Klinkende Robots

Godfried-Willem Raes

Andere mogelijke titels zouden kunnen zijn:

Muzikale robots
een levenswerk

MuBots
een catalogus

Mijn orkest

Robotorkest

Stichting Logos en haar robots

Logos' Robots

Het robotorkest
Een robotorkest

En toen speelden de robots alleen voort...

Alleen nog robots

Muziek uit robots

Alleen robots worden alsmaar beter

Voorwoord:

Hoewel het gros van de informatie over de door ons gebouwde en ontworpen automaten en interfaces wel na wat zoeken terug te vinden is op onze website, hebben we ingaand op een vraag van velen, toch gemeend dat het nuttig was, de hoofdpunten van die informatie in een heus boek bijeen te brengen. Het publiek dat we bij het samenstellen van dit boek voor ogen hadden bleek echter zodanig divers, dat het een zo goed als onmogelijke opdracht was, aan ieders verwachtingen te voldoen. Voor de geïnteresseerde nabouwers omvat het wellicht nog te weinig bouwtekeningen, elektronische schakelingen, componentenlijsten en meetgegevens. Voor de afficionados van robotica en artificiële intelligentie, zal het niet bespreken van code en algoritmiek zoals toegepast in de honderden microprocessoren die we inschakelden bij de bouw van ons robotorkest, zeker frustrerend zijn. Voor de kunstliefhebbers voor wie de robots vooral artistieke verwezenlijkingen zijn, is de aandacht voor techniek dan weer minder welkom terwijl die lezers wellicht eerder meer foto's en kunstfilosofische teksten hadden gekregen. Voor de vele componisten dan weer, die vooral met het robotorkest aan de slag willen, zal het boek weliswaar een bruikbare catalogus van de beschikbare instrumenten vormen, maar zal de afwezigheid van alle programmeerdetails en van beschrijvingen van de finesses van de muzikale mogelijkheden, met uitgebreide muziekvoorbeelden, een manco vormen. Voor musici die op een interactieve wijze met de robots aan de slag willen, zal het niet tot in het uiterste detail beschrijven van de vele radar en sonar sensoren en talloze andere human interfaces, ontgoochelen... De dansers, danseressen en overige performers waarmee we met het robotorkest in de afgelopen drie decennia meer dan duizend voorstellingen op de planken brachten, zullen het betreuren van die performances en de grote artistieke inzet die nodig was om ze te realiseren, geen neerslag en geen visuele getuigenissen aan te treffen.
Kortom, dit boek was van het begin af aan gedoemd een volkomen mislukking te worden.
We kunnen nu maar hopen dat onze mislukking zoals ze hier voorligt, de lezer niet al te diepgaand zal ontgoochelen.

Inleiding

Artificiële intelligentie is een begrip dat zijn intrede deed in onze wereld vanaf het moment dat we erin slaagden programmeerbare machines te bouwen. Aanvankelijk konden deze machines niet veel meer dan een op voorhand vastgelegd patroon van acties ondernemen: dat was het geval voor de weefgetouwen in de industrie maar ook voor de muziekautomaten: beiaarden, speelklokken en orchestrions, verwezenlijkingen waarin Vlaanderen trouwens een unieke historische rol heeft gespeeld. Stap voor stap echter, slaagde men erin die programma's ook afhankelijk te laten zijn van waarnemingen in hun omgeving enerzijds en van hun eigen vorige toestanden anderzijds. Naarmate die programma's in die zin complexer werden begon men meer en meer de gelijkenissen te zien met menselijke intelligentie. Ook daar immers worden beslissingen genomen en acties uitgevoerd vanuit opgebouwde kennis, regelsystemen en momentane waarneming van toestanden in de werkelijkheid.

Algoritmiek is in de muzikale compositie nooit heel ver geweest. De voorlopers ervan vinden we reeds terug bij de oude Grieken en later, bij ons in de ars nova en de renaissance. Het schrijven van muziek volgens zelf bedachte regelsystemen veronderstelt helemaal niet per se een computer. Het kan met pen en papier, alleen is dat erg tijdrovend en is de ruimte voor wijdlopende experimenten met het regelsysteem daardoor erg beperkt. Halfweg vorige eeuw ontstonden de eerste algoritmische compositiemethodes waarbij gebruik werd gemaakt van computers. Tegen het laatste kwart van vorige eeuw, met de opkomst van de personal computers, kwam het algoritmisch componeren via het zelf schrijven en ontwerpen van computersoftware binnen het bereik van progressieve musici en componisten. De gestaag toenemende mogelijkheden van de processors lieten toe om gebruik te maken van grote geheugens en rekensnelheden waardoor algauw de indruk ontstond dat die programma's in competitie konden komen met menselijke intelligentie. De programma's waren veel sneller dan mensen en konden ook heel wat meer gegevens verwerken. Programma's die zichzelf kunnen ontwerpen en schrijven evenwel, behoren ook vandaag nog tot het domein van de science fiction. In die zin is echte artificiële intelligentie nog wel erg veraf.
Bij Stichting Logos, de organisatie die zijn oorsprong vond in de Logos werkgroep waartoe ik het initiatief nam in 1968, is het werken aan de ontwikkeling van compositorische algoritmiek en artificiële intelligentie een constante sedert de introductie van computers hier. De ontwikkeling van software voor pattern recognition vormt de kern van het door mij ontwikkelde onzichtbaar instrument. De daarvoor ontwikkelde technologie zou niet veel later de kern uitmaken van de ontwikkeling van de muzikale robots die in dit boek worden behandeld. Tenminste toch voor zover onze automaten in die interactieve context en niet louter als speelautomaten, worden ingezet. Maar ook de ontwikkeling van zuivere compositieprogramma's voor het schrijven van muzikale vormen zoals fuga's, koralen en contrapuntische vormen stond op het onderzoeksprogramma tussen 1983 en 1991. De fuga is immers een van de interessantste muzikale vormen uit de klassieke muziek. Als 'summum' van het zuiver abstracte denken in muziek (dit in tegenstelling tot het meer sensorische van harmonie en instrumentatie) leek dergelijke aanpak ook voor de hand te liggen.
Het software-project wat daaruit in die jaren is voortgekomen was wat men in technisch jargon een expert-systeem pleegt te noemen. Een programma dat gespecialiseerd is in het componeren van vierstemmige fuga's en soortgelijke vormen. Het programmeren nam heel wat tijd in beslag en dit project ging van start in 1985. In 1991 was de eerste werkende versie klaar. Naarmate we het programma fuga's lieten uitschrijven, veranderden we ook telkens de software. Ze groeide mee met het gebruik ervan en na enkele jaren kwamen er ook alsmaar meer interactieve mogelijkheden bij. Dat leidde zo bijvoorbeeld tot een realtime gecomponeerde en uitgevoerde fuga als deel van mijn avondvullende compositie '*A Book of Moves*'. Het hele verloop van de fugatische vorm verliep daar aangestuurd vanuit de gebaren van de uitvoerder. De klank die het publiek te horen kreeg kwam evenwel uit samplers en synthesizers en daarvoor waren we dan ook geheel en al op luidsprekers aangewezen. In de alweer enkele jaren later afgewerkte productie '*Songbook*', ging ik nog een stap verder en liet ik alle samplers en synthesizers achterwege en gebruikte alleen nog de eigen stem van

de uitvoerders maar wel onderworpen aan vergaande realtime transformaties via interactieve audiosoftware die we daarvoor ontwikkeld hadden. Ook hier kwam alle interactiviteit voort uit onze software voor gesture recognition. Zowel '*A Book of Moves*' als '*Songbook*' kenden een groot succes en brachten we met het Logos Duo zowat over de gehele wereld op de planken. Het leverde ons zelfs een cultureel ambassadeurschap voor Vlaanderen op.

Maar, daarmee waren we ook in zekere zin op een eindpunt gekomen: alleen nog ons eigen lichaam en die vermaledijde luidsprekers bleven over. De elektronische klank en ook de samplers hadden we uitgeschakeld. Het was een afscheid van de virtuele realiteit. De echtheid van het reëel en zuiver akoestisch geluid begon toch weer te lonken, maar teruggaan naar wat we in de late jaren '60 hadden achtergelaten – met name onze traditionele instrumenten - wilden we niet. Dat kwam ons al te anachronistisch voor. Nieuwe muziek was toch ondenkbaar als we daar uitsluitend werktuigen uit vorige eeuwen zouden moeten voor gebruiken... Verzaken wilden we geenszins aan de fantastische mogelijkheden die ons werden geboden door het gebruik van elektronica en computers. Als ware het een onontkoombare logica, kwamen we zo als vanzelf terecht bij de idee om muzikale robots in te zetten: zuiver akoestische en mechanische speeltuigen die evenwel volledig via elektronica en dus computersoftware konden worden bespeeld. Alleen de introductie van speelautomaten voorzien van interactieve interfaces bood een perspectief op een substantiële verruiming van onze muzikaal expressieve mogelijkheden.

De eerste muzikale robot die vanuit die idee tot stand werd gebracht was <Autosax>: De bouw begon reeds in 1989 maar het duurde toch wel enkele jaren eer die automaat speelklaar was geworden. Daarmee was het hek voorgoed van de dam en volgden alras de automatische orgels <Piperola> en <Vox Humanola>. Midden de jaren '90 ontwikkelden we playerpiano's, mede met de hulp van onze vriend en collega Gerhard Trimpin. Tegen het eind van het millennium kon al een beetje sprake zijn van een heus robotorkest, want er waren al een tiental automaten speelklaar. Een van de mogelijkheidsvoorwaarden voor de bouw en groei van wat het robotorkest zou gaan worden was heel zeker de bouw van de tetraëder bij Stichting Logos. Daarbinnen immers konden we beschikken over voldoende ruimte om het orkest permanent opgesteld te laten en ook verder te ontwikkelen. De unieke akoestiek binnen deze ruimte maakt haar bovendien perfect geschikt om de akoestische robots ideaal tot hun recht te laten komen.

In dit boek hebben we gepoogd een soort catalogus samen te stellen van de bijna honderd robots die we sedert het begin bouwden. Daarbij wilden we de ontwerpproblemen en oplossingen toelichten en ook onopgelost gebleven problemen niet verbergen. De bedoeling stond immers voorop anderen die ons op deze weg zouden willen volgen, behulpzaam te zijn. Maar, natuurlijk geloven we dat er ook buiten de onmiskenbaar kleine kring van instrumentenbouwers, een zekere belangstelling bestaat voor deze machines en de technologische wereld die erin verscholen zit. Ware dat niet het geval, dan zou het succes van musea rond technologie en wetenschap helemaal niet te verklaren zijn. Ik zal het maar eerlijk toegeven: van kindsbeen af heb ik al een grotere belangstelling gehad voor dat soort musea dan voor de nochtans maatschappelijk veel hoger in aanzien staande kunsttempels.

De volgorde waarin we de robots hier behandelen heeft ons aanvankelijk veel hoofdbrekens bezorgd. We hadden ze in chronologische volgorde kunnen behandelen, maar algauw bleek dat onzinnig omdat de bouwtijd voor elke robot over meerdere jaren kon lopen en in sommige gevallen, de robot tot zelfs vijf volledige herzieningen te verwerken kreeg. Moesten we ze dan in volgorde van datum van afwerking behandelen? Dat bleek nog absurder, want als we er goed over nadenken is geen van onze machines eigenlijk als echt 'afgewerkt' te beschouwen. Het is geen opus, maar het zijn projecten in ontwikkeling die steeds open moeten staan voor nieuwe inzichten en dus wijzigingen en verbeteringen. Een tweede mogelijkheid was natuurlijk om de robots te behandelen volgens de organologische klasse waarin ze thuishoren. De musicologische aanpak dus. Maar, ook daar bleek de traditionele organologische classificatie ongeschikt, want zo zouden eigenlijk zowat al onze instrumenten onder elektrofonen geklasseerd moeten worden. Klinkklare onzin dus, want alle

klanken zijn zuiver akoestisch en alleen de besturing ervan maakt gebruik van elektriciteit. Dan toch maar zoveel mogelijk bij de traditie aansluiten en alles wat ook maar ergens op orgels gelijkt, samenbrengen: tongwerken, labiaalpijpen, doorslaande tongen, membraanpijpen en zelfs holteresonatoren. Laatstgenoemde drie categorieën zijn dan wel zo goed als niet vertegenwoordigd in traditionele orgels, maar horen er akoestisch gesproken eigenlijk wel bij thuis. Ook de monofone blaasinstrumenten – enkelrietblazers, dubbelrietblazers, saxofoons, koperblazers, fluiten – komen zo in een eigen hoofdstuk terecht. De slaginstrumenten kregen ook een eigen hoofdstuk, hoewel we die categorie daarvoor toch wat geweld dienden aan te doen: sirenes, wanneer ze in partituren voorkomen, worden weliswaar door de slagwerker van dienst bespeeld, maar maakt hen dit nu tot slaginstrumenten? Ook heel wat samengestelde automaten , zoals <Thunderwood>, <Simba>, <Rumo>, <Balsi> brachten we wat gewrongen in dat hoofdstuk onder.
De snaarinstrumenten, voorwerp van de grootste mislukkingen in ons onderzoekstraject, kregen een eigen hoofdstuk. Beginnen doen we evenwel met het '*piece de resistence*' van onze muziekcultuur in de laatste twee eeuwen, met name de piano en haar geautomatiseerde versie.

Inhoudstafel

Hoofdstuk 1
Playerpiano p.9
pp1 p.14
pp2 p.18
pedaal p.21
Andere toetsinstrumenten
spiro p.27
sper p.32
cemba p.36
pianet p.39
Tokkelinstrumenten en hakkeborden
Zibalo p.42
Hoofdstuk 2: Orgels p.44
Tongwerken:
Vox Humanola p.34
Trump p.38
Krum p.40
Labialen:
Piperola p.43
Bourdonola p.47
Puff p.51
Qt p.55
Bomi p.61
Pos p.67
RorO p.71
Doorslaande tongen:
Melauton p.80
Harma p.84
Ake p.87
Bako p.90
HarmO p.92
Ubu p.108
Membraanpijpen: p.111
Hybr p.112
HybrHi p.104
HybrLo p.109
π-robotjes p.115
Pi p.116
2Pi p.120
3Pi p.122
4Pi p.124
Trilholteresonatoren
Whisper p.128
Hoofdstuk 3 Monofone blaasinstrumenten
Rietblazers
Autosax p.130
Asa p.135
Klar p.140
Ob p.145

Fa p.152
Fluiten:
Flut p.158
Koperblazers:
So p.168
Bono p.173
Korn p.179
Heli p.183
Horny p.190
Bug p.195
Hunt p.206
Trumpeter p.216
Cornalto p.218
Teno p.222
Mirlitons:
Kazumi p.224
Hoofdstuk 4: Snaren - de grote mislukkingen
Hurdy p.226
Aeio p.225
Synchrochord p.234
Zi p.242
Hoofdstuk 5: slagwerk p.246
Klung p.248
Troms p.252
Thunderwood p.255
Springers p.262
Rotomoton p.266
Vacca p.270
Vitello p.274
Snar p.278
Snar_2 p.279
Per p.282
Temblo p.289
Sirenes:
Sire p.294
Balsi p.297
Staafspelen:
Vibi p.303
Xy p.309
Tubi p.312
Tubo p.314
Toypi p.322
Rodo p.325
Chi p.332
Bellen en klokken
Belly p.336
Bello p.340
Tinti p.345
Platen:
Steely p.348

Flex p.353
Casta 1&2 p.356
Simba p.361
Shak p.364
Hat
Rumo
Raspen
Reco-Reco: RaspA, RaspE, RaspI
Hoofdstuk 6: Pedagogische projekten
Basic Stamps
Arduino bots
Raspberry Pi
Hoofdstuk 7: Interactiviteit (nog eventueel toe te voegen...)
Bibliografie p.414

Hoofdstuk 1:
De playerpiano

De hoogdagen van de playerpiano liggen zonder twijfel helemaal in de eerste decennia van vorige eeuw. De pneumatische automaat, gespeeld met papieren rollen, zag het levenslicht in 1895 met de introductie van de Aeiolian Vorsetzer rollenspeler, die voor een bestaande piano kon worden geplaatst. De machine was uitgerust met 65 lange houten vingertjes, onderaan belegd met leder, die de eronder geschoven pianotoetsen konden indrukken. De pedalen dienden voor het bedienen van de balgen waarmee de onderdruk voor de pneumatische motoren wordt opgebouwd evenals voor het draaien van de rol zelf. Het was een uitvinding van Edwin Scott Votey, werkzaam voor de Aeolian Corporation. Ook de naam, eigenlijk een merknaam ('*Trade Mark*') dus, 'Pianola', zag daarbij het levenslicht. Later werd het – een beetje zoals dat gebeurde met kodak en bic als algemene benamingen voor fototoestellen en balpennen - een generieke naam voor alle automatische piano's.

De verschijningsvorm van de playerpiano als Vorsetzer raakte vrij snel in onbruik ten voordele van de buffetpiano met ingebouwd mechanisme. Overigens werden er ook automatische vleugelpiano's gebouwd, zij het dan in heel wat kleinere aantallen. De pianola's gebouwd tot ca. 1910 waren nog vrij primitief en klonken eerder mechanisch. Als er al iets aan de expressie kon worden gedaan bij het afspelen van de rollen, dan diende dat manueel te gebeuren. Tempo en dynamiek waren binnen beperkte grenzen bij te sturen. Bouwers zoals Welte-Mignon, Hupfeld, Pleyel en Ampico leverden heel wat inspanningen om op expressief vlak het onderste uit de kan te halen wat betreft de mogelijkheden van het pneumatische mechanisme. Daartoe dienden de rollen wel van extra sporen met perforaties voorzien te worden, sporen die alleen voor expressieve parameters werden gebruikt. Ook werkten ze aan machines waarmee de rollen live konden worden ingespeeld door pianisten, waarna ze in productie konden worden genomen. Voor de uitvinding van deze opname-machines, dienden de rollen immers handmatig met een speciale perforator te worden aangemaakt uitgaande van de muzikale partituur. Dat was een reeds lang bekende en gebruikelijke techniek, want geperforeerde kaarten en papieren rollen waren al lang voor de uitvinding van de pianola in gebruik voor het programmeren van draaiorgels en orchestrions. Het is dankzij de opname-machines dat we ook vandaag nog kunnen beschikken over pianorollen ingespeeld door componisten zoals Gustav Mahler, Camille Saint-Saëns, Edvard Grieg, Claude Debussy, Manuel de Falla, Scott Joplin, Sergei Rachmaninoff, Sergei Prokofiev, Alexander Skriabin, George Gershwin, Maurice Ravel, Percy Grainger, Ferruccio Busoni, Leo Ornstein, Carl Reinecke, Eugen d'Albert, Enrique Granados...

Bedrijven zoals Ampico en Welte-Mignon hadden zelfs opname contracten met ras-pianisten zoals Ignace Paderewski, Teresa Carreño, Leopold Godowsky, Josef Lhévinne, Mischa Levitzki, Winifred MacBride, Marguerite Volavy, Ferde Grofé...

De verkoopcijfers voor player piano's vanaf 1910 scheerden werkelijk hoge toppen en in de Verenigde Staten overtrof hun productiecijfer ruimschoots dat van de gewone piano's. In 1923 werden er in twee jaar tijd in de Verenigde Staten alleen al, meer dan een half miljoen gebouwd en verkocht. De rollen voor deze player piano's waren in de beginperiode alles behalve gestandaardiseerd: er waren rollen met 58, 65, 70, 82 en 88 noten en met verschillend aantal sporen per duim. Na een conferentie in Boston, kwamen de fabrikanten later overeen zich aan een minimale vorm van standaardisering te houden. Zo werden de rollen met 65 en 88 toetsen uiteindelijk toch de meest voorkomende.

Niet alleen de verkoop van de player piano's liep als een trein, maar ook de verkoop van rollen zorgde voor een aanhoudende bron van inkomsten: er kwamen alsmaar meer rollen op de markt met

de meest diverse muziek. Bezitters van player piano's konden zich abonneren op rollen, zodat ze tot week na week bevoorraad werden met alsmaar nieuwe muziekstukken in diverse genres: klassiek, jazz, dansmuziek, chansons... Nieuwe rollen werden zelfs nog tot in de jaren zeventig van vorige eeuw geproduceerd, o.a. door QRS. De opkomst van het elektronische MIDI formaat sedert 1983 heeft daaraan echter een definitief einde gesteld. Bestaande rollen konden immers met een leesmachine, omgezet worden in MIDI bestanden en dit zonder enig verlies aan informatie. Het concept van de pianorol overleefde de pianorol zelf tot op de dag van vandaag. Het wordt immers nog steeds gebruikt in zowat alle sequencerprogrammas als 'format', ook al komen er helemaal geen echte gaatjes meer aan te pas. Het voordeel van het pianorol concept, is dat het veel meer informatie omvat dan een partituur in notenschrift. Een simpel voorbeeld zal dit meteen duidelijk maken: stel een groepje van 4 zestiende noten: het partituurbeeld daarvan kan in geen geval op die wijze gespeeld worden, want dat zou klinken als een enkele kwartnoot. Immers, in de partituurnotatie staat niet aangegeven dat we na elke zestiende noot, de vinger moeten opheffen om die noot opnieuw te kunnen aanslaan. In werkelijkheid moeten we dus veel kortere noten spelen, gevolgd door rusten. In de pianorol notatie is dat volkomen duidelijk, in een partituur helemaal niet. Partituurnotatie in gewoon notenschrift is dan ook voor machines volkomen ongeschikt.

De opkomst vanaf de jaren 20 van de elektrische grammofoon en de geluidsversterking, luidde niet alleen de doodsklok over de playerpiano, maar ook over heel wat andere, veel grotere en duurdere muziekautomaten. Met de grote depressie van de jaren '30 kwam dan ook een definitief eind aan de hele playerpiano industrie.

De beschikbaarheid en de mogelijkheden van de pianola hebben ook heel wat sporen achter gelaten met bijzondere relevantie voor de 'ernstige' muziekcultuur van de 20e eeuw. Componisten raakten gefascineerd door de mogelijkheden: de machine opende voor hen het perspectief onafhankelijk te worden van de menselijke uitvoerder, diens grillen en vooral, beperkingen. Componisten die heel specifieke muziek schreven voor pianola's waren onder meer Igor Stravinsky, Paul Hindemith, Georges Antheil en uiteraard, Conlon Nancarrow.

Van Igor Stravinsky is bekend dat hij 'Les Noces' oorspronkelijk bedacht en schreef voor acht pianola's. Die pianola's dienden op scene te worden opgesteld rondom de vloer waarop het ballet zich moest afspelen. Toen echter de eerste repetities in Sint-Petersburg gepland waren en de nodige rollen waren aangemaakt, bleek dat synchronisatie tussen de piano's onderling, technisch onmogelijk was... Later, met de steun van de firma Pleyel in Parijs, werd nog een poging ondernomen, maar dezelfde problemen doken opnieuw op. Einde verhaal voor Stravinsky dus. Jaren later pas zou hij het stuk herwerken voor menselijke uitvoerders. Alleen in die versie is het bij het publiek dan ook bekend geworden. Maar, dat Stravinsky de voorkeur gaf aan machinale uitvoerders, blijkt zowel uit getuigenissen van musici als uit zijn geschriften. We beschouwden ons dan ook helemaal in de lijn van de intenties van de componist, toen we in 2015 'Les Noces' op de planken brachten in een versie voor het robotorkest dat we intussen bij Stichting Logos tot stand hadden gebracht.

Ook Georges Antheil, – die nochtans bekend was met de problemen die Stravinsky had ondervonden in Parijs - concipieerde zijn spraakmakende Ballet Mecanique – aansluitend bij het gedachtegoed van het futurisme, vanwaar ook de aanwezigheid van vliegtuigpropellers, elektrische bellen en sirenes - voor pianola's. Het aantal pianola's varieert nogal van versie tot versie, maar gaat van 4 tot 16 stuks. Een geslaagde uitvoering mocht ook Antheil tijdens zijn leven nooit meemaken. Ook dit stuk behoort dan ook sedert enige tijd tot het unieke repertoire van ons robot orkest. We gaan er later nog verder op in.

Wie de partituren en schetsen van beide componisten bekijkt, zal zich wellicht afvragen waarom die componisten zoveel pianola's voorschreven en meenden nodig te hebben. Hiervoor is een heel

eenvoudige zuiver technische verklaring: pneumatisch aangestuurde pianola's hebben winddruk nodig om de hamers in de piano in beweging te brengen. Die druk wordt geleverd door de balgen en is uiteraard beperkt. Hierdoor zijn enge grenzen gesteld aan het aantal toetsen dat tegelijkertijd kan worden ingedrukt. Praktisch gesproken, een viertal slechts... Om alvast de mogelijkheden van een menselijke pianist te evenaren, waren dan ook een drietal automaten nodig. Wie zoals de genoemde componisten de machines wilde gebruiken om de mogelijkheden van mensen ver te overstijgen, kwam dan ook automatisch in de verleiding een beroep te doen op vier tot wel zestien dergelijke machines.

Hoewel de pneumatische pianola in de periode na de tweede wereldoorlog in de vergeethoek terecht kwam, bleef bij componisten de belangstelling voor automatische akoestische piano's bijzonder groot. Zo ontstond dan ook de playerpiano waarin elektromagneten worden toegepast. Niet dat de toepassing van elektromagneten in de instrumentenbouw zo nieuw zou zijn overigens: in de orgelbouw worden elektromagneten reeds heel lang gebruikt voor de registerbesturing (het uittrekken van registerschuiven in de windladen) en maken zij voorprogrammering van de registratie mogelijk. Ook elektrisch bestuurde ventielen in de windladen, waren al vroeg in de vorige eeuw gangbaar geworden bij progressieve orgelbouwers.

De klank van een piano echter wordt geheel en al bepaald door de wijze waarop de toets wordt aangeslagen: de impact van de vinger op de toets. De druk die na het aanslaan van de hamer op de toets wordt uitgeoefend heeft geen enkele invloed meer op het verder verloop van de klank. (Dit is het grootste onderscheid tussen het klavichord enerzijds en bijna alle latere akoestische toetsinstrumenten anderzijds). Wel van belang is echter het moment waarop de toets wordt losgelaten, aangezien daardoor de demper terug op de snaar valt. Gebeurt dit te traag, dan kan dat tot bijgeluiden aanleiding geven wanneer de dempers niet perfect zijn afgesteld. Wanneer het te snel gebeurt (wat voor menselijk vingers eigenlijk zo goed als onmogelijk is, maar wat bij mechanica wel degelijk kan) kunnen de toetsen wat rammelen.

De toepassing van elektromagneten voor het in beweging brengen van de hamers, opent meteen ook het perspectief van een veel verder gaande automatisering dan wat met pneumatica kon worden bereikt. Zo werd computerbesturing een mogelijkheid en daarmee ook meteen de toepassing ervan in realtime. Keerzijde van de medaille is dat hoe men het ook draait of keert, elektromagneten heel wat zwaarder en vooral ook duurder uitvallen dan pneumatische balgmotoren.

Voor de bouw van een computergestuurde pianist kunnen we volstaan met het realiseren van een precieze controle van aanslagsnelheid en kracht. Dit kan eenvoudig worden bereikt met een elektromagneet voorzien van een beweeglijke kern (een anker). Sinds de laten jaren '60 werden dergelijke elektrische playerpiano's door diverse fabrikanten op de markt gebracht. We vermelden Maranz (ging failliet, en de onderdelen werden overgekocht door Alec Bernstein en Daniel Carney die een tijd lang het Aesthetic Research duo vormden), Yamaha (kocht de patenten en rechten op van Maranz en nam enige tijd later zelf een Diskklavier in productie waarop evenwel geen echt nieuwe muziek te spelen viel door al te veel concessies op de capaciteit van de voeding en op het aantal tegelijkertijd speelbare noten), Bösendorfer (bouwde een dergelijk mechanisme van zeer hoge kwaliteit in, in een van zijn pianomodellen maar daardoor zat het mechanisme ook vast aan de bijhorende piano, wat, gezien de hoge prijs, de verspreiding ervan beslist in de weg stond). Het ontwerp van Bösendorf was beslist het beste op de markt naar muzikale mogelijkheden: het had een 12-bit resolutie voor dynamiek! Helaas echter was het voor componisten niet te gebruiken, omdat het ontworpen was als 'weergave'- machine gebruik makend van een eigenzinnig opnameformaat... Interfacing met de eigen computer was zoal niet onmogelijk, toch zeker niet eenvoudig.

De introductie van MIDI in 1983, betekende een ware doorbraak in de standaardisering van de bestandsformaten voor elektronische instrumenten (synthesizers) maar ook voor zowat alle automatische muziekinstrumenten die sedert de jaren '80 tot stand kwamen.

Het eerste eigen ontwerp en de realisatie zoals we die hier gaan beschrijven, kwam tot stand als samenwerkingsproject tussen mijzelf en de Amerikaans-Zwitserse componist/instrumentenbouwer Gerhard Trimpin. Trimpin's oorspronkelijk ontwerp werd gebouwd om de muziek van Conlon Nancarrow – die zoals men weet bijna uitsluitend is geschreven voor playerpiano's – voor het nageslacht te bewaren. Immers, Nancarrow's stukken bestaan als pianorollen voor oude Ampico pneumatische playerpiano's. De rollen met de stukken erop geperforeerd (hardpapier) hebben echter een beperkte levensduur en kunnen niet onbeperkt worden afgespeeld. Bovendien is het in goede staat houden van de vele mechanische playerpiano's waarvoor Nancarrow dus z'n rollen handmatig maakte, een vrij hopeloze onderneming. Dit doel verklaart waarom Trimpin's ontwerp oorspronkelijk niet alle 88 toetsen van de (vleugel)piano van elektromagneten voorzag: Nancarrow's stukken werden geschreven voor aangepaste Ampico buffet-piano's, met een kleinere tessituur (82 toetsen). Bovendien maakten de rollen gebruik van enkele extra rijen gaatjes waarmee volgende muzikale eigenschappen ook in enige mate konden worden geprogrammeerd:

Hierbij ter informatie, de mapping van de rijen met perforaties op de rollen gemaakt door Conlon Nancarrow:

- row 1: slow bass crescendo (E1)
- row 2: Bass intensity 1 (F1)
- row 3: Sustain pedaal (F#1)
- row 4: Bass intensity 2 (G1)
- row 5: Fast Bass crescendo (Ab1)
- row 6: Bass intensity 3 (A1)
- row 7: Cancel bass intensity (Bb-1)
- row 8: laagste piano noot (B 1)
- row 9 tot 90: pianotoetsen (tot A6)
- row 91: Treble intensity 1 (Bb6)
- row 92: Cancel Treble intensity (b6)
- row 93: Treble intensity 3 (C7)
- row 94: Fast treble crescendo (Db7)
- row 95: Treble intensity 2 (D7)
- row 96: Hammer-rail (Eb7)
- row 97: Treble intensity 1 (E7)
- row 98: Slow treble crescendo (F7)

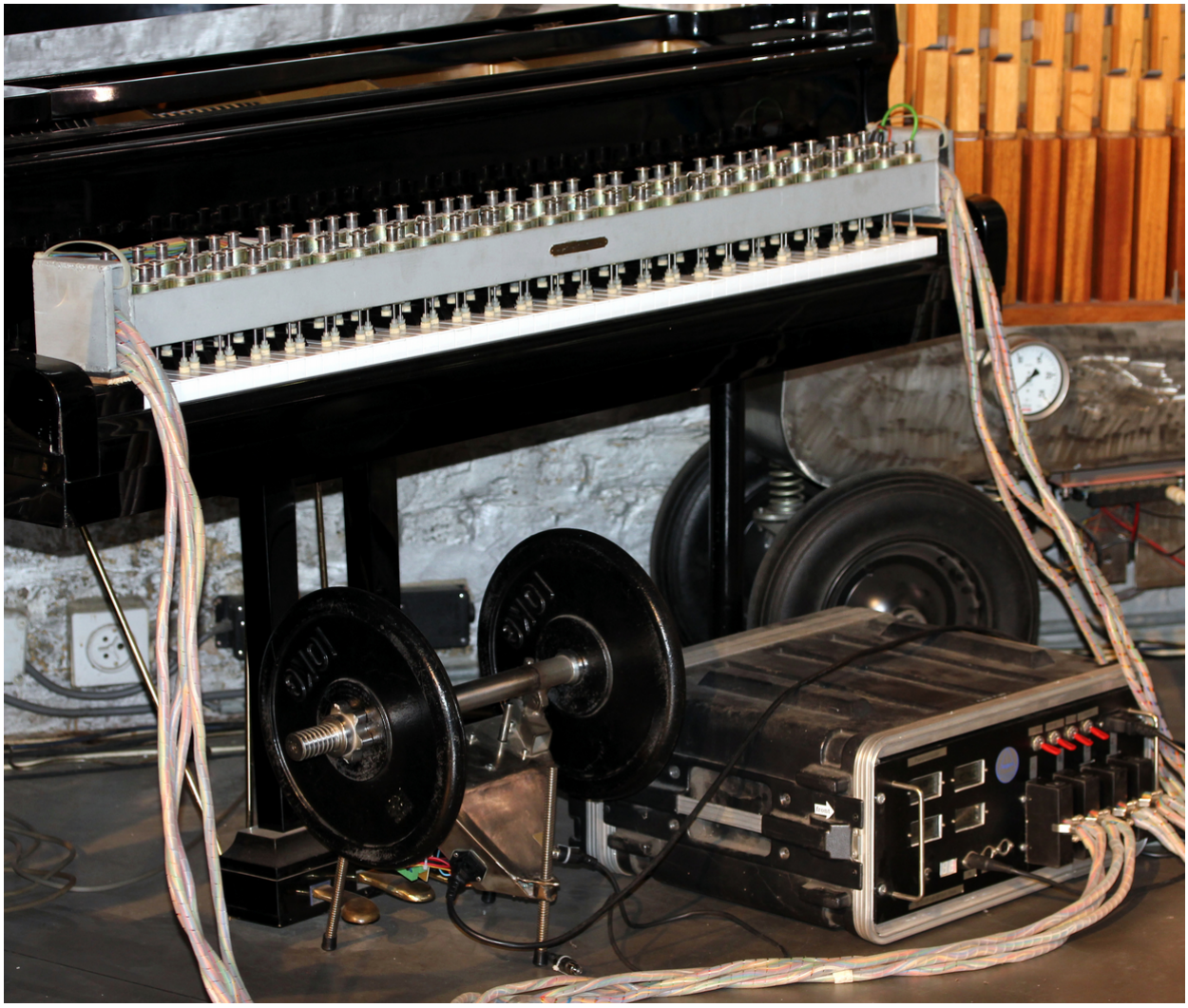
Trimpin bouwde ook een machine waarmee Nancarrow's rollen automatisch in midi-files konden worden omgezet. Met die machine trok hij naar Mexico om alle rollen die Nancarrow had gemaakt, bij hemzelf in te lezen. Die machine – een soort scanner eigenlijk - werkte met optische sensors. Elke rij gaatjes komt dan in het computerbestand overeen met een midi-getal voor een bepaalde noot. Nu hadden vroegere player piano's helemaal niet de mogelijkheid om – zoals bij midi - voor elke toets afzonderlijk de aanslag precies te programmeren! Het kon alleen globaal voor de linker- en de rechterhand en wel, voor wat de Ampico's betreft, in zeven gradaties waarbij uitgegaan wordt van combinaties tussen de hierboven aangegeven genummerde rijen gaatjes voor de 'linkerhand', respectievelijk 'rechterhand' sterkte 1,2 3, een 3-bits waarde. De omzetting in muzikale dynamiek, middels *midi-velocities* op onze eerste playerpiano, moet voor de Nancarrow rollen alsvolgt gebeuren:

- Intensity 1 pp use midi value 24
- Intensity 2 mp use midi value 36
- Intensity 3 p use midi value 48
- Intensity 1+2 mf use midi value 60

- Intensity 1+3 f use midi value 72
- Intensity 2+3 ff use midi value 84
- Intensity 1+2+3 fff use midi value120

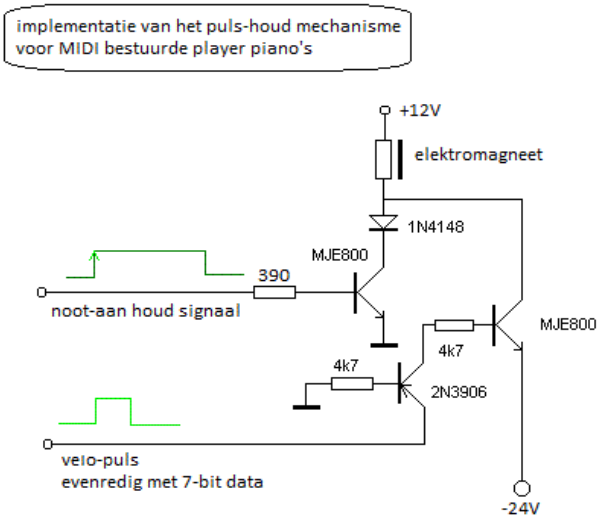
De terugvallijst voor de hamers op een buffetpiano, bediend door het linkerpedaal, plaatst de hamers wat dichter bij de snaren. Hierdoor wordt het bewegingstraject van de hamers kleiner, en daarmee ook de aanslagsterkte. Het effect vervangt het una-corda pedaal op een vleugel hoewel het eigenlijk een sostenuto bewerkstelligt. Het sustain pedaal komt overeen met het rechterpedaal van elke piano, waarmee de werking van de dempers wordt opgeheven.
We geven deze informatie hier niet alleen als historische en organologische documentatie, maar ook omdat zij voor het gros van de pianomuziek op rollen van toepassing is. Deze kennis kan enerzijds van pas komen wanneer ons wordt gevraagd rollen-muziek opnieuw tot klinken te brengen (restoratiewerk) en anderzijds ook wanneer we compositorisch van de typische klank van de oude playerpiano gebruik zouden willen maken.
Overigens zijn wij helemaal niet alleen in onze bekommernis om de erfenis van Conlon Nancarrow, en meer algemeen, die van de muziek voor pianola's veilig te stellen. De Duitse muzikoloog en verzamelaar van muziekautomaten Jürgen Hocker (1937 – 2012) heeft zich erg ingespannen om rollen te bewaren, bestanden speelbaar te maken en te houden voor de Bösendorf pianola en voor het speelklaar maken van de MIDI-bestanden, ook voor pianola muziek van György Ligeti (1923 - 2006) en Tom Johnson.

<playerpiano-1>



Voor de bouw van onze eerste piano robot, <pp1>, gingen we uit van het ontwerp en de componenten van Trimpin uit de late jaren '80. Alleen de mechanica – het in staal gelaste chassis met de elektromagneten - was een volledig eigen ontwerp.
De automaat is als Vorsetzer opgevat, wat in eerste plaats is ingegeven door de eenvoudige toepasbaarheid van zo'n robot op eender welke piano, voor zover de toetsbreedte ervan tenminste overeenkomt. Voor de bouw zijn vanzelfsprekend evenveel magneten nodig als we toetsen in te drukken kunnen hebben. We maakten gebruik van Lucas Ledex magneten, type nr. 81840. Deze hebben een spoelweerstand van 11 Ohm. De nominale werkspanning is 12 V, maar om een goede dynamiek te verkrijgen gebruiken we tijdens de aanslag, een spanning van 36 V. Uit de gegeven stroomberekening kan eenvoudig worden afgeleid dat het vermogen nodig in de voeding afhangt van het maximaal aantal tegelijk in te drukken toetsen! Wanneer we alle toetsen tegelijkertijd willen indrukken in een groots fortissimo, dan loopt onze stroombehoefte op tot de respectabele waarde van 287 A.... Dergelijke stromen worden enkel door zware booglastoestellen geleverd. Dit is natuurlijk een 'worst case' scenario. De eisen kunnen wel wat gemilderd worden door bijvoorbeeld de toetsen niet exact tegelijkertijd in de drukken maar – en dit komt goed uit want ook midi levert de data serieel - met korte tussenpozen, van minimaal 1 ms. De stroombehoefte voor de aanslag kan daarmee tot zowat één tiende worden gereduceerd. Omdat een goede implementatie van legato-spel

vereist dat terwijl een nieuwe toets wordt aangeslagen, de vorige nog even ingedrukt blijft, berekenden we het leverbaar vermogen van de voeding op het dubbele van wat nodig is voor het gemiddeld aantal tegelijkertijd klinkende noten in de meest complexe muziek ons bekend voor de playerpiano Wilden we wat dit betreft het onderste uit de kan halen, dan hadden we buffering van de voeding met loodaccu's kunnen overwegen.
Een klein microcomputer systeem staat in voor de omzetting van binnenkomende MIDI-informatie via een instelbaar midi-kanaal naar stuurimpulsen voor de schakelhalfgeleiders. Daarvoor gebruikten we hier nog Darlington transistoren want de toen beschikbare modernere logic-level MOSFET's waren heel wat duurder.
De gebruikte microprocessor is hier een 8-bit 6809 type van Motorola. Hij wordt geklokt op 4 MHz, wat ons meteen een goede basis gaf voor de Baudrate van de midi-poort. Het geheugen mag voor hedendaagse normen echt minuscuul heten: 2 kByte RAM (1 enkele 2016 statische RAM-chip) en – voor de opslag van het programma zelf - een 4 kByte EPROM (2532-type), die we dan nog niet eens helemaal gebruikten! De assembler code voor de timing van de aanslagpulsen waarmee hier aanslaggevoeligheid wordt bereikt werd op vraag van Trimpin mede ontwikkeld door Floris Van Manen.
De midi-poort - om aan de ingang te beginnen - werd opgebouwd gebruik makend van een 6850 UART die rechtstreeks op de computerbus wordt aangesloten. De 6809 pleegt *memory-mapped* I/O waardoor de midi-poort op een gewoon geheugenadres is terug te vinden.
Een aan de Motorola architectuur aangepaste PPI-chip (de VIA 6522) levert ons de nodige poorten waarmee de stuurpulsen kunnen worden uitgestuurd. De PB poort verwerkt de hold-commandos, terwijl de PA-poort wordt gebruikt voor het in- en uitlezen van het instelbare midi-kanaal en voor het aansturen van het 2-digit LED-display. De data verschijnt gemultiplext op deze poorten.
Een afzonderlijke latch-chip (74377) wordt gebruikt als C-poort voor de sturing van de velocity informatie. Anders dan we misschien geneigd zouden zijn te denken, wordt de aanslagsterkte hier niet geregeld door sturing van de spanning over de elektromagneten, maar uitsluitend door regeling van de breedte (de duur dus) van de aangeboden stuurpuls. De houd-spanning (+12 V) staat permanent over de spoelen wanneer deze bekrachtigd zijn. Tijdens het aanslaan wordt de spoel door de schakeling echter niet tussen massa en deze +12 V aangesloten, maar tussen deze +12 V en de extra voedingsspanning van -24 V. Tijdens de aanslag verwerkt de spoel dan ook een potentiaalverschil van 36V.



Vandaag, 2022, zouden we natuurlijk andere microprocessoren gebruiken waardoor ook de hier nog nodige periferie chips kunnen wegvallen. Bij de bouw van onze tweede Vorsetzer deden we dat dan ook, en gebruikten we Microchip 18F2525 processoren. Dit project, onze tweede Vorsetzer - <pp2>

– werd volledig afgewerkt in 2005 en betekent op vele gebieden een substantiële verbetering tegenover het eerste ontwerp.

Met alle benodigde schakelende voedingen, was het mogelijk alle elektronica voor <pp1> in te bouwen in één enkele 4 units hoge 19-inch rack behuizing. Eén concessie dienden we daarbij wel te doen: we monteerden de modulaire 24V voeding in haar geheel in een kooibehuizing aan de buitenkant tegen de achterwand van de kast... Voor het bedienings- en aansluitingsgemak monteerden we alle connectoren, schakelaars (voor elke voedingsspanning één), paneelmeters en displays aan de voorkant van de kast. Het meeste plaats wordt daarbij ingenomen door de connectoren die naar de spoelen gaan: Vier 33-polige Bulgin connectors! Hiervoor konden we immers geen klassieke bandkabel- connectors gebruiken, vanwege de grote te verwachten stromen. De draadsectie diende minstens 0.75 mm² te bedragen.

Voor een goede werking moet in elk geval voor voldoende ventilatie worden gezorgd. De voorziene ventilatoren in de voedingsmodules verwijderden we immers omwille van de herrie die ze veroorzaakten. De schakeling kan, wanneer erg complexe stukken gespeeld worden, flink heet lopen...

Opbouw van de mechanica: praktische tips

Gebruik 50x50x5 gewalst stalen hoekprofiel. Daarvan hebben we twee lengtes nodig van precies 1226 mm. Het ene stuk wordt de drager voor de elektromagneten waarmee de zwarte toetsen worden bespeeld. Aangezien de afstand tussen de zwarte toetsen net iets groter is dan 1' (2.54mm) kunnen we de gaten voor de elektromagneten (1' diameter) in register en op een rechte lijn boren. Dit gaten boren wordt wellicht het lastigste werkje van de gehele constructie. In totaal zijn er immers 88 gaten te boren met een diameter van 19 mm (3/4"). Dit werkje gaat het best gebruik makend van een zware kolomboormachine. Aangezien grote metaalboren erg duur zijn, is het aangewezen alle gaten – na het zorgvuldig centeren – opeenvolgend voor te boren met gewone HSS boortjes van 4 mm – 8 mm - 13mm en 16 mm. Gebruik in elk geval een goede snijolie bij het boren.

De gaten voor de witte toetsen moeten om en om geboord worden. De afstand tussen de toetsen laat ons hier immers niet toe 'in line' te werken, hoewel dat voor de werking van de piano beter zou zijn.

De uiteinden van de L-profielen worden tegenover elkaar vastgelast op 2 stukjes rechthoekig kokerprofiel 100x50x4 van 100 mm lengte. Er moet een onderling verschil in hoogteligging zijn van 12 mm, overeenkomstig het verschil in hoogteligging tussen de witte en de zwarte toetsen.

Het hele mechanisme is op deze wijze opgebouwd erg compact: de diepte beloopt slechts 10cm, waardoor het ontwerp in principe ook voor orgels en klavecimbels geschikt kan worden gemaakt. Aan beide uiteinden rust het op de blokjes links en rechts naast het pianoklavier. Helaas is dit op oude klavierinstrumenten meestal niet mogelijk, omdat het klavier daar vaak wordt ingebouwd in de kast waarbij er links en rechts van het klavier een opstand ontstaat. Voor oude instrumenten bevelen we dan ook eerder de bouw van een letterlijke 'Vorsetzer' aan: een toestel dat aan het klavier wordt gezet en dat zelfstandig op de grond rust. De afregeling van zo'n toestel vergt dan wel wat tijd.

Het anker in de magneet moet voorzien worden van stalen veertjes: 9 mm diameter, 8 windingen, lengte 14 mm. Bij intensief gebruik van de Vorsetzer, moeten deze veertjes om de vijf jaar vervangen worden. Ze verliezen immers wat van hun kracht.

Op het smalle uiteinde van de ankers komen nylon stootkapjes voorzien van cilindrische viltjes van 10 mm x 10 mm. Deze viltjes worden gemaakt door het Amerikaanse Schaff Piano Supply Co. (type 330C '*regulating punchings*', in zakjes van 100 stuks). Ook in Europa moeten dergelijke

viltjes wel te verkrijgen zijn. Je kan ze uiteraard ook helemaal maken. De bevestiging van deze viltjes op de stootkapjes dient beslist met warme lijm (hot-glue) te gebeuren. Gebruik daarvoor zo'n goedkoop Black & Decker lijmpistool en patronen voor het kleven van textiel of leder.

Een mislukt legato mechanisme...

Hiervoor probeerden we een ontwerp waarin twee stappenmotoren gebruikt worden die twee schroefdraadstangen bewegen waarmee de afstand tussen de dragers van de elektromagneten en de toetsen heel precies kon worden gewijzigd tijdens het spelen. Er was een motor voor elk uiteinde nodig. Deze motoren brachten dan een draadstang met heel fijngetapte draad in beweging. De draadstang kon daarbij vrij ronddraaien in een getapte huls die werd vastgelast op de steunplaatjes. De praktische experimenten die we met dit ontwerp uitvoerden leidden echter tot geen enkel aanvaardbaar resultaat: de motoren maakten veel teveel lawaai en van de fijne schroefdraad was na weinige omwentelingen al zo goed als alles verdwenen...

Elektrische verbinding:

Hiervoor gebruikten we 8 speciale lintkabels met elk 16 aders (sectie 1 mm²). Het handmatig solderen van deze kabels is een werkje waarvoor je toch een hele werkdag moet uittrekken... De individuele aders worden rechtstreeks aan de draadjes van de magneten gesoldeerd en over elke verbinding wordt een stukje krimpkous geschoven en gekrompen. Trimpin gebruikte hiervoor gewone DIL-raster bandkabel, maar hierover ontstaat teveel spanningsverlies door de te kleine draadsectie (0.4 mm²). Zijn bandkabel-oplossing is echter wel heel wat minder arbeidsintensief omdat gewone knijpconnectors gebruikt werden...

Aan het gebruik van deze player piano waren enkele restricties verbonden:

1. WARMTE:

Wanneer een spoel bekrachtigd is en er stroom doorheen loopt, dan gaat dit onvermijdelijk gepaard met warmteontwikkeling. Omdat dit tot smelten van het isolatiemateriaal in de spoelen evenals tot vormveranderingen van de cilinders (waardoor de ankers klem kunnen gaan zitten) aanleiding kan geven, moet tot elke prijs vermeden worden toetsen ingedrukt te laten die niet strikt ingedrukt dienen te zijn. In geen geval mag de software zo worden geschreven dat de functie van het derde pedaal (het sostenuto pedaal) overgenomen wordt door het voor langere tijd (> 10 seconden) ingedrukt laten van bepaalde toetsen.

2. REPETITIE:

De elektromagneten in de playerpiano kunnen heel wat snellere repetities aan dan pianisten van vlees en bloed. Weersta aan de verleiding hiervan onoordeelkundig gebruik te maken. Enerzijds stelt de bouw van de piano zelf een grens aan de maximaal toelaatbare repetitiesnelheid (12 tot 16 aanslagen per seconde is de absolute bovengrens), en anderzijds kan ook mechanische resonantie gaan optreden wat steeds destructief werkt voor het instrument.

Niet alle nieuwe Steinway modellen hebben voldoende ruimte tussen de verticale opstanden links en rechts van de blokjes naast de uiterste toetsen! De Vorsetzer past wel op het concertvleugel model van Steinway evenals op alle Kawai, Bechstein en Yamaha vleugelpiano's. Bij plaatsing op Bösendorf Imperiaal piano's is er vaak een probleem door het extra aantal toetsen. Het volstaat een aanpassingsblokje te zagen waardoor de Vorsetzer bovenop deze toch niet gebruikte toetsen kan worden geplaatst. Op grond van onze ervaringen in de jaren 1994-1996 kunnen we zeggen dat Kawai vleugels de beste resultaten opleverden. Hun mechaniek bleek superieur, zelfs boven die van Steinway!

<playerpiano-2>



Een tweede Vorsetzer – <pp2> – bouwden we in 2005, enerzijds omdat we een en ander meenden te kunnen verbeteren tegenover het eerste ontwerp, maar anderzijds ook omdat we muziek voor twee piano's wilden kunnen spelen. Vooreerst zijn er enkele originele Conlon Nancarrow stukken, waarvoor twee player piano's nodig zijn, maar ook wilden we een oplossing bieden voor de uitvoering van de vele stukken voor kwarttoonspiano geschreven in de eerste helft van de vorige eeuw. Voor die laatste stukken zijn dan wel twee vleugelpiano's nodig, waarvan een een kwarttoon lager moet worden gestemd. Eerlijkheidshalve moeten we bekennen, dat we slechts een keer in de gelegenheid werden gesteld, zo'n concert met kwarttoonsmuziek te verzorgen en dat was dan in het Gentse Conservatorium onder het directeurschap van Johan Huys in de jaren '90 van vorige eeuw. Concertorganisatoren zijn niet erg happig op het idee om een van hun vleugelpiano's een kwarttoon lager te laten stemmen, vooral omdat het ongeveer een maand duurt om de piano nadien weer helemaal op de standaard diapason te krijgen.

Hetzelfde geldt overigens ook voor de composities waarin gebruik gemaakt wordt van afwijkende stemmingen. Het prachtige 'Spectral Canon for Conlon Nancarrow' van James Tenney, vergt een playerpiano in juiste boventoonsstemming. Het integrale werk van La Monte Young kan alleen gespeeld worden op een piano met een door hem bepaalde stemming. Ook onze vriend en collega Clarenz Barlow, schreef nogal wat muziek voor piano's waarbij aan de stemming gesleuteld moet worden.

De verbeteringen die het ontwerp van <pp2> met zich brachten waren:

1.- Mechanisch: de hele Vorsetzer werd voorzien van vier draadstangen met trapeziumschroefdraad waarmee de hoogte van de automaat tegenover de toetsen heel precies kan afgeregeld worden.

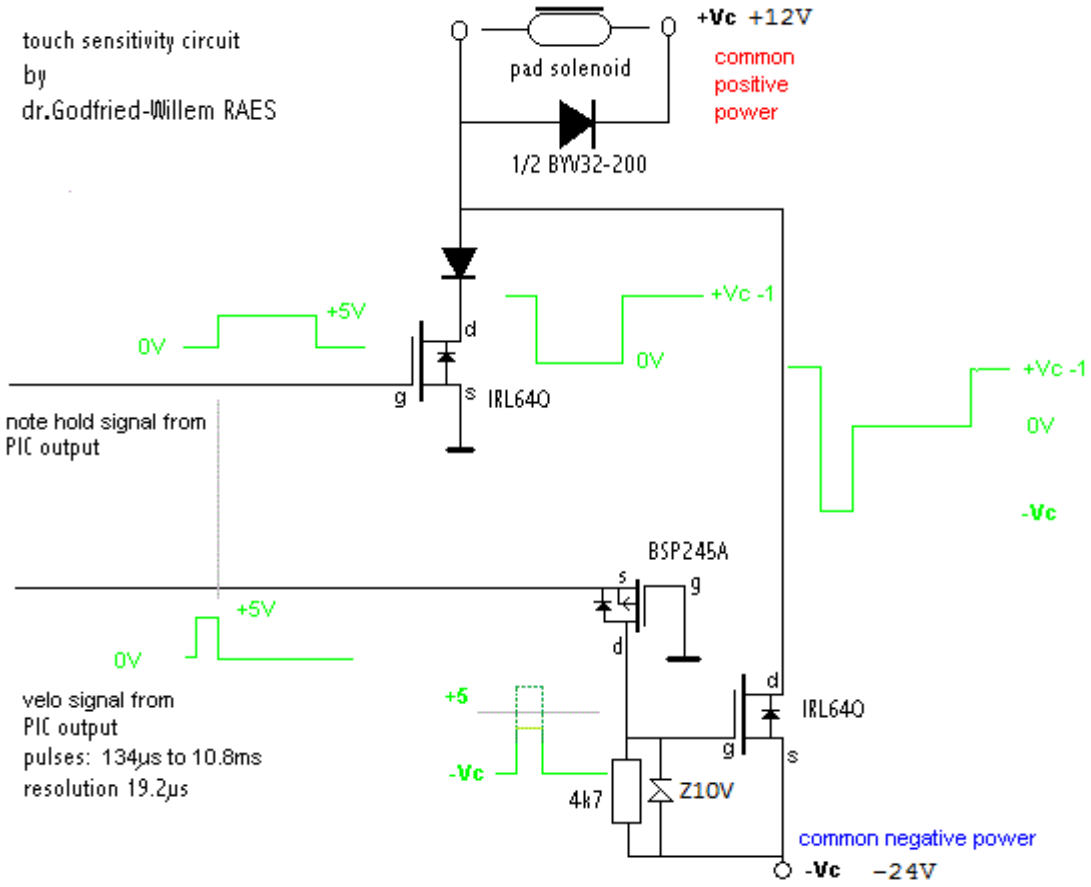
2.- Elektronisch: de besturingsschakelingen werden in het Vorsetzer chassis zelf ingebouwd waardoor de lange en dikke kabelbundels eigen aan het eerste ontwerp kwamen te vervallen.

3.- De voeding werd programmeerbaar gemaakt waardoor gebruikers controle krijgen over de minimale houdkracht evenals het dynamisch bereik van de elektromagneten.

4.- Er werd voorzien in heel wat keuzemogelijkheden voor diverse opzoektabellen voor de vertaling van de midi 7-bit velocity waarden naar de 16-bit resolutie waarmee onze Vorsetzer nu intern werkt. Die resolutie is met 16 bits ook heel wat beter dan in ons eerste ontwerp. Dat heeft natuurlijk ook veel te maken met de zowat 20 keer hogere kloksnelheid van de hier gebruikte Microchip PIC processors.

5.- In plaats van een enkele microprocessor, gebruikten we hier tien stuks, waarbij acht processors instaan voor de besturing van elk groepje van twaalf toetsen. De overige twee processors zorgen voor het verdelen van de inkomende datastroom over de acht processoren. De tiende processor is verantwoordelijk voor de besturing van de voeding. Het simpele feit dat de kostprijs van processors tussen de tijd van onze eerste piano in 1995 en de tweede in 2005, gezakt was tot zowat 3 € per stuk ligt uiteraard ten grond aan het feit dat we niet langer moesten malen om een chip meer of minder.

Het puls-houd mechanisme gebruikt in het eerste ontwerp werd grotendeels behouden, maar aangepast aan modernere onderdelen, met name het gebruik van vermogens MOSFET's. Dit kwam ook het stroomverbruik ten goede. De nieuwe principe schakeling werd nu:



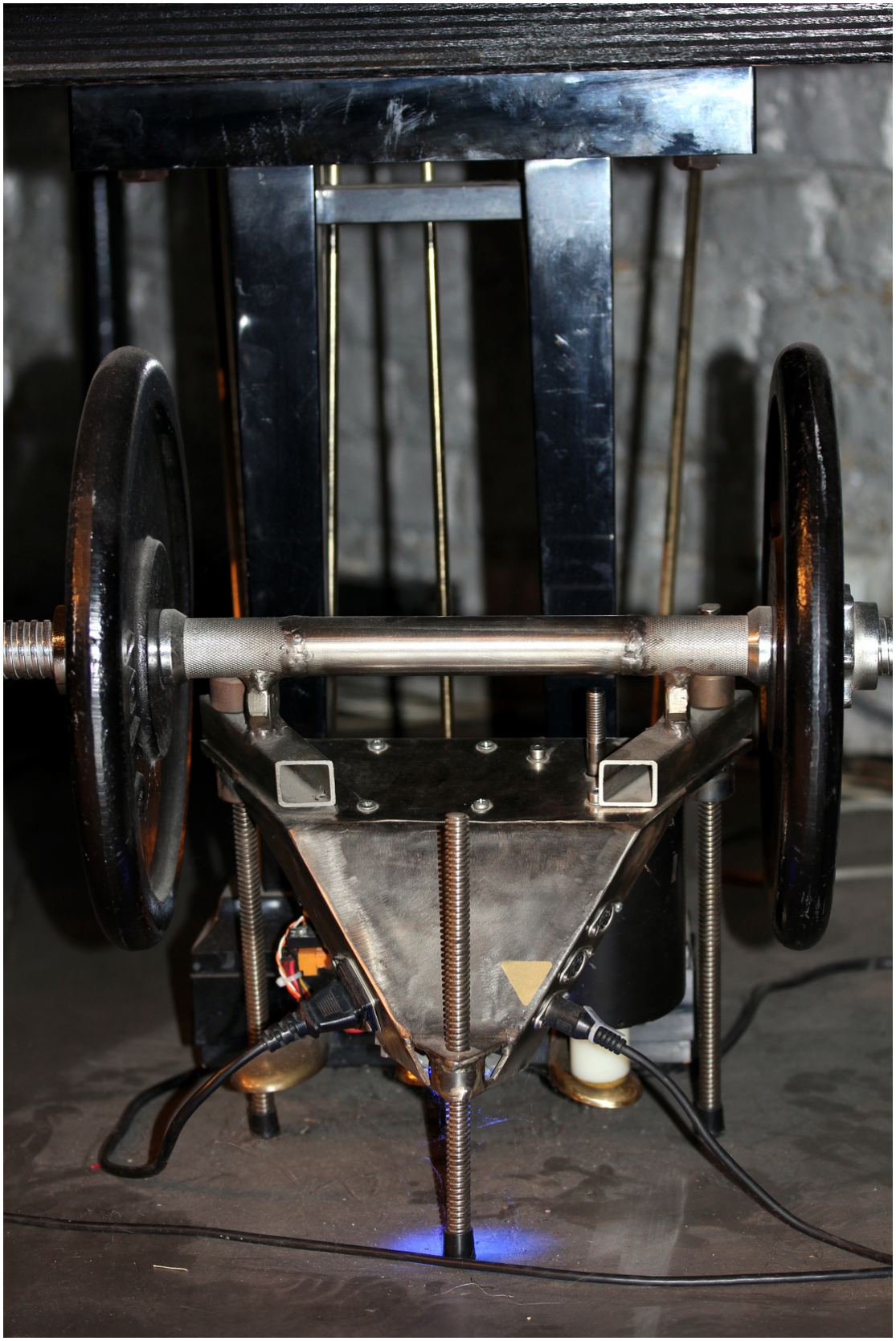
Deze schakeling vormt de basis van zowat alle later door ons gebouwde automaten waarin

aanslaggevoeligheid werd geïmplementeerd. De voedingsspanningen kunnen daarbij binnen heel ruime grenzen variëren in functie van de gebruikte elektromagneten en de gewenste krachten.

De voedingsmodule voor de playerpiano viel ondanks de veel meer geavanceerde mogelijkheden, toch nog heel wat kleiner uit dan die voor <pp1>:



<Pedaal>



Toen we onze eerste player piano bouwden , speelden we al met de idee ook een heus pedaal te voorzien. Bij gebruikelijke ontwerpen worden ook hiervoor elektromagneten gebruikt. Deze laten echter geen gradueel gebruik van het linker en rechterpedaal toe. In mijn eerste ontwerp zouden de pedalen bestuurd worden door twee stappenmotoren voorzien van een nylon commawiel. Alleen voor het derde pedaal wordt een elektromagneet toegepast, aangezien dit pedaal steeds discontinu wordt gebruikt: het is steeds hetzij geheel ingedrukt, of geheel niet ingedrukt.

Het linker -of *una-corda* pedaal- verschuift het hele toetsenbord een beetje naar rechts. Hiermee moesten we rekening gehouden worden, opdat de ankerstaafjes van de elektromagneten van het speelmechanisme niet van de toetsen zouden afglijden. Het indrukken van dit pedaal wanneer toetsen krachtig ingedrukt zijn is niet alleen niet aan te bevelen, het is ook zo goed als onmogelijk. De pedaalmodule die we in 1995 volgens dit ontwerp bouwden, werd dan ook een totale mislukking. De motoren maakten een hels kabaal en dan nog waren ze niet voldoende krachtig. Bovendien was de constructie niet op een deugdelijke en stabiele manier met de pianopedalen te verbinden.

Pas na de afwerking van onze tweede playerpiano, zetten we het werk aan een bruikbaar automatisch pedaal verder. Het middelste pedaal lieten we geheel achterwege omdat er uiteindelijk geen bestaansreden voor is in een automatische piano. De werking ervan kan integraal in de besturing van de toetsen geïntegreerd worden en zelfs het helemaal stil indrukken van de toetsen behoort daarbij tot de mogelijkheden.

Het linker-pedaal lieten we eveneens voor wat het was, vanwege de hier al aangehaalde technische zo-goed-als onmogelijkheid.

Het rechterpedaal daarentegen blijkt wezenlijk voor goed en genuanceerd pianospel. Daarbij is een soepel, responsief en geleidelijk indrukken en lossen van het pedaal van het allergrootste belang. Een beperking die we ons wel hadden gesteld bij de uitwerking van het nieuwe ontwerp, was dat er geen wijzigingen aan de piano zelf mochten worden aangebracht. Het moest volkomen compatibel blijven met de idee achter de Vorsetzer, die op eender welke piano moest kunnen gebruikt worden.

Ter voorbereiding van het ontwerp maten we bij een grote reeks piano's de mechanische eigenschappen van het pedaal op. Lichte pianomechanieken vragen een kracht van 30 Newton, maar op sommige piano's liep die kracht op tot meer dan 60 Newton. Op onze eigen Kawai vleugel, maten we 50 Newton. De krachten werden opgemeten op 25 mm afstand van het uiteinde van het pedaal. Het bruikbare bewegingstraject bleek al evenzeer sterk te verschillen naargelang de piano. Nergens maten we echter een traject groter dan 50 mm. Met deze meetgegevens konden we verder aan de slag om een bruikbare elektromagneet uit te zoeken.

Zo kwamen we uit bij een orgelmagneet van August Laukhuff gespecificeerd voor een kracht van 55 Newton bij 24 V/ 1.41 A. Het is een bijzonder grote en zware elektromagneet, maar absoluut stil in werking en erg duurzaam van constructie. Hoewel ontworpen als een trekmagneet, kan hij ook worden gebruikt als duwmagneet omdat het anker aan beide zijden toegankelijk is gemaakt. Bestuurd met spanningen tussen 11 V en 25 V, kan deze magneet het pianopedaal geleidelijk indrukken. Bekrachtigd met plots geschakelde 24 V evenwel, reageert de magneet veel te traag om muzikaal in deze toepassing bruikbaar te zijn. Om dat gedrag te verbeteren moesten we dan ook gebruik maken van puls-spanningen gelegen tussen 33 V en 66 V, waarmee de magneet heel responsief wordt.

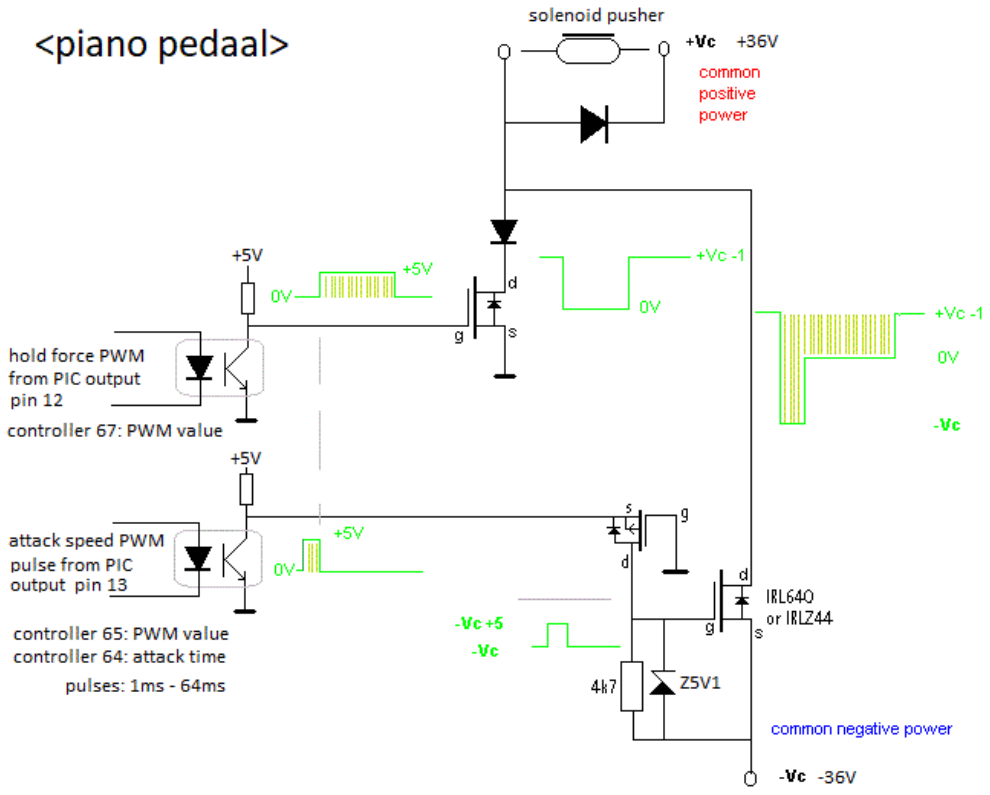
De automatisering van het pedaal noopte ons dan ook tot het implementeren van volgende parameters:

- 1. tijdsduur van de bekrachtigingspuls met overspanning (5 to 64 ms)
- 2. overspanning (5 V tot 66 V), wat te bereiken valt met pulsbreedte modulatie.
- 3. aan-uit controle voor de houdspanning

•4. houdspanning (10 V tot 33 V), ook hier te bereiken met PWM
•5. zacht terugkeren van het pedaal

Al bij al is dat heel wat meer dan wat we geïmplementeerd vinden bij elektronische toetsinstrumenten, waarin het sustain-pedaal niets meer is dan een voetbediende aan/uit schakelaar. De standaard MIDI controller voor het sustain pedaal (#64) ondersteunt dan ook niets anders dan een binaire schakelaar. Een volledige implementatie van een pianopedaal, met inachtname van de strikte MIDI-standaard is dan ook niet mogelijk. Wij gebruiken de controller zo dat het data-byte de snelheid stuurt waarmee het pedaal wordt ingedrukt. De kracht waarmee de magneet duwt, kan ingesteld worden met controller #65. De houdkracht van de magneet tenslotte, met controller #67. De toe te passen waarden voor deze controllers, blijken evenwel heel sterk afhankelijk te zijn van de gebruikte piano. Wanneer de waarden te hoog worden ingesteld, wordt het pedaal lawaaierig, te laag wordt het lui en traag. Om een geleidelijke en gecontroleerde terugkeer van het pedaal -het lossen- te verkrijgen, implementeerden we controller #68. Hiermee kan de los-tijd ingesteld worden van 11 ms tot 1400 ms.

De besturingsschakeling ziet er zo uit:



Een levensgroot probleem waarmee we te maken kregen bij de realisatie van dit ontwerp was dat de microprocessorschakeling die we oorspronkelijk een plaats hadden gegeven in de gelaste pedaalmodule met de zware elektromagneet, was dat de microprocessor om de haverklap crashte. Eens buiten de behuizing geplaatst waren de crashes echter niet reproduceerbaar. We moesten ze dus wel wijten aan de onmiddellijke aanwezigheid van de met PWM aangestuurde elektromagneet. Daarom ontwierpen we de schakeling helemaal opnieuw, maar nu plaatsten we de processor voor het pedaal in het chassis voor de voeding van de playerpiano en maakten we de koppeling met de vermogensmosfets in de pedaalmodule via een viervoudige optokoppelaar. De signaalweg omvat zodoende geen enkele galvanische verbinding met de microprocessorschakeling. Het bleek de

goede oplossing van de problemen te zijn. Tussen voeding en pedaal is nu echter wel een vijfpolig bedraad DIN-kabeltje nodig

De muzikale mogelijkheden van dit pedaal overtreffen potentieel ruim die van zelfs de beste menselijke pianist, maar... het kost onnoemelijk veel tijd om alle gewenste nuances van het pedaalgebruik ook in een MIDI bestand in te brengen. Iemand zou zich ooit eens moeten buigen over de mogelijkheid dit via muzikale kunstmatige intelligentie op te lossen. Eenvoudig is het echter niet, zo niet hadden we dat probleem natuurlijk al lang zelf opgelost...

Technische fiche <pedaal>:

- afmetingen: breedte 350 mm, diepte 300 mm, hoogte 400 mm
- gewicht: 35 kg (10 kg voor de pedaalrobot zelf, 25 kg voor de halters)
- bouwjaar: 2004 / 2016
- bouwkost: 3000 €

Muzikale interpretatieve mogelijkheden en moeilijkheden

We zijn ervan overtuigd dat de player piano een veel hogere gedetailleerdheid van de muzikale interpretatie mogelijk maakt dan enig pianist van vlees en bloed zou aankunnen. Het probleem waarvoor we ons, bij het vastleggen van zo'n interpretatie uitgaand van een partituur of muzikaal concept, geplaatst zien, is dat we elk detail van pianistieke interpretatie ook zullen moeten expliciteren. Zo vergt een legato-spel bv. dan elke toets ingedrukt blijft tot een zekere tijd nadat de volgende toets volledig ingedrukt is. De bepaling van deze 'zekere' tijd vergt een nauwgezette analyse van het pianistieke ambacht. Eveneens moeten we er rekening mee houden, dat de intensiteitswaarden – evenredig met de kracht waarmee de toets wordt ingedrukt - relatief moet worden geïnterpreteerd! Immers, om in snelle pp passages een pp te verkrijgen moeten we de notenwaarden wat inkorten terwijl anderzijds de dynamiek proportioneel wat hoger moet worden genomen. Dit is – analytisch gezien - precies wat ook een pianist, wellicht onbewust, doet wanneer hij loopjes goed poogt te articuleren

Enkele goede voorbeelden:

- Hans ROELS "Sailing the waves of down below" (1995)

Dit indrukwekkend stuk werd geheel vanaf een 'traditionele' partituur in een midi bestand ingebracht (middels het sequencerprogramma Cakewalk) en noot per noot werd de interpretatie bepaald. Een opname is terug te vinden op de aan de playerpiano gewijde CD op het Publiek Domein label van Stichting Logos.

- Conlon NANCARROW "Studies for Player Piano"

Deze studies kunnen gelden als het referentie-repertoire voor de player piano. De partituren werden uitgegeven door 'Soundings' en zijn ter inzage en studie beschikbaar in het archief van Stichting Logos. Opnames gerealiseerd met onze player piano evenals met het ontwerp van Trimpin zijn beschikbaar in het klankarchief. De voor onze playerpiano gebruikte Nancarrow rollen zijn identieke kopijen van de originele Nancarrow rollen, het zijn geen realisaties van de partituren (die door Nancarrow vaak achteraf werden gemaakt en zelden helemaal overeenstemmen met de rollen zoals hij die minutieus aanmaakte). Ze werden gerealiseerd door Trimpin bij Nancarrow zelf, in Mexico. Voor concertuitvoeringen met deze studies kunnen wij instaan. De (vleugel)piano moet telkens door de organisator worden voorzien.

Ook ikzelf heb heel wat gecomponeerd voor onze eigen playerpiano Hierbij enkele titels:

"Jumpy Variations" (1995)

Deze 'moeilijke' variatiecyclus maakt uitsluitend gebruik van een algoritmische bepaling van de interpretatie. Bovendien wordt hier realtime sturing van de agogiek mogelijk gemaakt door het computer *user-interface* al dan niet in combinatie met externe acceleratiesensoren.

"Fortepiano" (1972)

In dit stuk, oorspronkelijk geschreven voor een pianist van vlees en bloed, wordt een doorlopende afwisseling van pp en ff gebruikt in de toetsaanslagen. Aan het eind van het stuk komen enkele noten voor die 'voorbij' het klavier moeten worden gespeeld. Om dit mogelijk te maken werden enkele extra elektromagneten ingezet die binnenin de piano worden aangebracht.

"Fall'95", voor playerpiano en zes instrumenten gedirigeerd door een robot.

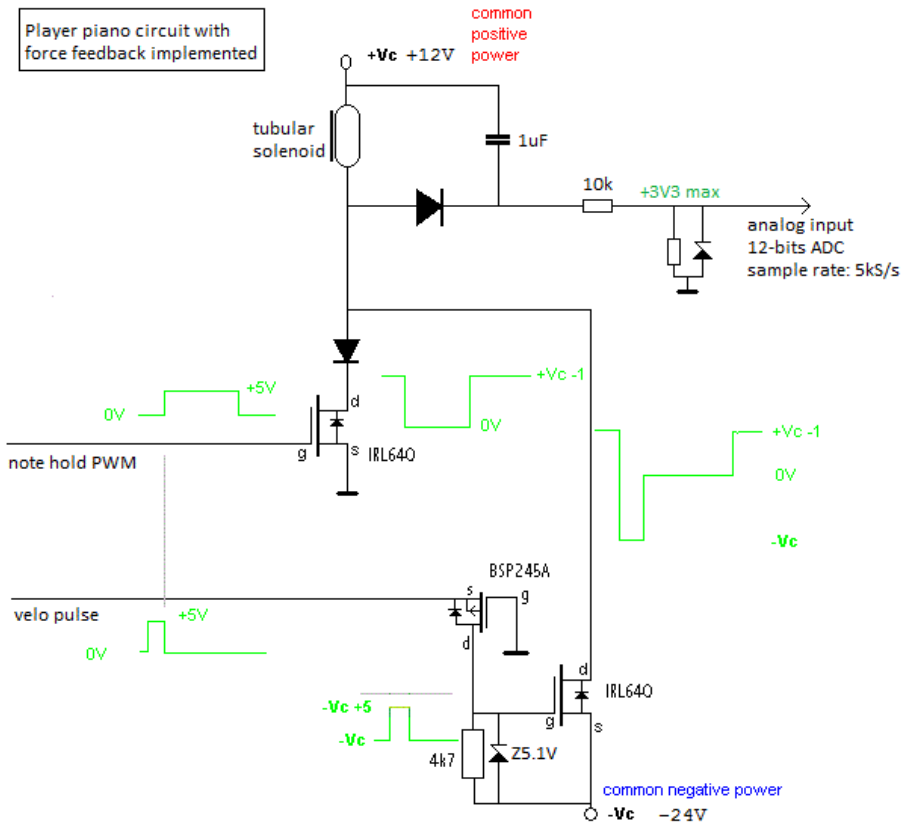
"Mach'96", voor playerpiano en stoommachines

"Fujisan Ni Nobore" (2001), voor playerpiano solo.

Verder zijn er natuurlijk ook eigentijdse stukken van Gyorgy Ligeti (+), Hans Koch, Dary John Mizelle, Klarenz Barlow (+), Mauricio Kagel (+), Tom Johnson (+) , Harisson Birtwistle (+), James Tenney (+), Jonathon Kirk, Peter Ablinger (+) , Dennis Bathory-Kitz...

Verdere perspectieven en mogelijke verbeteringen

Het hier beschreven playerpiano ontwerp werkt behoorlijk bevredigend, wat echter niet wil zeggen dat het niet voor verdere verbeteringen vatbaar zou zijn. Zo ontwierpen we in 2016 een schakeling waarmee het mogelijk zou moeten zijn de aanpassing van de robot aan de piano waarop hij geplaatst wordt te automatiseren. Een menselijke pianist, alvorens een recital te spelen zal ook steeds wat inspelen op het hem ter beschikking gestelde instrument teneinde zich vertrouwd te maken met de touché van het instrument. Om dit mogelijk te maken moeten we een terugkoppeling kunnen realiseren van de aangeslagen toets naar de robot. Een pianist gebruikt daarvoor enerzijds zijn tastzin en motoriek, anderzijds zijn gehoor. Dat laatste stelt naar hardware toe geen enkel probleem, maar is op het vlak van de software – als die in real time moet kunnen werken - al even ingewikkeld als het bouwen van een geloofwaardige android. Het eerste aspect, lijkt ons wel aan te pakken, en nog wel zonder dat we daarvoor gebruik moeten maken van extra sensoren. Het blijkt immers mogelijk de spoelen die we gebruiken om de toetsen te bespelen, zelf als sensor te gebruiken. Immers, de inductiestoot die ze opwekken telkens ze bekrachtigd worden is een functie van de zelfinductie enerzijds, maar ook van de mechanische 'verliezen' anderzijds. Die 'verliezen' nu zijn in hoofdzaak een functie van de geleverde mechanische arbeid. De andere parameters zijn grotendeels constanten of functies van de temperatuur. Wanneer we onmiddellijk na de aanslag van de toets, de spanning en het verloop van de inductiestoot meten, beschikken we over data die relevant zijn voor het touché van het instrument. Op grond van die gegevens kunnen we dan in de firmware terugkoppelen naar de bekrachtigingsparameters van de spoelen. Dit kan helemaal in real time. Een mogelijke schakeling waarmee we al wat experimenten hebben opgezet is:



De inductiestoot die normaal in de diode wordt opgevangen, wordt hier opgeslagen en geïntegreerd in een condensator De spanning over die condensator en het verloop ervan in het kort tijdsinterval na de velocity-puls kunnen we meten door die aan te sluiten op een analoog-digitaal convertor van de gebruikte processor. Voor een verdere uitwerking kunnen we meteen ook de omhullende van het houd signaal bestuurbaar maken, waardoor 'soft release', het loslaten van de toets, geïmplementeerd kan worden. Dit vergt dan wel een heel snelle pulsbreedte modulatie, waarvoor een ander type microprocessor in aanmerking komt dan de 8-bits types die voor de ontwerpen tot nu toe gebruikten. De 16-bit processor ds33EP256MC202 is zeker een geschikte kandidaat, ook al hebben we voor elke drie toetsen een processor nodig, 30 chips dus in totaal. Elke chip heeft immers slechts drie onafhankelijke 16-bit PWM kanalen aan boord. Analoge ingangen met 12-bit resolutie zijn er dan weer voldoende voorhanden. Het grotere geheugen van deze chips maakt meteen ook de implementatie van globale controllers voor dynamiek en staccato/legato mogelijk.

Omdat de ontwikkeling van zo'n derde verbeterde player piano toch weer een hele investering met zich brengt, en omdat we van alle subsidiëring werden afgesneden sinds 2016, moesten we helaas verzaken aan de verdere ontwikkeling en verbetering van onze playerpiano. Ook weer niet het enige onderzoeksproject bij Logos dat daarmee van alle zuurstof werd beroofd en afgesneden.

<Spiro>

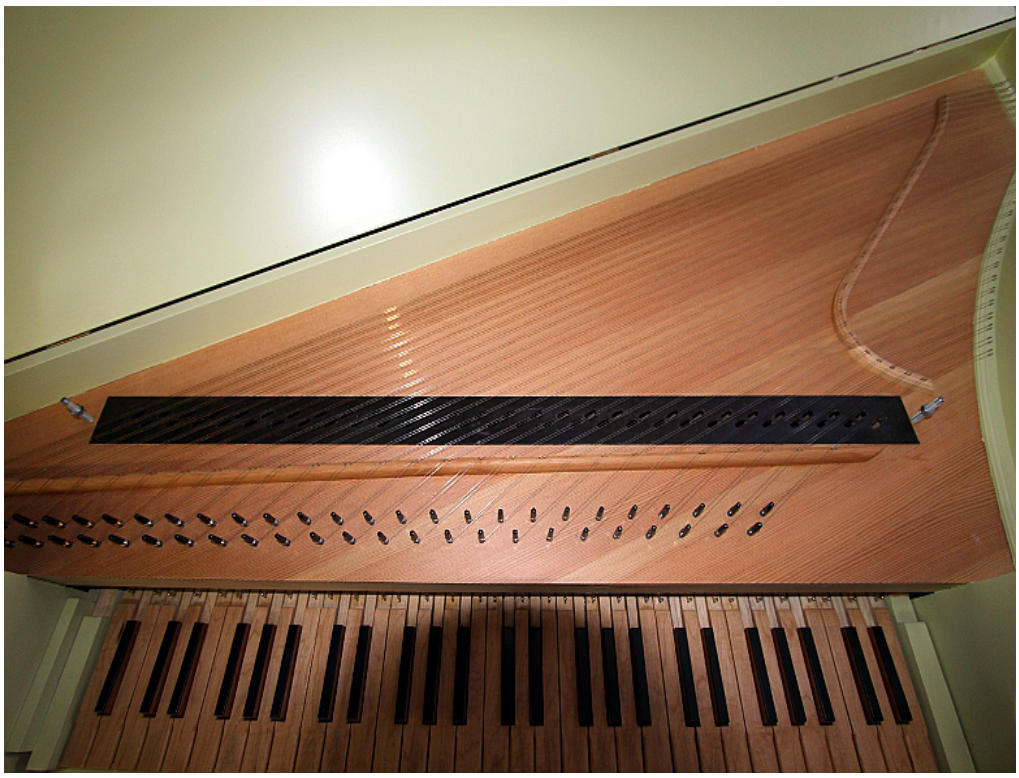
De nood aan een getokkeld snaarinstrument deed zich vooral voelen naar aanleiding van het samenstellen van verschillende concertprogramma's met het robotorkest rond oude muziek. Daarvoor werkten we immers vaak samen met specialisten in dat domein zoals Marcel Ketels, Dirk Moelants, Stefaan Smagghe, Xavier Verhelst, Ludwig Van Gijsegem e.a. Een klavecimbel zelf bouwen was niet echt een optie omdat onze werkplaats nu eenmaal niet goed is uitgerust voor houtbewerking en snaarinstrumentenbouw. Bovendien zou dat ook veel te groot uitvallen voor de ruimte die we in de tetraëderzaal bij Logos nog ter beschikking hadden. Daarom begonnen we uit te kijken naar een spinet. Zo kwamen we na wat zoeken terecht bij Walter Maene (jawel de broer van Chris...) die een spinet zo goed als klaar had. We kochten het en gebruikten het als vertrekbasis voor wat de <Spiro> robot zou gaan worden.



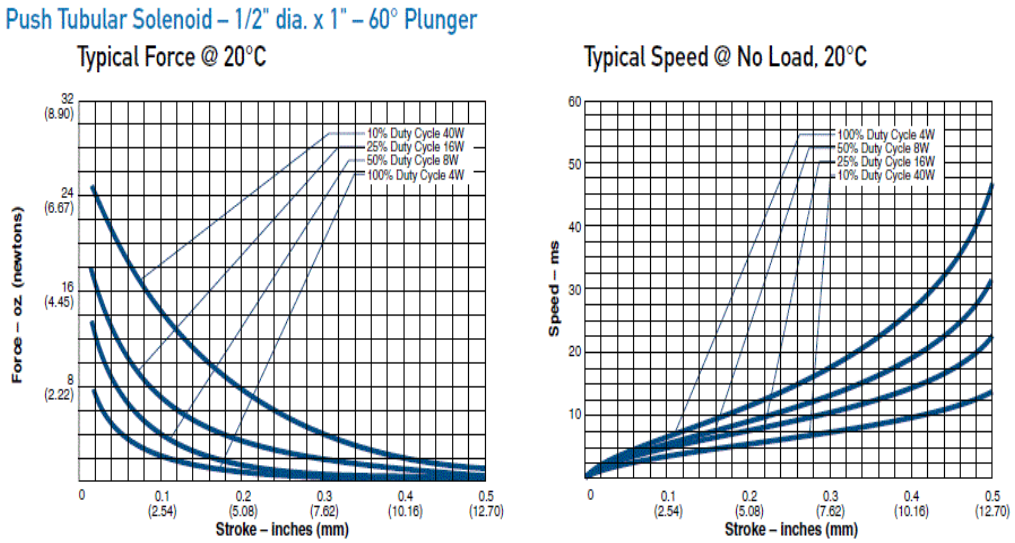
Na het instrument helemaal uit elkaar te hebben gehaald, omdat we eigenlijk de dokjes rechtstreeks omhoog wilden duwen met 56 elektromagneetjes, kwamen we gauw tot het besluit dat die aanpak moeilijk praktisch haalbaar zou zijn: de onderkanten van de dokjes waren immers elk individueel verschillend gesneden om op de toetsen te passen. De verschillen bleken echter veel te groot om in-lijn gemonteerde elektromagneten toepasbaar te maken. Op de foto hieronder is die ongelijkheid duidelijk te zien:



De dokjes in dit instrument zijn in een driehoekig patroon gerangschikt, wat de reden is voor het ongelijk afsnijden van de dokjes aan de onderzijde.

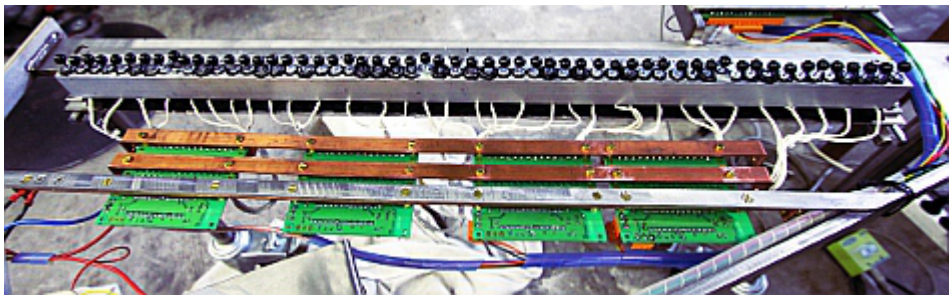


Hoewel dergelijke bouwwijze historisch getrouw is, zijn er toch wel enkele technische en muzikale bezwaren aan verbonden: de kracht nodig om een toets in te drukken en een snaar te tokkelen is hierdoor immers erg ongelijk. De even genummerde toetsen vergen een iets hogere kracht dan de oneven toetsen. Uiteraard hadden we een tussen-mechanisme kunnen ontwerpen en bouwen waarmee het in-lijn omhoogduwen van de dokjes mogelijk zou zijn, maar de tekeningen die we daarvoor uitwerkten begonnen algauw een sterkte gelijkenis te vertonen met... een toetsenbord. En zo besloten we in het uiteindelijk ontwerp dan toch maar het oorspronkelijke toetsenbord te behouden. Daaraan was een verder voordeel verbonden dat we bij onze eerste ontwerpen – helemaal ten onrechte - over het hoofd hadden gezien, namelijk dat voor het stemmen, een klavier tamelijk onontbeerlijk is... En, veelvuldig stemmen is nu eenmaal de tragiek verbonden aan alle snaarinstrumenten.
We hebben dan maar de kracht opgemeten nodig om de toetsen in te drukken en die bleek ca. 0.8 Newton groot te zijn. Het bewegingstraject voor het anker van de elektromagneten nodig om de dokjes omhoog te laten gaan bleek iets kleiner dan 10 mm. Op grond daarvan kwam de toepassing van Ledex buisvormige solenoiden in de 0.5" x 1" vormfactor in zicht. Hier zijn de belangrijkste technische specificaties voor deze elektromagneten:



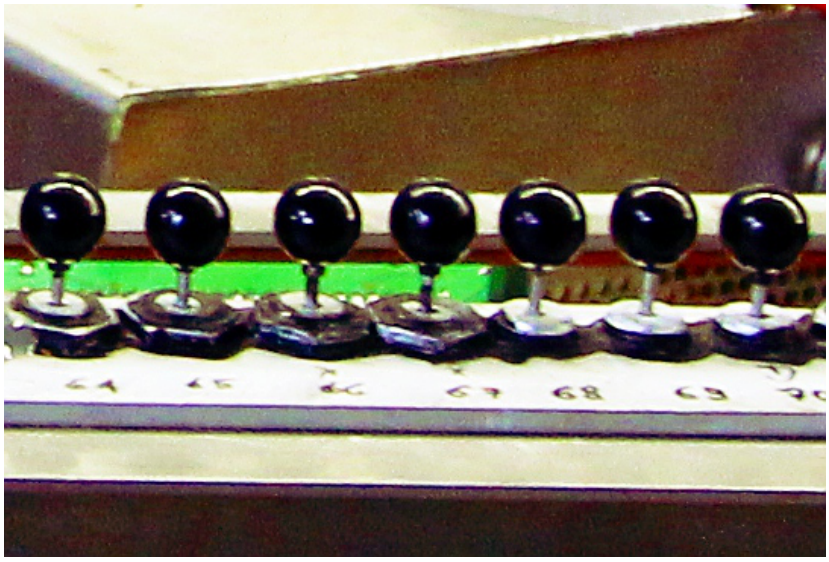
Uit hun catalogus kozen we het type 195203-234. De werkspanning bij 100% duty cycle is voor dit type 12.2 V. Wanneer de duty cycle tot 10% wordt beperkt kan een spanning van 39V worden aangelegd. Voor een klavecimbel is het wezenlijk dat de dokjes snel en met een voldoende kracht omhoog bewogen worden. Eens de dokjes omhoog zijn – en de snaar dus blijft klinken - mag de kracht tot een minimum terug gebracht worden. Aanslaggevoeligheid in klavecimbels en eraan verwante instrumenten is bepaald minimaal maar omwille van het bovenstaande, bleek voor het bouwen van een automaat, de implementatie van een puls-houd systeem met aanslaggevoeligheid toch essentieel.

Voor de elektromagneten kozen we types met een anker eindigend in een hoek van 60 graden. Daardoor konden we bijgeluiden veroorzaakt door het vlak aanslaan van de ankers alvast verkleinen, weliswaar een beetje ten kosten van de eindkracht van de bekrachtigde spoel.



De berekening van de voedingsvereisten verliep erg rechttoe-rechtaan: om alle 56 toetsen tegelijkertijd ingedrukt te houden zouden we een 12 V voeding nodig hebben met een stroomcapaciteit van 18 A. Wanneer we de velocity pulsen betrekken uit een 24V voeding (waarbij dus bij de aanslag een spanning van 36 V over de spoeltjes komt te staan) en we houden er rekening mee dat het MIDI-protocol maakt dat noot-aan commando's niet sneller dan per 1ms kunnen komen terwijl we de maximale pulsduur in de firmware op 10 ms bepaalden, dan kunnen we afleiden dat hooguit 10 pulsen tegelijkertijd actief kunnen zijn. Op grond hiervan kan de stroomcapaciteit van de 24 V voeding vastgelegd worden op 6.5 A.

Een bijzondere zorg bij de bouw was wel het vermijden van allerlei mechanische bijgeluiden. Hierdoor ingegeven was dan ook het gebruik van kunststof balletjes gemonteerd op de ankers van de elektromagneten om de toetsen omhoog te duwen

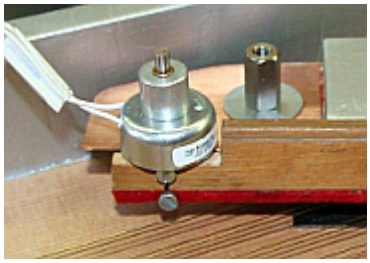


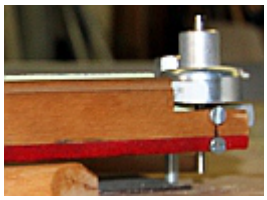


Het hout van de toetsen bekleedden we met een dun laagje vilt terwijl het geluid bij het terugvallen van de ankers dan weer gedempt werd met een heel dikke laag vilt onderaan. De afstand tussen de lat waarop de ankers terugvallen en de spoeldrager is bepalend voor de grootte van het bewegingstraject van de ankers en moet zorgvuldig afgeregeld worden in coördinatie met de opzoektabellen voor de duur van de velocity pulsen in de firmware van de microcontrollers.

De elektronische schakelingen die we hier toepasten omvatten geen enkele vernieuwing tegenover wat we ontwikkelden voor de playerpiano, het kwarttoonsorgel <Qt>, de <Bomi> robot en nog vele andere. Voor de <Spiro> toetsen gebruikten we vier gedrukte schakelingen, elk PCB staat in voor de besturing van 14 toetsen. Voor de bespreking ervan verwijzen we dan ook naar de commentaren ter zake op de betreffende pagina's. Een vijfde schakeling omvat de afhandeling van de MIDI commando's, enkele lichteffecten en de besturing van het luitregister

Dit luitregister bestaat uit een houten lat bekleed met vilt die middels twee kleine 'soft-shift' magneten met regelbare kracht tegen de snaren kan worden gedrukt. We monteerden deze lat aan de kant van de stemsleutels en de dokjes.



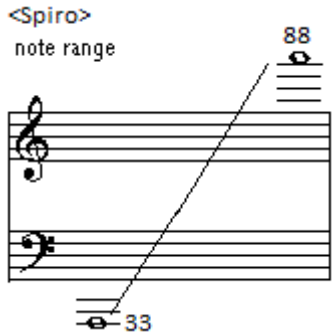


Ofschoon de repetitiesnelheid van de noten niet beperkt is door de automatisering zelf, moeten gebruikers er terdege mee rekening houden dat hoge repetitiesnelheden op alle clavecimbelachtige instrumenten kunnen leiden tot het afbreken van de plectra. Bij manuele bespeling wordt de repetitiesnelheid vanzelf wat beperkt door de beperkingen van menselijke vingers, maar bij een automaat zoals deze zijn die intrinsieke beperkingen veel minder sterk aanwezig. De automaat kan heel wat meer aan wat dit betreft, dan een mens.

De implementatie van aanslaggevoeligheid in een instrument zoals dit, kan op het eerste gezicht

wellicht overdreven lijken, gezien de uiterst beperkte mogelijkheden van een dergelijk instrument op dit vlak. Niettemin bleek het toch een vereiste te zijn om het mechanisme goed te kunnen afregelen. De vereiste krachten zijn immers van toets tot toets wat verschillend, een verschil dat we door toepassing van opzoekingstabellen in de firmware op een elegante wijze wisten op te lossen. Het resterend probleem hiermee is natuurlijk dat in het ideale geval bij elke nieuwe afregeling en/of vernieuwing van de plectra, nieuwe opzoektabellen zouden moeten aangemaakt en geprogrammeerd worden. Hoewel we dit voorzagen bij het ontwerpen van de firmware en daarom ook de opzoektabellen via midi sys-ex commando's programmeerbaar maakten voor gebruikers, moeten we toegeven dat in de praktijk geen van de vele gebruikers van het robot orkest die mogelijkheid ook maar bij enig instrument ooit heeft benut...

Midi mapping en implementatie:



Spiro luistert naar MIDI kanaal 4.

De luitregister dempers worden bestuurd met de MIDI-controllers 28 en 29.

Medewerkers aan de bouw van de <Spiro> robot:

- Kristof Lauwers, Walter Maene, Johannes Taelman, Xavier Verhelst, Lara Van Wynsberghe
-

Technische gegevens:

- maten: 1600 x 800 x 600 mm
- gewicht: 45 kg
- elektrisch: 250W (piek), 230V
- Stemming: 440 Hz, gelijkzwevende stemming
- bouwjaar: 2011
- bouwkost: 16.500 €

<Sper>

In 2021 verkregen we uit een erfenis een tweede spinet, gebouwd door het Duitse Sperrhake uit Passau. Ook dit instrument begonnen we in 2022 om te bouwen, maar in tegenstelling tot wat we deden voor <Spiro>, besloten we hier een Vorsetzer te bouwen zoals we ook al deze voor onze playerpiano's hadden ontworpen.

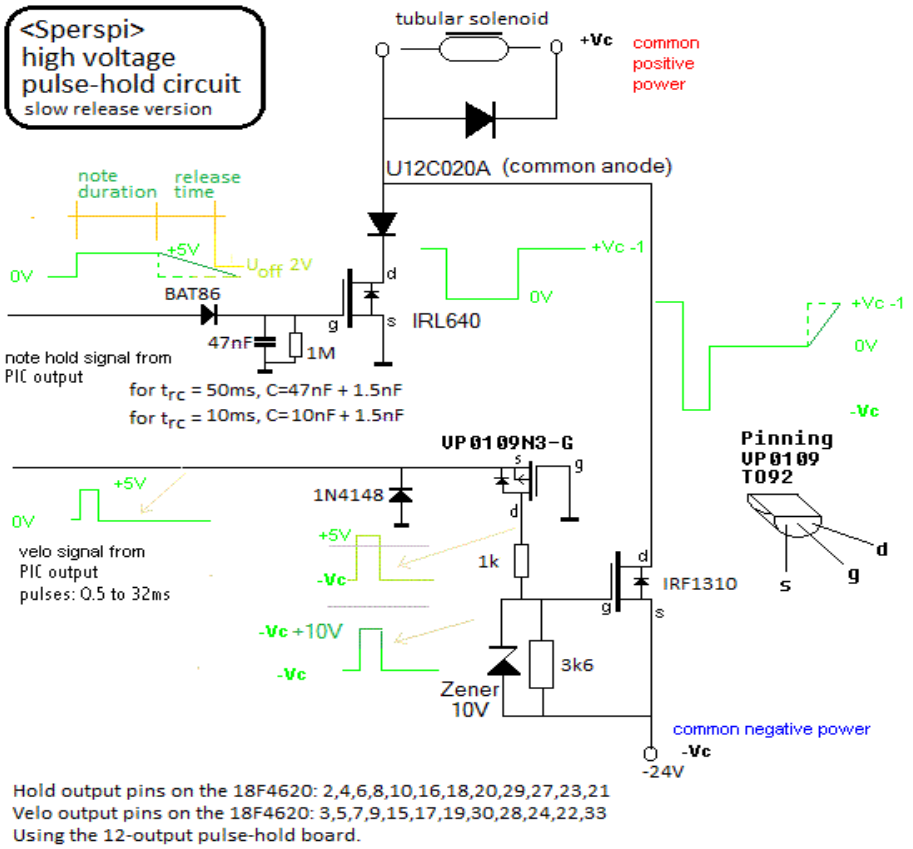
Uit de bouw en de evaluatie van <Spiro> konden we lessen trekken ten bate van dit nieuwe bouwprojekt. Ook leerden we veel over het verschil tussen 'historisch' getrouwe instrumenten en 20e eeuwse nieuwbouwontwerpen. Dit Sperrhake spinet stamt uit de tweede helft van de 20e eeuw. Het bleek heel wat degelijker, betrouwbaarder dan de historische kopie die aan <Spiro> ten grondlag lag. Ook bleek het superieur aan het Italiaans 'historisch' klavecimbel (een Zuckermann instrument) dat we gebruikten voor de <Cemba> robot. De dokjes werken heel wat beter en de ongelijkheden tussen de diatonische en de kromatische toetsen werden in dit Sperrhake instrument grotendeels weggewerkt. Verbeter-punten op het vlak van automatisering zelf waren:

- verhoging van de responssnelheid van de elektromagneten
- verbetering van de repetitiesnelheid
- betere afregelmogelijkheden
- zachtere terugkeer van de toetsen: implementatie van soft release.

Puur technisch gesproken, bestaat de beste oplossing erin de dokjes van onderuit met de elektromagneten omhoog te duwen op de plaats waar de toetsen dan nu doen. Daarvoor moet het hele keyboard blijvend weggenomen worden. Maar, zonder toetsenbord wordt het wel moeilijk tot omslachtig om het spinet te stemmen, want om dat dan te doen zouden we telkenmale een midi-keyboard ofwel een komputer met midi-interface moeten aansluiten. Snel wat bijstemmen is dan niet meer aan de orde. Ook de alternatieve mogelijkheid om de dokjes aan hun bovenkant met elektromagneten omhoog te trekken bestudeerden we grondig. Bezwaren daartegen zijn enerzijds dat het schroefje waarmee de demper op het dokje wordt afgeregeld dan niet meer bereikbaar is. In het gat voor die regelschroef moeten we immers draad tappen waarmee het dokje aan het anker van de elektromagneet wordt bevestigd. Een tweede bezwaar is dat het erg moeilijk wordt om het mechanisme te verwijderen en terug te plaatsen. De ankers zitten immers vast op de dokjes en de spoelen moeten dan met zijn allen (50) tegelijk en in register over de ankers worden geschoven... voorwaar geen sinecure.

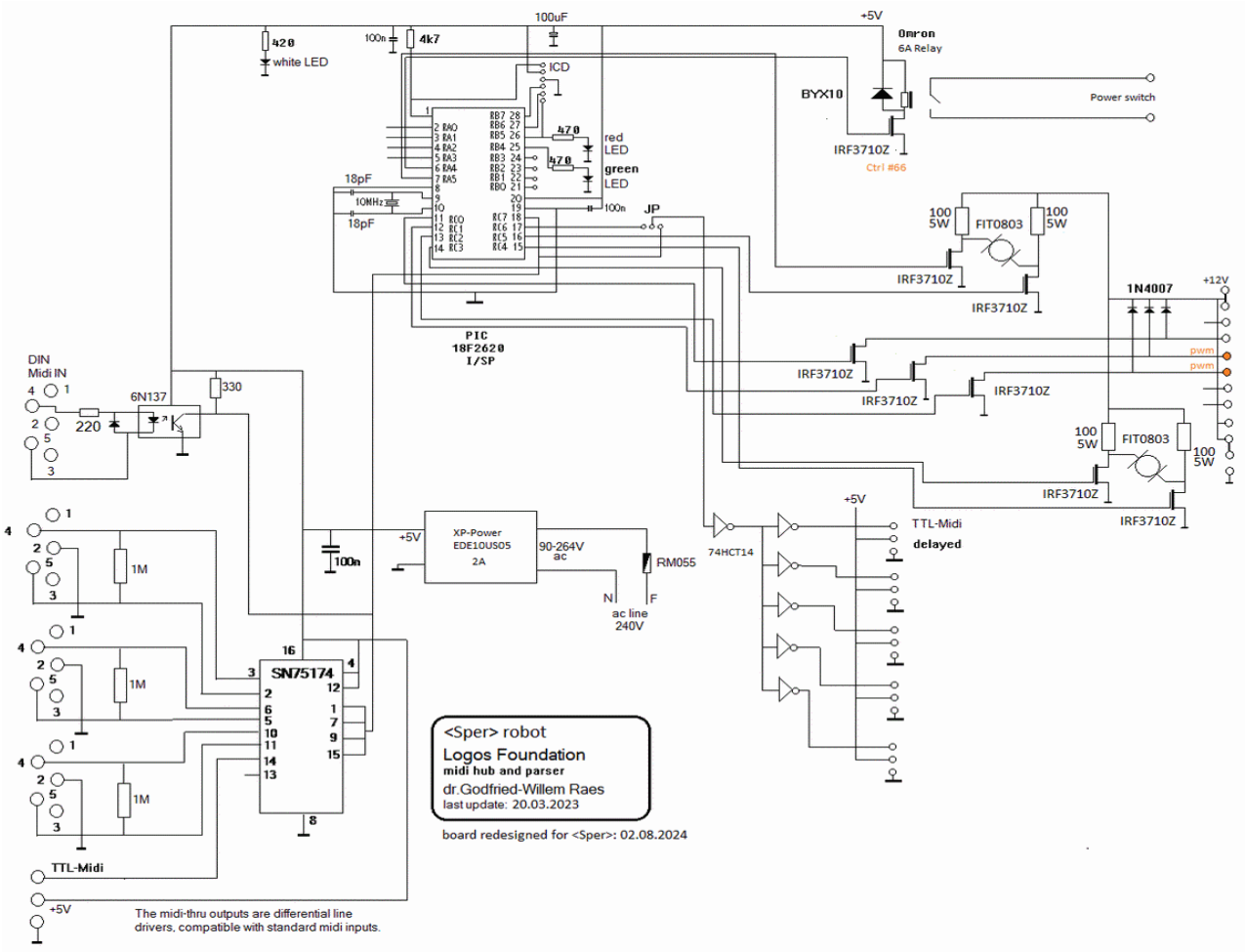
Bij het vervangen van de plectra bleek evenwel algauw dat de kunststof waaruit de dokjes zijn gemaakt, door veroudering helemaal bros was geworden. We gingen dan te rade bij Chris Vandekerckhove die overging tot de bouw van een hele reeks nieuwe dokjes in hout. Sperrhake is al lang geleden over de kop gegaan en nieuwe dokjes bleken helemaal nergens nog verkrijgbaar te zijn. De besnaring -staalsnaren- behielden we zoals ze was, mede met het oog op het openhouden van de mogelijkheid tot latere elektrifikatie met elektromagnetische transducers.

Na lang beraad en heel wat proeven beslisten we om voor de automatisering uiteindelijk toch voor een Vorsetzer-ontwerp te gaan. Om het probleem van de lawaaierige terugval van de spoelkernen en de toetsen op te lossen, brachten we enkele wijzigingen aan in het schakelschema van ons beproefd ontwerp voor aanslaggevoelige toetsinstrumenten. De mosfet die instaat voor het ingedrukt houden van de toets wordt op zijn gate voorzien van een kondensator en een 1 MOhm ontlaadweerstand. De gate wordt geschakeld via een BAT86 Schottky diode. Hierdoor verloopt het lossen van de kern bij het uitschakelen van de Mosfet geleidelijk. Opgelet moet nu wel worden voor de dissipatie, want traag schakelen gaat uiteraard gepaard met vermogensverlies over de Mosfet die dan immers in zijn lineair gebied moet werken. Gezien de erg beperkte duur van die conditie, bleek het in de praktijk geen bezwaar op te leveren.



Hold output pins on the 18F4620: 2,4,6,8,10,16,18,20,29,27,23,21
Velo output pins on the 18F4620: 3,5,7,9,15,17,19,30,28,24,22,33
Using the 12-output pulse-hold board.

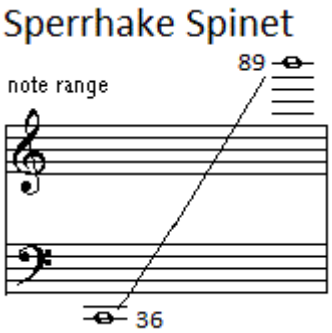
De automatisering van het luitregister – gesplitst tussen bas en discant in dit geval- noopte ons ertoe een niet standaard oplossing te verzinnen. Immers op dit instrument wordt de viltstrook in rust weg van de snaren getild door een dikke messing staaf die als registerknop voor de plank die het toetsenbord afdekt dient. Na veel experimenteren opteerden we hier voor twee lineaire actuators. Hiermee konden we vermijden elektromagneten te moeten toepassen die in rust bekrachtigd zouden moeten zijn en blijven. De besturing ervan implementeerden we op het hub board waardoor de uiteindelijke schakeling hier er zo kwam uit te zien:



De poorten RA5 en RC5 besturen de baskant van het luitregister, terwijl de discant zijde bestuurd wordt door de poorten RC3 en RC4. De logica van de besturing moet ervoor instaan dat elk poort-koppel exclusief – or (XOR) geschakeld wordt voor het bedienen van de registers. In rust moet de logische toestand van elk koppel laag zijn. Deze registers kunnen bestuurd worden met de controllers 27 en 28. Het traject waarover de demper op en neer kan lopen, is instelbaar via vier midi-controllers. Het maximale bewegingstraject neemt ca. 1.2 seconden in beslag zodat snel aan en uitschakelen van de registers onmogelijk is. De geleidelijk naar luitregister omschakelen is mits wat uitzoeken met de controllers, heel goed mogelijk. Omdat een goede afregeling noodzakelijk is voor de goede werking van de registers, monteerden we de lineaire actuatoren verschuifbaar. Uiteraard voorzagen we ook in enkele stelschroeven waarmee ze ook in de beste positie vastzetbaar zijn.

Opgelet moet worden om wanneer de dokkenlijst moet weggenomen worden -bvb. om een plectrum te vervangen of om het dokje af te regelen- steeds eerst de haakjes waarmee de demper wordt bewogen los te maken.

Midi mapping en implementatie:



Midi channel: 4

De luitregisters worden bestuurd met de controllers 28 en 29.

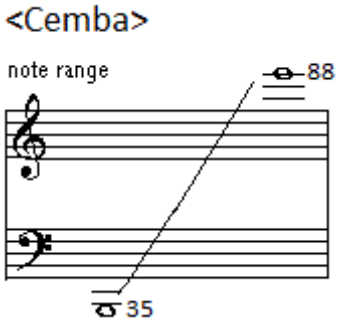
Technische eigenschappen:

- afmetingen:
- gewicht: 45 kg (geschat)
- opgenomen vermogen: 230V - 150 W max.
- Stemming: 440Hz
- Bouwkost: 9.500 Euro.

Medewerkers aan de bouw van deze robot: Kristof Lauwers, Mattias Parent, Chris Taerwe, Hans Roels, Chris Vandekerckhove

<Cemba>

In 2024 kregen we een opdracht voor de bouw van een automatisch klavecimbel. Hiervoor gingen we uit van een instrument in Italiaanse stijl, helemaal gerestaureerd en in orde gebracht door Chris Vandekerckhove. Enig opzoekwerk leerde ons dat het klavecimbel een Wolfgang Zuckermann (1922 - 2018) kit moest zijn te dateren van rond 1985 en wellicht gebouwd en afgewerkt in Berlijn. De bedieningsknoppen van de beide registers en die voor het luitregister bevinden zich aan de linkerkant. De dokjes zijn gemaakt uit kunststof evenals de plectra zelf (Delrin). Ze zijn aan de onderkant voorzien van een messing staafje met schroefdraad waarmee de afstand tussen snaar en plectrum kan worden afgeregeld. Het instrument heeft twee 8' registers en een luit. De tessituur is:



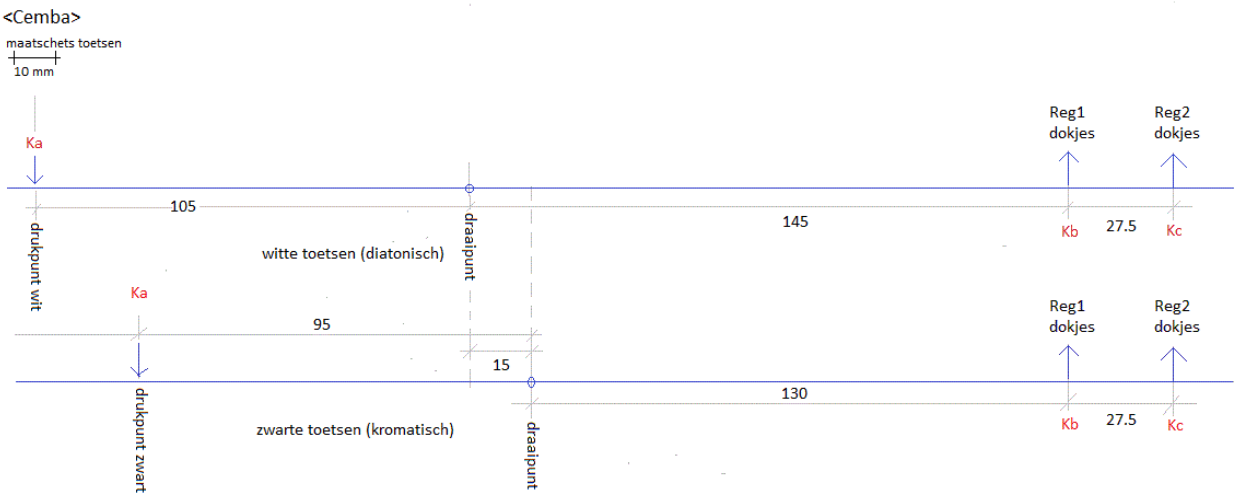
In de oorspronkelijke versie was een verkort octaaf geïmplementeerd, maar gezien de bedoelingen van de opdrachtgevers – gericht op nieuwe muziek – wijzigden we dit zo dat de tessituur chromatisch doorloopt zonder 'gaten' in de bas. Net zoals voor <Sper> opteerden we ook hier voor een Vorsetzer.

Om wat meer ruimte voor het mechanisme te scheppen, verwijderden we de verticale afdekplank -mogen we dat een boenselplank noemen?- bij het einde van de speelkant der toetsen. Deze heeft geen enkele muzikale noch akoestische functie. De Vorsetzer werd opgebouwd met twee lengtes 30 x 30 x 3 inox profiel voorzien van 11.5 mm gaten (voor 7/16 - 20 tpi, schroefdraad) voor de elektromagneten. De twee profielen werden vastgelast op de 10 mm dikke zijkanten met een hoogteverschil overeenkomend met het hoogteverschil tussen de witte en de zwarte toetsen (11 tot 12 mm). Het laswerk voerden we uit met manuele TIG techniek.

De elektromagneten hebben een DC weerstand van 27 Ohm. Bij 12 V (de nominale spanning voor 100% duty cycle bedrijf) trekken ze 444 mA, een vermogen van 5.5 W. Indien we clusters van 54 noten mogelijk willen maken, moet de 12V voeding gedimensioneerd worden voor 24 A, een 300 Watt voeding zou dan nodig zijn. Aangezien de opgemeten houdkracht van de elektromagneten bij een spanning van 9 V (de stroom is dan 333mA) door meting bepaald kon worden op 2 Newton – ruim voldoende om de toets naar beneden te houden - kunnen we bij toepassing van een kleine 9 V 100 W voeding van XP-Power, nog steeds 33 noten polyfonie ondersteunen. Meer dan driemaal zoveel dan wat een mens zou kunnen. Voor de berekening van de voeding voor de velocity pulsen moeten we vertrekken van het gegeven dat een noot-aan commando (3 bytes) in MIDI 1 ms vergt. Wanneer de velo pulsen 10 ms duren, kunnen we dus maximaal 10 pulsen tegelijk van stroom te voorzien hebben. Bij een pulsspanning van 15 V is de stroom gedurende de puls 12 V + 15 V / 27 Ohm = 1 A. Een voeding met een stroom van 10 A moet derhalve volstaan. Bij 15V pulsspanning en 9V houdspanning wordt dit 24 V / 27 Ohm = 888mA.

De bouw leverde wel wat moeilijkheden van ontwerptechnische aard op. Aanvankelijk hadden we alle spiraalvormige terugkeerveertjes op de elektromagneten helemaal verwijderd. Uit proeven was

namelijk gebleken dat dit de repetitiesnelheid zeer ten goede kwam. Maar... omdat het nochtans erg kleine gewicht van de ankers zo permanent op de toetsen kwam te liggen, kwam de demping van heel wat snaren bij het loslaten van de toets in het gedrang. De voor die demping nodige kracht bleek tot overmaat van ramp, heel erg verschillend te zijn van toets tot toets en volkomen afhankelijk van de afregeling van de dokjes. Dit noopte ons ertoe alle veertjes opnieuw aan te brengen. Het daardoor geintroduceerde probleem was nu, dat het hele mechanisme erg luidruchtig werd omdat bij het lossen van de toetsen, de ankers vrij konden 'dansen' op het aanraakvlak van de toetsen. Om dat rammelende euvel op te lossen construeerden we een dubbele met dik vilt beklede demperlat, waarmee de veerresonanties grotendeels konden worden gesmoord. Een volgend probleem waarmee we te maken kregen was de ongelijkheid van de nodige aanslagsterkte voor de zwarte versus de witte toetsen. De verschillende lengte van de hefbomen, die de toetsen uiteindelijk toch zijn, maakt dat er een krachtverschil is van enkele procenten. Dit losten we op door compenserende velocities uit te sturen voor de chromatische en de diatonische tonen. Een verder inherent probleem was dat de aanslagkracht ook een functie is van de snaarlengte. Voor de lage – en dus lange - snaren is alweer iets meer kracht nodig. Tenslotte kregen we ook nog af te rekenen met het – op zich simpel in te zien - verschil in aanslagsterkte in functie van de registers. Immers wanneer een toets twee snaren moet tokkelen, is een dubbel zo grote kracht nodig dan bij een enkele snaar. Uiteindelijk slaagden we erin al deze parameters in de firmware in te bouwen waardoor die met recht en reden slim kan worden genoemd. Een laatste, maar eigenlijk voor ons zo goed als onoplosbaar probleem heeft te maken met onderlinge verschillen in kracht naargelang de lengte van de plectra in de dokjes. Onoplosbaar, omdat dit geheel afhangt van de nauwkeurigheid waarmee de speler of instrumentenbouwer die plectra snijdt. Voor wie het allemaal wil narekenen, hier een gedetaileerde maatschets voor dit klavecimbel:



Toepassing van de wet der hefbomen:

voor de witte toetsen hebben we:

$\frac{Ka}{Kb}=\frac{145}{105}=1.38$ $\frac{Ka}{Kc}=\frac{172.5}{105}=1.64$

voor de zwarte toetsen:

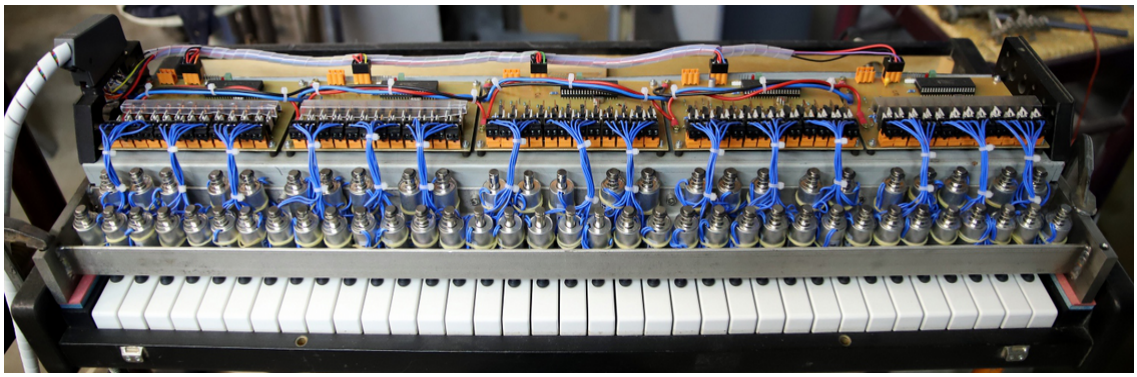
$\frac{Ka}{Kb}=\frac{130}{95}=1.36$ $\frac{Ka}{Kc}=\frac{157.5}{95}=1.67$

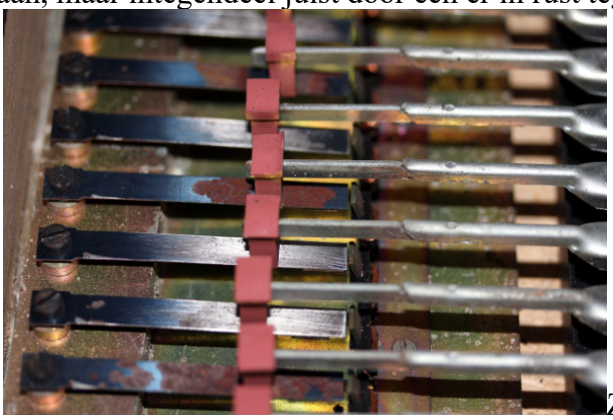
Na veel wikken en wegen besloten we – na voltooing van de eigenlijke Vorsetzer - toch ook een poging te wagen om ook de registers te automatiseren. Een vrij hachelijke onderneming omdat de manier waarop die registers werken allesbehalve een toonbeeld is van goed mechanisch design. De idee erachter is de hele dokkenlijst met plectra voor het stel snaren voor dat register zowat 2 mm te verschuiven, zo dat de plectra de snaren niet meer kunnen raken. Probleem is echter dat die dokjes tijdens dat verschuiven aan de onderkant rusten op het uiteinde van de toetsen. Na verschuiven van

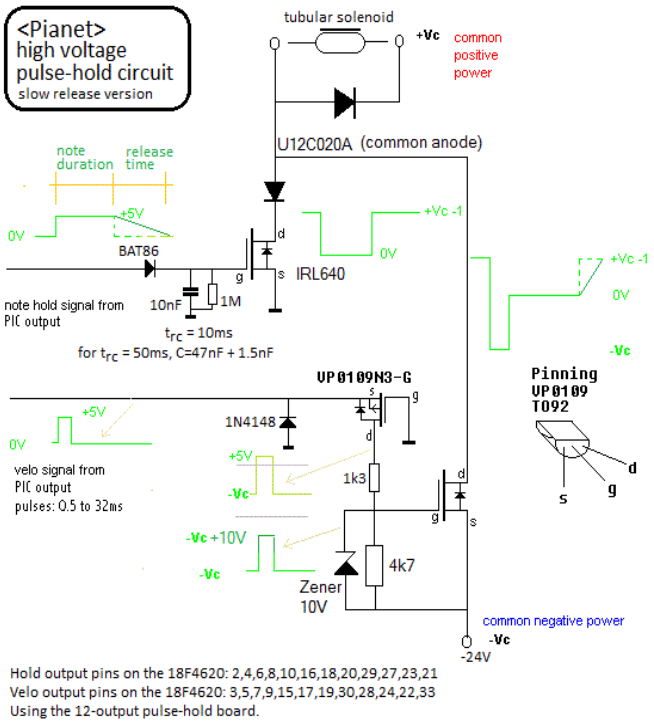
de dokkenlijst staan alle dokjes dan ook een beetje schuin. Die schuinstand wordt opgeheven zodra de toetsen de betreffende dokjes omhoog geduwd hebben. Het resultaat is, dat die registers pas na wat inregelen en inspelen redelijk betrouwbaar blijken te werken. Automatisering van een dergelijk mechanisme is om die reden een hachelijke onderneming omdat we niet kunnen garanderen dat het altijd helemaal betrouwbaar zal werken. Voor die automatisering dienden zich in grote lijnen drie verschillende mogelijkheden aan:
1.- gebruik van twee stappenmotoren met schroefdraadstang waarmee de dokkenlijsten heel precies kunnen worden verschoven en gepositioneerd. Probleem met deze aanpak is dat de twee stappenmotoren vrij groot en zwaar zijn en dat we daarom telkens slechts een motor per kant van het instrument zouden kunnen monteren. Verder probleem is dat het bewegen van de registers altijd gepaard zal gaan met glijdende piepjes en geluidjes veroorzaakt door de motoren. Een voordeel zou evenwel kunnen zijn dat tussenliggende posities mogelijk kunnen zijn en dus een zekere mate van regeling van de aanslagsterkte. Experimenten die we uitvoerder met zo'n mechanisme brachten evenwel aan het licht dat het principe weliswaar goed werkt, maar dat de onderlinge verschillen in sterkte tussen de verschillende tonen heel erg groot worden.
2.- gebruik van twee bidirectionele elektromagneten. Gezien de nodige kracht, moeten we in dit geval vrij grote magneten gebruiken die we dan – zoals in bovenstaand geval met de motoren- elk langs een andere kant van het instrument moeten monteren. De breedte van het instrument zou dan met minstens 40 cm vergroot worden. Het risico op beschadiging tijdens transport wordt daardoor bijzonder groot. Een bijkomend probleem is dat we niet direct een leverancier of fabrikant weten die dergelijke elektromagneten met een traject van maximaal 2 a 3 mm in zijn leverprogramma heeft.
3.- gebruik van vier trekmagneten. Hier kunnen we volstaan met 6.5 Watt / 100% duty cycle types, die we met een verdubbelde spanning in pulsbedrijf kunnen aanwenden. Het vermogen (en dus ook de geleverde kracht) wordt dan opgedreven tot de viervoudige waarde, 24 Watt dus, bij duty cycle 25%. Dit kan, omdat eens de dokkenlijst verschoven is, de magneten verder onbekrachtigd kunnen blijven. Ook in dit geval zijn we verplicht aan elke zijde van het instrument twee dergelijke magneten te plaatsen. De uitsteeksels die dit voor gevolg heeft kunnen echter worden beperkt tot 50 mm.
We besloten de derde mogelijkheid uit te werken en zowel in hard- als firmware te implementeren. Extra processoren waren daar niet voor nodig maar wel een extra voedingsmodule voor de registermagneten: 26V - 90W, er kunnen immers maximaal twee magneten tegelijkertijd bekrachtigd worden.

Gebruikersaanwijzingen en instrukties:
Voor het wegnemen van de vorsetzer evenals voor het verwijderen van de slede met de voedingen en de besturingscomputer, moet de stroom volledig uitgeschakeld worden. Ook voor het wegnemen van de demperlat -nodig bij het stemmen van het instrument- raden we sterk aan de stroom volledig uit te schakelen.
Voor transport raden we aan het instrument steeds horizontaal te transporteren en het op een zachte ondergrond te leggen. Een groot stuk schuimrubber is heel erg geschikt.

<Pianet>

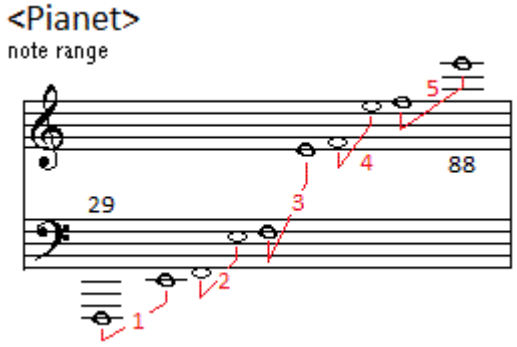


Dit automatiseringsproject ging van start op vraag van Alain Van Zeveren. Het maakt dan ook geen vast deel uit van ons grote project rond de bouw en ontwikkeling van het robotorkest bij Stichting Logos. De belangrijkste reden waarom voor dit project geen vaste plaats is voorbehouden binnen het robotorkest, heeft te maken met het werkingsprincipe van dit instrument dat, hoewel het geluid veroorzaakt wordt door vrij trillende stalen tongen, immers onmogelijk kan klinken zonder toepassing van een externe versterker en dito luidspreker. De afwezigheid van luidsprekers voor versterking is nu eenmaal een paradigma achter het Logos robotorkest.
Het instrument zelf is wel heel bijzonder, omdat hier de klank niet tot stand komt door de tongen aan te slaan, maar integendeel juist door een er in rust tegenaan duwende demper van weg te trekken.  Zonder geluidsversterking zou zo'n werkingsprincipe onbruikbaar zijn, maar alleen omdat het hier om een elektromagnetisch instrument gaat, kon dat lukken. Een probleem daarmee is wel dat bij het terugvallen van de demper op de tong, nogal wat bijgeluiden ontstaan. Voor de automatisering besloten we voor dit <Pianet> toch een Vorsetzer te bouwen omdat experimenten met een rechtstreekse plaatsing van elektromagneten voor de beweging van de dempers, grote inductief gegenereerde ploffen veroorzaakten vanuit de in de onmiddellijke nabijheid geplaatste opneemspoeltjes. Om de bijgeluiden bij het lossen van de toetsen wat te temperen, brachten we een kleine wijziging aan in de elektronische schakeling voor het puls-houd mechanisme: we implementeerden een zacht lossen ('soft release') van de toets door een BAT86 diode, een 10 nF condensator en een ontlaadweerstand toe te voegen in het houd-gedeelte van de schakeling:



In 2024 beslisten we ook <Pianet> van een wielstel met kruisdissel te voorzien en bij die gelegenheid ontwierpen we meteen ook een ingebouwde versterkerschakeling met eigen luidsprekers. Hierdoor konden we ook een volume controller implementeren. Origineel in dit ontwerp is het gebruik van twee JBL luidsprekers rug aan rug geplaatst en gemonteerd op het wielstel. Door nu snel te pannen tussen de ene en de andere speakers, konden we een heel erg overtuigend klinkende leslie realiseren.

Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 0

Key pressure: gebruikt voor automatische nootherhalingen. Elke toets kan met een individuele repetitiesnelheid geprogrammeerd worden.
Controllers:

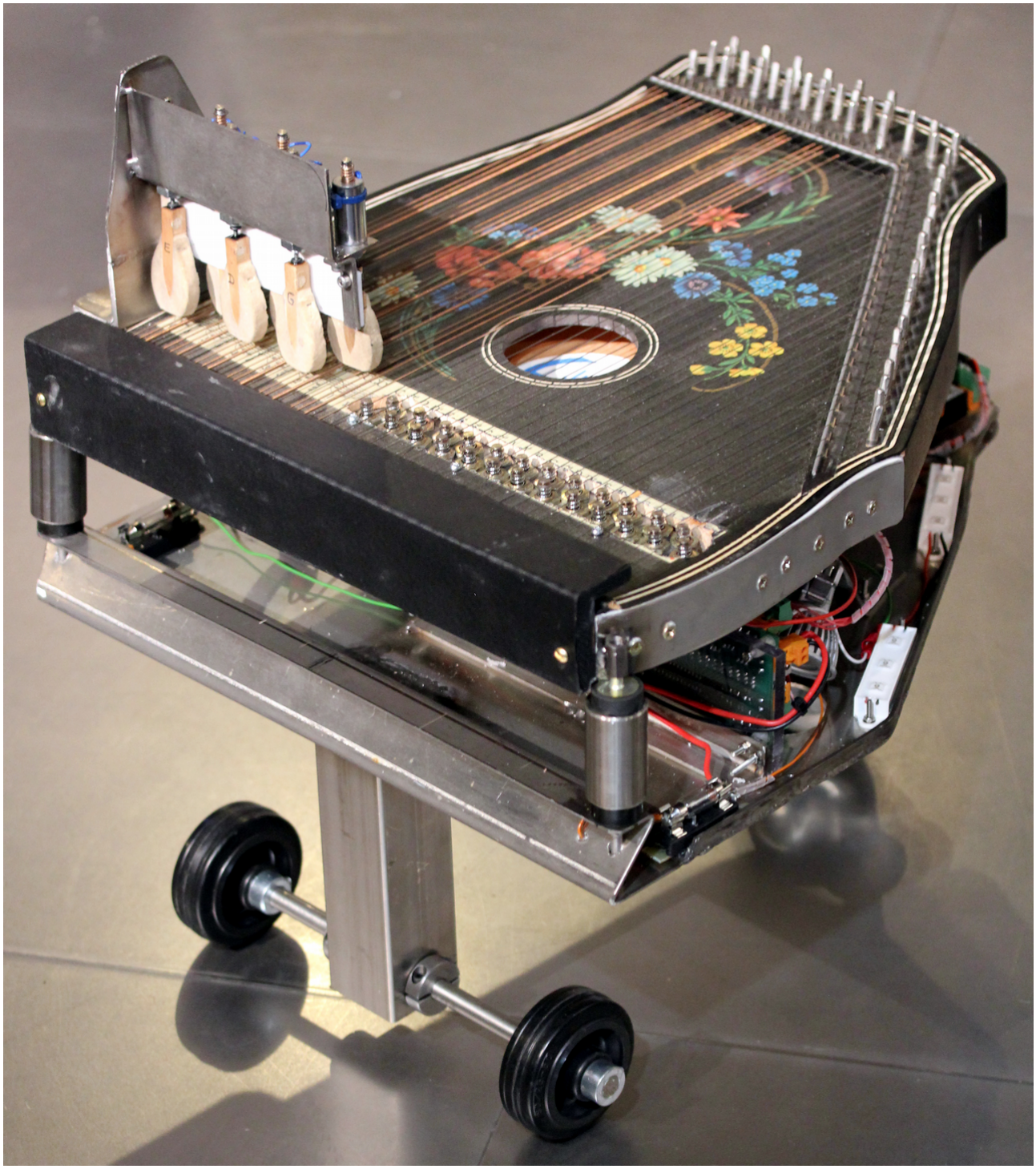
- #30: Sturing van de globale repetitiesnelheid.
- #66: aan/uit schakelaar.
- #123: schakelt alle noten uit.

Technische gegevens:

•maten: 850 mm x 45 mm x 220 mm + besturingsmodule.
•gewicht: 45 kg

•elektrisch: 230V - 350 VA (piek)
•Polyfonie: >=6 noten (beperkt door de capaciteit van de voeding).
•Bouwjaar: 2022-2024
•Waarde: 15.000 €

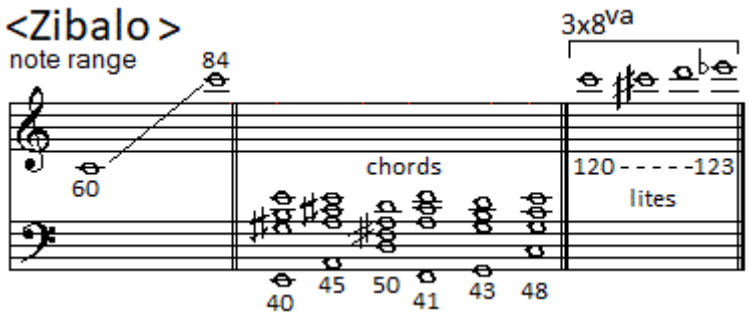
<Zibalo>



De zither waarvan we uitgingen bij de bouw van dit kleine robotje, hadden we reeds in ons bezit van bij het ontstaan van de toenmalige werkgroep voor avant-garde muziek, 'Logos'. We kregen het geschonken van een oude tante die het had gekocht bij Cnudde, een in de jaren zestig erg bekende zaak voor piano's, partituren, blokfluiten en andere kleine instrumenten. Het is een instrument van Oost-Duitse makelij voorzien van 25 'melodie' snaren en zes vier-snarige akkoorden. Al sedert het begin van het nieuwe millennium overwogen we – en ondernamen we ook praktische stappen- dit instrument te automatiseren, maar tot nu toe waren al onze pogingen om een deugdelijk tokkelmechanisme zelf te ontwerpen en te bouwen allesbehalve succesvol. In 2025 namen we de

koe bij de horens en besloten we de zaak helemaal anders aan te pakken. Hierbij dachten we eerder aan een cimbalon of hakkebord, waarbij de snaren aangeklopt worden eerder dan getokkeld. Voor het mechanisme daarvan kwamen kleine elektromagneetjes voorzien van een geveerd anker in aanmerking. Het zijn trekmagneetjes en daarvan hadden we nog een grote voorraad. De klank ontstaat hier na de bekrachtiging van het anker door de magneet: de magneet trekt het anker naar het vaste en gesloten uiteinde van de spoel, en pas wanneer deze stroomloos wordt, springt het anker onder veerkracht uit de magneet en komt zo in botsing met de snaar. Het mechanisme is erg geschikt voor het implementeren van een genuanceerde aanslag. Dit was overigens ook al gebleken bij het ontwerp van onze <Bello> robot,. waar dat principe ook werd toegepast. De aan zo'n mechanisme inherente vertraging blijkt ik de praktijk helemaal geen probleem te vormen omdat de duur van de bekrachtigingspulsen van de elektromagneten nooit groter wordt dan ca. 3 ms, wat voor ons oor niet waarneembaar is.
Voor de automatisering van de akkoorden daarentegen, gebruikten we wat grotere cilindrische elektromagneten die we voorzagen van met vilt beklede pianohamers. Elke hamer slaat hier vier snaren tegelijk aan. Om dat te bereiken voorzagen we die pianohamers van een afgeplat kontaktvlak. Dat kon eenvoudig gebeuren met een niet al te fijne metaalvijl.

Midi implementatie en mapping:



<Zibalo> luistert naar MIDI-commando's op kanaal 4.
Note-off commando's zijn alleen nodig wanneer automatische nootherhalingen via kanaal-aftertouch ingeschakeld zijn.
Note-on commando's met implementatie van velocity, waarbij opgemerkt moet worden dat het sowieso een erg zacht klinkend instrumentje is. De akkoorden worden gespeeld op grond van hun grondnoot.
Controllers:
#66: power on/off, met reset van de controllers en nootherhalingen
#69: automatische lichteffecten aan of uit
#123: all notes off, reset nootherhalingen
Channel Aftertouch: geïmplementeerd om nootherhalingen te besturen. De parameter stelt de nootherhalingsfrekwentie in. (4 Hz tot 30 Hz, in snelheid beperkt door de waarde van het velocity byte). Nootherhalingen zijn alleen van toepassing voor de melodiesnaren (60 tot 84) en dus niet voor de akkoorden.
Technische gegevens:

- maten: b = 450 mm, d = 540 mm, h = 500 mm. Gewicht: 12 kg
- elektrisch: 230V - 200 VA (piek), normaal < 20 VA
- Polyfonie: onbeperkt
- Bouwjaar: 2025
- Waarde: 4.500 €

Hoofdstuk 2
Orgels

Met orgelbouw was ik reeds intensief in contact gekomen in de lange periode (1977-1980) dat ik me bezighield met bouw- en ontwerp van het Pneumafoonproject, gegroeid uit een opdracht van de Duitse stad Essen. De bouw van tongwerken, labiaalpijpen, windgeleidingssystemen, windladen en zo meer was daarbij aan de orde van de dag en ik verwierf er na heel wat experimenteerwerk dan ook snel een zekere vaardigheid in en bouwde via de beschikbare technische literatuur toch ook een zekere theoretische kennis op over het onderwerp. Ook mijn regelmatig bezoek aan ateliers van bevriende orgelbouwers was een ongeëvenaarde bron van weetjes en vaardigheden.

Pneumafoon werd uiteindelijk een groot succes, en tot op vandaag behoort het nog steeds tot de internationaal meest gevraagde Logos projecten. Ditzelfde Pneumafoonproject – het omgekeerde orgel in menig opzicht - had mede voor gevolg dat ik in alsmaar ruimere kringen bekend werd als instrumentenbouwer. Voor de enen weliswaar zoiets als een Vlaamse uitgave van Guust Flater, maar gelukkig waren er toch ook heel wat oprecht positieve reacties. Zo ook kwam het dat ik op een goeie dag een telefoontje kreeg van wijlen Piet Servaes, ouderling in de Gentse protestantse gemeenschap met de vraag of ik iets kon beginnen met het oude pijporgel dat ze nog hadden staan in hun protestantse kerk aan de Brabantdam. Mijn aanvankelijke reactie was er een van laaiend enthousiasme maar, nauwelijks lag de hoorn weer op de haak en was een praktische afspraak gemaakt, of ik stond oog in oog met enkele even uitzichtloze als nakende problemen: zo'n orgel, da's niet niks. Waar blijf ik er in hemelsnaam mee? Waar ga ik dat nou weer opstapelen? De problemen met het toch wel aanzienlijk volume van de Pneumafoon waren nog maar net redelijk goed opgelost (onder meer door de verhuis van Logos vanuit de Posteernestraat naar de Kongostraat in Gent) en daar diende zich alweer zo'n mastodont aan...

Toch belde ik de afspraak niet af. Ik trok op de afgesproken dag naar de bewuste kerk. Voor een ware orgelbouwer zou het beslist een infernale ervaring zijn geweest: het dak was ooit eens van de kerk gewaaid en door de vele jaren die verlopen waren tussen het lek en de dichting ervan, was het pijpwerk in een lamentabele staat geraakt. De drie grote windladen konden zelfs met een voorhamer niet meer tot schuiven worden bewogen en zelfs van de speeltafel was door het vocht alle ivoor van de toetsen opgekruld en losgekomen. Alleen het pedaal, beschermd gebleven door zitbank en klavieren en bovendien gemaakt uit hoogkwalitatief eikenhout was in een redelijke en zelfs herstelbare staat. Kortom een ware ravage. Wat had ik me nu weer op de hals gejaagd...

Meteen begreep ik ook waarom de orgelcommissie van de Vlaamse Gemeenschap, het ingediende restauratiedossier voor dit instrument had afgeketst, zoals men me heel bedroefd wist te vertellen. Gelukkig bleef er toch nog wel iets van over: ijverige gelovigen hadden ter beperking van de schade na het wegwaaien van het dak, heel wat van de tinnen pijpen uit de windladen genomen en netjes – soort per soort - op stapeltjes geklasseerd en opgestapeld... Maar de lood/tin legering waaruit pijpwerk nu eenmaal wordt vervaardigd is erg week. Daardoor had het gewicht van de bovenste lagen pijpen na verloop van jaren, de onderste pijpen zo goed als helemaal platgedrukt. Ook die waren dus nog slechts voor hersmelting geschikt. De tongwerken echter, door de zwaardere bouw en de dikte van het loden blok waarin de tongen steeds geklemd zitten, bleken – afgezien van de grotere klankbekers - nog het minst gehavend.

Enfin, toch maar een vrachtwagen gehuurd en met man en macht aan de verhuis begonnen. Een zonder meer smerig karwei, want doordat in de kerk met kachels werd gestookt, was alles bedekt geraakt met de dikke laag roet. De bouwer – of wellicht een latere hersteller - had bovendien het

weinig briljante idee gehad de houten pijpen in te smeren met een menie-achtig soort verf, waaruit na jaren het bindmiddel geheel leek te zijn verdwenen zodat de kleverige zwarte laag roet eigenlijk nog slechts een dikke tweede laag ijzeroxide en giftig loodwit in poedervorm verborg.

De kerk in de Brabantdam bleef opgeruimd achter en nadien triomfeerde er nog slechts een zielloos elektronisch onding. De Logos gebouwen daarentegen waren volgestouwd met windladen en pijpwerk. De windladen werden uiteindelijk alleen gebruikt om de oorspronkelijke dispositie van het orgel af te leiden en op grond daarvan aan het klasseren van het pijpwerk te kunnen beginnen. Nadien sloeg ik ze helemaal uiteen en gebruikte de vele planken voor het maken van rekjes voor elektronische onderdelen in mijn elektronisch laboratorium...
Het onder het eigen gewicht verpletterde trompetregister vond nog het eerst een praktische aanwending: ik gebruikte het voor het straatanimatieproject 'Orgelmars', waarbij de spelers met voetpompen worden geschoeid en zo de op de rug gedragen pijpen tot klinken brengen. De overige pijpen vonden in 1999 een bestemming in de <Trump> robot, waarover verder meer. Ook het voetpomporgel, 'Stapstrument', bij Logos gebouwd in 2019, gaat helemaal terug op het ontwerp van 'Orgelmars' en maakt ten dele gebruik van overgebleven houten pijpen met diezelfde oorsprong. Vele van de resterende pijpen kenden in de daaropvolgende jaren een vredig en min of meer decoratief bestaan, verspreid over het huis en het atelier. Volgens de inventaris die ik opgemaakt had, moest de oorspronkelijke dispositie van het orgel er minimaal ongeveer zo hebben uitgezien:

- Octavin 2"
- Flute 4"
- Montre 4"
- Prestant 4"
- Bourdon 8"
- Salicional 8"
- Flûte Harmonique 8"
- Flûte Traversiere 8"
- Voix Humaine 8"
- Trompette 8"
- Bourdon 16"

Over oorspronkelijke bouwer was en is mij niets bekend. De datering, op grond van bouw, dispositie en materiaalgebruik situeer ik eind 18e begin 19e eeuw. Dit kan allicht wel exact in de archieven worden nagetrokken.

Pas toen ik het virus van de automatisering van akoestische instrumenten weer grondig te pakken had, en als gevolg daarvan uitgaande van een Trimpin ontwerp, o.m. de piano-robot bouwde, zag ik weer enig perspectief in mijn verzameling pijpwerk. Vooral het idee - mede beïnvloed door mijn ervaringen met de bouw van een automatische saxofoon (de <AutoSax>) - om voor een automatisch orgel verder te gaan dan wat in traditionele orgelontwerpen wordt gedaan trok me aan: in normale pijporgels worden de pijpen slechts in of uitgeschakeld. Ook registers kunnen slechts aan- of uit-zijn. Overgangen worden nooit gebruikt. Nochtans kunnen de pijpen onder invloed van een gemoduleerde luchtstroom heel wat meer en rijker geschakeerde geluiden produceren, iets wat de ervaring met de Pneumafoon overigens ten overvloede had bewezen. Het geautomatiseerd orgel waarvan ik zo stilaan ging dromen, diende dan ook zoiets als een aanslaggevoeligheid te krijgen. Een klavier mocht er niet aan te pas komen. Alles kon immers veel beter rechtstreeks vanuit de computer worden gestuurd. De kaarten en rollen waarmee vroegere muziekautomaten en orchestrions werden geprogrammeerd, beschouwden we als deel van een voltooid verleden. Bovendien betekende de toepassing van computersturing ook de mogelijkheid om elke pijp als een individuele geluidsbron te behandelen en dus niet perse in register-groepen. Ik kon me meteen een muziek voorstellen waarin elke noot een andere klankkleur zou kunnen

verkrijgen... Bovendien kon, mits de zaak volledig modulair en mobiel op te bouwen, ook met werkelijke ruimtelijkheid worden geëxperimenteerd. Immers net zoals bij elektroakoestische concerten met spatialisatie, wordt het mogelijk diverse pijpenverzamelingen ('registers') met hun elektronische sturingen en windvoorzieningen, gespreid over de concertruimte op te stellen. De ruimtelijkheid wordt op die wijze reëel geïmplementeerd en niet virtueel zoals dat het geval is bij gebruik van luidsprekers.

Kortom, vanuit dit perspectief ging ik in 1996 aan het ontwerpen. De besturingscomputer vormde niet het grootste probleem. Daarin hadden we reeds een ruime ervaring opgedaan, niet in het minst door de realisatie van het 'Hex' project, een integraal computergestuurd miniatuur elektroakoestisch orkest. Bovendien kon voor een deel van de hardware in de oerversie gebruik worden gemaakt van de toen door Pavo op de markt gebrachte bouwpakketten voor midi-sturing enzomeer. Voor de praktische bouw van het pneumatische gedeelte waren echter nog heel wat moeilijkheden van technologische aard te overwinnen.

Kant en klare elektrisch stuurbare en snelwerkende ventielen met grote doorlaat bleken in de industriële handel erg moeilijk te verkrijgen. Het type waaraan we voor onze toepassing nood hadden, met name een volstrekt geruisloos, snel en toch gradueel te openen ventiel – dan nog liefst met een conische diafragmaregeling - bleek alleen in mijn mooiste dromen te bestaan. Dan maar in de duizenden bladzijden catalogi die we intussen hadden verzameld de minst onbruikbare types uitgezocht. Tot overmaat van ramp waren die dan nog tergend duur geprijsd en liet ook de levering vele maanden op zich wachten. 'Ons' type moest nog worden gemaakt. We moesten er bovendien minstens 120 van afnemen...

Een goede 100.000 fr. lichter (thans 2.500€) , trokken we – februari 1996 - met enkele exemplaren van het kleinood ons labo in. En ja, na enkele van die dingen grondig gedemonteerd te hebben bleek toch iets van onze droom – mits heel wat eigen ombouwwerk - realiseerbaar. Het tikkende bijgeluid kon worden gedempt met vilten of neopreen ringetjes, terwijl ook een gradueel openen van de ventielen wel haalbaar was, mits we onze eigen veertjes maar wilden wikkelen en de nodige voorzieningen troffen op het vlak van de elektronische besturing... Na lang zoeken in zowat alle 'praktische' winkels die er in Gent te vinden zijn, wist Moniek Darge inderdaad de nodige en ideale vilten kussentjes te vinden: 10 mm doorsnede en 0.5 mm dikte. Vilt bleek beter te werken dan het nochtans stillere neopreen, omwille van de elasticiteit van dit laatste materiaal, waardoor de ankers neiging hadden om te oscilleren bij heel snelle schakeltempi.

Enkele proefexemplaren werden klaargemaakt en vervolgens werd ook de elektronische sturing ontworpen. Dat was minder eenvoudig dan het op het eerste zicht moge lijken. Immers het regeltraject beperkte zich tot een heel klein stroombereik en was bovendien door de sterke hysteresis van de weekijzeren ankers, asymmetrisch: het aan-traject bevond zich in de curve op een volkomen andere plek dat het bruikbare uit-traject. Voor wie het heel precies wil weten: voor 24 V DC spoelen, lag de minimale aantrekspanning op 13.4V, terwijl de uitschakeling pas werd bereikt bij een spanning van 2.8 V. Sturing van de ventielopening in opengaande zin kon in het traject 13.4 V tot 15.8 V, terwijl in dichtgaande zin, het traject liep van 3.7 V tot 2.8 V. Deze waarden gelden voor het ongemodificeerde M&M ventiel met typenummer C249DBL-24 Vdc met een doorlaat van 4 mm, gemeten zonder luchtdruk op in- of uitlaat. Na onze modificaties (de viltkussentjes en de anders gedimensioneerde terugslagveertjes in de ankers) werden deze spanningen zo'n 20% hoger. De asymmetrie bleef evenwel behouden.

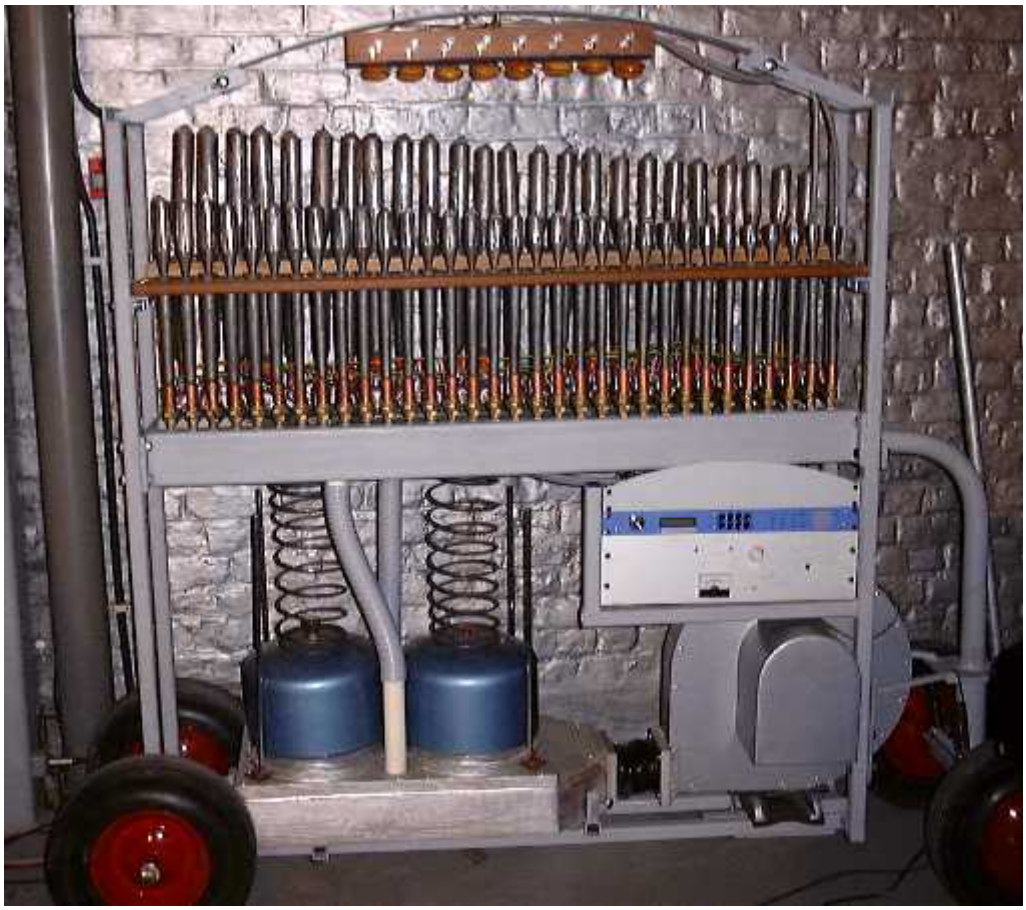
Het technische probleem waarmee we hier te maken kregen leek op het eerste gezicht wel wat op dat van de bouw van onze player piano. Dat bleek een grote vergissing: bij een piano wordt de aanslagsterkte volledig en uitsluitend bepaald door de sterkte van de ene impuls waarmee de toets wordt ingedrukt. Bij een orgel, wanneer we dit ten minste met een moduleerbare luchtdruk willen sturen, schuilt deze expressiemogelijkheid uitsluitend en alleen in de vorm van het luchtstroomverloop gedurende de gehele tijd dat de betreffende pijp dient te klinken. Een simpel feit dat elke bespeler van een blaasinstrument allicht evident zal overkomen, maar dat voor

akoestische 'toets'-instrumenten (met uitzondering van het klavichord) hoogst ongewoon is.

Automatische tongwerken:

- <Vox Humanola>
- <Trump>
- <Krum>

<Vox Humanola>



<Vox Humanola> is de oudste module van wat ons geautomatiseerd modulair orgel zou moeten gaan worden. De bouw begon in 1996 met de eerste speelklare versie (zie foto) maar de automaat werd pas in 2005 helemaal voltooid, waarbij de mogelijkheden gevoelig uitgebreid werden. Zo werd bij de laatste upgrade in de maand juni 2005, de elektronica geheel herzien en werd eveneens het aantal castagnetten uitgebreid tot 15. Ook werden wat visuele elementen toegevoegd. . De castagnetten module kan sedertdien ook uit <Vox Humanola> worden losgemaakt en als afzonderlijke automaat gebruikt en bestuurd worden (<Casta>).

<Vox Humanola> was het eerste orgel register waarvoor we zelf een automatisering ontwikkelden. De pijpen, de oorspronkelijke 'Voix Humaine', een tongwerk over 5 octaven uitgevoerd als 8-voet, waren afkomstig van het hoger vermelde orgel in de protestantse kerk aan de Brabantdam. Naar oude Gentse gewoonte, waren de registerbenamingen uitsluitend in het Frans op het orgel aangebracht... Wellicht ook niet toevallig dat we als uitgangspunt uitgerekend dat register uitkozen waarvoor binnen de toenmalige 'authentieke' (door pseudo-barok opvattingen gedomineerde...) orgelwereld een vaak redelijke afkeer bestond. Een module opgebouwd uit twee afzonderlijke windladen werd voor deze pijpen gebouwd, een eerste voor het onderste bereik van twee octaven (24 pijpen), een tweede voor de overige 32 pijpen. Experimenten tijdens de bouw en ontwikkeling van deze module wezen uit dat velocity sturing voor tongwerken, geen goede resultaten oplevert, al voegden we toch twee afzonderlijke tremulanten toe. Wanneer een sterke overdruk wordt gebruikt kunnen de pijpen weliswaar de gekste geluiden voortbrengen, wat erg leuk is... maar de stemming gaat dan geheel verloren. Daarom beslisten we voor deze module, de implementatie van een velocity sturing en dus aanslaggevoeligheid geheel te laten vervallen en te vervangen door een globale druksturing via regeling van de druk in de beide windladen. De module werd opgebouwd

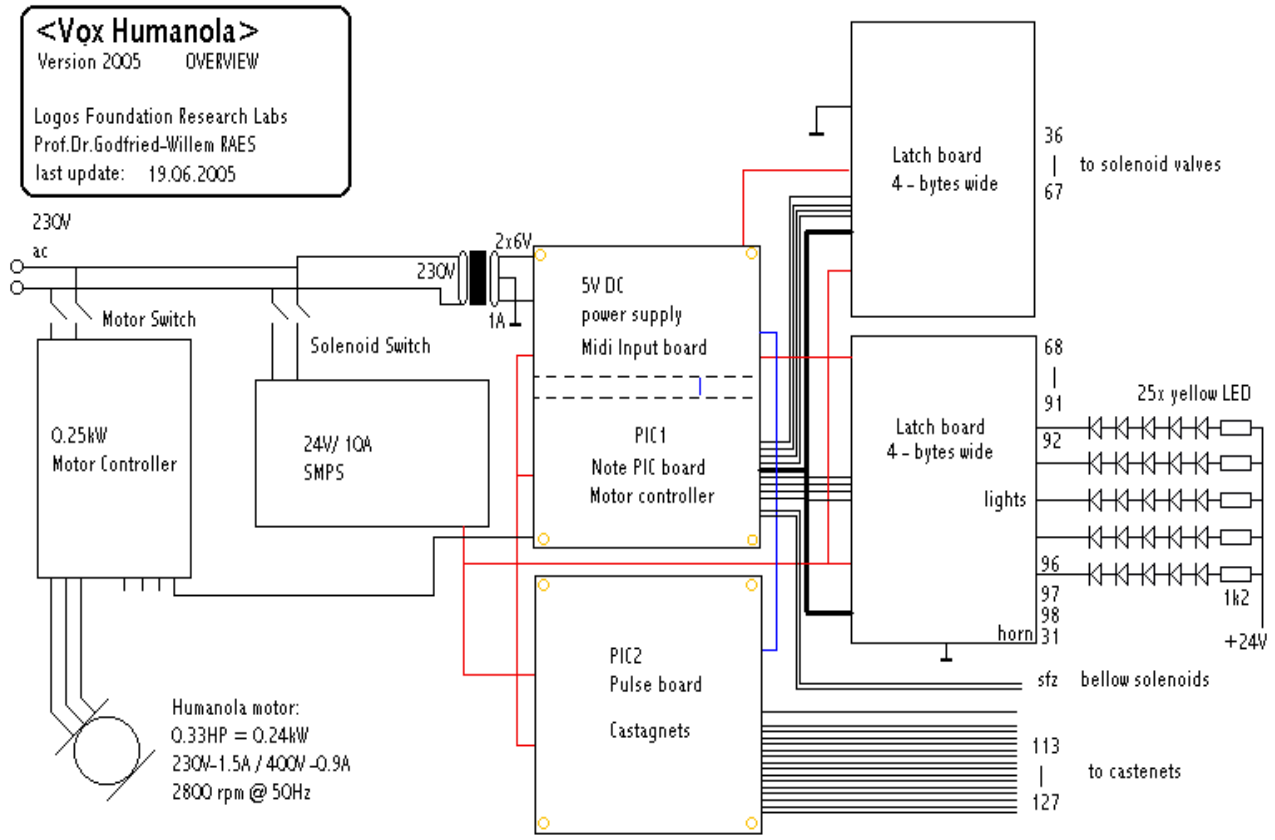
als een gelast stalen rek, voorzien van stevige grote wielen, met twee rijen pijpen. Een volkomen zelfstandig geheel, inclusief voedingen, windvoorziening en twee besturingscomputers gebaseerd op 8-bit Microchip PIC controllers. Als extra, overigens in overeenstemming met een traditie in de orgelbouw die teruggaat op de 18e eeuw, voorzagen we in een heuse tremulant, weliswaar met een beperkt drukreguleringsbereik. Deze wordt gestuurd door de software in een van beide PIC controllers die de sfz magneten besturen en die via de beide balgen voor modulatie van de luchtstroom instaan. Die balgen hadden we – gevolg gevend aan de adviezen van bevriende orgelbouwers - toch al nodig om de luchtdruk te stabiliseren. We bouwden ze gebruik makend van flexibele ventilatieslang (diameter 27cm) en de afgeslepen uiteinden van een afgedankt expansievat. Voor de windvoorziening bestelden we aanvankelijk een radiale compressor bij orgelbouwer Guislain Potvlieghe, die ons tevens adviseerde in verband met de keuze van het juiste type: een Laukhuff, 'Ventus' 3m³ / 95 mm lopend op 2800 rpm en gevoed door een rustig driefasenstroompje opgewekt door een programmeerbare motor-controller. Bij de eindmontage bleek echter over de M&M ventielen een drukverlies van ca. 50% te ontstaan, zodat we uiteindelijk onze toevlucht namen tot een wat hogere winddruk 200 mm en een andere compressor. Het 95 mm WK type gebruikten we dan maar voor onze tweede orgelmodule, de verderop behandelde <Piperola>, gebouwd met labiaalpijpen

Gebruikte ventielen:

- 32 stuks M&M249DBL met doorlaat van 4 mm, gemodificeerd zoals hiervoor en verder in detail beschreven.
- 12 stuks M&M263DVO met doorlaat van 6 mm, eveneens gemodificeerd, maar met behoud van de oorspronkelijke wat ingekorte veertjes.
- 12 stuks M&M239DBU met doorlaat van 10.5 mm, eveneens gemodificeerd met vilten kussentjes en met gewijzigde veerdruk (deze ventielen werken normaal alleen in horizontale positie, terwijl wij ze verticaal gebruiken).

