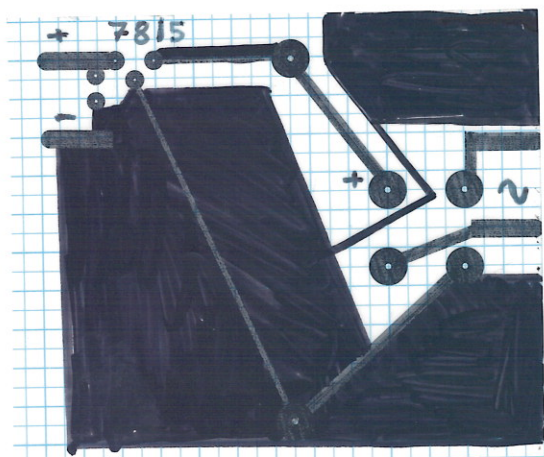


PG

Hex

Stappenmotor  
kaart



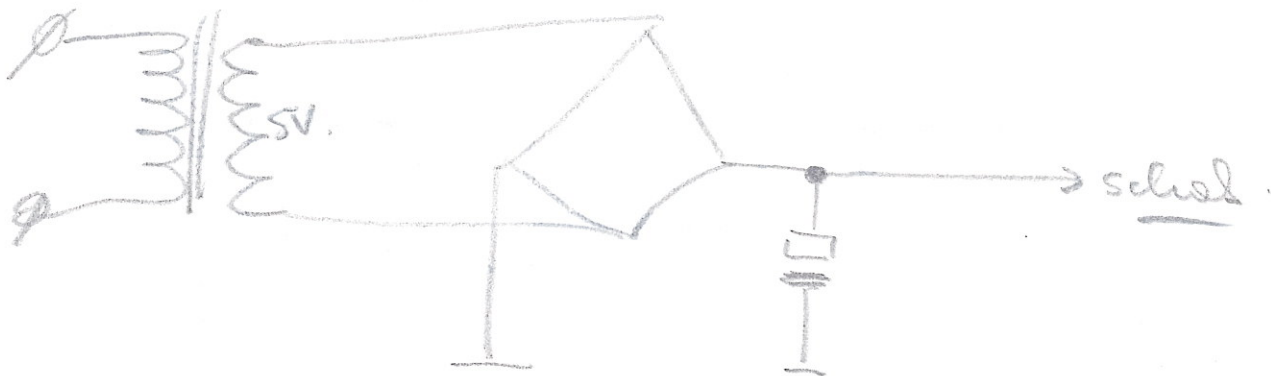
$$1.5 \text{ A} / 5 \text{ V} = P = \underline{\underline{7.5 \text{ W}}} \times 2$$

$$(3 \Omega)$$

(~~max~~ 2 faze  $\rightarrow$  logički 1)

$\Rightarrow 15 \text{ Watt}$

$$I_{\text{tot max}} \approx 3 \text{ A}$$



$$U = IR$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$P = I \cdot U$$

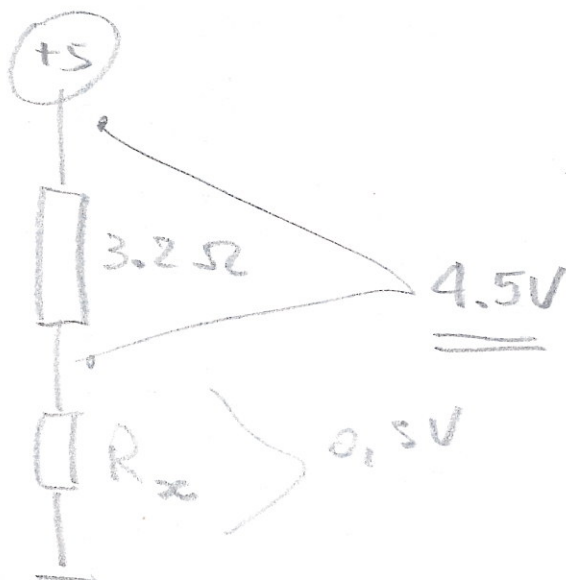
$$= 1.4 \cdot 0.5$$

$$R_{\text{fox}} = \frac{4.5}{1.4 \text{ A}} = 3.2 \Omega$$

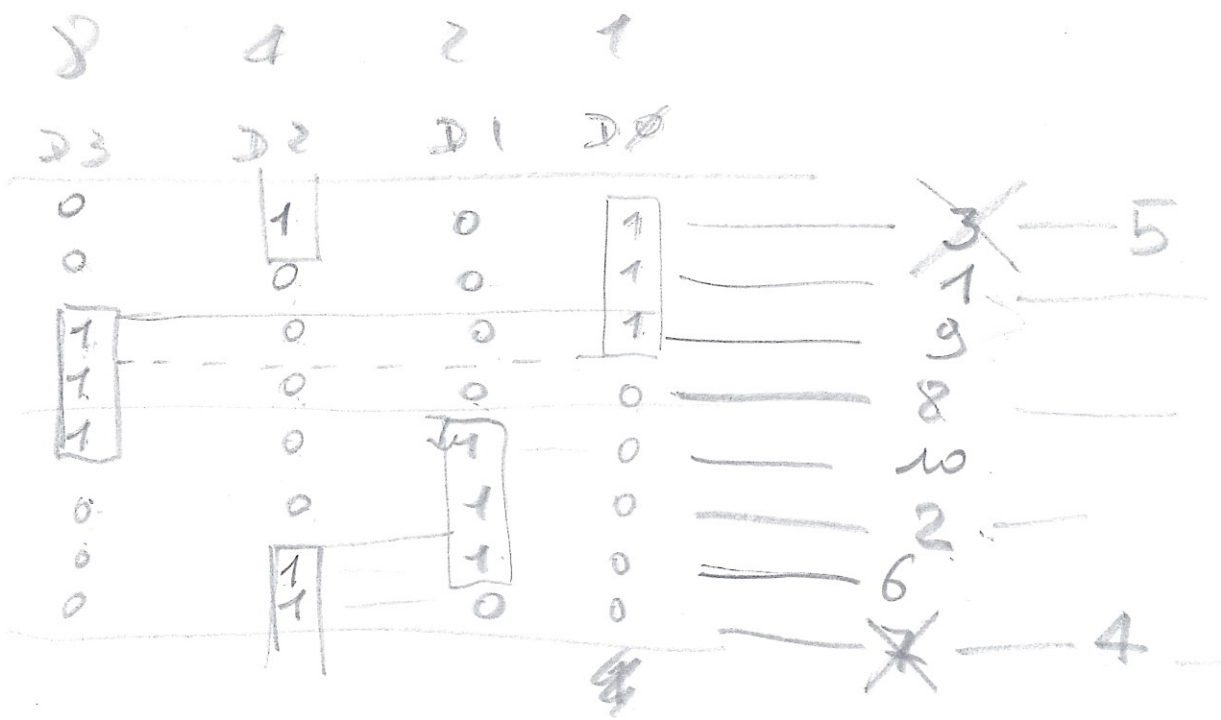
$$1 \text{ cm} = 4 \text{ cm}$$

$$4 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

$$2 \text{ cm} = 0.5 \text{ cm}$$



$$R = \frac{0.5}{1.4} = \underline{\underline{0.33 \Omega}}$$



Alg. sequence

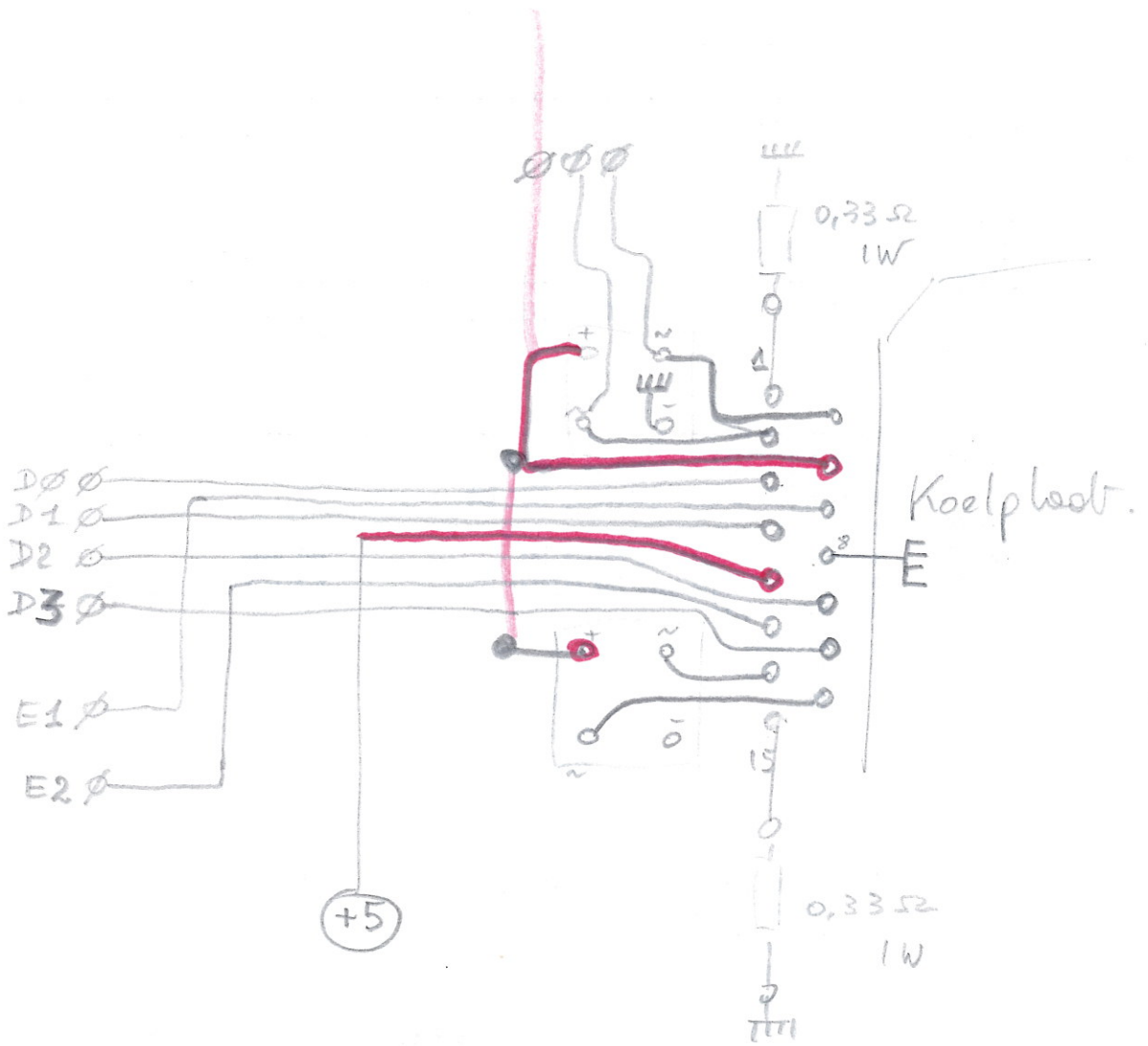
1 = 1 ←  
 + 8 = 9  
 - 1 = 8  
 + 2 = 10  
 - 8 = 2  
 + 4 = 6  
 - 2 = 4  
 + 1 = 5  
 - 4 = 1

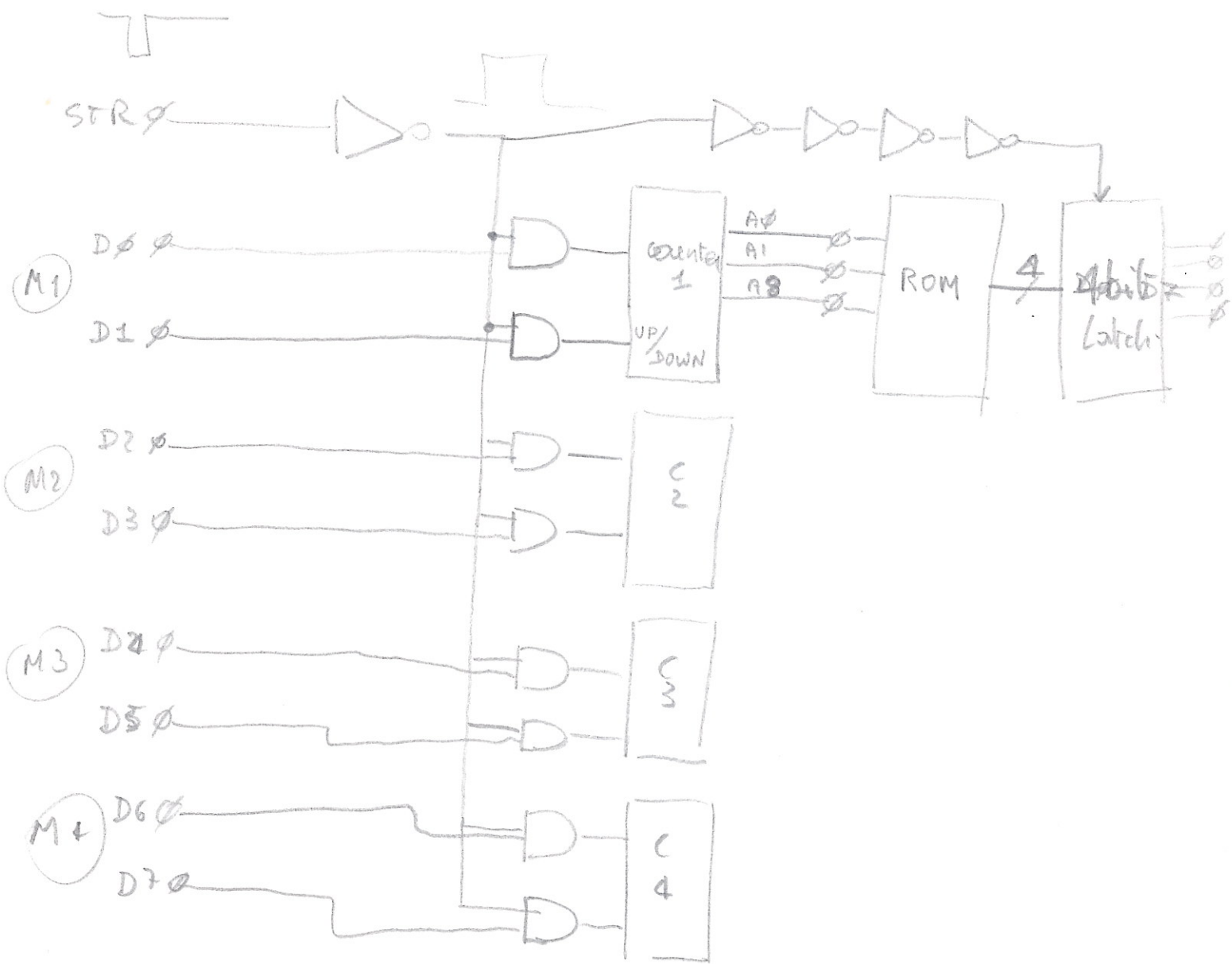
```

FOR I = 0 TO 7
  IF I < 3 THEN
    S = S AND 1
    OR
  IF I > 3 AND I < 7 THEN
    S = S OR 2
  IF I = 0 OR I > 5 THEN
    S = S OR 4
  IF I > 1 AND I < 5 THEN
    S = S OR 8
NEXT I
  
