

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

TECHNISCHE RAPPORTEN

T.R. - 24

J.A.M. Louwers

**Beschrijving van een lichtchopperversterker
t.b.v. temperatuurmeting met behulp van
thermokoppels voor Cabauw.**

De Bilt, 1982

Publikatienummer: K.N.M.I. T.R. 24 (INSA-IO)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Instrumentele Afdeling, Instr. Ontwikkeling,
Postbus 201,
3730 AE DE BILT,
Nederland.

U.D.C. : 551.508.29

Inhoudsopgave

blz.	1	Voorwoord	
	3	Inleiding	
	5	Blokschema	
	7	Ingangsfiler	
	11	Chopper	
	13	Wisselspanningsversterker	
	15	Demodulator	
	17	Gelijkspanningsversterker	
	23	Spanningstegenkoppeling en offsetregeling	
	29	Chopperbekrachtiging	
	33	Voeding	
	35	Constructie	
	39	Aanhangsel 1	De electrolytische condensator
	43	Aanhangsel 2	Instellingen en karakteristieken van transistoren
	45	Aanhangsel 3	Selectieve wisselspanningsversterker
	49	Aanhangsel 4	Overzicht geselecteerde componenten en selectieprocedures
	57	Aanhangsel 5	Afmontage van halffabrikaten
		Aanhangsel 6 *	Selecties van LDR's, neonlampjes en terugkoppelweerstand voor versterkers 21 t/m 35
		Aanhangsel 7 *	Registratie van versterker 21 in de klimaatkast
		Aanhangsel 8 *	Databladen
		Aanhangsel 9 *	Inhoudsoverzicht van documentatie van de heer Schoen

* alleen aanwezig in het technisch documentatiecentrum van INSA, kamer 182

Voorwoord

Voor het meten van temperaturen ten behoeve van wetenschappelijk onderzoek wordt in Cabauw gebruik gemaakt van sensoren met thermokoppels. Om de hierin opgewekte signalen goed te kunnen verwerken, worden hoge eisen gesteld aan de bijbehorende electronica.

In het verleden zijn speciaal hiervoor door de heer S. Schoen de zogenaamde chopperversterkers ontwikkeld.

Toen uitbreiding van het versterkerbestand actueel werd, bleek dat de achtergelaten documentatie slecht toegankelijk was.

Daarom is het volgende rapport geschreven aan de hand van de epistels van Schoen en de praktijk-ervaring bij de samenbouw van de versterkers. Het wil inzicht in de werking en overzicht over de praktische samenbouw van de chopperversterkers geven.

Inleiding

De lichtchopperversterker is een gevoelige gelijkspanningsversterker, voor het versterken van thermokoppelspanningen. De gevoeligheid van het koper-constantaan thermokoppel is ca. $40 \mu\text{V/K}$.

De resolutie van de te meten temperatuur is $0,01 \text{ K}$, en het verloop moet zeer klein zijn: max. $0,0025 \text{ K}$ per jaar.

De resolutie van de versterker is dan $0,01 \text{ K} \times 40 \mu\text{V/K} = 0,4 \mu\text{V}$ met een verloop van max. $0,1 \mu\text{V}$ per jaar.

Het ontwerp is gebaseerd op een integrator, die evenals de versterker door de heer Schoen is ontwikkeld.

In dit verslag zal veelvuldig naar de aantekeningen van Schoen worden verwezen. De grote schrijfblokken zijn genummers 1 t/m 50 juni '58/maart '79. De kleine schrijfblokken zijn genummers K1 t/m K29 febr. '68/maart '79. Blokken met grafiekpapier zijn genummerd R1 t/m R7.

Verder zijn er nog een aantal mappen met documentatie over een bepaald onderwerp. Deze zijn genummerd D1 t/m D...

D0 is de inhoudsopgave over alle zaken, die iets met temperatuurmeting te maken hebben, in het bijzonder over de lichtchopperversterker en de integrator. Deze inhoudsopgave geeft een goed overzicht van de documentatie, maar is zeker niet compleet.

De belangrijkste documenten zijn: D4 7-9-70 beschrijving + montage en afregelvoorschriften

D4 8-11-78 beschrijving

Lichtchopperversterker t.b.v. Cabauw, zie tek. nr 28-50-006 en 28-50-007

Versterking

25.000x No's 1-13 \pm 5V uitgangsspanning voor 200 μ V ingangsspanning onbelast.
21-35 idem, halffabrikaten
50.000x 14-20 \pm 10V uitgangssp. voor 200 μ V ingangssp. onbelast.
10.000x 37-42 en 45-52 \pm 10V uitgangssp. voor 1mV ingangssp., belasting
191,2 k Ω
5.000x 43-44 onbelast.

Uitgangsspanningsrange van + 16,5V tot -14,5V (normaal gebruik +10 tot -10V).

Offset: al dan niet -40% van de normale range van 5V of 10V, om zodoende de versterker te behoeden voor vastlopen.

Ruis : teruggerekend naar de ingang, als met een RC-tijd van 1 sec wordt gefilterd: 0,05 μ V (RMS).

Nulpuntsdrift: $< 0,1 \mu$ V over de omgevingstemp.range van -10° C tot $+35^{\circ}$ C
 $< 0,1 \mu$ V per jaar.

Versterkingsverloop: $< \pm 10$ ppm/ $^{\circ}$ C

Uitgangsweerstand : $10k\Omega \pm 1\%$

Ingangsweerstand : $> 4 M\Omega$

Voeding: a. t.b.v. modulatorglimlampjes: 170 V \sim d.m.v. zenerdiodes afgetopt op ± 229 V (gemiddeld). Topstroom per lampje 1,5 mA.

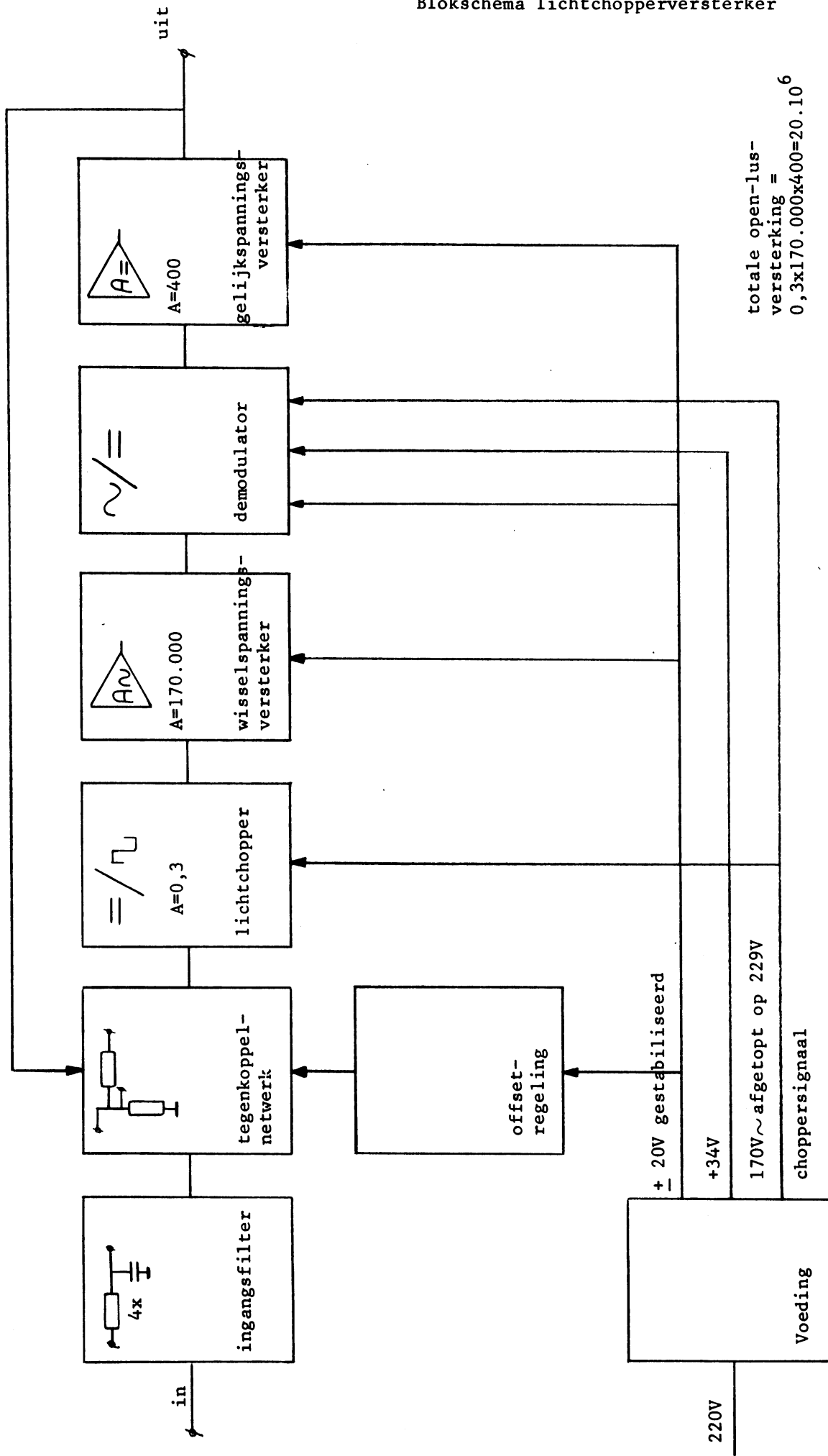
Bekrachtiging is capacitief, dus de topstroom is bij nuldoorgang.

b. t.b.v. de versterker: +20V 2,9mA gestabiliseerd
-20V 2,1mA gestabiliseerd
+34V $3 \pm 0,75$ mA ongestabiliseerd

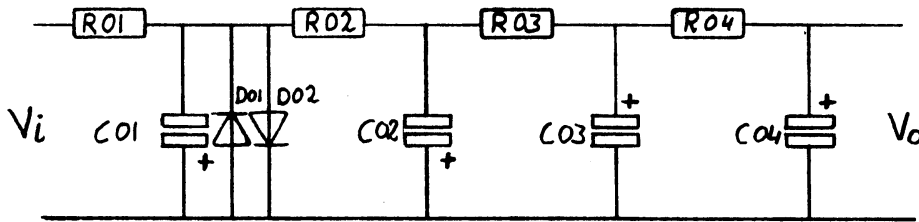
Behuizing: I aluminiumkast voor 1 voeding en 10 versterkers, tek.nrs. 28-3-005 en

IIa. gietijzeren kast voor voedingstrafo en printje met zenerdiodes, tek.nrs 28-3-004 en 28-70-064

IIb. aluminiumkast waarin 3x de inhoud van IIa, tek.nrs. 28-3-007



Ingangsfiler zie 23-10-70 blok 33



$R = 3k\Omega$
 $C = 10\mu F$
 $D = BAY18$

Het ingangssignaal, afkomstig van een thermokoppelpaar, getransporteerd via afgeschermd compensatiekabel, moet gefilterd worden. Dit om hoogfrequent instraling en oppik van 50 Hz te elimineren.

Het filter is viervoudig uitgevoerd, daar de onderdrukking van de storing (min. 50 Hz) zeer groot moet zijn en anderzijds de versterker nog snel genoeg moet zijn om temperatuurvariaties met een insteltijd van ca. 10 sec. te kunnen volgen.

De overdrachtsfunctie is als volgt:

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 - 15(\omega RC)^2 + (\omega RC)^4 + \{10 - 7(\omega RC)^2\} j\omega RC$$

1)

Voor een aantal frequenties volgt dan:

f	w	wRc	V_i/V_o	$ V_i/V_o $	$ V_o/V_i $
0,01	0,0628	0,00207	0,99994 + 0,0207j	1,00015	0,9998
0,1	0,628	0,0207	0,99 + 0,21j	1,015	0,985
0,25	1,57	0,0518	0,960 + 0,517j	1,0903	0,917
0,5	3,14	0,104	0,839 + 1,029j	1,33	0,752
1	6,28	0,207	0,357 + 2,010j	2,041	0,490
2	12,6	0,415	-1,55 + 3,65j	3,963	0,252
5	31,4	1,04	-13,97 + 2,57j	14,201	0,070
10	62,8	2,07	-45,01 - 41,67j	61,33	0,016
25	157	5,18	319,95 - 923,2j	977	$1,02 \cdot 10^{-3}$
50	314	10,37	9941 - 7696j	12572	$79,5 \cdot 10^{-6}$
100	628	20,73	178383 - 62192j	188914	$5,3 \cdot 10^{-6}$

1) Voor afleiding zie blok 33 25-10-70

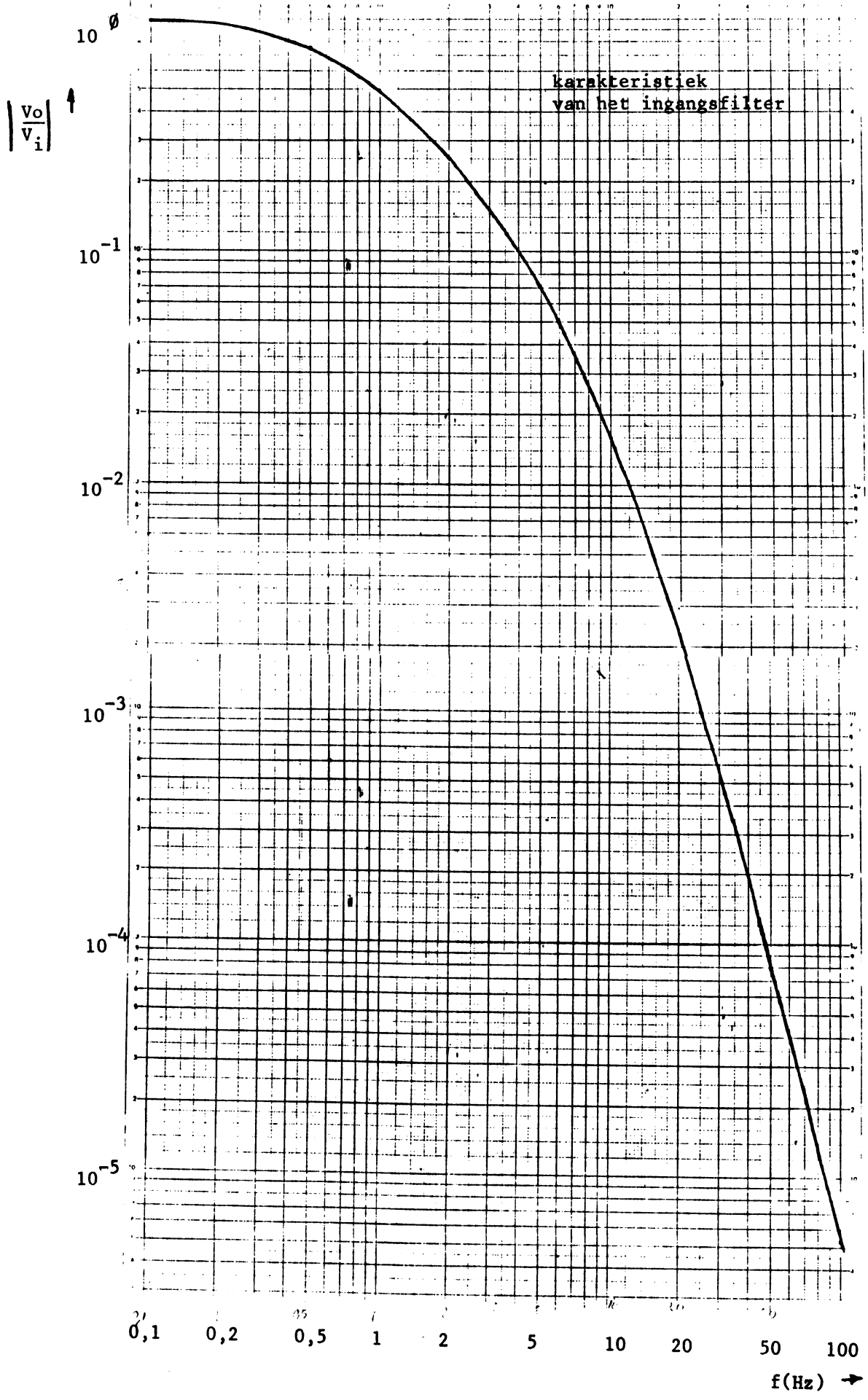
De twee antiparallel geschakelde dioden beschermen de versterker tegen overspanning t.g.v. (indirecte) blikseminslagen. De diodes moeten een lage lekstroom hebben. De BAY 18 voldoet hier.

De weerstanden worden in een aluminium blokje ondergebracht, waarbij de weerstandsdraden kort afgeknipt worden. Hieraan wordt een litzedraad gesoldeerd (met gewoon tin). Hiermee wordt bereikt dat de weerstanden inclusief de aansluitingen uniform van temperatuur zijn, zodat er geen thermokoppelspanningen kunnen ontstaan in de weerstanden. De weerstand mag een keramische film of een metaalfilmweerstand zijn. Geen compositieweerstanden, omdat deze veel meer last hebben van thermospanningen dan filmweerstand.

De condensatoren zijn Tantaal druppel condensatoren 10uF 25V.

De capaciteit van een condensator is enigszins afhankelijk van de temperatuur. Bij een bepaalde lading, zal de spanning over de condensator dus variëren bij temp. variaties. Hierdoor gaat er een ladingsstroom lopen.