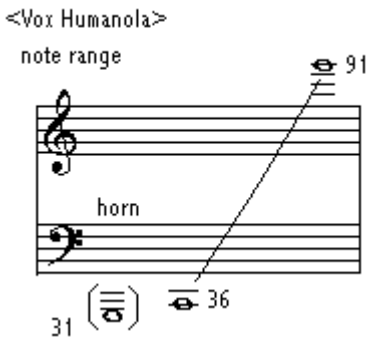
Alle ventielen werden omgebouwd als volgt: van de ankers werd 1 mm staal afgeslepen, terwijl op het vaste gedeelte van de spoelkern een vilten kussentje van 0.5 mm dikte werd aangebracht. Hierdoor werd het traject van het anker met een halve millimeter vergroot, waardoor de druk beter kon worden geregeld. Toen we dit werkje uitvoerden hadden we nog geen metaaldraaibank in onze werkplaats waardoor het een werkje van lange adem, met een vijl werd. De veerspanning werd zo aangepast, dat de ventielen bij een aangebrachte druk van 1 Bar en zonder bekrachtiging van de spoelen, net begonnen te lekken. Dit bleek even essentieel als adequaat voor het dempen van de anders oorverdovende klikgeluiden die deze ventielen laten horen wanneer ze worden geschakeld. De voedingsspanning voor de ventielen werd genomen op de laagste waarde, waarop ze nog allemaal zeker opengaan en daarbij een tempo van minstens 16 schakelingen per seconde kunnen halen. Afhankelijk van het type ventiel, tussen 15 en 22 Volt.

Voor de eerste intonering, restauratie van het pijpwerk en de regulering van de windvoorziening deden we beroep op organist/klavecinist Marc Maes, die zich intussen tevens was gaan toeleggen op de professionele studie van de orgelbouw, een volkomen nieuwe opleiding aan het Gents conservatorium waarin ikzelf en Johan Huys nogal sterk de hand hadden gehad. De stemming van het register werd daarbij meteen op 440 Hz gebracht (hoger dus dan de oorspronkelijke stemming van het register) om samenspel binnen het robotorkest mogelijk te maken. Bij de modernisering in 2005, deden we voor een nieuwe intonering van het pijpwerk beroep op Dierik Potvlieghe.



Voor de besturing van de ventielen gebruikten we een 8-bit bus en latch schakelingen gecombineerd met een PIC microcontroller, type 18F2525. Hiermee kunnen we tot 64 noten onafhankelijk besturen. De ventielen worden geschakeld met IRL640 MOSFET's. Dezelfde processor kon ook nog instaan voor de besturing van de motorcontroller voor de radiale compressor. Een afzonderlijk processor board staat in voor de aansturing van de castagnetten. Deze module doopten we <Casta> en wordt verder in dit boek afzonderlijk beschreven. Door deze toevoeging, kreeg de Vox Humana meteen een knipoog naar het draaiorgel en de orkestrion. Vandaar de naam die we voor deze robot bedachten: <Vox Humanola>, het heeft als automaat iets van een mechanische pianola, en klinkt een beetje Spaans, wat dan de aanwezigheid van de castagnetten verklaart.
De lamp in serie met de luide toeter (gemapt op midi noot 31 en geschakeld via een AC solid state relais) is geen visuele toevoeging maar werkt als spanningsgestuurde weerstand ter begrenzing van de stroom. Wanneer vervanging nodig zou zijn, moet een Osram Halolux Ceram type nummer 64467KL – 230 V geplaatst worden (met bajonetfitting). De grote en zware elektromagneten voor de balgen evenals de kleintjes voor de castagnetten komen van de firma August Laukhuff.

Midi implementatie en mapping:



Kanaal:

Medewerkers aan de bouw:

Moniek Darge, Dr. Jan Kruger (+), Ghislain en Dierik Potvlieghe, Marc Maes.

Technische fiche:

- afmetingen: breedte: 150 cm, diepte: 40 cm, hoogte: 2 m
- Gewicht: 250kg. De module is verplaatsbaar op een eigen wielstel (wielen met massieve rubberbanden, diameter 38 cm, met kruisdisselbesturing).
- Elektrische aansluiting: 230 V – 6 A
- motor specificaties: 230V/1.5A, 2800 rpm. Winddruk: 200 mm waterkolom.
- Bouwkost: 32.600 €
- Bouwjaar: 1996

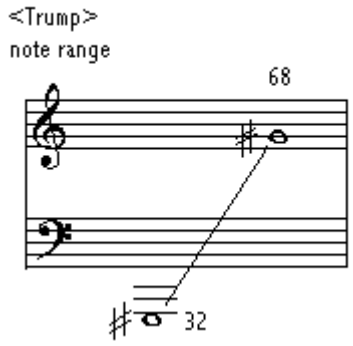
<Trump>



Voor de bouw van deze automaat in 1999 maakten we gebruik van de restanten van een tot een puinhoop herleid trompet register van het vroeg negentiende eeuws orgel waaruit we ook de pijpen van de hiervoor beschreven <Vox Humanola> gerecycleerd hadden. De paviljoenen waren werkelijk tot een schroothoop herleidt waardoor aan restauratie zelfs niet te denken viel. Alleen de tongen en de pijpvoeten bleven in dit ontwerp bewaard en zelfs alle stemkrukken moesten worden vervangen, want ze waren diepgaand verroest. De pijpen waren bovendien binnenin heel zwaar aangetast door zogenaamde loodpest (het erg giftige loodoxide) en het reinigen ervan was een behoorlijk lastig werkje. Het witte oxide moest mechanisch worden verwijderd en om dat werkje veilig uit te voeren, moest het met een mondmasker en met stofafzuiging uitgevoerd worden.
In plaats van volwaardige individuele resonatoren voorzagen we deze automaat van een voor alle pijpen gemeenschappelijke resonator gevormd als exponentiële hoorn. Deze hoorn lasten we uit roestvast staal. De pijpen voor de laagste tonen monden uit in het kleinste deel van de hoorn, terwijl de hoogste helemaal voorin uitmonden. Het ontwerp van dit instrument staat zowat diametraal tegenover een minstens twee eeuwen oude traditie – zo niet een obsessie - in de instrumentenbouw, waarbij bouwers ernaar streefden om een zo toonhoogte onafhankelijk mogelijke klankkleur te verkrijgen voor elk instrument of register dat ze ontwierpen. Hier wilden we precies het

omgekeerde bereiken: voor elke toonhoogte een zo eigen mogelijke formant maar dan wel volgens een bepaald en voorspelbaar systeem. Daartoe voorzagen we de laagste pijpen van heel kleine conussen (zoals in een regaal) die in lengte traag oplopen naarmate de toonhoogte stijgt. Dit loopt vanaf midi noot 32 tot en met 60. Van daaraf gaat het dan weer in omgekeerde richting en verkorten de conussen volgens een omgekeerd exponentiële curve. Hierdoor klinken de hoogste pijpen uitdrukkelijk trompetachtig, terwijl de lage alsmaar snerpender en nazaler gaan klinken. Het oor wordt hierdoor systematisch op een verkeerd spoor gezet bij de inschatting van de octaafligging van de voortgebrachte tonen. De exponentiële hoorn waarin de pijpen zijn geplaatst homogeniseert de klank wat, maar staat vooral in voor een luide en uitstekende voorwaartse projectie van de toon. De klankkleurverschillen tussen de pijpen onderling hebben voor gevolg dat een auditieve illusie makkelijk kan worden geschapen: bij een stijgende toonladder, klinkt er tegelijkertijd een dalende ladder in de formantstructuur.
Voor het stemmen en intoneren van de tongwerken moet de exponentiële hoorn (bij voorkeur met een takel, vanwege het grote gewicht) worden afgenomen. Hij is daartoe op een draaiende as gemonteerd aan de achterzijde. De windlade is, afgezien van het bovenblad waarop de pijpen rusten en waarvoor tropisch hardhout werd gebruikt, eveneens geheel vervaardigd uit gelast roestvast staal. De elektromagnetische ventielen waarmee de luchttoevoer naar de pijpen wordt geschakeld zijn zoals gebruikelijk binnenin de windlade geplaatst. Voor de windvoorziening maakten we gebruik van een Ventus orgelblazer van de firma Laukhuff, met een regelbare winddruk van maximaal 300 mm waterkolom. De aansturing van de motor gebeurt met een Hitachi motorcontroller. Zoals voorspelbaar en normaal bij tongwerken, is ook hier de stemming afhankelijk van de winddruk. Alleen bij een motor AC frequentie van 32 Hz is de stemming voor deze orgelmodule correct.

Midi mapping:



Kanaal:

Medewerkers:

Marc Maes, Leonaar Degraeve, Bert Vandekerkhove, Xavier Verhelst, Kurd Vandevelde, Johannes Taelman, Moniek Darge, Kristof Lauwers, Ghislain Potvlieghe

Technische fiche:

- afmetingen: breedte 400 mm, lengte 1100 mm, hoogte 1950 mm
- gewicht: ca. 160 kg
- elektrisch: 240V ac / 300W piek, nominaal 80W.
- Bouwkost: 17.000 €
- Bouwjaar: 1999

<Krum>



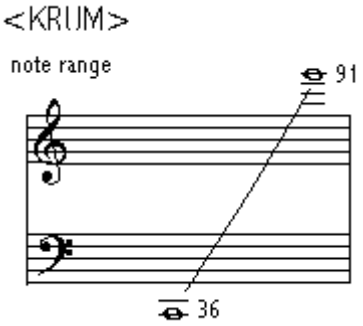
Voor de bouw van deze automaat maakten we gebruik van een eerder toevallige aanbieding op de website van August Laukhuff, voor een volledig in hout gebouwd, maar slechts half afgewerkt 8-voet kromhoorn orgelregister. Een nieuw ontworpen en gebouwd tongwerk dus, waarbij we zelf nog alle rieten moesten monteren en van stemkrukken voorzien. Het register loopt vanaf midi noot 36 tot en met 91. De windlade is, afgezien van het bovenblad waarop de pijpen rusten en waarvoor tropisch hardhout werd gebruikt, geheel vervaardigd uit gelast inox. Geheel naar analogie trouwens met de windlade zoals we die eerder al ontwierpen voor de hier voor beschreven <Trump> robot. De elektromagnetische ventielen waarmee de luchttoevoer naar de pijpen wordt geschakeld zijn ook

hier binnenin deze windlade geplaatst.



Voor de windvoorziening maakten we gebruik van een kleine Ventus orgelblazer van de firma Laukhuff, met een regelbare winddruk van maximaal 80 mm waterkolom, of 8 mBar = 785 Pa, in eenheden uit de fysica. De aansturing van de 130 Watt motor gebeurt met een Siemens motorcontroller (Sinamics G110). Zoals voorspelbaar en normaal bij tongwerken, is ook hier de stemming afhankelijk van de winddruk. Alleen bij een motor AC frequentie van 48 Hz is de stemming correct. Winddruk 75 mm H_2O. Om een eenvoudige afregeling, stemming en intonering mogelijk te maken, monteerden we een precieze manometer aan de buitenkant van de windlade. Het maximale debiet van de compressor is 3 kubieke meter, wat dus brede clusters ruimschoots mogelijk maakt.
De pijpen werden op de windlade gemonteerd in drie rijen (18, 18 en 20 pijpen elk) overeenkomstig de drie verschillende maten van de pijpvoeten. De elektrische verbinding tussen de windlade en de elektronische besturing erbuiten gebeurt via twee luchtdicht afgesloten kabelbundels uitmondend op Weidmueller connectors. De besturing van <Krum> komt voor rekening van niet minder dan 5 PIC microcontrollers: vier voor elke groep van 16 pijpen en een voor de besturing van de motor, het tremulant ventiel en de lampjes. Alle elektronische besturingen, inclusief de voedingen, vonden een plaatsje onder de windlade.
Aangezien het gehele pijpwerk uit hout is vervaardigd, is deze robot niet geschikt voor openluchtconcerten. Ze zijn niet in het minst vocht- of regenbestendig. Bovendien is ook zijn eerder zachte riettoon, niet voldoende krachtig voor straatgebruik. Als lid van het Logos robotorkest vormt hij evenwel een grote verrijking van het orkestraal coloriet en zeker in orkestraties van oude muziek is hij onmisbaar gebleken.
<Krum> is erg gevoelig aan temperatuurschommelingen en heeft zwaar de lijden gehad onder de gesel van de besparingen op verwarming die we in 2017 moesten doorvoeren na het schrappen van onze subsidies als gevolg van corruptie in de adviescommissies. We lieten dat jaar gedurende de winter, de verwarming helemaal uit...

Midi implementatie:



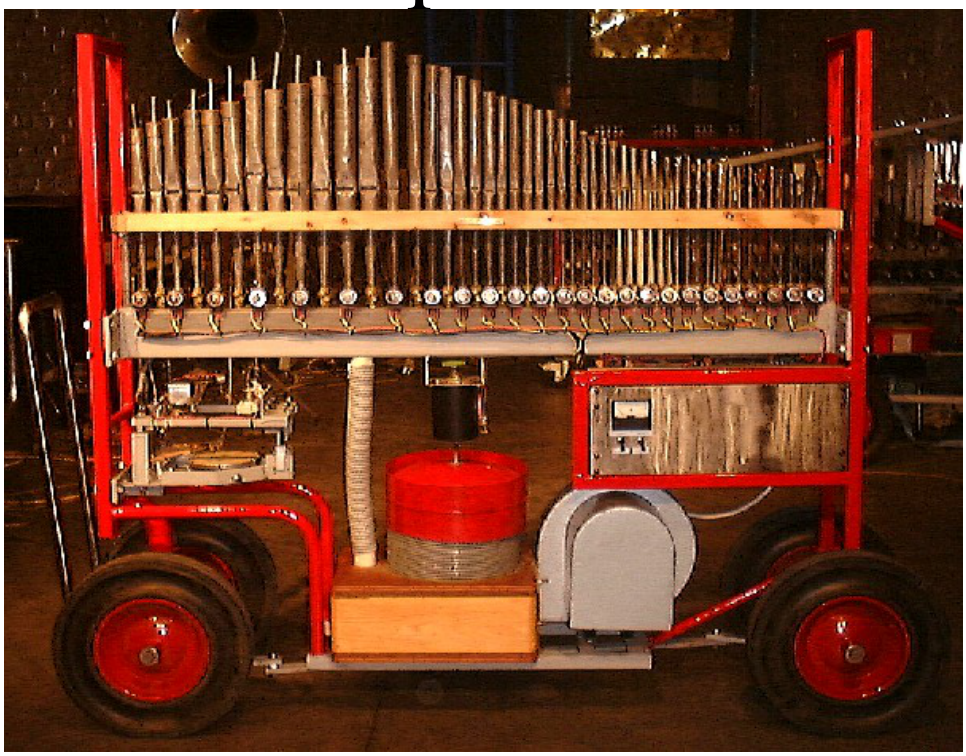
Technische fiche:

- Afmetingen: breedte:1020 mm, diepte 500 mm, hoogte 2100 mm.
- Gewicht: 100kg
- Elektrische aansluiting:230 V – 200 VA
- Stemming: A=440 Hz, gelijkzwevend.
- Nominale winddruk: 75 mm H_2O of 7.5 mBar
- PIC controllers: 5 x Microchip 18F2525
- Bouwjaar: 2005
- Bouwkost: 22.000 €

Orgel automaten uitgerust met labiaalpijpen:

- Piperola (1996)
- Bourdonola (1998)
- Puff (2004)
- Qt (2007)
- Bomi (2009)
- Pos (2018)
- RorO (2021)

<Piperola>

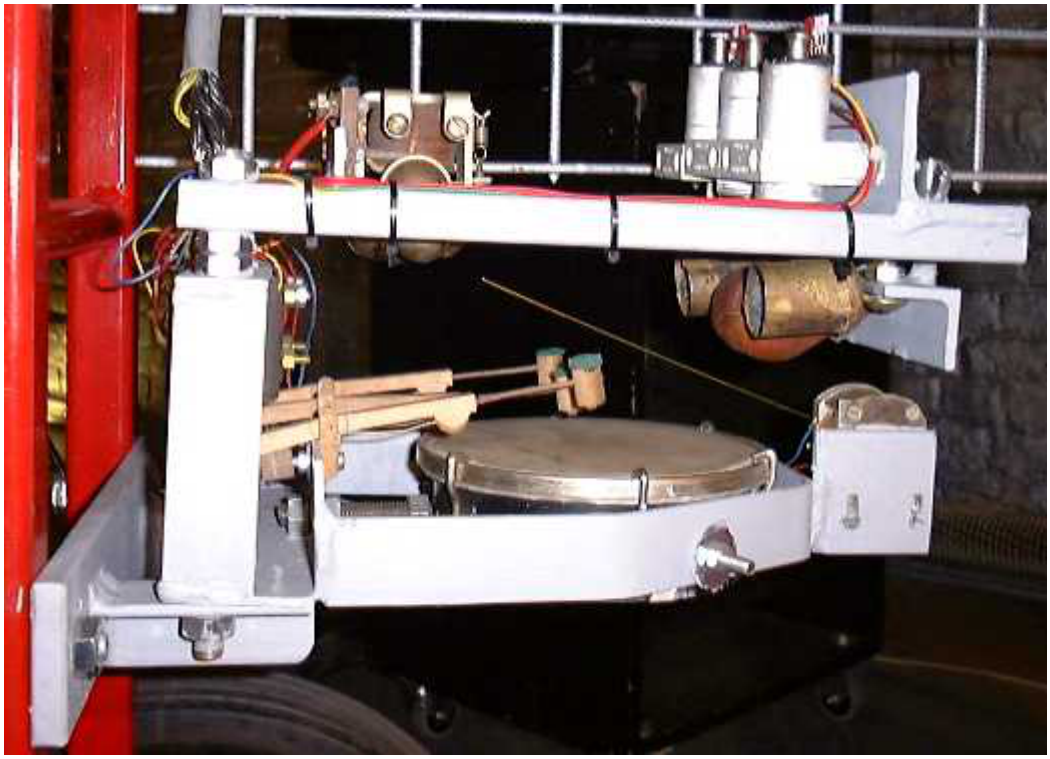


Dit orgelregister loopt van midi noot 60 tot en met 108. Een discant dus. De opbouw maakt gebruik van industriële M&M ventielen met een doorlaat van 4 mm gemonteerd op een enkele stalen windlade. Omwille van de compactheid werden de ventielen om en om gemonteerd. De afstand tussen de aslijnen van beide rijen boorgaten is 8 mm, zodat de bronzen behuizingen van de ventielen in elkaar kunnen haken. De minimale afstand tussen de aslijnen van de ventielen onderling is 20 mm. Uiteraard, wordt deze maat groter wanneer de diameter van de in te zetten pijpen groter wordt dan deze minimale maat. De gebruikte ventielen zijn van het type M&M C249DBL, omgebouwd zoals uitvoering beschreven bij de <Vox Humanola> module. We gebruikten voor de noten 71 tot 108 pijpen uit een register genaamd 'Octavin 2'. De lagere (noten 60 tot 71) werden ontnomen aan het Waldflöte register (roerpijp), maar gemodificeerd door de pijpen volledig te dekken. Door deze ingreep kon ook de bouwhoogte worden beperkt. De oorspronkelijke smalle buisjes op het deksel van de pijpen werden verwijderd en de potdeksels dichtgemaakt. De afdichting tussen pijp en afsluitdeksel – traditioneel steeds uitgevoerd met een speciaal soort blauw papier - voerden we aanvankelijk uit in het moderne en heel wat duurzamer materiaal Teflon (PTFE). Dit kwam alvast de stemvastheid van deze pijpen ook aanzienlijk ten goede. In 2007 onderging het pijpwerk van Piperola een grondige restauratie en bij die gelegenheid soldeerden we de pijpen van het onderste octaaf geheel dicht. Het bijstemmen moet nu middels de baarden gebeuren. Voor die laagste pijpen bleek het nodig de ventielen iets uit te boren. 5 mm leek nog net haalbaar. Om turbulenties op te vangen in de pijpvoet, werd de uitlaat van deze ventielen bovendien ook conisch uitgeboord.

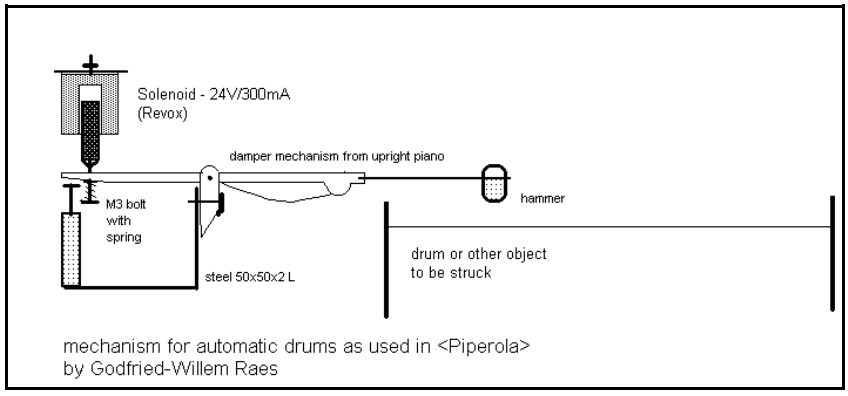
De pijpen rusten rechtstreeks op de ventielen en worden op hun plaats gehouden door een houten pijphouderplank waarin de pijpen op 2/3 van hun voetlengte (205 mm) vastzitten. Voor de afdichting tussen ventiel en pijp gebruikten we, al naar gelang de diameter van de pijpvoet, rubber of



bijenwas, zoals gebruikelijk voor de montage van de doorslaande tongen in accordeons. Zoals we in de <Vox Humanola> module castagnetten toevoegden, zo voorzagen we hier in een klein automatisch trommelspeelwerk. De verwijzing naar de 'Flûte et Tabor' combinatie uit de oude volksmuziek is daarmee compleet. Zoals in de <Vox Humanola> werden ook hier de percussiegeluiden gemapt op het midi nootbereik 120 tot 127.



Een heuse tremulant, waarvoor gebruik gemaakt werd van een zware elektromagneet die op de blaasbalg duwt, werd toegevoegd en afgewerkt in 2003. In datzelfde jaar werd ook de pulsbreedte besturing van de motor, en daarmee dus van de winddruk, afgewerkt. De besturing van de winddruk maakte na deze wijziging gebruik van de midi noten 0 tot 6, terwijl met noot 7 (de diepe G), de elektromagneet in werking kon worden gesteld. Deze toevoeging maakt niet alleen het effect van een tremulant mogelijk, maar liet eveneens toe noten van echte en controleerbare dynamische accenten te voorzien. Op elk inzet van een noot waarop een sfz accent gewenst is, moest dan tevens noot 7 worden meegespeeld, maar dan wel met hele korte duur-waarden. Omdat deze aanpak voor componisten toch iets klungeligs had, onderwierpen we <Piperola> in 2005 aan een grondige herziening of upgrade. Het bestaande microprocessorbesturingssysteem werd helemaal opnieuw ontworpen en maakt vanaf nu gebruik van twee PIC controllers: een voor de noten en eentje voor zowel de windsturing, de tremulant, het Turks slagwerk en de enkele lampjes die <Piperola> bij die gelegenheid eveneens toegevoegd kreeg. Het 'Turks' slagwerk bestaat uit een klein trommeltje, een templeblock en wat rolbelletjes. Voor de bouw maakten we gebruik van onderdelen uit een gesloopte buffetpiano en – voor de elektromagneten - van exemplaren gesloopt uit oude G36 Revox bandopnemers.

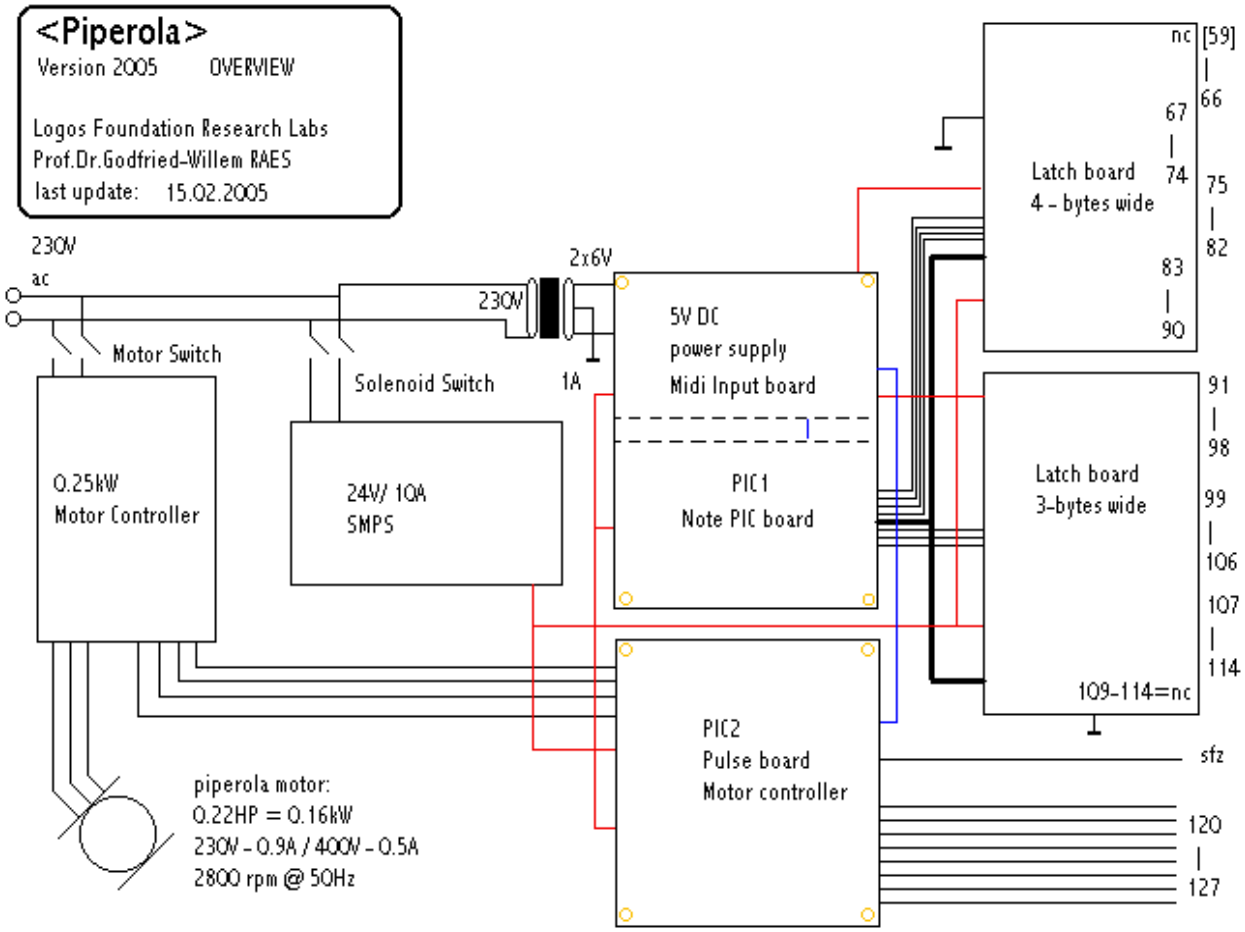


mechanism for automatic drums as used in <Piperola>
by Godfried-Willem Raes

Midi noten 120 en 121 kloppen op een kleine trom met een scherpe aanslag. Roffels zijn mogelijk wanneer die alternerend worden gebruikt. Midi noot 122 slaat op hetzelfde trommeltje, maar heel wat zachter. Een randslag – rimshot - kan voortgebracht worden met midi

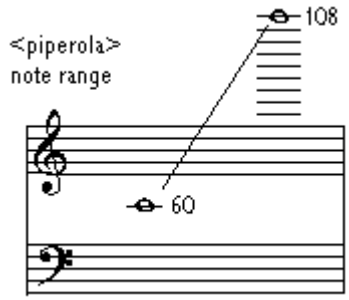
noot 123, waarmee een draai-elektromagneet voorzien van een bronzen staafje parallel met het trommelvel wordt bekrachtigd. Rolbellen worden geschud via midi noot 124. De noten 125 en 126 worden gebruikt om heel kleine geitenbelletjes aan te slaan. Noot 127 tenslotte, klopt op de kleine en hooggestemde Chinese templeblock. Het lampje boven deze slagwerkmodule kan bediend worden met midi noot 119, een louter visuele toegift.

Een overzicht van de nieuwe schakelingen ziet eruit als:



De piperola module wordt in tessituur gecomplementeerd door <Bourdonola>, die het gebied van 36 tot 62 dekt. In deze combinatie beschikken we over een instrument met volle 6 octaven tessituur. Een zachter geïntoneerd alternatief voor de piperola/Bourdonola combinatie wordt gevormd door de veel recenter gebouwde ontwerpen <Pos> (2018) of door <RorO> (2021).

Midi mapping:



Kanaal:

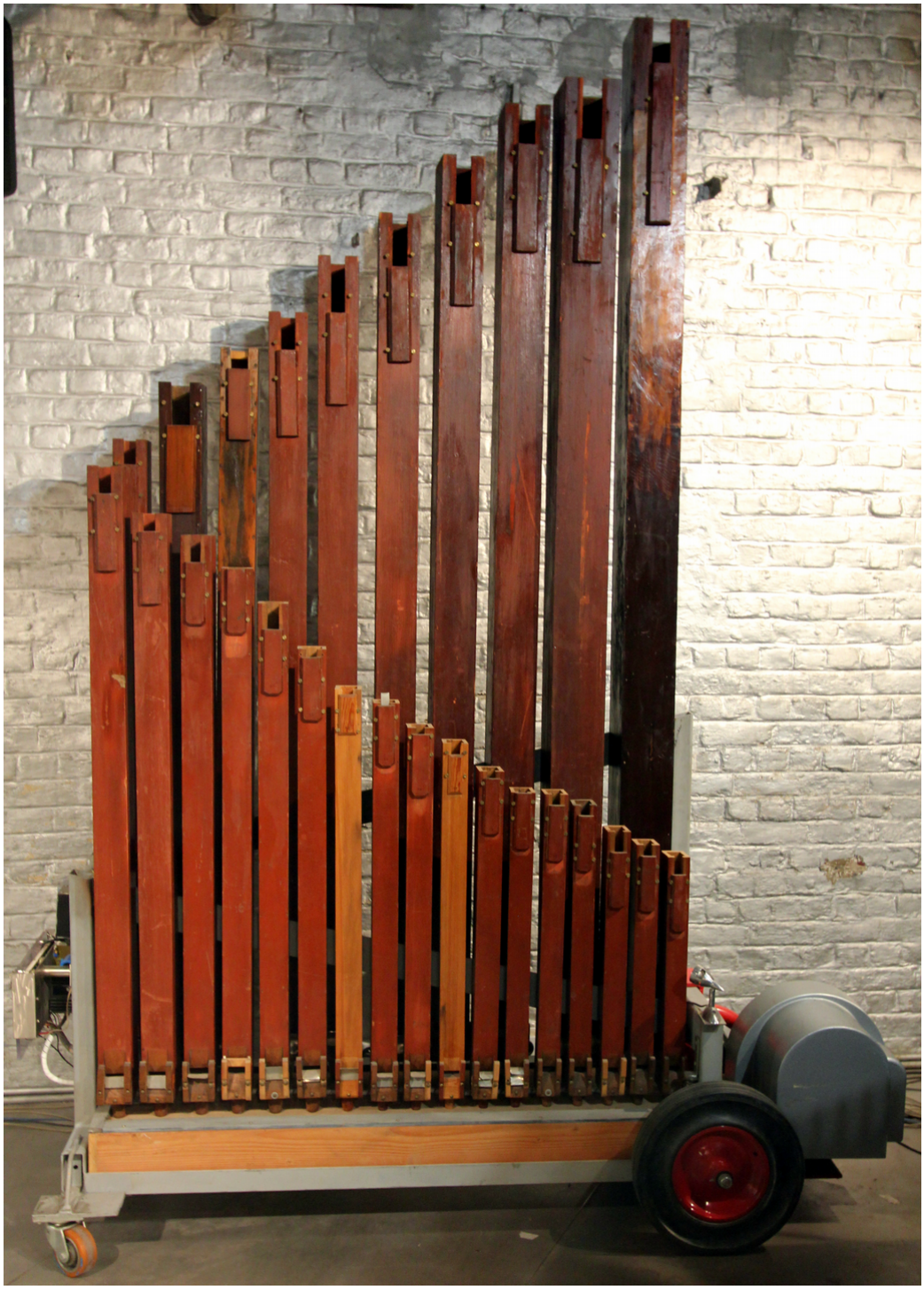
Medewerkers:

Jan Kruger (+), Marc Maes, Ghislain en Dierik Potvlieghe, Johannes Taelman, Xavier Verhelst

Afmetingen & andere technische specificaties:

- afmetingen: hoogte: 1400 mm , breedte: 1680 mm , diepte: 530 mm
- gewicht: 120 kg
- maximale geluidsdruk: ca. 86 dB
- elektrische aansluiting: 230 V ac – 250 W
- Bouwjaar: 1996
- Bouwkost: 15.000 €

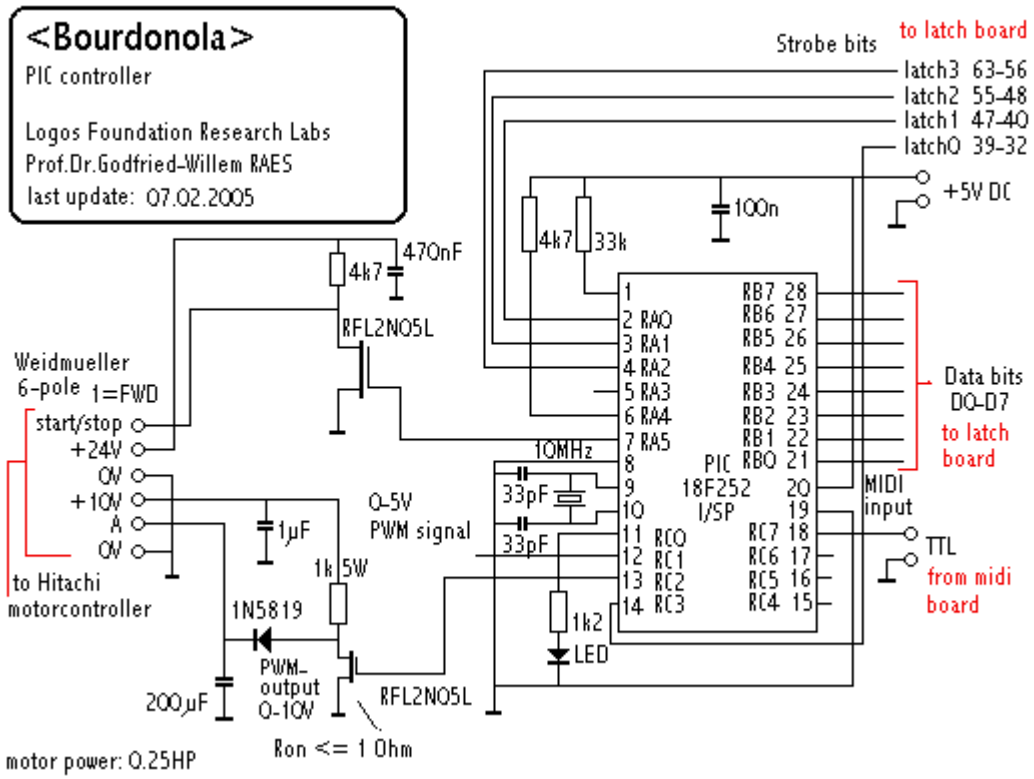
<Bourdonola>



Voor de restauratie van het pijpwerk voor dit register (oorspronkelijk een Montre 8') , de oortjes (of baarden) links en rechts van het labium, hadden veel te lijden gehad, en er moest nogal wat aan het pijpwerk geïntoneerd worden, deden we in de beginfase in 1998 een beroep op orgelbouwer in opleiding Marc Maes. Enkele pijpen werden ook geheel nieuw gebouwd, gebruik makend van oud

hout van andere orgelonderdelen en oud pijpwerk. Het register bestaat slechts uit 27 open pijpen, midi noten 36 tot 62 en kan gebruikt worden als bas of pedaal. Het oorspronkelijke orgel, wellicht gebouwd door Oscar Van Peteghem in de tweede helft van de 19e eeuw, had meer pijpen in dit register (het ging tot lage Fa), maar de grootste pijpen ervan waren in een dermate wormstekige staat, dat we ze zelfs niet konden restaureren. De oorspronkelijke klankkleur en de intonatie van de pijpen werden grondig gewijzigd: enerzijds door een substantiële verhoging van de nominale winddruk, anderzijds door het aanbrengen van 'harmonische kammen' over de kernspleten waardoor een meer strijkersachtig en boventoonrijk geluid ontstaat. Deze kammen werden vervaardigd uit plaatwerk van tin-antimoon. De grootste pijpen in dit register hebben reeds een hoogte van niet minder dan 2m95, waardoor hun gebruik in een werkelijke mobiele module aan de problematische kant leek. Vrachtwagens met een dergelijke hoogte in de laadruimte zijn eerder zeldzaam. Om aan dit euvel tegemoet te komen monteerden we de pijpen in een gelast stalen rek met een eenvoudige bevestiging, zodat voor transporten, de langste pijpen makkelijk uit de windlade kunnen worden verwijderd. De hele windlade werd voorzien van twee grote wielen en twee zwenkwielen, zodat verplaatsen eenvoudig mogelijk is. Met opzet hebben we de pijpen niet op zo'n wijze gemoderniseerd en gerestaureerd dat het oorspronkelijke werk en de ingrepen en toevoegingen onzichtbaar zouden zijn. Wel integendeel hebben we het contrast tussen historisch materiaal en veranderingen goed tot uiting laten komen. Zo werd waar aanwezig de oorspronkelijke verflaag samengesteld uit een soort menie, behouden zonder de nieuwe delen in dezelfde kleur te schilderen. Het nieuwe houtwerk werd uitsluitend voorzien van een dunne laag cellulose-vernis.
De windlade werd ontworpen en gebouwd door Marc Maes in de ateliers van Stichting Logos. Daarbij werd vooral een compacte opbouw nagestreefd. De windlade zelf meet slechts 1500mm x 420mm. De ventielen betrokken we bij de toenmalige firma Laukhuff in Weikersheim, een prachtbedrijf dat evenwel in 2021 over de kop ging. Deze elektrische ventielen werden binnenin de windlade gemonteerd. Voor de besturing werd aanvankelijk beroep gedaan op een Pavo module zoals oorspronkelijk ook gebruikt in de oerversie van <Piperola>. In plaats van darlington transistoren werden hier echter power mosfets (IRL640) gebruikt die rechtstreeks vanuit logische schakelingen (TTL) kunnen worden aangestuurd. De stuurschakelingen zijn hier dezelfde die we ook ontwierpen en gebruikten bij de bouw van onze eerste player piano. In 2005 werd de bersturingselektronica grondig gemoderniseerd door gebruikmaking van een enkele PIC controller, zowel voor de ventielen als voor de motorbesturing. Ook de winddruk kan via computercommandos geregeld worden. Daartoe ontwierpen we een schakeling die vanuit 230V driefazen stroom genereert met een veranderlijke frequentie. Hoewel uit onze experimenten bleek dat individuele velocity sturing van de pijpen goed mogelijk was -al moet gezegd dat 7-bit sturing absoluut overkill bleek en dat met 4 bits alle wenselijke aanzet variaties reeds makkelijk konden worden bereikt- hebben we daar in de uiteindelijke realisatie toch van af gezien. Aanzetvariaties kunnen nu globaal worden bereikt via sturing van de luchtdruk, door regeling van de frequentie van de motorstroom. Aangezien we niet van een extra drukstabilisator gebruik maken (de blazer is zwaar overgedimensioneerd, zodat de 'condensator' functie ervan overbodig was) is het instrument behoorlijk responsief op verandering van luchtdruk. Alleen de inherente traagheid van de motor en de ventilatorschoepen zorgen voor wat vertraging. In de vernieuwde versie sedert 2005. gebruikten we een PIC controller die een 10-bit hardware PWM aan boord heeft, zodat de stuurspanning voor de motorcontroler (0 tot 10V DC) rechtstreeks kan worden opgewekt. Midi controller nr.1 (wind controller) werd geïmplementeerd als controller voor de winddruk. Opzettelijk werd hier voor controller 1 (en niet 7) gekozen, omdat binnen de context van het robotorkest, <Bourdonola> vaak als een geheel wordt gebruikt in samenwerking met de hierboven beschreven <Piperola> (die de hogere tessituur dekt), en waarbij controller 7 voor de winddruk werd voorzien. <Piperola> en <Bourdonola> gebruiken immers eenzelfde gemeenschappelijk midi-kanaal. De motor kan – eveneens via een midi controller, meer bepaald nr. 66 - aan en uit worden geschakeld. De default waarde voor de motorsnelheid (en de daarmee proportionele winddruk) wordt daarbij opnieuw

ingesteld. Het all-notes-off commando daarentegen wijzigt de winddruk niet. De nieuwste schakeling voor de PIC controller versie, in voege sedert 2005 ziet eruit als volgt:

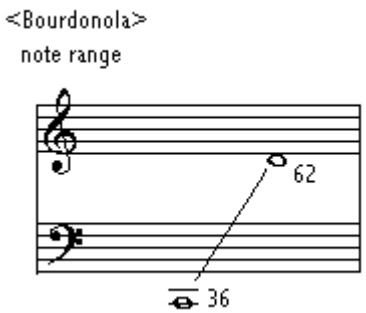


De Microchip PIC microcontroller (18F252 in de getekende schakeling) werd in 2016 omgewisseld voor een modernere 18F2525, zonder wijzigingen aan de schakeling zelf.

Naast de voeding, die volkomen klassiek en analoog werd opgebouwd, en de Hitachi motorcontroller, beslaan de schakelingen twee printen: de midi-input en PIC controller print en de quad-latch print.

De compressor voor de windvoorziening (een Laukhuff Ventus met 105 mm H_20 of 1050 Pascal druk en een debiet van 5 m3 / min, motor vermogen 0.25 HP bij 50 Hz voedingsfrequentie) werd als een afzonderlijke aanzetmodule gebouwd, ten gerieve van de transporteerbaarheid. Dit aspect maakt natuurlijk dat voor deze automaat iets meer montage en opbouwtijd noodzakelijk kan zijn dan voor de andere automaten in deze reeks het geval is.

Midi mapping:



kanaal:

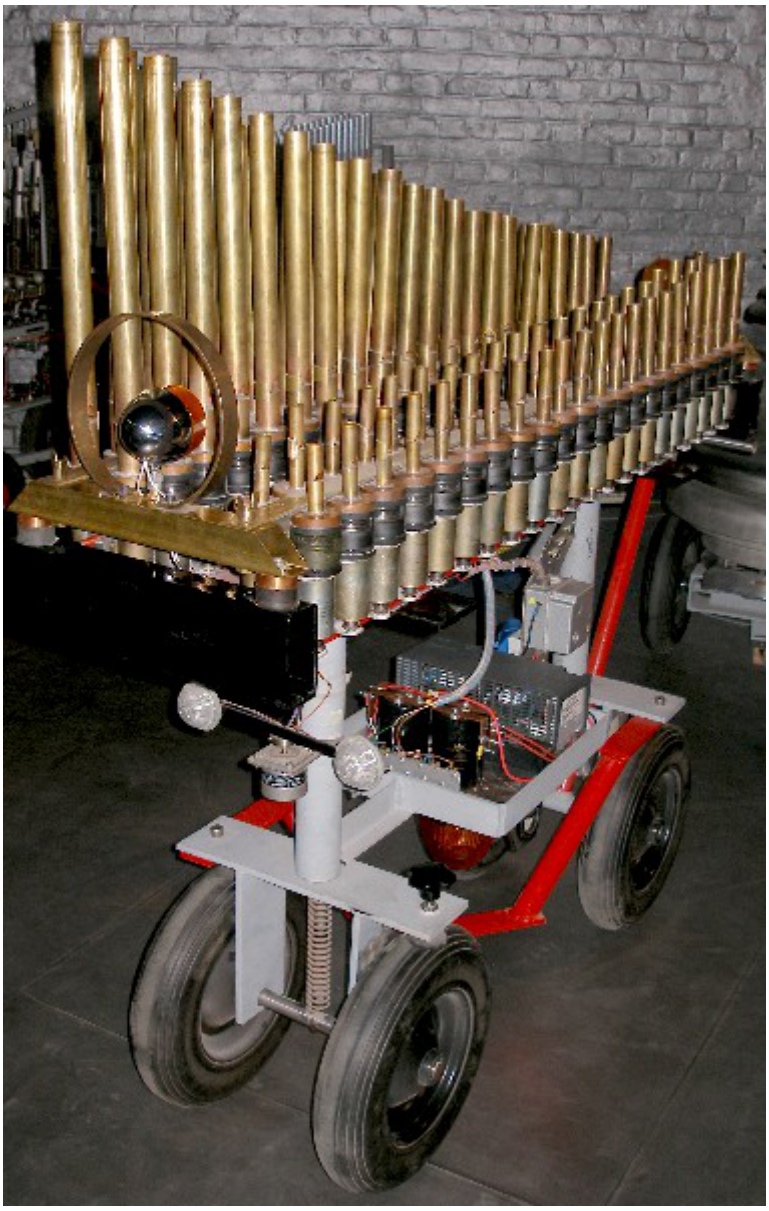
Medewerkers:
Marc Maes, Kristof Lauwers, Johannes Taelman, Dierik Potvlieghe

Technische fiche:

- Afmetingen: breedte: 1600 mm, diepte 600 mm, hoogte 3200 mm
- Gewicht: 140 kg
- Elektrisch: 230 V, 4 A (de differentieelautomaat moet een gevoeligheid hebben groter dan 100 mA, vanwege de inherent grote lekstroom ten gevolge van de interne omzetting naar 3-fazen stroom. Zoniet moet ofwel een scheidingsstranfo worden toegepast, ofwel mag <Bourdonola> in het geheel niet worden geaard).
- Motor: 0.25 HP, 1 A/3x230 V, 2850 rpm bij 50 Hz. Nominale winddruk: 105 mm H_20. Winddruk regelbaar van 0 tot 125 mm H_20
- Bouwkost : 14.000 €
- Bouwjaar: 1998

-  

<Puff>

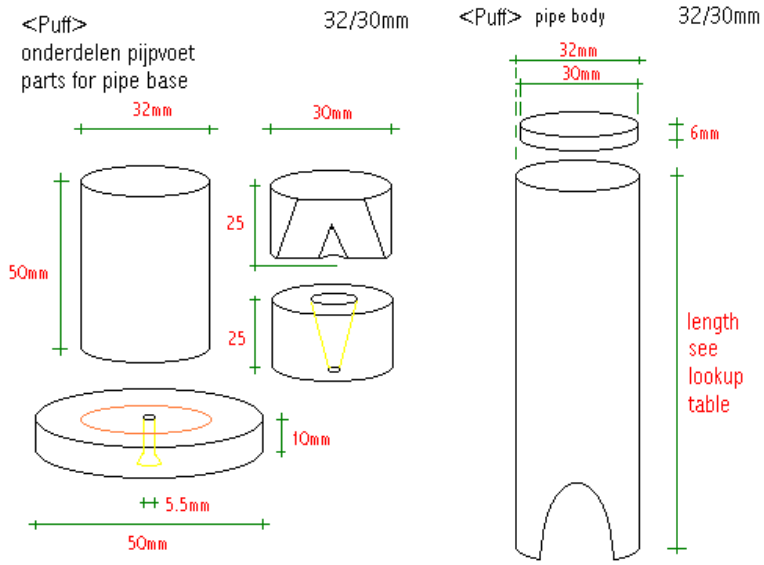


<Puff> is een nogal merkwaardig soort robot orgel, waarbij er evenveel blaasbalgen zijn als orgelpijpen! Door deze aanpak werd een volledige en volstrekt polyfone aanslaggevoeligheid gerealiseerd. Elke pijp wordt vanuit een eigen, door een elektromagneet aangedreven balgje, van lucht voorzien. Door pulsbreedte modulatie van de stroom door de spoel, kan de luchthoeveelheid heel nauwkeurig worden geregeld. In tegenstelling tot een traditioneel orgel echter, leveren de hier gebruikte balgjes geen ononderbroken luchtstroom, maar slechts een enkele windstoot: een puf. Vandaar ook de naam van deze robot. Het gehele instrument is gestemd in kwarttonen en heeft een tessituur van drie en een half octaaf. De basisdiapason voor het instrument is 442Hz. De laagste noot komt overeen met de laagste noot van de viool, in midi termen, noot 55. De tessituur loopt door tot noot 96. De intervallen zijn telkens 2^(1/24) groot, gelijkzwevend 24-toons dus. De toonhoogte is in enige mate afhankelijk van de aanblaassterkte, wat inflekties mogelijk maakt. Bij grote aanblaassterktes, kunnen de pijpen ook overgeblazen worden. Aangezien we gesloten (gedekt, in het orgeljargon) pijpen gebruikten, klinken de noten dan nagenoeg een duodecime hoger, wat de tessituur uitbreidt tot 115. De gemonteerde combinatie van elektromagneet (Lucas Ledex Inc. type FRUXAC64700, cat. nr. 195115-002) en balg (Airpot 73710-6) ziet eruit als:

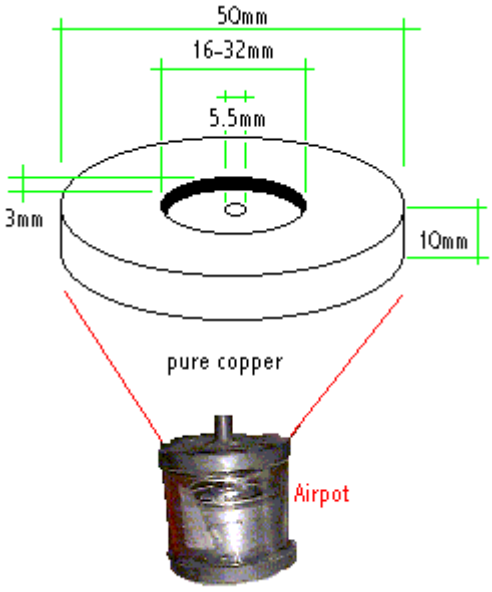


Een kleine waarschuwing voor potentiële nabouwers: deze combinaties kosten – in het jaar 2003 - 502€ per stuk... Zoveel geld hebben wij er evenwel niet voor betaald, want we verkregen ze als gift vanuit een fabrieksrestant, waar ze gebruikt werden in de bouw van machines voor het precies gedoseerd afvullen van geneesmiddelen in pillen. Wanneer ze hier werden afgeleverd – een behoorlijk zware vracht trouwens - bleken 84 stuks ervan helemaal intact en bruikbaar te zijn. Voldoende voor een mooie en volstrekt originele automaat. De elektromagneten zijn gewikkeld voor een nominale spanning van 23.5 V. De DC weerstand, koud, is 3.6 Ohm. De nominale stroom per spoel komt daarmee op 6.5A te liggen. De repetitiesnelheid, bij aansturing met pulsen gaande van 3 tot 80 ms, kan maximaal 30 Hz zijn. De voeding diende dan ook behoorlijk zwaar te zijn: bij gelijktijdige aansluiting van alle spoelen, zouden we gedurende 80 ms een stroombehoefte hebben van maar liefst 798 A... Buffering met heel grote elektrolyten en/of met een zware loodaccu (24 V/ 100 Ah) leek dan ook aangewezen, evenals uiteraard, een limitering via serialisatie van de schakelcommandos in de software. In elk geval dienden we voor de bedrading een behoorlijk zware draadsectie te gebruiken.

Voor dit orgel, in tegenstelling tot vroegere automaten zoals <Piperola> en <Vox Humanola>, maakten we alle pijpen helemaal zelf. Die pijpen werden als kernspleetfluiten opgebouwd. Voor het pijpmateriaal werd daarbij een harde soort messing gebruikt: Ms63-F45 (DIN CuZn37 = werkstof 2.0321). Voor de kernen, handmatig gevijld uit massief messingstaaf, de zachtere legering Ms58 (DIN CuZn39Pb3 = werkstof 2.0401), die echter niet te lassen is. De pijpassemblage werd dan ook helemaal met hard zilver soldeer uitgevoerd. Hier is een van de vele bouwplannetjes:



Het uitfrezen van de pijpvoeten in rood



Puff: pipeholders

koper en van de windgaten gebeurde op de metaaldraaibank.
Dit werktuig schaften we ons zelfs speciaal aan om de bouw van deze robot tot een goed einde te kunnen brengen. Het vertrouwd worden met die machine heeft ons in 2003 echter ook wel wat tijd gekost. De bediening ervan heet immers een beroep op zich te zijn... In een interview dat we weggaven aan de BBC op 5 december 2003, mochten we de bouw van deze toch wel originele kwarttoonsrobot toelichten en aankondigen.

De voeding werd aanvankelijk opgebouwd met twee heel zware 12 V loodaccus (100 Ah) voorzien van een permanent aangesloten lader, maar zowel om ecologische als economische redenen, voorzagen we <Puff> in 2007 van een geheel nieuwe voeding. De accus hadden immers een levensduur van twee tot hooguit drie jaar en waren al aan vervanging toe. De nieuwe voeding maakt gebruik van een Siemens Sitop 24 V/20 A schakelende voeding met convectiekoeling gebufferd middels twee immense 150 mF/40V bekerelko's. De te leveren piekstromen in dit instrument zijn immers bijzonder groot.

<Puff> wordt bestuurd door zes Microchip 18F2525 processors. Elk van deze zes processors bestuurt 16 spoelen via vermogensmosfets (IRL640).

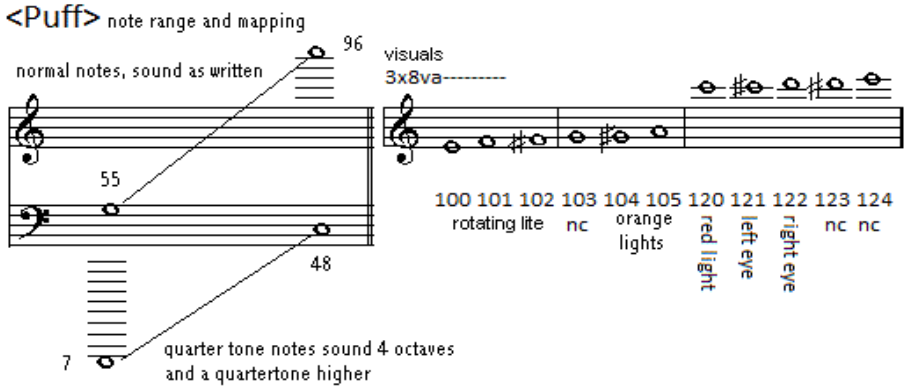
In 2010 werden aan <Puff> enkele nieuwe snufjes toegevoegd: twee PIR sensors stellen de robot nu in staat om menselijke bewegingen te volgen en daarop te reageren middels bewegingen van de twee ogen. Voor de besturing van de stappenmotor en de witte LED's in de ogen, werd zelfs een extra, een zevende, PIC microcontroller ingezet.

Het chassis voor deze robot lasten we helemaal uit constructiestaal. Het geheel kreeg een wielstel met kruisdisselbesturing en grote massieve wielen. Bepaald geen luxe, gezien het grote gewicht van het instrument.

<Puff> luistert rechtstreeks naar midi commando's op kanaal 13. Rechtstreekse programmering op de PC via GMT is natuurlijk de favoriete besturingswijze vooral voor interactieve muzikale toepassingen, maar ook met standaard sequencers of via eenvoudige microprocessoren (van Basic Stamps tot Arduino en Raspberry Pi) kan <Puff> in volle glorie tot klinken worden gebracht.

Op 16.03.2004 konden we een uitvoerige demonstratie geven aan de Amerikaanse componist Christian Wolff, die toen bij Logos te gast was. Een week later was <Puff> dan weer te zien en te horen op het Exit festival, in een schitterende interactieve performance van mijn compositie 'GeroPuff' door Emilie De Vlam.

Midi implementatie:



kanaal 13

Muziek speciaal gecomponeerd voor <Puff>:

- Godfried-Willem Raes
  - "Geropuff" for <Puff> and invisible instrument (2004)
  - "Preliminary Puffs", for <Puff> and invisible instrument.(2003)
  - "Qua Puff", for Puff and radar controlled invisible instrument (2004)
- Sebastian Bradt "The Kobirds" (2004)

Medewerkers:

Bert Vandekerckhove, Marc Maes, Johannes Taelman, Kristof Lauwers, Moniek Darge

Technische fiche:

- afmetingen: hoogte: 1480 mm, breedte: 1500 mm , diepte: 400 mm
- gewicht: ca. 250 kg
- elektrisch: 230 V ac, 400 Watt
- Vooraleer de robot aan te schakelen, verifieer de stand van de hefboomschakelaar: deze moet op off staan en de door de voltmeter aangewezen spanning moet kleiner zijn dan 5V. Pas onder deze voorwaarden mag met de wipschakelaar onder het voedingsgedeelte, de netspanning worden ingeschakeld en daarna pas, de hefboomschakelaar in de aan-stand gezet. Bij uitschakelen, steeds eerst de hefboomschakelaar in de off-stand zetten en dan pas de netspanningsschakelaar uitzetten.
- stemming: kwarttoons vertrekkend van een diapason van La = 442 Hz
- tessituur: midi 55 tot en met 96 in kwarttonen. Bij overblazen 55 tot 115.
- zwaailicht: gemapt op midi noten 100, 101, 102 (msb-lsb, 3 bits snelheidscontrole)
- sensoren: twee PIR sensoren voor bewegingsdetectie.
- Bouwkost: 54.000 Euro.
- Bouwjaar: 2004

<Qt>



Van alle muzikale robots die we bouwden, is <Qt> wellicht degene waarvoor de documentatie het meest en in het grootste detail werd bijgehouden. Dit heeft alles te maken met het feit dat de bouw en ontwikkeling van deze machine een postdoctoraal artistiek-wetenschappelijk onderzoeksproject was, door mij uitgevoerd tussen 2005 en 2007 onder de auspiciën van Hogeschool Gent in samenwerking met Stichting Logos. De wetenschappelijke ondersteuning en praktische leiding van het onderzoeksproject was in mijn handen als docent compositie, akoestiek, klankonderzoek en onderzoeksmethodiek aan het departement muziek en drama. Het opzet was de bouw van een krachtig kwarttoonsorgel met ruime expressieve mogelijkheden. Vandaar de roepnaam <Qt>, in het Engels *quarter tone.* Het instrument moest verplaatsbaar zijn en bovendien ook geschikt voor menselijke bespeling middels klavieren. Praktisch kwam het tot stand als een samenwerkingsproject van Ghislain Potvlieghe (specialist historische orgelbouw), Dierik Potvlieghe (orgelbouwer), Johannes Taelman (ontwikkeling en research inzake microcontrollers voor de besturing), Sebastian Bradt (onderzoek naar actueel en historisch repertoire op het gebied van de kwarttoonsmuziek en componist van nieuwe muziek voor deze automaat), Kristof Lauwers (ontwikkeling aansturingssoftware ten behoeve van componisten) en mezelf.

De bouw van een zuiver akoestisch en getemperd kwarttoonsinstrument met een grote tessituur van minstens 6 octaven (midi 36 – 108), vergt de bouw van niet minder dan 144 pijpen. De luchtdruk is ten dienste van de expressieve mogelijkheden op dynamisch vlak goed en snel moduleerbaar,

terwijl ook accenten en tremulant mogelijk zijn. De nominale werkdruk (120 tot 150 mm waterkolom, of 12 tot 15 mBar) namen we relatief hoog, omdat het instrument zonder nood aan versterking, in een orkestrale context moest kunnen samenspelen. .

Bovendien diende de stemming zo vast te zijn, dat regelmatig bijstemmen van het instrument niet nodig zou zijn. Daarom gingen we bij het ontwerp uit van aan de bovenkant dichtgesoldeerde pijpen. Transportbestendigheid en verplaatsbaarheid waren een belangrijke eis. Deze eis sluit bij voorbaat het gebruik van klassieke legeringen voor orgelpijpen (60% tin, 40% lood in het beste geval) uit. Deze zakken immers bij blootstelling aan trillingen, onvermijdelijk bij verplaatsingen, door onder de druk van hun eigen gewicht. Ook louter ecologische (en sedert enige tijd ook Europees wettelijke) overwegingen pleiten trouwens tegen het gebruik van lood. Proeven werden gedaan met messing enerzijds en legeringen bestaande uit 95% tin en 5% antimoon anderzijds. De met Sn-Pb gesoldeerde messingpijpen bleken erg gevoelig aan breuk op de soldeernaden. (cfr. <Puff>). Hardsolderen of brazeren ware ook mogelijk, maar technisch erg lastig uitvoerbaar gezien de vereiste precisie. Lassen van messing, de meest superieure techniek, bleek – althans voor ons - zo goed als ondoenbaar omwille van de onstabiliteit van de legering (het zink oxideert namelijk). Uiteindelijk opteerden we dan maar voor de volledig loodvrije pijpen uit tin en antimoon, een taaie legering waarmee ook traditionele orgelbouwers goed overweg kunnen. Omwille van de gewenste hardheid, opteerden we in ultimo nog voor de toevoeging van 1% koper in de legering: 95% tin, 4% antimoon, 1% koper werd het dus uiteindelijk. Hier zijn de mensuur gegevens voor de testreeks van vijf pijpen die we uit dit materiaal vervaardigden:

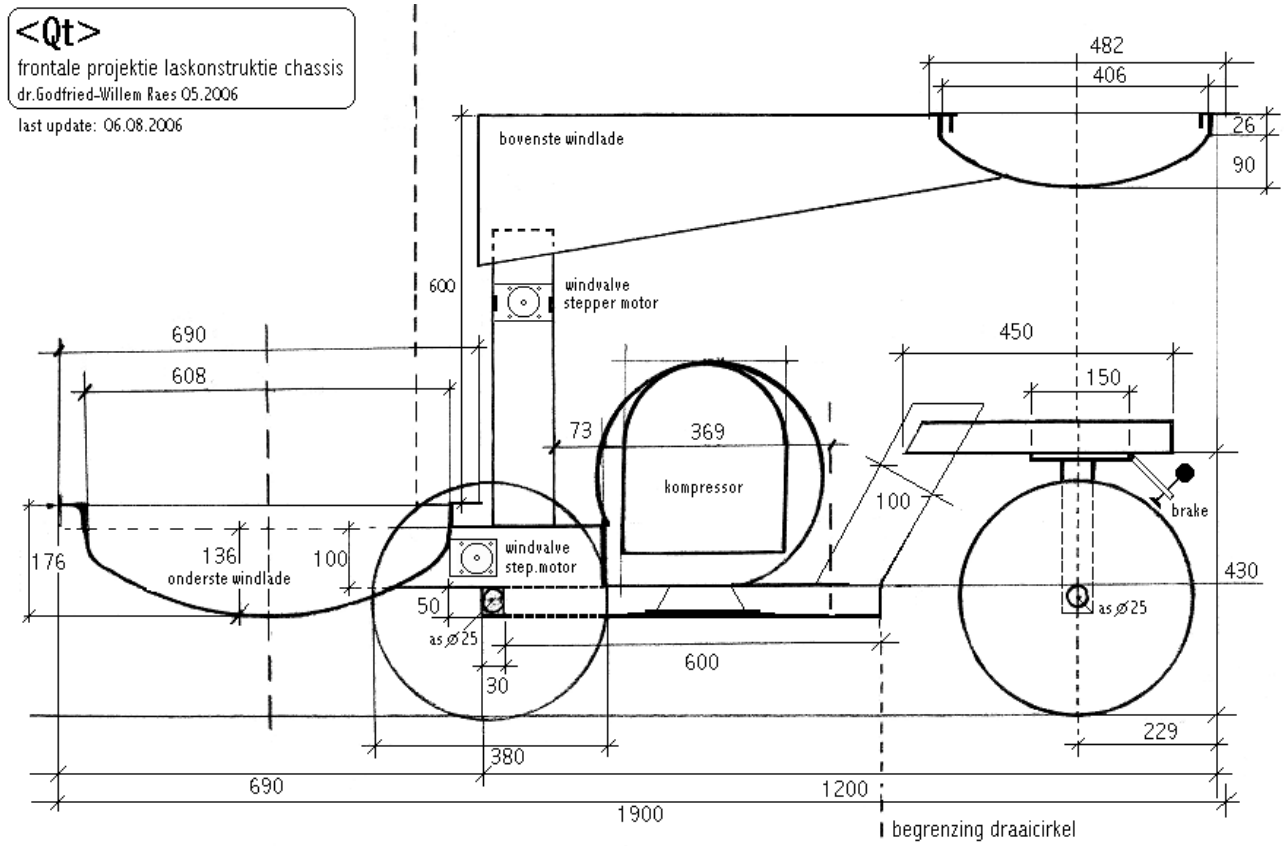
Noot	diameter (buitenmaat)	sprekende lengte	wanddikte	labium breedte
36	115.0 mm	1240 mm	0.9 mm	90 mm
48	62.5 mm	610 mm	0.9 mm	54 mm
60	41mm	295 mm	0.9 mm	32 mm
72	25mm	145 mm	0.9 mm	18 mm
84	16.8mm	65 mm	0.9 mm	12 mm

De tremulant werd in twee onafhankelijke systemen uitgevoerd, waardoor de bas een andere tremulant frequentie kan krijgen als de discant. Die tremulant zoals we hem uiteindelijk bouwden voor <Qt> is eigenlijk een debiet-tremulant eerder dan een druk-tremulant. Hij werd opgebouwd met draaiende kleppen aangebracht in de windtoevoer van de windladen en bestuurd door stappenmotoren. Wanneer slechts weinig pijpen actief zijn is het windverbruik echter dermate laag, dat het effect van deze tremulant minimaal is. Pas bij heel brede samenklanken en een overeenkomstig hoog luchtverbruik, is de tremulant vrij effectief. De praktische ervaring wees echter uit dat, ten gronde, de functies van de tremulant eigenlijk ook overbodig konden worden gemaakt: immers, gezien de hier voorziene mogelijkheid om de aanslagsnelheid van elke klep afzonderlijk te sturen, is het mits een geschikte commandoset perfect mogelijk elke pijp zelfs van een individuele tremulant te voorzien. Daartoe dient de gewenste noot met een relatief hoge velocity gespeeld te worden, gevolgd door een periodieke reeks aan/uit commando's voor dezelfde noot maar nu met minimale velocity. Het tempo van de periodiciteit kan vrij worden gekozen (maximaal ca. 20Hz), de aan-uit verhouding eveneens. Periodieke modulatie van de *aftertouch* is natuurlijk ook mogelijk, maar vergt nog wat verdere updates van de firmware. Enkele praktisch uitgevoerde experimenten, verricht na het afwerken van <Qt> wezen trouwens uit, dat de bouw van een druk-tremulant eigenlijk vrij eenvoudig kan gerealiseerd worden door simpelweg een basluidspreker met een grote conus-verplaatsing in de windlade in te bouwen. Door deze luidspreker aan te sturen met een sinusvormig signaal van 0.1 tot 20Hz krijgen we een tremulant,

gebaseerd op de volumeverandering van de windlade...

Omwille van de gewenste mobiliteit van het instrument, werd het integraal op goed stuurbare grote wielen met massief rubberen banden gemonteerd en werden de afmetingen toch zo kompakt mogelijk gehouden.

Het chassis en alle metalen delen voor de beide windladen en de kondukten werd uitgevoerd in minstens 3 mm dik roestvast staal AISI304L en AISI316 onder gebruikmaking van het volledig manuele TIG lasproces. Als toevoegmateriaal bij het lassen werd uitsluitend AISI316 gebruikt. Het snijwerk werd uitgevoerd met een hoogfrequent plasma brander. Voor de afwerking werd volstaan met een grove borsteling met een inox komstaalborstel. Aan de binnenzijde werden alle lasnaden, omwille van het beperken van ongewenste turbulenties in de windstroom, zorgvuldig gladgeslepen. Gezien deze opties in materiaalkeuze, moet het instrument qua duurzaamheid zeker aan alle stelbare eisen kunnen voldoen. Hier is het globaal lasplan:



De volledige MIDI-implementatie, ten behoeve van componisten, is beschikbaar op de website via de gebruikers handleiding voor het Logos robotorkest. Deze implementatie maakt ook een manuele bespeling via twee elektronische midi-keyboards mogelijk. Voor het speelcomfort is het wel aangewezen keyboards te gebruiken met een tessituur van zes octaven en met individuele aanslaggevoeligheid. De beide keyboards worden dan via een midi-merger rechtstreeks op <Qt> aangesloten.



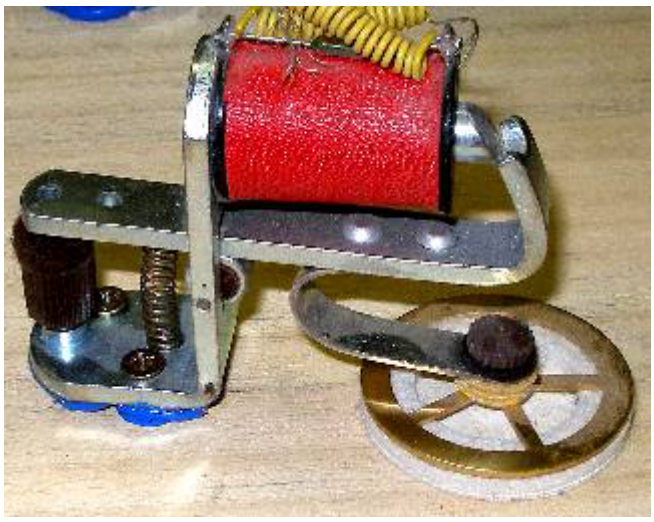
Het volledige register werd, nadat we alle proeven hadden uitgevoerd en de tabellen met de mensuren hadden berekend, in elkaar gezet en gesoldeerd in samenwerking met Ghislain Potvlieghe in diens atelier. De stemming en intonering vonden plaats in verschillende werkfazen na de montage van de pijpen op de afgewerkte windladen. De gebouwde pijpen werden, na het stemmen (met dichtsolderen aan de bovenzijde) en intoneren opnieuw exact opgemeten en vergeleken met de berekeningen. De uiteindelijke en volledige mensuurtabellen zijn beschikbaar op de Logos website, via de webpagina rond <Qt>.

De bovenkant van de beide windladen maakten we uit tropisch wawa hout (obeche, of met de Latijnse benaming triplochiton scleroxylon) uit Afrika. Het is een betrekkelijk lichte en ook lichtgekleurde houtsoort die uitermate geschikt is voor houtsnijwerk en door de gesloten



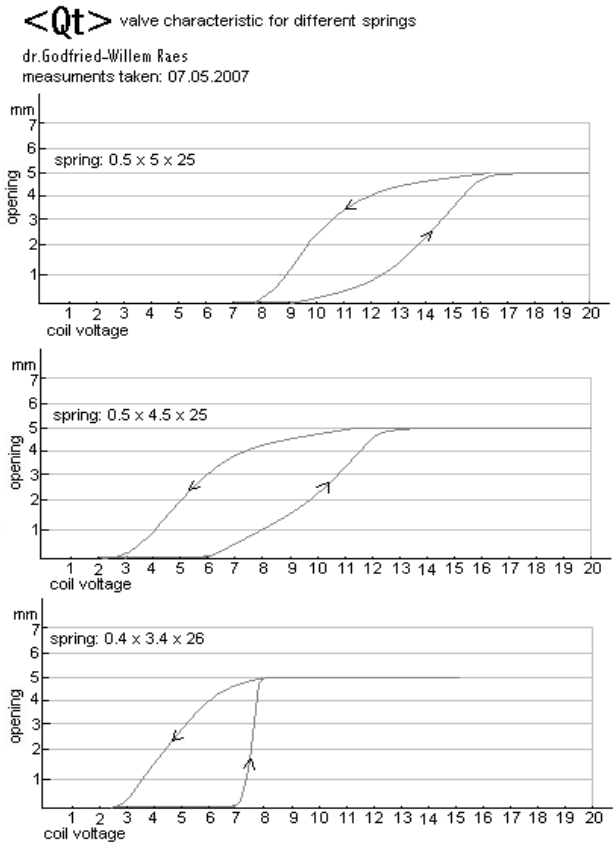
vezelstructuur niet erg gevoelig voor kromtrekken.

Hoewel we, met het oog op het bereiken van een optimale aanslaggevoeligheid, vele proeven uitvoerden met kegelventielen, voorzagen we de windladen uiteindelijk toch van klassieke vlakke klepzittingen. De voor een proefneming gebouwde en geteste kegelventielen waren immers erg moeilijk luchtdicht te maken en, door hun grotere massa, beperkten ook de repetitiesnelheid van de noten. Ook kwamen ze makkelijk klem te zitten in het hout van de windlade. Pas enkele jaren na de afwerking van <Qt>, zouden we een geslaagd en met kegelventielen uitgerust orgeltje bouwen, met name <Bomi>, waarover meer in de volgende paragraaf.



Op de foto zien we een ventiel met een vlakke zitting, diameter 30 mm, gemonteerd in de onderste windlade van <Qt>. Na inventarisatie van de benodigde ventielmagneten in de diverse afmetingen die we nodig hadden bleek het kostenplaatje alleen al voor de ventielen tot zo'n 3800 Euro op te lopen. <Qt> werd uiteindelijk, niet alleen een van de grootste maar ook het duurste automatisch instrument dat we ooit bouwden.

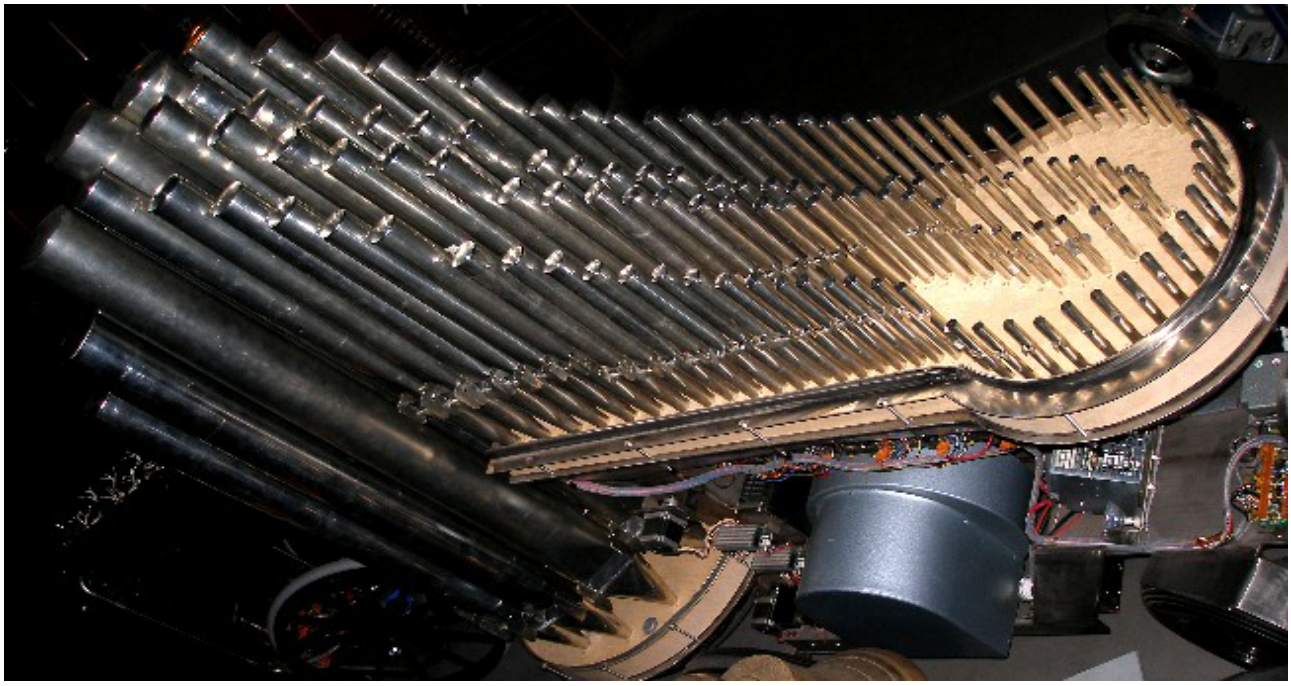
Het afzien van het gebruik van kegelventielen in de windladen, noopte ons wel tot het onderzoeken van alle mogelijkheden om aanslaggevoeligheid te implementeren met vlakke ventielen. In de elektronische hardware en de firmware voor de besturing leverde dat geen nieuwe problemen op, want we konden voortbouwen op ons ontwerp voor de piano Vorsetzer met de puls-en-houd schakeling. Daarom onderzochten we de mogelijkheden om te spelen met de veerspanning in de ventielen. Daartoe bestelden we diverse veertjes en brachten we het gedrag van de ermee uitgeruste ventielen in kaart:



Het is duidelijk dat met de originele Laukhuff veertjes (onderste grafiek) niet veel mogelijk kan zijn op gebied van controle van de opening der

ventielen ten behoeve van expressiemogelijkheden. Bovendien is de afsluitkracht van de ventielen met deze veertjes te klein voor de hier toegepaste winddruk, wat tot lekken aanleiding kan geven. De sterkste veren (bovenste grafiek) sluiten de ventielen perfect af, maar openen net iets te langzaam waardoor snelle staccato's in het gedrang zouden kunnen komen. De veertjes uit de middelste grafiek laten duidelijk het breedste regelbereik toe. De PWM sturing voor note-key pressure moet voor deze veertjes een regelbereik hebben van 20% tot 100%. Alle veertjes in de ventielen van <Qt> werden dan ook vervangen en de firmware aangepast.

De elektronische hardware voor de besturing van de ventielen bracht geen enkele nieuwigheid met zich en voor de beschrijving verwijzen we dan ook naar de paragrafen die we wijden aan de bouw en ontwikkeling van onze player piano's.



Voor <Qt> werd door heel wat componisten muziek geschreven. Zo omvat het solo-repertoire van deze robot muziek van Frank Nuyts, Kris De Baerdemacker, Yvan Vandersanden, Koen Quintyn, Benjamien Lycke, Barbara Buchowiec, Sebastian Bradt, Wouter Wemel, Thomas Smetryns, Kristof Lauwers...

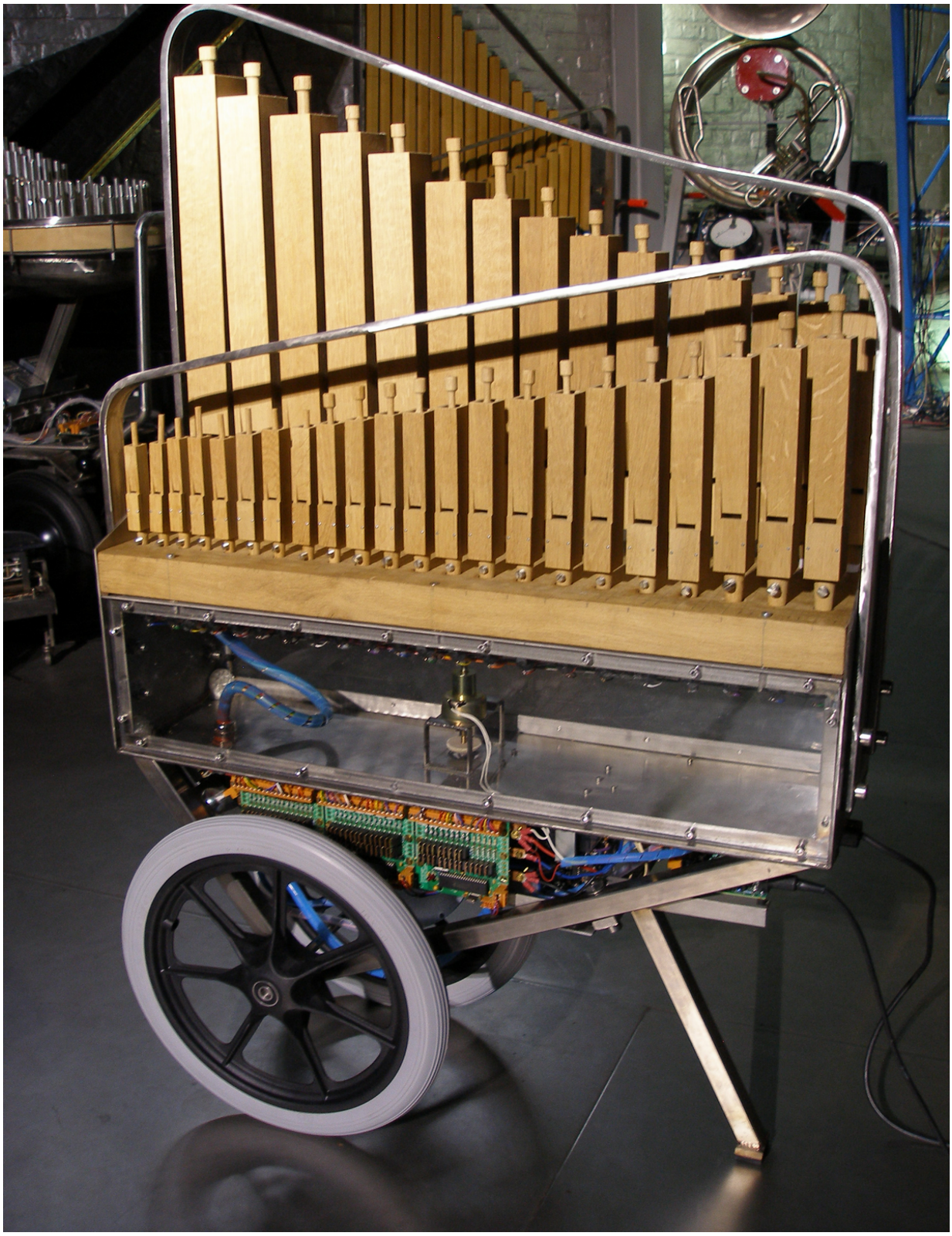
Medewerkers:

Ghislain en Dierik Potvlieghe, Johannes Taelman, Kristof Lauwers, Xavier Verhelst, Yvan Vander Sanden

Technische fiche:

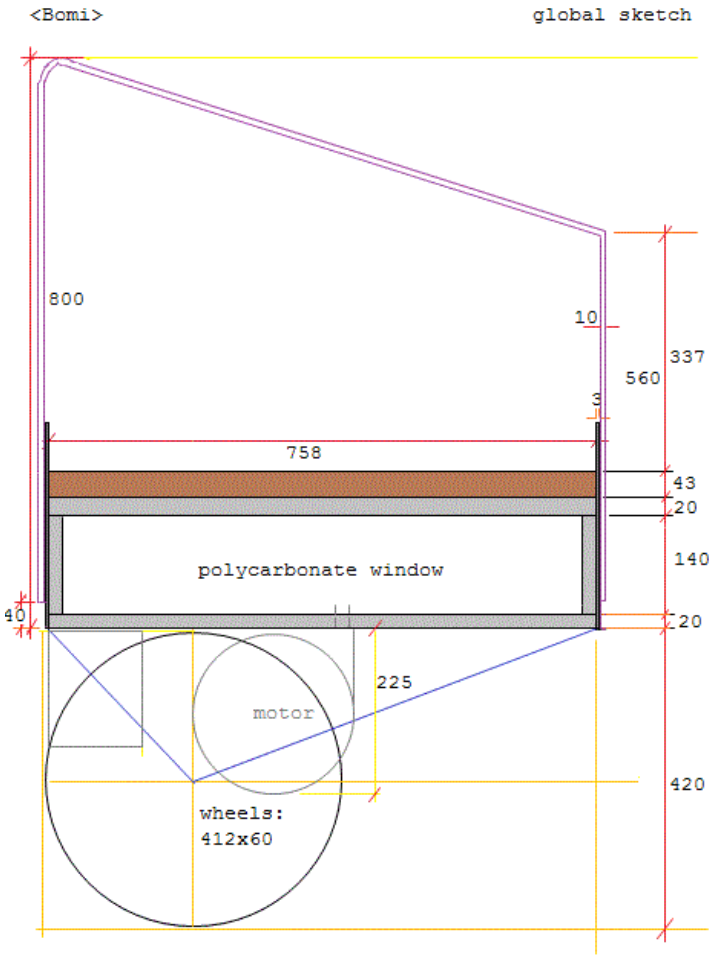
- Afmetingen: lengte: 2000 mm, breedte: 700 mm, hoogte: 1760 mm.
- Gewicht: 226 kg
- Elektrisch: 230 V ac - 50Hz - 950 Watt (piek).
- Winddruk: 10-150 mm H_2O (1 tot 15mBar) Nominaal: 140 mmH_20
- Stemming: 440 Hz, in kwarttonen over zes octaven
- Microprocessors: 18 chips: (PIC18F2525 (1), PIC18F4620(9), PIC18LF4620(3), Melexis-DSP(2), Sanyo Motor ctrl (2), Leroy Controller (1))
- Bouwkost: 74.500 €
- Bouwjaar: 2007

<Bomi>

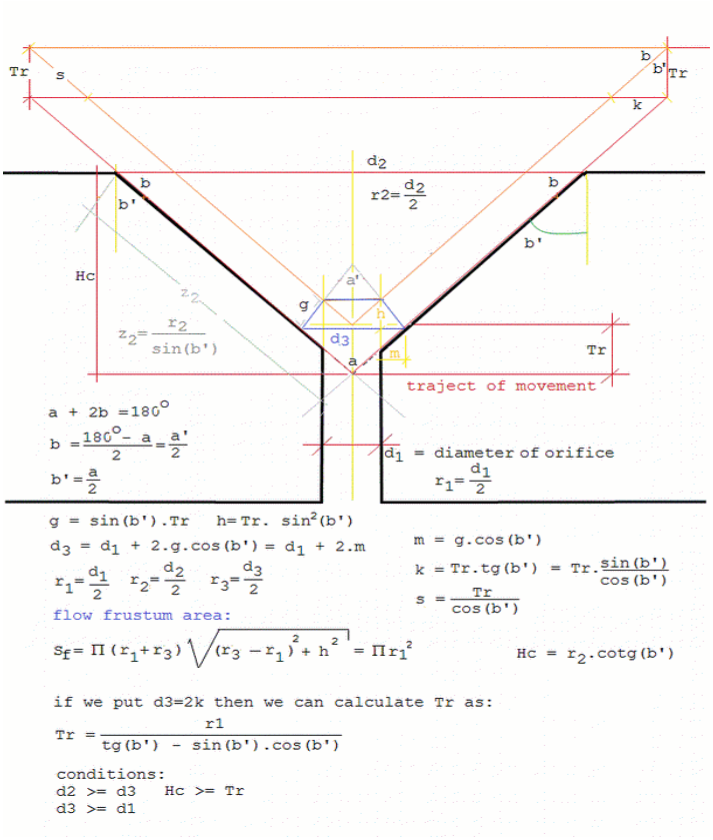


Voor de bouw van deze kleine automaat maakten we gebruik van een eerder toevallige aanbieding op de website van August Laukhuff, voor een volledig in hout gebouwd 4-voet orgelregister met labiaalpijpen. Een onvolledig register dat loopt vanaf midi noot 60 (C4) tot en met 91. De pijpen

voor de noten 55-59 bouwden we bij. De windlade is, afgezien van het bovenblad waarop de pijpen rusten en waarvoor tropisch hardhout werd gebruikt, geheel vervaardigd uit gelast roestvast staal en polycarbonaat, waardoor een transparante windlade kon worden gerealiseerd. Geheel naar analogie trouwens met de windladen zoals we die eerder al ontwierpen voor <Qt>, <Trump> en <Krum>. Hier de maatschets voor de constructie van het chassis:



De elektromagnetische ventielen waarmee de luchttoevoer naar de pijpen wordt geschakeld zijn ook hier binnenin deze windlade geplaatst. In tegenstelling tot eerdere ontwerpen, gebruikten we hier uitsluitend conische ventielen. Daarrond hadden we tijdens het bouwproces van <Qt> al heel wat experimenten opgezet. Voor het ontwerp van deze robot, werd dit thema echter voor het eerst

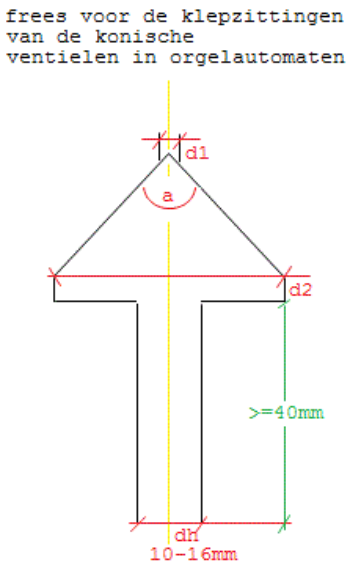


grondig uitgespit:

Toepassing van deze meetkundige analyse op de ventielen voor <Bomi>, gebruik makend van conussen uit de catalogus van August Laukhuff, leidde dan tot dit resultaat:

conus diameter	top hoek	traject	diameter van de equivalente opening
35 mm / 15 mm	110°	5.2 mm	10 mm
25 mm / 12 mm	100°	5.0 mm	7 mm
20 mm / 11 mm	85°	6.0 mm	5 mm
16.5 mm /10.2 mm	81°	6.0 mm	4.3 mm
13 mm/ 8.7 mm	72°	6.0 mm	3 mm

De praktische toepassing hiervan noopte ons echter tot het op maat laten vervaardigen van frezen overeenkomstig deze hoeken, om de kuiltjes voor de ventielen in de windlade te kunnen maken. We bestelden dan ook frezen met volgende specificaties bij het gespecialiseerde bedrijf Lanoye

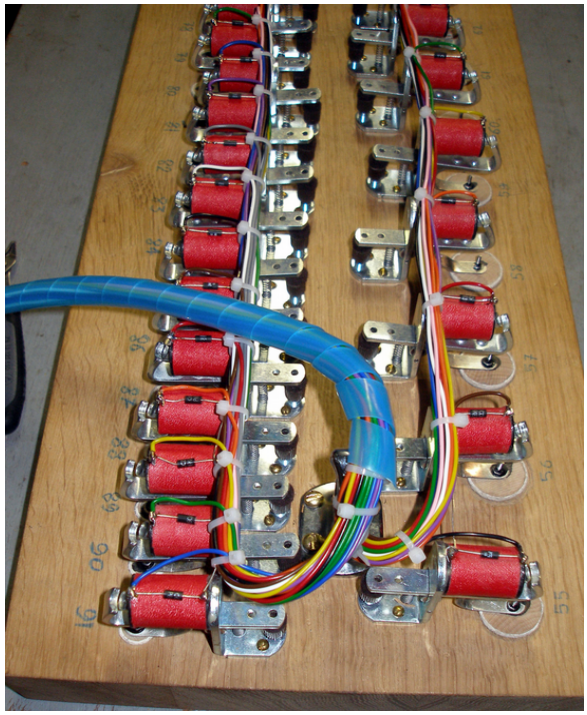


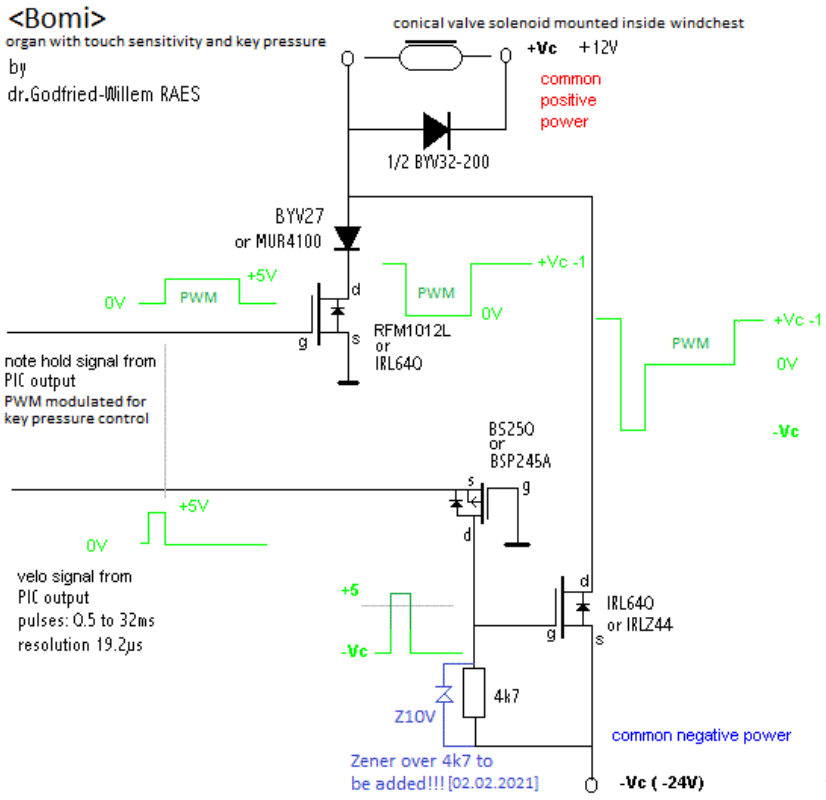
bvba:

Frees nr.	d1	d2	Snijhoek a
2	0 - 15mm	35 mm	110°
4	0 - 9mm	25 mm	100°
5	0 - 8mm	20 mm	85°
6	0 - 6mm	16.5 mm	81°
7	0 - 5mm	13 mm	72°

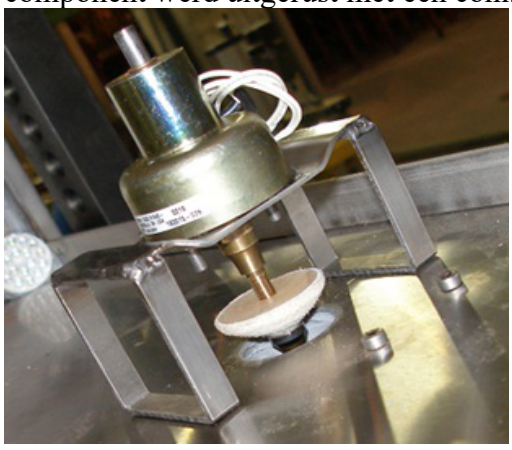
Deze frezen zijn voorzien van vier snijvlakken en zijn geschikt voor hout- zowel als metaalbewerking. Na het frezen van de kuiltjes, dienden we de van conussen voorziene ventielen heel precies gecentreerd boven die kuiltjes te monteren. Aan dit werkje mispakten we ons ernstig. De lekvrije montage en afregeling van de ventielen bleek onnoemelijk veel moeilijker uit te voeren dan bij toepassing van vlakke ventielen... Bouwers die ons op dit vlak zouden willen volgen, willen we dan ook de raad geven om bij toepassing van conische ventielen, de windlade uit metaal ofwel gladde kunststof te vervaardigen (geen hout dus!) en verder zuiver verticaal gemonteerde cilindrische elektromagneten, in lijn met de ventielen, toe te passen. We hebben hier ons lesje wel geleerd...

Na het overwinnen van deze moeilijkheden, werd het niettemin mogelijk ook toetsdruk na het aanzetten van een noot te implementeren. Hiertoe wordt de houd-spanning voor de elektromagneten in pulsbreedte gemoduleerd. Het elektronisch principeschema, in principe bijna niet verschillend van dat toegepast in zo goed als alle door ons ontworpen robots met aanslaggevoeligheid, moge dit verduidelijken:



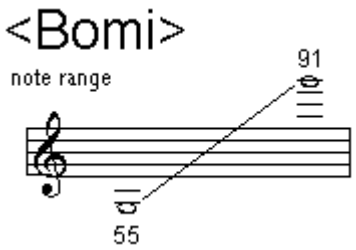


Voor de windvoorziening maakten we gebruik van een kleine Ventola orgelblazer van de firma Laukhuff, met een regelbare winddruk van maximaal 80 mm waterkolom, of 8 mBar = 785 Pa, in eenheden uit de fysica. De aansturing van de 80 Watt motor gebeurt met een motorcontroller. Zoals voorspelbaar en normaal bij orgelpijpen, is ook hier de stemming enigszins afhankelijk van de winddruk. Alleen bij een motor frequentie van 50 Hz is de stemming correct. De winddruk is dan 70 mm H_2O. Om een eenvoudige afregeling, stemming en intonering mogelijk te maken, voorzagen we in een aansluiting voor een precieze manometer aan de buitenkant van de windlade. Het maximale debiet van de compressor is 1 kubieke meter, wat dus brede clusters ruimschoots mogelijk maakt.
De pijpen werden op de windlade gemonteerd in twee rijen overeenkomstig de twee verschillende maten van de pijpvoeten. De elektrische verbinding tussen de windlade en de elektronische besturing erbuiten gebeurt via een luchtdicht afgesloten kabelbundel uitmondend op Weidmueller connectors. De besturing van <Bomi> komt voor rekening van niet minder dan vier PIC microcontrollers: drie voor elke groep van 14 pijpen en een voor de besturing van de motor, het tremulant ventiel en de lichten. Alle elektronische besturingen, inclusief de voedingen, vonden een plaatsje onder de windlade.
Voor de tremulant gebruikten we een zogenaamde 'softshift' elektromagneet van Lucas-Ledex. Deze component werd uitgerust met een conisch ventiel. Hier is een foto:



Aangezien het gehele pijpwerk uit hout is vervaardigd, is deze robot niet geschikt voor openluchtconcerten. Houten pijpen zijn niet in het minst vocht- of regenbestendig. Bovendien is ook zijn eerder zachte toon, niet voldoende krachtig voor straatgebruik. Als lid van het Logos robotorkest vormt hij evenwel een grote verrijking van het orkestraal coloriet.

Midi implementatie:



kanaal 3

Noot-aan, met aanslagsnelheidscontrole

Controllers:

Controller #1 bestuurt de windklep. Bij waarde 0 is die volledig geopend en bij 127 volledig gesloten. Bij koude start en reboot is de klep altijd volledig geopend. De tremulant is geïmplementeerd als een modulatie van de positie van de windklep rond de waarde ingesteld met controller #1. Voor een normaal gebruik van de tremulant, moet controller #1 een waarde van ca. 80 krijgen. Wanneer een heel hoge modulatiediepte gewenst wordt moet deze waarde verkleind worden.
Controller #11 stuurt de snelheid van de tremulant. Normale waarden liggen tussen 100 en 110.
Controller #12 regelt de modulatiediepte van de tremulant. De normale waarde is 60. Subtiele instellingen worden verkregen met volgende waarden: #12 @ 38, #11 @ 100, #1 @ 90.
Controller #7 stuurt de winddruk, via de motorsnelheid. De normale instelling is 72. Snelle veranderingen van winddruk zijn niet haalbaar, maar de controller kan heel goed gebruikt worden voor crescendo's en decrescendo's. Uiteraard blijft de stemming niet gegarandeerd wanneer van de standaard winddruk wordt afgeweken.
Controller #66 wordt gebruikt als aan/uit schakelaar voor de motor.

Medewerkers:

- Kristof Lauwers, Yvan Vandersanden, Johannes Taelman, Xavier Verhelst, Troy Rogers

Technische fiche:

- Afmetingen: 820 x 330 x 1230 mm. (w, d, h)
- Gewicht: 38 kg
- Elektrisch: 230V ac - 286W(piekvermogen)
- Stemming: A = 440 Hz bij 21 graden Celsius
- Winddruk: 45 mmH_2O or 4.5 mbar
- Geluidsdruk: <= 84 dBA
- Bouwkost: 19.000 €.
- Bouwjaar: 2009-2010

<Pos>

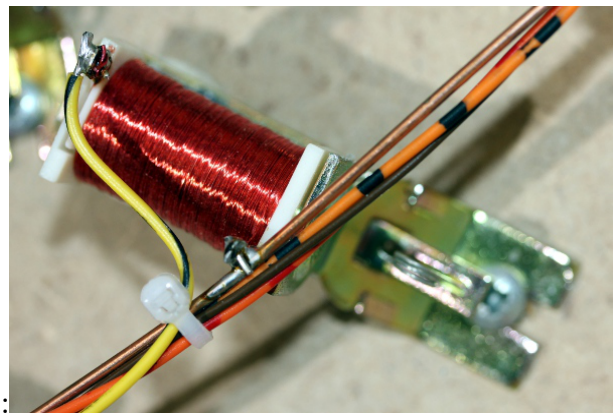


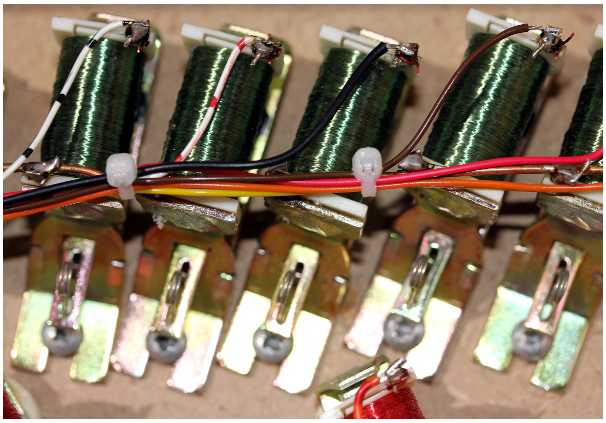
In december 2017, helemaal onverwachts, ontvingen we een email van broeder Kris Oelbrandt in een Hollands Benedictijnenklooster met een gratis aanbieding van een klein pijporgeltje. Zo'n aanbod konden we natuurlijk niet afwijzen en begin januari 2018, organiseerde we het transport naar onze werkplaats bij Stichting Logos. Het orgeltje werd gebouwd door Gerard Pels rond 1991 in diens atelier in Herselt. Gerard Pels – we hadden hem in de jaren '90 nog ontmoet en bezocht – overleed in 2014. Zijn atelier sloot de deuren in 2017. Het oorspronkelijk orgeltje was een bestelling van Kris Oelbrandt, die wilde experimenteren met een op een juiste boventoon- stemming gesteund systeem met 13 noten per octaaf. Dit toonsysteem had hij 'duaal-toonsysteem' gedoopt en de volledige beschrijving is te downloaden vanaf de logos website. Bij zijn intrede in het klooster in Zundert werd het orgeltje gebruikt in religieuze ceremonies, maar daarvoor diende het te worden omgebouwd naar de gebruikelijke gelijkzwevende stemming met twaalf noten per octaaf. Die ombouw werd nog uitgevoerd door Gerard Pels. Het klooster verhuisde naar Herselt en het orgeltje was doelloos geworden. Zo kwam het ook bij Logos terecht.

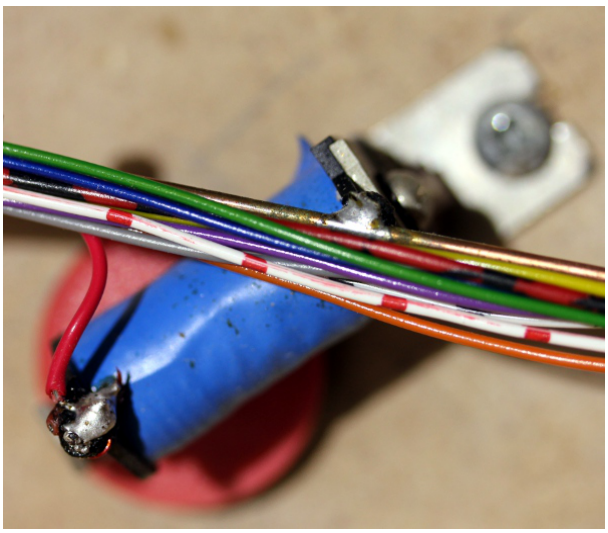
Het instrument is opgebouwd als een enkel register. Voor het laagste octaaf (noten 36 tot 48), zijn gestopte houten pijpen gebruikt. Deze vonden een plaatst op de achterste rij van de windlade. Het middenbereik (noten 49 tot 93) is als 8 voet holpijp gebouwd met tin pijpen. De holpijp resonators bevinden zich hier binnenin de gestopte pijpen, gesoldeerd op de pijphoeden. De hoogste pijpen (noten 94 tot 100) zijn gebouwd als lichtjes conisch spits toelopende open pijpen, eveneens uit tin.

Binnenin de windlade werden elektrische ventielen toegepast, wat voor ons de verdere automatisering tot – bij wijze van spreken - een fluitje van een cent maakte. Het klavier, waarvoor bij ons geen enkele functie overbleef, was uitgevoerd met elektrische contacten waarbij – helaas - geschakeld werd in de positieve voedingslijn, met gemeenschappelijke aarde dus, en waarbij de aansluitdraden op geen enkele wijze van een code waren voorzien. Dat werd puzzelen.

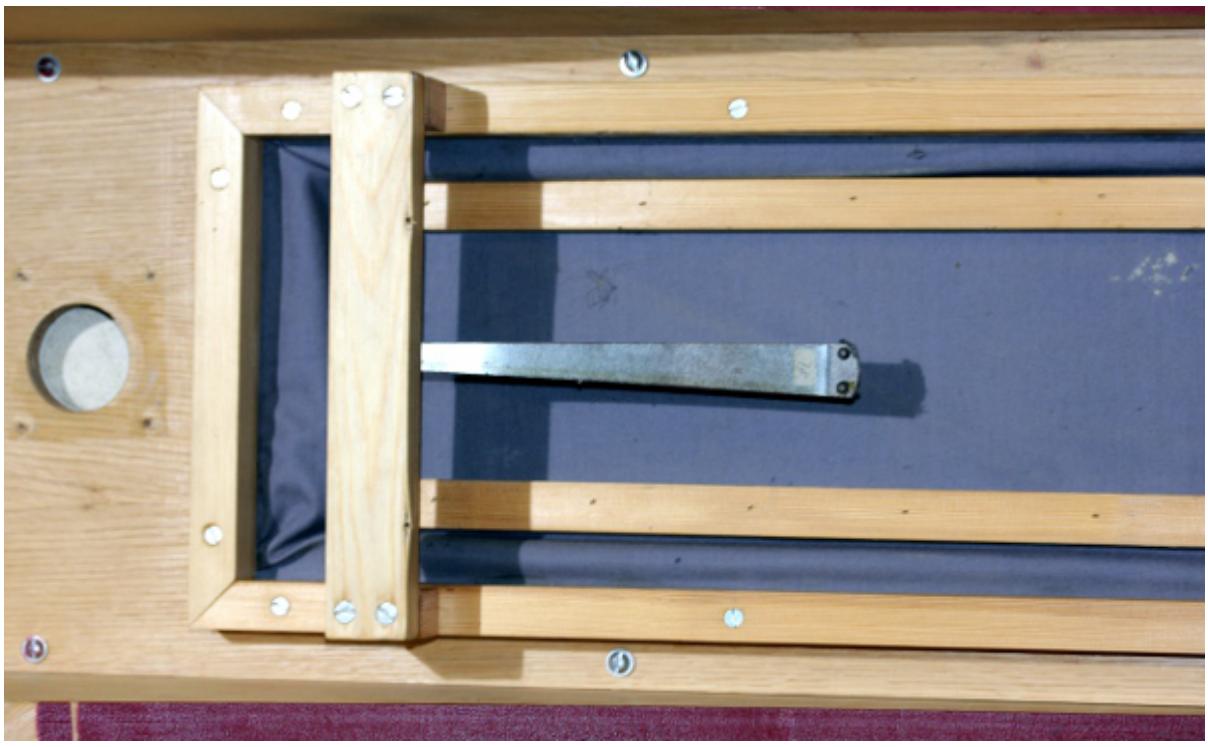
Voor automatisering was het voor ons doel dan ook noodzakelijk alle diodes te verwijderen en de hele bedrading opnieuw uit te voeren. Dus, het orgeltje moest helemaal uiteen worden gehaald en de windlade eveneens gedemonteerd. Daarin ontwaarden we de gebruikte ventielen, drie types:

Type 1: 

Type 2: 

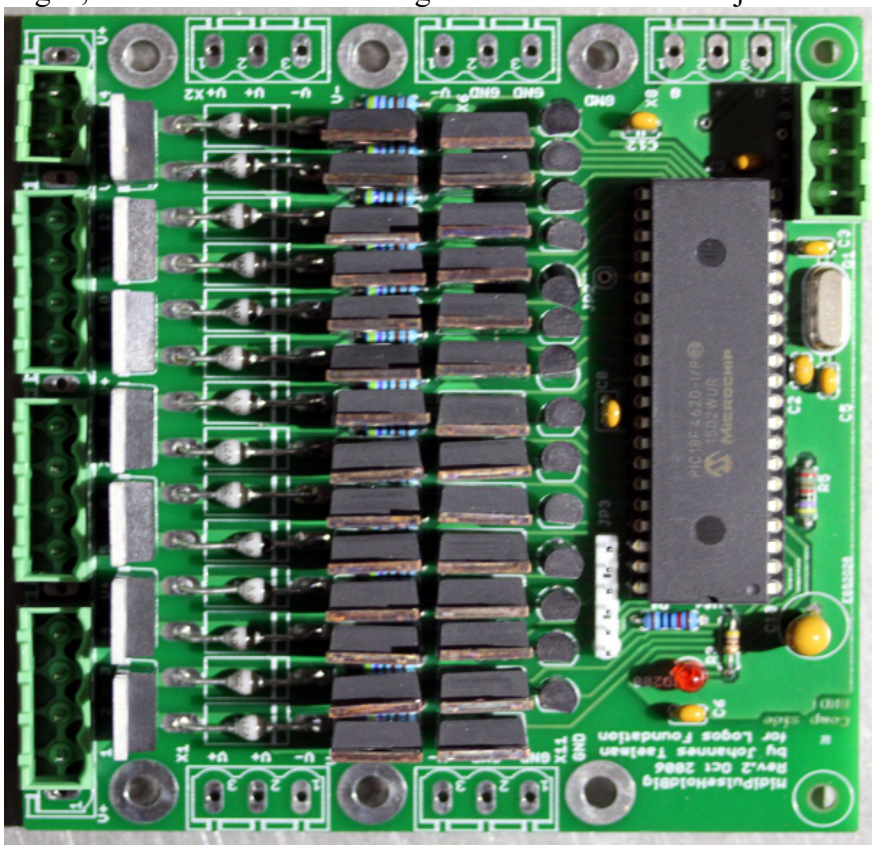
Type 3: 

De windvoorziening werd uitgevoerd met een Laukhuff Ventola 600 Pa radiale compressor, waarbij de wind gestabiliseerd wordt met een middels een veer van drukkracht voorziene balg.

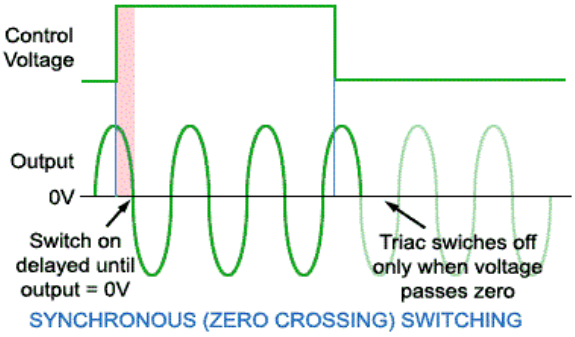


Het ronde gat, is de inlaatopening voor de radiale compressor.

De automatisering verliep vrij vlot, gebruik makend van vijf Microchip PIC18F4620 microprocessors. Elk processor board staat in voor de besturing van 14 noten. Wat dit betreft eigenlijk zo goed als een perfecte kopie van de wijze waarop we ook <Bomi> opbouwden. Hier evenwel, implementeerden we geen toetsdruk omdat dit met de hier toegepaste ventielen helemaal geen zin had. Het MIDI *key pressure* commando is hier wel geïmplementeerd, maar wordt hier gebruikt voor snelle noot-herhalingen, waarmee o.m. Flatterzunge effecten te bereiken zijn. Hier een foto van een van de PCB's:



Een zesde PIC microcontroller (een 18F2525 type) wordt ingezet voor de besturing van de radiale compressor. Voor die besturing pasten we een primitieve vorm van laagfrequente pulsbreedte modulatie toe, gebruik makend van een solid state relais, schakelend op de nul-doorgangen van de

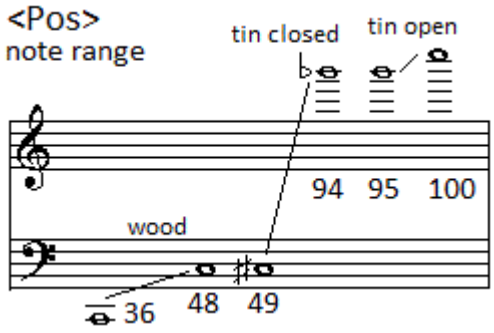


<Pos> robot motor control principle

netspanning. Dit werkt redelijk goed, maar een soepele regelingen is het toch niet echt geworden, in vergelijking dan, met wat kan worden bereikt wanneer een echte motorcontroller wordt toegepast.

Uniek aan deze orgelrobot is dat hij ook volkomen autonoom kan spelen. Daartoe bouwden we een door Johannes Taelman ontwikkeld AXO-board in, waarmee een aantal voorgeprogrammeerde composities kunnen worden gespeeld zonder dat er een externe computer of zelfs maar een interface aan te pas moet komen. Op 13 september 2018 vertrok <Pos>, voor zes maanden naar de Speelklok Museum in Utrecht. Het was ter gelegenheid daarvan dat hij werd voorzien van de mogelijkheid volkomen autonoom een aantal demo-stukken te spelen. In 2020 was <Pos> ook te gast op het Lunalia festival te Mechelen met de 'Musik für ein Flötenuhr' van Ludwig van Beethoven, oorspronkelijk geschreven voor een muziekautomaat.

Midi mapping:



Medewerkers: Gerard Pels (1955-2014), Mattias Parent, Moniek Darge, Lara Van Wynsberghe

Technische fiche:

- Afmetingen: breedte:1300 mm, diepte: 490 mm, hoogte: 2130 mm
- Gewicht: ca. 70 kg
- Elektrisch: 230V ac - 160W
- Stemming: A = 440 Hz bij 21 graden Celsius
- winddruk: 65 mmH_2O or 6.5 mbar
- Bouwkost: 25.000 €.
- Bouwjaar: 2018

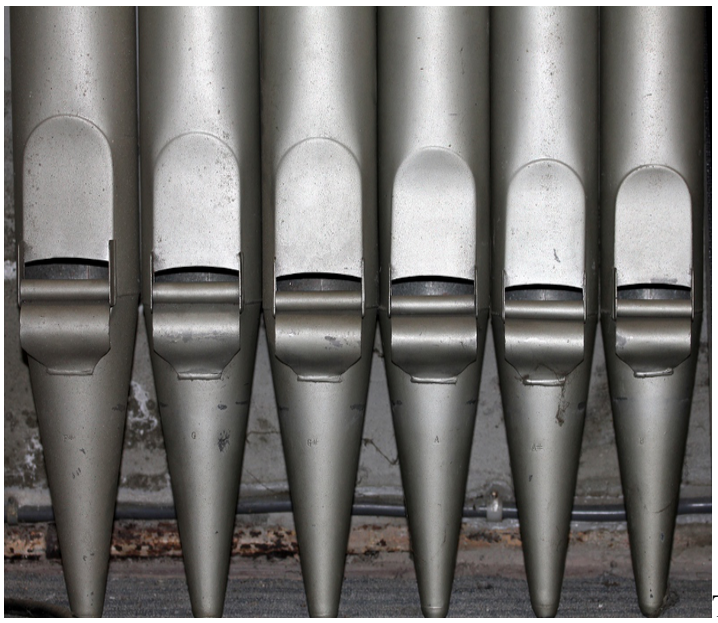
<RorO>



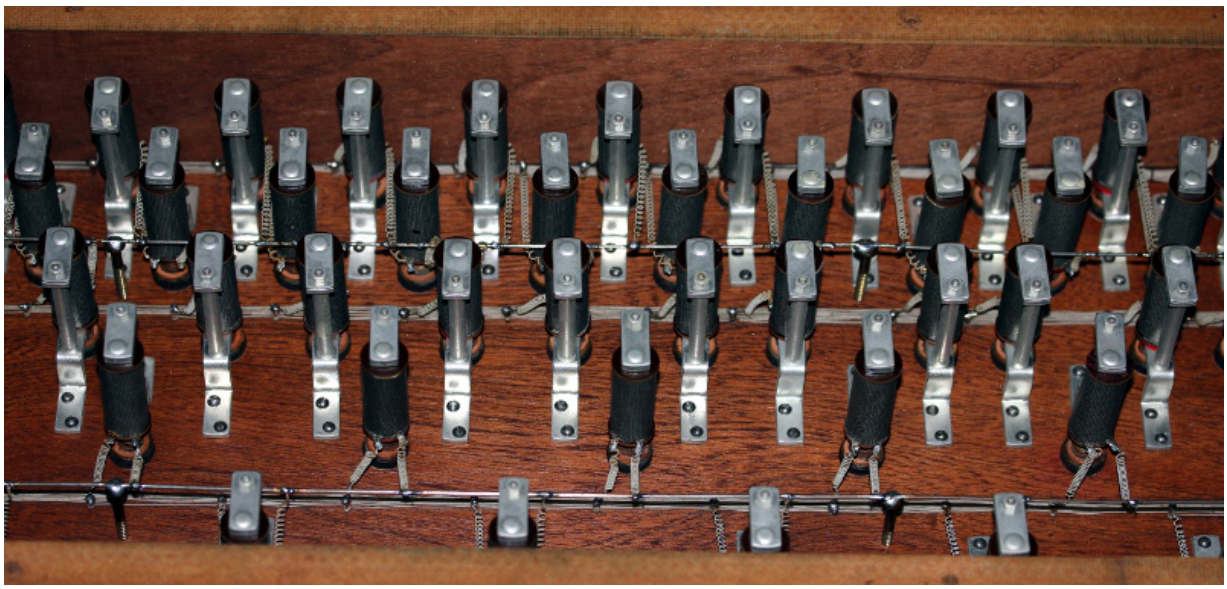
De aanvankelijke uitgangspunten bij het ontwerp, de planning en de bouw van deze muzikale robot waren drieërlei:
1.- Heel regelmatig bereikt ons de vraag naar muziekautomaten die kunnen worden ingezet op openbare plaatsen, straten en pleinen. Omwille van de gebruikte materialen en ontwerptechnische beperkingen was dit met de grote meerderheid van de robots reeds beschikbaar bij Stichting Logos praktisch onmogelijk. Vandaar de aanvankelijke overweging van het bouwen van een 'draaiorgel'-achtig instrument dat geschikt zou zijn voor bedrijf in openlucht: op straat dus. Anders gesteld, voor het ontwerp vereist dit een zekere mate van regenbestendigheid, een eigenschap die in geen van de muzikale robotten die we bij Stichting Logos ontwikkelden in voldoende mate aanwezig is. Deze vereiste dicteert het gebruik van kunststoffen en metalen eerder dan de traditionele materialen uit de orgelbouw, met name hout en leder. Ook voor de elektronica vergt dit uitgangspunt enkele bijzondere maatregelen. Voor de pijpen kunnen we uitgaan van een register gebouwd door Gerard Pels (1955-2014) voor een klein kistorgel en waarvoor zink werd gebruikt. Pels heeft het orgeltje evenwel nooit helemaal afgewerkt, en we konden dus vertrekken van dit halffabricaat. Er was een houten windlade, voorzien van elektrische ventielen, voor de pijpen vanaf noot 48. Helemaal geen windlade echter voor het grondoctaaf (noten 36-47). Voor die windlade zelf, kwam dik massief PVC in aanmerking, zoals we dat met groot succes al hadden toegepast in onze Hybr reeks: <Hybr>, <HybrHi> en <HybrLo>. Maar ook zonder echte windlade, mits gebruikmaking van losse 1/2" magneetventielen en heel wat slangen moest het mogelijk zijn. De draagplank kon dan ook in traditioneel hout of multiplex worden gemaakt.

2.- Het bouwen van een op zichzelf staande module die bovendien ook interactief kan werken in functie van publiek, bespelers en/of omgeving. Daarmee is bedoeld, dat de automaat zelfstandig moet kunnen werken en dus geen externe apparatuur zoals interfaces, een laptop, sensoren... nodig mag hebben. Om die interactiviteit mogelijk te maken voorzien we minstens twee Doppler-radar sensoren, waardoor interactiviteit via expressief relevante beweging mogelijk wordt gemaakt. Anderzijds vergt deze vereiste de aanwezigheid van heel wat geheugen in de processoren die voor de robot worden gebruikt. Alle repertoire moet immers in die chips kunnen worden opgeslagen.
3.- Los van vorige uitgangspunten, wilden we met deze module aanvankelijk een proefproject opzetten ter evaluatie van het concept van zwaartekracht-kleppen. Traditionele orgelautomaten maken gebruik van een windlade waarop de pijpen worden geplaatst. Binnenin die windlade bevinden zich elektrisch bestuurde ventielen die via een veer in rust gesloten worden gehouden. De veer is nodig, omdat de ventielen 'ondersteboven' dienen te werken. Principieel zijn tegen dit traditioneel ontwerp nogal wat bezwaren aan te voeren: de veer introduceert inherent een risico op resonanties bij bepaalde bekrachtigingsfrequenties. Het lekvrij monteren van de ventielen vereist een engelengeduld en lekken ontstaan ook na montage vrij makkelijk na verplaatsingen of transporten van de windlade. Conische ventielen zijn wat dit betreft nog vele malen lastiger dan de meestal gebruikte vlakke exemplaren, zoals we al uitvoerig beschreven in onze paragraaf over <Bomi>. Het herstellen van een lek is bijzonder tijdrovend, omdat alle pijpen dienen te worden verwijderd (... en achteraf herstemd...) teneinde de bovenplaat van de windlade te kunnen bewerken. Vandaar ons idee om de ventielen bovenop de windlade te monteren, zo dat ze in rust door de zwaartekracht gesloten worden gehouden. Aangezien de pijpen – op grond van hun constructie - niet goed ondersteboven kunnen worden gemonteerd, wilden we bij dit ontwerp uitgaan van de toepassing van 'omkeer-cancellen', een soort U-constructies tussen orgelpijp en ventiel. Gebruik van elastische slangen is natuurlijk ook mogelijk, al moet bij langere trajecten rekening worden gehouden met de vertragingstijden en drukverliezen.

Toen we, na een lange onderbreking van meerdere jaren, het project weer onder handen namen wijzigden we heel wat van deze uitgangspunten: de oorspronkelijke windlade behielden we. De nieuw gemaakte windlade voor het laagste octaaf bouwden we aanvankelijk met spotgoedkope Chinese Banggood ventielen, maar na opbouw en test, bleek de doorlaat van deze ventielen toch veel te klein voor de pijpen waarvoor we ze bedoeld waren. We bouwden deze windlade opnieuw, maar nu gebruik makend van 'klassieke' Laukhuff ventielen, behalve voor de noten 36 en 47, waarvoor we zelfgebouwde ventielen gebruikten op basis van de Banggood ventielen, maar nu zonder gebruik maken van het kraanhuis ervan. Eigenlijk behielden we zo alleen de spoelen en de ankers...
De pijpen voor de noten 36 tot en met 50 zijn gebouwd als gestopte pijpen en gemaakt in zink.

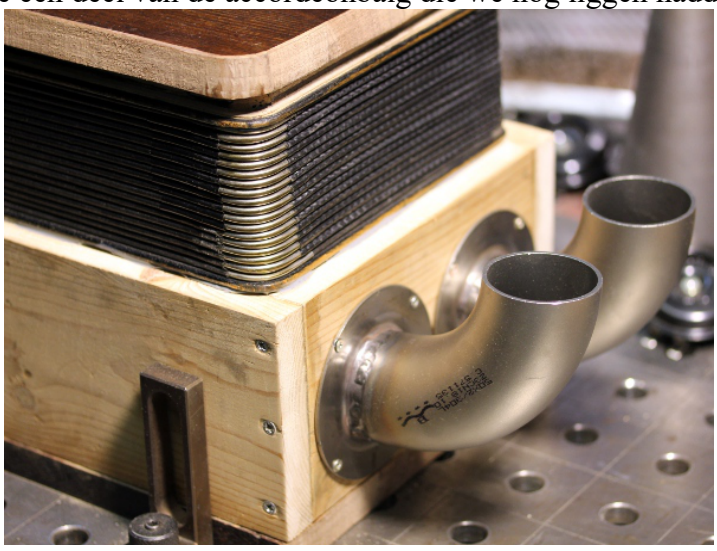
 Tot en met 47, zijn de pijpen volledig gesloten, maar vanaf noot 48 zijn ze half-gestopt. Het instrument omvat verschillende registers, nogal heterogeen samengesteld. Zo troffen we benamingen aan als Roerpijp 8' , Salicional 4', Blockfloete 8' en sommige pijpen dragen de markering 'Nazaard'.

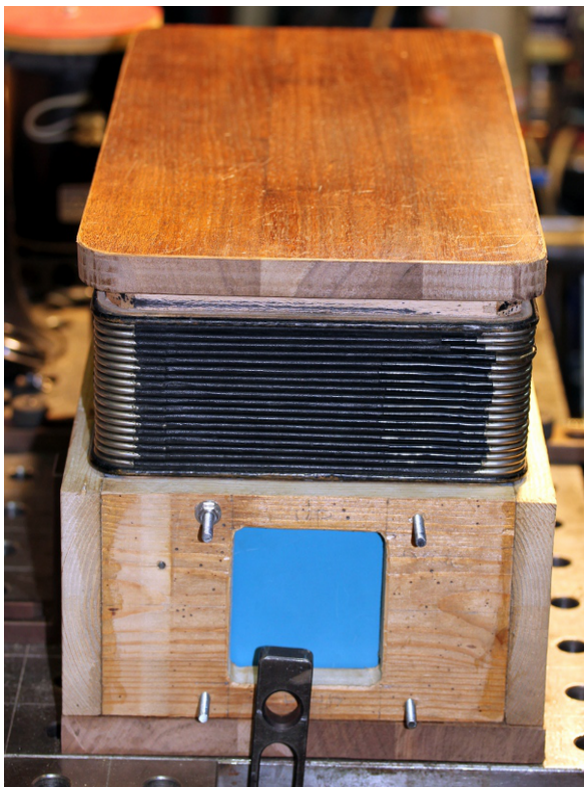
 De aanwezigheid van zulke variatie aan pijpen bracht ons ertoe diverse registratiemogelijkheden te implementeren in de besturing: 8", 4", 2" en sesquialter keuzes komen daarbij in zicht. Het MIDI program-change commando is daarvoor natuurlijk bij uitstek geschikt.
De pijpen vanaf noot 48 worden in de windlade geschakeld met verticale elektromagneten. Enig experimenteren bracht aan het licht dat – ofschoon niet spektakulair - het toch wel loonde voor deze ventielen aanslaggevoeligheid te implementeren. De schakelingen die we daarvoor konden gebruiken zijn dan ook vrijwel identiek aan die gebruikt voor eerder gebouwde en beschreven orgelautomaten zoals <Qt>, <Pos> en <Bomi>.
Hier is een zicht op de binnenkant van de windlade:



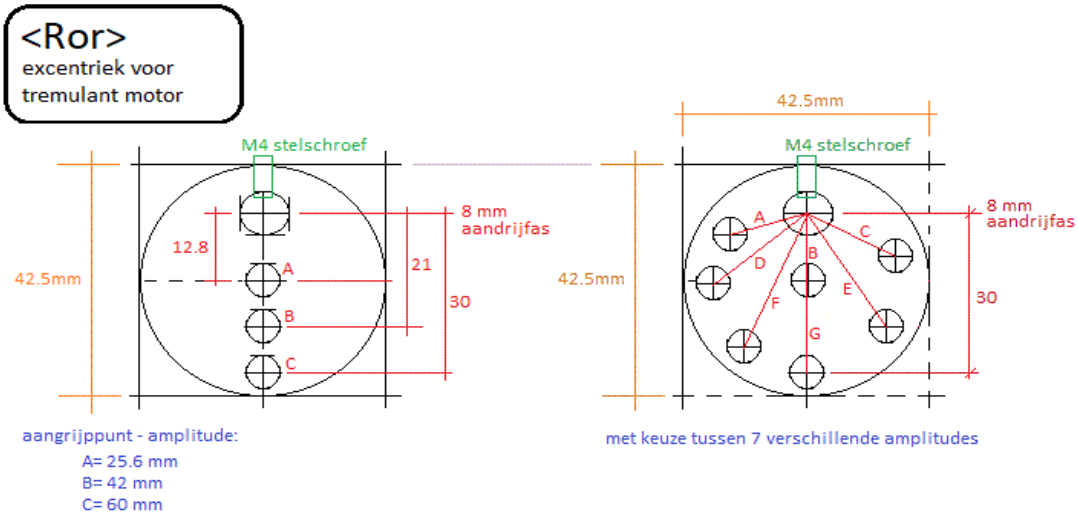
Voor de windvoorziening maakten we gebruik van een kleine Ventus orgelblazer van de firma Laukhuff, met een regelbare winddruk van maximaal 80 mm waterkolom, of 8 mBar = 785 Pa, in eenheden uit de fysica. De aansturing van de 150 Watt (0.2 HP volgens het motorlabel) motor gebeurt met een Siemens G110 motorcontroller. Zoals voorspelbaar en volkomen normaal bij orgelpijpen, is ook hier de stemming enigszins afhankelijk van de winddruk. Alleen bij een motor AC frequentie van 50 Hz is de stemming correct. Winddruk 80mm H_2O.

De radiale compressor is voorzien van een geluidsdemper aan de aanzuigkant evenals van een regelklep op de inlaat. Binnenin de balg is bovendien een terugslagklep gemonteerd. Voor de constructie van de balg, recycleerden we een deel van de accordeonbalg die we nog liggen hadden van de constructie van de <Ake> robot.

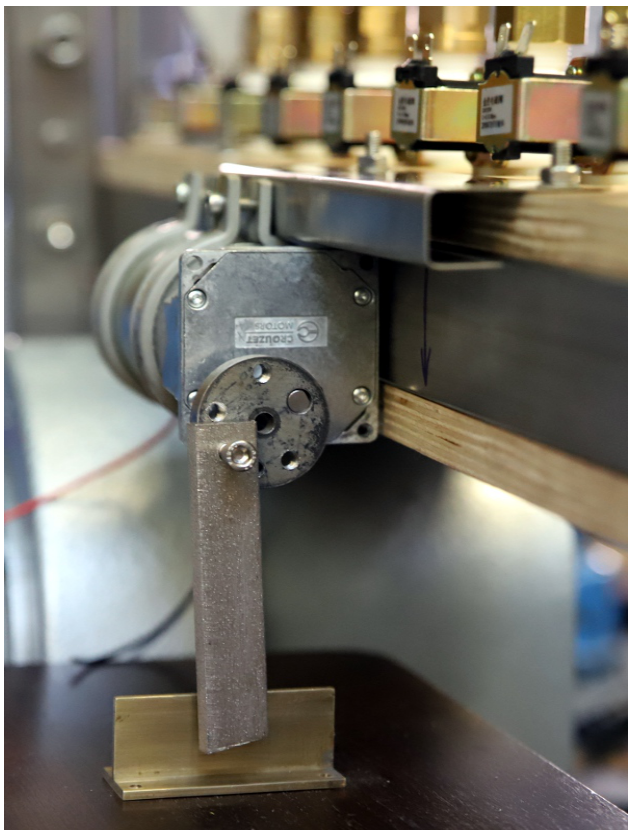




Bovenop die balg, monteerden we een tremulant die werkt met een DC motor voorzien van een excentrisch wiel. De motor, met aangebouwde tandwiel vertragingskast, wordt bestuurd vanuit het midi-hub board middels puls-breedte modulatie. Een dergelijke aanpak hadden we ook al toegepast bij de bouw van de bewegende resonatoren in de <Tubo> robot. Dit is de maatschets voor de constructie ervan in <RorO>:



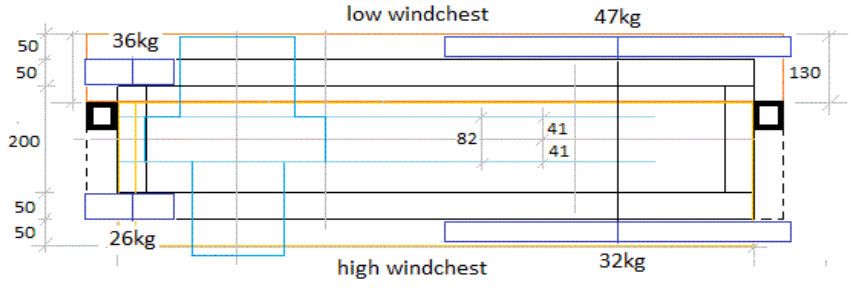
Het excentrisch wiel wordt gemaakt uit 10 mm dik staal. De M4 schroefdraad voor de stelschroef, wordt ingetapt. Het is duidelijk dat de oplossing getekend in de tweede tekening, superieur is boven de eerste oplossing. Merk op dat de amplitude gelijk is aan tweemaal de gekozen straal (A,B,C,D,E,F of G in de tekening). De motor wordt vastgemaakt op de onderste windlade en oefent vanuit die positie de nodige krachten uit op de balg:



Het toerental van deze tremulant kan binnen ruime grenzen geregeld worden. Een grappig effect kan worden verkregen door de motor uit te schakelen en alleen via deze balg en de tremulant windstootjes door het orgel te jagen...

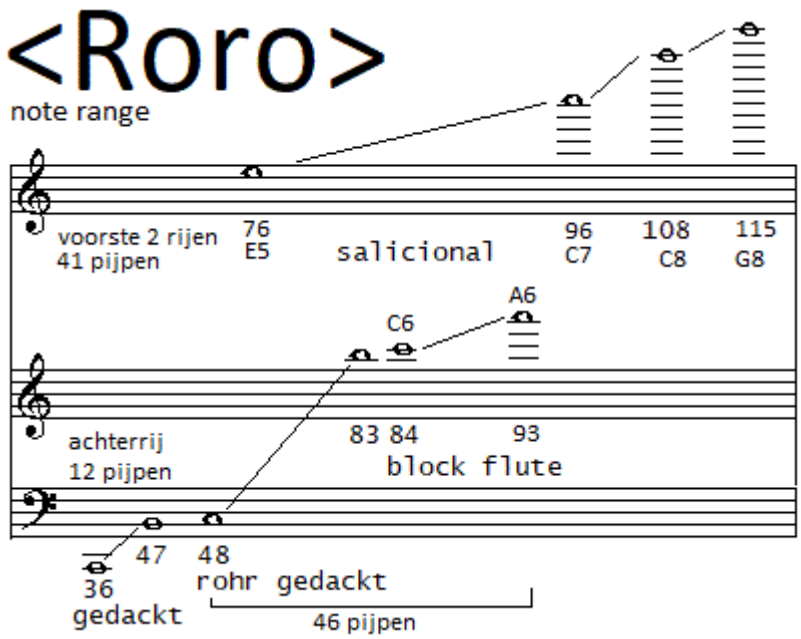
Het hele instrument werd opgebouwd op een stevig gelast roestvast stalen chassis voorzien van gerecycleerde wielen van een afgedankte rolstoel. Het wielstel zelf is slechts marginaal voldoende sterk om de 140 kg zware robot te dragen en kan dan ook niet worden ingezet voor ambulant gebruik. Of, de keerzijde van het gebrek aan middelen door het wegvallen van subsidiëring...

<RorO>
weight distribution over the wheels
total weight: 141kg + 2kg tremulant = 143kg
last update: 30.04.2021



De <RorO> robot beleefde zijn première met een reeks solo-concerten in openlucht naar aanleiding van de niet-Gentse feestenweek in het Corona-jaar 2021. De robot speelde bij die gelegenheid een volledig concertprogramma met composities en arrangementen van Alain Van Zeveren, Johann Sebastian Bach, Walter De Buck, Ludwig Van Beethoven, Godfried-Willem Raes, Karel Waeri, Pierre De Geyter, Johan De Stoop, Kristof Lauwers en als kers op de taart ook 'De Vlaamse Leeuw' van Karel Miry, een geboren Gentenaar net zoals Pierre De Geyter...

Midi implementatie:



_Kanaal 3

Noot aan/uit met ondersteunde aanslaggevoeligheid. De aanbevolen velo-waarde is 64, maar wanneer snelle noot-herhalingen gebruikt worden via de *key-pressure* commando's, verdient het aanbeveling om wat met de velo-waarden te experimenteren en ze ten voordele van de snelheid, te verlagen.

Controllers:

- Controller #7 stuurt de winddruk via de motorsnelheid. De normale waarde is 43.
- Controller #11 stuurt de snelheid van de tremulant. Bij waarde 0 is hij uit.
- Controller #66 schakelt de robot aan of uit en reset alle controllers.
- Controller #123: schakelt alle klinkende noten uit. De motor blijft aan.

Program change selecteert verschillende pijpkeuzen en combinaties:

3	8' register	Alleen noten 36-93 spelen
4	Salicional register alleen, als 8' register	alleen noten 76-115 spelen - om te stemmen
7	alle pijpen als 8' register	alle noten 36-115 zullen spelen
11	8' + Salicional als 4' register	alle noten 36-103 zullen spelen
19	8' + salicional als duodecime register	alle noten 36-96 zullen spelen
5	8' + salicional als 2' register	alle noten 36-91 zullen spelen

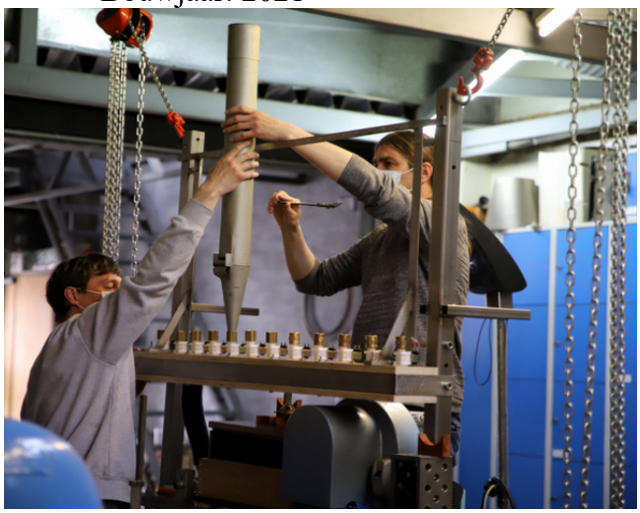
Medewerkers:

Mattias Parent , Yvan Vander Sanden, Johannes Taelman, Kristof Lauwers, Bert Vandekerckhove

Technische fiche:

- Afmetingen: 1200 x 500 x 2080 (in mm)
- Gewicht: 143 kg
- Elektrisch: 230V ac

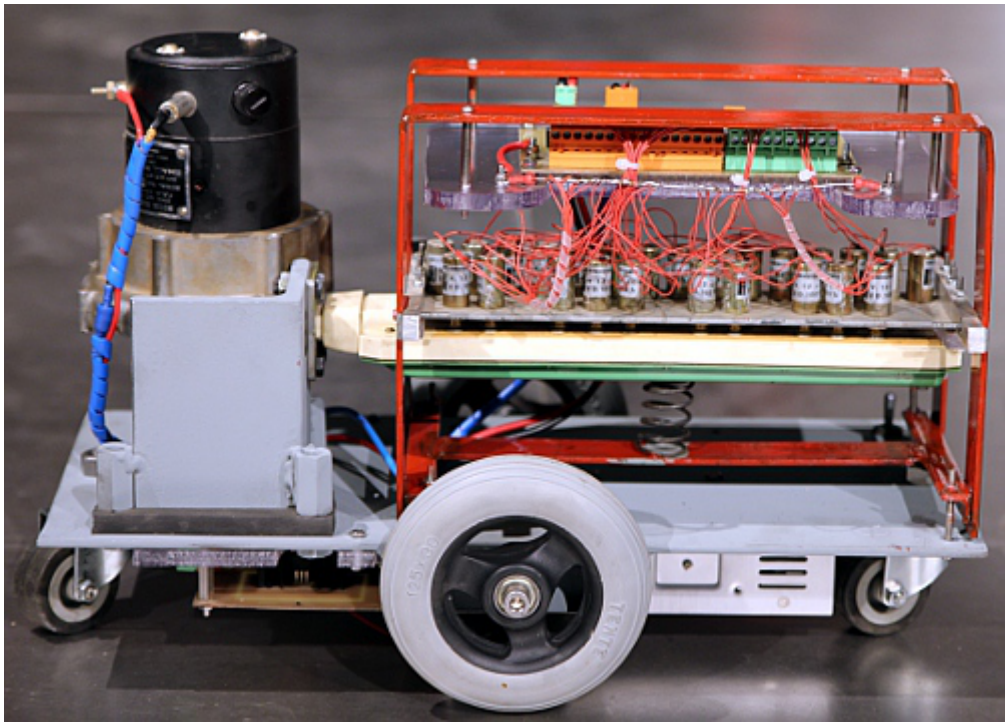
- Stemming: A = 440 Hz bij 21 graden Celsius
- Winddruk: 80 mmH_2O or 8 mbar
- Bouwkost: 16.000 €.
- Bouwjaar: 2021



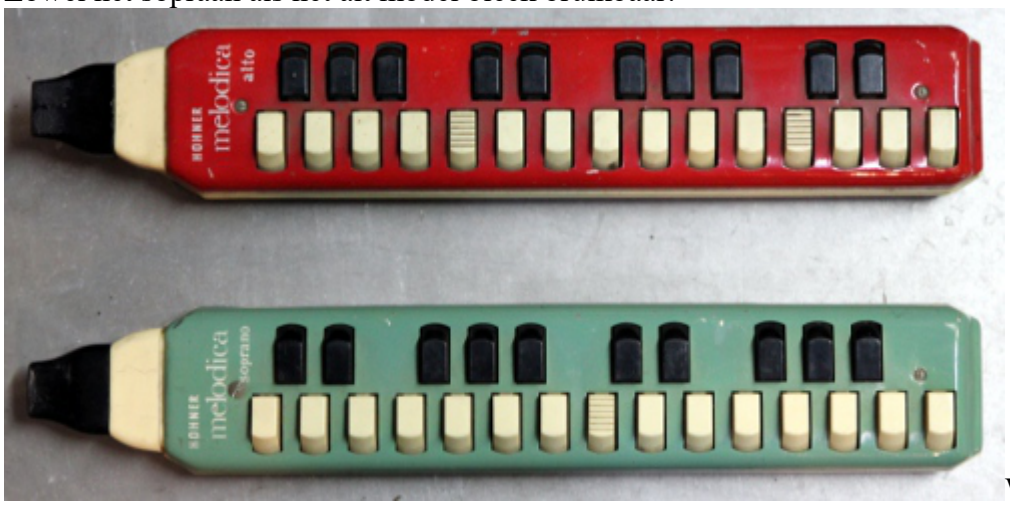
Robots met doorslaande tongen:

Doorslaande tongen zijn in onze cultuur pas sedert de 19e eeuw gangbaar geworden. In oosterse instrumenten zijn ze nochtans al vele eeuwen gangbaar: de Chinese cheng, een mondorgel, is een goed voorbeeld. Westerse instrumenten die ervan gebruik maken zijn het harmonium, het accordeon, de bandoneon, de concertina, vele types muziekdozen, de mondharmonica en de melodica.
In de traditionele orgelbouw komen ze slechts uiterst sporadisch voor en dan nog slechts in sommige orgels uit de tweede helft van de 19e eeuw.
Een vijftal instrumenten met door lucht geactiveerde doorslaande tongen hebben we in de loop der jaren geautomatiseerd. Het oudste was de automatische melodica, <Melauton>. Later volgden dan <Harma>, <Ake>, <Bako> en <HarmO>.

<Melauton>

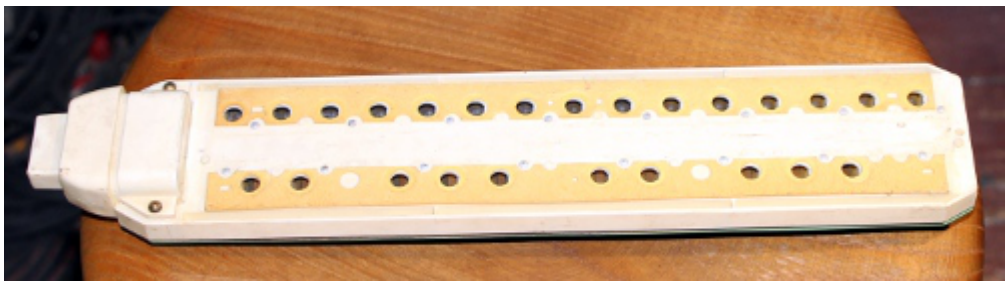


Voor de bouw van deze kleine automaat gingen we in 1991 uit van een bestaande Hohner melodica. Zowel het sopraan als het alt model bleek bruikbaar:

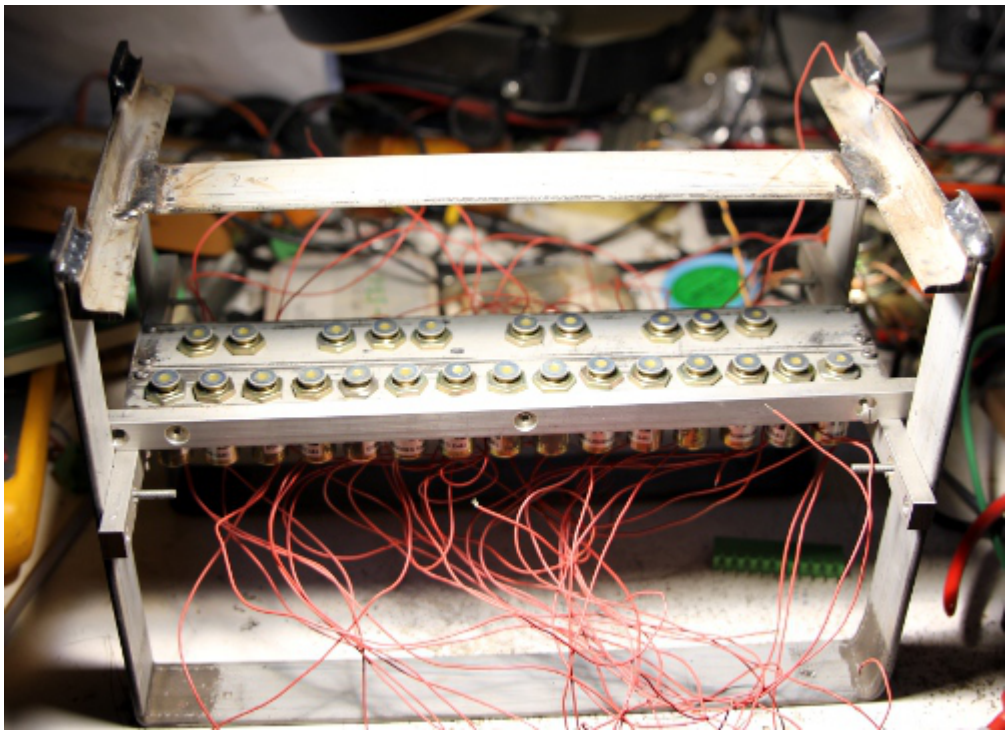


We speelden wat met het idee de melodica zelf omwisselbaar te maken, maar na wat pogingen bleek dat toch minder eenvoudig goed werkend te krijgen. Een (zeldzaam) basmodel hadden we eveneens verzameld, maar daaraan was heel wat restauratiewerk en bovendien vergt dit instrument een alternerende blaas- en zuigwind. Het is immers – net zoals in een accordeon - voorzien van twee rieten per noot.

De toetsen en het bovendeksel van de melodica werden verwijderd en weggegooid. Zo kwamen de toongaten, omringd met een zeemleren dichtingslaag binnen bereik.

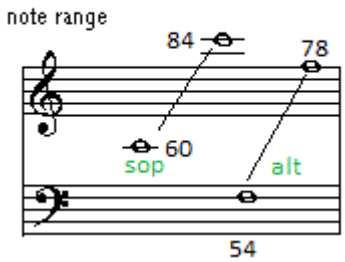


De toongaten zijn 8 mm groot en gezien ze vrij dicht bijeen liggen, moesten we erg kleine elektromagneten gebruiken. We vonden een lot spoeltjes met ankers van 5 mm, die we voorzagen van dichtingsschijven in dun staal van 10 mm diameter. Luchtdichting op de ankers hoefden we – gezien de constructie van de melodica - niet extra te voorzien..



Het toonbereik van deze automaat in de sopraan versie is 2 octaven: midi noten 60 tot 84. Voor de sturing maakten we in de oorspronkelijke versie gebruik van een eenvoudige Z80 microprocessor voorzien van een parallel printerpoort. Gezien de gebruikte spoeltjes genoeg hebben aan 12 Volt bij een stroom van 60 mA, konden we kleine power MOSFET's gebruiken voor de aansturing. Wanneer we de verdere afwerking weer opnamen in 2017 beslisten we toch een geheel nieuw PCB te ontwerpen gebruik makend van een 40-pins PIC microcontroller. Ook bleek de dichting middels zeemleer toch niet helemaal lekvrij en goed te werken.

<Melauton>



Voor de windvoorziening maakten we aanvankelijk gebruik van een kleine axiale compressor uit een vliegtuig. Deze motor draaide op driefasen stroom met een frequentie van 400 Hz. Zoals voor

andere machines, wekten we deze toch niet alledaagse wisselstroom op met een eigen schakeling gebruik makend van een BS2 basic stamp van Parallax. Het resultaat was evenwel een duidelijk hoorbare toon veroorzaakt door de motorwikkelingen en de ermee verbonden schoepen. Daarom ontwierpen we in 2007 een nieuwe windvoorziening, gebruik makend van balgen aangestuurd door een bipolaire elektromagneet. De bekrachtiging van deze elektromagneet kon met PWM worden geregeld, waardoor de winddruk geregeld wordt. Hierdoor was het instrument voorzien van een mogelijkheid tot globale expressieve controle. Luchtdrukvariaties zijn immers van invloed op zowel klankkleur als op luidheid. Toonhoogtevariatie laat het melodica mechanisme (doorslaande tongen) nauwelijks toe.

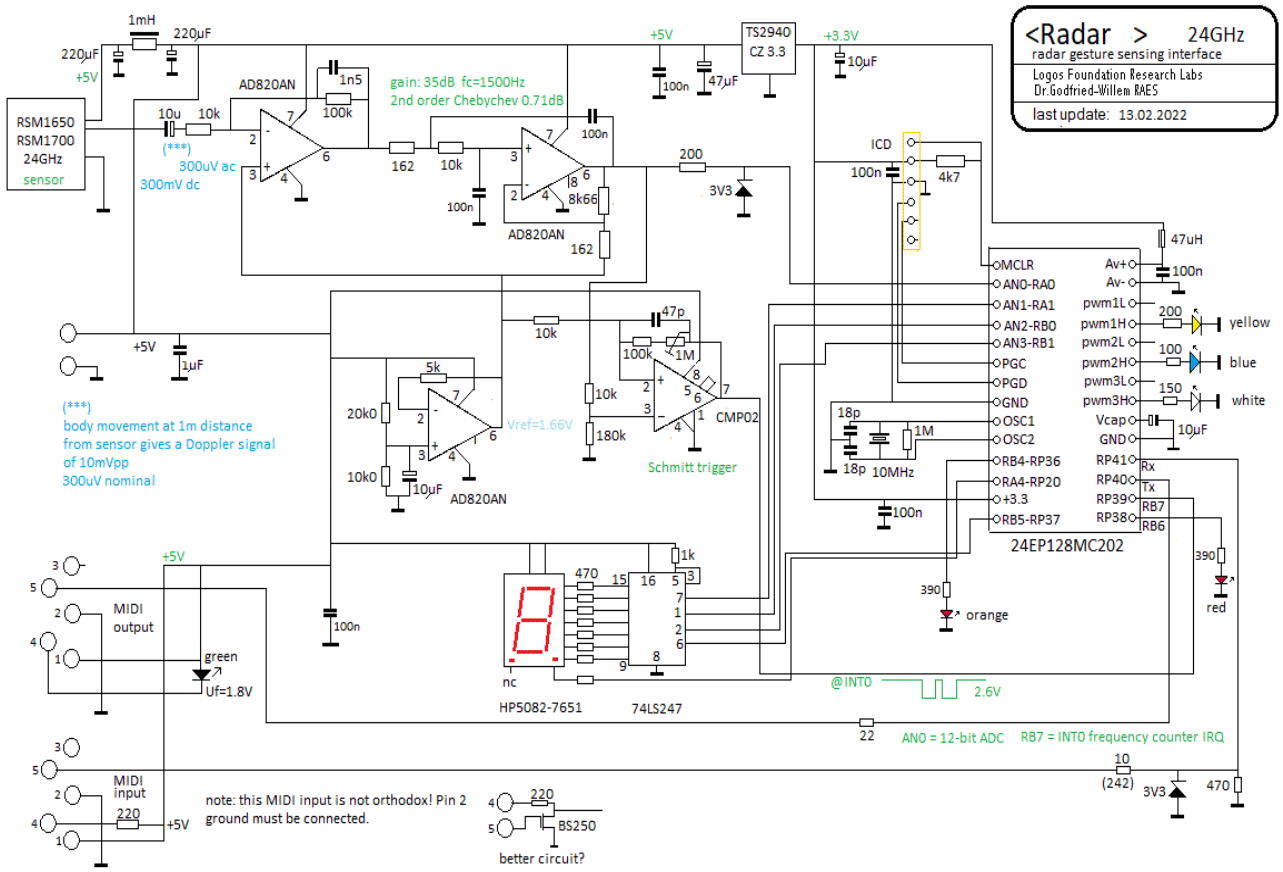
Een beetje als grap bouwden we deze hele automaat aanvankelijk zo dat hij in een 19" rack paste. Als een heuse akoestische midi synth dus. Bij de ombouw, een eerste keer begonnen in 2007, viel een en ander echter toch wat groter uit, alhoewel we hem ook toen nooit een volledige afwerking gunden. Toen we in 2017 helemaal zonder financiële steun kwamen te staan, haalden we het instrument vanonder het stof en beslisten we het alsnog af te werken. Met iets meer aandacht voor de visuele vormgeving deze keer. De constructie met de dubbele balg lieten we geheel weg wegens veel te volumineus, en vervingen we door een kleine radiale compressor aangedreven door een universele collectormotor. Deze motor maakt meer lawaai dan wenselijk en mogelijk is, maar deze robot werd afgewerkt op het moment dat we helemaal zonder steun en subsidie kwamen te vallen waardoor we ons eigenlijk geen betere motor meer konden veroorloven. Alles diende te worden uitgevoerd met onderdelen die we nog op voorraad hadden of konden recycleren. Het stofzuigergeluid moeten we er maar bijnemen en kunnen we ook zien als een onderstreping van het op zich al wat zielige geluid van de melodica. In een verre toekomst kan altijd nog een kleine radiale compressor toegepast worden....

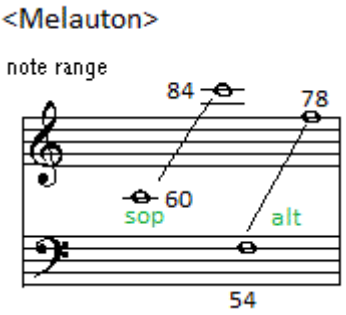
Om de schakeling voor de besturing van de klepjes eenvoudig te houden, maakten we gebruik van kleine gloeidraadlampjes in serie geschakeld met de trekmagneetjes. Deze werken als spanningsafhankelijk weerstanden: de koud-weerstand van de lampjes is 22.8 Ohm en deze weerstand neemt toe tot 200 Ohm wanneer het lampje op volle sterkte brandt. Op deze wijze wordt de inschakelstroom door de spoelen beperkt tot 115 mA (bij 21.4 V) terwijl de continu houd-stroom en -spanning zakken tot 62 mA en 11.6V binnen 10 ms. Dit uiteraard bij een voedingsspanning van 24 V. De voeding kon zodoende beperkt worden tot een vermogen van hooguit 40 Watt. Wanneer de motor – zoals in onze eerste ontwerpen - ook uit die voeding moet putten, dan is 120 W (5 A) wel nodig.

In 2022 verbeterden we de besturing van de windvoorziening aanzienlijk en maakten we die 'intelligent'. Nu immers past de regeling de motorsnelheid dynamisch aan in functie van de te spelen noten, waarbij rekening gehouden wordt met enerzijds de gewenste dynamiek en anderzijds de gevraagde polyfonie evenals het verschil in luchtbehoefte naar gelang de toonhoogte van de te spelen noot. Hoe lager die toonhoogte immers, hoe meer lucht nodig is. Bovendien voorzagen we ook in een automatisme waardoor de motor – met enige vertraging - helemaal wordt uitgeschakeld wanneer helemaal geen noten worden gespeeld. Alle parameters van deze regeling zijn instelbaar gemaakt voor de gebruiker.

Voor <Melauton> ontwikkelden we ook een radar-interface waarmee het instrument helemaal *stand-alone* en interactief kan werken. In dit geval wordt hij helemaal bestuurd vanuit de bewegingen van de bespeler of bezoeker.

Hier is het schema van de hardware voor dit radar interface:
:





Midi mapping: Kanaal: 1

Technische fiche:

- afmetingen: breedte =480 mm, diepte = 200 mm, hoogte: 300 mm
- gewicht: <10 kg
- elektrisch: 230 V – 100 W max.
- bouwjaar: 1997-2017
- bouwkost: 4.000 €

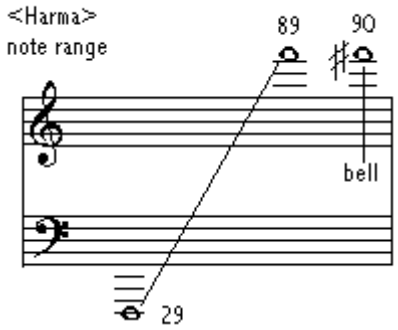
<Harma>



Voor de bouw van de <Harma> robot werd uitgegaan van een oud Hollands harmonium (gebouwd in Terneuzen begin 20e eeuw (Firma Camphens) , maar voorzien van een mechanisme, balg en rieten van James Baillie Hamilton (Massachusetts,USA). Het serienummer op de klankkast -48211- laat ons toe het instrument precies te dateren: 1905). Het instrument is voorzien van twee onafhankelijke reeksen doorslaande tongen en werkt met zuiglucht, zoals het gros van de Amerikaanse 'reed organs'. De balgen en windlade waren in een dermate wormstekige staat dat we ze helemaal verwijderden. Voor de windvoorziening gebruikten we een Laukhuff Ventola zuigblazer. (1000 l/minuut, bij 50mm H2O druk). Daar dienden we wel een goede geluidsdemper voor te ontwerpen want geruisloos zijn deze kleine Ventola blazers bepaald niet... De <Harma> robot werd voltooid in de maand juni van 2001. In december 2005 werd de hele elektronische besturing gemoderniseerd en werd de oorspronkelijk nodige besturingscomputer, een laptop, vervangen door niet minder dan negen PIC controllers. Bij die gelegenheid werd ook de motor herbedraad voor werking op driefasenstroom en besturing door een Siemens Micromaster motor-controller.
De kracht nodig om een toets in te drukken in het originele harmonium varieerde tussen 2.45 en 2.94 Newton. (250 gF tot 300 gF in oude gewichtseenheden). De veren die de paletten dichthouden werden in deze kracht tot zowat de helft teruggebracht. Daardoor konden we met orgelventielmagneten van de firma Laukhuff (12 V/ 160 mA) net uitkomen voor een volledige aansturing. De terugkeerveren werden van deze magneetventielen verwijderd. De terugkeerkracht wordt hier opgebracht door de naaldveren die de paletten dichthouden binnenin de windlade. Hartafstand tussen de bedieningspallen voor de rieten was 13.54mm, waardoor we de magneten om en om (in twee rijen dus) dienden te monteren. Wanneer we de bedieningsmagneten om en om

monteren, mogen ze hooguit 27 mm breed zijn. De gebruikte types zijn 20 mm breed. Voor deze montage bouwden we twee lijsten uit vierkant staalprofiel 16x16. Hierop werden de elektromagneten met zelftappende schroeven vastgezet en uitgelijnd.
De registers zijn telkens gedeeld in bas- en discant. Voor de automatisering daarvan gebruikten we aanvankelijk vier stappenmotoren, maar dit werd later – omwille van de snelheid en de bijgeluiden - vervangen door een mechanisme met sterke elektromagneten (15 Newton). Voor de 'expressie' – oorspronkelijk met een eenvoudige cilindrische afschermkap uitgevoerd - hadden we in een eerder ontwerp twee stappenmotoren ingezet. In de nieuwste versie evenwel bleek deze functie veel beter te kunnen worden geïmplementeerd via een soepele sturing van de winddruk via de compressor motor.
Voor de elektronische besturing gebruikten we ons eigen ontwerp voor muziek automaten, meer in het bijzonder, de schakelingen ontwikkeld voor onze player piano. Daardoor kon ook aanslaggevoeligheid worden geïmplementeerd. Hoogst ongebruikelijk voor een harmonium. Het effect daarvan is nochtans, net zoals bij de orgelautomaten, niet spectaculair. <Harma> kan sedert 2005 rechtstreeks via midi worden aangestuurd, in de vroegere jaren gebruikten we een parallelle printerpoort op een laptop PC... Ook de winddruk is heel nauwkeurig regelbaar, waardoor crescendo's perfect mogelijk zijn.
Ook bij Harma, zoals bij <Piperola> en <Vox Humanola> voorzagen we in een kleine spielerei als toevoeging: in dit geval een bronzen klok (F#, midi noot 90) die als slagwerk eveneens via de software kan worden bespeeld.
Componisten die voor <Harma> willen schrijven moet er terdege mee rekening houden dat de winddruk geregeld moet worden in functie van de gewenste dynamiek enerzijds, maar ook in functie van het luchtverbruik. We wijzen er in dit verband op, dat het luchtverbruik voor lage tonen heel wat groter is dan voor de hoge. De meest voorkomende fout in midi bestanden, bestaat erin de druk bij aanvang van de track of partij in te stellen op een vaste waarde. Hierdoor echter wordt druk opgebouwd zonder rekening te houden met het al dat niet spelen van tonen. Dit leidt niet alleen tot volkomen overbodig lawaai van de motor, maar ook vaak – bij heel hoog ingestelde winddruk - tot lekken in de tooncancellen. De goede methode bestaat erin, na het inbrengen van de muzikale partij, de windcontroller instellingen voor de gehele track te bepalen in functie van de notentekst en de gewenste expressie. Omdat deze behandeling van de robot door de componisten die we met het orkest lieten werken zo goed als nooit overeenkwam met onze specificaties (noch overigens, met de wijze waarop een musicus een harmonium zou bespelen...) , wijzigden we de motorbesturing in 2015 door beroep te doen op een extra microprocessor waarmee de winddruk nu geregeld wordt in functie van de gewenste volume-setting enerzijds, maar ook van het effectieve luchtverbruik anderzijds. Beter dan een manuele en zorgvuldige bepaling van de winddruk in het MIDI-bestand, konden we echter niet maken. Daarvoor is immers software nodig die de muziek 'begrijpt' en interpreteert en daarvan zijn we nog een heel eind verwijderd. Compatibiliteit met vroegere stukken voor de robot kon worden opgelost door de introductie van een nieuwe controller.