```

1	1	1	1
0	1	0	1

Motora +





STR  $\phi$

M1

D0  $\phi$

D1  $\phi$

M2

D2  $\phi$

D3  $\phi$

M3

D4  $\phi$

D5  $\phi$

M4

D6  $\phi$

D7  $\phi$

Counter 1  
UP/DOWN

C 2

C 3

C 4

ROM

4-bit Latch

A0  $\phi$

A1  $\phi$

A2  $\phi$

A3  $\phi$

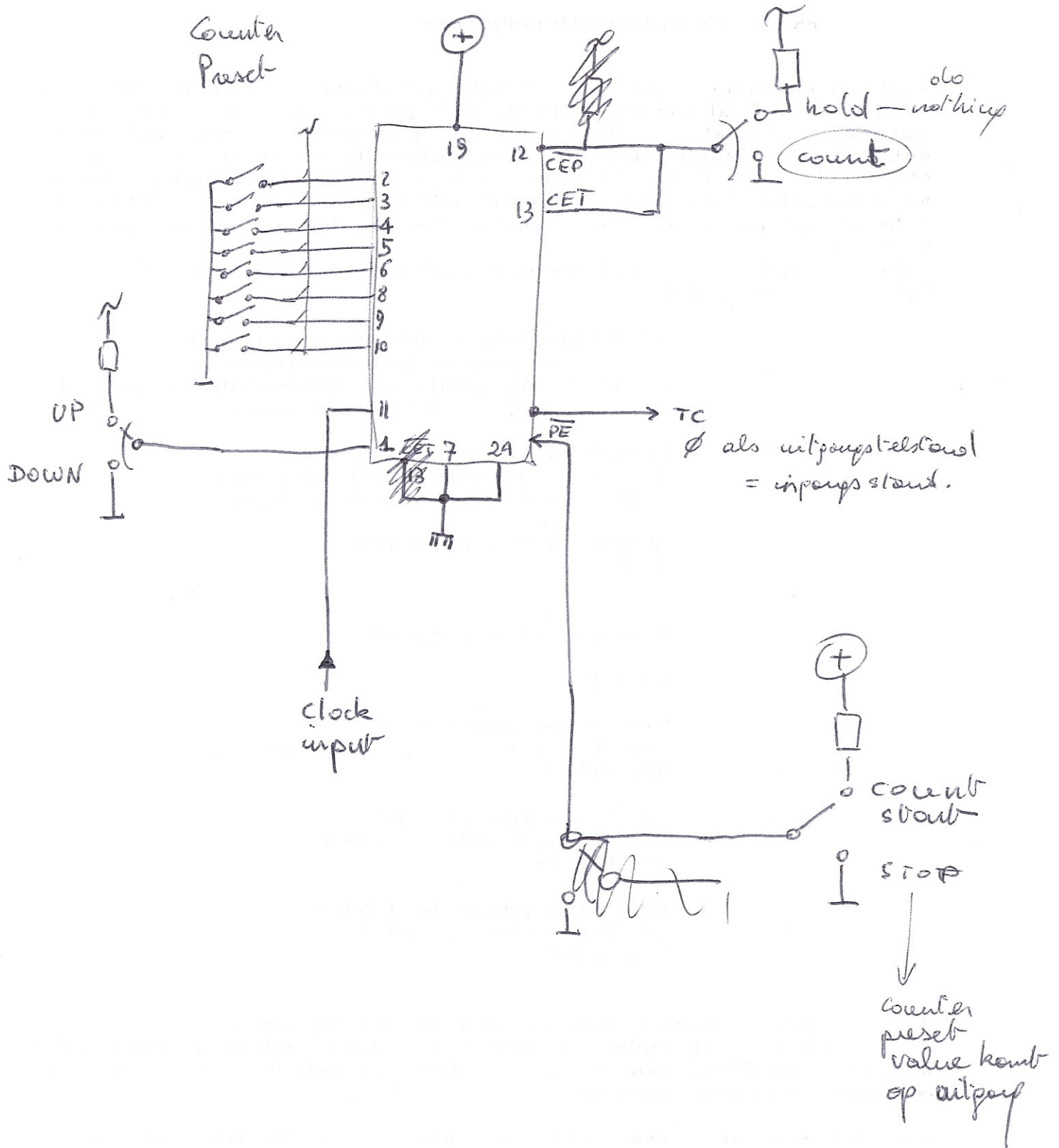
$\phi$

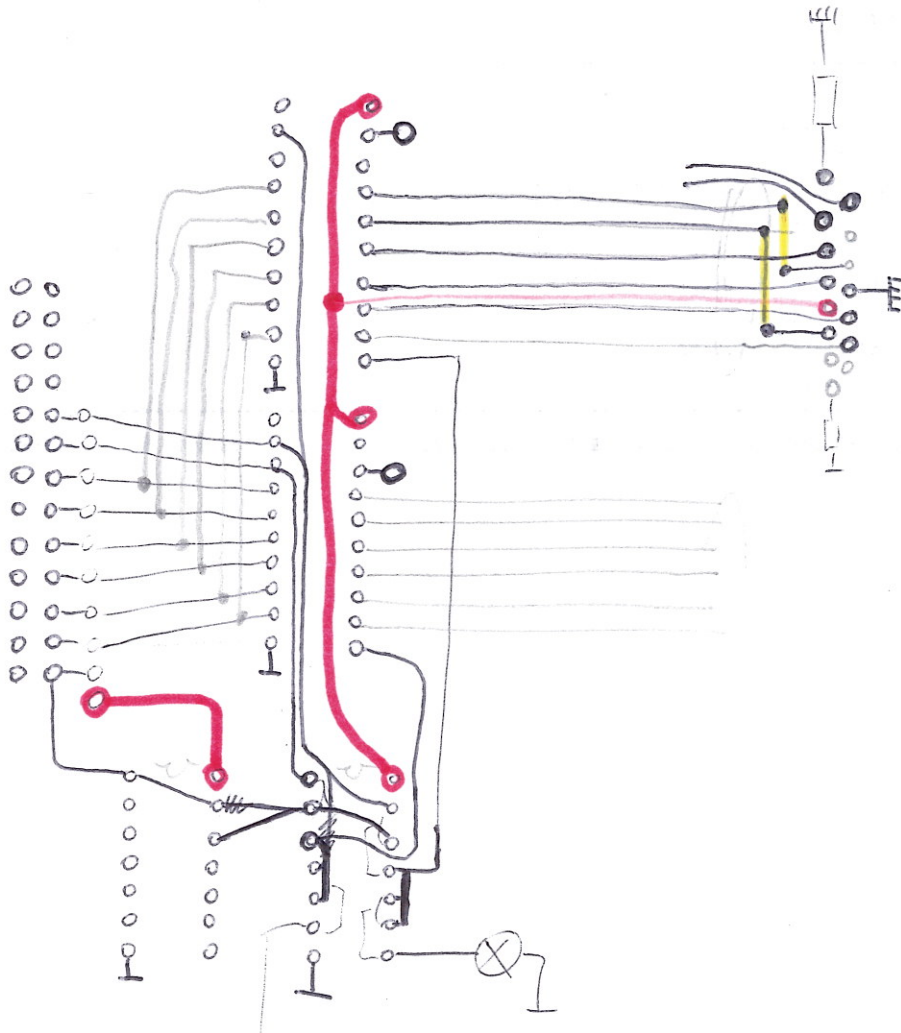
$\phi$

$\phi$

$\phi$

4





7406  
INVERT

7408  
AND

OK



## Chips used

### Stepping Controller II

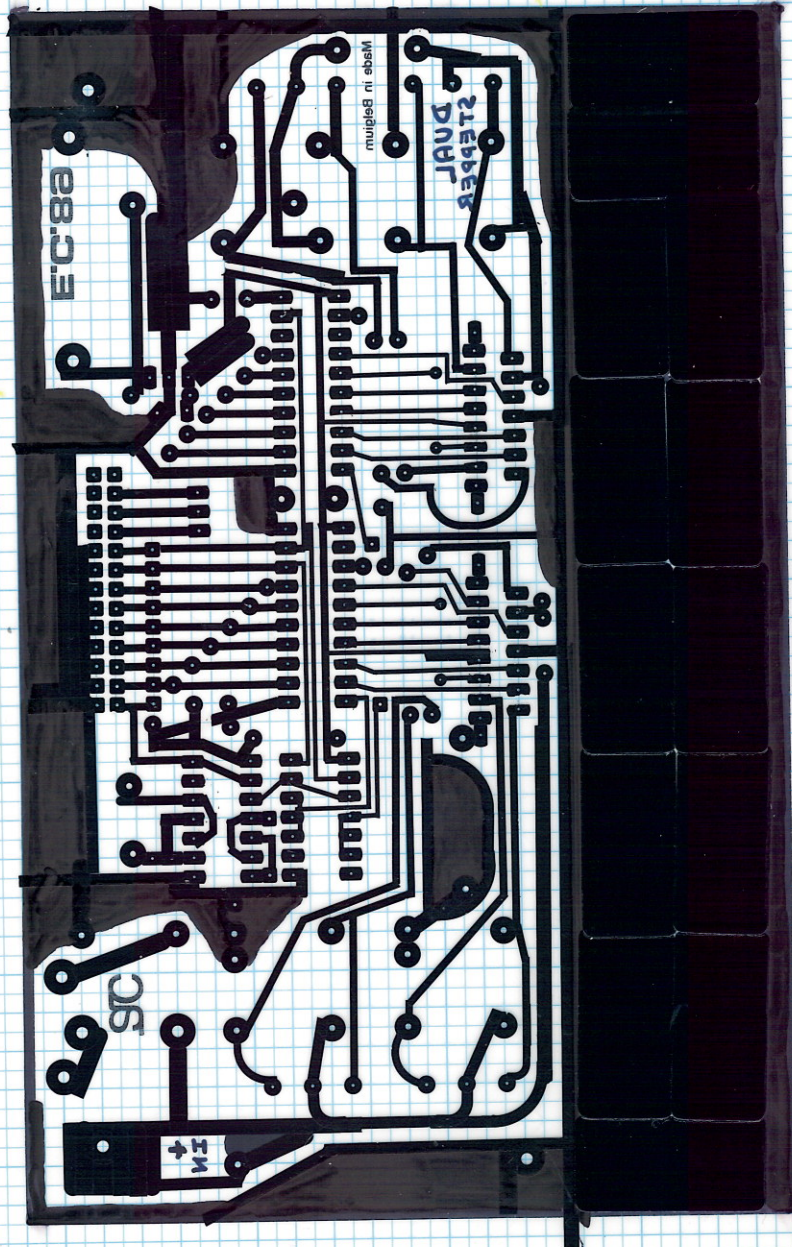
2 x L298N

2 x 74 HCT 573 latches

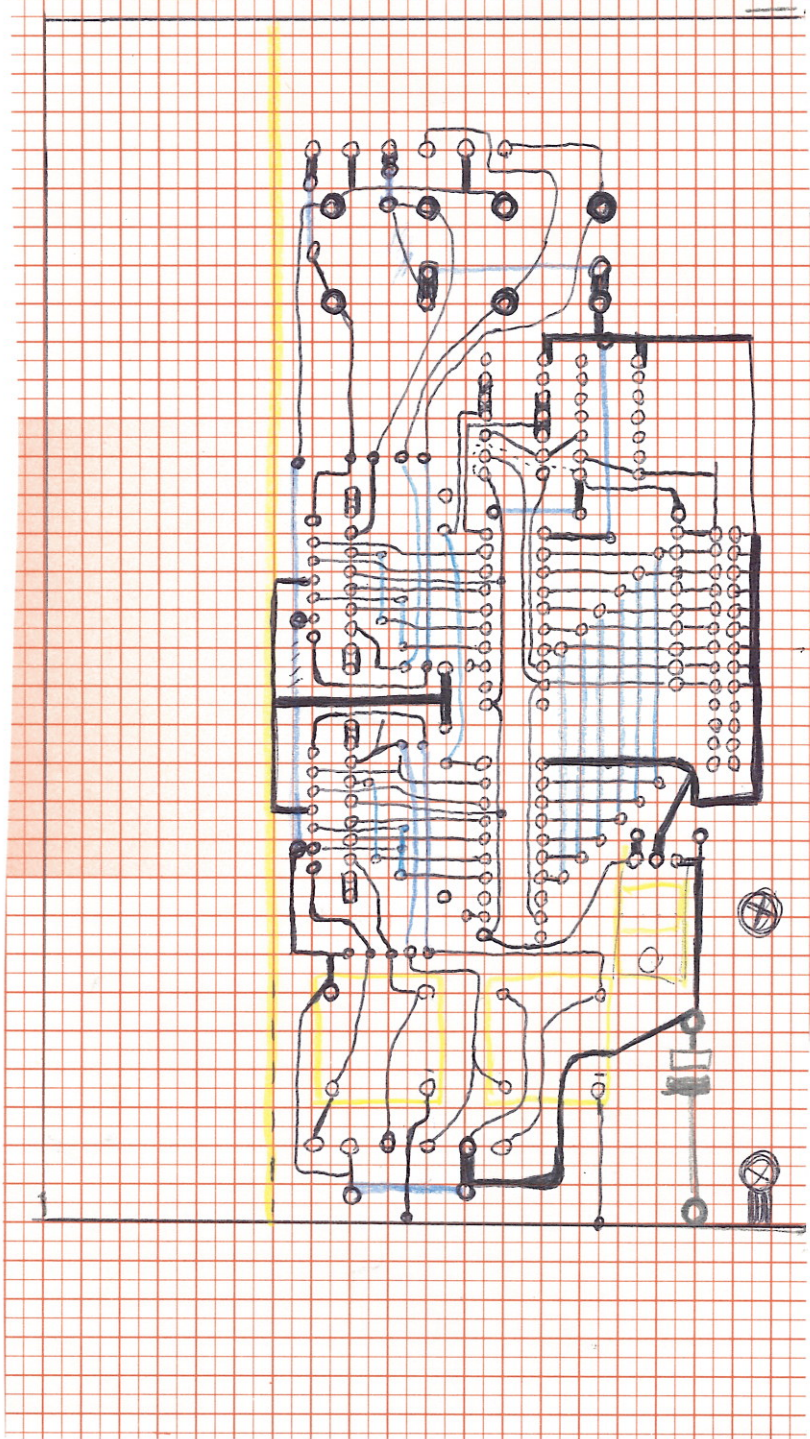
1 x 7404 HCT inverter hex. = 7414

1 x 7408 HCT AND

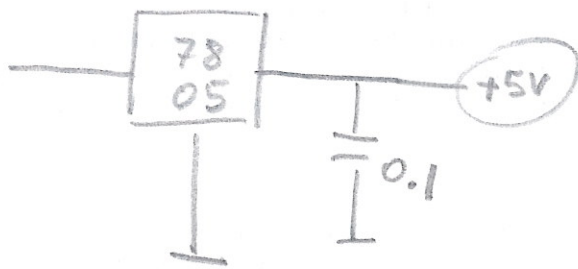
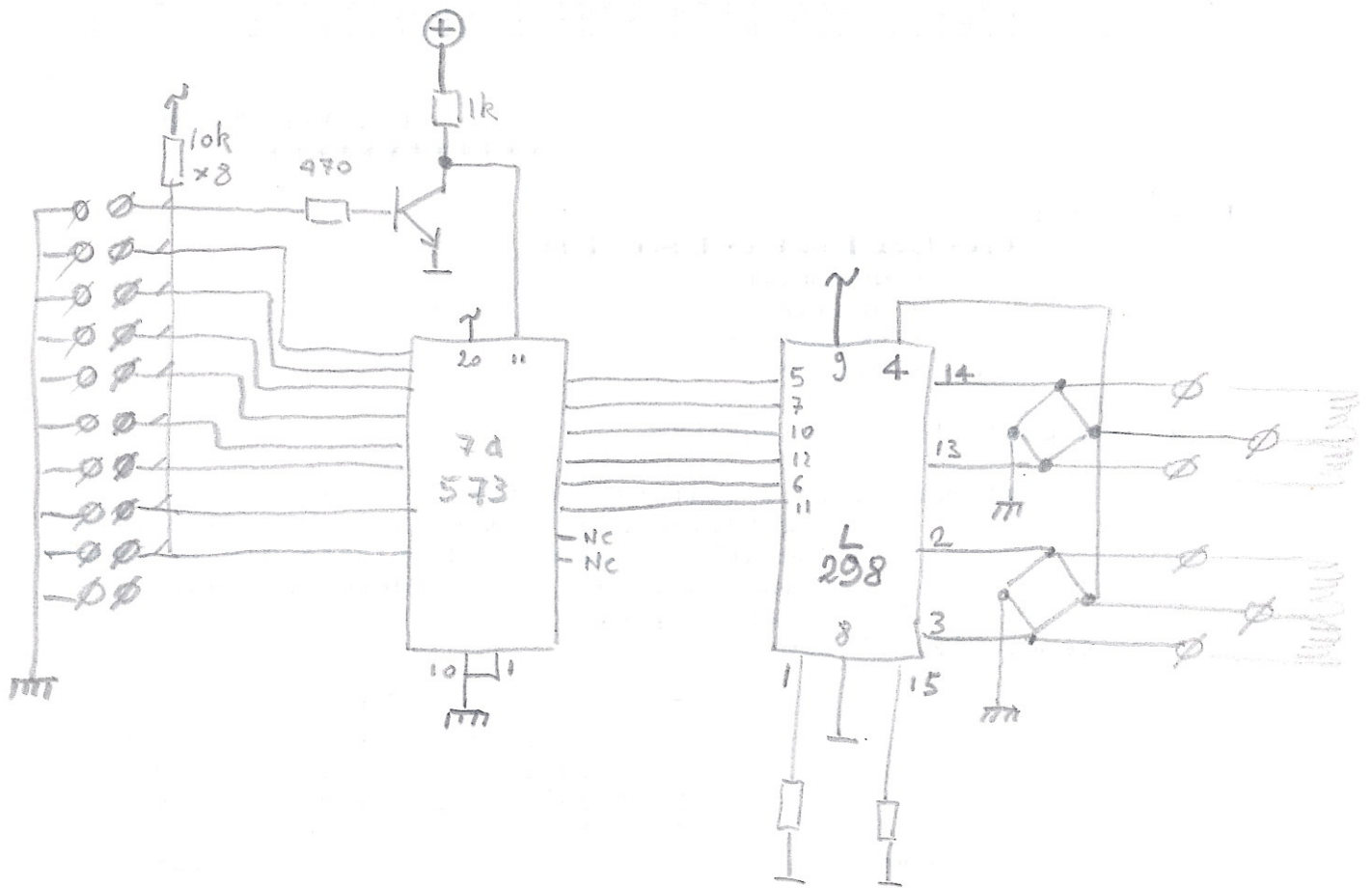
1 x 7805 Volt. regulator.



Stepping Motor Controller Nr.2 G.W.Roes  
14/11/89



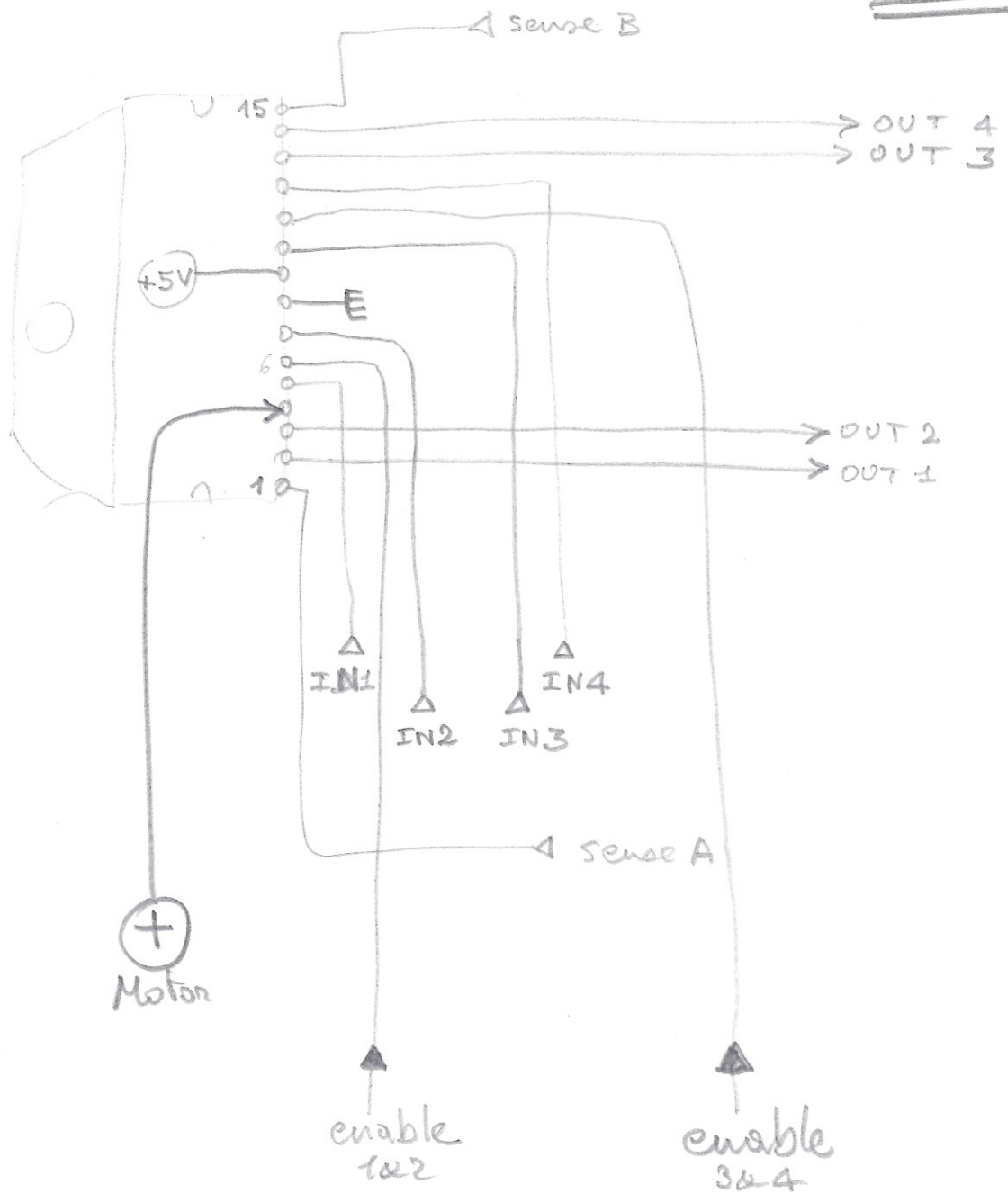
# MM51 Stepping motor controller



## Bit functionalities.

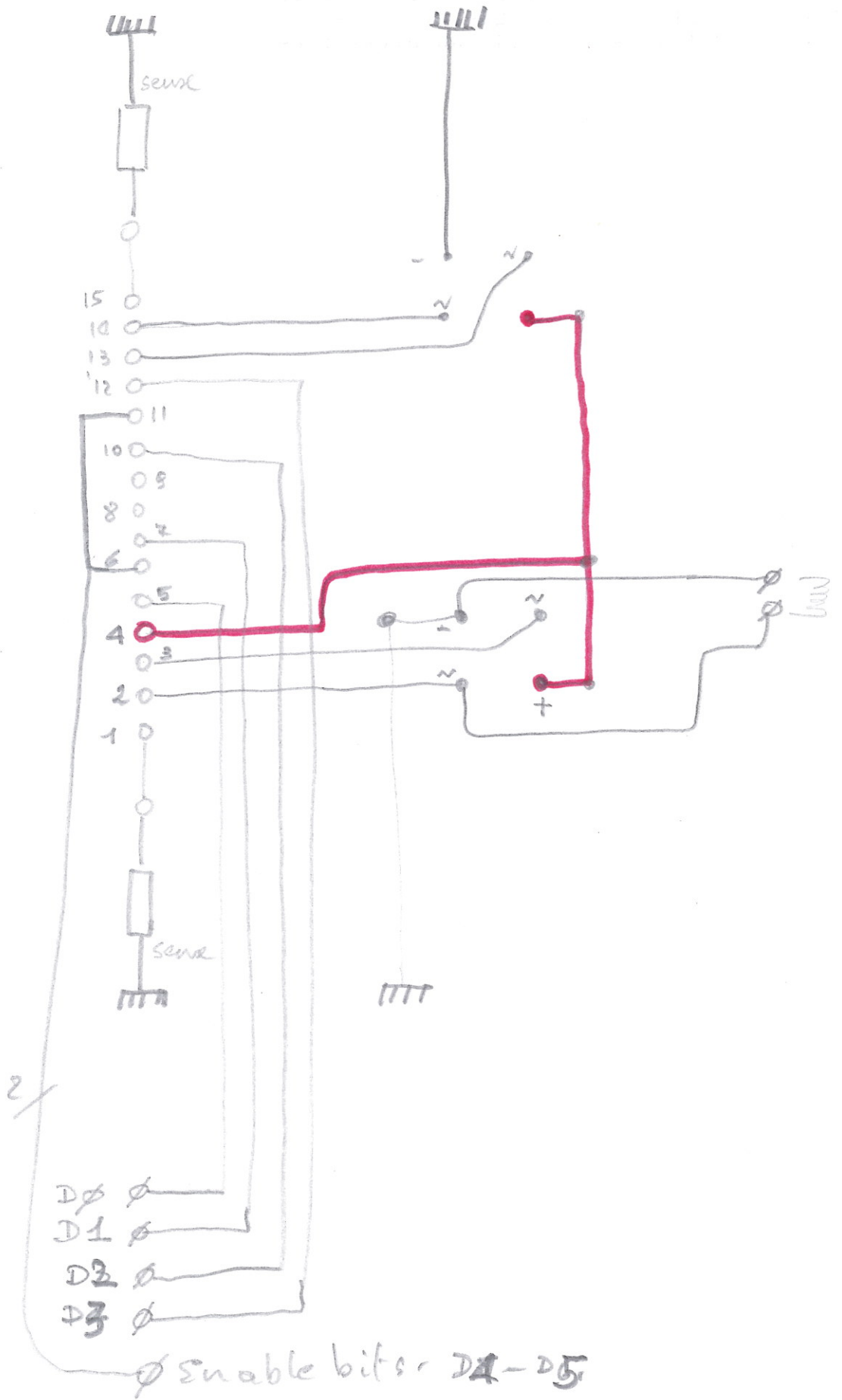
- 1/ D0 - D3 : Motor bits
- 2/ D4 - D5 : Enable bits
- 3/ D6 : Motor 1 select
- 4/ D7 : Motor 2 select

L298



L298

stepper controller



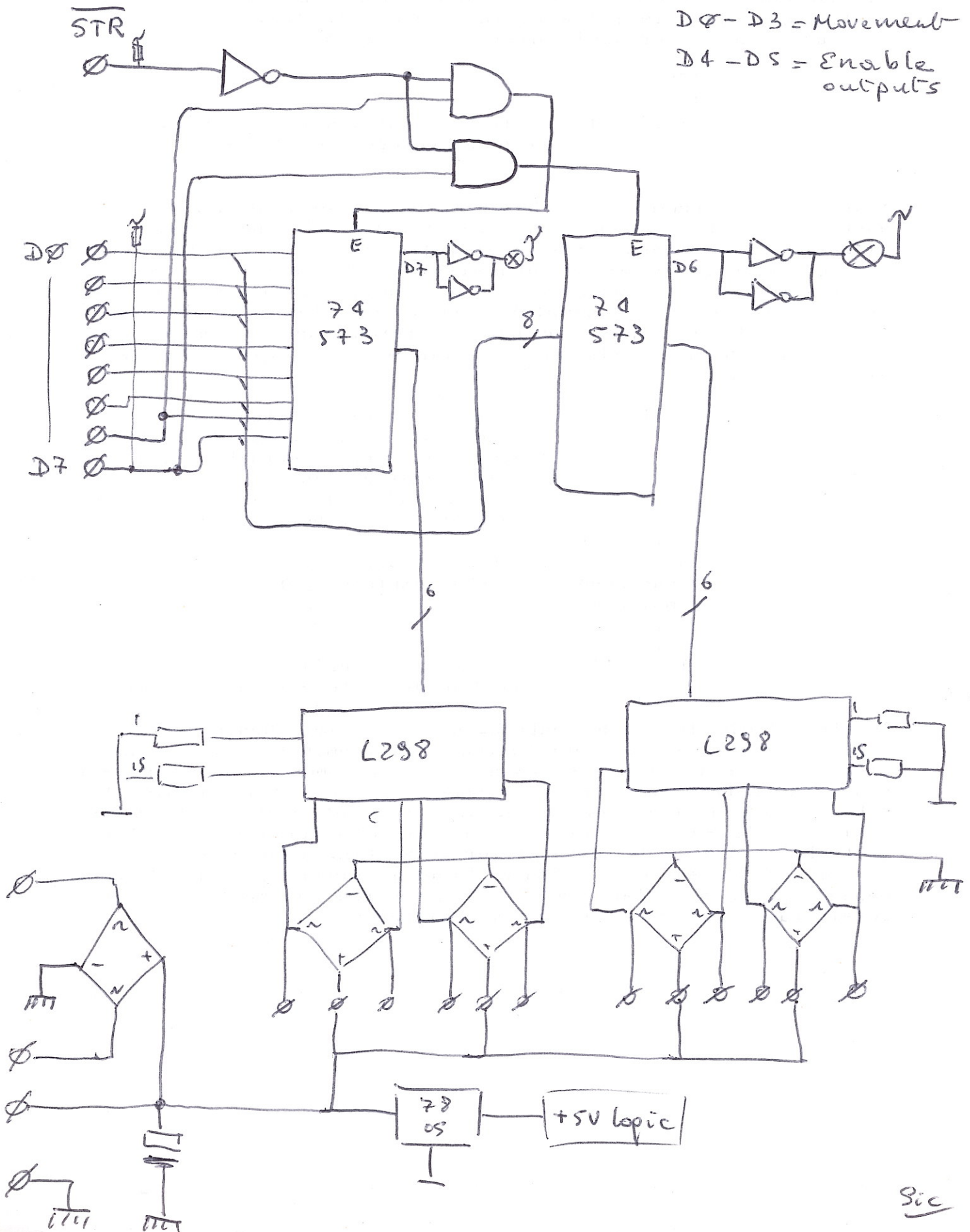
# Stepping-Motor Control II

No Handshakes!