Vanwege deze ladingsstroom zijn condensatoren twee aan twee tegengesteld geschakeld (zie aanhangsel). De tegengesteld gerichte condensatoren zijn vlak bij elkaar geplaatst, zodat zij dezelfde temperatuur hebben.



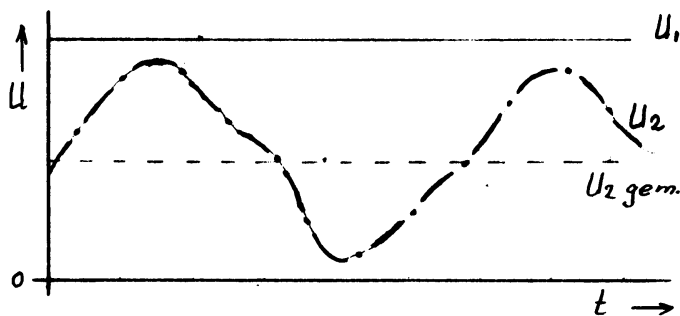
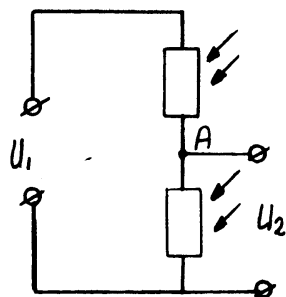
De chopper

De gelijkspanning wordt d.m.v. fotoweerstanden (LDR's) omgezet in een wisselspanning.

Door de LDR's afwisselend te belichten, wordt punt A geschakeld tussen U_1 en 0. Als aangenomen wordt dat de lichtweerstand van de LDR = 0Ω en de donkerweerstand = ∞ , krijgt U_2 periodiek de waarde U_1 en 0.

Omdat $R_{donker} \neq \infty$ en $R_{licht} \neq 0\Omega$ zijn, varieert de spanning U_2 over een minder groot gebied:

$$\frac{R_{donker}}{R_{donker} + R_{licht}} U_1 \quad \text{en} \quad \frac{R_{licht}}{R_{donker} + R_{licht}} U_1$$



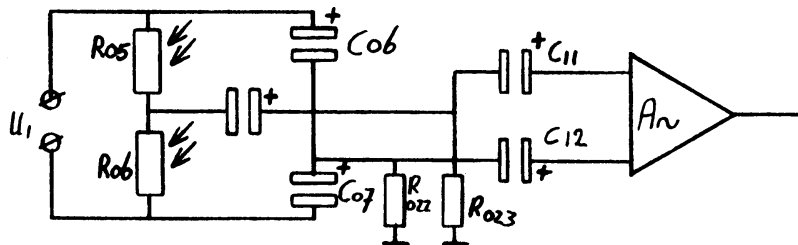
De wisselspanningsversterker moet de wisselspanning versterken.

De gemiddelde spanning van U_2 mag de versterker niet beïnvloeden en moet dus ontkoppeld worden; C_{11} en $C_{12} + R_{022}$ en R_{023}

M.b.v. C_{05} , C_{06} en C_{07} wordt voorkomen dat er een gelijkstroom door de fotoweerstanden gaat lopen. Alle lekstromen door C_{05} , C_{06} , C_{07} , C_{11} en C_{12} worden door R_{022} en R_{023} naar aarde afgevoerd.

Voor brugevenwicht zie:

- K8 8-10-70
- 32 9-10-70
- D4 7-9-70 4



Om invloeden van thermische stromen door condensatoren te verminderen worden C_{06} en C_{07} tegengesteld en C_{11} en C_{12} gelijkgericht.

Wisselspanningsversterker

De eerste trap is een balanstrap. Deze versterkt het common signaal slechts zeer weinig (5x).

balanstrap t10 en t11 $I_c = 50 \mu A$
 $V_e = 2,2V$ $V_{ce} = 1,6V$
 $V_c = 3,8V$

De BC109C bij $50 \mu A$ en $1,6V$ ¹⁾ geeft:

$$S = 40 I_c = 40 \times 50 \cdot 10^{-6} = 2mA/V$$

$$\text{Versterking } \frac{U_{u1} - U_{u2}}{U_{i1} - U_{i2}} = -\frac{1}{2} S R_c = -\frac{1}{2} \times 2.220 = 220$$

omdat slechts één uitgang gebruikt wordt: $A = \frac{1}{2} \times 220 = 110$

$$\text{Versterking van het Common-sigitaal: } A \approx \frac{R_c}{2R_e} = \frac{220k}{2 \times 22k} = 5$$

Na de balanstrap is een gelijkstroom-gekoppelde selectieve versterker geschakeld met de middenfrequentie op 50 Hz.

t12 spanningvolger (inpedantietrafo) met $A \approx 1$

$$BC109C \quad 11V \text{ en } 10 \mu A \quad = 225 - 450 \text{ gem } 300 \quad 2) \quad 2)$$

$$R_i = 300 \times 56k = 19 M\Omega \quad I_B \quad \frac{10 \mu A}{300} = 0,03 \mu A$$

en hoogohmiger voor hoge frequenties d.m.v. L_1

t13 versterkertrap BCY59C

$$A_c = \frac{-h_{21} \cdot R_c}{h_{11} + (h_{21} + 1) R_e} = \frac{-178 \cdot 180k}{61k + 179 \times 100} = -406$$

$$\text{t14} \text{ spanningsvolger } A \approx 1 \quad R_e = R_e \parallel \frac{h_{11} + R_B}{h_{21} + 1} = 22k \parallel \frac{290k + 180k}{87} = 4k3$$

t15-t18 balans eindtrap waarvan t15 een stroombron is $I = 90 \mu A$

$$A_c = \frac{h_{21_1} \cdot h_{21_2} R_c}{h_{11} + R_B + h_{11} R_e} = \frac{500 \times 500}{75k + 4k3 + 0} \cdot 12k = 37.800$$

totale openlus versterking: van de naversterker $406 \times 37.800 = 1,5 \cdot 10^7$

Deze wordt teruggekoppeld met R_{114} op R_{112} , zodat de versterking 1500 is.

1) zie 26 13-10-67³ en aanhangsel 3.

2) zie 26 12-10-67³

Voor hoogfrequent storing wordt nog extra teruggekoppeld met C16.
t19 is een fasedraaier.

$$A_c = \frac{-h_{21}^1 R_c}{h_{11} + R_b + (h_{21} + 1) R_e} = \frac{-500 \cdot 10^6}{0,5 \cdot 10^6 + 0,210^6 + 501 \cdot 1,5 \cdot 10^6} = -\frac{2}{3}$$

Aan de collector van t19 is de versterking dus $-\frac{2}{3} \times 1500 = -1000$

Dit signaal wordt nog eens teruggekoppeld, zodanig dat de versterker selectief wordt met middenfrequentie = 50Hz en -3dB punten bij 8,4Hz en 300 Hz.

$$A = 1500 \left[1 + j \omega_0 R_{12} C_{14} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$$

zie 48: 21-11-78

$$A = 1500 \left[1 + j \cdot 9,30 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$$

De ruststroominstelling geschied m.b.v. R127 en t19.

t19 fungeert bij een constante uitgangsspanning van 9V als stroombron.

$$U_B = (9+20) \times \frac{470}{470+560} - 20 = -6,7V$$

$$U_E = -6,7 - 0,6 = -7,3V$$

over R125 staat dan $20 - 7,3 = 12,7V$

$$I_E = \frac{12,7}{1M5} = 8,5 \mu A \quad U_c = 20 - 8,5 \times 2,2 = 1,30V$$

Als de spanning van de uitgang 1V te laag is, zou:

$$U_B = -6,7 - \frac{470}{470+560} \times 1 = -6,7 - 0,46V \text{ zijn}$$

$$U_E = -7,3 - 0,46V$$

$$I_E = 8,5 - \frac{0,46}{1M5} = 8,5 - 0,30 \mu A$$

$-0,30 \mu A$ geeft aan de collector van t19 $-0,30 \times 2,2 = -0,66V$

Dit moet gecompenseerd worden met $R_{127} = \frac{0,66}{I_c} = \frac{0,66}{8,2} \approx -80k \Omega$

De totale wisselspanningsversterking is $110 \times 1500 = \underline{\underline{165.000}}$

Demodulator

De 50Hz spanning aan de uitgang van de wisselspanningsversterker wordt synchroon geschakeld door t20 en t21 naar C22 en C23.

R124 begrenst de stroom. C21 ontkoppelt voor gelijkspanning.

Het sturen van de schakeltransistoren gaat via een transformator, zodat er geen stuurspanning bij C22 en C23 kan komen.

Primair wordt het transformatortje AD9014 gevoed door t22 met aan de collector een 50Hz kanteelspanning van 12V.

C24 verhindert dat er een gelijkstroom door de trafo zou kunnen lopen en tot enkelzijdige verzadiging zou leiden.

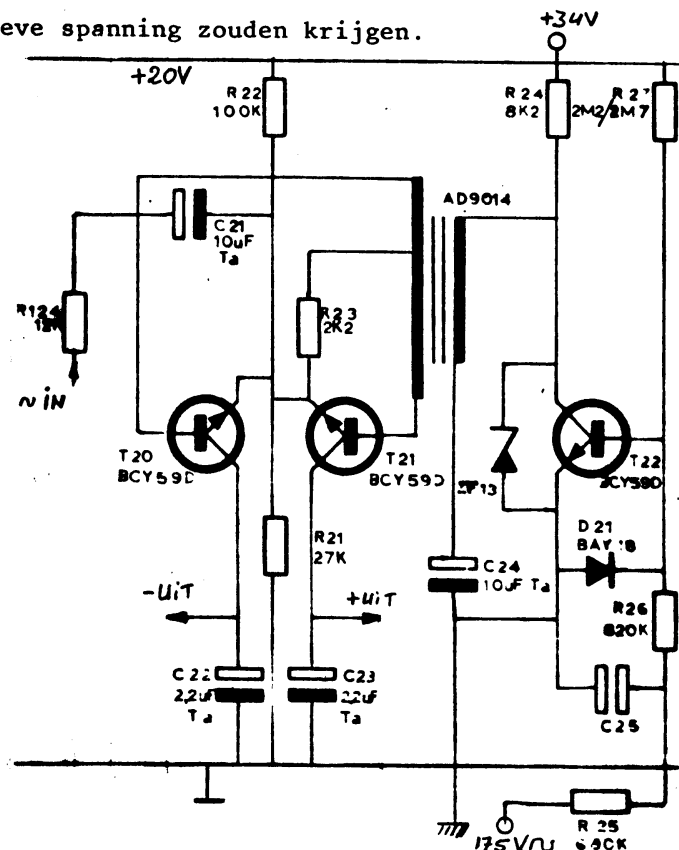
De basis wordt via R25, R26 gestuurd door de 165V wisselspanning welke ook voor de lampjes gebruikt wordt. Om eventuele fasedraaiing te compenseren, kan C25 toegepast worden.

t20 en t21 worden in het inverse gebied gebruikt, zodat de spanning U_{EC} bij verzadiging zeer klein is. $U_{EC} \text{ sat} < U_{CE \text{ sat}}$ zie:

De wisselspanning wordt gedetecteerd op topwaarde. Deze wordt weer gesuperponeerd op een gelijkspanning die bepaald is door $\frac{R21}{R21+R22} \times 20V =$

$$\frac{27}{127} \times 20V = 4,25V$$

Deze gelijkspanning is nodig om te voorkomen dat C22 en C23, onder normale omstandigheden een negatieve spanning zouden krijgen.



Gelijkspanningsversterker

De gelijkspanningsversterker bestaat uit 2 balansversterkers gevolgd door een bufferversterker.

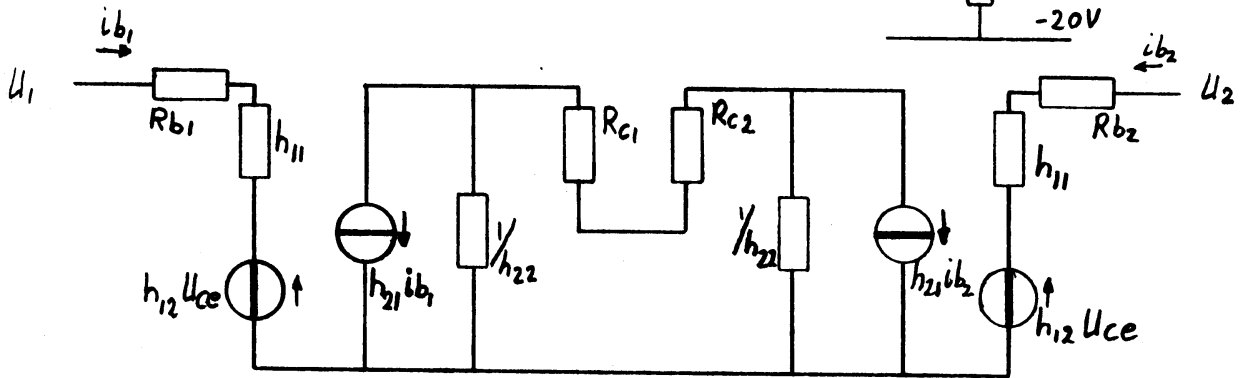
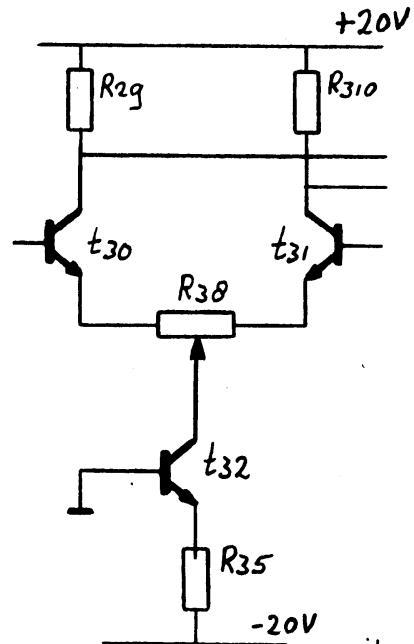
De 1e balanstrap t30 en t31 wordt gevoed door een stroombron t32, waardoor de rejectie van het common signaal groot is.

$$U_{E35} = -0,6$$

$$U_{R35} = 20 - 0,6 = 19,4V$$

$$I_E \approx I_C = \frac{19,4}{180k} = 108\mu A$$

m.b.v. R38 kan de trap in balans worden gebracht.



$$\begin{aligned} -i_{b1} &= i_{b2} \\ -i_{c1} &= i_{c2} \end{aligned}$$

$$i_{b1} = \frac{U_1 - U_2 - h_{12} U_{ce1} + h_{12} U_{ce2}}{R_{b1} + h_{111} + h_{112} + R_{b2}} \approx \frac{U_1 - U_2}{2R_b + 2h_{11}}$$

$$i_{c1} = h_{21} i_b$$

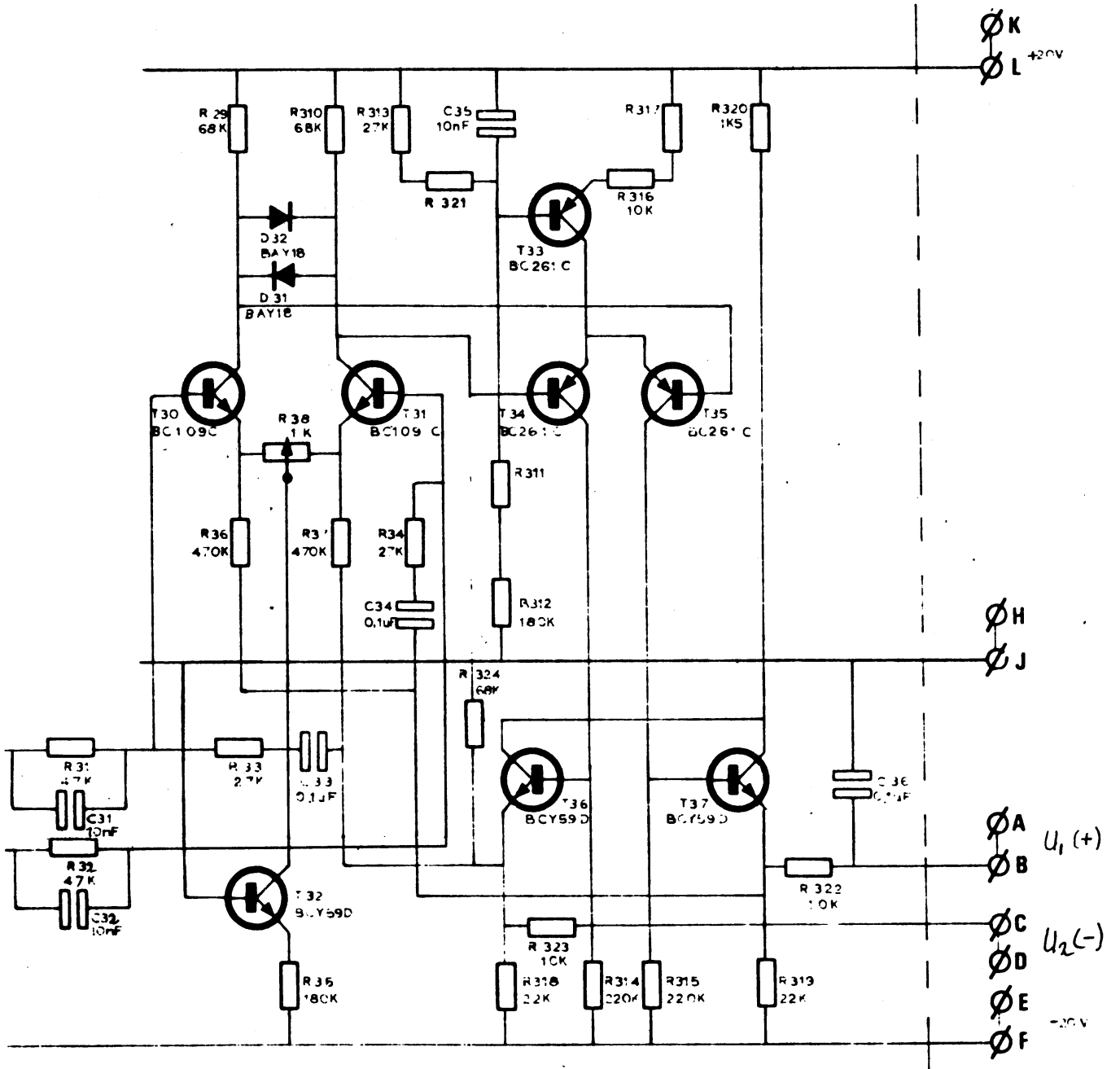
$$U_{c1} - U_{c2} \approx h_{21} i_{b1} R_c = h_{21} R_c \frac{U_1 - U_2}{2R_b + 2h_{11}}$$