Midi mapping en implementatie:



Technische fiche:

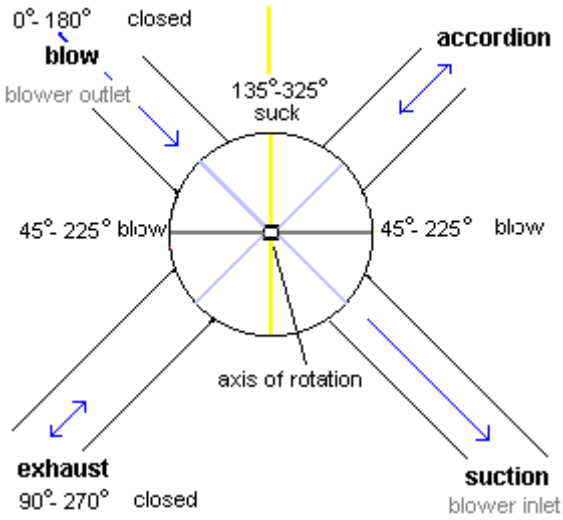
- afmetingen: breedte =1200 mm, diepte = 600 mm, hoogte: 1000 mm
- gewicht: 60 kg
- elektrisch: 230 V – 2 A
- bouwkost: 16.000 €
- bouwjaar: 2000

<Ake>

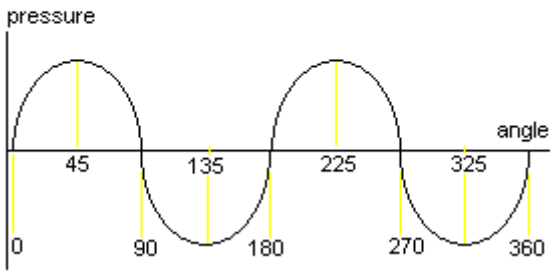


Voor de bouw van deze accordeon robot, vertrokken we van een klein Hohner knop-akkordeon uit de musette reeks. De bouw ving aan met de grondige restauratie en nazicht van zowel de mechanische werking als de stemming van het oorspronkelijke instrument. Het allereerste wat we volledig demonteerden en aan de kant schoven, was het vrij ingewikkelde mechanisme waarmee akkoorden worden opgebouwd in de bassen. Met het oog op vrije programmeerbaarheid wilden we immers volkomen vrij akkoorden kunnen samenstellen met de voorhanden rieten. Wat dit betreft is het instrument uitgerust met twee sets van 152 doorslaande tongen. Het laagste octaaf in de bas heeft octaafverdubbeling en maakt dus gebruik van 2x 24 rieten. Het tweede octaaf in de bas heeft octaafverdriedubbeling en dus 2x36 rieten. De melodiekant heeft 2x 92 rieten in (een beetje ontstemd...) unisono, maar met verschillende geluidsterkte. Een van beide sets kan worden in of uitgeschakeld met de registerknop. Samen gebruikt geven ze het 'musette' register.

Eens het hele instrument opgeknapt en in kaart gebracht, bleek de automatisering van de diverse toetsen een vrij voor de hand liggende klus. We hadden zoiets immers al vaker gedaan, o.m. bij de bouw van ons automatisch harmonium <Harma>. We beslisten de bestaande kleppen zoveel mogelijk te behouden en haalden ons daardoor extra veel werk op de hals met het buigen uit inox van de vele nodige trakturen. Voor de baskant worden de kleppen bediend met kleine 24V traktuurmagneten van de firma Laukhuff. Voor de melodiekant echter, behielden we zelfs de bestaande knoppen en ontwierpen we een bespeling met Lucas Ledex duwmagneten. Het ene register waarover het instrument beschikt, werd geautomatiseerd met twee sterke elektromagneten. Deze dienden behoorlijk zwaar genomen te worden vanwege de grote wrijving in de windlade voor dit 'musette' register. Een tot op heden onopgelost probleem lag in het geluid veroorzaakt door de kleppen wanneer ze door de magneet worden losgelaten. Voorlopig moeten we ermee zien te leven... Elektromagneten zijn nu eenmaal geen menselijke vingers. Pas in 2022 ontwierpen we besturingsschakelingen waarbij zacht loslaten van bekrachtigde elektromagneten geimplementeerd is. Het ombouwen van <Ake> met deze nieuwe schakelingen is een werkje voor de toekomst.

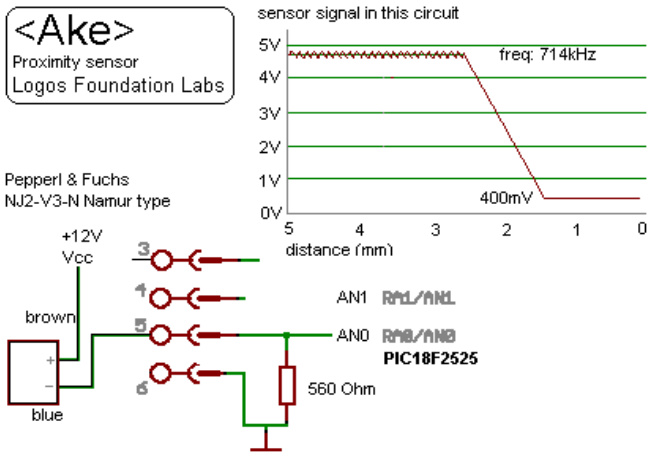


<Ake> Windvalve positions



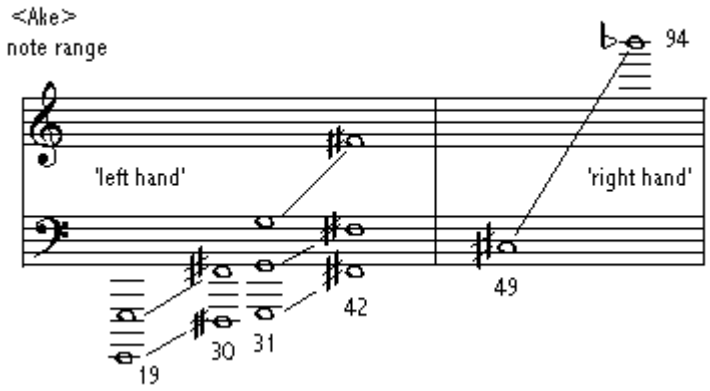
De blaasbalg haalden we geheel weg en vervingen we door een vaste inox windlade voorzien van een inlaat voor drukwind zowel als voor zuigwind. Precies hierin bleek de uitdaging gelegen bij de bouw en het ontwerp van een automatisch accordeon. De typische muzikale mogelijkheden op dit instrument komen immers voort uit de over en weer gaande beweging van de balg en de luchtdrukmodulaties die de speler via die balg realiseert. Daarmee krijgt het instrument een 'punch' die het harmonium geheel ontbeert. Om dit mogelijk te maken ontwierpen we aanvankelijk een soort 4-weg mengventiel opgebouwd uit twee caviteiten met elk twee door een duw/trekmagneet bediende kleppen. Het geheel viel evenwel te log en zwaar uit zodat we uiteindelijk een ronde 4-weg mengkraan bouwden met een cilindrisch kraanhuis en een vlakke goed aansluitende klepzitting.

De centrale as werd gasdicht en gelagerd uitgevoerd zodat voor de bediening een enkele bipolaire magneet met een bewegingstraject van 25 mm leek te kunnen volstaan. De precieze positionering van dit mechanisme liet echter in deze eerste versie veel te wensen over en daarom ontwierpen we in 2008 een geheel nieuw aandrijvingsmechanisme. Deze keer gebruik makend van een kleine stappenmotor en een 1:2 snaarwieloverbrenging. Hiermee gingen snelle en genuanceerde drukvariaties en de daarmee gepaarde gaande expressieve mogelijkheden toch tot de mogelijkheden behoren. Het geluid van de stappenmotor moeten we nu echter wel in koop nemen. Omdat een nauwkeurige reproduceerbaarheid van de positie van de klep essentieel is, voorzagen we deze van een inductieve nabijheidssensor die een signaal geeft elke keer de klep een periode doorgaat. Op dit signaal, geleverd door een Pepperl+Fuchs proximity sensor, wordt de microcontroller telkens weer gekalibreerd.



De windvoorziening wordt betrokken uit een sterke Laukhuff radiale compressor (7 mBar, 2.5m3 /min). Om ritmische overdruk en onderdruk pulsen mogelijk te maken, overwegen we later ook een accent-balg toe te voegen, op zijn beurt aangedreven door een bipolaire elektromagneet. Het spreekt vanzelf dat goede muzikale resultaten met deze automaat alleen bereikt kunnen worden door ijverige en intelligente componisten. Immers, de muzikale expressie kan alleen worden bereikt wanneer de daarvoor nodige commando's ook effectief aan de robot worden gegeven. Zonder dergelijke commando's speelt de robot de noten ook wel, maar dan klinkt het onverbiddelijk als een karikatuur en erg mechanisch. Het is een grote gebruikersfout om de wind aan te zetten en geen noten te spelen. Dit leidt niet alleen tot lekkende noten, maar veroorzaakt bovendien heel wat overbodig achtergrondlawaai.

Midi mapping:

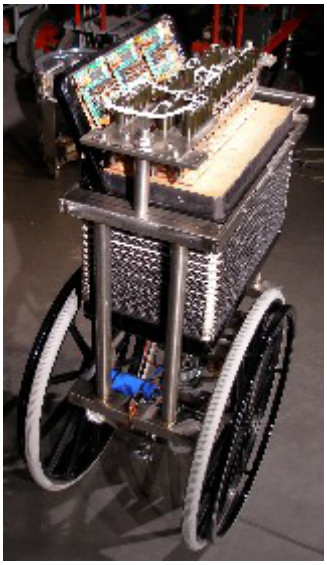


Controller #1 regelt de winddruk
Controller #7 regelt de zuig/blaas klep. 0= blaaswind , 64 = nulstand, 127= zuigwind
Controller #66 schakelt de motor aan of uit.

Technische fiche:

- afmetingen: breedte: 500 mm, lengte: 750 mm, hoogte: 850 mm
- gewicht: 65 kg
- elektrisch: 230 V / 300 W
- stemming: A=440 Hz
- Bouwkost: 10.000 €
- Bouwjaar : 2003

<Bako>



Voor de bouw van deze accordeon robot, vertrokken we van een Hohner bas accordeon, een weinig courant en moeilijk te verkrijgen type dat eigenlijk alleen gebruikt wordt in grotere accordeonorkesten die tegenwoordig wel met uitsterven zijn bedreigd. Na veel zoeken vonden er eentje bij Henk Kuik. De bouw ving aan met de grondige restauratie en nazicht van zowel de mechanische werking als de stemming van het oorspronkelijke instrument.

Eens het hele instrument opgeknapt en in kaart gebracht, trokken we onze lessen uit de automatisering van het gewone accordeon <Ake>. Daar hadden we immers de bestaande kleppen en mechanieken zoveel mogelijk behouden en haalden ons daardoor extra veel werk op de hals met het buigen uit inox van de vele nodige trakturen. Het resultaat was in die zin geen succes, dat al die mechanieken overbodig veel bijgeluiden veroorzaakten. Omdat we dat hier wilden vermijden beslisten we het gehele klavier te verwijderen en in de vuilnisbak te gooien en de kleppen rechtstreeks te lichten met trekmagneten. Voor het goed afsluiten van de tooncancellen kan dan gewoon de zwaartekracht worden gebruikt. De magneetankers in weekijzer hebben een gewicht van ca. 20g, wat alleszins voldoende is om de klep ook bij normale blaaslucht gesloten te houden. De balg daarentegen wilden we behouden, vooral om de ingewikkelde constructie van een elektrische blazer gekoppeld aan een automatisch 4-weg ventiel voorzien van sensoren te vermijden.

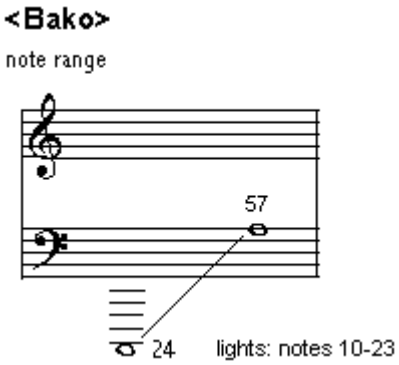
Voor de aandrijving van de balg opteerden we voor de meest compacte oplossing: een inox trapeziumschroefdraad van 12mm doorsnede rechtstreeks aangedreven door een DC motor. Dit type trapeziumschroefdraad levert een lineaire verplaatsing op van 3.1mm per omwenteling. De vereiste bewegingssnelheid van de balg bepaalden we – na uitvoering van enkele metingen met accordeonspelers en wat eigen experimenten - op 10 cm per seconde. Een absolute maximumsnelheid (bij de grootst mogelijke clusters) kon worden bepaald als 30 cm/s. Voor een snelheid van 10 cm per seconde van de balg, moet de trapeziumdraad dus 32.2 omwentelingen maken per seconde. Het nominale toerental van de motor wordt dan 32.2 x 60 = 1935 rpm. Om dit te bereiken komen zowel AC als DC motoren in aanmerking. We beslisten uiteindelijk een DC motor in te zetten met volgende specificaties: toerental bij 20V: 450 rpm (6A/80Watt) en bij 210V: (3.5A/700Watt). Die laatste waarde levert een toerental van 7000 rpm maar mag slechts met een duty cycle van 15% worden toegepast. Dit toerental levert ons een balgverplaatsingssnelheid op van 35 cm per seconde, wellicht een stuk meer dan wat ons basaccordeon kan verdragen. Gezien de

inherent geringe inertie van een dergelijk systeem, zijn snelle snelheidsveranderingen evenals veranderingen van de bewegingsrichting mogelijk. Uiteraard moet een microcontrollerbestuurde PWM diodebrugschakeling of H-brug worden gebruikt voor de aansturing. Hiervoor gebruikten we uiteindelijk een geintegreerde servo versterker module voor DC collectormotoren van Advanced Motion Controls. (Type 12A8). Wanneer geen noten gespeeld worden, stopt de motor. Om overbodig aan/uit schakelen van de motor en de inductiestoten die dit veroorzaakt te vermijden, voorzien we in een doorlooptijd van ca. 100 ms na ontvangst van de laatste note-off. De luchtdruksturing voor deze robot maakt gebruik van een geïntegreerde bipolaire druksensor van Freescale Electronics. Met deze sensor wordt de momentane druk in de balg op elk moment gemeten. Een PIC processor staat er voorts voor in dat de gemeten druk in overeenstemming is met de gewenste druk, zoals bepaald door de waarde geset via midi controller 7. De mapping op controller 7 ligt voor de hand, omdat bij accordeons de geluidssterkte een functie is van de winddruk.

Voor de besturing van de kleppen werden – voor het eerst voor dit doel in onze reeks automaten - deze keer trekmagneten toegepast. De kleppen blijven dicht onder invloed van de zwaartekracht. De elektromagneten lichten de kleppen. We kozen voor cilindrische trekmagneten, eerder dan het type magneten (*pallet valves*) dat we eerder toepasten in onze automatische orgels, vanwege het veel grotere bewegingstraject dat hierdoor kan worden bereikt. Inderdaad, de kleppen moeten hier minstens 12 mm gelicht kunnen worden voor een goede klankprojectie. Met traditionele klepmagneten uit de orgelbouw zoals o.m. geleverd door de firma A.Laukhuff, kan hooguit 5 mm bereikt worden.

Medewerkers aan de bouw waren: Xavier Verhelst, Kris De Baerdemacker, Sebastian Bradt, Johannes Taelman en Kristof Lauwers.

Midi mapping:



Technische fiche:

- afmetingen: 450 mm x 800 mm, hoogte: 1100 mm
- gewicht: 40 kg
- elektrisch: 230 V / 700 W (piek)
- minimale omgevingstemperatuur 10°C
- stemming: A= 440 Hz
- Bouwkost: 9.500 €
- Bouwjaar: 2006

<HarmO>



Hiervoor werd uitgegaan van een oud harmonium – volgens het label althans - gebouwd door Emile Kerkhoff, een ambachtelijk wat aan lager wal geraakte orgelbouwer gevestigd in Brussel. De gehele bouw lijkt als twee druppels water op een Beckwith instrument, type 'Grand Orchestral Action G, 6 octaves 18 stops'. Wellicht heeft Kerkhoff niet veel meer zelf gebouwd dan de kast rond het instrument... Het instrument is voorzien van acht onafhankelijke reeksen doorslaande tongen en werkt met zuiglucht, zoals het gros van de naar Amerikaans model gemaakte 'reed organs'. Vier registers voor de bas en vier voor de discant. Als extra is het harmonium uitgerust met een subbasregister bestaande uit 13 rieten geplaatst in een afzonderlijke bakje dat als resonator dienst doet. Rekening houdend met de registers, strekt de eigenlijke muzikale tessituur van dit instrument zich uit over een indrukwekkende acht en een half octaaf (in midi: 12 tot 113). De balgen en windlade verwijderden we integraal en werden vervangen door een radiale compressor, een Laukhuff Ventola zuigblazer. (3000 l/minuut, bij -80 mm H_2O druk). Daar dienden we wel een goede geluidsdemper voor te ontwerpen want geruisloos zijn deze Ventola blazers bepaald niet...

De kracht vereist om de paletten rechtstreeks, dus zonder de hefboom gevormd door de toets en het eigen gewicht van de toets, in te drukken maten we als 2.45 Newton (250 gF). Bij de bouw van <Harma>, ons eerste robot harmonium, hadden we de kracht van de veren ongeveer gehalveerd teneinde kleine Laukhuff elektromagneten te kunnen toepassen. Het nadeel van dat opzet was dat het instrument makkelijk neiging heeft tot lekken wanneer druk in de lade wordt opgebouwd zonder dat noten gespeeld worden. Dit euvel wilden we hier vermijden. Buisvormige elektromagneten met een diameter niet groter dan 13 mm (wat vereist zou zijn om de magneten uitgelijnd met de paletduwers te plaatsen) en een dergelijke kracht (2.45 N) worden niet gefabriceerd. Daarom maten we de kracht nodig om de toetsen in te drukken en kwamen uit op 1.2 tot 1.5 Newton. Heel wat minder dus, wat uiteraard te wijten is aan de werking als hefboom en aan het eigengewicht van de toetsen. In de uiteindelijke realisatie, behielden we dus de bestaande toetsen volledig en bouwden we eigenlijk een 'Vorsetzer' die de toetsen bespeeld, zoals gedaan voor de bouw van onze piano robots. Het grote nadeel van deze aanpak is echter dat we nu heel wat meer bijgeluiden krijgen, te wijten een het ongecontroleerd loslaten van de toetsen.

Hartafstand tussen de bedieningspallen voor de rieten was 13.54 mm, waardoor we de magneten om en om (in twee rijen) dienden te monteren. Wanneer we de bedieningsmagneten om en om monteren, mogen ze dan hooguit 27 mm breed zijn. De gebruikte types zijn 20mm breed. Voor deze montage plooiden we een inox plaat van 2 mm dikte in een asymmetrische U-vorm. In de onderzijde daarvan werden de 73 gaten voor de montage van de elektromagneten geboord. Om de automaat goed te kunnen afregelen, werd de gehele elektromagnetendrager zo gemonteerd op de zijdelingse steunen, dat de hoogte ligging heel nauwkeurig kan worden ingesteld.

De registers zijn telkens gedeeld in bas- en discant. Voor de automatisering daarvan gebruikten we elektromagneten met dubbele spoelen van de firma Laukhuff. Er zijn 4 registers aan de baskant en 4 aan de sopraankant. Daarbovenop komt nog het subbasregister. Voor de automatisering van de zwelkasten, werden twee lineaire stappenmotoren van Nanotec toegepast. De toepassing van soft-shift lineaire magneten hadden we oorspronkelijk voorzien, maar daarvan dienden we uiteindelijk af te zien vanwege de te geringe kracht die deze componenten kunnen leveren (8 tot 13 Newton, terwijl we eigenlijk meer dan het dubbele nodig bleken te hebben). Bovendien vormde ook het vermogen nodig om een bepaalde positie aan te houden (21 Watt) een bezwaar. Lineaire stappenmotoren met een schroefgang-as houden hun positie wanneer ze volledig stroomloos worden gemaakt. De snelheid van deze mechanismen is echter heel wat lager dan bij soft-shift magneten. Het hele traject met de lineaire motoren neemt ca. 500 ms in beslag, terwijl dit bij toepassing van *soft-shift* magneten slechts 45 ms zou duren.

De radiale compressor is voorzien van een regelschuif, gemonteerd aan de inlaat van de windlade. Deze regelschuif werd eveneens geautomatiseerd en daarvoor ontwierpen we een mechanisme met een stappenmotor en een getande riem. Hierdoor wordt een snellere regeling (ca. 200ms voor het gehele traject) van de winddruk mogelijk dan wat voorzien is via sturing van het toerental van de motor zelf. De windregelschuif werd gemapt op midi controller nr.1, terwijl de motor snelheid gestuurd kan worden middels midi controller 7.

Voor de elektronische besturingen van de toonkleppen gebruikten we onze eigen en beproefde ontwerpen voor muziekautomaten, meer in het bijzonder, de schakelingen ontwikkeld voor onze player piano's en later in talloze andere robots toegepast. Daardoor kon ook aanslaggevoeligheid worden geïmplementeerd. Hoogst ongebruikelijk voor een harmonium, maar we hadden het al eerder gedaan bij de bouw van <Harma>, <Qt>, <Bomi> en <Bako>.

<HarmO> kan rechtstreeks via midi zowel als UDP/IP worden aangestuurd. Ook de winddruk is heel nauwkeurig regelbaar, waardoor crescendo's perfect mogelijk zijn. Dit effect is trouwens op een andere wijze ook te bereiken door gebruik te maken van de beide eerder genoemde zwellers.

Een klein grapje hebben we onszelf bij de bouw van deze automaat toch gepermitteerd: een klopgeest werd ingebouwd... Ook die klopgeest kan via midi commando's aan de praat worden gebracht.

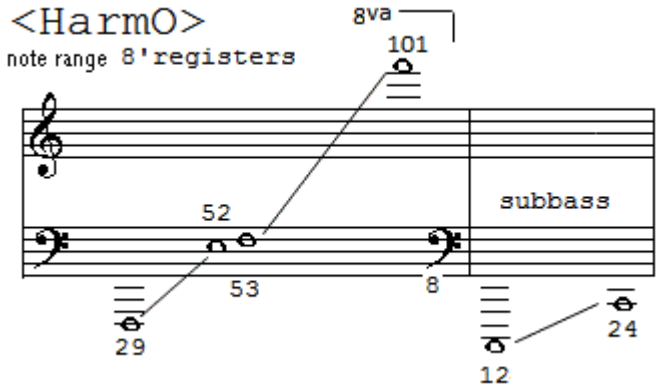
Niet minder dan dertien microprocessoren, elk voorzien van eigen en onderling verschillende firmware, staan in voor de interne besturingen van de diverse onderdelen van deze robot.

Tot de revisie die <HarmO> onderging in 2015 dienden componisten die voor deze robot wilden schrijven er terdege mee rekening houden dat de winddruk geregeld moest worden in functie van de gewenste dynamiek enerzijds, maar ook in functie van het luchtverbruik. We dienden er telkens weer op te wijzen dat het luchtverbruik voor lage tonen heel wat groter is dan voor de hoge. De vroeger meest voorkomende fout in midi bestanden, bestond erin de druk bij aanvang van de track of partij in te stellen op een vaste waarde. Hierdoor echter werd druk opgebouwd zonder rekening te houden met het al dat niet spelen van tonen. Dit leidde niet alleen tot volkomen overbodig lawaai van de motor, maar ook vaak tot lekken in de tooncancellen. De enige goede methode bestond erin,

na het inbrengen van de muzikale partij, de windcontroller instellingen (nr.7) voor de gehele track te bepalen in functie van de notentekst en de gewenste expressie. In 2015 evenwel voegden we een microprocessor toe in <HarmO> die de motorsturing volledig afhankelijk maakt van het effectieve luchtverbruik en van het gewenste volume. Een aantal extra midi controllers waarmee de parameters van die regeling kunnen worden ingesteld, werden aan de MIDI- implementatie toegevoegd.

Medewerkers aan de bouw waren: Troy Rogers, Johannes Taelman, Xavier Verhelst en Yvan Vandersanden.

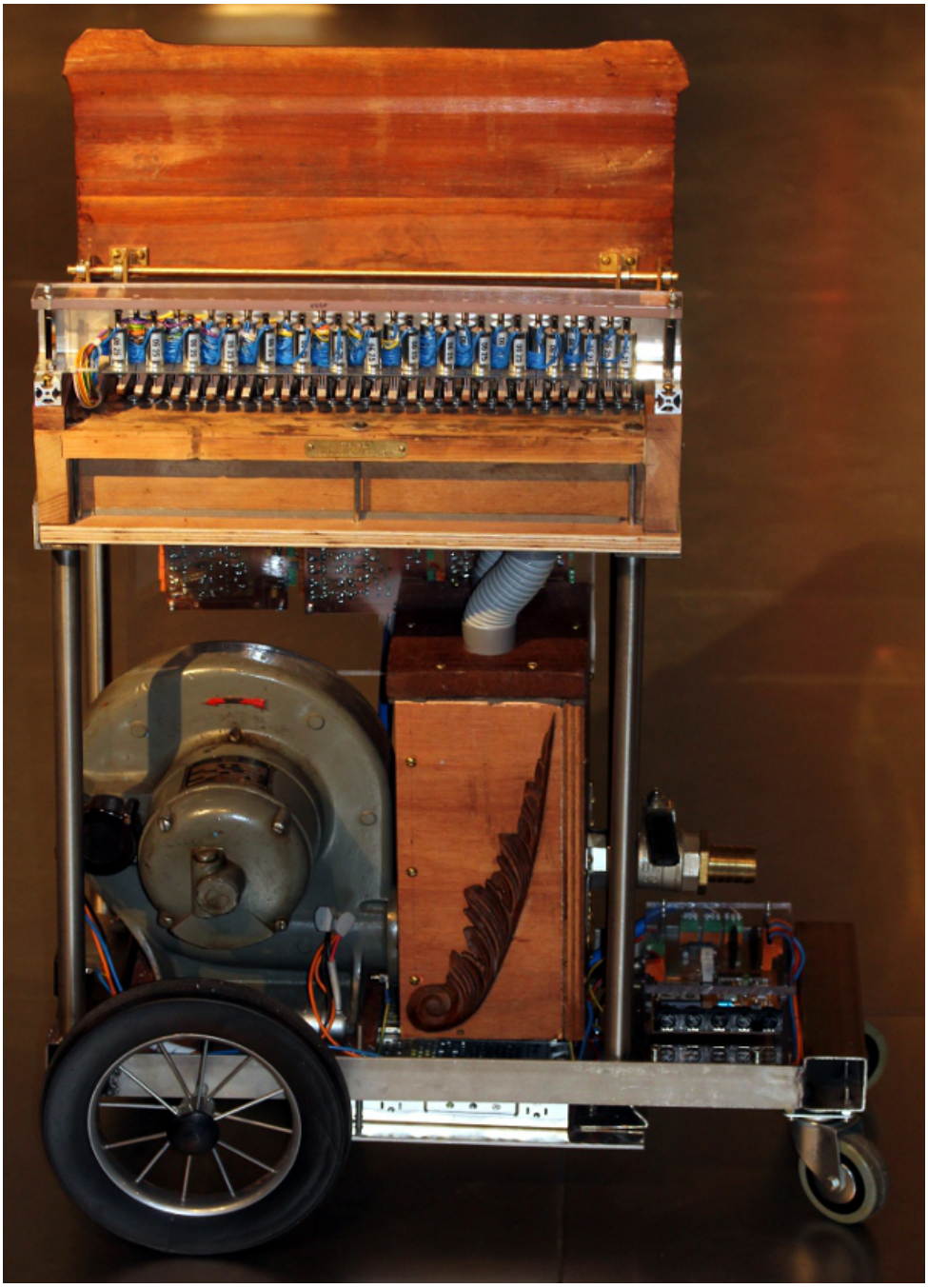
Midi mapping:



Technische fiche:

- afmetingen: diepte: 500 mm, breedte 1165 mm, hoogte 1080 mm
- gewicht: 115 kg
- elektrisch: 230 V / 5A – 50/60 Hz
- stemming : A = 440 Hz
- bouwkost: 25.000 €
- bouwjaar: 2009

<Ubu>

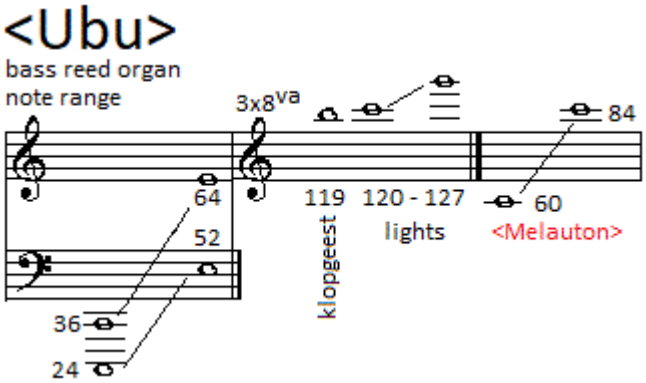


Helemaal bij het begin van de 21e eeuw staken twee fans van ons werk in het atelier voor instrumentenbouw een wrak van wat ooit een harmonium moet zijn geweest binnen. Slechts de houten struktuur waarop de doorslaande tongen vastgevezen zitten was overgebleven... Jarenlang lag het wrak zowat te verstoffen in ons atelier tot we ons weer eens bogen over de problemen met <Bako>. Deze robot werkt eigenlijk naar behoren, maar blijkt toch behept met een intrinsieke karaktereigenschap die de eenvoudige toepasbaarheid in orchestraties voor het robotorkest bemoeilijken: de op en neergaande balg heeft voor gevolg dat wanneer diens bewegingsrichting

omkeert, de luchtdruk ook eventjes wegvalt met een onderbreking van de klinkende toon voor gevolg. Een probleem dat bij zulk ontwerp principieel onoplosbaar is. Het harmoniumwrak dat we hadden is uitgerust met doorslaande tongen die in het 16-voet register beginnen bij midi noot 24. Dat kwam alvast aardig in de buurt van een alternatief voor <Bako>. Een tweede element dat een rol speelde in de ontwikkeling van de ideeen rond een mogelijke <Ubu> robot was het lelijke kleine eendje van het robotorkest, met name <Melauton>, een automatische melodica die door gebrek aan middelen nooit van een dure maar stil werkende radiaalcompressor kon worden voorzien. (Laten we niet vergeten dat onze werking sinds 2017 grondig verstoord wordt door de schrapping van onze strukturele subsidiering, iets waarvoor alleen Piet Van Bockstal, Francis Maes en Frederic Styns verantwoordelijk kunnen worden gesteld). Op de lokale rommelmarkt in Gent kochten we voor een prikje in 2022 een erg bruikbare radiaalkompressor van Hollands fabrikaat (EMJ, Utrecht) en die zou een geschikte windvoorziening kunnen worden voor zowel het harmonium als de melodica. We vermoeden dat de compressor afkomstig moet zijn geweest uit het atelier van Oscar Grymonprez, een Gentse bouwer van orchestrions... Dit bracht ons op het idee, het projekt als een moeder-met-kind ontwerp uit te werken. Van het harmonium gebruiken we dan alleen het laag register (noten 24 tot 64) , terwijl de sopraan gevormd wordt door de melodica (60 tot 84 in midi noten).
Uit een grondige analyse van het toch wat verstoft geraakte harmoniumwrak, blijkt het te gaan om een drukwindharmonium. Er zijn twee rijen tongen, een voor een 8-voet register en een tweede voor een 16-voet. De tongen zijn voor beide registers identiek en vertonen geen klankkleurverschil. De tooncancellen blijken uitgevoerd als Helmholtz resonatoren wat erop wijst dat het ooit een degelijk professioneel gebouwd instrument moet zijn geweest.

Voor de automatisering gebruikten we eenzelfde type cilindrische elektromagneten als eerder gebruikt voor <Sper>, een spinet. Om bijgeluiden bij het loslaten van de toets zoveel mogelijk te vermijden, pasten we ook hier het ontwerp van een pulse-hold schakeling met soft release toe: Hoewel de toepassing van velocity sturing hier op zich weinig muzikale zin heeft – een harmonium is nu eenmaal niet aanslaggevoelig en bovendien is de klankopbouw, zeker in de bas, sowieso eerder aan de luie kant- pasten we toch een schakeling toe waarbij velocity is geïmplementeerd. Dit laat ons toe de ideale aanslag in de firmware vast te leggen zodat de gebruiker van die kontrole-parameter verlost kan worden. Deze techniek pasten we eerder al met succes toe in <Cemba> en <Sper>.
Eens afgewerkt, blijkt <Ubu> voor gebruikers zeker niet de meest eenvoudig toe te passen automaat. Dat heeft alles te maken met het wat moeilijke karakter van de windbesturing. Om die eenvoudiger te maken, zou het nodig zijn om vooruit te kunnen kijken in de muziek. Het opzet om realtime inzetbare robots te bouwen, sluit dit evenwel uit.

Midi implementatie en mapping:



De <Ubu> robot luistert naar MIDI commando's op kanaal 1. Aanslagsterkte kan worden bestuurd, maar wordt ontraden omdat het effect erg beperkt is (zie tekst hierboven). Velocity bytes worden overschreven door een interne geoptimaliseerde opzoektabel. Wie daarvan wil afwijken, moet controller 80 inschakelen. <Ubu> speelt altijd in octaven.

Speciale effecten:

noot 119: Klopgeest. De aanslagkracht kan worden bestuurd met het velo-byte.
Noot 120, 121, 125, 126, 127: wit licht
noot 122, 123: rood licht
noot 124: groen licht

Controllers:

#7: globaal volume en winddruk pressure [advieswaarde: 50]
#66: Aan/Uit schakelaar.
#67: Stelt de periode-tijd in voor de motorsturing. Default = 0. Mogelijke waarden zijn 0 (default value), 1 (1 seconde), 2 (500 ms dit is de default), 3 (250 ms periode). Andere waarden worden genegeerd.
#69: Automatisering van de lampjes. (aan of uit)
#123: Alle noten worden uitgeschakeld.

Er zijn nog heel wat meer controllers geïmplementeerd voor deze robot, maar daarvoor verwijzen we naar de betreffende webpagina waar de uitvoerig zijn gedocumenteerd.

Technische steekkaart voor de <Ubu> robot:

- afmetingen: w = 650 mm, d = 360 mm, h = 760 mm. Gewicht: 49 kg
- elektrisch: < 180 Watt / 230 V
- stemming: A = 440 Hz
- polyfonie: 29 noten
- geluidsdruk: 92 dB
- Verzekerwaarde: 8.500 Euro

Muzikale composities voor <Ubu>:

Godfried-Willem Raes 'Begeleiding zonder solo' (2025)
Godfried-Willem Raes 'Ubu Roi' (2025) [optioneel: <Tinti> en <2Pi> of <4Pi>.
Kristof Lauwers: 'Study for Ubu' (2025)

Instrumenten met membraan-gestuurde pijpresonatoren:

Mijn tweede symfonie, uit 1976, was die voor zingende fietsen. Hiervoor waren 12 tot 24 fietsen nodig elk voorzien van een fietsdynamo en een gestemde buisresonator. De 24 verschillende buizen in PVC, diameter 100 mm, waren zo gestemd dat hun toonhoogte precies overeenkwam met de 'ideale' spectraaltonen van een enkele grondtoon. Zo kwamen we uit op een 24-toons reeks bestaande uit buizen in lengtes van 182 161 159,5 158 156 153,5 150 146 ,143 140 135,5 130,5 126,5 124 121,5 115,5 110 108 103,5 100,5 98,5 95,5 93,5 85,5 (mm), een interval van anderhalf octaaf. De buizen worden in resonantie gebracht met luidsprekers met een overeenkomstige diameter. Om een goede aanpassing te krijgen met de impedantie van de dynamo en dus een optimale vermogensoverdracht, diende de impedantie van die luidsprekers ca. 25 Ohm te zijn. Het nominaal leverbaar vermogen van een gewone fietsdynamo is 3 Watt, maar bij hard trappen kan dat zelfs 10 Watt worden. Om de luidsprekertjes ook in dat geval tegen overbelasting te beschermen, soldeerden we er dan ook enkele diodes parallel en antiparallel over. Zenerdiodes kunnen ook gebruikt worden (6V, 5W types) al zijn die heel wat duurder dan een reeks gewone siliciumdiodes. Door de clipping van de golfvorm die zodoende ontstaat, wordt ook de klankkleur zowel dynamiek- als toonhoogte-afhankelijk.
Wanneer de omtrek van het dynamowieltje 6 cm meet, en een fietswiel een omtrek heeft van ca. 2.3 meter, dan genereert de dynamo bij een baansnelheid van 2.3 m/s (0.64 km/u) een wisselspanning met een frequentie van 38 Hz. Fietsen we tegen een snelheid van 25 km/h dan loopt deze frekwentie op tot 1520 Hz. Dit geldt uiteraard alleen voor tweepolig uitgevoerde dynamo's. Voor 4-polige types, moeten de opgewekte frequenties verdubbeld worden.

In de partituur van de Symfonie voor Zingende Fietsen staat voorgeschreven dat de deelnemende fietsers in een nauw aaneengesloten rij een op voorhand vastgelegd parcours volgen, waarbij de fietser die zich helemaal achteraan de rij bevindt, zo snel mogelijk de hele groep moet voorbijsteken tot hij aan de kop van de rij is aangekomen, waarbij hij weer vertraagt tot de globale gemiddelde snelheid. Het zal duidelijk zijn dat het basisgeluid een cluster is met een erg beweeglijke samenstelling en waarvan de gemiddelde toonhoogte overeenkomt met de globale snelheid van de rij fietsers. Deze toonhoogte varieert tussen ca. 220 Hz en 500 Hz. De ene fietser die de hele rij voorbijsteekt, genereert echter een aanzienlijk luidere glissando, opstijgend vanuit de globale toon, via de voor elke buis verschillende resonantiefrequentie tot de hoogste toon die hij kan bereiken, gevolgd door een dalende glissando terug naar de gemiddelde toon bij het vertragen na het bereiken van de frontpositie in de rij. Bij het optreden van resonantie in de buis, wordt de opgewekte toon plots heel erg luid en komt hij makkelijk uit boven de geclusterde achtergrond van de overige fietsen. De symfonie kende welhaast honderd uitvoeringen over de gehele wereld, maar nooit hadden we het harmonisch en akoestisch resultaat geverifieerd tegenover wat we voor deze symfonie hadden berekend. Wanneer we met de bouw van robots waarin membraan-gestuurde pijpen begonnen evenwel, hebben we een en ander empirisch en wetenschappelijk aan een grondig onderzoek onderworpen. Zo ontstonden een hele reeks originele instrumenten zoals <Hybr>, <HybrHi>, <HybrLo>, <Pi>, <2Pi>, <3Pi> en <4Pi>.

<Hybr>

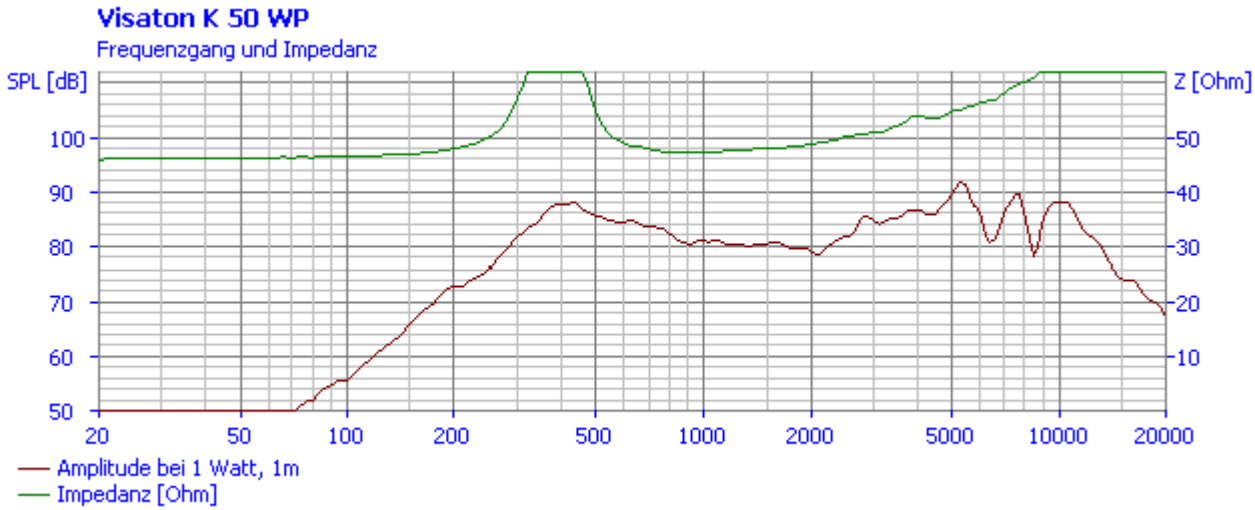


In 2014, toen we met de bouw van <Hybr> van start gingen, doken we het labo in werd een en ander grondig en kritisch onderzocht. Daarbij bleek dat het hele verhaal van die juiste boventoonsstemming eigenlijk thuishoort in het rijk der fabeltjes: de boventonen van de buizen bleken helemaal niet overeen te komen met gehele veelvouden van de grondtoon en bovendien bleek ook de bedoelde 'juiste' harmonie nergens meetbaar noch waarneembaar te zijn. Erg verwonderd waren we daar eigenlijk al lang niet meer over, want het platonische, zoal niet

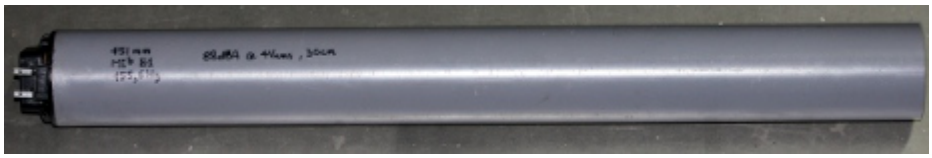
religieuze, idee achter juiste boventoonsreeksen en de ervan afgeleide harmonieleer, hadden we al zo vaak zonder empirische basis bevonden bij akoestisch onderzoek van bestaande muziekinstrumenten en klankbronnen, inzonderheid snaren en rieten.

Door luidsprekers aangedreven cilindrische buizen blijken bij nader onderzoek een behoorlijk complex akoestisch systeem te vormen. In elk geval blijkt de akoestische theorie van de aan een kant gesloten pijp hier helemaal niet van toepassing. Het membraan van de luidspreker blijkt immers samen met de eraan gekoppelde buis een complex trillingssysteem te vormen. Het conisch membraan gedraagt zich als een centraal aangedreven elastische plaat en vertoont een in hoge mate niet-lineair gedrag. Samen met de buis, zijn het (minstens) twee onderling afhankelijke trillingssystemen.

Om een en ander te kunnen onderzoeken, hebben een we proefopstelling gemaakt met een Visaton luidspreker, Type K50WP, 50 Ohms, 3 W. Volgens de gegevens van de fabrikant, is het frequentie bereik 180 tot 17000 Hz en de resonantie frequentie ligt op 300 Hz. De weergave curve voor deze speaker, alweer volgens opgave van de fabrikant is:



Voor de resonator buizen gebruikten we PVC pijp, 50 mm diameter, passend op de luidsprekers. De luidsprekers werden nauw aansluitend en lekvrij vastgelijmd op de buizen:



De meetresultaten brachten we samen in volgende tabel. De eerste kolom geeft de buislengte, de tweede de verhouding buislengte tot diameter. De derde kolom geeft de berekende resonantiefrequentie van de buis, als kwart-golflengte resonator en met toepassing van de

$$f_{(0)} = \frac{332\sqrt{1+0.00366\,T}}{4\,(L + (0.62\,d))}$$

f in Hz
L length in m
T temperature degrees Celsius
d tube diameter in m

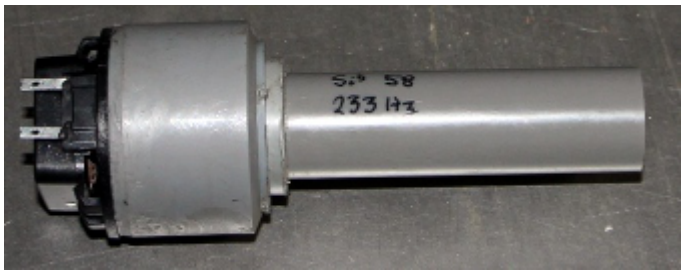
eindcorrectie, volgens de tekstboek formule: De vierde kolom geeft de laagste resonantie frequentie gemeten bij het zwaaien van de frequentie vanaf 0Hz. De kolommen daarna geven de duidelijk onderscheidbare volgende resonantiefrequenties evenals hun verhouding tot de grondtoon (de eerste en laagste gemeten resonantie toon). Voor de excitatie werden altijd zuivere sinus signalen gebruikt.

buislengte	l/d	Berekende f_{res}	f0	f1, f1/f0	f2, f2/f0	f3 , f3/f0
48.5 mm	1.054	1083	353	-	-	-
62 mm	1.35	926	337	-	-	-
78.5 mm	1.71	786	330	1008 [3.05]	2600 [7.88]	-
395 mm	8.59	202	170	362 [2.14]	664 [3.91]	1092 [6.42]
451 mm	9.80	178	155.6	310[1.99] 340 [2.18]	583 [3.75]	933 [5.99]
465 mm	10.11	174	151	302 [2.00](*)	574 [3.80]	916 [6.06]
583 mm	12.67	140	129	326 [2.52]	462 [3.58]	
600 mm	13.04	136	130	323 [2.48]	489 [3.76]	989 [7.61]
627 mm	13.63	131	121	311 [2.57]	444 [3.66]	
683 mm	14.85	120	112	296 [2.64]	316 [2.82]	633 [5.65]
700 mm	15.22	118	108	287 [2.66]	428 [3.96]	619 [5.73]
774 mm	16.83	107	98	260 [2.65]	382 [3.90]	560 [5.71]
805 mm	17.5	103	96	287 [2.98]	385 [4.01]	950 [9.89]
847 mm	18.41	98	90	238 [2.64]	356 [3.95]	520 [5.77]
880 mm	19.13	94	89	262 [2.94]	352 [3.95]	700 [7.86] 865 [9.72]
924 mm	20.09	90	84.5	253 [2.99]	338 [4.00]	659 [7.80]
962.5 mm	20.92	87	82	242 [2.95]	330 [4.02]	628 [7.66]
1005 mm	21.85	83	78	235 [3.01]	359 [4.6]	772 [9.89]
1125 mm	24.46	74.5	64	189 [2.95]	250 [3.90]	296 [4.63] 384 [6.00]
1145 mm	24.89	73	69.5	205 [2.94]	322 [4.63]	410 [5.89]

1198 mm	26.04	70	67	201 [3.00]	311 [4.64]	
1366 mm	29.69	61.6	59	175 [2.96]	277 [4.69]	356 [6.03]
1425 mm	30.98	59	56	170 [3.03]	281 [5.02]	351 [6.27]
1562 mm	33.96	54	53	158 [2.98]	262 [4.94]	347 [6.55]

(*) Hier konden we duidelijk twee afzonderlijke tonen, een octaaf uiteen, onderscheiden.

Uit deze meetgegevens wordt duidelijk dat rond de resonantiefrequentie van de speaker (300Hz), de resonantie van het gekoppeld systeem meegetrokken wordt, zowel naar onder als naar boven. Voor frequenties lager dan de resonantiefrequentie van de speaker, gedragen de pijpen zich vrij goed als aan een kant gesloten resonatoren, ofschoon even boventonen zeker ook aanwezig zijn. We deden ook heel wat metingen met 25 mm diameter buizen, waarbij die worden aangedreven via een inwendig conische adapter:



lengte	L / d	f0	f1, f1/f0	f2, f2/f0	f3, f3/f0
251.5 mm	11.4	169	511 [3.02]	955 [5.65]	1526 [9.03]
200 mm	9.09	190	572 [3.01]	1150 [6.05]	1876 [9.87]
186 mm	8.45	196	603 [3.08]	1199 [6.12]	2026 [10.34]
146 mm	6.6	220	695 [3.16]	1492 [6.78]	2605 [11.84]
125 mm	5.68	233	762 [3.27]	1715 [7.36]	-

Alle metingen werden gedaan met een analoge sinusgenerator voorzien van een digitale frequentieteller, resolutie 1 Hz. De uitgangsimpedantie van de generator is 50 Ohm en vormt dus een perfecte koppeling voor onze 50 Ohm speakertjes. De meetspanning was voor alle metingen dezelfde: 3 Vrms. Voor de meting van de amplitudes van de resonanties gebruikten we een gekalibreerde geluidsmeter, geplaatst op 30 cm afstand van het open eind van de pijp.

Een belangrijke observatie was verder dat de resonantiefrequentie van het gekoppeld systeem duidelijk ook afhankelijk is van de amplitude van het signaal. Dit zou kunnen verklaard worden door een verandering van de geluidsnelheid in de pijp in functie van de geluidsdruk.

Hoewel de formule absoluut geen inzicht verschaft, konden we via een Gauss-fit programma en de meetgegevens voor 50 mm diameter buizen, toch een derdegraads vergelijking opstellen, waarmee de resonantiefrequenties van de buizen behoorlijk berekend kunnen worden

frequentie $= 309.048 - 0.4617146 * x + 3.013809E\text{-}04 * x^2 - 7.109726E\text{-}08 * x^3$

De buislengte x in de formule, moet uitgedrukt worden in mm.

Naar een eerste experimenteel hybride orgel: <Hybr>

Omdat de klank van deze buizen behoorlijk 'akoestisch' eerder dan een-dimensioneel elektronisch overkomt, besloten we een nieuwe orgelachtige automaat te bouwen waarin van de hier beschreven principes gebruik wordt gemaakt. Voor dit ontwerp gingen we uit van een – als default - zuiver sinusoïdale aansturing van de pijpen, waarbij het klinkend resultaat evenwel alles behalve sinusoïdaal klinkt, maar integendeel een breed en van pijp tot pijp variabel spectrum laat horen. We doopten het ontwerp <Hybr> omdat we hier toch te maken hebben met een instrument dat zich in de overgang tussen akoestisch en elektronisch situeert. Elke pijp wordt gestuurd door een afzonderlijke en onafhankelijke oscillator waarbij de amplitude, de omhullende en de stemming volledig bestuurbaar zijn via de geïmplementeerde MIDI commando's. Een zekere vorm van inharmonische additieve synthese is bovendien geïmplementeerd waarbij de inharmonische spectraalcomponenten – afgeleid van onze metingen - kunnen worden toegevoegd aan de basis sinus component.

Voor de toonopwekking schakelden we niet minder dan twintig ARM 32-bit microprocessors (STM32F407) in. Dit grote aantal was nodig omdat elke processor slechts twee onafhankelijke audio signalen kan opwekken, voldoende voor stereo geluid. Om de kosten te drukken maakten we gebruik van ontwikkelingskits voor die processors, geleverd door de fabrikant zelf. De omstandigheid dat onze medewerker Johannes Taelman op dat moment bezig was met de ontwikkeling van modulaire klankgeneratiecode voor die bordjes – wat later leidde tot zijn succesvolle Axoloti project - heeft daar ook veel mee te maken. Het grote voordeel van deze aanpak is dat we zo een orgel kunnen bouwen waarmee, met eenzelfde verzameling pijpen, heel wat verschillende klankkleuren kunnen worden tot klinken gebracht en dat een schier onbeperkte controle over de dynamiek mogelijk wordt. Ook het spelen in andere stemmingen behoort tot de mogelijkheden, aangezien elke pijp instant en individueel tot een kwarttoon hoger of lager kan worden gestemd.

Het door de processorbordjes geleverde signaal is uiteraard niet voldoende krachtig om de luidsprekertjes rechtstreeks aan te sturen. De stereo audio uitgang is immers ontworpen voor het uitsturen van oortjes. Dit probleem losten we op door tien analoge 4-kanaals versterkertjes bedoeld voor gebruik in auto's, in te bouwen. Dit vereenvoudigde ook meteen het intoneren en op gelijk volume brengen van de verschillende pijpen in het instrument.

Pijpentabel voor de <Hybr> robot, met metingen:

- f0 = frequentie van de grondtoon
- l/d = verhouding lengte tot inwendige diameter
- f1 = frequentie van de eerste boventoon en verhouding tot de grondtoon
- f2 = frequentie van de tweede boventoon en verhouding tot de grondtoon
- f3 = frequentie van de derde boventoon en verhouding tot de grondtoon
- L = lengte van de pijp in mm
- De = buitendiameter van de pijp in mm
- Di = binnendiameter van de pijp in mm
- de eerste kolom geeft het MIDI-noot nummer. (60 = C4)

	f0	l/d	f1	f2	f3	L	De	Di
33	55.0	31.8	165 [3.00]	219 [3.98]	270 [4.91]	1461	50	46.4
34	58.3	29.9	175 [3.00]	233 [4.00]	288 [4.94]	1378	50	46.4
35	61.7	28.2	183 [2.96]	245 [3.97]	286 [4.63]	1295	50	46.4

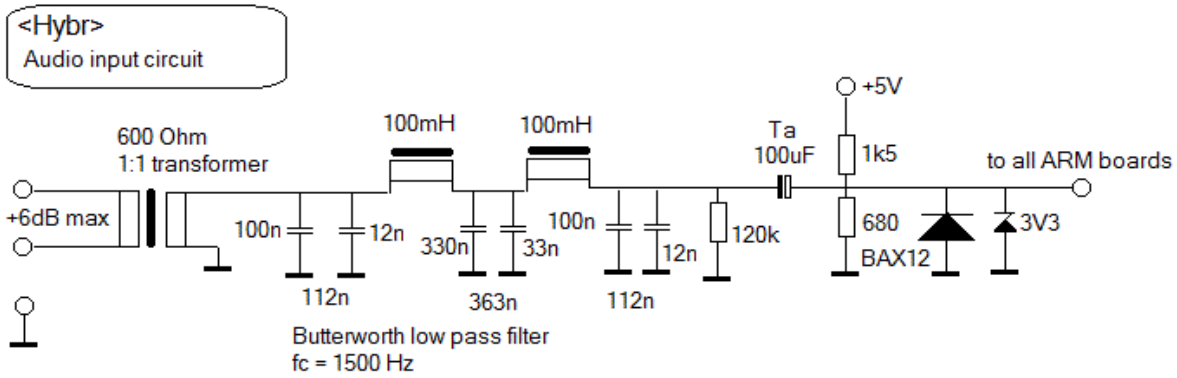
36	65.4	26.4	195 [2.98]	258 [3.94]	306 [4.68]	1216	50	46.4
37	69.3	24.8	210 [3.03]	274 [3.95]	323 [4.66]	1142	50	46.4
38	73.4	23.3	218 [2.97]	291 [3.96]	344 [4.68]	1073	50	46.4
39	77.8	21.8	235 [3.25]	359[4.61]	772 [9.92]	1005	50	46.4
40	82.4	20.5	244 [2.96]	330 [4.00]	468 [5.68]	949.5	50	46.4
41	87.3	19.9	262 [3.00]	352 [4.03]	700 [8.02]	880	50	46.4
42	92.5	17.9	274 [2.96]	377 [4.08]	523 [5.65]	833	50	46.4
43	98.0	16.8	193 [1.97]	260 [2.65]	384 [3.92]	780.5	50	46.4
44	103.8	16.6	202 [1.95]	271 [2.61]	412 [3.97]	732	50	44
45	110.0	15.6	212 [2.02]	291 [2.64]	428 [3.89]	686	50	44
46	116.5	14.6	231 [1.98]	312 [2.68]	444 [3.82]	643	50	44
47	123.5	13.7	246 [1.99]	328 [2.66]	460 [3.72]	601	50	44
48	130.8	12.8	262 [2.00]	342 [2.61]	484 [3.7]	563.5	50	44
49	138.6	11.9	286 [2.06]	356 [2.57]	614 [4.43]	523.5	50	44
50	146.8	11.1	302 [2.06]	642 [4.37]	858 [5.84]	488.6	50	44
51	155.6	9.8	310 [1.99]	340 [2.18]	583 [3.74]	451	50	46.4
52	164.8	10.9	341[2.07]	651[3.95]	1035 [6.28]	405	40	37
53	174.6	9.8	387 [2.21]	725 [4.15]	1160 [6.64]	362	40	37
54	185	9.5	395 [2.13]	739 [3.99]	1199 [6.45]	352	40	37
55	196	9.3	497 [2.53]	996 [5.08]	1596 [8.14]	263	32	28.4
56	207.6	7.7	549 [2.64]	1146 [5.52]	1848 [8.90]	220	32	28.4
57	220	7.3	545 [2.48]	1196 [5.44]	1964 [8.92]	208	32	28.4
58	233.1	6.18	763 [3.27]	1024 [4.39]	1728 [7.41]	132.2	25	21.4
59	246.9	4.97	840 [3.4]	1900 [7.69]	-	109.5	25	22
60	261.6	51.0	466 [1.78]	664 [2.54]	863 [3.30]	689	20	17
61	277.2	38.3	470 [1.69]	682 [2.46]	900 [3.25]	652	20	17
62	293.7	35.7	513 [1.75]	726 [2.47]	962 [3.27]	607	20	17
63	311.1	33.2	538 [1.73]	768 [2.47]	1004 [3.22]	565	20	17
64	329.6	30.0	606 [1.84]	978 [2.97]	1129 [3.43]	511	20	17
65	349.2	28.1	628 [1.80]	909 [2.6]	1206 [3.46]	478	20	17
66	370	26.5	658 [1.78]	936 [2.53]	1243 [3.36]	451	20	17
67	392	31.4	711 [1.81]	973 [2.48]	1312 [3.35]	427	16	13.6
68	415.3	29.0	750 [1.81]	1005 [2.42]	1368 [3.3]	395	16	13.6
69	440.0	27.2	764 [1.74]	1063 [2.42]	1450 [3.3]	370	16	13.6
70	466.2	25.2	776 [1.66]	1104 [2.37]	1544 [3.31]	342	16	13.6
71	493.9	23.4	820 [1.66]	1186 [2.4]	1665 [3.37]	318.1	16	13.6

72	523.2	21.3	893 [1.70]	1325 [2.53]	1866 [3.56]	290.2	16	13

Pijp 58, in resonantie aangestuurd met een sinus en met 5 Vrms gemeten over de luidsprekeraansluitklemmen, produceert een geluidsdruk van 92 dBA, gemeten op 30 cm van het open uiteinde van de pijp. Het elektrisch opgenomen vermogen is dan 500 mW.

Voor alle pijpen met een diameter kleiner van 50 mm, gebruikten we een conisch aanpassingsstuk. Dit heeft uiteraard gevolgen voor het akoestisch gedrag want het introduceert een derde interagerende resonator in ons trillingssysteem. De eigen-frequentie van dit systeem konden we situeren tussen 80 en 108 Hz. De precieze waarde zakt wat met toenemende lengte van de eraan gekoppelde lange pijp. We hadden dit in ons ontwerp eigenlijk alleen kunnen vermijden, indien we hadden kunnen beschikken over luidsprekertjes van afnemende diameters en met eenzelfde vermogen. Helaas bestaan die niet. Kleine speakertjes met diameters tot zelfs 10 mm bestaan weliswaar en worden gemaakt voor koptelefoons en oortelefoontjes, maar dan is het vermogen beperkt tot 100 mW. Een van de redenen waarom we de gekozen Visaton speakertjes gebruikten in dit ontwerp, is omdat die een mylar membraan hebben, waardoor ze ongevoelig zijn voor vocht. Niet alle kwetsbaarheid is daarmee evenwel geweken, want ze blijven nog steeds erg gevoelig voor in de pijpen vallende objecten, substanties en stof. Het hele instrument ondersteboven keren en flink schudden is daartegen de enige remedie...

De aard van het ontwerp, met voor elke toon afzonderlijke buisresonatoren en filters, heeft ons ertoe verleid de mogelijkheid te voorzien om het instrument te kunnen gebruiken als Fourier transformator. Daarvoor moeten we alle 40 luidsprekertjes via de microprocessors een en hetzelfde extern audiosignaal toevoeren, in bandbreedte beperkt tot 1500 Hz, overeenkomend met het toonbereik van het instrument. De bemonsteringssnelheid voor dit audio kanaal is met 3kS/s relatief laag en de resolutie beperkt tot 12 bits. De externe audio-ingang vergt een signaal met lage impedantie (< 600 Ohm) en op lijn-niveau. De ingangsamplitude kan worden geregeld met MIDI-controller #67. Het schema voor deze toevoeging, met laag-doorlaatfilter, ziet er zo uit:

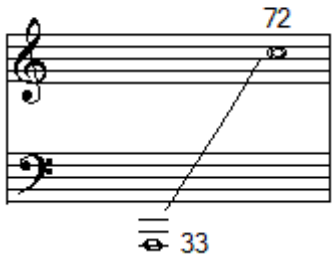


Elektrische oversturing van de gebruikte speakers lijkt ons op grond van het ontwerp zo goed als uitgesloten. Ook de versterkers kunnen eigenlijk niet overbelast worden. Niettemin kan zich een potentieel gevaarlijk fenomeen voordoen: bij heftige resonantie tussen pijp en speaker kan de amplitude van de conusbeweging zo groot worden dat ernstige vervorming optreedt. In dat geval moet het volume beperkt worden want dit kan wel degelijk tot vernieling van de betreffende speaker leiden. Beperking van het volume kan globaal met MIDI-controller #7 ofwel door een begrenzing van het *velo-byte* (de aanslagsterkte) voor die noot.

Midi implementatie:

<Hybr>

note range



Midi kanaal: 8

Note Off: noten 33 to 72 , release geïmplementeerd.
Note On: noten 33 to 72 , aanslagsterkte geïmplementeerd.

Toetsdruk: met dit commando kan de toonhoogte voor elke noot afzonderlijk gemoduleerd worden. Het bereik is een kwarttoon in beide richtingen.

Technische steekkaart van de <Hybr> robot:

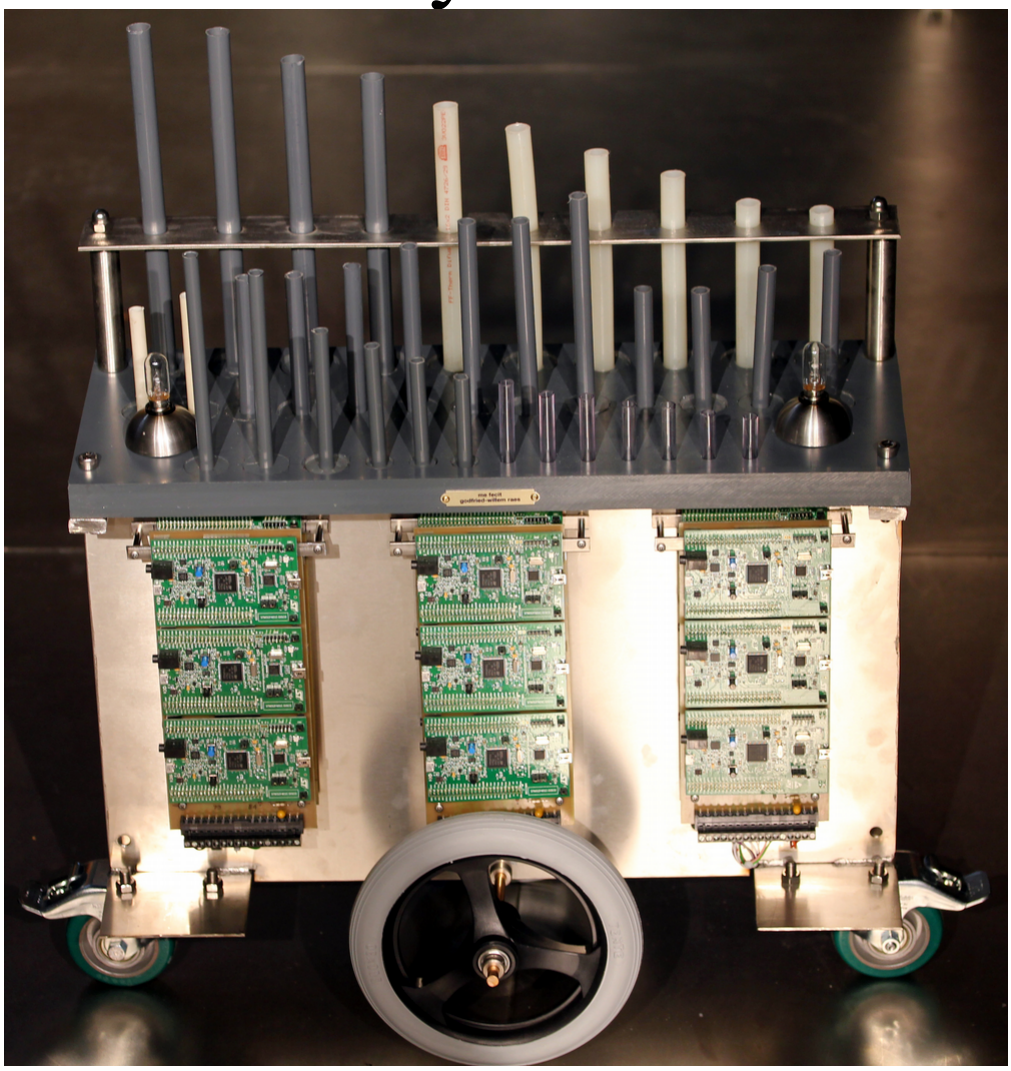
- afmetingen: hoogte: 1930 mm, diepte 370 mm, breedte: 1010 mm.
- gewicht: 65 kg
- elektrisch: 230 V / 90 VA , verbruik in rust: 55 VA, piek verbruik: 230 VA.
- Luidheid : 20 - 102 dBA, (per pijp ca. 87 dBA)
- Microcontrollers: 20 ARM STM32F407 en 1 Microchip PIC 18F2525.
- Bouwkost: 17.000 €
- Bouwjaar: 2014

Muziek gecomponeerd voor <Hybr>:

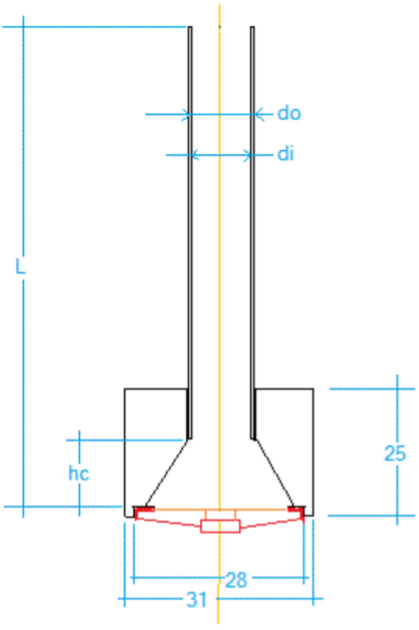
- Godfried-Willem Raes 'Namuda Study #49: Hybr', premiere January 13th 2015 door Dominica Eyckmans en Emilie De Vlam..
- Godfried-Willem Raes 'Namuda Study #57: Tekstuur', premiere October 28th 2015 door Dominica Eyckmans.
- Kristof Lauwers 'Study for Hybr', 2015

Het ontwerp van dit en alle verdere hier beschreven membraan gestuurde instrumenten, kan aanleiding geven tot het inslaan van nieuwe wegen, zelfs in de traditionele orgelbouw. Voor dit project gebruikten we uitsluitend cilindrische pijpen, maar uiteraard kunnen ook allerlei andere vormen worden toegepast. Ook voor de membraandrivers zijn er heel wat alternatieve mogelijkheden. In de hierna voorgestelde reeks orgelrobots, de π-reeks, werkten we dit alvast verder uit door toepassing van conische pijpen en zoemers voor de membranen. Het ligt voor de hand volledige orgelregisters op gelijkaardige wijze te bouwen waarbij een aantal evidente voordelen naar voor komen: er zijn geen regelmatige stembeurten nodig en windlekken zowel als bijgeluiden zijn bijna helemaal uitgesloten. Het dynamisch bereik is veel groter en flexibeler en ook de klankkleur kan binnen bepaalde grenzen door de bespeler worden bepaald. En, last but not least, het is ook heel wat goedkoper dan een traditioneel opgebouwd orgelregister.

<HybrHi>



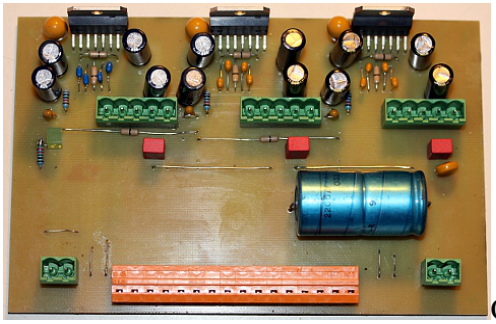
De reacties van onze medewerkers en gastcomponisten op het ter beschikking komen van de <Hybr> robot in het orkest waren bijzonder positief. Daarom besloten we om nauw aansluitend, een uitbreiding in de hoogte van de tessituur te voorzien: <HybrHi> was in aantocht. Werkend als een moeder-en-kind combinatie, zou op die wijze een heel groot repertoire aan bestaande muziek speelbaar worden.
Bij het ontwerp maakten we uiteraard gebruik van de lessen die we hadden kunnen trekken uit de bouw van <Hybr>: hier hielden we ons dan ook heel strikt aan de voorwaarde dat de lengte van elke pijp minstens het tienvoud diende te zijn van de diameter. Maar, omdat kunststof buizen nu eenmaal niet verkrijgbaar zijn in gradueel oplopende diameters, dienden we pijpen voor de hoogste noten te berekenen en te bouwen als 'overgeblazen' pijpen, waarbij we hun tweede of derde boventoon gebruikten om tot resonantie te komen. Omdat onze zoektocht naar kunststofbuis in diverse diameters, een heel assortiment aan verschillende kunststoffen opleverde, kon een visueel homogeen resultaat niet bereikt worden. Alle pijpen werden opgebouwd met een lengte buis gemonteerd op een voetstuk op de draaibank gemaakt uit PVC. Dit stuk, met een inwendig conisch verloop, staat in voor de aanpassing aan de diameter van de gebruikte speakertjes.



<HybrHi>
cross sectional view
membrane driven pipes

De tekening toont de constructie voor speakertjes met een diameter van 28 mm  Daar waar we voor <Hybr> een enkel type luidspreker toepasten, poogden we hier luidsprekertjes toe te passen waarvan de diameter kleiner werd naarmate de pijp hoger moest klinken. Dit ging wel ten koste van de geluidsterkte. Zo begonnen we hier met speakertje van 40 mm diameter voor noot 73 en eindigden we met 16 mm speakertjes voor de hoogste noten, toen de kleinste maat van de op de markt verkrijgbare exemplaren. Hoewel, zoals te verwachten is, de resonantiefrequentie van de speakertjes stijgt met afnemende diameter van de konus (voor de 16 mm speakers is dat ca. 1KHz) , gebruikten we hier alle speakertjes voor tonen hoger dan die resonantiefrequentie. Op die wijze wisten we het bizar gedrag van pijpen gestemd in de buurt van die frequenties te vermijden.

Ook hier weer pasten we ARM bordjes voor ontwikkelaars toe voor de klankopwekking. De MIDI-implementatie voor de gebruikers is dan ook volkomen gelijklopend. Voor de eindversterking ontwierpen we deze keer echter zelf de eindversterkers, uitgaande van STA540 chips.

 Op de foto, een gedrukte schakeling met daarop een twaalf-kanaals versterker in het Eurokaart formaat (100 x 160 mm). Het elektronisch schema omvat geen enkele originaliteit en is gewoon ontleend aan de toepassingsvoorbeelden gegeven door de fabrikant van de chip.

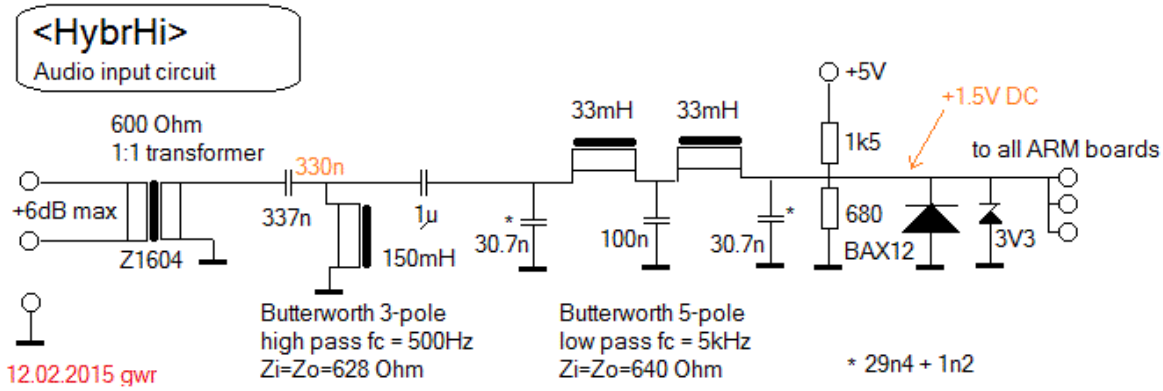
Hierbij een tabel met alle afmetingen van en metingen aan de pijpen:

- frq = frequentie waarvoor de pijp werd berekend en gebouw
- f0 = frequentie van de grondtoon
- f1 = frequentie van de 1e boventoon gevolgd door de verhouding ervan tot de grondtoon
- f2 = frequentie van de 2e boventoon gevolgd door de verhouding ervan tot de grondtoon
- f3 = frequentie van de 3e boventoon gevolgd door de verhouding ervan tot de grondtoon
- l/d = verhouding pijplengte tot interne diameter
- L = lengte van de pijp in mm
- Di = interne diameter van de pijp in mm
- de eerste kolom geeft de MIDI-noot (60 = C4)

midi	frq	f0	f1	f2	f3	l/d	L	Di
73	554	554	960 [1.73]	1443 [2.60]	1954 [3.53]	20.51	279	13.6
74	587	587	1015 [1.73]	1475 [2.51]	1990 [3.39]	20.25	275.5	13.6
75	622	622	1078 [1.73]	1570 [2.52]	2175 [3.50]	18.67	254	13.6
76	659	659	1108 [1.68]	1616 [2.54]	2250 [3.41]	17.65	240	13.6
77	698	698	1201 [1.72]	1823 [2.61]	2552 [3.66]	18.00	216	12
78	740	740	1336 [1.8]	2645 [3.57]	3525 [4.76]	16.83	202	12
79	784	784	1376 [1.76]	2194 [2.8]	2965 [3.78]	15.08	181	12
80	831	831	1563 [1.88]	2344 [2.82]	3720 [3.27]	13.62	163.5	12
81	880	880	1558 [1.77]	2685 [3.05]	3329 [3.78]	11.83	142	12
82	932	932	2140 [2.3]	2833 [3.04]	3534 [3.79]	11.5	138	12
83	988	988	2511 [2.54]	3432 [3.37]	4033 [4.08]	15	135	9
84	1046	1046	1740 [1.66]	2604 [2.49]	2911 [2.78]	13.94	125.5	9
85	1109	1109	1930 [1.74]	2990 [2.7]	3283 [2.96]	12.33	111	9
86	1115	1175	2329 [1.98]	2917 [2.48]	3373 [2.87]	12	108	9
87	1244	778	1244 [1.6]	2077 [2.67]	2609 [3.35]	19.67	177	9
88	1319	793	1319 [1.66]	2226 [2.81]	3120 [3.93]	18.61	167.5	9
89	1397	797	1397 [1.75]	2250 [2.82]	2907 [3.65]	18.11	163	9
90	1480	823	1480 [1.8]	2496 [3.03]	2957 [3.59]	16.06	144.5	9
91	1568	913	1568 [1.72]	2775 [3.04]	3572 [3.91]	14.44	130	9
92	1661	847	1661 [1.96]	2636 [3.11]	2965 [3.5]	13.78	124	9
93	1760	968	1760 [1.82]	3002 [3.10]	4331 [4.47]	13.33	120	9
94	1865	1016	1865 [1.83]	2912 [2.86]	3750 [3.69]	13.87	111	8
95	1976	1053	1976 [1.88]	3013 [2.86]	3510 [3.33]	12.87	103	8
96	2093	914	2093 [2.29]	2628 [2.88]	2997 [3.28]	23.68	180	7.6
97	2217	922	1400 [1.52]	2217 [2.4]	2666 [2.89]	21.88	166.3	7.6
98	2349	1105	2349 [2.12]	3758 [3.4]	4505 [4.08]	16.53	125.6	7.6
99	2389		2389	3535	5005	14.86	113	7.6
100	2437		2437	3915	6488	13.35	101.5	7.6
101	2794		2794	4332	6095	12.03	91.4	7.6

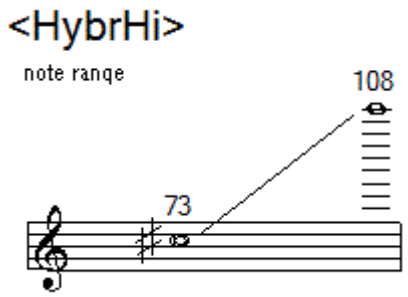
102	2960		2960	4764	6621	12.97	84.3	6.5
103	3136		3136	5122	6240	12.22	79.5	6.5
104	3322		3322	5384	7457	11.53	75	6.5
105	3520		3520	5620	6688	10.89	70.8	6.5
106	3729		3729	5970	6555	10.26	66.7	6.5
107	3951		3951	6428	7970	9.57	62.2	6.5
108	4186		4186	6594	8268	9.03	58.7	6.5

De audio input schakeling met bandfilter, net zoals bij <Hybr> volledig passief opgebouwd met spoelen en condensatoren, ziet er zo uit:



Meetgegevens: -6 dB bij 800 Hz, 0 dB tussen 1 kHz en 4.3 kHz, -6 dB bij 4.4 kHz. Het ingangssignaal mag 2Vpp groot zijn alvorens clipping zal optreden. Het uitgangssignaal is dan 1.1Vpp in de doorlaatband.

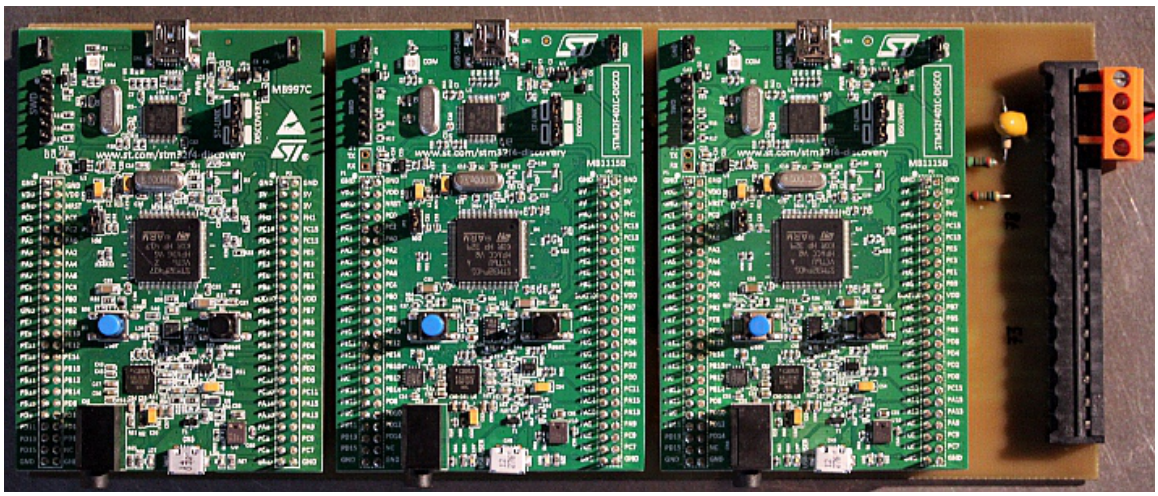
Midi implementatie:

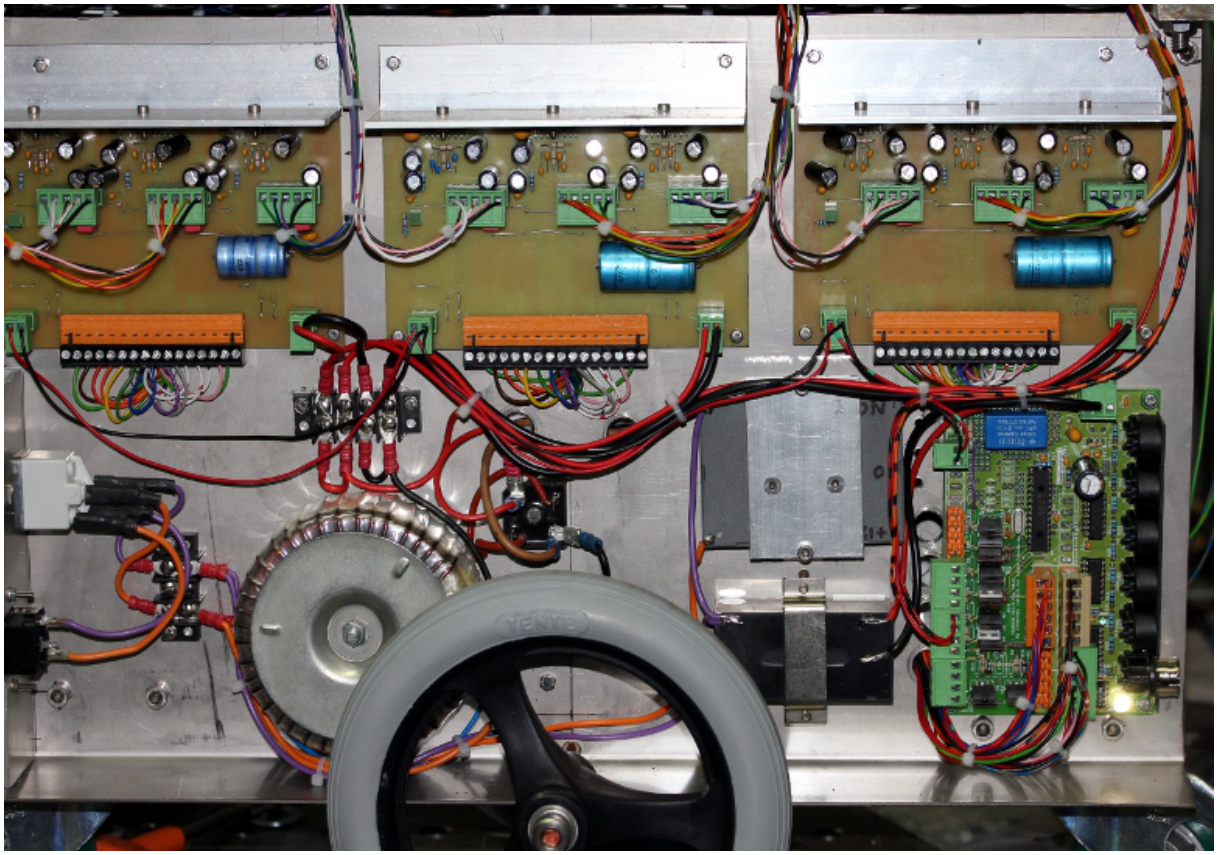


kanaal 8

Technische fiche:

- afmetingen: breedte 550 mm, diepte 260 mm, hoogte 700 mm
- gewicht: 21 kg.
- Elektrisch : 230 V / 90 VA (piek)
- Luidheid: 20 - 92 dBA
- Microcontrollers: 18 ARM STM32F407 and 1 Microchip PIC 18F2525.
- Bouwkost: 6.000 €
- Bouwjaar: 2015

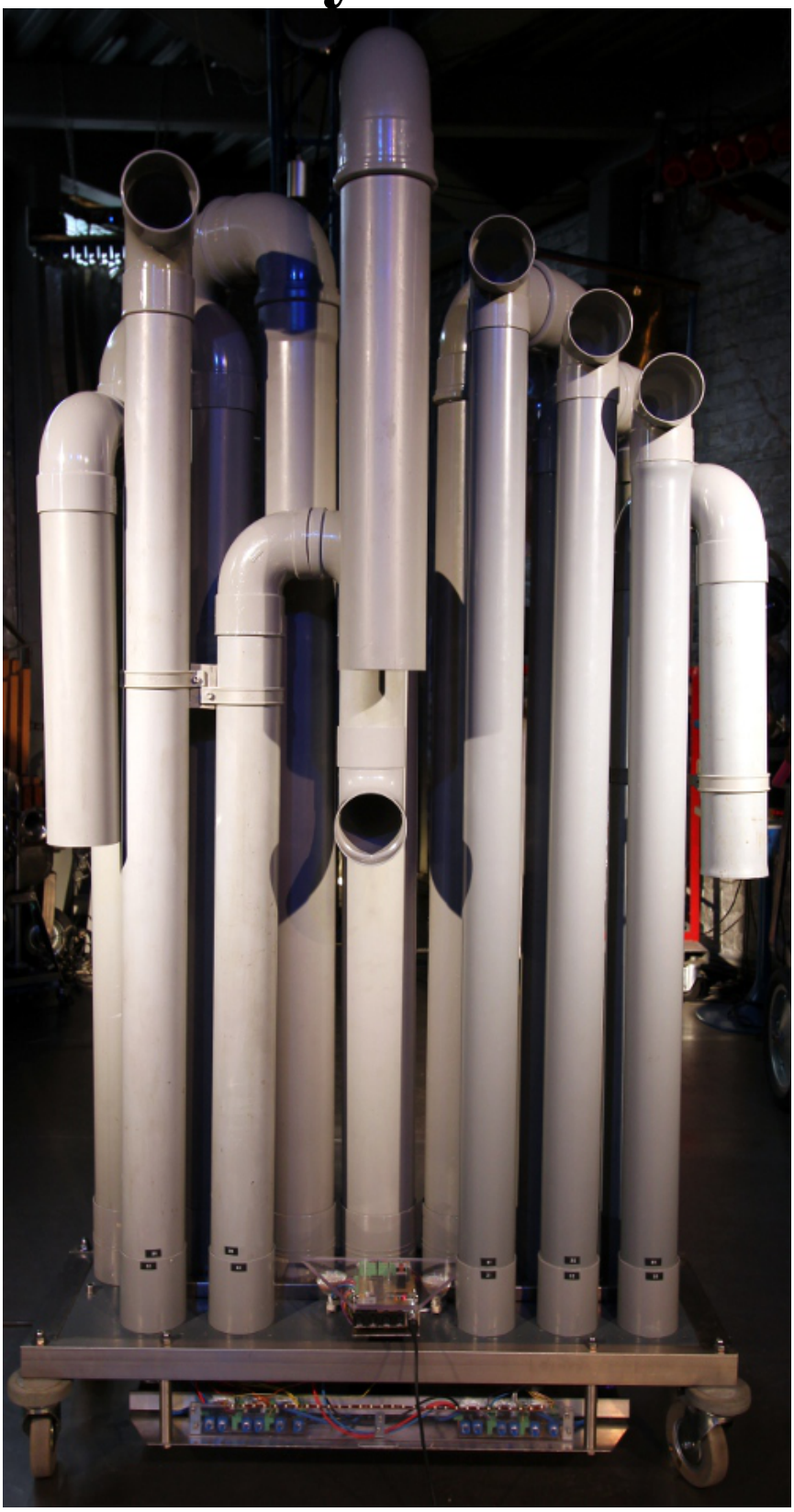




Nabeschouwing:

Toch blijft het wat wringen dat we zowel in <Hybr> als in <HybrHi> niet minder dan 40 microprocessoren gebruikten. 38 stuks daarvan 32 bit processoren geklokt op 168 Mhz. Dit moet toch beter kunnen opgelost worden. Dergelijke krachtige processoren zouden toch in staat moeten zijn om in te staan voor het genereren van een heel octaaf, mits we multiplexing zouden kunnen toepassen. Ook analoge mogelijkheden hebben we uitgetekend en getest, maar die bleken nog veel volumineuzer en duurder uit te vallen dan deze *overkill* oplossing.

<HybrLo>



Na de bouw van <Hybr> en de uitbreiding ervan in de hoogte met <HybrHi> lag het niet meer dan voor de hand, ook werk te maken van een uitbreiding naar de laagte toe. Dat project, dat niet anders

kon dan <HybrLo> gaan heten, ontwierpen we evenwel van meet af aan verschillend. Daar waren verschillende redenen voor: vooreerst waren de ARM-developer boards niet meer op de markt en wilden we nu het hele klankopwekkingssysteem ook graag van de grond af opbouwen. Anderzijds, noopte een basinstrument – dat we graag krachtig wilden hebben - ons tot het gebruik van heel wat grotere en krachtiger luidsprekers gekoppeld aan flink uit de kluiten gewassen pijpen. Bovendien was ook de transporteerbaarheid een grote zorg. Het twee decennia eerder met houten orgelpijpen gebouwde basregister <Bourdonola> bleek immers wat dat betreft problematisch, omdat voor elk transport de tot 3 meter hoge pijpen van de windlade dienden te worden losgenomen en omdat de hele automaat bijzonder zwaar was. Het later tot stand gekomen kwarttoonsorgel <Qt>, was niet echt een alternatief, want met zijn totaalgewicht van 270 kg al evenmin eenvoudig te transporteren.

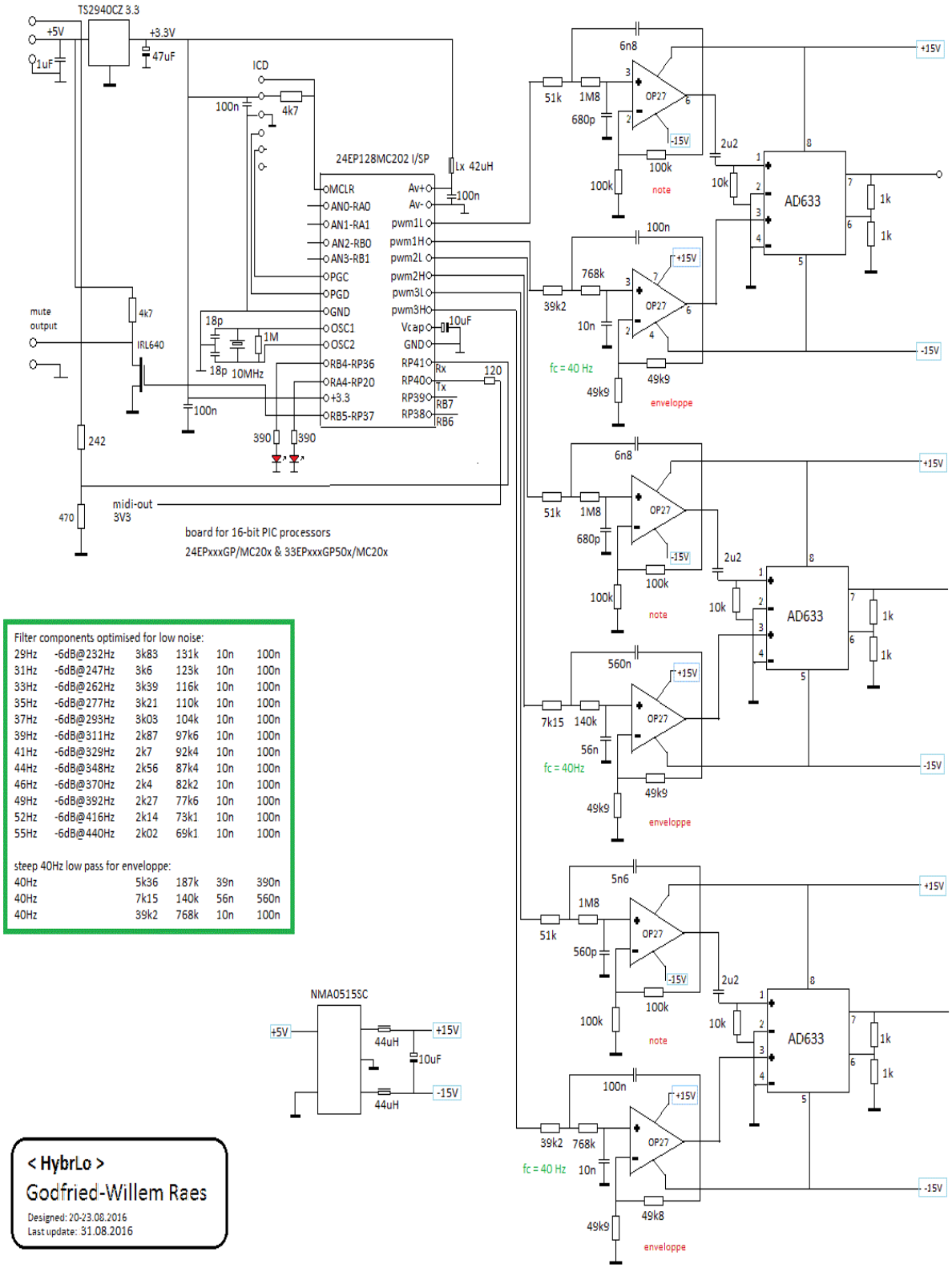
Voor dit nieuwe ontwerp besloten we dan ook de polyfonie te beperken tot 12 noten. Elke pijp kan daarbij hetzij de grondtoon laten horen, hetzij de hogere octaven ervan. Octaafverdubbelingen zijn bij een dergelijke dispositie natuurlijk onmogelijk, maar het tessituurbereik kan wel worden uitgebreid tot vier octaven en dat met slechts twaalf pijpen. We konden -in theorie althans- die tessituur nog verder uitbreiden door ook het weergeven van duodecimen en hogere boventonen te implementeren, maar de intrinsieke inharmoniciteit van de pijpen maakt dit toch bezwaarlijk. Dat de bouwkosten door die beperking van de polyfonie wat konden gedrukt worden was mooi meegenomen, want we hadden toen net onze structurele subsidiëring als centrum voor experimentele muziek kwijtgespeeld. Een door kwaadwilligheid, incompetentie en regelrechte corruptie ingegeven beslissing...

Ook hier bouwden we verder op de les geleerd bij het ontwerp van <Hybr> en ontwierpen we de pijpen zodanig dat de verhouding interne diameter tot pijplengte altijd groter is dan tien. De pijpen gedragen zich daarbij als kwart-golflengte resonatoren. Maar, zelfs zo ontworpen, waren de berekende buislengtes veel te groot om een transporteerbaar instrument te verkrijgen. Daarom besloten we de buizen van U-bochten zowel als haakse bochten te voorzien zo, dat we de totale bouwhoogte van het instrument tot twee meter konden beperken. Het instrument kan dus door een gewone deuropening heen!

Berekening van de ideale afmetingen voor de laagste pijp leverden op dat we die een diameter van 300 mm moesten geven. Dat zou echter de afmetingen buitensporig maken. Ook de kleinste pijp zou dan met een diameter van 150 mm bemeten moeten worden. Dergelijk instrument hadden we graag gebouwd (we zouden het trouwens nog steeds graag onder handen nemen...) maar de beperkingen van middelen en ruimte noopten ons tot toegevingen. Een van die toegevingen was dat we zoveel mogelijk recyclage onderdelen gingen gebruiken, in dit geval krachtige luidsprekers gesloopt uit betere klasse auto's (BMW, Volvo, Mercedes...) . Een tweede toegeving deed ons beslissen gebruik te maken van gerecycleerde PVC afvoerbuizen met diameters van 120 to 100 mm.

De microprocessoren die we voor dit instrument hebben ingeschakeld zijn 16 bit processors van Microchip uit de 24EP128MC202 reeks, net zoals de ds33EP128 chips die we eerder al hadden gebruikt voor klanksynthese. Dit type echter is toegesneden op gebruik in drie-fazen motorbesturingen en beschikt om die reden dan ook over zes PWM uitgangen en een weelde aan timers en interrupts. Door deze eigenschappen konden we elke processor zo programmeren dan hij drie tonen volkomen onafhankelijk kon genereren. Toch een stap in de goede richting vergeleken bij de voor de eerdere twee robots gebruikte ARM processoren.

Voor deze robot ontwierpen we dan ook een geheel nieuwe schakeling, waarin ook heel wat analoge elektronica terug te vinden is: Sallen & Key filters opgebouwd met opamps (OP27) zowel als analoge vermenigvuldigers (AD633 chips).



Filter components optimised for low noise:

29Hz	-6dB@232Hz	3k83	131k	10n	100n
31Hz	-6dB@247Hz	3k6	123k	10n	100n
33Hz	-6dB@262Hz	3k39	116k	10n	100n
35Hz	-6dB@277Hz	3k21	110k	10n	100n
37Hz	-6dB@293Hz	3k03	104k	10n	100n
39Hz	-6dB@311Hz	2k87	97k6	10n	100n
41Hz	-6dB@329Hz	2k7	92k4	10n	100n
44Hz	-6dB@348Hz	2k56	87k4	10n	100n
46Hz	-6dB@370Hz	2k4	82k2	10n	100n
49Hz	-6dB@392Hz	2k27	77k6	10n	100n
52Hz	-6dB@416Hz	2k14	73k1	10n	100n
55Hz	-6dB@440Hz	2k02	69k1	10n	100n

steep 40Hz low pass for enveloppe:

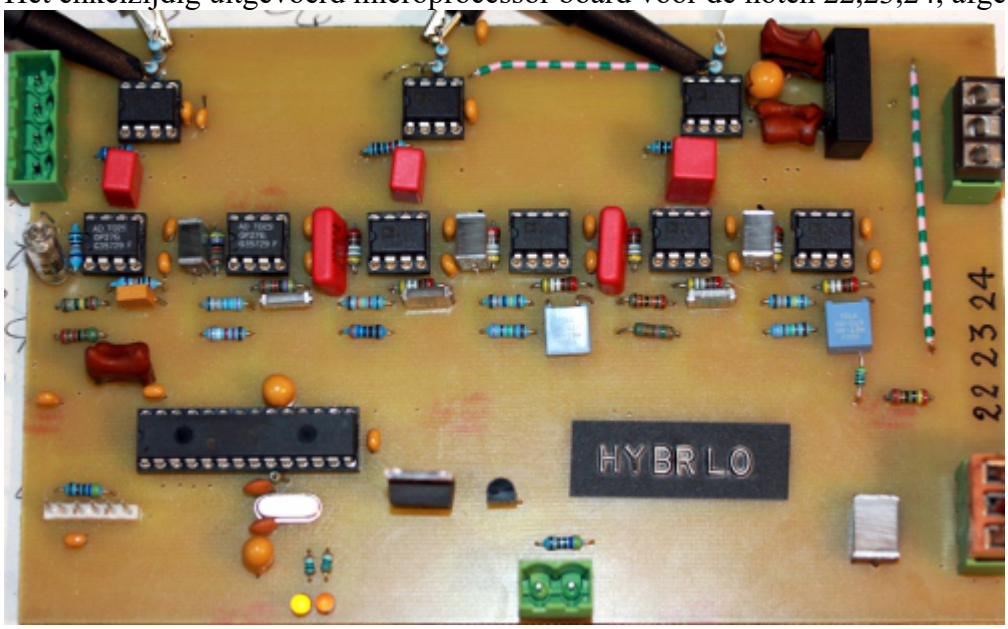
40Hz		5k36	187k	39n	390n
40Hz		7k15	140k	56n	560n
40Hz		39k2	768k	10n	100n

< HybrLo >
Godfried-Willem Raes
Designed: 20-23.08.2016
Last update: 31.08.2016

De componentenwaarden zijn verschillend voor elke opamp. Voor de berekening van de filters gebruikten we een rekenprogramma van Analog Devices. De filters voor de omhullende zijn gekenmerkt door een afsnijfrequentie van 40 Hz. Hoewel we voor de weerstanden gebruik konden maken van 1% exemplaren, moesten we voor de condensatoren vrede nemen met 5% componenten. Het afgedrukte schema toont de componentwaarden voor de noten 22, 23 en 24. De resolutie voor de dynamiek in de ADSR kanalen is 16 bits bij een bemonsteringssnelheid van 1800 samples/s.

Van enig lek van de sample-frequentie naar de uitgang is geen sprake. Het dynamisch bereik kan door de gebruikers worden gekozen en loopt van 20dB tot 60dB in stappen van 10dB. De mapping op midi waarden is altijd logaritmisch. De bronkode zowel als de gecompileerde hex-dump's zijn beschikbaar op de Logos site.

Het enkelzijdig uitgevoerd microprocessor board voor de noten 22,23,24, afgewerkt ziet er zo uit:



Omdat het hardware platform zo grondig verschillend is van wat we hadden voor <Hybr> en <HybrHi> kon bij de ontwikkeling van dit instrument de MIDI-implementatie, en dus de gebruiksaanwijzing, niet helemaal dezelfde zijn.

Ten behoeve dan de meer experimenteel georiënteerde componisten die bij Logos werkzaam zijn, voorzagen we aanvankelijk in individuele ADSR controle en golfvormsturing voor elke noot. Zodoende kan het instrument ook worden gebruikt om bvb. pizzicato-achtige geluiden te laten klinken, wat heel geschikt is in muziek met een dergelijke baslijn. Na zowat vijf jaar activiteit in het robotorkest, bleek echter dat niemand ooit van die weelde aan individuele controlemogelijkheden gebruik had gemaakt. Bij een upgrade van de firmware – waarin we in 2020 nog enkele kleine bugs ontdekten - vereenvoudigden we dit dan ook heel wat. De mogelijkheid om de amplitude van elke toon evenals de golfvorm ervan in real time en tijdens het klinken van de toon te moduleren bleef behouden, maar de individuele controle van de omhullende (ADSR) voor elke noot afzonderlijk werd weggelaten. De ADSR controllers werken nu globaal voor het hele instrument. Alle details zijn uiteraard uitvoerig gedocumenteerd in de gebruiksaanwijzing.

De vier 16-bit microprocessors waarmee <HybrLo> bestuurd wordt, werken op de grens van hun mogelijkheden. De hele code waarop de firmware is gebouwd berust op een veelheid aan snelle interrupt procedures, allemaal afgehandeld aan supersonische snelheden. In bepaalde zeldzame gevallen kan het dan ook voorkomen dat een min of meer 'menselijk' gedrag optreedt, en dat de robot een steek laat vallen. Crashen noch vals spelen hebben we ooit meegemaakt, maar wel glitches in de afhandeling van de omhullende, waardoor onregelmatigheden hoorbaar zouden kunnen worden.

De klankgeneratoren leveren hun uitgangssignaal op de uitgangen van de multiplier chips. Dat signaal wordt verder versterkt in twaalf kleine vermogensversterkers waarmee de luidsprekers worden aangestuurd. Voor deze versterkers ontwierpen we een schakeling met zes TDA7264 chips (2 x 22 Watt), passend op een enkel doormidden gesneden Eurokaart bordje. Het risico op overbelasting van de speakers is niet zozeer gelegen in een teveel aan elektrisch vermogen, maar

wel in een overschrijden van de mechanische grenzen van de luidsprekerchassis. De excursies van de conussen wanneer resonantie met de buisresonatoren optreedt kunnen immers bijzonder groot worden, zelfs al gebruiken we de speakers hier in een frequentiebereik gelegen onder hun eigen resonantie. Tot slot, om het elektronisch gedeelte van het <HybrLo> ontwerp af te sluiten, was er natuurlijk ook nog een voeding nodig. Voor de versterkers werd dit een klassieke analoge voeding met een toroïdale transfo van 225 Watt en 2 x 12 V. Om de ruststroom te beperken wordt aan de gebruikers aangeraden de in MIDI geïmplementeerde aan/uit schakelaar (controller #66) te gebruiken en de robot wanneer die niet moet spelen, uit te schakelen.

De mensuren en eigenschappen van de pijpen zijn opgenomen in deze tabel:

- frq = frekwentie van de grondtoon waarvoor de pijp werd ontworpen
- f1 = toonhoogte van de eerste boventoon
- f2 = tweede boventoon
- f3 = derde boventoon
- l/d = verhouding lengte tot diameter
- L = lengte van de pijp pipe in mm (1/4 lambda resonator) met eindkorrektie
- De = buitendiameter van de pijp in mm
- Di = binnendiameter van de pijp in mm
- Spkr = luidspreker type

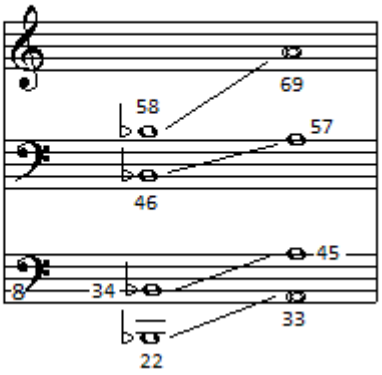
	Frequentie	f1	f2	f3	l/d	L	De	Di	Luidspreker
22	29.135	58	117	233	23.6	2879	125	119	GW-205/85 40 W
23	30.868	61	122	244	22.32	2713	125	119	LPB130 Nokia 4 Ohm 25 W
24	32.703	66	132	264	21.07	2557	125	119	LPB130 Nokia 4 Ohm 25 W
25	34.648	70	140	280	22.83	2420	110	106	PioneerTS-130CI 4 Ohm 25 W
26	36.708	74	148	296	21.51	2280	110	106	LPB130 Nokia 4 Ohm 25 W
27	38.890	78	156	312	20.27	2149	110	106	BMW 4 Ohm 25 W
28	41.203	82	164	328	20.90	2028	100	96	ITT LPB128 4 Ohm 25 W
29	43.653	88	176	352	19.73	1911	100	96	LPB128 8 Ohm 20 W
30	46.249	92	184	368	18.62	1800	100	96	LPB130 4 Ohm 25 W
31	48.999	98	196	392	20.29	1705	90	84	LPB128 8 Ohm 20 W
32	51.913	104	206	412	19.13	1607	90	84	ITT LPB120 8 Ohm 20 W
33	55.000	110	220	440	18.02	1514	90	84	LPB128 8 Ohm 20 W

Voor de berekeningen namen we de geluidssnelheid als 344 m/s, overeenkomstig een temperatuur van 21 graden Celsius. Met de hier gegeven mensuur, verhouden de oppervlakten van de doorsneden zich voor het gegeven octaaf als 2:1 (11122 mm² versus 6361 mm²).

Midi implementatie:

<HybrLo>

note range



Midi kanaal: 8

Technische steekkaart van de <HybrLo> robot:

- afmetingen: breedte 1150 mm, diepte 500 mm , hoogte 2140 mm
- gewicht: 75 kg
- elektrische aansluiting: 230 V, 230 Watt maximum..
- stemming: A= 440 Hz
- Luidheid: <= 96 dBA
- Microcontrollers: 4 PIC 24EP128MC202 (16-bit) en 1 Microchip PIC 18F2525 (8-bit)
- Bouwkost: 18.000 Euro
- Bouwjaar : 2016
- Medewerkers: Mattias Parent , Peter Van Lancker , Bert Vandekerckhove , Moniek Darge , Kristof Lauwers , Lara Van Wynsberghe.

Muziekstukken gecomponeerd voor <HybrLo>:

Kristof Lauwers, 'Study #20 for HybrLo' (2016)

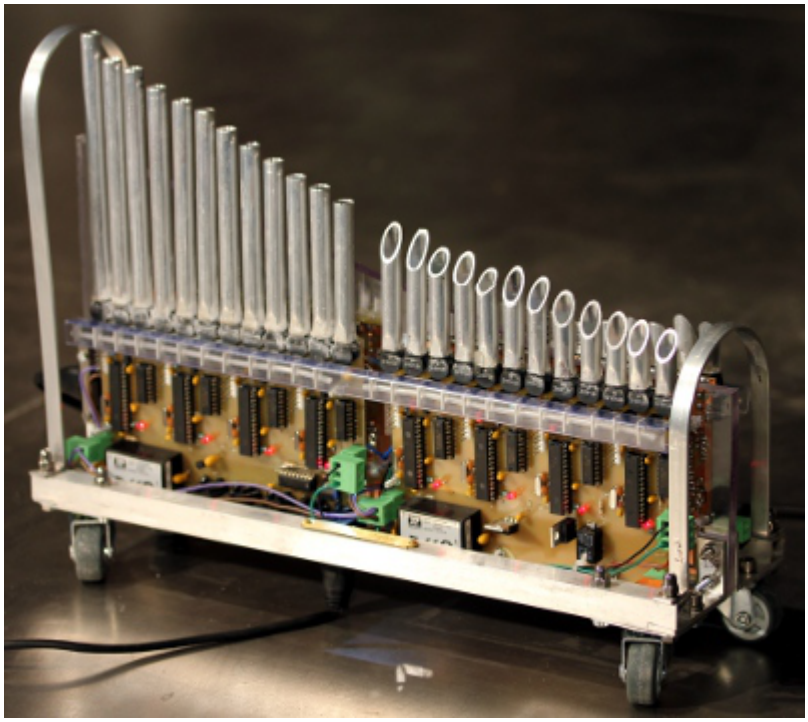
Godfried-Willem Raes 'Lithos' (eerste akt in de opera 'Technofaustus') , met een speciaal voor HybrLo gecomponeerde interactieve partij.

De π-robotjes...

Nadat we een reeks experimentele robots hadden gebouwd waarvoor we door luidsprekermembranen in resonantie gebrachte buizen gebruikten, de reeks <Hybr>, <HybrHi> en <HybrLo>, kwam Laura Maes bij ons te rade voor de ontwikkeling van een klankkunst installatie waarvoor vele honderden volkomen asynchrone pulsjes moesten worden opgewekt. Daardoor kwamen we ertoe in ons labo een reeks experimenten op te zetten naar voor dat doel bruikbare transducers. De voorwaarden waren: geen waarneembare eigen toonhoogte, goedkoop, laag stroomverbruik, lage voedingsspanning, relatief hoge geluidsterkte. Kleine luidsprekertjes, zoals toegepast in <HybrHi>, bleken weliswaar bruikbaar, maar veel te duur voor dit project. Zo kwamen we terecht bij allerlei kleine elektromagnetische zoemertjes. De piezoelektrische exemplaren voldeden weliswaar ook aan de voorwaarden wat betreft prijs, maar de relatief hoge noodzakelijke bedrijfsspanning noopte ons ertoe hen te verwerpen. Het hele project diende immers gevoed te worden uit kleine zonnepanelen. Die elektromagnetische zoemertjes zijn in feite sterk vereenvoudigde versies van de elektromagnetische hoofdtelefoons uit het begin van de 20e eeuw, waarin een groot stalen membraan werd toegepast. Eenzelfde opbouw hebben ook vele oude types magnetische en laagohmige oortelefoontjes.

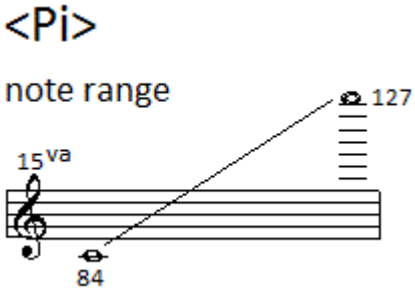
Zoals we bij snaren (en longitudinale luchtkolommen) in akoestisch opzicht van buiken en knopen (punten op een in hoofdzaak een-dimensioneel trillend medium) spreken, krijgen we bij membranen te maken met buiklijnen en knooplijnen beschreven in een twee-dimensioneel vlak. Wanneer een ingeklemd en gespannen rond membraan in het midden wordt aangeslagen dan krijgen we een knooplijn die samenvalt met de omtrek van het membraan. Deze trillingsvorm vormt de grondtoon van het trillend membraan. Omdat de door de rand weerkaatste vlakke golf nu niet meer een-dimensioneel is en bij het doorlopen van haar baan een wisselende weerstand ondervindt, liggen de knooplijnen nu niet meer op gelijke afstanden van elkaar. Gevolg: de boventonen zijn niet langer gehele veelvouden van de grondtoon en komen zelfs niet in de buurt daarvan. Voor een langs beide zijden vrij trillend homogeen membraan verhouden de eerste en de tweede boventoon zich tot de grondtoon als 1 : 2,3 en 1 : 3,6. Daarbij moeten we opmerken dat de juiste waarden van die getalverhoudingen mede afhankelijk zijn van de dikte van het membraan evenals van de materiaaleigenschappen ervan (massa en elasticiteits-modulus). Het zijn dus in de verste verten geen 'harmonischen' in platonische zin (er is immers niks harmonisch aan). Langs beide zijden vrij trillend wil zeggen dat het membraan dus niet gekoppeld is aan een klankkast (gesloten, zoals bij een pauk, noch open, zoals bij een bongo of een conga). De koppeling van een membraan aan een resonator heeft een determinerende invloed op de trillingswijze van dat membraan. Toen we in ons labo bezig waren met het grondig uitmeten van de akoestische en elektroakoestische eigenschappen van allerlei buzzertjes, ontdekten we dat voor een bepaald type buzzer (de ABT-408 van Multicom), de boventoon met een verhouding 1:3.14, een overmatige duodecime, erg sterk aanwezig was. Ook het andere klassieke irrationale getal e (2.7183...) , konden we trouwens in de verhouding 1:e bij benadering observeren. De naamgeving van de hier behandelde kleine robots - de Pi-reeks - is aan deze ontdekking ontleend. Meteen ook een eerbetoon aan de grote Duitse wiskundige Euler, wiens betrekking e^πi = -1 beslist tot de mooiste uit de hele wiskunde behoort. Graag hadden we membranen ontworpen met een zo getrouw mogelijke boventoonsverhouding 1:e en 1:π, maar daarvoor ontbreekt het ons zowel aan het nodige wiskundig apparaat als aan uitrusting om zo'n membraan ook daadwerkelijk te ontwerpen en te vervaardigen. De vier π-robots die we bouwden kwamen tot stand tussen 2017 en 2022.

<Pi>



Het ontwerp van dit eerste kleine robotje kwam tot stand vanuit de frustratie die we ondervonden bij het geven van talloze voordrachten en lezingen op grond van de onmogelijkheid een en ander te kunnen demonstreren. Uiteraard vormde dat nooit een probleem voor de voorstellingen van het robotorkest die we in de Logos tetraëder in Gent zelf verzorgden. Daar immers staat het grote orkest zowat permanent opgesteld. Op verplaatsing echter, was dat frustrerend. Zo ontstond het idee om een klein en uiterst draagbaar robotje te bouwen waarmee toch heel wat principes achter de experimentele instrumentenbouw konden worden gedemonstreerd. Het robotje moest in een klein koffertje als handbagage in een vliegtuig meegenomen kunnen worden. De vele experimenten die we hadden uitgevoerd voor het 'Spikes' project in opdracht van Laura Maes, leverden ons meteen een ontwerp op voor een extreem hoog gestemd orgeltje waarbij de pijpjes door de membranen in de elektromagnetische buzzertjes in resonantie werden gebracht. Het tessituurbereik voor dit

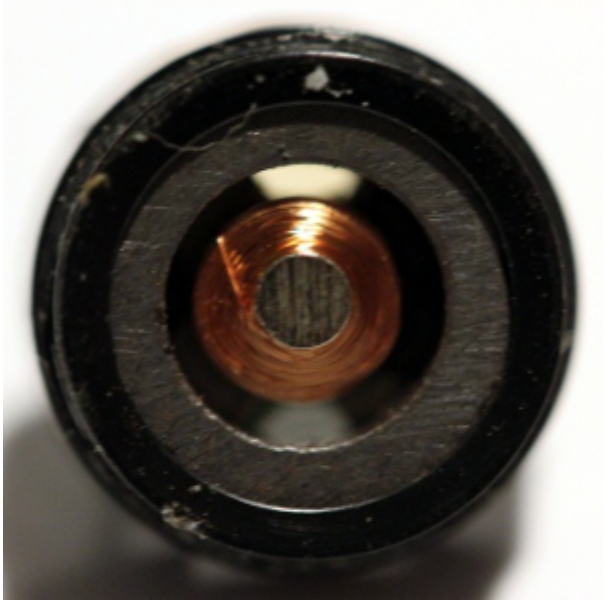
<Pi>



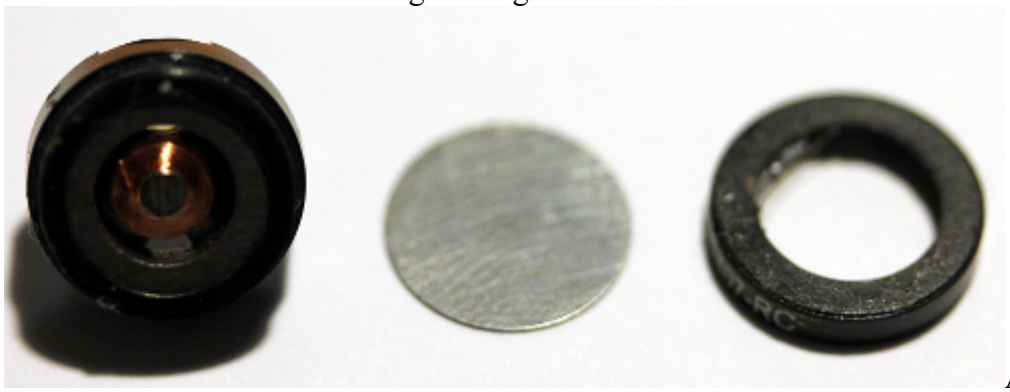
instrument werd , wat meteen ook de absolute bovengrens is van wat in MIDI, met zijn 7-bits protocol kan worden geïmplementeerd.

Het buzzertje dat we grondig onderzochten en uiteindelijk ook toepasten voor het 'Spikes'-project, type ABT-408-RC, kost slechts zowat een Euro per stuk, wat gezien de vele honderden die we ervan nodig hadden, een niet onbelangrijk detail is. Het bruikbaar frequentiebereik van deze onderdeeltjes, hoewel allesbehalve lineair verlopend, reikt van ca. 920 Hz tot ca. 8000 Hz. Onze

nieuwsgierigheid, als altijd grenzend aan het destructieve, bracht ons ertoe de component open te maken en helemaal uiteen te halen. '*Reverse engineering*' noemt men dat doorgaans. Ze zijn opgebouwd met een cilindrische permanente neodymium magneet, diameter 2 mm, waarop een spoeltje is gewikkeld. Hiervoor is koperdraad met een diameter van 0.115 mm (SWG44 of AWG40, volgens de koperdraadtabel) gebruikt. De maximale toelaatbare gelijkstroom bij een stroomdichtheid van 6 A / mm2 komt dan uit op 30 mA. De DC weerstand van de wikkeling is 6.5



Ω. De inductie van het spoeltje is 903 µH, waardoor de impedantie bij de resonantiefrequentie (2.731 Hz) oploopt tot 22 Ω. Dat verklaart natuurlijk de bedrijfsspanning van 3Vpp en de stroom van 70 mA die in het datablad vooropgesteld wordt. Het ferromagnetisch membraan dat voor de magneet is aangebracht heeft een diameter van 11.2 mm en is vervaardigd uit staalplaat met een dikte van 0.05 mm. In en op het centrum van het membraan is een rond verdikkingsplaatje – eveneens 0.05 mm dik - gepuntlast. Het membraantje kan dan ook niet als homogeen worden beschouwd en dit verklaart helemaal de geobserveerde inharmonische boventoon met de Pi-verhouding tot de grondtoon.



Aan de achterzijde, naast de twee aansluitpennen, zijn twee kleine gaatjes aangebracht, wellicht bedoeld voor drukkompensatie. De klank kan uit de gesloten behuizing -wellicht ontworpen als een kleine Helmholtzresonator- ontsnappen via een rechthoekige opening aan de zijkant. De gestemde resonatorbuisjes maakten we uit aluminiumpijp 10 mm buitendiameter, 8 mm binnendiameter. Gezien de rechthoekige klankopening (6 x 6.4 mm) moesten we een speciaal werktuigje bouwen om de buisjes aan een kant via extrusie aan te passen. De klank van de op deze manier opgebouwde pijpjes vertoont erg veel gelijkenis met die van een hooggestemd tongwerk, genre regaal, in een traditioneel pijporgel, ook al komen zo hoog gestemde tongwerken in een pijporgel nooit voor.

Bij de bouw van dit instrumentje kwamen we er al gauw achter dat het hoogste octaaf van de geplande tessituur (de noten 116 tot 127) met de ABT-408 buzzertjes niet goed tot klinken kon

worden gebracht. Het geluidsvolume was veel te zwak in het bereik 8000Hz tot 12500Hz en het koppelen aan resonatoren had absoluut geen enkele zin: met of zonder resonator maakte gewoon niets uit, wat mede een gevolg is van het feit dat de diameter van de resonatoren veel te groot is ten opzichte van de lengte ervan. Hierdoor wordt de Q-faktor (de kwaliteitsfaktor van een resonator, waarmee uitgedrukt wordt hoe groot de opslingering van de amplitude bij de resonantiefrequentie is) van de resonator zodanig klein, dat er gewoon geen resonantie meer kan optreden.

Voor de aansturing van de membraangestuurde pijpjes ontwierpen we een schakelschema en een gedrukte schakeling gebruik makend van Microchip 24EP128MC202 microprocessors. Deze 16-bit processors zijn speciaal ontworpen om te worden ingezet in besturingen voor driefasen motoren. Een dergelijke chip kan gelijktijdig drie verschillende noten/toonhoogtes genereren en daarbij ook nog instaan voor drie autonome sturingen van de omhullende. Da's dus de helft meer dan wat we met de ARM processoren gebruikt in <Hybr> konden bereiken. Alle klanksynthese gebeurt hier in het digitaal domein, gebruik makend van pulsbreedte modulatie. Dit is dus fundamenteel verschillend van de wijze waarop we o.m. de <HybrLo> robot en vele van onze monofone blaasinstrumentenrobots bouwden. Door toepassing van zuiver digitale technologie kon hier heel wat bespaard worden, immers digitale AND-poorten zijn heel wat goedkoper dan kwalitatieve analoge multiplierchips. Drie van de vijf beschikbare timers in elke processor worden gebruikt voor de toonhoogte opwekking. De duty cycle kan daarbij worden gevarieerd waardoor klankkleurmodulatie mogelijk wordt gemaakt. Hiervoor werd MIDI-controller #15 geïmplementeerd. Drie PWM kanalen werkend op een draaggolffrequentie van ca. 300 kHz worden gebruikt voor alles wat amplitude en amplitudemodulatie betreft, dus ook voor de omhullende generator. Gezien de erg hoge draaggolffrequentie, konden we elke vorm van low-pass filtering weglaten. Alle mogelijk ontstane artefacten in de golfvorm moeten immers ver boven het menselijk waarneembare worden gesitueerd. Bovendien zorgt ook de inductiviteit van de spoeltjes (903 µH) voor enig 'natuurlijk' low-pass gedrag.

<Pi> is normaal gezien gestemd in de algemeen gangbare gelijkzwevende stemming. Gezien zijn erg uitgebreide tessituur, is <Pi> ideaal geschikt om als pedagogisch hulpmiddel te worden ingezet ter demonstratie van de dissonantie van de kwinten in deze stemming bij extreem hoge noten. Ook voor demonstraties van verschiltonen in de menselijke audioperceptie is het een geschikt hulpmiddel, vooral omdat de pijpjes volstrekt onderling onafhankelijke klankbronnen vormen.

Een extra mogelijkheid die we voorzagen voor alle robots uit de pi-reeks, is dat ze kunnen gebruikt worden in diverse juiste boventoonsstemmingen. Dit kan omdat de Q-faktor van de pijpen als resonator een relatief grote bandbreedte vertoont, een fenomeen dat we bovendien nog wat extra versterkten door de pijpjes in bepaalde octaven aan de bovenkant onder een scherpe hoek af te zagen. Omdat alle juiste-boventoonsstemmingen gesteund zijn op en uitgaan van een welbepaalde basistoonhoogte , implementeerden we meteen twaalf verschillende boventoonsstemmingen, elk gebaseerd op een andere grondtoon uit de gelijkzwevende stemming. Een speciale MIDI-controller (#21) kan worden gebruikt om de stemming van het hele instrument te wijzigen. De 'juiste' intervalverhoudingen die we voor deze stemmingen implementeerden zijn gesteund op volgende chromatische intervalreeks:

1:1 16:15 9:8 6:5 5:4 4:3 45:32 3:2 8:5 5:3 9:5 15:8

Omdat bij een zuiver akoestisch instrument, een toon nooit een absoluut zuiver periodiek signaal is – elke periode blijkt bij nauwkeurige analyse telkens weer verschillend te zijn van haar voorgangers - voorzagen we iets gelijkaardigs in de toonopwekking van deze robots: MIDI-controller #1 laat de gebruikers toe om de aperiodiciteit van de golfvormen te besturen. Naarmate wat grotere waarden worden toegepast, ontstaat er meer 'ruis' in het opgewekte geluid.

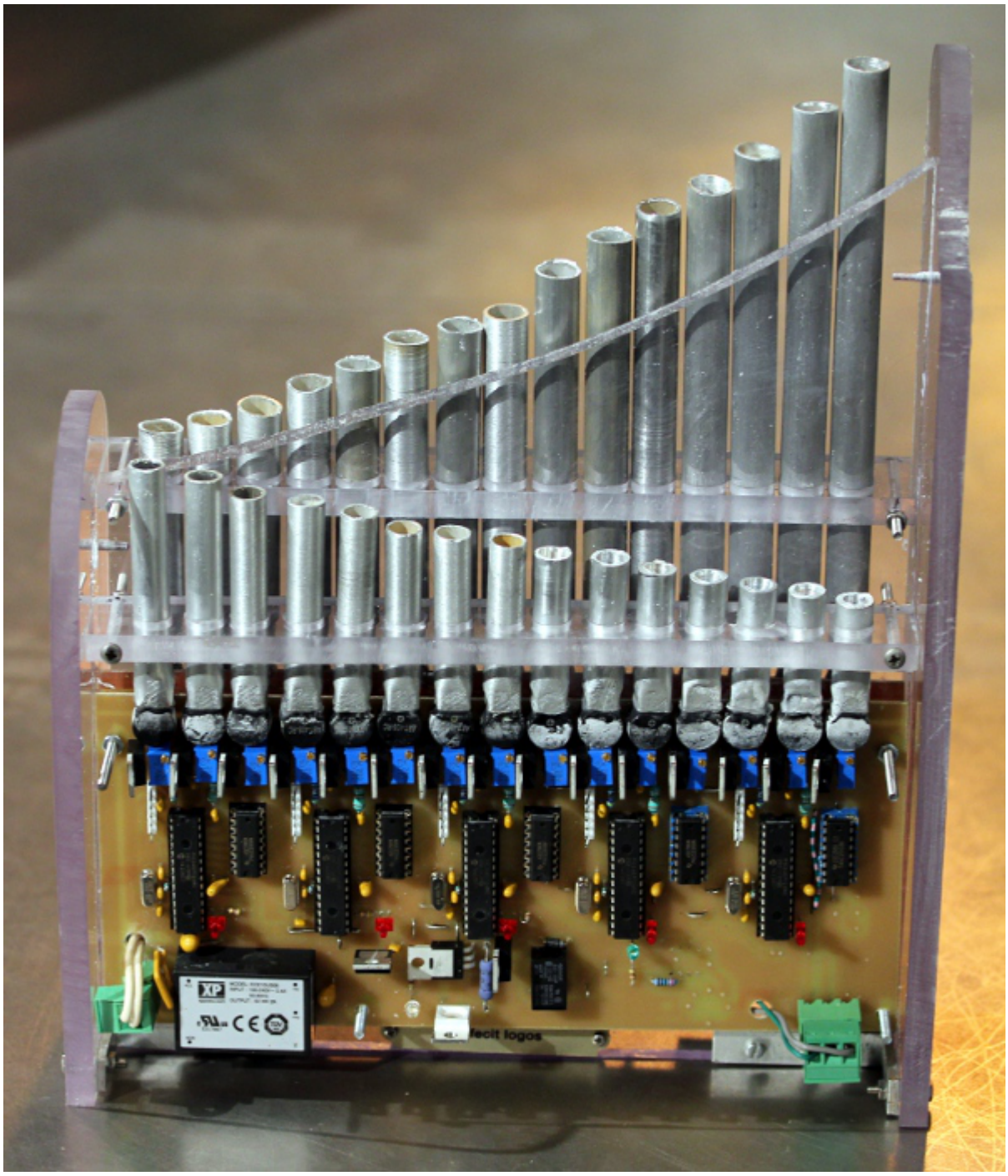
De uitgebreide bestuurbaarheid van de omhullende maakt dat het instrument ook kan worden gebruikt voor (kleine) percussieve geluidjes, inclusief extreem korte pulsjes of 'spikes'.

Bij publieke demonstraties met <Pi> werden we regelmatig geconfronteerd met mensen in het publiek die de hoogste noten van <Pi> helemaal niet konden waarnemen. De blootstelling aan de misdadige geluidsvolumes gebruikelijk bij rock concerten zullen daar allicht wel voor iets in tussen zitten...

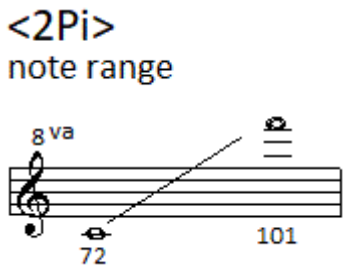
Technische fiche:

- afmetingen: breedte = 370 mm, diepte = 70 mm, hoogte = 306 mm
- gewicht: 1.7 kg.
- Elektrisch : 230V / 25VA (standby: 5 VA)
- Luidheid: <=96 dBA, gemeten op 1 m afstand.
- Microcontrollers (15): Microchip 24EP128MC202.
- Bouwkost: 8.500 Euro
- Bouwjaar: 2017
- Medewerkers: Lara Van Wynsberghe

<2Pi>



<Pi> was zowat onmiddellijk na zijn afwerking een vrij groot succes, bij zover zelfs dat hij voor enkele maanden met een aantal grotere orgelrobots (waaronder zelfs <Bourdonola>...) op reis ging naar Manchester waar hij deel uitmaakte van het orkest in een productie van Rainer Goebels. Dit werd als een gemis aangevoeld door de componisten die toen bij Logos met het orkest aan de slag waren. Alsof ze een gloednieuw snoepje moesten ontberen... Dit bracht ons ertoe het experiment van <Pi> verder te zetten en een tweede gelijksoortig orgeltje te bouwen, nog wat kleiner en



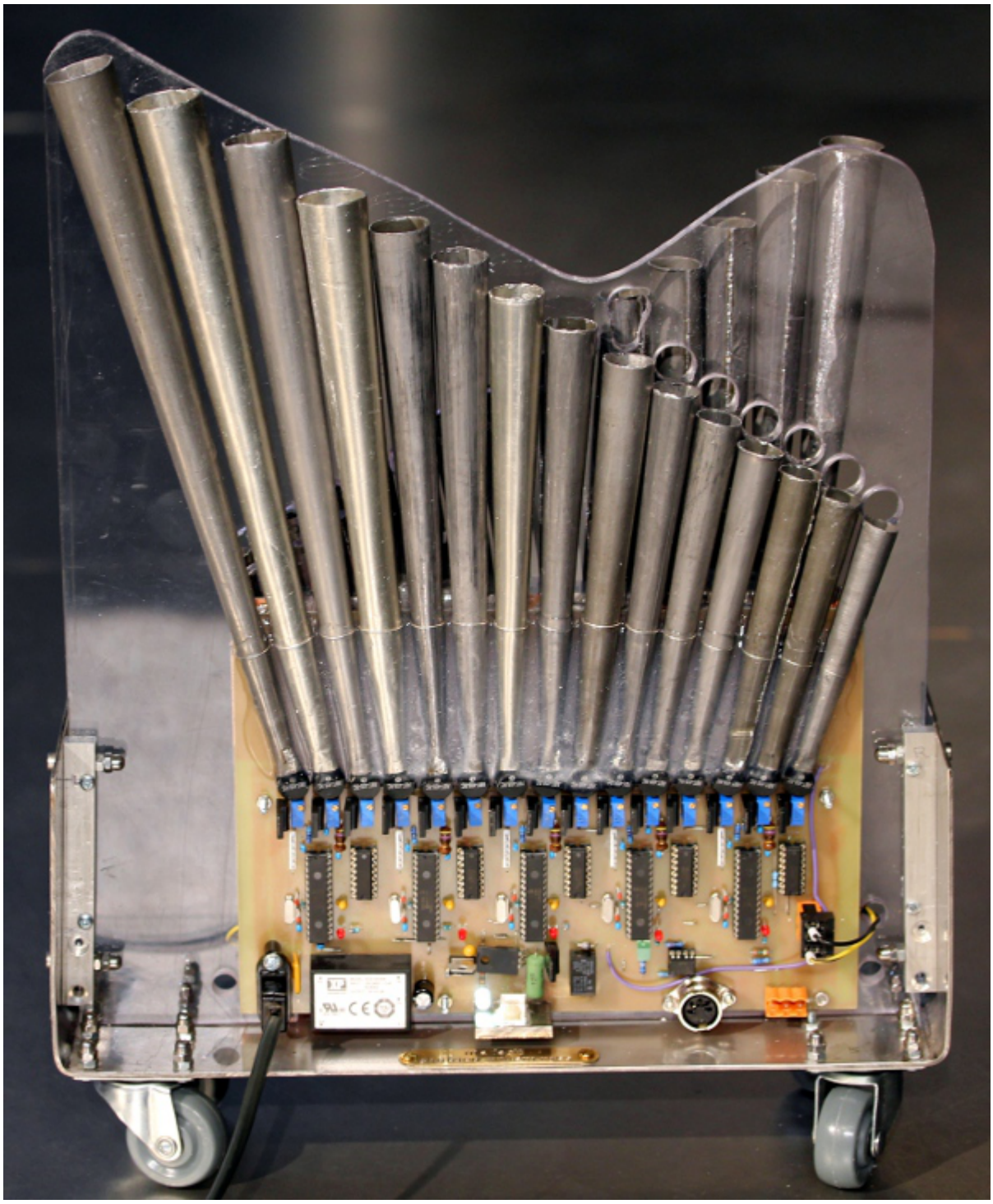
bovendien een octaaf lager gestemd: Naar tessituur komt dat overeen met die van een gewone sopraanblokfluit. Ook hier werden de pijpjes op de buzzers gekleefd en rechtstreeks op de beide printplaten gemonteerd. Elke printplaat stuurt 15 noten en herbergt telkens vijf microprocessors.

De klank is zacht en bevat veel niet-harmonische boventonen waardoor hij in de richting gaat van een regaal.

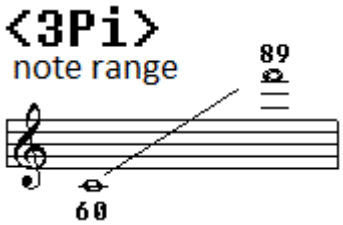
Technische fiche:

- afmetingen: breedte = 240 mm, diepte = 80 mm, hoogte = 290 mm
- gewicht: 1,664 kg.
- elektrisch: 230V / 20VA , standby 5 VA
- stemming: A = 440 Hz
- Luidheid: <= 96 dBA
- Microcontrollers (10): Microchip 24EP128MC0202.
- Bouwkost: 3500 Euro
- Bouwjaar: 2018
- Medewerkers: Mattias Parent, Lara Van Wynsberghe

<3Pi>



Een hele tijd na de afwerking van <2Pi> hadden we in ons labo wat experimenten opgezet met conische pijpen. Die bleken immers voor eenzelfde elektrische uitsturing een heel wat groter geluidsvolume op te brengen. Daardoor werd de mogelijkheid ontgonnen om een membraan gestuurd orgeltje te bouwen, nog een octaaf lager gestemd dan <2Pi>. De tessituur van <3Pi> werd



dan ook: Ook hier gebruikten we twee printplaten die telkens 15 noten aansturen. Maar, doordat we hier conische pijpen gebruikten, was evenwijdige montage op de printplaat onmogelijk. Vandaar de ongebruikelijke plaatsing van de pijpen in dubbele waaiervorm. Die waaiervorm noopte ons overigens, mede omwille van de massa van de pijpen, tot het ingieten van de onderkanten van de pijpen in tweecomponenten siliconenrubber. Dit product is voor het mengen en afbinden goed vloeibaar, waardoor de hechting omheen de pijpen en op de printplaat gegarandeerd is. De pijpen werden op de traditionele wijze gesoldeerd en vervaardigd uit een tin-lood legering zoals gebruikelijk in de orgelbouw.

Voor de laagste reeks van 15 noten, dimensioneerden we de pijpen als kwart-golflengte resonatoren, terwijl we voor de tweede reeks van 15 noten, aan de achterzijde van het instrumentje, half-golflengte resonatoren toepasten. Dit vooral om een optimale verhouding diameter versus pijplengte te kunnen aanhouden. Dat komt de gedefinieerdheid van de resonantiefrequentie ten goede.

<3Pi> laat zich goed vergelijken met een historisch bijbelregaal, al heeft het heel wat meer mogelijkheden in zich, niet in het minst door de vele stemmingsmogelijkheden en de bestuurbare dynamiek.

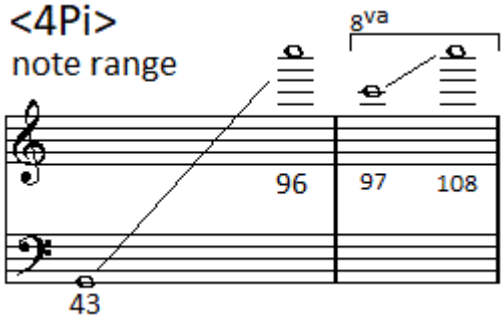
Technische fiche:

- afmetingen: breedte = 340 mm, diepte = 100 mm, hoogte = 440 mm
- gewicht: 4 kg.
- elektrisch: 230V / 20VA , standby 5 VA
- stemming: A = 440 Hz
- Luidheid level: <= 98 dBA
- Microcontrollers (10): Microchip 24EP128MC202.
- Bouwkost: 4500 Euro
- Bouwjaar: 2022
- Medewerkers: Johannes Taelman, Mattias Parent

<4Pi>



De soldeerbout was nauwelijks goed afgekoeld na de bouw van <3Pi>, of we raakten gebeten door de mogelijkheden geboden door conische resonatoren in nog heel wat lagere registers. Zo ontstond de <4Pi> robot, een heus 5 1/2 octaafs regaalregister met membraangestuurde pijpen. Dit is de tessituur:



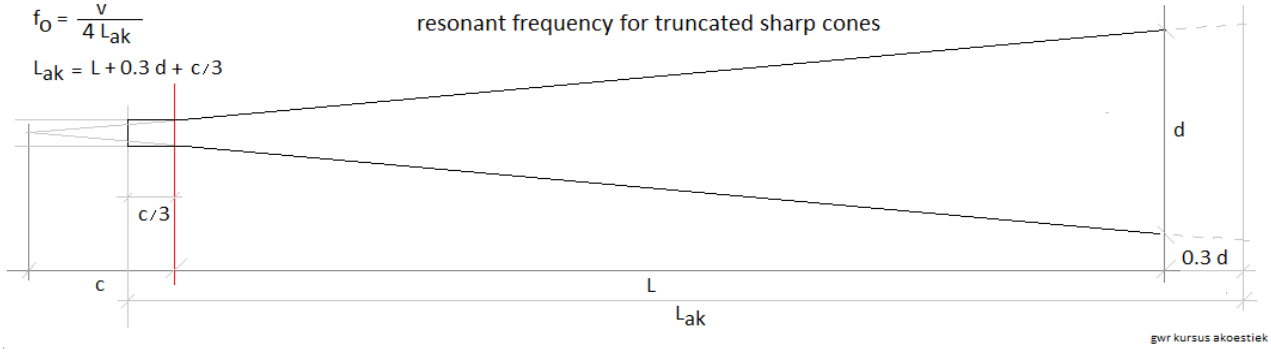
Voor deze π-robot, niet ontworpen om een miniatuurtje te zijn, spanden we ons in om een maximale resonantie te verkrijgen in de konische pijpen, zonder al teveel toegevingen op de lengte dus. De pijpen zijn weliswaar gestemd en berekend voor welbepaalde centrale toonhoogtes, maar extreem strikt is dit niet omdat de uiteindelijke stemming vooral wordt bepaald door de trilling van de membranen. De pijpresonatoren zijn evenwel allesbepalend voor de verkregen klankkleur van het register. Zoals in traditionele orgelbouw, kunnen de resonatoren voor tongwerken gebouwd worden als volle-lengte, halve-lengte of kwart-lengte resonators. Trompetregisters met volle-lengte resonators kunnen heel erg krachtig en grondtonig klinken en naarmate de pijpen korter worden gedimensioneerd, wordt ook hun klankkleur scherper en doordringender.

Net zoals voor <3Pi> wilden we ook hier pijpen bouwen met een heel scherpe openingshoek.

Daartoe bouwden we een kleine reeks pijpen met verschillende lengtes en een gelijke openingshoek. Op grond van opmetingen van hun akoestisch gedrag, konden we zodoende formules opstellen voor de berekening van het gehele register.



De langere pijpen maakten we uit dun messing. Hierdoor kon het gewicht van het instrument laag worden gehouden. Bovendien is messing voor lange pijpen een heel wat stabieler materiaal dan het klassieke tin-lood mengsel gebruikt in traditionele orgelbouw. Alleen laat het zich niet zo makkelijk in conische vorm solderen. Om dit werk goed en zonder lelijke soldeernaden uit te voeren is eigenlijk een mal nodig waarop het soldeerwerk kan worden uitgevoerd. Het maken van zo'n mal – onze eigen draaibank is daarvoor te klein - was te duur voor onze door totaal gebrek aan subsidie erg beperkt geworden mogelijkheden. Enkele pijpen maakten we ook uit een tin-antimoon legering, nog wat restmateriaal overgebleven na de bouw van ons groot kwarttoonsorgel <Qt>. Ziehier het resultaat van onze metingen. De waarde voor c in de formule kwam uit op ca. een derde van de akoestische lengte c. De pijpen gedragen zich klaarblijkelijk als afgeknotte conussen waarbij de conus gekoppeld is aan een cilinder met eenzelfde volume als de virtuele conuslengte c. Vandaar onze afleiding Lak = L + 0.3d + c/3. Hier een tekening gesteund op onze berekeningen:



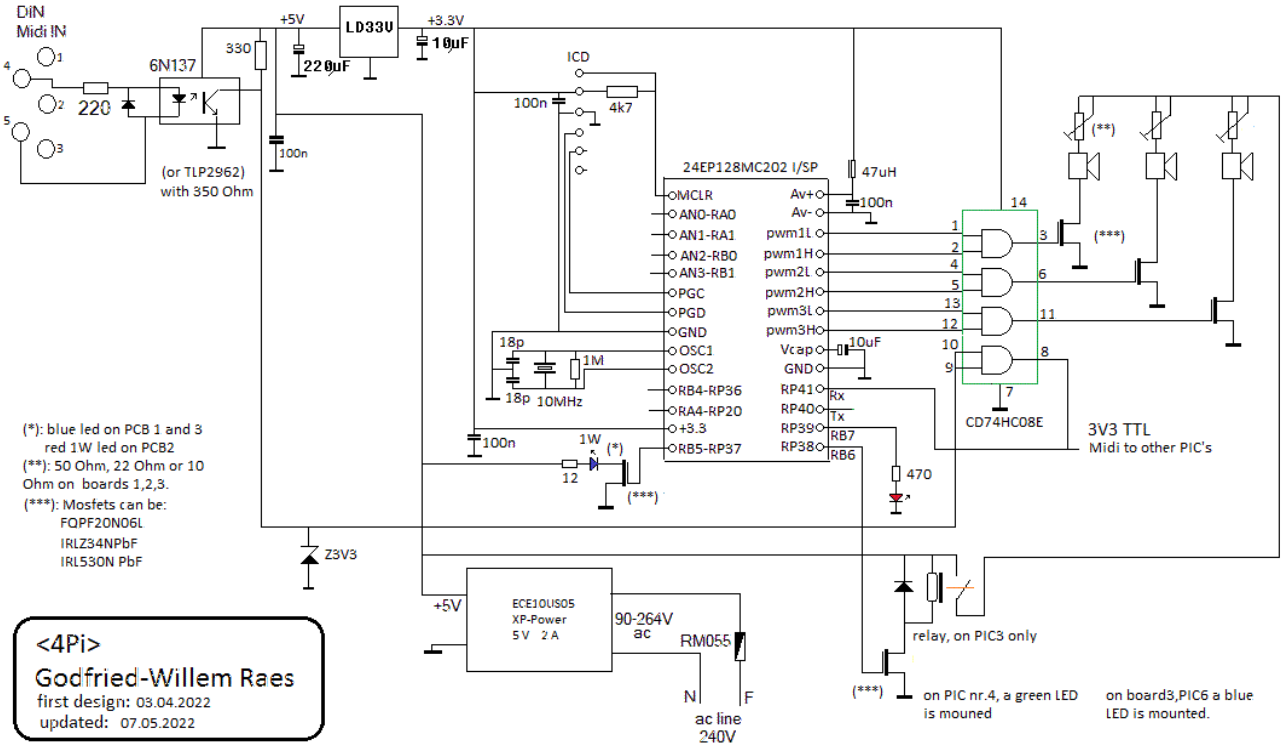
De experimenten met deze conische pijpen overtuigden ons van de mogelijkheid een instrument te bouwen dat meer dan een octaaf lager zou reiken dan <3Pi> zonder daarbij veel in klankvolume in te boeten. In tegenstelling tot wat we vinden in heel wat tekstboeken rond akoestiek, gedragen deze pijpen zich als kwart-golflengte resonators.

Omdat de resonatoren voor de hoogste noten te kort waren bij gebruik van kwart- of halve golflengtes na aftrek van de eindcorrecties, bouwden we die voor het hoogste octaaf als volle golflengte resonator, terwijl we voor het middenbereik halve-golf maatvoering toepasten. Aan gezien de laagste pijpen kwart-golf als basis hebben, ontstonden in de hele reeks pijpen waaruit het register is opgebouwd, twee grote sprongen. Hierdoor kwamen we ertoe de pijpen op te stellen in een wel heel erg traditionele vorm, met een symmetrie rond een centrum waarin de grootste pijp geplaatst is.

Voor het vastzetten van de pijpen gebruikten we vloeibare bijenwas, een techniek die we overnamen uit de accordeonbouw, waar die wordt gebruikt voor het vastzetten van de doorslaande tongen. Een bron van permanente discussie onder instrumentenbouwers en musici heeft betrekking op de invloed van het materiaal waaruit een orgelpijp (of een blaasinstrument wat dit betreft) vervaardigd is op de klank. Al onze eigen experimenten en metingen wat dit betreft wijzen uit dat de aard van dat materiaal geen enkele rol speelt, tenminste voor zover dat wel voldoende dik en stevig is enerzijds, en anderzijds voor zover de gladheid van het oppervlak gelijk blijft. De diverse materialen waaruit de pijpen van <4Pi> zijn opgebouwd laten dan ook geen enkel akoestisch verschil horen. Die diversiteit komt het uitzicht van het instrument allicht niet ten goede, maar we wilden de proefneming toegankelijk en onze stelling verifieerbaar houden in het definitieve instrument.

Voor de elektronische besturing van <4Pi> ontwierpen we drie gedrukte schakelingen, elk goed voor 18 noten. Zes microprocessoren per print. De schakeling is niet helemaal gelijk aan die voor <3Pi> vooral omwille van het feit dat de voor <3Pi> gebruikte AND-poorten niet langer worden geproduceerd. Het hier gebruikte type heeft een andere behuizing en penconfiguratie waardoor het printontwerp wel helemaal hertekend diende te worden.

Dit is de schakeling, waarbij we slechts een enkele processor – goed voor drie noten dus - tekenden:



De toepassing van een relais kan wellicht wat eigenaardig overkomen, maar is een gevolg van het feit dat gedurende het opstarten van de microprocessors, de uitgangen ongecontroleerd en dus ook hoog kunnen zijn. Daardoor zou DC door alle buzzers lopen, een stroom van (berekend) 13A, wat de mogelijkheden van de voedingsmodules (2A) ruim te boven gaat en dus aanleiding geeft -zoals ook bleek bij onze eerste proeven met <Pi>- tot hikken. Nu wordt het relais pas bekrachtigd bij ontvangst van een power-on commando via MIDI.

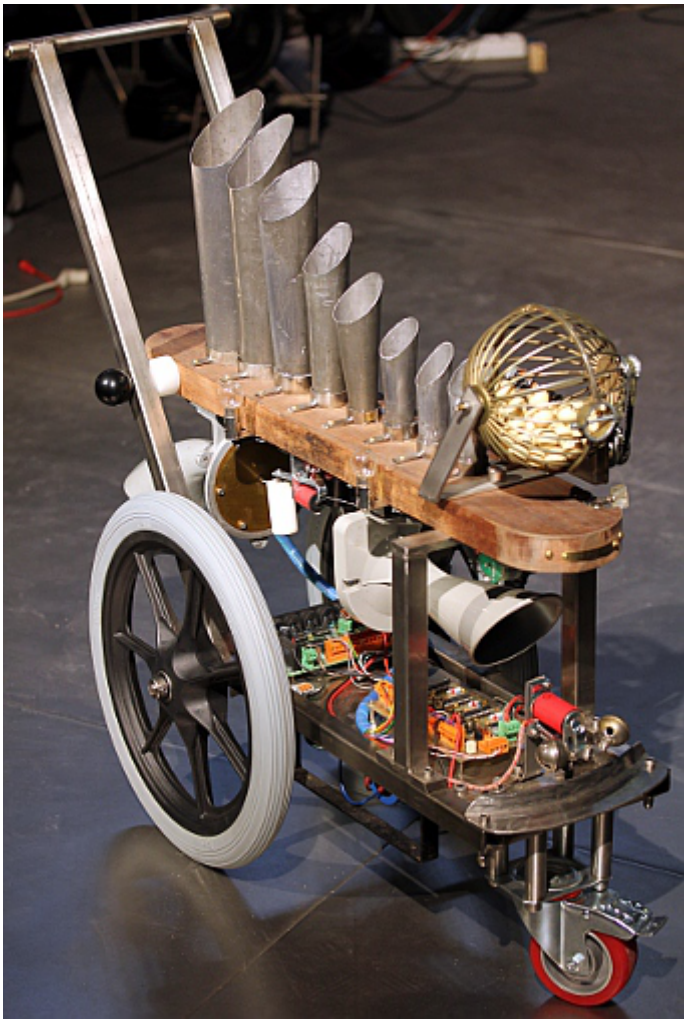
De twaalf pijpjes voor de noten 84 tot 96 hebben een dubbel gebruik: ze worden zowel voor die tonen als voor die een octaaf hoger (97 tot 108) gebruikt, waarbij de gelijknamige noten elkaar wel uitsluiten. Uiteraard levert dit een besparing op. Nieuw is deze techniek niet, want ook in de historische instrumentenbouw van klavichorden was dit erg gebruikelijk: het gebonden klavichord, waarbij eenzelfde snaar ook voor verschillende noten kon worden gebruikt. We pasten die techniek overigens ook al eerder toe in de bouw van de <HybrLo> robot, die slechts 12 pijpen telt.

De broncode voor de processors is ruimschoots voorzien van commentaar en kan vrij gedownload worden van de Logos website. Elke robot heeft immers een eigen webpagina waarop links naar de broncode zijn voorzien. Voor het programmeren van de chips, is een PicKit4 programmer nodig evenals een (gratis) installatie van MPLAB (Microchip). De broncode is geschreven in Basic, gebruik makend van de uitstekende Positron compiler voor PIC processors.

Technische gegevens:

- afmetingen: breedte =920 mm, diepte =110 mm, hoogte =900 mm
- gewicht: 13 kg
- elektrisch: 230V / 30VA , standby 4VA
- Luidheid: <= 98 dBA
- Microcontrollers (18): Microchip 24EP128MC202.
- Bouwjaar : 2022
- Bouwkost: 15000 €

<Whisper>



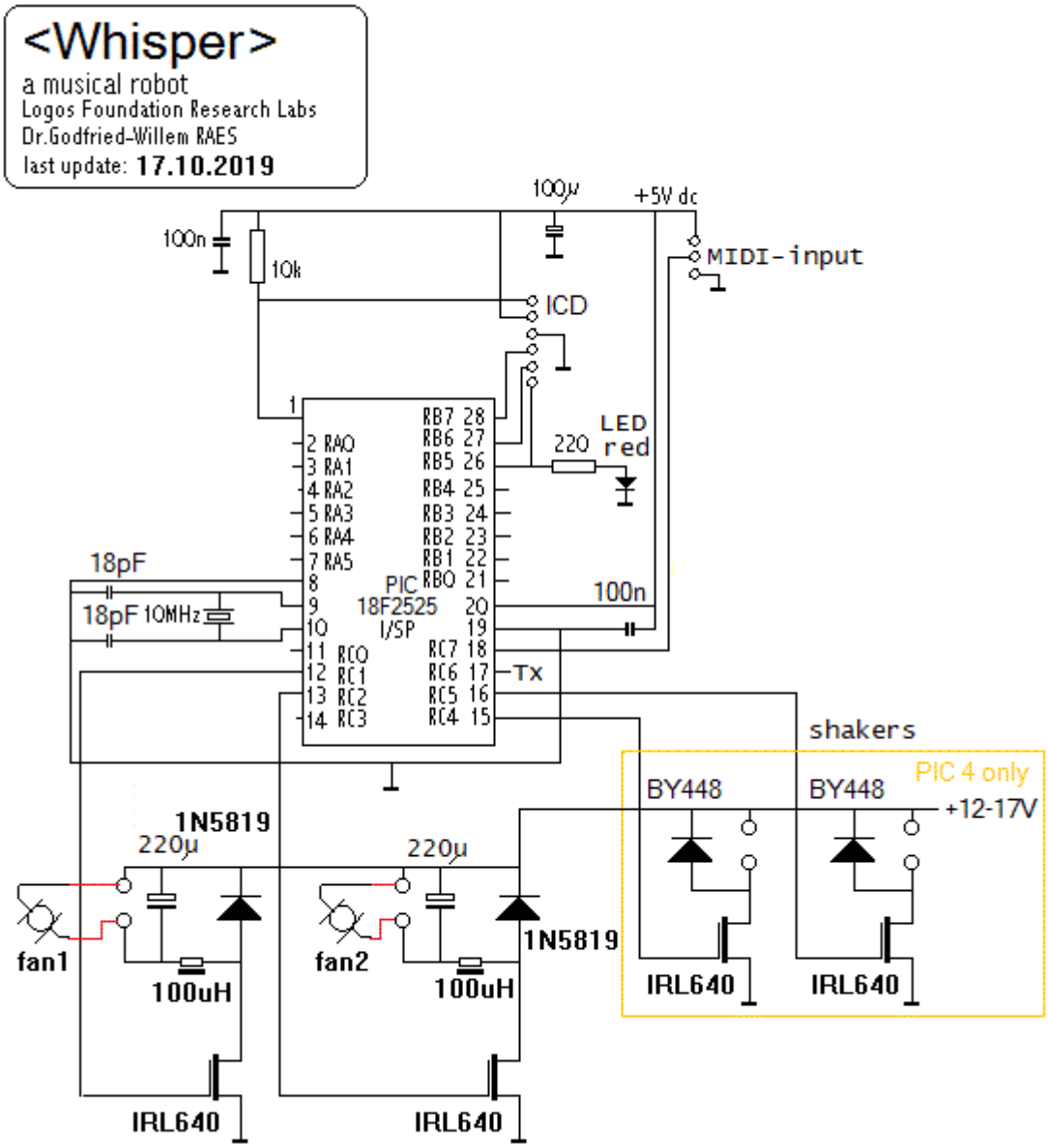
De idee om deze robot te gaan bouwen kwam voort uit de bekommernis om een nuttige bestemming te vinden voor een vrij grote voorraad kleine ventilatoren die we hadden verzameld bij de bouw van vele eerdere robots. Om achtergrondlawaai zoveel mogelijk te onderdrukken hadden we immers steeds de ingebouwde ventilatoren in schakelende voeding, motor-controllers enzomeer verwijderd. Vroegere experimenten waarbij we poogden die ventilatoren te gebruiken voor het aansturen van orgelpijpen waren mislukt omdat de geleverde winddruk gewoonweg veel te gering was om resonantie op te bouwen in de pijpen. Edge-tonen konden wel worden voortgebracht. Deze observatie bracht ons op het idee klankbronnen te gebruiken die in hoofdzaak rond dergelijke edge-tonen functioneren, met name holte-resonators zoals we die weervinden in vele vogel lokroepen gebruikt voor de jacht. Ook in sommige fluitketels kunnen ze aangetroffen worden. We hadden deze klankbronnen al eerder gebruikt: met name in het 'Pneumafoon' project evenals in vroegere robots zoals <Thunderwood>, waar ze echter werden aangewend onder een vrij grote winddruk. Voor <Whisper> wilden we het subtiele van de edge-tonen maximaal uitbuiten. Het was van bij het begin van het opzet duidelijk dat dit een uiterst stille robot zou gaan worden, wat niet wegneemt dat de muzikale mogelijkheden toch vrij uitgebreid zijn. Alle negen holteresonatoren zijn immers individueel over een groot bereik aanstuurbaar gemaakt en de robot werd bovendien nog voorzien van enkele extra klankbronnen..

Inspiratie puttend uit het werk van Luigi Russolo, bouwden we een gespannen snaar aan een kant bevestigd op een stalen membraan gekoppeld aan een korte conische hoorn. De omwikkelde snaar wordt longitudinaal aangewreven middels een messing tandwiel aangedreven door een DC motor.

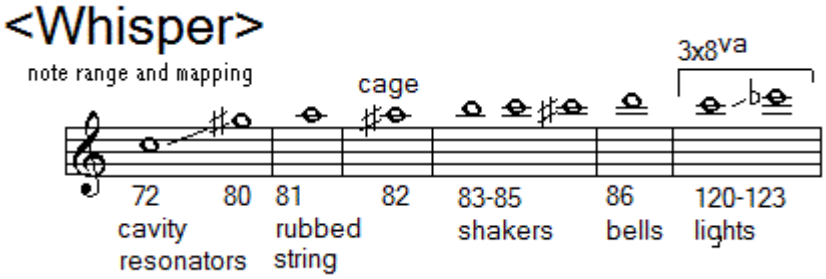
Verder werd deze robot nog voorzien van drie kleine maracas gemaakt met twee 35mm fotoblikjes en een pillendoosje, gevuld met wat lood of ijzergranulaat. Deze maracas worden bestuurd door kleine Laukhuff kleplichtermagneten. Helemaal vooraan op de automaat monteerden we twee op een veerkrachtig beugeltje bevestigde bronzen rolbellen, bestuurd door een wat grotere Laukhuff elektromagneet.

Als extra werden nog vier bestuurbare gloeidraad lampen toegevoegd.

De besturingselektronika maakt gebruik van vijf PIC mikrocontrollers van Microchip, type 18F2525. Elke processor heeft twee PWM uitgangen die telkens een ventilator besturen.



Midi implementatie en mapping:



Kanaal: 11

•Controller #66: aan/uit schakelaar.

Muziek gecomponeerd voor <Whisper>:

•Godfried-Willem Raes: "Whispers for <Whisper>" (2013), "Whispered Questions"(Namuda Study #38), (2013)
•Sebastian Bradt "Mestion Quarks" (2013)

Technische gegevens:

•maten: h: 700 mm, d: 650 mm, b: 300 mm.
•gewicht: 25 kg.
•elektrisch: 235 V / 200 W piek. Nominaal < 12 W
•Bouwjaar: 2013
•Verzekerwaarde: : 8.500 €

Monofone blaasinstrumenten
Rietblaasinstrumenten

<Autosax>



Reeds verschillende jaren vormde het ding niets meer dan een decoratief onderdeel van mijn elektronische werkplaats bij Stichting Logos. Ik had het op een gewone en dus regenachtige zaterdagochtend in 1989 gezien op de Gentse rommelmarkt, en herinner me nog hoe ik het - nog voor ik goed en wel besefte wat het eigenlijk was - reeds goed en wel in mijn bezit had gekregen. Eens thuis onderwierp ik de buit aan een nauwgezet onderzoek. Op het eerste gezicht leek het

verraderlijk sterk op een tenorsaxofoon, maar de kleppen waren niet voorzien van plaatjes voor vingers. Alle hefbomen hadden integendeel een klein zijwaarts geboord gaatje. Het kon niet anders dan afkomstig zijn van een of andere grote orkestrion. Het klankopwekkingsmechanisme ontbrak echter, en ik vermoedde toen dat dit uit een pneumatisch gestuurd tongwerk moet hebben bestaan. Hoewel, sommige orkestrions omvatten instrumenten die weliswaar mee bewegen met de muziek, maar helemaal niet klinken en dus een louter visuele funktie hebben (de inferieure Decap's bvb.). Vele jaren later werd dit vermoeden trouwens ook door de historische feiten bevestigd, toen het instrument afkomstig bleek uit een wat decadent en kitscherig dansorgel van Grymonprez uit Ledeberg bij Gent... Ik herinnerde me nog mijn pogingen er een authentiek tenorsaxofoonmondstuk op gemonteerd te hebben. De toonladder was chromatisch en redelijk correct. Er was een klep voor elke chromatische halve toon. De speelbaarheid was door die zuiver lineaire vingerzetting evenwel bijzonder problematisch, niet alleen door het ontbreken van de steuntjes voor de vingers, maar bovenal door de onmogelijk te grijpen afstanden tussen de diverse hefbomen onderling. Ik schoof het ding voorlopig terzijde, wel beseffende dat er wel iets originelers mee aan te vangen zou zijn, dan het terug te brengen tot een of andere vorm van de bekende tenorsax.

Het ding was dus al meer dan een jaar naar het hinterland van mijn onderbewustzijn verhuisd, toen op een - alweer- bijzonder regenachtig novemberweekend in 1990, ik het ding ter hand nam en begon aan de constructie van een volautomatische computergestuurde saxofoon. Hoewel we het aanvankelijk hadden beschouwd als een tenorsax, bleek bij nadere studie van de voortgebrachte tonen, het toonbereik te beginnen vanaf Bb (midi 46). Dat maakt dat het instrument eigenlijk volledig gemensureerd is naar de – zeldzame - C-melody saxofoon uit het interbellum. Hier is er eentje:



Voor de automatische sturing van de kleppen op het instrument – dat leek me het eenvoudigste deel van het ontwerp - maakte ik dankbaar gebruik van de voorraad elektromagneten die ik ooit kreeg van mijn Amerikaanse vriend - overigens ook een uitstekend componist en instrumentenbouwer - Alec Bernstein. Deze elektromagneten werden oorspronkelijk gemaakt voor gebruik in een piano-'Vorsetzer' van de firma Maranz, die evenwel over de kop ging. Alec was zo slim, de hele fabrieksvoorraad in te kopen..., slim, vooral omdat de hele voorraad op die wijze uiteindelijk bij mij belandde.

