

## MASTER

### Een automatische digitale wisselstroombrug

van den Brekel, C.A.M.

*Award date:*  
1965

[Link to publication](#)

#### **Disclaimer**

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

ARL  
65  
ELE

# TECHNISCHE HOGESCHOOL EINDHOVEN

AFDELING DER ELEKTROTECHNIEK

GROEP NITEN EN TOEGEBEN

Deel van de cursus: *Electrotechniek*

Uitgegeven door de afdeling



385207

EA

27

STUDIEBIBLIOTHEEK  
ELEKTROTECHNIEK  
E - HOOGBOUW

GROEP METEN EN REGELEN

Een automatische digitale wisselstroom-  
brug

C.A.M. van de Brekel

Verslag van het afstudeerwerk, verricht in de groep  
Meten en Regelen van de Afdeling der Elektrotechniek  
aan de Technische Hogeschool te Eindhoven, onder  
leiding van Prof.dr.C.E. Mulders in de periode van  
januari 1964 - januari 1965, door C.A.M. van de Brekel.

Samenvatting.

Beschreven wordt de constructie van een zichzelf afregelende Schering-brug. De afregeling en aanwijzing geschieden digitaal; als criterium wordt hierbij alleen gebruik gemaakt van de amplitude van de spanning aan de uitgang van de brug. De statische amplitudekarakteristieken worden geanalyseerd en blijken een belangrijk hulpmiddel te zijn bij het voorspellen van de loop der afregelprocedure.

Inhoudsopgave.	Blz.
Inleiding	3
Hoofdstuk 1	
ALGEMENE OPZET VAN DE AUTOMATISCHE DIGITALE BRUG	5
1.1. Analyse van de handbediening	5
1.2. Uitwerking van het functiediagram	6
1.2.1. De brug	6
1.2.2. De cycli	6
1.2.3. Bedienend orgaan	7
1.2.4. De goed- of afkeuring van een wijziging	9
Hoofdstuk 2	
DE STATISCHE AMPLITUDEKARAKTERISTIEKEN	12
Hoofdstuk 3	
DE AFREGELPROCEDURE	22
Hoofdstuk 4	
GEDETAILLEERDE BESCHRIJVING VAN HET GEHELE SYSTEEM	26
4.1. De brug met uitgangsversterker en gelijkrichter	26
4.2. De vergelijkingsschakeling	28
4.3. Flankdetectie	30
4.4. Cycluskeuze	31
4.5. Cyclus 1	32
4.6. Cyclus 2	32
4.7. Bedienend orgaan	35
4.7.1. Binaire teller	35
4.7.2. Dekadeselector	35
4.7.3. Relaismatrix	38
4.7.4. Uitleescontacten	39
4.8. Schakeling voor minimumoverschrijding	39
4.9. Totale reset	40
Hoofdstuk 5	
SUGGESTIES VOOR WIJZIGINGEN IN HET SYSTEEM	42
Hoofdstuk 6	
CONCLUSIES	46
APPENDIX 1.	47
APPENDIX 2.	49
LITERATUUROPGAVE	52

## Inleiding.

Voor het meten van onbekende impedanties biedt de brugschakeling het voordeel van eenvoud, gepaard aan grote nauwkeurigheid (nulmethode). Bij gebruik voor seriemetingen aan onderdelen uit productie of bij periodieke metingen aan veranderende impedanties ontstaat de behoefte aan automatisch afregelende wisselstroombruggen.

In de literatuur is dan ook reeds sinds geruime tijd aandacht besteed aan het ontwerpen van dergelijke automatische schakelingen. De eerste, mij bekende publikaties dateren van 1934-'35 (1,2). De laatste jaren wordt vooral van russische zijde meer aandacht gevestigd op het probleem.

Een oplossing kan langs verschillende wegen benaderd worden (3). In een grove verdeling zijn de tot nu toe beschreven methoden, wanneer we ons beperken tot normale brugschakelingen, als volgt te onderscheiden:

- a. systemen waarbij de fase van de uitgangsspanning van de brug wordt gebruikt om foutsignalen af te leiden (1,2,4,5,5a)
- b. systemen waarbij de amplitude van de uitgangsspanning wordt benut om deze signalen te verkrijgen (6,7).

De systemen waarbij de amplitude wordt gebruikt om signalen voor de afregeling te krijgen hebben het voordeel dat ze nooit tot divergerende werking leiden. Bij de fasegevoelige systemen kan dit wel optreden. Voor gebieden ver buiten het evenwicht gaat dan niet alleen het juiste verband tussen foutsignaal (uitgang van de fasegevoelige detector) en de gewenste correctie verloren, maar kan zelfs tekeninversie optreden. Dit veroorzaakt dan divergentie.

Alle publikaties hebben gemeen dat de afregeling langs analoge weg geschiedt. Voor gelijkstroombruggen zijn wel enkele digitale systemen beschreven (8,9). Gezien echter de vaak voorkomende behoefte aan een digitale aanwijzing, komt de vraag naar voren of een meting ook voor wisselstroombruggen niet rechtstreeks digitaal kan geschieden.