D6 & D7 = Motor Select bits

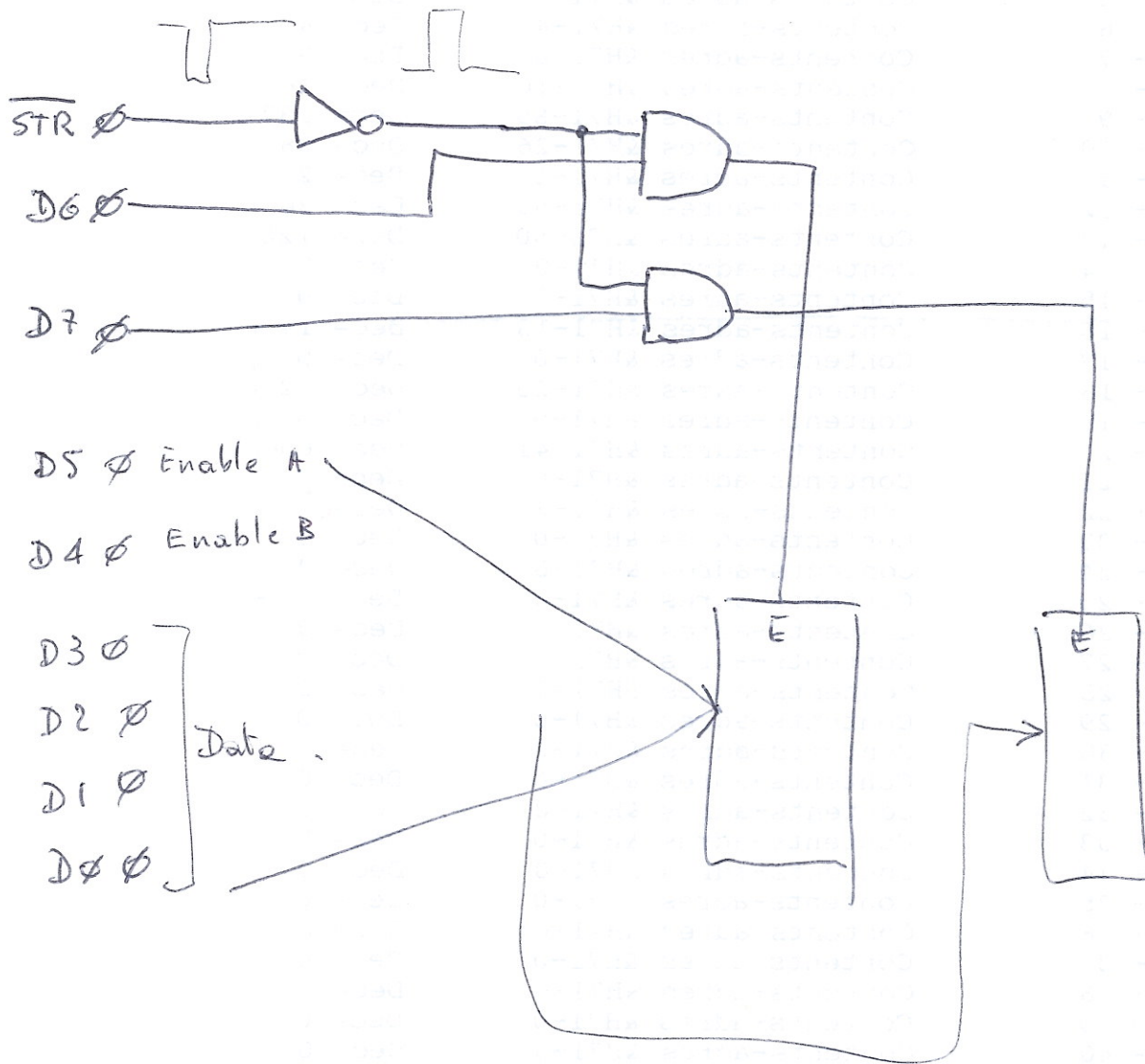
D0 - D3 = Movement

D4 - D5 = Enable outputs

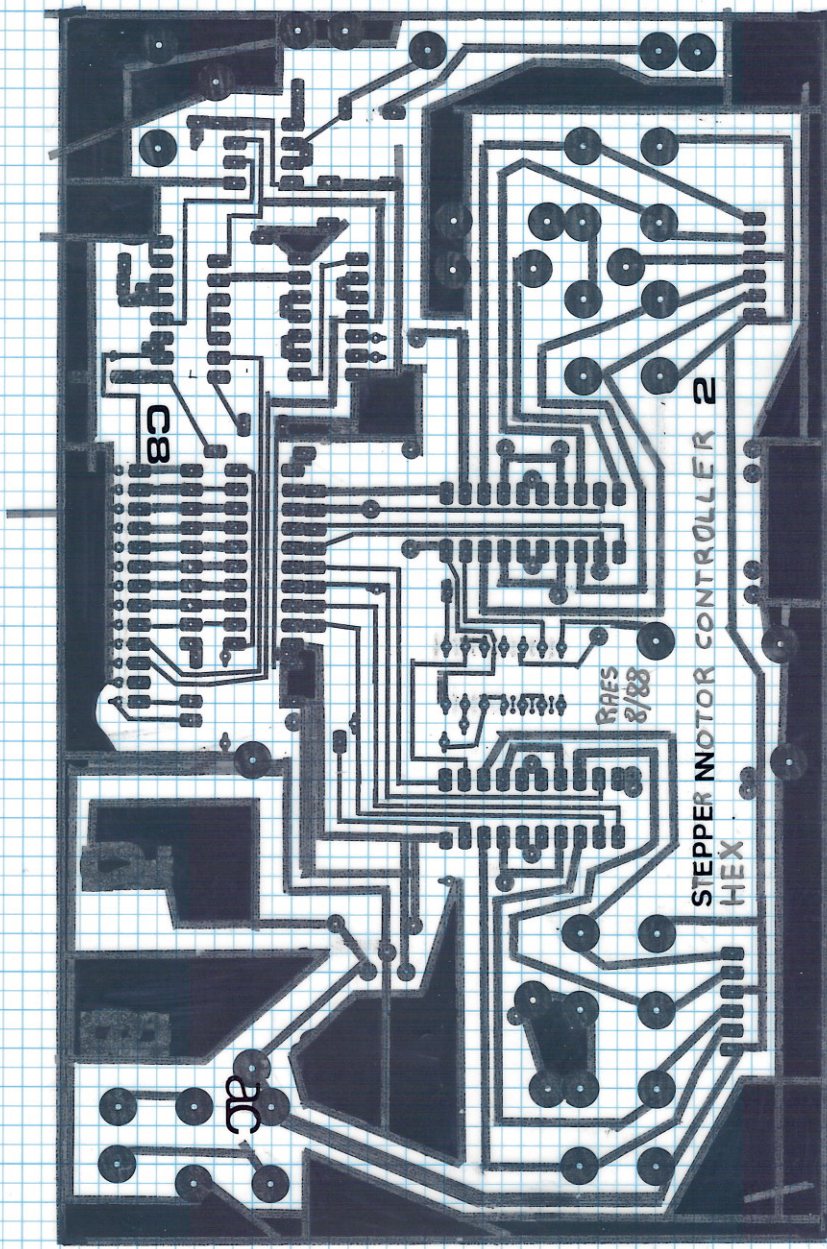


Sic



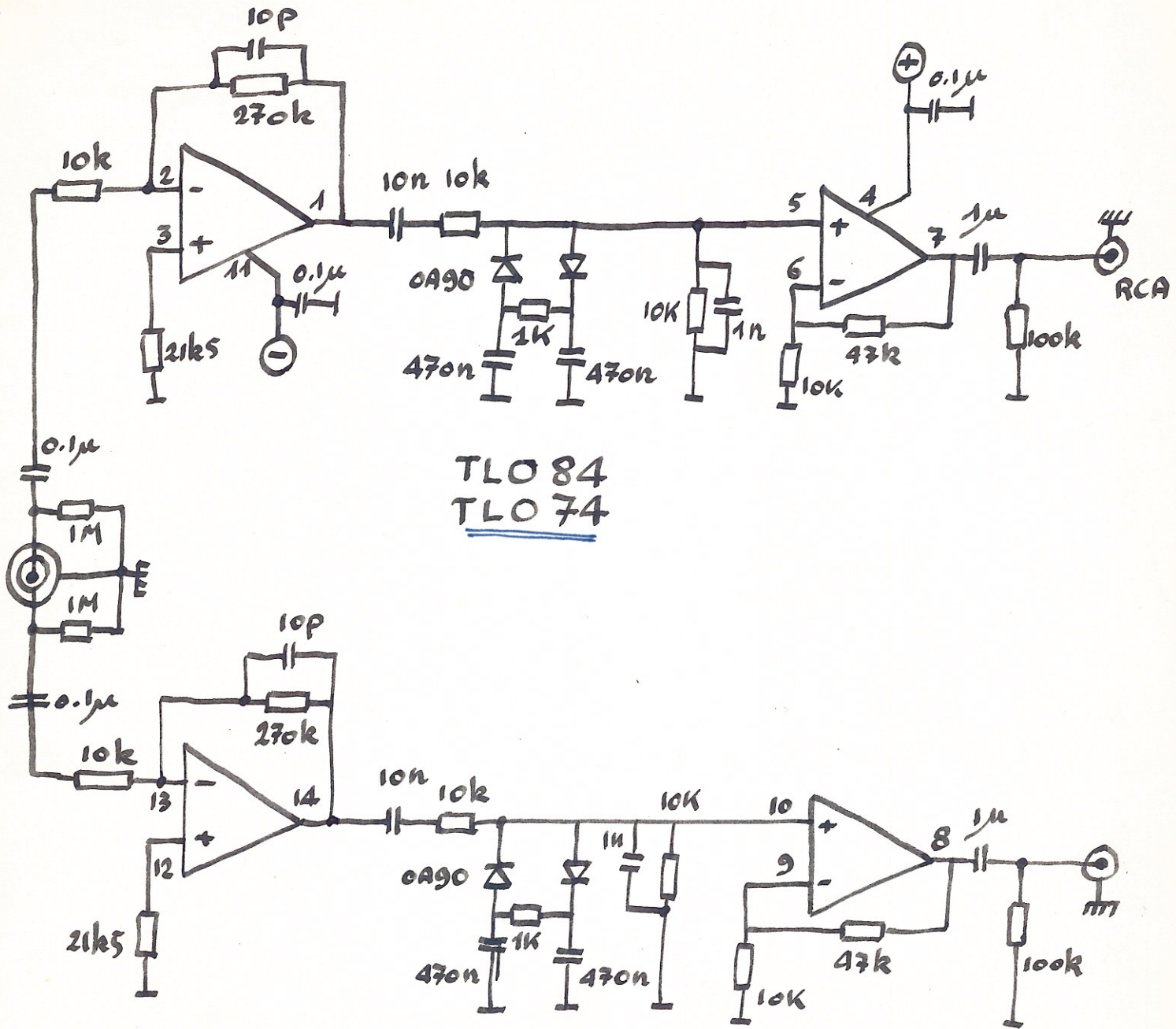


OK



P6 receiver

Kompressie-versterker



power :  $\pm 15V$  - sym. Din-3p.

$\left\{ \begin{array}{l} \text{pin 1} = + \\ \text{pin 2} = 0V \\ \text{pin 3} = - \end{array} \right.$

housing: Capstan type  
tobacco-can

input: logos' piezo disc  
contact microphone

Sic  
def

25/8/88

# Meetgegevens

1/ Ingangsspanning =  $10\text{mV}_{\text{tt}}$  ( $= 3.53\text{mV}_{\text{rms}}$ )

		$A_v$
200 Hz	$U_{\text{out}} = 100\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 10$
425 Hz	$200\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 20$
1000 Hz	$400\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 40$
2000 Hz	$500\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 50$
8000 Hz	$400\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 40$
20 kHz	$400\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 40$
50 kHz	$200\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 20$

2/ Ingangsspanning = ~~10mV<sub>tt</sub>~~  $800\text{mV}_{\text{tt}}$  ( $= 282\text{mV}_{\text{rms}}$ )

		$A_v$
64 Hz	$1000\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 1.25$
150 Hz	$2000\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 2.5$
1000 Hz	$4000\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 5$
20000 Hz	$4000\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 5$
50 kHz	$2000\text{mV}_{\text{tt}}$	$\times 2.5$

Sic?

25/8/88

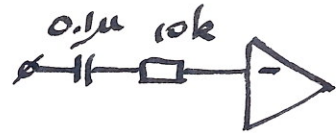
## Opmerkingen

ontwerpen voor : geen low-frequency

(onderdrukking  
stapfrequentie v/d motoren  
& aanroakgeluid)

Ingangs-G :

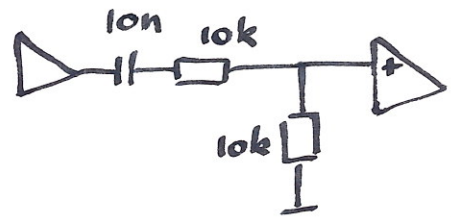
$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} = 160 \text{ Hz}$$



Uitgangs-G :

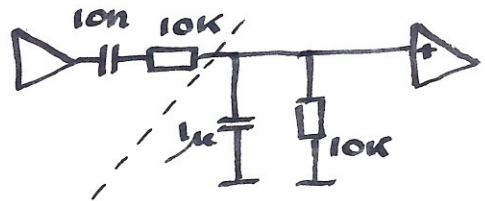
a. bij klein ingangssinjaal :

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 795 \text{ Hz}$$



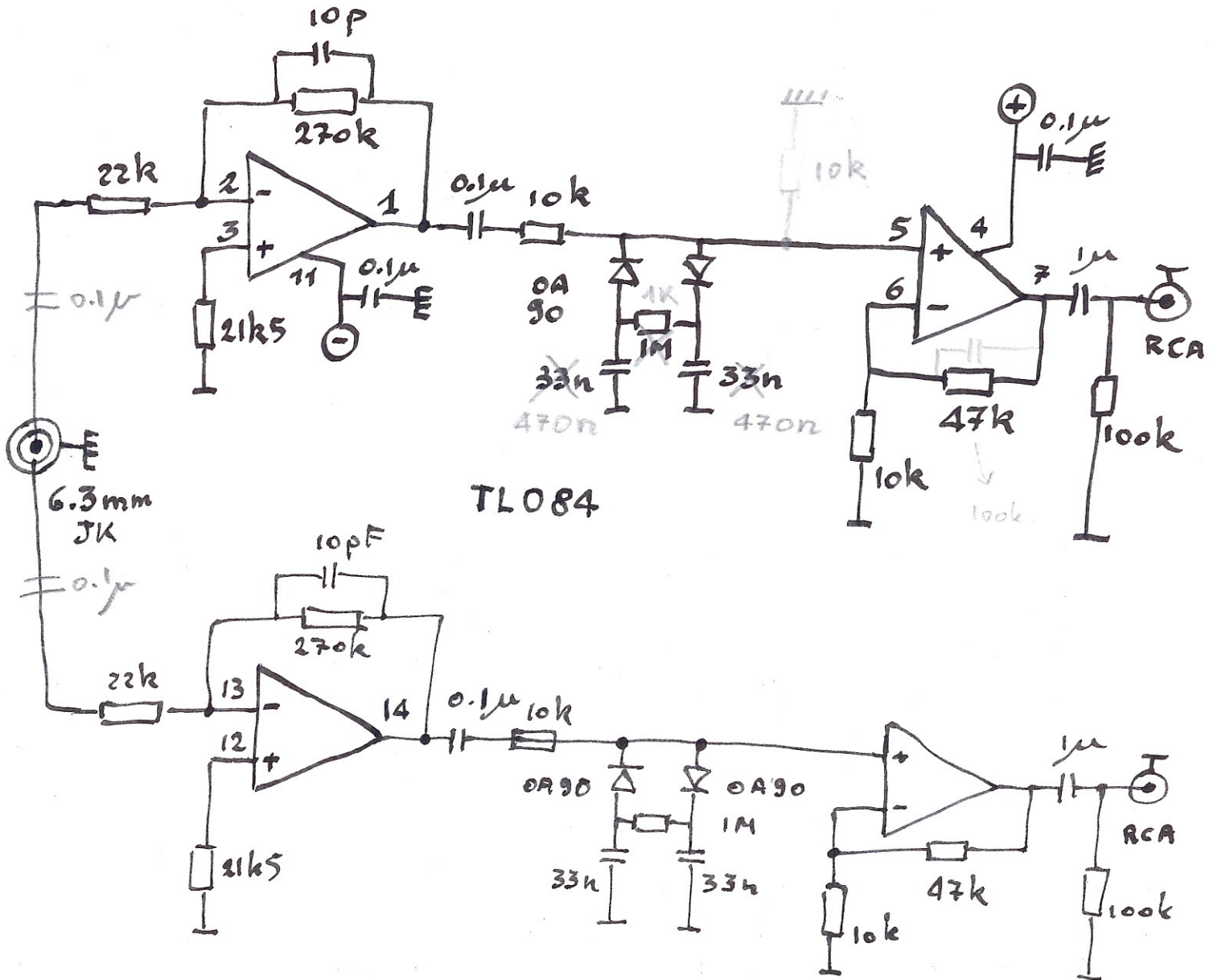
b. bij groot sinjaal

$$f_{ca} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 1600 \text{ Hz}$$



# P6 receiver

Kompresie versterker.



TL084

voeding: +15V - 0 - -15V DIN-3p

behuizing: Capstan-type tobacco-can

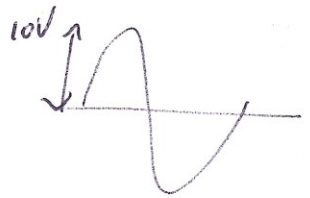
*Vertrouwschema*  
*Choupeol!*

*[Handwritten signature]*

1kc

$U_{out}$  max

before clipping:  $20 V_{tt}$



voor  $U_i = 1 V_{tt}$  <sup>500mV</sup>



$\Rightarrow A_v = \underline{20x}$  @ 1kc

of  $f_i$  stijgt clip ie eerder!

$U_{out} = -6dB$  ( $10V_{tt}$ )

bij  $f_i = \underline{333 Hz}$

$U_{out} =$   $1V_{tt}$  :10!

bij  $f_i = 50 Hz$ .

$U_i = 200mV_{tt}$  id.  $U_o = 4V_{tt}$  bij 1kc

$U_o = 5V_{tt}$  bij  $9kc$

daarna  $U_o$  zakt!

$U_o = 4V_{tt}$  bij  $36kc$

$U_o = 1V_{tt}$  bij  $200kc$

$U_o = 1V_{tt}$  bij  $175 Hz$

parallel  
= 330nF

$1V_{tt}$

klein signal meting

f

$$U_i = 20 \text{ mV}_{\text{eff}}$$

100 mV<sub>eff</sub>

$$150 \text{ mV}_{\text{eff}}$$

idem

⇒ 4kc.  
kleine piek!

lineair

post load = 330 nF  
in  
kompressor

$$U_o = 100 \text{ mV}_{\text{eff}}$$

175 Hz

$$U_o = 200 \text{ mV}_{\text{eff}}$$

330 Hz

$$U_o = 400 \text{ mV}_{\text{eff}}$$

1kc

$$U_o = 500 \text{ mV}_{\text{eff}}$$

@ 800 kc.

↑  
maximum

$$U_o = 250 \text{ mV}_{\text{eff}}$$

@ 68 kc.

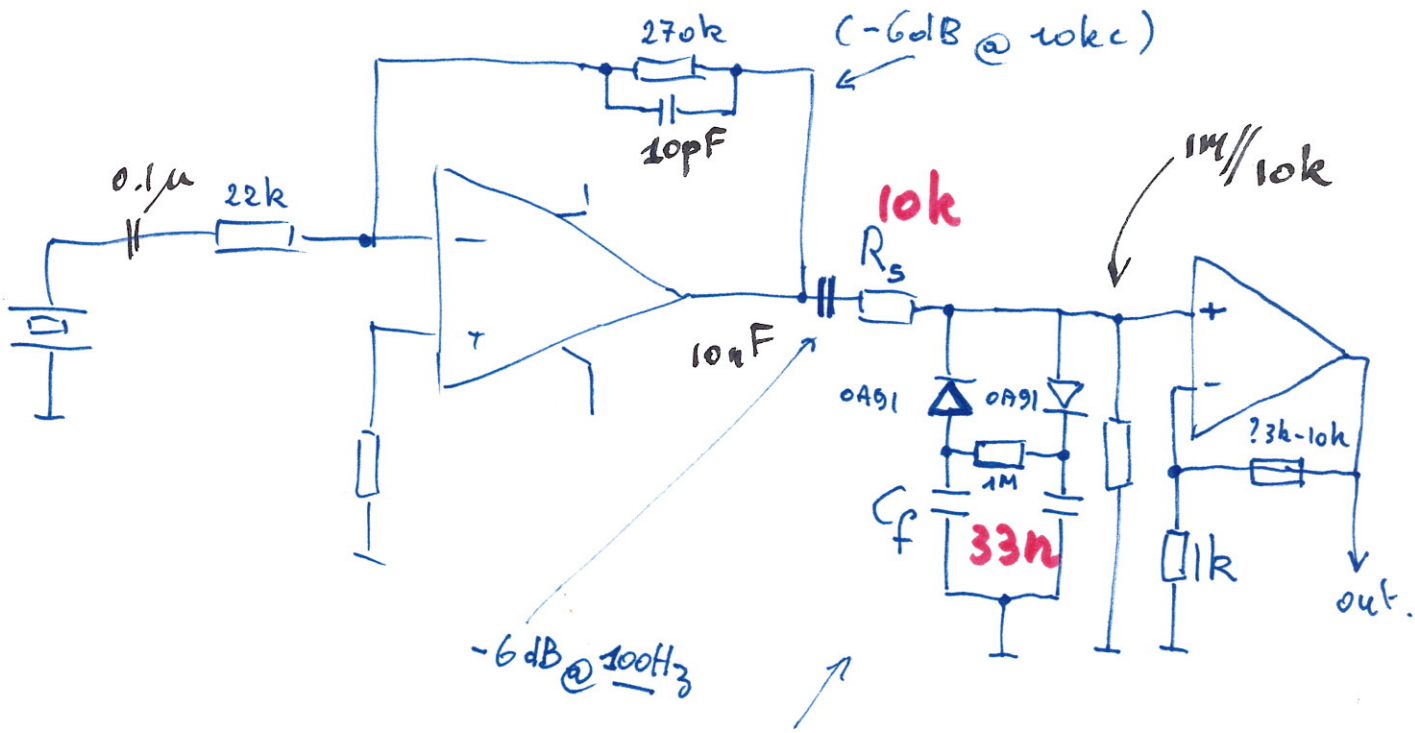
(fol B!)

globaal ok

by kleine U<sub>i</sub>

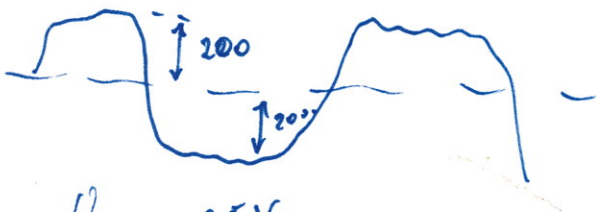


# Compressing preamp for Hex PG.



compression  
 $-6dB @ 500Hz$

ca.  $200mV_{eff}$ .