$$\frac{U_{c1}}{U_1 - U_2} = \frac{h_{21} R_c}{2R_b + 2h_{11}} = \frac{300 \cdot 68k}{2 \cdot 47k + 2 \cdot 150k} = 52 \times$$

$$A_1 = \frac{U_{c1} - U_{c2}}{U_1 - U_2} = 2 \times 52 = 104 \times$$

$$h_{21} = 300$$

$$h_{11} = 150k\Omega$$



De 2e balanstrap heeft een stroombron t33

$$I_C \approx I_E = \frac{U - U_B - U_{BE}}{R_E} = \left(20 - \frac{R_{312} + R_{311}}{R_{312} + R_{311} + R_{313} + R_{321}} \times 20 - 0,6 \right) \frac{1}{R_{316} + R_{317}}$$

$$= \frac{1}{R_{316} + R_{317}} \left(\frac{R_{313} + R_{321}}{R_{311} + R_{312} + R_{313} + R_{321}} \times 20 - 0,6 \right)$$

$$= \frac{1}{10k} \left(\frac{27k \times 20}{180k + 27k} - 0,6 \right)$$

R321=0
R317=0
R311=0
R313=27k
R316=10k
R312=180k

= 200 μ A stroombron instelbaar met R321, R317 en R311

t34+t35: $A_2 = \frac{U_{c1} - U_{c2}}{U_1 - U_2} = \frac{h_{21} R_c}{R_b + h_{11}} = \frac{300 \cdot 220k}{68k + 100k} \approx 400$

De 3e trap is een buffertrap met $A_3 \approx 1$

Open lusversterking $A_o \approx 40.000$

De uitgangen van de 3e trap worden teruggekoppeld naar de ingang van de eerste trap, en wel in twee keer.

1e via R36+R37 op R38 de teruggekoppelde versterking

$$A_t = \frac{U_+ - U_-}{U_{in} - U_{in}} = \frac{R_{36} + R_{37} + R_{38}}{R_{38}} = \frac{470 + 470 + 1}{1} = 941$$

2e via R33 C33 op R31 C31 en C23

(bandfilter)

en R34 C34 op R32 C32 en C22

$$A_t \approx \frac{R_{33} C_{33}}{R_{31} C_{31}} \Rightarrow \frac{R_3 + \frac{1}{j\omega C_{33}}}{\frac{R_{31} \cdot \frac{1}{j\omega C_{31}}}{R_{31} + \frac{1}{j\omega C_{31}}}} \frac{(R_{33} + \frac{1}{j\omega C_{33}})(R_{31} + \frac{1}{j\omega C_{31}})}{R_{31} \cdot \frac{1}{j\omega C_{31}}}$$

$$= \frac{R_{33} + R_{31} \frac{C_{31}}{C_{33}} + j(\omega R_{33} R_{31} C_{31} - \frac{1}{\omega C_{33}})}{R_{31}}$$

$$= \frac{R_{33}}{R_{31}} + \frac{C_{31}}{C_{33}} + j(\omega R_{33} C_{31} - \frac{1}{\omega R_{31} C_{33}})$$

$$= 0,57 + 0,1 + j\omega 927 - j \frac{1}{\omega 47}$$

Gelijkspanningsversterker

w	A	∅
0,001	223,6	-89,8
0,01	22,37	-88,2
0,1	2,31	-72,3
0,4	0,74	-32,3
0,6	0,70	-16,0
0,89	-	+0,11
1	0,67	+4,9
2	0,79	+32,9
3	0,98	+47,8
4	1,21	+56,9
5	1,44	+62,9
10	2,71	+76,0
20	5,32	+82,9
50	13,24	+87,2
100	26,46	+88,6
1000	264,6	+89,9
10000	2646	+90
100000	26460	+90

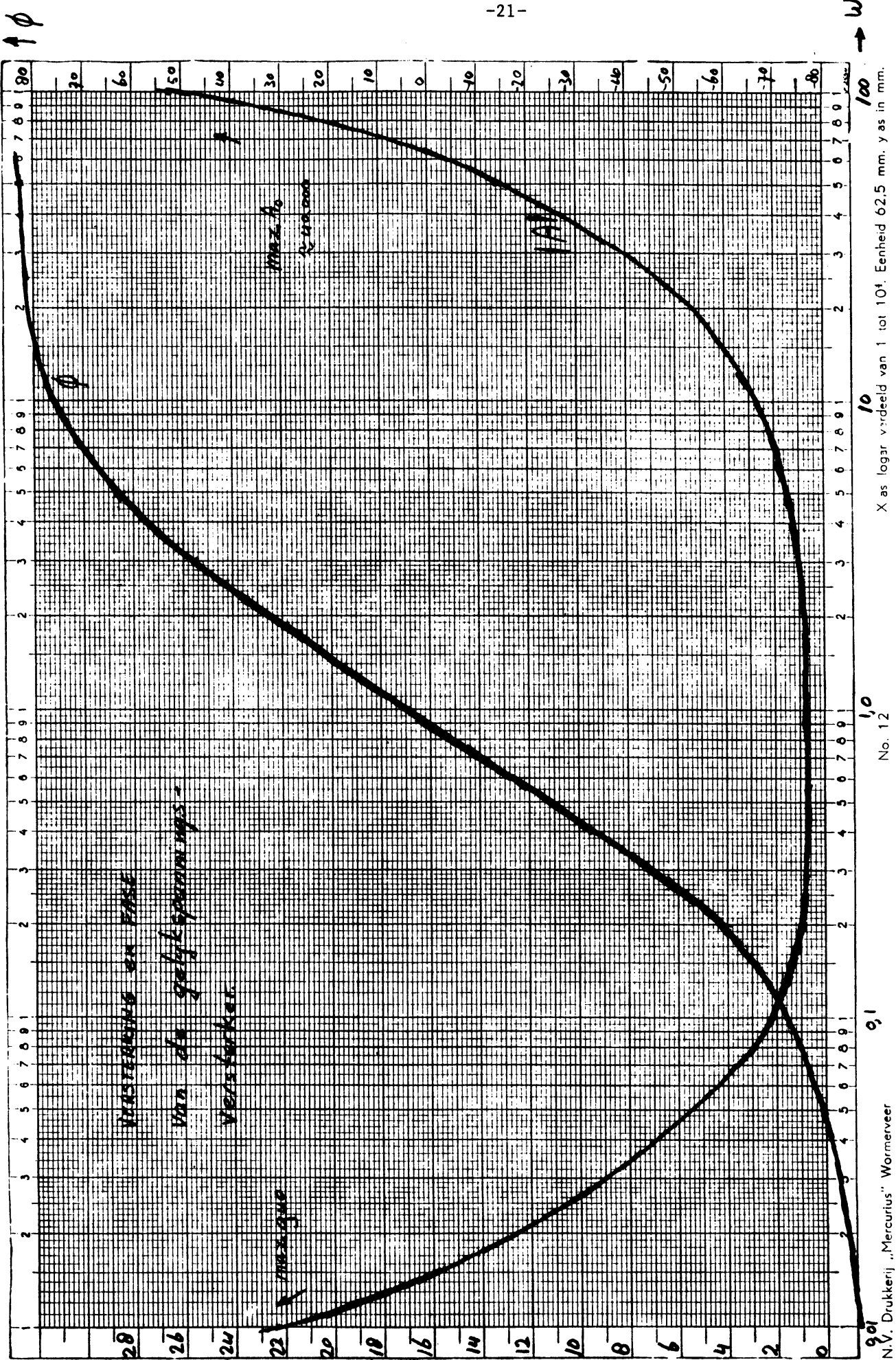
$$|A| = \sqrt{0,67^2 + \left(0,27w - \frac{1}{4,7w}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{0,33 + 0,07w^2 + 0,05 \frac{1}{w^2}}$$

$$\emptyset = \arctan \frac{0,27w - \frac{1}{4,7w}}{0,67}$$

Voor een stapfunctie en voor gelijkspanning zou de versterking oneindig groot worden. Echter wordt de versterking begrenst op ca. 940 x door het tegenkoppelnetwerk van R36 + R37 op R38.

Op deze manier wordt de versterker erg snel voor snelle variaties $w \gg 1$. Voor $0,1 < w < 10$ is de versterking laag, zodat de versterker niet instabiel wordt. Voor gelijkspanning is de versterking max. 940, zodat de openlusversterking van de totale versterker groot is. 30 27-5-69
Omdat alleen de pos.uitgang gebruikt wordt, is de versterking $940 \times \frac{1}{2} = 470$



X as logar vandeel van 1 tot 10⁴. Eenheid 62.5 mm. y as in mm.

No. 12

91

N.V. Drukkerij „Mercurius“ Wormerveer

101 ↑

28

26

24

22

20

18

16

14

12

10

8

6

4

2

0

80

70

60

50

40

30

20

10

0

10

20

30

40

50

60

70

80

2

3

4

5

6

7

8

9

10

2

3

4

5

6

7

8

9

2

3

4

5

6

7

8

9

10

2

3

4

5

6

7

8

9

2

3

4

5

6

7

8

9

10

2

3

4

5

6

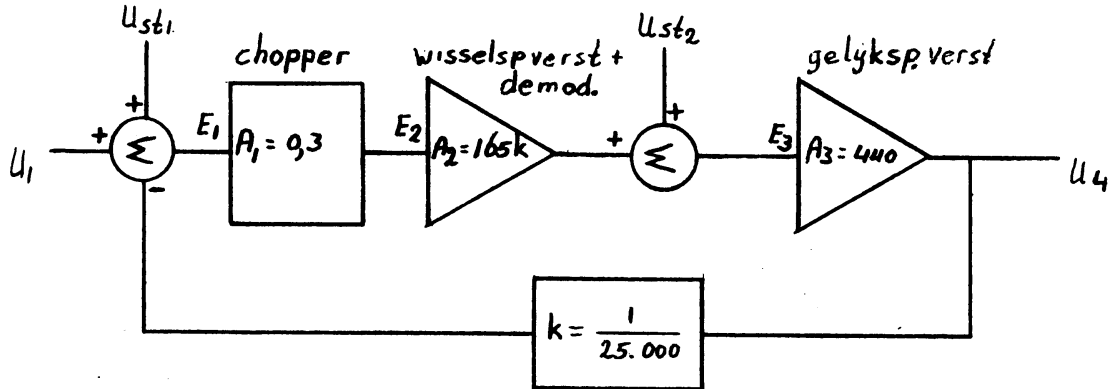
7

8

9

Spanningstegenkoppeling

Een totale ΔT -versterker (25.000x) ziet er als volgt uit:



Stel efficiëncy van de chopper = $A_1 = 0,3$

U_{st1} en U_{st2} zijn offset- en stoorspanningen aan de ingangen van de wissel - resp. de gelijkspanning versterker.

$$U_4 = A_3 E_3$$

$$E_3 = A_2 E_2 + U_{st2}$$

$$E_2 = A_1 E_1$$

$$E_1 = U_1 + U_{st1} - kU_4$$

$$U_4 = A_3 \left[A_2 \left\{ A_1 (U_1 + U_{st1} - kU_4) \right\} + U_{st2} \right]$$

$$U_4 = A_3 A_2 A_1 U_1 + A_3 A_2 A_1 U_{st1} - A_3 A_2 A_1 k U_4 + A_3 U_{st2}$$

$$U_4 (1 + A_3 A_2 A_1 k) = A_3 A_2 A_1 U_1 + A_3 A_2 A_1 U_{st1} + A_3 U_{st2}$$

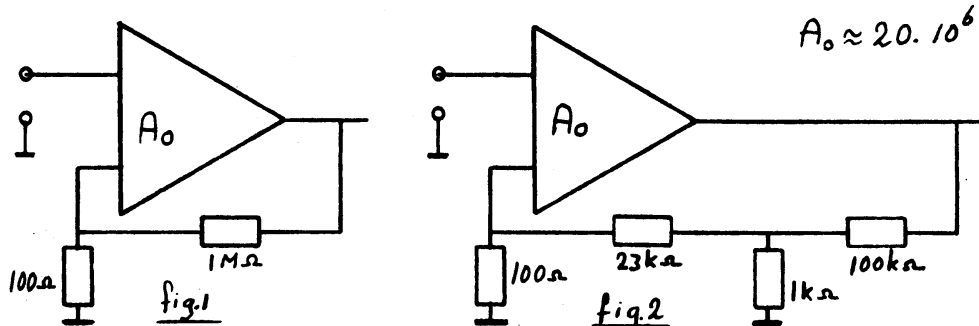
$$U_4 = \frac{A_3 A_2 A_1 U_1 + A_3 A_2 A_1 U_{st1} + A_3 U_{st2}}{1 + A_3 A_2 A_1 k}$$

$$= \frac{20 U_1 + 20 \cdot 10^6 U_{st1} + 440 U_{st2}}{1 + 800}$$

$$= 24.968 (U_1 + U_{st1}) + 0,6 U_{st2}$$

Door de totale terugkoppeling wordt de drift van de gelijkspanversterker slechts 0,6x versterkt.

De tegenkoppelfactor k wordt bepaald door een weerstandsdeler.



Omdat de versterking groot is, zou bij fig. 1 een groot verschil zijn in de weerstanden. factor 10.000 of 25.000. $100\ \Omega$ en $1\ M\Omega$ of $2\ M\Omega$. Het nadeel hiervan is, dat de versterking niet erg goed vast ligt. Het verloop van de temp. coëfficiënten van de weerstanden zijn dan zeer verschillend, als functie van de temperatuur.

In fig. 2 is de tegenkoppeling in twee fasen uitgevoerd, waardoor de weerstandswaarden minder uiteen liggen en dus ook het verloop in de temp. coëfficiënten.

Ook de lange termijn stabiliteit van hoogohmige weerstanden is minder goed. De temp. coëfficiënten van de weerstanden zijn gemeten en door selectie is de temp. coëfficiënt van de versterking kleiner dan $10\ \text{ppM}/^\circ\text{C}$ gemaakt.

Wat is nu de max. fout bij een T_{abs} versterker:

$$\Delta T_{\text{omgeving}} = \pm 20^\circ\text{C} \quad t_c = 10 \cdot 10^{-6} \times 20 = \pm 200 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{range } \pm 20^\circ\text{C} \quad \text{absolute afwijking: } \pm 20^\circ\text{C} \times \pm 200 \cdot 10^{-6} = \pm 4000 \times 10^{-6} = \pm 4\ \text{mk}$$

Voor een ΔT -versterker:

$$\text{range } \pm 5^\circ\text{C} \quad \text{absolute afwijking } \pm 5 \times 200 \cdot 10^{-6} = \pm 1000 \times 10^{-6} = \pm 1\ \text{mk}$$

De voetweerstand R07 wordt in een aluminium busje, samen met de weerstanden van het ingangsfILTER, opgesloten. Dit is weer om de mogelijkheid van thermospanningen in de weerstand zo klein mogelijk te houden (zie ingangsfILTER). Om deze reden werd vroeger voor deze weerstand bij de ΔT -versterkers een koolfilmweerstand opgenomen i.p.v. een metaal-oxyde weerstand, omdat de thermospanning dan kleiner blijft.

Als R07 een koelfilmweerstand is, moet R010 ook een koelfilmweerstand zijn, vanwege de gelijke temp.coëfficiënt.

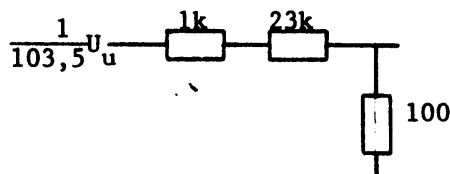
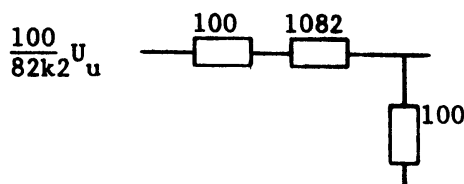
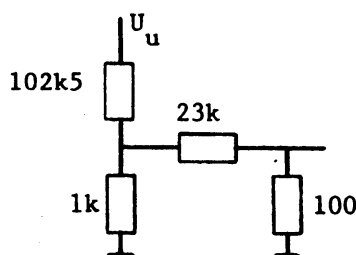
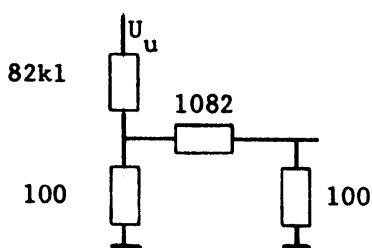
Metaalfilmweerstand hebben dezelfde voordelen als metaaloxyde weerstanden, als het gaat om tolerantie, temp.coëfficiënt, stabiliteit en ruis. Daarbij hebben zij het voordeel dat de thermospanning zeer laag is. Daarom zijn in de nieuwste versterkers nr. 21 t/m 35 alle terugkoppelweerstand van het metaalfilmtype.