Beide aspecten samengevoegd resulteert dus de opgave om een systeem te realiseren dat digitaal werkt en de amplitude van de uitgangsspanning als gegeven gebruikt waarmee de afregeling gestuurd wordt.

Naar aanleiding van hierover ontwikkelde ideeën en verwachtingen leek een poging tot praktische realisatie aangewezen.

In de hierboven geschetste opzet is primair van belang, na te gaan of de ideeën in werkelijkheid uitvoerbaar zijn en niet om een in enig opzicht optimaal systeem te construeren.

De klassieke brugschakelingen, welke met de hand bediend worden, voldoen aan de gestelde eisen, wat betreft het digitale karakter van de meting en het uitsluitend gebruik maken van de amplitude-detektie als criterium bij de afregeling.

Vandaar dat we bij het onderzoek aanknopen bij een dergelijke schakeling.



## Hoofdstuk 1. Algemene opzet van de automatische digitale brug.

### 1.1. Analyse van de handbediening.

Bij de gebruikelijke wisselstroombruggen brengt men de brug in evenwicht met behulp van twee variabelle impedanties, die in het algemeen uitgevoerd zijn als dekadebakken. Aan de uitgang van de brug, - de detektortak -, is een meetinstrument aangebracht dat de amplitude van de uitgangsspanning aangeeft. Wanneer we de handelingen van de operator stap voor stap nagaan, zien we de volgende akties:

- waarnemen en onthouden van de amplitude van de uitgangsspanning;
- aanbrengen van een wijziging in een der afregelcomponenten;
- waarnemen van de hierdoor ontstane "nieuwe" amplitude;
- vergelijken, dat wil zeggen, vaststellen of de amplitude nu kleiner of groter is dan vóór de wijziging (goedkeur/afkeur).

Hierna zijn er twee mogelijkheden:

1e. De amplitude is kleiner;

- de cyclus wordt herhaald.

2e. De amplitude is groter; we zien dan:

- het ongedaan maken van de laatste wijziging;
- het overgaan op een andere dekade;
- teruggaan naar het begin van de gehele cyclus.

Deze opsomming vermeldt niets over de instelling van de afregelcomponenten bij het begin van de afregeling, noch over de volgorde die bij het overgaan op een volgende dekade in acht wordt genomen. Toch kan aan de hand van deze simpele benadering een algemene opzet van de automatische brug geconcipieerd worden. Het duidelijkst geschiedt dit met behulp van een functiediagram. In fig. 1.1 is weergegeven bovenvermelde analyse, met de twee elementaire cycli.