De kern van deze spoelen bestaat uit een cilindrisch stuk ferriet met een ingetapt uiteinde. Hiervoor maakte ik aluminium oogjes waardoorheen veerstalen haakjes voor de overbrenging op de kleppen konden aangebracht worden. De werkspanning van de spoelen is berekend op 170 Volt D.C. , overeenkomstig rechtstreeks gelijkgerichte en afgevlakte Amerikaanse netspanning (110 V / 60 Hz). Aan 0.5 A per bekrachtigde spoel, betekent een en ander een (theoretisch) maximaal opgenomen vermogen van omstreeks 1 kW! Anders dan bij playerpiano's immers, worden bij blaasinstrumenten heel normaal veel kleppen tegelijkertijd bekrachtigd. In mijn ontwerp echter kwam het erop neer dat de zaak algauw gloeiend heet liep... Om dit euvel - dat destructieve gevolgen had kunnen hebben - te verhelpen, bouwde en ontwierp ik een speciale sturing voor de elektromagneten gebruik makend van pulsbreedte-gemoduleerde gelijkspanning. Ook voor de uitsturing van de nodige signalen (spoelen aan/uit en pulsbreedte van de bekrachtigingsspanning), bleek computersturing een vereiste.

Het klankmechanisme dat ik er aanvankelijk voor bedacht, berustte op zuiver akoestische maar computer-gestuurde feedback in het instrument zelf. Daartoe monteerde ik op de plaats van het mondstuk een luidsprekermotor (een hogedrukkamer of membraancompressor) en in de klankbeker een microfoon. Door sturing van de versterkingsfactor en door toepassing van filters in het tussen beide opgenomen elektronisch netwerk, bleek het mogelijk alle tonen vrij realistisch te produceren. Alleen de aanspreeksnelheid van de diverse noten liet wel nogal wat te wensen. Om dit te verbeteren, plaatste ik dan in de eerste versie zes verschillende miniatuur elektretmicrofoontjes bij de diverse toongaten. Als nu de microfoontjes geschakeld en onderling gemengd konden worden in functie van de te produceren tonen, dan was het doel virtueel bereikt. Daarvoor moest evenwel noodzakelijkerwijze alweer op computersturing beroep gedaan worden. Dit, onder meer omdat de feedbackregeling bijzonder snel dient te gebeuren, a rato namelijk van zo'n 100 instellingen en instructies per seconde. Traag voor een computersturing, maar beslist te snel voor de manuele bespelingsmogelijkheden van musici, zeker wanneer die via instelknopjes en schakelaars zou dienen te gebeuren. In een eerste uitvoering bouwden we voor de klankopwekking een behoorlijk complexe schakeling met zes bandfilters (een per microfoon) gevolgd door VCA's. De VCA's werden opgebouwd met 8-bit DAC's waarvan evenwel slechts vier bits werden benut, de overige bleven op die wijze vrij voor de kanaalselectie en de adressering. Een enkel byte kon zo volstaan voor de controle van de feedback loop en dus van de klankopwekking zelf. Een zekere traagheid in het aanspreken van de diverse noten bleef evenwel ook in dit ontwerp helaas aanwezig, maar m.i. was dit vooral te wijten aan het beperkte vermogen van de gebruikte luidsprekermotor (15 Watt). Met een piekvermogen, gedurende het aanzetten van de toon in de orde van 100 Watt zou allicht een beter resultaat op dit vlak kunnen bereikt worden. Ook kon het nogal eens gebeuren dat een andere noot dan de voorziene werd geproduceerd. Omgevingsgeluid speelde daarbij een belangrijke rol, wat uiteraard de opname in een orkestrale context compromitteerde. Onbevredigd door de resultaten van versie 1, herbouwden we in 2002 de stuurschakeling voor <Autosax> volgens een geheel nieuw ontwerp, waarbij de feedback sturing geheel in software werd gerealiseerd. De frequentieselectieve en aan het toonbereik van de saxofoon aangepaste voorversterker voor de voor het paviljoen gemonteerde elektret microfoon kwam eruit te zien zoals op de afbeelding opgenomen in het bouwdagboek. Feedback sturing via een digitaal stuurbare versterker-mixer schakeling bleef ook in deze tweede versie een optie voor deze robot.

Voor de computersturing had het zo ontstane instrument voldoende aan 2 bytes voor de sturing van de spoelen/kleppen, naast het ene byte voor de feedback-controle. Dit kon gemakkelijk geïmplementeerd worden via de op zowat alle computers beschikbare parallel-printerpoort. Hiervoor gebruikten we hetzelfde demultiplex board zoals we dat ook ontwikkelden voor automaten zoals <Klung>,<ThunderWood>, <Troms> enzomeer. Omdat elk individueel bit via software kan gemanipuleerd worden, blijkt het perfect mogelijk ook micro-intervallen, vorkgrepen, kleppengerammel, multiphonics door het instrument te laten voortbrengen. Ook 'zingen en spelen' tegelijkertijd is makkelijk te voorzien, door een vocaal (eventueel vanuit een stemsynthesizer ofwel vanuit een sampler) signaal in het mixergedeelte bij te mengen.

Om de responstijd te versnellen, het zwakke punt van het gehele ontwerp, zowel in de eerste versie als ook in de tweede, stuurden we in de tweede versie van <Autosax> bij elke aan te sturen toonhoogte een korte uitstervende sinus in de mixer. Hoewel dit op het eerste gezicht een 'overtreding' lijkt te zijn van het anderszins zo akoestische werkingsprincipe van het instrument, is het toch zo dat ook een speler van vlees een bloed wel degelijk anticipeert op de te spelen noot, wil hij deze tenminste trefzeker en goed aan zijn instrument ontlokken. In dit geval was echter in de computer implementatie nood aan het gebruik van het audio subsysteem: de ingebouwde soundcard van de PC. Aan de hardware hoefden voor dergelijke uitbreiding geen wijzigingen te worden aangebracht. Overigens kon hiervoor ook een externe gewone midi-synthesizer worden gebruikt.

Hoewel Autosax in deze versie verscheidene jaren deel uitmaakte van het <M&M> robotorkest, waren we toch niet echt gelukkig met het voortgebrachte geluid. Het klonk me veel te synthetisch, elektronisch en eendimensionaal. In 2005 en 2006 onderging <Autosax> daarom een derde welhaast volledige herziening (versie 3) , waarbij volledig afgezien werd van het oorspronkelijke feedbackmechanisme, maar waarbij we integendeel poogden het riet zelf onder microprocessor controle aan het trillen te brengen. Heel wat research staken we in de ontwikkeling van het riet zelf en de aansturing. Een erg uitvoerig bouwdagboek is te vinden op onze website. Uiteindelijk werd het een samengesteld riet, deels uit riet deels uit staal. Het grote probleem bleek de bouw van een riet dat redelijk lineair aan het trillen kan worden gebracht over een breed frequentiegebied. Een erg lage eigenfrequentie bleek noodzakelijk. Voor de controle daarvan deden we beroep op een DS-PIC microcontroller van Microchip. Om een redelijk ' menselijke' controle mogelijk te maken van de toonvorming ontwikkelden we een speciaal kegelventiel. Hiermee wordt een werkelijke artikulatie van de voortgebrachte klanken mogelijk. De resultaten die we bereikten met dit mechanisme waren werkelijk verbluffend, vooral dan in de laagte, ver evenwel onder de tessituur waarvoor het instrument normaal is voorzien. Prachtige *slaptongues* en multiphonics. Alleen, overblazen naar het eerste normaal octaaf bleek uiterst onbetrouwbaar en problematisch, zeker wanneer daar ook nog amplitude variatie bij verwacht werd. In 2009 beslisten we dan ook het hier toegepaste mechanisme geheel te verwijderen en opzij te leggen voor gebruik in een nieuwsoortige te ontwikkelen automaat die dan niks met een saxofoon te maken zou hoeven te hebben.

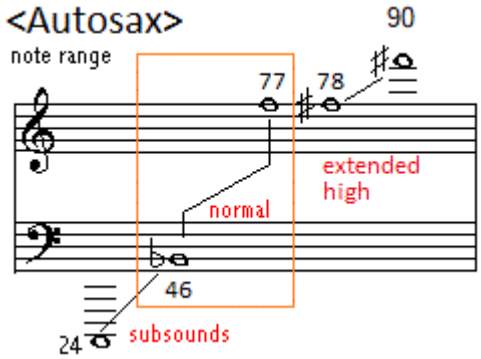
Versie vier, ontwikkeld in 2009, bouwt verder op de positieve ervaringen opgedaan bij de bouw van de koperblaasrobots <Korn>, <Bono> en <Heli> evenals van het dubbelrietinstrument <Ob>, de automatische hobo. Hier werden systematisch akoestische impedantietransformatoren toegepast. In tegenstelling tot die ontwerpen echter, waarvoor een capillair met ronde doorsnede wordt toegepast voor de koppeling aan het mondstuk, bouwden we hier eerst een convertor voorzien van een smalle spleet, overeenkomstig de excitatie door een enkelriet. Hierdoor verschoof evenwel de gehele stemming van het instrument met een terts naar omlaag. Een echt sluitende verklaring voor dit fenomeen hebben we niet. Ook de efficiëntie werd wel heel erg klein. Een betere versie werd gebouwd, met een korter capillair traject en weer een kleine maar nu toch ronde opening. De stemming was weer correct en de efficiëntie heel wat beter.

In 2020 begonnen we met versie 5: te verbeteren aspecten waren eerst en vooral het storende geluid van de kleppen en in tweede instantie de kwaliteit van het voortgebrachte geluid. De nieuwe

ontwerpen werden uitgevoerd in de Corona-maanden maart en april van 2020. Versie 5 is speelklaar.

De <Autosax> zoals ik het instrument reeds in 1989 had gedoopt, werd opgebouwd als een vrijstaande ruimtelijke robot-sculptuur: als een saxofoon in speelklare positie, maar zonder speler. Daartoe werd het instrument op een gelast statief voorzien van talloze beugeltjes voor de vele elektromagneten, de elektronische stuurschakelingen en de diverse voedingen en interfaces geplaatst. Het werkende instrument werkt dan ook visueel bevredigend: alle schakelingen zijn transparant en zichtbaar zodat het niets verhult. Een naakte automaat, de eerste van wat veel later een heel groot orkest zou gaan worden.

Midi implementatie:



Medewerkers:

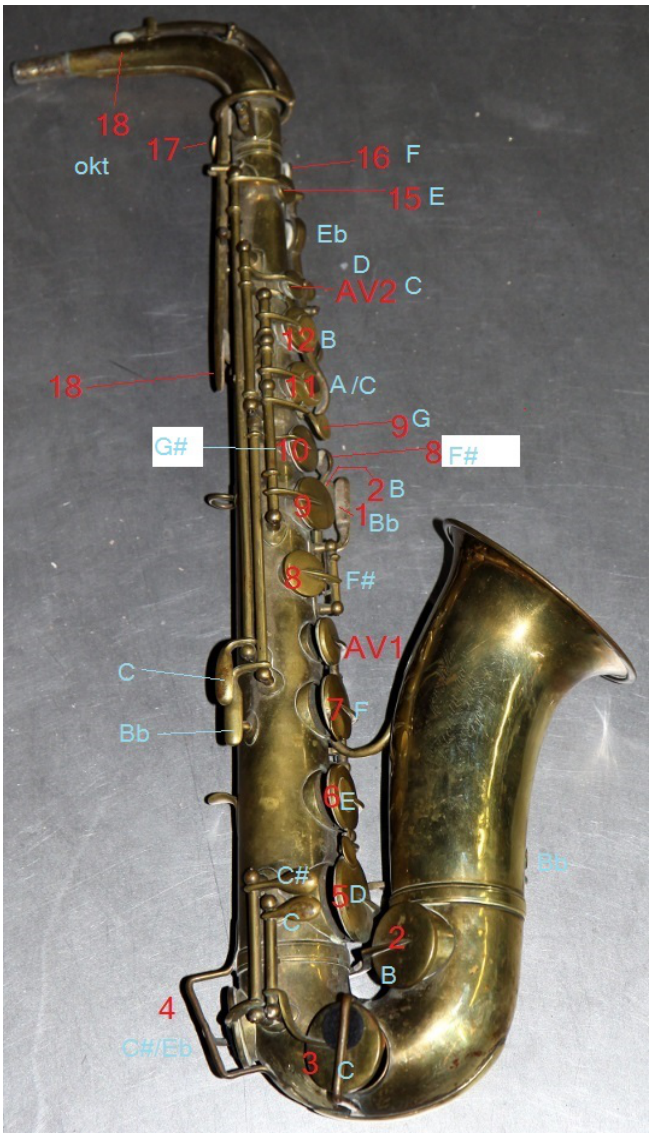
Kristof Lauwers, Johannes Taelman, Lara Van Wynsberghe

Technische fiche:

- Gewicht: 40 kg
- Maten: basis oppervlak: 600 x 400 mm, hoogte: 1600mm
- Opgenomen vermogen: 230V/ac - 680W peak.
- Bouwjaar: 1989 / 2019
- Verzekeringswaarde: 14.000€

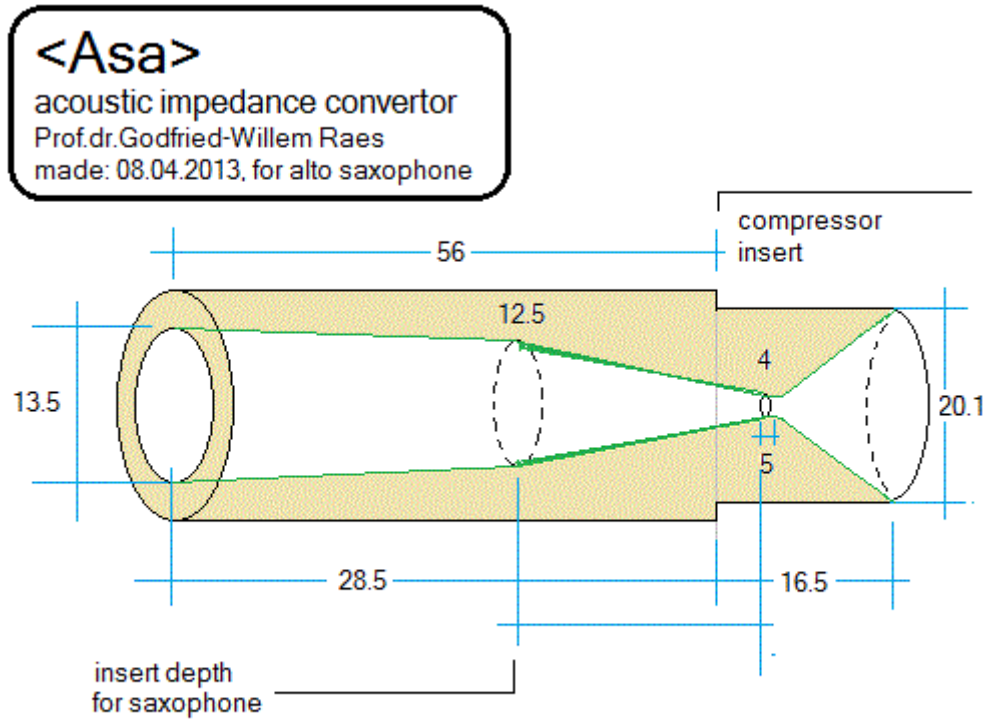
<Asa>

De altsaxofoon waarvan we uitgingen bij de bouw van deze automaat vermeldt als bouwer 'Ancienne Maison Muller, Louis Cousin successeurs' gevestigd in de Franse stad Lyon. We kochten het instrument op een straatrommelmarkt in het Gentse. We menen het te kunnen dateren in het interbellum omdat het moet gebouwd zijn na de dood van Louis Cousin. In elk geval kan het niet ouder zijn dan 1890. We begonnen de ombouw uiteraard met een grondige reiniging en nazicht van het instrument, zo dat het weer in een perfect bespeelbare toestand werd gebracht. Vervolgens moesten we de functie van alle kleppen en mechanieken zorgvuldig in kaart brengen. Omdat het een erg oud instrument is, ontbreken enkele kleppen en mechanismen die typisch zijn voor latere en moderne instrumenten:automatische octaveringsklep, zijdelingse handpalmkleppen en enkele trillerkleppen. Voor ons was dit echter eerder een voordeel dan een nadeel.



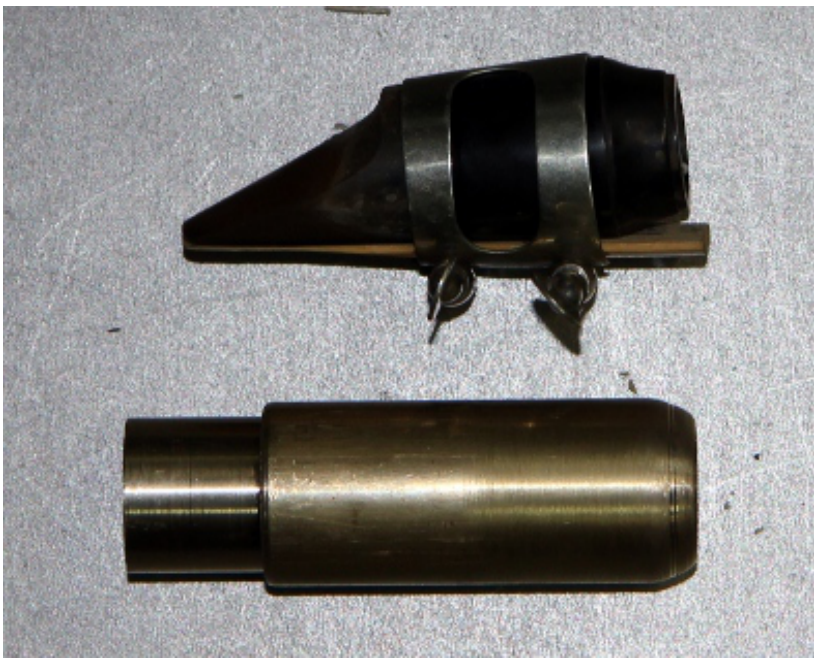
Voor de automatisering gingen we uit van het 'recept' dat we inmiddels al met succes in heel wat blaasinstrumenten hebben toegepast: Een membraancompressor gevolgd door een capillair met Laval-tuit als impedantieconverter voor koppeling op het instrument. Uiteraard dienden we de dimensionering van deze convertor weer helemaal opnieuw te berekenen en via heel wat

experimenten te bepalen. We hebben daarbij getracht zo dicht mogelijk te blijven bij de eigenschappen van een normaal mondstuk voor een dergelijk instrument. De tekening van het ontwerp kwam er zo uit te zien:



turned on the lathe from massive brass rod, 24mm diameter

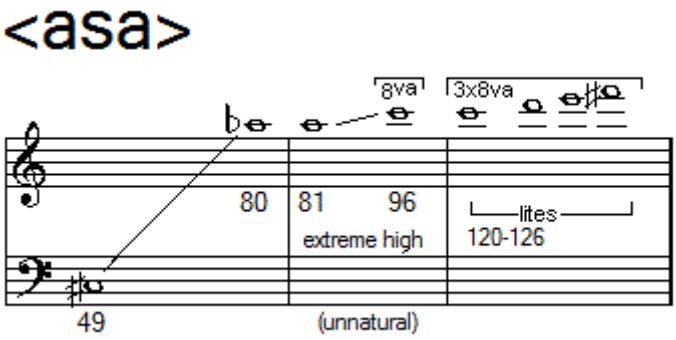
Deze omzetter maakten op onze metaaldraaibank uit een stuk massief messing. We fotografeerden in een enkel beeld, een origineel altsax mondstuk en daaronder onze constructie, aangepast aan de gebruikte membraancompressor. Uiteraard kunnen we op de foto de inwendige bouw van het werkstuk niet laten zien...



Voor het maken van het conisch verlopend middendeel, slijpten we op de draaibank een bestaande 12 mm boor om tot conische boor.

De automatisering van de kleppen en hefbomen op het instrument omvat geen vernieuwingen tegenover de beproefde en eerder gerealiseerde robots zoals <Klar>, <Fa> en <Ob>. Eigenlijk bleek die automatisering zelfs een stukje eenvoudiger te zijn dan die op <Klar>, omdat we hier minder kleppen hebben en omdat we konden verzaken aan de automatisering van de octaafkleppen. Die functie konden we immers met beter resultaat implementeren in de firmware voor de membraancompressor. Alles samen genomen zag het ernaar uit dat we met niet meer dan 16 te automatiseren kleppen zouden uitkomen. De eerste proeven wezen uit dat het mechanisme van de saxofoon erg veel bijgeluiden veroorzaakte. Dat viel alleen te verhelpen door overal waar mogelijk, elektromagneten toe te passen die de polsters boven de toongaten rechtstreeks bedienen. We soldeerden de hefbomen en mechanieken voor de kleppen 9,10,11,12, Av2, 15,16, 17 en 18 los van de sax. Het mechanisme op de inblaasbocht ('*crook*' of hals) evenals dat voor klep 8 lieten we intact omdat we niet voldoende ruimte hadden om ook daar een rechtstreeks werkende spoel toe te passen. De 'automatische' kleppen Av1 en Av2 bleken ook elektromagneten nodig te hebben, waardoor het uiteindelijk totaal op 18 werd gebracht. De correcte vingerzettingen werden in een opzoektabel in de firmware geïmplementeerd en daarbij werd een zekere intelligentie ingebouwd. Daarbij wordt rekening gehouden met de vorige gespeelde noot en de daarvoor toegepaste vingerzetting, zo dat reeds bekrachtigde elektromagneten in de vingerzetting voor een nieuwe noot waar mogelijk bekrachtigd kunnen blijven. Ook lieten we na het einde van de noten en voor zover binnen de muziek mogelijk, de kleppen nog even bekrachtigd. Daardoor werd overbodig geklepper vermeden en bovendien de resonantie in het instrument ook sterk verbeterd. Verdere verbeteringen zijn weliswaar nog mogelijk, maar worden gehinderd door onze eis van *zero-latency* en zuivere realtime werking. Immers, die verbeteringen zijn maar mogelijk indien we vooruit zouden kunnen kijken in de tijd en we zouden weten welke noten er zoal volgen. Dat kunnen anticiperen is immers een voorwaarde om van onze robotten ook heuse interpreterende machines te maken.

Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal : 3

Noot-aan is geïmplementeerd met aanslagsterkte
Noot-uit commando's kunnen weggelaten worden wanneer een zuiver legato wenselijk is. Wanneer er geen noot volgt, start dit commando de release fase van de omhullende en maakt daarna alle betrokken kleppen vrij.
Verder implementeerde we een ruim aantal controllers waarmee allerlei aspecten van de toonvorming geregeld kunnen worden. Voor verder details verwijzen we naar de midi-implementatie gegeven voor de <Klar> robot, aangezien die grotendeels identisch is.

Controller 1: Wind controller, waarmee de hoeveelheid 'ruis' (eigenlijk toonhoogteonzekerheid) gestuurd kan worden.
Controller 3: Regelt de modulatiediepte van het vibrato
Controller 4: Regelt de frequentie van het vibrato
Controller 5: Regelt de modulatiediepte van een tremolo
Controller 6: Regelt de frequentie van een tremolo
Controller 7: Regelt de globale geluidsterkte
Controllers 16-21: zie <Klar>
Controller 22: Hiermee besturen we de verticale hellingshoek van de sax.
Controller 23: Hiermee besturen we de links-rechts positie van de sax.

Controllers 30,31,40,43,44,66,100,101,102,103,123: zie <Klar>

Pitch bend: geïmplementeerd met een bereik van een halve toon (dus, een kwarttoon hoger of lager).

Medewerkers aan de bouw en constructie:

- Kristof Lauwers, Johannes Taelman

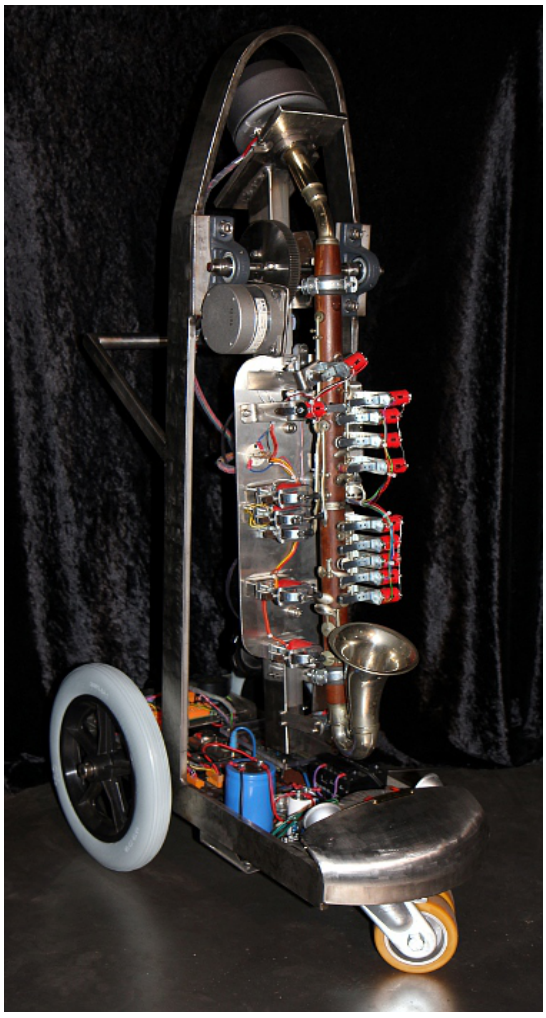
Muziek specifiek geschreven voor <Asa>:

- Bram Stadhouders "Stuk voor elektrische gitaar and <Asa> robot (2017)
- Godfried-Willem Raes "Symphony #3, Die Jahreszeiten' (2017)
- Godfried-Willem Raes "Linac Elekta" (2020-2022)
- Jonas Runa "Venice biannual performance" 2013

Technische fiche:

- afmetingen: breedte 440 mm, diepte 500 mm, hoogte: 900mm.
- gewicht: 40kg
- Elektrisch: 230 V ac / 130 W
- bouwjaar: 2013
- Verzekerwaarde: 14.000€

<Klar>

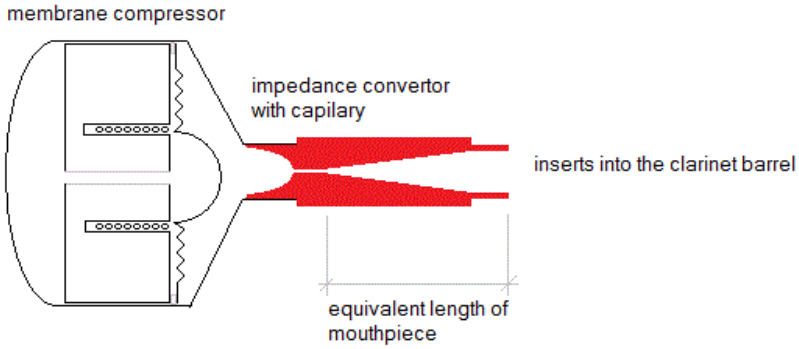


Het vertrekpunt bij de bouw van deze robot was een enigszins zeldzaam instrument: een altklarinet – of eerder een tenor-klarinet? - gebouwd door Higham in Manchester in de eerste helft van de 20e eeuw. Het is een Eb instrument, een kwint lager dan de gewone Bb klarinet dus. De laagste noot is G, midi 43. Dit komt heel erg in de buurt van de bassethoorn, normaal in F gestemd, maar in de laagte reikend tot F, midi 41. Hoe dan ook is het een instrument dat nooit zijn weg heeft gevonden naar het gewone symfonisch orkest. Evenmin is er – binnen het repertoire van de klassieke muziek, en voor zover wij konden vinden - ook maar enig origineel werk voor geschreven. Het instrument heeft een gebogen hals en een eveneens gebogen metalen klankbeker. Het hout waaruit het gemaakt werd is – vermoedelijk - cocoshout. De originele stemming komt overeen met een diapason op 440 Hz.

Voor bouw en ontwerp konden we ruimschoots voortbouwen op de ervaringen opgedaan bij eerdere blaasinstrumenten zoals <Korn>, <So>, <Heli>, <Bono>, <Autosax> en de dubbelrietinstrumenten <Ob> en <Fa>. Onze allereerste bekommernis hier was om de mechanische bediening en werking zo vrij mogelijk te maken van storende bijgeluiden. De krachten nodig voor de bediening van de kleppen op dit instrument bleken evenwel hier heel wat groter te zijn dan in het geval van de hobo. Anderzijds konden we de oplossing die we uitgewerkt hadden voor de fagot, <Fa>, hier niet toepassen. Voor <Fa> immers, verwijderden we alle bestaande kleppen en hefbomen en vervingen die door via elektromagneten bediende polsters. De elektromagneten monteerden we rechtstreeks

op het lichaam van de fagot. Op deze klarinet konden we dit nochtans succesvolle recept niet toepassen vanwege plaatsgebrek. Daarom werkten we een compromis uit, ergens tussen <Ob> en <Fa> in: sommige kleppen werden volledig vervangen door elektromagneten terwijl andere dan weer bediend werden door de originele kleppen via op een afzonderlijk chassis bevestigde spoelen.

Voor de aansturing van het klankopwekkend gedeelte – ook hier weer gerealiseerd met een membraancompressor gevolgd door een akoestische impedantieconverter - sloten we aan bij eerdere bouwprojecten en dienden we alleen de berekeningen en experimenten opnieuw uit te voeren maar nu aangepast aan de vereisten van de klarinet. Een wiskundig model dat ons toe zou laten de equivalente akoestische lengte van het klarinetmondstuk te berekenen, konden we nergens op het spoor komen. Uit de akoestiek weten we dat een enkelriet kan beschouwd worden als een platte elastische staaf, ingeklemd aan een uiteinde, maar wanneer we het spectrum analyseren, eens het riet gemonteerd is op de resonator – het lichaam van de klarinet - dan raakt de akoestische analyse kant noch wal. Wat we zeker weten, is dat de toonhoogtes die we kunnen produceren op een klarinet, onder de natuurlijke frequentie van het riet zelf liggen. Daardoor is het riet de beperkende factor voor de tessituur van het instrument. In onze ontwerp waarbij we geen fysiek riet gebruiken, geldt die beperking natuurlijk niet en daardoor konden we die tessituur dan ook ver uitbreiden. Bij gebrek aan een goed onderbouwd wiskundig model, gingen we experimenteel en via trial-and-error te werk, daarbij uiteraard gesteund door ons 'muzikanten-inzicht'. In een vorig leven, waren we immers zelf – weliswaar een niet al te goede - klarinettist.

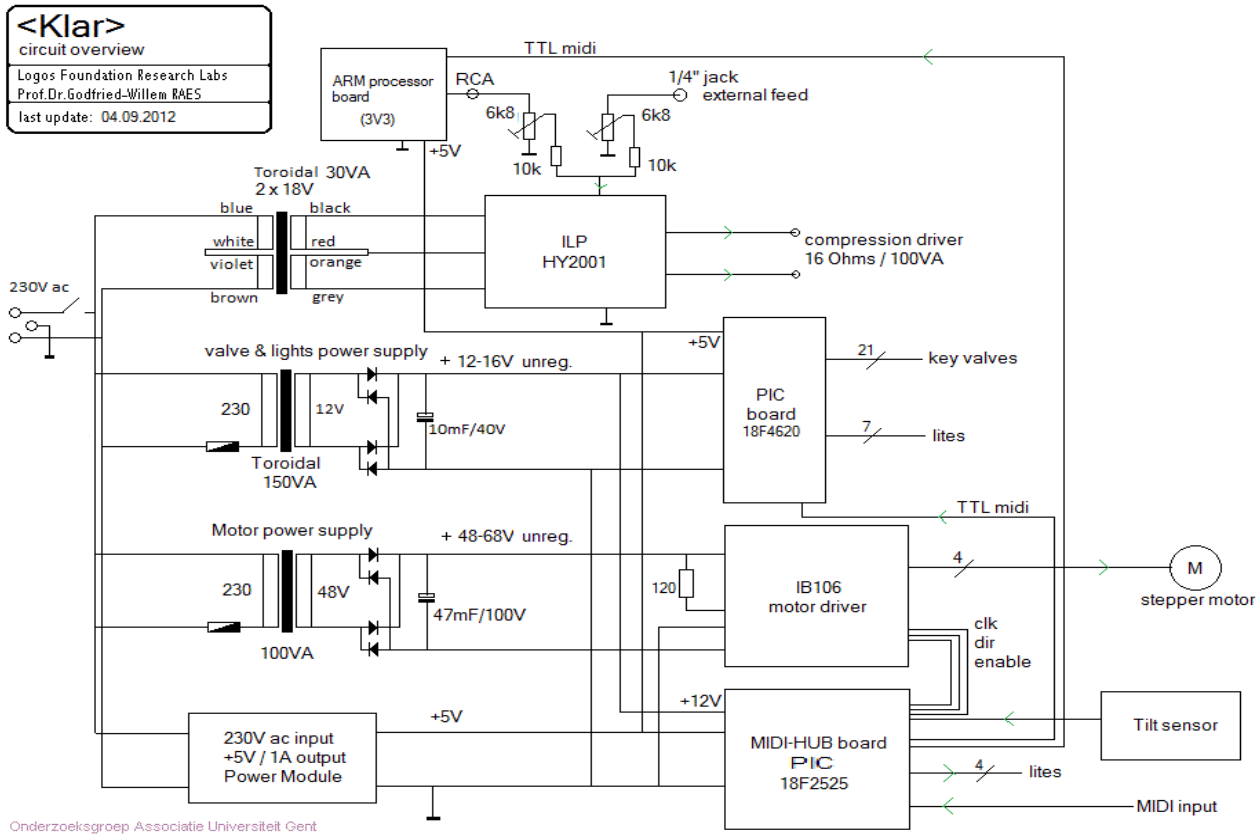


Dat de klarinet pas relatief laat haar intrede deed in het robotorkest mag geen toeval heten. De bouw van een robot-klarinet stelt immers heel wat meer problemen dan die van eerder aangevatte projecten zoals de koperblaas- en de dubbelriet instrumenten. De expressieve mogelijkheden van de klarinet zijn immers heel wat ruimer dan bij deze instrumenten. Eerst en vooral is er het dynamisch bereik dat voor klarinetten inderdaad reikt van een extreem ppp tot een stevig fortissimo. Dat komt dicht in de buurt van 110dB, ruimschoots meer dat wat binnen het bereik van een 16-bit dsPIC of een vergelijkbare microcontroller zou vallen. Bovendien laat een klarinet ook doorlopende modulatie en variatie van de klankkleur middels riet en embouchure toe. Dit maakt een behoorlijk complexe sturing van de compressor tot een voorwaarde voor een aanvaardbare werking. Dat bij de uitwerking daarvan een bijzonder groot aantal parameters zouden komen kijken, uitmondend in een indrukwekkend aantal midi controllers, lag voor de hand. Daar bovenop kwam dan nog onze bekommernis om ook een aantal bijzondere speeltechnieken mogelijk te maken: Flatterzunge (eigenlijk een vorm van verhakkelde amplitudemodulatie), vibrato, microtonale inflecties kwarttonen. Alleen aan de implementatie van multiphonics moesten we verzaken omdat zulks een volledig – en tot op heden overigens nog onbestaand - wiskundig en empirisch onderbouwd akoestisch model veronderstelt. Gedreven door de inzichten met betrekking tot de complexiteit, beslisten we de hulp van een echte 32-bit ARM processor in te roepen. In de firmware voor deze processor wisten we een model van de rietaansturing, inclusief de spectrale duodecime component

en diens kleine ontstemming, ruisgeluid van speeksel en wind op het riet en een formant filter met resonantie te implementeren.

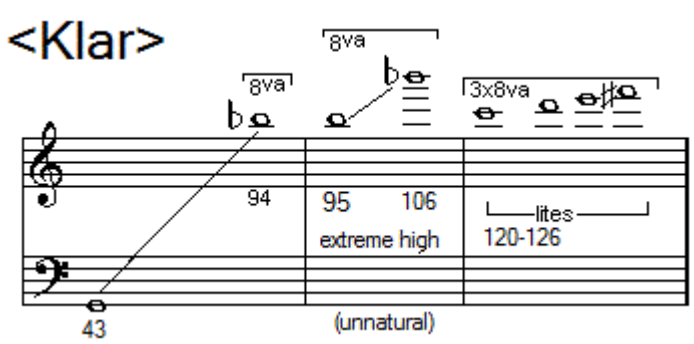
Net zoals voor robots zoals <Korn>, <Bug>, <Ob> en <Fa> voorzagen we ook hier in een minimale vorm van gestiek. De geautomatiseerde klarinet werd daartoe gemonteerd in een brugconstructie waaronder ze als een slinger is opgehangen. De bewegingsas wordt bewogen via twee sterke tandwielen (in een overbrengingsverhouding van 1:6) aangedreven door een stevige stappenmotor. De positie van het instrument wordt ingelezen door een hellingssensor aangebracht op de rugzijde van het chassis. In het ontwerp voorzagen we wel een automatische beperking in de kracht van het mechanisme om te vermijden dat het instrument zichzelf helemaal zou laten ronddraaien en daarbij zijn eigen bedrading zou losrukken... Tenslotte werd de robot ook nog voorzien van lichteffecten in de kleuren wit blauw en rood.

Hier is een overzicht van de diverse schakelings-modules waaruit de robot is opgebouwd:



De <Klar> robot kan perfect gebruikt worden voor de vertolking van zuiver klassieke composities. Zo programmeerden we hem onder mee voor het spelen van Claude Debussy's 'Premiere Rhapsody' , een examenstuk geschreven voor het Parijse Conservatoire. Niettemin is het programmeerwerk om een aanvaardbaar resultaat te bekomen aanzienlijk. Alle details van wat aan expressie wenselijk en noodzakelijk is, moeten immers expliciet worden bepaald en in MIDI gecodeerd. De bouw en ontwikkeling van de <Klar> robot in 2012, was heel zeker een mijlpaal in de vruchten van ons onderzoek naar de bouw van geautomatiseerde blaasinstrumenten. De veelheid aan besturingsmogelijkheden hebben hier geleid tot het exploreren van talloze geluiden en speelwijzen die het normale menselijke klarinetspel ver te buiten en te boven gaan. Maar, dit betekent helemaal niet dat daarmee alles wat menselijke bespelers kunnen bereiken, ook hier kan bereikt worden. Zo bijvoorbeeld, multiphonics, vocaal-instrumentaal geluid, luide *slaptongues*... Daarvoor blijft nog heel wat verder onderzoek en experimenteel werk vereist.

Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 5

Noot-aan commando's waarbij de aanslagsterkte gestuurd kan worden

Note Off commandos zijn nodig maar kunnen weggelaten worden wanneer een zuiver legato spel gewenst is. Het note release byte, indien niet nul, is voluit geïmplementeerd op de wijze voorzien in de officiële MIDI standaard.

Controllers:

Controller 1: Wind controller, stuurt het ruisaandeel in de klank.
Controller 2: LFO frequentie voor het formant filter
Controller 3: Vibrato diepte
Controller 4: Vibrato snelheid
Controller 5: Tremolo diepte
Controller 6: Tremolo snelheid
Controller 7: Globale volume controle.
Controller 16: Note attack speed controller (0= traag, 127= snel) .
Controller 17: Note attack level. Voor sfz of staccato spel, moeten hier hoge waarden ingesteld worden.
Controller 18: snelheid van de overgang tussen de aanslag van de noot en de houd-fase waarbij de normale geluidsterkte wordt bereikt.
Controller 19: regelt de duur van het uitsterven van de klank.
Controller 20: Stemming. Het bereik is een halve toon hoger of lager. Standaard is A=440Hz.
Controller 21: Snelheid van de motor.
Controller 22: Verticale hellingscontroller.
Controller 24: stapwijze instelling voor de motor
Controller 25: Filter afsnijfrequentie
Controller 26: Filter resonantiesterkte
Controller 27: Echo mix. Kan gebruikt worden voor experimentele klanken.
Controller 28: echo feedback. Default = 0. Alleen voor experimentele klanken.
Controller 29: filter modulatiediepte . Kan leiden wha-wha effecten.
Controller 30: Loslaat-tijd voor de kleppen
Controller 31: Voor het vingervibrato. Stelt de vibratosnelheid in.
Controller 40: Regelbereik voor pitchbend.
Controller 41: Duodecime component ontstemmingsfactor.
Controller 42: Duodecime component amplitude.
Controller 43: Wachttijd voor het begin van vibrato na ontvangst van een noot-aan commando. Bij legato, gaat het vibrato gewoon door. Na een noot-uit, begint een nieuwe wachttijd.
Controller 44: Wachttijd voor het begin van het tremolo (AM modulatie) na het begin van een noot.

Controller 66: aan/uit schakelaar.
Controller 100: speciale vingerzettingen voor kleppen 1 tot 7
Controller 101: speciale vingerzettingen voor kleppen 8 tot 14
Controller 102: speciale vingerzettingen voor kleppen 15 tot 21
Controller 123: schakelt alle geluid uit en brengt de motor – en dus alle beweging - tot rust.

Channel Aftertouch: wordt hier gebruikt van onze implementatie van het vingerzetting-vibrato. Met dit commando kan de vibratosnelheid geregeld worden. Opgemerkt moet worden dat dit timbraal vibrato niet bij alle noten mogelijk is. Voor noot 43 bijvoorbeeld, zijn alle kleppen dicht en is er dus gewoon geen klep meer die we zouden kunnen gebruiken voor dit type vibrato. Het gebruik van dit commando is onschadelijk: wanneer het niet mogelijk is, zal helemaal niets gebeuren. Heel wat sequencers resetten deze parameter na elke noot-uit. Om dat probleem te omzeilen, voorzagen we in controller 31.

Pitch bend: <Klar> kan met eender welke stemming overweg. Het pitch-bend commando is daartoe geïmplementeerd met volle 14-bit resolutie. Controller 40 stelt het regelbereik in.

Medewerkers:

•Kristof Lauwers, Mattias Parent, Johannes Taelman

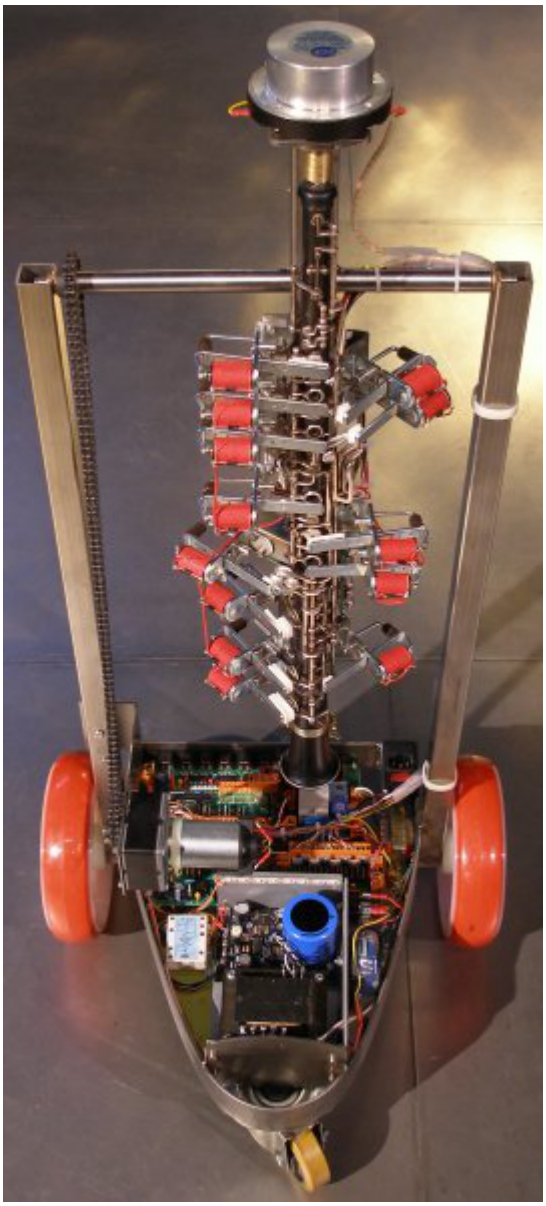
Muziek specifiek gecomponeerd voor of met <Klar>:

•Godfried-Willem Raes "Slones", voor een trombone solist, onzichtbaar instrument en alle blaasinstrumenten van het robotorkest.
•Godfried-Willem Raes "Namuda Study #26: Ritual"
•Godfried-Willem Raes "Namuda Study #27: Specs"
•Godfried-Willem Raes "Symphony #3: Die Jahreszeiten" (2017)
•Sebastian Bradt "ReTox", (2012)
•Barbara Buchowiec "For Klar" (2012)
•Lara Van Wynsberghe "El huerto del diablo" (voor <Klar> en <Fa>, 2013)

Technische gegevens:

•afmetingen: diepte: 670mm, breedte 300mm, hoogte1200mm
•gewicht: 56 kg [met flightcase: 86 kg]
•Elektrisch: 230 V ac / 120 W max.
•Stemming: A = 440 Hz (within 1 cent). De stemming kan geregeld worden.
•Bouwjaar: 2012
Waarde: 16.500€ (met flightcase)

<Ob>

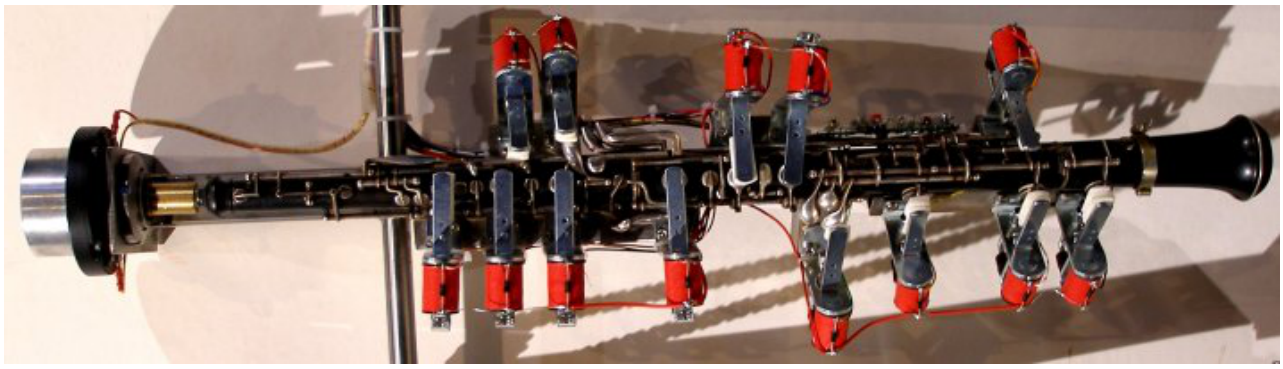


Voor deze robot stond ons als doel voor ogen zo getrouw mogelijk de werking van de traditionele hobo te mimeren. Het entoeziasme van mijn medewerkers bij Logos voor zo'n project was nogal wisselend: van uitermate negatief en afwijzend tot gematigd hoopvol. De succesvolle automatisering van zo'n zwaar traditioneel beladen instrument leek bij voorbaat tot mislukken gedoemd. We namen de uitdaging niettemin aan en het lag, gezien het uitgangspunt, daarbij dan ook voor de hand te vertrekken van een bestaand instrument in goede staat. Daartoe konden we beschikken over een orkest hobo gebouwd door F.Debert in Brussel, vermoedelijk in de eerste helft van de 20e eeuw. Ooit eens gekocht op de Gentse prondelmarkt.



Afgezien van de relatief ingewikkelde en weinig repetitieve mechanica, stelde de bediening van de kleppen op zich geen nieuwe problemen. De krachten nodig voor het bedienen van de vele klepjes zijn immers betrekkelijk klein. Niettemin zagen we af van het automatiseren van elke voorhanden klep op het instrument, omdat vele ervan slechts nodig zijn voor menselijke spelers. Zo zijn de drie hulpkleppen voor de octaven alleen nodig bij menselijke bespeling om de gewenste toon snel te laten aanspreken. In ons ontwerp is dit evenwel gegarandeerd op grond van de wijze van aansturing zodat we aan een automatisering van deze kleppen gerust konden verzaken. Hetzelfde kan worden gezegd van de trillerkleppen. Waar mogelijk maakten we voorts gebruik van de mogelijke maar door spelers eerder vermeden vorkgrepen. Zo slaagden we erin de gehele applicatuur te automatiseren met niet meer dan 6 elektromagneten voor de open toongaten en 7 elektromagneten voor de bediening van de klepjes.

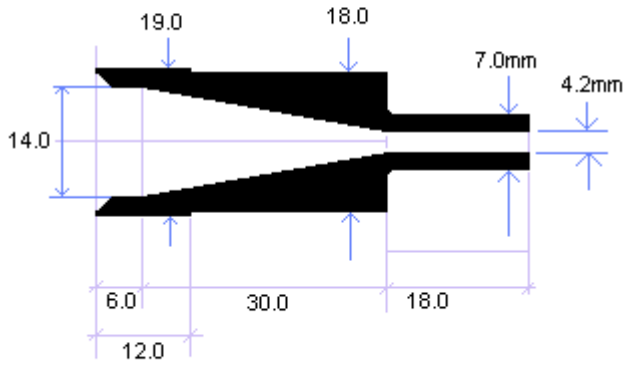
Microtonaal spel, inclusief kwarttonen zijn mogelijk door toepassing van niet-standaard grepentabellen. Alternatieve grepen kunnen trouwens ook worden toegepast om klankkleurvariaties te bewerkstelligen. De hele opbouw van de elektromechanica voor het vingerwerk was uitermate tijdrovend, maar toch niet bijzonder moeilijk. Het vereist wel heel precies las-, tap-, boor-, zaag- en snijwerk.



Het grootste probleem vormde het klankopwekkingsmechanisme: het dubbelriet. Onze eerste experimenten gingen onmiddellijk uit naar de constructie van dubbelrieten opgebouwd uit twee plaatjes piezokeramisch materiaal, gekleefd op messing blaadjes. Het grote mechanisch probleem daarbij is dat het piezokeramisch materiaal zich niet laat buigen (het is erg breekbaar) terwijl het riet, wanneer we de opbouw van een traditioneel hobo riet volgen, in elk geval moet worden rondgezet rond het kleine inblaaspijpje dat in het instrument wordt geplaatst in een cilindrische kurken houder. Na ettelijke pogingen slaagden we erin een riet op deze wijze op te bouwen. Aangesloten op onze frequentiegenerator – beide riethelften parallel geschakeld en dus elektrisch in fase en mechanisch in tegenfaze - bleek het nog te trillen ook! Alleen, de geluidsopbrengst bleek ruimschoots onbevredigend. We haalden hooguit een – voor een normale hobo overigens zo goed als onmogelijk - pianissimo. Bovendien produceerde het riet ook bij bepaalde stuurfrequenties multiphonics die te wijten waren aan de eigenresonanties van de messingplaatjes. De toon sloeg ook regelmatig over naar het suboctaaf. Opgemerkt moet worden, dat we bij deze experimenten geen wind toevoerden aan het riet, vanuit de ervaring opgedaan met eerdere koperblaasinstrumenten waarbij bleek dat de luchtverplaatsing door het instrument eigenlijk niet wezenlijk is voor de klankproductie van het instrument. Ook het aanleggen van een sterk verhoogde stuurspanning (de normale toelaatbare maximum spanning wordt in het datasheet opgegeven als 35V) bracht geen

soelaas. De dissipatie neemt toe maar niet de geluidsproductie.
Een tweede reeks experimenten voerden we uit onder gebruikmaking van dubbelzijdige piezoschijfjes. De amplitude van de trillingen is hierbij een veelvoud van die in het eerste experiment. Dit schijfje werd passend en met een geringe aandrukkracht aangebracht tegen een vlak geslepen dikke plaat messing die centraal werd geperforeerd met een gat van 4.2mm, overeenkomstig de diameter van de hobo bij de inlaat van het rietje. Via een opgesoldeerd buisje (7mm buitenmaat) kan het mechanisme op de plaats van het riet op de hobo worden aangebracht. Voor windtoevoer moet het geheel uiteraard in een potje worden geplaatst met een toevoer voor de lucht en (luchtdicht afgesloten) voor de elektrische aansluiting. Dit mechanisme levert voor bepaalde tonen een vrij goede klank maar blijkt in extreme mate frequentieafhankelijk te zijn. Ook is het aanspreken van de tonen erg afhankelijk van de aangelegde winddruk. Het geluidsvolume – althans voor de goed aansprekende tonen - is heel wat beter dan in het eerste experiment, maar toch nog te gering in vergelijking met een realistische hobo.
Een derde reeks experimenten werd opgezet onder gebruikmaking van een tweeter motor driver van RCA. Als koppelstuk maakten we daarvoor een akoestische impedantietransformator gemodelleerd naar een menselijke mondholte met riet. Dit stuk, vervaardigd uit massief messing, werd gedraaid op de draaibank. Dit is de maatschets:

<Ob>
Pressure Chamber for automated oboe
turned on the lathe from massive brass rod
dr.Godfried-Willem Raes
production date: 09.09.2008



Driver motor: RCF Type TW15W, 8 Ohm

De linkerkant is passend gedraaid om 12mm in de RCA motor driver te worden aangebracht, zonder de inwendige titanium dome te raken. De rechterkant werd afgedraaid om in de hobo te passen op de plaats van het riet. De betrouwbaarheid van de klankproductie is nu uiteraard perfect, maar om de klank echt realistisch te maken blijven heel wat modulatieparameters essentieel. De golfvorm van de aansturing moet trapezoidaal zijn en frequentiemodulatie (vibrato) lijkt aangewezen. Bovendien draagt faze-modulatie van de eerste twee boventonen boven de grondtoon wezenlijk bij tot het realisme van de klank. Ook enige mate van amplitude modulatie (omhullende) blijkt noodzakelijk. Wat dit betreft sluiten de resultaten goed aan bij de bevindingen opgedaan bij de bouw van <Korn>, onze automatische kornet.
Een bijzondere eigenschap van <Ob> is dat hij ook kan bewegen. Daartoe monteerden we de gehele draagstructuur voor de hobo zelf op een 16 mm as voorzien van een tandwiel waarop een ketting loopt. Deze ketting wordt aangedreven door een DC motor met vertragingskast. De tandwielen en de ketting zelf recycleerden we uit een oude fotokopieermachine. De motor dienden we evenwel

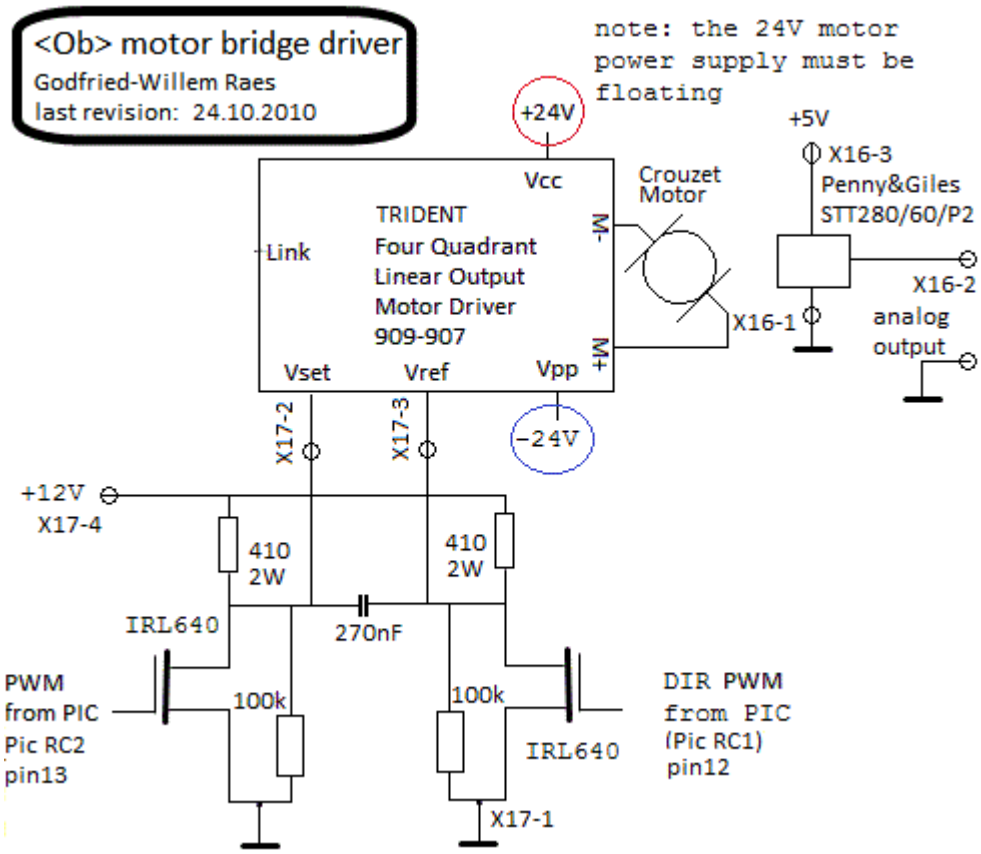
nieuw te kopen omdat die doorlopend van draairichting moet kunnen wisselen, iets wat met gelijkstroommotoren kan worden bereikt door eenvoudigweg de poling om te wisselen. Hierdoor kan <Ob> niet alleen schommelen, maar ook op eender welke hoekpositie binnen een bereik van ca. 90 graden vastgezet worden. Iets van de beweeglijkheid van de menselijke spelers werd dus ook hier geïmplementeerd. Opdat er geen destructieve ongelukken zouden kunnen gebeuren, werd het schommelmechanisme aanvankelijk uitgerust met vier kwiksensoren die het doordraaien van de motor moeten verhinderen en het bovendien mogelijk maken het instrument zuiver verticaal te positioneren. Bij een latere upgrade vervingen we deze kwikschakelaars door een Penny&Giles hoeksensor wat een veel betrouwbaarder resultaat opleverde.
Tot slot bouwden we ook in <Ob> enkele bestuurbare lichteffecten in, gemapt op noot aan of uit midi commando's.

De elektronische schakeling bestaat uit enkele afzonderlijk functionele boards:

1. TC/UPD en/of midihub board;

Dit board bestuurt de visuele componenten van deze robot: de slingerbeweging en de positie van het instrument evenals de diverse ingebouwde lichteffecten.

Het schakelschema voor de motor links op de tekening was onze eerste versie. Als beschermingsschakeling werkte die echter al te goed, d.w.z. wanneer een veiligheidsschakelaar werd bekrachtigd, werd de motor stroomloos. Het probleem dan was echter dat hij met geen (elektronische) middelen nog in beweging te krijgen was... Vandaar dat we in de tweede versie opteerden voor een automatische omschakeling van de draairichting. Daarbij werd beroep gedaan op een impulsrelais. Omdat de microcontroller nu evenwel geen informatie heeft over de eigenlijke draairichting, voorzagen we in twee analoge outputsignalen die kunnen worden ingelezen. Wanneer beide signalen positief en hoog zijn, is de motor onbekrachtigd. Het ene signaal van beide dat laag is, geeft de draairichting aan. Beide signalen kunnen nooit samen op massaniveau zijn, tenzij bij uitval van de motorvoedingsspanning zelf. De condensator en de diode werden toegevoegd om de stoorspanningen van de motorcollector en van het PWM signaal uit te filteren. De spanningsdeler staat er borg voor dat de PIC ingangen nooit meer dan 5V te verwerken kunnen krijgen. Hoewel deze schakeling toch bijna twee jaar heeft gewerkt traden er toch geregeld problemen op met de kwikschakelaars die soms dubbele pulsen gaven waardoor het impulsrelais kon gaan oscilleren... Een manuele nood ingreep bleek telkens weer noodzakelijk om verder onheil te voorkomen... De derde en voorlopig definitieve versie (<Ob> versie 2.0) werd opgebouwd onder gebruikmaking van een Trident 4-kwadrant DC motor-controller:



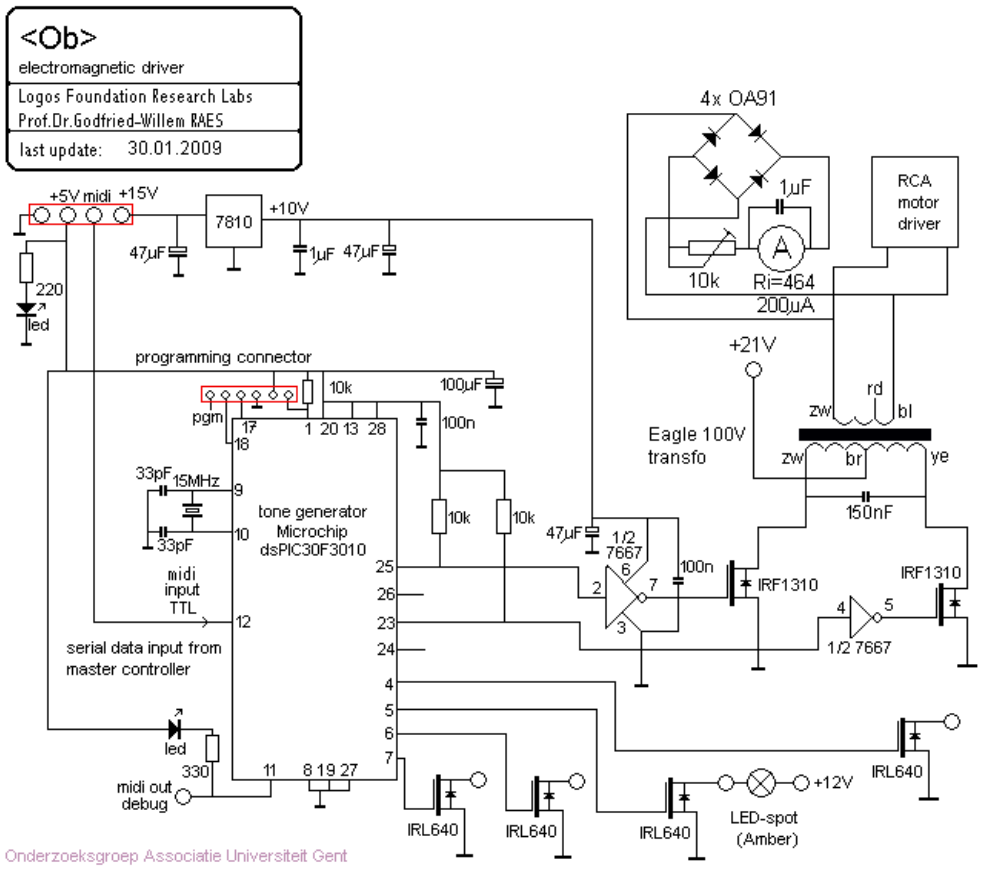
Dat was niet zo eenvoudig als het lijkt omdat alle stuurspanningen bipolair en zwevend moeten zijn voor dit type controller, wat de interfacing naar microcontrollers erg moeilijk maakt. Eigenaardig genoeg zijn er erg weinig goede 4-kwadrant controllers voor kleine gelijkstroommotoren op de markt (die van Maxxon even buiten beschouwing gelaten want die zijn onredelijk duur...).

Als extra, werd op dit board ook een midi output voorzien die toelaat de juiste positie van de hobo in te lezen. De meest rechtse DIN connector op het hub board wordt hiervoor gebruikt en kan dus niet als midi-thru worden ingezet.

2. Kleppenbesturingsboard

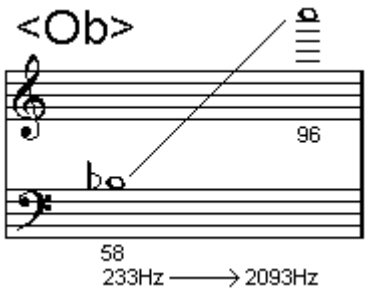
De PIC op dit board, een 18F2525, staat in voor het juist toepassen van de vingerzettingstabel op de gevraagde te spelen tonen. Het PC board is hetzelfde als wat we ontwikkelden voor heel wat slagwerk robots zoals <Dripper>, <Casta>, Troms>, <Psch>, <Snar> e.a. De zestien beschikbare MOSFET driver uitgangen volstaan voor het activeren van alle nodige kleppen: dertien. De firmware is uiteraard totaal verschillend. De Midi input (in TTL formaat) wordt toegevoerd vanuit het midi-hub board.

3. Rietbesturingboard:



Hiervoor konden we hetzelfde printontwerp gebruiken dat we eerder ontwikkelden voor <Aeio> en dat gesteund was op prototypes ontwikkeld en gebouwd voor robots zoals <Korn>, <Hurdy>, <Autosax> en <Bono>. Ook hier werd eenzelfde 16-bit PIC microcontroller toegepast: de Microchip dsPIC30F3010.

Midi Mapping en implementatie:

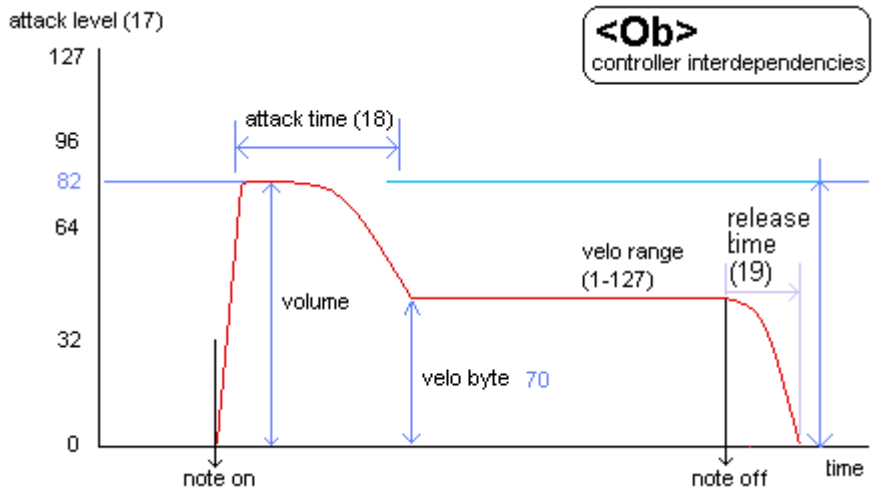


Midi kanaal: 14

Noot aan/ noot uit commando's zijn geïmplementeerd zoals op zowat alle andere robots. Het toets-druk (*key pressure*) commando verleenden we hier een bijzondere betekenis omdat we het gebruikten om afwijkende vingerzettingen toe te laten. Het msb omvat daarbij een 7-bit binaire mapping op de laagste 7 elektromagneten, terwijl het lsb de overige zes magneten bestuurt.

bytes	msb								lsb							
hardware	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3			
midi-map	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	0	D0	D7	D6	D5	D4	D3	

Controllers 17, 18 en 19 besturen hier de omhullende van de klank:



Controller 20: stelt de stemming in van het instrument. De stemming kan tot een kwarttoon hoger gewijzigd worden. Bij waarde 5 komt de stemming overeen met de diapason van A=440 Hz.
Controller 22: Inclinatie-hoek instelling. Het totale bereik is 90 graden.
Controller 66: Robot aan/uit schakelaar.
Controller 123: schakelt alle klank en licht uit, maar niet de positie en de motor.

Pitch bend: <Ob> kan gebruikt worden in elk denkbaar toonsysteem. Elke noot kan binnen een bereik van een kwarttoon omhoog of omlaag omgestemd worden.

Medewerkers:

- Johannes Taelman, Kristof Lauwers

Music composed for <Ob>:

- Godfried-Willem Raes "Primes" (met <Qt>,<Heli> and player piano), "Slones" (2012), "Fall'95" (2017)
- Daniel Pastene "Terminator in Afghanistan" (2010)

Technische gegevens:

- afmetingen: 400 x 460 x 1000 mm.
- gewicht: 14 kg.
- elektrisch: 230 V ac / 65 W
- bouwjaar: 2008
- verzekeringswaarde: 13.650 Euro

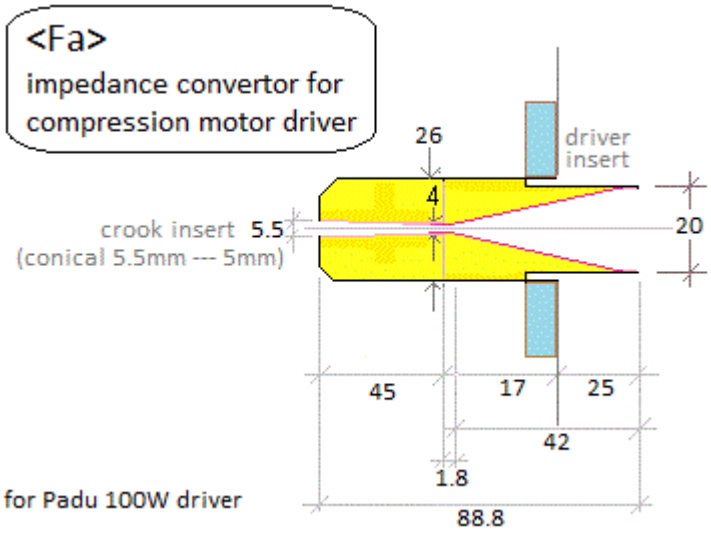
<Fa>



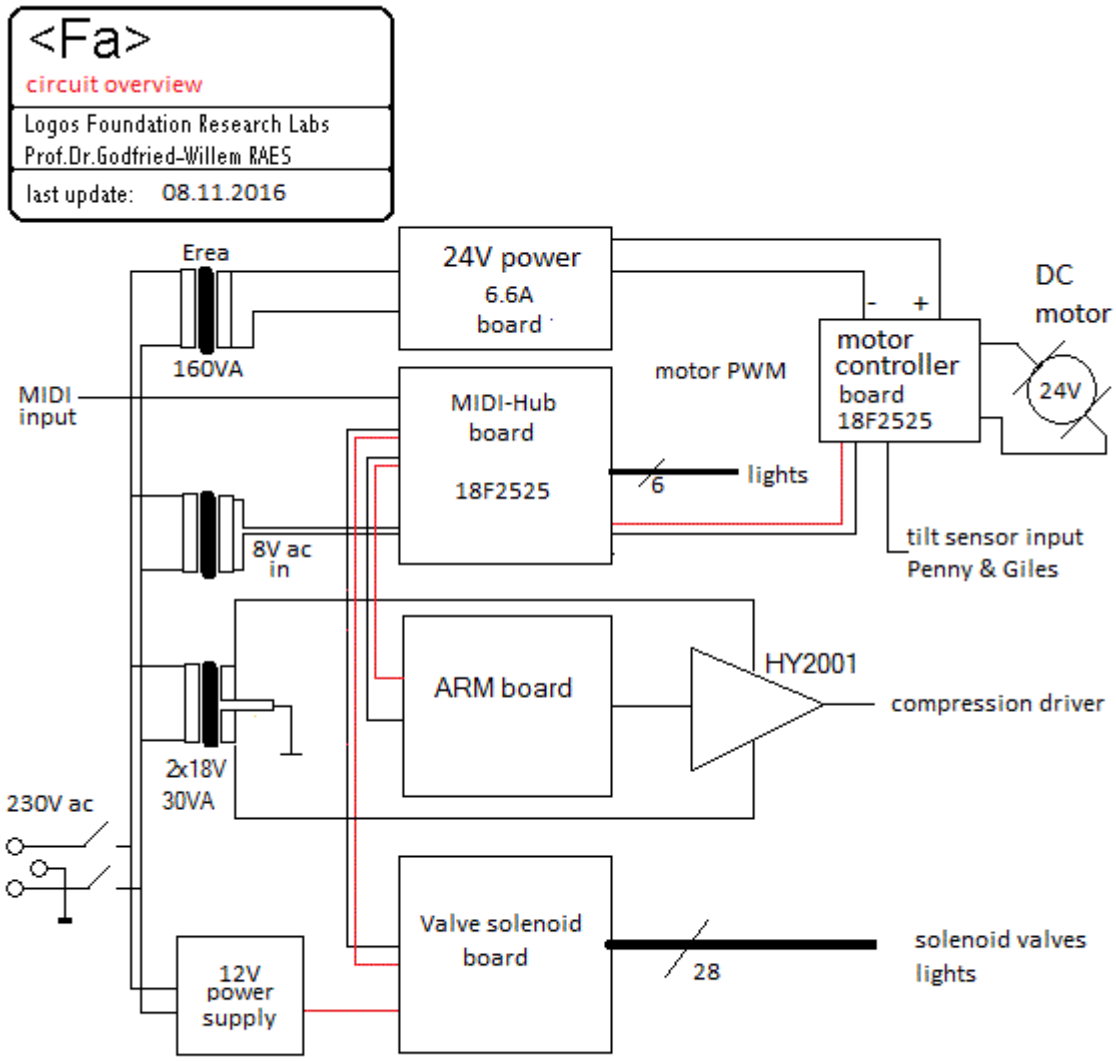
Na de bijzonder geslaagde realisatie van onze hobo spelende robot <Ob> besloten we nu ook het lage broertje van de hobo, de fagot, onder handen te nemen. Een geschikte fagot hadden we echter niet en dus werd het uitkijken naar een geschikt instrument. Dat bleek – zelfs tweedehands - een vrij dure zaak te zijn. Na veel zoeken konden we een Artla instrument op de kop tikken. Het instrument moet na 1981 gebouwd zijn, omdat Buffet-Crampon, een beroemd bedrijf dat als Artla verdeler optrad, in dat jaar werd overgenomen door het Amerikaanse Boosey & Hawkes. Het serienummer van ons instrument is 356. We lieten het helemaal op punt stellen vooraleer aan de automatisering te beginnen. Ook bij dit bouwproject stond ons als doel voor ogen zo getrouw mogelijk de werking van de traditionele fagot te mimeren.
Microtonaal spel, inclusief kwarttonen, is mogelijk door toepassing van niet-standaard grepentabellen. Alternatieve grepen kunnen trouwens ook worden toegepast om klankkleurvariaties te bewerkstelligen. De hele opbouw van de elektromechanica voor het vingerwerk was uitermate tijdrovend, maar toch niet bijzonder moeilijk. Het vereist wel heel precies las-, tap-, boor-, zaag- en snijwerk. Bij de uitwerking opteerden we deze keer voor het geheel buiten werking stellen – en ook fysisch verwijderen - van alle kleppen en hefbomen nodig voor de menselijke bespeling. Het automatiseren daarvan zou immers onvermijdelijk tot vele overbodige bijgeluiden aanleiding hebben kunnen geven. De nodige krachten zijn voor een fagot immers heel wat groter dan voor de hobo. Bovendien zijn de vingerkleppen op de fagot op sommige plaatsen (de duim bijvoorbeeld) dermate dicht bij elkaar geplaatst dat het gewoon ondenkbaar was elektromagneten toe te passen

met heel kleine afmetingen en toch voldoende kracht: die kunnen immers in het geheel niet worden gebouwd. Wanneer alle kleppen verwijderd worden, blijven we met een instrument voorzien van niet minder dan 27 toongaten! Elk gat werd voorzien van een eigen volkomen autonoom stuurbaar elektromagnetisch ventiel. In rust zijn nu alle toongaten dicht. De elektromagneten met de kleppen werden geheel op het lichaam van het instrument gemonteerd, een behoorlijk risicovolle onderneming. Immers het hout wordt nu belast met het gewicht van al die spoelen en er is dus een reëel risico op barsten en perforaties. Om dit risico zoveel mogelijk te beperken, monteerden we de spoelen op zadeltjes die op hun positie worden gehouden met uiterst korte inox plaatschroeven en voor de eigenlijke hechting werden vastgekleefd met een speciaal siliconen rubber (Loctite Bronze). Hierdoor wordt de kracht uitgeoefend door het gewicht van de elektromagneten over een relatief groot oppervlak van het instrument gespreid.

Voor het klankmechanisme opteerden we voor een krachtige membraancompressor gekoppeld aan een akoestische impedantieconverter uitgerust met een capillair van 4 mm, overeenkomstig de inwendige diameter van het bokaal aan de zijde van het riet. Deze convertor werd uit een massief stuk messing met hoge precisie gedraaid op de draaibank.



De elektronische schakeling bestaat uit enkele afzonderlijk functionele boards, de samenhang is zichtbaar in dit overzicht:

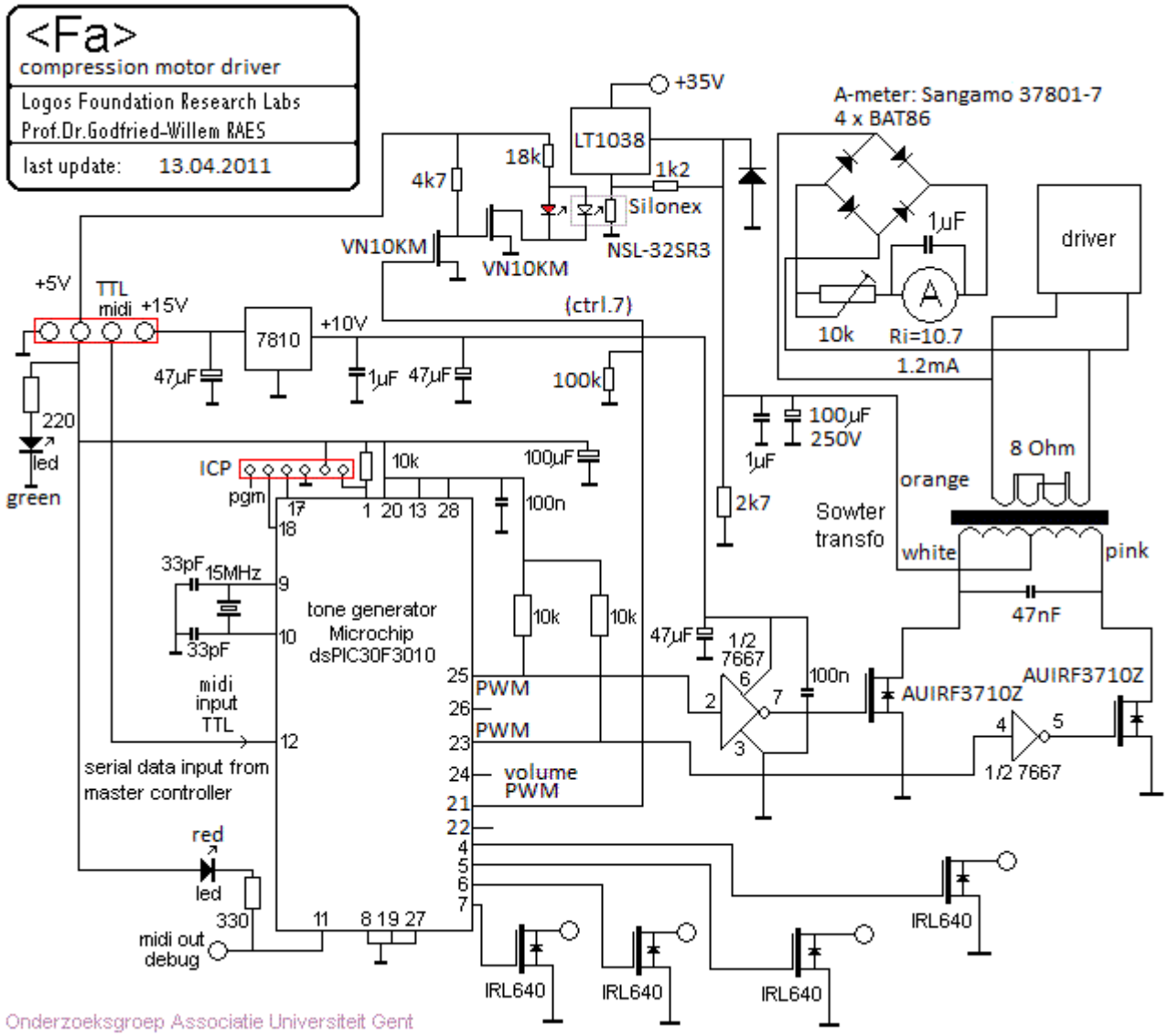


Onderzoeksgroep Associatie Universiteit Gent

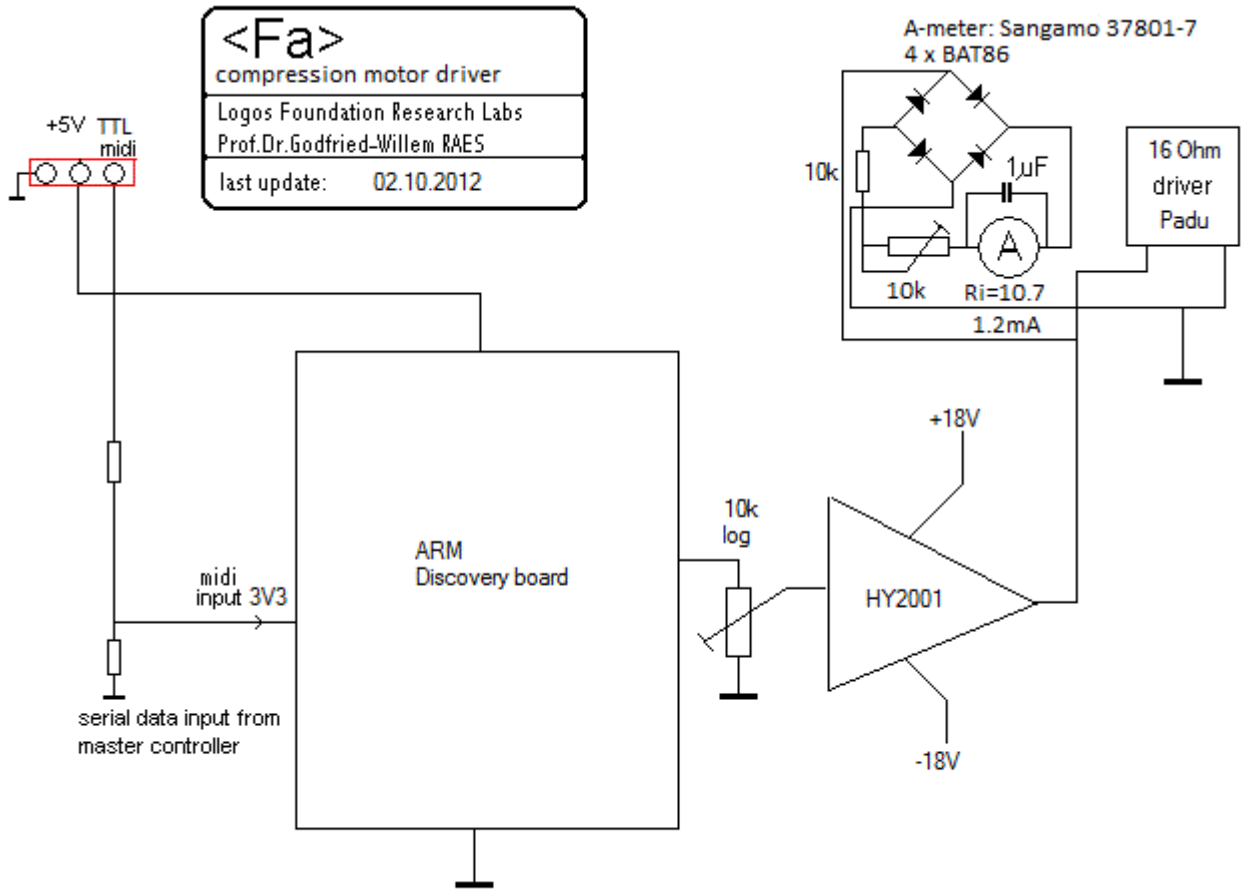
MIDI-hub board: Dit board en de 18F2525 processor staat in voor voor de lichten, gemapt op de noten 0 tot en met 5. Verder staat het in voor de midi-parsing naar de overige boards.
Motor control board: Ook hier gebouwd rond een 18F2525 PIC processor. Staat in voor de besturing van de DC motor die het instrument doet bewegen. De firmware is structureel gelijkaardig aan de firmware eerder ontwikkeld voor de <Ob> robot. De midi output laat ook in dit geval toe de actuele positie van de fagot in te lezen.
Kleppenbesturingsboard: De PIC microcontroller op dit board, een 18F4620, staat in voor het juist toepassen van de vingerzettingstabel op de gevraagde te spelen tonen. Het PC-board is in wezen hetzelfde als wat we ontwikkelden voor heel wat slagwerk robots zoals <Dripper>, <Casta>, <Troms>, <Psch>, <Xy> e.a. De achtentwintig beschikbare MOSFET driver uitgangen volstaan voor het activeren van alle nodige kleppen. De firmware is uiteraard totaal verschillend. De Midi input (in TTL formaat) wordt toegevoerd vanuit het midi-hub board. De 5V voeding is autonoom *on-board* uitgevoerd zodat we gevrijwaard blijven van power glitches.

Een bij deze robot ingevoerde vernieuwing is de volledige implementatie van vinger-vibrato, toepasbaar op elke gespeelde noot. Dit gaat terug op een historische uitvoeringspraktijk waarbij vibrato niet met de lippen werd verkregen, maar wel door een veelal lager gelegen toongat periodiek te openen of te sluiten. De opzoekingstabel voor de vingerzettingen werd samengesteld op grond van metingen en experimenten en ligt vervat in de firmware voor deze microprocessor.

Rietbesturingboard (Versie 1.1, nu versie 1.2):



Hiervoor konden we hetzelfde printontwerp gebruiken dat we eerder ontwikkelden voor <Aeio> en dat gesteund was op prototypes ontwikkeld en gebouwd voor robots zoals <Korn>, <Hurdy>, <Autosax>, <Ob> en <Bono>. Ook hier werd eenzelfde PIC microcontroller toegepast: de Microchip dsPIC30F3010. De transformator was gebouwd naar een volledig eigen ontwerp door het bedrijf Sowter in Engeland. De toepassing van een transformator hier was ingegeven door de zekerheid dat we nu elke DC offset kwijt waren en bovendien door toepassing van geschikte condensatoren, konden zoeken naar de meest optimale formant. De dsPIC firmware voorzag ook in de mogelijkheid ruis toe te voegen aan het stuursignaal (via midi controller 1) waardoor het bijgeluid van speeksel en lucht in het riet kan worden gemimeerd. Het dynamisch bereik bleek evenwel onbevredigend en het was moeilijk een automatisch vibrato en tremolo's op het 16-bit dsPIC platform te implementeren. Daarom wijzigden we het gehele opzet van de compressor driver in 2012 als volgt:

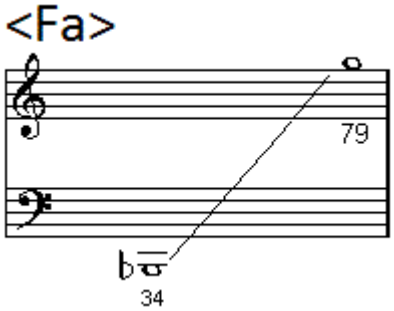


Onderzoeksgroep Associatie Universiteit Gent

In deze versie maakten we gebruik van een 32-bit processor op een *ARM discovery board*. Dit bood heel wat meer mogelijkheden voor controllers en filters in de firmware. Ook de dynamiek kon heel wat groter worden dan wat met het dsPIC ontwerp kon worden bereikt. De Sowter transformator kwam te vervallen evenals de 36V voeding voor de driver. In plaats daarvan kwam een gewone 30 VA audiomodule van ILP (HY2001) waarmee nu rechtstreeks de driver wordt uitgestuurd. Rekening houdend met het onderzoek van F.Fransson, gepubliceerd in 1966, hielden we er ook hier terdege rekening mee dat de karakteristieke formant in de fagot-toon rond 500Hz niet is toe te schrijven aan resonanties van het eigenlijke instrument, maar geheel en al voor rekening komt van de werking van het dubbel riet. Die formant werd dan ook in het excitatiesignaal, dus in de firmware voor de ARM processor, toegevoegd.

Midi Mapping en implementatie:

Midi kanaal: 15



Noot-aan en noot-uit: zoals bij <Ob> en <Klar>

Controllers 1,2,3,4,5,6 zie <Ob>
Controller 7 is de globale volumeregeling. Deze controller mag niet voor langere tijd op waarden groter dan 80 ingesteld blijven omdat daarbij een risico op overbelasting van de compressor bestaat. De mogelijkheid on hogere waarden te gebruiken werd alleen voorzien om een voldoend dynamisch bereik voor de omhullende-generator mogelijk te maken.
Controllers 16,17,18,19, 20: zie <Ob>
Controller 22: Besturing van de rotatiebeweging van de robot. De default waarde is 0, overeenkomend met een volledig achterwaartse rustpositie. Bij waarde 10, komt de robot in een zuiver verticale stand te staan.
Controllers 31, 40,43, 44, 66: zie <Ob>
Controller 67: Schakelt het automatisch bewegen met de muziek aan of uit.
Controller 69: Schakelt het automatisch oplichten van de ogen aan of uit.
Controllers 100, 101, 102,103, 123: zie <Ob>

Pitch Bend en toetsdruk zijn op <Fa> geïmplementeerd zoals op <Ob> en <Klar>.

Medewerkers aan research en constructie:

- Johannes Taelman, Kristof Lauwers, Bernard De Graef , Joris Buysse

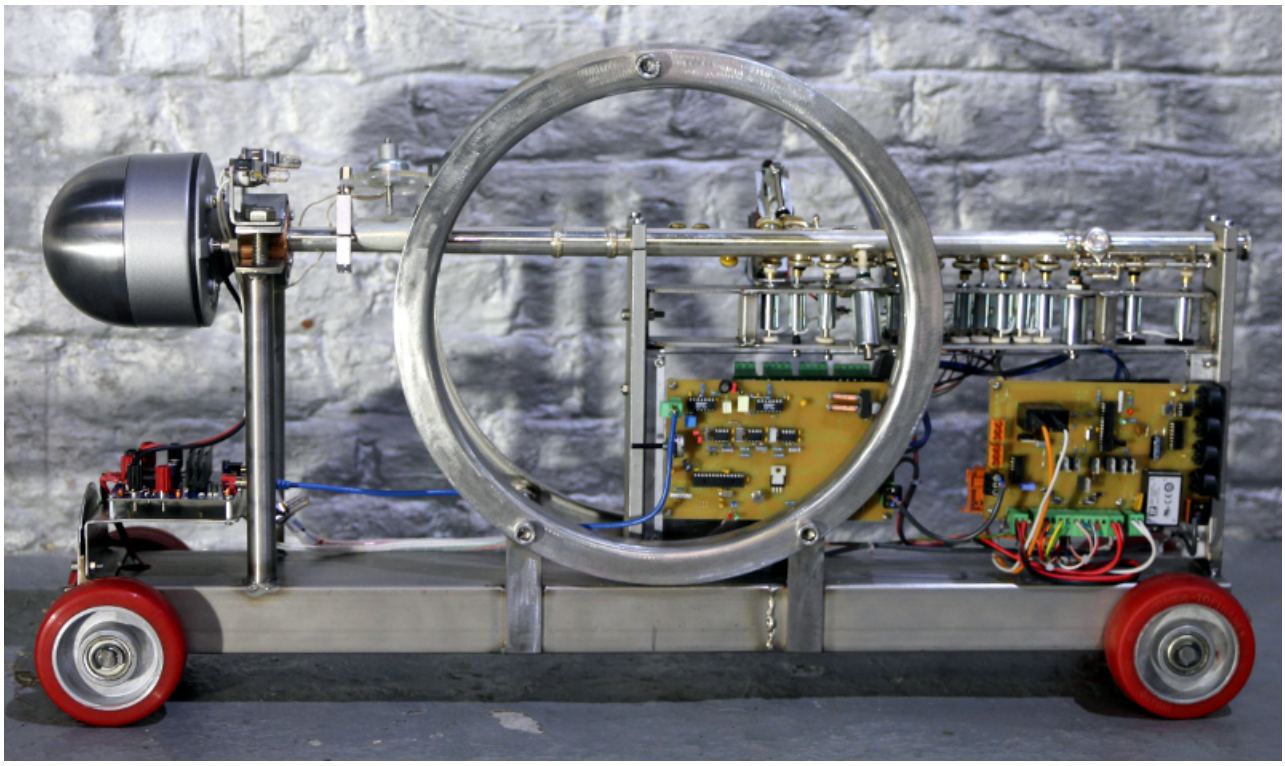
Muziek gecomponeerd voor <Fa>:

- Godfried-Willem Raes "Early Birds" (Namuda Study #15, 2011)
- Godfried-Willem Raes "Fall'95"-version 6 (2017)
- Godfried-Willem Raes "Symphony #3: Die Jahreszeiten" (2017)
- Lara Van Wynsberghe "El huerto del diablo" (een tango voor Klar and Fa, 2013)

Technische eigenschappen:

- afmetingen: h=1600mm, b=480mm, d=850mm
- gewicht: 50 kg.
- elektrisch: 230 V ac / 200 W
- Bouwjaar: 2009
- Verzekerwaarde: 16.000€

<Flut>

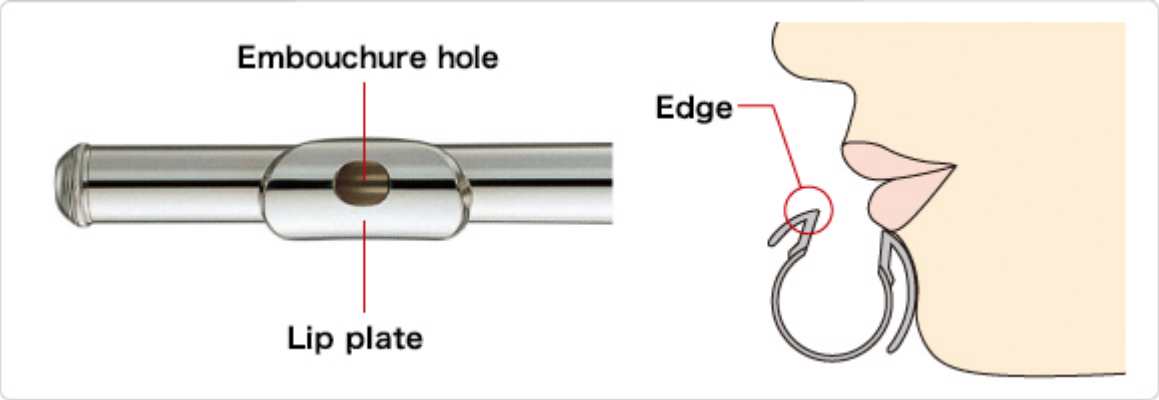


Het lag nooit in onze bedoeling een dwarsfluit te automatiseren. Pogingen daartoe werden al ettelijke decennia geleden ondernomen onder meer door mijn vriend en collega Martin Riches. Bovendien bevat het robotorkest eigenlijk al vrij veel met labiaalpijpen opgebouwde orgels, waardoor het ontbreken van een fluit in het orkest niet echt als een gemis werd aangevoeld. Op mijn 68ste verjaardag echter, kreeg ik van Lara Van Wynsberghe toch wel een dwarsfluit cadeau. In redelijk goede staat nog wel, een eenvoudig instrument van Rampone & Cazzani gebouwd in Milaan. We begonnen het toch weer te overwegen... Vooral ook, omdat door de toevoeging van een heuse dwarsfluit aan het robotorkest, we afgezien dan van de problematische strijkers, daarmee alle vaste instrumenten van het symfonisch orkest zouden hebben geautomatiseerd.

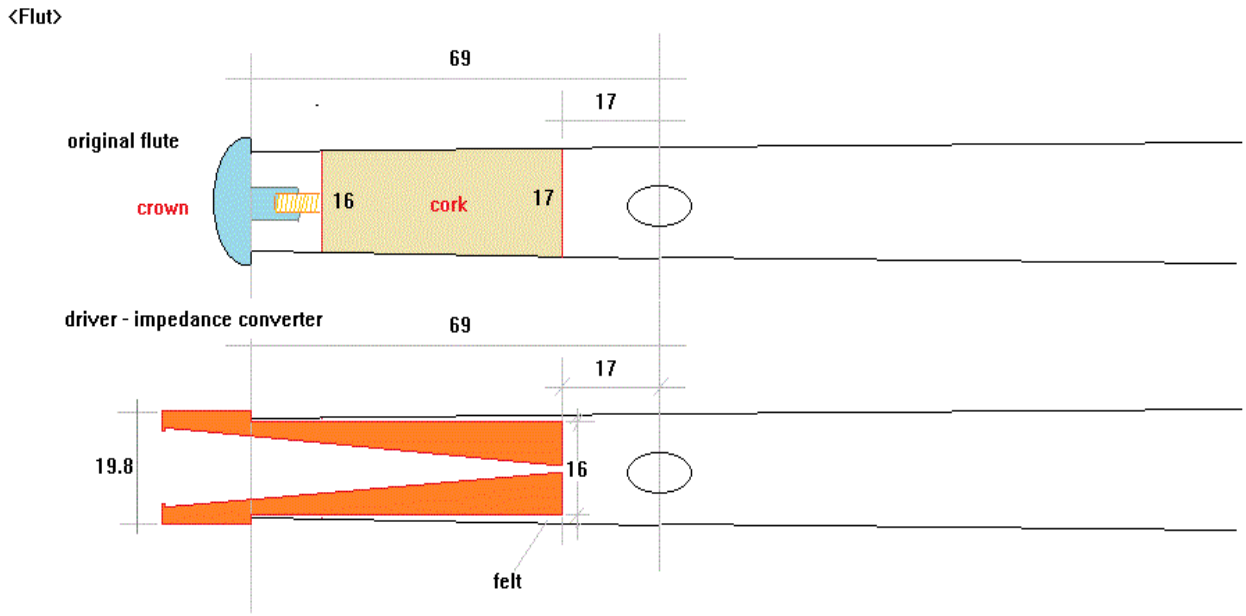
Automatisering van het mechanisme lijkt een vrij rechttoe rechtaan ontwerp te zijn, aangezien we kunnen putten uit onze ervaringen met de automatisering eerder van de hobo, de klarinet, saxofoons en de fagot. Voor een dwarsfluit kunnen we volstaan met 14 elektromagneten. De kleppen en het bestaande mechanisme kunnen we daarbij integraal behouden. Het aanblazen evenwel stelt bijzondere moeilijkheden en vormt een probleem dat we zelf nooit eerder aanpakten. De luchtstroom moet immers niet alleen snel en plastisch moduleerbaar zijn, maar ook de richting van de luchtstroom en de diameter ervan moeten goed en soepel bestuurbaar zijn.

In totaal blijken er minstens vier vrijheidsgraden van beweging noodzakelijk te zijn: de afstand tussen de opening van de luchtstroom en de rand van het mondstuk, de hoek waaronder de luchtstroom op de rand gericht wordt, de luchtdruk / debiet van de luchtstroom, de articulatie van de luchtstroom. Uiteraard is de constructie van de automatische fluit van Martin Riches ons goed bekend. Die was immers reeds in 1978 te gast bij Stichting Logos. Die constructie vermocht evenwel slechts het laagste octaaf van de fluit te laten klinken. Overblazen was niet mogelijk, omdat de hoek waaronder het aanblazen gebeurt niet kon gewijzigd worden. Variatie van de

luchtdruk was wel mogelijk binnen bepaalde en erg beperkte grenzen. De mogelijkheden op gebied van articulatie waren uiterst beperkt.



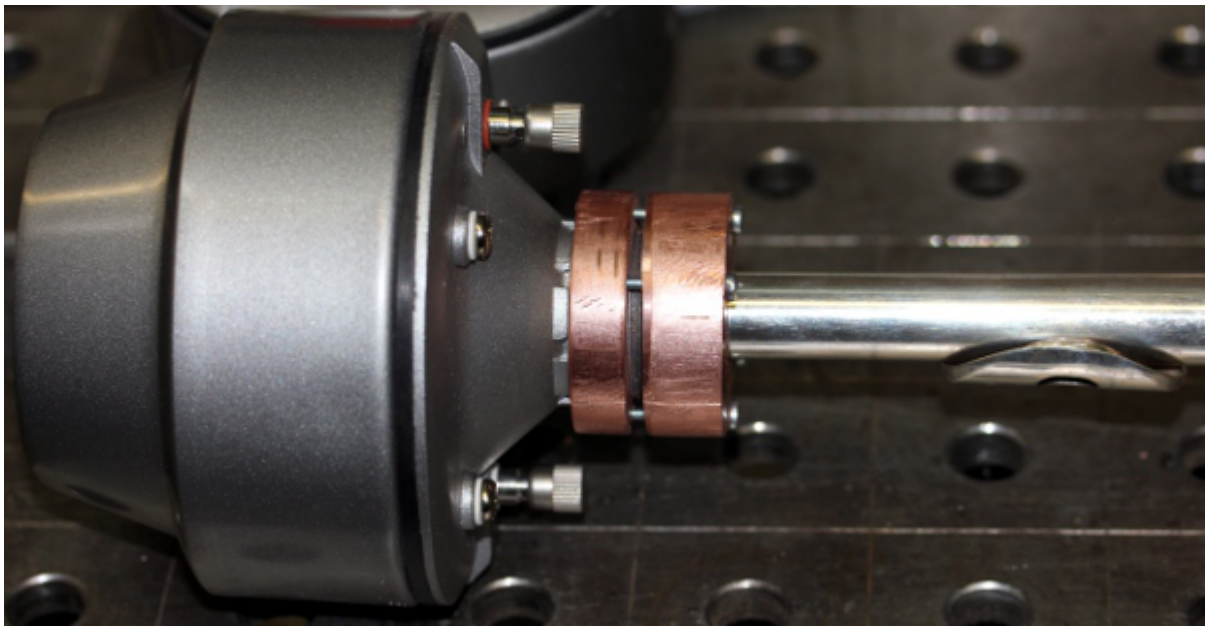
Een alternatieve aanpak zou erin kunnen bestaan, pulserende lucht op de rand van het mondstuk te richten en zo resonantie in de fluit te bekomen. In dit geval hebben we geen blazende luchtstroom nodig. Ook zou kunnen worden geprobeerd om de buisresonantie op de wekken via een membraancompressor met Laval-tuit op de plaats waar de stop zich bevindt. Hier is een schets voor zo'n constructie:



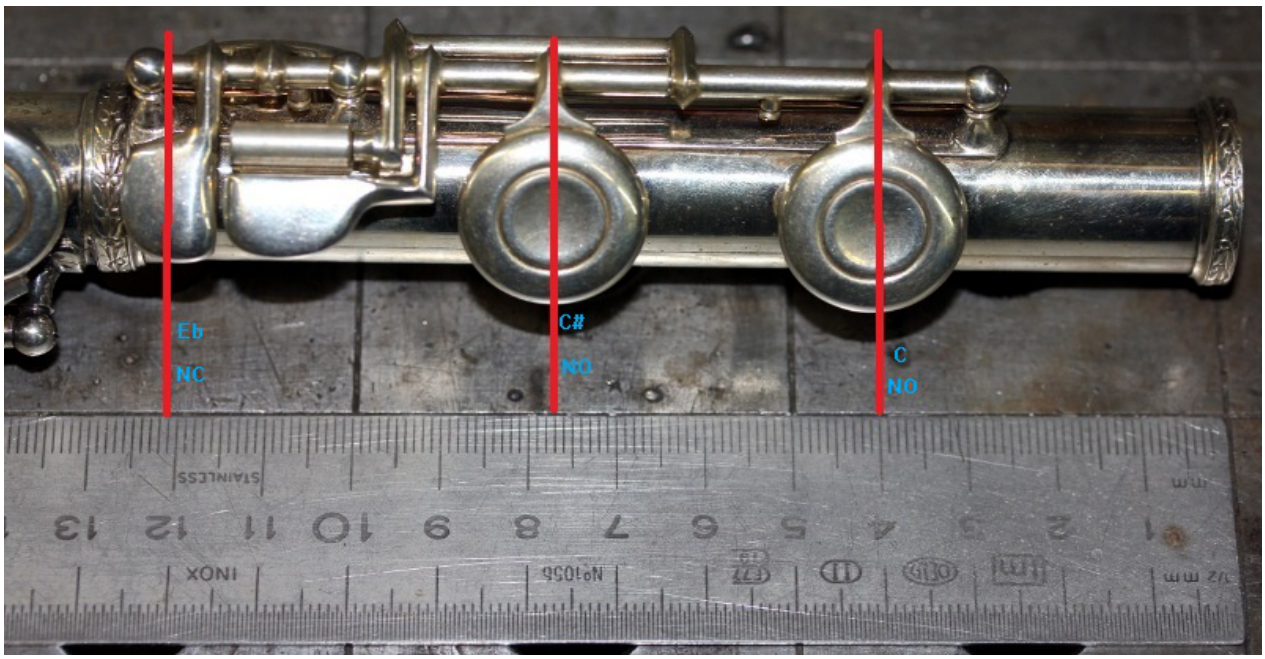
Onze eerste experimenten deden we dan ook met een dergelijke constructie. Zaak bleek wel de opening van het capillair aan het uiteinde van de Laval-tuit zo klein mogelijk te houden zodat de 'stop' zich toch zoveel mogelijk als akoestisch gesloten zou gedragen. Hier is een foto:

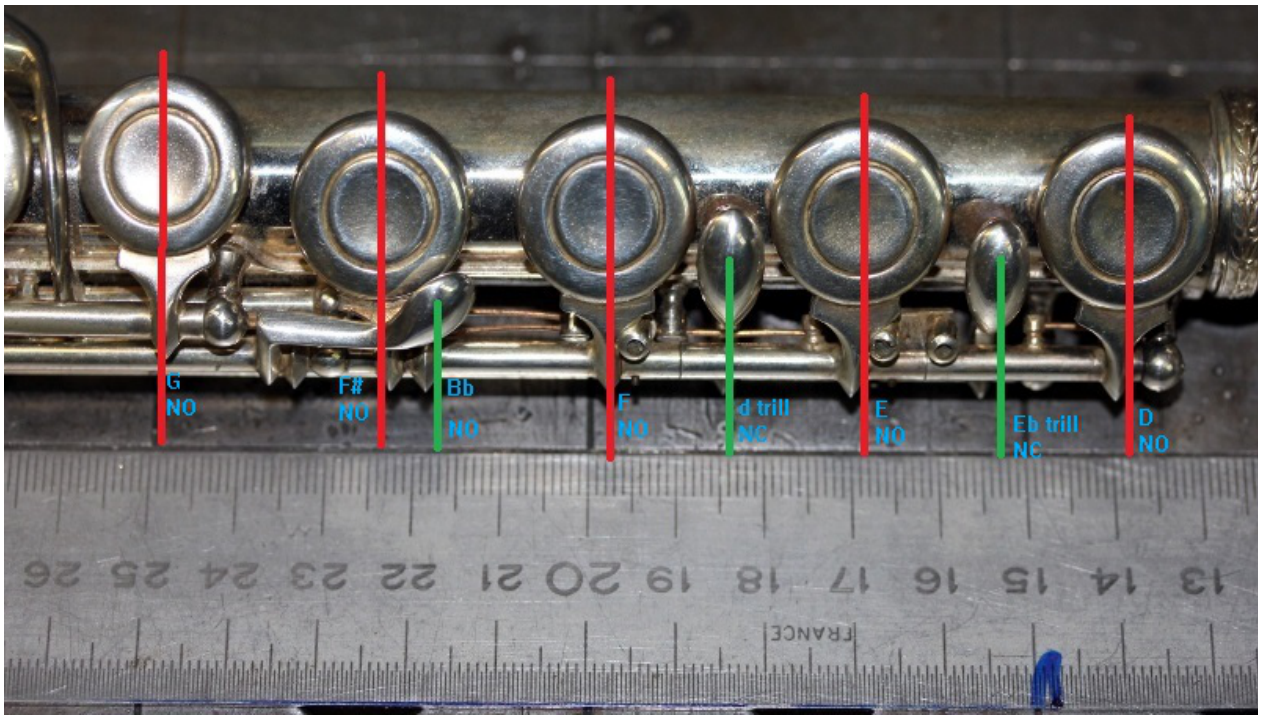


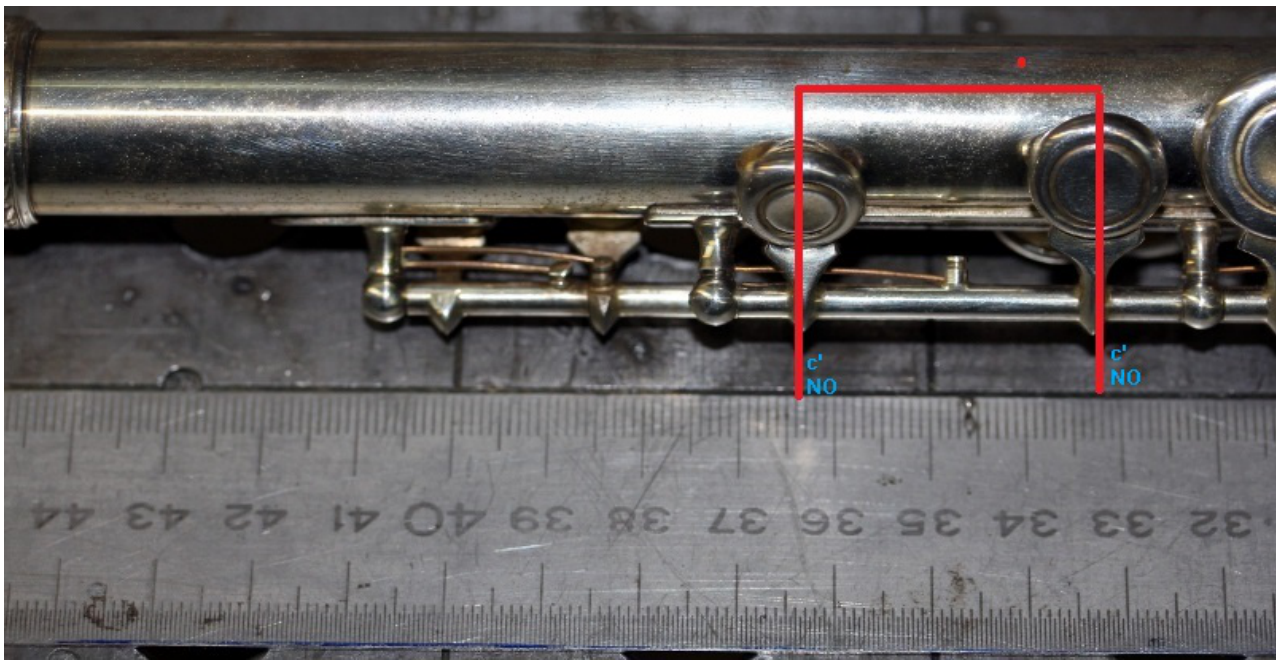
Het capillair aan de smalle kant is 10 mm lang en heeft een diameter van 3 mm. Het aanblaasgat blijft in deze constructie open en vrij zodat de fluit zich akoestisch blijft gedragen als een aan beide zijden open buis. Aangezien de rand van het klankgat hier niet wordt gebruikt, valt ook het typische ruis-geluid eigen aan de fluit hier weg. Dit diende dan ook in de firmware voor de membraancompressor te worden geïmplementeerd. Hier is een foto van de gemonteerde driver:



De maatvoering voor de plaatsing van de elektromagneten konden we eenvoudig afleiden uit volgende foto's:


Eb
NC
C#
NO
C
NO


G
NO
F#
NO
Bb
NO
F
NO
d trill
NC
E
NO
Eb trill
NC
D
NO



Implementatie van de vingerzettingen:

We zagen af van het automatiseren van de trillerkleppen voor re en re# in het tweede octaaf omdat een zinnig gebruik daarvan vergt dat we vooruit kunnen kijken in de te spelen muziek, iets wat voor een real time robot vrijwel onmogelijk is. De kleppen voor Eb en G# zijn (naast de niet als dusdanig geïmplementeerde, maar wel geautomatiseerde trillerkleppen) in rust gesloten. Alle andere zijn open in rust.

noot	C-klep	C#	Eb	D	E	F	F#	G		A	Bb	c	B (duim)	tril D	tril D#	nr.coils
60 - C	on	on	off	on	on	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	9
61	off	on	off	on	on	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	8
62	off	off	off	on	on	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	7
63	off	off	on	on	on	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	8
64	off	off	on	off	on	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	7
65	off	off	on	off	off	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	6
66	off	off	on	on	off	off	off	on	off	on	(on)	on	on	off	off	6
67	off	off	on	off	off	off	off	on	off	on	(on)	on	on	off	off	5
68	off	off	on	off	off	off	off	on	on	on	(on)	on	on	off	off	6
69	off	off	on	off	off	off	off	off	off	on	(on)	on	on	off	off	4
70	off	off	on	off	off	on	off	off	off	off	on	on	on	off	off	4
71	off	off	on	off	off	off	off	off	off	off	off	on	on	off	off	3
72 - c	off	off	on	off	off	off	off	off	off	off	off	on	off	off	off	2
73	off	off	on	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	1
74	off	off	off	on	on	on	(on)	on	off	on	(on)	off	on	off	off	6
75	off	off	on	on	on	on	(on)	on	off	on	(on)	off	on	off	off	7
76	off	off	on	off	on	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	7
77	off	off	on	off	off	on	(on)	on	off	on	(on)	on	on	off	off	6
78	off	off	on	on	off	off	off	on	off	on	(on)	on	on	off	off	6
79	off	off	on	off	off	off	off	on	off	on	(on)	on	on	off	off	5
80	off	off	on	off	off	off	off	on	on	on	(on)	on	on	off	off	6
81	off	off	on	off	off	off	off	off	off	on	(on)	on	on	off	off	4
82	off	off	on	off	off	on	(on)	off	off	off	off	on	on	off	off	4
83	off	off	on	off	off	off	off	off	off	off	off	on	on	off	off	3
84 -c"	off	off	on	off	off	off	off	off	off	off	off	on	off	off	off	2

85	off	off	on	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	1
86	off	off	on	off	off	off	off	on	off	on	(on)	off	on	off	off	4
87	off	off	on	on	on	on	(on)	on	on	on	(on)	on	on	off	off	9
88	off	off	on	off	on	on	(on)	off	off	on	(on)	on	on	off	off	6
89	off	off	on	off	off	on	(on)	on	off	off	(on)	on	on	off	off	5
90	off	off	on	on	off	off	off	on	off	off	(on)	on	on	off	off	5
91	off	off	on	off	off	off	off	on	off	on	(on)	on	off	off	off	4
92	off	off	on	off	off	off	off	on	on	on	(on)	off	off	off	off	4
93	off	off	on	off	off	on	(on)	off	off	on	(on)	off	on	off	off	4
94	off	off	off	off	off	on	(on)	off	off	off	(on)	off	on	off	on	3
95	off	off	off	off	off	off	off	on	off	off	(on)	on	on	on	off	4
96 - c'''	off	off	off	off	off	on	(on)	on	on	on	(on)	on	off	off	off	5
97	off	off	on	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	1
98	off	off	on	off	off	off	off	on	off	on	(on)	off	on	off	off	4
99	off	off	on	on	on	on	(on)	on	on	on	(on)	on	on	off	off	9
100	off	off	on	off	on	on	(on)	off	off	on	(on)	on	on	off	off	6
101	off	off	on	off	off	on	(on)	on	off	off	(on)	on	on	off	off	5
102	off	off	on	on	off	off	off	on	off	off	(on)	on	on	off	off	5
103	off	off	on	off	off	off	off	on	off	on	(on)	on	off	off	off	4
104	off	off	on	off	off	off	off	on	on	on	(on)	off	off	off	off	4
105	off	off	on	off	off	on	(on)	off	off	on	(on)	off	on	off	off	4

Met behulp van 15 elektromagneten kan het hele mechanisme volledig geautomatiseerd worden. Dertien kleppen kunnen met duwmagneten van onderuit bediend worden. De duimklep en de G# klep moeten wat zijdelings worden gemonteerd. Voor de besturing van de meeste kleppen besloten we kleine Lucas-Ledex ronde solenoïdes, type 195203-234 te gebruiken, hetzelfde type dat we eerder al gebruikten voor onze <Spiro> robot.

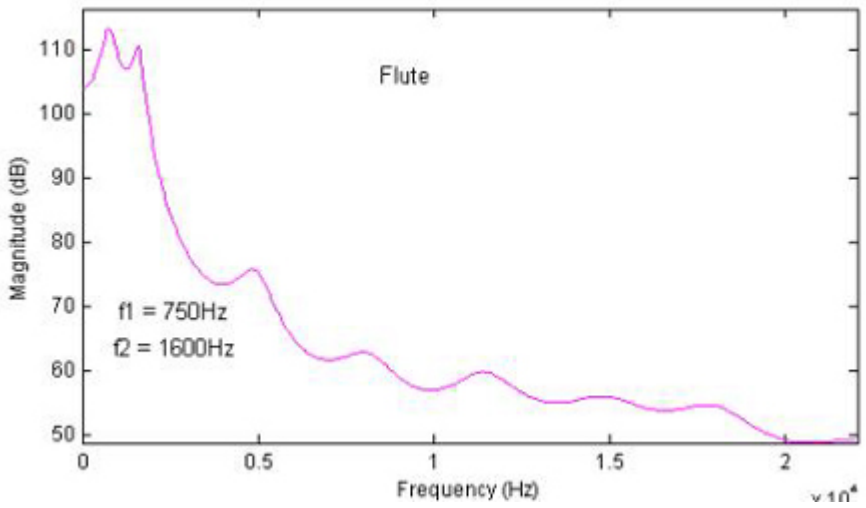
Het bewegingstraject nodig voor de kleppen van de fluit is ca.3 mm en voor geen enkele klep groter dan 5 mm. Dit brengt de responstijd van de kleppen (50% duty cycle bij een 24V voedingsspanning) op 7.5 ms. Een gevolg hiervan is dat we bij gewijzigde vingerzetting voor de productie van een toon, de excitatie door de membraancompressordriver met een vertraging van 8 ms moeten laten geschieden. Om dat bereiken werd een intelligente vertragingslijn geïmplementeerd in de code voor het hub-board. 'Intelligent', want er wordt wel degelijk rekening gehouden met de muzikale context en de al dan niet gewijzigde vingerzettingen.

klep	solenoid	control	rest position
C	1/2"	Hub board	open
C#	1/2"	Pulse-Hold board out1	open
Eb	5/8"	Hub board	closed
D	1/2"	Pulse-Hold board out2	open
E		Pulse-Hold board out3	open
F		Pulse-Hold board out4	open
F#		Hub board	open
G		Pulse-Hold board out5	open
G#	5/8"	Hub board	closed
A		Pulse-Hold board out6	open
Bb		Hub board	open
c		Pulse-Hold board out7	open
B	Laukhuff traktuurmagneet	Hub board - duim	open

d		Pulse-Hold board out8	closed
d#		Pulse-Hold board out9	closed
lips	Ledex Softshift	Hub board	open

Om de expressiemogelijkheden te vergroten, ontwierpen we een regelklep waarmee de opening van het aanblaasgat kan worden gemoduleerd. De klep is gemaakt uit siliconenrubber om wat te gelijken op menselijke lippen. De besturing gaat met een kleine soft-shift elektromagneet aangedreven met een PWM signaal. Tremolo is op deze wijze mogelijk. Voor een echt Flatterzunge is de modulatiediepte net iets te klein. Tijdens de bouw van deze robot viel het ons op dat wanneer we deze klep volledig sluiten, het toonbereik met een octaaf in de laagte kan worden uitgebreid. De fluit gedraagt zich dan immers als een gesloten pijp. Uiteraard komt de klankkleur in dit register niet meer overeen met die van een fluit maar veeleer met die van een klarinet.

Uiteraard deden we wat opzoekingswerk m.b.t. de akoestiek van de fluit. Voor wat betreft de formant, geven diverse auteurs verschillende resultaten. Bachus houdt het bij een enkele formant-frequentie rond 800Hz, anderen geven bvb. Dit:



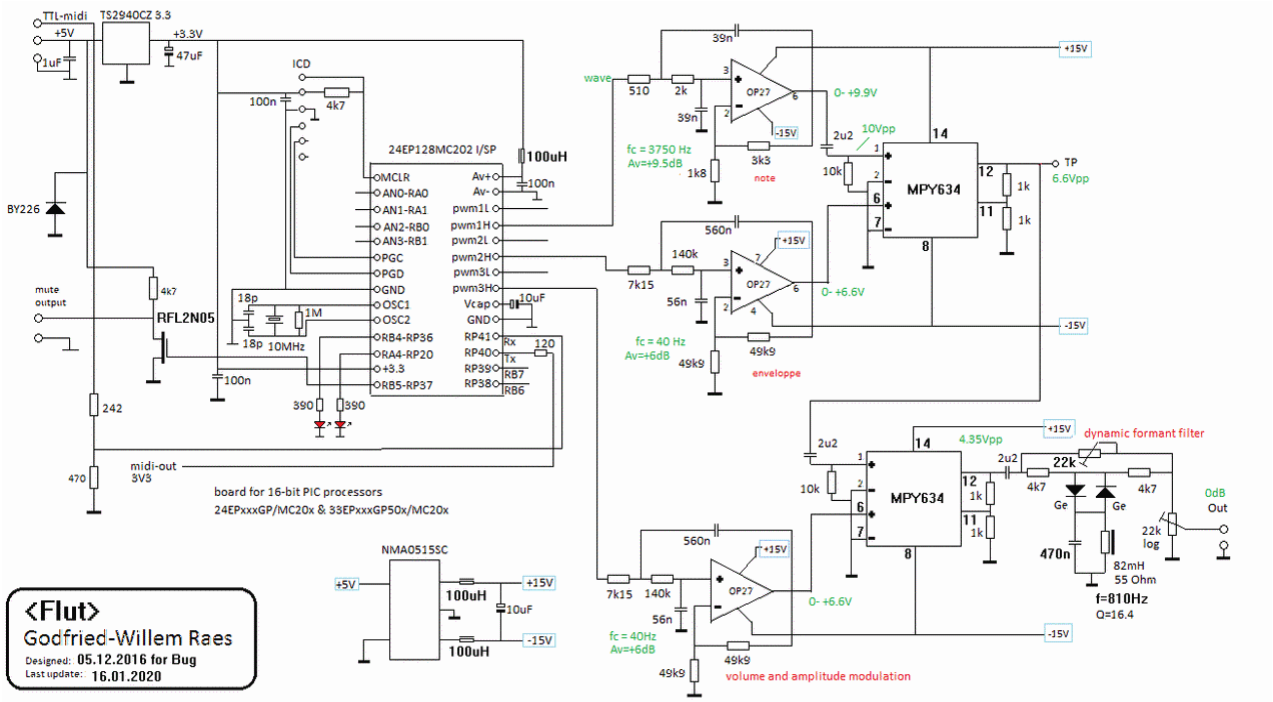
, waarbij in elk geval opvalt dat de tweede frequentie 40dB onder die van de eerste ligt. Gezien die grote afstand verzaakten we aan de implementatie van die tweede formant frequentie in het ontwerp van de hardware voor de driver. We hielden bij bouw en ontwerp van het aansturingsmechanisme terdege rekening met de verschillende registers van de dwarsfluit. Zo klinken de noten 48-59 wat klarinetachtig, het laagste octaaf (60-71) heeft meer ruis en een meer uitgesproken octaafharmoniek, het medium register (72-92) heeft de karakteristieke fluitklank en voor het extreem hoog register (93-105) wordt het wat schriel.

De besturingselektronica bestaat uit volgende hardware modules:

- Midi parser en hub board (18F2620). Dit is gelijkaardig aan wat we voor zowat alle vroegere robots bouwden.

- Kleppen besturingsboard (14-output pulse/hold board) (18F4620). Ook hier was helemaal geen nieuw ontwerp nodig, maar konden we voortbouwen op wat we ineen staken voor <Fa>.

- Membraan-compressor driver: 16-bit processor (24EP128MC202). Aan dit stukje elektronica werden bij elk nieuw ontwerp weer een of ander gedeelte gewijzigd. Hierbij de versie zoals opgebouwd voor <Flut>:



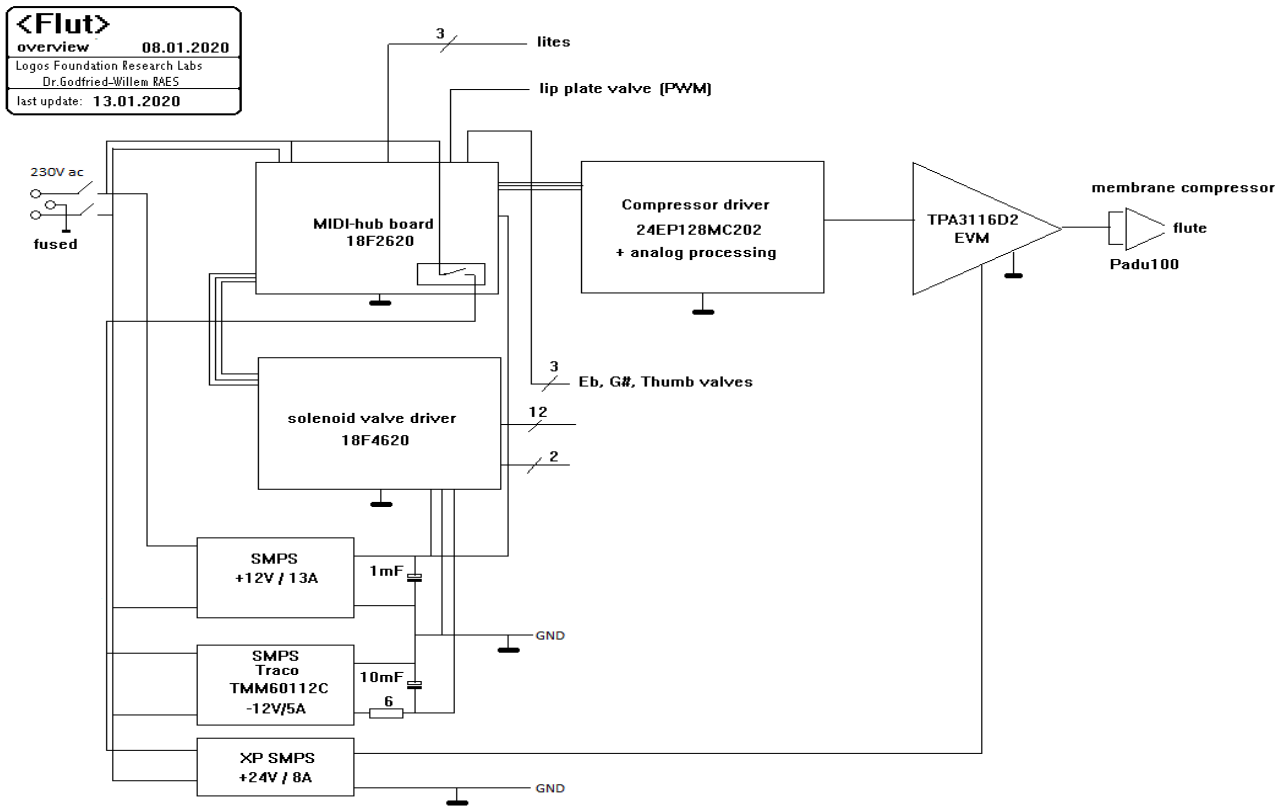
Door de werking van het dynamisch formant filter (volledig analoog opgebouwd), is de klankkleur hier mede een functie van de geluidsterkte, net zoals dat het geval is bij een 'gewoon' bespeelde dwarsfluit. De toonhoogtebepalende sample rate van pwm1 samen met de pulsbreedte modulatie zelf bepalen de golfvorm. De sample rate is hier 128 x de frequentie van de te genereren toon. Pwm2 genereert de omhullende signalen (ADSR) die na filtering een eerste analoge multiplier aansturen. Pwm3 wordt ingezet voor de sturing van de geluidsdruk. Ook dit signaal wordt naar een analoge multiplier gestuurd.

- Vermogensversterker

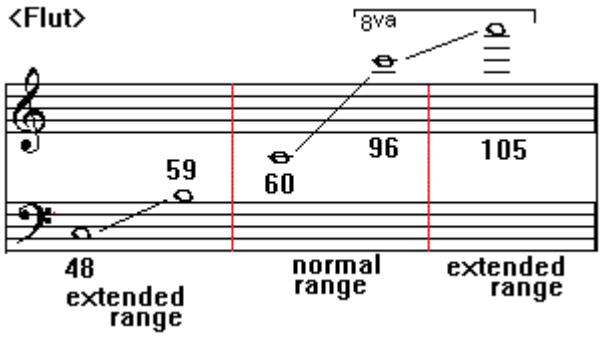
Dit is een zuiver digitale audio eindversterker, gebruikt in een brug configuratie voor monofone signalen. Het board ontwierpen we niet zelf, maar we maakten gebruik van een 'development board' aangeboden door de chip fabrikant zelf, in dit geval Texas Instruments.

- Voeding

Overzicht:



Midi implementatie:



Midi kanaal: 14

- •note off, release geïmplementeerd (= decay time)
- •note on, aanslagsnelheid geïmplementeerd (= sustain level)
- •wind ruis controller #1
- •lip controller #2 (deze controller werkt alleen voor het toonbereik 60 tot 96, voor de noten 48 tot 59 is de klep steeds gesloten)
- •vibrato controllers #3 , #4
- •tremolo controllers #5, #6
- •volume controller #7 [default setting = 84]
- •attack time controller #16
- •attack level controller:#17.
- •decay time controller #18
- •release time controller #19

•tuning controller #20 (default = 64, voor 440Hz)
•aanslagkracht voor de kleppen #25 (default = 40)
•controller #66: power on/off with controller reset
•controller #69: schakelaar voor automatisch licht on/off. Default: on.
•controller #123 for all notes off.
•pitch bend (1/4 toon omhoog of omlaag) Pitch bend is alleen mogelijk voor een noot die klinkt, dus na een note-on commando.

Medewerkers:

Lara Van Wijnsberghe

Technische gegevens:

•afmetingen: w: 835 x d: 180 x h: 420 (in mm)
•gewicht: 20 kg
•Opgenomen vermogen: 100 - 240 V ac / 100 W. In rust ca. 5 W.
•Stemming: A = 440 Hz (1 cent nauwkeurig). Andere mogelijke stemmingen: 435, 438, 442, 445Hz evenals kwarttoon lager of hoger
•Bouwjaar: 2018
•verzekeringswaarde: 16.500 Euro.

<So>



In het Logos robot orkest hadden we al heel vroeg behoefte aan wat meer variatie in de heel lage basinstrumenten, niet in het minst voor de verklanking van de opening van mijn apero – of anti-opera - 'Technofaustus'. Alleen de <player piano>, <bourdonola> en <Vox Humanola> beschikten rond het jaar 2000 over een in de laagte redelijke bas. Nu is het maken van lage instrumenten op zich eigenlijk technisch eenvoudiger dan hoge vanwege de geringere eisen gesteld aan de precisie bij de bouw, maar... de afmetingen ervan swingen al snel werkelijk de pan uit. Om midi noot 24 voort te brengen met open luchtkolommen bijvoorbeeld, heb je gauw een bouwhoogte nodig van ca. 6 meter... Tongwerken anderzijds klinken wanneer ze klein worden gemaakt, gauw erg nasaal en uiterst boventoonrijk, waardoor ze niet goed als dragende bassen aan te wenden zijn. De bezoekers van de Logos concerten zullen dit ook wel al hebben opgemerkt bij het horen van de klanken van

<Vox Humanola>, <Trump> en van <Krum>. Vandaar het idee om werk te maken van een geautomatiseerde bastuba. Een tuba, het instrument bij uitstek voor de verzorging van sterke dragende bassen, hadden we wel niet in onze instrumentenverzameling, maar een (helaas erg versleten) Sousafoon, ooit eens op de rommelmarkt gekocht voor een prikje, hing nog ergens in onze traphal sieraad te wezen. Nadere inspectie leerde ons dat het om een Bes instrument ging voorzien van 3 ventielen. Automatisering van die ventielen bleek een erg eenvoudige klus, maar het vinden van een adequaat klankvormingsmechanisme had heel wat meer voeten in de aarde. Na heel wat research met namaaklippen in rubber, siliconen en neopreen, kleppen in koper, mica en teflon, kwamen we terecht bij een reeds in de 19e eeuw bekend mechanisme voor toonopwekking: dat van het diaphaan register in sommige Britse orgels. Het toongat, in ons geval het mondstuk van de sousafoon, wordt daarbij door een zachte en juist sluitende klep heel erg snel geopend en gesloten. Dat klinkt zo'n beetje zoals je met de palm van je hand op het mondstuk slaat: een zachte slaptongue op het instrument. Nu was het zaak deze klep tegen de juiste snelheid, overeenkomstig de resonantiefrequentie van het instrument, te laten trillen. Elektromagneten bleken hopeloos te traag: we haalden nooit snelheden groter dan ca. 40Hz. Dan maar de zaak omgekeerd aangepakt: vaste magneet en lichte beweeglijke spoel. Zo hadden we ei zo na opnieuw de luidspreker uitgevonden natuurlijk... Hier echter, wordt niet een membraan in beweging gebracht door de spoel, maar uitsluitend de in siliconenrubber uitgevoerde afsluitklep voor het mondstuk. Deze klep vormt eigenlijk het equivalent van de lippen waarmee het mondstuk bespeeld wordt. Dit bleek prima te werken en liet ons de mogelijkheid ook lucht opgewekt door een radiale compressor aan de achterzijde toe te voeren. De sousafoon wordt op die wijze ook echt aangeblazen. De pedaalnoten (midi 15 tot 22) bleken met ons op deze wijze opgebouwd artificieel hoofd uitstekend speelbaar: voor menselijke spelers zijn die tonen zo goed als onhaalbaar). Alleen om snel van lage naar hoge noten te kunnen overgaan, konden we geen snel genoeg reagerend drukventiel verzinnen. De radiale compressor is weliswaar in druk regelbaar gemaakt, maar door de inertie van de schoepen, reageert die eerder traag op wisselende winddrukcommando's. De tessituur moest dus beperkt blijven tot de diepere regionen van de muziek (tot hooguit, en niet zonder enige moeite, midi noot 47).

Als speels extraatje hebben we onderaan deze robot een houten leest – aan de onderzijde met ijzer bekleed - gemonteerd, die bekrachtigd door een elektromagneet, de maat kan tikken op de grond; 't heeft voorwaar iets menselijks zo... Ook enkele LED-spotjes werden toegevoegd om de visuele aantrekkelijkheid nog iets te vergroten.

De <So> robot, hoewel er reeds met de bouw begonnen was in 1999, werd pas op het 21 augustus 2003 concert van het Logos robot ensemble voor het eerst officieel ten doop gehouden. In de daaropvolgende weken werden nog vele verbeteringen in de werking van de robot aangebracht. Hij groeide zowaar op. In 2005/2007 onderging <So> een eerste complete 'redesign' en upgrade (Versie 2) , waardoor hij nu ook naar een standaard midi protocol luistert en ook de ventielen grotendeels van bijgeluiden werden ontdaan. Het was als het ware zijn puberteit. De tweede bouwfaze met verdere verbeteringen werd na heel wat research en experimenteel werk, afgerond in de zomer van 2007. In deze upgrade werd <So> voorzien van tooninflectiemogelijkheden (via pitchbend), klankkleurmogelijkheden, en van een groot 2-digit display voor communicatie met live musici en/of dansers in het robotorkest. <So> kon van nu af ook worden gebruikt in kwarttoonsmuziek en heel wat 'extended' techniques waren nu ook mogelijk geworden. De correcte en muzikale besturing van <So> vergde evenwel vrij veel inzicht en begrip van koperblaasinstrumenten van de componist. De robot kon zeker niet beschouwd worden als een midi-synth waar je zowat eender welke commando's kon op loslaten. De volledige documentatie van die midi-implementatie is opgenomen in de Engelse tekst op de <So> webpagina en diende zeker door belangstellende componisten doorgenomen te worden. Om componisten toch enigszins op weg – en ook wat in toom - te houden, voorzagen we <So> echter van een heel grote analoge meter waarop het vermogen toegevoerd aan de mond kan worden afgelezen. De naald van deze meter mag nooit tegen het maximum (10)

aanlopen. Overtredingen hiervan kunnen de robot ernstig beschadigen. Voor '*quick-and-dirty*' componisten en eerste vlugge schetsen, voorzagen we <So> toen ook al van een aantal gestandaardiseerde *presets*.

In februari en maart 2020 ondernamen we alweer een erg grondige revisie van deze robot. Het lip-mechanisme bleek na bij 20 jaar dagelijks gebruik helemaal versleten en ook andere aspecten van de klankvorming waren stilaan aan een upgrade toe. Uitgaand van eerdere succesvolle ontwerpen en realisaties (o.m. <Ob>, <Klar> en <Bono>) ontwikkelden we een veralgemeenbare teorie voor de bepaling van de excitatie in de klankopwekking wanneer daarvoor membraancompressoren gebruikt worden.

De methode gebruikt voor de ontwikkeling van <So> verliep in enkele stappen alsvolgt:
1. Ontwerp van de membraancompressor - Lavaltuit combinatie. De lavaltuit met capillair vormt een akoestische impedantietransformator die voor elk instrument opnieuw ontworpen en gedimensioneerd dient te worden. Voor <So> verving die de onder winddruk geplaatste mondholte met siliconenlipplaat die tegen het mondstuk tot trillen werd gebracht.
2. Voor een reeks toonhoogtes binnen het gewenste tessituurbereik voor <So>, exciteerden we het instrument met een zuiver sinusvormig signaal, waarbij uiteraard de juiste vingerzettingen moeten worden toegepast. Het was van groot belang de uitsturing zo groot mogelijk te maken, zonder de driver echter te overbelasten, want dan traden ongewenste vervormingen op. Vervolgens maakten we een opname van de akoestische output van het instrument (op 1m afstand van de bron, reflectievrije ruimte, meetmicrofoon) en sloegen die op als .wav bestanden (44.1kS/s, 16 bit) op een gewone PC.
3. Middels een programma voor audiobewerking, knipten we uit elk opgenomen sample 8 volledige periodes. We zorgden ervoor dat ze in fase werden gebracht met het sinus signaal gebruikt voor de uitsturing.
4. De bestanden werden omgezet in genormaliseerde arrays. Ak(). Software daarvoor maakt deel uit van de bibliotheken voorhanden in ons eigen GMT programma dat vrij te downloaden is.
5. Berekend werden nu een reeks arrays waarin het verschil tussen de sinusgolf en de opgenomen golf worden opgeslagen. Dif() = Ak() - Sin()
6. Het bruikbare excitatie signaal voor de membraancompressor van <So> werd vervolgens berekend alsvolgt: Ex() = Sin() - Dif() = 2.Sin() - Ak().
7. Dan analyseerden we de golfvorm van het instrument zoals het door een menselijke bespeler klinkt. Voor die opnames moet bij voorkeur hetzelfde instrument dat moet worden geautomatiseerd gebruikt worden. In het geval van de <So> robot was niet evenwel bezwaarlijk, omdat de gebruikte sousafoon door de manier waarop hij was ingebouwd, niet langer menselijk te bespelen was. We gebruikten dan maar een andere sousafoon. We maten de precieze lengte van elke periode en bepaalden zo de aperiodiciteit. Die moest als jitter worden toegevoegd aan het excitatiesignaal.
8. Omdat de klank na deze werkwijze toch noch wat te wensen overliet, hernamen we de stappen 2 tot 6, maar nu met een opgenomen sample van het menselijk bespeelde instrument als excitatiesignaal.

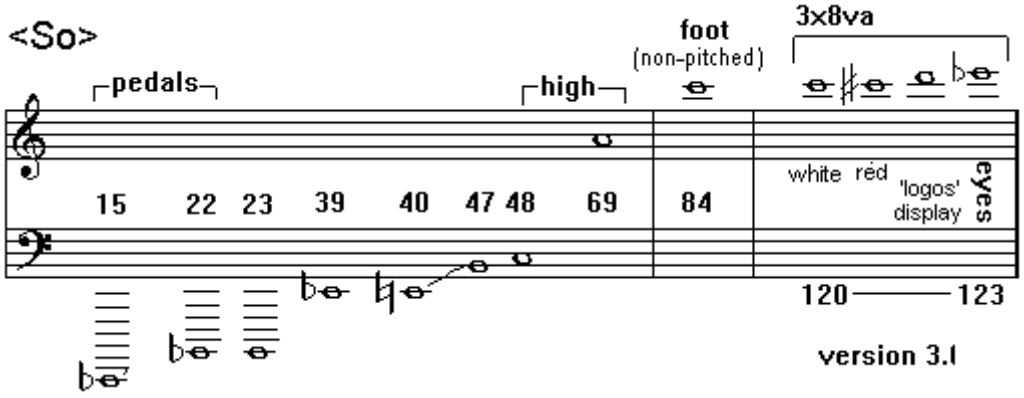
Gezien de gewijzigde instellingen van de controllers geïmplementeerd in deze versie 3, moeten bestaande midi-bestanden waarin <So> voorkomt, worden aangepast. Hier zijn alvast onze bevindingen en aanbevelingen:

- 1.- transponeer de versie 2 <So> partij een octaaf hoger.
- 2. - delete alle controller #1 settings.
- 3. - voor snelle partijen: controller 15 @ 32, controller 16 @ 12, controller 17 @ 120, controller 18 @ 20
- 4.- controller 7 @ 104
- 5.- als noot 48 (voetje) voorkomt, transponeer naar noot 84

•6.- als lichtjes gebruikt werden (noten 49,50,51) transponeer ze naar 120,121,122
•7.- verwijder alle program change commando's.
•8.- Begin de file met het versturen van controller 66, met waarde 64.
•9.- Sluit het bestand, na de laatste noot, met het versturen van controller 66 met waarde 0.

Voor de velocities moeten relatief hoge waarden gebruikt worden voor een goede klank.

Midi mapping en implementatie:



Naar de laagte toe, beperkten we de tessituur tot midi noot 15, overeenkomend met de laagste mogelijke pedaaltoon op de sousafoon. Het voetstapje werd gemapt op noot 84 en daarbij kan het velocity byte gebruikt worden om de slagkracht te bepalen. Hoewel de 'ogen' gemapt zijn op noot 123, werken die bij default automatisch en volgen ze de gespeelde tonen waarbij de lichtsterkte evenredig is met de geluidsterkte zoals bepaald met midi-controller 7.

Pitch-bend is geïmplementeerd, met een regelbereik van +/- 60 cents. Pitch bend commando's veranderen niets aan de ventielcombinatie die gebruikt wordt. De pitch bend is opgeheven vanzodra een nieuwe noot wordt gespeeld. Het volstaat alleen het msb uit te sturen hoewel de firmware werkt met een resolutie van 14 bit. Om een noot met een kwarttoon te verhogen, moet pitch bend verstuurd worden met msb = 118. Om de noot met een kwarttoon te verlagen, msb = 10.

Controller 1 stuurt het ruisaandeel in de klank
Controller 3: Vibrato diepte
Controller 4: Vibrato snelheid
Controller 5: Tremolo diepte
Controller 6: Tremolo snelheid
Controller 7: volumeregelaar. Het normaal regelbereik is 40dB, maar dat kan gewijzigd worden met controller 80.
Controller 13: laat toe de gebruikte ventielcombinaties te wijzigen.
Controller 15: stelt de periodetijd in voor het verloop van de omhullende van de klank. In snelle muzikale passages is het goed deze tijd eerder kort te houden. De parameter herschaalt alle instellingen van de ADSR controllers.
Controller 16, 17,18,19: ADSR controllers.
Controller 20: stelt de stemming in. Default = 64 voor 440Hz.
Controllers 34, 35,36, 37: stuurt de werkingsmodus van het numeriek display.
Controller 66: aan/uit schakelaar voor de robot.
Controller 80: stelt het dynamisch bereik in. Mogelijke bereiken zijn: 20dB - 30dB - 40dB - 50dB - 60dB. [Default= 64, voor een 40dB bereik]
Controller 123: schakelt alle klank en licht uit.

Medewerkers aan bouw en ontwikkeling van de <So> robot:

- Kristof Lauwers, Leonaar Degraeve, Moniek Darge, Xavier Verhelst, Kris De Baerdemacker, Johannes Taelman, Lara Van Wijnsberghe

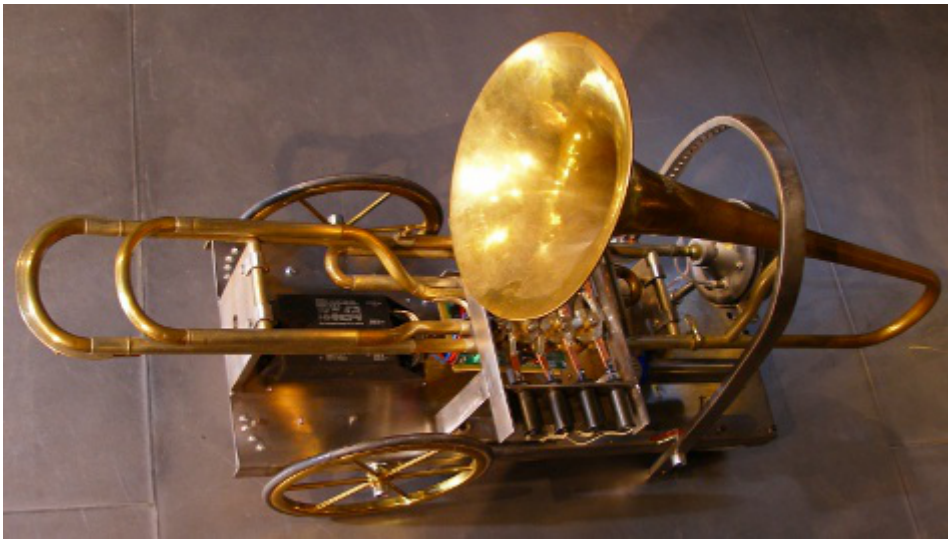
Muziek gecomponeerd voor <So>:

- Godfried-Willem Raes "So What" (2003)
- Godfried-Willem Raes "GestroSo"
- Godfried-Willem Raes "SQE v STO 4 QR" (2003)

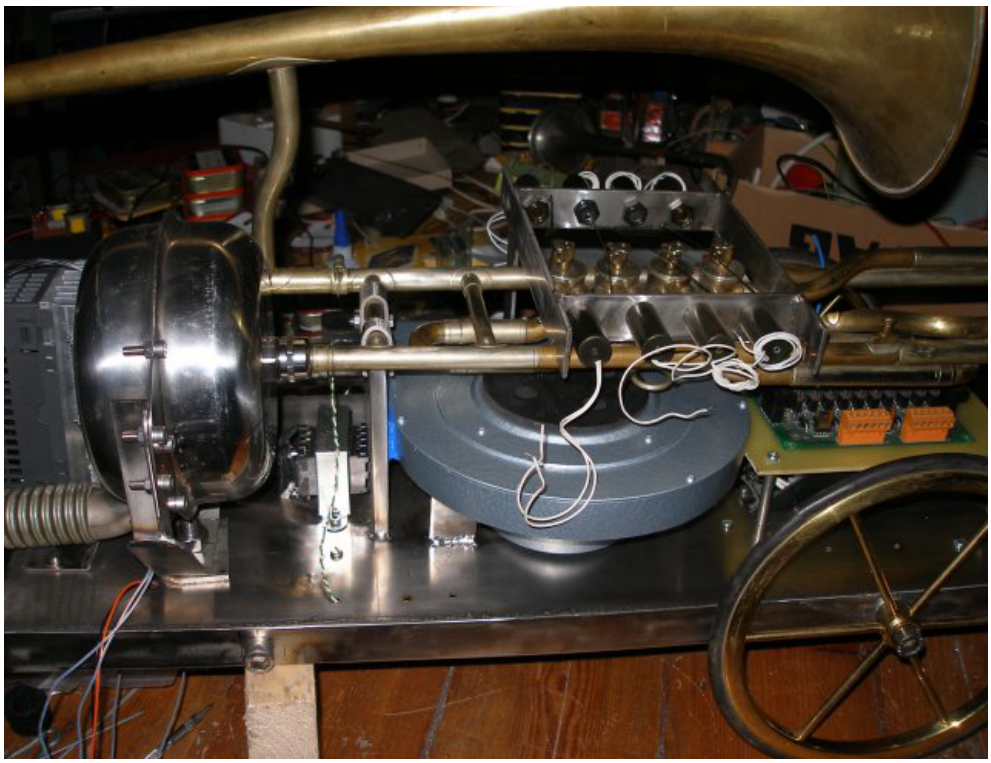
Technische eigenschappen:

- maten: basis 700mm x 700mm, hoogte 2200mm
- gewicht: ca.70kg
- elektrisch: 230V ac / 240W piek, nominaal 85W.
- bouwjaar: 1999
- verzekerwaarde: 14.500 €

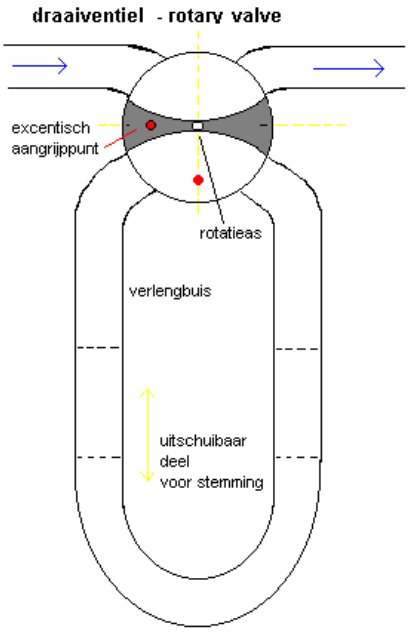
<Bono>



In het robot orkest hadden we al snel behoefte aan wat meer variatie in de lage blaasinstrumenten, in dit tessituurgebied domineerden immers alleen <So> en de toch heel wat minder responsieve <Bako>, het basaccordeon. Voor deze automatische ventieltrombone gebruikten we bij onze eerste experimenten – waarbij we zochten naar een alternatief voor het eerste mechanisme dat we ontwikkelden voor <So> - een persluchtmotor met drie schoepen als klankopwekkingsmechanisme. Deze persluchtmotor – hier gebruikt als kleine compressor - werd daarbij aangedreven door een uiterst nauwkeurige servo motor. De correctheid van de intonatie staat of valt immers met de precisie van deze motor en zijn aansturing. Zouden we een dergelijk systeem zonder meer toepassen, dan zou de luidheid van de voortgebrachte tonen een functie zijn van de toonhoogte, zoals dat het geval is bij de wat dat betreft welbekende sirene. Dit is muzikaal uiteraard niet erg wenselijk. Daarom is ook een regeling van de windinlaat van de compressor hier een absolute vereiste. Het mechanisme dat we zo opbouwden werkte naar toonkwaliteit erg goed en was in staat impressionante fortissimo's te genereren, maar leed aan een niet te vermijden traagheid bij het snel wisselen van toonhoogte. Een na enige tijd volstrekt onuitstaanbaar portamento bleef een inherente eigenschap van het concept. Daarom pasten we in de tweede versie opnieuw een moving coil driver toe, met windvoorziening, lippen en mondholte, een in een aantal opzichten verbeterde versie van die toegepast in <So> uit 2003. Dat zag er zo uit:



De resultaten in de hoogte van de tessituur bleven echter onbevredigend, zodat we in versie drie – de meest recente uit 2008 - overstapten naar het gebruik van een akoestische impedantietransformator gekoppeld aan een 100W compressiedriver. Hierdoor werd het oorspronkelijk ontwikkelde windmechanisme evenals de radiaal compressor overbodig.



De ventielen op deze bijzonder goed gebouwde trombone zijn draaiventielen. De Boheemse oorsprong van het instrument, gebouwd door V.F.Cerveny in Hradec Kralove in het huidige Tchechie, is daar uiteraard niet vreemd aan.

Daardoor kon echter niet hetzelfde mechanisme worden toegepast als bij <So>, die met drie duwventielen is uitgerust. Deze ventielen moeten immers over een hoek van 90 graden verdraaid worden om het ventiel om te schakelen. In de ontwerpfase onderzochten we grondig de verschillende mogelijkheden:

1.- Toepassing van duwmagneten op de bestaande hefbomen voor de vingers. Deze voor de hand liggende mogelijkheid dienden we te verwerpen vanwege de te grote traagheid: de terugslagveren moeten nu immers ook het gewicht van de magneetkern omhoogduwen. Bovendien leidde de overmaat aan hefboompjes en draaipunten tot veel bijgeluiden, wrijvingsverliezen, traagheid en onbetrouwbaarheid.

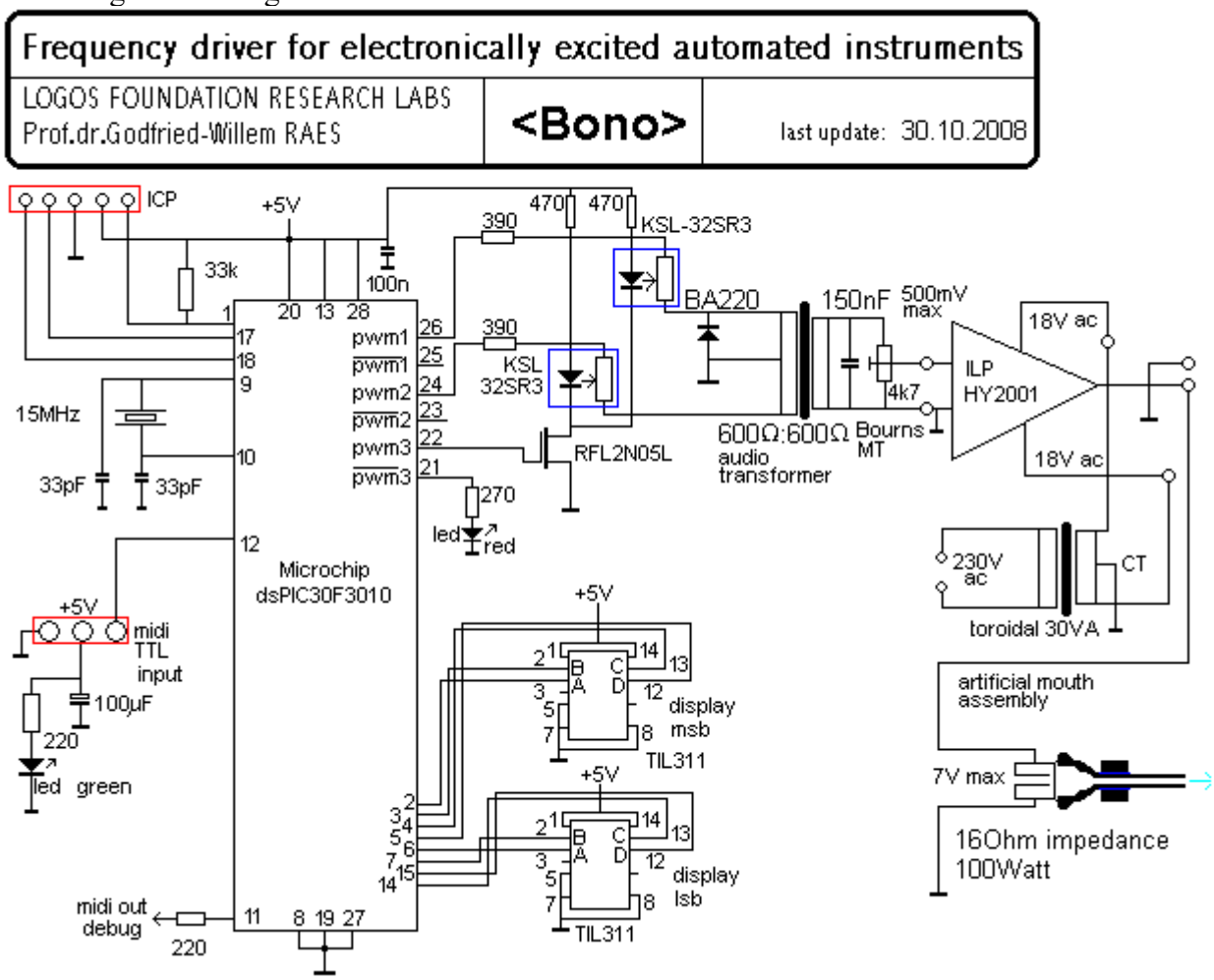
2.- Toepassing van draai-elektromagneten. Deze hebben echter standaard een hoekverdraaiing beperkt tot 45 graden. Negentig graden types zijn zeldzaam en extreem duur. Bovendien zijn ze lawaaierig bij het bereiken van hun eindpositie.

3.- Toepassing van stappenmotoren. Hiermee kunnen de ventielen gemakkelijk telkens over een hoek van 90 graden worden verdraaid. Maar, door torsie en wrijving bestaat de mogelijkheid dat de motoren op gezette tijden een of meer stappen missen waardoor de afregeling verloren gaat. Om dit te compenseren zijn dan weer positiebepalingssensoren nodig. We hebben een proefprojectje

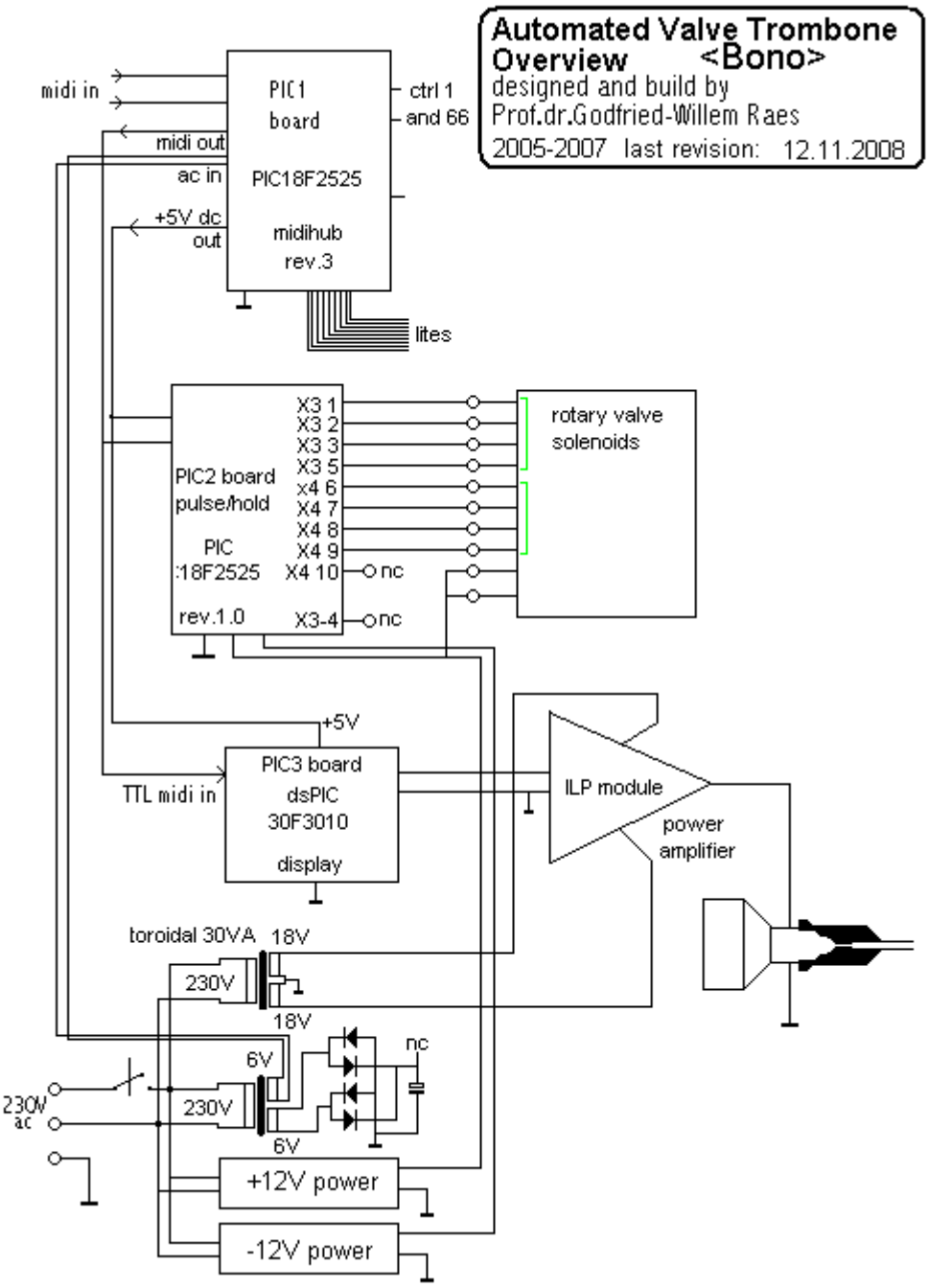
opgezet met stappenmotoren met een stapgrootte van 7.5 graden, maar de versnellings mogelijkheden van deze motoren bleek te klein om erg soepel met de ventielen te kunnen omgaan.

4.- Toepassing van dubbele trek of duw magneten aangrijpend in het excenter punt van de oorspronkelijke ventielen, waarbij dan het gehele originele hefboommechanisme wordt verwijderd. Hiervoor pasten we na veel experimenteren, Black Knight trekmagneten toe, voorzien van uit inox staaf geplooide trakturen. Om die te plooien ontwikkelden we zelfs een speciale plooimal. De trakturen dienen immers onderling identisch te zijn. De lineaire verplaatsing wordt nu 10 mm voor een draaihoek van 45 graden.

Deze robot maakt voor zijn interne besturing gebruik van drie microprocessoren: twee 18F2525 PIC's en een 30F3010 dsPIC voor de golfvormopwekking. Van meet af aan bouwden we <Bono> zo, dat het instrument ook probleemloos overweg kan met kwarttoonsmuziek en muziek in andere stemmingen in het algemeen.

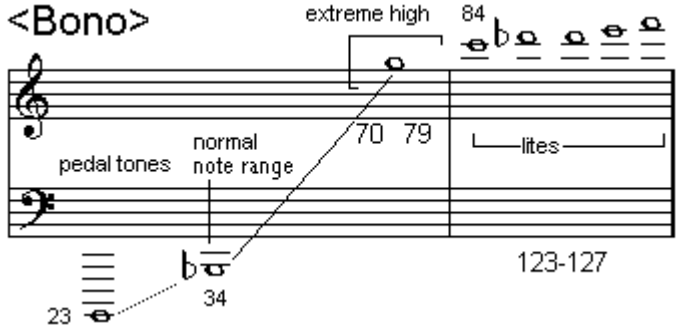


Een overzicht over het geheel van de elektronische besturing ziet er zo uit:



Om het nodige podiumoppervlak voor het robotorkest in de Logos tetraëder niet nog verder te vergroten, besloten we deze automaat te bouwen voor ophanging, hoewel opstelling op de bodem ook mogelijk is.