De weerstanden zijn zodanig gepaard, dat de temp.coëfficiënt kleiner dan 10ppm/°C wordt.

$$t_{c_{R012}} - t_{c_{R011}} + t_{c_{R010}} - t_{c_{R07}} < \pm 10\text{ppm}$$

M.b.v. R08 en R09 wordt de trimmer voor een nominale versterking in de middenstand gebracht.

Versterking	10.000 x	25.000 x
R012 + R013	100k// 390k+½x5k=82k1	100k+½x5k=102,5kΩ
R011	100 Ω	1kΩ
R010	82 of 100Ω	22kΩ
R08 par R09	1k//∞ of 100 tot 150k=1k of 990Ω	1k of 1k2
R07	100 Ω	100 Ω



$$\frac{100}{82k2} \cdot \frac{100}{1282} = \frac{1}{10528}$$

$$\frac{1}{103,5} \cdot \frac{100}{24k1} = \frac{1}{24944}$$

Een belaste versterker met $R_b = 192k4$

onbelast $R_b = \infty$

$$\frac{192,4}{202,4} \times 10.528 = 10017 \times$$

$$24944 \times$$

Regelbereik van de rangetrimmer:

$$\begin{array}{l} \Delta T \quad \pm 2,5k \text{ op } 103,5k \quad \pm 2,42 \% \\ T_{\text{abs}} \quad \pm 2,5k \text{ op } 82k \quad \pm 3,04 \% \end{array}$$

Offsetregeling.

Het is mogelijk om een offset van 40% toe te voegen. Dit is gedaan om te voorkomen dat bij bepaalde ingangspanningen de versterker overstuurd zou worden. De offset wordt daarom aan de ingang aangeboden. D.w.z. dat aan de voetweerstand R011 een extra stroom kan worden aangeboden.

Via R014 en R015 wordt de +20V afgedeeld op R011.

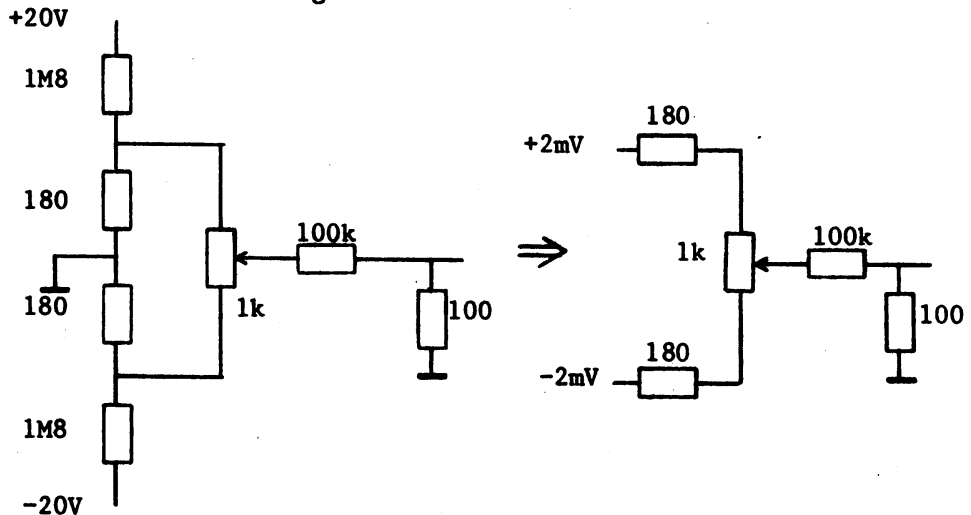
De spanningsval over R011 wordt verzwakt via $\frac{R07}{R07+R09+R010}$

$$\Delta T: 20V \times \frac{1k}{1M+22k} \times \frac{100}{24k1} = 81,2\mu V \approx 2^{\circ}C$$

$$T_{\text{abs}}: 20V \times \frac{100}{390k10} \times \frac{100}{1282} = 400\mu V \approx 10^{\circ}C$$

Als geen offset nodig is, moet i.v.m. constante versterking R015 aan aarde gelegd worden. Aan de voetweerstand R07 wordt nog een stroom aangeboden waardoor de offset ingesteld kan worden.

Voor een ΔT versterker geldt:

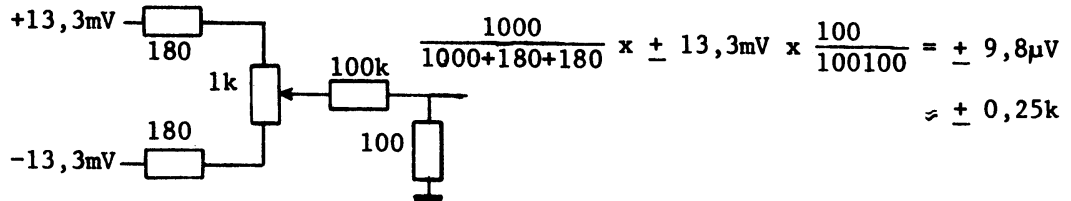


De spanning over de trimmer is:

$$\frac{1000}{1000+180+180} \times 4\text{mV} = 2,9 \text{ mV}$$

rondom 0V $\pm 1,47\text{mV}$

Deze spanning wordt afgedeeld op $\frac{100}{100 \cdot 100} \times \pm 1,47\text{mV} = \pm 1,47\mu\text{V} \approx \pm 37\text{mk}$
 Voor Tabs versterker geldt:



Omdat bij de balanseindversterker voor het terugkoppelen alleen de positieve uitgang gebruikt wordt, en alleen deze uitgang belast wordt, is voor de negatieve uitgang een compensatieweerstand aangebracht. Hierdoor blijven beide spanningen ongeveer even groot, wat vastlopen en instabiliteit voorkomt.

Ook de temperatuur-afhankelijkheid wordt minder, omdat de transistoren van de balanstrappen dezelfde instelling hebben.

De ΔT versterker is onbelast gebruikt, zodat de comp.weerstand R324 gelijk is aan de belasting via de terugkoppeling $\approx 100\text{k}\Omega$.

De T_{abs} versterker wordt belast met $192,4 \text{ k}\Omega$, zodat R324 dan wordt:

$$R_{012} + R_{013} \text{ parallel aan } R_{322} + R_{\text{bel}}$$

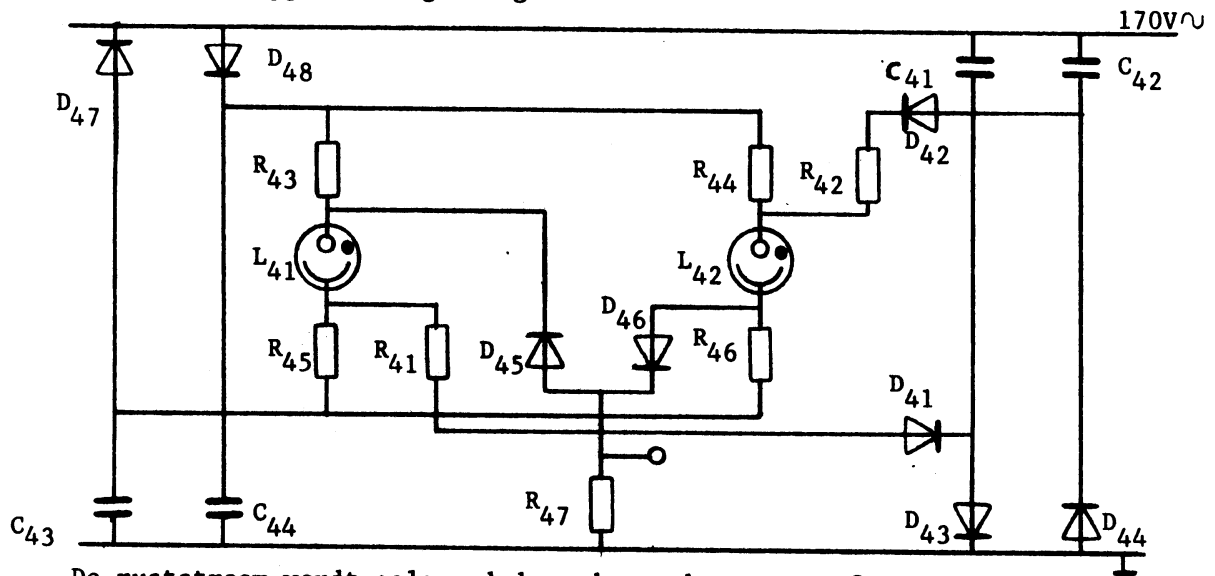
$$= 102,5\text{k} // 10\text{k} + 192,4\text{k} = 68\text{k}\Omega$$

De uitgang is voorzien van een weerstand van $10\text{k}\Omega$ (R322), die de versterker moet beschermen bij blikseminslag.

Bij T_{abs} versterkers, die belast worden, zodat een spanningsdeling ontstaat, moet R322 een metaaloxys of metaalfilmweerstand zijn (1%).

Chopperbekrachtiging

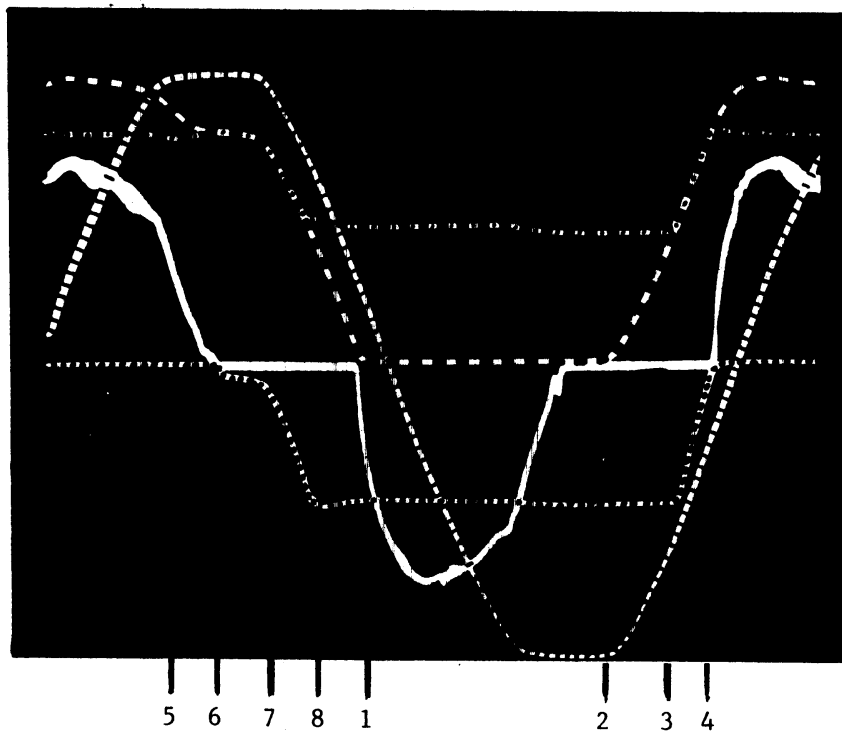
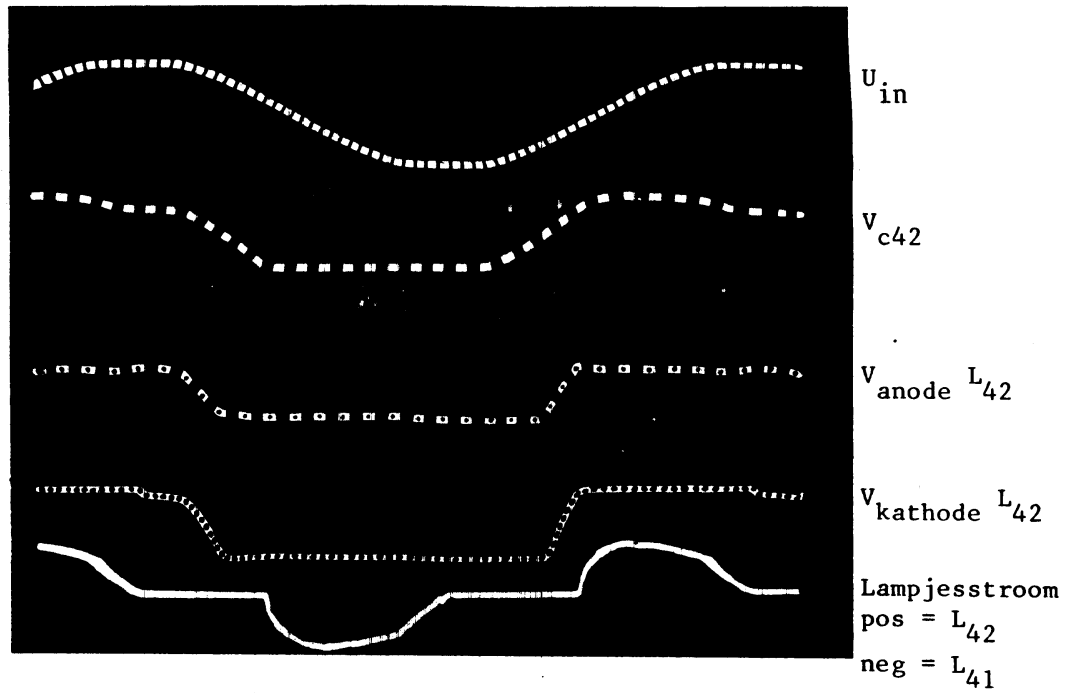
De LDR's van de chopper worden om beurten belicht d.m.v. neonlampjes.
 De lichtintensiteit is een functie van de stroom door het lampje.
 De sturing van de lampjes geschiedt met de 50Hz netspanning.
 Een transformatorspanning van 170 Volt met een topwaarde van $170\sqrt{2}$; 240V wordt, ter verhoging van de stabiliteit, afgekap op ca. 220V. De positieve en negatieve periode binnen 1V. op gelijke waarde.
 Ter verhoging van de stabiliteit worden de lampjes voorzien van een ruststroom, zodat de lampjes niet steeds hoeven te ontsteken.
 De brandspanning van de lampjes is enigszins afhankelijk van de stroom.
 Bij de ruststroom van ca. $20\mu\text{A}$ is de brandspanning ca. 200V.
 Bij de brandstroom van ca. $800\mu\text{A}$ is de brandspanning ca. 150V.
 Omdat de ontsteek-, brand- en doofspanning eerst snel veranderen worden de lampjes 10 dagen ingebrand.



De ruststroom wordt geleverd door de condensatoren C_{43} en C_{44} welke periodiek worden opgeladen tot + en - de topwaarde van U_{in} .

$$I_o = \frac{U_{c43} + U_{c44} - U_L}{2 \times 6M\Omega} = \frac{2 \times 218 - 200}{13,6M\Omega} = 17,4\mu\text{A}$$

chopperbekerhtiging



Spanningen zijn gemeten met $100M\Omega$ aan een 10:1 meetkop (voor hoge impedantie) en 4-kanaals geheugenscoop HP 181A. Als parallel aan de $100M\Omega$ een $C=1\text{ PF}$ komt, waardoor de meetkop goed instelbaar wordt, zijn de signalen wat ruwer (zij zijn nu wat afgevlakt).

De grafieken laten zien wat er gebeurt.

In de bovenste grafiek zijn de golfvormen te zien van:

1. U_{in}
2. V_{c42}
3. $V_{anode L_{42}}$
4. $V_{kathode L_{42}}$
5. $U_{R47} = I$ door de lampjes

In de onderste grafiek zijn dezelfde vormen te zien, waarbij de nullijnen samenvallen.

Tijdens de negatief gaande periode wordt C42 opgeladen, vanaf het moment dat het potentiaal V_{c42} nul wordt. 1 D44 komt dan in geleiding.

Als de U_{in} weer positief gaat worden 2 (pos. flank), wordt de potentiaal V_{c42} opgetild ($U_{in} + U_c$).

Als dit potentiaal gelijk wordt aan het potentiaal van de anode van L42 (rustpotentiaal), 3 gaat D42 in geleiding en tilt het potentiaal van de anode omhoog. De spanning over L42 blijft nog vrijwel gelijk, zodat de kathode potentiaal ook mee omhoog gaat. Als deze nul wordt, gaat D46 in geleiding. 4.

Nu is de kring van Voeding, C42, D42, R42, L42, D46 en R 47 laagohmig geworden en gaat er een stroom lopen. Hierdoor zakt ook de brandspanning naar ca. 150 V.