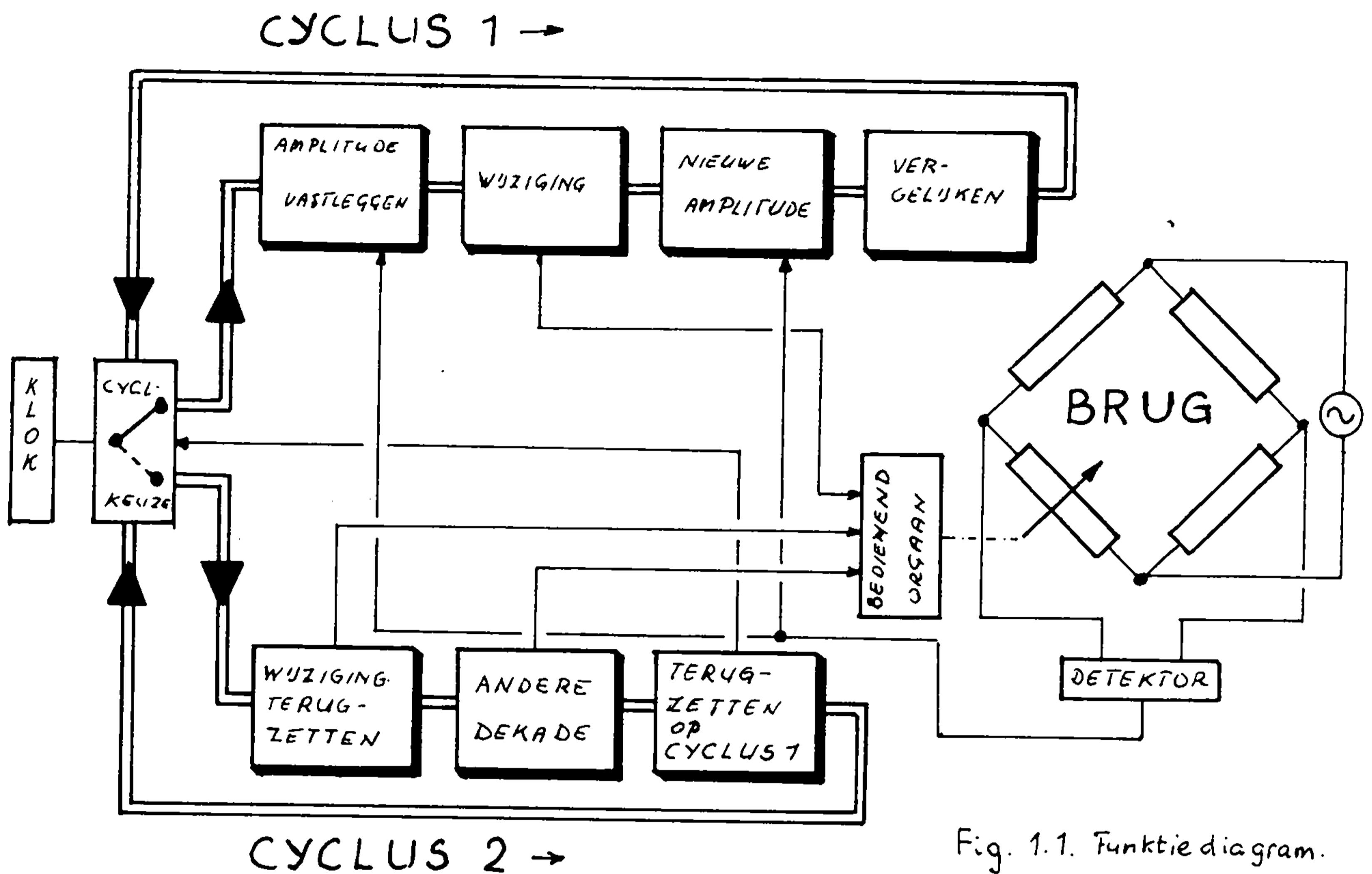


Fig. 1.1. Functie diagram.

Daarnaast is een klok als impulsgever geïntroduceerd, verder een bedienend orgaan, dat de afregelcomponenten zal moeten bedienen en tenslotte zijn enige verbindingen aangegeven tussen de cyclusstappen en de "bedienende" apparatuur.

## 1.2. Uitwerking van het functiediagram.

### 1.2.1. De brug.

Om een concrete probleemstelling te verkrijgen is als brugtype een scheringbrug gekozen. Deze keuze is geheel willekeurig maar heeft geen beperkende invloed op de resultaten van het onderzoek; voor andere bruggen van het wheatstone-type lopen de beschouwingen analoog.

### 1.2.2. De cycli.

Gezien het karakter van de beide cycli, -het achtereenvolgens verrichten van bepaalde handelingen-, ligt het voor de hand gebruik te maken van ringtellers. Bij elke impuls van de klok wordt dan het volgende element van de ringteller in de "1"-stand gebracht, aan welke stand de vereiste actie gekoppeld kan worden.

### 1.2.3. Bedienend orgaan.

#### 1.2.3.1.

Om het uitlezen van een in de regeltak ingestelde waarde eenvoudig te houden is de opbouw in dekaden, - zoals bij de handbediening -, gekozen. Zowel  $G_4$  als  $C_4$  bestaat elk uit drie dekaden: honderdtallen; tientallen; eenheden. Ze worden verder aangeduid als:  $G_4^{100}$ ,  $G_4^{10}$ ,  $G_4^1$ ,  $C_4^{100}$ ,  $C_4^{10}$ , en  $C_4^1$ .

De waarden van 0-9, worden om economische redenen, per dekade via de binaire code gerealiseerd. De componenten welke geschakeld worden hebben de gewichtsfactoren 1-2-4-8. De regeltak is getekend in figuur 1.2.3.1.