Midi mapping en implementatie:

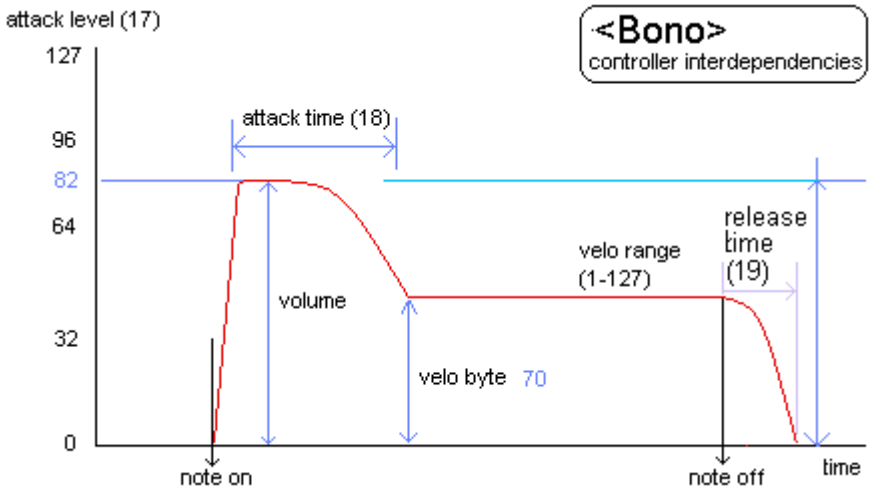


MIDI-kanaal: 13

Om een goede aanzet van de tonen te verkrijgen verdient het aanbeveling lage aanslagwaarden en een hoge instelling voor controller 17 in te stellen.

Controllers:

Controller 7: Algemene volume regeling. Door de ingebouwde integrator worden snelle volumeveranderingen sterk uitgemiddeld. De integratietijd ligt rond 15 ms. Voor crescendo en diminuendo is de controller goed bruikbaar. De instelling van deze controller is mede van invloed op de klankkleur, een bij een trombone gewenst effect. Het meest bruikbare bereik is hier tussen 10 en 64.
Controller 13 kan worden gebruikt voor alternatieve ventielcombinaties.
Controllers 17, 18 en 19 zijn bepalend voor de omhullende van de klank. De onderlinge afhankelijkheden en werking kunnen we best verduidelijken in een kleine grafiek:



Controller 20: stemming. De default is A=440Hz. Het bereik is 50 cents omhoog of omlaag.
Controller 66: aan/uit schakelaar.
Controller 123: schakelt alle klank uit evenals eventuele lampjes.
Program change: hiermee kunnen andere opzoektabellen voor de vingerzetting worden geselecteerd. De default is 0. Het nut hiervan is twijfelachtig en die mogelijkheden zagen we nog nooit door een componist benut worden...
Pitch bend: Geïmplementeerd met een bereik van een kwarttoon omhoog of omlaag. Dit maakt microtonaal spel mogelijk. Het commando kan bovendien worden gebruikt voor het verkrijgen van een vibrato.

Medewerkers aan de bouw van deze robot:

- Kristof Lauwers, Xavier Verhelst, Johannes Taelman

Muziek gecomponeerd voor <Bono>:

- Godfried-Willem Raes "Calls for Bono"
- Godfried-Willem Raes "Just Calls for Brass" (with <Korn>, <Heli> and <So>)

Technische gegevens:

- maten: hoogte: 450mm, lengte: 1050mm, diepte: 350mm.
- gewicht: ca. 30kg
- elektrisch: 230V ac / 100W
- bouwjaar: 2005
- verzekerwaarde: 9.500 €

<Korn>



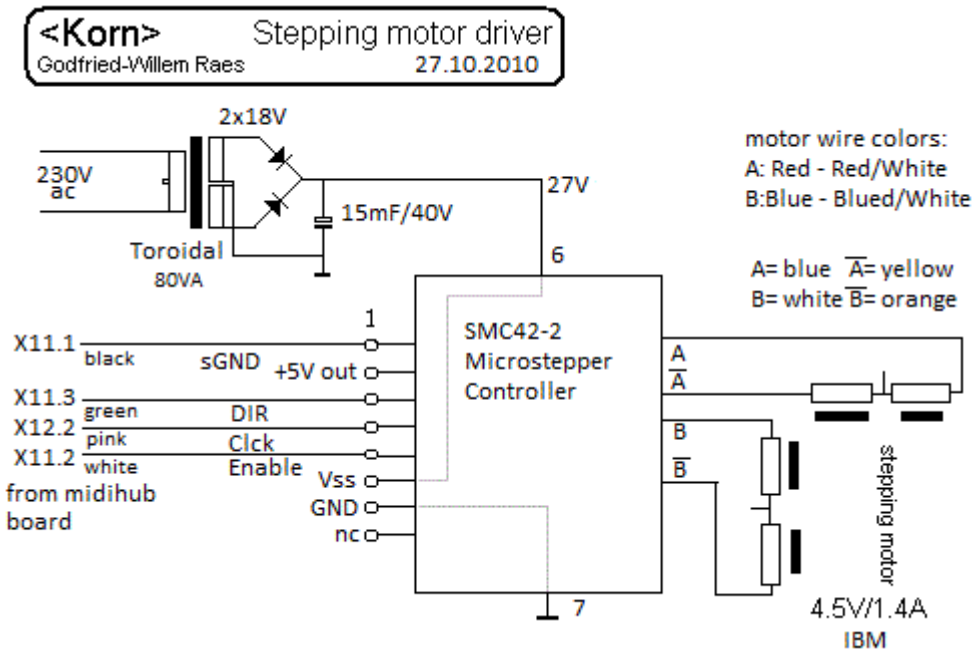
De overgrote meerderheid van de muzikale robots die we ontwikkelden voor 2007, waren elk voor zich pogingen om bestaande akoestische instrumenten zo getrouw mogelijk te automatiseren in zoveel mogelijk aspecten van hun bespeling. Daartoe mimeerden we zoveel als mogelijk de menselijke bespelingswijze van deze instrumenten. Het <Korn> project wijkt van dit opzet in hoge mate af. Hier was het helemaal niet onze bedoeling een mimetisch bespeelde automatische cornet te bouwen (immers, een automatische Sousafoon -<So>- hadden we reeds met redelijk succes voltooid, waardoor een automatische cornet niet direct een nieuwe verwezenlijking zou zijn). Niettemin maakt deze robot wel degelijk gebruik van een oude Sib cornet die hier evenwel in eerste plaats dienst doet als afstembare resonator in een instrument dat verder alleen werd geconcipieerd om min of meer realistische cornet-geluiden op een plastische en controleerbare wijze te kunnen produceren. In dit ontwerp werd uitgegaan van het simuleren van de drukvariaties in de mondholte van de bespeler en in het mondstuk middels een elektronisch aangestuurde motor driver, zoals gebruikt in kleine megafoons. Het waren onze eerste experimenten op dit gebied. Wat hier ontbreekt is de terugkoppeling met de resonator die het instrument zelf eigenlijk is. Het instrument fungeert hier slechts als een passieve resonator en is niet via een dynamische regeling gekoppeld aan de eigenlijke toonvorming. Daardoor krijgen we enerzijds een heel hoge betrouwbaarheid, maar anderzijds dan weer een toch wat synthetisch klinkend klankresultaat met weinig of geen artefactische bijgeluiden en een eerder stereotype gelijkmatige articulatie. Wat we van bij het ontwerp evenwel zeker geïmplementeerd wilden zien was een ruime gamma aan mogelijkheden op microtonaal gebied. Zowel kwarttoonsmuziek als muziek in de platonische juiste boventoonsstemmingen diende perfect speelbaar te zijn. Om die reden kan deze robot heel goed overweg met alle niet-standaard vingerzettingen. Akoestisch gezien wordt dit mede mogelijk gemaakt door de relatief lage Q-factor van de licht conische toeter gezien als akoestische resonator.

De ventielen werden geautomatiseerd met unidirectionele elektromagneten, helemaal naar plan en opzet zoals toegepast in de eerste versie van <So>. We hadden liever bidirectionele magneten gebruikt, maar daarvoor vonden we gewoonweg geen plaats in een zo klein instrument als de cornet. De ventielen werken dan ook met de gewone terugslagveren.

De elektronische schakeling bestaat uit enkele afzonderlijk functionele boards:

- Midihub board; Dit board, uitgerust met een 18F2520 PIC-controller van Microchip, staat in voor de midi-communicatie en voor de besturing van de horizontale stappenmotor. Twee ingangen worden gebruikt voor het inlezen van de horizontale positiesensors. Daarvoor werden aanvankelijk microswitches met lange naaldhefbomen in veerstaal gebruikt, maar die werden in 2010 vervangen door inductieve NAMUR proximity sensors van Pepperl+Fuchs. (NJ2-V3-N). Deze sensoren worden analoog door de microprocessor ingelezen, waardoor we geen problemen meer hebben met contactdender. Twee andere ingangen worden gebruikt voor het inlezen van de data afkomstig van twee pyrodetectoren (PIR-sensors). Deze laten toe de horizontale beweging van de cornet een menselijk lichaam in de ruimte te laten volgen.

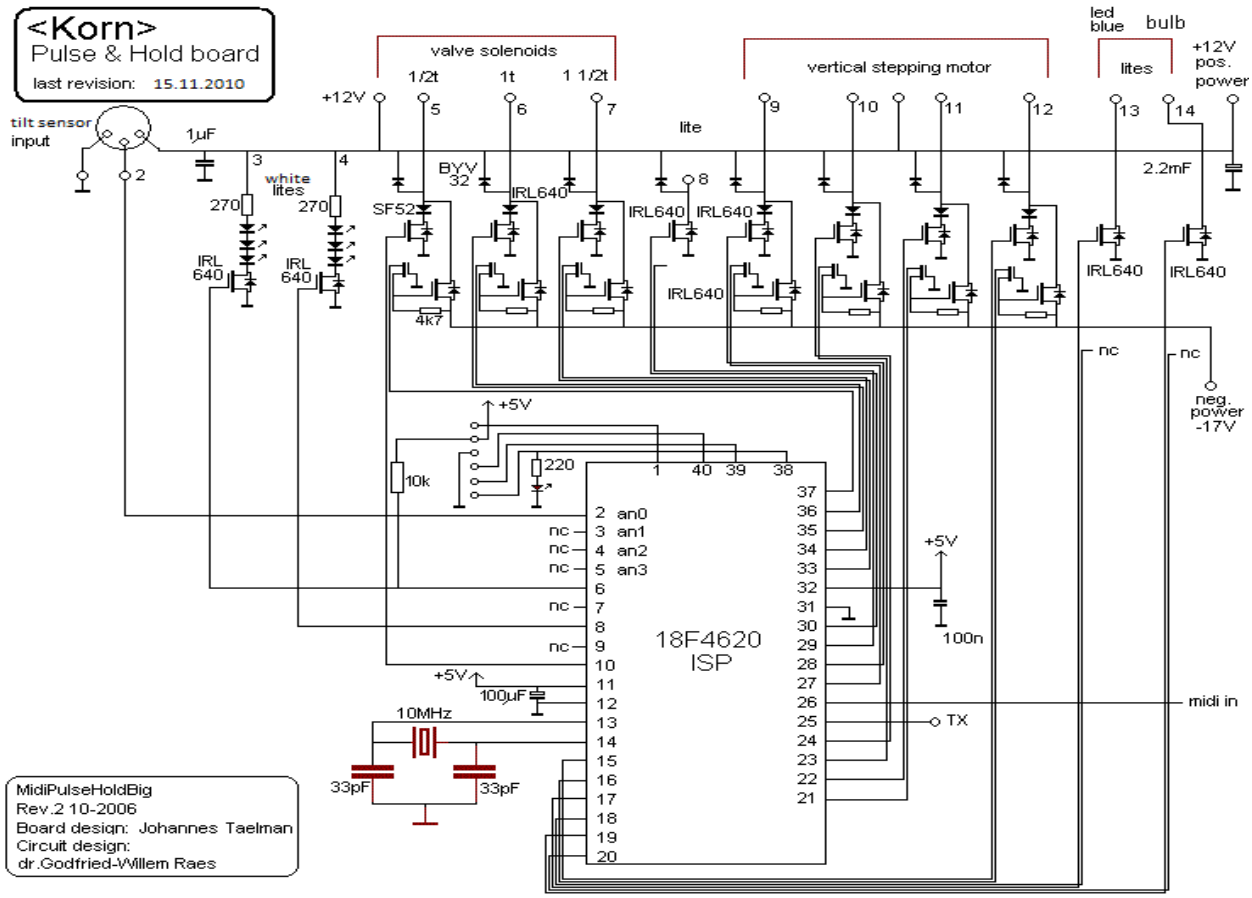
- Stappenmotor besturingsboard, waarvoor gebruik werd gemaakt van een Nanotech SMS42



module. De motor, een type met 360 stappen per omwenteling, wordt bedreven in microstap modus aan acht kloktikken per stap, wat een erg vloeiende beweging mogelijk maakt.

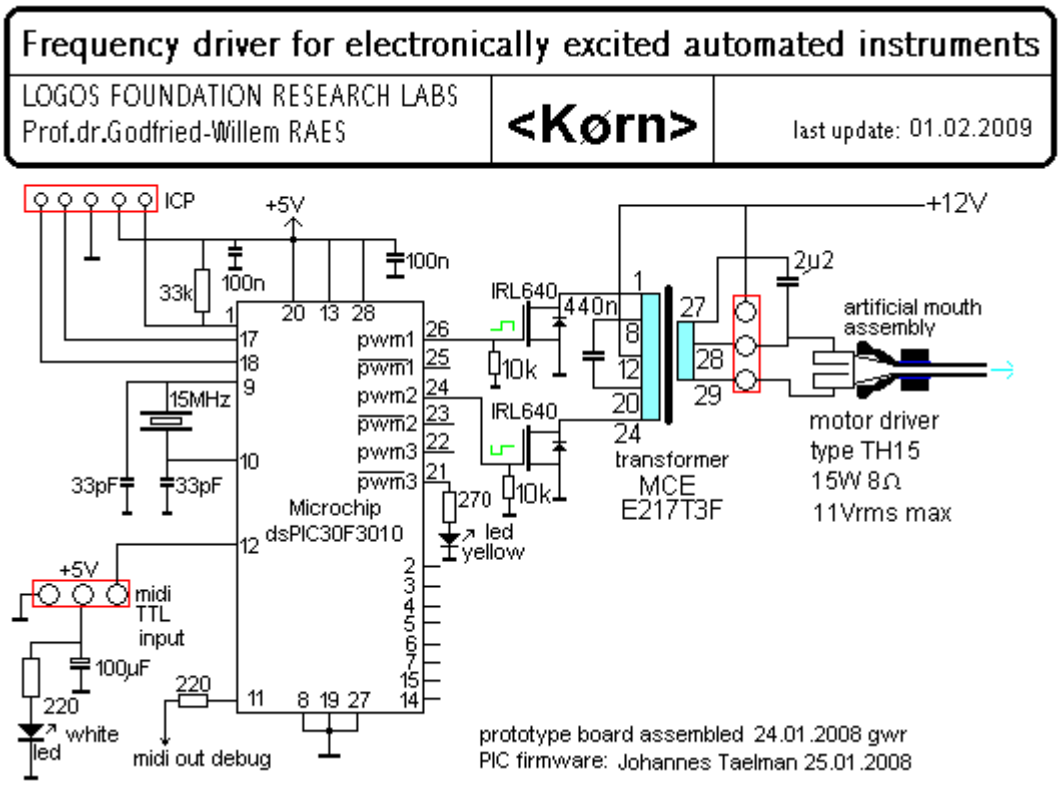
– Pulse-Hold board voor de besturing van de ventielen evenals voor de besturing van de verticale stappenmotor. Dit board maakt gebruik van een Microchip 18F4620 controller in 40-pins DIL behuizing. De bestukking van het board werd enigszins gewijzigd om de beide noodzakelijke inputs voor de eindsensor van de motor mogelijk te maken. Voor deze sensor gebruikten we aanvankelijk gebruik van een cirkelvormige driepolige kwikschakelaar voorzien van een 6 mm as. Het onderdeel dateerde van vlak voor de tweede wereldoorlog.. Door de slip van de motor in combinatie met het louter binair karakter van de sensor kregen we echter af te rekenen met problemen in het juist positioneren van de cornet. Daarom vervingen we de kwikschakelaar in 2010 door een hellingssensor van Penny & Giles (STT 280/60/P2) . Deze sensor wordt analoog ingelezen door de A0 analoge ingang van de microprocessor. en laat een erg nauwkeurige positionering toe.

–



De lampjes en LED's gemapt op de noten 124 tot en met 127 worden ook door deze microprocessor bestuurd.

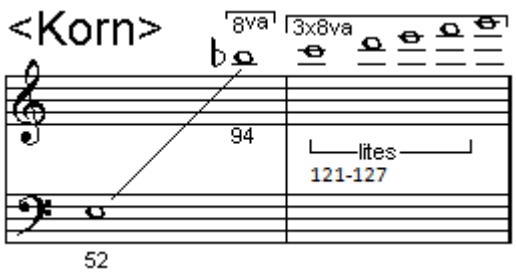
– Klankproductieboard: Dit board werd uitgerust met een 30F3010 ds-PIC controller van Microchip. Dit board heeft ook een midi-out, dit in eerste plaats omwille van de debug mogelijkheden. Opgemerkt moet worden dat de uitgangstransfo hier een afgestemde kring vormt met een resonantie rond 1.8 kHz, overeenkomstig de gewenste formant voor een kornet. De transformator en het hele netwerk eromheen, zijn bepalend voor de klankvorming in deze robot.



Aangezien een cornet op zich genomen een vrij klein en licht instrumentje is, kwam de idee bij ons op om het ook meteen enige mate van beweeglijkheid mee te geven. Deze beweeglijkheid behoort immers ook tot het typische geluid van de hoge koperblaasinstrumenten, die immers zonder uitzondering een sterk directionele akoestische afstraling hebben. Hiermee konden we meteen Toshiba & Yamaha de loef afsteken, want hun bewegende trompet spelende robot – die wel zowat alle kranten haalde - is vals! Het geluid komt immers uit een luidspreker uit de borstkas van de robot trompettist. Ook wilden we onze robot graag zo gaan bouwen dat hij het zou vertikken om debiele muziek te spelen... Dat is echter helaas nog steeds vapourware. Horizontaal kan onze robot 180 graden bewegen, en verticaal 90 graden. Hiermee mimeren we heel goed wat menselijke spelers op het podium doen. Een erg hoge snelheid konden we voor deze bewegingen evenwel niet realiseren, wat niet wegneemt dat die snelheid (horizontaal) zeker niet moet onderdoen voor die van een menselijke bespeler. De verticale beweging is door de gebruikte wormwieltechniek aanzienlijk trager. Het was dan ook niet de bedoeling Doppler effecten mogelijk te maken.

De <Korn> robot werd gemonteerd op drie rondom beweeglijke zwenkwielen voorzien van remmen. Wanneer de remmen niet worden vastgezet tijdens het spelen, kan de robot zich als gevolg van de eigen bewegingen ook wat over het podium verplaatsen... een leuk maar eigenlijk onvoorzien neveneffect.

Midi mapping en implementatie:



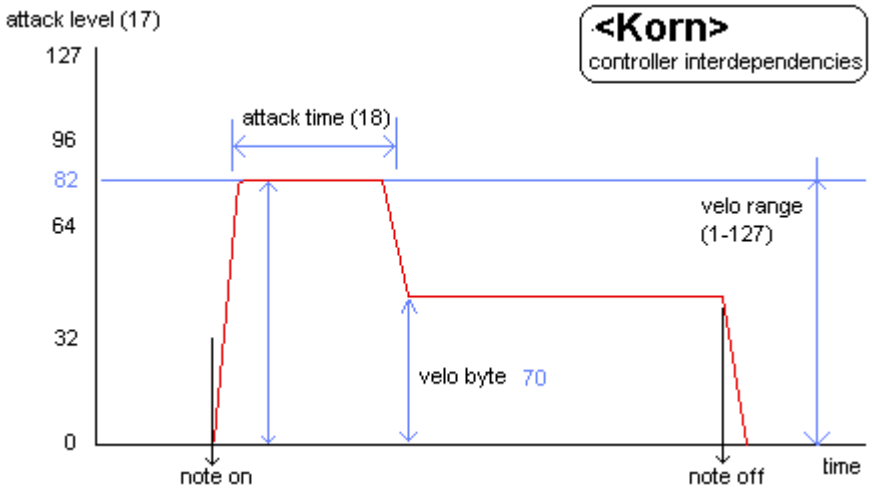
Midi kanaal: 12

Midi toonbereik: 52 tot 94 maar de beste klank wordt verkregen in het gebied 66-89.

Controllers:

Controller 10: (Panning) Horizontale beweging. De firmware kalibreert het bereik telkens een uiterste positie bereikt wordt. De draaiing om een halve cirkel neemt ongeveer twee seconden in beslag.

Controller 13: Besturing van de vingerzettingen. De default is 0, overeenkomstig de best bevonden empirische mapping. Hogere waarden kunnen worden gebruikt voor andere ventielcombinaties. Middels deze controller kan de vingerzetting ook gewijzigd worden terwijl een toon klinkt. Op die wijze zijn klankkleureffecten mogelijk zonder dat daarbij de toonhoogte zelf verandert.
Controllers 17 tot 19 kunnen gebruikt worden om de omhullende van de klank naar wens te bepalen.



Controller 22: Stuurt de verticale inclinatie van de cornet.
Controller 25: stuurt de kracht waarmee de ventielen ingedrukt worden.
Controller 31: stuurt de motorsnelheid voor de horizontale bewegingen
Controller 32: stuurt de acceleratie snelheid van de motoren.
Controller 66: Aan/Uit schakelaar.
Controllers 67, 68, 70, 71, 90: sturing van diverse bewegingsparameters.
Controller 100: Midi output mode setting.
Controller 101: Midi output data rate.
Controller 123: schakelt alle noten, bewegingen en lampjes uit.

Midi OUTPUT controle:

De <Korn> robot is uitgerust met twee PIR sensoren voor bewegingsdetectie van menselijke lichamen. De data afkomstig van deze sensoren evenals de data met betrekking tot de positie van de robot zelf kunnen naar buiten gebracht worden als MIDI-datastroom. Die functionaliteit wordt in werking gesteld met controller 100 terwijl de bemonsteringssnelheid kan ingesteld worden met controller 101. Dit is van geen enkel nut voor componisten die alleen met sequencers aan de slag gaan, maar is van groot nut voor al wie interactieve toepassingen voor de robots wil verkennen. Daarvoor moet dan wel echt geprogrammeerd worden, wat kan binnen Power Basic, onze eigen GMT omgeving of ook PD, SuperCollider, MaxMsp en dergelijke.

Medewerkers aan de bouw van <Korn>:

- Kristof Lauwers, Johannes Taelman,Yvan Vander Sanden

Muziek gecomponeerd voor <Korn>:

- Sebastian Bradt "Barbiefication" (for <Korn> and <Xy>) (2008)

•Godfried-Willem Raes "Sires Hands" for <Sire> and <Korn> and a performer with the Handy One interface
•Godfried-Willem Raes "Just Calls for Brass"
•Yvan Vandersanden "Interactief stuk voor <Korn>, <Snar> en Wii controller" (2009)
•Yvan Vandersanden "Korn en snar alleen op reis" (2011)
•Godfried-Willem Raes "Gesti for Korn", quadrada study #19 for a naked performer and <Korn>. Staged in collaboration with a.rawlings (2009)
•Kristof Lauwers "Picrada Study for Korn".(2010)
•Godfried-Willem Raes "Moves for Korn". Staged in collaboration with Dominica Eyckmans (2010).
•Godfried-Willem Raes "Zwiep & Zwaai". (2010)

Technische eigenschappen:

•Maten: hoogte 800 mm, diepte 400 mm, lengte 400 mm.
•Gewicht: 17 kg.
•Elektrisch: 230 V ac / 150 W
•Stemming: A = 440 Hz
•Bouwjaar: 2007
•Verzekerwaarde: 8.500 €

<Heli>



De overgrote meerderheid van de muzikale robots die we ontwikkelden voor 2007, waren elk voor zich pogingen om bestaande akoestische instrumenten zo getrouw mogelijk te automatiseren in zoveel mogelijk aspecten van hun bespeling. Het <Heli> project week aanvankelijk van dit opzet in hoge mate af. Hier was het helemaal niet direct onze bedoeling een automatisch helicon te bouwen (immers, een automatische Sousafoon -<So>- hadden we reeds met redelijk succes voltooid, waardoor een automatisch helicon niet direct een nieuwe verwezenlijking leek te zijn door het toch wel erg gelijkende karakter van beide instrumenten).Voor het klankopwekkingsmechanisme gingen we hier dan ook uit van een kleine cilindercompressor aangedreven door een zware (en peperdure...) servomotor. Ook voor <Bono> voerden we trouwens dergelijke experimenten uit. Hierdoor werkt het instrument vooral goed in de extreem lage frequentiegebieden (1Hz-30Hz). Dynamische aansturing van de opgewekte geluiden werd gerealiseerd via een regelventiel op de aanzuigopening van de compressor. Het voortgebrachte geluid was weliswaar imposant, maar had

toch wat teveel weg van gemusikaliseerd industrieel lawaai. Het helicon deed in dit opzet in eerste plaats dienst als vaag afstembare resonator en de precieze implementatie van de ventielen deed er eigenlijk niet zoveel toe. Het spelen van discrete intervallen was bovendien problematisch omdat we nooit snel genoeg het toerental van de servo geregeld konden krijgen, met als gevolg dat alle 'noten' met een zwaar portamento werden gespeeld. Staccato en zuiver ritmisch gebruik van het instrument konden we al helemaal vergeten. We vonden dat na enige tijd toch wel onbevredigend, omdat in menig opzicht we eenzelfde resultaat ook hadden kunnen bereiken zonder helicon... Kortom, onze fierheid was gefrustreerd en <Heli> ruste een hele tijd werkloos en onafgewerkt in ons atelier. Het bouwproject leek opgeborgen, zo niet afgevoerd.

In 2008 werden we voltijds belast met een onderzoeksopdracht aan de Associatie Universiteit Gent (departement muziek en drama, het voormalige Conservatorium) rond de ontwikkeling van expressiemiddelen. De experimenten die we in dat kader uitvoerden naar aanleiding van bouw en ontwerp van onze hobo-robot in 2008, brachten ons op het idee de daar beproefde methode ook op ons helicon toe te passen. Daartoe draaiden we op de draaibank een akoestische impedantietransformator aangepast aan de mensuur van enerzijds een 100W compressiedriver (18 mm uitgang) en anderzijds het mondstuk van het originele helicon. Hierbij bleek de klank beter te worden (lees: de resonantie in het helicon scherper en gedefinieerder) naarmate het gaatje in de kuip van het mondstuk kleiner werd. Natuurlijk gaat het geluidsvolume evenredig achteruit en moest er dus een optimale waarde worden gevonden. Vier millimeter bleek geschikt, meer mocht het echt niet zijn. Voor de aansturing van de driver experimenteerden we middels onze functiegeneratoren met allerhande golfvormen voor de excitatie en het resultaat was verrassend simpel: een eenvoudig symmetrisch driehoekssignaal bleek nog het beste en meest realistische geluid op te leveren.



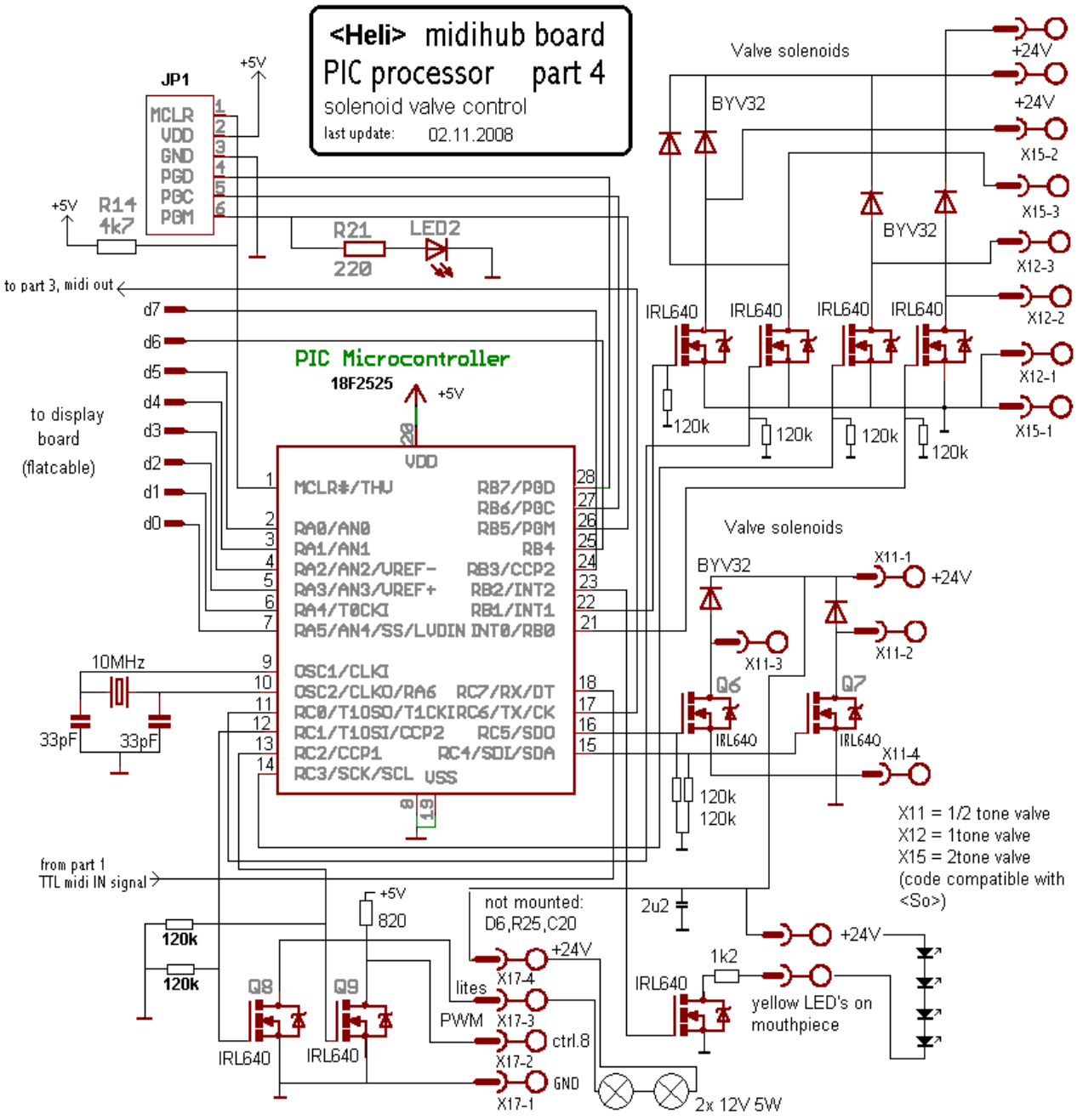
Vandaar de stap om voor de klankgeneratie ook hier weer een dsPIC, type 30F3010 toe te passen. Fundamenteel hetzelfde ontwerp wat we ook voor <Aeio> ontwikkelden. De keerzijde van de medaille is hier dat het nu niet mogelijk is extreem lage noten met volle sonoriteit gespeeld te krijgen zoals dat bijvoorbeeld bij <So>, in de eerste versie, wel het geval was. Dit verlies wordt echter in ruime mate gecompenseerd door het veel groter bereik in de hoogte.

De tessituur van deze automaat overtreft in de hoogte veruit dat wat zelfs door de allerbeste spelers ooit zou kunnen worden voortgebracht. De keerzijde daarvan is dat die extreem hoge tessituur niet 'realistisch' klinkt aangezien ze niet aan enige bekende realiteit beantwoord. Microtonale muziek is ook op deze automaat perfect te spelen, aangezien de toonhoogte van elke noot afzonderlijk over een bereik van 100 cents kan worden gevarieerd. Niet alleen perfect voor kwarttoonsmuziek, maar eigenlijk voor elke denkbare stemming.

De ventielen werden geautomatiseerd met bidirectionele elektromagneten, helemaal naar plan en opzet zoals toegepast bij <So>. In dit geval echter monteerden we de elektromagneten bovenop de ventielen en dus niet in lijn met de bewegingsas zoals bij <So>. We deden dit vooral om plaats te sparen en de uiteindelijke breedte van het instrument binnen de perken te houden. De overbrenging van de beweging van de ankers van de elektromagneten naar de ventielen voerden we uit met 8 mm dikke polycarbonaat strips. Dit is een elastisch en heel erg sterk materiaal. Het is bovendien onbrandbaar, wat gezien het potentieel mogelijk warm lopen van de elektromagneten, hier zeker een bonus is. Met polyacrylaat ('Plexiglas') deden we immers eerder al slechte ervaringen op, want het



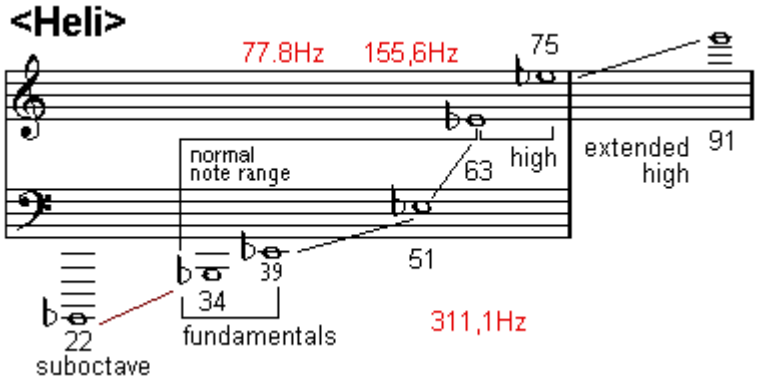
blijkt licht ontvlambaar te zijn. Voor de besturing werd ook hier een PIC processor toegepast. Het gebruikte board is opnieuw een alweer nieuwe toepassing van een eerder ontwikkeld board met de Microchip 18F2525 processor, met name het Midihub board. De zes vrije MOSFET uitgangen volstaan voor het aansturen van de bidirectionele elektromagneten.



De op dit board beschikbare PWM uitgangen werden ingezet voor de besturing van bescheiden belichtingseffecten. De acht resterende vrije uitgangen gebruikten we voor het aansturen van het display: twee 7-segment digits opgebouwd uit discrete dikke 10 mm LED's. Net zoals bij <So> toont dit display als default de klinkende midi noot, maar het display kan ook voor andere functies geprogrammeerd worden. Wie de steeds maar wisselende getallen storend vindt, kan de displays trouwens ook geheel buiten werking stellen.

Zoals voor zowat alle robots die we tot hiertoe ontwierpen en bouwden, is ook voor dit exemplaar een speciaal wielstel gebouwd. Dit ter vereenvoudiging van het transport enerzijds en van de handelbaarheid op de podia anderzijds. In dit geval pasten we grote kunststof spaakwielen toe met een diameter van 590 mm aan de voorzijde, terwijl de achterzijde loopt op een zwaar stalen dubbel zwenkwiel van 200 mm voorzien van polyurethaan banden. Alle wielen zijn voorzien van degelijke kogellagers.

Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal : 8

Controllers:

Controller 7: wordt hier gebruikt voor de klankkleur versus dynamiek instelling.
Controller 8: hiermee kan het volume geregeld worden van een extern via de voorziene XLR-ingang aangeboden audiosignaal.
Controller 13: hiermee kunnen alternatieve opzoektabellen voor de ventielcombinaties gekozen worden.
Controller 14: hiermee kan de functie van het display gekozen worden. Als default toont het display het midi nummer van de gespeelde noot. Als deze controller 1 wordt, kan eender welk getal tussen 0 en 99 via controller 15 op het display getoond worden.
Controllers 17,18,19: via deze controllers wordt de omhullende van de toon ingesteld. 17=Attack level, 18= attack duur, 19= release duur.
Controller 66: aan/uit schakelaar
Controller 123: schakelt alle klank uit en lost de ventielmagneten.

Pitch bend: is geïmplementeerd met een bereik van een halve toon.

Medewerkers aan de bouw van de <Heli> robot:

- Kristof Lauwers, Blazers & Blazers (Joris Buysse), Yvan Vander Sanden, Johannes Taelman

Muziek gecomponeerd voor <Heli>:

- Godfried-Willem Raes "Just Calls for Brass" (met <Korn>, <So> en <Bono>), 2008
- Godfried-Willem Raes "Primes" (with <Qt>, <Ob> and Player piano)
- Yvan Vander Sanden "Colonial March"

Technische gegevens:

- Maten: hoogte: 1500 mm, diepte 1026 mm, breedte 590 mm.
- Gewicht: 53 kg.
- Elektrisch: 230 V ac / 130 W
- Externe audio input: 0dB line level, transformer balanced XLR plug.
- Bouwjaar: 2008
- Verzekerwaarde: 12.500 €.

<Horny>

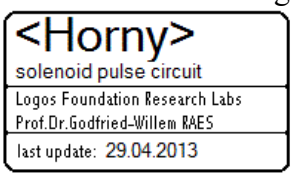


Voor de constructie van deze robot vertrokken we van een gloednieuwe en daarvoor speciaal aangekochte F-hoorn gebouwd door Arnolds & Sons, model nr. AHR-301, serie nummer 121267. Het instrument werd geleverd met een extra korte buis die kan worden gebruikt worden om het te laten klinken als Bb instrument.

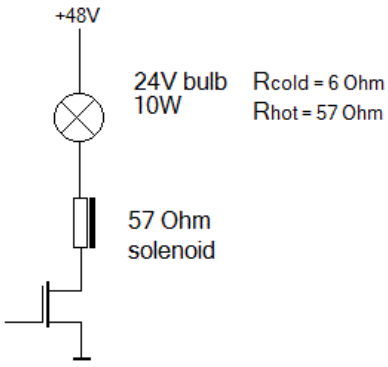


De hoorn is uitgerust met drie draaiventielen. We maten de kracht nodig om deze in beweging te brengen: 2 Newton. Het noodzakelijk bewegingstraject is 12 mm en om de ventielen volledig om te schakelen, neemt de nodige kracht toe tot 2.5 Newton. Hiermee kennen we meteen de noodzakelijke specificaties waaraan de voor automatisering te gebruiken elektromagneten zullen moeten voldoen. De plaatsing van de ventielen leggen ons nog enkele verdere restricties op: de afstand tussen de aangrijppunten voor de magneten zijn 30 mm en 20 mm, wat het gebruik van

standaard Lucas Ledex buisvormige solenoïdes (diameter 1" of 25.4 mm) die voor het hier nodige krachtbereik aangewezen zouden zijn, problematisch maakt. Daarom besloten we August Laukhuff registerkipmagneten die een kracht kunnen leveren tot 10 Newton, in te zetten. Deze componenten hebben een breedte van slechts 18 mm. We gebruikten deze magneten, in serie geschakeld met 24V / 10W halogeenlampjes. Deze lampjes werken hier als spanningsafhankelijke weerstanden, een recept dat we eerder al hadden toegepast in robots zoals <Autosax>. Hier is de uiterst eenvoudige schakeling:

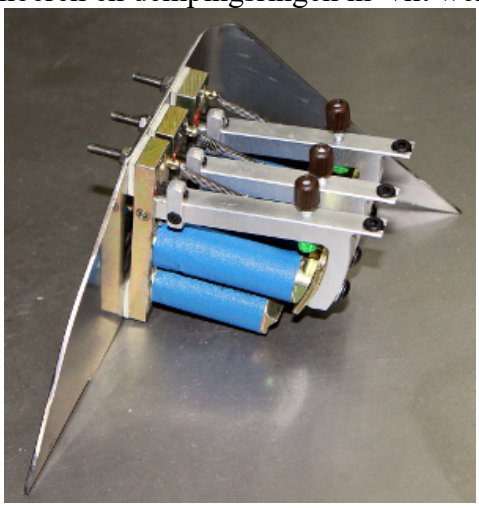


Onderzoeksgroep Associatie Universiteit Gent



The bulb is used here as a voltage dependent resistor. When the MOSFET switches on, the initial voltage over the solenoid will be almost 48V, dropping to the nominal 24V as the bulb starts glowing.

Omdat we de magneten voeden uit een 48 V spanning, kunnen we nu de kracht bij het begin van het bewegingstraject verdubbelen. De magneten werden mechanisch verbonden met trakturen vervaardigd uit flexibele nylon M4 schroefdraadstang. Boutjes, moeren en dempingsringen in vilt werden ingezet om het geheel zo stil mogelijk te laten werken.



De elektronische besturing van de magneten bracht verder weinig nieuws omdat we daarvoor helemaal konden terugvallen op wat we al hadden gebouwd voor andere koperblaasinstrumenten zoals <So>, <Heli> en <Korn>. Ook hier dus treffen we een 8-bit PIC microcontroller, type 18F2525, aan en werd gebruik gemaakt van opzoektabellen met de vingerzettingen in funktie van de te spelen noten. We voorzagen in tabellen zowel voor de F-hoorn als voor de Bb hoorn.

Ook voor de eigenlijke klankopwekking bouwden we verder op eerdere succesvol gebleken ervaringen: ook hier weer een membraancompressor gevolgd door een akoestische impedantieconverter, waarvoor we in dit geval zelfs het originele mondstuk van de hoorn konden

gebruiken na wat aanpassingen op de draaibank. Een klemsysteem om dit stevig op enerzijds de hoorn, anderzijds de compressor te bevestigen dienden we wel nieuw te ontwerpen. Voor de uitsturing van de driver riepen we de hulp in van een 32-bit ARM processor. Ook daarvoor konden we uitgaan van wat we bouwden voor <Klar>.

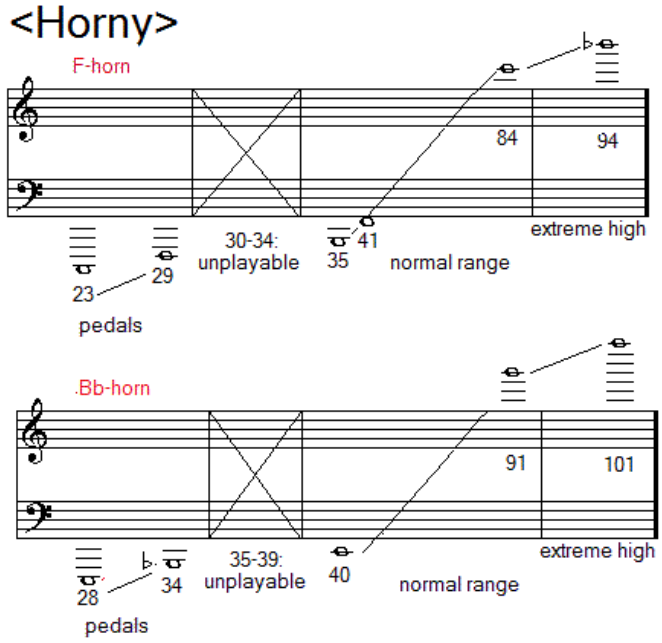
In het symfonisch orkest worden hoorns nagenoeg steeds gespeeld met het paviljoen naar achteren gekeerd. Bij bepaalde gelegenheden vragen componisten echter de klankbeker omhoog en naar het publiek te richten, '*cor en haut*' – in de partituur. Dit vinden we onder meer terug in de partituur van Igor Strawinsky's 'Le Sacre du Printemps'. Ook in onze <Horny> robot, wilden we iets dergelijks implementeren.

Het uittekenen en uitrekenen van een ontwerp voor een juk waarin de hoorn beweegbaar kon worden gemonteerd, bleek toch niet zo'n eenvoudige zaak. Omdat we de mechanische evenwichtspunten en lijnen niet op voorhand wisten te bepalen, bouwden we eerst de hoorn voorzien van driver en ventielmagneten op, waarna we verder empirisch aan de slag konden. Het op die wijze bepaalde evenwichtspunt bleek onhandig dicht in de buurt te komen van de redelijk zware compressor waardoor toepassing van een motor nogal wat problemen opleverde. Daarom besloten we hier een krachtige bipolaire traktuurmagneet van August Laukhuff toe te passen. Bewegingen omhoog en omlaag werden daardoor weliswaar mogelijk, maar tussenposities kunnen op deze wijze niet stabiel worden ingenomen.

De gehele constructie werd voorzien van wielen, maar door de wat rare plaatsing van de wielen, verkreeg de rolbeweging iets van een krabbengang.

Naar alle waarschijnlijkheid is deze gerobotiseerde hoorn de eerste hoornspeler in de gehele muziekgeschiedenis die er ooit in zal zijn geslaagd zijn muzikale partij steeds perfect juist geïntoneerd te spelen... Gebruikers en componisten die evenwel juist dit permanente 'een beetje vals spelen' eigen aan hoorns benutten, kunnen dit nog steeds bereiken omdat we ruimschoots mogelijkheden voorzagen om onze hoorn in elke denkbare stemming en intonatie te laten klinken.

Midi Mapping en implementatie:



Midi kanaal : 14

Midi tessituur: (23-29), 35-94 indien gebruikt als F-hoorn met de juiste bocht en aangepaste setting voor controller 33. Het bereik 30 to 34 is alleen beschikbaar met de Bb buis.

Note Off commando's kunnen weggelaten worden voor zuiver legato spel. Een note-off ontkoppelt de ventielmagneten en start de release-sectie van de omhullende voor een duur bepaald door controller 19. Wanneer note-off met release byte gebruikt wordt, dan zal dit de setting van controller 19 vervangen.

Controllers:

Controller 1: Wind controller, stuurt het ruisaandeel in de klank. Waarde 20 is goed.
Controllers 2-7 en 16-20: op dezelfde wijze geïmplementeerd als bij <Klar>. We verwijzen dus naar daar.
Controller 22: Verticale positie controller. (0-63= naar beneden , 64= centraal, onbekrachtigd, 65-127= naar boven).
Controller 25-29: zie <Klar>
Controller 30: Tijd gedurende dewelke de ventielen bekrachtigd blijven na een note-off commando.
Controller 33: F-hoorn of Bb hoorn selectie. (0= F-hoorn, 127 = Bb-Hoorn).
Controller 40: Bereik voor het pitchbend commando. Default is 1, voor een bereik van +/- 50 cents.
Controller 43: Wachttijd voor de start van het vibrato na het begin van een noot.
Controller 44: idem voor het tremolo
Controller 66: aan/uit schakelaar
Controller 100: kan gebruikt worden voor alternatieve vingerzettingen.
Controller 123: schakelt alle klank en licht uit.

Medewerkers aan de bouw en ontwikkeling van <Horny>:

- Kristof Lauwers, Joris Buysse, Hans Denayer, Johannes Taelman

Technische gegevens:

- Maten: Basis: 650 x 650 mm. Hoogte: 700mm
- Gewicht: 35kg
- Elektrisch: 230 V ac / 130 W
- Externe audio input: 0dB line level, 1/4" jack input.
- Bouwjaar: 2013
- Verzekerwaarde: 12.500 Euro

<Bug>



Deze robot kwam tot stand als gevolg van een vraag van LOD, een Gents productiehuis dat voor een geplande muziektheaterproductie, 'Helden' met Josse De Pauw en Dominique Pauwels, een van onze robots wilde ontlenen. Hun oog was daarbij gevallen op onze kleine maar beweeglijke <Korn> robot. De robot zou als een personage binnen hun productie op scene worden gezet. De <Korn> robot konden we binnen het robotorkest evenwel slechts node missen. Bovendien maakt die robot ook vast deel uit van het 'klein robotorkest' waarmee we overal te lande interactieve voorstellingen hebben in binnen- en buitenland. De geplande muziektheaterproductie zou immers in meer dan vijftig voorstellingen op heel verschillende plaatsen gebracht worden. Daarom stelden we voor een gelijkaardige robot speciaal te bouwen voor deze productie. Dat werd dan deze <Bug>, een geautomatiseerde fluegelhorn. Muzikaal gesproken zijn cornet, trompet en fluegelhorn heel erg verwante instrumenten die onderling alleen inzake timbre wat verschillen. De fluegelhorn heet daarbij ronder en ook warmer te klinken dan de trompet, terwijl de cornet wat dit betreft een plaatsje zou innemen tussen beide. De tessituur – wanneer het Bb instrumenten betreft - is overigens identiek. De naam die we kozen voor deze robot, <Bug>, is afgeleid van de Nederlandse benaming van het instrument, de bugel. Die naam is ook bekend in het Engels, maar pleegt daar te verwijzen naar een ventielloos instrument. De term '*valve bugle*' wordt ook vaak gebruikt en verwijst dan weer naar diezelfde fluegelhorn. Organologisch gezien, is het een saxhoorn, teruggaand op de familie blaasinstrumenten ontwikkeld door Adolphe Sax uit de eerste helft van de 19e eeuw. De boring is sterker conisch dan dat bij een trompet het geval is. Voor de bouw van <Bug> kochten we een gloednieuw instrument aan:



Omdat het ontwerp een dubbelganger moest zijn van onze <Korn> robot, lag het voor de hand daarvan uit te gaan, en ons te beperken tot het aanbrengen van nuttige verbeteringen. Wat betreft die verbeteringen dachten we dan in de allereerste plaats aan het geluidsvolume, de omhullende van de klank en de responsiviteit en *last but not least*, de beweeglijkheid.

Voor de aansturing gebruikten we ook hier weer een membraan compressor waarmee het origineel mondstuk wordt aangedreven, net zoals bij <Horny>. Ook hier berekent de firmware zelf de optimale ventielcombinatie voor het bereiken van resonantie voor de gevraagde te spelen toonhoogte. Ook hier voorzagen we in de mogelijkheden om gebruik te maken van andere stemmingen en microtonaliteit. De relatief lage Q-factor (kwaliteitsfactor van een resonantiekring) van de hoorn in vergelijking met snaren, maakt dat perfect mogelijk. Voor de excitatie van de driver maakten we voor <Bug> gebruik van een fysisch model van de drukgolf in de holte van het mondstuk, zoals onderzocht en gepubliceerd door Beauchamp in 1975 en 1980. Een dynamisch formant filter voegden we toe in de elektronische schakeling, opgebouwd met een koppel germaniumdiodes en een LC resonantiekring. Op die wijze konden we de gewenste afhankelijkheid van het timbre van de absolute geluidsterkte realiseren.

De ventielen automatiseerden we, anders dan bij eerder koperblaas robots, met unipolaire trekmagneten van Emessen. Hierbij maken we gebruik van de terugkeerveer in het inwendige van het ventiel. De klassieke – en hier ook aanvankelijk geïmplementeerde - vingerzettingen, werden afgeleid van volgende reeksen gebaseerd op theoretische boventonen, een toon lager te transponeren voor een Bb instrument:

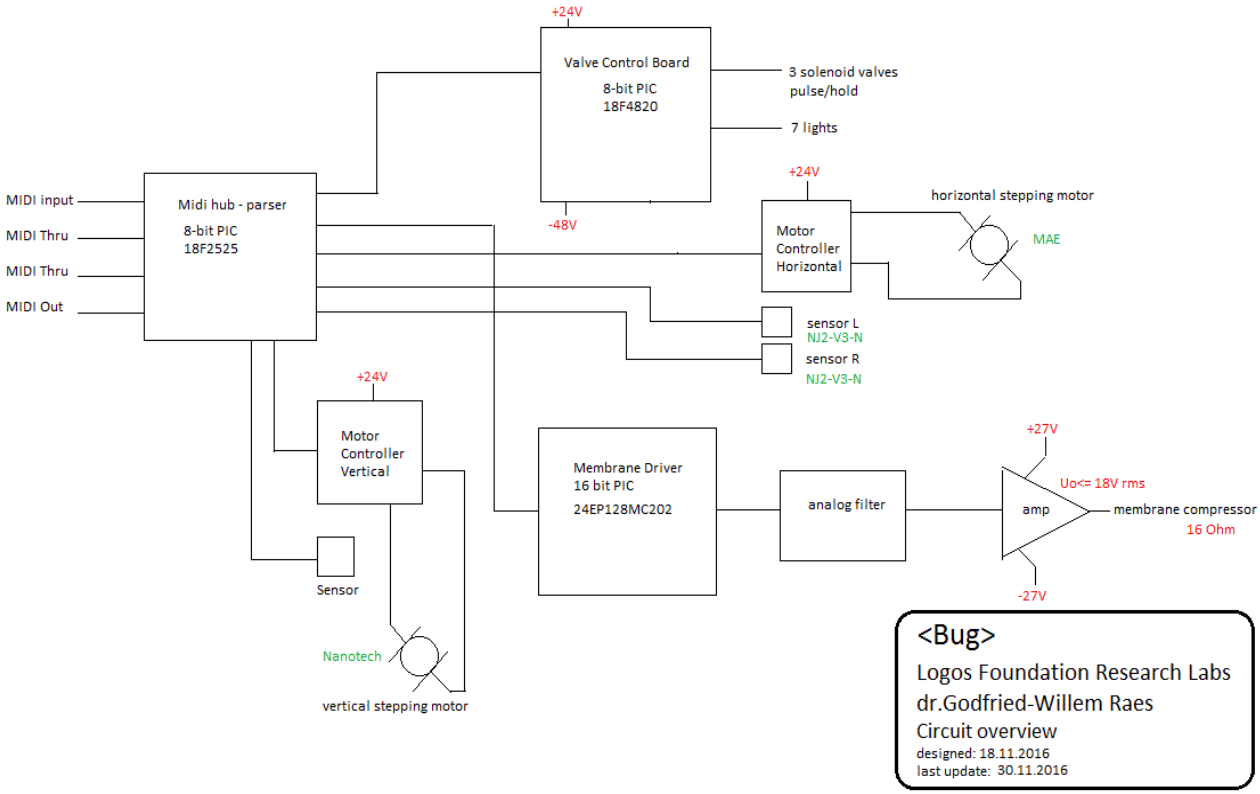


Al vlug kwamen we tot de bevinding dat de ventielcombinaties die hieruit konden worden afgeleid bijlange niet steeds tot een optimale resonantie aanleiding gaven. Daarom maakten we gebruik van uitgemeten empirisch bepaalde vingerzettingen, die we in opzoektabellen vastlegden in de firmware. Een gebrek in onze <Korn> robot bestond erin dat de opbouw van een drukgolf in het instrument, de toepassing van de bijhorende vingerzetting voorafging. Voor <Bug> wisten we dit te verhelpen door een kleine vertragingstijd in te bouwen tussen ventielbekrachtiging en klankproductie. De ventielen vragen zo'n 10 ms om hun positie te bereiken en dus stelden we voor al die gevallen waarbij een verschillende vingerzetting nodig was, de klankproductie met 10 ms uit. Dit veroorzaakt weliswaar een zekere vertraging, maar dat weegt niet op tegen de hierdoor sterk verbeterde articulatie van de tonen.

Alle hooggestemde koperblaasinstrumenten, binnen hun gewone menselijke biotoop, ondergaan bij het spel nogal wat bewegingen in de ruimte. De uitgesproken richtingsgevoelige afstraalkarakteristiek van deze instrumenten maakt dat deze beweging ook effectief deel uitmaakt van de expressieve mogelijkheden ervan. Dus, ook voor <Bug> spanden we ons in om de robot twee vrijheidsgraden van beweging te verlenen. Verticaal kan hij over een hoek van 90 graden draaien en in het horizontaal vlak zelfs 320 graden. Hiermee komen we al vrij dicht in de buurt van wat menselijke spelers kunnen doen. De snelheid van de bewegingen konden we evenwel lang niet zo snel maken als mensen dat kunnen doen. Horizontaal gaat het heel wat sneller dan verticaal, omdat de ermee gemoeide krachten veel kleiner zijn. Hoe dan ook, het was niet echt de bedoeling dat we er Doppler effecten mee zouden kunnen bereiken...

Bij het opstarten van de robot, zal deze zichzelf steeds opnieuw afregelen. Gedurende die afregelprocedure blijft hij doof voor externe bevelen. Eens afgeregeld mag de robot niet handmatig bewogen worden omdat hij dan in de war raakt en zijn afregeling verliest.

Hier is een overzicht van de schakelingen waarmee we deze robot opbouwden:

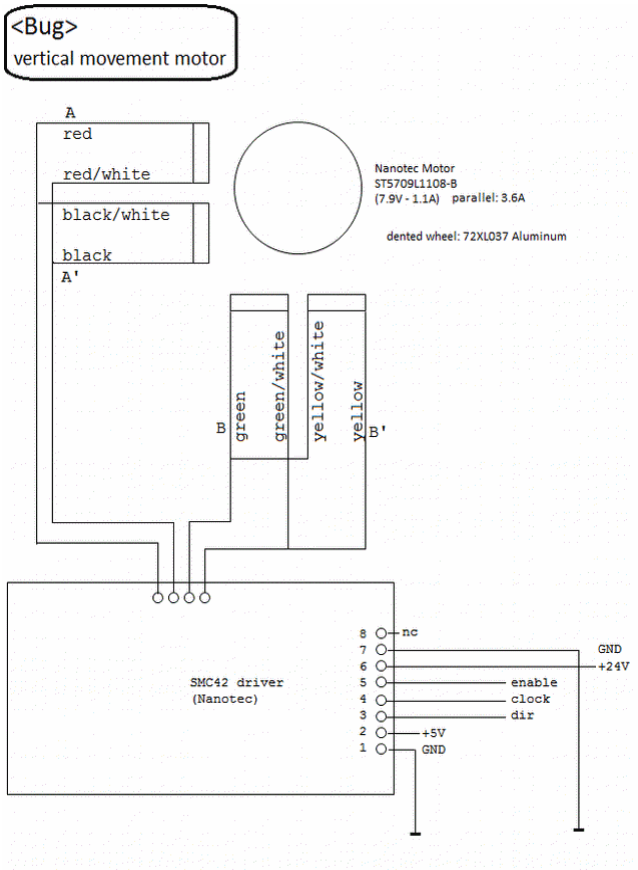


1. Het Midi-hub board is van eenzelfde type als gebruikt in heel wat van onze automaten. Functioneel echter zijn er verschillen. Hier immers staat dit bord in voor de bewegingsmogelijkheden van de robot. Het is daarom voorzien van twee Pepperl+Fuchs sensors voor het horizontaal traject evenals een inclinatiesensor van Penny & Giles voor de monitoring van de verticale beweging.

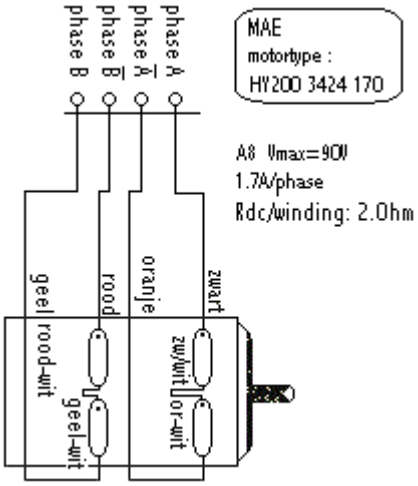
2. Voor de verticale beweging gebruikten we een stappenmotor van Nanotec (type ST5709L-1108-B) met bijhorende controller (SMC42). De lawaaierige ventilator verwijderden we helemaal en de



werkstroom beperkten we tot 2 A. De gebruikte motor doet 200 stapjes voor een omwenteling, maar wij gebruikten hem in microstap modus waarbij acht klokpulsen nodig zijn voor een enkel stapje. Hier is het aansluitschema:



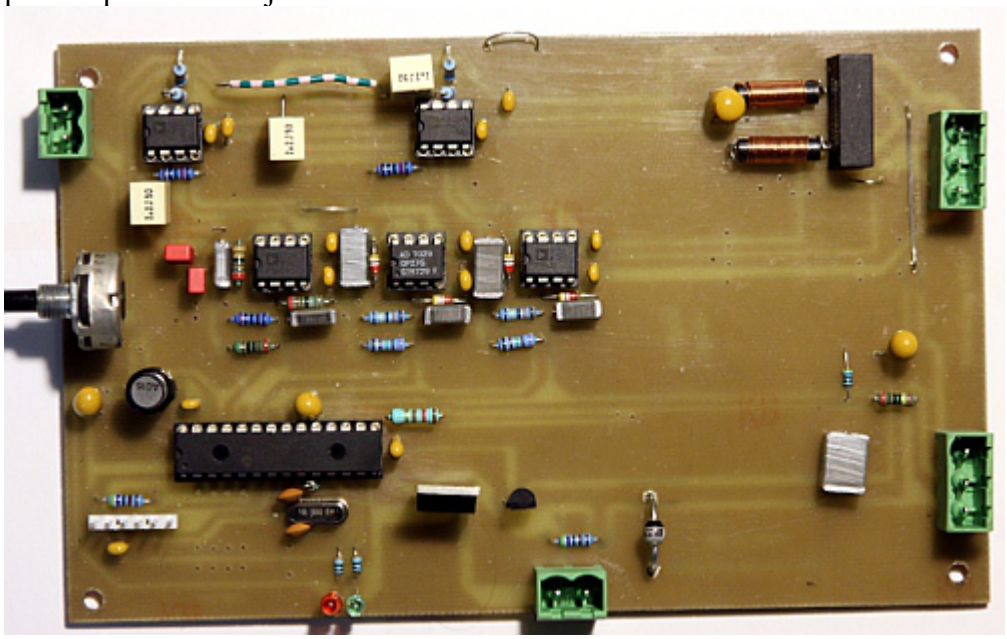
3. Voor de horizontale beweging gebruikten we eveneens een stappenmotor, maar deze keer een stevig MAE HY200 type met als motorcontroller een Geckodrive G203V.



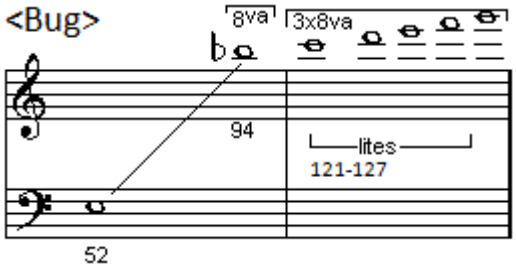
4. *Pulse & Hold board*: Dit bord bestuurt de elektromagneten waarmee de ventielen worden bewogen. Ook de lampjes en de LED's gemapt op de midi noten 120 tot 127 worden vanuit dit board bestuurd. Het board vond een plaatsje onder de membraancompressor. De schakeling wijkt niet af van wat we gebruikten voor andere robots met puls-houd boards.

5. Signaalgenerator board: Dit bord zorgt voor het signaal waarmee de 75 Watt motor compressor wordt uitgestuurd via een analoge vermogensversterker. We gebruikten hier een 16-bit processor om de golfvormen te genereren. Twee analoge vermenigvuldigers werden ingezet voor alle amplitudemodulatie nodig voor de omhullende generator (ADSR) en de dynamiek van het instrument. Door hier analoge schakelingen te gebruiken, slaagden we erin de audioresolutie ook

voor geringe geluidsniveaus op 16-bit te behouden. Afgehandeld in het digitale domein immers, zouden we zeker een 32-bit processor nodig hebben gehad om eenzelfde resultaat te bereiken. Ook het analoog opgebouwde dynamisch formant filter is een deel van dit bord. De schakeling vond een plaats op de bovenzijde van het basischassis.



Midi mapping en implementatie:

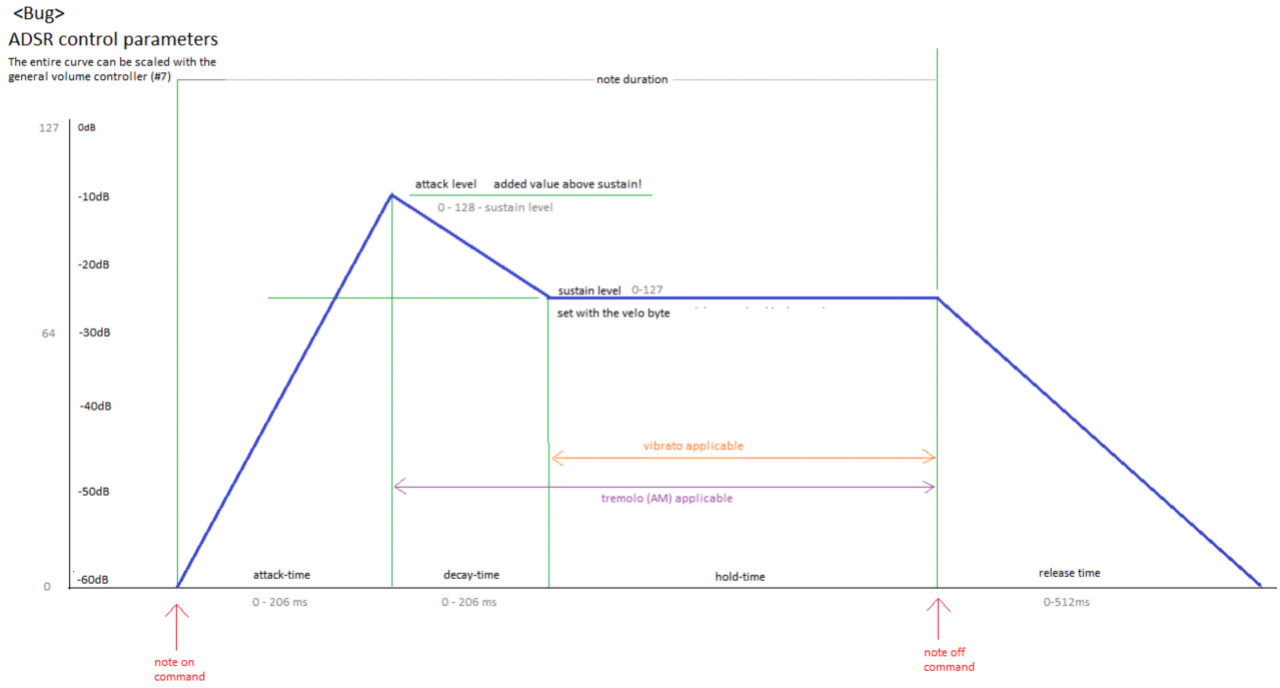


Midi kanaal: 12
Midi tessituur: 52 tot 94. (Optimale klank in het bereik 66-89). Voor het noot-aan commando stuurt het velocity byte – de aanslagsterkte - het niveau van de houd-fase in de omhullende.

Controllers:

Controller 1: Ruisgehalte van de klank [default = 20]
Controller 3: FM modulatie diepte (vibrato).
Controller 4: FM modulatie snelheid. (vibrato)
Controller 5: AM modulatie diepte (tremolo)
Controller 6: AM modulatie snelheid (tremolo)
Controller 7: globale volume regeling
Controller 10: (Panning) Horizontale bewegingscontrole
Controller 11: Verticale bewegingscontrole.
Controller 13: hiermee kunnen de vingerzettingen gewijzigd worden.

Controllers 15 tot 19: voor de besturing van de omhullende, zoals aangegeven in volgende grafiek:



Controller 20: stelt de stemming van de fluegelhorn in. Als default is -met waarde 64- dit de gelijkzwevende stemming met A = 440Hz. Andere mogelijkheden zijn:

•48-59: stelt <Bug> in voor juiste boventoonstemming gebaseerd op de grondtonen 48 to 59. De juiste boventoonstoonladder is hierbij: 1:1, 16:15, 9:8, 6:5, 5:4, 4:3, 10:7, 3:2, 8:5, 5:3, 16:9, 15:8, 2:1
•61: stelt <Bug> in voor gelijkzwevende stemming, maar dan met alle noten een kwarttoon omlaag tegenover A=440Hz.
62: stelt <Bug> diapason A = 435 Hz
63: stelt <Bug> diapason A = 438 Hz
64: stelt <Bug> in op de standaard diapason A = 440 Hz.
65: stelt <Bug> diapason A = 442 Hz
66: stelt <Bug> diapason A = 445 Hz
67: transponeert <Bug> een kwarttoon omhoog, tegenover A = 440 Hz.
•72-83: stelt <Bug> in voor juist boventoonsstemming gebaseerd op de grondtonen 48 to 59. De hier geïmplementeerde toonladder is nu evenwel: 1:1, 21:20, 9:8, 7:6, 5:4, 4:3, 7:5, 3:2, 14:9, 5:3, 7:4, 15:8, 2:1

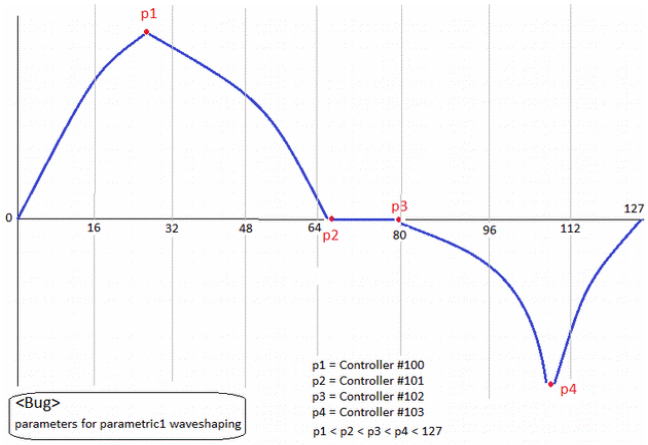
Controller 25: kan gebruikt worden voor de regeling van de kracht ontwikkeld door de ventielmagneten.
Controller 26: Hiermee kan de tijd gedurende dewelke de ventielen bekrachtigd blijven na een noot-uit commando geregeld worden.
Controller 31: Motor snelheid voor de horizontale bewegingen.
Controller 32: Horizontale motor acceleratie tijd.
Controller 33: Verticale motorsnelheid
Controller 66: aan/uit schakelaar.
Controller 69: schakelaar voor de automatisering van de oog-lampjes.
Controller 80: Dynamisch bereik selectie.

value	mapping

0-30	20dB
31-62	30dB
63-94	40dB
95-126	50dB
127	60dB

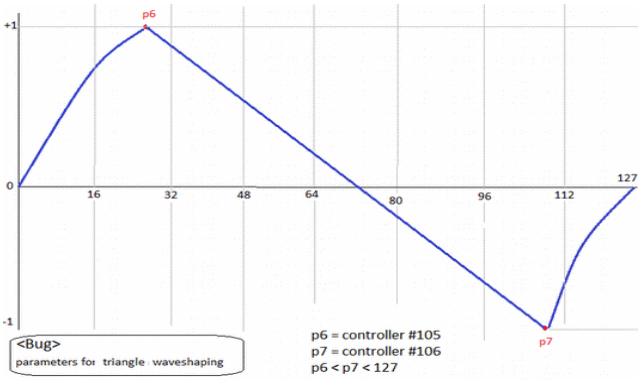
Merk op dat het vergroten van de instelling voor deze controller geenszins het maximaal geluidsvolume verhoogt! De decibel schaal vertrekt immers vanaf het maximale volume.

Controllers 100, 101, 102, 103: parameters voor de golfvormen waarmee de membraancompressor wordt aangestuurd. Deze controllers zijn hier in eerste plaats geïmplementeerd voor research doeleinden. Voorwaarde is steeds dat Ctrl100 < Ctrl101 < Ctrl102 < Ctrl103. Na ontvangst van controller 103 berekent de microprocessor een nieuwe opzoektabel voor de golfvorm. Volgende grafiek kan dit verduidelijken:



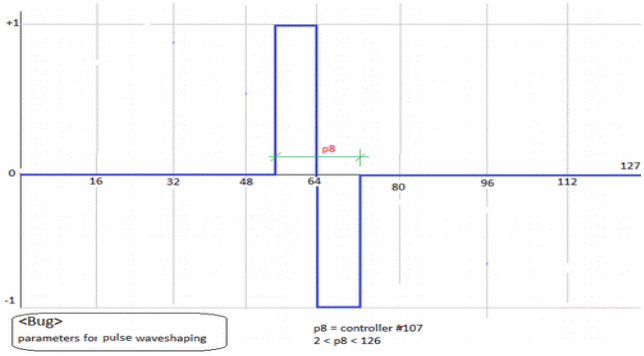
Controller 104: parameter voor de instelling van de golf-symmetrie bij program-change 4. Bij waarde 64 verkrijgen we een symmetrische blokgolf.

Controllers 105 en 106: parameters voor de minimum en maximum punten van een driehoeks- of zaagtandgolf. Hier een grafische voorstelling:

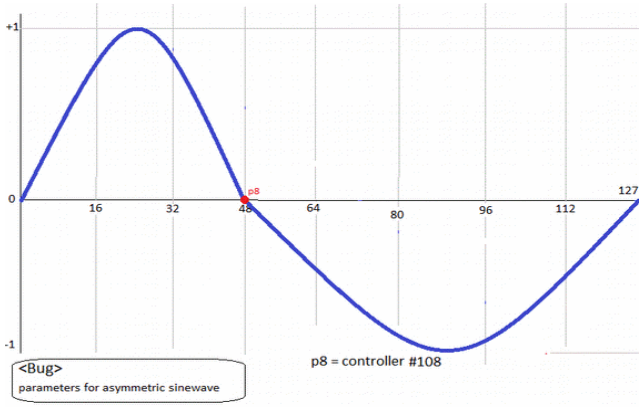


De opzoektabel wordt herberekend van zodra de tweede parameter ontvangen wordt.

Controller 107: parameter voor de pulsbreedte:



Controller 108: parameter voor de sturing van de symmetrie van een sinusgolf. Program change 10.



Controller 109: parameter voor de symmetrie bij Program Change = 10
Controller 110: parameter waarmee het ruisgehalte in de golfvorm geregeld kan worden bij de selectie van program change 11
Controller 123: schakelt alle klank uit.

Program change: geïmplementeerd om verschillende opzoektabellen voor de gebruikte golfvormen te selecteren. Volgende golfvormen programmeerden we vooral voor research doeleinden:

- 0 Sin(x) Sinusgolf
- 1 Sin(x) / x Tophat functie
- 2 Sin2(x) sinus-kwadraat golf
- 3 Sin3(3) sinus tot de derde machtgolf.
- 4 Beauchamp (akoestisch model van de drukgolf in het mondstuk)
- 5 Parametric1, als Beauchamp maar veralgemeend met 4 parameters (controllers 100 - 103)
- 6 Afgevlakte blokgolf. Symmetrie instelbaar met controller 104
- 7 Afgevlakte driehoeksgolf. Parameters met controllers 105 en 106.
- 8 Zaagtand golf (default)
- 9 Puls. Pulsbreedte instelbaar met controller 107
- 10 Asymmetrische sinus. Symmetrie instelbaar met controller 108
- 11:Asymmetrische ruis-sinus: Symmetrie met controller 109, ruis met controller 110.

Waarden groter dan 15 (gebruik makend van de drie hoogste bits) gebruikten we hier om alternatieve opzoektabellen voor de vingerzettingen te kiezen. Hier zijn de keuzemogelijkheden:

- 16: Vingerzettingen volgens 'het boekje' voor bugel, cornet en trompet.
- 32: Vingerzettingen met een beter akoestische resultaat op <Bug>

Program change commando's vragen enige tijd omdat de microprocessor de hele opzoektabel dan moet herberekenen. Daarom moet vermeden worden dit commando te geven terwijl de robot speelt. Zo niet kunnen 'glitches' en toononderbrekingen zich voordoen.

Pitch bend is beschikbaar op <Bug> maar de resolutie is hier beperkt tot een tiende van een halve toon.

Medewerkers aan bouw en ontwikkeling van de <Bug> robot:

- Kristof Lauwers, Xavier Verhelst, Mattias Parent, Lara Van Wynsberghe

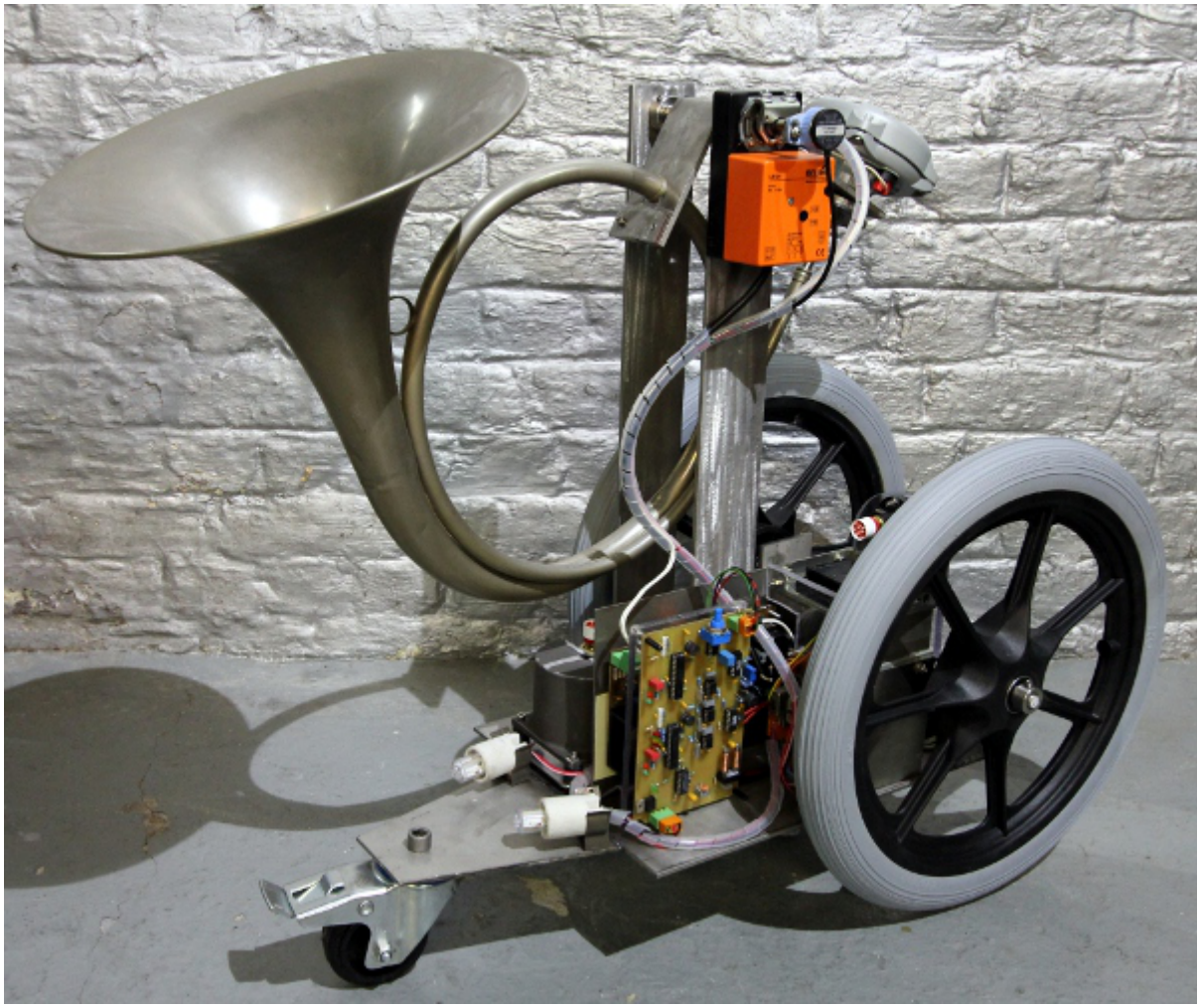
Muziek geschreven voor <Bug>:

- Dominique Pauwels schreef de muziek voor <Bug> gebruikt in de 'Helden' productie met Josse De Pauw, geproduceerd door LOD.
- Yvan Vander Sanden: 'Korn en snar op reis', aangepast voor <Bug> door Kristof Lauwers.

Technische eigenschappen:

- Maten: breedte: 700 mm, diepte 600mm, hoogte 1070 mm.
- Transportkist: 610 x 710 x 1130 mm
- Gewicht: 33 kg, met de flightcase: 63 kg.
- Elektrisch: 230 V ac / 150 W. In rust: ca. 5 W.
- Bouwjaar: 2016
- Verzekerwaarde: 24.000 €.

<Hunt>

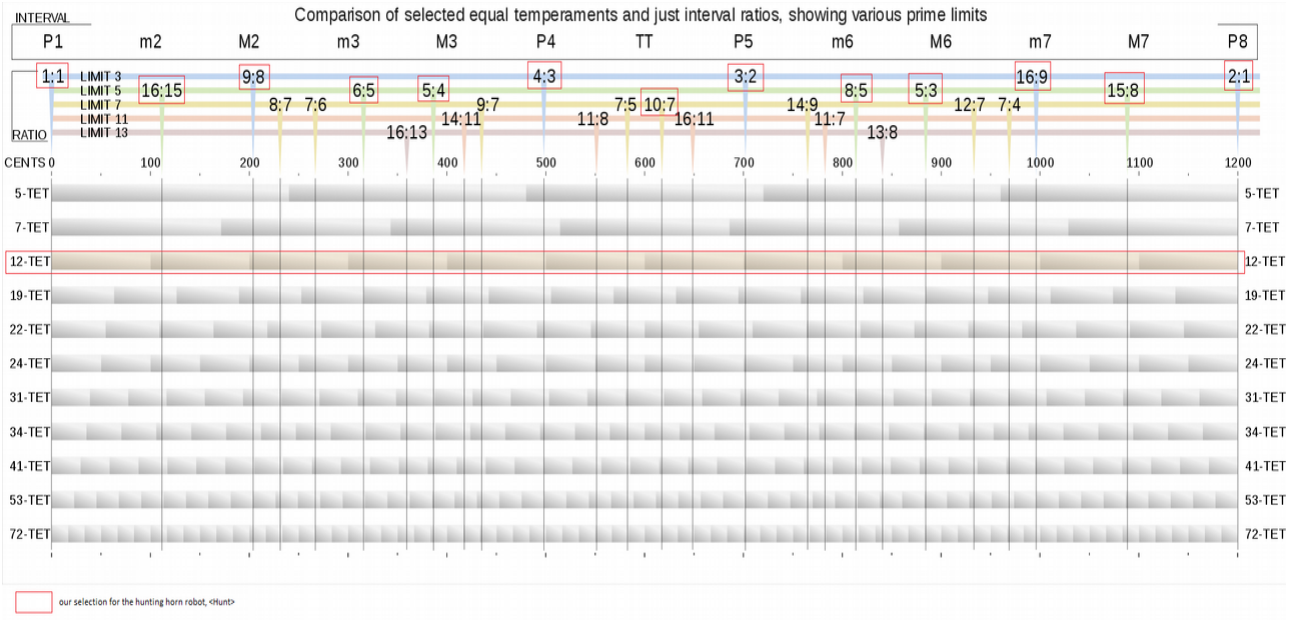


Deze kleine robot ontstond als een satelliet van de <Rumo> robot waaraan we sedert 2014 aan het bouwen en ontwerpen waren. Voor die robot voorzagen we in een hele reeks erg diverse componenten, waaronder ook een jachthoorn. Toen we daarmee bezig waren, besloten we die jachthoorn uiteindelijk toch als een zelfstandige robot uit te werken. Hieruit groeide dan <Hunt>. Het instrument waarvan we hier vertrokken is beslist geen hoge kwaliteits-jachthoorn, ofschoon de conische boring ervan merkwaardig met de aan een jachthoorn te stellen eisen overeen bleek te stemmen.

Wat de jachthoorn zo bijzonder maakt is zonder de minste twijfel de altoos merkwaardige intonatie van de voortgebrachte tonen. Immer vals, zouden we met enige kwaadwilligheid kunnen zeggen. De jachthoorn heeft helemaal geen ventielen en dus zijn de tonen die hij kan produceren in theorie beperkt tot de boventoonreeks van de grondtoon waarvoor hij werd gebouwd. In de praktijk blijkt evenwel dat heel wat meer tonen – zo niet zelfs zowat alle - toch te spelen zijn hetzij door gebruik te maken van afwijkende mondstanden en/of door de hand in de klankbeker te stoppen en zo de toonhoogte te verlagen. Indien we het instrument zouden beperken tot uitsluitend de 'natuurlijke' boventoonreeks, dan zouden we een instrument verkrijgen spelend in de zogenaamde juiste boventoonsstemming. In onze bouw van <Hunt> voorzagen we deze mogelijkheid: ze kan geselecteerd worden met de controllers 20 en 41. Maar, heel wat meer 'juiste boventoonsstemmingen' implementeerden we hier: te kiezen met controller 20 en waarden tussen

48 en 59. Hierdoor kan ook muziek van Harry Partch, waarin gebruik wordt gemaakt van een 'juiste' stemming gebaseerd op G, vertolkt worden: transponeer de muziek een hele toon lager en stel controller 20 in op 53.

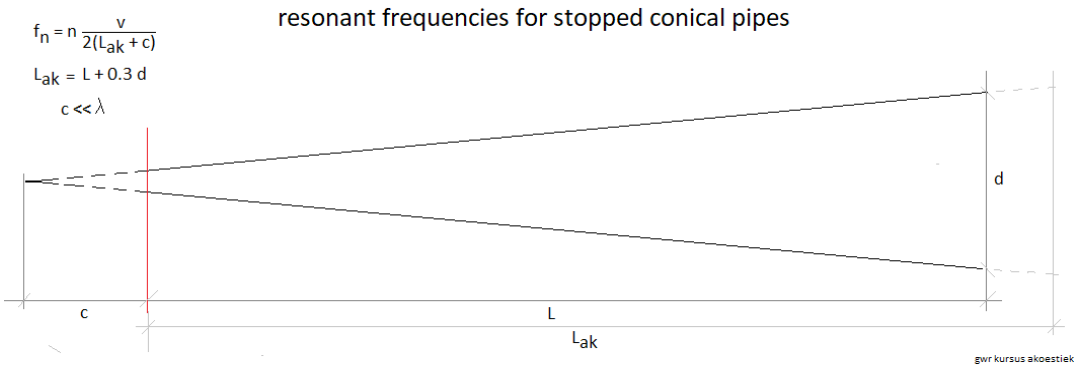
Zoals men weet, zijn er heel wat zogenaamde 'juist geintoneerde' stemmingen mogelijk. Voor wat we bij <Hunt> implementeerden gingen we uit van een chromatische interval-reeks 1:1, 16:15, 9:8, 6:5, 5:4, 4:3, 10:7, 3:2, 8:5, 5:3, 16:9, 15:8, 2:1. Dit komt de gelijkzwevende stemming erg dichtbij terwijl we ons anderzijds toch beperken tot kleine priemgetalverhoudingen. Deze tabel moge dat illustreren:



Zoals we zien is het grootste hier gebruikte priemgetal 7, een getal dat we bovendien alleen nodig hebben voor de implementatie van de tritonus F#. Een andere toonschaal die ook vele aanhangers kent is 1/1, 21/20, 9/8, 7/6, 5/4, 4/3, 7/5, 3/2, 14/9, 5/3, 7/4, 15/8. Ook die toonschaal maakten we in <Hunt> bruikbaar, en ook hier is het grootste gebruikte priemgetal 7. Wellicht overbodig te zeggen dat we ook de gewone vertrouwde gelijkzwevende stemming implementeerden, al wijkt de klank dan nogal af van wat we van de jachthoorn zouden verwachten.

Ondanks de moeite die we ons hebben getroost om al deze 'juiste' stemmingen mogelijk te maken, komen we er niet onderuit erop te wijzen dat zij geenszins thuishoren in de wereld van de akoestische werkelijkheid. Nergens in de gehele natuur, komt de geobserveerde en gemeten boventoonreeks overeen met het platonisch ideaal van gehele veelvouden van een grondtoon. Alleen theoretische en 1-dimensionele oscillerende systemen produceren 'harmonische' boventonen. Die behoren echter tot de wereld van het zuivere Platonisme.

De 'tekstboek' formule voor de berekening van de boventoonreeks van gestopte conische pijpen, zoals men die van toepassing acht op de hoorn, ziet er zo uit:



Excitatie:

Al sedert de tweede helft van de 19e eeuw hebben onderzoekers in het vakgebied van akoestiek en organologie gepoogd deugdelijke methodes te vinden waarmee de trillingsbron in de mondstukken van blaasinstrumenten kon bestudeerd en gemeten worden. Praktische methodes bleken in de praktijk steevast te struikelen over het feit dat de sensoren die we nodig hebben om de trillingen te meten en op te nemen, de excitatie van het instrument grondig beïnvloeden en verstoren. De meetmethode bleek telkens de klankproductie grondig te verstoren. Dat neemt niet weg dat we zelf bij de bouw van robot instrumenten zoals <Bug> en <Klar> dankbaar gebruik hebben gemaakt van de akoestische modellen die op grond van dergelijk onderzoek werden uitgewerkt en gepubliceerd. Rond 2020 begonnen we zelf het probleem langs een andere weg aan te pakken, met name door de trilling in het mondstuk op onrechtstreekse wijze af te leiden. De eerste resultaten van dat onderzoek pasten we toe in nieuwe robots zoals <Flut> maar ook bij upgrades van bestaande robots zoals <So> en <Autosax>. De methode waarmee we de vereiste excitatie golfvormen voor de membraancompressor gekoppeld aan de akoestische impedantieconverter bepaalden en berekenden sedert 2020 en dus ook weer voor deze <Hunt> jachthoornrobot verloopt in enkele stappen.

- In de eerste stap gaan we uit van enkele goede opnames van het geluid zoals we dat wensen horen uit het als robot te bouwen instrument. Daarvoor kunnen we best een representatief aantal opnames maken met het instrument vooraleer het wijzigingen ondergaat in functie van zijn automatisering. Voor de <Hunt> robot was dit natuurlijk erg eenvoudig, want het instrument diende helemaal geen wijzigingen te ondergaan. Deze opnames moeten gemaakt worden op korte afstand van de geluidsbron en in een idealiter anechoische ruimte. De afstand mag zeker niet groter zijn dan de afmeting van de geluidsbron zelf, in dit geval dus de klankbeker van de hoorn. Uiteraard moeten degelijke microfoons gebruikt worden die vrij zijn van eigen inkleuring en bovendien een goede signaal-ruisverhouding hebben. Meetmicrofoons verdienen hier de voorkeur. Dezelfde microfoons moeten ook gebruikt worden voor de verdere stappen in onze hier beschreven procedure. Er moeten opnames gemaakt worden in diverse geluidsterkten en gespreid over verschillende gebieden van de tessituur want de golfvorm kan in die gevallen erg verschillen. Bij de bespeling moet bovendien verzaakt worden aan elke vorm van modulatie: dus geen vibrato, geen tremolo, geen klankkleurmodulatie. Elk representatief staal van de diverse gewenste klanken wordt in een geschikt programma voor audio-bewerking (Cool Edit doet het goed, maar er is veel keuze) zo bewerkt dat we een sample overhouden bestaande uit vier tot zestien perioden van de golfvorm. Dit sample normaliseren we en plaatsen we in een lus. Gebruik nu deze in een lus geplaatste opnames om de opgebouwde membraancompressor gekoppeld aan het instrument, uit te sturen en draag er zorg voor dat dit even luid wordt als de geluidsterkte bij de eerste opnames van het instrument. Noemen we nu het array waarin deze golfvorm is opgeslagen WavIn().

- In de tweede stap maken we nu opnieuw opnames van het met deze in een lus geplaatste samples onder gelijke omstandigheden als gedurende de eerste reeks opnames. Ook deze opnames gaan we

ne bewerken zoals we dat deden voor de eerste reeks. Draag er zorg voor dat de nieuwe samples precies even groot zijn als de eerste reeks. Dus zeker evenveel periodes van de golfvorm en we dragen er ook zorg voor dat er geen faseverschil bestaat. Noemen we deze opnieuw genormaliseerde arrays nu WavOut(). Dit is een redelijk langdradig en arbeidsintensief werkje, vooral in die gevallen waarbij de bijdrage van het instrument zelf tot de klankproductie relatief klein ten opzichte van de bijdrage te wijten aan de speelwijze. Voor de saxofoon is dit bijvoorbeeld in hoge mate het geval, terwijl dat voor de fluit en zeker voor de hobo veel minder het geval is. Voor onze jachthoorn, bevinden ons zowat tussen beide uitersten in. De typische klank van de jachthoorn is extreem verschillend van de klank van de natuurhoorn zoals we die kennen uit de historische uitvoeringspraktijk van de oude muziek, terwijl de instrumenten op zich eigenlijk niet veel verschillen. Jagers produceren een ruw en krachtig geluid met een overmaat aan vibrato en modulaties allerhande, terwijl orkestspelers een veeleer ronde en warme toon produceren.

- Voor de derde stap berekenen we de vereiste golfvorm voor de excitatie van het instrument nu als: WavEx() = (2 * WavIn()) - WavOut(), in het tijdsdomein. Deze berekende golf normaliseren we en we verwijderen elke gebeurlijk ontstane gelijkspanningscomponent. De zo ontstane golfvorm kan nu gebruikt worden als een model voor de excitatie van het instrument. Dit sample, dit model, is de golf ontdaan van elke bijdrage van het instrument zelf. Helemaal juist is dit nochtans niet, omdat in deze redenering geen rekening gehouden wordt met de onderlinge meekoppeling van excitatie en instrument. Dat neemt echter niet weg dat het model vrij goede resultaten blijkt op te leveren wanneer er maar op wordt gelet voldoende verschillende golfvormen voor te bereiden teneinde de dynamische verschillen en de eventuele registers te kunnen realiseren.

– Voor de laatste stap herprogrammeren we de gebruikte microprocessor zo dat de WavEx() samples worden toegepast voor zoveel verschillende noten en dynamieken als de processor aankan. Voor de 16-bit PIC processoren, 24EP256MC202 types, die we hier gebruikten, is het geheugen met 32kB de beperkende factor. Dit geheugen volstaat voor hooguit 20 wave arrays, elk 1024 bytes groot.

Opgemerkt moet worden dat bij een standaard bemonsteringsfrequentie van 44.1 kS/s, de hoogste noot waarvoor onze methode kan worden gebruikt midi noot 64 (329 Hz) is. Met veel hogere bemonsteringssnelheden – bvb.192 kS/s - is het mogelijk opzoek tabellen te berekenen voor noten tot en met midi 90 (1480 Hz).

De theoretische beschouwing achter deze benadering van het probleem van de excitatiegolf is dat deze zoveel mogelijk zou moeten overeenkomen met de trilling van de lippen of – voor rietblaasinstrumenten van het riet - die de resonantie in het instrument tot stand brengt. De moeilijkheid om die trilling rechtstreeks op te nemen bracht ons ertoe de klank van het instrument te denken als samengesteld uit de excitatie en de bijdrage van het instrument zelf onder invloed van die excitatie. Door de membraancompressor uit te sturen met het geluid van het normaal klinkend instrument, verkrijgen we de excitatie golf en de bijdrage van het instrument in tweevoud. Door de excitatiegolf nu te berekenen als WavEx() = (2 * WavIn()) - WavOut() krijgen we een model voor die excitatiegolf.

Wanneer we de golfvormen van akoestische muziekinstrumenten analyseren, komen we er snel genoeg achter dat in werkelijkheid de perioden waaruit de golfvorm bestaat, nooit exact aan elkaar gelijk zijn, noch qua tijdsduur, noch qua vorm. Een oscilloscoop verhult dit, omdat dit meetinstrument een periodiciteit aan het signaal opdringt, ten bate van een stabiel en uitgemiddeld plaatje op het scherm. Om die reden gebruiken we voor ons excitatiemodel een minimum van vier perioden. Meer dan 16 perioden gebruiken levert evenwel ook problemen op, omdat we in dat geval het risico lopen een ritmische pulsatie te horen in de klank bij lang aangehouden noten: subharmonischen van de sample frequentie. Dat verklaart meteen ook waarom we in onze implementatie steeds een zekere hoeveelheid jitter aan die sampling frequentie toevoegen. In

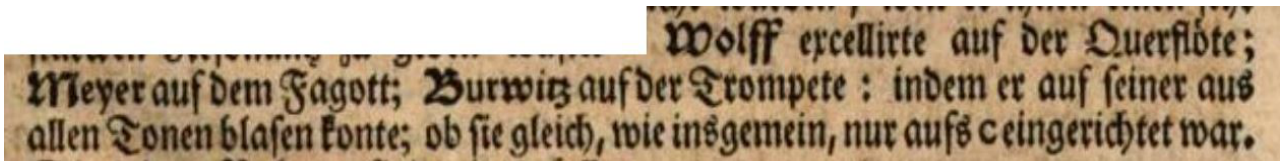
theorie zou deze jitter een Gauss karakteristiek moeten hebben, maar in de praktijk blijkt lineaire random jitter tot aanvaardbare resultaten aanleiding te geven. Geen twee periodes hebben zo dezelfde lengte, volledig zoals dat bij menselijk bespeelde blaasinstrumenten het geval is.

Bij wijze van experiment, vooral gericht op het wegwerken van artefacten in het geluid (aliassen...), poogden we ook een algoritmische benadering van de toonopwekking uit te werken. Daartoe voerden we de data-sets van onze excitatie golfvormen toe aan een programma voor *curve matching*. De beste formule die we op die wijze voor onze <Hunt> robot als akoestisch model voorgesteld kregen kwam er uit te zien als: $y = a \cos(x + d) + b \cos(2x + d) + c \cos(3x + d)$ met daarbij de volgende parameters:

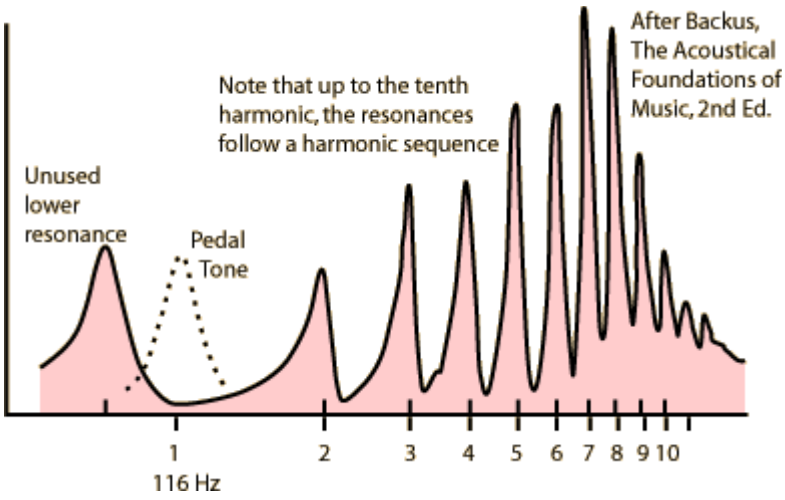
- a = -6.9148714316E-01
- b = -2.86708948032E-01
- c = -5.023669798978E-01
- d = 1.103256577728

Dit resultaat verkregen we met de software van CurveExpertBasic, versie 2.2.1.

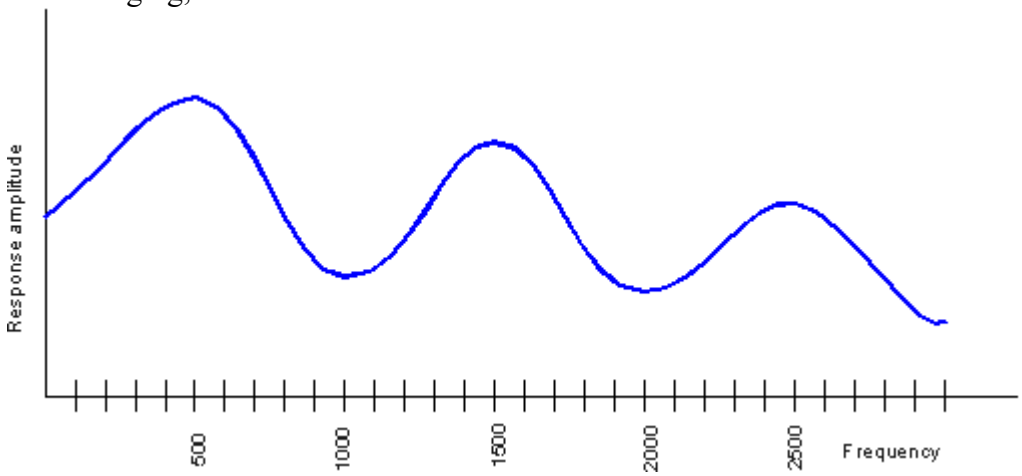
Lezers kunnen zich bij dit alles uiteraard de vraag stellen waarom we hier toch in hemelsnaam zo ver gingen in het implementeren van allerlei stemmingen en intonatiewijzen. Dit heeft alles te maken met onze wil om religieus geïnspireerde misvattingen zoals we die aantreffen in vele boeken over muziekinstrumenten en hun akoestische eigenschappen uit de wereld te helpen. Zo treffen we in zowat al die boeken de bewering aan dat natuurhoorns alleen hun natuurlijke boventoonreeks kunnen spelen. Maar, zoals elke ervaren speler zal beamen, klopt dit helemaal niet. Eerst en vooral omdat spelers altijd de toonhoogte van de noot kunnen aanpassen door kleine wijzigingen van lippositie en druk. Indien dit niet mogelijk ware, zou ook een vibrato immers uitgesloten moeten zijn. Heel goede spelers slagen erin eender welke toon uit eender welke hoorn tevoorschijn te toveren, uiteraard binnen de grenzen van de tessituur en – toegegeven - ten koste van de sonoriteit. Dit is geenszins een nieuwigheid noch een persoonlijke vinding van ons, maar het behoort tot de historische uitvoeringspraktijk voor koperblaasinstrumenten. Mattheson, in zijn 'Grundlagen einer Ehren-Pforte' (Hamburg, 1740), maakt melding van Burwitz, als een heel goede trompettist die in staat was eender welke toon uit zijn C-trompet de halen. Hier is het originele citaat:


Wolff excellirte auf der Querflöte;
Meyer auf dem Fagott; Burwitz auf der Trompete: indem er auf seiner aus
allen Tonen blasen konte; ob sie gleich, wie insgemein, nur aufs C eingerichtet war.

Hieruit blijkt overduidelijk dat de idee om een hoorn te dwingen om eender welke noot te doen klinken, niet zo gek is. De prijs die we betalen is een ongelijke resonantie voor de verschillende noten. Dat valt vooral op wanneer we toonladders spelen. In een muzikale context evenwel, kunnen we dit maskeren door correcties in geluidsterkte en wijze van toonvorming. Hoe hoger we gaan in de tessituur van het instrument, hoe eenvoudiger het wordt om toonhoogte en timbre te moduleren en naar onze hand te zetten. De akoestische verklaring voor deze observaties is dat de Q-faktor die bepalend is voor de sterkte waarmee een boventoon in volume wordt opgeslingerd, helemaal niet zo groot is dan we geneigd zouden zijn te denken. Vaak, in gepubliceerde grafieken, wordt de verticale schaal zwaar overdreven, zoals hier, in een curve ontleend aan het boek van Backus:



Een meer realistische verticale schaal, gebruikt hier in onze eigen metingen van de impedantie van een resonator onder geforceerde bekrachtiging, ziet er zo uit:



Maar, ofschoon de door Backus gegeven grafiek verticaal sterk uitgerokken is (er wordt geen schaal gegeven!) en allicht niet is afgeleid uit werkelijke metingen, moet ook hij toch hebben opgemerkt dat de boventoonreeks die hij zelf illustreert, non-harmonisch is. Merk op hoe de 'harmonische' pieken, geleidelijk aan afwijken van (en kleiner worden dan) de gehele veelvouden naarmate we opklimmen in de boventoonreeks. Zelfs de eerste octaaftoon blijkt al een beetje af te wijken.

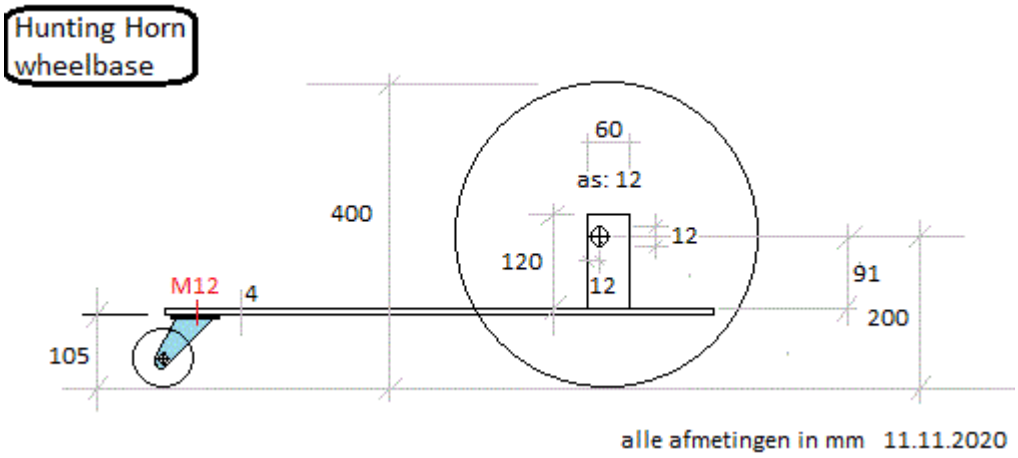
Vibrato:

De implementatie van het vibrato bij de bouw van deze jachthoorn, leidde ons tot een diepgaande analyse van vibrato op muziekinstrumenten in het algemeen. Technisch gesproken is vibrato niets anders dan frequentiemodulatie. Als dusdanig volledig te bepalen met de parameters periodiciteit en modulatiediepte. In de muzikale praktijk is het evenwel toch weer een stukje ingewikkelder. Het simpelweg toevoegen van een sinusoïdale modulatie met een zekere diepte aan een klank, leidt veelal tot een erg mechanisch en kunstmatig klinkend resultaat. Het klinkt alras zoals een goedkoop elektronisch orgeltje. Een menselijke speler zal het vibrato effect laten aanvangen na de aanzet fase van de klank. Na de '*attack*' in het ADSR jargon dus. Ook zal hij het vibrato stopzetten en de toonhoogte terugbrengen naar de nominale toonhoogte van de gespeelde noot vooraleer de klank wordt gestopt. Het starten van het vibrato op willekeurige punten van de omhullende van de klank stelt geen bijzondere technische problemen naar automatisering toe. Maar, het stoppen ervan des te meer. Dit implementeren op dezelfde wijze van een menselijke speler is onmogelijk, omdat het een vooruitkijken in de tijd veronderstelt. Zolang we vasthouden aan het ontwerpen van muzikale robots die in realtime moeten werken zal dit onmogelijk blijven, tenminste voor zover we er niet in zouden kunnen slagen een geavanceerde vorm van artificiële intelligentie in te bouwen waardoor anticipatie

mogelijk kan worden. Dit is voorlopig nog verre toekomstmuziek. In onze <Hunt> robot beslisten we dan maar – als compromis - het vibrato te laten stoppen bij het begin van de release fase van de omhullende. Die release fase begint bij ontvangst van een noot-uit commando. Bij legato spel kunnen we die evenwel niet doen en dus zullen we moeten leven met het mogelijk voorkomen van kleine sprongetjes in de toonhoogte bij opeenvolgende tonen.

Constructie:

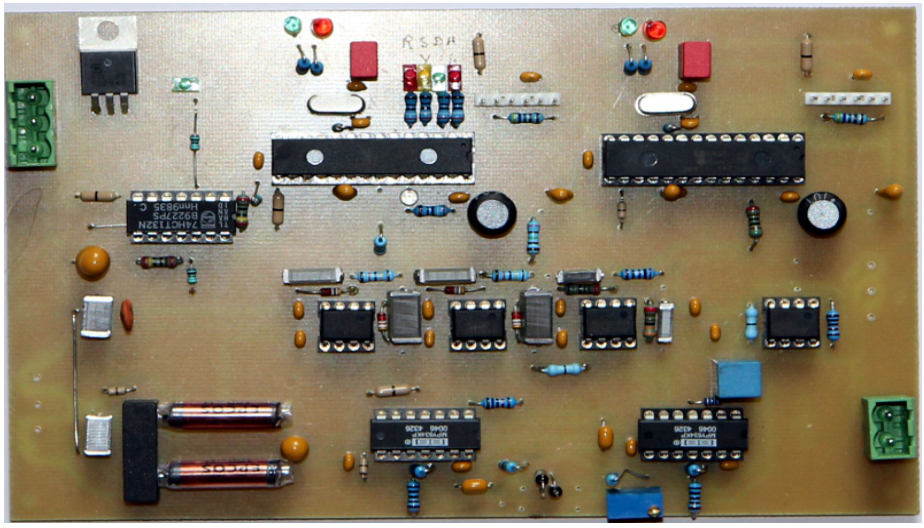
De hoorn monteerden we zo dat hij opgehangen is in een soort wieg. Daarbinnen kan hij vrij op en neer bewogen worden. We voorzagen in een inclinatiesensor, waardoor gebruikers de positie van de hoorn precies kunnen besturen . De constructie – uitgevoerd in roestvast staal - kwam op een basis met drie wielen te staan.



Voor de membraancompressor gebruikten we deze keer een krachtige Braziliaanse selenium driver,

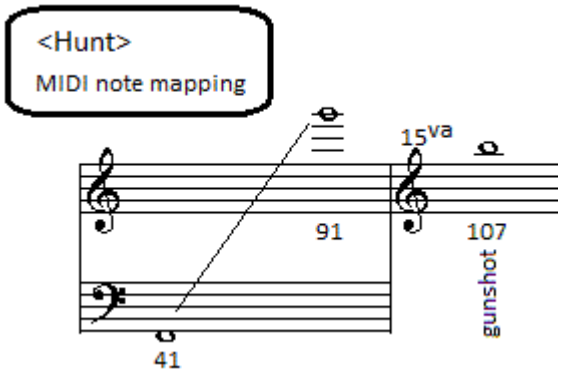


type D250: De schroefdraad is een permanente bron van ellende: een 1 3/8" - 18 TPI waarvoor het vinden van passende moeren een hachelijke onderneming is. Deze compressor sturen we uit met een analoog opgebouwde 100 W vermogens operationele versterker gebouwd rond de helaas niet langer geproduceerde LM12CK chip. Het excitatiesignaal wordt gegenereerd en bestuurd door een board waarop we gebruik maakten van twee 16-bit PIC24EP256MC202 processors



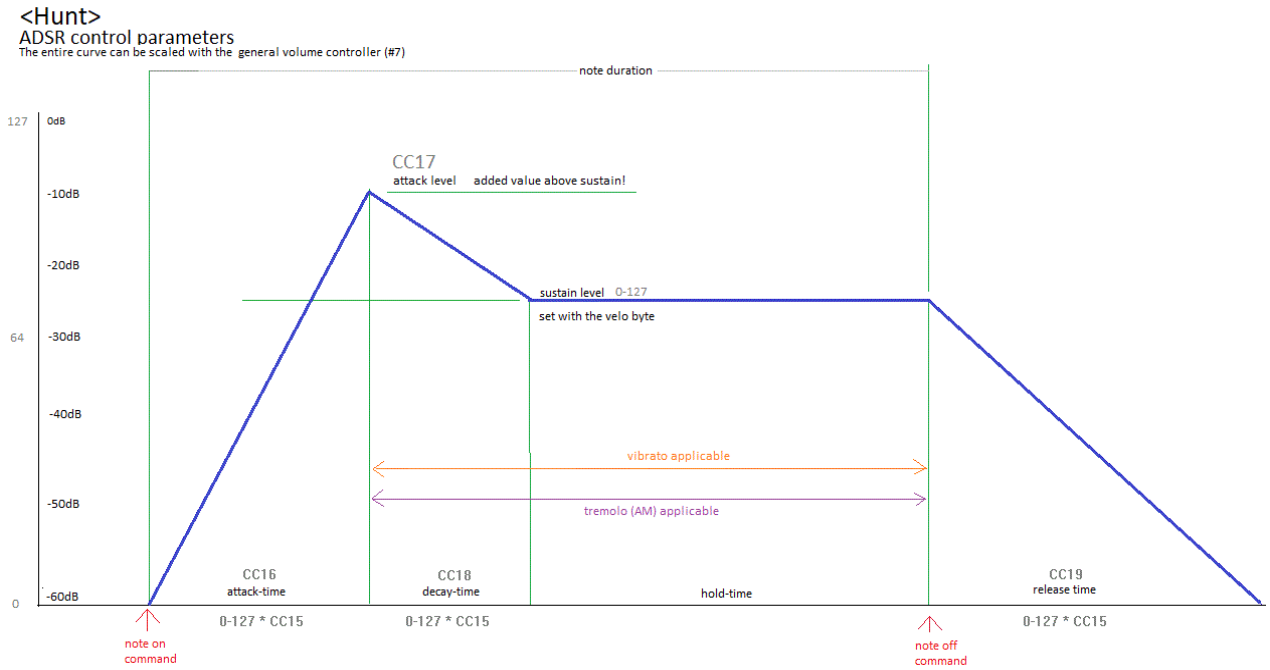
Dit bord omvat ook enkele analoog opgebouwde laag-doorlaat filters evenals een dynamisch, niet-lineair formant filter. De twee overige processor boards zijn uitgerust met 8 bit 18F2620 processors en staan in voor de MIDI-parsing, de besturing van het geweerschot, de motor voor de beweging en de lampjes.

Midi implementatie en mapping:



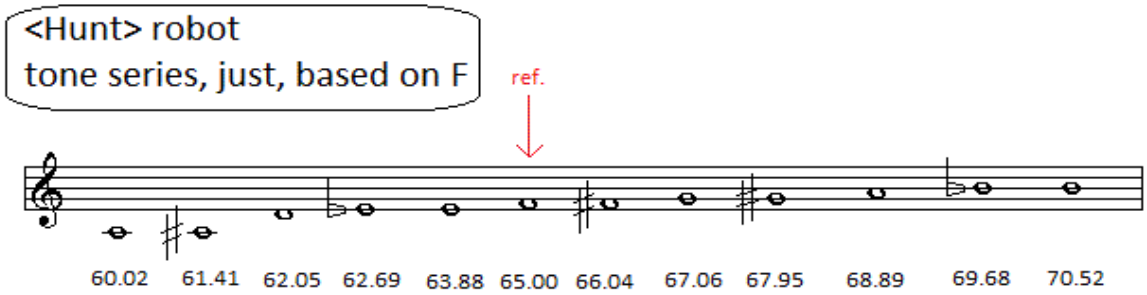
Midi kanaal = 2

Controllers:
Controller 1: ruisgehalte van de klank [default = 48]
Controller 3: vibrato modulatie diepte (8).
Controller 4: vibrato modulatie snelheid. (94)
Controller 5: tremolo modulatie diepte (4)
Controller 6: tremolo modulatie snelheid (20)
Controller 7: globale volume regeling (100)
Controllers 15 tot 19: ADSR parameters, alsvolgt:



Controller 20: stemming. De default is A=440Hz voor waarde 64. Speciale instellingen zijn voor <Hunt>:

- 41: stemt <Hunt> in juiste boventoonsstemming gebaseerd op de lage F, de basistoon van dit instrument. De toonschaal wordt:



•48-59: stemt <Hunt> in juiste boventoonsstemming voor de grondtonen 48 tot 59. De toonschaal is: 1:1, 16:15, 9:8, 6:5, 5:4, 4:3, 10:7, 3:2, 8:5, 5:3, 16:9, 15:8, 2:1
•61: stemt <Hunt> in gelijkzwevende stemming, maar alle tonen een kwarttoon lager tegenover La=440Hz
62 tot 66: stemt <Hunt> op resp. A = 435 , 438, 440, 442, 445 Hz
67: stemt <Hunt> een kwarttoon hoger tegenover A = 440 Hz.
•72-83: stemt <Hunt> in juiste boventoonsstemming gebaseerd op de grondtonen 48 to 59. De toonschaal is hier: 1:1, 21:20, 9:8, 7:6, 5:4, 4:3, 7:5, 3:2, 14:9, 5:3, 7:4, 15:8, 2:1

Controller 22: Verticale beweging van de hoorn
Controller 40: selecteert de gebruikte golfvorm tabel voor het register 41 to 52. Mogelijke waarden zijn 0 tot 6. Default is 6.
Controller 41: selecteert de gebruikte golfvorm tabel voor het register 53 to 70. Mogelijke waarden zijn 0 tot 6. Default is 5.
Controller 42: selecteert de gebruikte golfvormtabel voor het register 71 tot 81. Mogelijke waarden zijn 0 tot 6. Default is 5.
Controller 43: selecteert de gebruikte golfvormtabel voor het register 82 tot 91. Mogelijke waarden zijn 0 to 6. Default is 2.

Controller 66: aan/uit schakelaar.
Controller 69: automatische lampjes aan of uit. Default is aan.
Controller 80: Stelt het dynamisch bereik van de robot in. Default is 32 voor een bereik van 30 dB
Controller 107: Stuurt de kracht van het geweerschot.
Controller 123: Alle klank uit.

Pitch bend: geïmplementeerd met een bereik van een halve toon. (-50 to + 50 cents). Merk op dat de pitch bend instructie moet gegeven worden na de note-aan instructie.

Medewerkers aan de bouw van <Hunt>:

•Mattias Parent, Kristof Lauwers, Bert Vandekerckhove, Lara Vanwynsberghe

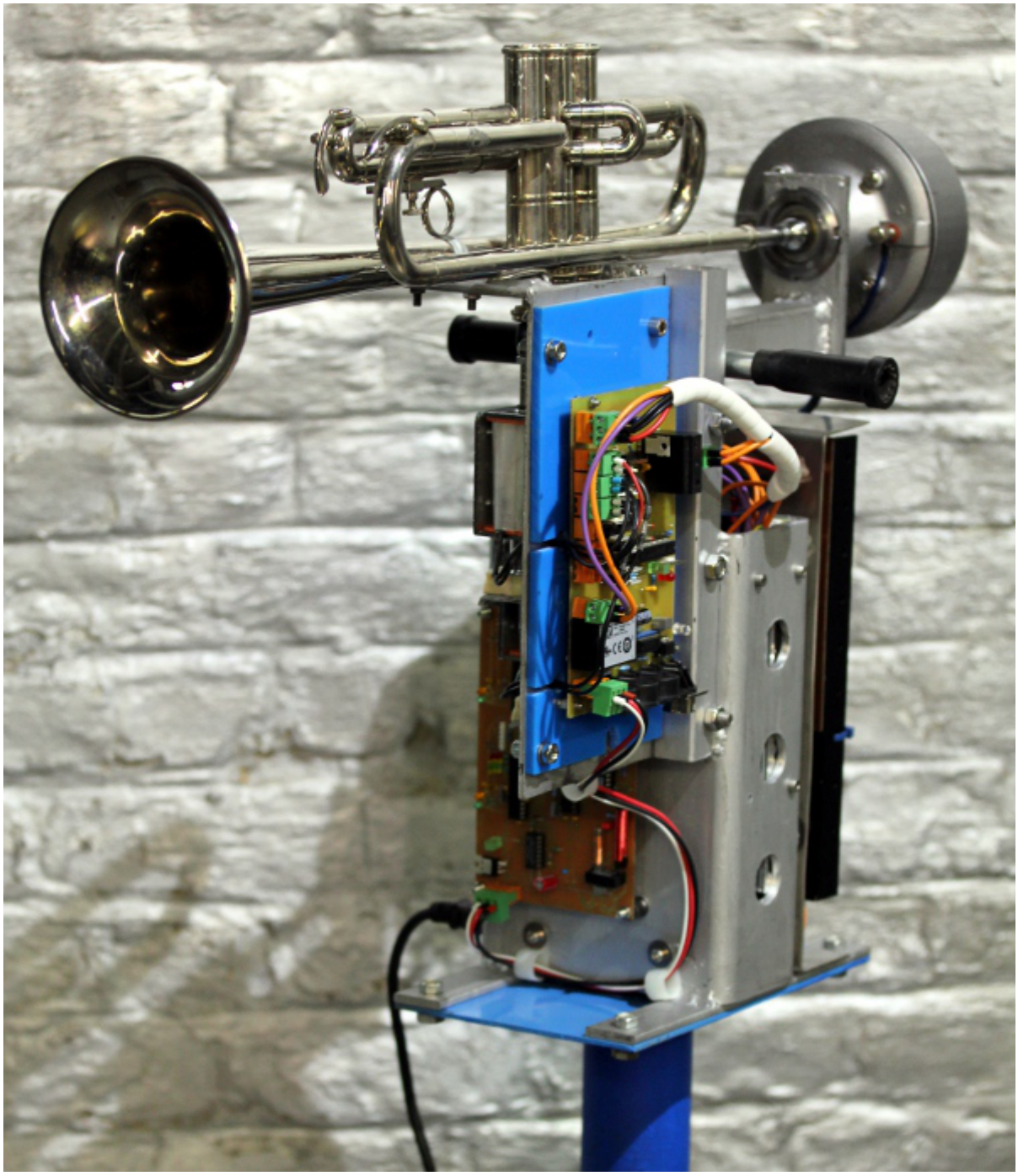
Muziek gecomponeerd voor of met <Hunt>:

Alain Van Zeveren, 'Equilibrium' (2021), dit was het eerste stuk voor het robotorkest waarin een partij voorzien was voor <Hunt>
<Hunt> kreeg ook een rol in mijn eigen 'Eindspel' (2021) evenals in 'Linac Elekta' (2022).

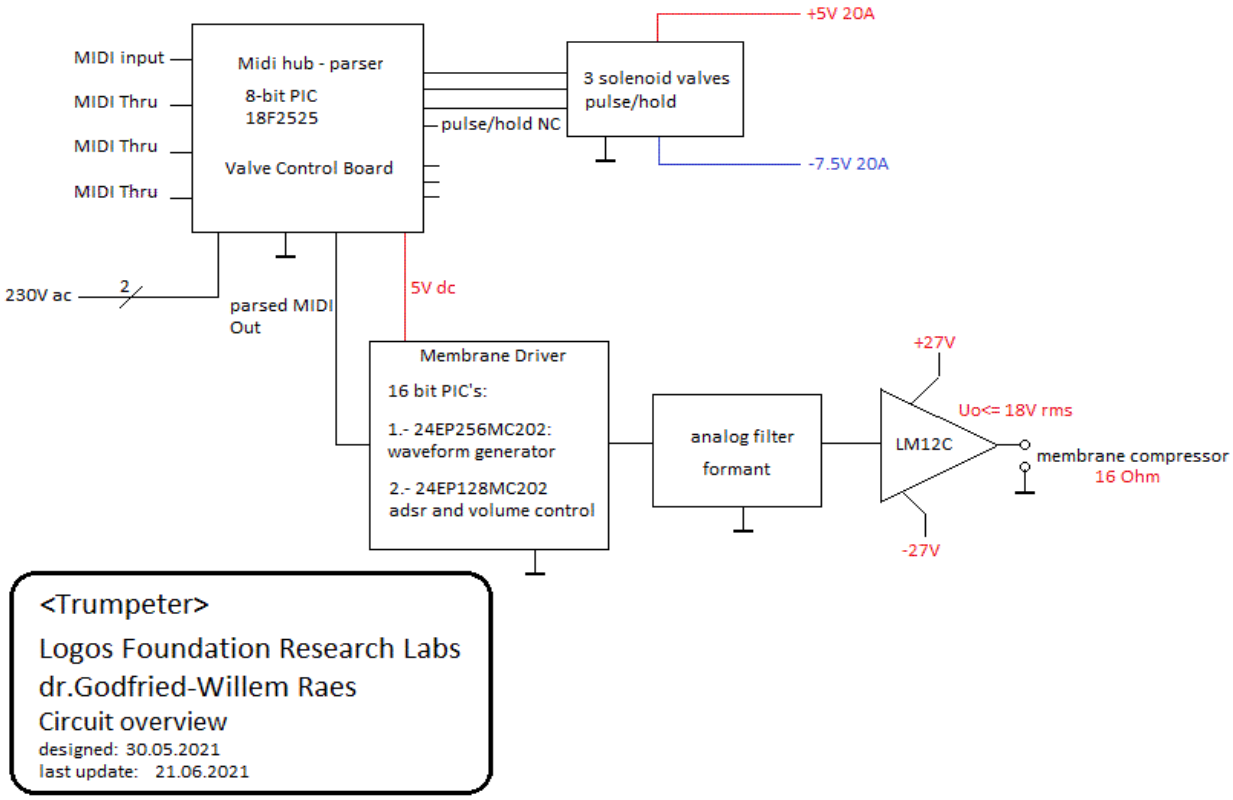
Technische gegevens:

•Maten:
•Gewicht: 15 kg
•Elektrisch: <100 Watt / 230 V
•Stemming: A = 440 Hz (programmeerbaar)
•Geluidsdruk: 42 - 107 dBA SPL.
•Bouwjaar: 2021
•Verzekeringswaarde: 5.000 Euro

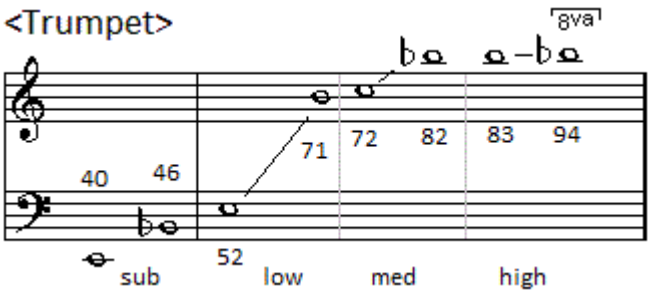
<Trumpeter>



Deze robot werd gebouwd in opdracht van Alain Van Zeveren, uitgaande van een door hemzelf verstrekte – en ooit bespeelde - trompet. Het ontwerp sluit nauw aan en bouwt voort op de eerder gebouwde robots <Bug> en <Hunt>. Om de besturing van de ventielen te vereenvoudigen bij gebruik van duwmagneten, werd de trompet in deze robot ondersteboven gemonteerd. Op deze wijze benutten we immers de zwaartekracht voor het in rustpositie brengen van de ventielen. Aangezien hij niet behoort tot de verzameling van het Logos robotorkest, verzaken we hier ook aan een uitvoerige bouwbeschrijving. Het globale opzet van de hiervoor ontworpen elektronica ziet er zo uit:



Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 12

Technische gegevens:

- Maten: breedte= 660 mm, diepte=260 mm, hoogte=520 mm, met wielbasis wordt dit 1500 mm.
- Gewicht: 17kg (zonder staander)
- Elektrisch: 230 V ac / 150 W. In rust ca. 5 W.
- Geluidsdruk: > 102dBA @ 1m, frontaal gemeten.
- Bouwjaar: 2021
- Bouwkost: 6.550 €

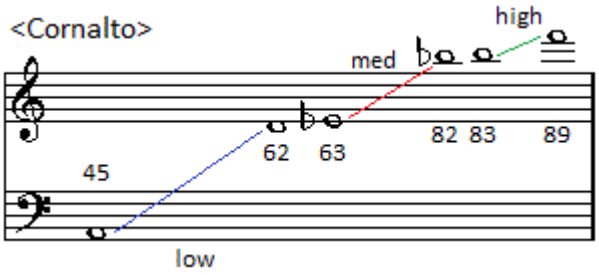
<Cornalto>



Net zoals <Trumpeter> werd ook deze geautomatiseerde saxhoorn, een alto uit het interbellum, gebouwd in opdracht van Alain Van Zeveren. Muzikaal gezien zijn de cornet, de fluegelhorn of bugel en alle saxhoorns nauw verwante instrumenten. Ze verschillen onderling wat naargelang de stemming en ook de klankkleur kent enige variatie. Al deze instrumenten hebben een zacht conische boring en worden geacht ronder te klinken dan gelijkaardige instrumenten met een cilindrische boring, zoals de trompet. De tessituur van de alt saxhoorn (in het Verenigd Koninkrijk noemt men dit instrument een *tenor horn*...) is beperkter dan die van de overige instrumenten, wat vooral te wijten is aan het feit dat de laagste mogelijke noten, nooit worden gebruikt. De handboeken beperken de tessituur tot hooguit 2 1/2 octaven. Ofschoon aangeduid met de naam althoorn, is het helemaal geen hoorn, maar een saxhoorn net zoals de tuba en de cornet. Het is een transponerend Eb instrument. In het interbellum werd het instrument vaak gebouwd in een cirkelvorm, zoals de echte hoorn, maar sedert de tweede wereldoorlog, is alleen nog de kleine tubavorm gangbaar.

De bouw en automatisering van dit instrument leverde geen noemenswaardige problemen op en sluit geheel aan bij eerdere robotica projecten. Omdat <Cornalto> niet behoort tot het Logos robotorkest, verzaken we hier aan het geven van een uitgewerkte bouwbeschrijving.

Midi mapping en implementatie:

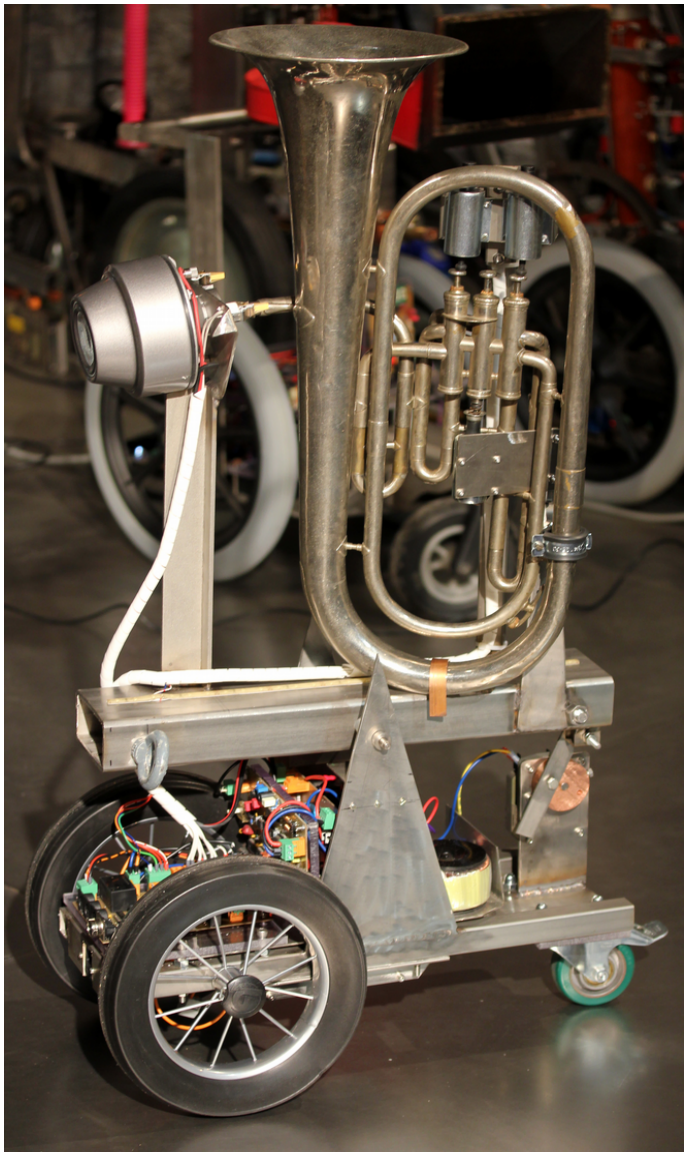


Midi kanaal: 13

Technische gegevens:

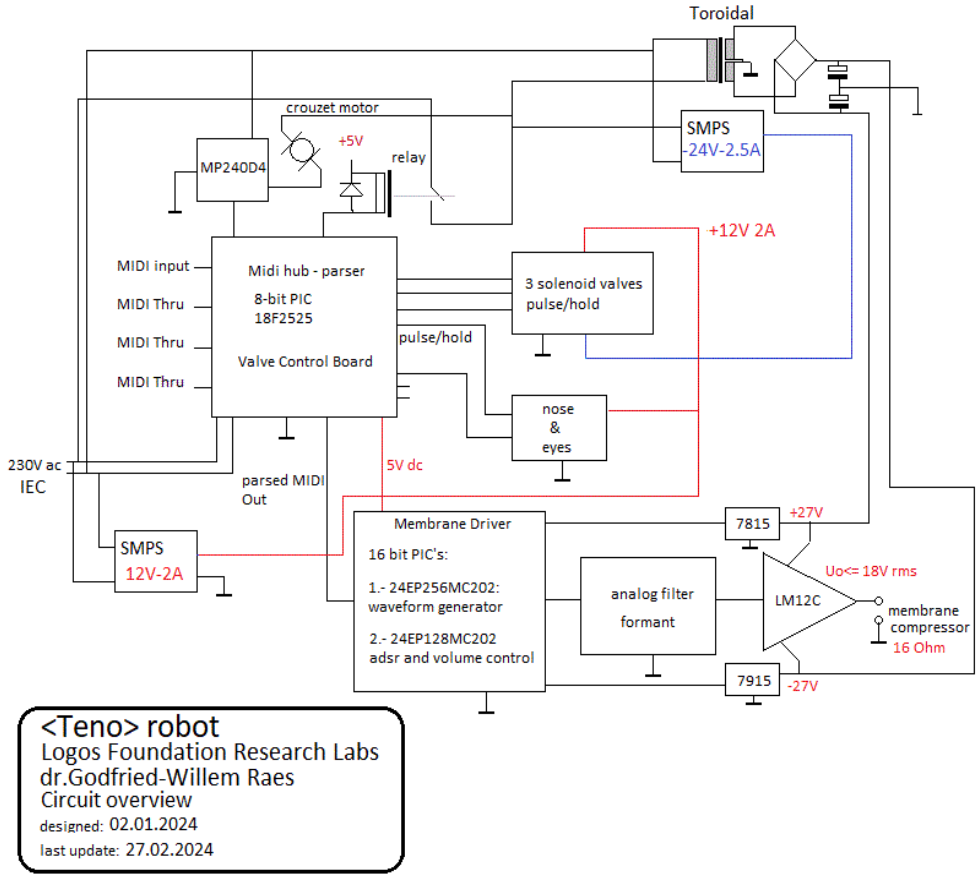
- Maten: hoogte: 920 mm, lengte 500 mm, breedte 380 mm
- Gewicht: 20 kg
- Elektrisch: 230 V ac / 150 W. In rust ca. 5 W.
- Luidheid: > 102dBA
- Bouwjaar: 2021
- Bouwkost: 9.000 €

<Teno>

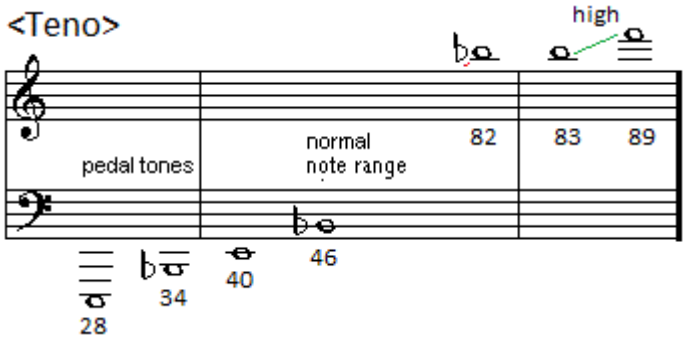


Voor de bouw van deze robot, afgewerkt in 2024, vertrokken we van een antieke originele tenor saxhoorn uit de ateliers van Charles Mahillon in Brussel. Dat instrument hadden we ooit eens op de Gentse rommelmarkt gekocht voor gebruik in ons vormingswerk gericht op vrije muzikale expressie, de toenmalige Filharmonie van Gent. Toen we het instrument opnieuw uit onze verzameling opdolven in februari 2024 bleek het nog steeds in een redelijke staat te zijn en bovendien ook volstrekt bespeelbaar. Er moeten ooit - na WO2 vermoeden we- wat buisjes aan omgesoldeerd zijn, want de stemming La 440Hz bleek helemaal correct, wat gezien de geschatte leeftijd van het instrument, zo goed als uitgesloten is. We hadden eerder 455 Hz of 430Hz verwacht. Voor de automatisering van dit instrument bouwden we verder vanuit de ervaringen opgedaan met de robots <Trumpeter> en <Cornalto> die we bouwden in opdracht van Alain Van Zeveren. In dit geval gebruikten we echter kwalitatief heel wat betere elektromagneten van Tremba. Gezien de diameter van deze magneten een plaatsing naast elkaar, boven of onder de ventielen, onmogelijk maakt beslisten we twee duwmagneten toe te passen voor resp. het 1-toon en het anderhalve toonsventiel terwijl we het halvetoonsventiel -het middelste- bedienen met een trekmagneet gemonteerd onder het ventiel. Daartoe dienden we wel een dik messing plaatje voorzien van M3 schroefdraad onderaan in het ventiel met cyaanacrylaatlijm vast te kleven.

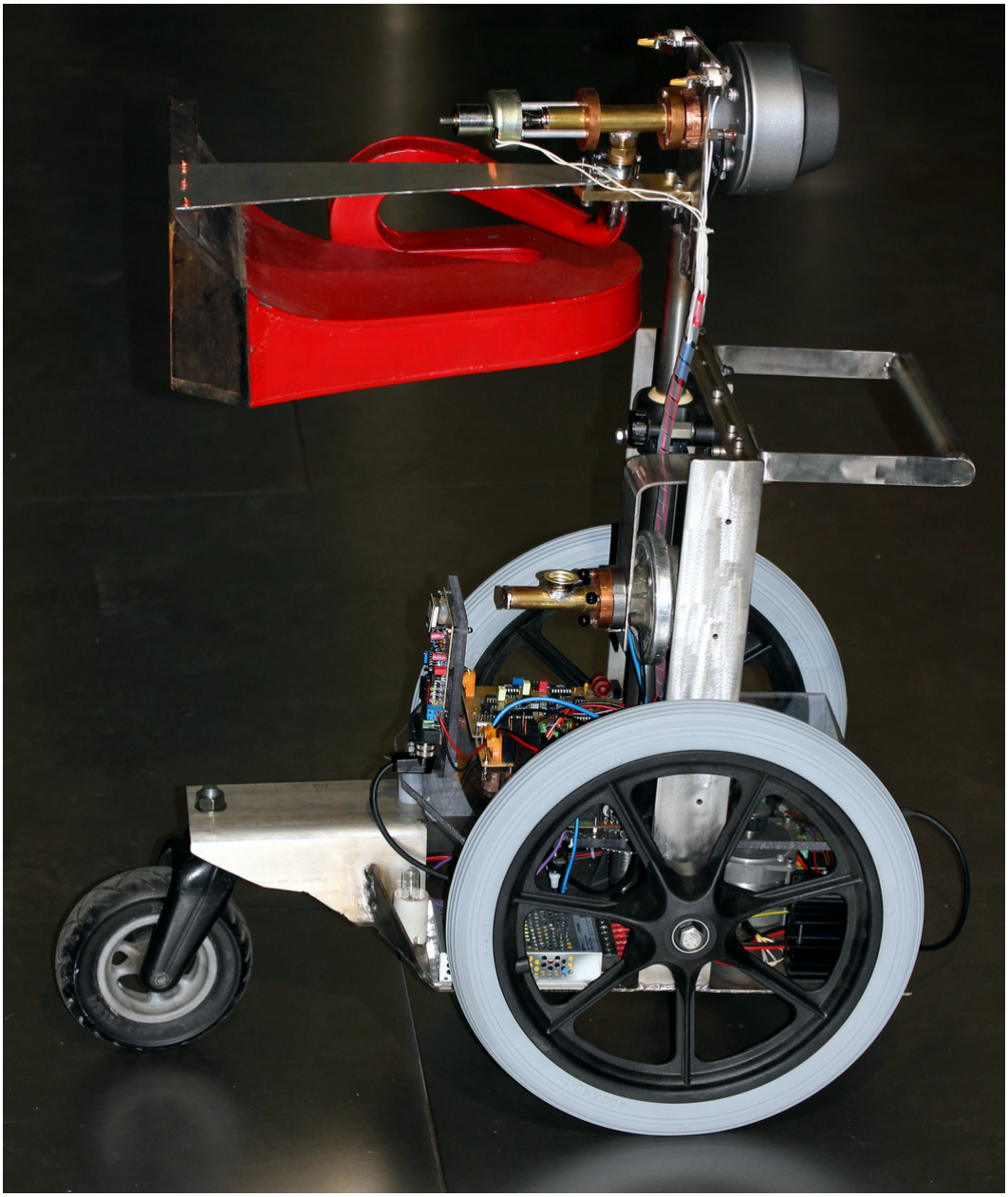
In tegenstelling tot de <Trumpeter> en <Cornalto> robots, voorzagen we hier ook in wat beweging, zij het eerder minimalistisch. Daartoe monteerden we het instrument en de drager ervan op een in een juk draaiende as. Dit geheel kunnen we zachtjes laten schommelen via een aandrijving met een Crouzet synchroonmotor met 1:650 vertragingskast en een excentriek. Aan het plaatsen van positiesensoren verzaakten we in dit ontwerp.
Voor de aandrijving van het mondstuk maakten we gebruik van een Padu 100 W membraankompressor aangestuurd door een historische maar nog steeds uitstekende LM12 power op-amp met een zuiver analoge symmetrische voeding. Hier is het overzicht over de schakelingen:



Midi implementatie:



<Kazumi>



Vanuit organologisch perspectief konden we ons eigenlijk al lang de legitieme vraag stellen of robotjes waarbij resonatoren worden aangestuurd door membranen zoals dat het geval is voor alle automaten behoren tot onze Pi-reeks, niet ook konden worden beschouwd als mirlitons. Immers, de membranen in deze instrumenten worden door een externe trillingsbron in beweging gebracht. Alleen ontbreken bij traditionele kazoos de resonatoren die voor onze instrumenten nogal wezenlijk zijn. Bovendien zijn de membranen in onze Pi-orgeltjes uit relatief stug ferromagnetisch metaal gemaakt. Maar geen van beide punten vormen een echt argument om niet van mirlitons te spreken.

Zoals de uitvinding van het warm water traditioneel wordt toegeschreven aan de Sovjet Rus Vladimir Popov, zo ook claimen de Amerikanen de uitvinding van de kazoo: een zwarte uit de zuidelijke staten, genaamd Alabama Vest zou het instrumentje in 1840 hebben uitgevonden. Daarvoor is evenwel geen enkele bron te vinden behalve dat het verhaal werd opgevist in een humoristische sketch uitgevoerd door een kazoo-kwartet. In Beaufort, South Carolina, blijkt er ook

een Kazoo-museum te bestaan, althans volgens Wikipedia. Nochtans kan het werkingsprincipe van het instrument teruggevonden worden in heel wat muziekinstrumenten uit andere dan de westerse cultuur. Het komt voor in de etnische muziek van geheel centraal Afrika en ook in Azië ontmoetten we o.m. de Indische bansuri fluit (ook wel bansri gespeld) bijvoorbeeld uitgerust met een resonantiemembraan net zoals we dit vinden in de kazoo. In 1900 vinden we ook een patent terug, toegekend aan een zekere Louis Crakow in New York, voor een zogenaamde 'songophone'. Ook hier hebben we te maken met een van de vele mogelijke verschijningsvormen van wat we organologisch een mirliton moeten noemen en enige originaliteit is in de beschrijving van dit patent helemaal niet te ontwaren. Zelf hebben we in de jaren '70, toen we nog erg actief waren op de concertpodia op klarinet, een 'preparatie' voor onze klarinet gebouwd door een kazoo-mechanisme te monteren op het tonnetje van het instrument. Dit werkte uitstekend en de geluidssterkte die we zo konden bekomen, tartte alle verbeelding. De tessituur van het instrument werd er wel erg door beperkt maar inzake brutaliteit, kon de klank moeilijk overtroffen worden...



Een beknopte technische analyse van een van de meest voorkomende types kazoo (zie foto) leert dat de opening aan het mond-uiteinde een oppervlakte heeft van 93 mm2, terwijl de oppervlakte van het gat aan de andere zijde slechts 37 mm2 bedraagt. Hierdoor ontstaat er een compressie van de druk in een verhouding van nagenoeg 1 op 3. Door het membraan aan de bovenzijde ontsnapt geen lucht zodat de compressie hierdoor nauwelijks wordt beïnvloed
De hoofdzakelijke geluidsbron in de kazoo wordt gevormd door het membraan dat tegen een klein rooster aan trilt. Niet alle exemplaren hebben echter zo'n rooster en het systeem blijkt inderdaad ook te werken met uitsluitend een klein en dun membraan. Het membraan is echter in dat geval snel aan vervanging toe... Wanneer we dus een akoestische versterker voor een kazoo willen bouwen en ontwerpen, moeten we in elk geval vertrekken vanaf dat trillend membraan. Aangezien een kazoo geacht wordt over een ruime tessituur -overeenkomstig die van een menselijke stem- te kunnen klinken, moeten we een hoorntype kiezen dat zo lineair mogelijk versterking oplevert over de gehele bandbreedte van die tessituur. Akoestisch ligt het gebruik van een zuiver exponentiële hoorn dan voor de hand. Nu zouden we zo'n hoorn natuurlijk zelf kunnen bouwen uit ijzer- of messingblik, maar evengoed kunnen we een hoorn uit een oude akoestische grammofoon recycleren. Deze hoorns werden in de eerste helft van de vorige eeuw immers algemeen gebruikt en steeds als exponentiële hoorn gebouwd. We hadden er nog wel enkele in voorraad en bovendien hadden we dergelijke hoorns ook al gebruikt in bepaalde instrumenten van het Pneumafoonprojekt (met name voor Kolpia en voor Tembo).

Voor de aansturing van het kazoo mechanisme deden we beroep op een Padu membraancompressor. Deze heeft een impedantie van 16 Ohm en een vermogen -volgens opgave van de Chinese fabrikant- van 100 Watt. Een exponentieel verlopend koppelstuk voor de aanpassing van de membraanhouder op de exponentiële hoorn maakten we uit stukjes messing buis. Op het kleine uiteinde van het mechanisme monteerden we een conisch klepje dat door een Ledex softshift elektromagneet bediend kan worden. Hiermee is klankkleur modulatie van het akoestisch geluid goed te realiseren. Overigens bouwden we een tiental verschillende kazoo's op om op grond van de evaluatie ervan, de meest optimale uitvoering te kunnen kiezen. Een akoestisch model, laat staan

een wiskundig uitgewerkte theorie, voor de akoestiek van de kazoo is immers voor zover wij konden nagaan, nooit uitgewerkt.

Het model waarin gebruikt wordt gemaakt van messing 1/2" fittingen is het meest 'professionele',



want naar duurzaamheid en mechanische sterkte optimaal. Ook montage en demontage verlopen bij dit ontwerp redelijk eenvoudig. Niet alleen met het kazoo ontwerp zelf maar ook met het materiaal voor het membraan werd grondig geëxperimenteerd, vooral dan – ook hier - met het oog op klank en duurzaamheid. Dunne velletjes van een ui, cigarettevloeitjes, cellofaan, eiervelletjes, allerlei plastic folies, zilverpapier, Hasberg voelerlint 0.01 mm, goudblaadjes, messingfolie... passeerden de revue. De vier eerstgenoemde leveren weliswaar een goed geluid op, maar gaan hooguit tien minuten tot een uur mee...

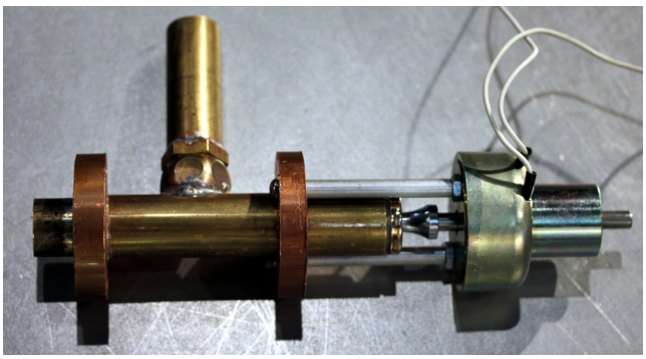
Omdat het geluid met de exponentiële hoorn gekoppeld aan de kazoo, deze laatste welhaast muzikaal aanvaardbaar maakt – wellicht een gevolg van de beperking in bandbreedte veroorzaakt door de hoorn - beslisten we in ultimo, een tweede 'recht voor de raap' kazoo in te bouwen. Daarvoor voorzagen we een tweede compressiedriver waarmee een kazoo zonder enige principiële wijziging wordt aangestuurd. Keuze tussen beide mechanismen kan door de gebruiker worden gemaakt met behulp van twee midi-controller commando's. (#13 en #14). Ook kunnen beide mechanismen tegelijkertijd geselecteerd worden. Het signaal waarmee ze worden aangestuurd is evenwel steeds hetzelfde. Een tweestemmige kazoo is het dus helemaal niet geworden. Het zal gebruikers zeker opvallen dat de 'gewone' kazoo, dus zonder hoorn, aanzienlijk stiller klinkt, hoewel hij met een identiek signaal wordt aangestuurd.
De excitatie van het kazoo mechanisme – die normaal gezien met de menselijke stem gebeurt - werd bepaald na een heel brede reeks experimenten met diverse algoritmisch gegenereerde golfvormen met meerdere parameters, samples en niet-periodieke signalen. Uiteindelijk bleek een zuivere sinus hier nog het meest realistische effect op te leveren, hoewel akoestische modellen voor koperblaasinstrumenten ook een erg overtuigend resultaat geven. Niet voor niets worden kazoo's nu eenmaal vaak ingezet in armelui's fanfares en muzikaal kinderspeelgoed.

Voor de tessituur van deze muzikale robot beperkten we ons tot wat – heel ruim bekeken - ook binnen het vocale bereik kan vallen. De firmware voor de klankopwekking is gespreid over twee microprocessors en omvat uitgebreide mogelijkheden voor klankkleur modulatie evenals voor de besturing van de omhullende. Een derde microprocessor staat in voor de besturing van de motor, de lampjes, de relais en het filteren en interpreteren van de MIDI-commando's.

Slotbeschouwing en evaluatie: Het typische geluid van de kazoo kan slechts worden verkregen binnen bepaalde grenzen van zowel tessituur als van geluidsterkte. Onder een bepaald geluidsniveau trilt het membraan helemaal niet mee. Ook boven een bepaalde geluidsdruk werkt het niet meer. We hadden natuurlijk de parameters kunnen begrenzen tot waarden waarbinnen de kazoo voortreffelijk werkt, maar omdat die parameters en die grenzen telkens anders komen te liggen wanneer het membraan vervangen wordt, leek ons dat helemaal niet praktisch voor de gebruikers.

Apologie van de kazoo:
Toen we op sociale media voor het eerst ons plan onthulden om een robot kazoo te ontwerpen en te

gaan bouwen, kregen we al snel heel wat negatieve reacties. Voor velen is de kazoo klaarblijkelijk zowat het onmuzikaalste ding dat ooit werd uitgevonden of bedacht. Eerder een – onuitstaanbare - grap dan een instrument dus. Een kleine apologie was hier dan ook aangewezen.
De introductie van de kazoo in de muziekpraktijk is immers een revolutionaire stap gebleken in het bevrijden van de muziek uit de kluisters van het woord. Vocale muziek was – afgezien van de toch wat marginale genres van de zuivere vocalise enerzijds en de sonore poëzie anderzijds - helemaal gebonden aan het woord met alle semantische vervuiling en narigheid vandien. De intrede van het woord in de muziek heeft er immers de leugen binnengebracht. Erger nog, die vergiftiging van de vocale muziek met woord heeft zelfs een verfoeilijk genre als de opera mogelijk gemaakt en zo de deur opengezet voor enorme geldverspilling en daarmee samenhangende torenhoge corruptie in het muziekbedrijf. Een corruptie die met noodzaak gepaard ging met de institutionalisering van operahuizen als bedrijven met honderden werknemers, werkslaven en vakbondsvertegenwoordigers. Het orkest werd daarbij zelfs naar een bak onder het podium verbannen! Er waren zelfs ooit musicologen van laag allooi die het presteerden ettelijke bladzijden (zoniet hoofdstukken en zelfs boeken) van 'wetenschappelijke' publicaties vuil te maken aan uitvoerige beschrijvingen van opera libretto's, alsof die ook maar iets met muziek zouden hebben uit te staan... Pure waardeloze broodschrijverij natuurlijk en zonde van de omgehakte bomen. Maar goed, dankzij de kazoo is de verlossing uit de hel van de vocale onmuziek mogelijk geworden en misschien ook eindelijk in aantocht. Zelfs met religieuze muziek – het summum van leugenachtigheid – kan dankzij de kazoo helemaal komaf worden gemaakt, waarmee eindelijk nu ook in de vocale muziek de verlichting helemaal kan doordringen. Stel u voor, een volledige Mattheuspassie voortaan met alle koren en solisten op kazoo! Heerlijk toch. Ik kijk nu al uit naar de volgende crematie van een intendant met een Erbarme Dich op een kazoo...



Midi-mapping en implementatie:



Midi kanaal: 14. Kazumi luister naar midi noot aan/uit commando's waarbij zowel velocity als release geïmplementeerd zijn Ook pitch-bend is mogelijk met een bereik van een halve toon. Er zijn bijzonder veel midi controllers geïmplementeerd Hierbij een beknopt (maar onvolledig) overzicht:

Controllers:

#1: sterkte van de ruiscomponent in de klank. [48]
#2: vertragingstijd voor het vibrato effect [64]
#3: FM modulatie diepte, voor vibrato [8], #4: vibrato snelheid [94]
#5: tremolo modulatie diepte [4], #6: tremolo modulatie snelheid [20]
#7: volume regeling [60]
#10: panning: geïmplementeerd voor de horizontale beweging van de hoorn. 0= helemaal links, 127 = helemaal rechts. De snelheid kan worden ingesteld met controller #31 en de acceleratie met controller #32.
#11: Bestuurt de articulatie van de kazoo met de softshift magneet. Modulatiesnelheid met #24.
#13: schakelt de exponentiële hoorn aan of uit.
#14: schakelt de gewone kazoo aan of uit.
#15: ADSR-periode tijd [24], #16: attack-tijd [32], #17: houd-niveau [74]. #18: decay-tijd [32]
#19: uitsterftijd [80]
#20: Stemming [64 voor 440Hz]
#66: aan/uit schakelaar.
#71: motor-calibratie commando.
#80: dynamisch bereik [62 voor 30dB]
#123: schakelt alle geluid uit.

Technische gegevens:

afmetingen: h = 1000, d = 550, b = 400
gewicht: 35 kg
elektrische aansluiting: 230 V - 1 A
interaktiviteit: ingebouwd via een 24GHz radar sensor.
Stemming: A = 440 Hz (programmeerbaar)
Bouwjaar: 2023
Bouwkost: 11.500€

Hoofdstuk 4:
Snaarinstrumenten, de verloren uitdaging...

Dit hoofdstuk baarde ons bij het samenstellen van deze publicatie het meeste zorgen. Dit omdat we hier het meest frustrerende deel van onze inspanningen voor automatisering van muziekinstrumenten dienden te behandelen. We hadden er natuurlijk kunnen voor opteren, om het onderwerp strijkinstrumenten geheel onberoerd te laten en helemaal niks te zeggen over de vele mislukkingen waarmee we op dat vlak af te rekenen hebben gehad. Maar daarmee ware de lezer beslist ook niet gebaat, want precies uit mislukkingen – zelfs al leidden ze in vele gevallen ook uiteindelijk niet tot een echt bevredigend resultaat – valt niet alleen veel te leren, maar bovendien kunnen ze leiden tot het vermijden van heel wat tijdverlies. Daarom besloten we dus ook onze pogingen om automatische strijkinstrumenten te bouwen hier toe te lichten.

De hier volgende automatische instrumenten werken weliswaar, maar moeten worden gezien als 'instrumenten met beperkingen' om een politiek correcte terminologie te gebruiken.

<Hurdy>



<Hurdy>, koosnaam voor hurdy gurdy is een automaat geïnspireerd op de traditionele draailier. Een strijkinstrument dus. Het eerste bovendien dat het Logos robotorkest is komen vervoegen. Maanden intensieve en experimentele research in het atelier van Stichting Logos gingen de bouw van deze automaat vooraf. De constructie van de boog gaat verder op de – zeker niet onverdeeld positieve - ervaring opgedaan bij de bouw van onze automatische zingende zaag, <Flex>. Het boogmateriaal is ook hier gemaakt uit plastische kunststof die doorlopend van hars wordt voorzien in een recipiënt met loopwiel op kogellagers onderaan de boog. De snelheid van de boogbeweging is over een uitermate ruim bereik regelbaar. De boog wordt op commando tegen de snaar aangedrukt met softshift elektromagneten voorzien van een wieltje. Softshift magneten zijn een speciaal type elektromagneet waarbij de verplaatsing van het anker een lineaire functie is van het toegevoerde vermogen (het VA product). De aansturing van deze duwmagneten gebeurt met pulsbreedte modulatie. Hierdoor kan de boogdruk nauwkeurig worden gestuurd, en daarmee ook de dynamiek en expressie van het instrument. De boogdruk waarde kan worden voorafgegaan door een korte puls, uiteraard ook weer stuurbaar, waarmee het initiële aanzetten van de boog tegen de snaar met een kleine overdruk is geïmplementeerd. Dit ontwerp betekent een fundamentele verbetering op muzikaal vlak, tegenover de klassieke draailier waarin de snaren met een primitief houten wiel worden aangestreken, wat nauwelijks nuancespel toelaat. De trillingen van de snaren worden versterkt middels twee inox membranen met pot volgens het principe van de Indische gopi yantra. De inox potten werden gelast op een hartvormige inox plaat met drie-punt bevestiging. In deze plaat werd onderaan een buiging aangebracht ter verlaging van de resonantiefrequentie. In plaats van fretten, zoals gebruikelijk op luiten en gitaren, werden tangenten toegepast zoals in het klavichord. Een toets, zoals op gebruikelijke strijkinstrumenten van contrabas tot viool, bleek hier overbodig. Uiteraard worden deze tangenten hier niet manueel ingedrukt, maar via sterke (10 N) en snel reagerende elektromagneten. De tangenten werden overtrokken met een huls uit zacht PVC, wat aardig in de buurt komt van menselijke vingers. Stalen veren werden bij wijze van experiment toegepast om de klank wat extra galm en kleur te geven maar deze werden uiteindelijk weer verwijderd.

Voor het stemmechanisme maakten we gebruik van de kop van een in de muzikantenslag gesneuvelde contrabas. Een citaat als het ware. De beide snaren hebben een gelijke lengte maar, aangezien ze in een interval van maximaal twee octaven worden gestemd, een zeer groot verschil in

dikte. Hierdoor is er een substantieel verschil in klankkleur tussen beide snaren. De snaarlengte (trillend gedeelte) is niet minder dan 122 cm, een stukje langer dus dan de snaren van een contrabas. Voor de laagste snaar gebruiken we aanvankelijk trouwens een contrabassnaar. Voor de hoogste snaar daarentegen, geharde inox staaldraad, zoals gebruikelijk in piano's en moderne klavecimbels. De latere toevoeging van een elektromagnetische aansturing, noopte ons deze snaarkeuze te wijzigen en voor beide snaren gehard staal te gebruiken.

De interne besturing van de behoorlijk ingewikkelde elektromechanica werd gerealiseerd via drie afzonderlijke PIC controllers. Een eerste processor vertaalt uit de binnenkomende stroom midi gegevens, de gevraagde toonhoogtes en bestuurt de overeenkomstige tangenten. Hierbij konden we een fundamentele verbetering aanbrengen in vergelijking met traditionele draailieren, maar ook met alle traditionele gewone strijkinstrumenten: Voor alle noten hoger dan het octaaf boven de open snaar, drukken we zowel de tangent voor de gevraagde noot als die voor de een octaaf lagere noot op dezelfde snaar in. Hierdoor wordt bereikt dat naast de aangestreken snaarhelft, ook de andere kant unisono kan meetrillen, wat de klank zeer ten goede komt.

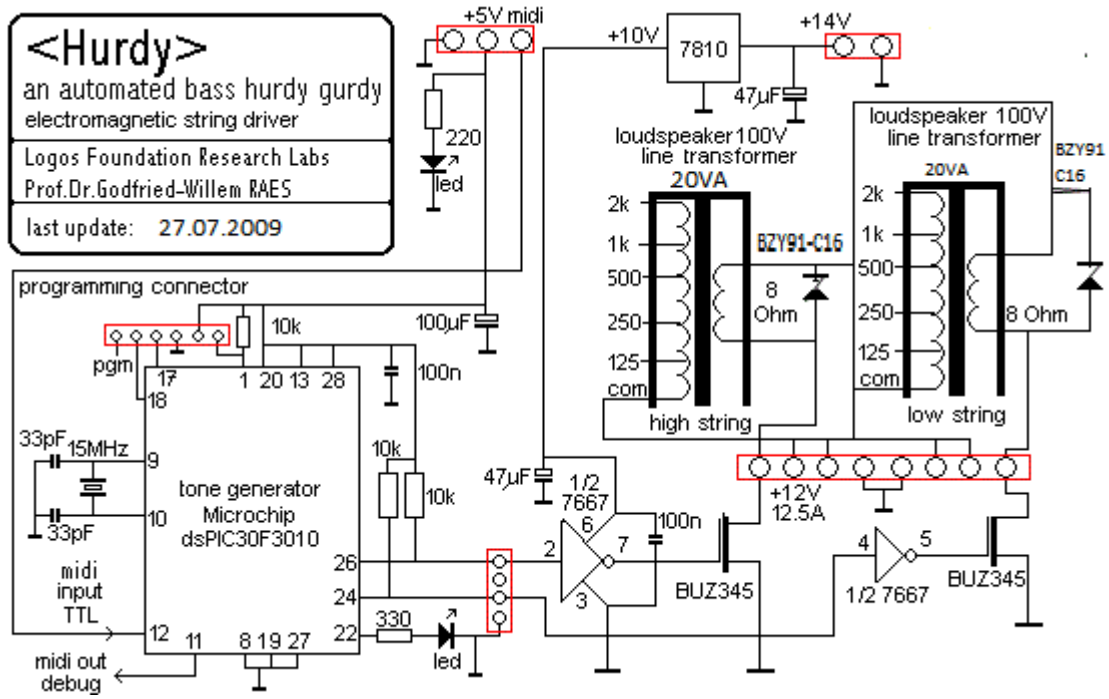
De tweede processor staat in voor de besturing van de strijkstok motor. Deze kan in beide richtingen draaien en binnen een zeer ruim bereik in snelheid worden geregeld. Zeer snelle snelheidswisselingen zijn evenwel niet mogelijk, door de grote massa en de daaruit volgende inertie van het bovenste snaarwiel. Snel de draairichting wisselen is evenmin mogelijk. Omdat de motor over een grote vermogensreserve beschikt, kan wel heel snel worden gestart. In een later stadium overwegen we om aan deze euvelen tegemoet te komen, een elektrisch gestuurde rem te monteren. De op deze robot gemonteerde lichten worden ook door deze processor gestuurd. Ze werden gemapt op noot aan/uit informatie.