$$V_{eff} = 0.5V$$

$$V_{rms} = \frac{0.5}{2\sqrt{2}} =$$

$\Rightarrow -6dB$  als

$$R_s = Z_{cf}$$

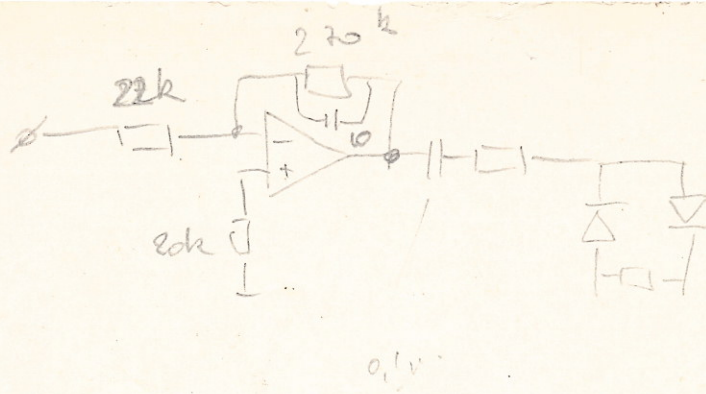
Stel  $R_s = 10k$

$$\Rightarrow Z_{cf} = 10k = \frac{1}{2\pi f C}$$

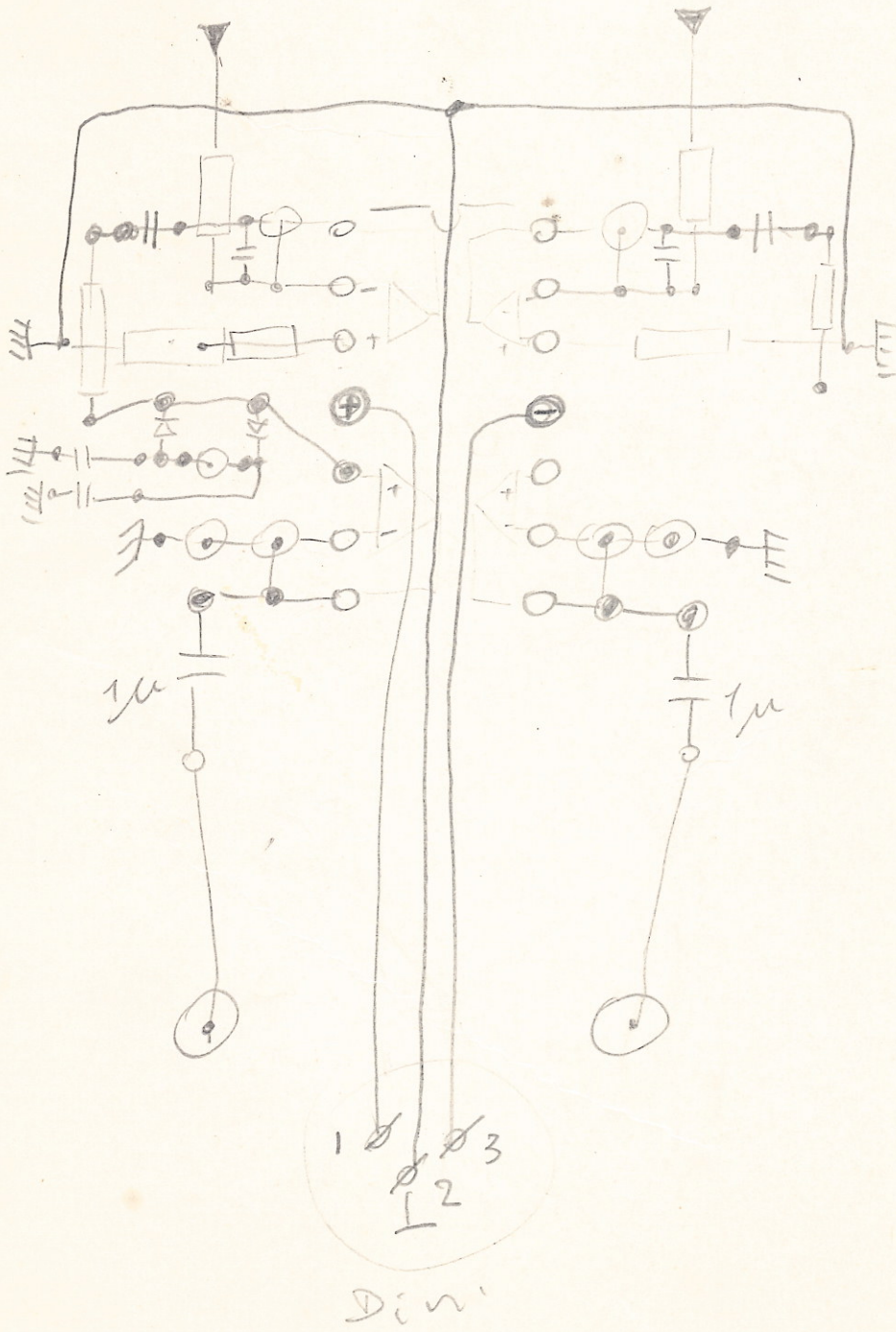
$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 500 \cdot 10 \cdot 10^3}$$

$$= 32nF$$

TLO 84  
LM 324  
XR 3403



P6  
Hex  
preamp



# Stepping Motor data.

4000:1800	0F 07 05 0D 0F 07 05 0D-F0	70 50 D0 F0 70 50 D0	.....pppppppp
4000:1810	FF 77 55 DD FF 77 55 DD-0D	05 07 0F 0D 05 07 0F	.wU].wU]......
4000:1820	D0 50 70 F0 D0 50 70 F0-DD	55 77 FF DD 55 77 FF	Ppppppppp IUw. IUw.
4000:1830	DF 57 75 FD DF 57 75 FD-FD	75 57 DF FD 75 57 DF	_Wu)_Wu)_uW_)uW_
4000:1840	0F 03 07 04 05 01 0D 0C-F0	30 70 40 50 10 D0 C0	.....p0p0P.P0
4000:1850	FF 33 77 44 55 11 DD CC-0C	0D 01 05 04 07 03 0F	.3wDU. ]L.....
4000:1860	C0 D0 10 50 40 70 30 F0-CC	DD 11 55 44 77 33 FF	@P.P0p0PL].UDw3.
4000:1870	FC 3D 71 45 54 17 D3 CF-CF	D3 17 54 45 71 3D FC	!=qET.S00S.TEq=!
-d			
4000:1880	0F FF F7 77 75 55 5D DD-DF	FF F7 77 75 55 5D DD	..wwwU]]_.wwwU]]
4000:1890	DF FF F7 77 75 55 5D DD-DF	FF F7 77 75 55 5D DD	_.wwwU]]_.wwwU]]
4000:18A0	DD 5D 55 75 77 F7 FF DF-DD	5D 55 75 77 F7 FF DF	]JUww._]JUww._
4000:18B0	DD 5D 55 75 77 F7 FF DF-DD	5D 55 75 77 F7 FF DF	]JUww._]JUww._
4000:18C0	DF D7 D5 DD DF D7 D5 DD-FF	F7 F5 FD FF F7 F5 FD	_WU]_WU].wu).wu)
4000:18D0	7F 77 75 7D 7F 77 75 7D-5F	57 55 5D 5F 57 55 5D	.wu).wu)_WU]_WU]
4000:18E0	DF FF 7F 5F DF FF 7F 5F-D7	F7 77 57 D7 F7 77 57	....._wwwWwwwW
4000:18F0	D5 F5 75 55 D5 F5 75 55-DD	FD 7D 5D DD FD 7D 5D	UuuUUuuU]]))]]))]
-d			
4000:1900	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....

# Eprom - data stepping motors.

2k2

-e 4000:1800

4000:1800	FF.0F	FF.07	FF.05	FF.0D	FF.0F	FF.07	FF.05	FF.0D
4000:1808	FF.F0	FF.70	FF.50	FF.D0	FF.F0	FF.70	FF.50	FF.D0
4000:1810	FF.FF	FF.77	FF.55	FF.DD	FF.FF	FF.77	FF.55	FF.DD
4000:1818	FF.0D	FF.0-						
4000:1818	0D.0D	00.05	FF.07	FF.0F	FF.0D	FF.05	FF.07	FF.0F
4000:1820	FF.D0	FF.50	FF.70	FF.F0	FF.D0	FF.50	FF.70	FF.F0
4000:1828	FF.DD	FF.55	FF.77	FF.FF	FF.DD	FF.55	FF.77	FF.FF
4000:1830	FF.DE	FF.57	FF.75	FF.FD	FF.DE	FF.57	FF.75	FF.FD
4000:1838	FF.FD	FF.75	FF.57	FF.DF	FF.FD	FF.75	FF.57	FF.DF
4000:1840	FF.0F	FF.03	FF.07	FF.04	FF.05	FF.01	FF.0D	FF.0C
4000:1848	FF.F0	FF.30	FF.70	FF.40	FF.50	FF.10	FF.D0	FF.C0
4000:1850	FF.FF	FF.33	FF.77	FF.44	FF.55	FF.11	FF.DD	FF.CC
4000:1858	FF.0C	FF.0D	FF.01	FF.05	FF.04	FF.07	FF.03	FF.0F
4000:1860	FF.C0	FF.D0	FF.10	FF.50	FF.40	FF.70	FF.30	FF.F0
4000:1868	FF.CC	FF.DD	FF.11	FF.55	FF.44	FF.77	FF.33	FF.FF
4000:1870	FF.FC	FF.3D	FF.71	FF.45	FF.54	FF.17	FF.D3	FF.CF
4000:1878	FF.CF	FF.D3	FF.17	FF.54	FF.45	FF.71	FF.3D	FF.FC

HX20 adres : 30720 (= &H 7800)  
 Eprom adres : 6144

-d 4000:1800

4000:1800	0F 07 05 0D 0F 07 05 0D-F0	70 50 D0 F0 70 50 D0	.....pppppppp
4000:1810	FF 77 55 DD FF 77 55 DD-0D	05 07 0F 0D 05 07 0F	.wU].wU]......
4000:1820	D0 50 70 F0 D0 50 70 F0-DD	55 77 FF DD 55 77 FF	PPppPPpp]Uw.]Uw.
4000:1830	DF 57 75 FD DF 57 75 FD-FD	75 57 DF FD 75 57 DF	..Wu)_Wu)_uW_)uW_
4000:1840	0F 03 07 04 05 01 0D 0C-F0	30 70 40 50 10 D0 C0	.....p0p0P.P0
4000:1850	FF 33 77 44 55 11 DD CC-0C	0D 01 05 04 07 03 0F	.3wDU.]L.....
4000:1860	C0 D0 10 50 40 70 30 F0-CC	DD 11 55 44 77 33 FF	@P.P@p@pL.]UDw3.
4000:1870	FC 3D 71 45 54 17 D3 CF-CF	D3 17 54 45 71 3D FC	!=qET.500S.TEq=!

-d 4000:1880 ← ombeurten stapjes vooruit

4000:1880	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....
4000:1890	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....
4000:18A0	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....
4000:18B0	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....
4000:18C0	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....
4000:18D0	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....
4000:18E0	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....
4000:18F0	FF FF FF FF FF FF FF FF-FF	FF FF FF FF FF FF FF	.....

&H 1900

8 step mode

FF F3 F7 F4 F5 F1 FD FC

Rechts  
8 stappen  
voornit.

3C 7C 4C 5C 1C DC CC

Links  
7 stappen  
voornit

CF C3 C7 C4 C5 C1

Rechts  
6 stappen  
voornit

F1 31 71 41 51

Links  
5 voornit

5D 5C 5F 53

Rechts  
4 voornit

13 D3 C3

Links  
3 voornit

C7 C4

Rechts  
2 voornit

F4

Links  
1 voornit

F5

Rechts

1 vooruit

75

4 step move

Links

1 vooruit

7D

Rechts 1

vooruit.

5D DD

Links

2 vooruit

DF D7

Rechts 2 vooruit

F7 77 57

Links 3 vooruit

55 5D 5F

Rechts 3 vooruit

DF FF 7F 5F ←

Links 4 vooruit

57 55 5D 5F

Rechts 4 vooruit

DF FF 7F 5F DF ←

Links 5 vooruit

D7 D5 DD DF D7 D5 ←

Rechts 6 vooruit

F5 75 55 D5 F5 75 55 ←

Links 7 vooruit

5D 5F 57 55 5D 5F 57 55 ←

Rechts 8 vooruit

← Links

45 75 35 F5 C5 D5

Links 6 omhoog  
in 8-step.

D1 DD DC DF D3 D7 D4

Rechts 7 omhoog.

F4 74 54 D4 F4 74 54

Links ~~7~~ omhoog  
~~in 8-step.~~  
in 4-step.

57 53 5F 5C

Rechts 4 omhoog.  
8-step.

4C 7C 3C FC CC

Links 5 omhoog.  
8-step.

CF C3 C7 C4 C5 C1 CD CC CF

Rechts 9 omhoog  
in 8-step.

FF 3F 7F 4F 5F 1F DF

Links 7 omhoog  
in 8-step

D7 D5 DD DF D7 D5 DD

Rechts 7 omhoog  
4-step.

1D 5D 4D 7D 3D

Links 5 omhoog  
8-step.

3C 3F 33 37 34

Rechts 5 omhoog  
8-step.

74 44 54 D4 F4 34 74 54

Links 8 omhoog  
in 4 x 8-step.

55 5D 5C 5F 57 54 55

Rechts 7 omhoog  
in 4 x 8-step.

KH 19AØ

15 D5 C5

Links 3 omloop  
8 step.

CD CF C7 C5 CD

Rechts 5 omloop  
4 step.

DD 5D

Links 2 omloop  
8/4 step.

55 57 5F 5D 55 57

Rechts 6 omloop  
4 step.

D7 F7

Links 2 omloop  
4 step.

F4 F5 F1 FD FC FF F3

Rechts 7 omloop  
8 step.

C3 D3 13

Links 3 omloop  
8 step.

17 15 11 1D 1F 13 17 15

Rechts 8 omloop  
4/8 step.

55 45 75 35 F5 D5 55 75

Links 4 omloop  
4/8 step.

77 7F 7D 75 77 7F 7D

Rechts 7 omloop  
4 step.

FJ

Links 1 omloop



&H 19D4

FF F7 F4 F5 F1 FD FC

Rechts 7 omhoog

3C 7C 4C 5C 1C DC FC

Links 7 omhoog

FF F3 F7 F5 F1 FD FC FF F3

Rechts 9 omhoog

73 53 D3 F3 73

Links 5 omhoog

7F 7D 75 77 7F

Rechts 5 omhoog

5F DF CF FF 3F 7F 5F

Links 7 omhoog

~~D7~~  
D7

~~F5~~  
F5

FD

FF

enkele  
beide motoren.



&H 19FF

- P1 Midi
- P2 Printer naalden
- P3 MD-Osc.
- P4 Drums-strings
- P5 reverb + motion
- P6 stepping motors
- P7 Speech 1
- P8 Speech 2

1522  
152  
1525  
1528

Stepper

8052 board  
+ chips.

(L V 4  
R V 4

240 112  
15 7



(L A 4  
R A 4

208 80  
13 5

(L V 8  
R V 8

240 48 112 64  
15 3 7 4



16 208 192  
1 13 12

(L A 8  
R A 8

192 208 16 80  
12 13 1 5

64 112 48 240  
4 7 3 15

Data Eprom .

240 48 112 64 80 16 208 192  
15 3 7 4 5 1 13 12

(FOR X = 0 TO 7  
POKE PG, PEEK(ADR + X)  
NEXT X

} 8 stappen voornit.

(FOR X = 0 TO 7 STEP 2  
POKE PG, PEEK(ADR + X)  
NEXT X

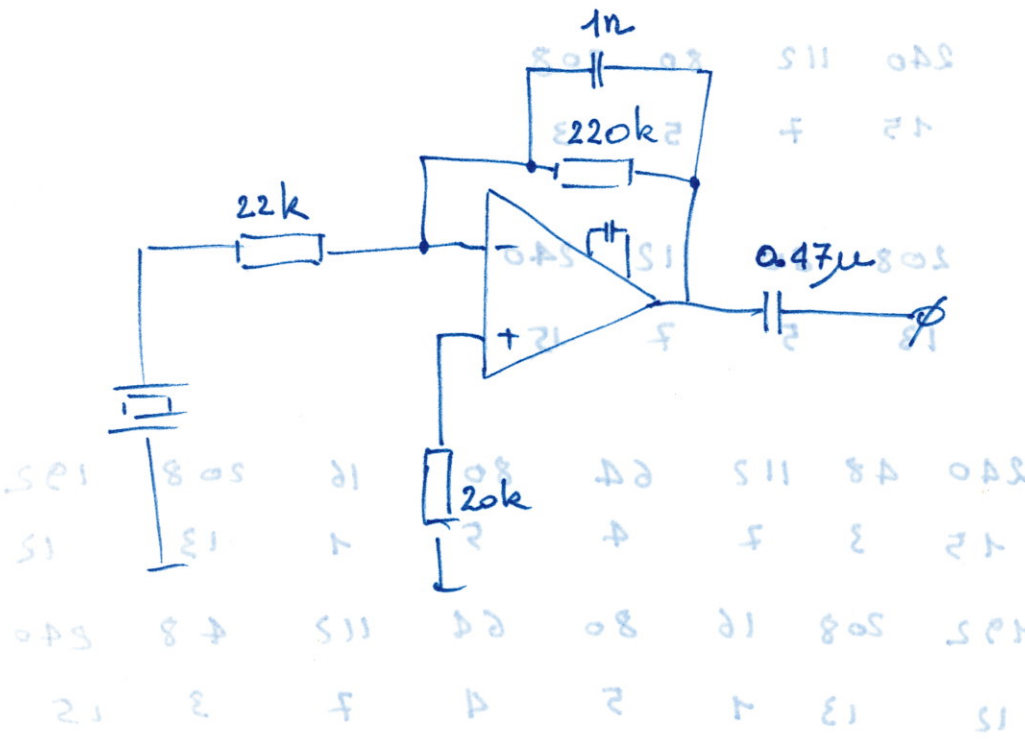
} 4 stappen voornit.

(FOR X = 7 TO 0 STEP -1  
POKE PG, PEEK(ADR + X)  
NEXT X

} 8 stappen achteruit.

(FOR X = 0 TO 7  
Byte = PEEK(ADR + X) + PEEK(ADR + 8 + X)  
POKE PG, Byte  
NEXT X

beide  
nibbles



L	V	4
R	V	4
L	A	4
R	A	4
L	V	8
R	V	8
L	A	8
R	A	8

15	13	4	2	80	115	16	80	115	16	508	125	48	115	16	80	115	16	508	125
15	13	4	2	80	115	16	80	115	16	508	125	48	115	16	80	115	16	508	125

```

NEXT X
FOR X = 0 TO F
  BYTE = PEEK(ADR + X) + PEEK(ADR + 8 + X)
  WRITE WORD, BYTE
NEXT X

NEXT X
FOR X = 0 TO F STEP 2
  PEEK PE, PEEK(ADR + X)
NEXT X

NEXT X
FOR X = 0 TO F STEP 1
  PEEK PE, PEEK(ADR + X)
NEXT X
  
```

8 steps without

8 steps without

8 steps without

WORD, BYTE

4 steps

	128 $2^7$	64 $2^6$	32 $2^5$	16 $2^4$	8 $2^3$	4 $2^2$	2 $2^1$	1 $2^0$
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
240	1	1	1	1	1	1	1	1
112	∅	1	1	1	∅	1	1	1
80	∅	1	∅	1	∅	1	∅	1
208	1	1	∅	1	1	1	∅	1
					1	1	∅	∅

still stand in my loop.

- 15 step 1
- 7 step 2
- 5 step 3
- 13 step 4



POKE P, 15 : POKE P, 7 : POKE P, 5 : POKE P, 13

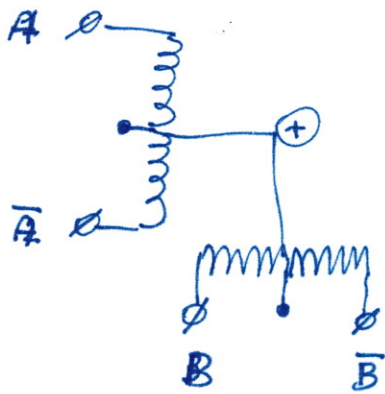


POKE P, 13 : POKE P, 5 : POKE P, 7 : POKE P, 15

8 steps

	128 $2^3$	64 $2^2$	32 $2^1$	16 $2^0$
	D3	D2	D1	D0
	1	1	1	1
	∅	∅	1	1
	∅	1	1	1
	∅	<del>1</del>	∅	∅
	∅	1	∅	1
	∅	∅	∅	1
	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>∅</del>	<del>1</del>
	1	1	∅	1
	1	1	∅	∅

15 -	240
3 -	48
7 -	112
4 -	64
5 -	80
1 -	16
13 -	208
12 -	192



enable A		enable B		
D0	D1	D2	D3	
1	1	1	1	step 1
1	1	1	0	step 2
1	0	1	0	step 3
1	0	1	1	step 4
<hr/>		<hr/>		
	1		1	step 1

D0	IC pin 1	Enable 1 ✓
D1	{ IC pin 9	A
	{ $\bar{D1}$ pin 2	$\bar{A}$
D2	{ IC pin 11	Enable 2 ✓
	{ <del>J2 pin</del>	
D3	IC pin 12	B
	$\bar{D3}$ pin 13.	$\bar{B}$

Used  
in Hex

Airpax.

Unipolair 12V

4 fasen 0,4 A per fase.

24 stappen

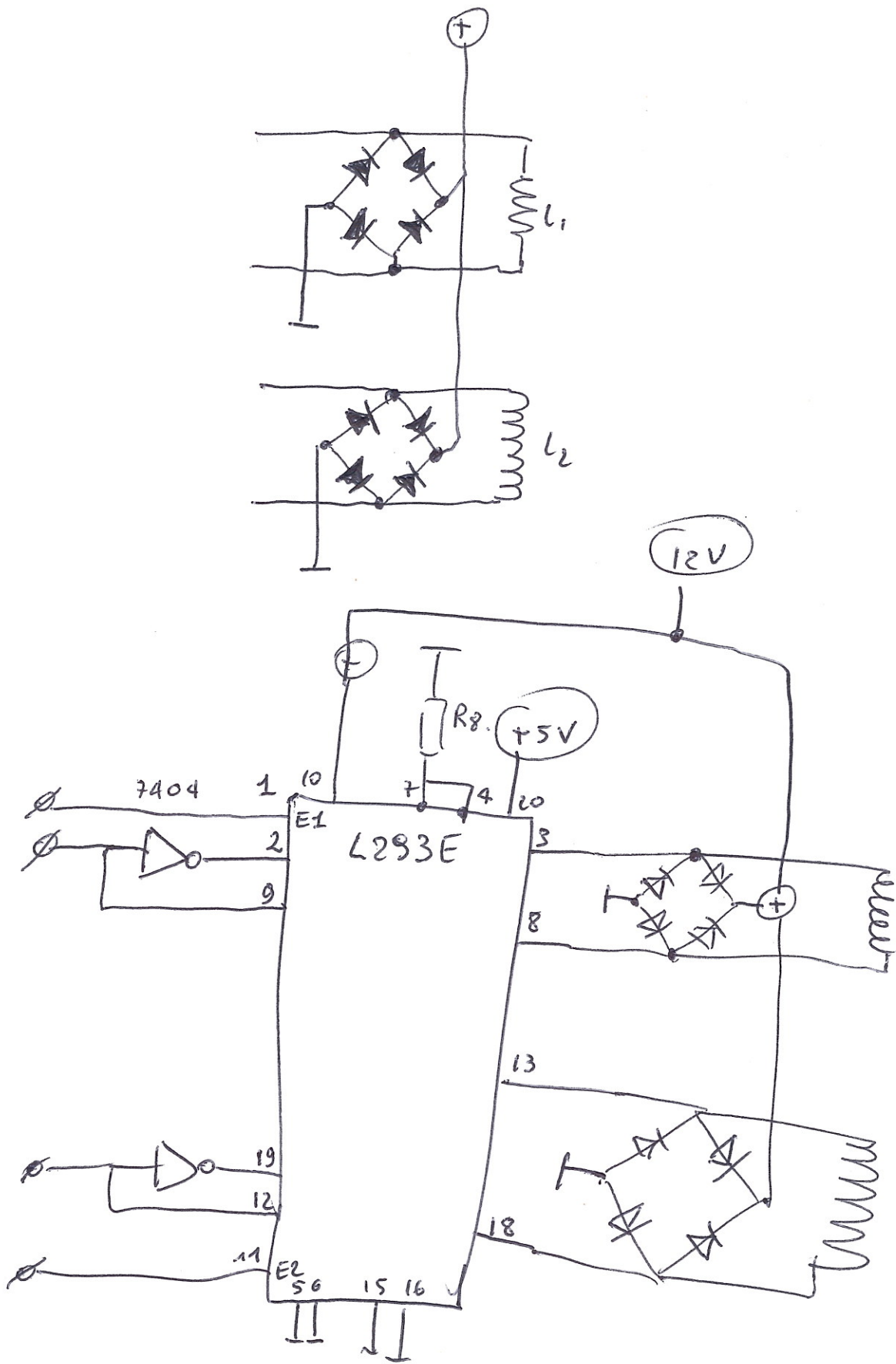
∅ 57 mm

hoofte 25 mm.

As : 6 mm.