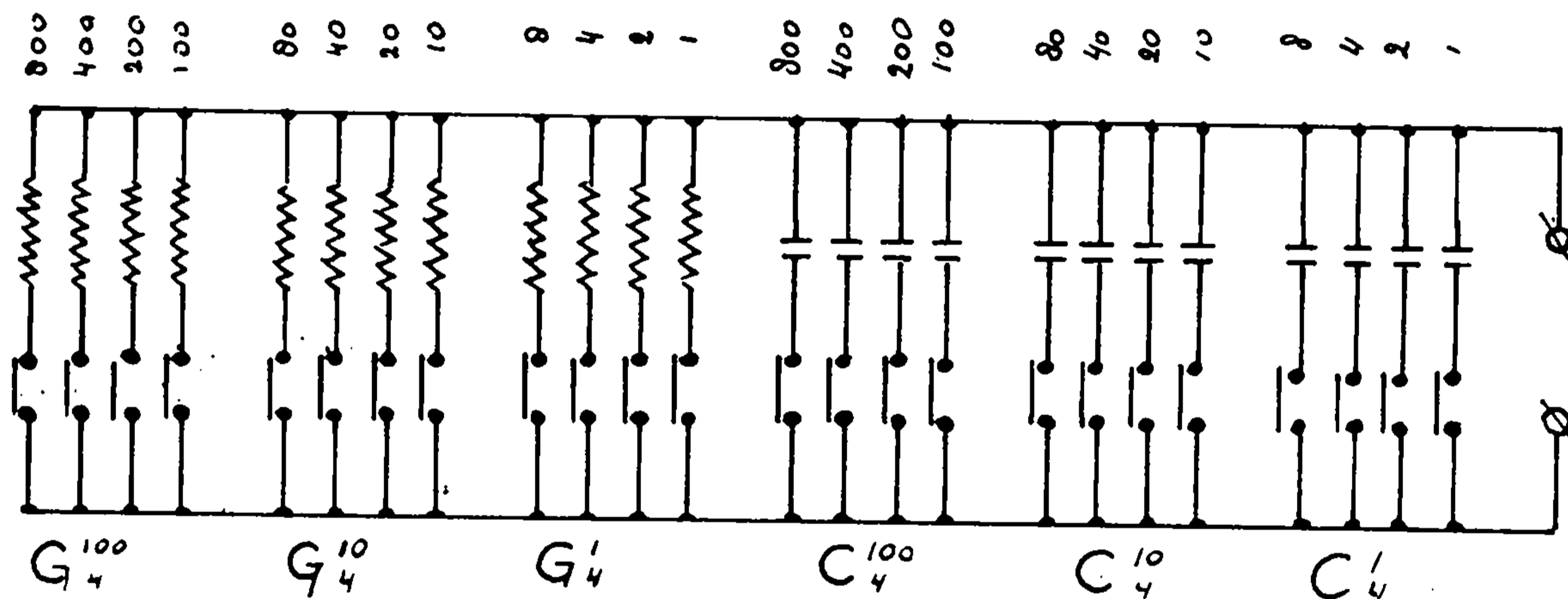


Fig. 1.2.3.1

Het grote aantal schakelementen ( $2^4$ ) dat in het systeem gebruikt wordt bepaalt mede de uiteindelijke nauwkeurigheid van een meting, omdat de stromen in de regeltak over deze elementen lopen. Daarom verdienen "mercury wetted" tongenrelais de voorkeur boven elektronische schakel-elementen of gewone relais, vanwege de kleine parasitaire impedanties en de lage én constante contactweerstand, die dit type relais kenmerkt. De schakelsnelheid kan zodanig zijn, bij een geschikte keuze, dat er geen te grote beperking in de afregelsnelheid wordt veroorzaakt.

#### 1.2.3.2.

Het kiezen van een bepaalde dekade is gerealiseerd met behulp van een zes-teller (dekadeselector). De volgorde waarin de verschillende dekaden doorlopen moeten worden ligt à priori niet vast, we komen hierop in hoofdstuk 3 terug. De verbindingen tussen de dekadeselector

en de verschillende dekaden kunnen echter willekeurig gelegd worden, zodat de vooralsnog noodzakelijke flexibiliteit gehandhaafd blijft.

Zoals reeds gezegd geschiedt de schakeling per dekade in binaire code. De gebruikte tongenrelais hebben slechts één wisselcontact, - relais met meerdere contacten hebben een langere schakeltijd -, waardoor het onmogelijk is de binaire telschakeling te realiseren met behulp van contacten op de relais zelf. De telschakeling moet dus apart gebouwd worden, waarbij dan de relais die de componenten schakelen met de elementen van deze uitwendige teller verbonden worden.

Elke dekade zou dan een eigen aparte teller moeten hebben, dus zes in totaal. Wederom om economische redenen is het echter aantrekkelijker, om de relais in een matrix-structuur op te nemen. Op deze manier volstaat een binaire teller voor alle dekaden. De dekade selector kiest nu een van de kolommen in de matrix waardoor de binaire teller alleen in deze dekade effectief is.

Omdat een aangebrachte wijziging weer ongedaan gemaakt moet kunnen worden tijdens de tweede (afkeur) cyclus, zal de binaire teller heen en weer moeten kunnen tellen.

De per dekade bereikte stand moet vanzelfsprekend gehandhaafd blijven. Het gebruik van één binaire teller voor alle dekaden sluit echter de mogelijkheid om deze stand in de teller vast te houden, uit. Om deze moeilijkheid te ondervangen zijn geen gewone, doch bistabiele relais gebruikt, waarbij het wisselcontact door twee afzonderlijke spoelen bekrachtigd kan worden. De respectievelijke spoelen zijn verbonden met de "0"- en "1"-uitgangen van de flipflops in de gemeenschappelijke binaire teller. De uitvoering is getekend in fig. 1.2.3.2.