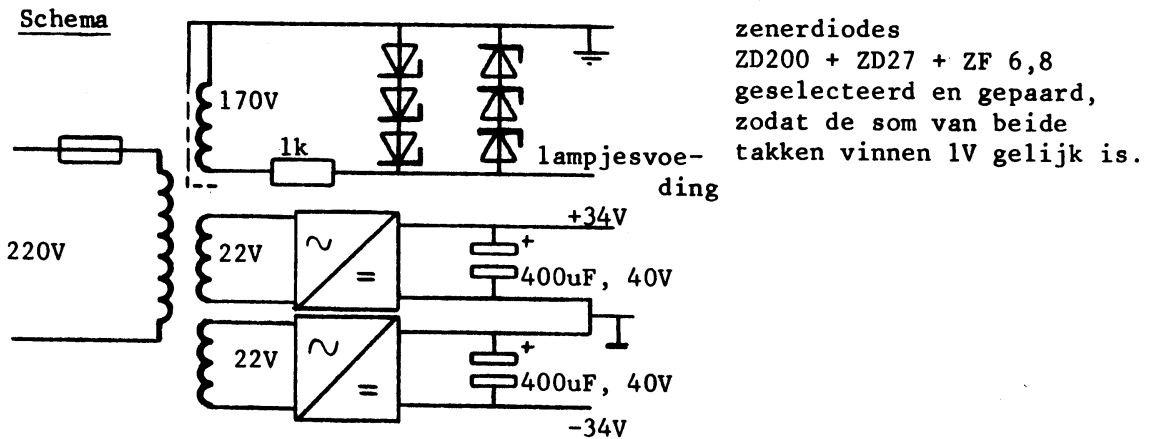
Als gevolg van de stroom, wordt C42 ontladen en zelfs omgepoeld. Als U_{in} afgetopt wordt, neemt de stroom af, omdat het differentiërende gedeelte verdwijnt. 5. De condensator wordt verder ontladen, totdat de potentiaal V_{c42} gelijk is aan de potentiaal van de anode. 6. Op dat moment is $I=0$. D46 gaat uit geleiding en C42 ontladt zich via R42, L42, R46 en C43. Als U_{in} kleiner wordt, 7 zakt V_{c42} en daarmee V_{anode} en $V_{kathode}$. De laatste totdat de ruststroom weer overgenomen wordt door C43 en C44 8. De Cond C42 wordt weer opgeladen, als D44 in geleiding komt. 1.

Voor het andere lampje geldt hetzelfde, maar dan in spiegelbeeld.

Er is een ontwerp gemaakt van een LDR sturing d.m.v.LED's. Een dergelijke schakeling is toepast in drie integratoren. Voor de versterkers is hij nog niet toegepast, omdat (in 1978) nog geen goede LED's verkrijgbaar waren. Het bezwaar was dat door veroudering de lichtintensiteit vrij sterk achteruit loopt. Als in de toekomst dit nadeel verdwijnt, kan deze schakeling worden toegepast. Schema's en beschrijving zijn te vinden in map D4.

Voeding

De voedingstransformator is samen met de gelijkrichter en de afkapschakeling voor de lampjessturing in één kast ondergebracht.



Van deze kast gaat een afgeschermd kabel naar de versterkerkast. De transformator moet minstens 1m van de versterkers verwijderd blijven, om niet te veel last van strooivelden te hebben. De spanning voor de lampjes wordt afgekapt d.m.v. zenerdiodes die geselecteerd zijn, opdat de negatieve en positieve periode eenzelfde niveau krijgen (binnen 1V gelijk). zie 32 21-10-70.

De gelijkspanning $\pm 34V$ gaat naar de versterkerkast. Daar wordt de $+34V$ gebruikt voor de voeding van de demodulator. De $\pm 34V$ wordt gestabiliseerd op $\pm 20V$ (plaat Q0).

In het bijzonder de $+$ voeding, welke het gevoeligste deel voedt, heeft een zeer hoge rejectie van de rimpel der ongestab. spanning i.b. doordat T_{61} een stroombron is, waarbij de spanningsbron DD61 zelf weer door de stroombron T_{63} gevoed wordt. Desondanks werd nog een laatste bromcorrectie weerstand R_{65} ingevoerd, waarmee deze storing van de orde $10\mu V$ wordt.

Het -complementaire - ($-$) PSA heeft enkel de stroombron T_{73} niet, en krijgt als de opgenomen stroom varieert wat meer brom dientengevolge. Voor de ($+$) voeding is $R_1 = 0,3 \pm 0,1\Omega$, voor de ($-$)voeding: $0,5 \pm 0,25\Omega$. De t.c. der ($+$) voeding is $< 10\text{ppm}/^\circ\text{C}$, met het oog op zijn toepassing voor de offset (middels R014 + R015), als gevolg van selectie naar t.c. van Zd61, R66, R68.

De t.c. der (-) voeding loopt van 0 (nr. 10) tot $+ 1,1 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$.
Als de belasting van 2 versterkers naar 6 versterkers gaat, dan verlopen:

U+	20.000	→	19.998	0,01%
U-	-20.019	→	-20.016	0,015%

De lay-out is zodanig opgebouwd, dat er een ster-aarde ontstaat.
Deze aarde wordt via 5 connectorpunten uitgevoerd, zodat het hele systeem op één punt aan de meet-aarde gekoppeld kan worden.

Constructie

Er is veel moeite gedaan om thermospanningen op de printplaat zo klein mogelijk te houden.

Enkele maatregelen zijn:

1. Ingangsklemmen voor koperaansluiting van verguld koper.
2. Constantaan klem voor eventuele doorverbinding van constantaandraden.
3. Weerstanden ingangfilter en voetweerstand R07 en soms R08 en R011 zijn in een aluminium blok ondergebracht en voorzien van litzedraad, welke een grote warmteweerstand heeft. In de weerstanden en hun aansluitingen kunnen geen thermo spanning optreden, omdat de temp. uniform is. DE litzedraden worden met thermokrachtvrij tin op de printplaat gesoldeerd, nadat zij in elkaar getwist zijn.
4. Ook de LDR's zijn van litzedraad voorzien.
5. Om stromen t.g.v. temperatuur veranderingen van de condensatoren via het ingangfilter te verkleinen, zijn deze om en om geschakeld. Omdat de weerstandsdraden kort gehouden moeten worden zitten C01 en C03 dicht bij elkaar, evenals C02 en C04 . Daarom zijn juist deze condensatoren om en om geschakeld. Zij hebben steeds ongeveer dezelfde temperatuur.

Om gelijke redenen zijn C06 en C07 tegengesteld gericht en kort bij elkaar geplaatst.

C11 en C12 zijn gelijkgericht en kort bij elkaar geplaatst omdat hun stroom een common signaal is, en deze slechte weinig versterkt wordt. Om stoorinvloeden van buitenaf en door de versterker zelf veroorzaakt, te elimineren, zijn volgende maatregelen getroffen.

6. Het chopperblok is verdeeld in drie compartimenten. In het grootste gedeelte is de stuurschakeling voor de neonlampjes opgeborgen. In de middelste zitten de lampjes. In het kleinste blok zijn de LDR's opgesloten. Tussen de twee kleinste blokjes is een stukje isolerend printplaat aangebracht, waarin twee gaten geboord zijn om het licht door te laten. Aan beide zijden van deze printplaat is een stukje metalen gaas geklemd tegen de metalen blokken. Het grootste en middelste blok samen met het grove gaas, zijn geaard aan de netaarde. Het LDR blok

met het fijne gaas zijn verbonden met de meetaarde. Dit is een effectieve methode om electromagnetische inductie op de LDR's af te schermen.

Let erop dat de verbindingsschroef geïsoleerd wordt.

7. Er is een speciale aardpolitiek gevoerd. Zoals uit het voorgaande punt al bleek, is het hoogspanningsgedeelte qua aarde gescheiden van de rest. De meetaarde komt binnen via de connector op HJ.

Eerst worden de minder gevoelige gedeelten aangedaan, daarna, zoveel mogelijk vanuit een sterpunt, naar de gevoelige gedeelten en de neg. ingangsklem. Vanuit het sterpunt gaat nog een verbinding naar de klemmen UV, die niet gebruikt worden.

Op de voedingsplaat is ook een steraarde aangebracht.

Hierop wordt de meetaarde van de versterkers aangesloten, de aarde van de demodulator, de afscherming van de compensatiekabel en de meetaarde van de volgversterkers.

8. De metaaloxjde weerstanden zijn iets verhoogd opgesteld, zodat hun ruis verminderd.

9. De versterkers worden in een kast opgeborgen, waarin max. 10 versterkers passen. Deze kast doet dienst als afscherming tegen elektrische velden en voorkomt dat de versterker blootgesteld wordt aan snelle temperatuurvariaties.

10. De printplaten worden met plastic bespoten en de kast wordt droog gehouden d.m.v. silicagel.

Afregelmogelijkheden

Er zijn 3 trimmers aangebracht:

R38: op het midden van de plaat. Met deze trimmer worden eenmalig de neg. en pos. uitgangen gelijk gemaakt.

R013: 5k aan de voorzijde van de plaat. Hiermee kan de versterking ca 5% gevarieerd worden. In laboratorium condities afregelen.

R017: 1k aan de voorzijde van de plaat, waarmee de offset op nul of -40% afgeregeld kan worden (op locatie).

Het overschakelen van de offset van 0 naar -40% of omgekeerd, geschiedt door weerstand R015 (aan de rand voor het chopperblok) aan aarde of aan +20V te solderen.

In het chopperblok wordt de belichting van de LDR's geregeld d.m.v. grijsfilters , die tussen de lampjes en het grove gaas opgesloten worden m.b.v. veerringetjes. Er is een reeks van ca. 12 grijstinten. Het filter wordt vooraf bepaald door meting aan de LDR's. Naderhand kan nog een fijn-afregeling uitgevoerd worden, door de lampjes iets naar voren of naar achteren te bewegen. Dit alles om de chopper symmetrisch te maken, zodat de gelijkspanning omgezet wordt in een 50Hz signaal waarbij de toppen even hoog en de oppervlakten ongeveer even groot zijn. Als de toppen niet even hoog zijn, komt er een 25Hz signaal door, dat na demodulatie een gelijkspanning oplevert.

Een aantal afregelingen gebeurt door het vervangen van een doorverbinding door een weerstand, welke door meten bepaald is.

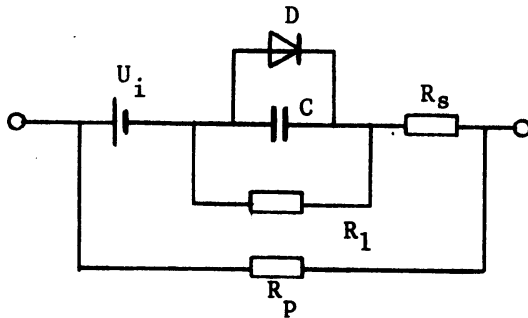
Op de printplaats zijn twee testpunten aangebracht:

1. t.b.v. lampjesstroom van de chopper
2. wisselspanningsuitgang t.b.v. afregeling van het gelijkspanningsniveau van de wisselspanningsversterker en het bepalen van zijn versterkingsfactor.

Uit oogpunt van veiligheid moet de connector voor het 170V wisselspanningssigneel iets ingekort worden, zodat het aardcontact altijd contact maakt, als de hoge spanning aanwezig is (dit is niet gebeurd!).

Aanhangsel I

Vervangingsschema van een electrolytische condensator.



- C = geïdealiseerde condensator
- D = diodewerking
- R_1 = lekweerstand van het diëlectricum
- R_P = parallelweerstand vnl. aan de buitenzijde
- R_s = serieweerstand(+zelfinductie)
- U_i = spanningsbron t.g.v. chemische potentialen

Als de klemspanning = 0V, dan is de spanning over de condensator = $\frac{R_s}{R_s + R_1} U_i$

Als nu de temperatuur verandert, gebeuren er twee dingen:

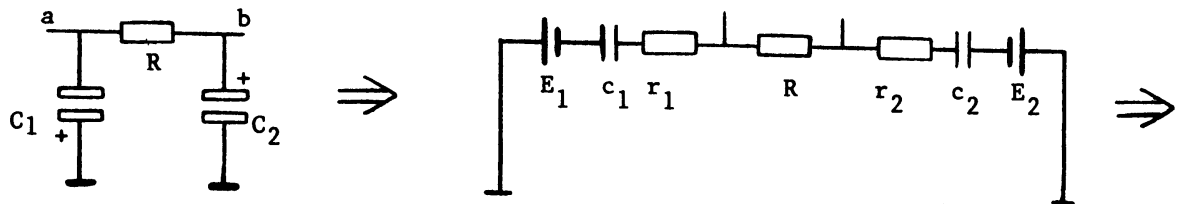
1. de capaciteit verandert t.g.v. veranderingen in afstand, oppervlakte en diëlectricum.
2. de paracitaire spanningsbron verandert.

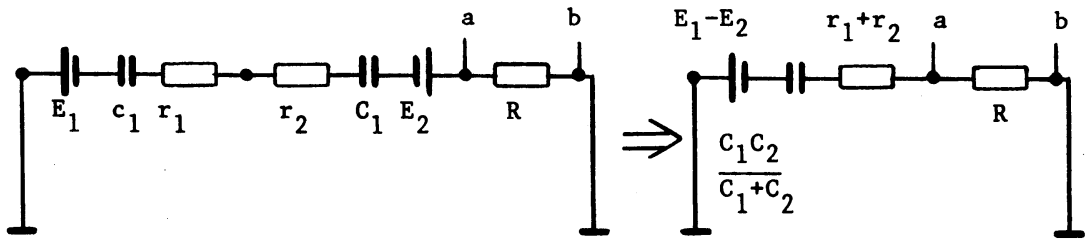
U_i zal voor één type condensator ongeveer uniform zijn.

De grootte van de capaciteitsverandering (C) is sterk afhankelijk van de serie. Volgens metingen is de opgewekte spanning aan de klemmen bij een bepaalde $\frac{dT}{dt}$ (temperatuursverandering) steeds hetzelfde gepolariseerd, m.u.v. die gevallen waarbij de spanning zeer klein is.

Daar komen zowel positieve als negatieve spanningen voor (zie 15-5-68²).

Als nu 2 condensatoren antiparallel geschakeld worden met een R ertussen, kan daarvoor een vervangingsschema getekend worden.:





De twee chemische spanningen zijn tegengesteld gericht en zullen elkaar grotendeels opheffen. Het gevolg is dat de spanning over de ideale C veel kleiner wordt, zodat de stroom t.g.v. C kleiner wordt.

- zie R3 12-2-63
- R4 20-1-65
- 15-3-65
- 3-12-65
- 6-12-65
- 21 15-3-65
- 22 7-12-65
- 14-1-66
- k2 14-5-68
- 28 5-4-68
- 20-5-68
- 8-8-68
- 30 12-6-69
- 10-6-69
- 32 24-2-70
- 31 1-2-70

Juni 1982

-41-

230-253 Zb 271

10674.193

XR 9

Rood = spanning condensator
gemeten met HP3420B en
daarna gefilterd met 1Ms
en bps.

range: $\pm 17 \mu V \Rightarrow$

$0.3 \mu V / \text{schaldeel}$.

Blauw = weerstand 5k thermistor.

1 schaldeel $\approx 0.08^\circ C$

tydschaal: waarschijnlijk

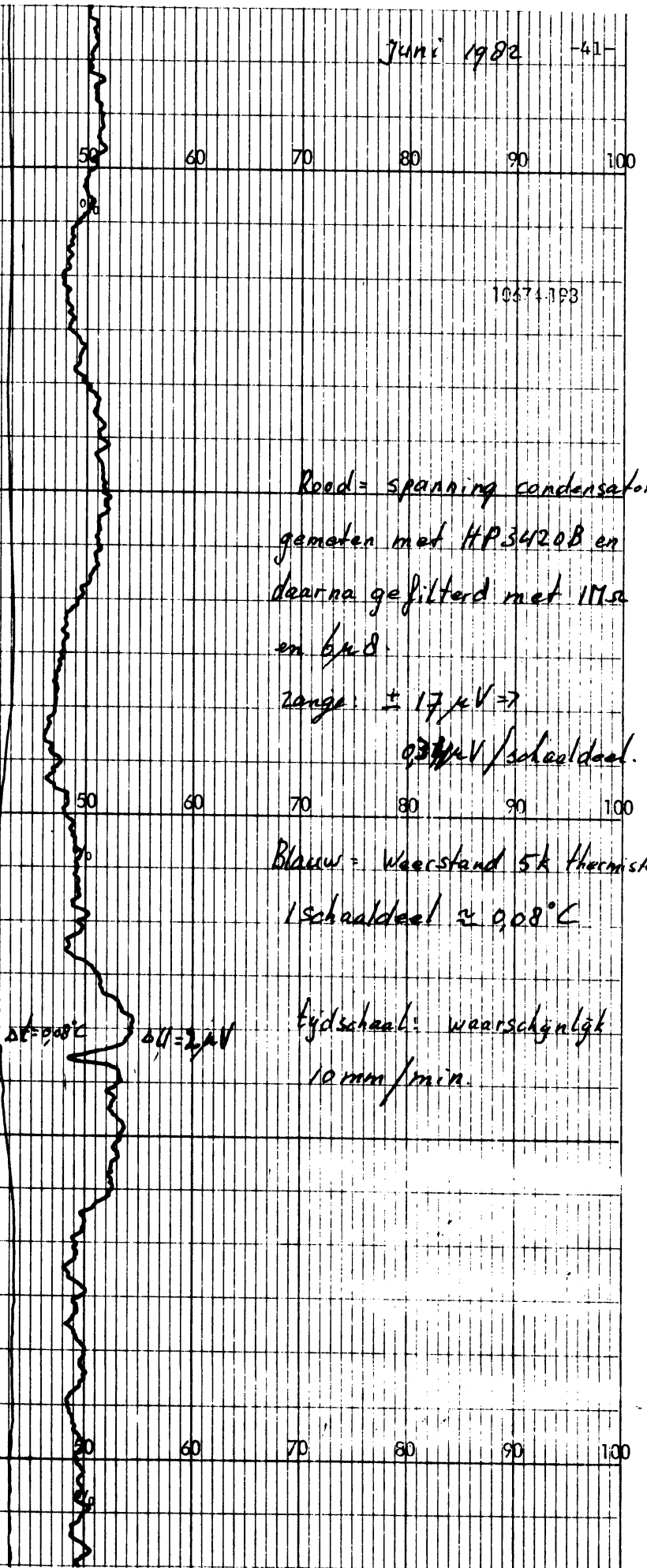
10 mm/min.