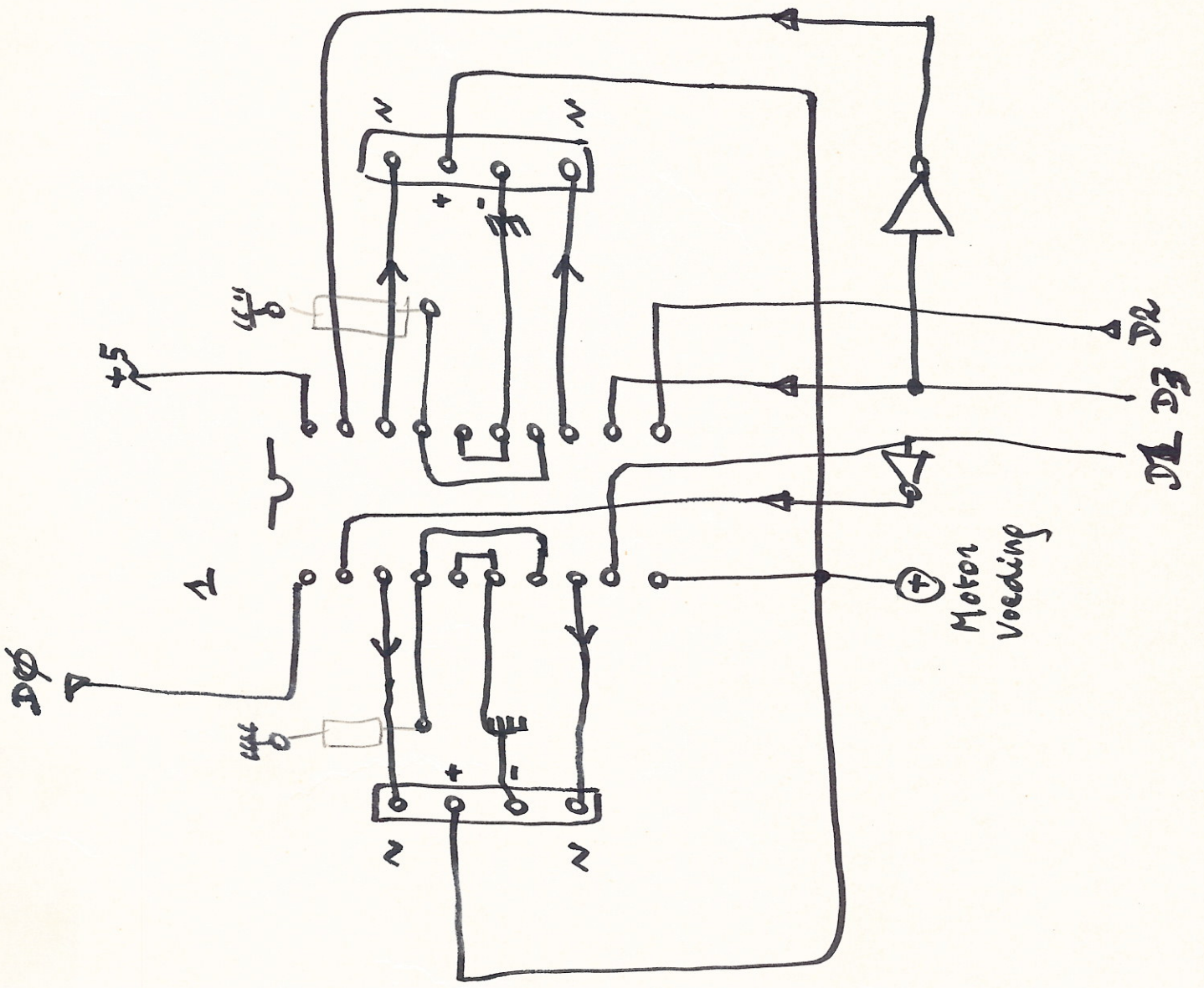
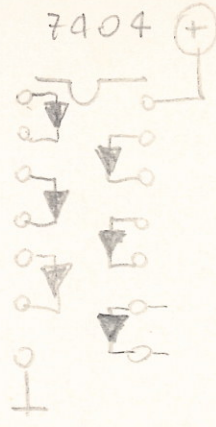
f. 25, -

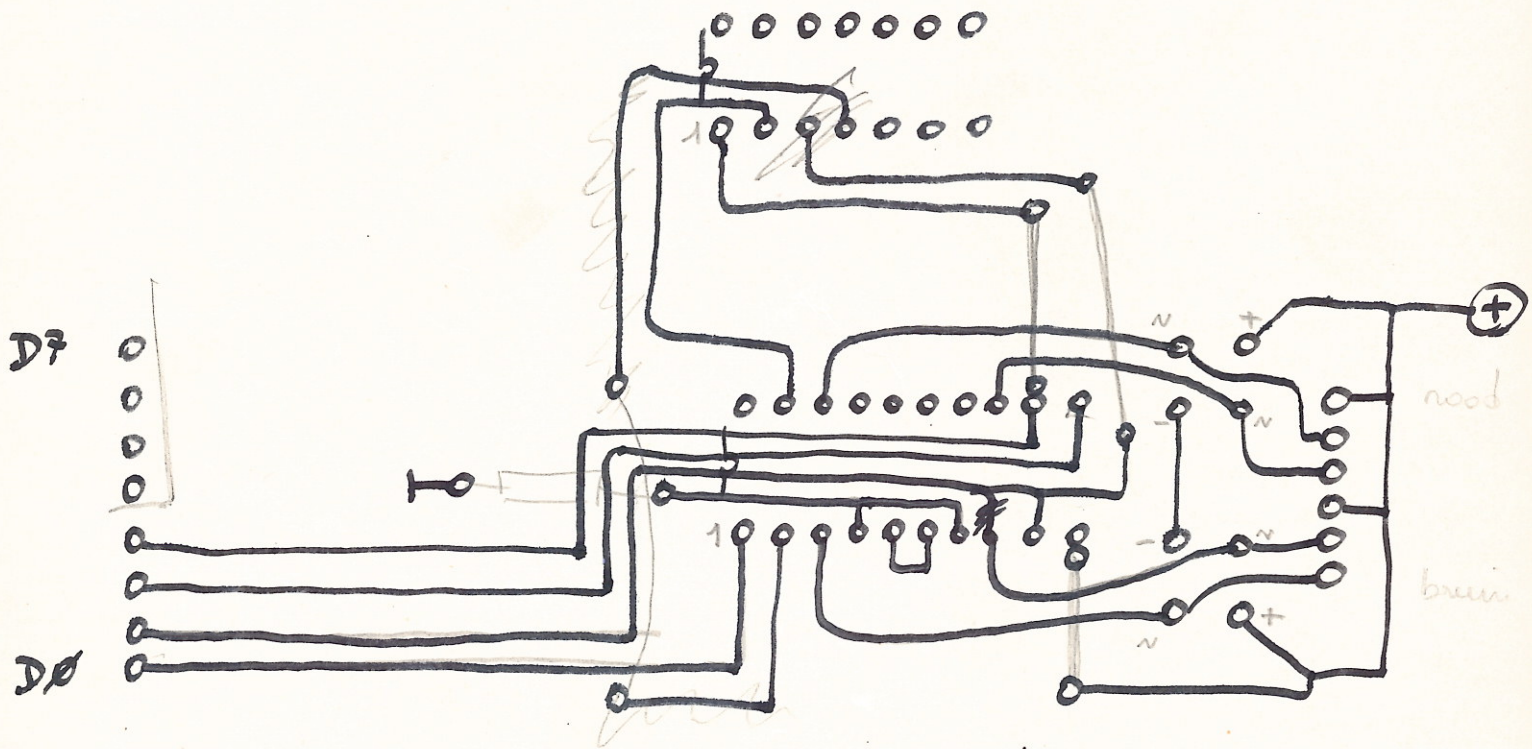
L293E

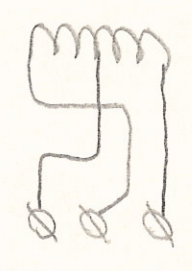
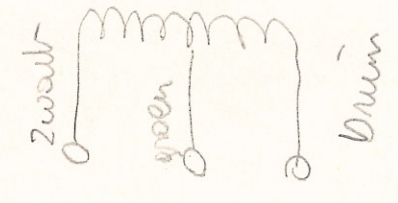
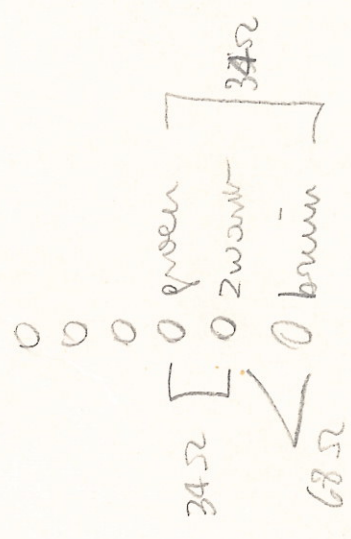
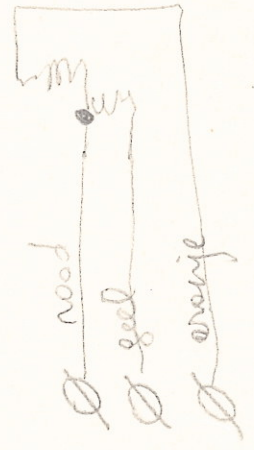
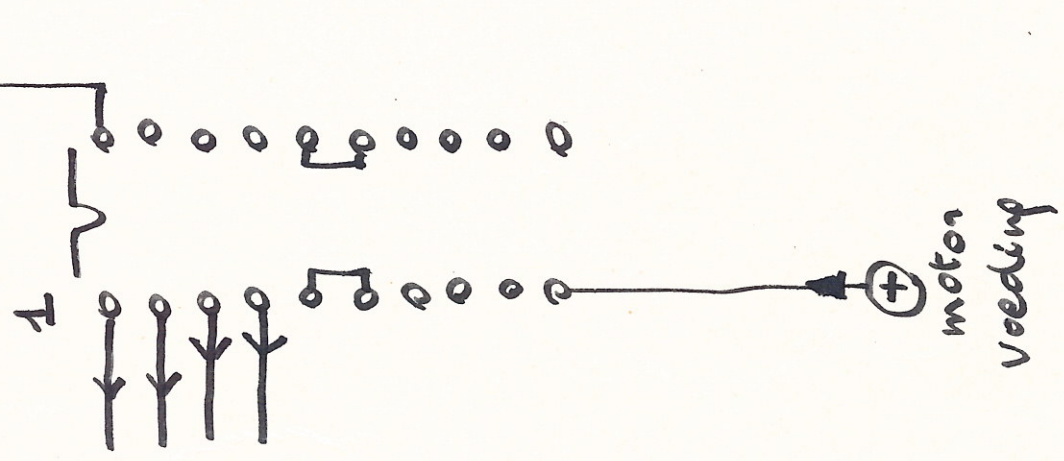
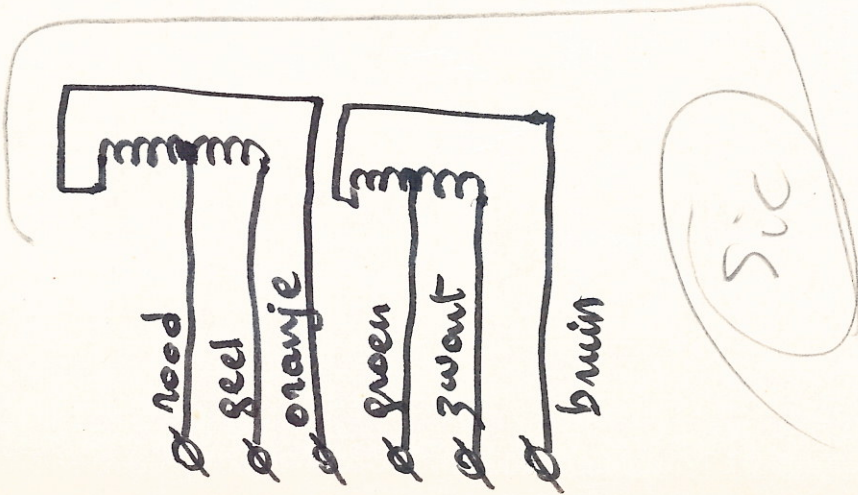




7404 (+)

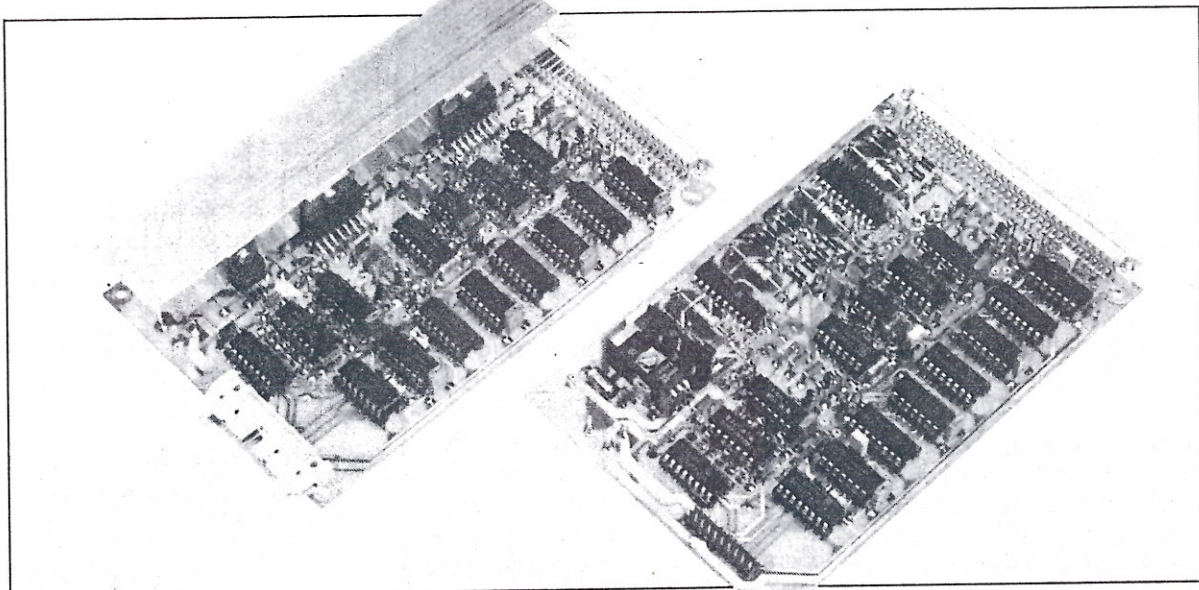






# universele stappenmotorkaart

## deel 1



motor-  
schoeisel  
dat altijd  
past

*Stappenmotoren zijn erg handig in die zin dat ze zeer voorspelbaar reageren op hun ingangssignalen, waardoor ze zònder terugkoppeling voor bijvoorbeeld positioneringsdoeleinden gebruikt kunnen worden. Helaas vragen ze wel een min of meer gekompliceerde sturing, die bovendien op soort en type motor aangepast moet zijn. Deze kaart vormt een zeer universele interface tussen een 8-bits user-poort of Centronics-aansluiting van een microcomputersysteem en vrijwel elk type stappenmotor, twee- of vier-fasen bipolair, vier- of acht-fasen unipolair, tot maximaal 2 A per fase. Ook microstepping maakt deze schakeling mogelijk, terwijl dankzij de switch-mode-stroomregeling een hoge maximale stapfrequentie bij een zeer gunstig rendement gehaald wordt.*

Stappenmotoren zijn eigenlijk maar ondingen! Ze hebben een laag rendement, kunnen in de regel maar weinig mechanisch vermogen leveren, hebben een beperkt toerenbereik, en vragen een relatief gekompliceerde, op het type motor afgestemde, sturing. Eén van de weinige voordelen is gele-

gen in het feit dat een stappenmotor zeer nauwkeurig gedefinieerd reageert op het ingangssignaal. Een stappenmotor stapt, hij volgt gedwee het ingangssignaal, terwijl een gewone (servo)motor (zonder terugkoppeling) maar in het wilde weg draait. Omdat die responsie zo precies vastligt, is

het mogelijk met een stappenmotor nauwkeurig bewegingen te maken zonder de noodzaak van een tegenkoppeling. Dat gemak blijkt zwaarwegend genoeg om ze veel, meestal in wat minder zware machines, te gebruiken: robotarmen voor studie, plotters en printers, kleinere computergestuurde ma-

chines (draaibanken), positioneringstafels, en bijvoorbeeld bij richt- of volgsystemen voor (schotel)antennes. Juist bij toepassingen waarbij lagere toerentallen bij een relatief groot koppel gewenst zijn bij een liefst niet al te ingewikkelde mechanische overbrenging, is een stappenmotor een goede keuze.

Om de nadelen van stappenmotoren zoveel mogelijk te onderscheppen, hebben we een zo universeel mogelijke stappenmotorkaart ontworpen. Dat universeel betekent dat deze kaart geschikt is voor praktisch alle typen stappenmotoren, unipolaire (motoren die het magneetveld omschakelen door van statorwikkeling om te schakelen), bipolaire (waarin in de stator de stroom wordt omgepoold), twee of vier stators, en een maximale stroom van 2 A per fase. Universeel heeft hier ook betrekking op de aansluitmogelijkheden. Dat aansluiten geschiedt omwille van flexibiliteitsredenen op een 8-bits outputport van een micro (dat kan óók de Centronics-aansluiting zijn). Via deze poort kan de grootte (met 5 bits, in 32 stappen) en de polariteit van de statorstroom per fase ingesteld worden. Daarmee is het mogelijk niet alleen te kiezen tussen vol- of halfstapbedrijf, maar kunnen met een uitgekende sturing ook zeer vele tussenstappen worden gemaakt, waarmee een stappenmotor zijn stapkarakter verliest. Dankzij dit microstepping is bij (zeer) lage toerentallen een veel rustiger loopgedrag mogelijk en kan er nauwkeuriger, tussen de hele stappen in, gepositioneerd worden.

## Problemen

Om u een idee te geven van de aard en de ernst van de te overwinnen problemen bij het gebruik van stappenmotoren een korte inventarisatie.

■ **Beperkt toerenbereik:** de statorwikkelingen vormen een inductieve belasting. De kommutatiesnelheid van de stroom wordt door die inducti-

### specificaties

geschikt voor	stappenmotoren, één vierfase-bipolair, twee tweefase-bipolair, één achtfase-unipolair of twee vierfase-unipolair
schakelcapaciteit	max. 1 A/fase met L293E, max. 2 A/fase met L298 stroomgrootte en polariteit via software instelbaar (microstepping)
driver-type	switch-mode stroombronnen
aansturing	8-bits parallel met handshake, bijvoorbeeld user-poort of Centronics-printeraansluiting
voedingsspanning	10...36 V met L293E 10...45 V met L298 stabilisatie niet nodig

viteit beperkt, terwijl de door de draaiende (permanent magnetische) rotor in de stator geïnduceerde spanning de kommutatie ook bemoeilijkt. Deze effecten beperken de maximale stapfrequentie (pull-out-rate). Door stroombronsturing is dit te verbeteren.

■ **Resonantie:** bij lage stapfrequenties veroorzaakt het ondergedempte karakter van de motor een zeer onrustig loopgedrag (figuur 1). Na elke afzonderlijke stap vindt een grote overshoot plaats die maar langzaam uitdempt. Kiest men de stapfrequentie gelijk aan de frekwentie van het uitslingersignaal, dan verergert dit effect (resonantie), met een funeste uitwerking op de overbrenging. Mechanische dempers worden wel toegepast, maar zijn energetisch beschouwd niet erg fraai. Met microstepping kan dit effect voor bijna 100 % de kop worden ingedrukt. Bovendien maakt het betere oplossend vermogen bij microstepping vaak een directere koppeling mogelijk met het aan te drijven objekt.

■ **Slecht rendement:** een (be-krachtigde) stappenmotor verbruikt tevens energie die niet in beweging wordt omgezet, maar wordt gedissipeerd in de ohmse weerstand van de statorwikkelingen. Bij stilstand vormt deze ohmse weerstand de enige stroombeperkende faktor (bij spanningssturing) en is het houdkoppel vaak onnodig groot. Stroombronsturing verbetert het dynamische gedrag van een stappenmotor, maar lineair geregelde stroombronnen hebben een zeer slecht rendement. Geschakelde stroombronnen, zoals toegepast op deze kaart, hebben dat nadeel niet. Bovendien kan, door de stroomsturing, stabilisering

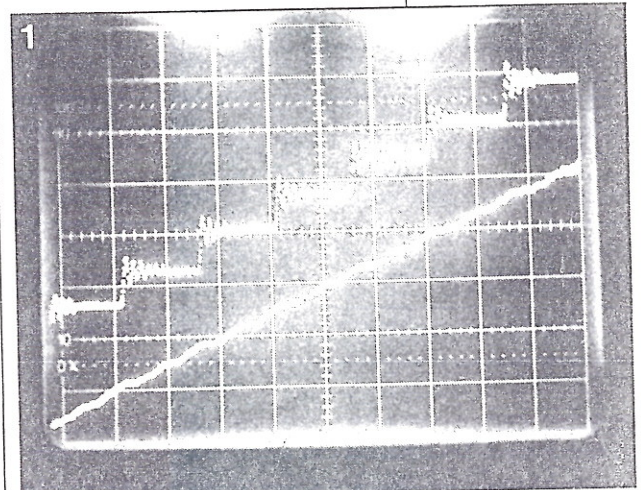
van de voedingsspanning achterwege blijven. Dat is prettig omdat het vaak over grote stromen gaat en gunstig voor het totale rendement. Bovendien kan dankzij de programmeerbaarheid van de stroom bij stilstand een lagere waarde ingesteld worden om de dissipatie te beperken.

■ **Beperkt oplossend vermogen:** het belangrijkste kenmerk van stappenmotoren is het aantal stappen per omwenteling. Met een microstepping-optie wordt dit gegeven minder relevant en is een willekeurige motor beter op maat te snijden voor een bepaalde toepassing.

## De kaart: blokschema

Naar de praktijk nu. Figuur 2 toont het blokschema van de stappenmotorkaart. In wezen bestaat de kaart uit een viervoudige bipolaire power-driver. Elke driver bestaat uit een volle-brugschakeling en kan, met een enkele voedingsspanning, zowel een positieve als een negatieve uitgangsstroom leveren. Aan de ingangskant

*Figuur 1. Deze scoopfoto die de asverdraaiing als functie van de tijd weergeeft, toont een zeer onrustig loopgedrag van een stappenmotor bij een stapfrequentie lager dan de resonantiefrequentie. Elke stap wordt afzonderlijk met een grote slecht uitdempende overshoot uitgevoerd. Met "microstepping" (het tweede spoor) worden deze nadelen voorkomen.*



zien we per driver een latch en een D/A-converter voor het instellen van de grootte en de polariteit van elke afzonderlijke statorstroom. De schakelende stroombronnen bestaan uit een spanningsgestuurde pulsbreedtemodulator, gestuurd door het verschil tussen de gewenste waarde van de stroom, afkomstig van de D/A-converter, en de via een DC-versterker gemeten waarde. De pulsbreedtemodulators worden met een gemeenschappelijke 40-kHz-oscillator gesynchroniseerd. Daarmee wordt enerzijds een gunstige schakelfrekventie gegarandeerd (schakelverliezen zijn nog niet al te groot en de frekwentie ligt buiten het hoorbare gebied), en anderzijds worden interferentieproblemen omzeild. Boven in het blokschema staan ook de andere gemeenschappelijke voorzieningen: een adresdeko-der om uit de twee meest sig-

nifikante bits van het datawoord de aan te sturen drivertrap te bepalen, een blokje dat via handshaking een betrouwbare dataoverdracht verzorgt, en de 5-V-voeding voor de logika. Afhankelijk van de toepassing kan de kaart in meer of mindere mate uitgekleeft worden; ook de brandweer rukt niet bij elk berrbrandje met het volledige materieel uit. De relatief dure D/A-converters kunnen overbrugd worden, waarmee de microstep-optie vervalt. Wel is halfstapbedrijf dan nog mogelijk. De kaart maakt een vierstatorsturing mogelijk. Dat kunnen ook twee (geheel verschillende) twee-stator-motoren zijn. Daarbij is het mogelijk bij de ene motor gebruik te maken van micro-stepping, terwijl de ander "normaal" (dus goedkoper) aangestuurd wordt. Voor de drivertrappen heeft u de keuze tussen twee verschillen-

de IC's (ook kwa prijs), afhankelijk van de gewenste maximale uitgangsstroom.