De PIC processor stuurt niet rechtstreeks de 3-fazen motor, maar doet dit gebruik makend van een standaard industriële Siemens micromaster 410 motor controller. Hierdoor kon de automaat ook op gewone netspanning bedreven worden en was driefasenstroom dus geen vereiste. Uit de binnenkomende midigegevens, verwerkt deze PIC-microcontroller de volume controller informatie, die gemapt wordt op de rotatiesnelheid en enkele afzonderlijke binaire controllers: draairichting, fout-reset en motor aan/uit. Het motor aan/uit commando wordt ook automatisch gegenereerd, telkens een *note ON* commando binnenloopt.

De derde PIC processor tenslotte stuurt via twee afzonderlijke pulsbreedte kanalen, beide softshift elektromagneten. De boogdruk wordt voor elke noot afgeleid uit de waarde van het velocity byte dat steevast een midi *note-on* commando vergezelt. De mogelijkheid om de boogdruk te variëren tijdens het strijken van een noot werd eveneens voorzien. Via midi kan dit worden gestuurd met het toetsdruk commando (160 + kanaal, noot, druk).

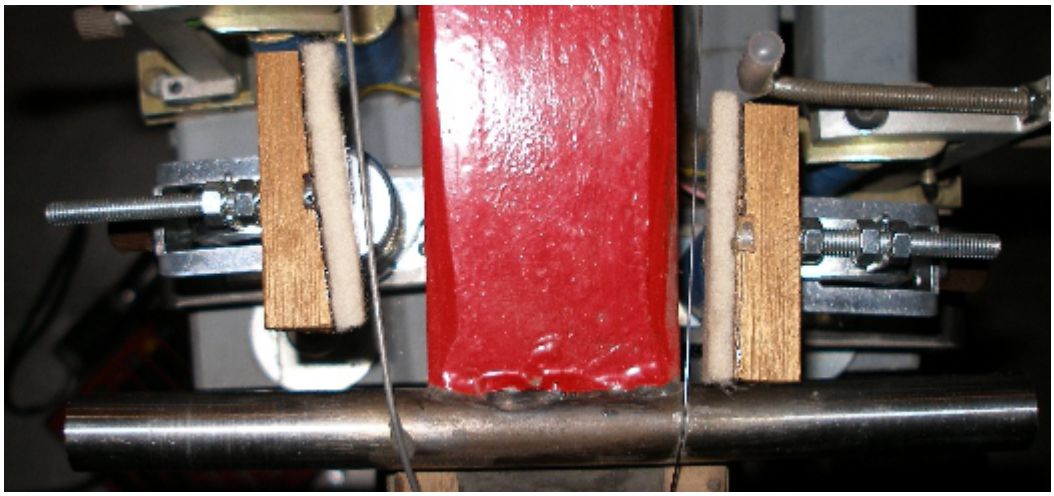
Al bij al werden in deze automaat behoorlijk wat karakteristieken van het menselijke snarenspel geïmplementeerd. Een nochtans belangrijk aspect daarvan hebben we veronachtzaamd: de plaats waar de boog de snaar aanstrijkt is bij <Hurdy> constant. Om het instrument qua toonvorming nog dichter te laten komen bij wat strijkers kunnen, zouden we die plaats ook variabel en stuurbaar moeten maken. Dit zou evenwel vergen dat we de gehele motor en boogconstructie op een geruisloos beweegbare slede zouden moeten monteren. Bij een volgende strijk-automaat zullen we zeker niet nalaten ook dit te voorzien.

In 2007 voorzagen we <Hurdy> van een mechanisme waarmee de snaren ook langs elektromagnetische weg kunnen gestreken worden. De schakeling die daarvoor instaat, en waarvoor beroep werd gedaan op een 16 bit ds-PIC controller, ziet eruit als volgt:

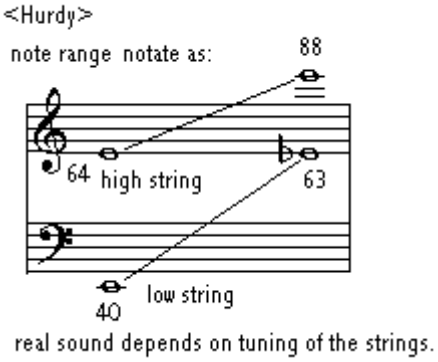


Hiermee is het mogelijk ook zachte strijkgeluiden voort te brengen die voorts nog volkomen vrij zijn van bijgeluiden. Voorwaarde voor een goede werking is evenwel een absoluut zuivere stemming van de snaren. Deze moeten immers door de elektromagneten in resonantie worden gebracht. De besturingssoftware biedt ondersteuning om via *sysex* commando's afwijkende stemmingen te gebruiken wanneer ook de positie van de fretten wordt aangepast. Het *program change* commando kan worden gebruikt om een andere opzoektabel te gebruiken voor de stemming. Als microcontroller opteerden we hier voor deze schakeling voor een Microchip dsPIC30F3010-I/SP.

Om minder bijgeluiden te krijgen door het aanslaan van de tangenten, voegden we meteen ook twee met vilt beklede dempers toe voor de niet klinkende kant van de snaar.



Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 9

Note OFF zonder release byte: verwijdert de tangent van de snaar en lost de druk van de boog.

Note OFF met release byte: dempt de snaar met de vilten demper, bovenop de hierboven aangegeven werking. De noten 40-63 zijn van toepassing op de lage snaar, 64 tot 120, voor de hoge snaar.

Note ON: duwt de tangent(en) tegen de snaar. De aanslagsnelheid stuurt daarbij de kracht waarmee de boog tegen de snaar wordt aangedrukt. Om de elektromagnetische driver te gebruiken moet controller 5 (voor de lage snaar) of 6 (voor de hoge snaar) gebruikt worden door die op waarde 1 in te stellen. Hierdoor zal het boogmechanisme niet langer contact maken met de snaar en zal de e-drive gebruik maken van de waarde van het velo-byte on de kracht van de aansturing te regelen. De elektromagnetische snaardriver vergt ook het juist instellen van de controllers 69 en/of 70 indien nodig. Wanneer de controllers 5 en 6 met waarde 2 ingesteld worden, kunnen beide mechanismen gecombineerd worden. Het toetsdruk commando kan ook in dit geval gebruikt worden voor regeling van de boogdruk tijdens het spelen van een noot. Ook de intensiteit van de elektromagnetische aandrijving kan tijdens de toon gestuurd worden met de controllers 3 en 4. Deze blijven actief zolang het e-drive mechanisme is ingeschakeld.

Toetsdruk commando's:
Gebruikers die willen spelen met de boogdruk gedurende een toon kunnen dit commando gebruiken. Voor elektromagnetische aansturing van de snaar echter, moet het toetsdruk commando gereset worden.

Controllers:

Controller 1 : regelt de breedte van de puls (0-50ms) die voorafgaat aan het velocity byte dat bepalend is voor de PWM aansturing van de aandrukmagneten. Dit voor de lage snaar.
Controller 2: Doet precies hetzelfde, maar nu voor de hoge snaar.
Controller 3: sterkte van de elektromagnetische bekrachtiging van de lage snaar.
Controller 4: idem voor de hoge snaar.
Controller 5: Bij waarde 0 is de boog actief. Bij waarde 1, de e-drive en bij waarde 2, beide. Dit voor de lage snaar.
Controller 6: idem, voor de hoge snaar.
Controller 7: volume, regelt de snelheid van de boogmotor.
Controller 20: hiermee wordt de noot ingesteld waarop de lage snaar feitelijk gestemd wordt. (default = 40). Zonder een juiste instelling hier kan de e-drive onmogelijk werken. Het bereik moet vallen binnen de grenzen 14 tot 60 . De stemming die we zelf sedert 2007 meestal gebruiken is 33, een lage A.
Controller 21: idem voor de hoge snaar, maar hier is de default = 64. Het instelbereik is beperkt tot 14 tot 96. De door ons gebruikte stemming sedert 2007 is midi noot 50 (D).
Controller 22: flageolet speelmodus voor de lage snaar. De waarden 0 en 1 schakelen deze modus uit. De waarden 2 tot 32 bepalen de vermenigvuldigingsfactor voor de frequentie van de excitatie. Met waarde 2

bijvoorbeeld zal de snaar een octaaf hoger gespeeld worden.
Controller 23: Idem, maart nu voor de hoge snaar.
Controller 24: Cent correctie voor de noot gespeeld op de lage snaar. Een eenheid komt hier overeen met 1 cent.
Controller 25: idem voor de hoge snaar.
Controller 64 : schakelt de vilten dempers aan of uit. Indien deze controller ingesteld wordt op een andere waarde dan 0, zal de demper nooit geactiveerd worden bij ontvangst van een noot-uit commando. Indien 0, zal de demper automatisch actief worden bij noot-uit commando's.
Controller 65 : indien nul zal de motor niet starten bij een noot-aan instructie. Indien niet nul, zal de motor starten bij ontvangst van noot-aan commando's.
Controller 66: Start/stop schakelaar voor de boog motor.
Controller 67: Draairichting van de boogmotor. De draairichting kan slechts gewijzigd worden na een stilstand van de motor.
Controller 68: Heft een fout melding van de motor controller op.
Controller 69: schakelt de e-driver voor de lage snaar aan.
Controller 70: schakelt de e-driver voor de hoge snaar aan.
Controller 123: schakelt alle klanken en bewegingen uit.

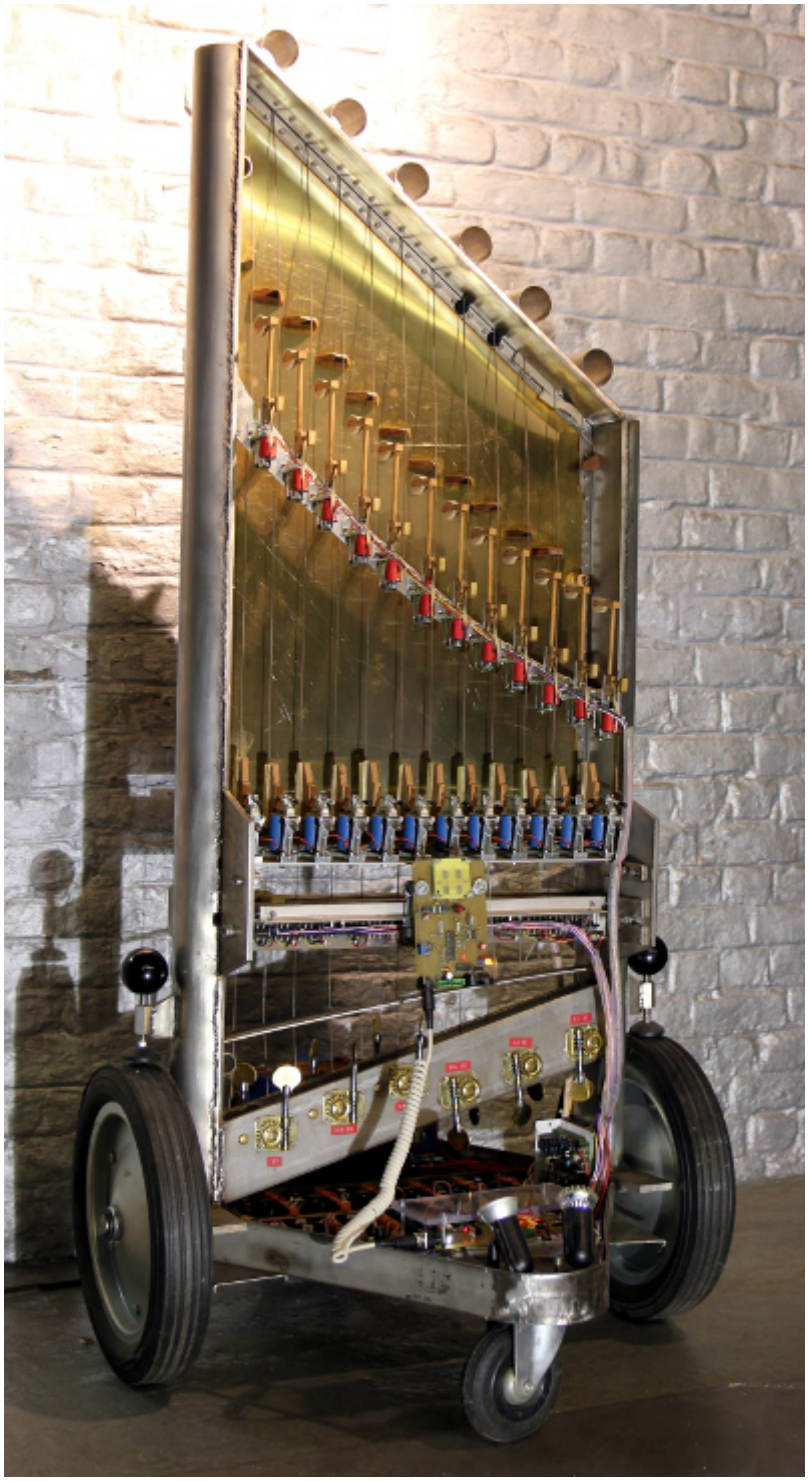
Atelier medewerkers:

- Johannes Taelman, Kristof Lauwers, Xavier Verhelst

Afmetingen & andere technische specificaties:

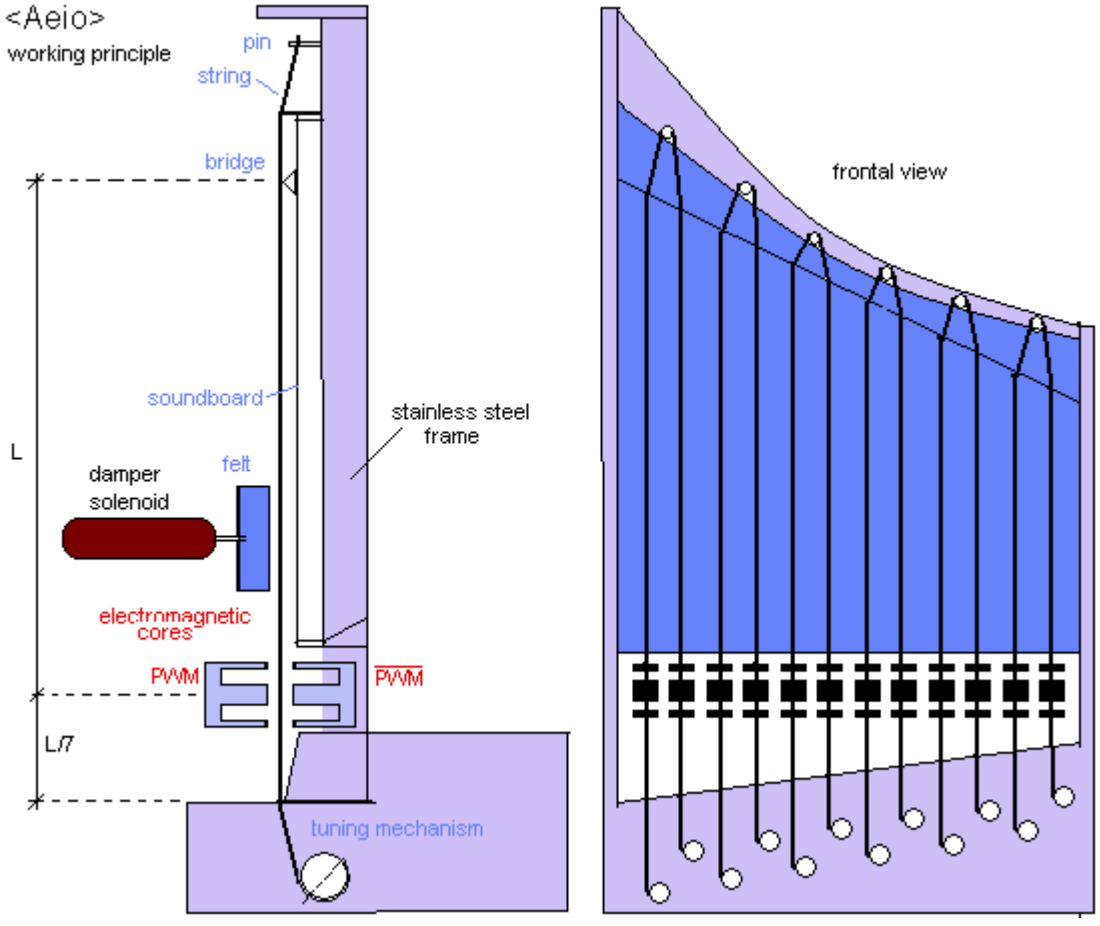
- Maten: hoogte: 1300mm, breedte: 600mm, lengte:1600mm
- Gewicht: ca. 120kg
- Geluidsdruk: 96dBA (met boog mechanisme)
- Bouwjaar: 2004
- Verzekeringswaarde: 13.500 €

<Aeio>

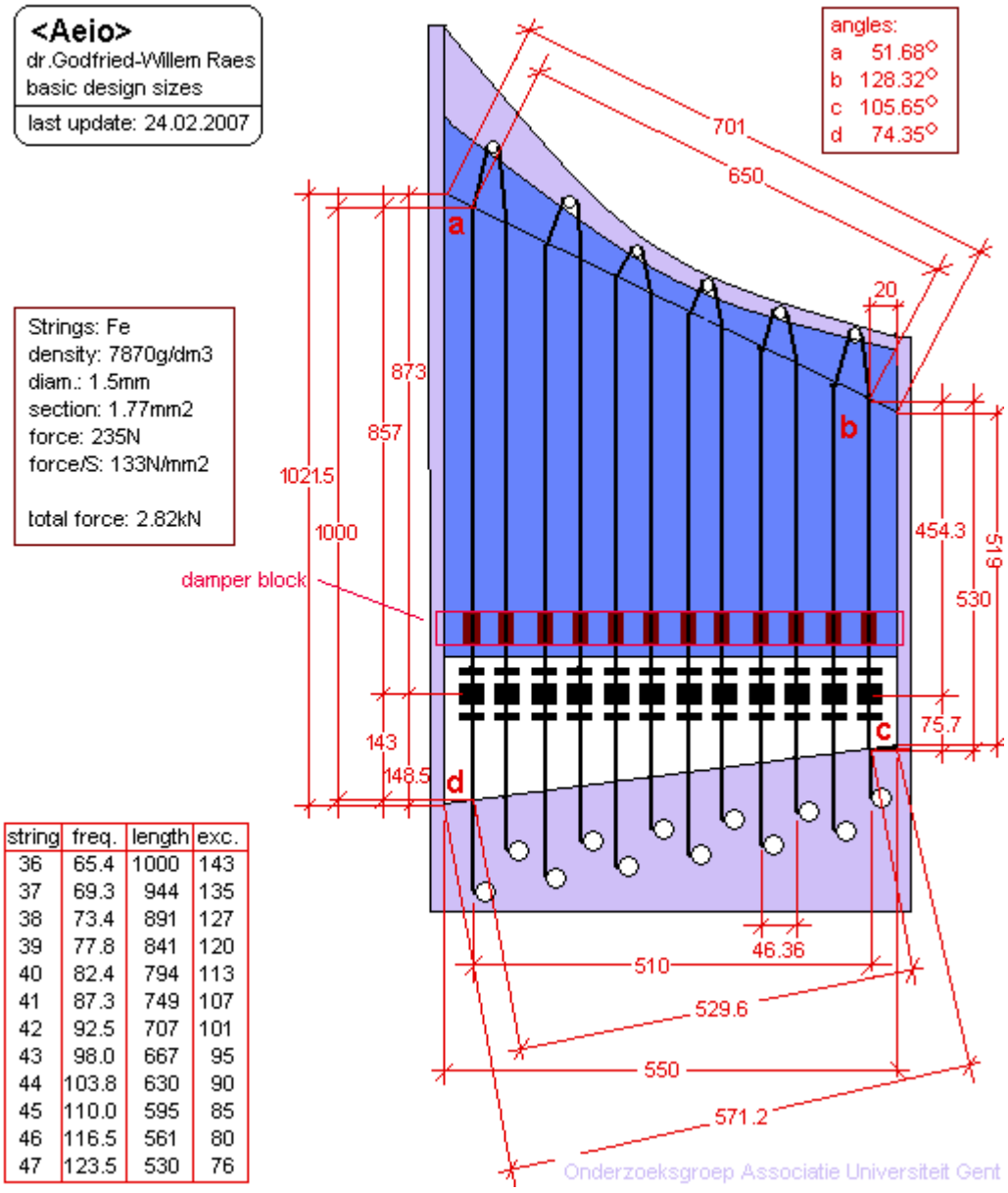


Voor het Logos robotorkest hadden we reeds in 2004 een automatisch strijkinstrument gebouwd: <Hurdy>, de automatische draailier. Dat stelde heel wat meer problemen dan aanvankelijk verwacht. Het strijkmechanisme kende dermate veel vrijheidsgraden dat de besturing van deze robot bijzonder ingewikkeld was. Jarenlang hebben we gezocht op betere mechanismen om snaren te strijken met een goede controle over de toonvorming. Erg vele experimenten bouwden we op en rekenden we van onder tot boven na. Dat leidde in 2007 tot de definitieve toevoeging van elektromagnetische snaaraansturingen op <Hurdy>, maar meteen ook tot een boel nieuwe ideeën

voor potentieel verder te ontwikkelen strijkrobots. Zo kwamen we op de idee een soort 'aeolische' cello te bouwen. Deze robot werd ontworpen met twaalf chromatisch gestemde snaren. Vanaf midi noot 36 tot en met 47. Een toets of een tangentenmechanisme met fretten wilden we niet nog eens gaan bouwen. Nu lijkt een tessituur van een enkel octaaf wel wat weinig om van een cello te kunnen spreken, ware het niet dat ons mechanisme , ook zonder gebruikmaking van inkorting van de snaren, in staat is ook alle boventonen van die twaalf noten te laten klinken. Zo kunnen we de gehele tessituur bestrijken. Om de expressiemogelijkheden niet te eenzijdig te maken, voorzien we elke snaar van een individuele vilten demper. Daardoor kunnen melodische lijnen toch goed gearticuleerd worden gespeeld. Snelle staccato's en zeker pizzicato's zijn evenwel principieel onmogelijk omdat daarvoor enorm sterke elektromagneten nodig zouden zijn en omdat het werkingsprincipe staat of valt met het in resonantie brengen van de snaar, wat steeds een kleine tijd in beslag neemt. De trilling van de snaar moet opgebouwd worden, zoals dat ook bij een slinger het geval is. Voor de toonvorming van <Aeio> zijn 12 dsPIC processoren nodig. Hiervoor selecteerde we het type dsPIC30F3010. Elke processor neemt de besturing van een enkele snaar voor zijn rekening. Er zijn tweemaal drie PWM uitgangen beschikbaar op deze processoren, waarbij elk koppel uitgangen telkens het signaal in fase en het signaal in tegenfase (negatie) levert. Hiervan maakten we gebruik om de snaar alternerend met twee elektromagneten, elk aan een tegenovergestelde kant van de snaar gelegen, aan te sturen. De pulsbreedte van deze PWM signalen evenals de dood-tijd is in de software instelbaar. Deze signaaleigenschap wordt gebruik voor de implementatie van de velocity sturing van note-on's. De dempers worden bestuurd vanuit dezelfde dsPIC controller. Het note off commando activeert de dempers. De dempkracht kan worden gestuurd door de waarde van het release byte. Een modus om zonder de dempers te spelen is eveneens voorzien. Het werkingsprincipe, waarbij twee elektromagneten alternerend de snaar aansturen met een PWM signaal ziet eruit als getekend in onderstaande vluchtige schets:



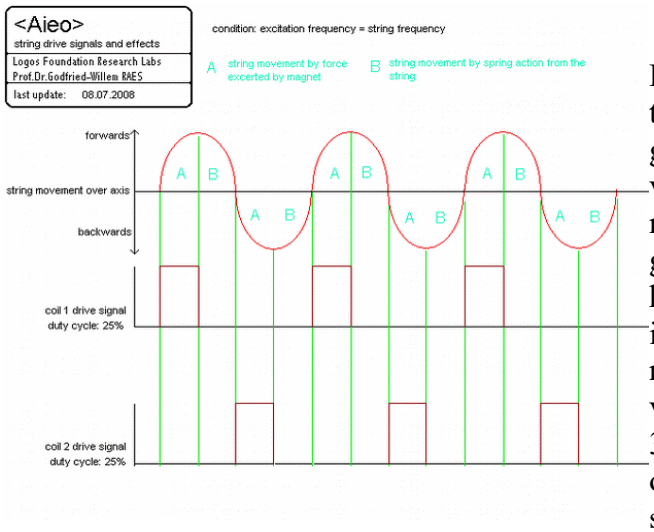
De wezenlijke afmetingen waarop we ons steunden voor de bouw en berekening van deze automaat worden samengebracht in onderstaande (vervormde, want horizontaal uitgerokken) werktekening. Ze omvat meteen ook de operationele gegevens voor het snaarmateriaal (gehard veerstaal).



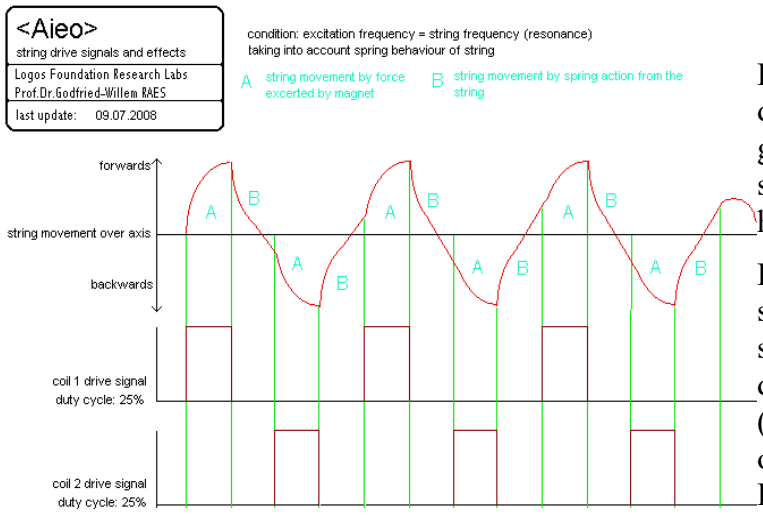
string	freq.	length	exc.
36	65.4	1000	143
37	69.3	944	135
38	73.4	891	127
39	77.8	841	120
40	82.4	794	113
41	87.3	749	107
42	92.5	707	101
43	98.0	667	95
44	103.8	630	90
45	110.0	595	85
46	116.5	561	80
47	123.5	530	76

De snaren moeten uiteraard uit ferromagnetisch materiaal bestaan en om een goede magnetische koppeling te verkrijgen met de aangelegde magneetvelden is het wenselijk dat ze zo dik mogelijk zouden zijn. Daar staat natuurlijk als bezwaar tegenover dat naarmate de snaar dikker wordt genomen, de inharmoniciteit sterk gaat toenemen enerzijds en anderzijds dat de snaar dan erg moeilijk over stemmechanismen en kammen te geleiden valt. Een compromis diende dus gezocht te worden. Dit leidde tot de keuze voor snaarmateriaal in gehard staal met een diameter van 1.5mm. Dat is heel wat dikker dan gebruikt voor de dikste snaren of kerndraden daarvan in pianos. De snaarspanning ligt een heel stuk onder wat voor een luide klank wenselijk zou zijn, maar hierdoor wordt de aanspreeksnelheid wel sterk verhoogd. Het risico op snaarbreuk is meteen ook zo goed als onbestaand in dit instrument.

Het signaal in twee fazen toegevoerd aan de elektromagneten kan grafisch voorgesteld worden als volgt:



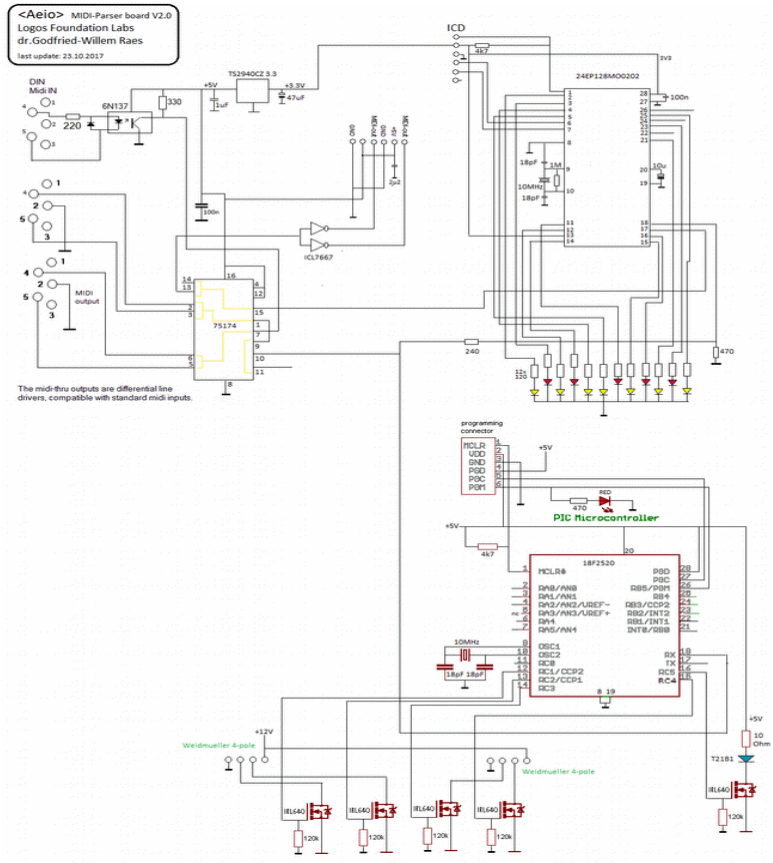
Hoewel we de snaarbeweging om haar as tekenden als min of meer sinusvormig, hoeft dit geenszins het geval te zijn. Door de B tijd te vergroten wordt de beweging van de snaar veel meer zaagtandvormig en benadert ze de gestreken snaarklank. Het heeft geen zin de B tijd korter te maken dan de tijd die de snaar onder invloed van haar veerkracht nodig heeft om weer naar haar axiaal middelpunt terug te keren. (1/4 van de periodetijd, dus voor noot 36 geeft dat 3.9ms). De duty cycle van de signalen blijft dan ook kleiner dan 25%. Overigens is de tekening slechts min of meer geldig wanneer de excitatie van de snaar door de magneten erg klein is. Van zodra deze groter wordt moet ook het veer-karakter van de snaar in rekening worden gebracht. Dit veroorzaakt een nuldoorgang van de snaar voor het eind van de B fase. De hieronder weergegeven tekening benadert beter de snaarbeweging bij een substantiële aandrijfkracht.

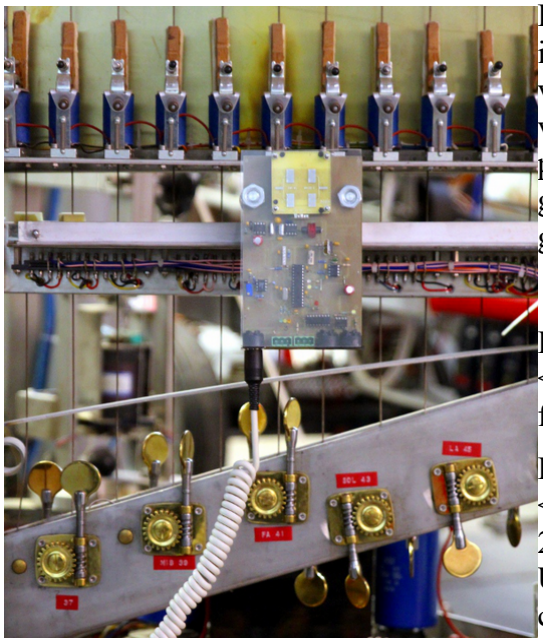


Het valt ook op dat we hier al heel wat dichter de golfvorm eigen aan een gestreken snaar kunnen benaderen, per slot van rekening toch wel het opzet bij het ontwerp van deze robot.

Hoewel oorspronkelijk bedacht om de snelheid van het aanspreken van de snaren te verhogen, blijken de voor dat doel toegevoegde kloppertjes (aangestuurd door de dsPIC controllers) ook als extra feature op zich bruikbaar. De elektromagnetisch gestuurde hamertjes zijn met leder of hard vilt bekleed en kunnen ook in dynamiek worden gestuurd. Ze werden gemapt in het octaaf onder de normale tessituur van het instrument.

Om het hele instrument voor gewone gebruikers toch hanteerbaar te maken ontwikkelden we een parser die de binnenkomende instructies vertaalt naar wat de dsPIC's op een lager programmaniveau nodig hebben. Voor deze parser maakten we oorspronkelijk gebruik van een 18F25K20 processor geklokt op 64MHz. Dit board werd in oktober 2017 vervangen door een heel wat sneller 16 bit processor board met een 24EP128MC202 processor, voor de parser functies en een extra 18F2520 processor voor de lampjes. Dit is het nieuwe schema:



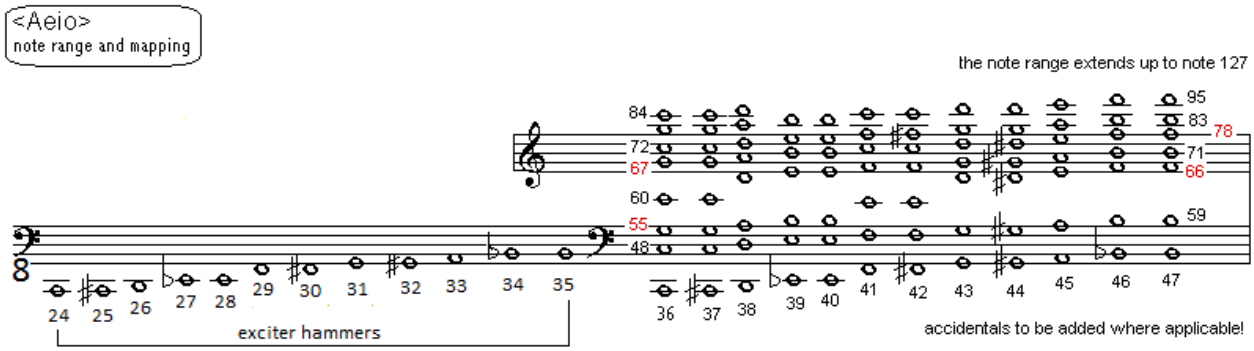


Een verdere uitbreiding van de <Aeio> robot, uitgevoerd in 2017 betreft een eigen radar-sensor met controller voor gesture recognition. Hierdoor kan <Aeio> ook volledig stand-alone werken in audio installatie projecten, waarbij hij door beweging kan worden gestuurd. Hier een detail foto van Aeio, met de gemonteerde radar sensor:

In deze volautomatische interactieve modus speelt <Aeio> om beurten de vijf composities die in de firmware zijn ingebed.

In het kader van de 50 ste verjaardag van Logos, vertrok <Aeio> samen met vier andere robots van september 2018 tot april 2019 naar het Speelklok Museum in Utrecht. De specifieke omstandigheden in die museale context – een tentoonstelling rond muzikale robots - maakten een nieuwe versie van radar-interface en embedded compositie noodzakelijk. Voorzien is nu ook in de mogelijkheid Aeio te stemmen zonder gebruik van een externe computer.

Midi implementatie en mapping:



MIDI-kanaal: 1

- *Note Off* commando's gebruikt voor de besturing van de dempers.
- Toetsdruk: geïmplementeerd voor elke snaar.
- Controller 7: volume regelaar.
- Controllers 30-41: symmetrie van het strijksignaal voor elke snaar. (default = 64)
- Controller 64, sustain (dempers aan of uit).
- Controller 66: aan/uit schakelaar.
- Controllers 50-61: stelt de stembasis in voor de snaren. Gebruikers hoeven deze controllers niet te versturen omdat de firmware deze controllers zelf automatisch instelt.
- Controllers 70-79: gebruikt voor instelling van de parameters voor de radar besturing.
- Controllers 80-91: fijnafregeling van de stemming voor elke snaar.
- Controllers 100-111: stelt de flageolet vermenigvuldigingsfactor in.
- Controller 123: schakelt alle noten uit.
- *Program Change*: hiermee kunnen verschillende opzoektabellen geselecteerd worden voor de toonhoogtes en stemmingen. (default = 2, voor de empirische reeks)
    - 0 = platonische boventoonreeks
    - 1 = wetenschappelijke reeks bij toepassing van een tweede graads vergelijking voor de boventonen.
    - 2 = empirische reeks, opgesteld na opmeting in functie van beste resonantie.
    - 3 = dichtste benadering voor gelijkzwevende stemming

Ateliermedewerkers:

•Johannes Taelman, Xavier Verhelst, Kristof Lauwers, Troy Rogers, Lara Van Wynsberghe, Laura Maes

Muziek geschreven voor <Aeio>:

Lara Van Wynsberghe "Oorsprong" (met <Rodo>, 2015)

Technische gegevens:

•Maten: hoogte: 1700 mm, diepte 915 mm, breedte: 810 mm.
•Gewicht: ca. 100 kg
•Elektrisch: 235V / 700W
•snaren: gehard veerstaal, diameter 1.5 mm
•Radar frequentie: 10.587 GHz. Bereik: <= 10 m , 120 graden in het horizontaal vlak.
•Bouwjaar: 2008
•Verzekeringswaarde: 23.500 €.

<Synchrochord>



Het eerste gestreken snaarinstrument dat we bouwden was de hiervoor beschreven <Hurdy>, een draailier gebouwd tussen 2003 en 2007. Het resultaat van dat bouwproject was zeker niet onverdeeld gunstig: het ontwerp lijdt onder vele bijgeluiden en gekletter. Ook de toonvorming met de boog verloopt bijzonder onzeker. Niettemin konden we er veel lessen uit trekken en gaf het ook aanleiding tot heel wat nieuwe experimenten. Het probleem van de aangestreken snaren bleef ons bezighouden. Tussen 2008 en 2010 werkten we erg intensief aan onze <Aeio> robot, alweer een poging om een oplossing te vinden voor het probleem van de gestreken snaren. <Aeio> werd een aeolische cello waarbij we tweefazige elektromagnetische excitatie van de twaalf snaren uitprobeerden. De resultaten met <Aeio> waren – binnen de gestelde beperkingen - muzikaal helemaal niet zo slecht, maar dat resultaat was nog wel mijlen ver verwijderd van een instrument dat ook maar ergens in de buurt kon komen van een heus strijkinstrument. Een goede robotische vervanger van de cello kon het heel zeker niet worden genoemd. Het grootste probleem ervan was gelegen in de erg trage opbouw van de klank. Die traagheid bleek een gevolg te zijn van de onderlinge koppeling van de magneetvelden van beide tegenover elkaar geplaatste elektromagneten, waardoor de krachtoverbrenging naar de snaar slechts minimaal bleek te zijn. De efficiëntie was bijzonder laag en het stroomverbruik exorbitant hoog. Om dat te verbeteren zouden we eigenlijk speciale elektromagneten moeten ontwerpen die in staat zouden moeten zijn een uiterst gericht magneetveld op te wekken. Om de werking te versnellen zouden we die bovendien moeten kunnen koelen tot cryogene temperaturen. Onhaalbaar dus en zo gingen we door met onze experimenten.

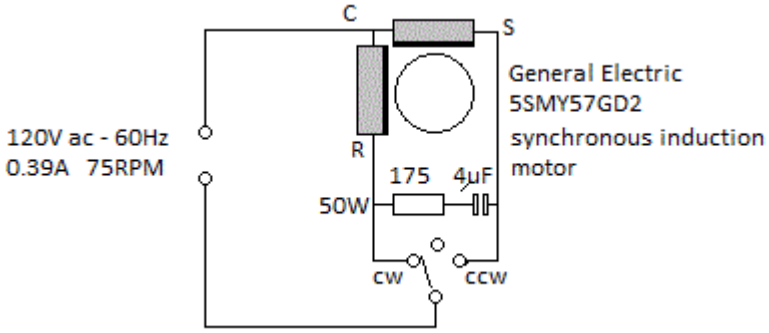
Zo belandden we bij het hier beschreven bouwproject: <Synchrochord>. Hiervoor gingen we uit van een experiment waarbij we een snaar in trilling brachten door ze mechanisch repeterend aan te slaan synchroon met de frequentie waarop ze is gestemd. Voor zo'n aanpak is vereist een precizie synchroonmotor te gebruiken geschikt voor een heel hoog toerental. Snelheidsveranderingen moeten daarbij heel snel mogelijk zijn, wat dus een heel geringe inertie impliceert. Ook een snel werkend remsysteem is noodzakelijk. Onnodig wellicht erop te wijzen, dat die motor bovendien vrij moet zijn van eigen bijgeluiden. Om de vereiste van dat hoge toerental toch enigszins binnen de perken te houden, ontwierpen we een wieltje voor de motoras voorzien van tien plectrums (eigenlijk gewoon dikke afgeplatte nylon draadjes) gemonteerd op de buitenzijde. Voor elke omwenteling van de as, verkrijgen we zodoende tien aanslagen van de snaar. Hieruit valt eenvoudig af te leiden dat om een snaar gestemd op 880 Hz tot klinken te brengen, we een toerental nodig hebben van 88 Hz, of uitgedrukt in omwentelingen per minuut 5280 rpm. Dat is niet onrealistisch. Het motortype moet hiervoor een synchrone reluctantiemotor zijn, met een heel geringe slip en heel nauwkeurig stuurbaar via de tweefasige ac frequentie. Gelukkig hadden we nog een geschikte precisie motor, gemaakt door Eastern Air Devices, op voorraad.



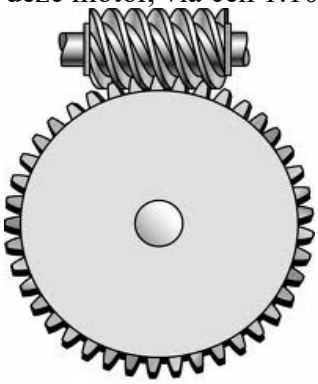
Een reserveonderdeel, speciaal gebouwd voor gebruik in een of ander type Amerikaans militair vliegtuig. Deze motor bouwden we dus in, in onze experimentele <Synchrochord> robot.

Omdat de juiste stemming van de snaar bij een dergelijk opzet erg kritisch is, streefden we ernaar de robot zelfstemmend te ontwerpen. Een autotune mechanisme brengt evenwel alweer een heel ander probleem inzake motorselectie met zich. De te ontwikkelen kracht voor de snaar die we wilden gebruiken moet minstens 600 Newton zijn. Om een dergelijke kracht, binnen redelijke afmetingen, te verkrijgen is de toepassing van een tandwielmechanisme aangewezen. De motor moet een type

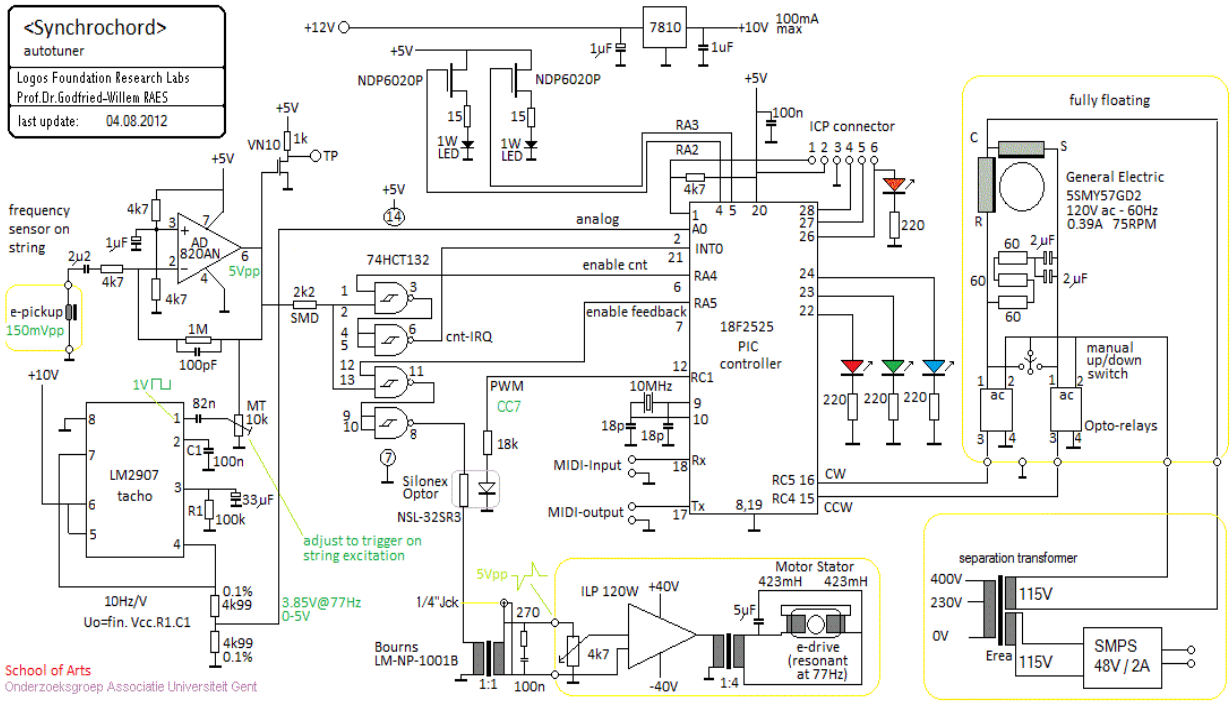
zijn met een hoog aanloopkoppel en laag toerental. Hiervoor kwam alweer een andere motor naar ons lonken: een General Electric synchroon inductiemotor. Die moest op deze wijze aangesloten



worden: Het koppel vermeld op het schildje is 150 Oz.In., het anachronistisch imperiaal equivalent van 1.059 Nm in standaard SI eenheden. We gebruikten deze motor, via een 1:10 tandwieloverbrenging om een wormwiel aan te



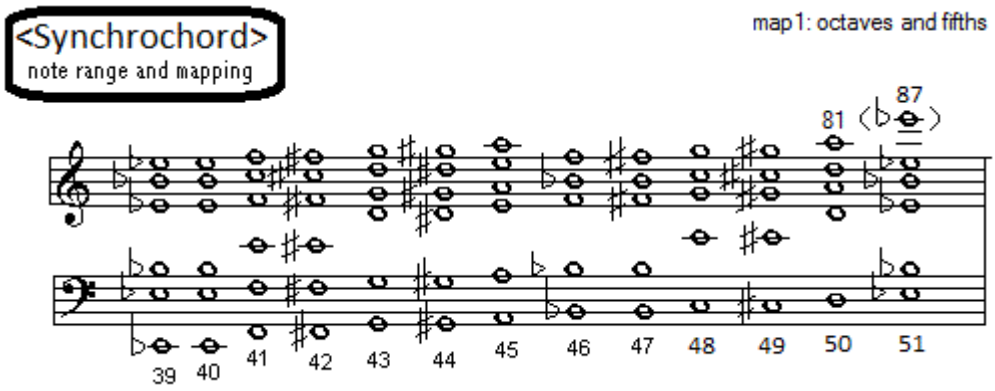
drijven vrij van terugslag. Het grote wiel is daarbij vastgemaakt op de 12 mm haspel waarop de snaar voor het stemmen is bevestigd. Rekening houdend met de reduktie verhouding van het wormwiel en afgezien van alle wrijvingsverliezen, zou de maximale te leveren kracht beschikbaar voor het spannen van de snaar nu 6.6 kN moeten belopen. Naar onze inschatting, wordt evenwel zowat de helft van die kracht opgesoupeerd in allerlei mechanische verliezen. Er blijft wel nog genoeg over... Een autotune mechanisme vereist uiteraard ook een sensor waarmee de precieze toonhoogte van de snaar gemeten kan worden. Aangezien we hier een ferromagnetische snaar wilden gebruiken, blijkt een inductieve sensor bestaande uit een spoel gewikkeld rond een permanente magneet heel geschikt. Voor andere snaarmaterialen zouden we natuurlijk ook een optische sensor of een contactmicrofoon kunnen gebruiken. Tijdens de stemprocedure moet de snaar natuurlijk ook tot trillen gebracht worden. Daartoe kunnen we hetzij de excitatiemotor, draaiend op een heel laag toerental, zodat we van de snaar alleen de eigenresonantie te horen krijgen gebruiken, hetzij – bij gebruik van een ferromagnetische snaar - het ingebouwde feedback mechanisme. Daarvoor gebruikten we een omgebouwde motor met kortsluitanker, waarvan we de rotor volledig verwijderden. De snaar voeren we doorheen het ronde gat dat nu open blijft. Als bonus van dit mechanisme, ontstond nu ook de mogelijkheid vibrato op de snaar toe te passen. Op voorwaarde natuurlijk, dat de processor die instaat voor de besturing van de excitatiemotor en de processor belast met het autotune mechanisme, met elkaar kunnen communiceren. De schakeling voor deze zelfstemmer kwam er zo uit te zien:



In deze schakeling wordt het pick-up element eerst versterkt en dan naar een TTL buffer gevoerd met Schmitt-trigger ingang. Zo wordt het signaal omgevormd tot een propere blokgolf die we aansluiten op de externe interrupt ingang (INT0) van de PIC microcontroller. Daarop programmeren we een teller waarmee we de snaarfrequentie heel precies kunnen meten. Het voorversterkt signaal bieden we eveneens aan op de ingang van een tacho chip, een LM2907. Deze component zet het ingangssignaal om in een met de frequentie proportioneel gelijkspanningssignaal dat we dan weer aanbieden op de A0 analoge ingang van de microcontroller. Alvorens welkdanige instructie ook naar de motor te sturen, kan de controller nu beide signalen op consistentie checken. Slechts wanneer dit blijkt te kloppen, zal de firmware de stemmingslus in gang zetten. Dit bleek een absoluut noodzakelijke beveiliging te zijn, waarmee vermeden wordt dat de snaar tot voorbij de breukgrens wordt opgewikkeld. Dat is immers gevaarlijk, niet alleen voor de robot zelf, maar ook voor menselijke omstaanders en gebruikers. Opgemerkt moet worden dat – enigszins ingaand tegen onze intuïtie - de frequentiemeting van de tacho nauwkeuriger is dan die van de frequentieteller. De meettijd van de teller is immers 1 seconde en dus is de precisie beperkt tot plus of minus 1 Hz. Voor de frequenties waarmee we hier te maken krijgen leidt dit tot een nauwkeurigheid in de orde van 2%. De tacho anderzijds, heeft een resolutie van 10 bits, wat een betere resolutie oplevert. De traagheid van de tacho is echter veel groter.

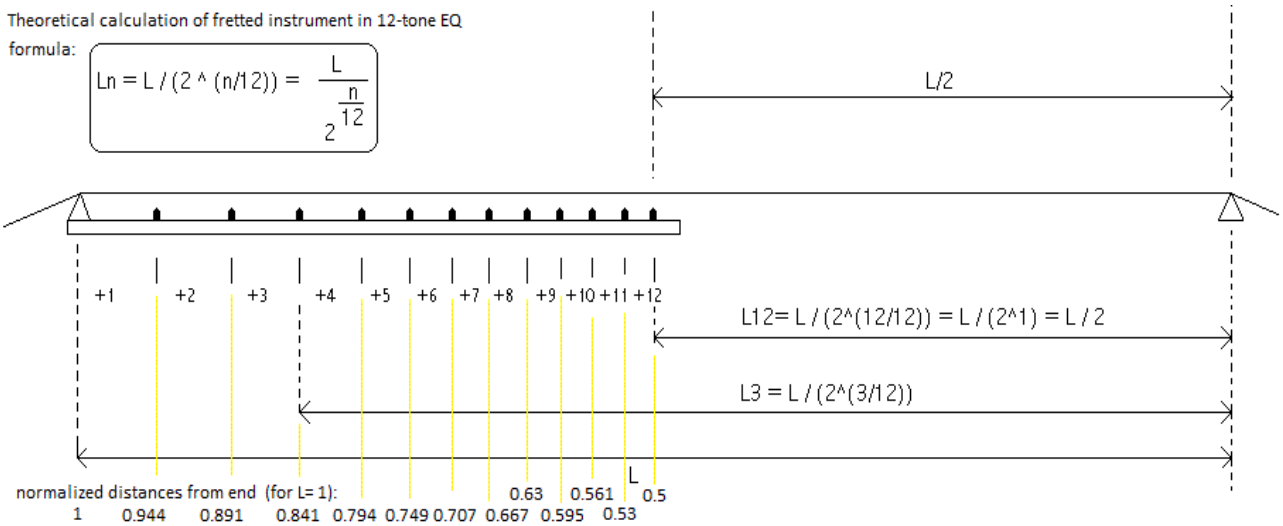
Van zodra het stemproces is afgelopen – het verloopt opzettelijk vrij traag - gaat de microcontroller door met het meten van de toonhoogte van de snaar en zal hij het resultaat van de doorlopende meting als een datastroom op zijn MIDI-uitgang plaatsen. Midi controller 80 laat gebruikers toe het dataprotocol in te stellen.

De default midi-mapping tonen we onder 'midi implementatie' onderaan dit hoofdstukje. In deze mapping gebruiken we alleen octaaf boventonen van de snaar. Hierdoor minimaliseren we de inharmoniciteit. Een alternatieve mapping, met meerdere boventonen is echter ook mogelijk:



Zoals we kunnen zien, gebruiken we hier voor het laagste octaaf alleen de grondtonen, terwijl we voor de hogere noten de snaar exciteren met de boventonen 2 tot 5 of 6. De tertsen lieten we achterwege omdat die teveel van de gelijkzwevende stemming afwijken. We hadden natuurlijk kunnen volstaan met slechts 6 of 7 fretten zonder verlies aan speelmogelijkheden in de hoogte, maar dan zouden we wel een gaatje krijgen in de laagste regio van de tessituur.

<Synchrochord> was van meet af aan ontworpen als instrument met fretten. Dus dienden we ook een soort hals en een toets te voorzien. De positie van de fretten op die toets konden we op deze wijze berekenen:



De praktische afstanden voor de plaatsing van de fretten moesten we iets kleiner nemen dan berekend,omwille van de gewijzigde snaarlengte en spanning wanneer de snaar wordt ingedrukt. Wanneer we krachtige Blacknight solenoïdes als 'vingers' voor het indrukken van de snaar willen gebruiken dan komen we – rekening houdend met de kleinst mogelijke montageafstand (42 mm) - uit op een minimale snaarlengte van 1400 mm. We maakten de fretten zo, dat de plaatsing instelbaar is. Naar wens van de gebruikers, kunnen dus ook andere stemmingen en temperamenten gebruikt worden.

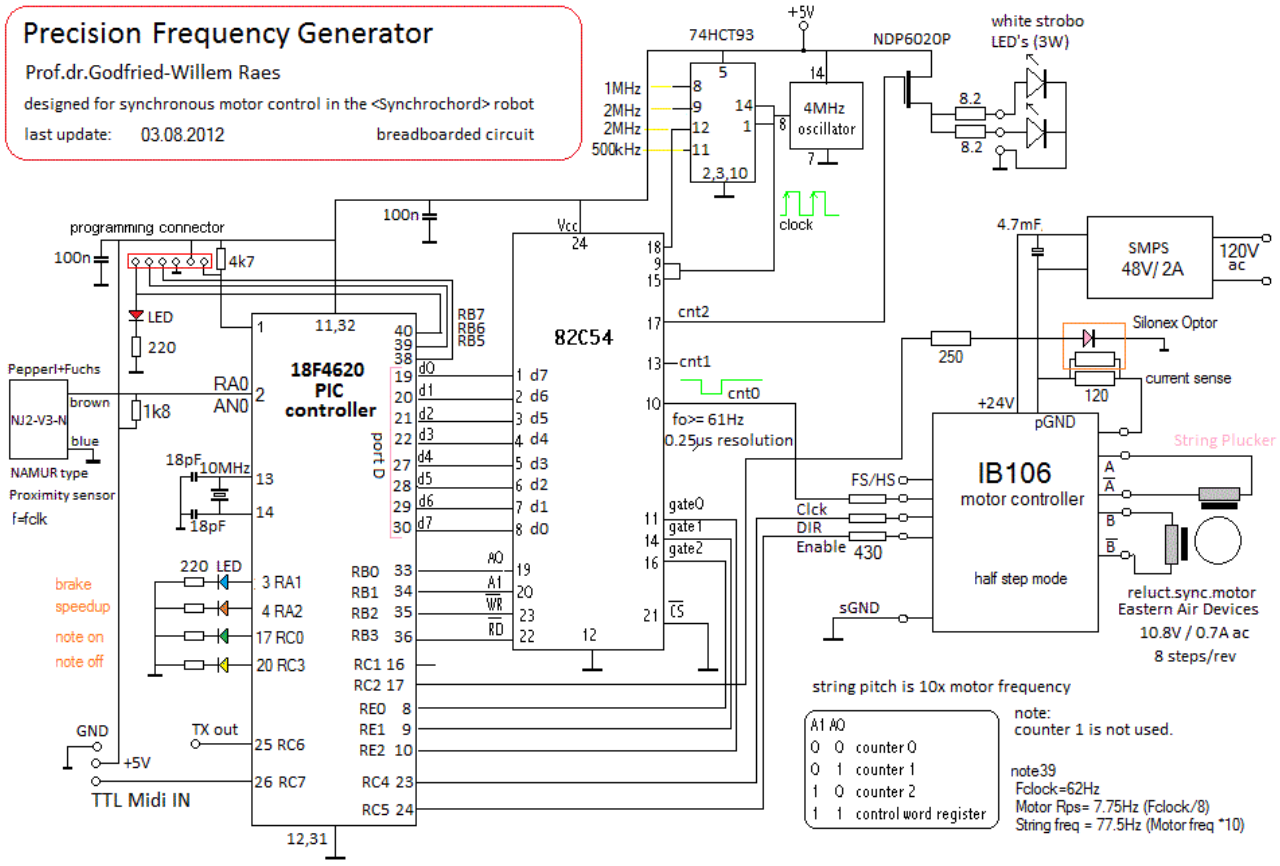
De 'toets' waarop we de duwmagneten voor de 'vingers' verplaatsbaar monteerden bouwden we op een lengte roestvast staal profiel 25 x 25 x 3 mm. De duwmagneten zijn uitgerust met conische veren, nodig voor het terugkeren van de ankers aangezien we hier horizontaal werken. De 'vingers' zelf vervaardigden we met trillingsdempers voorzien van een M4 schroefdraad. Deze constructie maakt vibrato door modulatie van de drukkracht mogelijk.

De snaar is onderaan vastgemaakt op het middelpunt van een 0.5mm dik roestvast stalen membraan dat als resonator fungeert. Het membraan zelf is vastgeklemd in een hoepel met een diameter van

400 mm. Dit type resonator is ons wel bekend uit verschillende Aziatische instrumenten zoals de gopi yantra of ektara. Zo'n resonator wijzigt evenwel de akoestische eigenschappen van de snaar in aanzienlijke mate. De snaar komt immers loodrecht op de resonator te staan en niet evenwijdig ermee zoals bij gebruikelijke snaarinstrumenten. C.J.Adkins (1981), onderzocht de gopi yantra vanuit akoestisch perspectief en toonde aan dat een dergelijke constructie de snaar doet octaveren naar omhoog. Het werkt dus als een frequentieverdubbelaar. Onze eigen experimenten en metingen wezen uit dat die bewering toch niet helemaal klopt, alhoewel we kunnen bevestigen dat de spectraalanalyse van het door de snaar voortgebrachte geluid, inderdaad een heel sterke octaafcomponent bevat, evenals trouwens, een heel groot aantal volstrekt niet-harmonische spectraalcomponenten, sterk afhankelijk van de spanning en de eigen resonantie van het ingeklemde membraan.

De hele robot werd gebouwd met roestvast staal en gemonteerd op een stevig wielstel met gele massieve polyurethaanbanden.

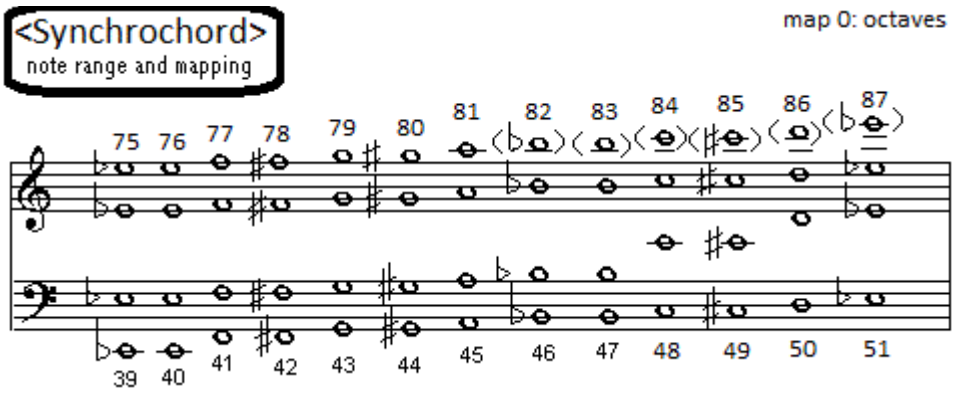
De ontwikkeling van een goed werkende schakeling voor de besturing van de tokkelmotor heeft ons vele hoofdbrekens bezorgd. Problemen met slecht werkende driverchips voor de H-bruggen (IR2104 chips) enerzijds en problemen als gevolg van het noodzakelijke snelle versnellen en vertragen van de motoras anderzijds, lagen aan de basis. We zagen heel wat opgebouwde schakelingen letterlijk in rook opgaan. Uiteindelijk gebruikten we een IB106 motor controller, waarmee we de nodige twee sinus spanningen, onderling 90 graden in fase verschoven, met een frequentie gelijk aan een tiende van de gewenste toonhoogte konden opwekken. De microcontroller voor de besturing gebruikt een van zijn ingangen voor het meten van de rotatiesnelheid met een sensor. De motorspanning gebruikten we bovendien om ook twee 3 W sterke witte LED's te doen werken als stroboscoop licht gericht op het plectrumwiel. De frequentie generator die we ontwierpen voor de motorsturing, maakt gebruik van 'oude' technologie: de vroeger alom aanwezige Intel tellerchip 8254. Met deze chip konden we een nauwkeurigheid bereiken die heel wat beter was dan wat we konden bereiken met een 8 bit microcontroller voor het genereren van de fase-verschoven signalen. Hier is het volledige ontwerp:



Om de responssnelheid bij veranderende motorsnelheden wat te verbeteren, lieten we de motor ook na ontvangst van een noot-uit instructie, doorlopen. Alleen wanneer een uitschakelcommando wordt gegeven, valt de motor helemaal stil. De demper, opgebouwd met een vilten strip aangedreven door een rond elektromagneet wordt door een eigen 18F2525 microprocessor bestuurd. Hij wordt actief bij ontvangst van een noot-uit commando. Een heleboel parameters laten toe de demper op een erg genuanceerde wijze te besturen. Daarvoor gebruikten we de midi controllers 33,34,35 en 36.

Muzikaal gezien klinkt ons <Synchrochord> een beetje zoals een middeleeuwse tromba marina. Een beetje ruw van toon. De historische tromba marina evenwel, is een eensnarig instrument zonder fretten. De tonen die het kon voortbrengen waren beperkt tot de hogere boventonen van de darmsnaar. Op ons instrument zijn niet zoveel boventonen speelbaar omdat de plaats van de plectrum/strijker vast ligt. Het vingervibrato bleek bevredigend te werken en kan zeker als een model gebruikt worden voor later nog te ontwikkelen instrumenten. Omdat de aanslagkracht van de vingers heel goed bestuurd kan worden, is spelen 'met de linkerhand alleen' heel goed mogelijk. Het gedrag van plectrumwiel daarentegen laat veel te wensen: het is eigenlijk veel te traag in zijn reactie op toonhoogtewisselingen. Voor traag bewegende contrabaspartijen is <Synchrochord> af en toe wel bruikbaar.

Midi implementatie en mapping:



Kanaal: 10

Noot-aan/uit: 39 - 81 (tot 87 kan, maar is wat onbetrouwbaar). Het velocity byte stuurt de aandrukkracht van het plectrumwiel. Het release byte bij het noot-uit commando bestuurt de mate van demping.

Controllers:

Controller 30: houdtijd voor de vingers op de fret.

- Controller 31: vingervibrato frequentie
- Controller 32: aanslagkracht voor de vingers
- Controller 33: duur van de aanslag voor de demper
- Controller 34: loslaat tijd voor de demper
- Controller 35: aanslagkracht voor de demper
- Controller 36: aandrukkracht voor de demper na de aanslag
  Controller 64, sustain (demper aan of uit schakelaar)
- Controller 65: stelt de tijd in die de motor laat doordraaien na een noot-uit commando.
- Controller 66: aan/uit schakelaar
  Controller 123: schakelt alle klanken uit.
- *After touch*: stuurt de aanslagdiepte van de plectra voor een klinkende toon.
- *Pitch bend*: werkt over een bereik van plus of minus 64 cents. Alleen de 7-bit msb waarde wordt gebruikt. Voor gerepeteerde noten, blijft de p[itch-bend instelling van kracht. Wanneer een verschillende noot wordt gespeeld, wordt de *pitch-bend* instelling telkens gereset.

<Synchrochord> heeft ook een midi output connector waarmee informatie naar de gebruiker toe verstuurd kan worden. Daarbij worden volgende data protocollen gebruikt:

- Toetsdruk: geeft de frequentie van de klinkende toon in Hz, formaat: status byte, msb, lsb (dus niet het standaard gebruik!)
- *Pitch bend*, geeft de 10-bit uitlezing van de tacho als msb, lsb (niet standaard!)
- Controller 22: met waarde 127 wordt verstuurd wanneer het autotune proces is afgelopen.
- Controller 51: met waarde 64 wordt verstuurd wanneer een stemmingsverzoek via controller 51 afgewerkt werd.

<Synchrochord> heeft verder ook nog twee audio uitgangen. De eerste geeft het signaal zoals opgepikt door de elektromagnetische transducer op de snaar. De tweede geeft een blokgolfsignaal afgeleid van het eerste signaal. Deze signalen zijn geïmplementeerd voor onderzoeksdoeleinden maar kunnen ook gebruikt worden voor allerlei interactieve toepassingen.

Ateliermedewerkers:

•Johannes Taelman, Xavier Verhelst, Kristof Lauwers, Sebastian Bradt, Laura Maes

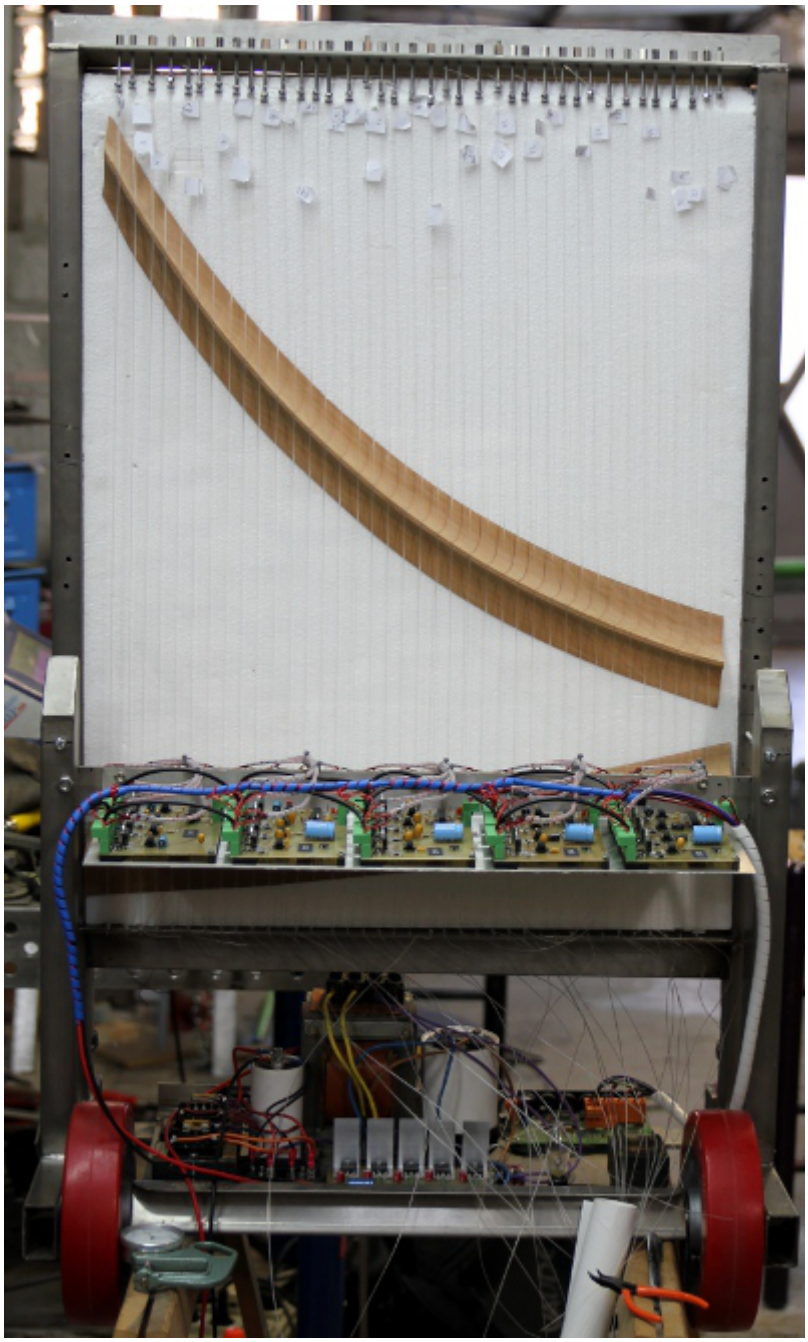
Muziek gecomponeerd voor <Synchrochord>:

•Godfried-Willem Raes "Namuda Study #26", for <Korn>, <Synchrochord> en een altvioliste die tevens danst (2012)

Technische gegevens:

•Maten: 1700 mm, depth 650mm, width: 750 mm.
•Gewicht: ca. 45 kg
•Elektrisch: 235 V / 100 W
•Snaar: pianosnaar, diameter 1.2 mm
•Bouwjaar: 2011
•Verzekerwaarde: 13.000 €

<Zi>

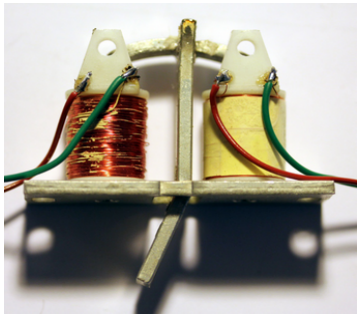


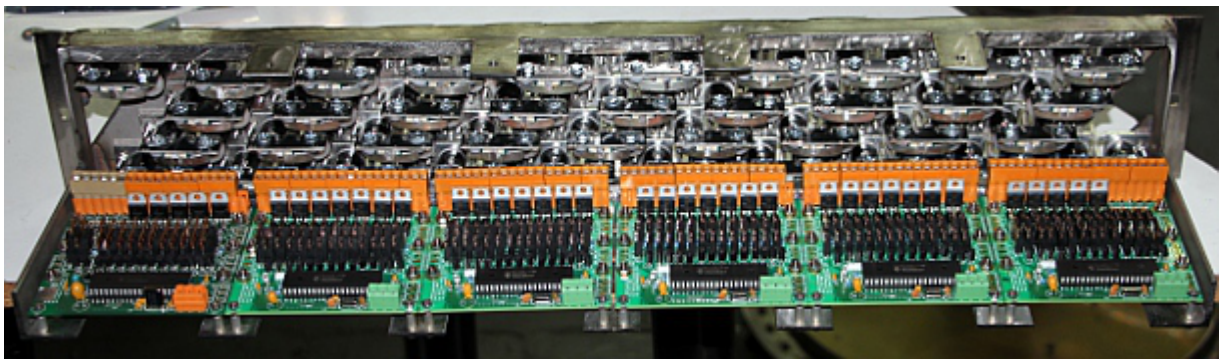
In onze betrekkelijk grote verzameling muziekinstrumenten hadden we al heel lang een aantal zithers van heel diverse oorsprong: Duitse instrumenten met 48 snaren, een Chinese Han Koto maar ook enkele zithers afkomstig uit 19e eeuwse mechanische speelautomaten. Al lang speelden we met de idee om zo'n instrumenten ook eens aan een automatiseringspoging te onderwerpen. Honderden tekeningen en ontwerpen maakten we, maar telkens weer bleek de kleine afstand tussen de snaren voor welk tokkelmechanisme we konden verzinnen ook, veel te beperkt. Uiteraard behoorde een tokkelmechanisme gemonteerd op een slede tot de mogelijkheden, maar de traagheid van zo'n constructie en de inherente monofonie ervan deed ons die mogelijkheid verwerpen.
In 2013 kregen we de vraag van Osama Abdulrassol om toch te overwegen om een Arabische qanun te automatiseren. Zo'n qanun – in tegenstelling tot de de ons bekende zithers – is evenwel gebouwd als microtonaal instrument en is daartoe uitgerust met voor elke toon, een systeem

(mandalar) waarmee de snaren zowat een kwarttoon snel kunnen worden omgestemd. De bediening van die hefboompjes vergt evenwel behoorlijk veel kracht, waardoor een automatisering ervan niet voor de hand ligt.



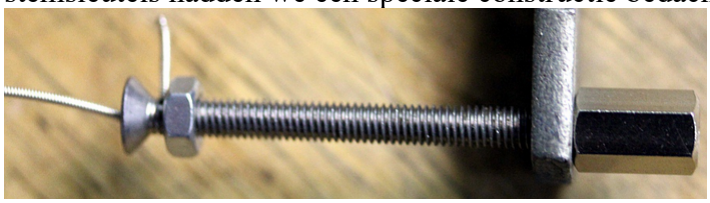
Ondanks de vele problemen die we zagen aankomen, besloten we in 2013 toch een poging te ondernemen. Maar, in plaats van daarbij uit te gaan van een bestaand instrument, besloten we ook de zither helemaal zelf te ontwerpen en te bouwen.

Het eerste probleem dat we poogden op te lossen, was de bouw van een tokkelmechanisme. Daarvoor dachten we gebruik te kunnen maken van dubbele elektromagneten van Syndyne met daarop gemonteerde plectrums.  Deze worden gemaakt voor de bediening van de registerknoppen in kerkorgels. We bestelden bij deze fabrikant een vijftigtal dergelijke mechanismen maar met rechte ankers omdat daarop de plectrums gemakkelijker te monteren waren. Met een afstand tussen de snaren van 15 mm en met een tessituurbereik van drie octaven (38 snaren), bracht ons dit op een breedte voor het gehele tokkelmechanisme van 600 mm. De bouw van dit hele mechanisme nam een tweetal maanden in beslag:



Helaas bleek echter dat bij de eerste testen op snaren, het mechanisme helemaal niet werkend te krijgen was. Wat we ook probeerden, de kracht van de plectrums bleek ruim ontoereikend voor het tokkelen van de snaren... Nochtans hadden we voor de bouw van de zither zelf, alles in het werk gesteld om die akoestisch zo efficiënt mogelijk te maken, vandaar ook het klankbord helemaal gemaakt uit piepschuim. Dat is minder vreemd dan het op het eerste zicht wellicht lijkt, want ook de qanun maakt gebruik van een membraan als klankversterker, net zoals de banjo trouwens. En, een

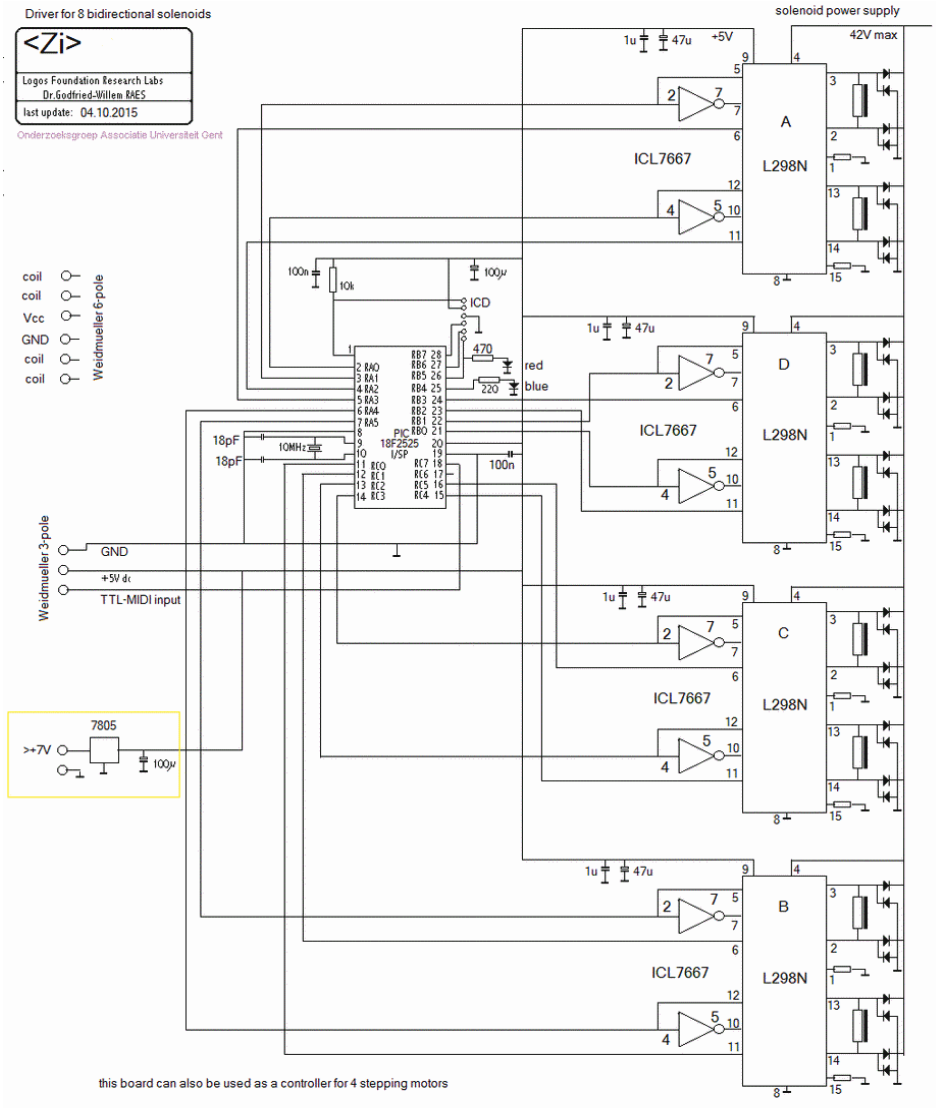
banjo met een piepschuim klankkast hadden we als vele jaren tevoren eens gebouwd. Ook voor de stemsleutels hadden we een speciale constructie bedacht die uitmunt door compactheid:



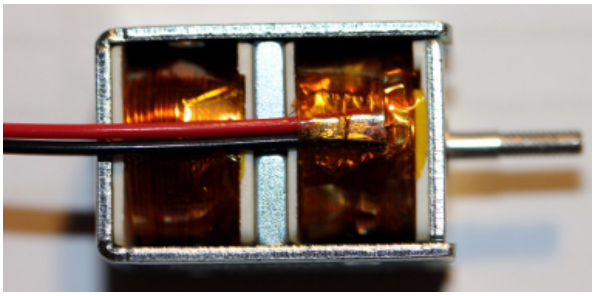
De toepassing van mandalar in combinatie met dergelijke stemmechanismen bleek mogelijk door vorkjes te voorzien tussen de bevestigingsmoeren en het draagprofiel van het stemblok. Naar automatisering toe, zagen we echter geen oplossingen daarvoor.

Hoe dan ook, het werd een fiasco en het hele tokkelmechanisme – inclusief de elektronische besturing ervan – vond later een betere bestemming in onze <Tinti> robot.

We ondernamen dan nog een tweede poging, deze keer gebruik makend van bidirectionele elektromagneten die we op het uiteinde van de ankers voorzagen van zachte ronde plectrums. Voor de besturing was volledig nieuwe elektronica nodig want deze elektromagneten moeten bestuurd worden met pulsen met een alternerende polariteit. Dit maakte het gebruik van H-bruggen noodzakelijk. Daarvoor gebruikten we de oude en beproefde L298N IC's. Met een enkele 18F2525 processor chip konden we zo een groep van acht spoelen besturen. Vijf printjes waren dus nodig om alle snaren te kunnen tokkelen.



De voedingsvereisten van deze nieuwe aanpak waren een heel stuk bescheidener dan bij het eerste mislukte ontwerp. Niettemin is de weerstand van deze bidirectionele spoeltjes met 4.2Ω zo laag, dat de stroom bij elke puls toch 2.8 A bedraagt, wat dicht tegen de grens aanligt van wat de L298 chips kunnen verdragen...



We bouwden het hele mechanisme op en werkten zowel elektronica als firmware volledig uit, maar helaas... ook deze constructie bleek niet echt succesvol te zijn. Samengevat zijn de problemen de volgende:

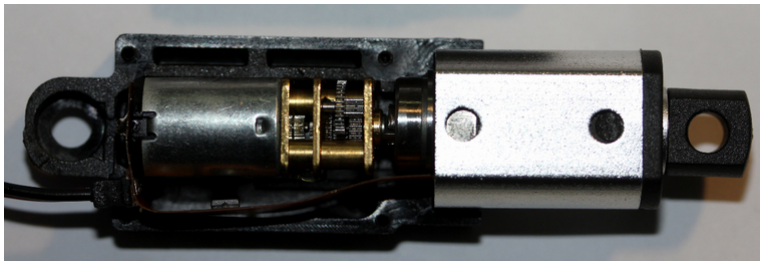
1.- de te kleine kracht van de magneten om de snaren te tokkelen. Gebleken is dat de magneten hun grootste kracht hebben bij het bereiken van hun eindposities in beide richtingen. In de middenstand

evenwel, blijkt de kracht nu juist het kleinst te zijn en uitgerekend daar zouden we juist de grootste kracht willen ontwikkeld zien.

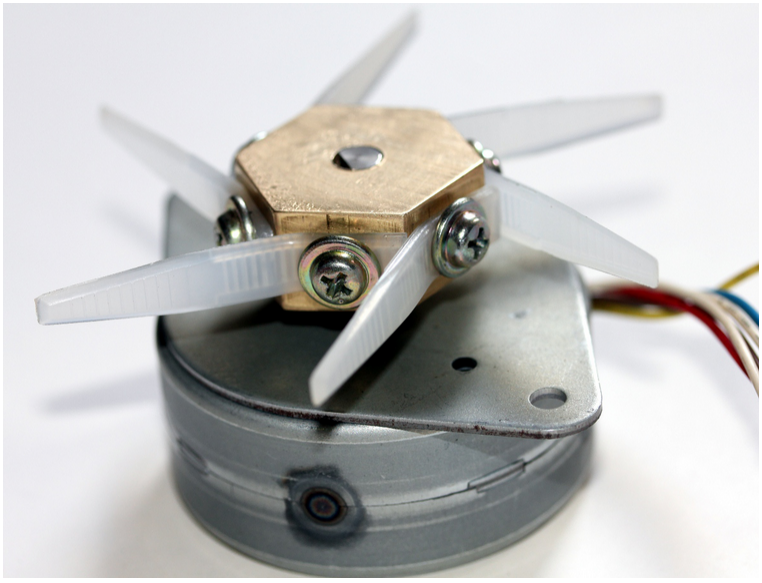
2.- de storende bijgeluiden bij het bereiken van de eindposities van de magneten. Het wegwerken daarvan met viltjes bleek onmogelijk vanwege het bewegingstraject van de ankers dat dan veel te klein wordt om nog te kunnen tokkelen.

3.- de moeilijkheden om de plectra juist af te regelen tegenover de snaren.

In 2024 ondernamen we een derde poging om <Zi> aan de praat te krijgen. Deze keer uitgaand van lineaire actuatoren. De types die we kozen zijn bedoeld voor een nominale werkingsspanning van 6 Volt en bewegen daarbij aan een snelheid van 7 mm/s. De kracht die ze ontwikkelen is 128 N, wat ruim voldoende zou moeten zijn om onze snaren te tokkelen.

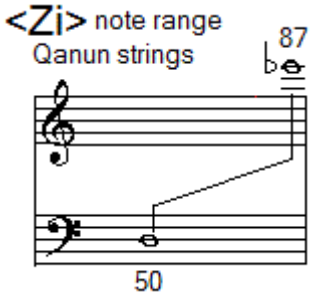


De zeer beperkte snelheid van deze komponenten staat een hoge responsiviteit zeker in de weg, maar de geleverde kracht volstaat voor krachtig tokkelen. We hebben ook experimenten uitgevoerd met stappenmotoren voorzien van plectra, maar de ruimte die voor zulke konstrukties nodig is maakt toepassing ervan in de geplande <Zi> robot onmogelijk. Hier is zo'n experimentele konstruktie voor een tokkelmechanisme, uiteindelijk hooguit goed geschikt voor een getokkeld



monochord:
Voor de besturing van de lineaire actuatoren ontwikkelden we alweer nieuwe gedrukte schakelingen gebaseerd op de L298N brugschakeling die we ook voor de vorige versie inzetten. Voorlopig echter staat <Zi> als bouwproject nog steeds in de steigers.

Midi mapping en implementatie:



kanaal: 14

Medewerkers:

•Mattias Parent, Kristof Lauwers, Matthias Laga, Xavier Verhelst, Osama Abdulrasol, Ellen Denolf

Technische gegevens:

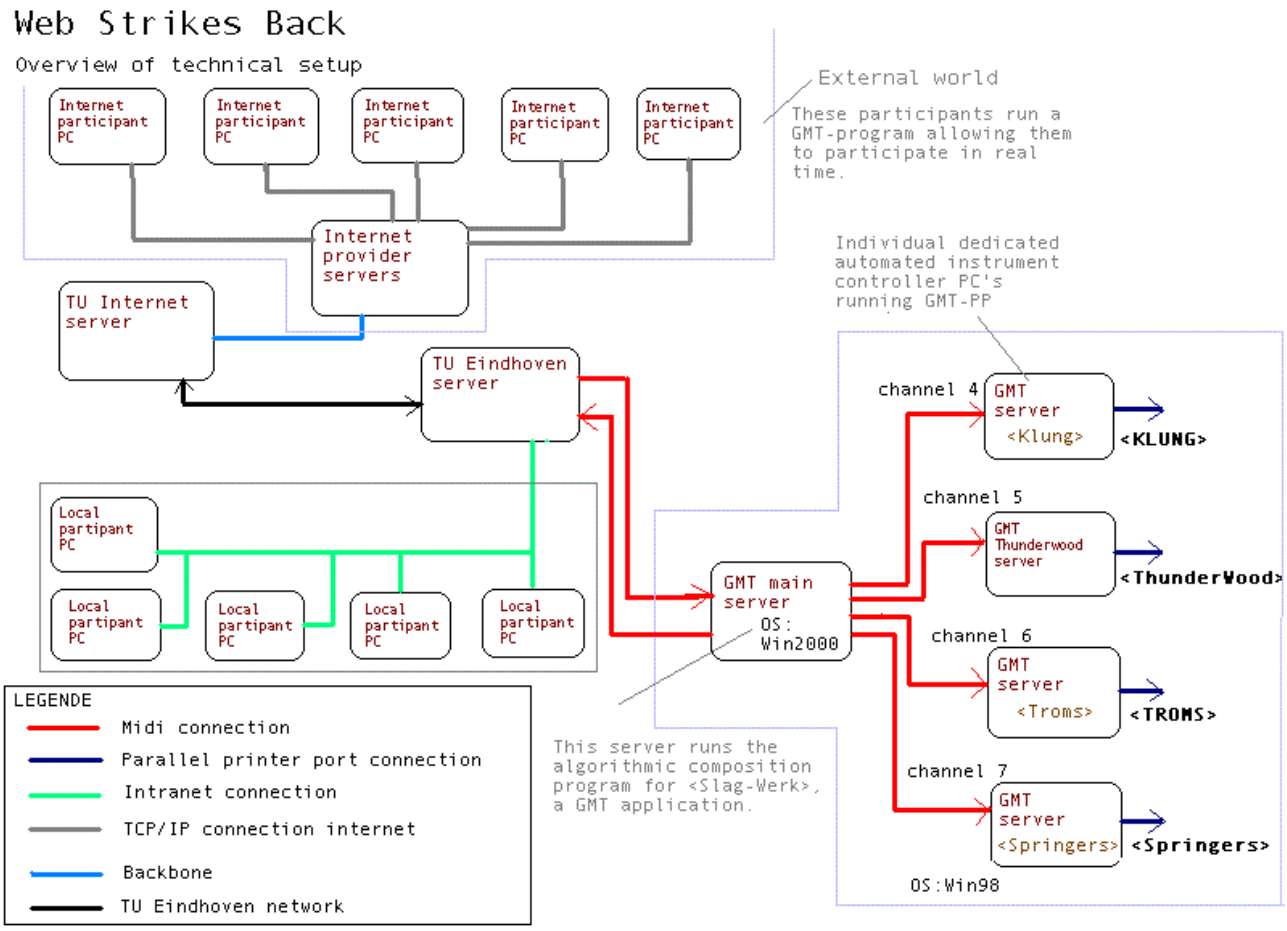
•maten: breedte: 687 mm, diepte 400 mm, hoogte 1300 mm
•gewicht: 45kg
•elektrisch: 230 V ac / 70 W
•Bouwjaar: 2013, tot op heden niet volledig afgewerkt.
•Verzekerwaarde: 14.000€

Hoofdstuk 5
Slagwerk automaten

De bouw van de slagwerk automaten in het robotorkest werd in hoge mate gestimuleerd door een opdracht die we kregen in het jaar 2000. Het Nederlandse Tromp-concours voor muzikale uitvoerders is bij elke uitgave gewijd aan een ander instrument. In dat jaar was het voor het eerst de beurt aan het slagwerk. In de werkplaats van Stichting Logos was ik toen wel al aan het werk met een ontwerp voor een automatische angklung, maar de opdrachtgevers stuurden aan op een groots opgezette klankinstallatie met geautomatiseerde instrumenten die zouden aangestuurd worden vanuit het internet. De titel van het project werd 'Web Strikes Back'. Plaats van het gebeuren: de inkomhal van de Technische Universiteit in Eindhoven.

Een groots opgezet slagwerk project zoals we dat hier beoogden bracht ons meteen in herinnering dat een 'werk' heel vaak verwijst naar een automaat. Denk maar aan het uur-werk, waarvan een slag-werk heel vaak deel uitmaakt. Het slag-werk zoals we dat ontwierpen voor die grote en hoge inkomhal zou dan ook een interactief stuurbare automaat moeten worden. Niet eigen-zinnig maar extravert, naar buiten gekeerd.
Uitgangspunt vormde de aanwezigheid van een specifieke en geavanceerde infrastructuur in die inkomhal waar honderden studenten tegelijk via laptops in een netwerkverband (zowel intranet als internet) verbonden zijn. Dit maakte het mogelijk een speciale server te ontwerpen die opdrachten – of algemener uitgedrukt, input data – ontvangt en die op grond van een specifiek te ontwerpen compositieprogramma, het opgestelde slag-werk bespeelt. De participanten in de inkomhal kunnen via een specifiek interface opdrachten naar de server versturen. De feedback naar het slag-werk is in dit geval zowel akoestisch als visueel: ze kunnen letterlijk en rechtstreeks – dus niet virtueel - waarnemen welk effect hun ingreep heeft op het slag-werk.
Maar ook van buitenaf zou het slag-werk bespeeld kunnen worden: daarvoor werd alweer een ander specifiek interface geprogrammeerd dat via internet (TCP/IP) opdrachten stuurt naar de installatie. Opdat ook dit met optimale feedback en zonder hinderlijke vertragingen zou kunnen doorgaan, moesten de internet participanten op het moment waarop zij willen spelen met de automaat, zowel het bespelingsprogramma als een momentane toestandsbeschrijving van het slag-werk downloaden. Door dit opzet kon de internet participant rekenen op een bijzonder snelle respons. Zijn interactie wordt – hoewel werkelijk als input toegevoerd aan de installatie - in zekere mate, – meer bepaald door de inherente asynchroniciteit van de communicatie via internet – virtueel. Vergeten we hierbij niet dat realtime audio webcasts met de stand van de technologie op dat ogenblik, niet tot nauwelijks doenbaar waren.
Gezien het project zich situeerde in de omgeving van een technische universiteit, lag het voor de hand te streven naar participatie en betrokkenheid van de studenten en docenten. Niet alleen op het vlak van het uiteindelijke interactieve resultaat, maar ook en vooral bij de opbouw en realisatie van de installatie.
Zo konden studenten desgewenst worden ingeschakeld voor de bouw van eigen slagwerk componenten. De hardware ontwerpen daarvoor evenals de besturingssoftware, werden door mij immers vrij ter beschikking gesteld. Het project was immers van meet af aan interdisciplinair en multimediaal opgevat: er was plaats voor participatie op gebied van software ontwikkeling, werktuigkunde, robotica, elektronica, mechanica...

De configuratie voor het gehele project zag eruit zoals aangegeven op het hieronder staande schema.



Het is duidelijk dat het aantal internet participanten praktisch onbeperkt kon zijn. Het aantal lokale deelnemers – personen dus die in de hall van de TU Eindhoven bij de installatie zelf aanwezig waren - werd ingeschat op maximaal zo'n 200. De server software voor de ontvangst van de interactie van de lokale deelnemers werd geschreven door medewerkers van de Technische Universiteit, de software voor de internet participanten bestaat uit enerzijds een GMT toepassing en anderzijds een applet waarmee de aktueelste toestandsbeschrijving van de installatie doorlopend wordt gedownload en waarmee de bijdrage van de spelers wordt ge-upload naar de TU server. De communicatie van de TU server naar de instrumenten en automaten loopt via een server geschreven door mezelf met hulp van Kristof Lauwers die toen bij mij als student in de leer was. Dit programma WSB_SERVER.EXE werd een GMT applicatie geschreven voor Windows 2000 en NT en omvat de volledige midi implementatie voor het Slag-Werk project.
Aan de realisatie verleenden verder nog hun medewerking : Filip Switters, Xavier Verhelst, Marc Maes, Kurd Van de Velde, Moniek Darge, Ben Deceuninck, Joachim Brackx, Thomas Smetryns en vanuit de TU-Eindhoven: Vakgroep werktuigkunde, Studium Generale, Maarten Pieterson, David Ernst, Tijn Borhuis, Cees Huizing, Maarten ter Huurne

Robots die we bouwden en ontwierpen voor dit Web Strikes Back project werden:

- <Klung> [speelklaar op 18.06.2000]
- <Springers> [speelklaar op 02.09.2000]
- <ThunderWood> [speelklaar op 17.07.2000]
- <Troms> [speelklaar op 18.08.2000]
- <RoToMoTon> [speelklaar op 26.04.2001, maar dat was dus niet tijdig voor deelname aan het Web Strikes Back project]

<Klung>



Dit instrument is een computergestuurde akoestische angklung afgewerkt in 2000 voor het hiervoor genoemde 'Web Strikes Back' project. In 2006 onderging de besturingshardware en ook de firmware een belangrijke verbetering waardoor de robot MIDI-gestuurd en volkomen autonoom kon werken. In de eerste versie was immers nog een laptop nodig, voorzien van een MIDI-interface voor het ontvangen van commando's en een parallel printerpoort voor de besturing van de robot...

Aan het instrument zelf is wel een heel verhaal verbonden. Het stamt immers uit een circus waarvan Max Rosseau, de vader van Norbert Rosseau (1907-1975) mijn compositieleraar aan het Gents Conservatorium in de vroege jaren '70 van vorige eeuw, directeur was in de periode voor de eerste wereldoorlog. Zoals alle circussen die door Europa reisden in die tijd, beschikte ook dit circus niet alleen over wilde dieren, clowns, wonderkinderen (de 4-jarige Norbert Rosseau trad reeds in 1911 op als viool-wonderkindje...) maar ook over exotische elementen. Dit circus had als bijzondere attractie een muzikale clown – die rol speelde Max Rosseau zelf - die verkleed als (wilde) Javaan, wijsjes speelde op een angklung voorzien van elektrische lichtjes. Om die attractie mogelijk te maken hadden ze een angklung aangekocht en laten overbrengen uit Java. Maar, dat instrument bleek helemaal niet bestand tegen ons klimaat en de vaak barre circusomstandigheden: de bamboe klankbuizen raakten alsmaar gebarsten, verloren hun klank en bleken bovendien ook wat te stil voor de circustent. Daarom besliste de directeur, zo'n angklung dan maar in Berlijn te laten (na)maken, maar nu degelijk en gemaakt uit gehard messing. Niet alleen het materiaal werd vervangen door messing, maar ook de stemming werd 'aangepast' aan de westerse gelijkzwevende stemming ten nadele van de oorspronkelijke pelog of slendro stemming.

In 1914, bij het uitbreken van de eerste wereldoorlog, trok het circus naar Italie (Norbert's moeder, Stella Lussie, was Italiaanse) maar in het interbellum daarna ging het circus over de kop en belandde de angklung in de verzameling instrumenten van Norbert Rosseau. Die verzameling koesterde hij in zijn woning aan de Gentse Lievekaai. Enkele gestemde rolbellen, ook afkomstig uit dat circus, gaf hij mij cadeau toen ik bij hem naar de les ging. Bij zijn overlijden, gingen zijn instrumenten grotendeels naar het Conservatorium waar de angklung vele jaren lang een treurige aanblik bood in een verborgen hoekje van een verlaten gang. Uiteindelijk adopteerde ik hem in mijn klaslokaal waar hij kon gebruikt worden in mijn lessen avant-garde kamermuziek, het eerste vak waarvoor ik een lesopdracht kreeg in 1982. Bij een renovatie van het gebouw in de jaren '90 werd een en ander opgeruimd, verloor ik mijn vast klaslokaal en belandde de angklung in een intussen zwaar gehavende staat op een afvalcontainer. Dat had ik natuurlijk snel en goed opgemerkt en zo heb ik het instrument ook van een gewisse ondergang gered door het mee te nemen naar mijn werkplaats bij Stichting Logos.

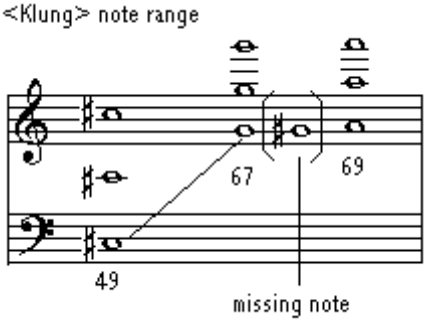
Een aantal klankstaven waren zoekgeraakt, en verschillende onderdelen ontbraken of waren helemaal stuk en die reconstrueerden we volledig zelf. Het muzikaal bereik omvat bijna twee chromatische octaven waarvan 1 noot helemaal ontbrak. Daarvan wist ik dat die aan de schoorsteen hing in de woning van Norbert Rosseau. Toen ik ernaar informeerde bij zijn weduwe – Cornelia - lang na zijn overlijden, wist die ook niet meer waar die noot heen was gegaan. Die ene noot – de Gis - bouwden we niet bij omdat we de hoop bleven koesteren die ooit nog eens ergens te kunnen opdiepen. Elke klinkende noot van de angklung is opgebouwd uit drie klankstaven, gestemd in octaven. Ze worden door schudden of stoten tot klinken gebracht.

We monteerden de robot op een gelast onderstel met kruisdisselbesturing en grote stevige wielen met massief rubberen banden. Hierdoor is hij geschikt voor gebruik in openlucht en op straat. Omwille van de elektronica evenwel en door de houten dragers waarin de klankstaven bewegen, dient <Klung> wel tegen regen en vochtigheid beschut te worden.

De angklungs zelf automatiseerden we, na heel wat geëxperimenteer, middels behoorlijk grote bidirectionele elektromagneten zoals gebruikt in de orgelbouw voor de besturing van de registerschuiven op de windladen. Deze registertraktuurmagneten zijn voorzien van dubbele wikkelingen, een voor elke bewegingsrichting. We implementeerden aanslaggevoeligheid in beide richtingen evenals automatische afhandeling van de bewegingsrichting. Na elke aanslag draait de bewegingsrichting automatisch om. Hierdoor ontstaan ruime dynamische en dus ook expressieve mogelijkheden. Daarnaast implementeerden we ook automatische nootrepetitie met volledig programmeerbare schudsnelheden waardoor het gebruik van deze robot voor componisten erg soepel en gebruikersvriendelijk is.

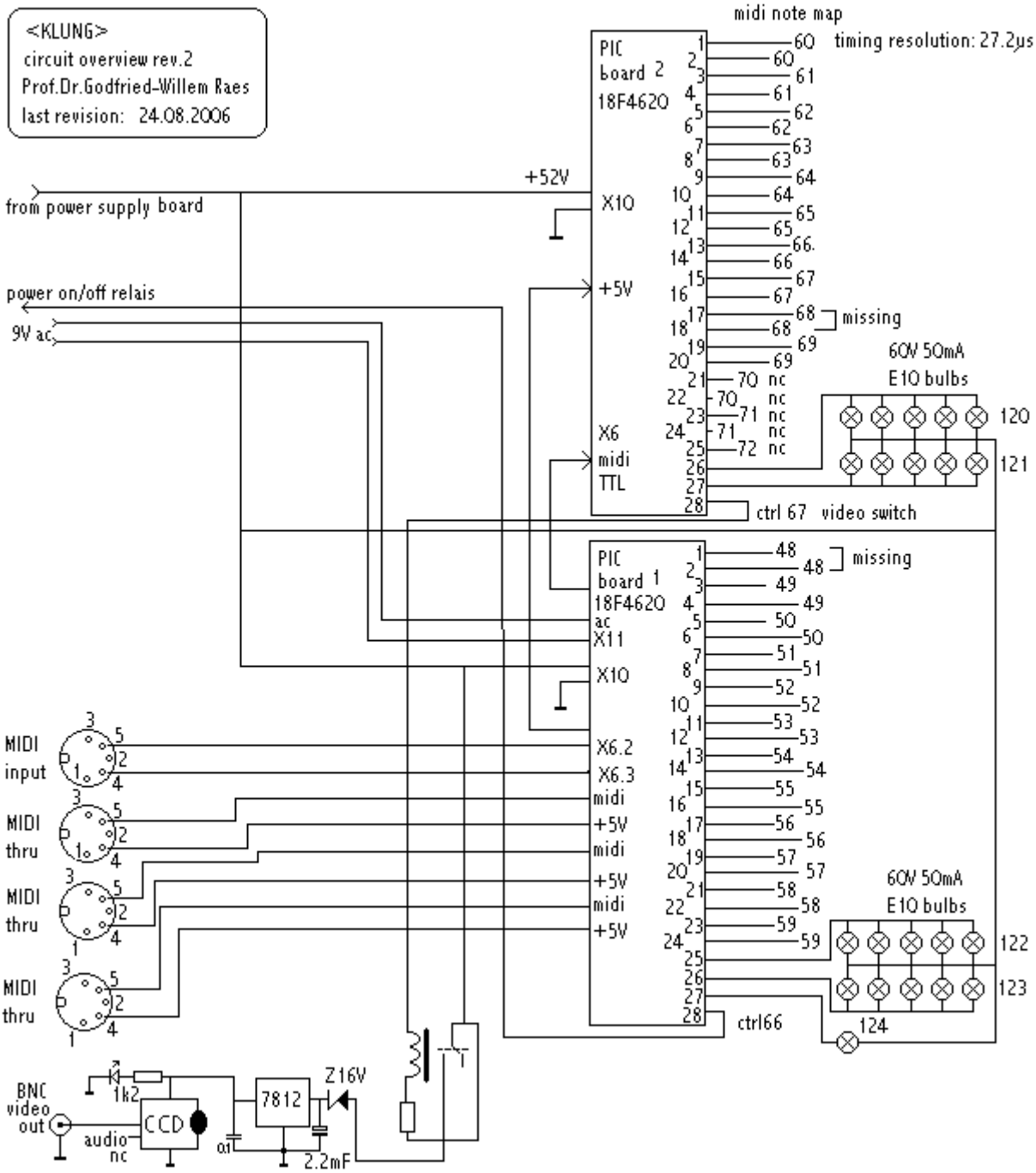
De eerste compositie voor deze robot doopten we 'Klungels', een interactief stukje muziek dat deel kon uitmaken van het 'Web Strikes Back' project. Een compositorisch vormgevend element daarin werd gevormd door de slingerconstanten, die immers in een angklung voor elke noot een andere periodetijd hebben. Op 21 juni van het jaar 2000 schreef ik verder ook een 'Klungeltango' voor <Klung>. Hier werd ook een vrij opgevatte solostem voor fluit, stem of melodica voorzien. Het werd een algoritmische tango geschreven binnen de omgeving van mijn GMT software en bedoeld om ook op straat te kunnen worden gespeeld en indien gewenst, gedanst. Die tango ging in première op 4 juli 2000 waarbij de melodie vertolkt werd door Karin Defleyt op fluit terwijl ikzelf met Moniek Darge de tango dansten. Die uitvoering was ook te zien op RTBF televisie.

De tessituur van de <Klung> robot is:



<Klung> luistert in MIDI naar kanaal 4.

De besturing maakt gebruik van twee processor boards met Microchip 18F4620 processoren en MOSFET uitgangen voor het schakelen van de bidirectionele elektromagneten.



De elektromagneten zijn ontworpen voor een nominale werkspanning van 24 V en trekken dan een stroom van 1 A. Met deze instelling, leveren ze een kracht van 24 Newton. Om een grotere aanslagkracht te verkrijgen, verhoogden we de werkspanning met een factor drie maar beperkten we de duty cycle tot 25%. Zouden we dat niet doen, dan zouden de spoelen zeker heet lopen en uiteindelijk de geest geven. De firmware is zo ontworpen, dat dit zo goed als uitgesloten is. De enige beveiliging die we niet konden voorzien is die die optreedt wanneer een gebruiker noot-aan commando's zou sturen veel sneller dan wat het instrument mechanisch kan verwerken. Er zou niets te horen zijn en toch zouden de spoelen gevaarlijk heet kunnen worden.

De MOSFETS die we gebruikten in dit ontwerp zijn Harris RFP10N12L (een moderner equivalent is het type IRL640), ingegeven door het feit dat die kunnen schakelen met 5V TTL spanningen op de gate terwijl ze ook tot 60 Watt kunnen dissiperen. De maximale schakelsnelheid wordt beperkt door de hoge capaciteit (1200 pF) van de gate, wat niet echt een probleem is in deze toepassing omdat de schakelsnelheid sowieso erg beperkt is door de mechanische traagheid van de angklungs en hun ophanging.

Een bijzonder probleem dat we dienden op te lossen in het ontwerp is dat bij het inschakelen alle uitgangen van de PIC processors hoog zijn waardoor alle MOSFET's tegelijkertijd ingeschakeld zouden worden. Hierdoor krijgen we natuurlijk onmiddellijk te maken met een overbelaste voeding die het al meteen laat afweten... Daarom voorzagen we in een vermogensrelais (80A) dat de bekrachtigingsstroom voor de spoelen pas inschakelt na het opstarten en na ontvangst van een specifiek commando via MIDI. Zoals voor bijna alle door ons gebouwde robots, implementeerden we hiervoor midi-controller #66.

De midi implementatie omvat *note-on/off* commandos voor de noten 49 tot 69, waarbij de bewegingsrichting van de angklungs telkens automatisch wordt omgekeerd. De sterkte van de aanslag wordt bestuurd met het *velocity* byte. De default waarden hiervoor (instelbaar met een *program change* commando = 0) liggen dan tussen 7 en 25 ms. Wanneer *program change* op waarde 122 wordt ingesteld, is het bereik 1.2 ms tot 55 ms, wat meer nuances in het spel toelaat. Toetsdruk *(key-pressure)* commando's kunnen worden gebruikt om het periodiek schudden van de angklungs te sturen. Het regelbereik 1 tot 127 komt daarbij overeen met schudfrequenties van 2 Hz tot 16 Hz.

Voor <Klung> schreven heel wat componisten originele stukken: Kristof Lauwers, Brent Wetters, Thomas Smetryns, Kris De Baerdemacker, Charlemagne Palestine, Sebastian Bradt, Gamut Inc, Warren Burt...

Medewerkers aan de bouw en het onderhoud van <Klung>:

- Kurd Vandevelde, Moniek Darge, Xavier Verhelst, Johannes Taelman Kristof Lauwers

Afmetingen en technische fiche:

•maten: breedte: 1650 mm (met stuurhandvat: 1750mm), hoogte: 1600 mm, diepte: 520 mm
•gewicht: 150kg
•elektrische aansluiting: 230V AC. Normaal stroomverbruik: 75 W, in rust 20 W.
•bouwjaar: 1999
•verzekeringswaarde: 18.500 €

<Troms>

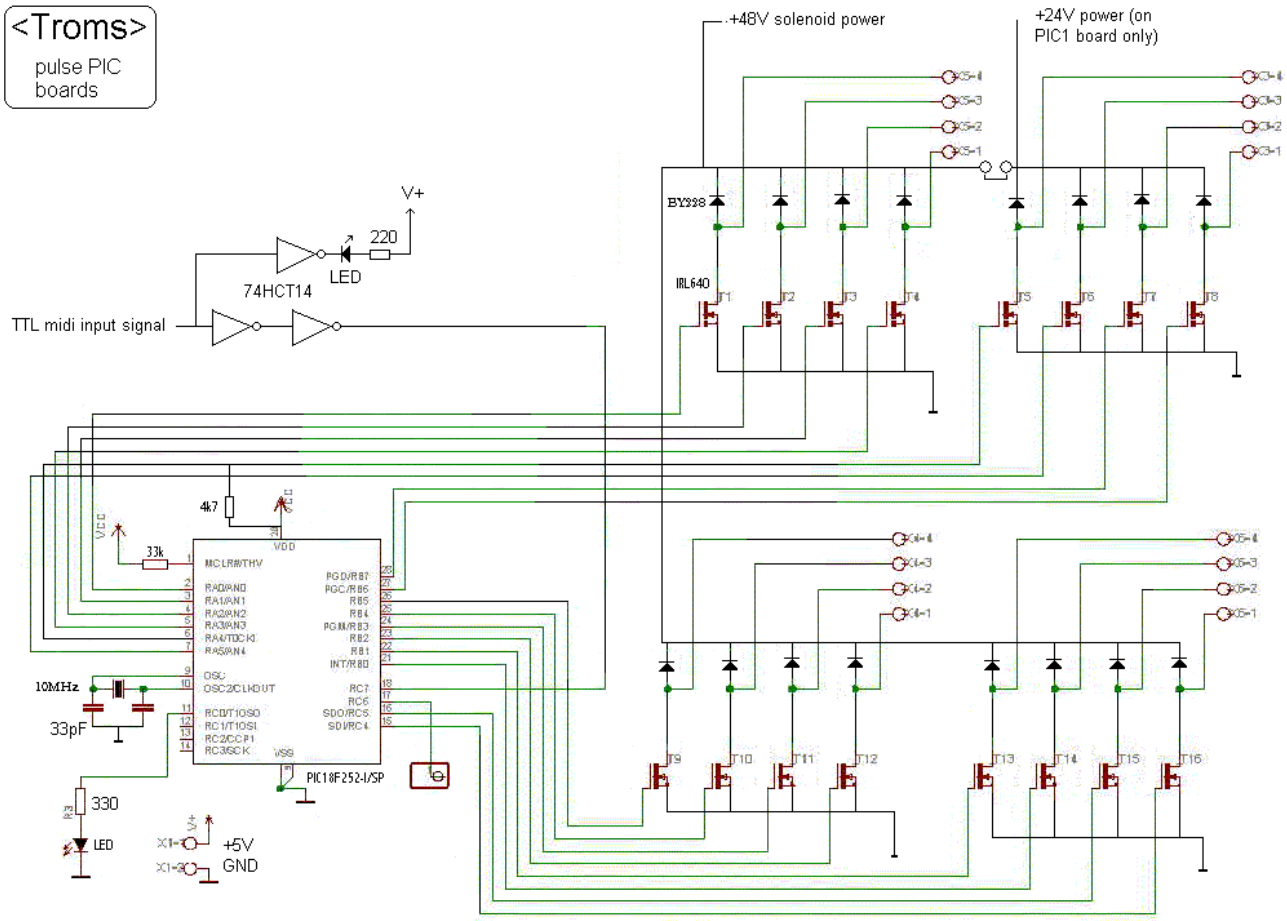


Dit instrument is opgebouwd als een computergestuurde verzameling van zeven enkelvellige trommels. Ze werden in de stalen constructie gerangschikt van groot naar klein: de diameters lopen van 70 cm tot 7 cm. Elke trommel werd voorzien van een reeks verschillende kloppers. Voor de kleinste trommeltjes hadden we slechts plaats voor een tweetal kloppertjes, maar voor de grote exemplaren konden we in heel wat meer variatie voorzien. De kloppers werden zo geplaatst dat de meest rechtse telkens het midden van het trommelvel aanslaat. De meest linkse klopper zorgt voor een 'rimshot'. Overige kloppers vonden een plaats tussenin naargelang de beschikbare ruimte. De draagstructuur werd gelast uit constructiestaal en vormt een hoek van 36 graden ten opzichte van de bodem. Het wielstel heeft drie wielen en is goed bestuurbaar.

De oorspronkelijke eerste versie was ontworpen om deel uit te maken van het hiervoor besproken 'Web Strikes Back' project uit 2000. In 2004 voegden we een kleine Turkse Zildjian cimbaal toe, onderin de robot. Bij die gelegenheid voegden we eveneens een grote vilten demper toe op de bastrom, uiteraard ook bestuurbaar via MIDI commando's. De werkspanning werd ook een heel

stuk verhoogd, wat niet alleen het dynamisch bereik, maar ook de responssnelheid sterk ten goede kwam. Ook monteerden we lampjes in de trommels. De besturing van alle componenten maakt sedert 2004 gebruik, van twee snelle PIC microprocessors, ter vervanging van de laptop die in de oorspronkelijke versie nog nodig was. De firmware onderging de loop der jaren, meerdere wijzigingen en verbeteringen. Bepaalde features die ons oorspronkelijk nuttig voorkwamen, schrapten we later. Zo bijvoorbeeld de implementatie van *system-exclusive* berichten waarmee de opzoektabellen voor de aanslagsterktes door de gebruikers konden gewijzigd worden. In 22 jaar ononderbroken werking van de robot, had immers nooit ook maar een gebruiker van deze mogelijkheid gebruik gemaakt...

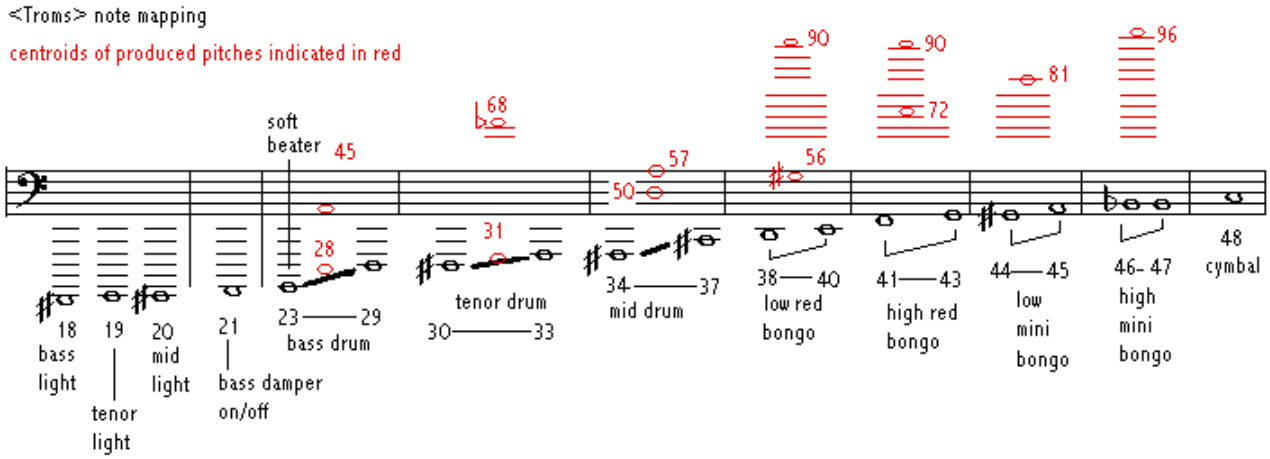
De schakeling ziet er zo uit:



Voor de power MOSFETS maakten we gebruik van dezelfde types die we ook inzetten voor de <Klung> robot. In serie met de voedingsspanning voor de kloppers namen we een sterke gloeilamp op. Deze lamp mag normaal gezien nooit branden want ze werd alleen voorzien als beveiliging tegen overbelasting van zowel de elektromagneten als de voeding. De pulsduurtijden waarmee we de dynamiek mogelijk maken zijn minimaal 2 ms en maximaal 32 ms. De resolutie voor de hier gebruikte microprocessoren is 27.2 µs. Gezien de overspanning waarop we de elektromagneten laten werken (60V, terwijl de normale werkspanning slechts 12V is), voorzagen we in een beveiliging die erin bestaat dat na elke puls een dode-tijd intreedt – het dubbele van de pulsduur zelf - tijdens dewelke de betreffende spoel ongevoelig blijft voor verdere puls commando's. Hiermee voorzagen we dus meteen in een minimale vorm van ingebouwde intelligentie. De keerzijde van de medaille is hier natuurlijk dat de robot een zekere eigengereidheid gaat vertonen omdat hij bepaalde commando's zal weigeren wanneer die zijn eigen integriteit bedreigen.

Een bijzonderheid van deze trommelmachine is de implementatie van automatische repetitie van de aanslagen. Voor de MIDI implementatie daarvan gebruikten we het toetsdruk (*key-pressure*) commando. Dit commando moet na het noot-aan commando voor de betreffende noot verstuurd worden. De automatische nootherhaling moet stopgezet worden met het noot-uit commando.

MIDI implementatie en mapping:



De klinkende toonhoogtes (bij benadering) zijn aangegeven in rood. Die zijn natuurlijk mede afhankelijk van de temperatuur en de spanning op de membranen. Hoe dan ook, muzikaal gezien mogen de trommen niet worden beschouwd als op toonhoogte gestemde instrumenten.

<Troms> luistert via MIDI op kanaal 6.

Specifiek voor <Troms> geschreven composities zij n o.m.:

Kristof Lauwers 'Betatroms' en 'StochTroms', Michael Manion 'Rolls' en van mezelf: 'Afrotroms', 'E-Troms', 'GeroTroms', 'Ratrom', 'Simple Triple Ouxercuse' , 'Seven Quaver Evertire'

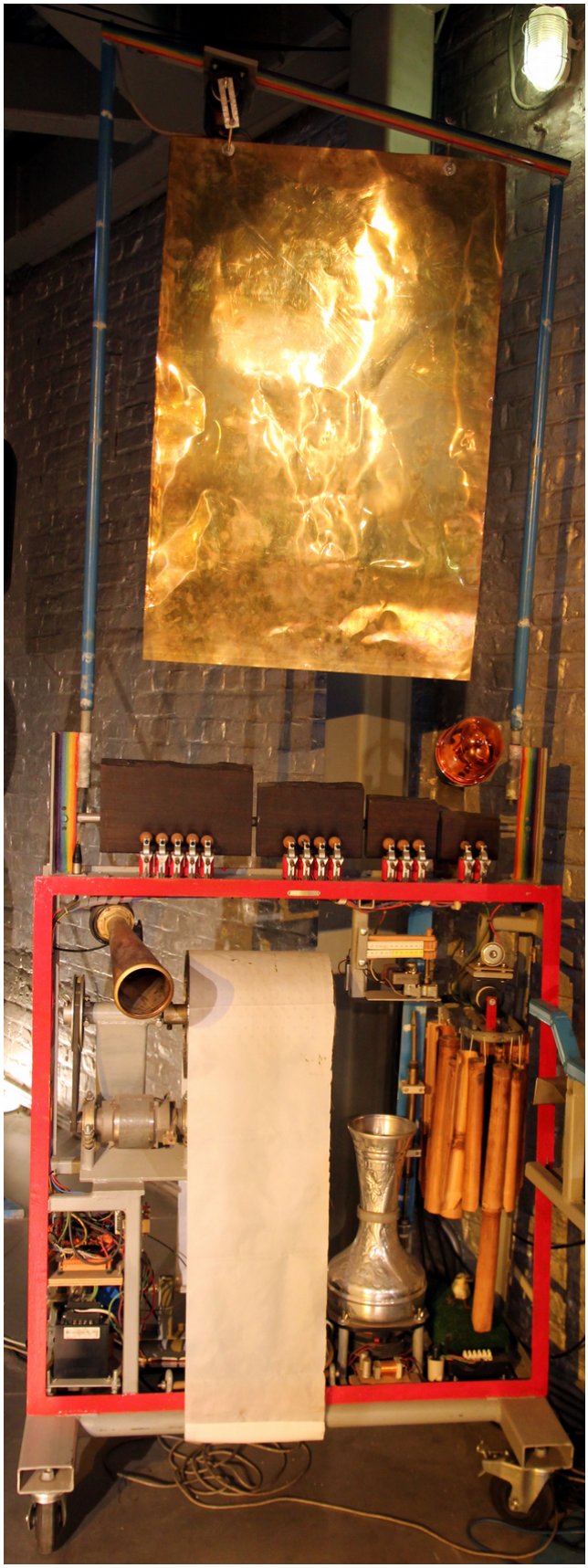
Medewerkers aan de bouw van de <Troms> robot:

- Kristof Lauwers, Filip Switters, Xavier Verhelst , Johannes Taelman

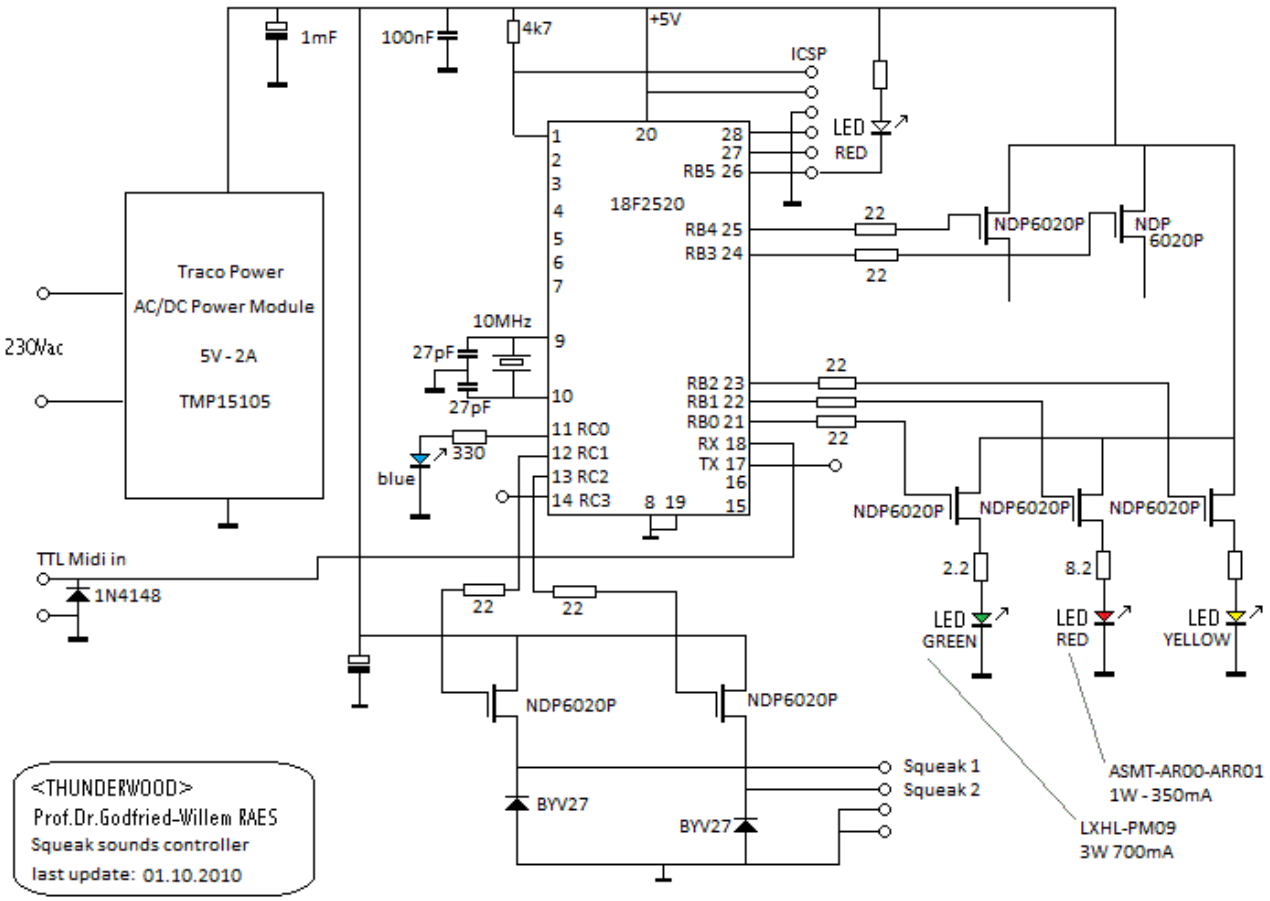
Technische fiche:

- afmetingen: breedte: 2500 mm, hoogte: 1860mm, diepte: 600mm
- gewicht: 80kg
- elektrische aansluiting: 240Watts / 230V AC (piek). Bij normaal spelen: 50 Watt.
- Bouwjaar: 2000
- Verzekeringswaarde: 8.500 €.

<Thunderwood>



In deze muzikale automaat brachten we een heel arsenaal aan 'natuur'-geluiden samen. De naam alleen al omvat 'thunder', wat verwijst naar het grote donderblik dat meteen ook als blikvanger in deze machine fungeert. De tweede component in de naam 'wood' is dan weer een verwijzing naar enerzijds hout, anderzijds het bos, waaruit we ook, enkele geluiden wisten te integreren: krakend hout, spechten ('woodpeckers'), een krekel... Verder omvat de machine ook regen, wind, storm, een vogeltje een ratel en heel wat lichteffecten, inclusief bliksem. In deze zin zou dit instrument dan ook een perfecte realisatie kunnen worden genoemd van Luigi Russolo's eerste categorie geluidsbronnen in diens verzameling Intonarumori. Die knipoog naar het futurisme is overigens geenszins toevallig hier.
Net zoals <Klung>, <Troms> en <Springers> werd deze automaat gebouwd en ontworpen om deel uit te maken van het 'Web Strikes Back' project uit 2000. Sedert zijn ontstaan onderging hij echter heel wat verbeteringen en toevoegingen. Zo waren de stormwind module, de bliksem, de krekel en het vogeltje in de eerste versie nog niet aanwezig. De grote verscheidenheid aan geluidsbronnen en de grote diversiteit in de methode van klankproductie ervan maken dat hier een grote variatie weer te vinden is in de elektronische besturingen.
De 'spechten' – grote woodblocks gemaakt uit tropisch hardhout - worden aangeslagen met elektromagneten van hetzelfde type en met een gelijkaardige besturing zoals we die ontwierpen en gebruikten voor <Troms>. Voor het donderblik evenals voor de bamboe wind-chimes konden we dan weer teruggrijpen naar het ontwerp met bidirectionele magneten van hetzelfde type als gebruikt in de <Klung> robot. Die componenten moeten immers worden geschud om te klinken. Voor de realisatie van de krekels gingen we uit van gemodificeerde klaksons voor motorfietsen die we voorzagen van een resonator en die we met regelbare pulssignalen en PWM aansturen. Hier gebruikten we P-kanaal MOSFET's, in eerste plaats omdat de gebruikte claxons een van de polen verbonden hebben met massa, gevormd door hun eigen behuizing.

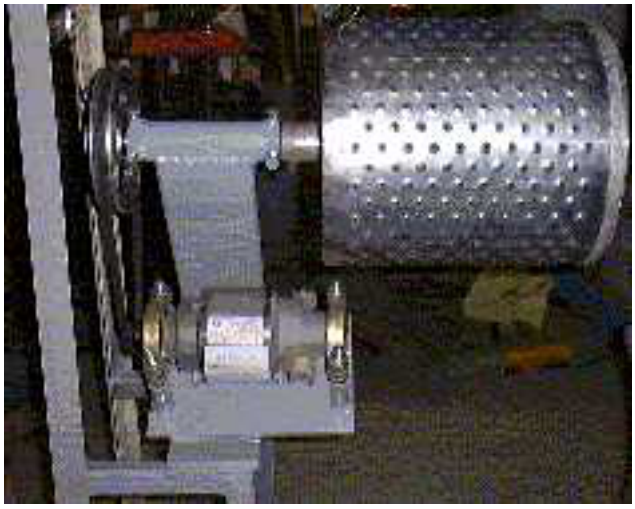


De praktische opbouw kwam er dan zo uit te zien:

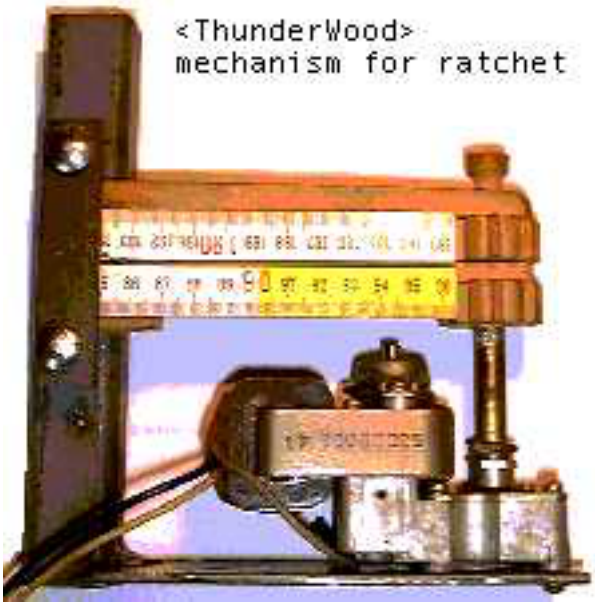


Deze krekels werden toegevoegd in 2006 en hun geluid mag niet worden gezien als een poging tot realistische nabootsing van een echte krekel, niet in het minst omdat het daarvoor alvast veel te luid is. Het werd veeleer een imaginaire krekel uit de prehistorie, die niettemin erg welgekomen geluid maakt wanneer korte klikken gewenst zijn.

De windmachine werd opgebouwd gebruik makend van een trommel uit een oude wasmachine. Over die trommel spanden we een doek uit redelijk sterk en hard textiel. Op gelijkaardige wijze werden immers ook historische windmachines zoals die voorkomen in sommige orkestpartituren en opera's (zo bijvoorbeeld in de 'Hans Heiling' opera van Heinrich Marschner uit 1833) opgebouwd. Die wasmachinetrommel voorzagen we van een stevige DC motor (700 W, 12V – 210V DC) die we redelijk eenvoudig konden aansturen met PWM gestuurd door een Microchip PIC controller.



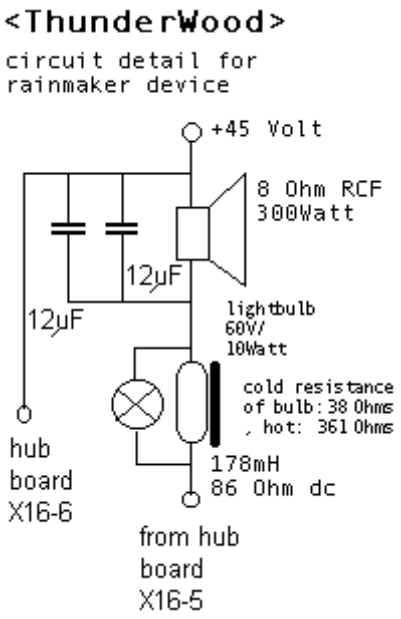
Op de foto zien we de trommel en de motor, zonder canvas. In plaats van textiel kan ook zogenaamd kalkpapier, zoals gebruikt door architecten, benut worden. Het moet dan wel vaker worden vervangen dan textiel, maar het klinkt ook erg goed. De draaisnelheid van de motor begrensden we door de voedingsspanning niet hoger te nemen dan 35V.



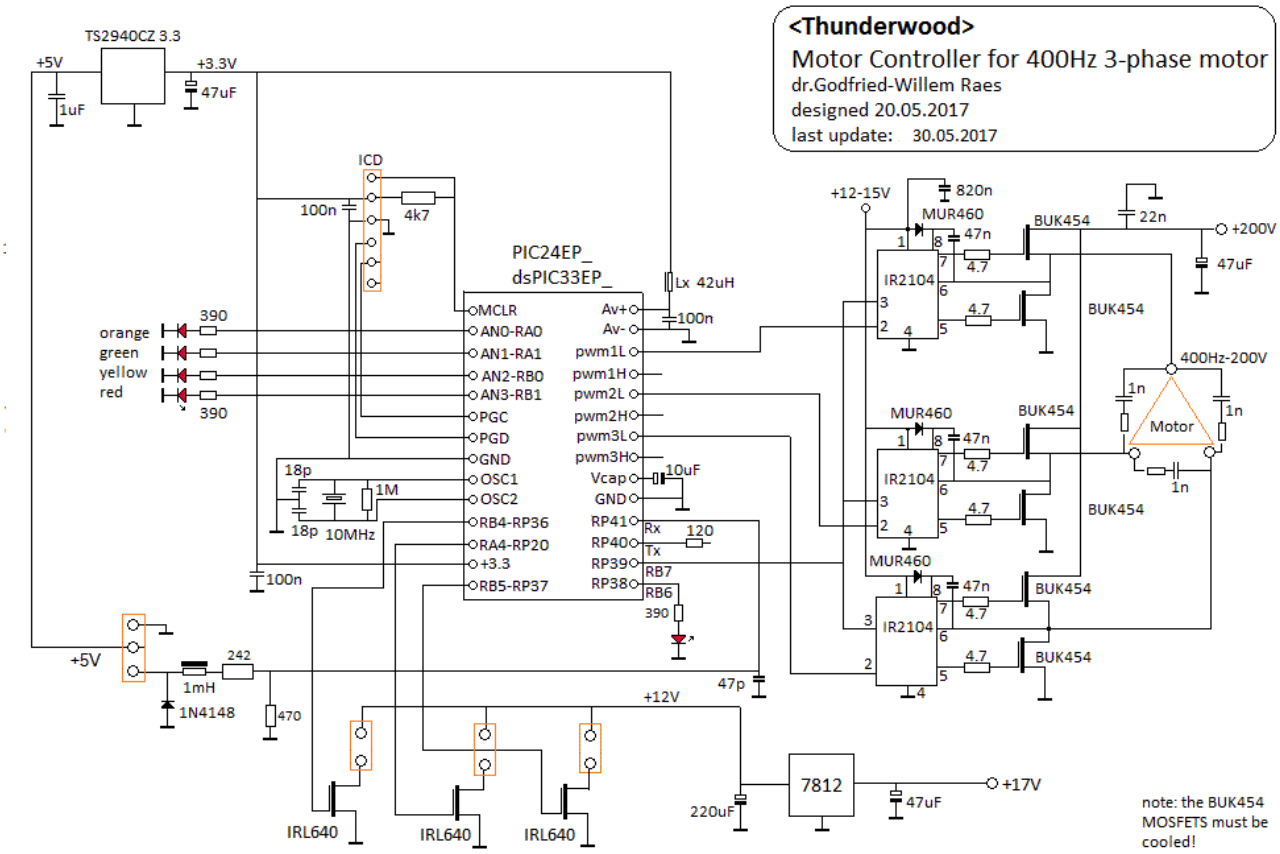
De ratel wordt gestuurd door een AC-synchroonmotortje met een tandwielvertragingskast. De ratel zelf maakten we met twee gerecycleerd stukjes timmermansmeetlat. Voor het schakelen van deze component gebruikten we een relais, vooral met het oog op de veiligheid aangezien de motor hier op de netspanning werkt.



De regenmaker bouwden we uitgaand van een 300 W RCF luidspreker met een doorsnede van 20 cm en uitgerust met een conus uit glasvezel. Deze conus vulden we met kleine kralen en sloten we af met de resonator van een darbukkah trommel. Deze monteerden we ondersteboven zo dat ook de luidspreker horizontaal komt te staan en de kralen opgeschud worden wanneer de luidspreker met trage onregelmatige pulsen wordt aangestuurd. Om het eigen geluid van de luidspreker te dempen, voorzagen we in een eenvoudig LC laagdoorlaatfilter met afsnijfrequentie aan 77Hz. De stroom door de spreekspoel moet beperkt blijven tot 1.5A bij 12V. Dit gedeelte van de schakeling wordt gevoed vanuit de beschikbare 45V spanning. De condensatoren in deze schakeling moet absoluut bipolaire types zijn!



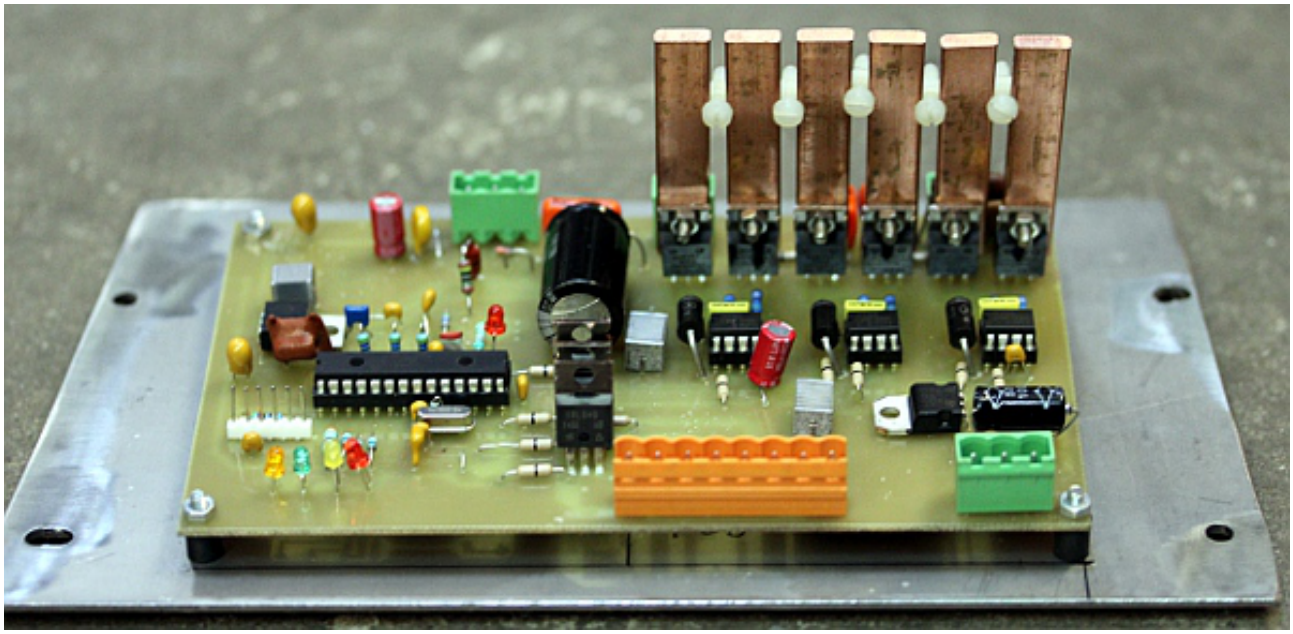
De storm component in de <Thunderwood> robot bouwden we met een kleine trilholteresonator gekoppeld aan een lineaire conus gemaakt uit messing. De blazer om die resonator aan te sturen is afkomstig uit een lot reserveonderdelen voor vliegtuigen dat we ooit eens opkochten. De ventilator werd geproduceerd door Rotron Manufacturing Corporation en werkt op 3-fazen wisselspanning van 208V met een frequentie van 400 Hz. Om die motor te kunnen gebruik,en dienden we dan ook zelf een 3-fazige generator te ontwerpen waarvoor we een beroep deden op een 16-bit PIC, type 24EP128MC202 speciaal ontworpen voor gebruik in motorcontrollers.



Het toerental van de motor kan geregeld worden via MIDI. Ook de afremsnelheid is bestuurbaar gemaakt voor de gebruikers. Het merkwaardige aan deze constructie is dat hier zuigwind gebruikt

wordt en dat het mechanisme met blaaswind helemaal niet goed blijkt te werken, wat verklaart waarom we de resonator aan de aanzuigzijde van de blazer dienden te monteren. We vermoeden dat holteresonatoren best werken met een erg turbulente windvoorziening.

De opgebouwde schakeling – de roodkoperen strips fungeren als koelvinnen - kwam er zo uit te zien:

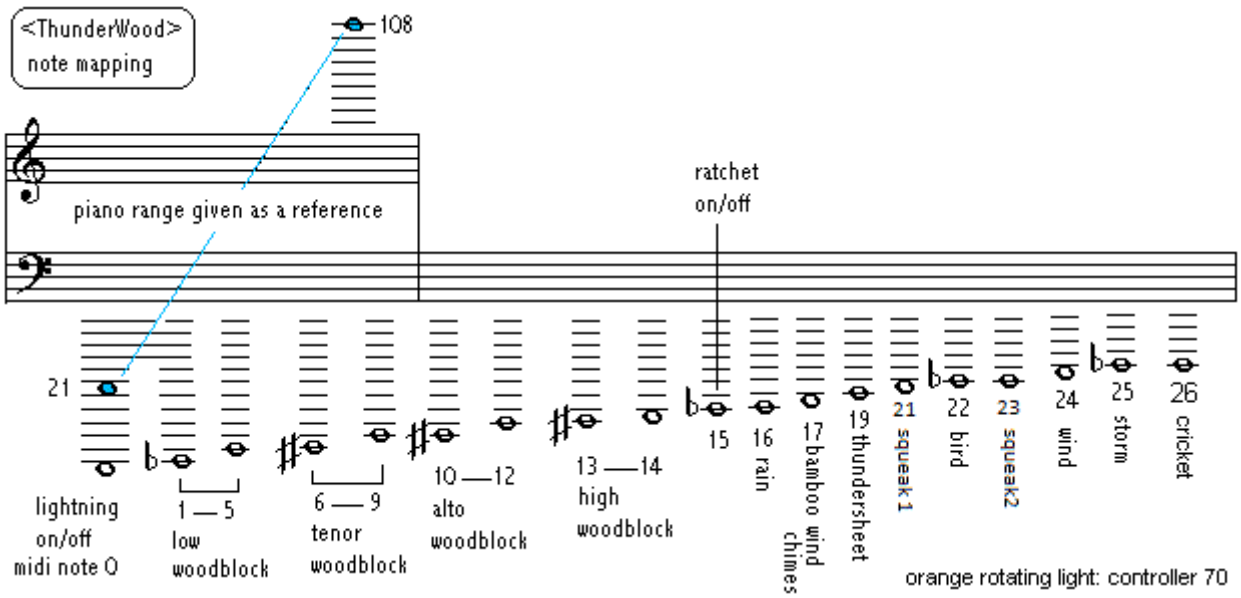


Het ingebouwde vogeltje voegden we toe in augustus 2002. Het mechanisme bestaat uit een kleine pomp met zuiger aangedreven door een cilindrische elektromagneet en voorzien van een anticonisch gebouwd orgelpijpje. Aanvankelijk wilden we dat vogeltje realiseren door het geluid geproduceerd door een stalen bout (M6 schroefdraad bv.) rond te draaien in een nauw geboord gat in een stukje hardhout. Dat klinkt prima wanneer aangedreven door een menselijke hand, maar zodra we dit poogden te automatiseren werd het toch problematisch. Zelfs wanneer we hars aanbrachten op de schroefdraad, bleek het niet langer dan enkele keren na elkaar te werken... Het nu gebruikte pompmechanisme laat toe velocity sturing toe te passen. Lange tonen zijn evenwel onmogelijk. De elektromagneet is een Lucas Ledex type, hetzelfde dat we ook gebruikten voor de bouw van onze player piano. Deze spoel wordt hier gevoed uit de 48V voedingsspanning. Het hier ontwikkelde mechanisme diende als een prototype voor de later gebouwde <Puff> robot. Het opgezette vogeltje op het stukje kunstgras onderaan in de robot, is een bijdrage van Moniek Darge en heeft hier geen enkele muzikale functie.

Het oranje flitslicht werd eveneens toegevoegd in 2006 en draagt bij tot het dramatisch effect van het donderblik. Ook dit lichteffect kan volledig via MIDI worden bestuurd.

Opgemerkt moet worden dat dit instrument vrij hoog is en dat de ruimte waarin het wordt opgesteld dus zeker een vrije hoogte moet hebben van minstens 3.2 meter. Voor transport kan het bovenste deel worden losgemaakt waardoor de hoogte beperkt blijft tot 1.65 meter. <Thunderwood> werd gemonteerd op vier wielen met remmen en moet altijd vlak opgesteld en verticaal getransporteerd worden. Voor gebruik in openlucht is het niet geschikt vanwege de open schakelingen.

Midi mapping voor <Thunderwood>:



Alle commando's moeten worden verstuurd op het <Thunderwood> midi kanaal: 5.

Specifieke composities voor <ThunderWood>:

- <Woody>, Godfried-Willem Raes.
- <WoodStoch>, Kristof Lauwers
- <MachineWall 1,2,3,4,5...> , Moniek Darge
- <Gestrobo> ,Godfried-Willem Raes
- <RobotGarden>, Moniek Darge en Kristof Lauwers
- <Wandering Quadrada Space>, Godfried-Willem Raes (met radar invisible instrument)
- <PicRa studies>, Godfried-Willem Raes (met midi radar sensors)
- <Features> Namuda study, Godfried-Willem Raes (met doppler sonar invisible instrument, V2010)

Medewerkers voor de bouw van deze robot:

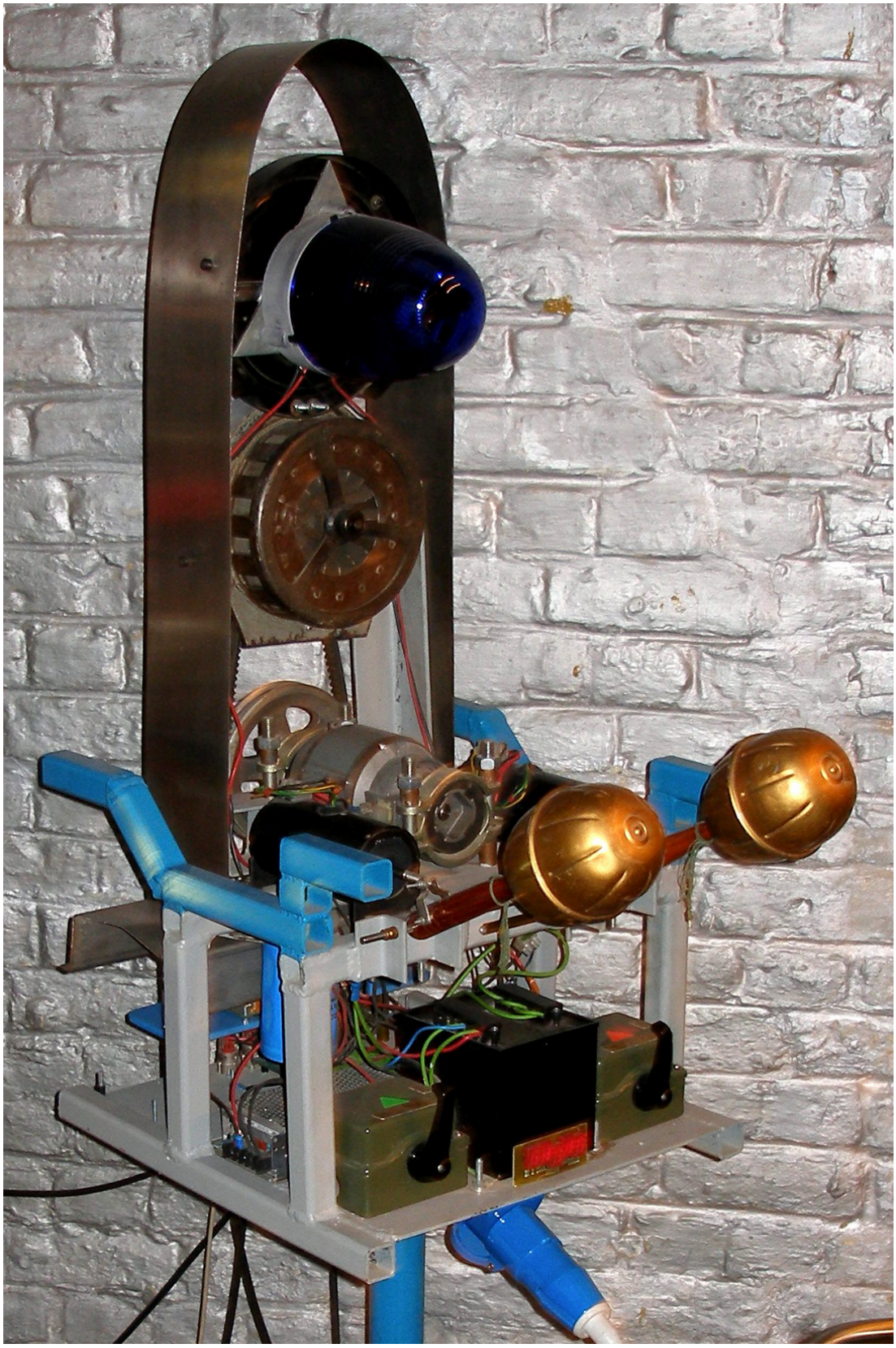
•Moniek Darge, Bert Vandekerckhove, Kurd Vandevelde, Kristof Lauwers, Johannes Taelman, Mattias Parent, Lara Van Wynsberghe

Technische Fiche:

•maten: breedte: 1050 mm, hoogte: 3200 mm, diepte: 640 mm
•gewicht: 120 kg
•elektrische aansluiting: 650 Watt / 230V AC
•Bouwjaar: 1999

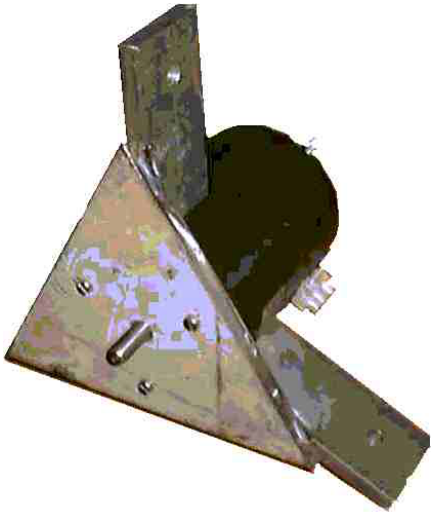
•Verzekeringswaarde: 9.500 €

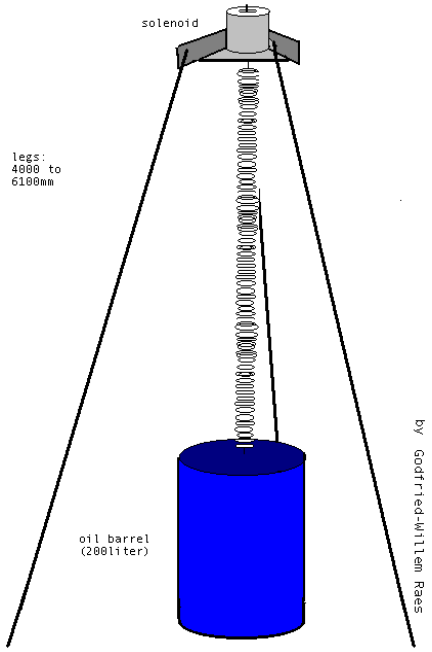
<Springers>



Net zoals <Klung>, <Troms> en <Thunderwood> werd ook deze muzikale automaat speciaal gebouwd voor deelname aan het groots opgezette 'Web Strikes Back' project in 2000. Het centrale

deel, waarin de hele microprocessorbesturing besloten ligt is een robuuste vrijstaande module waarvan een grote sirene, een blauw zwaailicht en twee grote maracas deel uitmaken. Het ontwerp vertoont een zekere gelijkenis met een altaarstuk, onder meer vanwege de strikte symmetrie en roestvaste stalen gebogen overkapping. Bovenaan monteerden we een grote paneelvoltmeter waarmee de elektrische toestand van de machine kan worden afgelezen. Vanuit deze module vertrekken vier tot zes lange kabels die naar de eigenlijke op een afstand opgestelde 'springer' modules leiden. Dit zijn grote en lange veren opgehangen in een stalen driepotige draagstructuur. Aan de bovenkant zijn de veren opgehangen aan de ankers van heel zware elektromagneten terwijl ze aan de onderkant vast bevestigd zijn aan resonatoren. De geluiden die door de veren kunnen worden voortgebracht zijn bijzonder resonant en galmend. Ze hebben geen equivalent in enig bestaand akoestisch muziekinstrument.





Deze automaat was ontworpen voor de inkomhal van de Technische Universiteit in Eindhoven waar de hoogte van de ruimte ons toeliet de driepikkels een respectabele hoogte van 6 meter te geven. In andere ruimtes is het soms mogelijk om de Springers aan de zoldering of een bestaande draagstructuur op te hangen en kunnen de driepikkels weggelaten worden. In de eerste versie gebruikten we voor de resonatoren grote lege olievaten (200 liter) waarop we een aanhechting voor de veren vastlasten. Na wat experimenteren bleek echter dat een resonator die we bouwden uitgaand van een grote bastrommel waarop we een membraan uit messing spanden heel veel beter klonk. In latere versies bouwden we dan ook resonatoren met messing membranen voor alle springers. Daarbij gebruikten we dan geen cilinders afkomstig van metalen bastrommels, maar grote lasflensen in roestvast staal.

De elektromagneten die we gebruikten voor de bekrachtiging van de grote veren betrokken we bij het Duitse bedrijf August Laukhuff, gespecialiseerd in professionele onderdelen voor de orgelbouw. Dat bedrijf, gevestigd in Weikersheim, ging helaas in 2022 ter ziele. Het typenummer was GL90A/15 en deze componenten worden gespecificeerd als 24V bij 1.41A. Onder die condities leveren ze een kracht van 55 Newton. Het bewegingstraject van het anker is 25 mm en kan niet gewijzigd worden. We namen de elektromagneten in ons labo voor wat experimenten, metingen en onderzoek, en konden zo volgende veilige gebruiksparameters bepalen:

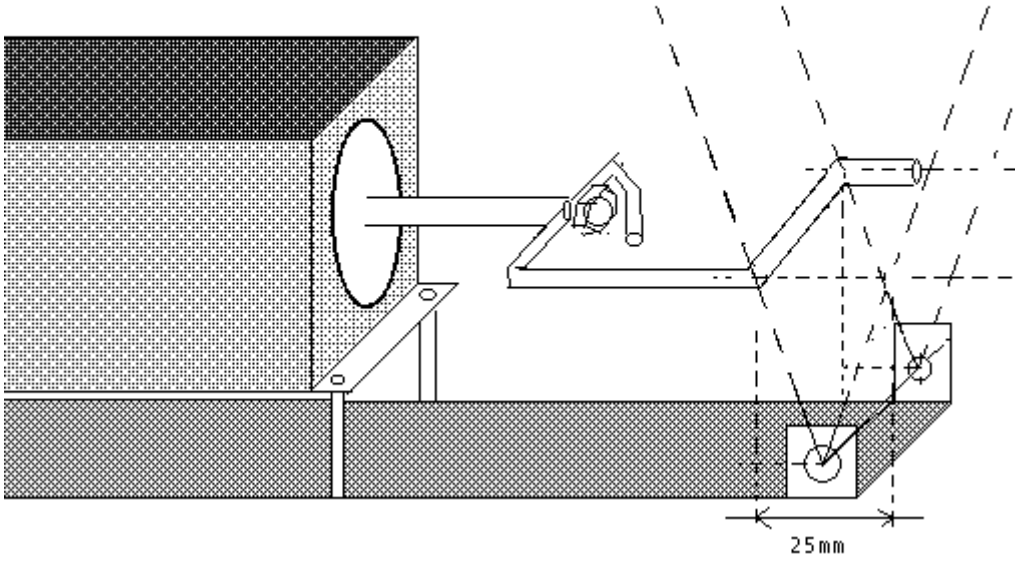
maximum duty cycle	100%	50%	25%	10%
Power (at 20 Celsius)	34W	76W	135W	300W
Voltage	24V	36V	48V	72V
Maximum ON-time	no limit	360"	36"	3"

In onze <Springers> robot worden deze elektromagneten alleen gebruikt aangestuurd door korte pulsen. De maximale herhalingsfrequentie ligt daarbij rond 65 Hz, wat alleen mogelijk is wanneer heel erg korte pulsen worden gebruikt.

Voor de maracas die we op de hoofd- en besturingseenheid monteerden, gebruikten we bidirectionele elektromagneten van eenzelfde type als eerder gebruikt in <Thunderwood> voor het donderblik en de bamboe windchimes. Hier is een schets van het mechanisme:

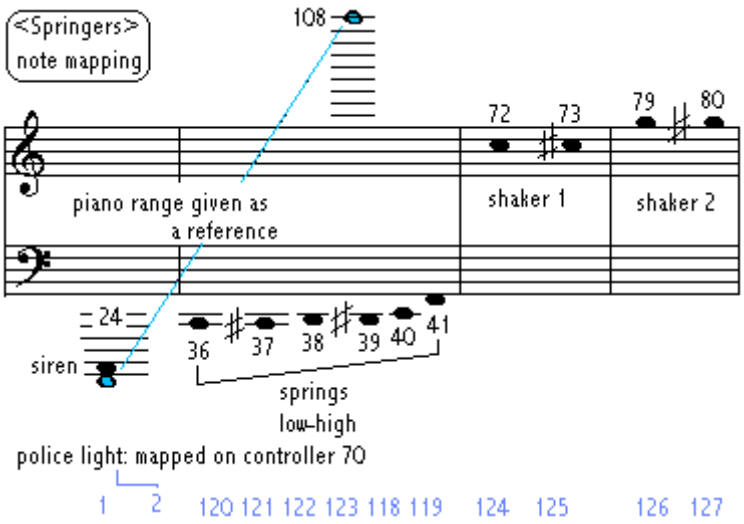
<Shakers>

principle drawing of mechanical parts



De sirene wordt via een riemaandrijving in beweging gebracht door een krachtige DC motor. Hier dienden we om veiligheidsredenen de werkspanning te begrenzen tot 70 Volt. Immers, bij een werkspanning van 210 V zou deze motor draaien met een toerental van 7000rpm, wat niet alleen een vervaarlijk grote rotatiesnelheid van de sirene zou opleveren, maar ook een geluidsdruk die ver voorbij de pijngrens zou uitschieten. De besturing van de sirene maakt gebruik van het pitch-bend commando in MIDI en op die wijze behalen we een 14-bit precisie voor de toonhoogte.

Midi implementatie:



•Midi kanaal: 7

Medewerkers aan bouw en ontwikkeling van <Springers>:

•Filip Switters, Kristof Lauwers, Moniek Darge, Kurd Vandevelde, Johannes Taelman

Technische fiche:

•Centale eenheid:
- •hoogte: 1650 mm, cirkelvormige basis: 500 mm diameter
- •gewicht: ca. 65 kg
- •Elektrische aansluiting: 440 Watts / 230 V AC

•Springers (4 tot 6 modules):
- •breedte: 1600 mm tot 6200 mm
- •hoogte: maximaal 6000 mm
- •diepte: 1600 mm tot 6200 mm
- •gewicht: 60 kg tot100 kg per module

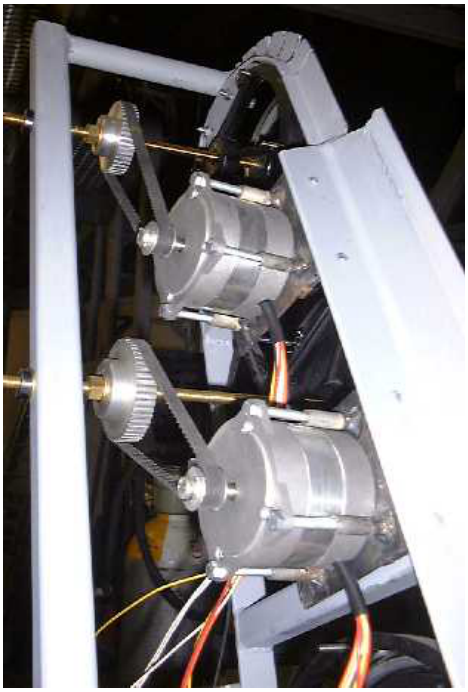
Bouwjaar: 2000

Verzekerwaarde: 11.750 €.

<Rotomoton>



Hoewel oorspronkelijk ontworpen en bedacht voor het 'Web Strikes Back' project, werd deze robot slechts nadien gebouwd. <Rotomoton> is opgebouwd uit vijf rototoms waarbij elke trom voorzien is van een aantal kloppertjes zoals we dat ook al deden voor onze <Troms> robot. Hierdoor worden heel snelle roffels en een groot dynamisch bereik mogelijk gemaakt. Het bijzondere aan deze robot is evenwel gelegen in de besturing en automatisering van het mechanisme waarmee de toonhoogte van de vijf trommen kan worden geregeld. Daar waar voor de gebruikelijke bespeling van rototoms de speler de trommels ronddraait rond hun centrale vaste as wanneer de toonhoogte verhoogd of verlaagd dient te worden, keerden we hier het mechanisme volledig om. De trommen zelf monteerden we vast in een stevig gelast frame en de centrale as – voorzien van een schroefdraad - voorzagen we van een riemschijf die we middels een krachtige stappenmotor kunnen laten bewegen.