5k Ω
temp = 23.9 $^\circ C$

$\Delta T = 0.08^\circ C$

$\Delta U = 2 \mu V$

spanningsafgifte van
een 10 μF tantaal condan-
sator t.g.v. temperatuur-
fluctuaties.



Aanhangsel 2

Instellingen transistoren en hun karakteristieken

nr.	type	I_c	V_c	V_e	U_{ce}	
T_{10} en T_{11}	BC109C	50 μ A	3,8 \pm 0,5	2,2	1,6 \pm 0,5	$T_{10}t/mT_{19} =$
T_{12}	BC109C	10 μ A	11,4	0,56	10,8	wisselspannings- versterker
T_{13}	BCY59C	105 μ A	1,1	16mV	1,1V	$T_{20}t/m T_{22} =$
T_{14}	BCY59C	25 μ A	13,3	0,55	12,8	demodulator
T_{15}	BC261C	90 μ A	9,5	18	-8,5	$T_{30}t/m T_{37} =$
T_{16}	BCY59D	90 μ A	9,5	0	9,5	gelijkspannings- versterker
T_{17}	BCY59D	90 μ A	18,9	9	9,9	$T_{60}t/m T_{63} =$
T_{18}	BC261C	90 μ A	0	9	-9	+20V stabilisator
T_{19}	BCY59D	8,5 μ A	+1,1	-7,3	+8,4	$T_{70}t/m T_{72} =$
T_{20}, T_{21}	BCY59D	0	4,26	4,25	0	-20V stabilisator
T_{22}	BCY59D	3,25mA	6,5V \pm 6,5	0	0-13V	
T_{30}, T_{31}	BC109C	62 μ A	15,8	3,7	12,1	
T_{32}	BCY59D	108 μ A	3,7	-0,6	4,3	
T_{33}	BC261C	193 μ A	16,4	18,1	-1,7	
T_{34}, T_{35}	BC261C	96 μ A	0,6	16,4	-15,8	
T_{36}	BCY59D	909 μ A	17,3	0	17,3	
T_{37}	BCY59D	909 μ A	17,3	0	17,3	
T_{60}	BCY59D	(1+1nx2,9)mA	33-n	+20	11-n	
T_{61}	BC261A	1,7mA	20,6	32	-11,4	
T_{62}	BCY59D	1,7mA	12,6	6,4	6,2	
T_{63}	BCY59D	0,5mA	31,5	19,4	12,1	
T_{70}	BC261C	(1+nx2,1)mA	-(34-n)	-20	-(12-n)	
T_{71}	BCY59D	1,7mA	-20,6	-32	+11,4	
T_{72}	BC261C	1,7mA	-12,6	-6,6	-6,0	

Karakteristieken

BC109C	$I_c = 50\mu A$	$U_{ce} = 1V$	26	13-10-67 ³
h_{11}	$8,7 \times 20$	$\times 0,9$	=	$156k\Omega$ (8,7x63x0,9=493k Ω)
h_{12}	$3 \cdot 10^{-4} \times 20$	$\times 1,4$	=	$84 \cdot 10^{-4}$
h_{21}	$600 \times 0,5$	$\times 0,9$	=	270 (600x0,24x0,9=130)
h_{22}	$0,6 \cdot 10^{-4}$	$\times 0,3$	$\times 1,8$	$= 0,33 \cdot 10^{-4} S$
			↑	↑
			volgens Schoen	uit extrapolatie van databoekgegevens

BC109C $I_c = 10\mu A$ $U_{ce} = 10V$ 26 12-10-67³

h_{11}
 h_{12}
 h_{21}
 h_{22}

BCY59C	$I_c = 2mA$	$U_{ce} = 5V$	$I_c = 25\mu A$	$U_c = 13V$
h_{11}	$4,5k\Omega$ (3,2-8,5)		$\times 50$	$\times 1,3 = 290k\Omega$
h_{12}	$2 \cdot 10^{-4}$		$\times 50$	$\times 0,9 = 90 \cdot 10^{-4}$
h_{21}	330 (250-500)		$\times 0,2$	$\times 1,3 = 86$
h_{22}	$30 \cdot 10^{-6} (60 \cdot 10^{-6})$		$\times 0,3$	$\times 0,7 = 6,3 \cdot 10^{-6} S$

BCY59C	$I_c = 100\mu A$	$U_{ce} = 1V$		
h_{11}	$4,5k\Omega$	$\times 15$	$\times 0,9$	= $61k\Omega$
h_{12}	$2 \cdot 10^{-4}$	$\times 9$	$\times 1,4$	= $25 \cdot 10^{-4}$
h_{21}	330	$\times 0,6$	$\times 0,9$	= 178
h_{22}	$30 \cdot 10^{-6} S$	$\times 0,35$	$\times 1,8$	= $19 \cdot 10^{-6} S$

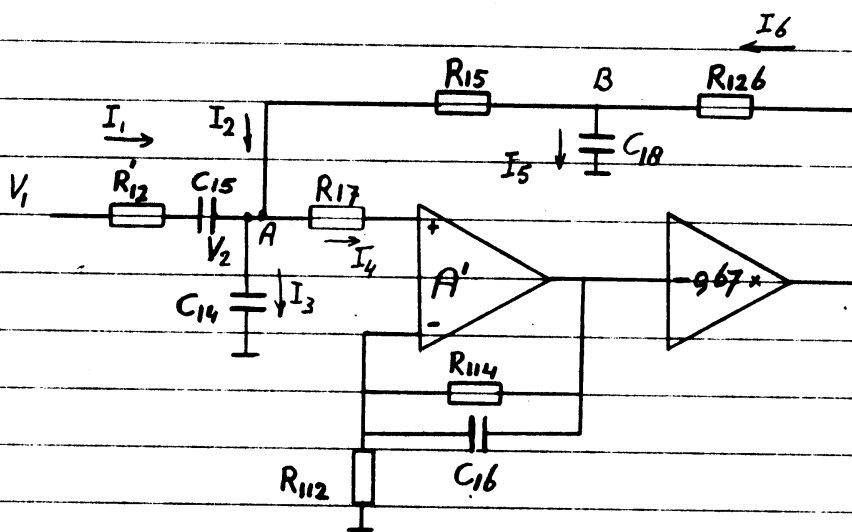
zie verder de databladen en: 31 16-7-69 BCY59D
23-7-69 BC109C
?-10-69 BC109C
16-9-69 BC261A
30-7-76 2N2643 dubbeltransistor

Aanhangsel 3. Selectieve wisselspannings versterker.

De wisselspanningsversterker bestaat uit de transistoren T_{10} t/m T_{18} . T_{10} en T_{11} vormen een balans versterker.

De overige vormen het selectieve deel van de versterker.

De transistoren zijn gelijkstroom gekoppeld.



in A: $I_1 + I_2 = I_3 + I_4$

$$\frac{V_1 - V_2}{R_{12} + \frac{1}{j\omega C_{15}}} + \frac{V_3 - V_2}{R_{15}} = \frac{V_2}{\frac{1}{j\omega C_{14}}} + 0$$

$$\frac{V_1}{R_{12} + \frac{1}{j\omega C_{15}}} - \frac{V_2}{R_{12} + \frac{1}{j\omega C_{15}}} + \frac{V_3}{R_{15}} - \frac{V_2}{R_{15}} = \frac{V_2}{\frac{1}{j\omega C_{14}}} \quad \text{I}$$

in B: $I_2 + I_5 = I_6$

$$\frac{V_3 - V_2}{R_{15}} + \frac{V_3}{\frac{1}{j\omega C_{18}}} = \frac{-AV_2 - V_3}{R_{126}}$$

$$\frac{-AV_2}{R_{126}} - \frac{V_3}{R_{126}} - \frac{V_3}{R_{15}} + \frac{V_2}{R_{15}} = \frac{V_3}{\frac{1}{j\omega C_{18}}} \quad \text{II}$$

als $R_{126} \approx R_{15}$ en $A \gg 1$ dan:

$$\frac{-AV_2}{R_{126}} + \frac{V_2}{R_{15}} \approx \frac{-AV_2}{R_{126}}$$

II wordt dan: $\frac{-AV_2}{R_{126}} - \frac{V_3}{R_{126}} - \frac{V_3}{R_{15}} = V_3 \cdot j\omega C_{18}$

$$\frac{V_3}{R_{15}} \left(\frac{R_{15}}{R_{126}} + 1 + j\omega C_{18} R_{15} \right) = \frac{-AV_2}{R_{126}}$$

$$\frac{V_3}{R_{15}} \left(\frac{R_{15} + R_{126} + j\omega C_{18} R_{15} R_{126}}{R_{126}} \right) = \frac{-AV_2}{R_{126}}$$

$$\frac{V_3}{R_{15}} = \frac{-AV_2}{R_{15} + R_{126} + j\omega C_{18} R_{15} R_{126}} \Rightarrow \text{in I, dan verdwijnt } V_3:$$

$$\frac{V_1}{R_{12} + j\omega C_{13}} - \frac{V_2}{R_{12} + j\omega C_{15}} - \frac{AV_2}{R_{15} + R_{126} + j\omega C_{18} R_{15} R_{126}} - \frac{V_2}{R_{15}} = V_2 j\omega C_{14}$$

$$V_1 = V_2 \left[1 + \frac{A R_{12} + j\omega C_{15}}{R_{15} + R_{126} + j\omega C_{18} R_{15} R_{126}} + \frac{R_{12} + j\omega C_{15}}{R_{15}} + j\omega C_{14} R_{12} + \frac{j\omega C_{14}}{j\omega C_{15}} \right]$$

$$V_1 = V_2 \left[1 + \frac{R_{12}}{R_{15}} + \frac{C_{14}}{C_{15}} + \frac{1}{j\omega C_{15} R_{15}} + j\omega C_{14} R_{12} + A \frac{1 + j\omega C_{15} R_{12}}{j\omega C_{15} (R_{15} + R_{126} + j\omega C_{18} R_{15} R_{126})} \right]$$

voor $\omega C_{18} \frac{R_{15} R_{126}}{R_{15} + R_{126}} \gg 1$

$$V_1 = V_2 \left[1 + \frac{R_{12}}{R_{15}} + \frac{C_{14}}{C_{15}} - A \frac{1}{\omega R_{15} C_{15} \cdot \omega R_{126} C_{18}} + \left(1 + \frac{R_{12}}{R_{126}} \cdot \frac{C_{15}}{C_{18}} A \right) \frac{1}{j\omega C_{15} R_{15}} + j\omega R_{12} C_{14} \right]$$

voor $A = \text{teruggekoppelde versterker} = \frac{A'}{1 + j\omega R_{12} C_{16}}$

uiteindelijk moet er-uit komen:

$$V_1 = V_2 \left[1 + \frac{R_{12}}{R_{15}} + \frac{C_{14}}{C_{15}} \left(1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_{15} C_{18}}{A R_{12} C_{15}}} \right) + j \omega_0 R_{12} C_{14} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$$

$$A \approx 1500 \times 0,67 = 1000$$

$$\omega_0^2 = \frac{1 + A \frac{R_{12} C_{15}}{R_{15} C_{18}}}{R_{12} C_{15} R_{12} C_{14}}$$

$$\frac{R_{12} C_{15}}{R_{15} C_{18}} = \frac{200k \cdot 0,47\mu}{2M \cdot 0,47\mu} = 0,1$$

$$A \frac{R_{12} C_{15}}{R_{15} C_{18}} \approx 100$$

$$\omega_0^2 = \frac{A}{R_{12} C_{14} R_{15} C_{18}}$$

$$V_1 \approx V_2 \left[1 + j \omega_0 R_{12} C_{14} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$$

$$V_1 \approx V_2 \left[1 + j \cdot 0,30 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$$

Laat men 3° draaiing toe d.w.z. $\frac{1}{20}$ rad. \Rightarrow

$$\frac{1}{20} = 0,3 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

$$\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} = 0,16$$

ω_0 wijkt maximaal 8% af van 50Hz

dan mag: $R_{12} C_{14} R_{15} C_{18}$ 16% spreiden.

Omdat de condensatoren zelf waarschijnlijk al zo veel spreiding hebben, moeten zij gemeten en geselecteerd worden.

m.b.v. Reg kan de fase-draaiing (dus ω_0) bijgesteld worden.

zie ook: 27-1-68; 15-3-68; 4-12-68; 27-5-69.

Overzicht geselecteerde componenten (zie ook: D4 9-11-78, 7-9-70)

te selecteren	selecteren op	selectie-eis	waarde/type	referentie	functie	opmerkingen
R ₀₅ , R ₀₆ (LDR)	- V _{eff} gelijk - R ₀₅ ≈ 1,04 R ₀₆	binnen enkele % gelijke V _{eff}	-zo groot mogelijk -7kΩ met grijs- filter	4-4-69 6-5-69 7-4-69 16-4-69 26-7-71	choppen	- nauwkeurige symetrering op de versterkerplaat. - er mag geen fotospanning optreden
C ₀₅	waarde	R ₀₂₂ (C ₀₆ +C ₀₇) (R ₀₂₃ +R _p) C ₀₅	4,7μF tantaal	23-2-70 maart 1982 9-10-70	ontkoppeling LDR's	
C ₀₆ , C ₀₇	C ₀₆ =C ₀₇		2,2μF tantaal	16-5-69 23-5-69	completeren van de brug	
T ₁₀ , T ₁₁	lage ruis en β	β gemiddeld gelijk BC 109C voor alle versterkers		12-3-68 23-7-69	eerste versterkertrap	
R ₁₂₀ , R ₁₂₁ , R ₁₂₅ , R ₁₂₆	waarde	$\frac{R_{126}+R_{127}}{R_{125}} \times \frac{R_{120}}{R_{120}+R_{121}}$ = 0,67 zodat R ₁₂₇ = positief	470k, 560k 1M5, 2M2	7-10-70	instellen van de transistoren van de wisselspannings versterker	
R ₁₂₇	gelijkspanning wisselspan.verst.	uit E ₁₂ reeks	R ₁₂₇ = (U-9)80kΩ	afmontage van halfabrikaten	instellen fasedraaiing op 180° + 1°	
R ₁₈ , R ₁₉			2M2 of 2M7 R ₁₉ uit E ₁₂ reeks			
C ₂₂ , C ₂₃	C ₂₂ ≈ C ₂₃		2,2μF tantaal		opslag van de gedemoduleerde wissel- spanning	
R ₂₇				afmontage van halfabrikaten	symetriseren van de demodulator	asymetrie corrigeren, na deze gemeten te hebben
T ₃₀ , T ₃₁	temp.coëff. van $(U_{BE} + I_B \times 47k\Omega)$ grote B		BC109C	1-3-68 9-3-68 28-12-68 23-7-69 1-10-69	eerste versterker- trap v.d. gelijkspan- versterker	wordt soms vervangen door een dubbel- transistor 2N2643

te selecteren	selecteren op	selectie-eis	waarde/type	referentie	functie	opmerkingen
R ₃₁ , R ₃₂	R ₃₁ =R ₃₂		47k	20-5-69	verhogen van rejectiefactor	
R ₃₃ , R ₃₄	R ₃₃ =R ₃₄		27k	8-10-70	R ₃₃ en R ₃₄ met C ₃₁ en C ₃₂ = fasedraaier	
R ₃₆ , R ₃₇	R ₃₆ =R ₃₇		470k			
R ₃₉ , R ₃₁₀	R ₃₉ =R ₃₁₀		68k			
C ₃₃ , C ₃₄	C ₃₃ =C ₃₄	binnen 5%	0,1µF	9-10-70		
R ₃₁₁ , R ₃₁₇ , R ₃₂₁	waarde	binnen E ₁₂ reeks	R ₃₁₁ = 7700/V R ₃₁₇ = 485/V R ₃₂₁ = 1160/V	afmontage van halfabrikaten 25-12-68	afregelen uitgangsspanning op 0V	na meten weerstand bepalen. Slechts 1 weerstand is nodig
L ₄₁ , L ₄₂	brand-en ontsteekspanning	sterk afwijkende exemplaren verwijderen	neonlampje	27-3-68	belichten LDR's	selectie na 10 dagen inbranden
ZD200 ZD27	som van de zener spanningen van twee takken gelijk	binnen 1V	ZD200; 200V ZD27; 27V	16-6-69 21-10-70	afkappen voedingsspanning voor neonlampjes	event. een sepletiezener van 3,2 of 6,8V toepassen.
R ₆₆ , R ₆₈	temp.coëff. gepaard	met DD61 binnen 10PPM/°C	12k; 50PPM/°C 6k8; 50PPM/°C	14-11-78		gebruik hiervoor het overschot v.d. selectie voor R ₆₆ en R ₆₈
R ₇₆ , R ₇₈	temp.coëff. gepaard	mag groter verschil zijn dan bij R ₆₆ en R ₆₈	12k 50PPM/°C 6k8 50PPM/°C	14-11-78		selectie na meting aan de voeding
R ₆₁₀ , R ₇₁₀	waarde	met R ₆₆ en R ₆₈ binnen 10PPM/°C	ZE 1,5	14-11-78	afregelweerstand zodat U=± 20V	
DD ₆₁ , DD ₇₁	temp.coëff.			14-11-78		

te selecteren	selecteren op	selectie-eis	waarde/type	referentie	functie	opmerkingen
R ₆₅ , R ₆₇ , R ₆₉ , R ₆₁₁ , R ₇₅ , R ₇₇ , R ₇₉ , R ₇₁₁		uit E ₁₂ reeks		14-11-78	afregelweerstand zodat rimpel zeer klein wordt.	selectie na meting aan de voeding.
tegenkoppel- weerstand	temp.coëff.	totale som v.d. temp.coëff. < 10PPM/°C	metaalfilm 50PPM/°C	maart 1982 (grote lijst) 18-3-82	bepaling van de versterking	metaaloxide en koolfilmweerstand den zijn nu metaal- filmweerstand geworden.