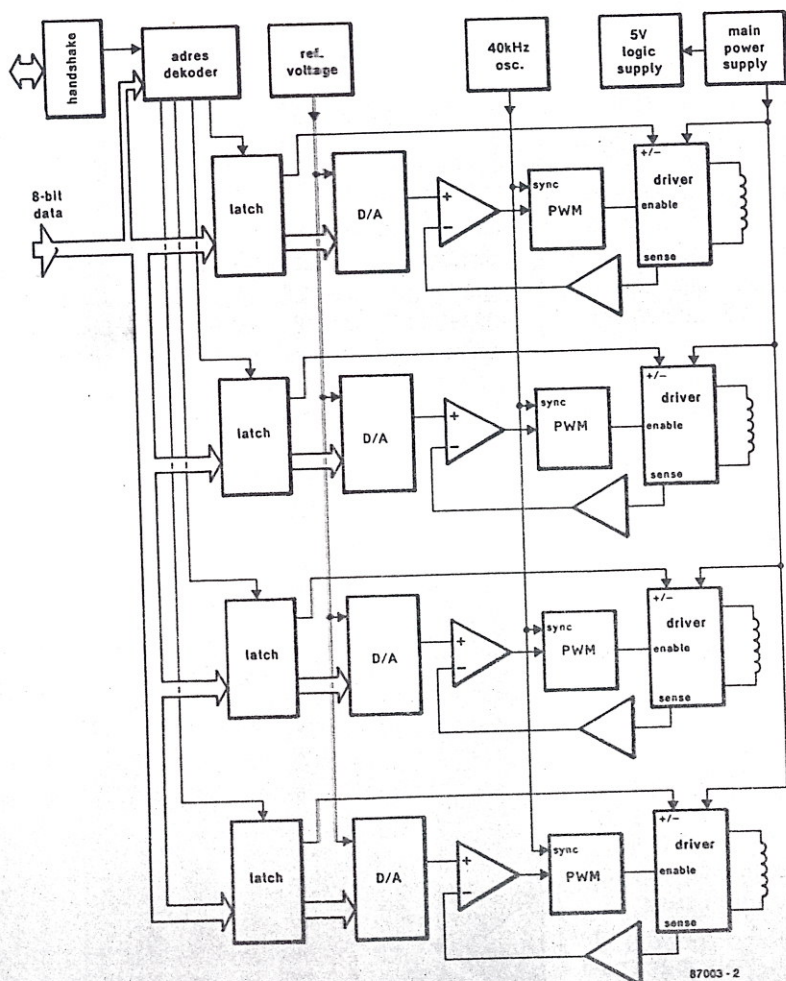
*Figuur 2. Het blokschema van de stappenmotorkaart: vier afzonderlijke drivertrappen met wat gemeenschappelijke rand-elektronica.*

*Figuur 3. Het schema, getekend met boven twee drivertrappen met de L298, en onder met de L293E. Op de print kan tussen beide IC-types gekozen worden.*

## De schakeling in detail

Als u het schema (figuur 3) bekijkt, zal het u niet erg moeilijk vallen de structuur van het blokschema te herkennen. De voor de vier drivertrappen gemeenschappelijke schakelingen bestaan uit de 5-V-voeding (IC3), de 40-kHz-oscillator (IC4) en de adresdeko-der (IC6). Welke van de vier drivertrappen aangestuurd gaat worden, wordt bepaald door de twee meest significante bits (6 en 7) van het datawoord. Deze twee bits worden na het binnenkrijgen van een handshake-sig-naal door IC6 gedecodeerd. Met het hoog worden van de bij het adres behorende uitgangslijn worden de overige 6 bits in één van de vier latches gezet. Die handshaking is bij deze kaart onontbeerlijk, omdat het 2-bits-adres en de 6-bits-data in één en hetzelfde datawoord staan. De twee adresbits mogen niet gedecodeerd worden voor zeker is dat het datawoord stabiel is. Overigens is het handshake-protocol van de verschillende soorten outputpoorten nogal verschillend van elkaar. In principe heeft de stappenmotorkaart slechts één puls nodig ten teken dat er data klaar staat. Met een draadbrug of jumper (kortsluitsteker) kan het actieve nivo ingesteld worden. In tabel 4 meer daarover. Voor output-poorten die dat verlangen is een antwoord-sig-naal beschikbaar, verkregen door het vertraagd teruggeven van de ingangspuls. Let erop dat een Centronics-poort twee antwoordsignalen heeft (acknowledge en ready) en dat in de meeste systemen maar één van die twee gebruikt wordt. Van de zes in een latch geplaatste bits wordt er één gebruikt om de polariteit en vijf om de grootte van de statorstroom in te stellen. Een (zes-bits) D/A-converter vertaalt die vijf bits in een analoge

2



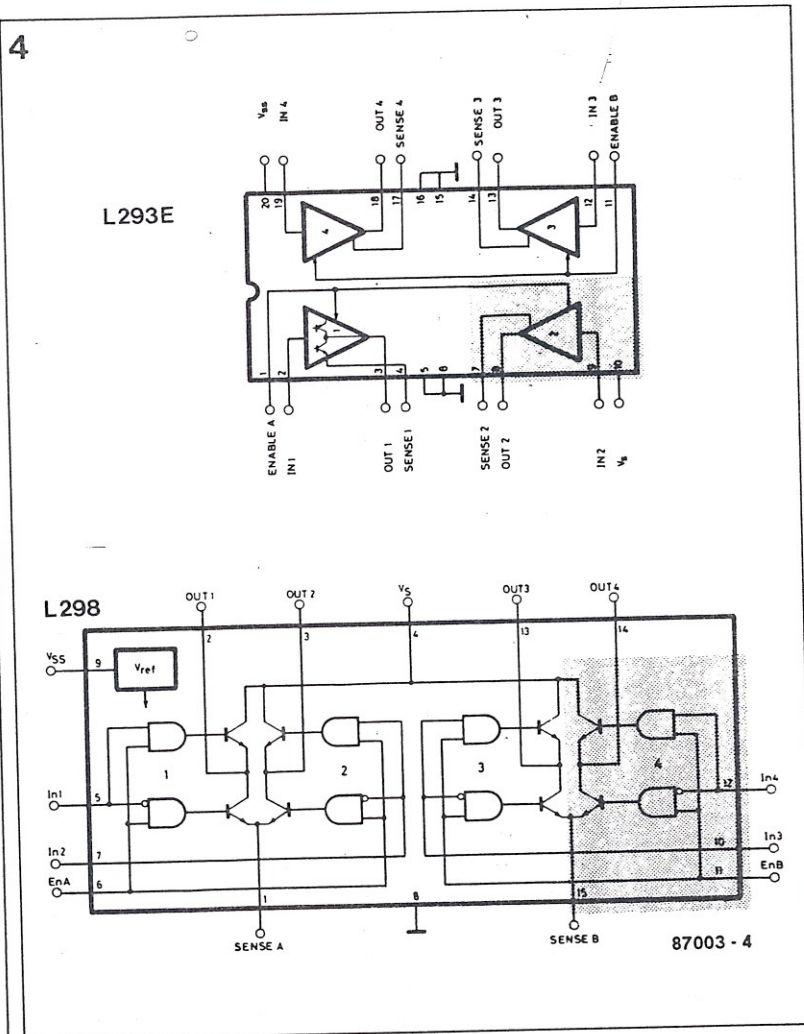


spanning tussen 0 en 2,5 V, een referentiespanning die eventueel extern met D17 wordt gemaakt. De grootte van de D/A-uitgangsspanning bepaalt uiteindelijk de grootte van de statorstroom.

### Stroomregeling

Om de werking van de schakelende stroombronnen te doorgronden nemen we eerst het driver-IC onder de loep (figuur 4). In deze schakeling passen we de L298 of de L293E toe. Funktioneel zijn deze IC's hetzelfde, maar de L298 is in staat twee maal zoveel stroom te schakelen, zit daarom ook in een andere behuizing en heeft wat meer koeling nodig. Elk IC bevat twee volledige brugschakelingen plus de nodige logika om deze bruggen aan te sturen. Mede door die on-chip-logika is het niet mogelijk met deze bruggen de stroom lineair te regelen. Wel kan, omdat de emitters van de "onderste" transistoren in de brug apart naar buiten worden gevoerd, de statorstroom via een senseweerstand als een spanning ten opzichte van massa gemeten worden (figuur 5). Deze spanning wordt versterkt en vormt het terug te koppelen signaal van de switch-mode-stroomregeling.

Een klokcyclus van de stroomregeling start met een 1  $\mu$ s lange negatieve resetpuls van IC4 voor de vier drivertrappen gemeenschappelijk. Vervolgens we dit relaas even voor alleen de bovenste drivertrap in het schema, dan zien we dat dankzij de resetpuls C12 wordt ontladen via een interne transistor tot de zenerspanning van D18. De resetpuls doet tevens dienst als startpuls voor de MMV, in concreto gevormd door een halve (7)556. De monofloptijd wordt echter niet alleen bepaald door R10 en C12, maar ook door de extern aan pen 3 aangesloten stuurspanning. Deze spanning wordt intern vergeleken met de spanning over C12 en bepaalt het einde van de monofloptijd. Omdat de stuurspanning pas effectief is



Figuur 4. De L298 en de L293E bevatten elk twee volledige brugschakelingen met de benodigde stuurlogika, en sense-aansluitingen voor het meten en regelen van de stroom.

vanaf ongeveer 1,5 V, bij lagere waarden werkt de interne comparator niet goed, werd C12 bij de reset niet geheel ontladen maar tot een waarde boven die 1,5 V. Omdat daardoor het eerste deel van het laadtraject van C12 wordt overgeslagen, kunnen ook heel korte monofloptijden gemaakt worden. Al met al hebben we zo een spanningsgestuurde MMV verkregen, die met zijn uitgang (pen 5) de brug in IC2 voor langere of kortere tijd per klokperiode vrijgeeft. Zolang de brug ingeschakeld is loopt er een stroom door stroommeetweerstand R6. Via C16/R14 wordt dit signaal gemiddeld om vervolgens door A1 versterkt te worden. Met A2 wordt, naargelang het verschil tussen de gemeten waarde van de stroom en de gewenste waarde (afkomstig van de D/A-omzetter) de monofloptijd bijgesteld waardoor de stroom wordt bijgeregeld. Bij het meten van die stroom zit nog een klein addertje onder het gras. Zolang de brug vrijge-

geven is, loopt de statorstroom door de meetweerstand (figuur 5). Het uitschakelen van de brug onderbreekt de stroom door de weerstand. Dankzij de inductiviteit van de statorwikkeling blijft de statorstroom echter nog bepaalde tijd doorlopen, en wel door de vrijloopdiodes terug naar de voeding (stippelijntje figuur 5). In wezen werkt de stator-zelfinductie als afvlakking voor de stroom. De gemiddelde waarde van de spanning over die meetweerstand is dus niet zonder meer een maat voor de stroom, het aandeel van de vrijloopstroom ontbreekt. Bij de meeste stappenmotoren zal de tijdconstante (L/R) van de statorwikkeling groot zijn in verhouding tot de periodetijd waarmee de statorstroomsturing werkt (25  $\mu$ s). In de praktijk uit zich dat in het nauwelijks afnemen van de vrijloopstroom. Gezien de kleine rimpelstroom moet de meetfout die gemaakt wordt door alleen het aandeel van de stroom door de weerstand te meten

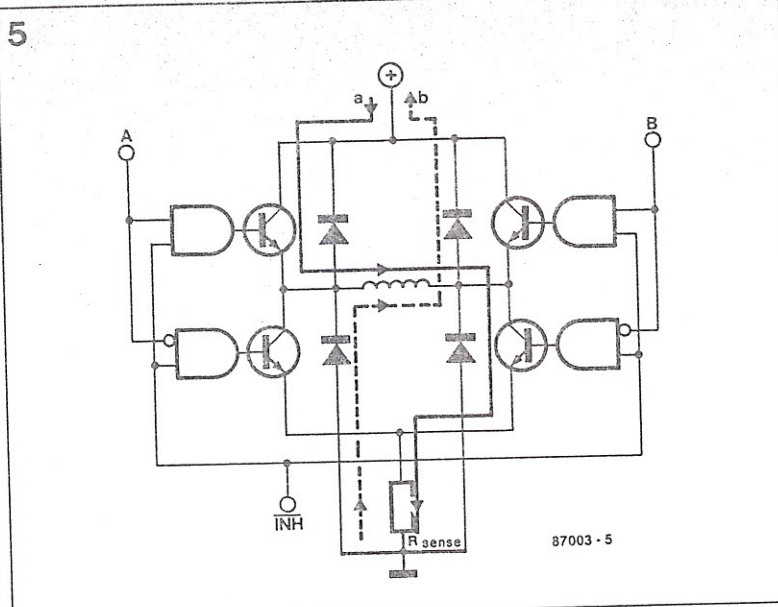


worden toegeschreven aan de variatie in de duty-cycle. Toch (of eigenlijk gelukkig) is die dutycycle-variatie voor het hele stroombereik maar klein. Kortere pulsen dragen nauwelijks bij aan de statorstroom. Door de hoge 40-kHz-schakelfrequentie worden ze gewoon door de inductiviteit van de stator geblokkeerd. Zodra de duty-cycle net boven 50 % komt en de vrijlooptijd de aan-tijd van de brug begint te overlappen (de vrijloopstroom krijgt niet de kans om tot nul af te nemen) zal de stroom sterk stijgen. De uiteindelijke duty-cycle bij de maximaal gewenste statorstroom hangt af van de voedingsspanning in relatie tot de gelijkstroomweerstand van de statorwikkeling. Hoe hoger die spanning, of hoe lager die weerstand, des te meer zal de duty-cycle rond de 50 % blijven hangen.

Het bovenstaande kwam zo uitgebreid aan de orde om u duidelijk te maken dat het stroommeetsignaal (uitgang A1) niet recht evenredig hoeft te zijn met de statorstroom. Problematisch is dit zeker niet. Bij benadering klopt de lineariteit nog heel aardig en bij de aansturing kunnen eventuele afwijkingen software-matig gecompenseerd worden.

De rest van de schakeling is schakeltechnisch weinig schokkend. De 40-kHz-oscillator kwam al aan bod, het is een standaardapplicatie van de bekende (7)555. De negatieve pulsjes aan de uitgang (pen 3) zorgen voor een gesynchroniseerde reset en start van de vier MMV's. Die synchronisatie is gewenst omdat door het schakelen van die gemeen inductieve statorwikkelingen er nogal wat spanningspieken op de voeding ontstaan. Zouden de MMV's niet gesynchroniseerd zijn, dan zouden ze elkaar lelijk kunnen storen.

Ook de 5-V-voeding voor het logische deel heeft eigenlijk nauwelijks uitleg. R1/D22 moeten IC3 behoeden voor een te hoge ingangsspanning. Die mag niet meer dan 35 V bedragen, terwijl de L298 45 V mag hebben. Dankzij R1 en C1 worden stoorpieken ten gevolge

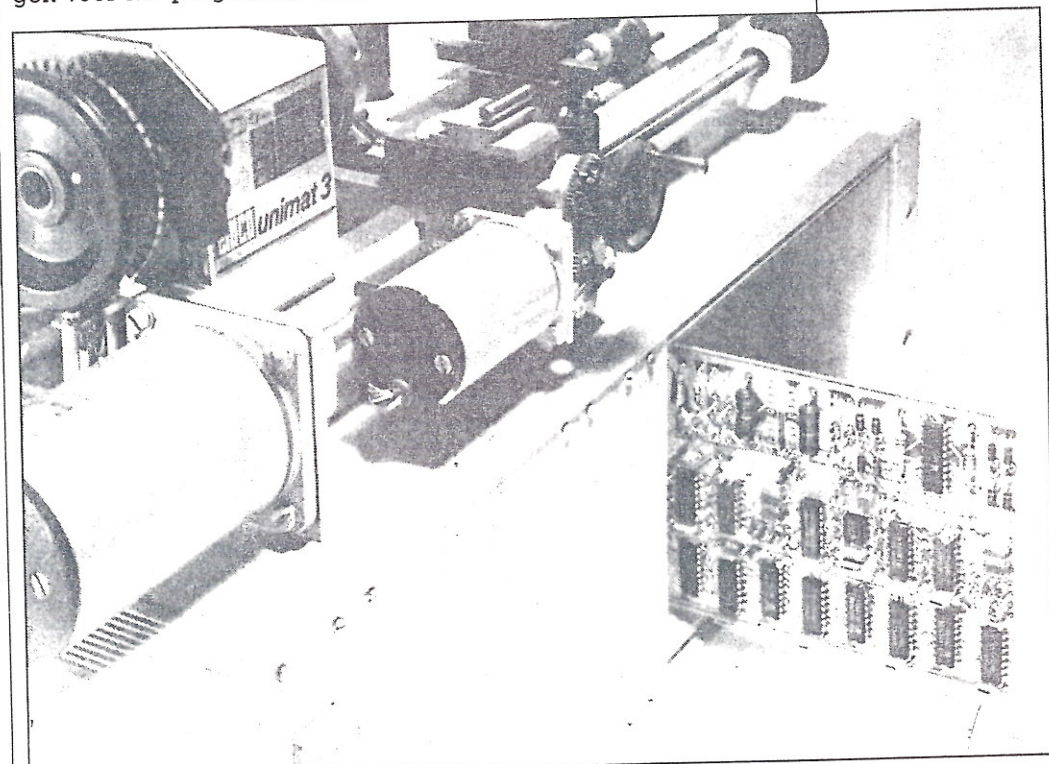


Figuur 5. Het "stroompad" als de brug geleidt, loopt via de meetweerstand (a). Sperren alle transistoren in de brug, dan loopt de stroom via de vrijloopdiodes terug naar de voeding (b).

van het schakelen bovendien doeltreffend onderdrukt. D17 is een 2,5 V referentiediode voor de D/A-omzetters. Ook kunt u één (duurdere) D/A-omzetter met interne referentie gebruiken. We laten het hierbij wat het algemeen beschrijvende deel van de schakeling betreft. Volgende maand komt de meer praktische kant van de zaak aan bod. We beschrijven de opbouw van de print met alle opties die daarbij mogelijk zijn, geven aan hoe verschillende typen stappenmotoren aangesloten moeten worden en geven een aantal aanwijzingen voor het programma waar-

mee de print figuurlijk en de aangesloten motor(en) letterlijk aan het draaien gebracht kunnen worden.

*Literatuur: stappenmotoren, Elektuur april '85  
SGS Power Linear Actuators, 2nd Edition, jan. '84*

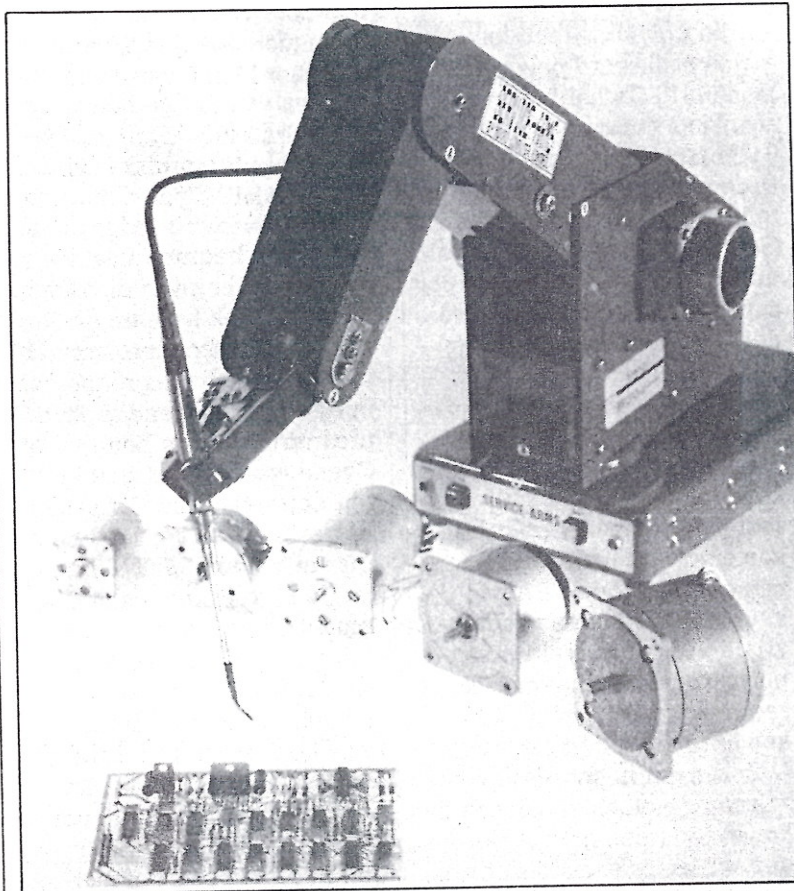


# universele stappenmotorkaart

## deel 2

*Vorige maand hebben we ons gestort op een inventarisatie van de problemen die op kunnen treden bij het aansturen van stappenmotoren en beschreven we een zeer universele schakeling om deze problemen het hoofd te bieden. Dit deel is gewijd aan de praktische realisatie van de schakeling: de bouw van de print en hoe deze op diverse typen motoren aangesloten moet worden. Omdat het geheel uiteindelijk door de computer moet worden bestuurd, wordt ook aandacht besteed aan het interfaceren en de opzet van het besturingsprogramma.*

solderen,  
program-  
meren,  
roteren



Om het geheugen even op te frissen: de universele stappenmotorkaart is bedoeld als een interface tussen een 8-bits output-poort van een computer en vrijwel elk type stappenmotor. De schakeling bevat hier power-drivers (schakelende stroombronnen) waarvan de grootte (tot 2 A) en de polariteit van de uitgangsstroom met een 8-bits woord ingesteld kunnen worden. Eén print voorziet in de aansturing van één motor met vier stators (vier-fasen bipolar of acht-fasen unipolair) of twee motoren met twee stators (twee-fasen bipolar of vier-fasen unipolair). Natuurlijk kunt u ook één tweestatormotor met een half opgebouwde print aansturen. De schakelsekwentie van de statorstromen wordt gerealiseerd in het besturingsprogramma. De flexibiliteit van die opzet maakt het mogelijk naar behoefte ook microstepping te bedrijven voor een soepele loop bij lagere toerentallen.

specificaties	
geschikt voor	stappenmotoren, één vierfase-bipolair, twee tweefase-bipolair, één achtfase-unipolair of twee vierfase-unipolair
schakelcapaciteit	max. 1 A/fase met L293E, max. 2 A/fase met L298 stroomgrootte en polariteit via software instelbaar (microstepping)
driver-type	switch-mode stroombronnen
aansturing	8-bits parallel met handshake, bijvoorbeeld user-poort of Centronics-printeraansluiting
voedingsspanning	10...36 V met L293E 10...45 V met L298 stabilisatie niet nodig

### Opbouw

Bij de opbouw moet rekening gehouden worden met de aan te sturen motor(en). De meeste opties zijn ervoor bedoeld om

het geheel niet duurder te maken dan strikt nodig is. Allereerst het driver-IC, meteen de grootste kostenpost. Bij stromen groter dan 1 ampère per fase moet de L298 gebruikt worden. Twee L298's kunnen samen met de spanningsregelaar (IC3) op een gemeenschappelijk L-vormig koelprofiel gemonteerd worden. Omdat de koelvlakken alle met massa zijn verbonden, is het niet nodig ze ten opzichte van elkaar elektrisch te isoleren. Voor kleinere stromen heeft onze printkamer ervoor gezorgd dat in plaats van de L298 de L293E gemonteerd kan worden (IC1' en IC2'). Bij stromen kleiner dan 0,3 A/stator voorziet het koper op de print al in voldoende koeling voor deze IC's. Voor een optimaal thermisch contact met die koelende kopervlakken moet aangeraden worden af te zien van IC-

voetjes voor IC1' en IC2'. Soldeer ze rechtstreeks op de print. IC3 krijgt nu een apart U-profieltje voor de koeling, dat wel ten opzichte van het koper van de print geïsoleerd moet worden. Overigens spreekt het voor zich dat, als u twee verschillende tweefasemotoren gaat aansluiten, u ook één kant met de L298 en de andere met de L293E uit kunt voeren. De voedingsspanning moet dan wel tot het 36-V-maximum van de L293E beperkt worden. Afhankelijk van de toegepaste IC-types moet de waarde van R1 aangepast worden (tabel 1). De stroomgrootte is software-instelbaar, maar om bij microstepping een optimale resolutie te bereiken, kan het maximum beter met de hardware aan de gebruikte motor aangepast worden. In principe gebeurt dit door aanpassing van de stroommeetweerstand (tabel

2), maar ook door een andere waarde voor R22...R25 te kiezen of door aanpassing van de referentiespanning voor de D/A-omzetters is hiermee te spelen. Omdat de stroom ook enigszins samenhangt met de zelfinductie van de motor is aan te raden om hem na te meten en de sense-weerstand eventueel aan te passen. Bij een bepaald type motor hoorden wij, bij het op maximum ingesteld zijn van alle vier de uitgangstromen, een enigszins lispelend geluid. Dit werd veroorzaakt door het oscilleren van de stroomregeling, en is te verhelpen door R30...R33, c.q. C16...C19 te verlagen. Dit gaat echter ten koste van de nauwkeurigheid van de ingestelde stroom, met name bij kleine waarden ten opzichte van het maximum. De 5-V-voedingsspanning is via een aparte lijn extern beschik-

Tabel 1. De weerstand in serie met de 5-V-spanningsregelaar moet aangepast worden aan de voedingsspanning en de bezetting van de print. Echt kritisch is de waarde niet.