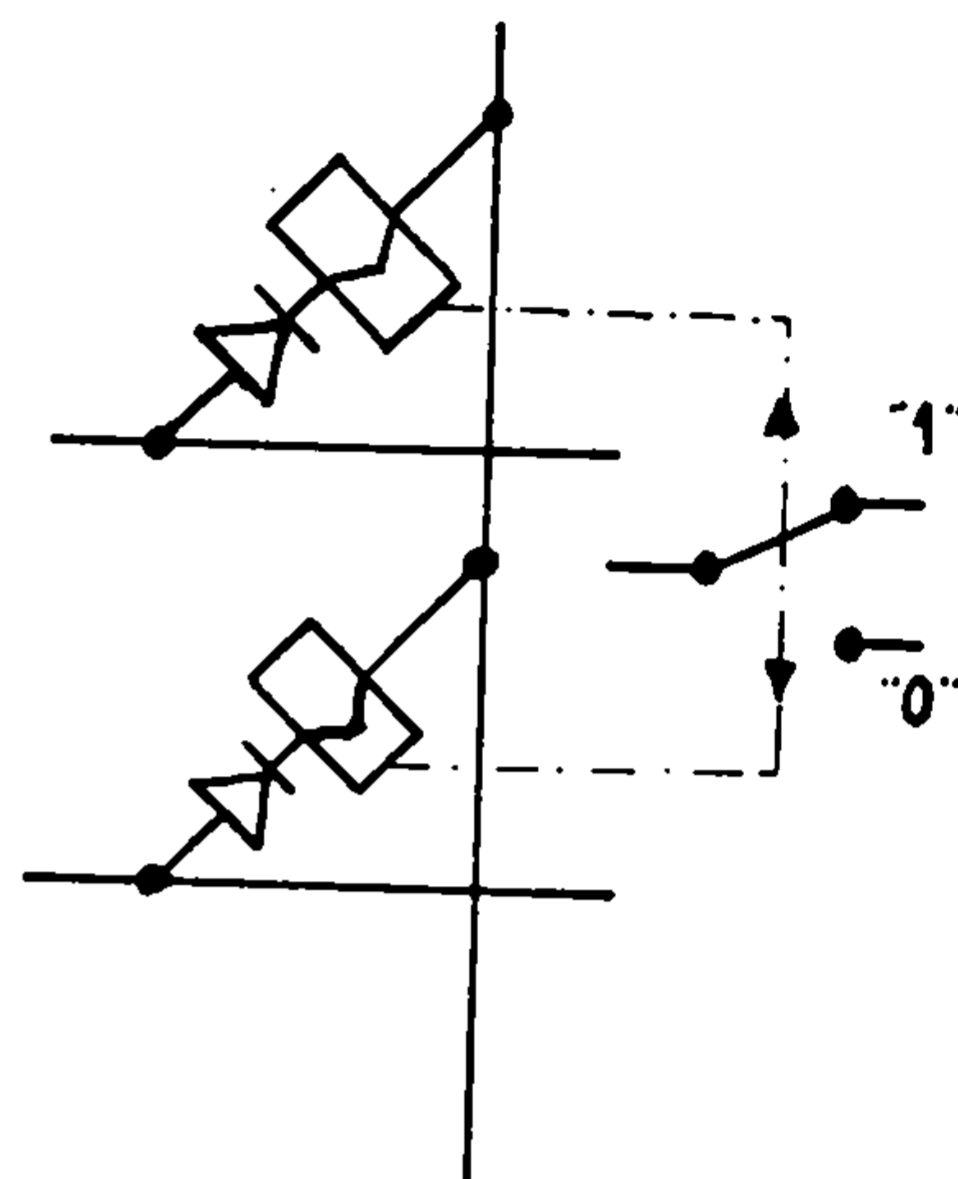
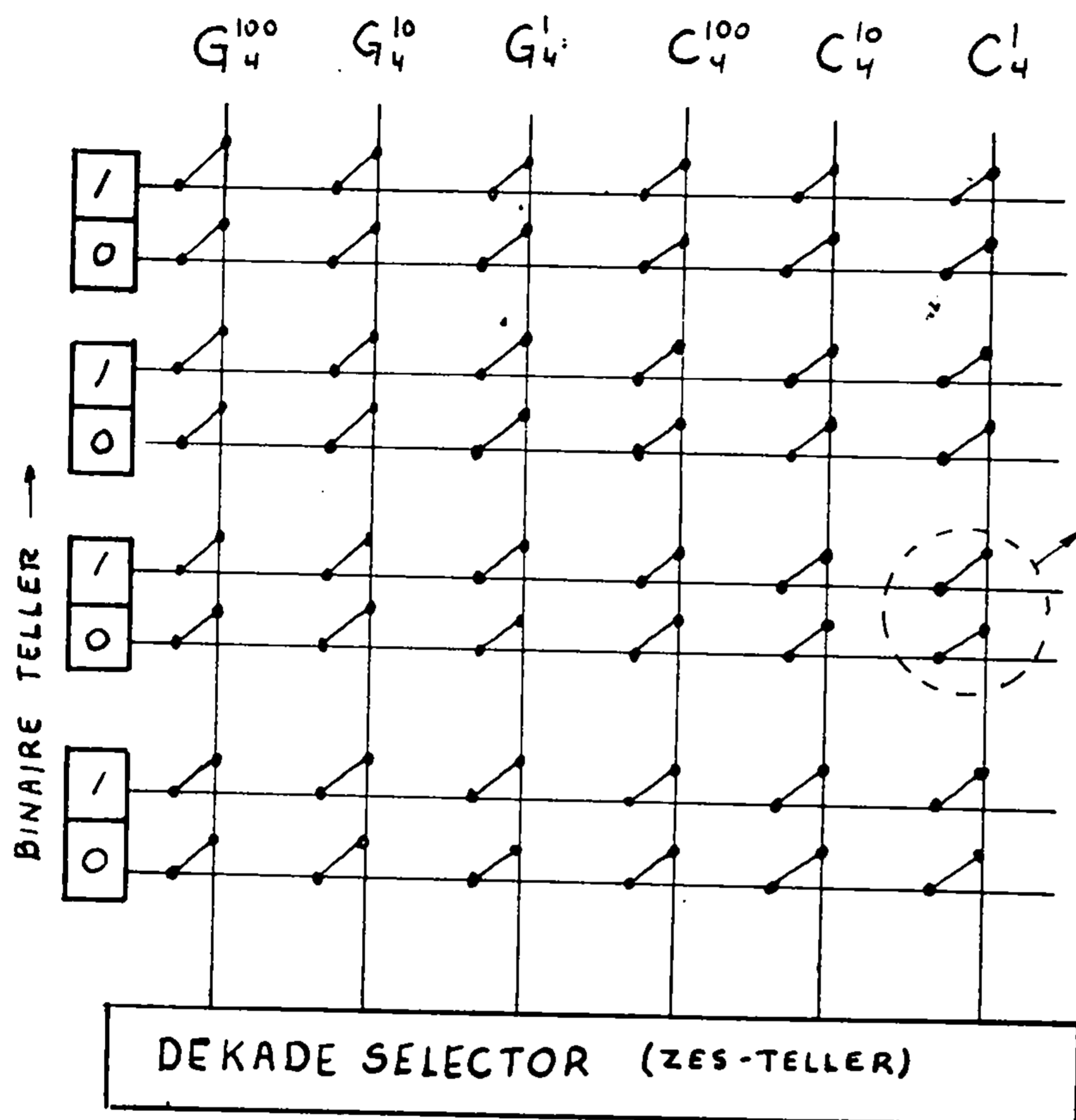