Selecteren van onderdelen

Neonlampjes

Omdat de brandspanning en de ontsteekspanning van een nieuw lampje snel groter worden, moeten de lampjes gedurende 10 dagen inbranden. De brandstroom voor het inbranden bedraagt ca. 1mA gelijkstroom (het lampje mag niet ringvormig branden). Na 10 dagen, 1 uur uitschakelen. Na inschakelen moeten de lampjes binnen 15 minuten goed branden. De brandspanning is toegenomen van ca. 100 naar 140V. Meet de brand- en ontsteekspanning en elimineer sterk afwijkende exemplaren.

zie: 18	19-3-63
	9-4-63
	26-6-63
27	22-1-68
28	27-3-68
30	6-1-69
31	31-10-69
D ₄	
k1	26-3-68

LDR's

De LDR's worden zodanig gepaard, dat zij eenzelfde afgifte van de wisselspanning hebben bij eenzelfde gemiddelde weerstand.

R_{\min} en R_{\max} zijn dan ongeveer gelijk.

M.b.v. een schakeling worden de gemiddelde, max en min weerstand gemeten, waarbij de LDR met een knipperende neonlamp wordt belicht.

Ook wordt de efficiëncy van de LDR gemeten (opgewekte effectieve wisselspanning). De lichtsterkte wordt d.m.v. een grijsfilter

zo geregeld, dat R_{gem} ca. $7k\Omega$ bedraagt.

De efficiëncy wordt vervolgens herrekend naar een gem weerstandswaarde van $7k\Omega$ precies. (dit is de waarde zoals die in de versterker gebruikt gaat worden) volgens: $V_{\text{eff}(7k)} = \frac{7k}{R_{\text{gem}}} \times V_{\text{eff}}$

Kies V_{eff} voor $7k\Omega$ zo hoog mogelijk en vorm tweetallen met gelijke V_{eff} .

Bij het meten van de LDR's, moeten alle LDR's vanuit dezelfde begintoeestand ingezet worden, d.w.z. dat zij dezelfde mate van belichting gehad hebben. De weerstandswaarde verandert nog zeer lang bij gewijzigde lichtsterkte.

Voor de serie van nr. 21 t/m 35 zijn nieuwe LDR's gemeten

Philips 2322 600 95003 $R_{\text{donker}} > 10M\Omega$ $R_{\text{licht}} < 250\Omega$.

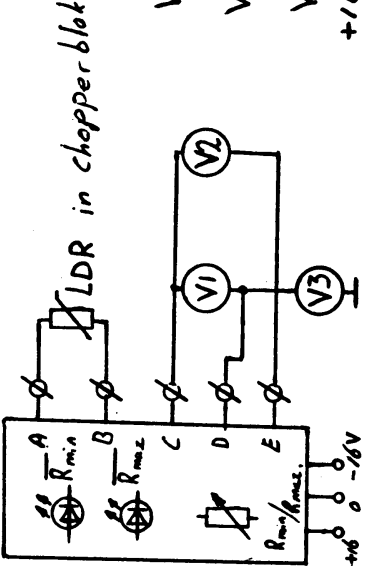
zie: k7	1-2-70	meetgegevens:
	37 13-11-73 voor LED chopper	32 7-3-70
	21-8-63	k9 30-6-71
	9-4-69	k12 14-8-72
k	27-2-68	37 27-11-73
	27-3-68	k15 19-11-73
	1-4-68	27 17-5-66
	3-4-68	24-3-65
	17-5-66	16-4-69
k12	9-8-72 aferegeling versterkers	6-5-69
	1 t/m 20	8-1-74
	26-8-71 idem	28-1-82
k4	15-9-70	

LDR-meting.

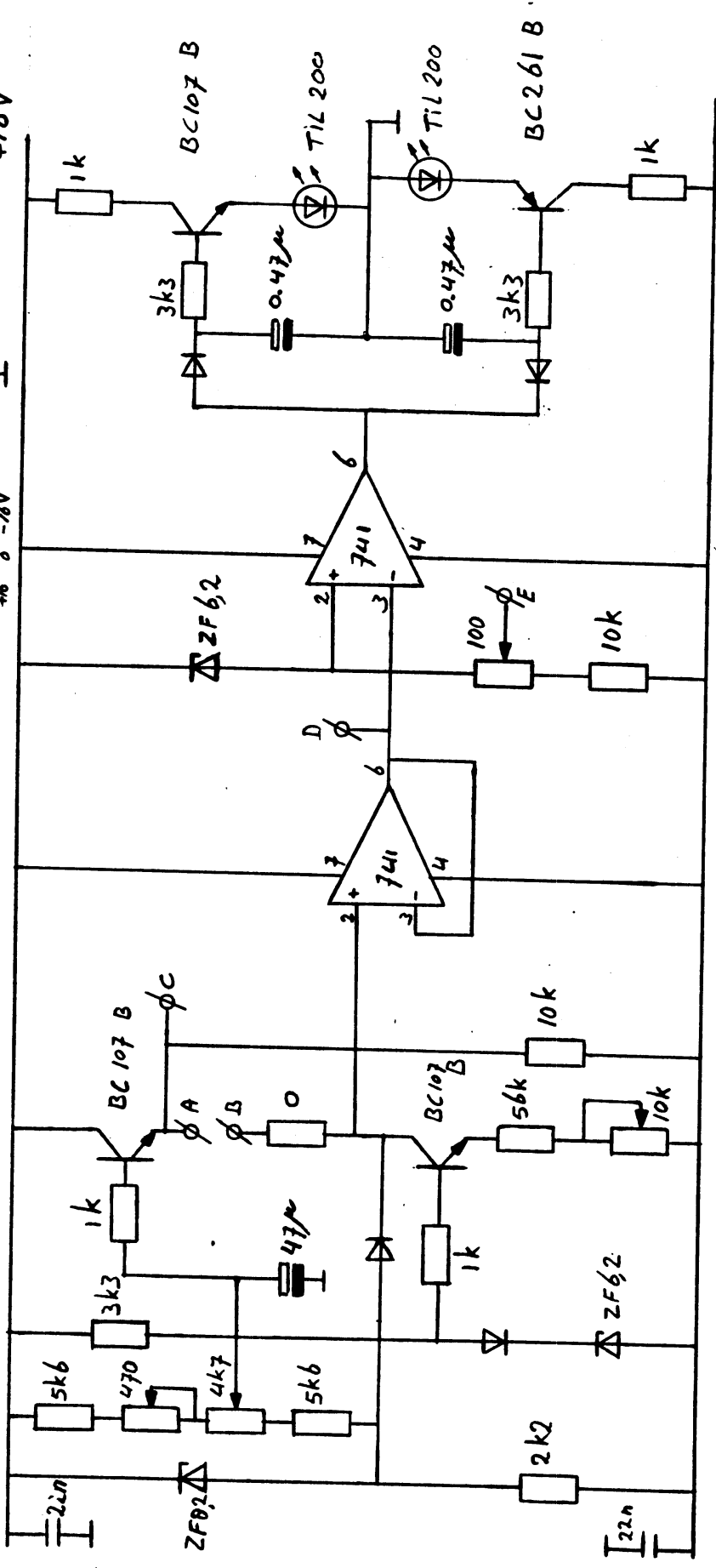
2-12-1981

V1 = gelijksp. meter voor
Rgem 10k Ω /V
V2 = gelijksp. meter voor
Rmin/Rmax 10k Ω /V
V3 = wisselsp. meter
Veff.

LDR in chopper-blok



Stroombron instellen
7p 9,1 mA



Meting R_{gem} , R_{min} , R_{max} en V_{eff} van een LDR (zie ook 15-9-70)

Stel de stroombron in op 0,1mA d.m.v. 10k potmeter.

Sluit A-B kort en regel m.b.v. 100 potmeter V2 op nul.

Sluit belichte LDR aan op A-B.

M.b.v. 4k7 potmeter kan het spanningsniveau van punt A gevariëerd worden.

Afhankelijk van de lichtsterkte en dus de weerstandswaarde van de LDR, varieert de spanning in punt B. De maxima en minima worden gedetecteerd met de LED's. Het juist doven van een LED betekent dat het max niet boven of het minimum niet onder de referentiespanning komt. De weerstandswaarde wordt dan bepaald door de spanning tussen C en E te meten, m.b.v. V2.

De gemiddelde weerstand wordt bepaald met V1 (tussen C en D).

De effectieve spanning (V_{eff}) bepalen met V3 (D t.o.v. aarde).

Tegenkoppelweerstand

Van de weerstanden worden de temperatuurcoëfficiënten gemeten in olie (geen alcohol).

Er kunnen 2 temperaturen genomen worden, bv. -10 en $+30^{\circ}\text{C}$, eventueel een 3e punt in het midden ter controle.

Het viertal weerstanden metaalfilm 1% en 50 PPM/ $^{\circ}\text{C}$ wordt zo samengevoegd, dat de totale temperatuurcoëfficiënt < 10 PPM/ $^{\circ}\text{C}$ wordt.

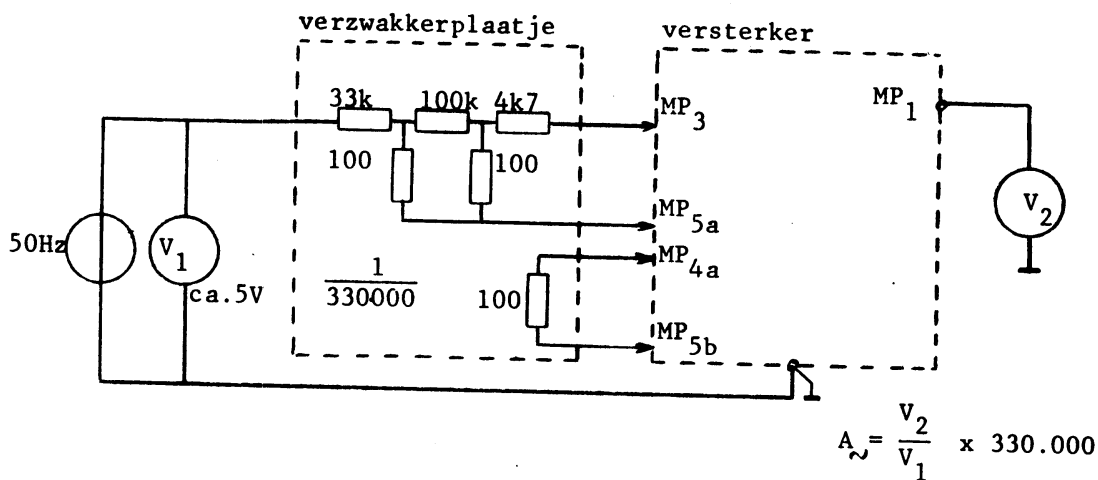
Voor 12 viertallen heb ik gemeten: 30 x 100k Ω zie 15-3-82
30 x 1k Ω (grote lijst)
72 x 22k Ω
36 x 100 Ω

Er is een hulpmiddeltje, bestaande uit een 24 pens IC-voet met een flatcable, bevestigd aan een plastik stok, zodat in olie kan worden geroerd.

Bij lage weerstandswaarden, 4-draadsmeting doen, dus extra kabel aan weerstanden solderen.

Afmontage van de halffabrikaten

1. Controleer of alle noodzakelijke componenten aanwezig zijn en goed zijn aangebracht (R324 100k Δ T en 68k T_{abs}).
2. HF spoeltje L1 (10 windingen op een ferietkraaltje) monteren + trafo AD9014.
3. Regel de spanning van de emitters van T17 en T18 U_E (T17,T18) af op 9V gelijkspanning, d.m.v. R127 \Rightarrow 80k Ω /V (R127 uit E12 reeks).
4. Bepaal de versterking van de wisselspanningsversterker.



De versterking moet ca. 165.000 \pm 20.000 zijn.

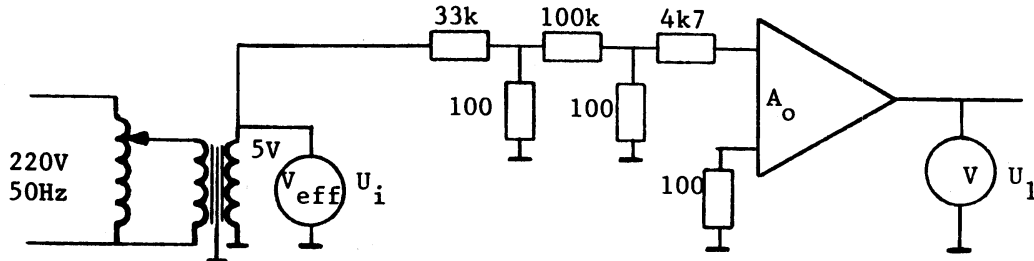
5. Controleer of de fase van V₁ en V₂ 180° in fase gedraaid zijn. D.m.v. R18 en eventueel R19 kan dit binnen 1° gebracht worden (controleer eerst op de scoop of beide ingangen gelijk zijn \Rightarrow parallel).
 6. Controleer de symmetrie van de blokspanning aan de collector van T22 (Mp6). M.b.v. R27 en eventueel met R25 of R26 te regelen (bv. m.b.v. scoop).
 7. T30 + T31 = BC109C of 2N2643 aanbrengen (BC109C's gepaard).
 8. Maak |U₁| = |U₂| m.b.v. R38. (Controleer of R324 de juiste waarde heeft.)
- De gem. waarde van U₁ en U₂ $\frac{U_1 + U_2}{2}$ kan < 0,1V gemaakt worden met

R321	: 1160 Ω /Volt	als gem.sp. < 0V is	6f
R311	: 7700 Ω /Volt	als gem.sp. > 0V is	6f
R317	: 485 Ω /volt	als gem.sp. > 0V is.	

Het beste kan R124 m.b.v. een batterij op +9V gebracht worden.

Eventueel kan R16 aan een kant losgemaakt worden, zodat de eerste versterkertrap uitgeschakeld is, waardoor de bromoppik minder is.

9. Bepaal de totale versterking nadat R124 is vastgezet.



Dit is een zeer gevoelige meting waarbij $A_o = \frac{\text{uitgangssp. } U_1}{\text{eff. waarde v.d. ingangssp.}}$

$$A_o = \frac{U_1}{U_i} \times 330.000$$

aangezien er een offset zal zijn is het beter: $A_o = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_i} \times 330.000$

b.v. U_i	U_1
25mV	+4,1V
<u>81mV</u>	<u>+16,0V</u>
$U_i = 56\text{mV}$	$U_1 = 11,9\text{V}$

$$A_o = \frac{11900}{56} \times 330.000 = 70 \cdot 10^6$$

Controleer m.b.v. een scoop of U_i in fase is met de blokspanning aan CT22 (MP6).

Eventueel kan ook nog in tegenfase gemeten worden, door de trafo om te keren.

10. Chopperblok. Aan de LDR's (gepaard) worden litzedradengesoldeerd. Aansluitingen afknippen op 10 mm. en met weinig tin vast solderen.

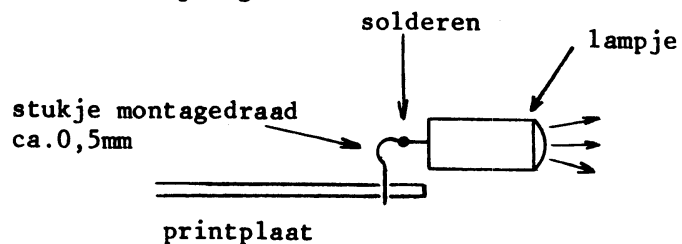
LDR in een klem, om oververhitting te voorkomen. Draden isoleren en LDR onderbrengen in het LDR compartiment. Achter de LDR komt een opvulling van PVC. Op het blokje met potlood aantekenen welke LDR's erin zitten.

Zorg ervoor dat de LDR min of meer verend in het compartiment zit, zodat zij altijd tegen het gaas aandrukken.



Het lampjesblok: gat voor afgesch. kabel opboren met 2,6 mm. 2 glimlampjes monteren. Dit moet zo gebeuren, dat de lampjes iets naar voren en naar achteren geschoven kunnen worden.