Het regelbereik van de rototoms is hooguit ongeveer een kwint en het eerste groot probleem waarmee we te maken kregen bij de bouw was gelegen in het feit dat de kracht nodig om de toonhoogte te doen stijgen toeneemt met het kwadraat van de toonhoogte. Bovendien bleek ook dat het aanloopkoppel nodig om de trom – eens op maximale spanning - terug in toon te laten zakken

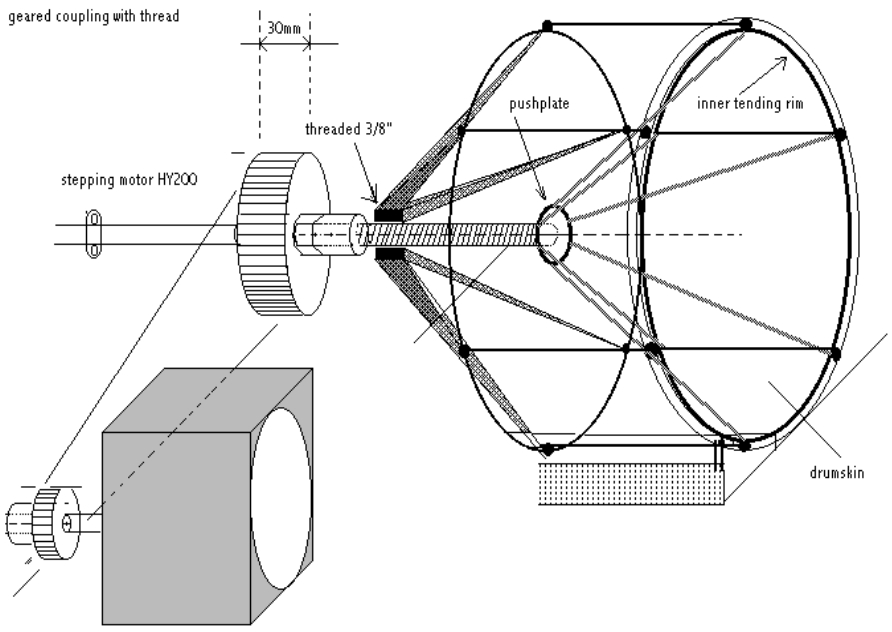
bijzonder groot te zijn. Hieruit vloeide de noodzaak om het regeltraject te beperken tot wat met de beschikbare motorkracht haalbaar was. Bovendien, teneinde de grenzen van dat traject te bewaken, bleek het nodig sensors te voorzien op de bewegende assen.

Alhoewel we voor de eerste werkende versie van deze robot gebruik maakten van Intel 16-bit timers en een parallelle bus besturing in combinatie met motor besturingen volgens een eigen ontwerp, bouwden we die enkele jaren later (in 2005) om opdat rechtstreekse besturing via MIDI mogelijk zou worden. Bij die ombouw pasten we industriële stappenmotorcontrollers toe en in totaal acht Microchip PIC controllers voor de besturing.

Voor de stappenmotoren gebruikten we het MAE type HY200 3424 170 A8, gespecificeerd voor Umax = 90V en een maximale stroom per fase van 1.7A.

De gebruikte getande wielschijven zijn weergegeven in deze tabel:

	Aantal tanden op de motoras	Aantal tanden op de trommelas	riem type	maximum stapfrequentie	Aantal stappen voor 1 omwenteling
smallest drum (Sop)	12	42	220XL	500Hz	700
second drum (Mez)	12	48	180XL	450Hz	800
third drum (Alt)	12	48	200XL	450Hz	800
fourth drum (Tenor)	12	60	220XL	350Hz	1000
fifth drum (Bass)	12	72	210XL	350Hz	



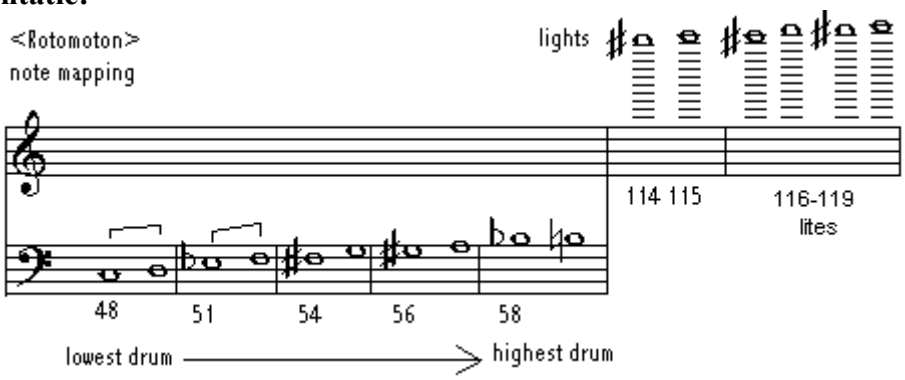
Het mechanisme kwam er ge-explodeerd geschetst uit zien als afgebeeld hierboven.

Op elke microprocessor worden twee analoge ingangen voorbehouden voor het lezen van de begin en eindposities van de sensors. Voor die sensors – na aanvankelijke mislukte pogingen om een en ander met normale *microswitches* aan de praat te krijgen - gebruikten we Pepperl+Fuchs inductieve exemplaren, waarmee een resolutie 0.01 mm en een hysteresis van 30 µm haalbaar was.



Omwille van de afregeling en de betrouwbaarheid ontstond nu ook de noodzaak tot calibratie van het regelbereik bij het opstarten van de robot. Dat regelbereik bleek immers ook in hoge mate afhankelijk te zijn van de temperatuur.

Midi implementatie:



<Rotomoton> luistert via MIDI naar kanaal 8.

Componisten die stukken schreven voor deze <Rotomoton> robot waren tot hiertoe: Michael Manion, Moniek Darge, Kristof Lauwers, Rene Mogenson ('The swarm breaks through the net'), Claude Coppens en de bouwer zelf met zijn 'Rotstuk'.

Medewerkers aan bouw en ontwikkeling:

Filip Switters, Xavier Verhelst, Moniek Darge, Kristof Lauwers, Johannes Taelman.

Technische fiche:

- maten: breedte: 1500mm, hoogte: 2100mm, diepte: 600mm
- gewicht: 220kg
- elektrische aansluiting: 1130 W / 230V AC
- bouwjaar: 2001
  Verzekerwaarde: 19.000 €.

<Vacca>



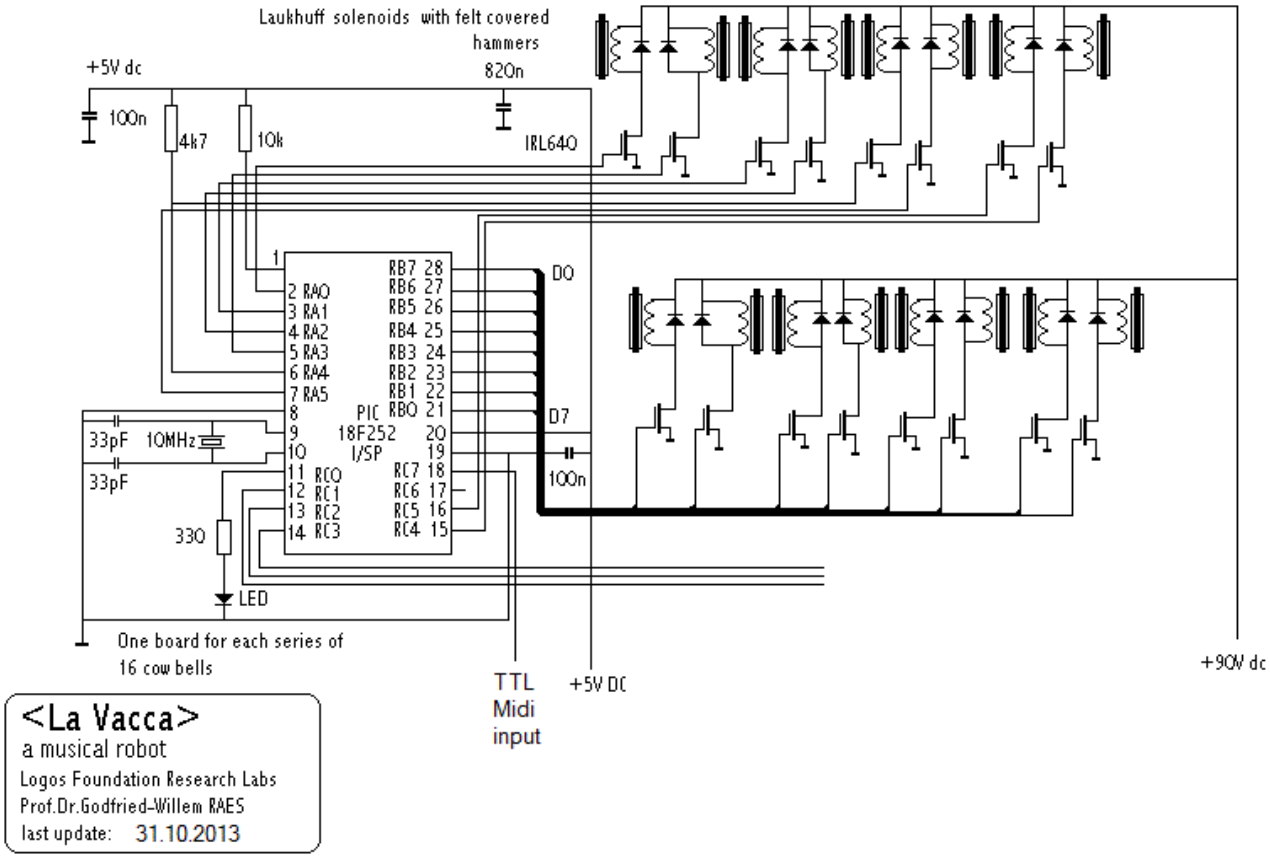
De <Vacca> automaat is opgebouwd uit 48 koebellen. Dit type bel wordt vervaardigd uit staalplaat (meestal op de oppervlakte voorzien van een laag messing of braseerkoper) en wordt gekenmerkt door zijn korte galm. De bellen worden aangeslagen met houten kogels en/of piano hamers aangedreven door snel aansprekende elektromagneten. De oorspronkelijke gesmede weekijzeren klepels werden overal uit de bellen verwijderd. Omdat de gebruikte piano hamers (opgebouwd uit vilt) toch wat te zacht bleken, hebben we ze wat harder gemaakt door ze te drenken in een dunne vernis. Aangezien we een vrij grote verzameling koebellen in voorraad bleken te hebben, ontstond de mogelijkheid dit instrument microtonaal te maken, tenminste toch voor een gedeelte van de beschikbare tessituur. De laagste noten worden onder meer meegespeeld door heuse antieke olifanten bellen uit India, opgehangen onderin het instrument. De eigenlijke koebellen, en enkele erg grote exemplaren werden in de automaat opgenomen, behoren tot vier naar vorm en klankkleur onderscheiden categorieën: het klassieke Zwitserse model, verkoperd en met gekromd trapezoidaal lichaam, het Oostenrijks model (Froschmaul) , sterk sferisch gevormd en met een ovale opening veel kleiner dan de grootste diameter van de bel, het Tiroler type, en het Amerikaans slagwerk model zoals onder meer gemaakt door Latin Percussion (LP), met een veel eenvoudiger vorm en een wat doffe en vulgaire toon. Van dit type bestaat ook een authentieke variant, die conisch of anticonisch is gebouwd, wat ronder klinkt maar minder penetrant. Een wat aparte vijfde categorie wordt gevormd door de olifant- en geitebellen veelal afkomstig uit India en Pakistan. Deze zijn min of meer cilindrisch en net zoals de Europese types meestal verkoperd, wat gezien het gebruik om de nek van het vee logisch is omdat ze anders veel te snel zouden roesten. Ze bestaan uit vrij dunne

staalplaat en hebben een veel geringer dynamisch bereik dan de Europese modellen. Het staal waaruit ze zijn gemaakt is ook niet gehard, wel meestal gebraseerd of verkoperd. Ze zijn bovendien heel wat goedkoper. We hadden nog een grote verzameling kameel-, geite- en koebellen uit hard hout (eerder klappers of rammelaars, voorzien van 1 tot zes klepels) van zowel Afrikaanse als Indonesische oorsprong, maar die weerhouden we eventueel voor een latere automaat... De luidst klinkende koebellen zijn ongetwijfeld de 'klassieke' Zwitserse. De meest ronde klank wordt voorgebracht door de froschmaultypes wat mede wordt veroorzaakt door het feit dat het volume van de ingesloten lucht zich als een Helmholtz-resonator gedraagt afgestemd (bij goede klokken altans) op de zoemtoon. De bellen van het Tiroler type klinken uitgesproken kort en metalliek. Ze zijn ook vaak niet verkoperd, maar van een laagje vernis voorzien, wat erop kan wijzen dat ze eigenlijk in eerste plaats voor toeristen gemaakt worden. Een typologie van de koebel, weergegeven in de vorm van een kleine reeks typische foto's, geven we in onderstaande geïllustreerde tabel:

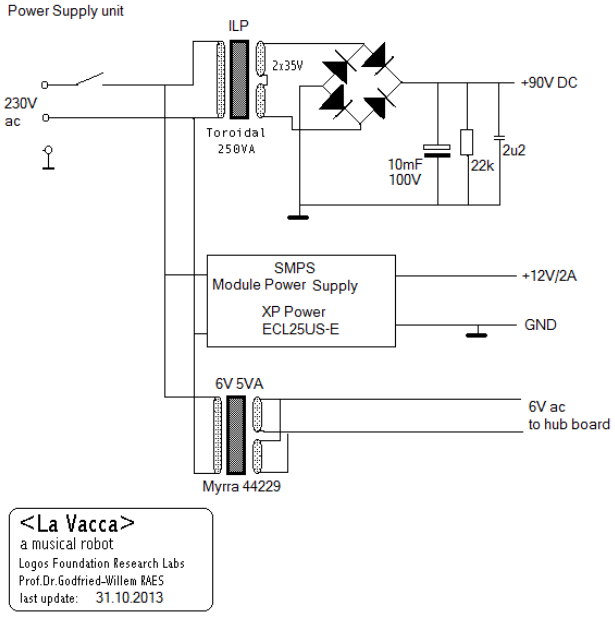
Zwitsers type	'Froschmaul' type	Geitebel / Herdeschelle	Lineair type	Tiroler type
				

Het laswerk voor <La Vacca> was geen eenvoudige klus vanwege de enorme diversiteit aan afmetingen, vormverhoudingen en materiaalsamenstelling van de zeer heterogene verzameling koebellen. Geen gewoon TIG seriewerk dus, maar bel per bel afmeten, passen, positioneren, corrigeren , lassen...

De elektronische aansturing van deze verzameling leverde daarentegen geen bijzondere problemen op, daar we konden terugvallen op hardware reeds eerder ontwikkeld voor robots zoals <Llor>, <Troms> en <Puff>. Ook hier wordt de aanslaggevoeligheid dus bereikt door een precieze regeling van de pulsduur van de magneetbekrachtiging waarvoor een spanning wordt gebruikt die 3.75 maal de nominale werkingsspanning (24V) beloopt voor de gebruikte elektromagneten.



De schakeling voor de voeding kon uiterst eenvoudig worden gehouden, aangezien stabilisatie van de 90V spanning niet nodig bleek vanwege de heel korte duur van de bekrachtigingspulsen:



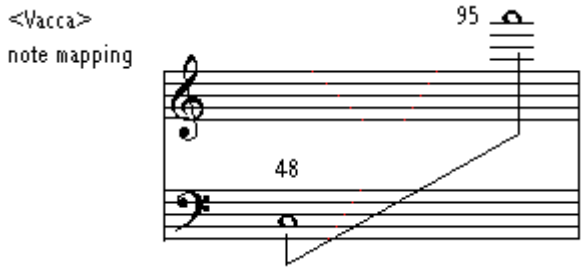
De stabilisatie van de 5V spanning is geïntegreerd in het midi-hub board vanwaaruit alle andere boards zowel hun voeding als hun data input signaal betrekken. Voor de lampjes werd een afzonderlijke 12V voedingsmodule ingebouwd. Aangezien een koe toch moet kunnen grazen, voorzagen we <Vacca> van twee afzonderlijk bestuurbare groene spotjes waarmee wat gras op de bodem kan worden gegenereerd.



Midi Mapping:

•midi note on + velo, luistert naar kanaal 4. Geen note off nodig (behalve voor de lampjes).
•Als de midifile vanuit onze <GMT> software afgespeeld wordt, kan Vacca in twee modi opereren, waartussen gekozen kan worden via controller 72:
•Als de waarde van controller 72 op 0 gezet wordt, worden midinoten 48 to 95 elk naar een bel vertaald, waarbij de toonhoogte wel niet overeenkomt met de noot! In de handleiding

voor gebruikers vindt je terug welke toonhoogte je dan wel krijgt.



•Als controller 72 een waarde hoger dan 0 heeft, wordt een 'intelligente' mapping toegepast, waarbij de software een bel zoekt die wel de juiste toonhoogte heeft. De waarde van de controller bepaalt hoeveel cent afwijking hierbij toegestaan is. Als er geen passende bel gevonden wordt, wordt er dan wel ook niets gespeeld!

•Controller 66 (met een waarde > 0) moet worden gestuurd opdat de stroom voor de bellen zou ingeschakeld worden. Wanneer waarde 0 wordt verstuurd, wordt de stroom uitgeschakeld. Die moet in elk geval gebeuren alvorens de stroom met de schakelaar op Vacca wordt uitgeschakeld. Ter controle monteerden we op het hub-board naast het schakelrelais een oranje LED. Wanneer die brandt is de stroom ingeschakeld, zo niet is hij uitgeschakeld en moet controller 66 worden verstuurd alvorens de koebellen tot klinken kunnen worden gebracht.
•Controller 123, met waarde 0 schakelt alle elektromagneten evenals alle lampjes uit. De stroom blijft daarbij evenwel ingeschakeld.

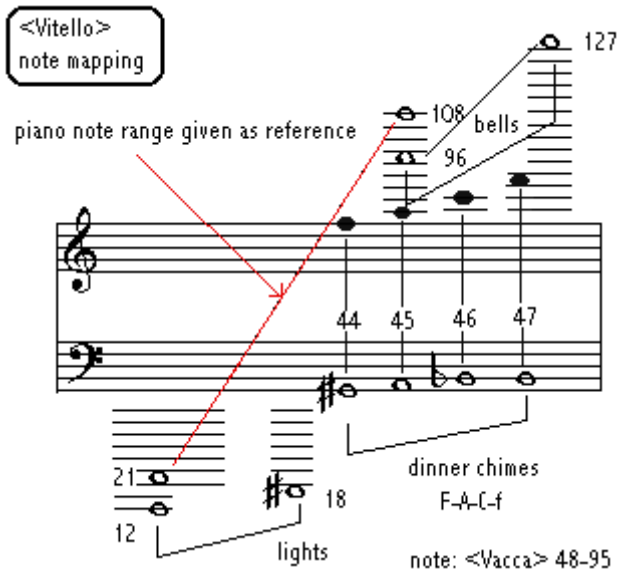
Het velo-byte stuurt de flitsfrequentie voor de noten 24 to 28. Met waarde 127 worden deze lampjes permanent ingeschakeld, zonder knipperen. Uitschakelen kan via een note-off commando. Voor de groene spots gemapt op de noten 29 en 30, stuurt het velo byte het toegevoerd vermogen aan de spotjes. Deze spots kunnen dus ook worden gedimd.

<Vitello>



Nadat <Vacca> was afgewerkt hadden we nog een erg ruime verzameling koebellen op overschot. Daarom besloten we de koe ook een kalfje te gunnen, waardoor <Vitello>, Italiaans voor kalf, ontstond. <Vitello> omvat 36 koebellen van vier verschillende types, waaronder ook een type dat niet in <Vacca> is terug te vinden: de ronde tamelijk zware gegoten messing of brons klokken zoals we die aantreffen in het Zwitserse kanton Basel.
Het laswerk voor <Vitello>, helemaal in inox, was ook hier geen eenvoudige klus vanwege de enorme diversiteit aan afmetingen, vormverhoudingen en materiaalsamenstelling van de zeer heterogene verzameling koebellen. Geen gewoon TIG seriewerk dus, maar alweer bel per bel afmeten, passen, positioneren, corrigeren , lassen...
De elektronische aansturing van deze verzameling leverde daarentegen geen bijzondere problemen op. Voor de schakelingen verwijzen we naar de <Vacca> pagina, want ze zijn principieel identiek. Ook het voedingsgedeelte (een 90V voeding) is identiek op een punt na: voor de veiligheid bij elektrische storingen is bij <Vitello> voorzien in een zwaar relais om de hoge 90V spanning in te schakelen. Dit relais kan alleen bekrachtigd worden na ontvangst van midi controller 66 door de PIC. Een verdere afwijking tegenover het ontwerp van <Vacca> bestaat hierin dat we <Vitello> voorzagen van zeven lampjes (rode en gele LED spots) die eveneens via midi kunnen worden geschakeld.

Midi Implementatie en mapping:



•midi note on + velo, luistert naar kanaal 4. Geen note off nodig.
•<Vitello> kan worden aan en uitgeschakeld via controller 66: ON (>0) or OFF (=0).
•Program Change is geïmplementeerd en laat de gebruiker toe te kiezen uit diverse schalen voor de aanslagsterkte. De gebruikte opzoektabellen kunnen voor elke noot afzonderlijk geprogrammeerd worden via sysex commando's..
•Als de midifile vanuit onze <GMT> software afgespeeld wordt, kan Vitello evenals Vacca in twee modi opereren, waartussen gekozen kan worden via controller 72:
•Als de waarde van controller 72 op 0 gezet wordt, worden midinoten 48 to 95 elk naar een bel vertaald op Vacca, terwijl 44-47 en 96-127 aan Vitello zijn toegewezen, waarbij de toonhoogte niet overeenkomt met de noot!
•De lampjes kunnen worden geschakeld via midi aan/uit commando's voor de noten 12 tot 18.
•Als controller 72 een waarde hoger dan 0 heeft, wordt een 'intelligente' mapping toegepast, waarbij de software een bel zoekt die wel de juiste toonhoogte heeft. De waarde van de controller bepaalt hoeveel cent afwijking hierbij toegestaan is. Als er geen passende bel gevonden wordt, wordt er dan ook niets gespeeld!

Indien gecombineerd in een enkele track in een MIDI-bestand kunnen beide instrumenten, <Vacca> en <Vitello>, samen als een enkel instrument worden behandeld.

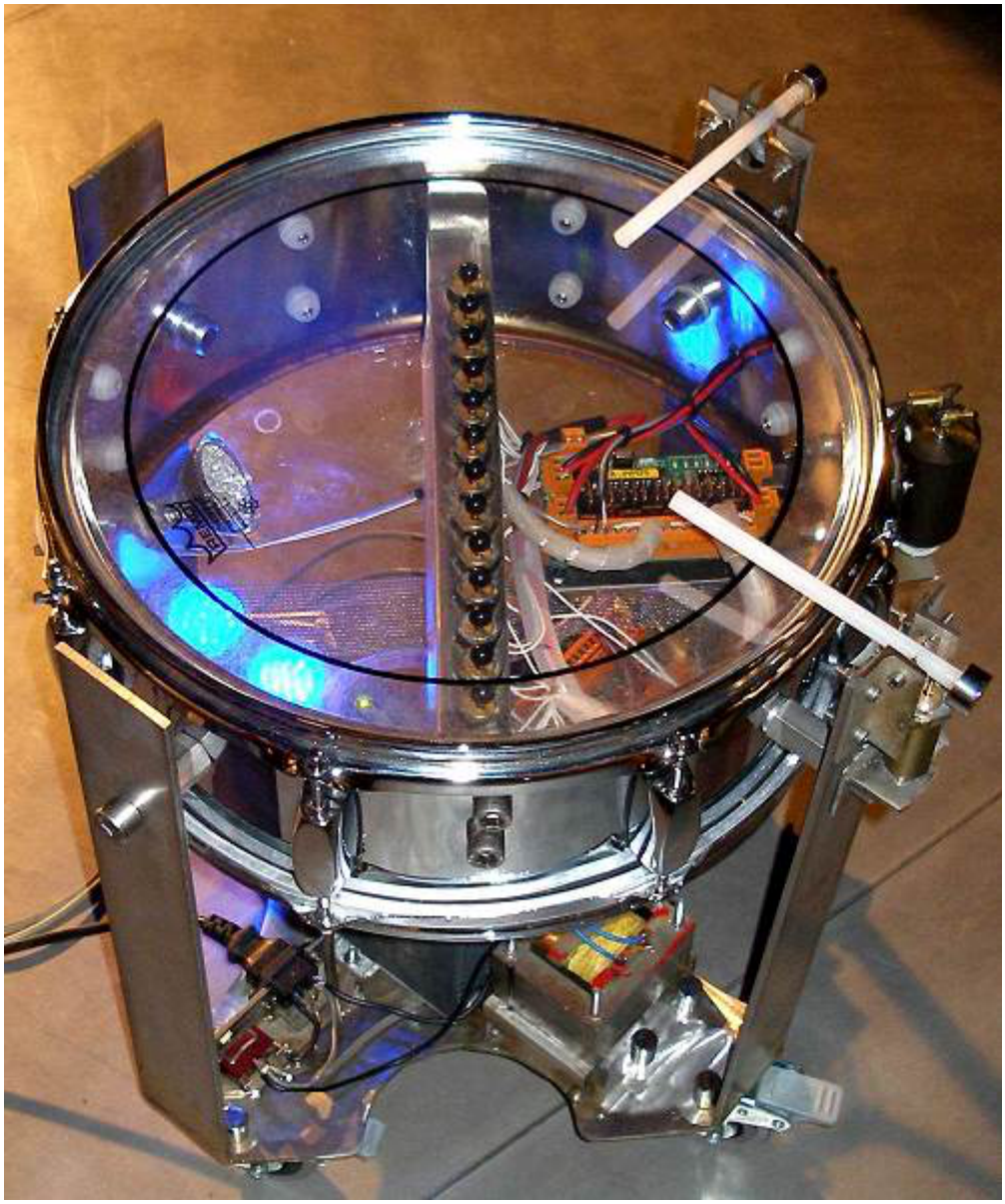
Muziek geschreven voor <Vitello>:

•Kristof Lauwers, "Study #10 ", Godfried-Willem Raes, 'Koetjes en Kalfjes' (2006), voor <Vacca> en <Vitello> ; 'Picrada Study for Vitello' , voor een naakte uitvoerder en radar interface; Godfried-Willem Raes, 'GestroVitello', voor een naakte uitvoerder en onzichtbaar instrument (creatie 19.07.2006); Godfried-Willem Raes, 'Qua Vitello', Quadrada study #12, voor een naakte uitvoerder en het quadrada interface.

Technische fiche:

•elektrisch: 230V - 240Watt (piek)
•afmetingen: 1500 x 400 x1200 mm
•gewicht: 93kg
•bouwjaar:
•verzekeringswaarde: 12.000 €.

<Snar>



In het Logos robot orkest hadden we behoefte aan een pittige snaartrom, ter vervollediging van de trommelmachine <Troms>. Daarom ontwikkelden we deze automatische *snare*. Deze centrale component van het slagwerk geldt voor velen als de echte kern, de ziel van het slaginstrumentarium. De ontelbare nuances zowel op gebied van dynamiek, als van kleur die op de snaartrom zijn te realiseren zijn niet te vergelijken met wat op andere trommen en slaginstrumenten haalbaar is. In de klassieke muziek is die rol weliswaar wat marginaler - de grote uitzondering, met name Maurice Ravel's 'Bolero'- daar gelaten, maar zowel in de geavanceerde jazz als in de vrije improvisatiemuziek is hij niet weg te denken. We hebben dan ook het onderste uit de kan gehaald om bij bouw en ontwerp van deze automaat recht te doen aan de muzikale en expressieve mogelijkheden. Daarom voorzagen we we trom van niet minder dan dertien verschillende kloppertjes. Deze dertien 'sticks' werden binnenin de trom aangebracht en slaan, elk op een verschillende plaats, van onderuit tegen het slagvel. Aangezien de sticks op een recht profiel evenwijdig met de diameter van de trom werden geplaatst, kan al naargelang de geactiveerde klopper, een verschillende plaats op het membraan worden bespeeld.. Uiteraard is dit van grote invloed op de verkregen 'sound'. Roffels met een groot dynamisch bereik en kleureffecten zijn op

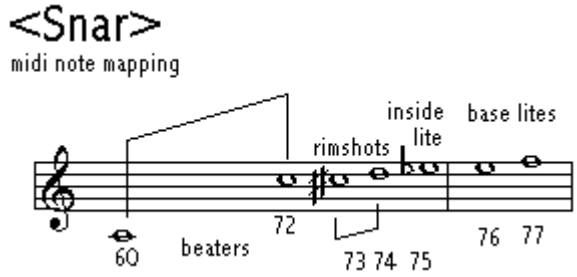
deze wijze goed te spelen. Nadeel van een dergelijke constructie is natuurlijk dat de kloppers zo voor het publiek niet zichtbaar zijn, tenzij een – op snaartrommen niet vaak voorkomend - transparant mylar vel wordt gebruikt, een mogelijkheid die we hier niet onbenut konden laten. Het grote voordeel is evenwel de erg snelle reactietijd en de snelle repetitie die op deze wijze kan worden bereikt. Om ook randslagen (rimshots) te kunnen laten klinken voorzagen we in twee wel zichtbare houten sticks, uiteraard eveneens voorzien van elektromagneten, goed zichtbaar gemonteerd op de buitenkant van de trom. Door de onrechtstreekse aandrijving kan dit mechanisme qua snelheid echter niet wedijveren met de intern geplaatste kloppertjes. Echte drummers kunnen echter ook geen snelle rimshot-roffels ten gehore brengen...

De snaren tegen het onderste membraan kunnen via een elektromagneet naar verkiezen worden aangedrukt of losgelaten. Dit kan op graduele wijze gebeuren en daartoe implementeerden we midi controller 11.

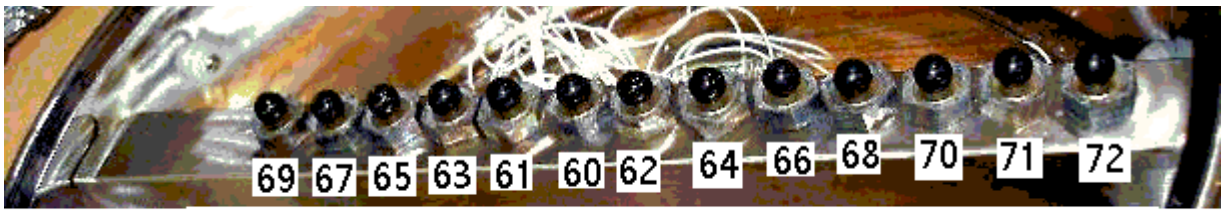
Hoewel snaartrommen met een diepe houten klankkast bij heel wat de drummers tot de favorieten behoren, hebben we toch geopteerd voor een instrument met een geheel metalen ketel. Dit bleek heel wat meer garanties in te houden voor de noodzakelijke vormvastheid die immers toch wel in het gedrang was wanneer zovele relatief zware mechanismen in de trom moeten worden gemonteerd. Het spreekt verder vanzelf dat die vele mechanismen en de schakelingen die in de trom werden gemonteerd een zekere demping van het voortgebrachte geluid met zich brengen. Dat bleek evenwel niet te vermijden.

Voor de besturing werd gebruik gemaakt van twee PIC controllers: een eerste voor de interne kloppers, de beide rimshot magneten en het lampje in de trom, een tweede voor de besturing van het snaarmechanisme en voor de twee lampjes in de voet van de automaat.

Midi mapping en besturing:



- Midi kanaal: 6
- Note Off commando's zijn niet nodig. Aanslagsterkte is geïmplementeerd voor alle kloppertjes.
- Controller #11: snare aandrukkracht. 0= snares off, 127= snares on met maximum kracht.
- Program Change 0, 122-127 is geïmplementeerd voor het selecteren van diverse opzoektabellen voor de aanslagsterktes. De default waarde is hier 122.



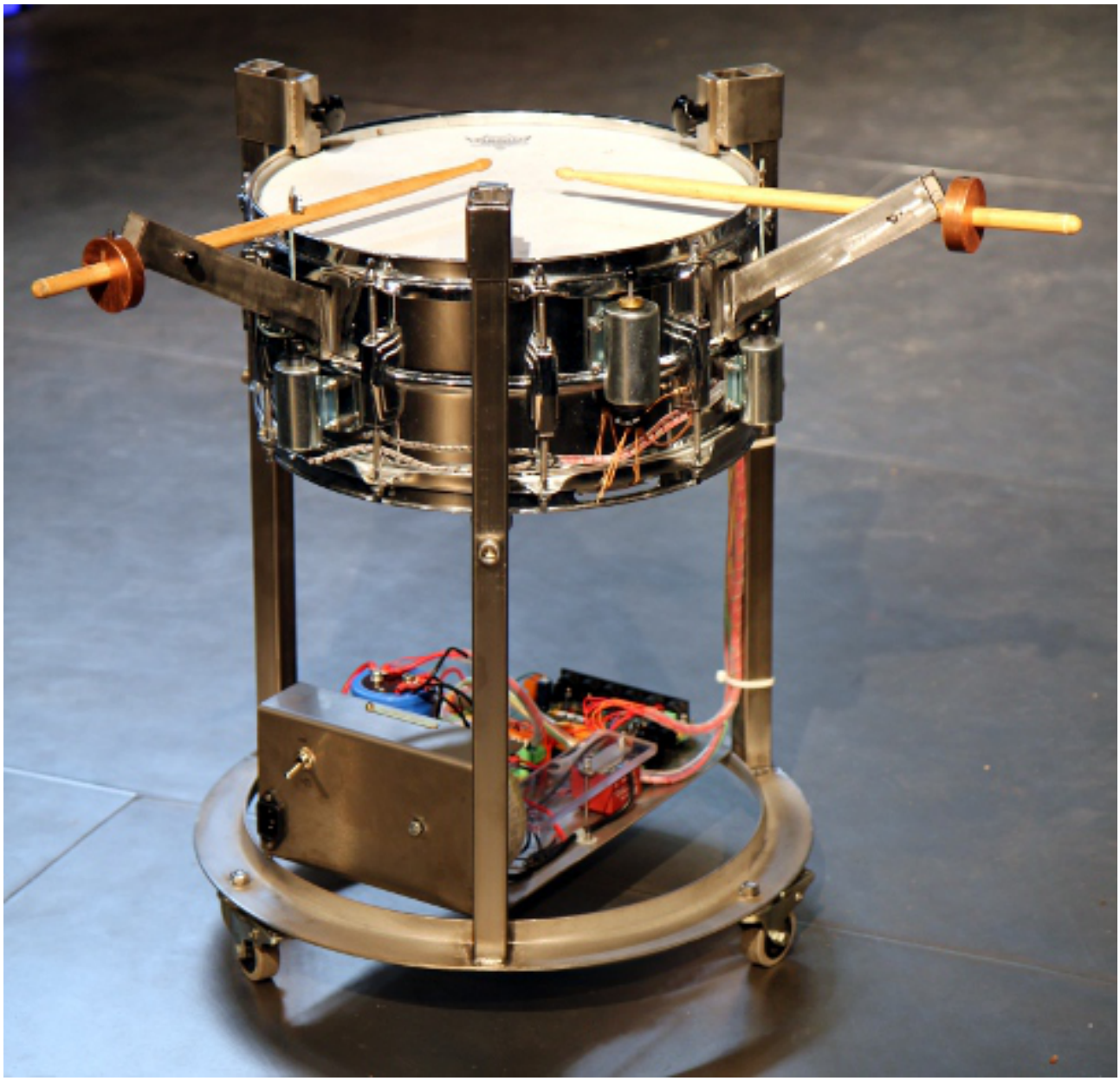
Midi note mapping of skin beaters in <Snar>

<u>Technische fiche:</u>

- afmetingen: hoogte 400 mm, diameter: 430 mm
- gewicht: ca.. 15kg

•elektrische aansluiting: 230V ac / 220W (max.)
•Bouwjaar:
•verzekeringswaarde: 4.500 €

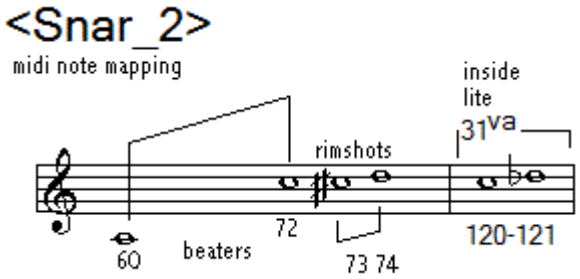
<Snar 2>



Deze robot werd gebouwd in opdracht van Aphex Twin (alias Richard James) en maakt dus geen deel uit van het robot orkest van Stichting Logos. Het is een tweede versie van de constructie zoals we die bouwden voor <Snar>, maar wel met een aantal substantiële verbeteringen. De snaartrommel werd ons aangeleverd door de opdrachtgever zelf en omdat we aan de klank van die trommel niets wezenlijks wilden veranderen, behielden we de oorspronkelijke vellen en de snares. Ook hier monteerden we de 'normale' kloppers onder het bovenvel binnenin de trommel. De werkspanning namen we een heel stuk hoger, zodat de aanslagen hier heel wat harder en luider kunnen zijn. Het ontwerp voor de rimshot sticks onderging een grondige herziening waardoor die randslagen nu ook erg hard uitgevoerd kunnen worden. De roodkoperen tegengewichten zorgen voor een snel en responsief terugveren van de drumsticks. Voor de besturing gebruikten we hier vrij

zware en sterke trekmagneten. Ook het mechanisme voor het aandrukken van snaren tegen het resonantievel onderaan onderging een substantiële verbetering. Ook hier implementeerden we de mogelijkheid om de snaren geleidelijk en met een regelbare aandrukkracht tegen het vel aan te drukken. Hier voerden we het mechanisme uit met twee onafhankelijke elektromagneten waardoor de expressieve mogelijkheden heel sterk worden uitgebreid. Wanneer de snaren langere tijd aangedrukt moeten blijven, mogen de desbetreffende MIDI-controllers niet hoger worden ingesteld dan met waarde 90. Indien gebruikers dat toch zouden doen treedt een beveiliging in werking die de ingestelde waarde tot 90 terugbrengt na enige tijd. Een bijzonder effect kan verkregen worden door de beide elektromagneten alternerend te activeren, waardoor het klinkt alsof de trom met brushes bespeeld wordt.

Midi Mapping:



•Midi kanaal: 9
•Midi controller 9: snaardruk voor de eerste elektromagneet
•Midi controller 10: snaardruk voor de tweede elektromagneet
•Midi controller 11: stuurt beide elektromagneten tesamen.



Technische fiche:

•maten: 640 mm hoogte, diameter: 485 mm (de rimshot sticks, steken 200 mm uit)
•gewicht: 22 kg
•power: 230 V ac / 300 W (max.)
•Bouwjaar: 2014
•Kostprijs: 6.800 €

<Per>

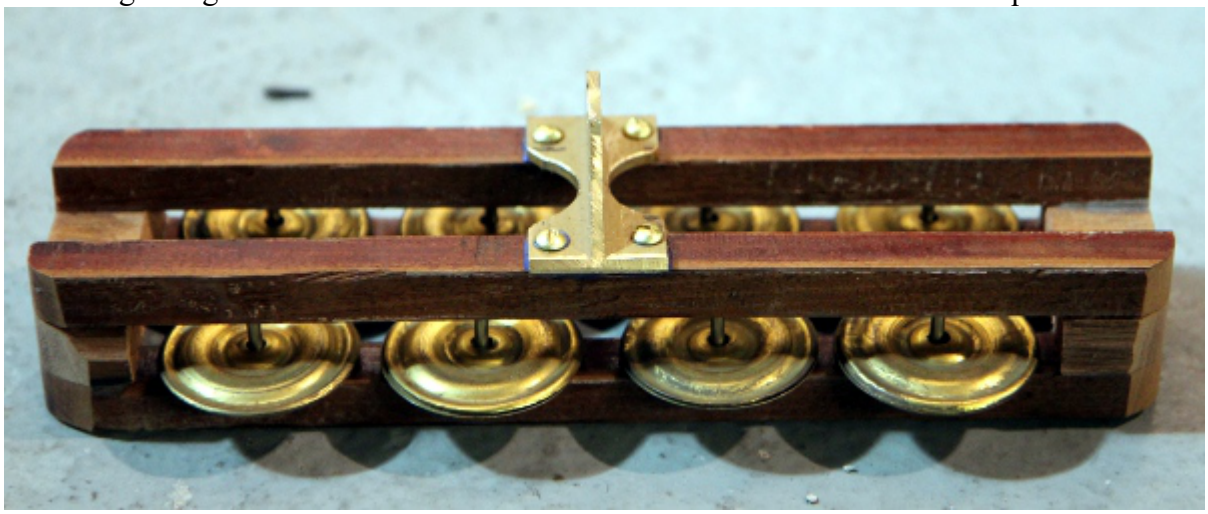


In januari 2018 kregen we een vraag vanuit het Speelklok museum in Utrecht om een aantal van onze robots ter beschikking te stellen voor een lang lopende tentoonstelling rond muzikale robots. De robots die ze wilden ontlenen waren <Aeio>, <Bello>, <Bug>, <Pos>, <Troms> , <Klar> en... <Simba>. Dat we die vraag kregen was natuurlijk een hele eer en het kaderde ook schitterend in de

activiteiten die we gepland hadden rond de viering van het 50-jarig bestaan van Logos in datzelfde jaar. Maar anderzijds bracht die bruikleen – die we zeker positief wilden kunnen beantwoorden - ook enkele specifieke problemen met zich, vooral omdat de <Simba> robot in een erg groot aantal stukken en orkestraties voor het robotorkest gebruikt wordt. Daarom namen we het besluit de meest gebruikte componenten in <Simba>, vooral dan de hi-hat en de tamboerijn te isoleren, en een nieuwe robot te bouwen die deze componenten en nog wat extra klanken kon vervangen in het orkest. Zo ontstond dan ook <Per> die meteen ook een alternatief kon bieden voor de <Troms> robot en op zichzelf als kleine drumkit kon worden gebruikt. Maar omdat we zo stilaan aan ruimtegebrek toegekomen waren in de Logos Tetraëder – in 2018 bestond het robotorkest reeds uit 72 robots - beslisten we de <Per> robot zo te bouwen dat hij kon worden opgehangen aan de stalen spanten van het dak. Al te zwaar mocht hij dus niet gaan worden, en dat niet zozeer vanwege de draagkracht van ons dak, maar wel vanwege de moeilijkheden die dat bij montage en demontage zou opleveren voor onze medewerkers. Zo groeide ook meteen het fantasistische idee er een 'vliegende' robot van te maken en er zelfs een speciale Namuda dansproductie rond op te zetten. Deze interactieve dansproductie kon dan haar première beleven in het kader van de vieringen rond 50 jaar Logos in onze eigen tetraëder.

Hier zijn enkele van de klankopwekkende ingrediënten:

Voor de tamboerijn gebruikten we 16 messing schellen gerecycleerd uit een oude orkest tamboerijn gebouwd in het begin van de 20e eeuw. Sterker nog, het zijn zelfs dezelfde schellen die we ook gebruikten in de <Simba> robot, we hadden er nog wel wat in voorraad... Het ontwerp verschilt evenwel grondig van wat we inbouwden in <Simba> hoewel het functioneel equivalent is.



Verder diepten we een kleine set miniatuur trommen op van Latin Percussion, ooit eens van een goede vriendin cadeau gekregen.  Dit zijn miniatuur versies van de traditionele instrumenten (tumba, conga, bongo, darbukah...) maar dan wel goed gebouwd en helemaal bespeelbaar. Omdat het kleine versies zijn, ligt het voor de hand dat de toonhoogte ook erg hoog uitvalt. Het ontwerpen van geschikte sticks om deze trommen aan te slaan was echter helemaal geen gemakkelijke opgave. De kloppers die we eerder gebruikten in slagwerkrobots bleken hier helemaal niet goed te klinken en de resultaten waren in elk geval mijlen verwijderd van wat menselijke handen en vingers uit dergelijke instrumenten tevoorschijn kunnen toveren. Dat deze instrumentjes bespannen zijn met betrekkelijk dikke natuurlijke vellen maakt bovendien dat voor het aanslaan ervan toch een behoorlijk grote kracht nodig is. Na vele dagen van experimenteren kwamen we erop uit dat de beste resultaten verkregen konden worden door gebruik te maken van vlakke veren. Deze konden we maken uitgaand van versleten zaagbladen voor staal. Omdat de platte veren de vellen vlak moeten kunnen aanslaan, kan deze wijze van aanslaan alleen worden toegepast bij trommen zonder opstaande rand aan het bovenvel. Voor robots zoals <Troms> zou deze techniek dan ook totaal ongeschikt zijn .

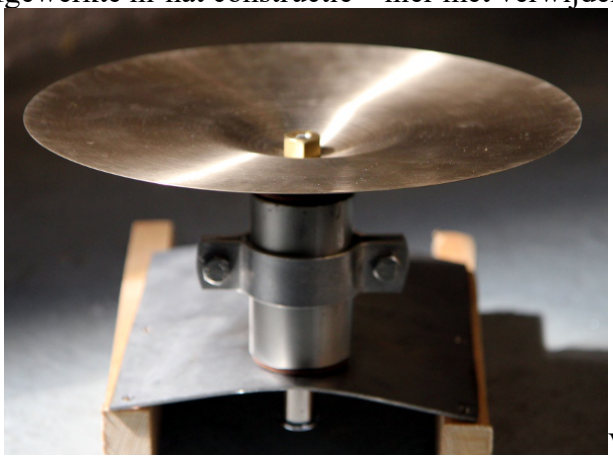
De grote bastrom onderaan is eigenlijk de bewaard gebleven tweede helft van de overlangs doorgesneden bastrom die we gebruikten in 2000 voor de <Troms> robot.



Aan de binnenkant van deze bastrom monteerden we een pedaalklopper voorzien van een zware elektromagneet met een vrij 'vliegend' anker. Daarnaast ook nog een koppel klopmagneten voorzien van pianohamers bekleed met vilt. Een enkele elektromagneet ter bekrachtiging van een rimshot en een grote vilten demper gestuurd met een lineaire duwmagneet vervolledigen de aan de binnenzijde gemonteerde speelmogelijkheden van de bastrom.

Een kleine cimbaal met klopper kreeg eveneens een plek evenals een enkele crotaal (een heuse Avedis Zyldian nog wel) gestemd op midi noot 95. Een paar geschikte cimbalen voor de constructie van de gewenste hi-hat hadden we niet op voorraad en kochten we nieuw aan. Een nieuw koppeltje van Turkse makelij. Voor het mechanisme gebruikten we een heel zware Siemens elektromagneet afkomstig uit een pneumatisch buizenpost- en onderdelen-distributiesysteem uit een bedrijf. Het anker ontbrak en dienden we opnieuw aan te maken op de draaibank: ziehier het resultaat:



De afgewerkte hi-hat constructie – hier met verwijderde vaste bovencimbaal - kwam er dan zo uit zien:  Voor een goede werking is het nodig deze spoelen een vrij hoge werkspanning te geven. Bij een 100% duty cycle echter mag die spanning niet groter zijn dan 40 V. Die waarde bepaalden we experimenteel door de temperatuurverhoging te meten over een lange tijd onder spanning. Gauw bleek dat we een microprocessorgestuurde voeding nodig hadden werkend op een hoge spanning. Pogingen om zo'n voeding te bouwen gebruik makend van een TRIAC schakelend op de nul-doorgangen van de netspanning bleken niet echt betrouwbaar, en dus grepen we uiteindelijk terug op een oud en beproefd recept: een niet gestabiliseerde bipolaire voeding die +71 V en -71 V levert bij 250 VA, uitgaand van een toroidale 2 x 50 V transformator, een gelijkrichterbrug en enkele dikke elektrolytische condensatoren.

Over die 'vliegende klopper' aan de binnenkant van de bastrom valt ook nog wel een en ander te vertellen: solenoïdes met een volledige vrij anker gedragen zich helemaal anders dan de gebruikelijk trek- en duwmagneten zoals we die meestal gebruiken. Wanneer het anker vrij is in beide bewegingsrichtingen en de spoel bekrachtigd wordt dan zal het anker een kracht ondergaan in grootte afhankelijk van de aanlegde spanning en van de afstand tot het centrale werkingspunt van de spoel. Aangezien het anker vrij is zal die kracht een versnellende beweging ondergaan gericht naar het centrum van de spoel. Wanneer het anker zich in het midden van de spoel bevind,

wordt de kracht nul maar door de inertie zal het anker toch wat doorschieten om dan in een uitdovende gedempte trilling uiteindelijk in dat midden tot stilstand te komen. Dit maakt dat de beweging van het bekrachtigd anker enige gelijkenis vertoont met die van een veer. Wanneer we nu het anker in rust zo plaatsen dat het zich een kwart van de spoellengte buiten het centrum bevindt, dan zal bij bekrachtiging het anker doorschieten tot voorbij dit centrum en dan terugkeren naar het centrum. Het is precies dit 'doorschieten' waarvan we gebruik maken om de trom aan te slaan. Wanneer we de stroomtoevoer afsnijden, keert het anker steeds terug naar de excentrische uitgangspositie. Om dat te bereiken, monteerden we spiraalveer over het anker. Langs elektrische weg zou dit immers alleen bereikt kunnen worden indien het ander een permanente staafmagneet zou zijn, in welks geval we via sturing van de polariteit van de bekrachtigingsstroom, de bewegingsrichting van het anker zouden kunnen bepalen. Het grote voordeel aan een dergelijke constructie bestaat erin dat de botsing van de klopper op het vel nu volkomen elastisch verloopt omdat het anker bij de botsing met het vel vrij is. Nadelen zijn er natuurlijk ook wel aan verbonden: de repetitiesnelheid van het mechanisme is heel wat beperkter dan wat met een op een vaste staaf verbonden klopper mogelijk is. Ook de efficiëntie (opgenomen vermogen versus geluidsproductie) is niet bepaald erg hoog. In onze <Per> robot bouwden we dit mechanisme voor werking in een horizontaal vlak, en dit ondanks het feit dat een verticale werking – dus met een horizontaal gemonteerde trommel - heel zeker superieur is omdat we dan aan de terugkeerveer zouden kunnen verzaken en we ook minder wrijving te overwinnen zouden hebben. De reden voor de niettemin verticale bouw is evenwel puur visueel en ruimtelijk.

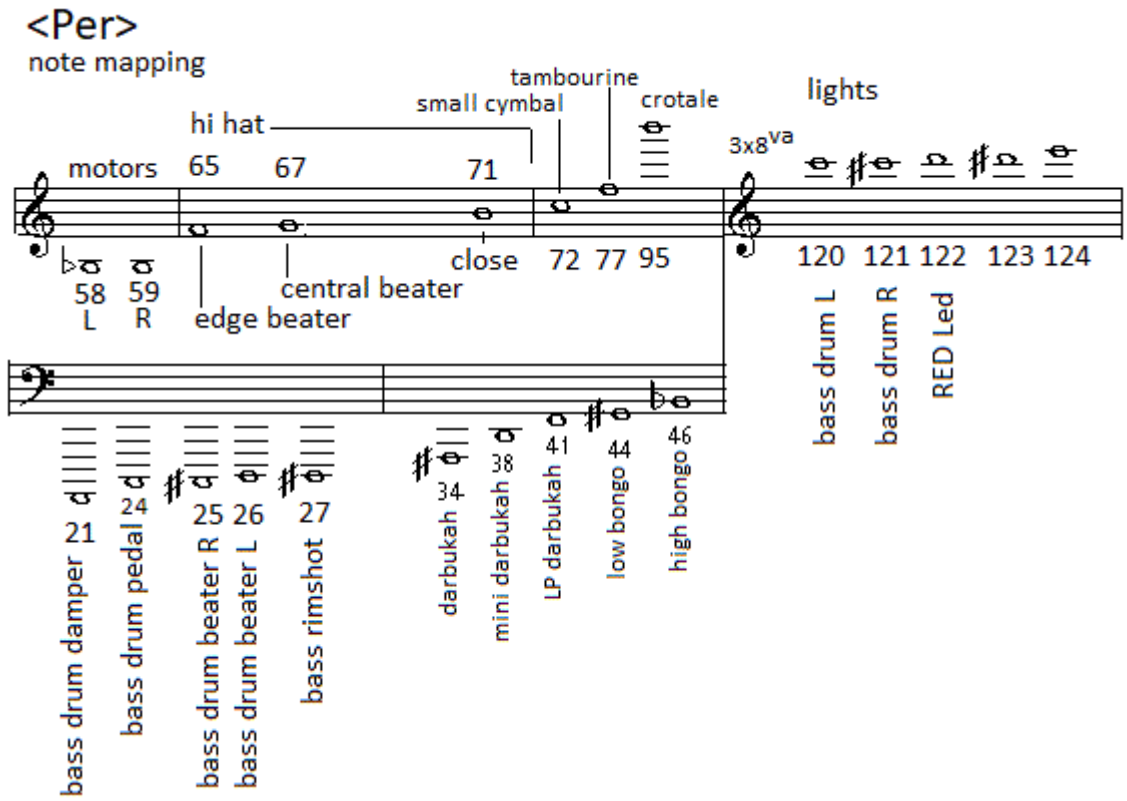
Ook in de <Troms> robot hadden we een grote vilten demper voorzien in de grootste trommel, maar in het ontwerp voor <Per> is de werking van demper heel wat gesofistikeerder. Hier immers kan de aandrukkracht van de demper tegen het vel met het velocity byte van het demper commando (noot 21) gestuurd worden. Eens de demper zich tegen het vel bevindt, kan de duwkracht nog verder gemoduleerd worden middels het toetsdruk commando voor noot 21. De demperkracht kan hoger worden ingesteld dan wat voor 100% duty cycle werking toelaatbaar is. De duur moet dan wel beperkt blijven. De maximale waarde waarbij de dempermagneetkracht ononderbroken uitgeoefend mag blijven is 86.

Dat we deze robot 'vliegend' noemen is natuurlijk meer dan een kleine overdrijving. Maar toch hebben we deze robot uitgerust met twee propellers die een zacht schommelen van de aan zijn haak opgehangen robot mogelijk maken. De maximale draaisnelheid van die propellers is echter beperkt tot 1400 rpm, terwijl om een substantiële propulsiekracht te verkrijgen toch wel 8500 rpm nodig zou zijn. De gebruikte propellers komen uit de modelbouw voor telegeleide vliegtuigen, maar de aandrijfmotoren demonteerden we uit een oude professionele Truvox bandrecorder uit de vijftiger jaren van vorige eeuw.

Alle firmware voor de PIC microprocessoren werd geschreven in Basic en gecompileerd met de onovertroffen Positron compiler.

Midi implementatie:

Deze mapping werkten we uit opdat een maximale compatibiliteit zou ontstaan met de <Troms> en <Simba> robots. De <Per> robot luistert naar kanaal 6.



Technische specificaties:

- •maten: breedte:740 mm, diepte: 350 mm, hoogte: 1630 mm
- •gewicht: 36 kg
- •deze robot moet opgehangen worden
- •Elektrisch: 230V ac - 100 W(piek)
- •Verzekeringswaarde: 12.000 Euro.
- •Bouwjaar: 2018

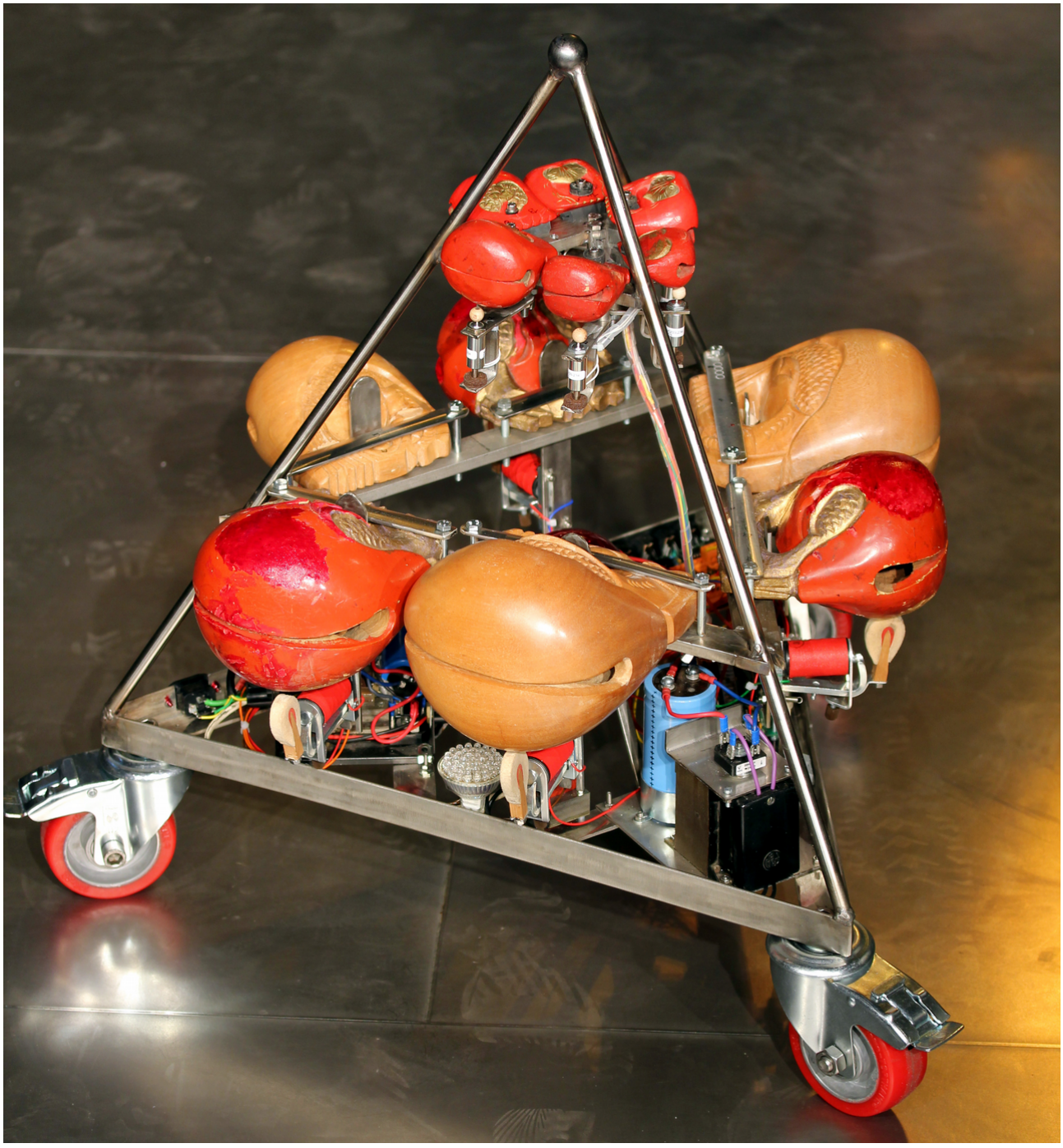
Medewerkers aan de bouw van <Per>

Kristof Lauwers, Moniek Darge, Lara Van Wynsberghe, Bert Vandekerckhove, Johannes Taelman, Mattias Parent, Laura Maes.

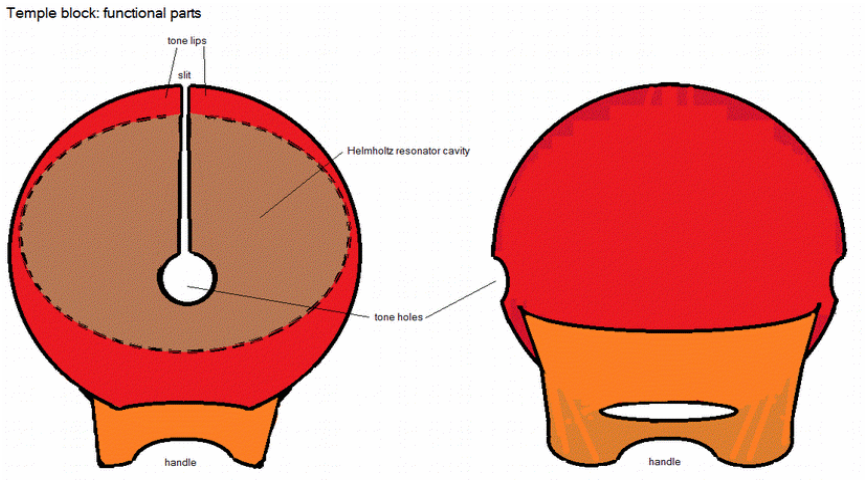
Muziek gecomponeerd voor <Per>:

- •Godfried-Willem Raes "Ogiven", "Namuda Study #70: Poly", "PerOxyde" (2018)
- •Kristof Lauwers: Study for <Per>, (2019)

<Temblo>



In oorsprong zijn temple blocks Chinese slaginstrumenten gebruikt in tempels en bij religieuze ceremonies. In zulke context treffen we ze ook aan in Korea en Japan. Het zijn gebeeldhouwde en uitgeholde houten blokken voorzien van een brede spleet. De traditionele vorm verwijst naar een bolle vis. Akoestisch gezien komt hun trilwijze overeen met die van een stemvork waarbij de holte in het blok werkt als een Helmholtz resonator. De toonhoogte van de trillende lippen en die van de resonator moeten bij de constructie nauwgezet op elkaar worden afgestemd. Het geheel vormt dan een synergetische constructie.



Temple blocks hebben sedert het midden van vorige eeuw een plaats weten te verwerven in de slagwerk sectie van de symfonische orkesten. Meestal worden geen origineel Chinese instrumenten gebruikt maar wel een vereenvoudigde en verwesterste namaak ervan. Daarbij verkrijgen ze dan veelal een rechthoekige vorm, ofwel worden ze uit kunsthars gemaakt. Meestal worden ze opgesteld in een setje van vijf stuks in een min of meer pentatonische stemming. Hier is zo'n set uit de jaren '30 van vorige eeuw:



De originele Chinese instrumenten worden gemaakt in heel erg uiteenlopende afmetingen. In bepaalde tempels, bij een van onze bezoeken aan China, zagen we exemplaren van nagenoeg 1 meter breed. Maar, ze bestaan ook piepklein en we kochten ter plekke een aantal heel kleine exemplaren waarvan de kleinste slechts 3 cm breed is. Die kleine temple blocks hebben een heel scherpe en doordringende toon. Hier is onze kleine verzameling:



Alle tempelblokken worden met de hand gesculpteerd uit een enkel stuk betrekkelijk zacht hout. Aan de buitenkant zijn ze bedekt met een – meestal rode - laag Chinese lak. Die lak beschermt niet alleen het hout tegen vocht en de impact van de kloppers, maar draagt ook wezenlijk bij tot de scherpte van de aanslag. De traditionele Chinese lak wordt gemaakt met urishiol, een substantie gewonnen uit de toxicodendron vernicifluum plant die als bijzonder eigenschap heeft een natuurlijk polymeer te vormen onder invloed van vocht en matige warmte. De niet afgebonden lak is giftig en kan ernstige allergische reacties op de huid veroorzaken, maar eens afgebonden is het hard en stabiel materiaal. In China zelf wordt de temple block op een in grootte aangepast kussen gelegd.

De montage op een staander waarop ze vastgeklemd worden is een zuiver westerse aanpassing. Alhoewel ze een gedefinieerde toon voortbrengen, worden ze nooit gebruikt als gestemde idiofonen. Elke temple block heeft zijn eigen individuele klopper. Die is net zoals het kussen zorgvuldig in verhouding geproportioneerd tot maat en massa van de blok zelf.

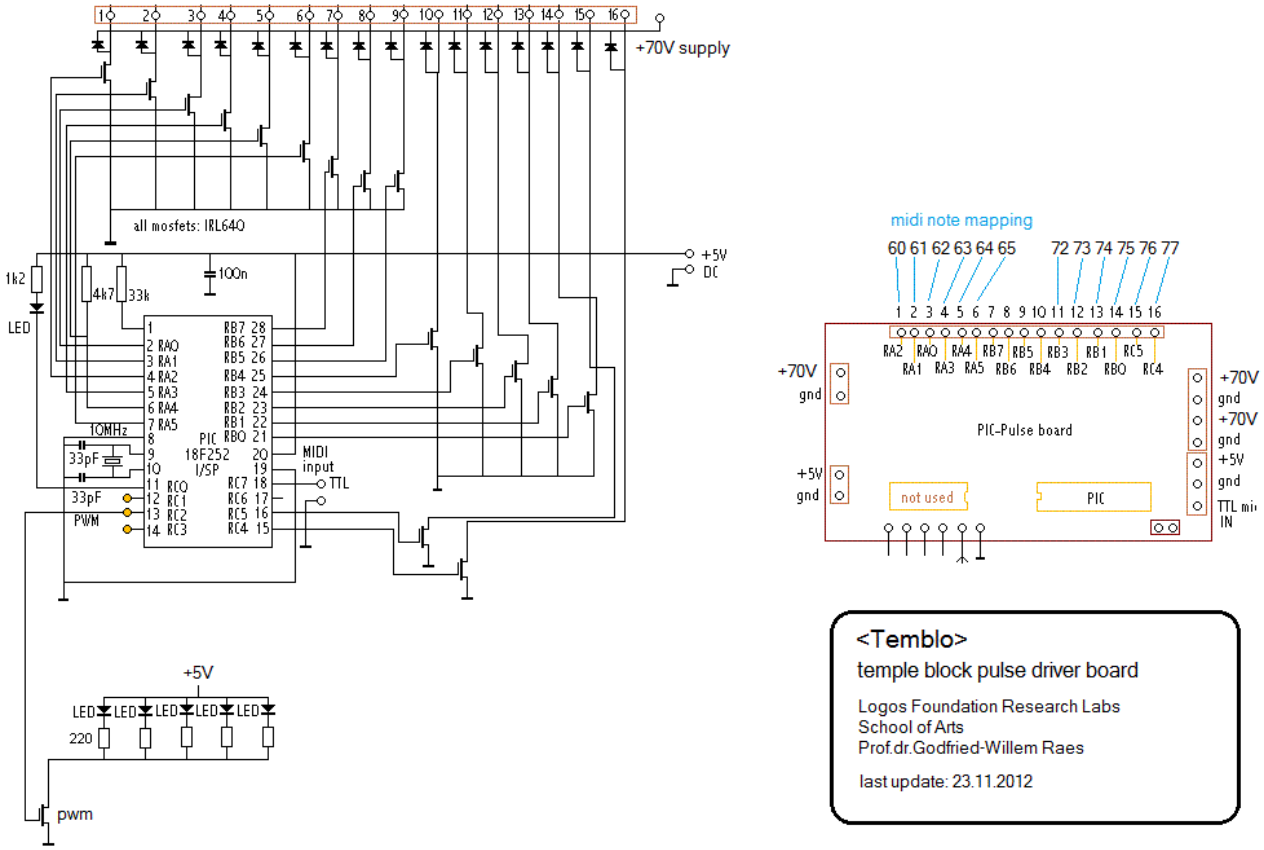


Westerse slagwerkers gebruiken slechts uiterst zelden de origineel Chinese kloppers, maar slaan ze meestal aan met middelharde met textiel beklede vibrafoonkloppers. Te harde kloppers (normale drumsticks of harde nylon kloppers...) leiden onverbiddelijk tot destructie van de instrumenten: eerst splintert de lak en vervolgens barst het hout.

De <Temblo> robot ontstond eigenlijk als een pedagogisch project. In 2012 werden we door het Conservatorium verzocht om een cursus moderne en experimentele instrumentenbouw te verzorgen voor de studenten in de opleiding instrumentenbouw. Na wat overleg met de studenten besloten we een bouwproject op te zetten dat binnen een enkel schooljaar kon worden afgewerkt. Vandaar de keuze voor een automatisch slaginstrument: daarvoor is slechts een beperkte research nodig zonder dat het anderzijds ook maar enigszins triviaal zou zijn. Het feit dat zo'n robot een erg welkome aanwinst zou zijn in het robot orkest, bleek erg motiverend voor de studenten. De bouw nam een aanvang in oktober 2012 en naar het eind van februari 2013, kon de robot al zijn eerste geluidjes spelen. Een maand later, verkreeg hij zijn definitieve plaats in het orkest.

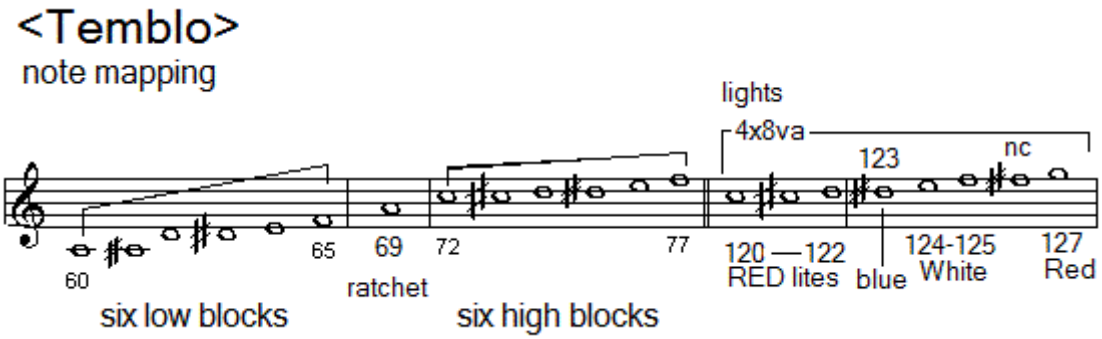
Voor de automatisering van de temple blocks gebruikten we twee verschillende types elektromagneet: voor de zes kleinste blokjes, buisvormige solenoïdes van Lucas-Ledex, voor de zes grote, tractuurmagneten van August Laukhuff. De elektronische besturing kon eenvoudig worden gehouden en bestaat uit twee gedrukte schakelingen: een bordje voor de puls-besturing van de klopperjes en een bordje voor de MIDI-parsing, buffering, besturing van de als extra toegevoegde ratel en van de lampjes. De ratel wordt bestuurd met een kleine van een vertragingskast voorziene DC motor. De snelheid van middels pulsbreedte modulatie gestuurd worden via het velocity byte van het noot-aan commando in MIDI.

Hier is de schakeling voor de puls-besturing:



Net zoals bij slagwerk robots zoals <Troms>, <Per>... wordt ook hier een hoge overspanning gebruikt: 70V, daar waar de nominale werkspanning van de gebruikte elektromagneten 12 Volt is. Voor de kleine Ledex magneten zijn de pulsduren in de firmware binnen de grenzen 500 µs tot 3.75 ms vastgelegd, voor de tractuurmagneten en de grote temple blocks tussen 1.58 ms en 8 ms. Zelfs bij behoorlijk snelle nootherhalingen, wordt de maximaal toelaatbare duty cycle van 5% hier niet overschreden. De kloppers voor de grote temple blocks maakten we uitgaand van oude met vilt beklede pianohamers. Die voor de kleine blokjes bestaan uit met rood koper verzwaarde houten bolletjes, vastgekleefd op de ankertjes van de magneten.
De hele robot werd gebouwd in een uit roestvast staal gelaste tetraëder structuur voorzien van drie zwenkwielen.
Voor <Temblo> bouwden we ook een degelijke flightcase, absoluut nodig omdat <Temblo> zowat constant deel uitmaakt van onze interactieve opstellingen met het 'klein robotorkest', waarbij een vijftal robotjes bestuurd worden met bewegingen die via onze radar interfaces waargenomen worden.
<Temblo> heeft sedert zijn geboorte, ontzettend veel gereisd. Hij was te zien en te horen in Glasgow, Liepaja, Tallinn, Berlijn, Keulen, Rennes, Lille, Lissabon, Manchester en uiteraard de meeste Vlaamse steden. In 2013 was hij zelfs te gast op de Biënnale van Venetië, in het Portugese paviljoen evenwel... Maar, ook in Luxemburg vond hij een plekje in de abdij van Neumünster waar hij in 2021 echter ternauwernood aan de verdrinkingsdood wist te ontsnappen. We wisten hem helemaal te herstellen en hebben het ons sedert die ramp nooit verder beklaagd dat onze gedrukte schakelingen met een duur goudlaagje bedekt werden, wat hen hier van een gewisse ondergang gered heeft.

Midi implementatie:



<Temblo> luistert naar midi-kanaal 12.

Technische specificaties:

•maten in mm: hoogte 690, vierkant grondoppervlak: 650 x 650, Kist: 665 x 665 x 720
•gewicht: 22 kg
•Elektrisch: 230V ac - 40 W(piek)
•Verzekeringswaarde: 11.500 €.

•Bouwjaar: 2012

Medewerkers aan de bouw van <Temblo>

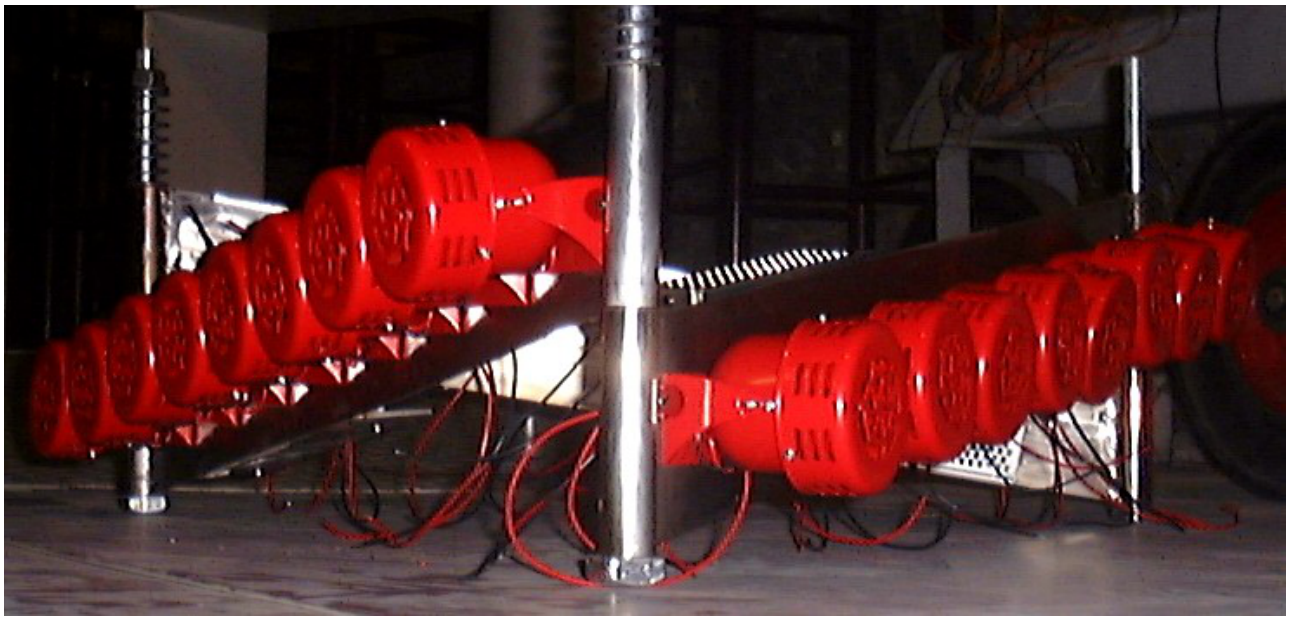
Tim Duerinck, Thomas Strypsteen, Stijn Smeets, Kristof Lauwers.

Muziek gecomponeerd voor <Temblo>:

•Kristof Lauwers "Study #14, for Temblo" (2013)
•Sebastian Bradt "Krakers" (2013)
•Godfried-Willem Raes "Block Temple!" (2013)
- 1.- Islamic [2'03"]
- 2.- Christian [2'54"]
- 3.- Masonic
- 4.- Hindu
- 5.- Buddhist

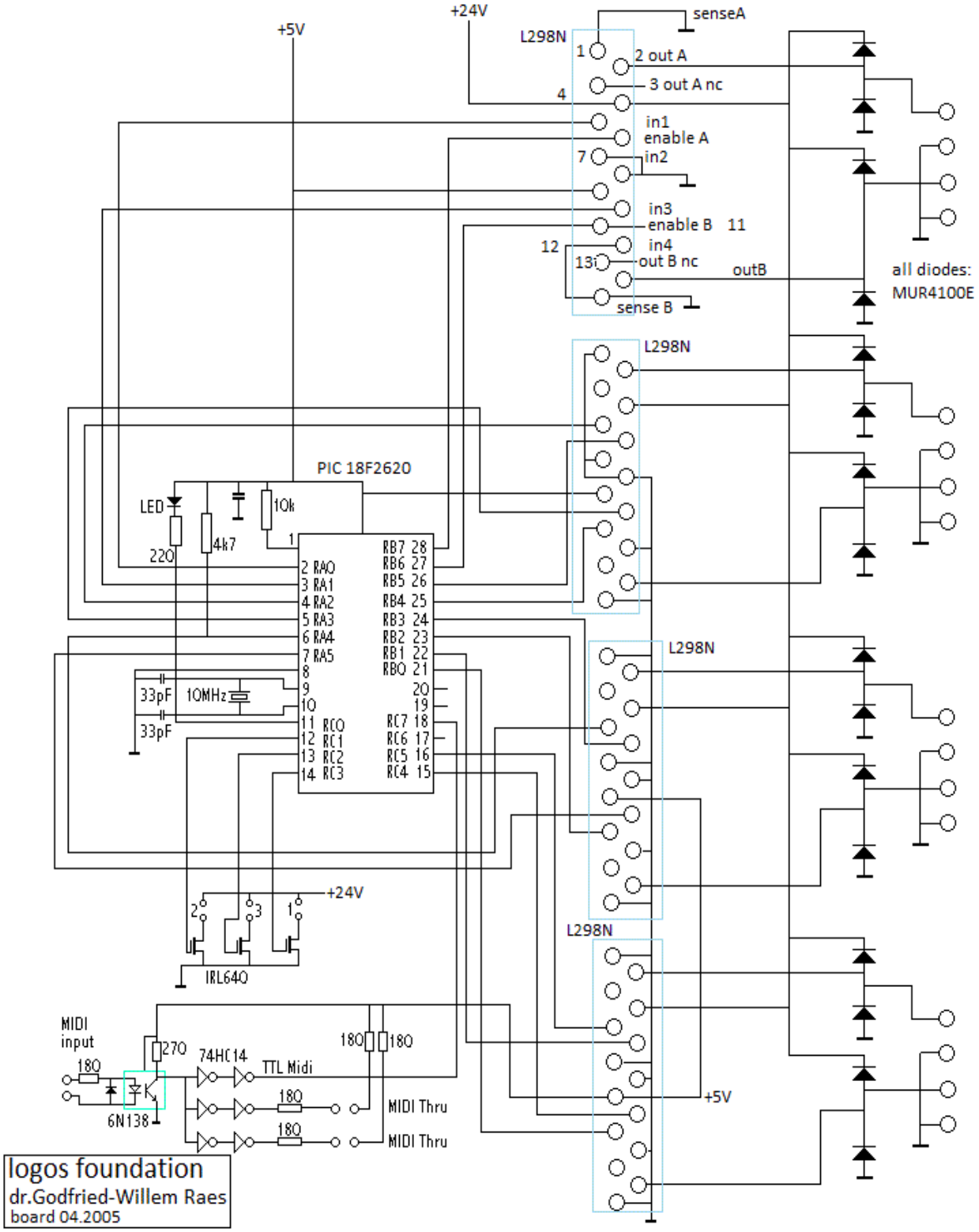
•Pieter Corten "Templosion" (2013)
•Henk De Bruycker (2013)
•Patrick Housen (2013)

<Sire>



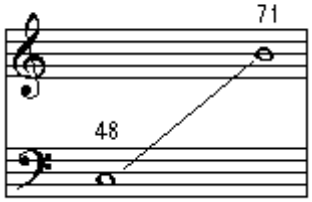
<Sire> is opgebouwd uit 24 gemotoriseerde sirenes, waarvan de toonhoogte individueel stuurbaar is. De robot is opgebouwd als een gelijkzijdige driehoek en ontworpen om te worden opgehangen. De drie elementen, elk bestaande uit 8 sirenes, waaruit deze robot is opgebouwd kunnen eenvoudig worden gedemonteerd. Verschillende alternatieve opstellingswijzen zijn mogelijk: in stervorm, als 3 autonome en ruimtelijk gespreide modules, in V-zigzag-formatie, in lijn... Hulpstukken voor bodemmontage op wieltjes horen ook bij het ontwerp. Alle chassisdelen en laswerk is uitgevoerd in roestvast staal. De automaat past in een relatief kleine koffer en is dus uitermate geschikt voor vliegtuigtransporten.
Aangezien deze robot uit 24 autonome sirenes bestaat, zou een standaard midi implementatie het gebruik van niet minder dan 24 midi kanalen nodig maken. Dit leek ons uiterst onpraktisch en daarom opteerden we voor een non-standaard aanpak van de midi-implementatie voor deze automaat. Uitgaande van het feit dat het velo-byte hier geen betekenis heeft – immers, bij sirenes zijn de geluidsterkte en de toonhoogte op absolute wijze aan elkaar gekoppeld - besloten we de betekenis van het velo-byte anders te definiëren: hier wordt met het noot byte de individuele sirene geselecteerd (48 tot 71). De toonhoogte wordt dan bepaald door de waarde van het velo byte. In het geval van <Sire> zal de sirene pogen de frequentie te genereren overeenkomstig de gevraagde noot. Aangezien midi-noten slechts 7 bit resolutie (halve tonen) hebben, en onze automaat toch wel meer in zijn mars heeft, voorzagen we in de controllers 48-71 voor een verdere precisering van de toonhoogte. Het velo byte vormt aldus het MSB van de toonhoogte, terwijl de overeenkomstige controller het LSB definieert. Het tessituurbereik van elke sirene is drie octaven (48-84), waarbij het duidelijk is dat de toonhoogte strikt gekoppeld is aan het volume. 48 zal dus pppp klinken, en 84 fff.

De elektrische schakeling voor de besturing van acht motoren (er zijn drie dergelijke schakelingen voor een totaal van 24 sirenes) kwam er zo uit te zien:



Midi mapping en implementatie:

<Sire>
mapping of 24 sirens



kanaal 12

Elke sirene is gemapt op een enkele noot in het bereik 48 tot 71. Het velocity byte stuurt de toonhoogte van de geselecteerde sirene. Module 1 dekt de noten 48 tot 55, module 2 56 tot 63 en module 3, 64 tot 71. Het toonhoogtebereik voor elke sirene dekt 48 tot 84, uitgedrukt in midi noten en dit voor een velocity bereik van 6 tot 127. Bij ontvangst van een note-aan commando met velo = 0, maken de sirenes gebruik van de geïmplementeerde rem. Bij velo = 1, wordt niet afgeremd.

Atelier medewerkers:

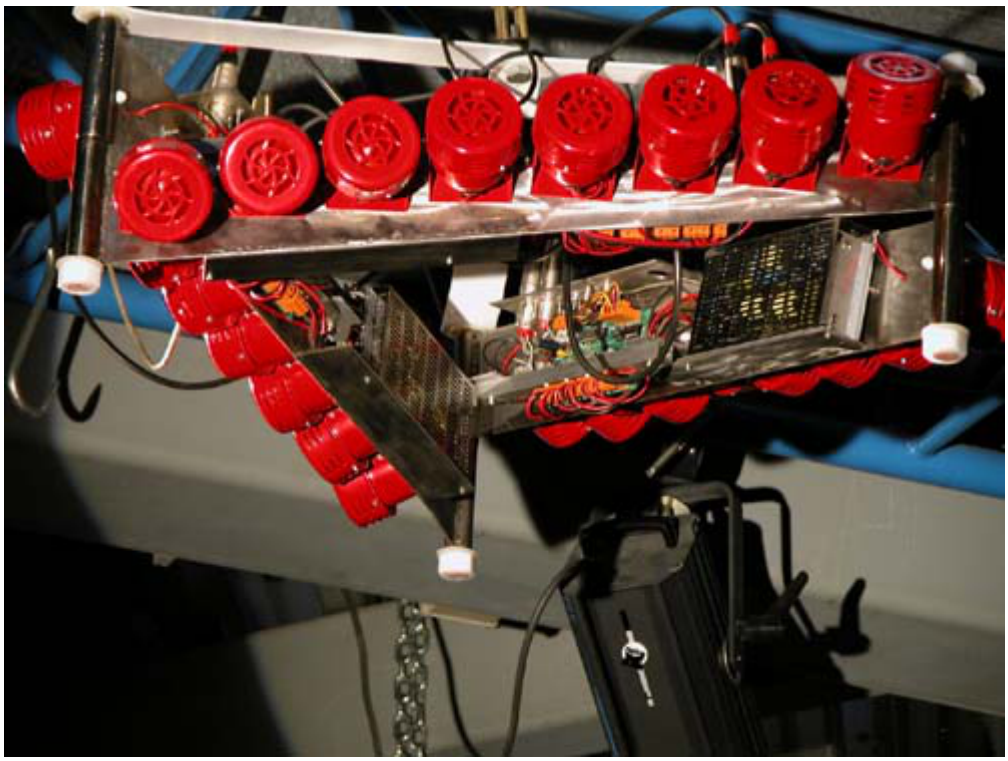
- Johannes Taelman, Kristof Lauwers

Repertoire voor <Sire>:

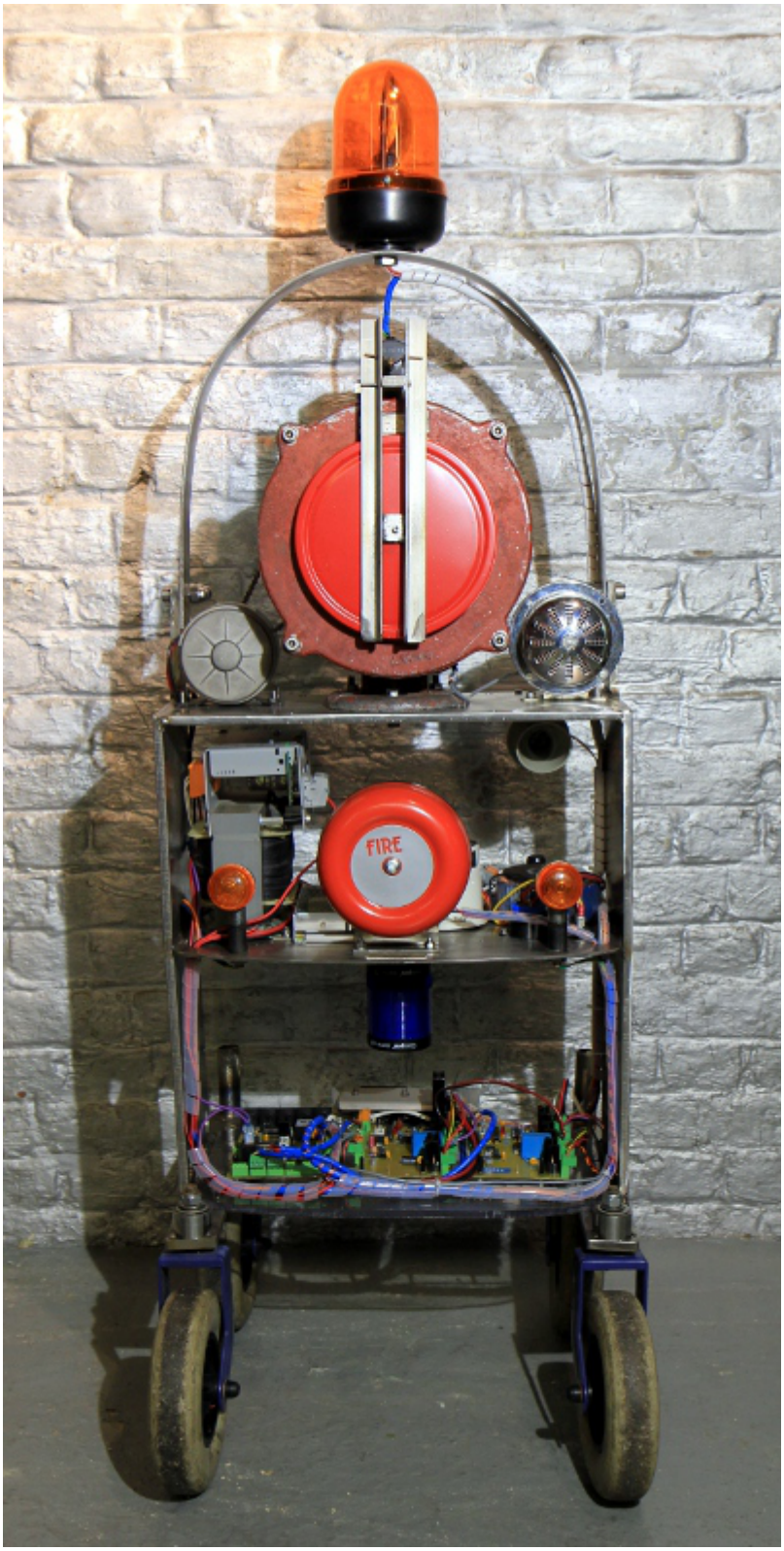
- Godfried-Willem Raes "Sire's Pic"
- Sebastian Bradt "O Sire"
- Godfried-Willem Raes "Le Cacquet..."
- Godfried-Willem Raes "GeroSire" voor <Sire> en een naakte uitvoerder.
- Godfried-Willem Raes "Qua Sire"
- Rainer Boesch: "Erinnerungen..."

Afmetingen & andere technische specifikaties:

- hoogte: minimaal 210 mm, maximaal (met poten: 750 mm), breedte : 750 mm
- gewicht: Modules, elk 5 kg. In totaal 25 kg met bedrading, kist en accessoires.
- polyfonie: 24 onafhankelijke toonhoogtes
- Elektrische aansluiting: 100-230V ac , 4.5A max. Connectors: XLR-LNE type.
- Bouwjaar: 2003
- Verzekeringswaarde: 7.650 €.



<Balsi>



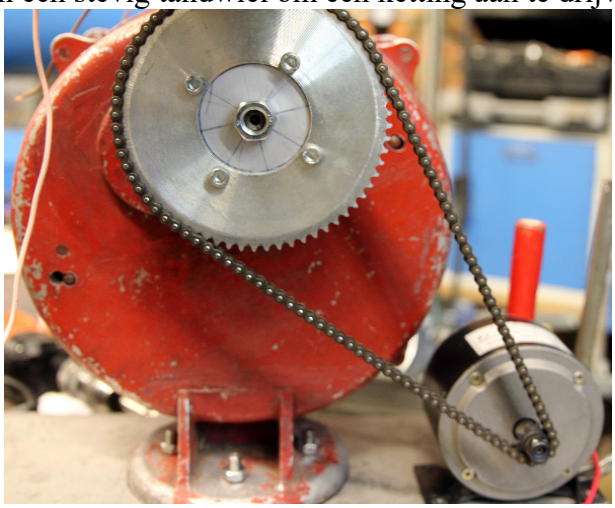
Deze robot werd gebouwd en ontworpen als een onderdeel van het 'Balmec' project. Opzet voor dit project was de bouw van alle instrumenten nodig voor een getrouwe maar geautomatiseerde uitvoering van George Antheil's legendarische en spectaculaire 'Ballet mecanique'. Andere robots die deel uitmaken van dit project zijn de drie vliegtuigpropellers, de playerpiano's, de xylofoon

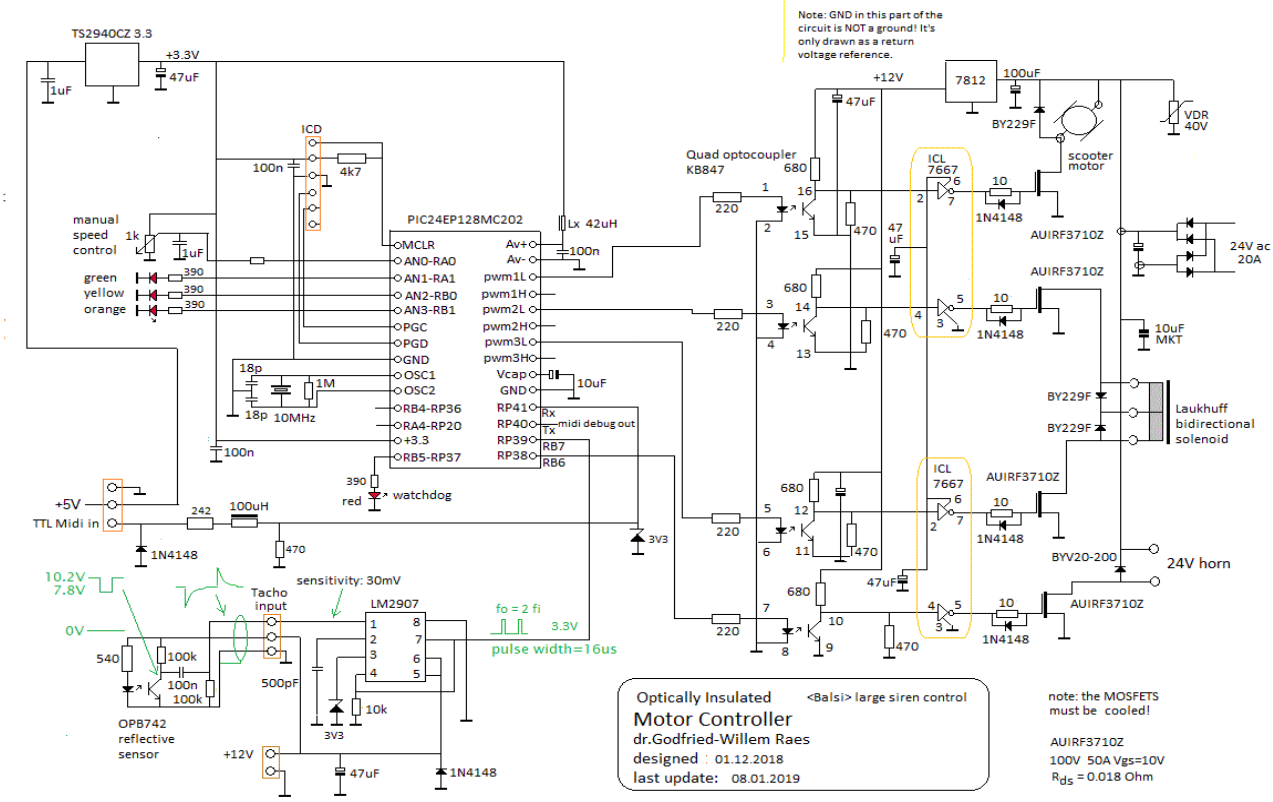
<Xy> en de <Bello> robot. De <Balsi> robot omvat een grote gemotoriseerde sirene met mechanische volume regeling en allerlei extensies in de vorm van alternatieve sirenes, alarm hoorns, buzzers, zwaailichten en een brandalarm bel. Wanneer we de instructies in de partituur van Antheil zouden volgen, dan moeten we besluiten dat de uitvoering volstrekt onmogelijk is bij gebruik van klassieke sirenes. Immers, het plots remmen en stoppen van een akoestische sirene is dodelijk voor het tandwielmechanisme. Daarom ontwierpen we hier een mechanische sirene voorzien van een veilig remmechanisme en van een bestuurbare demper. De partituur geeft geen enkele indicatie met betrekking tot de toonhoogtes die de sirene moet laten horen. Ze staan genoteerd als slaginstrumenten zonder toonhoogte...
Voor de bouw van deze robot vertrokken we van een militaire sirene van Poolse makelij:



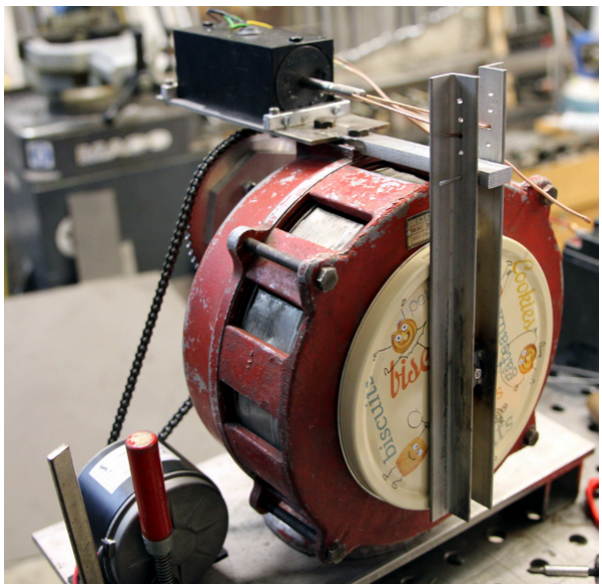
Gevonden en gekocht op de Gentse rommelmarkt, een plek die ik gewoontegetrouw elke zaterdag en zondag bezoek. Het handvat evenals de zwengel verwijderden we helemaal. De handgreep moest weg om plaats te ruimen voor het dempermechanisme dat bediend wordt door een sterke bidirectionele elektromagneet.

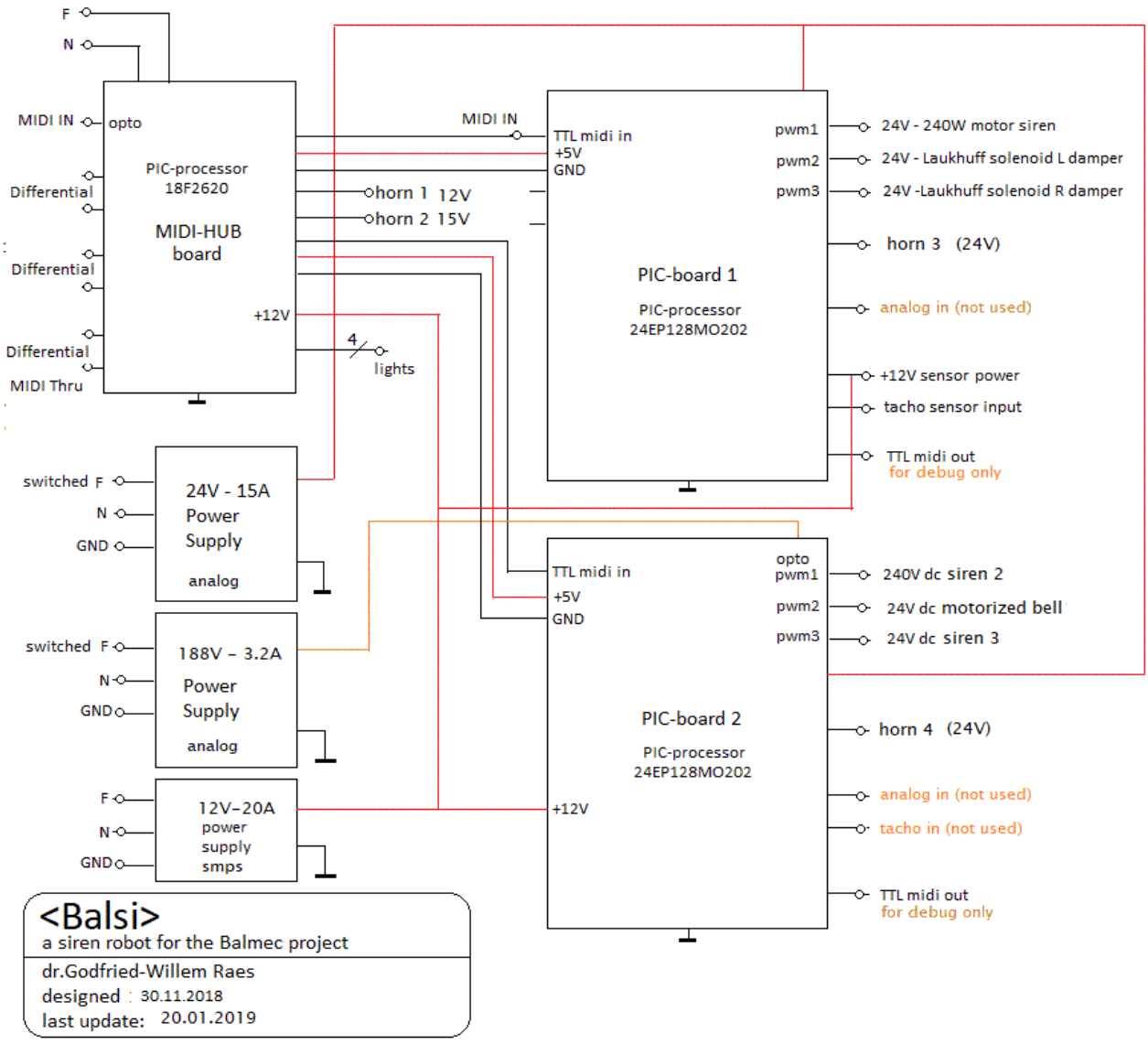
Vanuit mechanisch oogpunt ware het natuurlijk voor de hand liggend om het sirenewiel rechtstreeks op de as van een sneldraaiende motor te monteren. Zo ook werken immers kleine motorgestuurde sirenes altijd. Toch deden we dat niet en wel omdat dit een volledig herontwerpen van de bestaande sirene zou vergen waarbij het balanceren van de onderdelen zeker grote problemen zou opleveren. Met de bouw van sirenes hadden we tevoren al wat ervaring opgedaan bij de bouw van <Springers> en uiteraard – op kleine schaal - met de bouw van <Sire> die niet minder dan 24 sirenes omvat. Voor deze robots gebruikten we DC motoren aangestuurd met PWM. Telkens bleek het echter uitermate moeilijk om precieze toonhoogten te genereren. Na vele mislukte pogingen om deze klus

te klaren met AC motoren en dito controllers, vonden we een geschikte elektromotor uit een scooter voorzien van een stevig tandwiel om een ketting aan te drijven. Hier is een detail van de toegepaste constructie:  Deze motor heeft een normale werkspanning van 24V en levert een vermogen van 350W. Bovendien bleek de motor een bijzonder hoog koppel te ontwikkelen bij het starten, een uiterst welgekomen eigenschap in deze toepassing. Vanwege de behoorlijk grote stromen waarmee we hier te maken krijgen, ontwierpen we onze besturingsschakelingen met optokoppelaars.

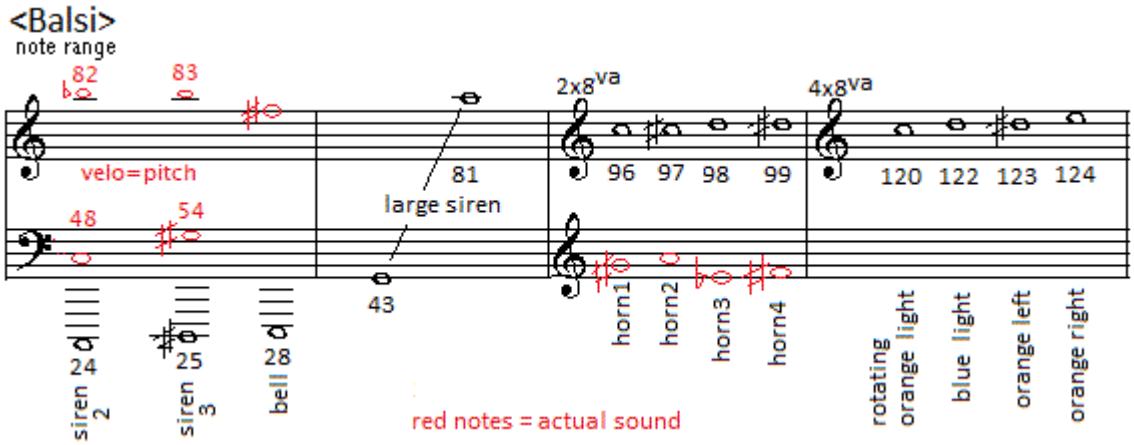


Een nieuw onderdeel van deze sirene werd de hoger al vermelde toevoeging van een dempermechanisme. Hiermee konden we een probleem oplossen dat inherent is aan alle akoestische sirenes, namelijk dat de geluidsterkte en de toonhoogte vast aan elkaar gekoppeld zijn. Onze demper werkt met een deksel van een koekjesdoos waarmee de aanzuigzijde van de sirene gradueel kan worden afgesloten. Dit deksel wordt bestuurd met een zware bidirectionele

elektromagneet.  Experimenten uitgevoerd met de draaiende sirene in combinatie met de demper deed ons stoten op enkele nieuwe problemen: wanneer de snelheid van de sirene toeneemt, neemt ook de zuigkracht uitgeoefend op het deksel sterk toe. In die mate zelfs dat onze elektromagneet niet voldoende kracht meer had om de demper los te maken. We dienden de zaak dus zo te ontwerpen dat de elektromagneet met een variabele overspanning bestuurd wordt en in het ontwerpen van de firmware voor de besturing dienden we dan ook een zekere dosis intelligentie te implementeren. Een tweede onbedoeld, hoewel gerelateerd effect was dat de toonhoogte van de sirene nu mede afhankelijk werd van de positie van de demper. Met gesloten demper, en bij gelijke uitsturing van de motor, bleek de sirene zowat een kwart hoger te klinken. De toevoeging van een tacho schakeling, opgebouwd rond een klassieke LM2907 chip bleek een vereiste. We gebruikten de chip in een niet gebruikelijke frequentieverdubbelingsconfiguratie waarbij we de uitgangspulsen naar de externe interrupt ingang van de microcontroller voeren. Deze kan zo de juiste frequentie berekenen en via een PID regeling onder controle houden.
Omdat we nog een kleinere motorgestuurde sirene op voorraad hadden, beslisten we die aan de robot toe te voegen. Hierdoor wordt de keuze in dynamiek voor de gebruikers natuurlijk weer een heel stuk groter gemaakt. Deze sirene bleek te werken met een universeelmotor op 230V. Perfect geschikt voor een besturing met PWM gelijkspanning. Een tweede processorboard voegden we toe voor de besturing hiervan en meteen ook van twee zwaailichten: een oranje en een blauw.
Het overzicht over alle schakelingen kwam er nu zo uit te zien:



Midi implementatie:



Midi kanaal: 15.

Noot aan/uit commando's:
Noot 24: Sirene 2. Het velo-byte stuurt de 7bit MSB instelling van de toonhoogte, overeenkomstig de midi noot waarde (hier van 54 tot 89) . Met controller 24 kan ook het LSB verder bepaald

worden in cent.
Noot 25: Sirene 3: Geïmplementeerd zoals sirene 2.
Noot 28: alarmbel, hier stuurt het velo-byte de ratelsnelheid. Het bereik loopt van 27 tot 127.

Controllers:

#7: Volume regeling voor de demper
#24: LSB voor de toonhoogte van de kleine sirene nr.2 Een eenheid komt hier overeen met een cent.
#25: idem voor sirene nr.3
#48: LSB voor de toonhoogte van de grote sirene.
#66: aan/uit schakelaar.
#67 - #68: parameters voor de PID regeling van de grote sirene.
#120: snelheid van het oranje zwaailicht

Medewerkers aan bouw en ontwikkeling van <Balsi>:

•Laura Maes, Mattias Parent, Xavier Verhelst, Kristof Lauwers, Moniek Darge, Bert Vandekerckhove, Lara Van Wynsberghe

Technische specificaties:

- Elektrisch: 230 V - 300 Watt, standaard 3-prong Euro connector.
- Maten: h=1500 mm, w= 470 mm, d= 420 mm.
- Gewicht: 65 kg
- Geluidsdruk kan oplopen tot >120dBA. Gevaar!
- Bouwjaar: 2014
- Verzekerwaarde: 18.600 €

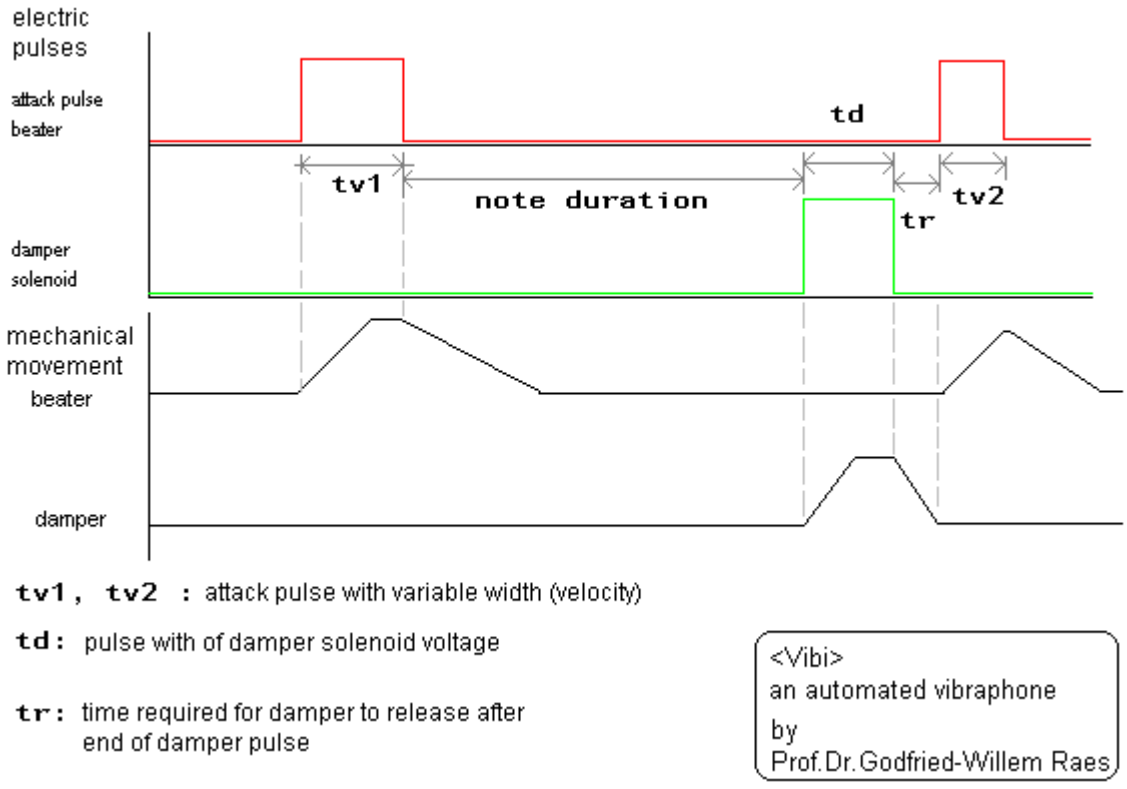
<Vibi>



Toen we aan de bouw van een robot vibrafoon begonnen wisten we heel goed dat we op dit vlak helemaal niet de spits zouden afbijten. We herinnerden ons wel degelijk het werk van onze Amerikaanse vrienden en collega's – in die tijd werkzaam in Baltimore - Jim Carney and Alec Bernstein. Maar nog vele andere bouwers hadden zich daaraan gewaagd. Daarbij denken we dan in de eerste plaats aan de vele – vooral Vlaamse - bouwers van steeds pneumatisch werkende orchestrions. In de grote modellen dansorgels die werden gebouwd in de eerste helft van de 20e eeuw treffen we regelmatig vibrafoons, xylofoons, glockenspiel... aan. De bouwers van toen waren onder meer Mortier, Grymonprez, Decap, Limonaire.... Al deze vroege bouwsels waren echter erg beperkt qua muzikale mogelijkheden: dynamiek was zelden of niet geïmplementeerd en ook ritmisch waren er nogal wat beperkingen. Niettemin vertrokken we vanuit een degelijke kennisname van de historische voorbeelden bij het uitwerken van ons eigen ontwerp.
Hierbij stelden we als doel niet alleen een volledige aanslagcontrole, maar ook een controle van de demping voor elke klankstaaf mogelijk te maken. Het vertrekpunt was een Yamaha vibrafoon (type YV-600B) gebouwd in 1977, waarvan we echter alleen de klankstaven en de resonatoren overhielden. Het oorspronkelijke dempingsmechanisme met pedaal dumpten we helemaal omdat het alleen globaal werkte. Ook het tremolomechanisme verwijderden we helemaal omdat het veel te veel bijgeluiden veroorzaakte en verder ongeschikt bleek voor computerbesturing. Een nieuwigheid was zeker het bouwen van een volumeregeling middels besturing van de stand van de schijfvormige afsluiters van de resonatoren. Deze schijfjes kunnen in onze implementatie niet alleen ronddraaien en zo voor het typische tremolo effect zorgen, maar ook in een willekeurige positie geplaatst worden. Daartoe werden sensoren ingebouwd waarmee de positie kan uitgelezen worden.

Voor de kloppers maakten we gebruik van Lukas Ledex buisvormige solenoïdes van hetzelfde type dat we eerder al gebruikten voor onze playerpiano. We plaatsten deze kloppers onder de klankstaven en op een uiterste rand ervan. Aan de andere kant van de klankstaven, eveneens eronder gemonteerd, plaatsten we de dempers. Deze worden door eenzelfde type elektromagneet bediend, maar nu voorzien van een dikke vilten demper. Door de montage onder de klankstaven konden we

volledig verzaken aan de toepassing van terugkeerveren. Hier immers volstaat de zwaartekracht en genieten we van het voordeel dat we nu niet met hinderlijke resonanties af te rekenen hebben. Voor de uitwerking van het ontwerp dienden we natuurlijk uit te gaan van een precieze meting en berekening van de pulsduren nodig voor de elektromagneten.



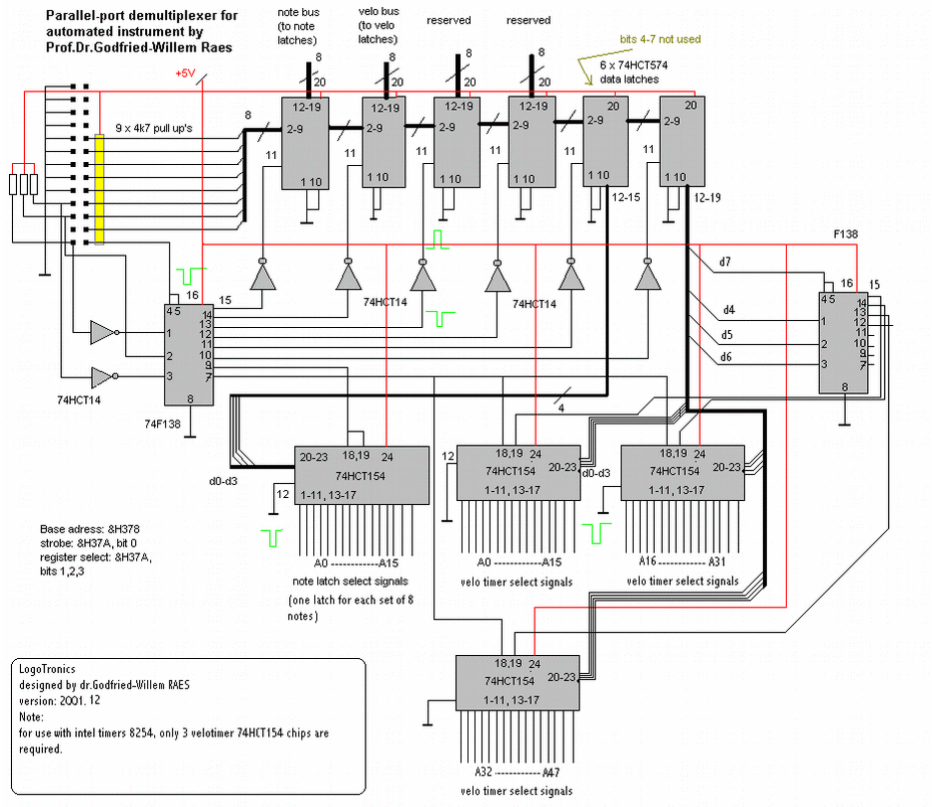
De pulsduren tv1 en tv2, voor de aanslag (bij gebruik van een 44V voedingsspanning) moeten in het bereik 3 ms tot 15 ms liggen voor een goede controle van de aanslagsterkte. De duur van de bekrachtigingspulsen voor de dempermagneten, bleek wel minstens 50 ms te moeten zijn. In rust moet de demper niet bekrachtigd zijn. .De nootrepetitie snelheid wordt terdege beperkt door de relatief lange dempertijd. Voor snelle herhalingen bevelen we dan ook aan, de dempers uit te schakelen.

<Vibi> laat muzikaal heel wat meer toe dan wat met een menselijke bespeler haalbaar zou zijn, zelfs wanneer die 4 tot zelfs 6 sticks zou gebruiken. Hier is immers de polyfonie onbeperkt. Maar ook op grond van de individuele schakeringsmogelijkheden van elke aanslag en demping afzonderlijk, overtreft deze robot menselijke spelers. Wat we evenwel niet konden realiseren in deze robot, is onder meer de vrije en wisselende selectie van de gebruikte kloppers. Indien een andere aanslag -zachter of harder- gewenst is, blijft natuurlijk de mogelijkheid om alle 37 kapjes waarmee we de ankers van de aanslagmagneten uitrustten, te vervangen.

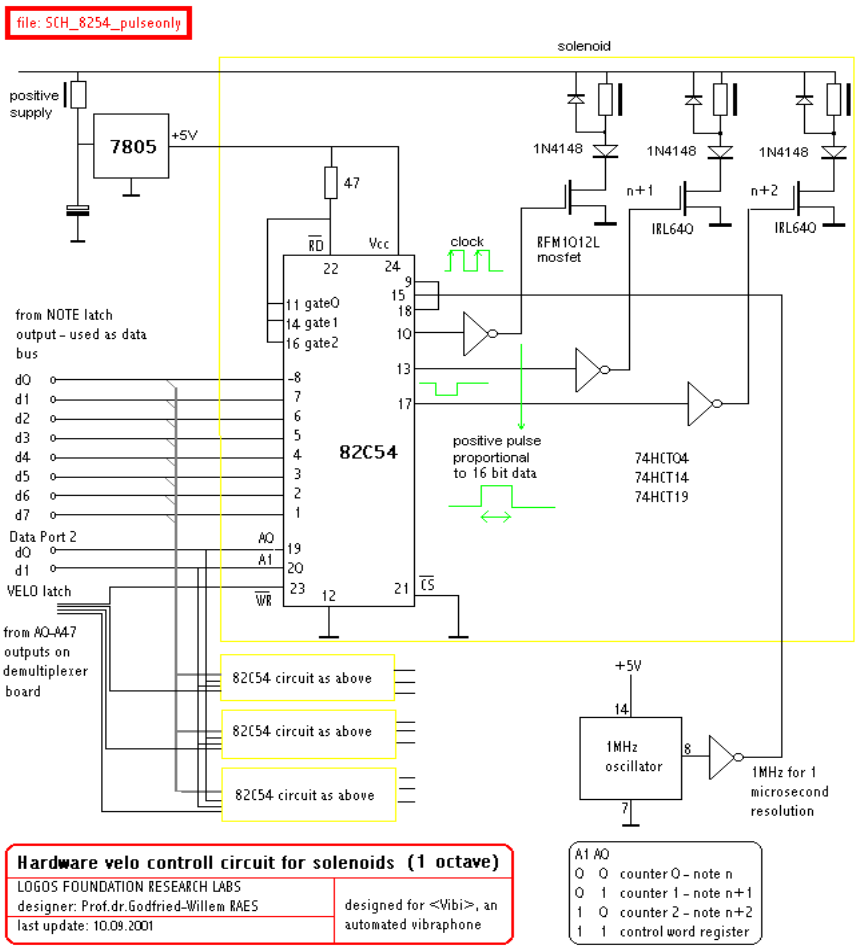
Het ontwerp van <Vibi> omvat mede de mogelijkheid om te staven te bespelen met ertegenaan gedrukte dempers. De drukkracht van die dempers is daarbij regelbaar gemaakt voor de gehele duur van de gewenste noot. Het was relatief eenvoudig om dit voor mekaar te krijgen omdat we hier gebruik maakten van Intel 8254 programmeerbare timer chips. Deze kunnen zowel als one-shot's dan als blokgolfgenerator, met variabele duty cycle geprogrammeerd worden.

Het chassis voor <Vibi> lasten we in staal gebruik makend van onze TIG-laspost. Bij het ontwerp werd tertegen rekening gehouden met allerlei instelmogelijkheden van de mechanische onderdelen. Het geheel werd voorzien van drie stevige wielen met massieve rubberbanden.

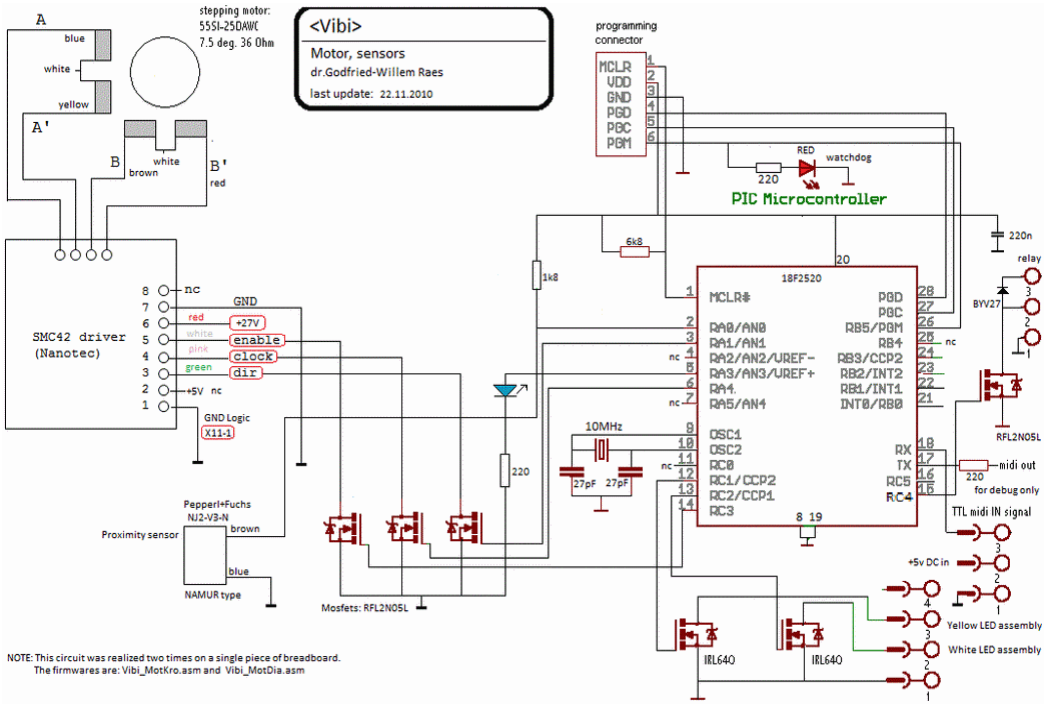
De elektronische schakelingen voor de besturing van <Vibi> dateren nog van voor de tijd dat we met PIC-processors aan de slag gingen. Ze maken gebruik van gelijkaardige boards die we ontwikkelden voor de bouw van piano-vorsetzers in de jaren '90 van vorige eeuw. De vele Intel 8254 timer chips waren in de eerste versie van deze robots opgebouwd om te worden bestuurd vanuit een printerpoort op een (laptop) Wintel PC. De multiplexer in de schakeling stamt volledig uit die tijd. Bij een latere herziening van de <Vibi> hardware, vervingen we die parallelle databesturing door een microprocessor die grosse modo werkt als een MIDI naar parallel-poort interface. Zo konden we een groot deel van de oorspronkelijke elektronica toch behouden.



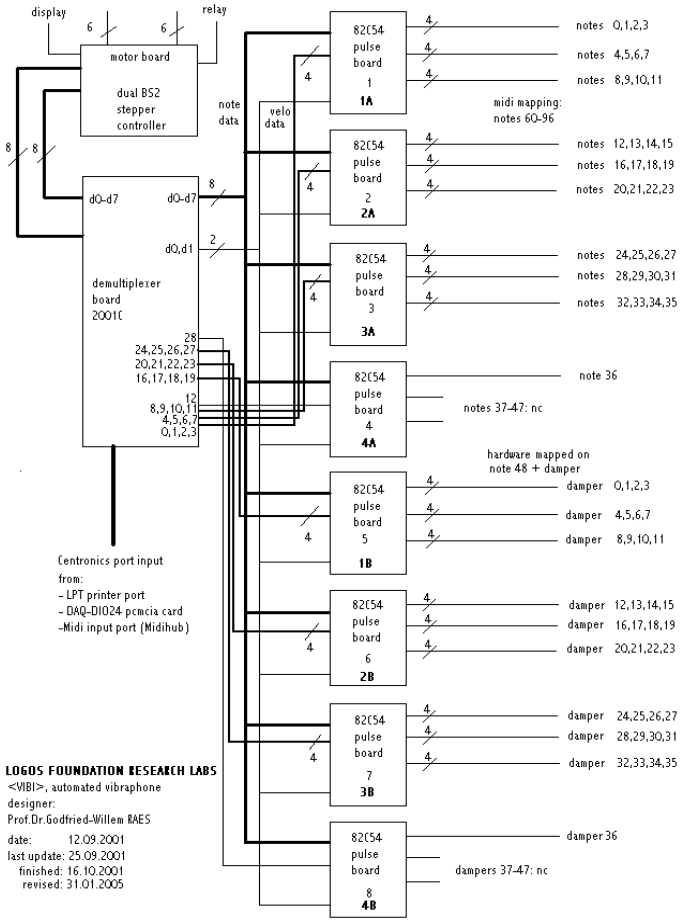
Het volgende schema toont het detail van de schakeling zoals we die opbouwden, hier voor drie klankstaven. Elke chip omvat immers drie 16-bit timers.



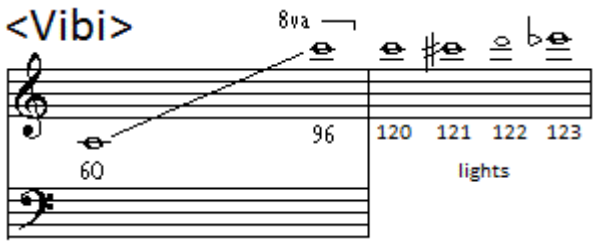
De buisresonatoren – zoals normaal bij vibrafoons - zijn voorzien van een mechanisme dat rond draait waardoor de buizen afwisselend geopend en gesloten worden. Elke rij klankstaven en resonatoren, heeft een eigen draaibare as. Daarom voorzagen we twee onafhankelijk stappenmotoren zodat we nu andere toerentallen kunnen gebruiken voor beide reeksen klankstaven. Tot voor de upgrade uitgevoerd in 2010 werden die motoren bestuurd vanuit het multiplexer bord en twee Basic stamps van Parallax. Dit zijn eigenlijke kleine 8-bit PIC microprocessor bordjes programmeerbaar in een tot het uiterste vereenvoudigd en uitgekleed Basic dialect. In 2010 verbeterden we de mechanica substantieel en voegden we ook de positiesensors toe. Hierdoor werd de besturing zaak voor een toch iets gesofistikeerder processor. Ook de bekrachtiging van de stappenmotoren voerden we nu uit met moderne Nanotec motor-controllers. De nieuwe schakeling kwam er zo uit te zien:



Hier is een overzicht van de vele schakelingen waaruit <Vibi> werd opgebouwd:



Midi mapping en implementatie:



MIDI kanaal: 10

•Noot aan, met aanslagsterkte
•Noot uit, met dempings sterkte (daarvoor moet controller: 23 geset zijn en sustain uitgeschakeld).
•Controller 7: positie van de resonator kleppen. Het tremolo/vibrato mechanisme moet uitgeschakeld zijn.(Controller 22 = 0)
•Controller 20: Vibrato controller. Regelt de snelheid van de diatonische motor. Het regelbereik is 1:10.
•Controller 21, idem voor de chromatische motor.
•Controller 22, stuurt de snelheid van beide motoren tegelijkertijd.
•Controller 23: regelt de kracht waarmee de steven gedempt worden bij een noot-uit commando zonder release byte. Wanneer sustain ingeschakeld is, heeft deze controller geen effect.
•Controller 24: selectie voor de werking van de dempers. 0 = gebruik het release byte, 1 = gebruik de instelling via controller 23.
•Controller 64: sustain aan/uit schakelaar.
•Controller 66: aan/uit schakelaar.
•Controller 123: schakelt alle noten uit. Stopt de motoren.

Medewerkers aan de bouw van <Vibi>:

•Luk Vaes, Moniek Darge, Kristof Lauwers, Johannes Taelman

Technische gegevens:

- maten: diepte: 700 mm, breedte 1450 mm, hoogte 800 mm (+ stuurstang, uitstekend boven klankstaven, maar demonteerbaar)
- gewicht: 95 kg
- elektrische aansluiting: 230 V / 2.5 A – 50/60Hz
- bouwjaar: 2001
- verzekeringswaarde : 16.000 €

<Xy>



In het Logos robotorkest hadden we meer en meer behoefte aan een juistgestemd instrument in hoge ligging dat korte tonen kon voortbrengen. Lang klinkend slagwerk hadden al ruim vertegenwoordigd met automaten zoals <Vibi> en <Tubi>. De keuze voor een xylofoon lag dan ook voor de hand. Aansluitend bij onze onderzoeksprojecten naar verruiming van expressiemiddelen in microtonale zin in samenwerking met Hogeschool Gent (School of Arts), lag het voor de hand deze automatische xylofoon meteen als kwarttoonsinstrument te bouwen. Daarmee kunnen we nu beschikken over volgende kwarttoonsinstrumenten: <Tubi>, <Puff>, <Qt> en nu dus ook <Xy>.

Voor de klankstaven gebruikten we synthetisch glasvezelversterkt materiaal, geleverd onder de merknaam 'Vibercore' door Vancore in Nederland. Dit materiaal geeft een wat harder maar ook naar toonhoogte stabieler resultaat dan de gebruikelijke tropische houtsoorten. Anders dan bij de tegenwoordig gebruikelijke orkest xylofoons verzaakten we heel bewust aan het monteren van buisresonatoren onder de laagste klankstaven. Op die wijze blijven we dichter bij het historisch klankbeeld, waarin uitgerekend het non-harmonische van de klank voorop staat. Vergeten we niet dat de xylofoon in de muziek symbool stond voor de dood (gerammel van skeletten, zoals beschreven door Sebastian Virdung en Arnold Schlick in 1511 waar die het heeft over de Hultze Glechter, en mid 17e eeuw door Marin Mersenne) en dat die voor de tweede helft van de 20e eeuw nooit met resonatoren werd gebouwd. Voor de schikking van de latten verzaakten we ook aan de traditionele (en eigenlijk uit ergonomisch en speeltechnisch opzicht volslagen idiote) rangschikking van de staven volgens het pianoklavier. We schikten de staven zo dat de ene kant van het instrument de 'gewone' tonen speelt en de andere de kwarttonen. Aangezien de latten het geluid langs beide zijden projecteren, levert dit – anders dan bij ons kwarttoonsorgel <Qt> - geen noemenswaardige balansproblemen op. Elke kant is opgebouwd uit twee boven elkaar opgestelde verticale rijen van 22 klankstaven. De klankstaven werden opgehangen op hun nodale punten. Op deze wijze kon het instrument bijzonder compact worden gebouwd. De robot kan zowel op het voorziene wielstel op de grond worden geplaatst als opgehangen aan de daarvoor voorziene haken. In dit laatste geval

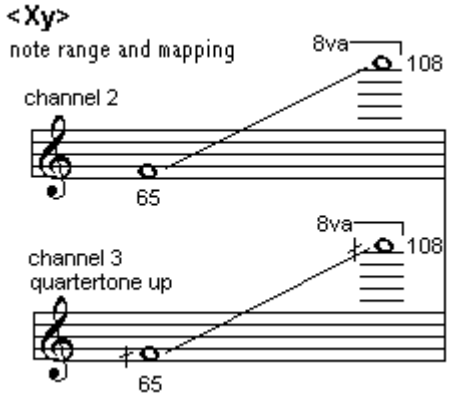
moet de constructie van de zoldering natuurlijk wel voorzien zijn van een takel en uiteraard voldoende draagkrachtig. In gebruikelijke theaterzalen stelt dit zelden problemen. Het wielstel bestaat uit zes wielen van 160 mm doorsnede, waarbij het middelste wielkoppel 5 mm lager is gemonteerd dan de andere wielassen. Hierdoor is zonder gebruikmaking van een kruisdissel, toch een goede wend- en verplaatsbaarheid gegarandeerd. De knalrode banden zijn vervaardigd uit massief polyurethaan met een hoge densiteit en een uitstekende veerkracht. De wielen zelf zijn voorzien van degelijke kogellagers.

De gehele constructie werd uitgevoerd in manueel TIG gelast inox AISI 304L. Alle boringen uitgevoerd met kobaltboren, evenals de verspanende bewerkingen. Voor sommige uitsnijdingen werd een plasmasnijder gebruikt.

De besturing maakt gebruik van vier afzonderlijke PIC microcontrollers van het type 18F4620. Elke processor staat in voor de besturing van 22 klankstaven. De aanslagsterkte van elke staaf kan afzonderlijk binnen ruime grenzen geregeld worden. De polyfonie van het instrument is onbeperkt. De gebruikte elektromagneten zijn van hetzelfde type dat we ook gebruikten voor <Tubi> en <Troms>. De hardware is zowat identiek aan die van <Troms>, waarnaar we dan ook verwijzen voor verdere details. De werkingsspanning beloopt zowat het vijfvoudige van wat de spoelen normaal kunnen verwerken. De *duty cycle* is evenwel beperkt tot minder dan 10%.

Als extra features werd <Xy> ook nog voorzien van lampjes: vier op zwanenhalzen gemonteerde lampjes, vier fel witte LED's op de zijpanelen, drie rode LED spots op de binnenzijde van het instrument. Uiteraard allemaal stuur- en programmeerbaar.

Midi implementatie en mapping:



Midi kanalen: 2 en 3

- Noot aan, met aanslagsterkte. .
- Noot uit commando's zijn niet vereist.
- Controller 66: aan/uit schakelaar (moet verstuurd worden via kanaal 3)
- Controller 123: alle noten en lichtjes uit.
- Program change 0, 122-127. Hiermee kunnen verschillende opzoektabellen voor de dynamiek gekozen worden. De tabellen kunnen door de gebruikers geprogrammeerd worden via sys-ex commando's in MIDI. Programma 0 komt overeen met de originele mapping en kan niet geherprogrammeerd worden. De aanbevolen en geoptimaliseerde keuze is 122. Keuze 123 is aangewezen wanneer een pp gebruik gewenst wordt.

Medewerkers aan de bouw van <Xy>:

•Xavier Verhelst, Kris De Baerdemacker, Johannes Taelman, Kristof Lauwers

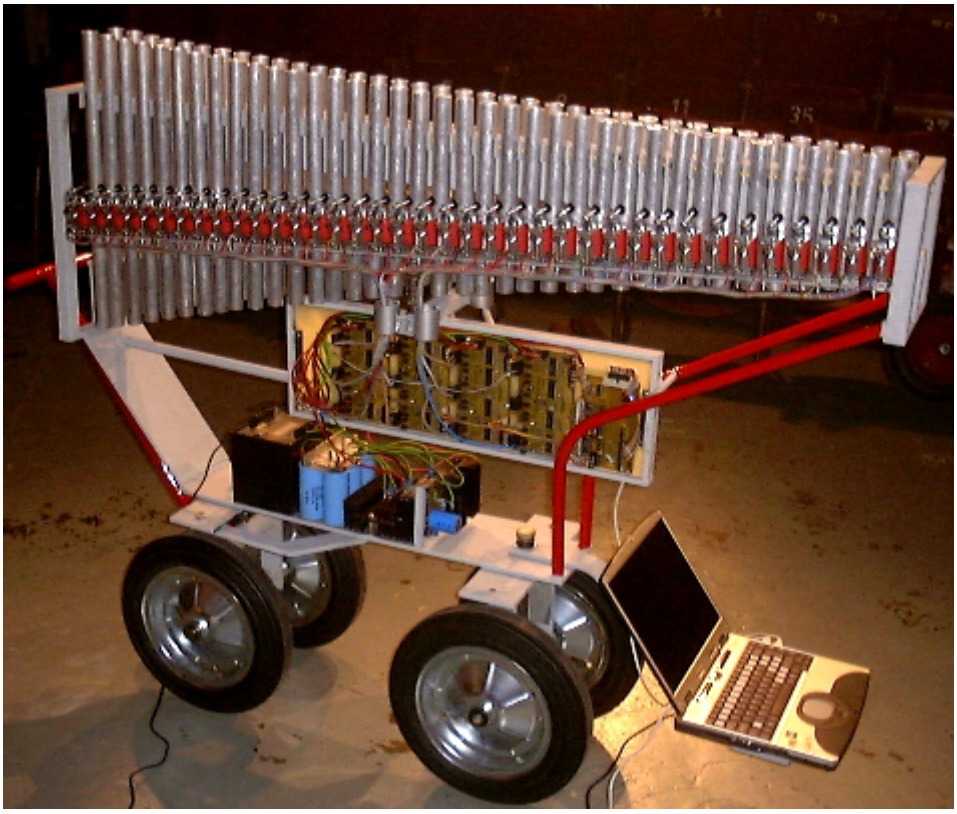
Muziek gecomponeerd voor <Xy>:

- Godfried-Willem Raes "Geroxy", "Picrada Study: Xy", "Quadrada Study #11: Qua Xy"
- Xavier Verhelst "Ting Ting Yahe"
- Hans Roels "Voor Xy en Qt"
- Sebastian Bradt "Barbiefication" , voor Korn en Xy

Technische gegevens:

- maten: breedte 1070 mm, hoogte 650 mm, diepte 300 mm
- gewicht: ca. 65 kg.
- elektrisch: 230 V / 330 W (piek)
- stemming: A=442 Hz voor de 'gewone' noten, A=455 Hz voor de kwarttonen.
- bouwjaar: 2006
- Verzekerwaarde: 13.000 €

<Tubi>



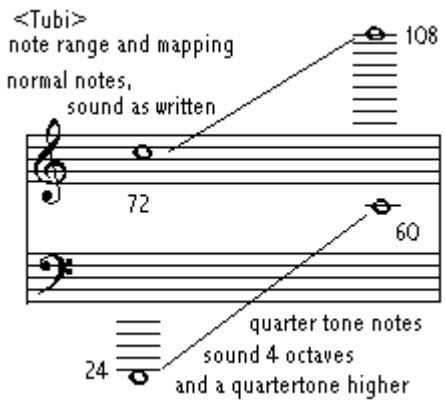
<Tubi>, of <2b>,is een automatisch computergestuurd buizenspel gestemd in kwarttonen over een bereik van drie octaven. Het bestaat uit 74 nauwkeurig gestemde buizen uit aluminium. De buisdoorsnede werd gekozen op 30 mm, buitendiameter en wanddikte 2 mm. Voor de berekening van de stemming werd een specifiek computerprogramma geschreven. De basisdiapason voor het instrument is 442 Hz. De intervallen zijn telkens 2^(1/24) groot. Gelijkzwevend 24-toons dus, net zoals <Xy>.

De door elektromagneten aangedreven kloppers werden zorgvuldig individueel gekalibreerd en hebben een massa variërend tussen 10% en 20% van de massa van de buis waarvoor ze zijn bedoeld. De elektromagneten krijgen een pulsbreedte gemoduleerd signaal toegevoerd. Hoe langer de bekrachtigingspuls duurt, hoe groter de energie waarmee de buis wordt aangeslagen. Daardoor wordt het mogelijk het instrument met dynamische schakeringen aan te sturen en te bespelen.

<Tubi> was in zijn eerste versie voorzien van een USB poort voor de besturing. <Tubi> werd dan ook bestuurd via een eigen laptop computer. Ook de mogelijkheid om de printerpoort te gebruiken was toen nog voorzien, maar ook dat zou alras erg verouderd blijken te zijn. In 2005 voorzagen we <Tubi> dan ook van een grondige upgrade die het gebruik een specifieke besturingslaptop overbodig maakte. De belangrijkste reden was aanvankelijk niet eens zozeer gelegen in de bezuiniging op laptops, maar wel in het simpele feit dat Microsoft ons het leven als ontwerper met de dag zuurder begon te maken: het zogenaamd *plug and play* opstarten van de machines met diverse en steeds wisselende USB interfaces, als het al goed gaat, placht gewoonweg schabouwelijk lang te duren. Ook de vele *timing-glitches* veroorzaakt door de nieuwste Windows versies, maakten de toen moderne PC's meer en meer ongeschikt voor ernstig en tijdkritisch besturingswerk. Onwaardig voor technologie van de 21e eeuw... Vandaar ook dat we snel genoeg teruggrepen naar moderne en snelle Microchip PIC-microcontrollers...

Schakelingstechnisch, gebruikten we voor de bouw van <Tubi> zowat dezelfde schakelingen als voor <Vibi>, maar dan wel met aangepaste voedingsspanningen en andere elektromagneten. Op de gedrukte schakelingen in deze robot treffen we dan ook opnieuw een groot aantal Intel 8254 timer chips aan. Die worden allemaal geprogrammeerd door een op een PIC controller geïmplementeerde 8-bit databus. Dezelfde PIC staat ook in voor de MIDI-parsing.

Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 15

Noot-aan commando's met velo byte voor de sterkte van de aanslag. Noot-uit commando's zijn overbodig.

Controller 66: aan/uit schakelaar.

Atelier medewerkers voor <Tubi>:

- Bert Vandekerkhove, Xavier Verhelst, Moniek Darge, Johannes Taelman

Technische specifikaties:

- maten: hoogte: 1300 mm, breedte: 1530 mm, diepte: 400 mm
- gewicht: 80 kg
- elektrische aansluiting: 230V ac - 640Watt (piek), nominal 100Watt.
- plaatsing: Tubi moet zuiver horizontaal staan voor een goede werking van de hamertjes.
- stemming: kwarttoons vertrekkend van een diapason van La = 442Hz
- Bouwjaar : 2003
- Verzekeringswaarde: 13.500 €

<Tubo>



Aluminium buizen hadden we gebruikt in oudere robots zoals het kwarttoonsinstrument <Tubi> maar evenzeer voor een grote klankkunst installatie 'Plus-Minus' uit 2019, gebruik makend van heel wat dikwandiger buizen. Dit bracht ons op het idee de mogelijkheid te onderzoeken om het register in laagte uit te breiden. Dat bleek evenwel onmogelijk wanneer we van hetzelfde buismateriaal gebruik zouden maken. Immers, wanneer we de buizen langer maakten om ze lager te doen klinken, dan werd de tweede boventoon dermate sterk dat we helemaal niet lager uitkwamen met de waargenomen toon. Dit bracht er ons toe de buizen te mensureren, naar analogie met wat in de orgelbouw gebruikelijk is. De buizen die we hier uiteindelijk toepasten, hebben dan ook per groepje tonen, een telkens verschillende diameter. De buislengtes kunnen we berekenen met volgende formule, tenminste voor zover de buislengte minstens het tienvoudige is van de diameter.

$$f_1 = \frac{m\pi}{l^2}\sqrt{\frac{QK^2}{\rho}}$$

l = tube length (m)
Q = modulus of elasticity (Pa)
K = radius of gyration (m)
for cilindrical tube:

f2= 2.758 f1
f3= 5.404 f1
f4= 8.933 f1

f = frequency (Hz)

$$K = \frac{\sqrt{d_i^2 + d_o^2}}{2}$$

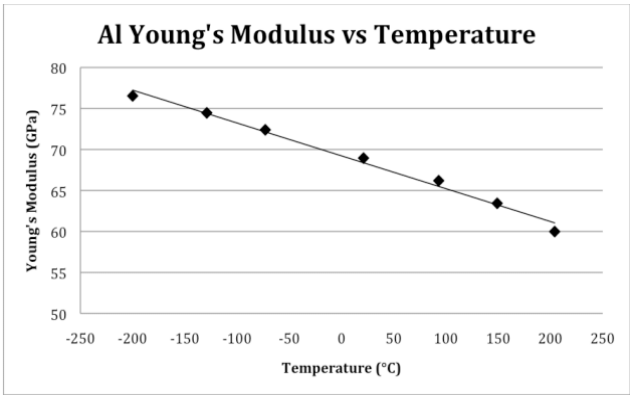
di = internal radius
do = external radius

ρ = density of the material (kg/m3)
for aluminum: 2699 kg/m3

Q = 69 GPa

m = constant (1.133 after Olson).
We found values between 1.126 and 1.039, decreasing with f

De frequentie van de eerste boventoon, volgens Olson 2.758 keer de grondtoon, is volgens onze metingen 2.705 keer de grondtoon. Dit is de toon die we horen bij het aanslaan van de buis. Die toonhoogte kan heel precies gemeten worden door de buis precies in het centrum op te hangen, want de eerste boventoon heeft daar een knoop. De elasticiteitsmodulus – ook Youngs modulus genoemd in de literatuur - is mede afhankelijk van de temperatuur. Hier wordt de curve getoond voor aluminium:



De variatie lijkt niet enorm, maar wanneer we aan het stemmen gaan, moeten we heel voorzichtig zijn en de buizen die bij het ondergaan van bewerkingen als boren, snijden, zagen en slijpen erg heet kunnen worden, moeten op omgevingstemperatuur gebracht worden alvorens de stemming te bepalen. Een emmer koud water in het atelier, naast de vlakschuurmachine, bleek dan ook bijzonder nuttig...

De aluminium legering die we toepasten is AlMgSi 0.5 F22 (Werkstof nummer: 3.3206, International 6063). De samenstelling daarvan is: 0.3-0.6% Si , 0.1-0.3% Fe, 0.1% Cu, 0.1% Mn, 0.35-0.6% Mg, 0.05% Cr, 0.15% Zn, 0.15% Ti, 0.15% overige elementen, saldo tot 100% is Al.

Maatvoering voor de gebruikte buizen:

Midi noten bereik	buitendiameter/ binnendiameter	massa
48 - 53	60mm / 50mm	2,331 kg/m
54 - 59	55mm / 45mm	2,200 kg/m
60 - 65	50mm / 40mm	1,908 kg/m
66 - 71	40mm / 30mm	1,484 kg/m
72 - 77	35mm / 25mm	1,272 kg/m
78 - 91	30mm / 20mm	1,060 kg/m

We hingen de buizen op, in hun knooppunten aan beide uiteinden. Zodoende konden we slingeren van de buizen vermijden en zo meteen ook de onbetrouwbaarheid van de aanslagsterkte bij herhaalde noten. Dat was (en is...) immers een van de problemen waarmee de <Tubi> robot gezegend is.

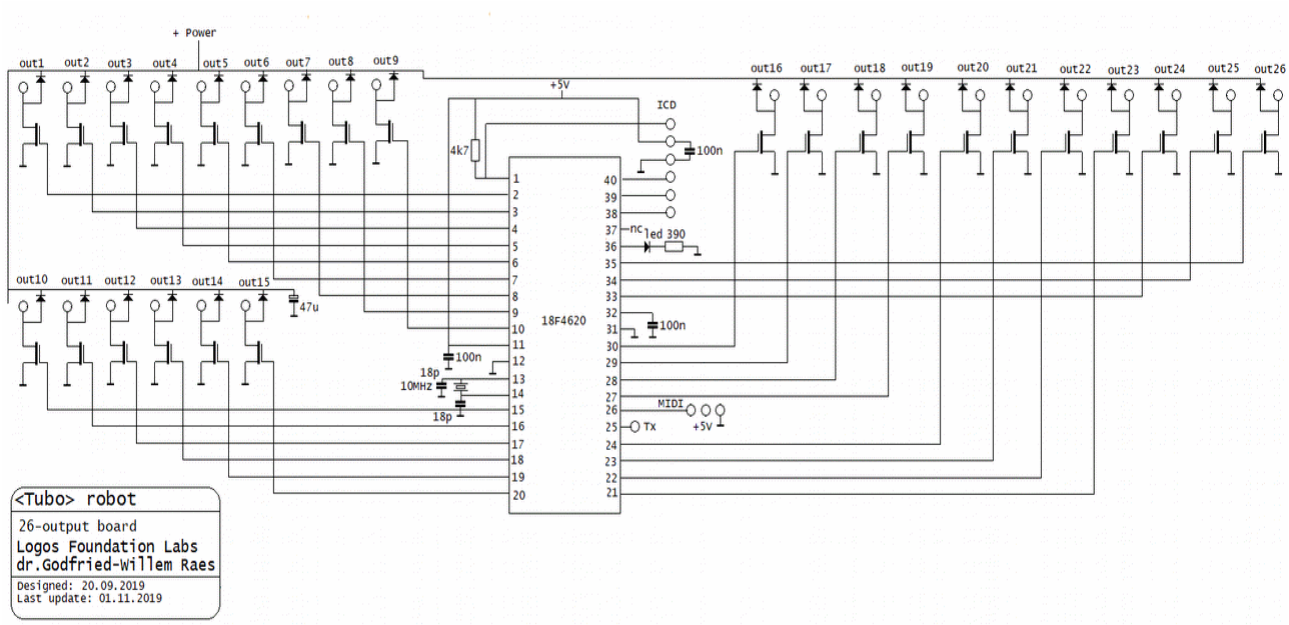
Voor deze <Tubo> robot gebruikten we zeven snelle microprocessors: vijf 8-bitters en twee 16-bitters. De laatste twee gebruikt voor de besturing van de motoren voor het vibrato mechanisme.

Kloppers:

De kloppers werden zo gekozen en berekend, dat de massa van het beweeglijk anker in de grootteorde is van een vijfde van de massa van de buis die erdoor moet worden aangeslagen. Deze ontwerp-restrictie dicteerde meteen het gebruik van redelijk zware en krachtige elektromagneten voor de lage tonen. Vandaar onze keuze voor Kuhnke elektromagneten, type HD8286-RF voor de noten 48 tot 65 en van type HD6286-RF voor 66 tot 71. Voor de hogere noten konden we dan weer volstaan met Tremba 24V magneten. Alle kloppers werden uitgerust met een verstelbare bakelieten kogel belegd met een laagje vilt. De spoelen zijn gebouwd voor aansluiting op 24V, maar om een hoge dynamiek te bereiken, sluiten we ze hier aan op een spanning van 100 V. Bij die voedingsspanning moeten de pulsduren dan wel beperkt worden tot het bereik 3.5ms tot 30ms. We gebruikten, zoals in vele eerdere ontwerpen, PIC 18F4620 microcontrollers om deze pulsen evenredig met de velocity bytes, te genereren. Een gevolg van het gebruik van de zware magneten in deze robot, ging er dan ook snel een hoog prijskaartje aanhangen...

Bij de bouw bleek dat het van cruciaal belang was de klankbuizen precies op hun middelpunt aan te slaan. Daardoor immers konden we de eerste (inharmonische) boventoon maximaal onderdrukken.

De schakeling omvat geen bijzonderheden noch vernieuwingen die we niet al eerder hebben toegelicht bij de behandeling van andere robots.



Dempers:

Het zijn de dempers die <Tubo> zo grondig verschillend maken van <Tubi>, waar we immers aan het voorzien van dempers geheel verzaakten. Hier daarentegen voorzagen we niet alleen individuele dempers voor elke klankbuis, maar bovendien is de aandrukkracht evenals de duur van het dempen helemaal programmeerbaar gemaakt. Om de kosten van zo'n constructie wat te drukken gebruikten we voor de bediening van de dempers voor het laagste anderhalf octaaf, relatief goedkope Chinese elektromagneten. Via Banggood betaalden we die 17$ per stuk. Het gegevensblad stelt dat ze op 12V gedreven moeten worden en dat de duty cycle beperkt moet worden tot 5%. De DC gemeten weerstand van de wikkelingen is 1.5 Ohm. Wanneer we met deze gegevens in de hand, de handige formule gegeven in de elektromagneten catalogus van Kuhnke

$$U_C = \frac{U_{nom}}{2.162 \sqrt{\frac{DC\%}{100}}}$$

U_C = voltage applied in the application

U_{nom} = nominal continuous voltage

DC = duty cycle

toepassen, kunnen we afleiden dat de ware nominale werkingsspanning voor deze spoelen 5.8V is. Maar, ook met deze spanning, blijken die magneten gloeiend heet te worden na vijf minuten. Hun weerstand neemt dan wel toe tot 2.2 Ohm. Om de zaak veilig te houden dienden we dus de voedingsspanning te beperken tot onder 5 V. Daarbij trekken nog steeds 3.33A en verbruiken ze dus 16.6 W. Het valt zo gemakkelijk in te zien waarom we de polyfonie voor de laagste noten in deze robot dienden te beperken.

Om deze elektromagneten verder te beschermen, pasten we een oud trucje toe – eerder al toegelicht in onze behandeling van de <Autosax> robot - dat erin bestaat 35W – 12V halogeenlampjes in serie met de spoelen te schakelen. Deze lampjes werken als spanningsafhankelijke weerstanden en zorgen voor een grote aanslagkracht bij het inschakelen die vanzelf terugloopt naarmate het lampje begint te gloeien en de weerstand ervan toeneemt.

Deze elektromagneten werden voorzien van een ronde plaat bedekt met een 10 mm dikke laag vilt. Ook het terugvallen van het anker, werd met vilt aan de onderzijde gedempt.

Voor de noten 66 tot 77 gebruikten we Tremba solenoïdes van Duitse makelij. Voor de noten 78 tot 81, Amerikaanse types van Lucas Ledex en, voor het bereik 82 tot 91 tenslotte Britse Black Knight types. Een hoogst internationaal dempend gezelschap dus.

De besturing van de dempers is, naar schakeling toe, identiek aan die voor de kloppers, al veranderden we een en ander aan de selectie van de componenten: de MOSFET's zijn hier van het type IRLZ34NPBF en we pasten Epcos B72210S0140K101 MOV's toe in plaats van diodes.

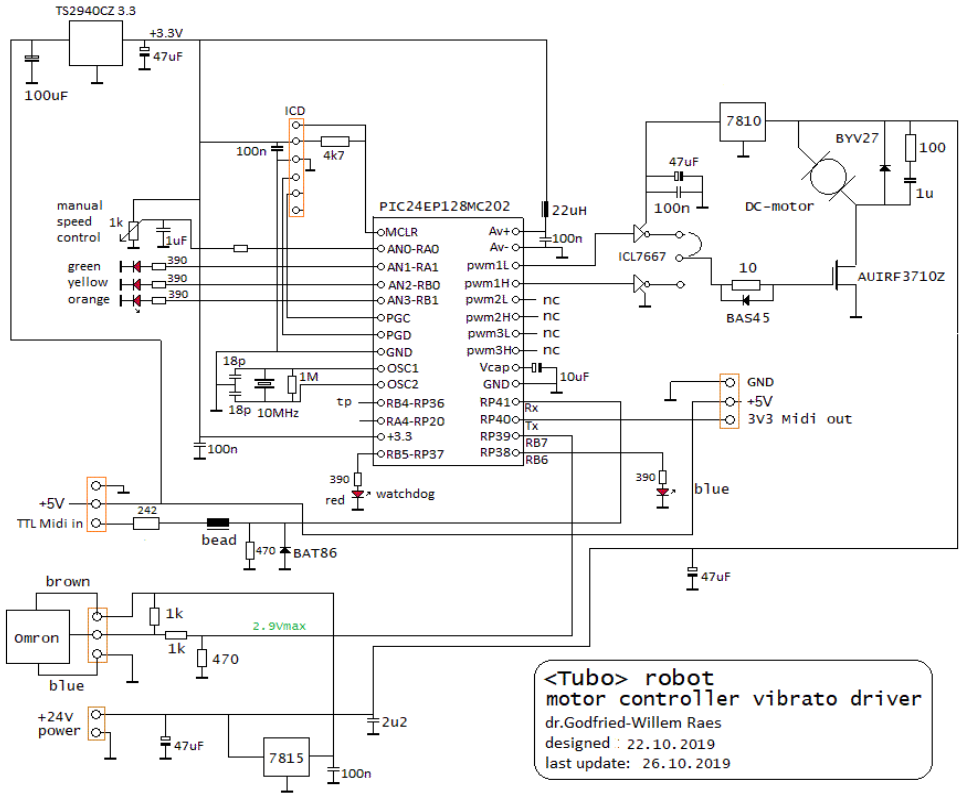
Resonators:

In <Tubo> gebruikten we buisresonatoren voor alle klankbuizen tot en met noot 91. Hierdoor wordt de grondtonigheid van de buizen veel versterkt. Door de hoge massa van de aluminiumbuizen, is de galmtijd bijzonder lang. Om de bouwhoogte van het instrument te beperken, gebruikten we gesloten pijp resonatoren voor de laagste negen noten. Voor de hogere noten konden we aan beide zijden geopende buizen gebruiken. Alle resonatoren werden gebouwd uit PVC, behalve het hoogste octaaf, waarvoor we messing en rood koper toepasten.

Vibrato:

We monteerden de buisresonatoren op een gemeenschappelijke as, waarrond ze over een kleine hoek kunnen draaien. De beweging op die as automatiseerden we met behulp van twee DC-motoren. Op de as van die motoren brachten we een excentriek aan waarmee we buizen heen en weer kunnen laten schommelen. Hierdoor moduleren we de afstand tussen de open uiteinden van de resonatoren en de klankbuizen, waardoor een amplitudemodulatie ontstaat. Dit komt goed overeen met de werking van de vibrafoon. De slingersnelheid maakten we bestuurbaar maar door de erg grote massa van die vele en grote resonatoren, moesten we de maximale vibratosnelheid wel beperken tot 2.5 Hz. Extreem traag, daarentegen is perfect mogelijk. Wanneer het vibrato mechanisme wordt uitgeschakeld, keren de resonators telkens terug naar hun ruststand, de stand waarin de resonantie ook maximaal is. Daartoe bouwden we een positiesensor in.

Dit is de schakeling:

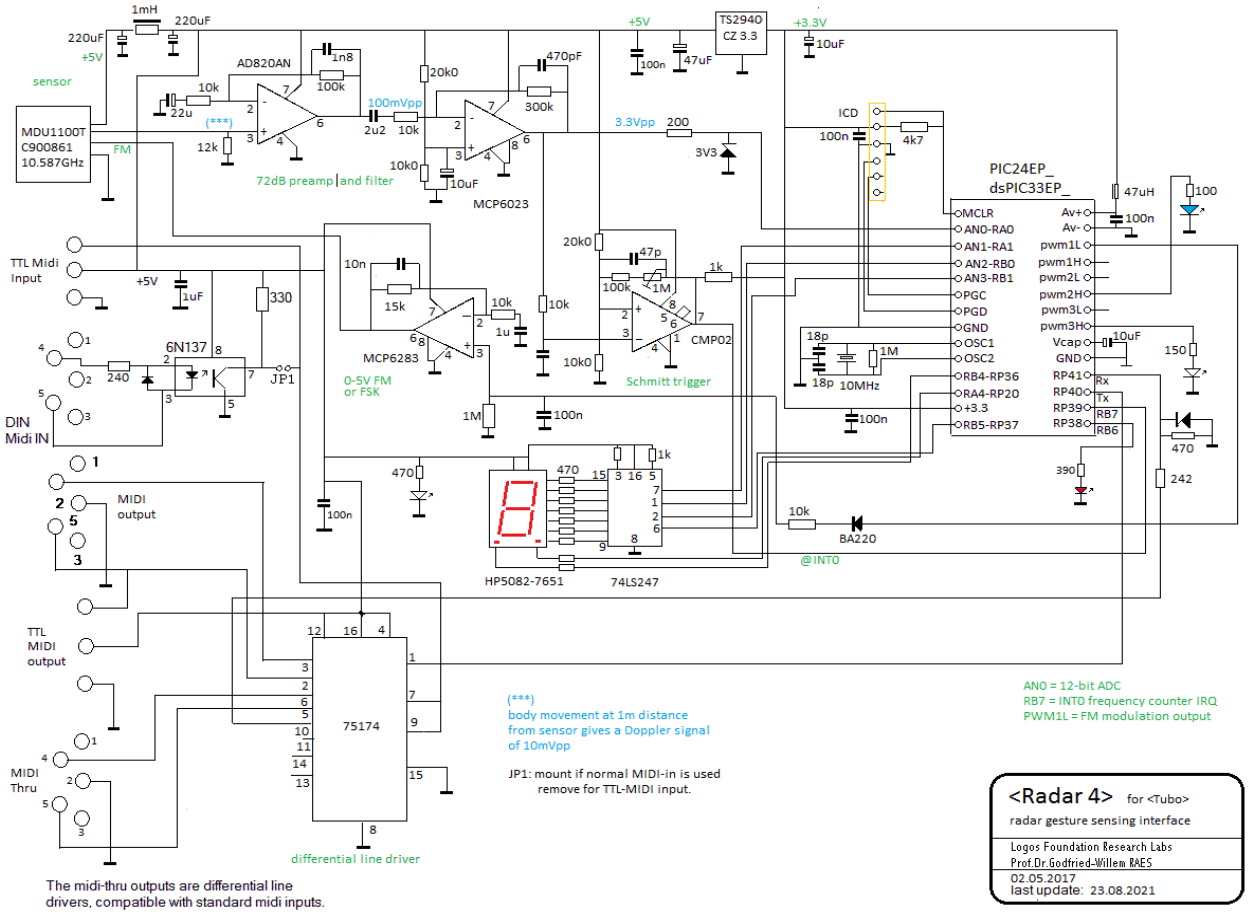


MIDI-hub bord:

Alle hiervoor beschreven schakelingen betrekken hun 5V voedingsspanning uit dit *hub-board* dat tevens ook instaat voor de *parsing* van de ontvangen MIDI commando's. Ook het vermogensrelais en de lampjes krijgen hun besturing vanuit dit bord. De schakeling zelf bespraken we al eerder bij heel wat vroeger gebouwde robots. Hier geven we dan ook geen schema. Ook de diverse schakelingen waaruit de voeding werd opgebouwd bevatten geen bijzonderheden die nadere toelichting zouden kunnen vereisen.

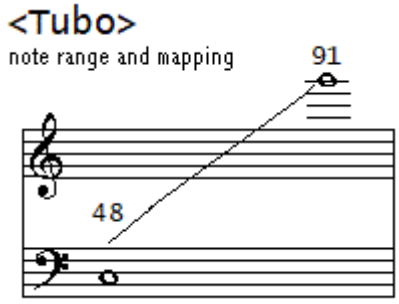
In 2021, naar aanleiding van een opstelling in het Gentse SMAK, voorzagen we de <Tubo> robot van een radar interface, met behulp waarvan de robot nu ook geheel zelfstandig interactief kan spelen. De schakeling van dit radar interface is een verdere ontwikkeling van de ontwerpen dat we bouwden voor de <Aeio> en de <Rodo> robots.

Hier is de schakeling:



Gebruikt in orchestraties voor het robotorkest, vormt <Tubo> heel zeker een beter alternatief voor de klassieke celesta. In een aantal gevallen kan hij ook voor vibrafoon-partijen of partijen voor buisklokken worden ingezet.

<u>Midi implementatie en mapping:</u>



Midi kanaal: 4

Note-off commando's met gebruik van het release byte zijn nodig om genuanceerd met de dempers te kunnen omgaan. Wanneer note-off met release niet kan toegepast worden (meestal te wijten aan beperkingen van sequencer software), kan de demping ook ingesteld worden met controller 25. Het gebruik van note-off is niet verplicht, meer nog note-off kan ook worden gebruikt zonder note-on commando. In dat geval zullen de klankbuizen heel zachtjes bespeeld worden met de dempers en zal de resonantietoon van de luchtkolom in de klankbuis zachtjes hoorbaar worden.