Tabel 1.	voedingsspanning										
	<25		25...30		30...35		35...40		>40		
printbezetting	R1	D22	R1	D22	R1	D22	R1	D22	R1	D22	
1 x L298	1)		220	—	330	15 V	330	15 V	330	22 V	
2 x L298			100	—	180	15 V	220*	22 V	330*	22 V	
1 x L293E			100	—	180	15 V	2)				
2 x L293E			47*	—	47*	—					
L298 / L293E			100*	—	100*	—					

1) R1 = draadbrug, D22 niet monteren.  
 2) met minimaal één L293E mag de voedingsspanning niet hoger dan 36 V zijn.  
 — niet monteren.  
 \* de met \* aangegeven weerstanden zijn 4 W types, de overige 1 W types.

Tabel 2. Met de keuze van de meetweerstand kan de maximale stroom per wikkeling vastgelegd worden. De waarden in deze tabel zijn richtwaarden, ook de voedingsspanning en de inductiviteit van de stator hebben hun invloed.

Tabel 3. De weerstandwaarde van R34 en/of R35 is afhankelijk van het feit of u (minstens) één D/A-omzetter met een interne referentie (ZN426) gebruikt, of dat u kiest voor de externe referentiespanning (D17).

stator stroom	Rsense bij voedingsspanning		P
	<22 V	>22 V	
0,1 A	5Ω6	6Ω8	1/8 W
0,2 A	2Ω7	3Ω3	1/4 W
0,5 A	1Ω0	1Ω2	1/2 W
1,0 A	0Ω47	0Ω56	1 W
1,5 A	0Ω33	0Ω39	1 W
2,0 A	0Ω27	0Ω33	1 W

Tabel 3.		draadbruggen					
gebruikte D/A-omzetter		c	d	e	R34	R35	D17
IC11	IC14						
ZN436	ZN436	—	—	x	1k2	—	LM336
ZN426	--	x	—	x	390	—	—
--	ZN426	—	x	x	—	390	—
ZN426	ZN426	x	x	—	390	390	—

-- Don't care  
 — niet monteren.  
 x wél monteren.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

- R1 = 1)
- R2 = 100 k
- R3,R18...R21 = 10 k
- R4 = 18 k
- R5 = 1 k
- R6...R9 = 2)
- R10...R13 = 22 k
- R14...R17 = 8k2
- R22...R25 = 39 k
- R26...R29 = 4k7
- R30...R33 = 470 k
- R34,R35 = 3)

Kondensatoren:

- C1 = 22  $\mu$  40 V
- C2,C3 = 1  $\mu$ /6V3 tant.
- C4,C7 = 10 n
- C5 = 2n2
- C6 = 1 n
- C8...C11 = 4n7
- C12...C15 = 1n5
- C16...C19 = 120 n
- C20...C27 = 100 n

Halfgeleiders:

- D1...D16 = BYV27 4)
- D17 of D17' = LM336 3)
- D18...D21 = 2V1 (evt. 2V4)/400 mW zener
- D22 = zener 1 W 1)
- IC1 = L298 of IC1' = L293E
- IC2 = L298 of IC2' = L293E
- IC3 = 7805
- IC4 = (7)555
- IC5 = 4069 of 74HCT04
- IC6 = 4556 of 74HCT139
- IC7...IC10 = 40174 of 74HCT174
- IC11...IC14 = ZN436 (ZN426) 3)
- IC15,IC16 = LM324
- IC17,IC18 = (7)556

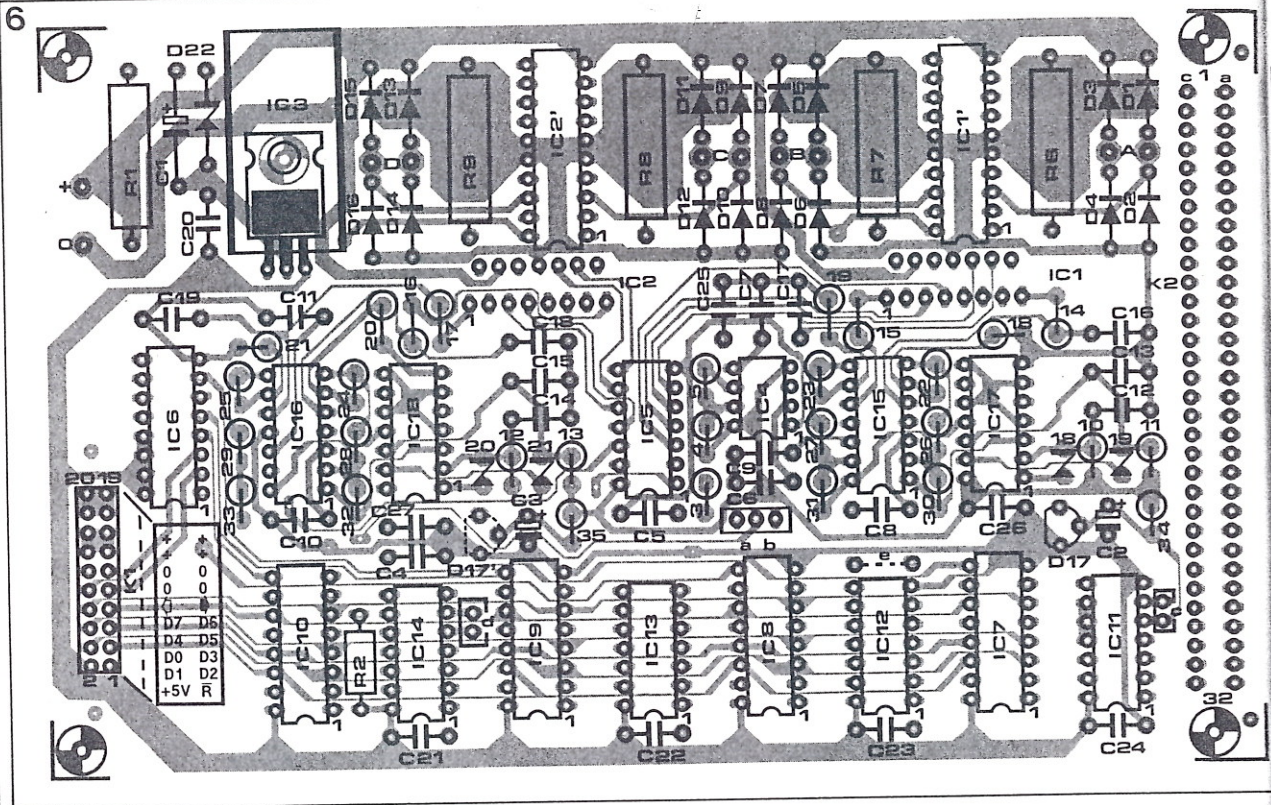
diversen:

- K1 = 20-polige konnektor, 2 rijen in 0,1" raster, al of niet haaks
- K2 = 64-polige konnektor, male, rijen a en c bezet (optioneel)
- apart koellichaam voor IC3 bij gebruik L293E
- gemeenschappelijk koelprofiel voor IC1...IC3 bij gebruik L298

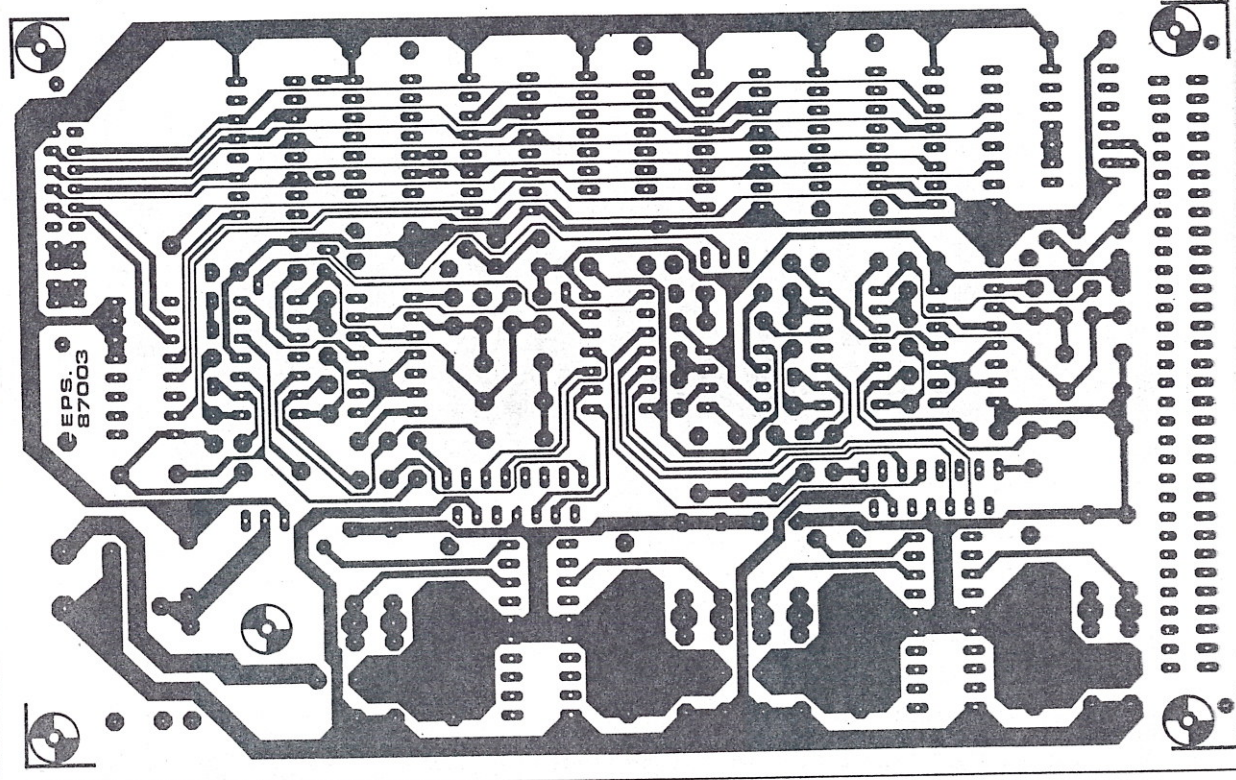
print EPS-87003

- 1) zie tabel 1
- 2) zie tabel 2
- 3) zie tabel 3
- 4) bij L293E mag ook 1N4001 gebruikt worden

Geschatte bouwkosten: circa f 250,-



soldeerzijde



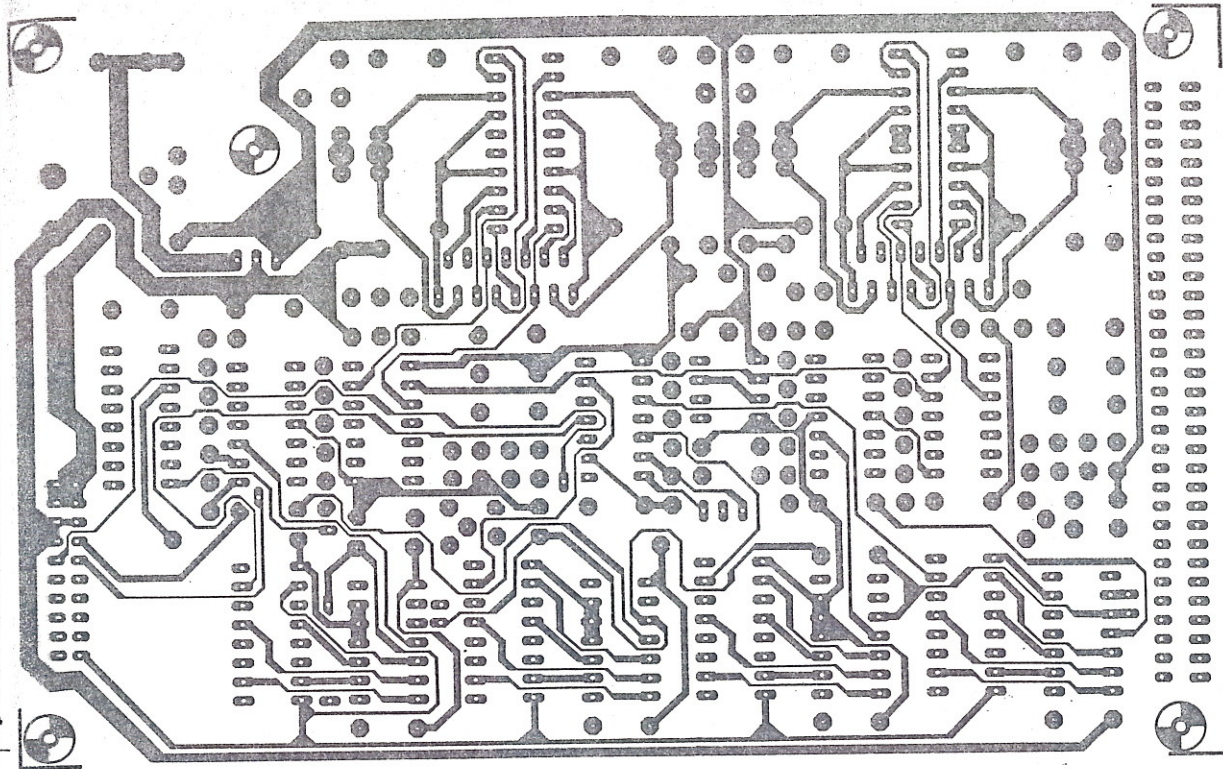
baar. Via deze lijn kan de 5-V-voedingsspanning ook van buitenaf betrokken worden. R1, IC3 en D22 worden dan eenvoudig weggelaten en de twee buitenste aansluitingen van IC3 worden via een korte draadbrug met elkaar verbonden. Voor de D/A-omzetters heeft u een ruime keuze. De 6-bit ZN436E is in principe voor alle

toepassingen goed genoeg en bovendien goedkoop. Deze omzetter vraagt om een externe referentiespanning, zodat u D17 moet monteren (tabel 3). Een ZN426E-x (waarbij x staat voor het aantal bruikbare bits: 6, 7 of 8) is ook goed maar kost u wat meer, omdat er een interne referentie aanwezig is. Om die referentie te benutten, legt

u draadbrug c of d (afhankelijk van het voetje waarin die ZN426 zich bevindt) en monteert u voor R34 of R35 een weerstand van 390  $\Omega$ . Heeft u helemaal geen behoefte aan de microstepping-optie, dan kunnen in plaats van de D/A-omzetters enkele weerstanden gemonteerd worden (figuur 8).

*Figuur 6. Komponentenopstelling en koperlayout van de doorgemetali-seerde dubbelzijdige print.*

komponentenzijde



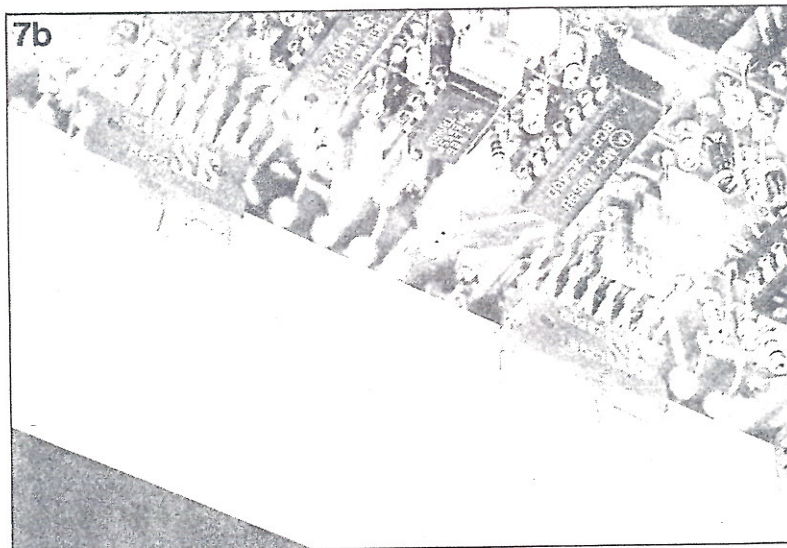
Nog iets over de externe referentiespanning. Wij gebruikten de LM336, een relatief goedkope en zeer stabiele "zener" (in wezen bevat deze component veel meer elektronica dan alleen maar een zenerdiode). Als de nood aan de man komt kan met een gewone spanningsdeler, door op de plaats van R34 en D17 twee weerstanden van 1 k te monteren, al een redelijk resultaat worden verkregen. Ook kan, door een lagere referentiespanning te kiezen, gemanipuleerd worden met de maximale waarde van de statorstroom.

## Aansluiten

Bipolaire motoren worden recht-toe-recht-aan aangesloten. Per twee-stator-motor wordt een halve kaart in beslag genomen. Hoe de statorwikkelingen worden aangesloten, maakt niet zoveel uit. Ompolen van één statorwikkeling of het verwisselen van beide wikkelingen laat de motor de tegenovergestelde kant uit draaien. Een bipolaire vier-stator-motor vraagt de inzet van de hele kaart. De fasevolg-orde is bij een dergelijke mo-



*Figuur 7. In de koelingsbehoefte van de driver-IC's kan op verschillende manieren worden voldaan. Het zelf gefabriceerde koellichaam voor een L293E is voor een beter thermisch contact vastgesoldeerd op de middelste (massa)aansluitingen van het IC.*



*Figuur 8. Voor wat minder gesofistikeerde-toepassingen, daar waar microstepping niet of minder gewenst is, is het mogelijk de (niet goedkope) D/A-omzetters door enkele weerstanden te vervangen. Alleen de vier hoogste bits van het data-woord worden nog gebruikt, waarbij de schakeling geschikt is voor vol- of halfstap-bedrijf.*

*Figuur 9. Drie manieren om unipolaire motoren aan te sluiten. Methode c verdient de voorkeur maar vraagt om twee gescheiden wikkelingen per stator.*

*Tabel 4. Handshake-nomenklatuur en de te maken doorverbinding op de print bij gebruik van diverse I/O-bouwstenen. De "antwoordlijn" kan ook vaak op een vast nivo worden gelegd, ook bij de Centronics-poort; raadpleeg de handleiding van uw computer.*

tor wél belangrijk; wordt de stroom in de vier statorwikkelingen in de verkeerde volgorde aangestuurd, dan zal de motor niet draaien maar slechts heen en weer "stotteren". Unipolaire motoren kunnen in principe op drie manieren aangesloten worden (figuur 9). Allereerst kunnen ze gewoon als bipolaire motor beschouwd worden, waarbij de middenaftakking of nuldraden (indien intern nog niet met elkaar doorverbonden) niet gebruikt, respectievelijk doorverbonden worden. De maximale statorstroom kan nu kleiner gekozen worden (in principe 50 %), omdat beide in serie geschakelde wikkelingen gelijktijdig gebruikt worden en oververhitting of verzadiging van de stator voorkomen moet worden. Bezwaar van deze methode is de verhoogde statorinductiviteit en de daarmee verslechterende pull-in-rate (maximale startfrequentie). De tweede methode bestaat uit het verbinden van het centrale aansluitpunt met de plus. In principe is daarmee steeds de helft van de statorwikkelingen kortgesloten naar plus. Motoren waarvan de middenaftakkingen van de statorwikkelingen intern al met elkaar doorverbonden zijn, herkenbaar aan een oneven aantal aansluitdraden, moeten zo aangesloten worden. Tegenover de lagere zelfinductie, in vergelijking met het

eerste geval, staat een grotere interne dissipatie in de kortgesloten wikkeling als gevolg van inductiestromen. Dit geeft een extra elektrische demping die bij lagere stapfrequenties in normaal stapbedrijf een soepeler loop veroorzaakt. Laatste mogelijkheid voor het aansluiten van een unipolaire motor is om per stator maar één wikkeling (fase) te gebruiken en die te beschouwen als een bipolaire wikkeling. Zijn beide fasen van een stator intern nog niet doorverbonden, dan verdient het de voorkeur om ze anti-parallel te schakelen. Sluit u ze per ongeluk normaal parallel, dan merkt u dat direkt. De velden heffen elkaar op, resulterend in een nul-komma-niets koppel. Om de kaart eenvoudig in een computersysteem te kunnen installeren kan aan één kant een 64-polige konektor gemonteerd worden (K2). Zij die deze konektor niet gebruiken kunnen hem er eenvoudig afzagen. Geen van de stuurlijnen is verbonden met deze konektor omdat het helemaal van het bus-type afhangt welke contacten nog vrij zijn. Eventueel kan K2 alleen voor de mechanische ondersteuning van de print gebruikt worden, waarbij de sturing via K1 aan de voorzijde plaatsvindt. Zijn er een aantal lijnen vrij op de bus, dan kunnen de contacten van K1 met gelakte koperdraad of eventu-

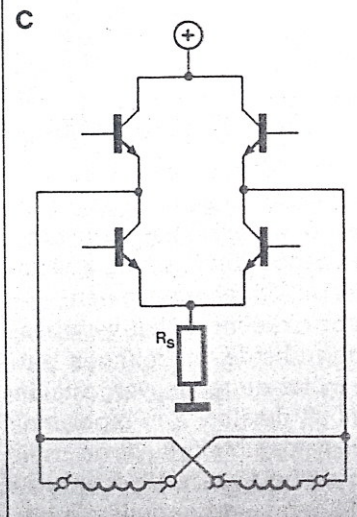
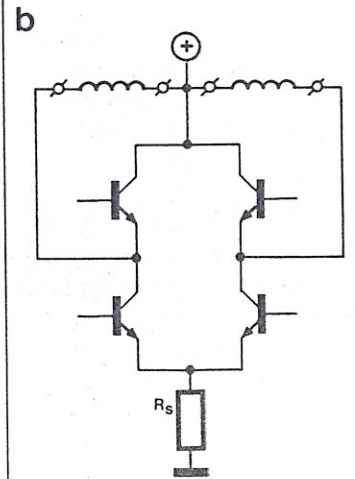
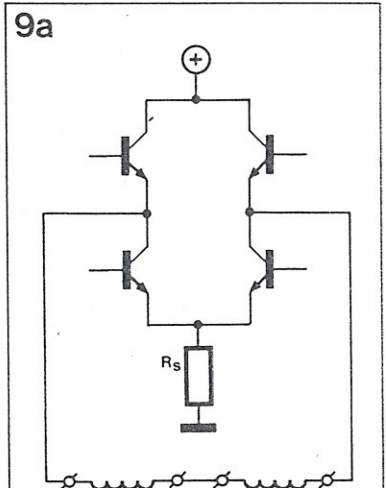
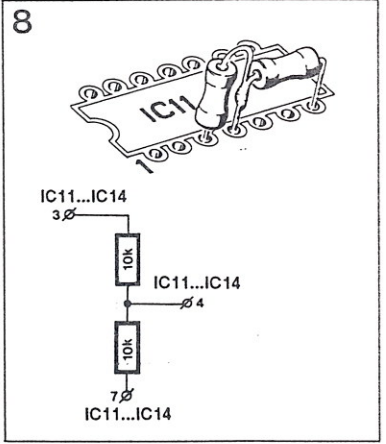
Tabel 4. handshake signalen

poort	vàn $\mu$ P naar stap.-kaart	vàn stap.-kaart naar $\mu$ P	draadbrug/jumper
Centronics	STB	ACK/BUSY <sup>1)</sup>	a
Z80 PIO (output-mode)	READY	STROBE	b
6522 VIA/6821 PIA	DATA READY <sup>2)</sup> CA2/CB2	DATA TAKEN <sup>2)</sup> CA1/CB2	a

(1) Meestal maar één lijn gebruikt (systeemafhankelijk).