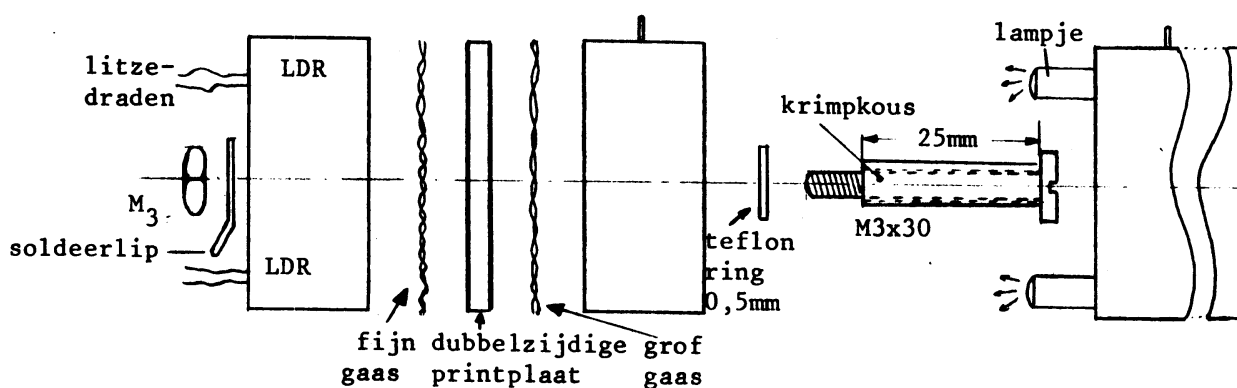
De ring wordt steeds aan de binnenzijde gehouden (korte draadje).



Afgesch.kabeltje en draadje voor MP2 aansluiten.

Compartiment aan afscherming.

(Let op: op het printje zitten 2 dioden verkeer om, t.w. 2 dioden bovenelkaar aan de binnenkant, naast lk weerstand (is hersteld)). In het middelste blokje worden de filters aangebracht, die met twee klemveertjes geborgen worden. Noteer de filternummers op het blok. M.b.v. een geïsoleerde schroef worden de twee kleinste blokjes aan elkaar geschroefd.

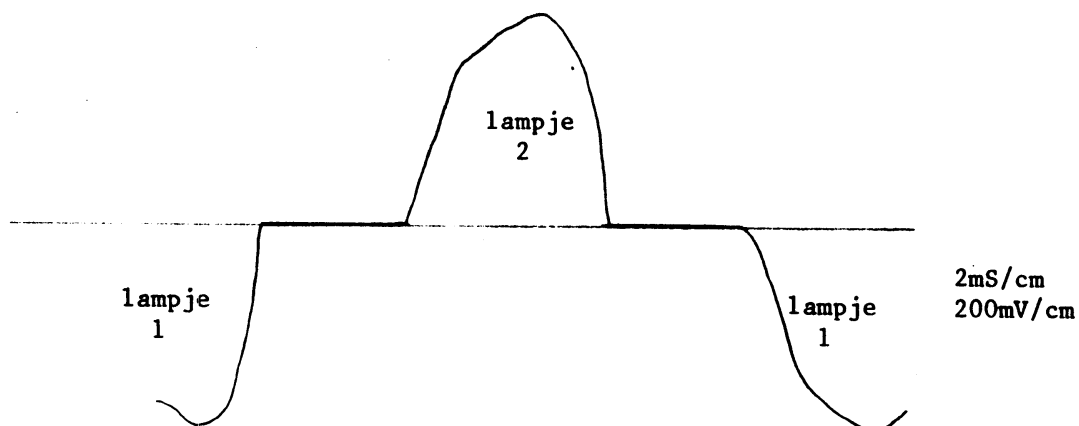


Het geheel nu op de printplaat schroeven, lampjes-gedeelte met korte schroefjes. Afgeschremde kabel + draadje vastzetten.

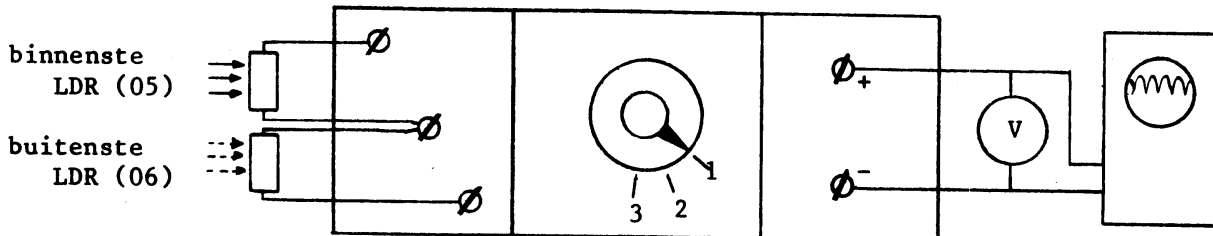
Het middelste blok dooraarden aan het grote blok.

Nu kunnen de lampjes en de LDR's getest worden. MP2 geeft de stroomvorm door de lampjes. Soms zijn er wat kammen op de golfvorm te zien.

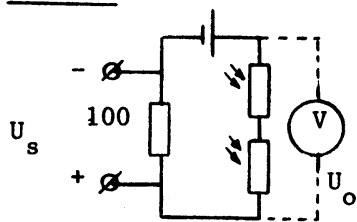
Dit is niet storend gebleken, als de golfvorm maar constant blijft.



De LDR's worden gecontroleerd m.b.v. een hulpstuk, bestaande uit twee batterijen, een schakelaar (3 standen) en 5 stekkerbussen.



stand 1 $U_b \approx 1,5V$

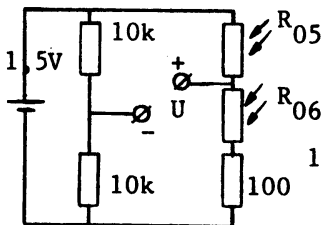


serieweerstand

$$R_s = \frac{U_o}{U_s} \times 100$$

$$R_s \approx 15k$$

stand 2



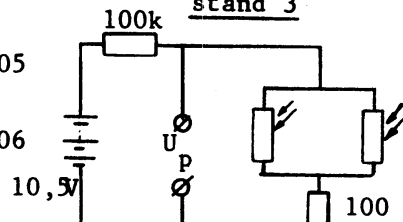
symmetrie

$$U \approx 10mV \text{ DC}$$

Efficiëncy

$$U \approx 250mV \text{ AC}$$

stand 3



Parallelweerstand

$$R_p = \frac{U_p}{U_o} \times 100k$$

$U_o = R_p$ als LDR's niet aangesloten zijn

$$R_p \approx 3,5k$$

In stand 2 wordt de symmetrie gemeten. Deze kan verbeterd worden door een ander filter te nemen, maar in de eerste plaats door het verschuiven van de lampjes. Eventueel kan een filter geïnk worden. Het heeft geen zin om beter te gaan dan 10mV, omdat het 220V-net al een grotere variatie teweeg brengt.

De asymmetrie wordt gedurende één week in de gaten gehouden; als deze niet veel meer veranderd, kan hij kleiner dan 10mV gemaakt worden.

De serieweerstand moet ca. 15k zijn (22k is ook nog wel goed).

De parallelweerstand ca. 3,5k (3 tot 5k)

bepaal de efficiëncy = $\frac{U_o(\text{stand 2})}{U_{o1}(1,5V)}$

k12 17-8-72

De LDR's en het ingangsfiler worden afgemonteerd. De litzedraden worden in elkaar getwist en in de grote gaten met weinig thermo-krachtvrij tin op de printplaat vastgezet. Als vloeimiddel hars

gebruiken (oplossen in alcohol).

Nu kunnen de geselecteerde tegenkoppelweerstand aangebracht worden, evenals alle eventuele andere nog ontbrekende draden en componenten, behalve R015.

De offset wordt op nul gesteld (winterrange). M.b.v. R017 (1k Ω trimmer) wordt nu de offset weggedraaid. De offset wordt gemeten als functie van de temperatuur. Daartoe wordt de versterker in de kast opgesloten, en het geheel gaat in de klimaatkast (ca. 20 cm. van de bodem).

Stel de kast in op -6°C en wacht tot de temperatuur in de versterkerkast gestabiliseerd is. De offset is nu waarschijnlijk iets verlopen. Laat ook deze offset stabiliseren. Daarna wordt de klimaatkast opgewarmd naar ca. 30°C. De offset zal, als alles goed is, een offset vertonen tot max. 10mV en na ca. 1 uur teruglopen naar max. 2mV (\approx 2mK).

Houdt daarbij in het oog, dat de klimaatkast, als gevolg van electro-magnetische storing, een offset kan veroorzaken van ca. 5mV. Deze storing blijft constant.

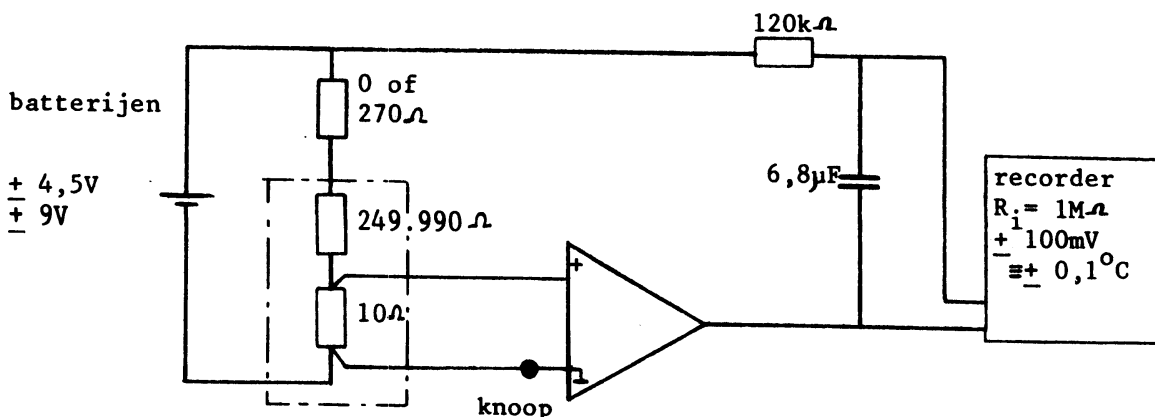
Als gebleken is dat de offset goed blijft, < 2mK, kan de offset op de zomerstand gebracht worden. Zet de offsettrimmer in de middenstand, en sluit R014 (ongeselecteerde 50ppm metaalfilmweerstand) aan op de +20V en meet de offset aan de uitgang. De afwijking t.o.v. -2V corrigeren met R015 = $\frac{\text{offset} + 2,000}{2}$ M Ω (500 /mV).

Versterkingsafregeling

offset = 0,00V

afregeling volgens compensatiemethode.

Voor de 25.000 x versterker is een verzwakker-netwerk gemaakt in een dewarvat met olie.



Afregeling van de versterking tot op 0,5 0/00, bij spanningen van $\pm 9V$ en ter controle van de lineairiteit $\pm 4,5V$. Voeding d.m.v. batterijen zodat er geen aardstromen kunnen lopen. Ter controle kan de verzwakking d.m.v. de 270Ω weerstand, 1 0/00 vergroot worden. Dit geeft de mogelijkheid om de recorder te ijken.

Verstoring van de meetstroom voor de recorder bij een recorderspanning van $10mV$ en $R_i = 1M\Omega$: $I = \frac{10 mV}{1M\Omega} = 10^{-8} A$.

Deze stroom loopt ook door de litzedraad met de knoop.

$$R_{litze} \approx 240m /m \Rightarrow R \approx 100m\Omega$$

$$U = IR = 10^{-8} \cdot 0,1 = 10^{-9} = 0,001\mu V ; \text{verwaarloosbaar.}$$

Nadat de versterker schoongemaakt is met chlorotheen en bespoten is met plascticspray, wordt hij nu opnieuw in de klimaatkast getest.

Daarbij wordt de offset in de zomerrange, en de versterking gecontroleerd bij een aantal temperaturen: $-10, 0, 20$ en $35^{\circ}C$.

Na stabilisatie moet de afwijking $2,5mV \equiv 2,5mK$ blijven.

Als de offset groter is dan $2mV$, kunnen de volgende controles uitgevoerd worden:

1. lek van C21 $10\mu F$ tantaal;

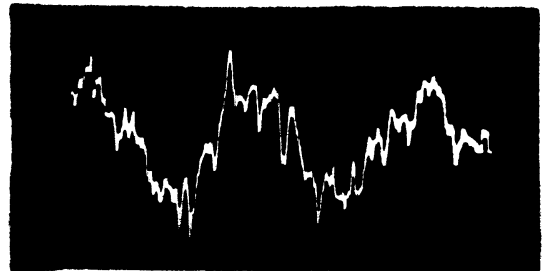
U_E van T20 en T21 moet gelijk blijven als R124 vast, los of aan $+9V$ (batterij) zit.

2. spanningsvorm op MP1

$9V$ gelijkspanning met daarop de volgende wisselspanning

$0,15V/cm$

$7 mS/cm$



Als de wisselspanning er als volgt uitziet, is er iets lek, of is de tegenkoppeling weggefallen.



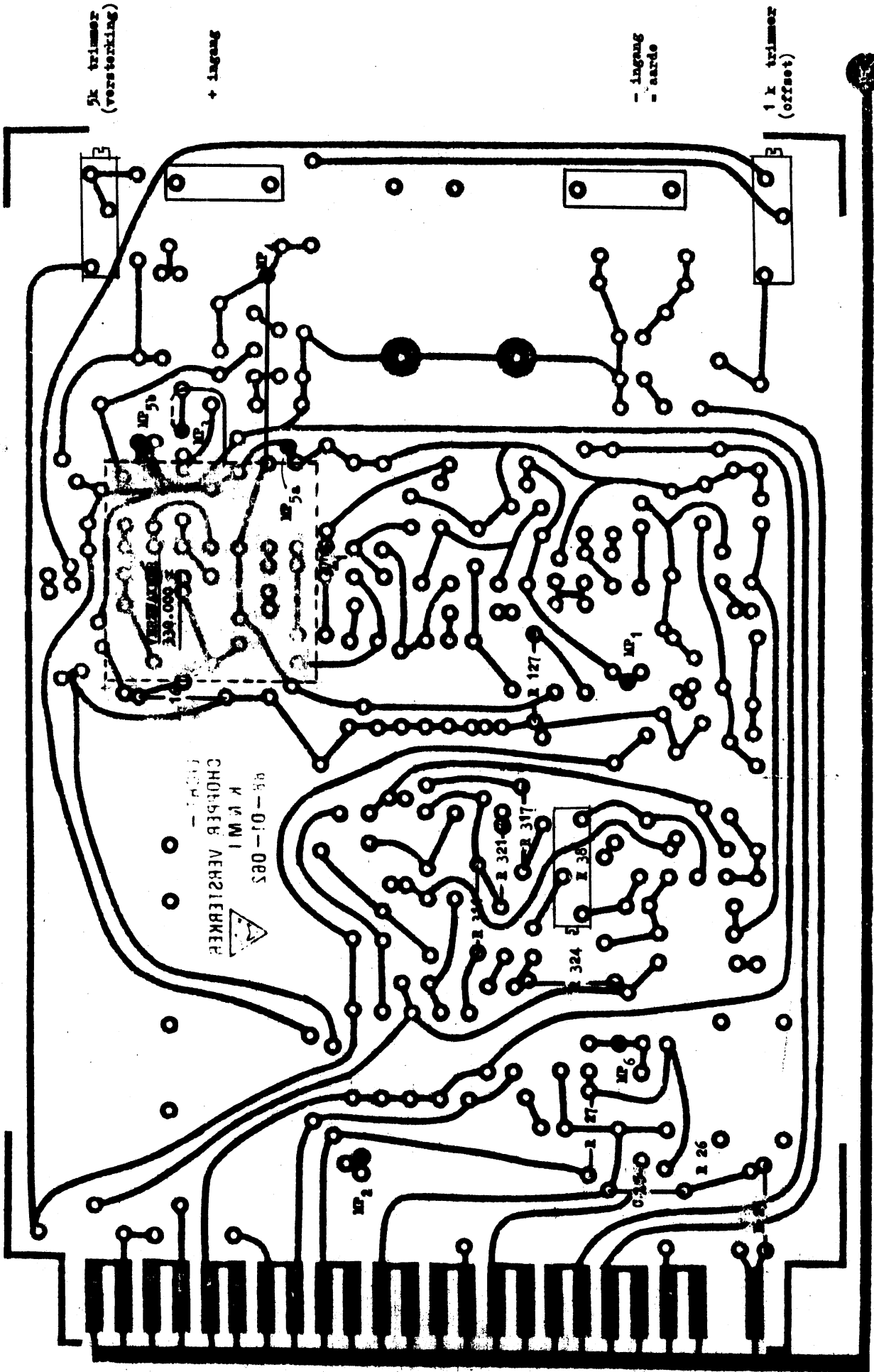
3. Controleer het transformatortje.

4. De drift wordt hoofdzakelijk bepaald door de gelijkspanningsversterker.

Controleer daarom of de versterker in balans is en of R324 de juiste waarde heeft. De drift is max. ca. $0,3mV/^{\circ}C$ aan de ingang van de gelijkspanningsversterker.

5. Er mag geen verschil in fase zijn tussen het versterkte wisselspanningssignaal en de demodulator, max. 1° .
6. Controleer het ingangsfILTER en de chopper op lekke condensatoren.
7. Eventueel kan de open lus versterking van de gehele versterker of van gedeelten daarvan bepaald worden als functie van de temperatuur.

MP₃ niet in het grote gat solderen.



U₁ U₂ -20 meet-aarde +20 -20 (20) +20 meet-aarde 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

5k trimmer (versterking)

+ ingang

- ingang - aarde

1k trimmer (offset)

98-01-083
K L M I
CHOPPER VERSTERKER



MP₃
MP₂
MP₁
MP₆

R 127
R 321
R 317
R 324
R 38
R 26
R 27

U₁ U₂ -20 meet-aarde +20 -20 (20) +20 meet-aarde 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100