Fig. 1.2.3.2.  
Bedienend orgaan.

1.2.4. De goed- of afkeuring van een wijziging.

Teruggrijpend op de analyse van de handbediening en de uitwerking in het functiediagram fig. 1.1. moeten de volgende functies worden vervuld:

- de amplitude voor de wijziging opslaan;
- de amplitude na de wijziging waarnemen;
- eenduidige informatie geven over de verandering in amplitude groter of kleiner: vergelijken.

Aan deze eisen wordt voldaan door de volgende schakeling, fig. 1.2.4.1. Achtereenvolgens geschieden:

1. Amplitude voor de wijziging opslaan in  $C_1$  - sluiten van  $S_1$ ;
2. Wijziging aanbrenge in de regeltak (geschiedt in het bedienend orgaan) en wachten tot het inslingerverschijnsel is afgelopen;

3. Amplitude na de wijziging opslaan in  $C_2$  - sluiten van  $S_2$ ;
4. Vergelijken van de ladingen in  $C_1$  en  $C_2$  - sluiten van  $S_3$ .

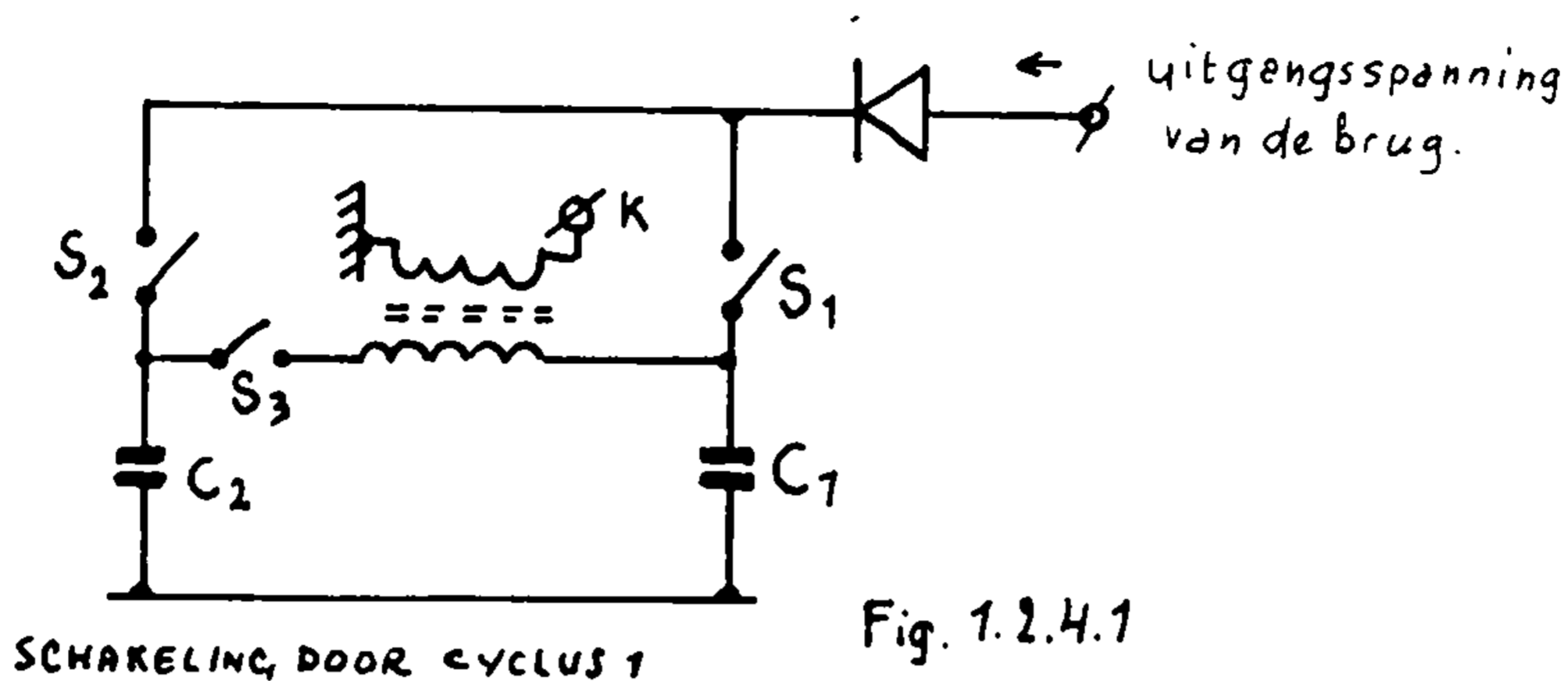


Fig. 1.2.4.1