Note On commando's: aanslagsnelheid 32 komt zowat overeen met een muzikaal 'p' (76dBA), een 'f' (90dBA) wordt bereikt met waarde 64; een heus 'ff' (102dBA) krijgen we te horen met waarde 96. De repetitiesnelheid wordt beperkt door de grootte van het velocity byte. Hoe harder we slaan, hoe geringer de repetitiesnelheid. De repetitiesnelheden zijn bovendien ook nog afhankelijkk van de toonhoogte,omdat ze immers beperkt worden door de massa van de ankers.

Controllers:

- Controller 20: vibrato snelheid voor de noten 48 to 65
- Controller 21: vibrato sneheid voor de noten 66 to 91
- Controller 22: vibrato snelheid voor beide motoren
- Controller 25: stuurt de dempingstijd.
- Controller 64: sustain aan/uit schakelaar.
- Controller 66: aan/uit schakelaar
- Controller 123: schakelt alle noten en dempers uit. Stopt de motoren.

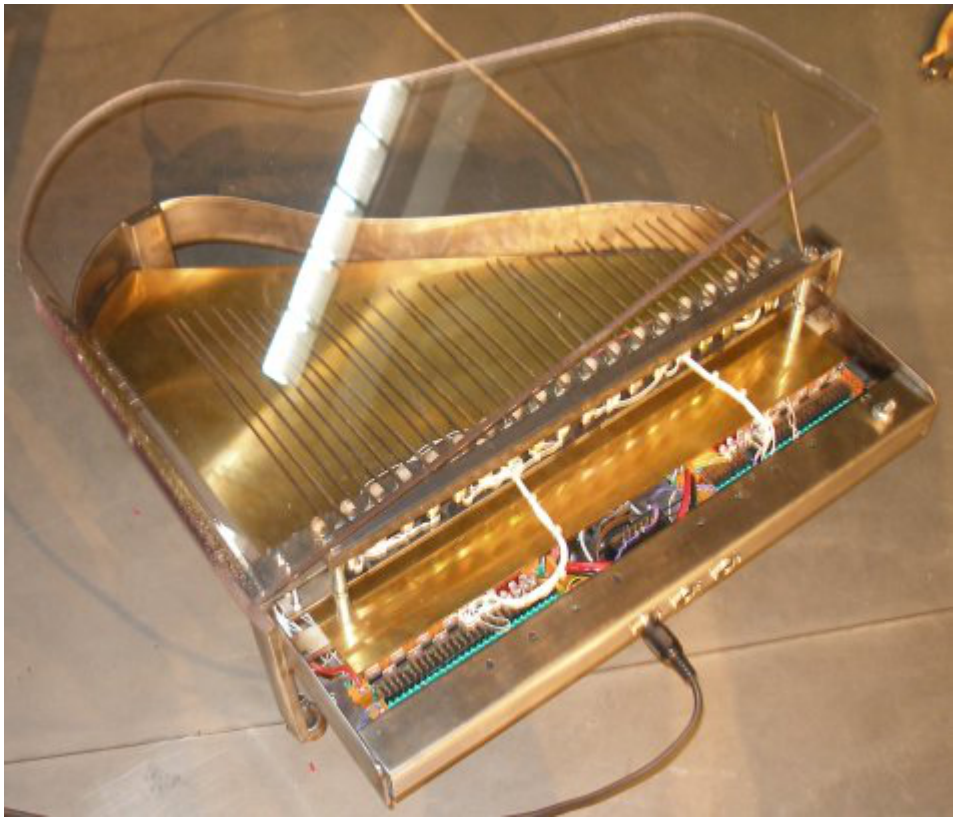
Medewerkers in het atelier:

Lara Van Wynsberghe,Peter De Vlaeminck, Peter Van Lancker, Moniek Darge, Bert Vandekerkhove, Mattias Parent, Emilie De Vlam, Laura Maes, Philippe Druez

Afmetingen & andere technische specificaties:

- maten: hoogte: 1935 mm, breedte: 1272 mm, diepte: 620 mm
- gewicht: 228 kg
- elektrische aansluiting: 230V ac - 500 VA
- bouwjaar: 2019
- Verzekeringswaarde: 56.000 €

<Toypi>



In het bouwen van een automatische speelgoedpiano waren we beslist niet de eerste. Mijn goede vriend en collega robotbouwer Trimpin, was me ruim voor op dit gebied. Mijn eigen ontwerp dat we hier verder toelichten, vertrok evenwel geheel vanaf nul. We begonnen met het geheel demonteren van een 'Antonelli' drie-octaafs speelgoedpiano. Alleen de 'harp' hielden we integraal over uit het origineel instrument. De klankkast en het chassis waren geheel uit plastic en gooiden we in de vuilnisbak. Gezien onze positieve ervaringen met gehard messing als klankbordmateriaal (zie <Aeio>, lag het voor de hand verder te bouwen op de daarbij opgedane ervaring en dus ook hier een hard messing (MS58) klankbord te gebruiken. Deze keer evenwel geen ingeklemd klankbord, maar wel een Chladni plaat met vrije en elastische ophanging. Daardoor kan de resonantietoon van het klankbord heel laag worden gehouden met minimale oppervlakte. Voor de automatisering van de hamertjes gebruikten we aanvankelijk kleine buisvormige trekmagneten voorzien van een terugkeerveer. Dat vergde evenwel nogal wat tussenmechaniek en overbrengingen met alle bijgeluiden van dien, zodat we reeds vrij vroeg in de bouw overschakelden op een aansturing via omgekeerd werkende kleine duwmagneten, voorzien van een houten slagkogeltje. Een bijzonder ontwerpprobleem stelde de bijzonder kleine afstand tussen de toetsen en dus ook tussen de klankstaafjes onderling: ca. 11mm slechts. Hierdoor was het onmogelijk de vele spoelen naast elkaar op te stellen zoals nodig om de staafjes op eenzelfde plek te kunnen aanslaan en zo een voor alle tonen gelijkblijvend timbre te garanderen. De diameter van de kleinst vindbare degelijke elektromagneten is ca. 14mm, wat ons noopte tot een geschrankte opstelling. Het pianochassis volgt grotendeels het model van een grote vleugelpiano maar werd hier helemaal in gelast inox uitgevoerd. Op de plaats waar men normaal het toetsenbord zou verwachten, plaatsten we de beide microcontroller boards voor de automatische besturing. Voor de voeding vonden we een plaatsje onder het messing klankbord. De hele besturingselektronica kan uit het hoofdchassis gegleden worden nadat de vier M4x10 boutjes aan de onderzijde van het 'klavier' zijn losgemaakt. Net zoals

bij een grote piano, steunt ook <Toypi> op drie stevige poten voorzien van (gerecycleerde) stalen wieltjes.

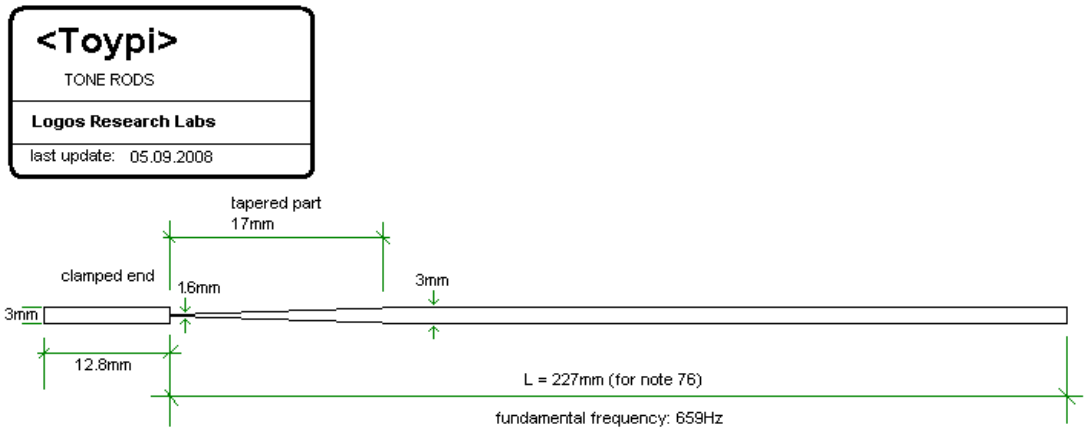
De stemming van speelgoedpiano's is altijd een beetje een heikel punt. In het laagste octaaf klopte de stemming van ons exemplaar vrij goed, maar in het middengebied was ze ongeveer een kwarttoon te hoog. Het bijstemmen van de staafjes is een vrij riskante onderneming, hoewel het principe erg eenvoudig is: om de toon te verhogen moet het staafje gewoon een beetje worden ingekort. Om te verlagen, moet aan het inklempunt in de gietijzeren staaf met een vijltje rondom rond wat materiaal worden weggenomen. Bij de constructie worden de staafjes overigens klem ingedreven in de gietijzeren drager, maar het iets verder indraaien ervan leidt onherroepelijk tot een breuk. Het grote risico is eigenlijk steeds dat de staafjes gemakkelijk afbreken, want aan het inklempunt zijn ze erg dun (ca.1.6mm). Ze zijn bovendien vervaardigd uit gehard staal en dat is van nature uit erg broos. Overigens is de speelgoedpiano nooit helemaal 'goed' te stemmen, en dit vanwege de extreme inharmoniciteit van het voortgebrachte spectrum.

Op het eerste gezicht is het wel wat belachelijk om een automatische speelgoedpiano te bouwen, immers niet alleen kruipt er toch bijzonder veel tijd in de bouw en het ontwerp, maar ook zijn de kosten van zo'n automaat heel snel zowat het honderdvoudige van de kost van een nieuwe speelgoedpiano op zich... Maar, niet alleen bestaat er wel behoorlijk wat eigentijdse literatuur voor het instrumentje, er zijn zelfs solisten die er het grootste deel van hun pianistieke carrière aan gewijd hebben, zoals bvb. de onvolprezen Margareth Leng Tan. John Cage schreef reeds in 1948 zijn 'Suite for toy piano'. George Crumb gebruikt het instrument in 'Ancient voices of Children' uit 1970 en ook Mauricio Kagel, John White, Christopher Hobbs, Karlheinz Essl, Hugh Shrapnel schreven er muziek voor. Vanuit dat perspectief biedt ons automaatje wel degelijk perspectieven, niet in het minst omdat het nu mogelijk wordt om aan de kreupele en praktisch voor normale handen onspeelbaar kleine toetsen en de gebrekkige onbetrouwbare mechaniek helemaal te ontsnappen. Dankzij de automaat is het nu immers mogelijk de speelgoedpiano menselijk te bespelen middels een gewoon aanslaggevoelig klavier! Dat computerbesturing ook mogelijk is ligt daarbij natuurlijk voor de hand. Hierbij kunnen trouwens de meest onwaarschijnlijke klanken aan het instrument worden ontlokt. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk continu aangehouden tonen te spelen, door de repetitie van de noten op te drijven tot 64 en meer aanslagen per seconde. Uiteraard kan dit uitsluitend wanneer heel kleine velocity waarden worden gebruikt.

Berekening en herstelling van de klankstaafjes:

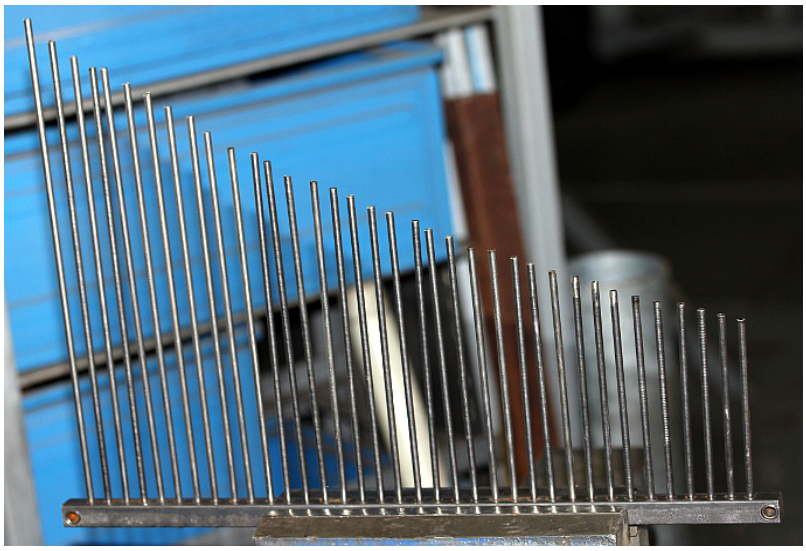
In dit ontwerp gingen we uit van een bestaand speelgoed instrumentje. Daarbij kan het gebeuren -en die kans is zelfs vrij groot- dat we in de loop van het bouwproces een staafje breken. Omdat die taps lopen naar de vierkantige inklemstaaf toe, is de fragiliteit erg groot. De diameter van de staafjes is op die plaats immers gereduceerd tot minder dan anderhalve millimeter. Daarom moeten we ook in staat zijn het mechanisme zelf te herstellen en waar nodig, nieuwe staafjes te monteren. Aangezien de formule voor de grondtoon van een staaf ingeklemd aan een uiteinde $f = (0.5596 / L^2) \sqrt{(Q.k^2 / rho)}$ is, kunnen we alle materiaal en vormconstanten reduceren tot een enkele constante die te bepalen is aan de hand van een gegeven staafje waarvan we juist de trillende lengte moeten meten en de toonhoogte. Voor een gegeven speelgoedpianootje maten we zo voor de noot Mi (midi 76, frequentie 659 Hz), een staaflengte van 227 mm. Hieruit volgt de voor dit instrumentje te gebruiken materiaal-constante als het product $f \times L^2$, in dit geval dus 33.96. Andere staafjes kunnen nu berekend worden uit $L^2 = 33.96 / f$. Het staafje voor de noot Fa (midi 77, frequentie 698 Hz) wordt dan 220 mm lang. Het overeenkomstige staafje in het werkelijke instrumentje bleek na opmeting 218.6 mm lang te zijn, een resultaat dat dus binnen de meetfoutenmarge valt. De moeilijkheid bij het vervangen van een afgebroken staafje bestaat erin eerst en vooral een stukje hard staal te vinden van de juiste diameter. We hebben zelf pogingen gedaan om bij gebrek aan vervangmateriaal inox AISI316 lasstaaf te gebruiken (diameter 3.2 mm), wat op zich goed klinkt maar toch veel minder resoneert dan het originele materiaal. De tweede lastige karwei bestaat in het verwijderen van het

afgebroken uiteinde in het gietijzeren draagstuk. Uitboren is erg moeilijk omdat het staafmateriaal harder is dan het gietijzer, waardoor de boor steeds wegslipt. Uitkloppen met een scherpe drevel levert in onze ervaring nog het zekerste resultaat. Bij het inkloppen van het nieuwe staafje moet het uiteinde wat conisch worden geslepen of gedraaid op de draaibank. Inschroeven kan ook (met een losse boorkop vasthouden) maar dan moet het tapse uiteinde van enkele gangen schroefdraad worden voorzien. Gebruik daarbij alleen de grofste voortap-plaat. Het is uiteraard ook goed mogelijk de gehele staafjes constructie zelf te bouwen. Het ingeklemd deel moet dan met een scherpe platte beitel van enkele diepe inslagen voorzien worden. De staafjes worden dan vanuit de vlakke kant ingebracht en met de hamer aan het uiteinde ingedreven. De gietijzeren balk moet heel stevig in een zware bankschroef worden vastgezet bij deze operatie. Onderstaande schets toont de constructie.

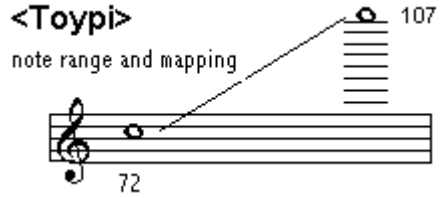


Bij het vervangen van staafjes bevelen we aan het nieuwe staafje steeds iets te lang te dimensioneren. De toon kan immers steeds verhoogd worden door het staafje (goed ingeklemd!) wat af te slijpen. In theorie kan de toon ook verlaagd worden door aan het taps lopend deel wat materiaal weg te nemen. Praktisch werkt dit echter niet, omdat de hele boventoonstructuur van het klinkende staafje dan gaat verschuiven: de grondtoon verlaagt meer dan de boventonen, die uiteindelijk de toonhoogte bepalen zoals we die horen.

Aangezien we ons verplicht zagen heel regelmatig staafjes die afgebroken waren door materiaalmoeheid te vervangen, vervingen we alle originele staafjes door nieuw gemaakte met een diameter van 4 mm en zonder verjonging aan het ingeklemde uiteinde. Dit maakt de klank iets minder briljant, maar de grotere duurzaamheid is nu wel een bonus.



Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 10

Note on, aanslagsnelheid is geïmplementeerd

Note off commando's zijn overbodig.

Hoge repetitiesnelheden mogen alleen gebruikt worden in combinatie met lage aanslagsnelheden.

Program change: Verschillende schalen voor de aanslagsterkte zijn voorzien. Ze kunnen gekozen worden met de programma's 122 to 127. De default is 122, een instelling die snelle repetitiesnelheden met lage aanslagsterktes mogelijk maakt.

Muziek geschreven voor <Toypi>:

- Godfried-Willem Raes, "Schroeders dream", for <Toypi> and performer. (6')
- Sebastian Bradt, "Kallikantzaros" (2'40")
- Hye Kyung Lee, "Dream Play" (No-ri I, II, III, IV)
- Godfried-Willem Raes "Gestrobo study for Toypi"
- Jonas Runa (10/2013)
- Kristof Lauwers 'PicRadar Study for Toypi' (2016)

Technische gegevens:

- maten: breedte: 500 mm, hoogte: 300 mm, lengte: 500 mm
- gewicht: 10 kg.
- Elektrisch: 230 V ac / 250W (IEC connector onderaan!)
- Bouwjaar: 2008
- Verzekerwaarde: 2900 €



'Schroeders Dream' voor altviool en <Toypi>

<Rodo>



Staven ingeklemd aan het ene uiteinde en vrij trillend aan het andere, vormen de geluidsbron in een hele reeks behoorlijk verschillende muziekinstrumenten en klankinstallaties: harmonium, mondharp, bandoneon, accordeon, mondharmonica, melodica, speelgoedpiano, muziekdoosjes met een kam, nagelviool, Fender-Rhodes piano, Waterphone, Harry Bertoia's installaties, Afrikaanse lamellofoon, de gong in horloges, en de lijst is nog lang niet volledig. Vanuit akoestisch oogpunt kunnen we twee types onderscheiden: instrumenten waarbij de grondtoon gebruikt wordt (harmonium, muziekdozen...) enerzijds. Deze instrument zijn allemaal 'toonhoogte'-instrumenten. Anderzijds die instrumenten waarbij de staaf of de tong een breed spectrum aan boventonen laat horen en waarbij gestemd wordt op een heel lage – soms zelfs onhoorbare - resonantiefrequentie. De grondtoon van dergelijke staven is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de lengte:

$$f = \frac{0.5596\ k}{L^2}\sqrt{\frac{Q}{r}}$$

Waarin: f= frequentie in Hz, L= lengte van de staaf, k=diameter van de staaf, Q= elasticiteitsmodulus, r= densiteit van het materiaal. (Olson, p.76)

De <Rodo> robot was ontworpen als een soort veralgemening van de speelgoedpiano <Toypi>. Ook hier immers gebruikten we massieve staven ingeklemd aan een uiteinde in een massieve

gietijzeren staaf. De automatisering van de speelgoedpiano in <Toypi> was erg succesvol gebleken en de bouw ervan bood vele perspectieven voor verdere mogelijkheden.

Daarom besloten we tot een enorme schaalvergroting zodat de tessituur enerzijds een heel stuk lager kon reiken en anderzijds ook de dynamiek veel beter bedeeld zou zijn. Ook wilden we de duurzaamheid verbeteren want op <Toypi> bleken de klankstaafjes toch regelmatig af te breken door materiaalmoeheid wanneer hoge repetitiesnelheden werden gebruikt. Helemaal nieuw was de toevoeging van individuele dempers voor de klankstaven evenals het e-drive mechanisme waarmee lang aangehouden welhaast 'gezongen' klanken mogelijk werden. Last but not least voorzagen we ook in twee ingebouwde radar sensoren waardoor autonome interactieve werking, bestuurd door gebaren tot de mogelijkheden ging behoren.

Bij de aanvang van dit bouwproject deden we heel wat vergelijkende proeven met verschillende metaallegeringen voor de klankstaven: martensisch roestvast staal, gehard koolstofstaal, aluminium, fosfor-brons, aluminium-brons... We voerden zelfs proeven uit met niet-metalen zoals bamboe, rotan en koolstofvezel, maar deze materialen gaven een te klein geluidsvolume en bleken toch ook te fragiel. Beoordelingen van klankkwaliteit in deze zijn uiteraard een nogal subjectieve zaak, omdat er aangezien het om een geheel nieuw instrument gaat, er helemaal geen vaste vergelijkingspunten bestaan. Niettemin besloten we na al deze vergelijkingen te gaan voor het aluminium-brons. De klank ervan is erg rijk hoewel niet zo briljant en luid als staven uit veerstaal. We hadden graag ook proeven uitgevoerd met een berilium-koper legering -de materiaaleigenschappen zagen er bijzonder veelbelovend uit- maar dat bleek niet binnen een redelijke termijn leverbaar te zijn.

<Rodo> ontwierpen we van bij het begin zo dat verschillende stemmingen mogelijk zouden zijn. Daarom pasten we stelschroeven toe voor het vastklemmen van de klankstaven in de gietijzeren drager. In principe is het daardoor ook mogelijk de klankstaven te verwisselen voor staven gemaakt uit andere legeringen zolang de diameter tenminste 8 mm blijft. De 'normale' stemming waarvan we <Rodo> bouwden is de gewone gelijkzwevende 12-toons stemming. De firmware voor de besturing van het e-bow mechanisme is evenwel voorzien voor gebruik in diverse toonsystemen, inclusief juiste boventoonsstemming. Echter, als gevolg van de uitgesproken inharmoniciteit eigen aan staven ingeklemd aan een uiteinde, kan het instrument ook gebruikt worden als 'ongestemd' slagwerk. Wat dat betreft gedraagt het zich zo'n beetje zoals gongs. Volgens de theoretische literatuur inzake akoestiek, ziet de boventoonstructuur van ingeklemde staven er zo uit: (Rayleigh,V1,p.278; Talukdar)

f0 (grondtoon)	1
f1	6.276
f2	17.547
f3	34.155
f4	56.84
f5	84.91

De literatuur geeft nergens waarden voor hogere boventonen dan f5. Bovendien verschillen de factoren nogal wat naargelang de auteur. Wanneer we die factoren wiskundig berekenen beperken we ons veelal tot een model waarin we afzien van de torsie krachten en bewegingen en beschouwen we alleen de laterale vrijheidsgraad van beweging. Om nauwkeurige resultaten te verkrijgen kunnen we er niet onderuit experimenteel en via metingen te werk te gaan.

We zouden geneigd zijn te verwachten dat de door ons oor waargenomen toonhoogte van zulke trillende staven, overeen zouden komen met een van de boventonen zoals hiervoor berekend, maar zelfs dat blijkt alleszins – voor onze staven - helemaal niet het geval.

In de volgende tabel geven we de gemeten frequenties van een enkele bronzen staaf, 8 mm diameter en met een vrij trillende lengte van 961 mm. Een extra lengte van 20 mm is ingeklemd en moet als akoestisch dood worden beschouwd. Deze staaf klonk als een C#3, 20 cents te hoog (139.45 Hz), maar deze toon was helemaal niet terug te vinden in de reeks resonantietonen verkregen bij gedwongen excitatie van de resonantie.

	gemeten	berekend	opmerkingen
f0	5 Hz	4.937 Hz	=MM296, getest door vergelijking met een metronoom ingesteld op MM150
f1	30.86 Hz	30.987 Hz	Welhaast onmeetbaar
f2	86.19 Hz	86,638 Hz	
f3	168.64 Hz	168.64 Hz	Referentietoon gebruikt als optimale overeenkomst met het berekend spectrum.
f4	280.47 Hz	280.647 Hz	Deze frequentie stemt overeen met het octaaf boven de door ons oor waargenomen toonhoogte. (139.45 Hz)
f5	416.00 Hz	419.24 Hz	
f6	581.66 Hz	-	
f7	773.50 Hz	-	
f8	986.80 Hz	-	
f9	1235.57 Hz	-	
f10	1807.5 Hz	-	
f11	2128.27 Hz	-	

De metingen werden uitgevoerd met een elektromagnetische trillingstransducer gestuurd vanuit een Thurlby Thandar TG1006 DDS functie generator voorzien van een 6-digit uitlezing van de frequentie. De resonanties werden bepaald door heel traag een sinus signaal te *sweepen* en fijn af te regelen op resonantie om de pieken in amplitude te kunnen bepalen. Uiteraard hebben we niet nagelaten om te proberen de staaf te exciteren met 139.45 Hz, maar daarbij kregen we als enig resultaat de toonhoogte gegeven in onze tabel voor f4. Het blijkt dat ons oor hier de 'ontbrekende grondtoon' toevoegt. Gelijkaardige verschijnselen deden zich ook al eerder voor bij onze experimenten en metingen met buisklokken. Om onze experimenten af te sluiten ondernamen we nog pogingen om onze teststaaf middels een strijkstok te doen klinken. Ook zo konden we de reeks tonen van f2 tot f9 weervinden al was dat niet steeds even makkelijk noch voorspelbaar.

Uitgaande van deze metingen, schreven we een klein computerprogramma waarmee we nu alle 31 staven konden berekenen voor een waargenomen toonhoogtebereik van C3 (midi noot 48) tot F#5 (midi noot 78).

midi noot	frequentie	lengte	f0	noot0	f1	noot1	f2	noot2	f3	noot3
48	130.8	989.16	4.603		28.89	21.85	80.77	39.65	157.2	51.18
49	138.6	961	4.876		30.6	22.85	85.57	40.65	166.6	52.18
50	146.8	933.64	5.166		32.42	23.85	90.66	41.65	176.5	53.18

51	155.6	907.06	5.474		34.35	24.85	96.05	42.65	187	54.18
52	164.8	881.24	5.799		36.4	25.85	101.8	43.65	198.1	55.18
53	174.6	856.15	6.144		38.56	26.85	107.8	44.65	209.8	56.18
54	185	831.78	6.509		40.85	27.85	114.2	45.65	222.3	57.18
55	196	808.1	6.896		43.28	28.85	121	46.65	235.5	58.18
56	207.6	785.1	7.306		45.86	29.85	128.2	47.65	249.6	59.18
57	220	762.75	7.741		48.58	30.85	135.8	48.65	264.4	60.18
58	233.1	741.03	8.201	0.054	51.47	31.85	143.9	49.65	280.1	61.18
59	246.9	719.94	8.689	1.054	54.53	32.85	152.5	50.65	296.8	62.18
60	261.6	699.44	9.206	2.054	57.77	33.85	161.5	51.65	314.4	63.18
61	277.2	679.53	9.753	3.054	61.21	34.85	171.1	52.65	333.1	64.18
62	293.7	660.18	10.33	4.054	64.85	35.85	181.3	53.65	352.9	65.18
63	311.1	641.39	10.95	5.054	68.71	36.85	192.1	54.65	373.9	66.18
64	329.6	623.13	11.6	6.054	72.79	37.85	203.5	55.65	396.1	67.18
65	349.2	605.39	12.29	7.054	77.12	38.85	215.6	56.65	419.7	68.18
66	370	588.16	13.02	8.054	81.71	39.85	228.4	57.65	444.6	69.18
67	392	571.41	13.79	9.054	86.56	40.85	242	58.65	471.1	70.18
68	415.3	555.15	14.61	10.05	91.71	41.85	256.4	59.65	499.1	71.18
69	440	539.34	15.48	11.05	97.16	42.85	271.7	60.65	528.8	72.18
70	466.2	523.99	16.4	12.05	102.9	43.85	287.8	61.65	560.2	73.18
71	493.9	509.07	17.38	13.05	109.1	44.85	304.9	62.65	593.5	74.18
72	523.2	494.58	18.41	14.05	115.5	45.85	323.1	63.65	628.8	75.18
73	554.4	480.5	19.51	15.05	122.4	46.85	342.3	64.65	666.2	76.18
74	587.3	466.82	20.67	16.05	129.7	47.85	362.6	65.65	705.8	77.18
75	622.2	453.53	21.89	17.05	137.4	48.85	384.2	66.65	747.8	78.18
76	659.2	440.62	23.2	18.05	145.6	49.85	407	67.65	792.3	79.18
77	698.4	428.08	24.58	19.05	154.2	50.85	431.2	68.65	839.4	80.18
78	740	415.89	26.04	20.05	163.4	51.85	456.9	69.65	889.3	81.18

De ontbrekende midi noot nummers in de noot0 kolom ontbreken omdat ze niet als midi noot kunnen weergegeven worden. Bovendien zal het duidelijk zijn dat die ook niet als toonhoogte kunnen waargenomen worden. Om die frequentie te meten moeten we gebruik maken van een gekalibreerde stroboscoop. De noten overkomend met de boventonen, geven we weer als rationale getallen, waarbij het gehele deel overeenkomt met de midi noot en het deel achter de komma, met de verhoging in cent.

Om de staven aan te slaan gebruikten we duw elektromagneten met een conisch anker van de firma Kuhnke. Het type HM157 heeft een anker met een massa van slechts 8 g. De werkspanning bij een 100% duty cycle is 24 V. Bij deze spanning is de aanslagduur, voor een traject van 5 mm 34 ms. Behoorlijk traag dus. Het datablad specificeert:

duty cycle	vermogen	Tijd voor 5 mm beweging	kracht	spanning
100%	2.8 W	34 ms	1 N	24 V

70%	4.3 W		1.5 N	30 V
45%	6.5 W		2 N	36 V
25%	10 W		2.5 N	45 V
15%	18 W		3 N	60 V
5%	5 2W	8 ms	5 N	103 V

De weerstand van de wikkeling is 206 Ω. We besloten de spoelen te laten werken op een spanning van 60 V waarbij we de duty cycle beperkten tot 15%. Omwille van die beperking dienden we de toelaatbare herhalingssnelheid bij volle kracht te beperken tot ca. 15 aanslagen per seconde. Op grond hiervan kunnen we dan het noodzakelijke vermogen van de voeding berekenen voor 31 elektromagneten: 18 W * 31 * 0.15 = 84 W. Met een standaard 48V transformator met een vermogen van 100 W komen we dus goed terecht, aangezien die na gelijkrichting en afvlakking een gelijkspanning zal leveren van onbelast 65 V, zakkend tot 48 V bij volle belasting. Door de bedrijfsspanning te verhogen kunnen we de reactiesnelheid aanzienlijk verhogen, maar toch moeten we steeds goed voor ogen houden dat ook de terugvaltijd een beperking insluit. Immers, gesteld dat het bewegingstraject 5 mm is, dan is de valtijd t = SQR(0.005/4.9) = 32 ms. Zo bekeken wordt de aanslag plus terugvaltijd dan minimaal 40 ms wat ons als hoogst mogelijke repetitiesnelheid 25 Hz oplevert. In de praktijk zijn echter hogere repetitiesnelheden perfect mogelijk, maar dan wel ten koste van aanslagsterkte. Immers bij hogere snelheden zullen de ankers niet de tijd hebben om volledig terug te vallen, waardoor het traject dus kleiner kan worden en de snelheid navenant weer groter.

De massa van de langste klankstaaf is ca. 400 g, bijgevolg moet de aanslagkracht voor een goede klank ergens tussen 0.39 N en 0.78 N liggen. In <Rodo> worden deze waarden bereikt met een MIDI velocity instelling van ca. 80.

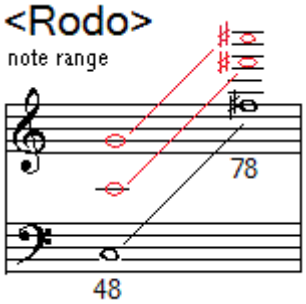
Een nieuwigheid in deze <Rodo> robot, vergeleken bij <Toypi> is gelegen in het speciaal ontworpen feedback en e-bow mechanisme. Daarvoor bouwden we een 100 W sterke elektromagneet op heel korte afstand (minder dan 0.1 mm) van de onderzijde van de gietijzeren klankstaafdrager. Deze elektromagneet sturen we aan het een hoge spanning gestuurd door een Microchip 24EP128MC202 microprocessor. Het ingangssignaal voor de vermogenstrap kan nu hetzij afkomstig zijn van een signaal opgepikt door een piëzo-transducer gemonteerd op het piepschuim klankbord, hetzij een door de processor gegenereerd signaal dat onder MIDI-besturing geïnjecteerd wordt. Dit mechanisme laat toe gestreken en aangehouden klanken voort te brengen die zelfs veel weg hebben van normale strijkersklanken. De aanspreeksnelheid is evenwel traag wat veroorzaakt wordt door de grote inertie van de hele massa van de klankstaven en de gietijzeren draagbalk.

Een ander substantiële verbetering tegenover <Toypi>, is gelegen in de aanwezigheid van een gesofistikeerd dempersysteem. Elke klankstaaf heeft een eigen demper, gemonteerd precies boven de plaats waar de staven worden aangeslagen. De duur van het demper is perfect programmeerbaar via het release byte van het *note-off* commando in MIDI. Voor de bouw van het dempermechanisme hadden we elektromagneten nodig die behoorlijk wat meer kracht konden lever dan degene die we gebruikten voor de hamertjes. We kozen na wat testen, buisvormige elektromagneten van Lucas-Ledex, maar door die keuze en de montage aan de bovenkant, hadden we ook behoefte aan terugkeerveren. Die berekenden we zo, dat in rust de dempers net geen contact maken met de klankstaven. De veren monteerden we aan de buitenkant van het anker bovenop de magneten. Omdat de ankers in rust vrij hangen in de spoelhouder, kleeft aan deze constructie het bezwaar dat bij bepaalde toonhoogtes en geluidsterktes resonanties kunnen optreden met een rammelend bijgeluid voor gevolg.

Een laatste speciale eigenschap van deze <Rodo> robot is dat hij werd uitgerust met een ingenieus systeem voor bewegingsherkenning. Daartoe werd hij uitgerust met twee ingebouwde microgolf radar systemen. Deze maken gebruik van de draaggolffrequentie van 10.587 Ghz (X-band) en laten toe bewegingen te detecteren tot op tien meter afstand van de robot. Zowel de bewegingshoeveelheid als de snelheid, de versnelling en de richting van de beweging kunnen gedetecteerd worden. Zolang de robot bij het opstarten geen MIDI signalen aangeboden krijgt, zal hij als autonome interactieve robot aan de slag gaan. De parameters van de interactieve modus kunnen uiteraard ook via MIDI commando's gewijzigd worden.

<Rodo> was gedurende een maand als zelfstandige robot actief in het Gentse SMAK in september 2021.

Midi implementatie en mapping:



Midi kanaal: 7

Note off: bestuurt de dempers op de klankstaven, wanneer sustain is uitgeschakeld. Wanneer het release byte nul is, maakt de robot gebruik van de dempertijd zoals ingesteld met controller 14. Waarde 127 houdt de demper aangedrukt tot een nieuwe noot-aan wordt ontvangen. Waarden tussen 1 en 126 bepalen de dempertijd. Het is mogelijk de staven heel zacht aan te slaan, door alleen *note-off* commando's te gebruiken. De dempers dienen dan als kloppers.

Note on: Het velo-byte stuurt de kracht van de aanslag. Voor hoge repetitiesnelheden moeten kleine waarden gebruikt worden.

Controllers:

- #1: e-drive jitter
- #2: e-drive *duty cycle*
- #3: e-bow on/off schakelaar . Default = 0, off.
- #4: e-bow feedback mode switch. Default = 0, off
- #5: e-bow noot injectie modus schakelaar. Default = 0, off
- #6: e-bow noten bestuurd door note-on/off commando's dan wel *key pressure* commando's. Default = 0: note on/off bestuurt de ebow.
- #7: e-drive amplitude voor de e-drive injectie modus. Default = 64
- #11: volume regeling voor de feedback mode. Controller #4 moet ON zijn opdat dit zou werken. Default = 0
- #14: default demper houdtijd. Het regelbereik is is 6 ms to 747 ms.
- #15: alle dempers aan/uit schakelaar.
- #16: indien 0, zal elk *note-on* commando de dempers vrijmaken. Zoniet, ontstaat de mogelijkheid de staven te bespelen met de dempers tegen de staven aangedrukt.
- #17, 18,. 19: ADSR controllers voor de via e-bow gestuurde klanken.
- #64: *Sustain on/off*

•#65: Interactieve modus aan/uit schakelaar.
•#66: Aan/uit schakelaar voor de robot.
•#70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77: controllers waarmee het ingebouwde radar systeem voor patroonherkenning in bewegingen en gebaren kan worden bestuurd.
•#123: schakelt alle noten, dempers en lichten uit, zonder controller reset.

Pitch bend: hiermee kan de toonhoogte van het e-bow mechanisme gestuurd worden, op voorwaarde dat controller 3 is ingeschakeld. Het *pitch-bend* bereik is een kwarttoon omhoog of omlaag.

Program change: Kan gebruikt worden om de stemming van de geïnjecteerde noten te wijzigen. Bij instelling 0 hebben we de gewone gelijkzwevende stemming. Bij de waarden 12 tot 23, selecteren we juiste boventoonsstemmingen gebaseerd op de grondnoten C tot B.

Key pressure: als controllers #3 , #5 en #6 ingeschakeld zijn kan dit commando gebruikt worden om tonen de laten klinken met het e-bow mechanisme, onafhankelijk van de kloppertjes. Het tessituurbereik is hier groter: 48 to 97 maar wel beperkt tot monofonie. *Key pressure* sturen met waarde nul, schakelt de e-bow toon uit.

Medewerkers bij bouw en ontwikkeling van de <Rodo> robot:

•Mattias Parent, Moniek Darge, Laura Maes, Sebastian Bradt. Xavier Verhelst, Tim Deurinck, Johannes Taelman, Kristof Lauwers, Lara Van Wynsberghe, Emilie De Vlam

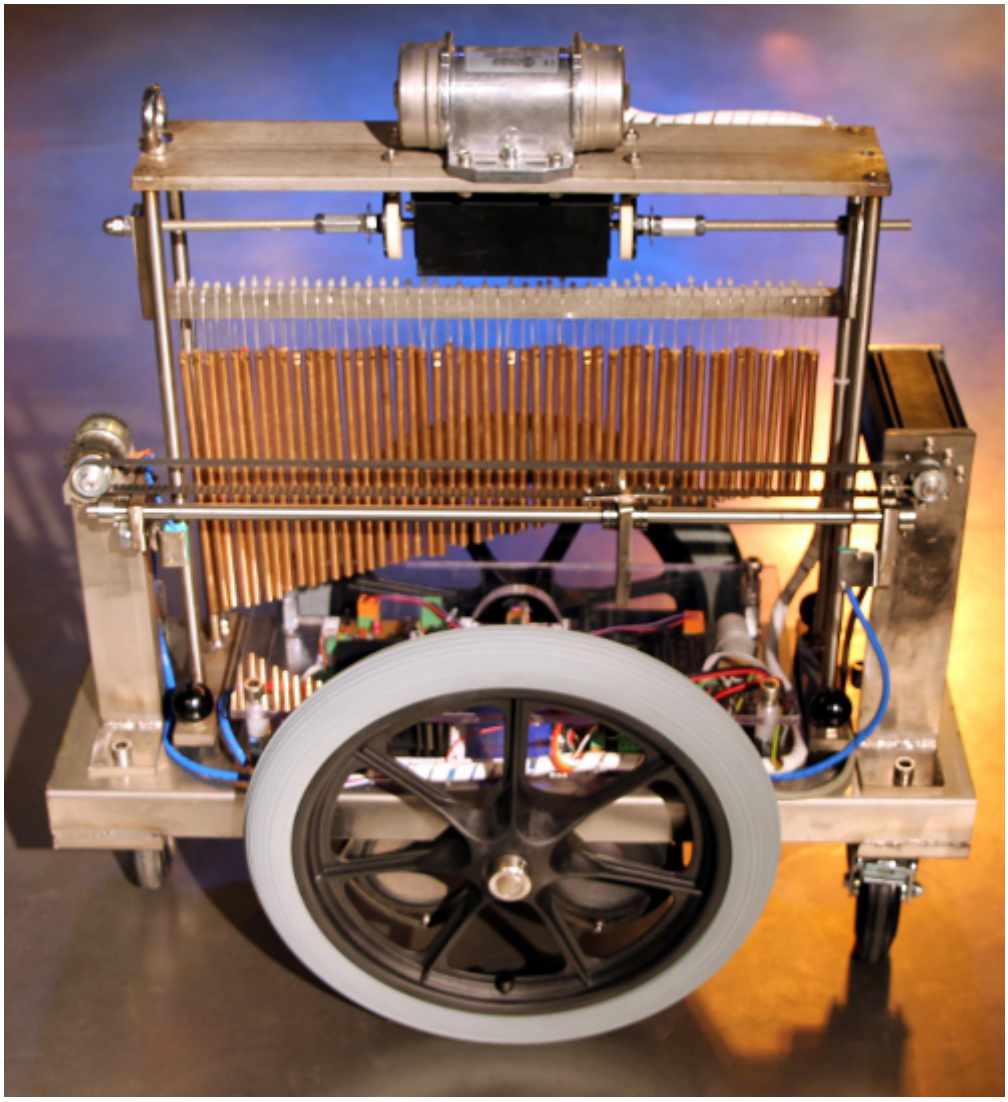
Muziek geschreven voor <Rodo>:

•Godfried-Willem Raes: Namuda Study #44, "Rods for Rodo" (2014)
•Lara Van Wynsberghe: 'Kutstuk' (2016) (voor Marijs Boulogne en Emilie De Vlam).
•Godfried-Willem Raes: "RadaRodo" (2017), embedded interactieve compositie.
•Kristof Lauwers: Study #23 for Rodo (2017)

Technische specificaties:

•maten: 1200 mm x 1040 mm x 900 mm
•gewicht: 65 kg
•elektrisch: 235 V / 220 VA
•Radar frequentie: 10.587 GHz (regelbaar: 10.5855 GHz to 10.5885 GHz)
•Radar bereik: <= 10 m , 180 graden in een horizontaal vlak.
•Luidheid: 20dBA to 86dBA
•bouwjaar: 2013
•verzekerwaarde: 14.500 €

<Chi>



Orkest chimes zijn een betrekkelijk nieuwe aanwinst in de slagwerksectie van het traditionele symfonieorkest. Slechts sedert de vroege jaren '70 van vorige eeuw gingen ze behoren tot het standaard instrumentarium. Meestal worden ze gemaakt van massieve aluminium staafjes met een diameter tussen de 6 en 8 mm. Het aantal staafjes varieert tussen de 28 en 42.

Toe we aan de bouw van een dergelijk geautomatiseerd instrument begonnen, namen we ons voor uitsluitend gebruik, te maken van materialen die we nog op voorraad liggen hadden. Immers we hadden zwaar de leiden onder het volledig wegvallen van alle subsidiëring voor ons onderzoek naar nieuwe expressiemiddelen voor nieuwe muziek. In de loop der jaren hadden reactionaire postmodernisten zwaar besmet met het woke virus, immers zowat alle plaatsen ingenomen in de ministeriële adviescommissies en daarbij waren wij, als avant-garde instelling met een lange staat van dienst, helemaal persona non grata geworden. We werden gecanceld en moesten het dus voortaan zo goed als zonder fondsen zien te beredderen.

Vanuit akoestisch opzicht, gedragen orkest chimes zich als volledig vrij trillende staven. Voor ons robot exemplaar kozen we brons, niet alleen omdat we het op voorraad hadden, maar bovendien ook omwille van de heldere toon en het spectrum dat tot ver in het ultrasone bleek door te lopen. De

grondtoon van dergelijke vrije staafjes is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de lengte, in een formule ziet het er uit als volgt:

$$f = \frac{1.133\ \pi\ k}{L^2}\sqrt{\frac{Q}{r}}$$

Waarbij: f= frequentie van de grondtoon in Hz, L= lengte van de staaf, k=diameter, Q= elasticiteitsmodulus , r= densiteit van het materiaal. (Olson, p.77). De boventoonreeks is ook hier een inharmonische reeks, in de literatuur gegeven als:

- f1 = 2.756 f0
- f2 = 5.404 f0
- f3 = 8.933 f0

In onze <Chi> robot kan de excitatie van de staafjes op drie verschillende wijze plaatsvinden:

- 1.- door de gehele opgehangen constructie van links naar rechts te schudden. Dit realiseerden we met een zware bidirectionele elektromagneet.
- 2.- door het geheel te laten trillen, naar voor en naar achter, middels een gemotoriseerde vibrator. Dit levert een bijzonder rijk geluid op.
- 3.- door de staafjes door een bewegend staafje aan te strijken van links naar rechts en omgekeerd. Daarvoor voegden we een servomotor toe om een programmeerbare lineaire beweging te verkrijgen. Dit levert het voor de chimes traditionele glissando effect op.

Al deze excitatiewijzen kunnen vrijelijk gecombineerd worden.
Voor de lineaire beweging gebruikten we een 24 V Dunkermotor BG65x50SI. Het normale toerental is 3090 rpm, wat indien we de motor een M10 schroefdraadstang zouden laten aandrijven, een veel te trage beweging zou opleveren: ca. 10 seconden voor het hele traject. Daarom besloten we een tandriem te gebruiken en het aanslagstaafje op een slede te laten voortbewegen. Op de uiteinden monteerden we nabijheidssensors. Waardoor kalibratie geautomatiseerd kon verlopen. De motor kan nu volledig geprogrammeerd van links naar rechts bewegen en zich daarbij ook beperken tot een willekeurig stukje van het hele traject.

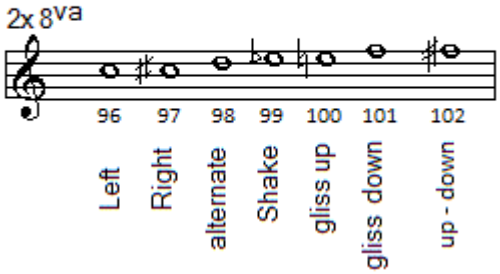
Naar analogie naar wat we inbouwden in onze <Tinti> robot, maakten we ook hier gebruik van de mogelijkheden geboden door de ultrasone eigenschappen van de gebruikte staafjes. Uit metingen van de geluidsdruk in de frequentieband tussen 25 en 35 kHz, konden we gemakkelijk 114 dBC meten. Weze hierbij opgemerkt dat de gebruikelijke dBA schaal hier volstrekt onbruikbaar is, aangezien die zich beperkt tot wat door het menselijk oor hoorbaar is. Om dat ultrasone spectrum naar het hoorbaar bereik te transformeren, maakten we gebruik van onze schakelingen ontwikkeld voor de bouw van ons onzichtbaar muziekinstrument. Hierdoor kunnen de resulterende klanken ook via bewegingen gemoduleerd worden. Iets magisch heeft het op die manier zeker en vast.

Het achterliggende idee mag dan wel gelijkaardig zijn als wat we deden voor <Tinti>, de uitwerking verliep toch wel substantieel verschillend: hier immers gebruikten we een PIC microprocessor als programmeerbare ultrasoongenerator in het frequentiegebied van 16 kHz tot 38kHz. Die draaggolf kan in frequentie gemoduleerd worden en ook de amplitude is bestuurbaar gemaakt. Anders dan bij <Tinti>, wordt ze hier echter niet als akoestische golf uitgezonden maar wel rechtstreeks naar het analoge computerbord gevoerd waar de demodulatie plaatsvindt. Het resulterend akoestisch geluid wordt hoorbaar gemaakt via een paar ingebouwde luidsprekertjes. Via modulatie van de draaggolf is het nu mogelijk *pitch-shifts* van de chime geluiden te realiseren.

Omdat hier gebruik wordt gemaakt van ultrasonen, is het gebruik in combinatie met op ultrasoon gebaseerde versies van ons onzichtbaar muziekinstrument niet altijd mogelijk. Combinaties met onze radar sensoren leveren echter geen problemen op.

Midi mapping en implementatie:

<Chi> note range



Midi kanaal: 9

- De bewegingen van de motor werden gemapt op midi noten 96 tot 98 en 100 tot 102.
- De vibrator is gemapt op noot 99.
- Noot 103 activeert het afremmechanisme.

Controller 7: Volume controle voor het ultrasoongedeelte.
Controller 8: Amplitude van de ultrasone draaggolf.
Controller 30: stuurt de repetitiesnelheid voor alle componenten waarvoor dat relevant is.
Controller 31: kan gebruikt worden om de frequentie-verschuiving via de draaggolf in chromatische stappen te besturen als volgt:

waarde	basis frequentie	midi noot	Noot naam
< 39	21096 Hz	n.v.t.	E
39	2489 Hz	99	Eb
40	2637 Hz	100	E
41	2794 Hz	101	F
42	2960 Hz	102	F#
43	3136 Hz	103	G
44	3322 Hz	104	G#
45	3520 Hz	105	A
46	3729 Hz	106	Bb
47	3951 Hz	107	B
48	4186 Hz	108	C
49	4435 Hz	109	C#
50	4698 Hz	110	D
51	4978 Hz	111	Eb
52	5274 Hz	112	E
53	5587 Hz	113	F
54	5920 Hz	114	F#
55	6272 Hz	115	G
56	6644 Hz	116	G#
57	7040 Hz	117	A
58	7458 Hz	118	Bb
59	7902 Hz	119	B

60	8372 Hz	120	C
61	8870 Hz	121	C#
62	9397 Hz	122	D
63	9956 Hz	123	Eb
64	10548 Hz	124	E
65	11175 Hz	125	F
66	11840 Hz	126	F#
67	12544 Hz	127	G
68	13289 Hz	n.v.t.	G#
69	14080 Hz	n.v.t.	A
70	14917 Hz	n.v.t.	Bb
71	15804 Hz	n.v.t.	B
72	16744 Hz	n.v.t.	C
73	17739 Hz	n.v.t.	C#
74	18794 Hz	n.v.t.	D
75	19912 Hz	n.v.t.	Eb
76	21096 Hz	n.v.t.	E
>76	21096 Hz	n.v.t.	E

Controller 65: Waarde nul schakelt de luidsprekers volledig uit.
Controller 66: Robot aan/uit schakelaar.
Controller 74: brengt de slede volledig naar links.
Controller 75: brengt de slede volledig naar rechts.
Controller 76: regelt de versnelling van de motor.
Controller 123: schakelt alle noten en motoren uit.
Pitch bend: gebruikt om de frequentie van de ultrasoon generator te moduleren.

Medewerkers aan de bouw van <Chi>:

- Mattias Parent

Technische gegevens:

- afmetingen: breedte 560 mm, hoogte 500 mm, diepte 200 mm
- gewicht: 40 kg
- elektrisch: 230 V ac / 165 W (piek, bij normaal spel < 50 W)
- luidheid: <=98dBA op 1m afstand.
- Bouwjaar: 2016
- Verzekerwaarde: 11.500 €

<Belly>



Belly is een automatische computergestuurde ongestemde beiaard. Hij bestaat uit 34 klokken uit messing, signaalklokken dus en geen beiaardklokken. Naar vorm zijn ze niet verschillend van beiaardklokken: ze hebben eveneens de welbekende 'gotische rib'. Dit is het soort klok dat gebruikt wordt als scheepsklok, handklok, alarmklok en soortgelijke signaleringsfuncties. Deze soort klokken hebben veel sterker uitgesproken non-harmonisch spectrum, waardoor ze als 'onstembaar' worden beschouwd. Dit neemt natuurlijk niet weg dat ze wel degelijk een goed onderscheidbare luidtoon hebben en dat we ze in ons project ook wel degelijk naar toonhoogte hebben opgehangen. Ze vormen een reeks binnen een interval van drie octaven. De klokken zijn onderling heterogeen: ze zijn gegoten in heel wat verschillende gieterijen en ook hun leeftijd varieert van nieuw tot vroeg 19e eeuws. Daardoor is de grootste en zwaarste klok niet automatisch ook de laagste klok van de reeks. De toonhoogte van een klok hangt immers ook af van de dikte waarmee ze werden gegoten. Een uit dunner materiaal gegoten klok zal lager klinken dan een even grote klok met een grotere massa.

Daartegenover staat dan weer, dat naarmate de klok dikker wordt gegoten ze ook luider zal kunnen klinken.

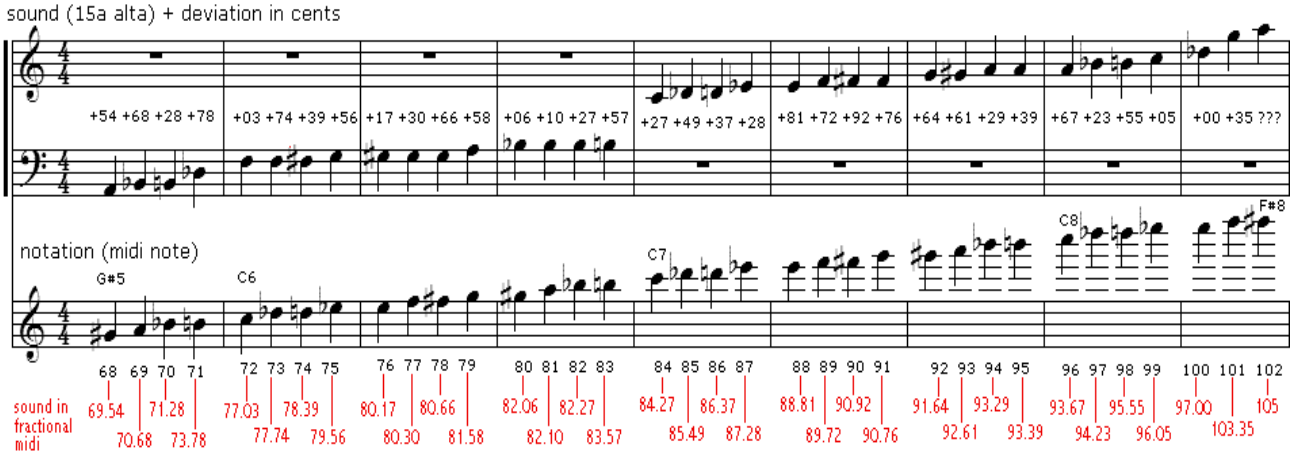
Heel wat van de klokken in deze automaat zijn afkomstig uit schenkingen en bijdragen van beschermers. Bij de bouw lanceerden we immers een oproep om klokken voor onze kleine beiaard te doneren, hiermee aansluitend bij een aloude traditie eigen aan de beiaarden in Vlaanderen.



De klepels werden zorgvuldig individueel gekalibreerd en hebben een massa variërend tussen 10% en 20% van de massa van de klok waarvoor ze zijn bedoeld. De klepels worden aangedreven door overeenkomstig hun massa aangepaste elektromagneten die een pulsbreedte gemoduleerd signaal toegevoerd krijgen. Hoe langer de bekrachtigingspuls duurt, hoe groter de energie waarmee de klok wordt aangeslagen. Daardoor wordt het mogelijk het instrument met dynamische schakeringen aan te sturen en te bespelen.
<Belly> werd in de eerste versie uit 2002 bespeeld via een eigen laptop computer, maar deze kwam te vervallen bij de grondige vernieuwing van de hardware zoals die werd doorgevoerd in 2006. Sedertdien kan <Belly> dus rechtstreeks met midi commando's worden aangestuurd en bespeeld. Bij deze ombouw voorzagen we meteen ook in een ingebouwde video-camera waarvan het signaal op een BNC uitgang ter beschikking staat. Deze camera kan worden geschakeld via midi controller 67.

Midi mapping en implementatie:

De mapping van de midi noten op de klokken en hun toonhoogtes ziet eruit als volgt:



Atelier medewerkers:

•Bert Vandekerkhove, Moniek Darge, Leonaar Degraeve, Xavier Verhelst, Kristof Lauwers, Johannes Taelman

Afmetingen & andere technische specifikaties:

•afmetingen: hoogte: 1390mm, breedte: 1100mm (gemeten met de wielen naar binnen gedraaid).
•Gewicht: 150 kg
•maximale geluidsdruk: ca. 102 dBA (op 1 meter afstand, in fortissimo)
•elektrische aansluiting: 230V ac - 350Watt.
•Bouwjaar: 2002
Verzekeringswaarde: 12.000 €.

<Bello>



Deze robot behoort tot de reeks automaten gemaakt om authentieke uitvoeringen van George Antheil's 'Ballet mecanique' mogelijk te maken. Voor dat stuk zijn immers drie vliegtuigpropellers, sirenes, een hele reeks playerpiano's en ook elektrische bellen nodig. De <Bello> robot omvat dan ook alle elektrische bellen zoals voorgeschreven in de originele partituur. Maar van zodra we eraan begonnen, kwam het ons voor dat het nuttig zou zijn het opzet te verruimen door elektrische bellen in de machine op te nemen zo dat een ruime tessituur gedekt kan worden. Op zich is het ontwerpen van een automaat met elektrische bellen natuurlijk gesneden koek en bovendien hadden we al in 1972 eens een volautomatische componeer-machine met elektrische bellen gebouwd ('Bellenorgel').

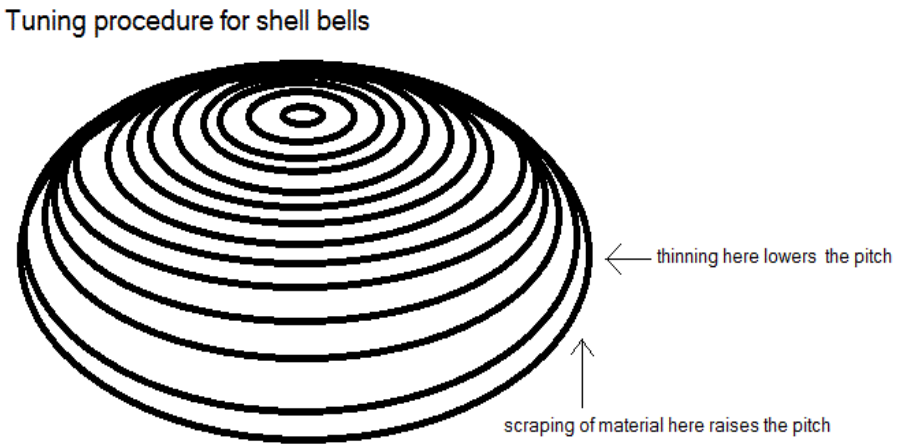


Die machine was weliswaar programmeerbaar, maar werkte alleen met relais en stappenschakelaars uit telefooncentrales. Laat staan dat er MIDI aan te pas zou komen...

De eerste taak bestond er nu natuurlijk in, zoveel mogelijk verschillende elektrische bellen te verzamelen en waar mogelijk te stemmen. Wat Antheil betreft botsen we al meteen op een dubbelzinnigheid: de uitgever vermeld in de inleiding van de partituur dat er zeven verschillende bellen nodig zijn, maar aandachtige lezing van de partituur zelf onthult dat deze meer dan zeven verschillende toonhoogtes voorschrijft. De in de partituur voorkomende noten zijn, in MIDI: 69, 73,76, 77,78,79,80, 81, 82, 83. Tien bellen dus! Geschikte industriële bellen vinden met die precieze toonhoogten bleek niet zo simpel. We vroegen en kregen een hele lading afgedankte bellen van de spoorwegmaatschappij (Infrabel) gemaakt door Funke en Friedland, maar deze hebben een mechanisme dat bij bekrachtiging met stroom een veer opspant en bij het uitschakelen van de stroom de veer laat terugspringen met het eraan bevestigde anker. Dat heeft nogal wat



consequenties voor de aansturing van dergelijke bellen. Wanneer de pulsduur groter zou worden van 10 ms, krijgen we af te rekenen met een hoorbare vertraging (latency). Het stemmen van de bellen zelf konden we doen met een stevige kolomboor en een vastgeklemde metaalvijl. Het ideale werktuig daarvoor is eigenlijk een verticale draaibank, maar zoiets hebben we niet in onze werkplaats. De stemprocedure gaat zoals geschetst in deze tekening:



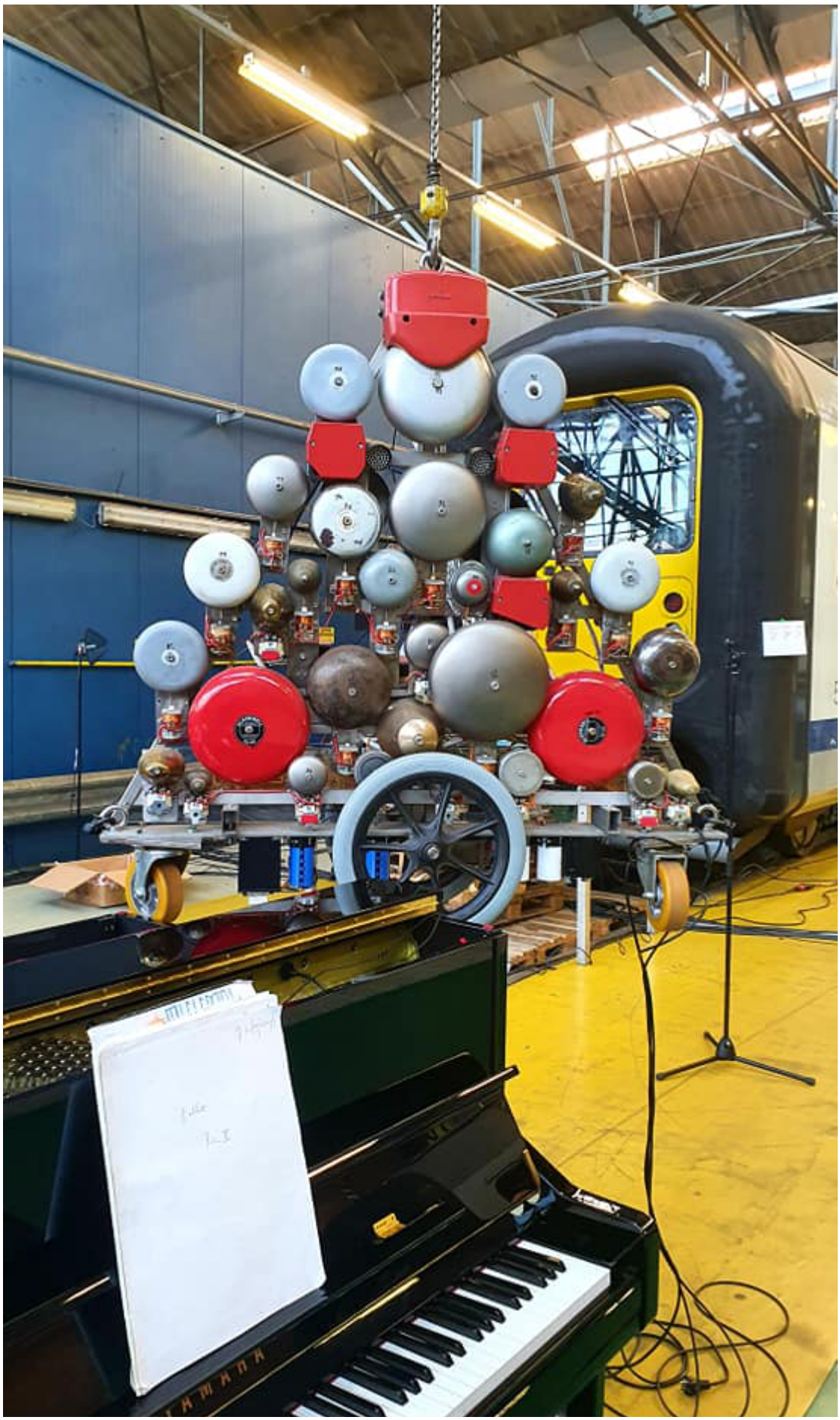
Het bereik waarbinnen stemmen mogelijk is is evenwel eerder beperkt. De toon verlagen kan tot zowat een halve toon. Daaronder begint de geluidsterkte sterk af te nemen omdat het materiaal te dun wordt. De toon verhogen kan tot en met een kleine terts. Pogingen om via lassen de stemming te wijzigen liepen steeds faliekant af: het proces vervormt de bel en neemt alle resonantie weg.

Schakeltechnisch en softwarematig gezien, kregen we bij de bouw van <Bello> met geen niet eerder al opgeloste moeilijkheden af te rekenen. We gaan er hier dan ook niet verder op ingaan.

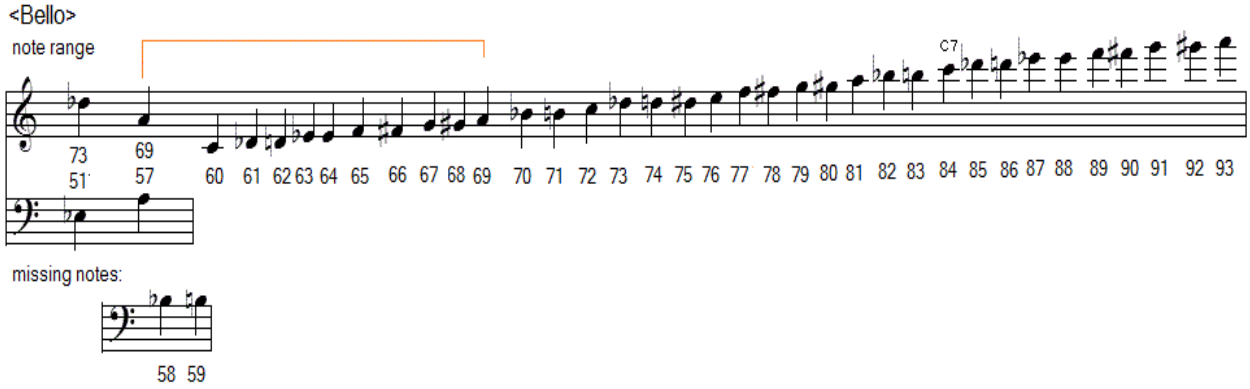
De uiteindelijke tessituur vertoont enkele gaten. Wanneer we – of diegenen die na ons komen - later ooit op bellen met de ontbrekende tonen stoten, kunnen die eenvoudig worden toegevoegd. De firmware is erop voorzien. Sommige toonhoogten hadden we beslist nodig en konden we niet vinden. Daardoor namen we onze toevlucht tot een kunstgreep: we vervaardigden bellen voor de noten 62, 63 en 66 uit stukken U-vormig staalprofiel dat we stemden op de gewenste tonen. De klankkleur van deze 'bellen' wijkt wel wat af van gewone bellen, maar homogeniteit van klankkleur was voor deze robot sowieso geen haalbare kaart en bovendien, niet eens wenselijk. Componisten die met het robotorkest aan de slag willen kunnen trouwens ook steeds gebruik maken van de lagere bellen die terug te vinden zijn in de <Llor> robot. Ook <Harma> beschikt over een bel voor de F# (noot 66).
Een bijzonderheid van de <Bello> robot is dat we voor elke bel afzonderlijk repetitiesnelheden implementeerden. Deze zijn eenvoudig te bepalen via het MIDI toetsdruk (*key-pressure)* commando.
Bij toetsdruk = 1 is de repetitiesnelheid precies 1 aanslag per seconde (1Hz) en bij de hoogst mogelijke waarde, 127 is ze 60 Hz. Die laatste waarde is niet toevallig gekozen, maar stemt overeen met het rateltempo van een Amerikaanse alarmbel. De netfrequentie is er immers 60 Hz. Gewone deurbellen, gebouwd voor AC/DC gebruik, hebben een stroomonderbrekingsmechanisme met een bladveer. Oude exemplaren hebben repetitiesnelheden tot zelfs minder dan 4 Hz. Moderne bouwsels – veel lichter gebouwd - rinkelen heel wat sneller.

Het is van groot belang de aanslagsterktes te verminderen naarmate snellere repetitiesnelheden gewenst worden. Niet alleen zullen de bellen anders niet goed klinken, bovendien kunnen de spoelen ook heet worden en uiteindelijk stukgaan.

Hier zien we <Bello> klaar om helemaal hoog opgehangen te worden voor een uitvoering van Antheil's Ballet Mecanique in Mechelen, maart 2022:



Midi mapping en implementatie:



Kanaal 13
Note-on commandos: het velocity byte stuurt de aanslagkracht
Note-Off of *Note-on* met velo = 0 schakelt de bel uit.
Key-pressure commando's worden gebruikt voor het programmeren van de rinkelsnelheid voor elke bel afzonderlijk.
Controller 30: Hiermee kan de rinkelsnelheid voor alle bellen op eenzelfde tempo ingesteld worden.
Controller 66: aan/uit schakelaar voor de robot.
Controller 123: schakelt alle bellen uit.

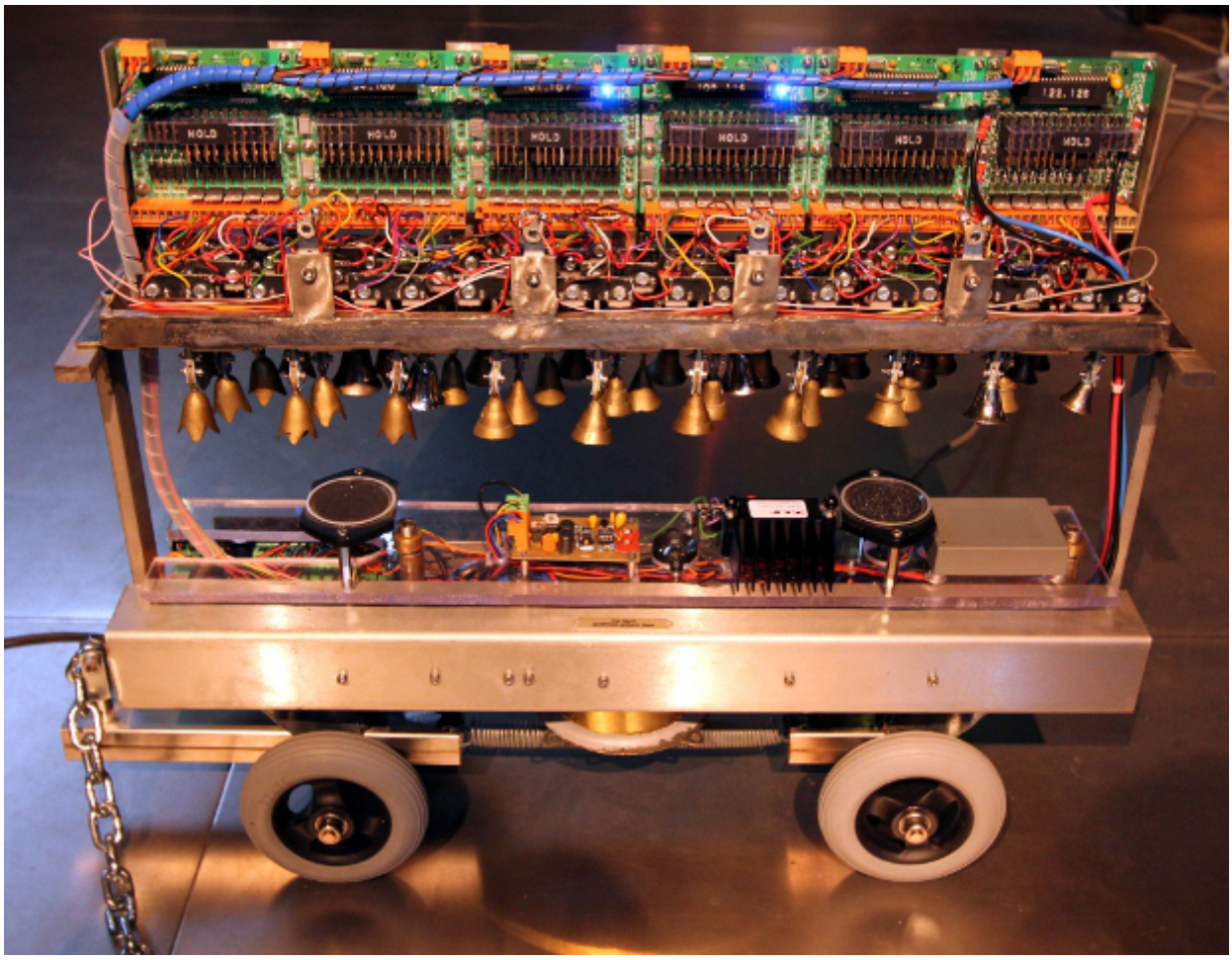
Muziek gecomponeerd voor <Bello>:

- Godfried-Willem Raes 'Namuda Study #53: Bello', premiere op 22 April 2015 door Dominica Eyckmans en de auteur. Later opnieuw uitgevoerd met danseres Emilie De Vlam.
- Godfried-Willem Raes 'Onmogelijk', een Namuda dans productie, 2015
- Kristof Lauwers 'Study #24', for <Bello>

Technische specificaties:

•Afmetingen: h = 1550 mm, w = 1310 mm, d = 350 mm
•Gewicht: ca. 67 kg
•Elektrische aansluiting: 230 V AC, 100 VA
•Bouwjaar: 2015
•Verzekerwaarde: 15.000 €

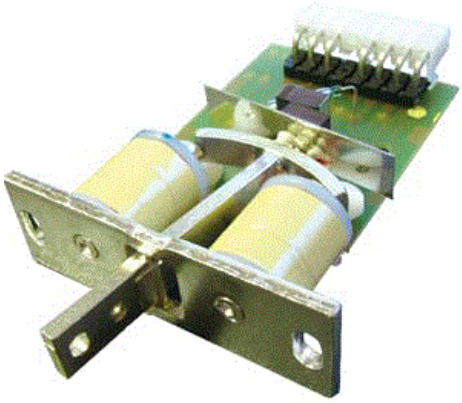
<Tinti>



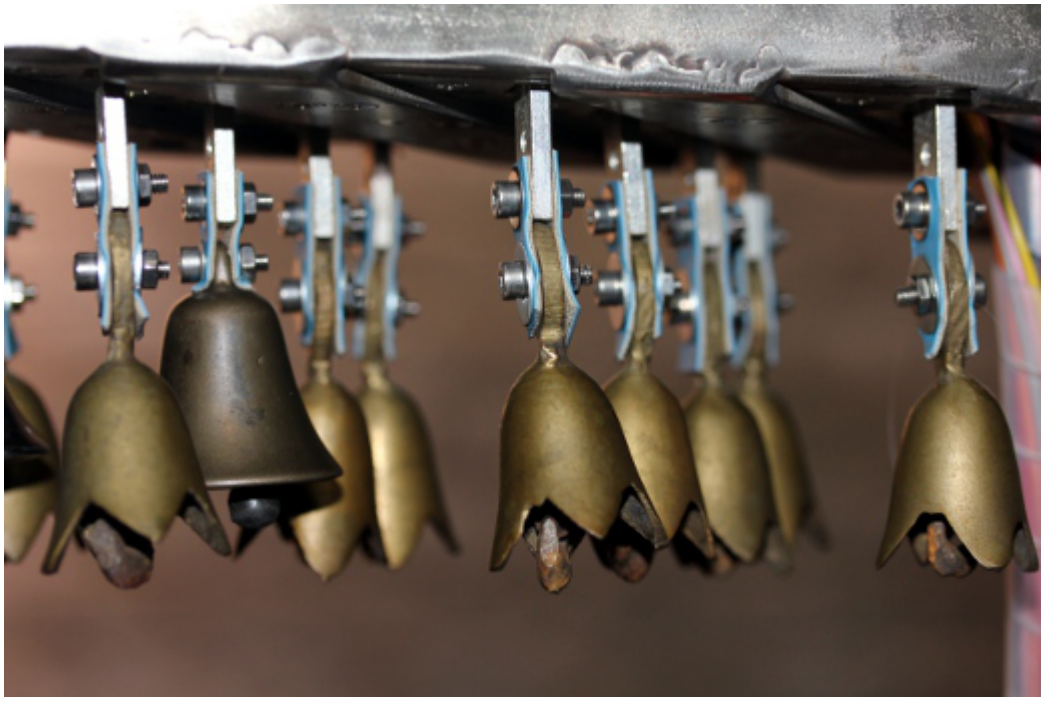
De bouw en ontwikkeling van onze <Zi> robot – oorspronkelijk bedoeld als een Qanun robot - ging met grote en onoverkomelijke moeilijkheden gepaard. Het tokkelmechanisme dat we ervoor hadden ontworpen en gebouwd, bleek helemaal niet te werken... De bidirectionele spoelmodules die we gebruikten waren niet in staat om voldoende kracht te ontwikkelen om de snaren te tokkelen. Daar stonden we nu met een volledig mechanisme dat op zich wel werkte, maar helemaal niet bruikbaar was voor het vooropgezette doel.

Dat bracht ons op het idee om de gehele unit dan maar voor een volledig ander ontwerp te gebruiken. Dit moest dan wel een ontwerp zijn waarvoor bijzonder geringe krachten konden volstaan. Klankbronnen die door schudden tot klinken worden gebracht bleken de meest geschikte kandidaten te zijn voor zo'n ontwerp. Nu hadden we daarmee wel al enige ervaring opgedaan, aangezien de <Psch> robot helemaal op schudden is gebaseerd. Ook in <Klung> wordt natuurlijk heel wat geschud, maar da's niet bepaald een lichtgewicht... We gingen op zoek naar geschikte klankbronnen en zo kwamen we terecht bij heel kleine en erg hoog gestemde bronzen klepelklokjes: tintinabuli. Volstrekt ongerelateerd aan de super-kitsch pomo componist Arvo Pärt die deze Latijnse term misbruikte om te verwijzen naar zijn triviaal en redundant gebruik van drieklanken.

Hier is een eerste prototype van de oorspronkelijke tokkelaars die we nu als schudders gebruikten. De modules zijn gefabriceerd door het Amerikaanse Syndyne voor het Duitse bedrijf August Laukhuff Gmbh, dat ze gebruikt voor de automatische registerknoppen op kerkorgels:



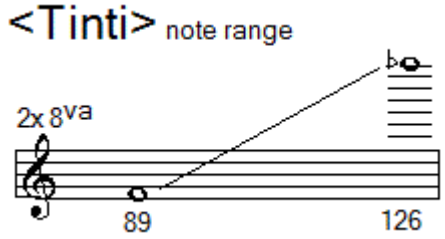
We namen contact op het het bedrijf in de USA omdat we zulke modules wilden gebruiken maar dan voorzien van een recht anker omdat dit de bevestiging van de plectra veel kon vereenvoudigen. De tokkeleenheid die we bouwden was voorzien voor 38 snaren. Voor <Tinti> werden dat dan ook 38 klokjes. Het geheel werd een trilvrije gelaste constructie uit roestvast staal.
De elektronische besturing omvat dubbel zoveel puls-hold schakelingen en dat bracht niet minder dan zes microprocessor boards met zich. We behandelen ze hier niet verder, want ze zijn identiek aan de boards die we ook gebruikten voor onze tweede player piano, <pp2> behandeld in hoofdstuk1.
Het hele mechanisme steunt op twee dragers met ingetapte schroefdraad 20 x 10 x 150 in roestvast staal en bevestigd met twee M8 boutjes. Voor afregeling van het mechanisme moeten de connectors wel eerst losgenomen worden.



<Tinti> omvat uitsluitend extreem hoog klinkende belletjes en het voortgebrachte spectrum loopt ver door tot in het gebied van het ultrasone. Dit opende meteen heel wat perspectieven op een gebruik in combinatie met onze ultrasoon-technologie ontwikkeld voor 'Holosound' en het eruit gegroeide onzichtbaar muziekinstrument. Net zoals voor de later gebouwde <Chi> robot, integreerden we ultrasoon demodulatie in deze robot.
De PIC microprocessor genereert een ultrasoon signaal instelbaar tussen 16 kHz en 38 kHz. Een probleem waarmee we hier geconfronteerd werden was gelegen in het vinden van ultrasoon transducers met een voldoende bandbreedte. De gebruikelijk 40 kHz type konden we niet gebruiken vanwege de erg smalle frequentieband. Testen met goedkope piezo tweeter luidsprekers van Kemo (type P5123) gaven een aanvaardbaar resultaat, tot 45 kHz, maar met een allesbehalve lineair verloop. De amplitude pieken – bovendien dan nog verschillend voor elk individueel exemplaar - beliepen +12dB tot -12dB. Linearisatie in de hardware bleek geen haalbare kaart en we besloten met die beperkingen te leren leven. Om het leed wat te verzachten, voegden we twee extra piezo-tweetertjes toe – met een papieren conus - links en rechts van de tintinabuli. Door deze toevoeging

kunnen nu alle som- en verschiltonen tussen de spectrale componenten van de klokjes en de draaggolf hoorbaar worden gemaakt. De best klinkende draaggolffrequentie is verschillend naar gelang het klinkende klokje en daarom voorzagen we in gedetailleerde tabellen in de gebruikershandleiding voor componisten.

Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 11

Note Off: Bij ontvangst van een *note-off* instructie keren de ankers van de magneten terug naar hun neutrale middenstand.
Note On: Het velocity byte stuurt de kracht van de beweging, maar de dynamiek is erg beperkt.
Key pressure: gebruikt voor het programmeren van de repetitiesnelheid van het schudden. Traagst is 1 Hz, snelst 30 Hz. De schaal verloopt logaritmisch.
Controller 7: Volume regelaar
Controller 8: Geluidsdruk voor het ultrasoon signaal.
Controller 30: stelt een gemeenschappelijke schudsnelheid in voor alle tintinabuli.
Controller 31: geïmplementeerd zoals bij <Chi>
Controller 66: aan/uit schakelaar.
Controller 123: schakelt alle noten uit.
Pitch bend: kan gebruikt worden om de frequentie van het ultrasone signaal te moduleren. De kleinste waarde voor de frequentie is 21096 Hz en de hoogste waarde 37480 Hz.

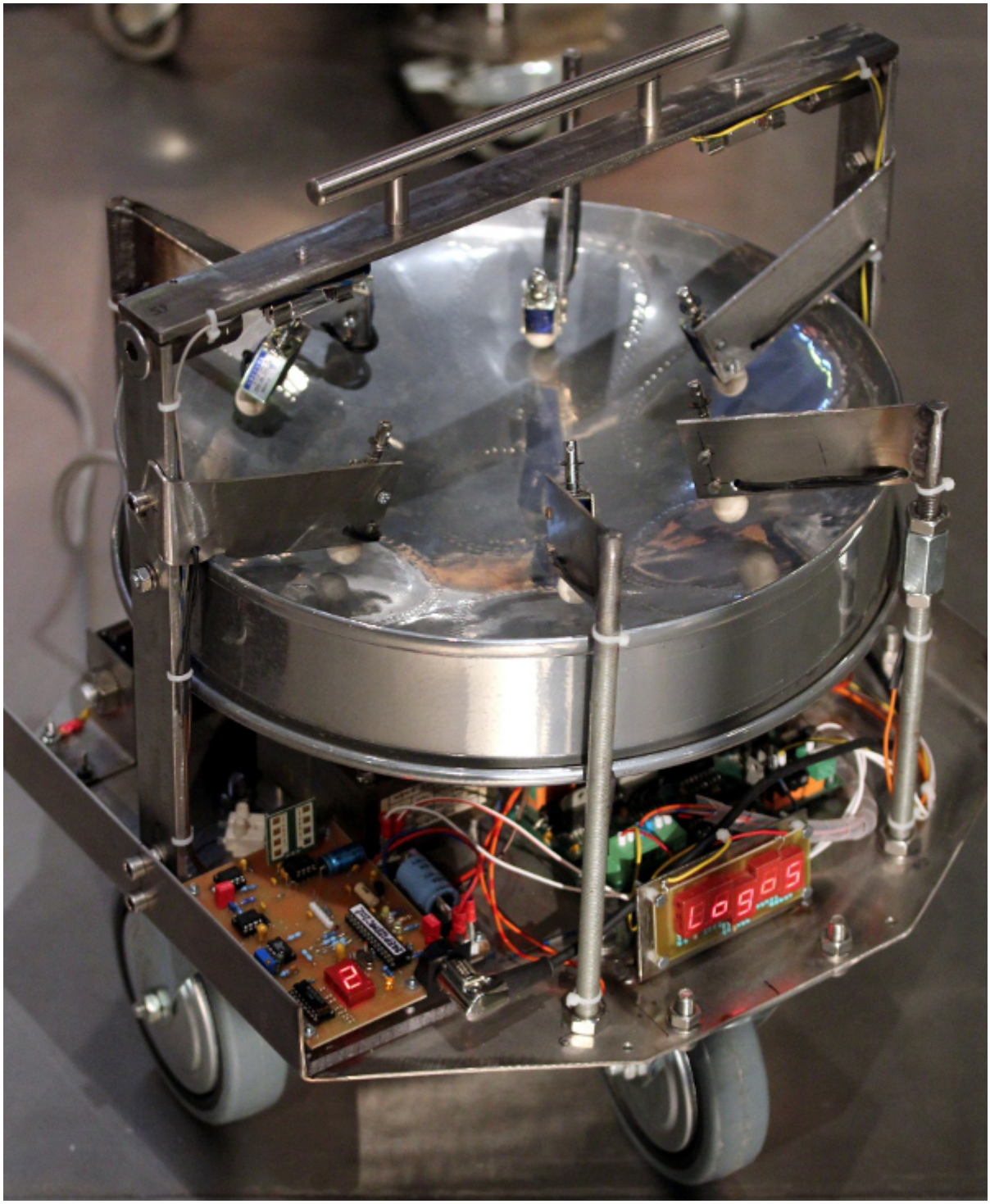
Muziek gecomponeerd voor <Tinti>:

- Godfried-Willem Raes 'Namuda Study #50: Tintinabuli' (2015).
- Kristof Lauwers 'Study #17 - for Tinti' (2015)
- Kristof Lauwers 'PicRadar Study for Tinti' (2016)

Technische gegevens:

- afmetingen: breedte: 665 mm, diepte 160 mm, hoogte 500 mm
- gewicht: 23kg.
- Elektrische aansluiting: 230 V ac / 165W(piek)
- Bouwjaar 2015
- Verzekerwaarde: 11.000 €

<Steely>



De geschiedenis van de steel-drum is verweven met koloniaal imperialisme, slavenhandel en christelijk religieuze repressie: het instrument ontstond immers uit de repressie van de uitbundige carnavalsvieringen die in Trinidad sinds ca.1860 tot een groot volksfeest waren uitgegroeid en waarbij de christelijke onderdrukkers de plaatselijke tamboo-bamboo bands verboden en de instrumenten in beslag namen. Die bands waren op zich al een substituut voor de oorspronkelijke tribale Afrikaanse trommen die tot de cultuur van de geïmporteerde slaven behoorden en die vanaf

1884 streng verboden werden. Na verschillende aanvallen van westers imperialisme, bleef de bevolking achter met de lege olievaten van de westerlingen op hun stranden. Industrieel afval dus. Die olievaten werden gebruikt als grondstof voor de vervaardiging van de steel-drums in de Caraïben sedert 1930-1940. De steel drum is sedert zijn ontstaan de carnavalsvieringen ontgroeid en leidde tot het ontstaan van redelijk grote ensembles, de steel-bands die ook vandaag nog bestaan en populair zijn. Enkele ervan zijn gevestigd in Nederland en in het Verenigd Koninkrijk, de koloniserende mogendheden van toen. De steel-drums die in die ensembles worden gebruikt omvatten een hele familie instrumenten, van sopraan tot tenor en bas. Hoewel chromatisch gestemde sopraan instrumenten wel voorkomen, zijn de bands evenwel duidelijk diatonisch (pentatonisch zelfs veeleer...) georiënteerd. De bas instrumenten hebben dan ook vaak slechts twee of drie tonen.

Een kleine steeldrum maakte al sedert de vroege jaren zeventig deel uit van mijn uitgebreid slagwerkinstrumentarium in de Logos groep. In de jaren '80 raakte mijn slagwerkinstrumentarium evenwel meer en meer aan de kant geschoven ten bate van enerzijds de klarinet en anderzijds mijn eigen zelfontworpen elektronica. Na zodoende ettelijke decennia opgeborgen te zijn gebleven, prikkelde het instrumentje opnieuw mijn aandacht in de door corona virussen geteisterde en daardoor van publieke activiteiten gespeende eindejaarsperiode van 2021. We vatten het idee op om er toch een automaatje van te maken.



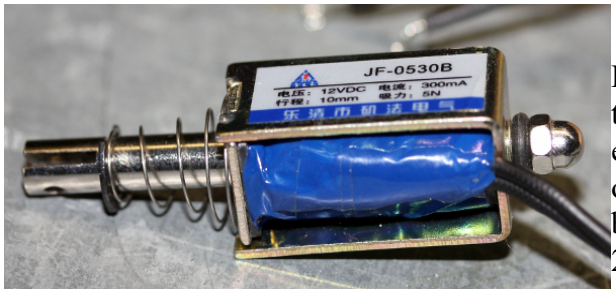
Op het eerste gezicht leek dit een eerder rechttoe-rechtaan onderneming van beperkte omvang te worden, maar van zodra we de eerste proefopstellingen uitvoerden bleek dat toch wat kort door de bocht. Eerst en vooral bleek het niet mogelijk de steeldrum zelf in een rigide gelaste structuur vast te klemmen zonder daarbij de hele resonantie van het instrument in het gedrang te brengen. Een vrije en elastische ophanging bleek dus een absolute voorwaarde voor een goed resultaat. Vandaar dus de ophanging van de steeldrum met twee M6 schokdempers in zacht neopreen.

Maar ook het aanslaan van de acht gestemde vlakjes in de kuip van het instrument was minder eenvoudig dan aanvankelijk gedacht. De kuipvorm van het instrument dicteert een voor elk

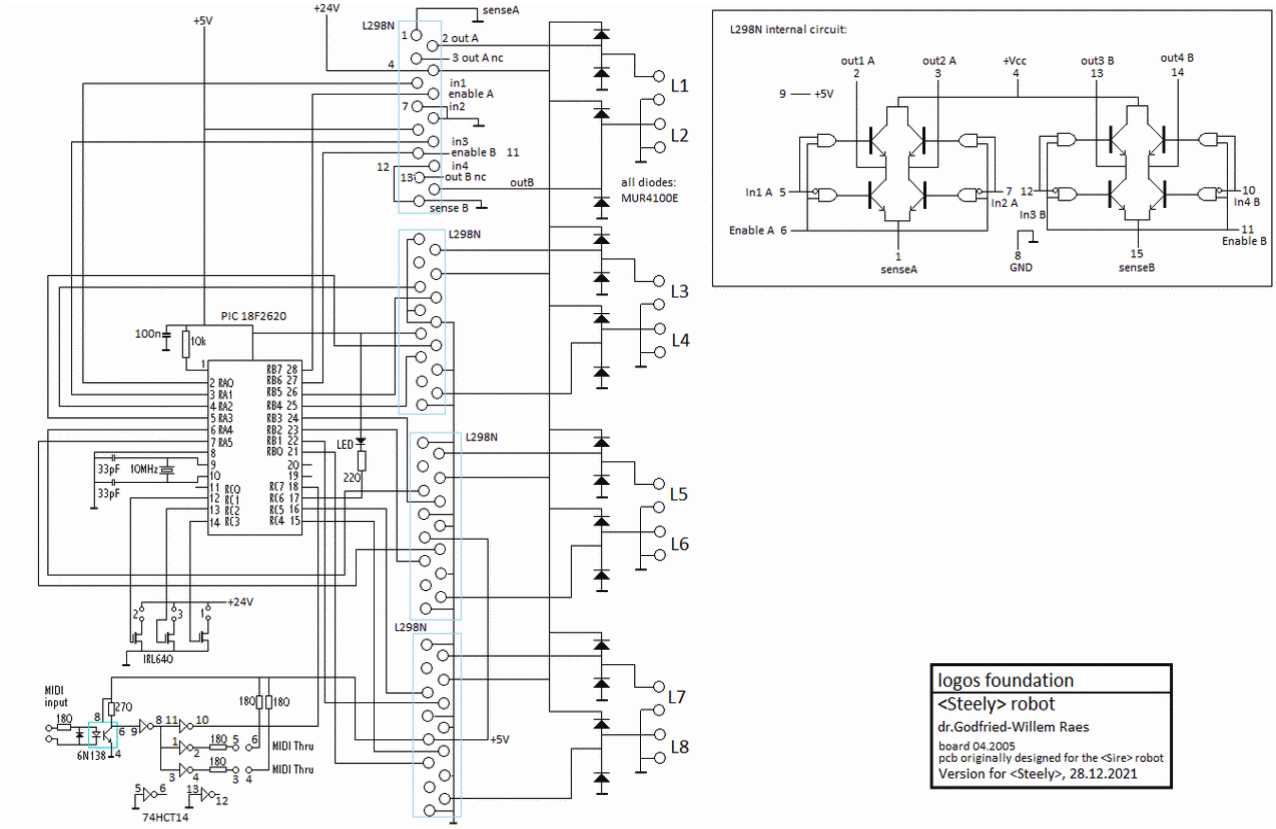
toonvlak andere aanslaghoek tegenover de basisplaat waardoor plaatsing van de elektromagneten op een vlakke cirkelvormige drager geen goed resultaat kon opleveren. Elke elektromagneet moest dan ook op een eigen onafhankelijk regelbare drager gemonteerd worden. Vandaar onze montage op M10 draadstangen met aangelaste montageplaatjes voor de elektromagneten.

Het materiaal waarmee de toonvlakken aangeslagen moeten worden is van groot belang voor het verkrijgen van een goede klank. Te harde kloppertjes leiden tot een lelijk en metaliek geluid en heel wat experimenten waren nodig vooraleer we tot een aanvaardbaar resultaat konden komen. Wat het aanslaan zelf betreft stonden we voor de keuze om ofwel aan te slaan bovenaan, dus zoals een bespeler dat zou doen, ofwel. van onderuit. Die laatste mogelijkheid is technisch gesproken superieur omdat we dan de zwaartekracht kunnen gebruik om de kloppertjes te laten terugvallen. Daar staat echter tegenover dat zulke montage het speelmechanisme van het geautomatiseerde instrument geheel zou verbergen waardoor de verleidingskracht van het instrument zeer zeker zou worden verminderd. Dus toch maar geopteerd voor een zichtbare bovenop montage en de daardoor noodzakelijke toepassing van terugslagveren om de kloppertjes te laten terugkeren naar hun hangende rusttoestand.

Om de prijs zoveel mogelijk te drukken – we moeten immers al jaren zien te overleven zonder enige subsidie - opteerden we voor het gebruik van goedkope Chinese Banggood elektromagneetjes. Volgens het label op de spoeltjes zouden het 12V exemplaren moeten zijn die een stroom trekken van 300 mA en daarbij een kracht opleveren van 5 N bij een traject van 10 mm...

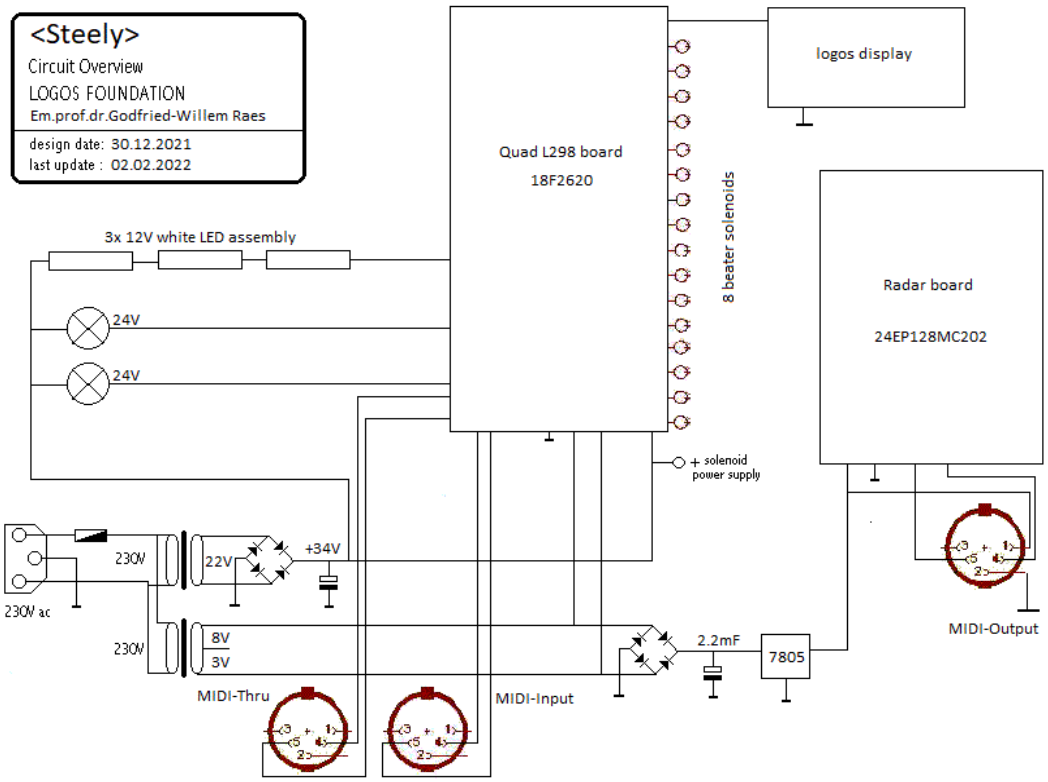


Daarvan bleek evenwel een en ander helemaal niet te kloppen. Bij 12 V trekken ze een stroom van 1 A en bij een stroom van 300 mA staat er een spanning over van 4.2 V. Na wat experimenteren en meten, besloten we ze te gebruiken met een spanning van 24 tot 33 V met een *duty cycle* van minder dan 10% en pulsduren van hooguit enkele milliseconden. Aangezien we nog enkele PIC-processor boards op voorraad hadden van het type ontworpen en gebruikt voor onze <Sire>-robot en omdat deze acht spoelen kunnen aansturen, leek dat een goede oplossing. Op dit board worden deze keer geen MOSFET's gebruikt maar wel vier brug-drivers van het populaire type L298N. Dit is het schema:

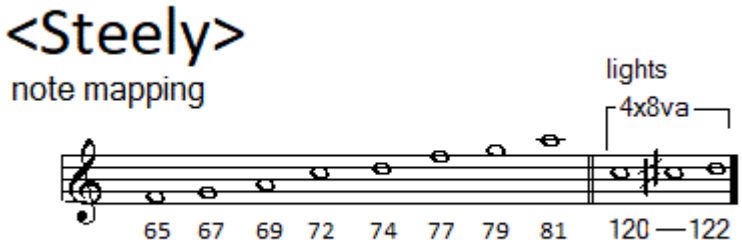


De *enable* ingangen op de brugdrivers gebruikten we als power-on switch, bestuurd met midi controller 66. De drie MOSFET's op de print worden hier gebruikt voor het besturen van de lampjes. Twee buisvormige 24V gloeidraadlampjes werden onderaan de bovenste dwarsversterking met het handvat gemonteerd. Deze lampjes worden automatisch geschakeld in functie van de actieve kloppertjes, zolang controller 69 ingeschakeld blijft. Een derde lichtbron werd op het onderste chassis aangebracht en bestaat uit drie witte LED modules met een 12V werkspanning. Deze modules zijn in serie geschakeld en gemapt op midi noot 122.

Dit is het overzicht over het geheel van de schakelingen:



Midi implementatie:



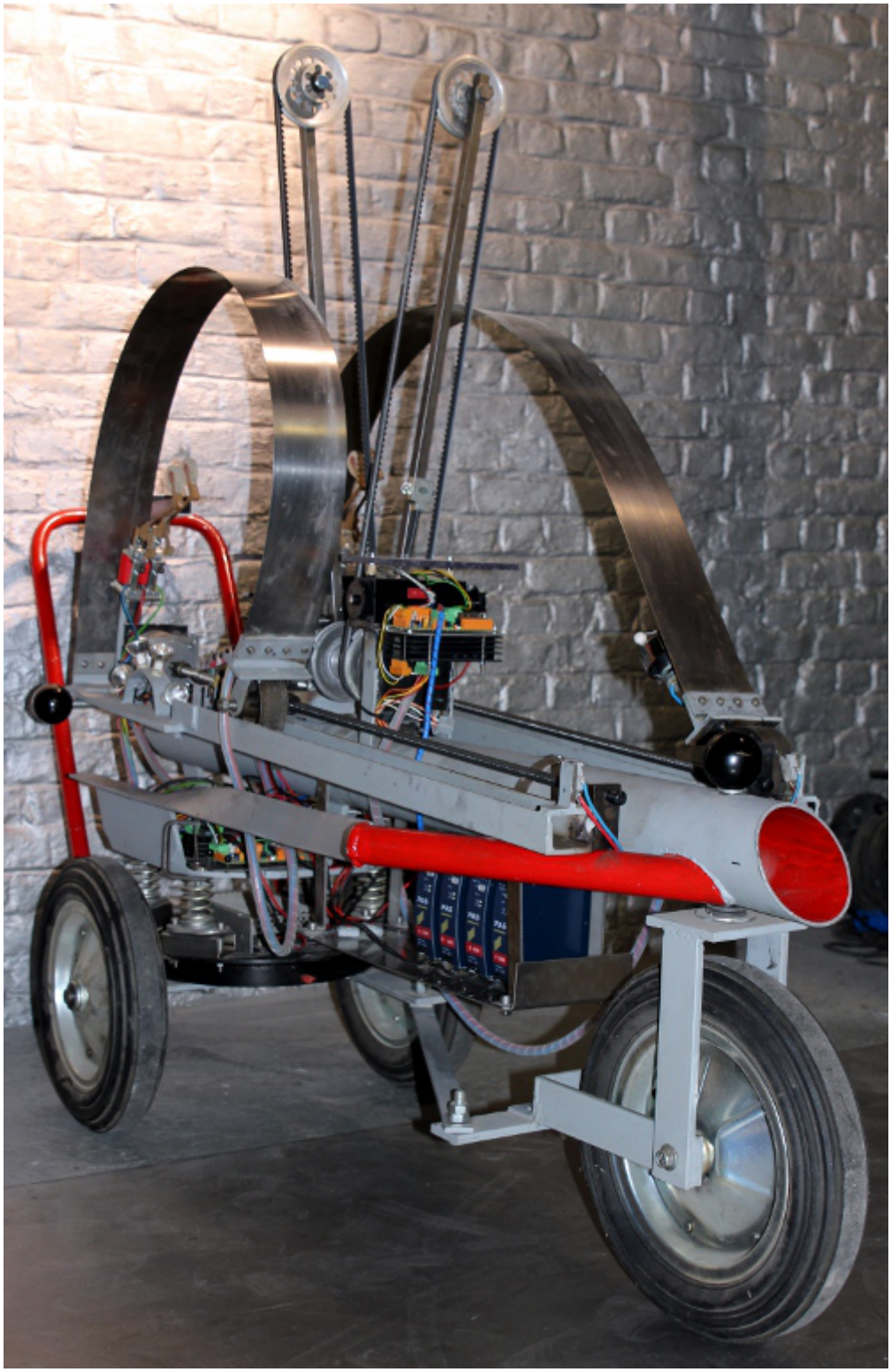
Kanaal: 7

- *note-on,* velocity stuurt de aanslagkracht
- *key-pressure* gebruikt voor noot-repetities
- controllers:
  - controller #30: globale instelling nootherhalingen.
  - controller #66: aan/uit schakelaar
  - controller #123: alle noten uit

Technische gegevens:

- maten: 400 x 400 x 400 mm
- gewicht: ca. 6 kg
- elektrische aansluiting: 230V ac
- radar sensor: 24 GHz, 16 dBm (RSM1700)
- bouwjaar: 2022
- Verzekerwaarde: 2800 €

<Flex>



<Flex> behoort tot de categorie robots met niet precies bepaalbare of – preciezer gesteld – voorspelbare toonhoogte. Het klankopwekkingsprincipe is hetzelfde als dat wat ten grondslag ligt aan zowel de zingende zaag als aan de flexatone: gebogen veerstalen platen die gestreken (zingende zaag) of aangeslagen (flexatone) worden, waarbij de toonhoogte afhangt van de mate van buiging

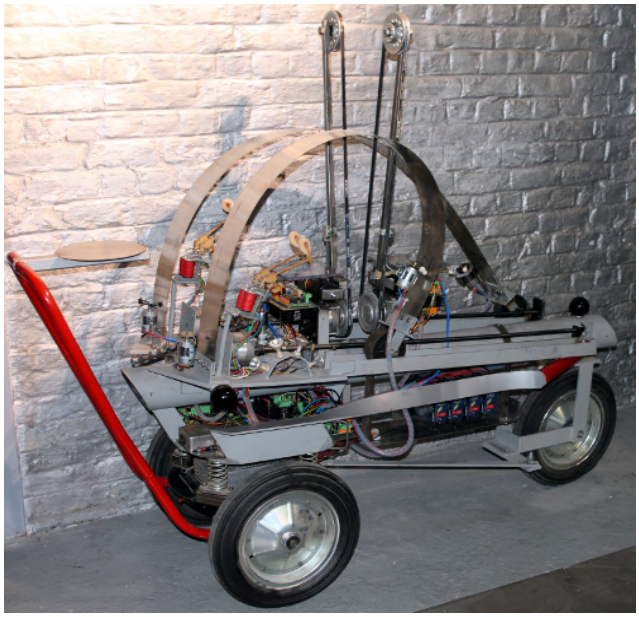
van de platen. Roestvast staal of veerstaal is hiervoor, vanwege de grote hardheid, het meest geschikte materiaal. Net zoals <ThunderWood> kan ook deze robot gezien worden als een realisatie van een geluidscategorie in de reeks intonarumori van Luigi Russolo, met name in dit geval de vijfde groep, de metaalgeluiden.

De beide uit roestvast staal gemaakte klankbladen waarmee <Flex> is opgebouwd, kunnen zowel worden aangeslagen als gestreken. Daartoe wordt elk zaagblad uitgerust met niet minder dan 4 elektromagnetische kloppers en van een gemotoriseerd strijkmechanisme. De strijksnelheid zowel als de ritmiek kunnen perfect worden gestuurd. Voor de strijkstokken gebruikten we stappenmotoren voorzien van een loopwiel met een diameter van 100 mm. De motorsnelheid kan gestuurd worden tussen 0.5 en 5 omwentelingen per seconde. Dat brengt een regelbare boogsnelheid met zich van 0.16m/s tot 1.57 m/s. De beweging van de boog wordt gestuurd met per boog een enkele zware bidirectionele elektromagneet. Hierdoor kan elke boog zowel tegen het Pi- als tegen het E-blad worden gedrukt en gestreken. Worden beide magneethelften geactiveerd, dan keert de boog terug naar de middenstand en raakt hij geen van beide bladveren. Sensoren gemonteerd op de armen van de boog maken een nauwkeurige regeling mogelijk. Aangezien we twee strijkstok mechanismen voorzagen, is het perfect mogelijk beide bladen tegelijkertijd aan te strijken, maar ook, om eenzelfde zaagblad met twee bogen tegelijkertijd te strijken, wat vaak de productie van multiphonics voor gevolg heeft, ook al is het resultaat in dit geval nog heel wat minder voorspelbaar en betrouwbaar dan het instrument sowieso al is...

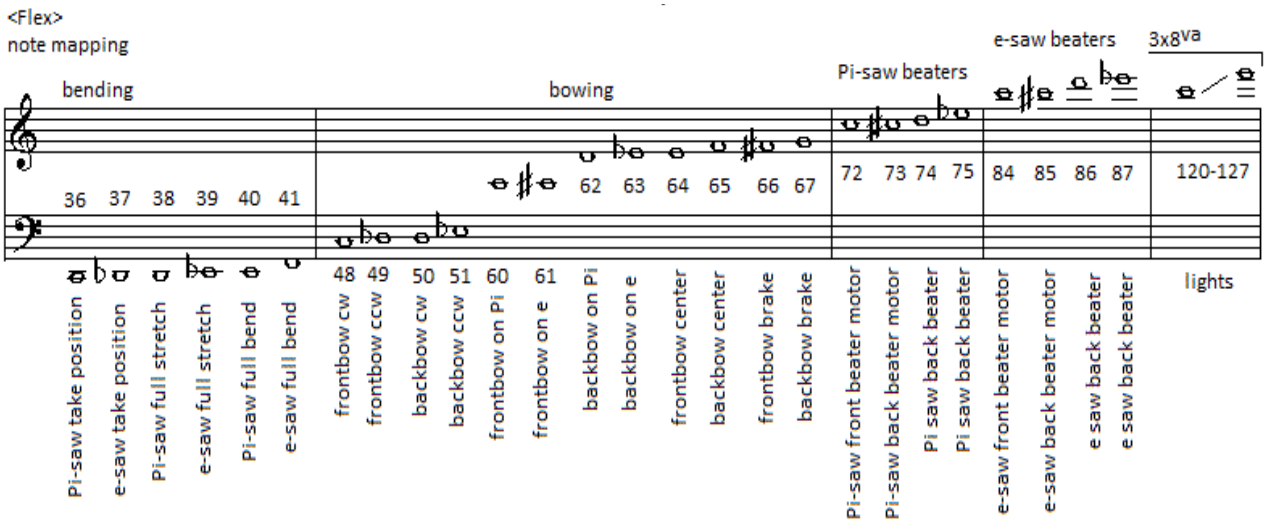
De lengtes van de beide zingende zaagbladen verhouding zich als π tot e, vandaar ook de naamgeving 'π-blad' en 'e-blad'.

De voedingen voor <Flex> zijn erg uitgebreid, vooral vanwege de grote vermogens nodig voor de aansturing van de stappenmotoren.

De robot werd voorzien van een enigszins futuristisch onderstel met drie grote wielen en een uitgewerkte goede vering. De ronde plaat op de stuurstang is nog een overblijfsel van de eerste versie uit 2002, waarbij de robot nog bestuurd werd vanuit een laptop computer met een printerpoort. Deze werd toen op dat vlakje geplaatst...



Midi mapping en implementatie:



Midi kanaal: 12

Atelier medewerkers:
Bert Vandekerkhove, Moniek Darge, Leonaar Degraeve, Kristof Lauwers, Johannes Taelman, Mattias Parent

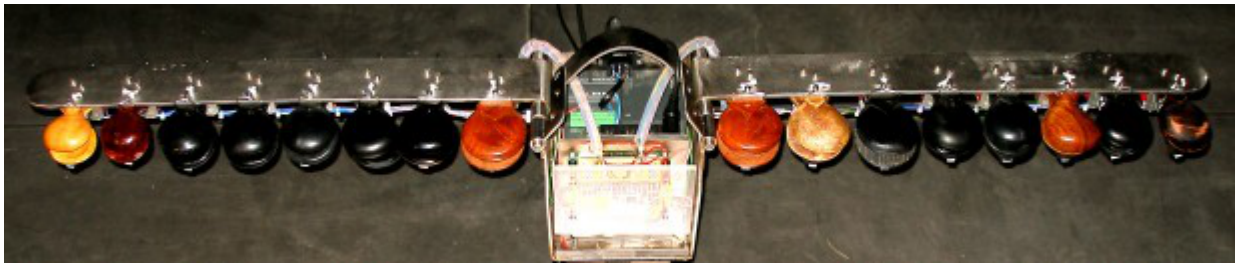
Muziek gecomponeerd voor <Flex>:

- Godfried-Willem Raes 'Flexes' (2002)
- Godfried-Willem Raes 'Flexing Haram' (2016)
- Kristof Lauwers 'Flex demo' (2016)
- Godfried-Willem Raes 'Noli me tangere' (2020)

Afmetingen & andere technische specifikaties:

- maten: hoogte: 1500 mm, breedte: 600 mm, lengte: 1600 mm
- gewicht: 136 kg
- elektrische aansluiting: 230 Vac - 1000 Watt.
- Bouwjaar: 2002
- Verzekeringswaarde: 24.000 €

<Casta> 1&2



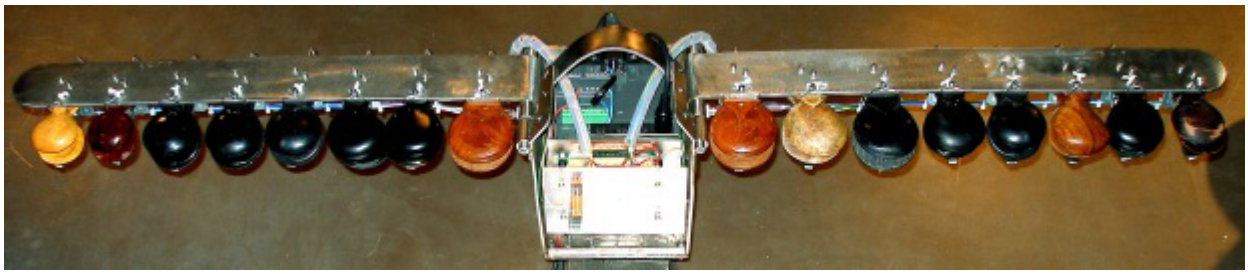
Op het eerste gezicht kan het automatiseren van zo'n ogenschijnlijk eenvoudig slaginstrumentje als de castagnetten welhaast triviaal lijken. Zoals vaak is ook hier evenwel schijn erg bedrieglijk. Onze eerste pogingen om de klus te klaren dateren van 1996. Toen bouwden we een castagnetten module bestaande uit acht castagnet paren aangedreven door trekmagneten. Ons eerste bouwsel zag er zo uit:



Het aldus opgebouwde mechanisme werkte weliswaar maar was erg onbetrouwbaar naar klankresultaat. De onderste schelpen werden aangedreven door de trekmagneet via een in de castagnetten ingeboord en geschroefd stalen staafje. De bovenste helft was relatief vrij en beweeglijk. Door deze nochtans voor de werking imperatieve beweeglijkheid, kon de bovenste helft ook tamelijk vrijelijk zijdelings bewegen, wat precies de oorzaak vormde van het eerder onvoorspelbare muzikaal dynamisch resultaat. De module vormde sedert het begin van de automaat, een deel van <Vox Humanola>. Omwille van de toch te grote onbetrouwbaarheid van het mechanisme, bouwden we in 2005 een nieuwe verbeterde versie. Deze keer opgebouwd uit 15 castagnetten. Ook hier weer behielden we de essentiële bewegingsvrijheid maar veroorzaakten we de beweging van de klappers door het indirect in beweging brengen van de onderste schaalhelften. Dit middels van hefbomen en vilten polsters voorziene elektromagneten. In deze versie zijn beide schaalhelften relatief vrij en beweeglijk, zij het in beperktere mate dan in de eerste versie. Deze castagnetten module, <Casta Uno> gedoopt, werd vast ingebouwd of opgehangen in <Vox Humanola> en kan indien nodig of gewenst ook uit <Vox Humanola> worden losgemaakt en als afzonderlijke automaat gebruikt en bestuurd. Deze <Casta> module werkt naar behoren, zij het toch nog met een behoorlijke dosis onvoorspelbaarheid op dynamisch vlak maar is in die zin wat onbevredigend omdat ze nog lang niet de potentieel mogelijke dynamiek haalt die goede menselijke spelers uit het simpele instrumentje tevoorschijn weten te toveren.

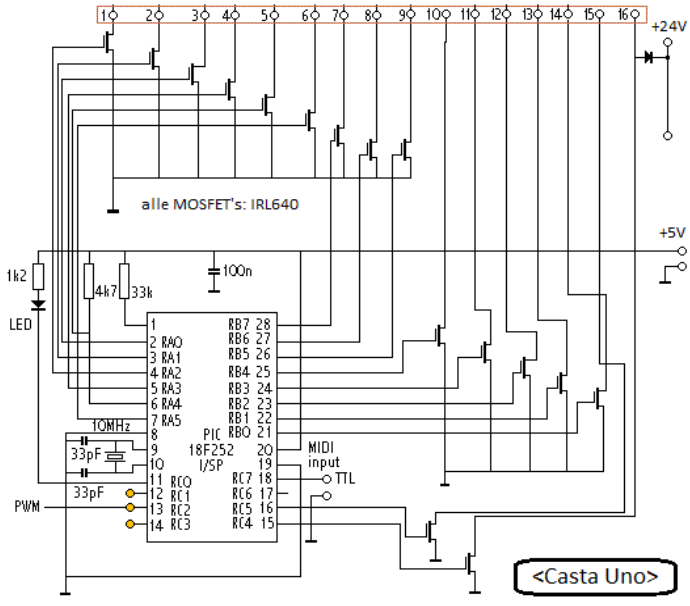


In 2007 namen we het onderwerp opnieuw ter hand. Enerzijds teneinde dit probleem op te lossen, maar anderzijds ook vanuit de binnen de Logos orkestpraktijk ontstane behoefte om <Casta> als afzonderlijk en verplaatsbaar instrument te kunnen gebruiken. Uitvoeringen van 'Clapping Music' van Steve Reich, voor twee castagnetten robots konden door de ruimtelijke spreiding heel wat verleidelijker en succesrijker gebracht worden. Zo kwam dan ook een afzonderlijke <Casta Due> robot tot stand, eentje die naast de in Vox Humanola ingebouwde versie kan worden gebruikt.



Casta 1:

Een afzonderlijk processor board staat in voor de aansturing van de castagnetten. Het is volkomen onafhankelijk van de overige hardware in de <Vox Humanola> robot. Hierbij kan volop gebruik gemaakt worden van aanslaggevoeligheid. De castagnetten werden gerangschikt naar scherpte van klankkleur, zodat een genuanceerd spel mogelijk wordt. Ze werden gemapt op het midi nootbereik 113-127. Onnodig te zeggen dat de ritmische spelmogelijkheden die van een menselijke speler verre overtreffen... Door deze toevoeging, kreeg de Vox Humanola meteen een knipoog naar het draaiorgel en de orkestrion. Vandaar de naam die we voor de robot waarin de module is opgenomen van in den beginne bedachten: de Vox Humanola, het heeft iets van een Vox Humana en klinkt een beetje Spaans...

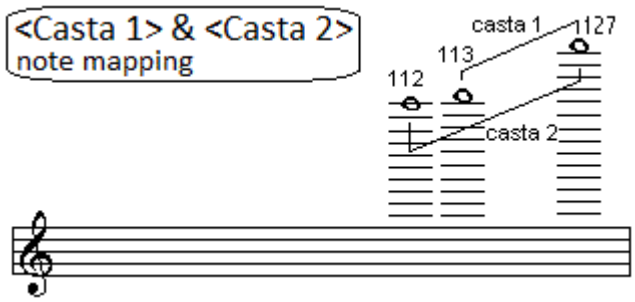


De elektromagneten voor de castagnetten komen van de firma August Laukhuff, in 2021 ter ziele gegaan. Voor de castagnetten werden in <Casta 1> Laukhuff pallet magneten 12V/150mA gebruikt. Wij sturen ze, voor uitsluitend puls bedrijf aan op een voedingsspanning van 24V. De maximale piekstroom die dan kan lopen, wanneer alle castagnetten op hetzelfde ogenblik zouden spelen, is 4.8A. Mits een bufferelko van 10mF wordt toegepast, kunnen we in de praktijk alle muzikale mogelijkheden voldoen met een voeding van 24V/50W.

Casta 2:

Het elektronische schema voor Casta 2 is zowat identiek met dat voor Casta 1, al werden hier wat lichteffecten toegevoegd. Het aantal castagnetten voor Casta 2 is ook met een eenheid groter dan bij Casta 1: 16 paartjes, gemonteerd op twee 'vleugels' van acht. De Casta 2 module kan worden opgehangen. Om de dynamiek te vergroten werd de voedingsspanning van Casta 2 heel wat hoger gekozen (50V) dan voor Casta 1. De stroombegrenzing in de gebruikte Siemens Sitop voedingsmodule treedt in werking wanneer de gevraagde stroom te groot zou worden.

Midi mapping:



Technische eigenschappen en afmetingen:

Casta Uno:

- •breedte: 1100 mm, diepte 120 mm
- •gewicht: 3kg
- •bouwjaar: 1996

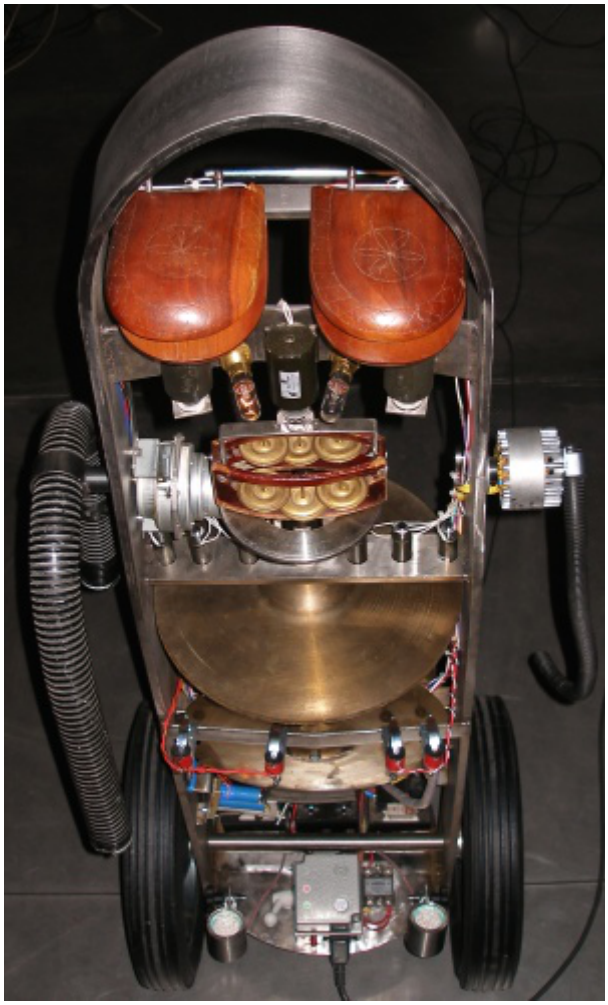
Casta Due:

- •**b**reedte: 1230 mm, diepte 155 mm, hoogte 160 mm. Voor transport kunnen de vleugels opgeklapt worden. De breedte wordt dan 700 mm.
- •Gewicht: 9,2 kg
- •De automaat is ontworpen om elastisch te worden opgehangen. In werking moeten de vleugels steeds opengeklapt en horizontaal zijn.
- •Bouwjaar: 2007
- •Verzekeringswaarde: 3.500 €

Elektrische aansluiting:

- •230V - 2A [Casta 2 kan ook omgeschakeld worden voor gebruik in de US en Japan 100-130V, via een jumper op de Sitop voeding]

<Simba>

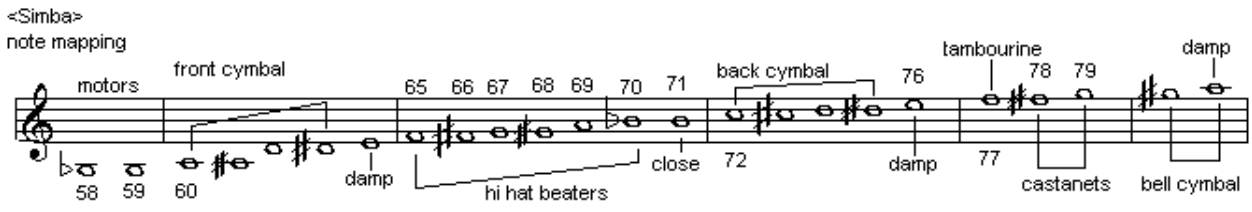


Deze automaat ontstond in eerste plaats op vraag van vele componisten en medewerkers aan de uitbouw van ons robotorkest naar een automaat die in staat zou zijn cimbalen te bespelen. Daarbij implementeerden we zowel de '*suspended cymbal*' – de op een statief geplaatste enkele cimbaal - als de 'hi-hat', waarbij de klank door concussie van twee cimbalen ontstaat. De opgehangen cimbalen werden verticaal gemonteerd, omdat dit de automatische bespeling iets eenvoudiger maakte. De cimbalen kunnen dan immers niet schommelen rond hun ophangpunt, zodat de afstand tussen de kloppertjes en het aanslagpunt constant kon worden gehouden. Bovendien maakte deze opstelling het meteen mogelijk goede dempers op de cimbalen aan te brengen. Deze werden gevormd uit neopreen en pas gezet op de omtrek van de te dempen cimbaal. De aansturing gebeurt ook hier met een elektromagneet. De hi-hat werd conventioneel, horizontaal dus, uitgevoerd. Het mechanisme keerden we evenwel letterlijk ondersteboven: hier is het de onderste cimbaal die tegen de bovenste aangetrokken wordt. Ook hier weer heeft dit het voordeel van de constante aanslagafstand voor de kloppertjes. Elke cimbaal werd voorzien van vier tot zes op verschillende plaatsen gemonteerde kloppertjes, zodat een genuanceerde bespeling via de aanslagmogelijkheden mogelijk is. Uiteraard is ook de aanslagsterkte voor elk kloppertje afzonderlijk perfect goed aan te sturen. De aanslagsterkte werd gemapt op de midi velocity waarde en gebeurt technisch via pulsbreedte modulatie van de bekrachtigingsstroom.

Enkele extra features werden aan de robot toegevoegd, ter versterking van het arsenaal aan klein slagwerk in het Logos robot orkest. Bovenop het instrument kwamen zo twee 'bas-castagnetten', grote houten klappers, te zitten. Deze worden bewogen en tot klinken gebracht met twee Black Knight duw-elektromagneten. Hiervoor gebruikten we een zwaar type omdat hier het eigen gewicht van de klappers (4 Newton) zeker diende overwonnen te worden. Deze klappers klinken zo'n beetje als erg luide tegen elkaar geslagen kokosnoothelften. Daaronder werd een kleine schellentamboerijn gemonteerd, bediend door een gelijkaardige trekmagneet. Ook hier is de minimaal nodige trekkracht 3.5 Newton. Achteraan op het instrument, horizontaal gemonteerd, vonden we nog plaats voor een Italiaanse Ufip 'icebell'. Eigenlijk een uit gegoten brons gevormde en dan geslepen dikke bel-cimbaal. We hebben ze zelf nog in de Ufip fabriek bij Pistoia geselecteerd en uit Italië meegebracht... Deze cimbaal heeft slechts een enkele klopper. Aan de linker en rechterbuitenzijde van de robot tenslotte, monteerden we twee verschillende motoren: een eerste motor -een DC type met vertragingskast- wordt gebruikt om een shaker vervaardigd uit geribbelde metalen slang, rond te laten draaien. Het geluid houdt zowat het midden tussen dat van een reco-reco een een rainstick. De tweede motor daarentegen, is een topkwaliteit Papst 12-polige motor met uitwendig anker. Op deze motor monteerden we een eind PVC geribbelde PVC isolatieslang voor 3/4" elektrische leidingen. Dit geeft een zacht fluitend geluid.

Tot slot omvat <Simba> ook nog enkele visuele 'features': aan de voorzijde, twee gele LED spotjes van eigen fabricaat en twee klassieke bajonetlampjes onder de houten klappers. Aan de achterzijde: twee kleine E10 lampjes en een kleine halogeen spot gericht op de achterste cimbaal. Al deze visuele componenten zijn uiteraard ook volledig aanstuurbaar.
De <Simba> robot wordt intern bestuurd door drie PIC microcontrollers: twee 18F2525 types waarvan een voor de pulse/hold functies (cimbaaldempers en hihat) , en een tweede voor het midi communicatiesysteem, de lampjes en motoren, en de inschakelbeveiliging. Een derde microcontroller is van het grotere 18F4620 type en wordt ingezet voor de puls besturing van de kloppertjes.
Het chassis werd helemaal opgebouwd uit gelast inox AISI304L. De hoofdvorm werd geplooid uit een enkel stuk warmgewalst inox van 100 mm x 2400 mm bij een materiaaldikte van 10 mm. Zoals bijna alle robots waaruit het Logos robotorkest is opgebouwd, werd ook <Simba> voorzien van een oerdegelijke wielbasis. Voor deze robot werd een driewielige constructie bedacht: twee grote wielen (400 mm) en een wat kleiner draaiwiel voorzien van een degelijke inox stuurstang. De wielen lopen op kogellagers. Het draaiwiel werd verbonden met het hoofdchassis middels een min of meer U-vormig gebogen stuk inox plat 50 mm, eveneens 10mm materiaaldikte. De assen werden uitgevoerd in geslepen inox buis van 25 mm. Doorheen deze assen kunnen M20 draadstangen worden gevoerd waarmee de automaat tijdens transporten in de kist kan vastgezet worden.
In combinatie met <Troms> beschikt het Logos Robot Orkest door deze toevoeging over een volwaardig automatisch drumstel. Gecombineerd met <Thunderwood> en <Vacca> of <Vitello>, is het zelfs een bijzonder uitgebreid drumstel geworden...
In september 2018 vertrok <Simba> voor een bruikleen aan het Speelklok Museum in Utrecht. Naar aanleiding daarvan werd <Simba> uitgerust met een extra processor board (Axo, ontworpen door Johannes Taelman) zodat hij volkomen autonoom demo-stukken kan spelen.

Midi mapping:



•midi *note on* + velo, luistert naar kanaal 1. Geen *note off* nodig, behalve voor de hi-hat close magneet, de dempers, de lampjes en de door motoren bestuurde componenten.
•SysEx geïmplementeerd voor het inladen van diverse *velo-scalings*. Pincode: simb.
•*Program Change* 0, 122-127 geïmplementeerd voor de selectie van de verschillende velo lookup tabellen geprogrammeerd via sys-ex. 0 is een vaste, niet programmeerbare mapping. het is aangeraden om steeds 122 te gebruiken, deze bevat een geoptimaliseerde mapping.

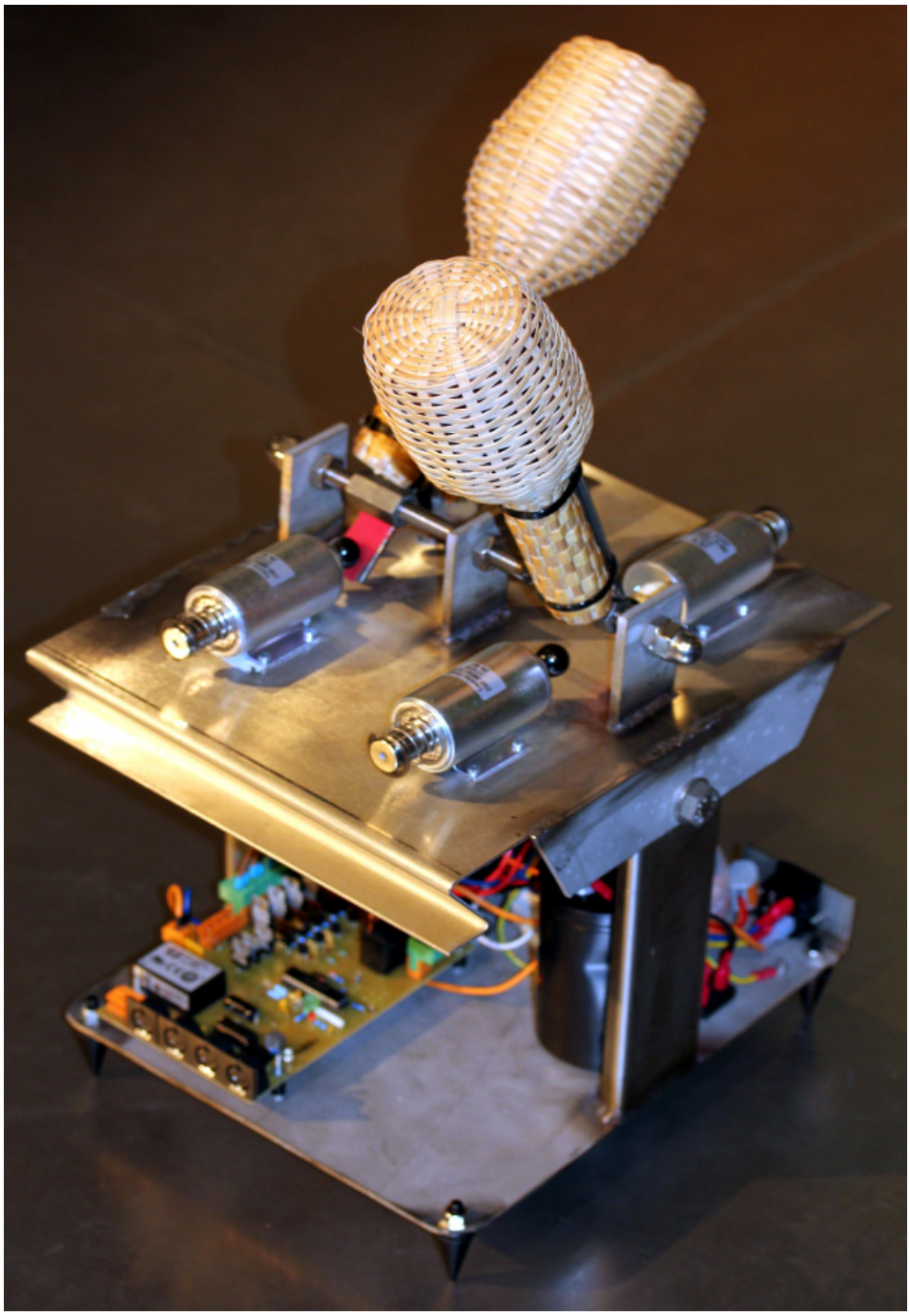
Specifieke composities voor <Simba>:

•Kristof Lauwers: "Study #7". Creatie 07.07.07, Gent.
•Godfried-Willem Raes: "Simba's Pic", picradar studie
•Sebastian Bradt: "Je Brule de partout"
•Godfried-Willem Raes "Namuda Study #42: Happy Robots" (2014)

Technische specificaties:

•Elektrisch: 230 V – 300 Watt, standaard 3-prong Euro connector (IEC).
•Maten: h =1500 mm, w = 550 mm, d = 900 mm.
•Gewicht: 65 kg
•Bouwjaar: 2007
•Verzekerwaarde: 8.200 €.

<Shak>



Dit kleine en monofunctionele automaatje kwam tot stand in opdracht van Stef Kamil Carlens. Het is een koppel maracas (ook vaak 'shakers' of sambaballen genoemd) waarbij zowat alle mogelijkheden van deze instrumentjes werden geïmplementeerd. We konden bij het ontwerp hier voortbouwen op eerdere gelijkaardige realisaties in robots zoals <Springers>, <Whisper> en <Hat>. Op het eerste zicht lijken motoren wellicht de ideale tuigen te zijn om hier ingezet te worden omdat we een omkeerbare draairichting en bestuurbare snelheid nodig hebben. Daar staat echter tegenover dat motoren door hun inertie behoorlijk traag zijn en ook dat hun werking in zo'n soort toepassing,

allesbehalve geruisloos is. Daarom wilden we ook hier weer teruggrijpen op eerder met succes toegepaste bidirectionele elektromagneten. Helaas echter bleek het bedrijf dat ons dergelijke krachtige magneten placht te leveren, August Laukhuff Gmbh., inmiddels ter ziele te zijn gegaan. Het eveneens Duitse bedrijf Heuss Gmbh, zou dit hebben overgenomen, maar onze pogingen om contact te maken met dat bedrijf om een bestelling te plaatsen leverden geen enkele reactie op. Daarop besloten we eenzelfde functionaliteit te verwezenlijk gebruik makend van twee unidirectionele elektromagneten. De Tremba types ZMF3865 bleken daarvoor geschikte kandidaten. 

Deze componenten, opgenomen in het assortiment van Conrad, werken op 24 V bij 100% *duty cycle* en nemen dan een vermogen op van 11 W. De weerstand moet derhalve 52.4 Ω zijn. Wanneer we de *duty cycle* beperken tot 5%, kan tot 220 W geleverd worden. De werkspanning kan dan opgevoerd worden tot 107 V. Het voor onze toepassing nodige bewegingstraject is 20 mm, waarbij de kracht dan 30 N bedraagt. Bij een traject van 15 mm is de ontwikkelde kracht 40 N.

Voor de elektronische besturing waren geen nieuwe ontwerpen nodig. We konden terug gebruik maken van de puls-houd schakelingen gebouwd voor heel wat eerdere robots gaande van de player piano tot de <Tubo> robot.

Midi mapping en implementatie:

- Noot 60: maraca 1 voorwaarts, *velocity byte* stuurt de aanslagkracht
- Noot 61: maraca 1 achterwaarts, *velocity byte* stuurt de aanslagkracht
- Noot 62: maraca 2 voorwaarts, *velocity byte* stuurt de aanslagkracht
- Noot 63: maraca 2 achterwaarts, *velocity byte* stuurt de aanslagkracht
- Noot 72: maraca 1, heen en weer schudden, *velocity byte* stuurt de kracht
- Noot 74: maraca 2, heen en weer schudden, *velocity byte* stuurt de kracht

Controllers:

- Controller #60: Houd tijd voor maraca 1 vooruit
  Controller #61: Houd tijd voor maraca 1 achteruit
  Controller #62: Houd tijd voor maraca 2 vooruit
  Controller #63: Houd tijd voor maraca 2 achteruit
- Controller #66: aan/uit schakelaar.

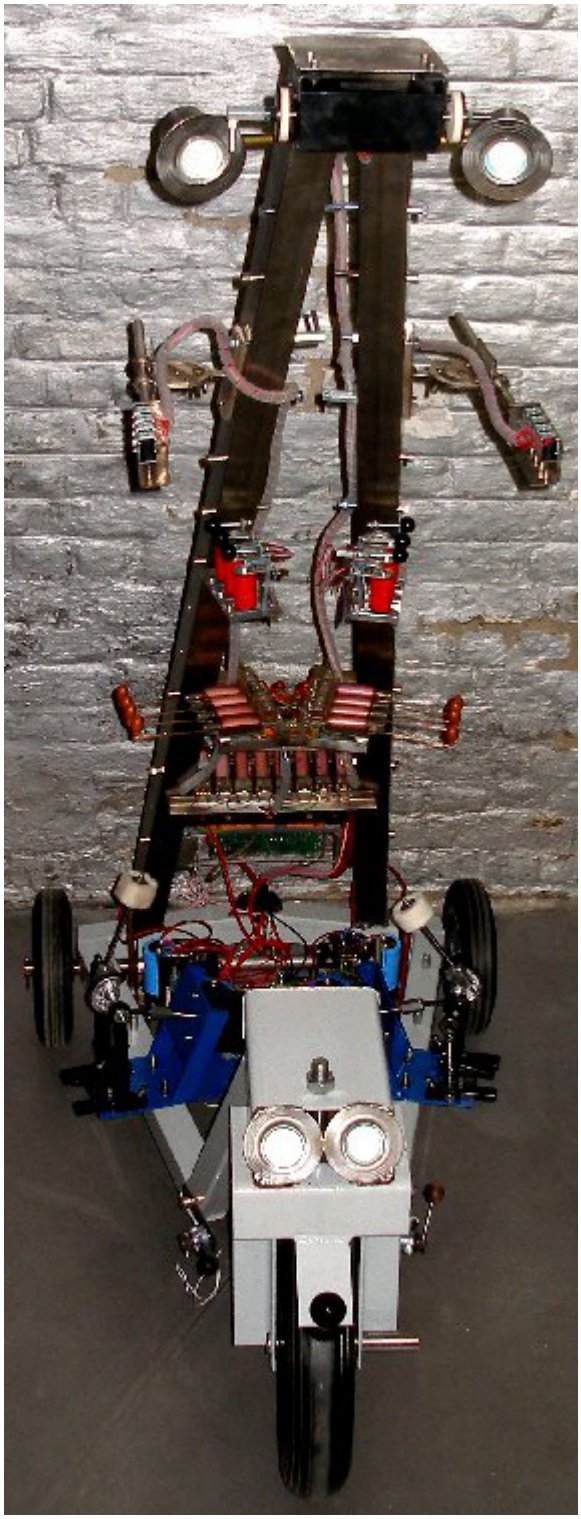
Technische gegevens:

•maten: 250 mm x 300 mm x 600 mm
•gewicht: ca. 8 kg
•elektrische aansluiting: 230 V
•verzekerwaarde: 5.800 €

Medewerkers:

•Kristof Lauwers, Philippe Druez, Mattias Parent, Bert Vandekerkhove

<Hat>



Dit is de eerste robot die we op bestelling ontwierpen en bouwden. De enige tot nu toe die niet wordt ingelijfd in het Logos robot orkest. De bestelling kwam van Aphex Twin, die ons aanvankelijk contacteerde met de vraag of we niet bereid waren een van onze bestaande robots aan hem te verkopen... Maar, aangezien alle robotten deel uitmaken van het robotorkest en ettelijke

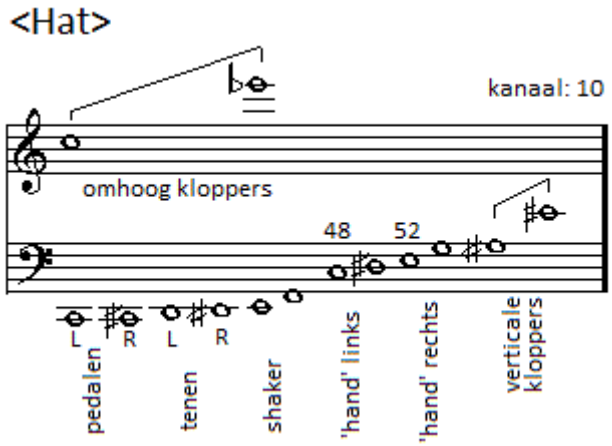
composities in hun klinkend voortbestaan afhankelijk zijn van de volledige samenstelling van dit orkest, weigerden we op die vraag in te gaan.

Na heel wat over en weer praten en onderhandelen, stemden we er uiteindelijk mee in een speciale nieuwe robot te ontwerpen: eentje die allerhande objecten en instrumenten zou kunnen aanslaan en tot klinken brengen. Toen we goed en wel aan het ontwerp begonnen, bleek zo'n min of meer universele robot algauw onnoemelijk vele problemen met zich te brengen. Immers, algemeen gesteld moet de massa van het aangeslagen instrument (inclusief de veerkracht ervan) in verhouding staan tot die van de klopper. Een robot die zomaar op alles kan slaan is daarom alleen al ondenkbaar. Zelfs wie niet muzikaal technisch goed onderlegd is zal begrijpen dat je geen triangel kan aanslaan met een paukenstok, zomin als je een bastrom tot klinken kan brengen met het metalen staafje waarmee de triangel aangeslagen wordt. Om die reden voorzagen we deze robot dan ook van een grote variatie aan kloppers en elektromagneten zodat voor eender welk object wel ergens een geschikt aanslagmechanisme kan gevonden worden. Dit neemt natuurlijk niet weg dat het noodzakelijk is om de afstand object-klopper al naar het geval heel nauwkeurig in te stellen en te optimaliseren.

Aangezien een gammele en rammelende constructie voor zo'n ontwerp volstrekt uit den boze is, ontwierpen we voor deze robot een gelast chassis uit uiterst stevig profielstaal en voorzagen we dit van een onverwoestbaar stevig wielstel. Daarbij werd voor een driewieler constructie geopteerd, omdat zoiets per definitie altijd stabiel staat. Zoals in vele van onze robots speelt ook hier weer de hoek van 60 graden een constructief zowel als esthetisch belangrijke rol.

Voor het 'pedaal'-mechanisme vertrokken we van het tegenwoordig gangbare middels een ketting aangedreven tuig. Hiervan verwijderden we de treeplaat geheel en activeerden we het draaimechanisme rechtstreeks via een uiterst krachtige trekmagneet.

Midi implementatie:



Medewerkers aan de bouw van <Hat>:

- Kristof Lauwers, Yvan Vandersanden, Moniek Darge, Johannes Taelman

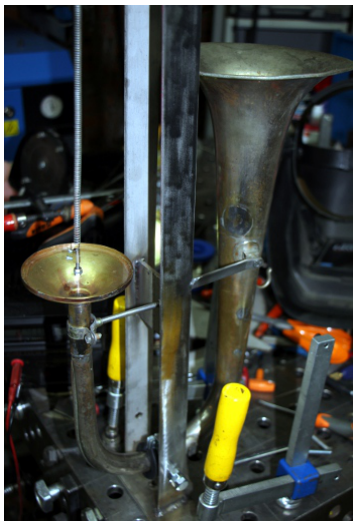
Technische gegevens:

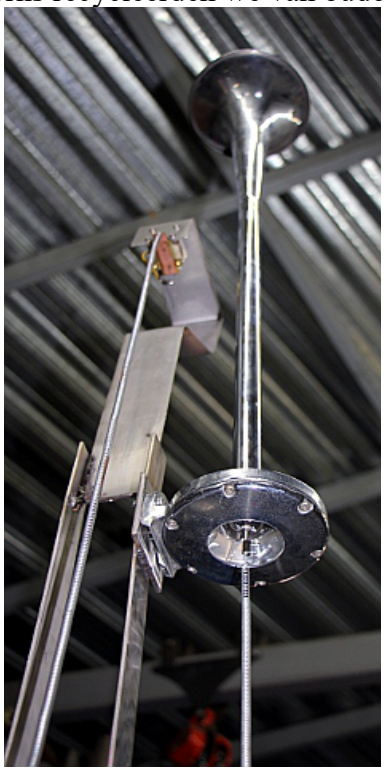
- maten: 1256 mm lengte, 750 mm breedte. hoogte 1750mm
- gewicht: 94 kg
- elektrisch: 230 V / 240 V ac - 470 W max.
- Bouwjaar: 2009
- Bouwkost: 20.000 €

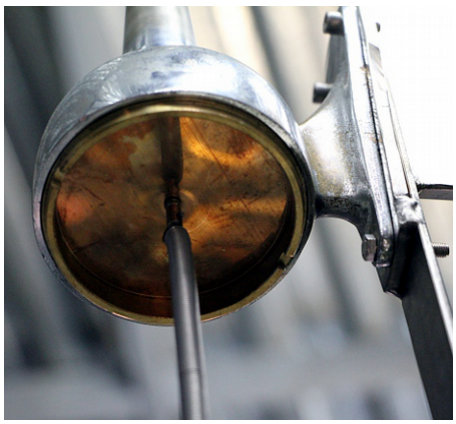
<Rumo>

De bouw van deze robot werd aangevat in 2014. Het werd een werk van lange adem dat uiteindelijk pas in 2023 als min of meer voltooid kon worden beschouwd. De bedoeling was bij het begin, een automaat te bouwen geïnspireerd op de constructie van de intonarumori zoals ontworpen en gebouwd door de Italiaanse futurist Luigi Russolo uit het begin van de 20e eeuw. Vandaar ook de naam, <Rumo>. Net zoals dat het geval was voor diens intonarumori, wilden we hier vooral gebruik maken van de principes van de akoestische versterkers. De ontwikkeling van deze versterkers had een hoge vlucht genomen door de commercialisatie van de grammofoon. De versterkingstechniek daarin gebruikt is puur mechanisch en berust op het overbrengen van een kracht uitgeoefend door een groef op een membraan gekoppeld aan een drukkamer (een akoestische impedantie transformator) uitmondend in een exponentiële hoorn. In de intonarumori is de oorsprong van de trilling echter niet een groef, maar wel de mechanische trilling van een snaar, een touw, een veer of een wiel. Ook in de Stroh-viool vinden we dit principe toegepast.
Onze <Rumo> robot is samengesteld uit een hele reeks uiterst diverse klankbronnen:

Drie lange veren geëxciteerd door elektromagneten en voorzien van akoestische versterkers met hoorn en membraan. De hoorns recycleerden we van oude scheepshoorns en ook een oude bugel.

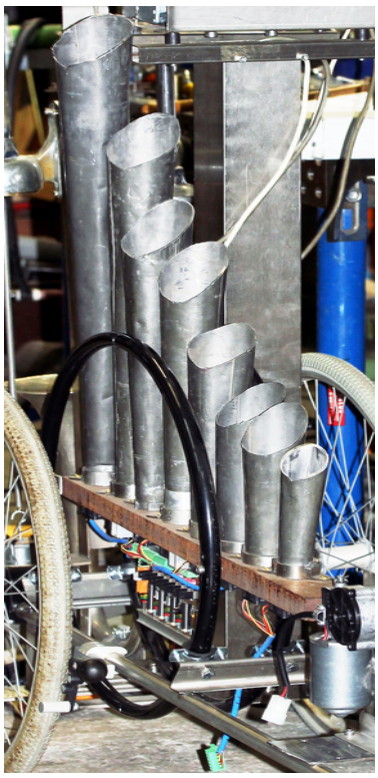






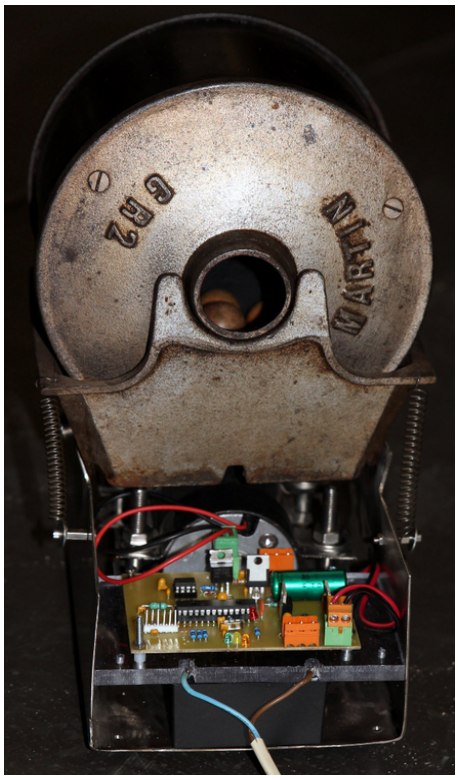
Een vierde hoorn is een lineaire conus in messing afkomstig van een oude autotoeter en voorzien van een polyacetaat membraan gekoppeld aan een dunne lange veer, bekrachtigd door een kleine gelijkstroommotor.

Een volstrekt verschillende klankmodule bestaat uit een unit opgebouwd met acht holteresonatoren, gebouwd volgens het recept van de <Whisper> robot. De grote verbeteringen die we hier aanbrachten hebben betrekking op het gebruik van intrinsiek PWM gestuurde ventilatortjes van Sanyo. Vier Microchip 8-bit processors staan in voor de besturing van deze unit.



Ook vanuit akoestisch oogpunt zijn de verbeteringen tegenover <Whisper> substantieel, niet in het minst omwille van de heel wat grotere resonatoren die we hier toepasten. Voor de constructie ervan maakten we gebruik van gerecycleerd orgelpijpmetaal.

Ooit eens gekocht op een lokale rommelmarkt, zagen we in onze Nestor Martin koffiebrander een perfect te automatiseren rammelaar. De zwengel vervingen we door een motor met een tandriem en in de cilinder voor de koffiebonen kunnen diverse granulaten gestopt worden: houten kralen, bonen, rijst, steentjes, glazen knikkers... waarbij elk van deze materialen een ander geluid oplevert.



Een industriële claxon die het dubbelzinnige geluid – C#-F# – laat horen, voegden we ook toe. Een overblijfsel uit de Duitse DDR tijd: VEB Funkmechanik Zwenkau DDR, Type SHS57G volgens het opschrift van de fabriek. Aangestuurd met een variabele spanning tussen 10V en 28V, bleken we die ruige tonen te kunnen laten voortbrengen gaande van midi noot 39 tot 43.



Een rammelaar in keramiek aangedreven door een gelijkstroommotor met regelbare snelheid



Een zestal toeters in oplopende maten. Drie ervan werden uitgevoerd als 'zachte' toeters en die worden aangestuurd door buzzers met membranen zoals eerder gebruikt in de Pi-robotjes. De overige drie 'harde' toeters worden aangestuurd door membraancompressors zoals toepast in het gros van onze automatische blaasinstrumenten. Al deze zes toeters kunnen naast hun resonantiefrequentie, ook een hele reeks boventonen laten horen.. De elektronische hardware en ook de firmware is hier volkomen analoog aan wat we eerder toepasten voor <HybrLo>.



Tot slot integreerden we ook nog enkele bijzonder luide 12 V claxons voor bromfietsen. Olok die kunnen een beperkt glissando laten horen wanneer aangestuurd met PWM. Het stemmen van deze claxons kan middels een daartoe voorziene stemschroef met moer. Het stembereik is erg beperkt en



gaat een kwint niet te boven.

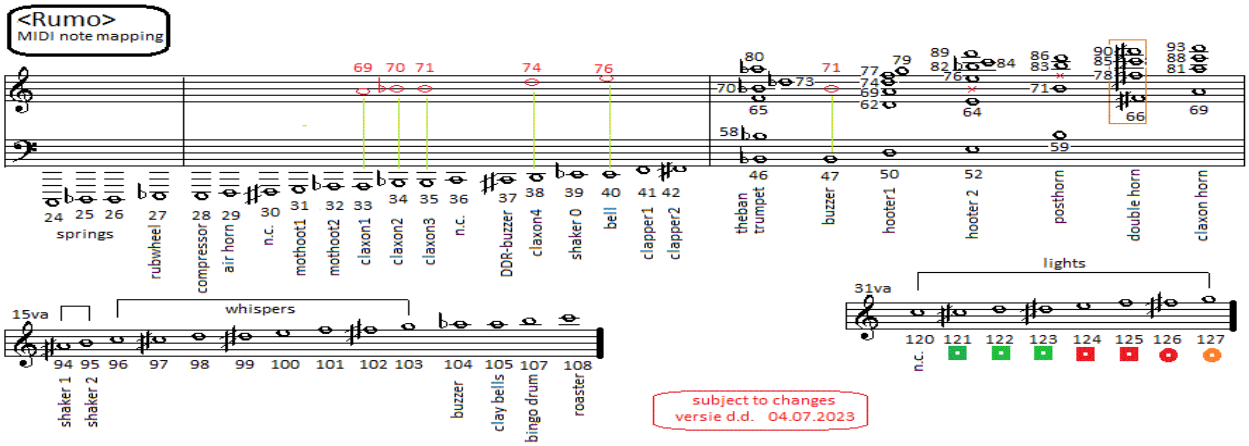
Een grote lotto-trommel – ook weer voorzien van een motor met wormwielvertraging – integreerden we na enige ombouw eveneens in deze <Rumo> robot.



Een paar echte en originele gnawa klappers hadden we ook nog liggen, en ook die automatiseerden we met twee cylindrische trekmagneten van Emessem. De houder voor deze klappers maakten we grotendeels uit massief PTFE (merknaam Teflon) omwille van de uitstekende glijeigenschappen. De werkingswijze van deze klappers verschilt principieel van wat we in vele vroegere slagwerkrobots deden: hier ontstaat het geluid op het moment dat de bovenste klapper door de elektromagneet wordt losgelaten en op de onderste klapper terugvalt.

Op vraag van enkele medewerkers, besloten we ook een heus motorgeluid in te bouwen. Dat bereikten we met een kleine cyclindercompressor ontworpen voor het aansturen van een verfspuit. Aangezien we daarmee ook over perslucht konden beschikken, voegden we meteen ook een met perslucht aangedreven scheepshoorn toe. Voor de besturing gebruikten we een elektro-pneumatisch tweeweg ventiel.

Midi implementatie en mapping:



Midi kanaal: 10.

Voor alle motoren stuurt de aanslagkracht de snelheid van de motor. Voor de koffiebrander kunnen versnelling en vertraging via controllers 32 en 33 ingesteld worden.

Controllers:

#1: stuurt de ruiscomponent in de toeters.
#7: volume controle voor de toeters
#15-:#19 ADSR controllers voor de toeters, zoals bij de π-robotjes.
#66: aan/uit schakelaar
#72,#84,#91,#96 : *Pitch bend* voor de laagste toeter
#90,#102, #109,#114 : *Pitch bend* voor de dubbelhoorn toeter
#73, #85, #92, #97: P*itch bend* voor de hoogste toeter
#123: Alle noten uit

Technische eigenschappen:

- maten: hoogte: 1800 mm, breedte: 500 mm, lengte: 1500 mm.
- gewicht: > 50kg
- elektrisch: 230V ac
- bouwjaar: 2023
- bouwkost: 15.000 €

Bibliografie:

Audsley, George Ashdown "The Art of Organ-Building", ed.: Dover Publications, NY, 1965, ISBN 0-486-21314-5 (2 boekdelen)

Backus, John "The Acoustical Foundations of Music", ed.: W.W.Norton & Company, New York, 1977 , ISBN 0-393-09096-5

Barbour, Murray J. "Tuning and Temperament", ed.: Da Capo Press, New York, 1972 (origineel: Michigan State College Press, East Lansing, 1951)

Beauchamp, J.W. "Analysis and Synthesis of Cornet Tones Using Nonlinear Interharmonic Relationships". In: j-aes, volume 23, number 10, pages 778--795, 1975.

Beauchamp, J.W., "Analysis of Simultaneous Mouthpiece and Output Waveforms of Wind Instruments" . In: j-aes, 1980, Preprint No. 1626,

Benade, Arthur .H., "Fundamentals of Musical Acoustics", ed.: Oxford University Press, 1976.

Benade, Arthur H, "Horns, Strings, and Harmony", ed.: Dover Publications Inc, New York, 1992 [orig. Anchor Books, 1960], ISBN 0-486-27331-8

Bowers, David Q., "Encyclopedia of Automatic Musical Instruments", ed. Vestal Press, New York 1972 (ISBN 0-911572-08-2)

Chadabe, Joel "Electronic Sound:The past and Promise of electronic Music", ed.: Prentice hall, New Jersey, 1997 ISBN: 0-13-303231-0

Clynes, Dr.Manfred "Sentics: The touch of the Emotions", ed.: Achor Press, Doubleday, Garden City New York, 1978 - ISBN 0-385-08622-9

De Keyser, Ignace “Challenging von Hornbostel & Sachs”, https://www.logosfoundation.org/50jaarlogos/Ignace_De_Keyser.html (2018)

Ellis, Alexander J & Mendel, Arthur "Musical Pitch", ed.: Frits Knuf, Amsterdam, 1968

Fletcher, N.H. & Tarnopolsky, A. "Blowing pressure power and spectrum in trumpet playing" In: J. Acoust. Soc. Am., volume 105, number 2, part 1, 1999.

Focke, Anne (ed.), “Trimpin, Contraptions for Art and Sound”, University of Washington Press. 2011 (ISBN 978-0-295-99109-2)

Gellerman, Robert F. "Gellerman's International Reed Organ Atlas", ed. Vestal Press. (ISBN 1-879511-34-7)

Guillaume, Philippe, "Music and Acoustics. From Instrument to Computer", ed.: ISTE Ltd., London, 2006, ISBN 1-905209-26-6

Helmholtz, Hermann L.F., "On the Sensations of Tone", ed.: Dover Publications, New York, 1954, ISBN 0-486-60753-4

Horowitz,Paul & Hill,Winfield "The Art of Electronics", ed.: Cambridge University Press, Cambridge, 1980

Maes, Laura a.o., “The Man and Machine Robot Orchestra at Logos”, in: Computer Music Journal, MIT Press, 2011.

Maes, Laura “Fünfzig Jahre Experiment”, in: MusikTexte, Köln, mai 2019

Martin, Daniel W., "Lip vibrations in a Cornet Mouthpiece", In: J.Acoust.Soc.Am. Vol13 . 1942

Menzel, Peter & D'Aluisio, Faith “Robo sapiens, evolutie van een nieuwe soort”, ed. Veen Magazines, Amsterdam 2002. (ISBN 90 76988 08 0)

Oosterhof, A.P. en Bouman, A "Orgelbouwkunde" (1985), ed.: Spruyt, Van Mantgem & De Does BV, Leiden. ISBN 90 238 1279 4

Ord-Hume, Arthur W.J.G "Barrel Organ", ed.: George Allen & Unwin Ltd, 1978, ISBN 0 04 789005-3

Owen, Barbara "Reed organ", in: 'The new Grove dictionary of musical instruments', ed. Stanley Sadie, Macmillan Press Ltd, NY 1984

Parent, Mattias “Muziekmaker Godfried-Willem Raes, de politieke en esthetische fundamenten van zijn werk”, Licentiaatsthesis K.U.L, Leuven 2005

Picken, Laurence (editor) , Musica Asiatica 3. ed.: Oxford University Press, London 1981, pages 1–9: C.J. Adkins, R.C. Williamson, J.W. Flowers, L.E.R. Picken: Frequency-doubling chordophones.

Raes, Godfried-Willem, "Kursus Akoestiek", Ghent University College 1982/2014, Internet: https://www.logosfoundation.org/kursus/index.html

Raes, Godfried-Willem, "Expression control in automated musical instruments", 1977/2025 https://www.logosfoundation.org/g_texts/expression_control.html

Raes, Godfried-Willem, "Logos @ 50, het kloppend hart van de avant-gardemuziek in Vlaanderen" ed. Stichting Kunstboek, Oostkamp (2018)

Riches, Martin “Maskinerne / The Machines / Die Maschinen”, ed. Kunsthallen Brandts Klaedefabrik, Odense, 2004 (ISBN 87-7766-144-3)

Roads, Curtis "The Computer Music Tutorial", ed.: MIT Press, Cambridge, 1996

Roads, Curtis "The Music Machine: selected reading from Computer Music Journal", ed.:MIT Press, Cambridge, 1989

Rogers, Troy, "A note on tuning reeds in reed organs" , https://www.logosfoundation.org/instrum_gwr/harmo/harmoReedTuning.html (2010)

Rossing, Thomas.D (editor), “The Science of String Instruments”, ed: Springer NY, Stanford CCRMA, ISBN 978-1-4419-7109-8 (2010)

Schläger, Christof, “Electric Motion”, ed. Museum Ostdeutsche Galerie, Regensburg, 2001

Sears, Roebuck and Co., "The reed organ", Chicago, 1910

Siemens Gmbh, 'Sinamics Motor Controller Manual', 2005

Siemens Gmbh, 'Sinamics Motor Controller G110 parameter list', 2005

Smith, Bob H., "An Investigation of the Air Chamber of Horn Type Loudspeakers", in: The Journal of the Acoustical Society of America 25, 305-312 (1953); https://doi.org/10.1121/1.1907038

Smit, Thorsten a.o., 'A highly accurate plucking mechanism for acoustical measurements of stringed instruments', in: Journal of the Acoustical Society of America, EL223, may 2010.

Utz, Christian

Van Witteloostuijn, Jaco & Maas, Ruud. "Muziek uit stekels en gaten", ed.: Frits Knuf bv, Buren 1984, ISBN 90 6027 462 8

Wilson, Dave “Motor Control Compendium”, ed. Texas Instruments, 2011 (http://www.ti.com/motorcontrol)

Winckel, Fritz "Music, Sound and Sensation, a modern exposition", ed.: Dover Publications, 1967 [Orig. Max Hesse, 1960], ISBN 0-486-21764-7