(2) Afhankelijk van inhoud PCR-register keuze tussen:

- pulse-mode; signaal data-taken hoeft niet gebruikt te worden.
- handshake-mode; met data-taken wordt een interrupt gegeven. Interrupt routine geeft het volgende databyte, na een eventuele delay.



eel flatcable naar K2 doorgelust worden.

Zoals al werd vermeld mogen de CMOS-IC's alleen gebruikt worden bij uitgangspoorten die signalen op dat CMOS-nivo geven (poort A van een PIA of een VIA bijvoorbeeld). Bij de Centronics-aansluiting of een Z80-PIO verdienen de HCT-IC-types de voorkeur. Bij die Centronics-poort kan het in een enkel geval trouwens nog voorkomen dat de uitgangen van een open-kollektor-type zijn, waarbij het dus nodig is om extra pull-up weerstanden (1 k) te monteren.

## Voeding

Het kwam al eerder aan de orde: deze kaart stelt weinig eisen aan de voeding. Eén enkele spanning volstaat reeds. Stabiliseren is niet nodig, en moet uit rendementsoverwegingen eigenlijk afgeraden worden. Gelijkrichten en afvlakken is al voldoende, waarbij de buffercapaciteit bij voorkeur zo groot gekozen moet worden dat de rimpelspanning niet meer dan 10 à 15 % van de voedingsspanning bedraagt. De maximaal toelaatbare voedingsspanning (topwaarde!) wordt bepaald door de driver-IC's: 36 V bij toepassing van de L293E en 45 V bij de L298. Blijf echter liever nog enkele volts onder dit maximum omdat de vrijloopstroom kortstondige positieve spanningspieken op de voedingsspanning zal veroorzaken. De minimale voedingsspanning hangt mede af van de ohmse weerstand van de statorwikkelingen. Als richtlijn moet die spanning minimaal het dubbele bedragen van de spanning die de motor bij spanningssturing zou vragen. De zeer gangbare 5-V-stappenmotoren komen met deze kaart vanaf zo'n 10 à 12 V voldoende aan hun trekken, maar hoe hoger de voedingsspanning gekozen wordt, des te beter wordt de stroomsturing en daarmee de maximaal haalbare stapfrequentie. Het stroomverbruik hangt uiteraard voornamelijk af van de aangesloten motor(en). Bedenk

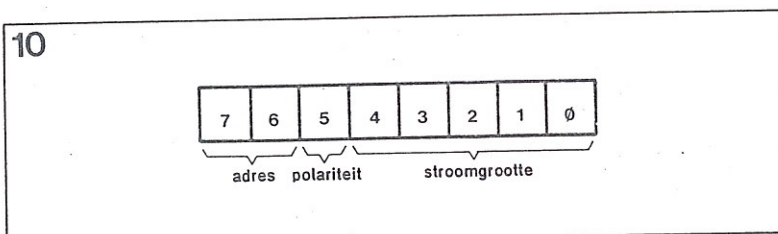
dat, als er alles uit gehaald wordt wat er in zit, de totale stroomconsumptie  $4 \times 2 \text{ A}$ , dus 8 A bedraagt. Dimensioneer uw afvlakking en bedrading daarop. In principe kunnen de  $2 \times 4$  contacten op K1 die voor de voeding gereserveerd zijn stromen tot 4 A verwerken. Bij grotere stromen gebruikte men de apart op de print geplaatste soldeerpaaltjes.

## Aansturing

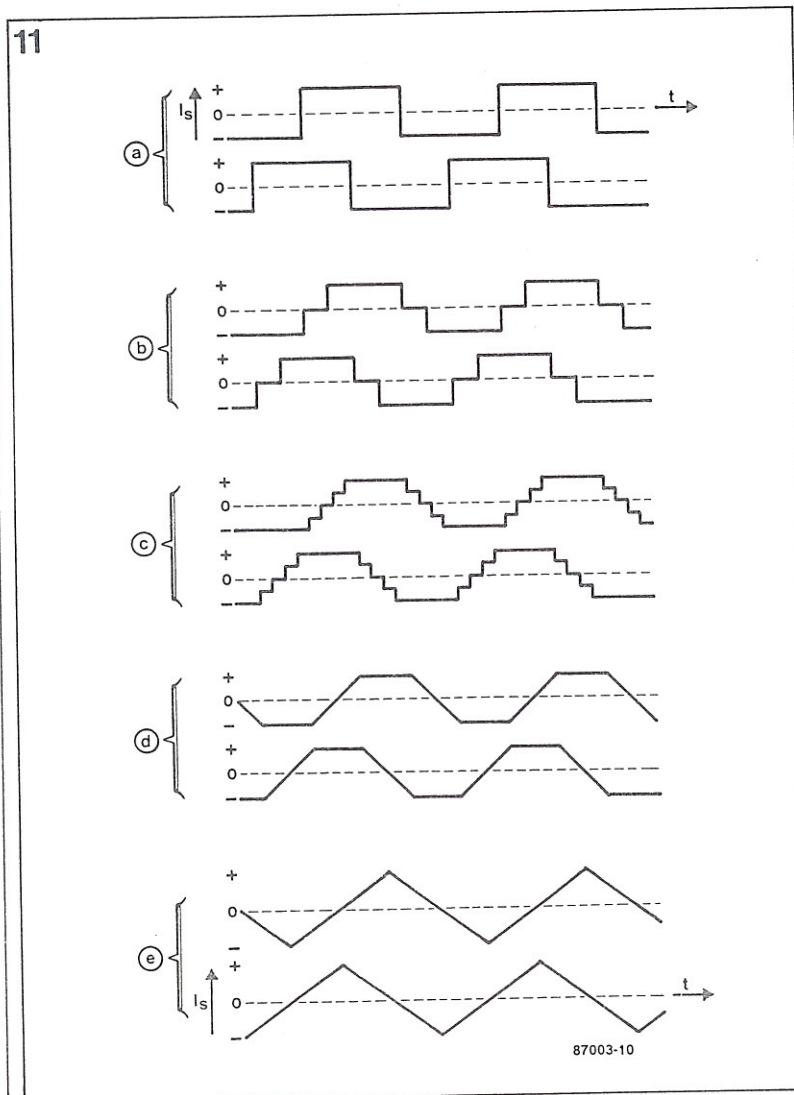
De hardware voor de motorregeling is nu aanwezig, maar echt leuk (en nuttig) wordt het pas als er aan de software-kant

de juiste informatie in de juiste volgorde naar toe gezonden wordt. De stappenmotorkaart zelf heeft geen intelligentie. Sleutel tot de sturing vormt het 8-bit datawoord. In figuur 10 ziet u hoe dit opgebouwd is; met de twee meest significante bits wordt één van de vier drivertrappen geadresseerd. Bit 5 is het polariteitsbit en de vijf overige bits (0 t/m 4) bepalen de grootte van de statorstroom.

De truk bij stappenmotoren is natuurlijk hoe de stroom in de verschillende stators als functie van de tijd verloopt. Figuur 11a toont u het klassieke geval bij volstapbedrijf: beurtelings worden de stromen omgepoold. In



Figuur 10. Opbouw van het datawoord.



Figuur 11. Tijdvolgordediagrammen die aangeven hoe de statorstromen geschakeld moeten worden (we geven twee fasen als voorbeeld). U ziet achtereenvolgens a) volstap-, b) halfstap-, c) kwartstap- en d) microstapbedrijf. Omdat bij lineaire kommutatie zoals getekend in d problemen ontstaan rond het niet konstant zijn van het motor-koppel, kan beter voor een oplossing als in e gekozen worden. De totale statorstroom, en daardoor bij benadering ook het koppel, blijft konstant.

Tabel 5a. Data voor één kommutatieronde in een vier-stator-motor volgens figuur 10d.

Tabel 5b. Data voor een twee-stator-motor volgens figuur 10e.

Tabel 5c. Data voor sinusvormige en in fase verschoven kommutatie voor een vier-stator-motor. Met een dergelijke aansturing wordt een stappenmotor feitelijk als synchroonmotor beschouwd. Voor twee-stator-motoren gebruike men alleen kolom één en twee of kolom drie en vier.

Tabel 5a.

adres	data		adres	data		
00	1F	1D	80	3F	3D	S T A T O R  1
02	1B	19	82	3B	39	
04	17	15	84	37	35	
06	13	11	86	33	31	
08	0F	0D	88	2F	2D	
0A	0B	09	8A	2B	29	
0C	07	05	8C	27	25	
0E	03	01	8E	23	21	
10	21	23	90	01	03	
12	25	27	92	05	07	
14	29	2B	94	09	0B	
16	2D	2F	96	0D	0F	
18	31	33	98	11	13	
1A	35	37	9A	15	17	
1C	39	3B	9C	19	1B	
1E	3D	3F	9E	1D	1F	
20	5F	5D	A0	7F	7D	S T A T O R  2
22	5B	59	A2	7B	79	
24	57	55	A4	77	75	
26	53	51	A6	73	71	
28	4F	4D	A8	6F	6D	
2A	4B	49	AA	6B	69	
2C	47	45	AC	67	65	
2E	43	41	AE	63	61	
30	61	63	B0	41	43	
32	65	67	B2	45	47	
34	69	6B	B4	49	4B	
36	6D	6F	B6	4D	4F	
38	71	73	B8	51	53	
3A	75	77	BA	55	57	
3C	79	7B	BC	59	5B	
3E	7D	7F	BE	5D	5F	
40	9F	9D	C0	BF	BD	S T A T O R  3
42	9B	99	C2	BB	B9	
44	97	95	C4	B7	B5	
46	93	91	C6	B3	B1	
48	8F	8D	C8	AF	AD	
4A	8B	89	CA	AB	A9	
4C	87	85	CC	A7	A5	
4E	83	81	CE	A3	A1	
50	A1	A3	D0	81	83	
52	A5	A7	D2	85	87	
54	A9	AB	D4	89	8B	
56	AD	AF	D6	8D	8F	
58	B1	B3	D8	91	93	
5A	B5	B7	DA	95	97	
5C	B9	BB	DC	99	9B	
5E	BD	BF	DE	9D	9F	
60	DF	DD	E0	FF	FD	S T A T O R  4
62	DB	D9	E2	FB	F9	
64	D7	D5	E4	F7	F5	
66	D3	D1	E6	F3	F1	
68	CF	CD	E8	EF	ED	
6A	CB	C9	EA	EB	E9	
6C	C7	C5	EC	E7	E5	
6E	C3	C1	EE	E3	E1	
70	E1	E3	F0	C1	C3	
72	E5	E7	F2	C5	C7	
74	E9	EB	F4	C9	CB	
76	ED	EF	F6	CD	CF	
78	F1	F3	F8	D1	D3	
7A	F5	F7	FA	D5	D7	
7C	F9	FB	FC	D9	DB	
7E	FD	FF	FE	DD	DF	

Tabel 5b.

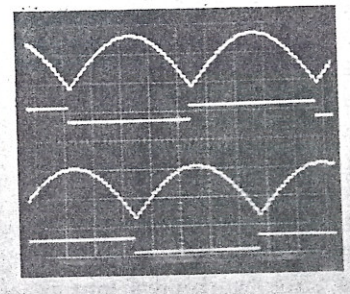
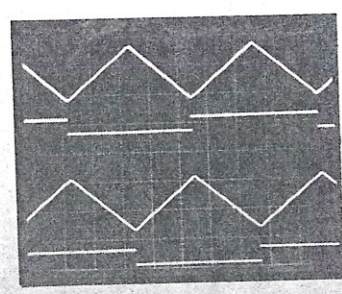
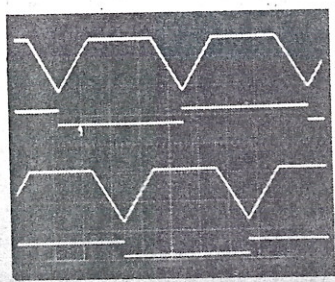
adres	data		adres	data	
	stator 1	stator 2		stator 1	stator 2
00	1F	40	80	3F	60
02	1E	41	82	3E	61
04	1D	42	84	3D	62
06	1C	43	86	3C	63
08	1B	44	88	3B	64
0A	1A	45	8A	3A	65
0C	19	46	8C	39	66
0E	18	47	8E	38	67
10	17	48	90	37	68
12	16	49	92	36	69
14	15	4A	94	35	6A
16	14	4B	96	34	6B
18	13	4C	98	33	6C
1A	12	4D	9A	32	6D
1C	11	4E	9C	31	6E
1E	10	4F	9E	30	6F
20	0F	50	A0	2F	70
22	0E	51	A2	2E	71
24	0D	52	A4	2D	72
26	0C	53	A6	2C	73
28	0B	54	A8	2B	74
2A	0A	55	AA	2A	75
2C	09	56	AC	29	76
2E	08	57	AE	28	77
30	07	58	B0	27	78
32	06	59	B2	26	79
34	05	5A	B4	25	7A
36	04	5B	B6	24	7B
38	03	5C	B8	23	7C
3A	02	5D	BA	22	7D
3C	01	5E	BC	21	7E
3E	00	5F	BE	20	7F
40	20	5F	C0	00	7F
42	21	5E	C2	01	7E
44	22	5D	C4	02	7D
46	23	5C	C6	03	7C
48	24	5B	C8	04	7B
4A	25	5A	CA	05	7A
4C	26	59	CC	06	79
4E	27	58	CE	07	78
50	28	57	D0	08	77
52	29	56	D2	09	76
54	2A	55	D4	0A	75
56	2B	54	D6	0B	74
58	2C	53	D8	0C	73
5A	2D	52	DA	0D	72
5C	2E	51	DC	0E	71
5E	2F	50	DE	0F	70
60	30	4F	E0	10	6F
62	31	4E	E2	11	6E
64	32	4D	E4	12	6D
66	33	4C	E6	13	6C
68	34	4B	E8	14	6B
6A	35	4A	EA	15	6A
6C	36	49	EC	16	69
6E	37	48	EE	17	68
70	38	47	F0	18	67
72	39	46	F2	19	66
74	3A	45	F4	1A	65
76	3B	44	F6	1B	64
78	3C	43	F8	1C	63
7A	3D	42	FA	1D	62
7C	3E	41	FC	1E	61
7F	3F	40	FE	1F	60

Tabel 5c.

adres	data			
	stator 1	stator 2	stator 3	stator 4
00	00	7F	A0	DF
04	03	7F	A3	DF
08	06	7E	A6	DE
0C	09	7E	A9	DE
10	0C	7D	AC	DD
14	0F	7B	AF	DB
18	11	7A	B1	DA
1C	14	78	B4	D8
20	16	76	B6	D6
24	18	74	B8	D4
28	1A	71	BA	D1
2C	1B	6F	BB	CF
30	1D	6C	BD	CC
34	1E	69	BE	C9
38	1E	66	BE	C6
3C	1F	63	BF	C3
40	1F	40	BF	E0
44	1F	43	BF	E3
48	1E	46	BE	E6
4C	1E	49	BE	E9
50	1D	4C	BD	EC
54	1B	4F	BB	EF
58	1A	51	BA	F1
5C	18	54	B8	F4
60	16	56	B6	F6
64	14	58	B4	F8
68	11	5A	B1	FA
6C	0F	5B	AF	FB
70	0C	5D	AC	FD
74	09	5E	A9	FE
78	06	5E	A6	FE
7C	03	5F	A3	FF
80	20	5F	80	FF
84	23	5F	83	FF
88	26	5E	86	FE
8C	29	5E	89	FE
90	2C	5D	8C	FD
94	2F	5B	8F	FB
98	31	5A	91	FA
9C	34	58	94	F8
A0	36	56	96	F6
A4	38	54	98	F4
A8	3A	51	9A	F1
AC	3B	4F	9B	EF
B0	3D	4C	9D	EC
B4	3E	49	9E	E9
B8	3E	46	9E	E6
BC	3F	43	9F	E3
C0	3F	60	9F	C0
C4	3F	63	9F	C3
C8	3E	66	9E	C6
CC	3E	69	9E	C9
D0	3D	6C	9D	CC
D4	3B	6F	9B	CF
D8	3A	71	9A	D1
DC	38	74	98	D4
E0	36	76	96	D6
E4	34	78	94	D8
E8	31	7A	91	DA
EC	2F	7B	8F	DB
F0	2C	7D	8C	DD
F4	29	7F	89	DE
F8	26	7E	86	DE
FC	23	7F	83	DF

stator 1 } stroom-grootte  
          } polariteit

stator 2 } stroom-grootte  
          } polariteit





figuur 11b zien we de statorstromen bij halfstapbedrijf: bij het ompolen wordt als tussenstap de stroom nul gemaakt. Trekken we de lijn logisch door, dan is bij kwartstapbedrijf weer een tussenstap ingevoegd (figuur 11c). Voor echt micro-stapbedrijf hadden we aanvankelijk onze zinnen gezet op het sinusvormig en in fase verschoven variëren van de statorstromen. Feitelijk beschouw je dan de stappenmotor als een gewone synchroonmotor, waarbij de statorstromen een gelijkmatig draaiend en in amplitude konstant draaiveld veroorzaken. In de praktijk bleek deze vlieger niet op te gaan, iets waar we eigenlijk nog geen verklaring voor gevonden hebben. De motor bleek in onbelaste toestand niet echt mooi gelijkmatig te draaien, maar met een belastingskoppel werd het gedrag al een stuk beter. Experimenteerlustigen kunnen de data voor deze sinusvormige kommutatie in tabel 5c vinden. We experimenteerden tevens met het extrapoleren van het kwartstapbedrijf-principe waarbij de statorstroom lineair in de tijd omgepoold werd (figuur 11d). Ook deze lineaire kommutatie bleek niet zo ideaal gekozen te zijn: de substappen rond het nulpunt van de statorstroom pakken groter uit dan die aan het begin en het einde van de kommutatie. Bovendien zal het leverbare koppel als gevolg van het niet-konstant zijn van de totale statorstroom tijdens het "substappen" variëren. Een extern belastingskoppel zal de rotor rond het nulpunt van de stroom meer van de gewenste positie doen afwijken dan daar waar de stroom maximaal is, met als gevolg ongelijk grote substappen. Dit effect zal zich trouwens bij twee-stator-motoren veel sterker manifesteren dan bij motoren met vier stators. Tot kwartstapbedrijf is het resultaat nog redelijk, waarbij vier-stator-motoren vanwege de gemiddeld konstantere statorstroom in het voordeel zijn. Een beter resultaat, zeker bij twee-stator-motoren, werd verkregen door ervoor te zorgen dat de totale

statorstroom altijd konstant blijft (figuur 11e).

## Programmaopzet

Het eenvoudigste is het om één volledige "kommutatieronde" in een array te plaatsen. Zo'n ronde bestaat uit het volledig ompolen en weer "terugpolen" van de statorstroom. Bij een vier-stator-motor komt dat overeen met 8 volledige stappen. Met een pointer wordt bijgehouden waar men zit in de kommutatie. Door de pointer telkens te verhogen, draait de motor de ene kant uit, en verlagen leidt uiteraard tot het tegenovergestelde resultaat. Komt de pointer aan het einde of het begin van het array, dan moet vervolgens de begin- of eindwaarde worden geladen; de pointer moet als het ware rondlopen.

Tabel 5a is een datadump voor de statorstroomsturing van een vier-stator-motor volgens het principe van figuur 11d. Per 32 bytes wordt één fase in stapjes van twee omgepoold. In het eerste stuk bijvoorbeeld zien we de statorstroom eerst afnemen van maximaal (1F) tot bijna nul, daar slaat het polariteitsbit om (overgang 01-21), en vervolgens neemt de stroom weer toe tot het maximum (3F). Het tweede blok is voor een andere stator, waardoor deze data een offset van 40 heeft (het adres voor die tweede stator) ten opzichte van het eerste blok. Hetzelfde geldt voor de twee volgende 32-byte blokken waarbij de offset respectievelijk 80 en C0 is. In de tweede helft van de tabel worden de stromen na elkaar weer "teruggepoold".

Tabel 5b geeft de data voor het sturen van een twee-stator-motor volgens figuur 11e. De data voor een tweede twee-stator-motor op dezelfde kaart wordt verkregen door bij elk byte 80H op te tellen.

Tabel 5 moet als niet meer dan een aftrap worden gezien. Eventueel ongelijk grote substappen kunnen gekompenseerd worden door een andere dan lineaire kommutatie te kie-

zen. Het is aan de gebruiker om hier wat mee te experimenteren, temeer daar de resultaten afhangen van het aangesloten type motor.

Om de gelijkmatigheid van de stapfrequentie te waarborgen kan deze het beste met een timer op interruptbasis gesynchroniseerd worden (een 6522 heeft die trouwens al aan boord).

Door het grote aantal tussenstappen bestaat al gauw het risico dat het maximale motor-toerental door de traagheid van het programma te zeer beperkt wordt. Zeker bij BASIC zal dit het geval zijn. Begonnen kan worden met het schrijven van de outputroutine voor de stappenmotorkaart in assembler. Verder kunnen, als een hoger toerental gewenst is, er meerdere stappen tegelijk gemaakt worden. De statorinductiviteit heeft bij hogere schakelfrequenties toch al een dusdanig beperkende invloed op de statorstroom dat nauwkeurige stroomsturing en daarmee microstepping de mist in gaat. Dit is geen enkel bezwaar, want als de stapfrequentie boven de resonantiefrequentie van de motor ligt, zal deze toch gelijkmatig lopen. Het microstepping wordt dan voorbehouden voor de lagere toerentalen of het nauwkeurig positioneren.