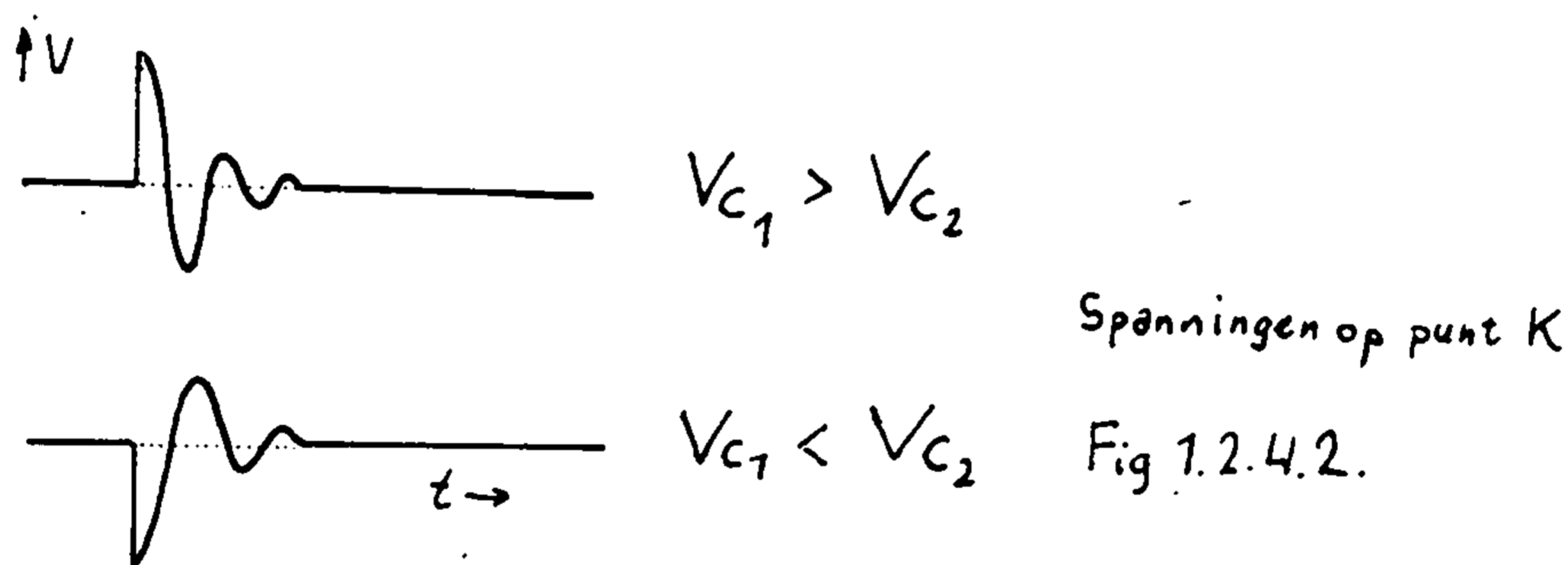


Fig 1.2.4.2.

De gevraagde informatie ontstaat aan punt K: een positieve flank indien  $V_{C_1} > V_{C_2}$  en een negatieve flank indien  $V_{C_1} < V_{C_2}$ ; beiden ter-  
gevolge van de optredende vereffeningsstroom (fig. 1.2.4.2.).

Detektie van deze flank geeft eenduidig het teken aan van de amplitudeverandering. Omdat alleen het teken van de flank beslissend is, zodat de grootte geen belang heeft, worden de moeilijkheden van een veranderlijke grootte in de amplitudeverandering geëlimineerd. De pulsen kunnen zoveel versterkt worden dat te allen tijde een uitslag verkregen wordt. Wanneer de pulsen groot zijn zal de versterker vast lopen, maar daarbij blijft de informatie ongeschonden.

Resumerend toont fig. 1.2.4.3. de algemene opzet van de automatische digitale brug zoals in dit hoofdstuk beschreven. De detaillering en dimensionering wordt behandeld in hoofdstuk 4.

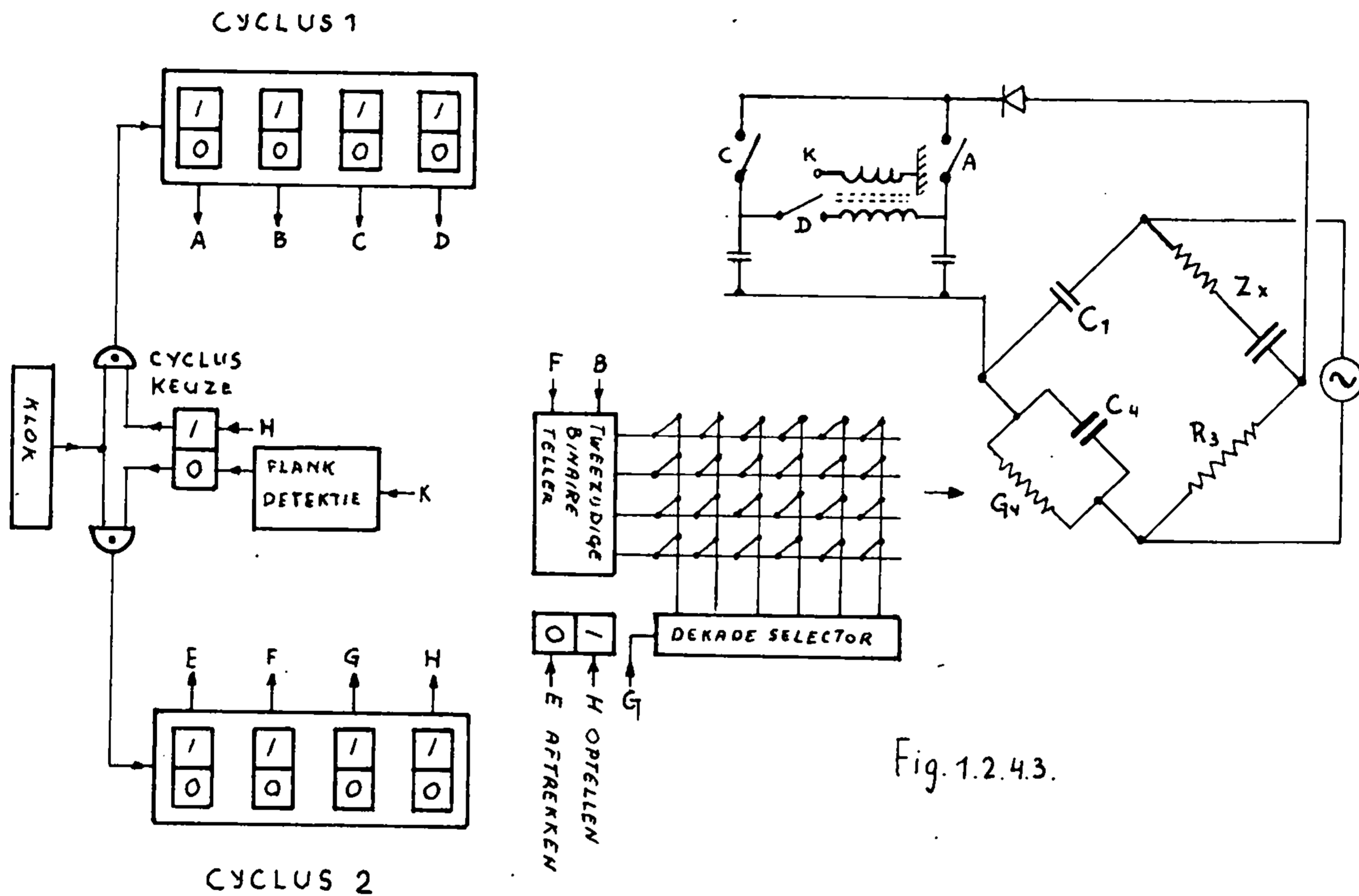


Fig. 1.2.43.

De aansluiting tussen de dekadeselector en de dekadekolommen van de matrix bepalen zoals gezegd, de volgorde waarin de dekaden doorlopen zullen worden tijdens de afregelprocedure. Bij de keuze hiervan stuiten we op een probleem dat ten nauwste verbonden is met de afregelbaarheid van de hier beschreven brug. Het volgende hoofdstuk aan de nodige middelen geven om dit probleem effectief aan te pakken.

Hoofdstuk 2. De statische amplitudekarakteristieken.

De brug, zoals die in het vorige hoofdstuk beschreven is, kan beschouwd worden als een van de regelsystemen, die in de literatuur gewoonlijk aangeduid worden met de term: extremum zoekende systemen. Een van de moeilijkheden die meestal optreden bij deze systemen is, dat over de reacties van een proces op variaties van de regelgrootheden en op variaties van andere niet te regelen parameters of storingen slechts weinig bekend is. De wisselstroombrug is echter volledig voor berekening toegankelijk en daardoor, wanneer we afzien van storingen door parasitaire impedanties, exact te beschrijven.

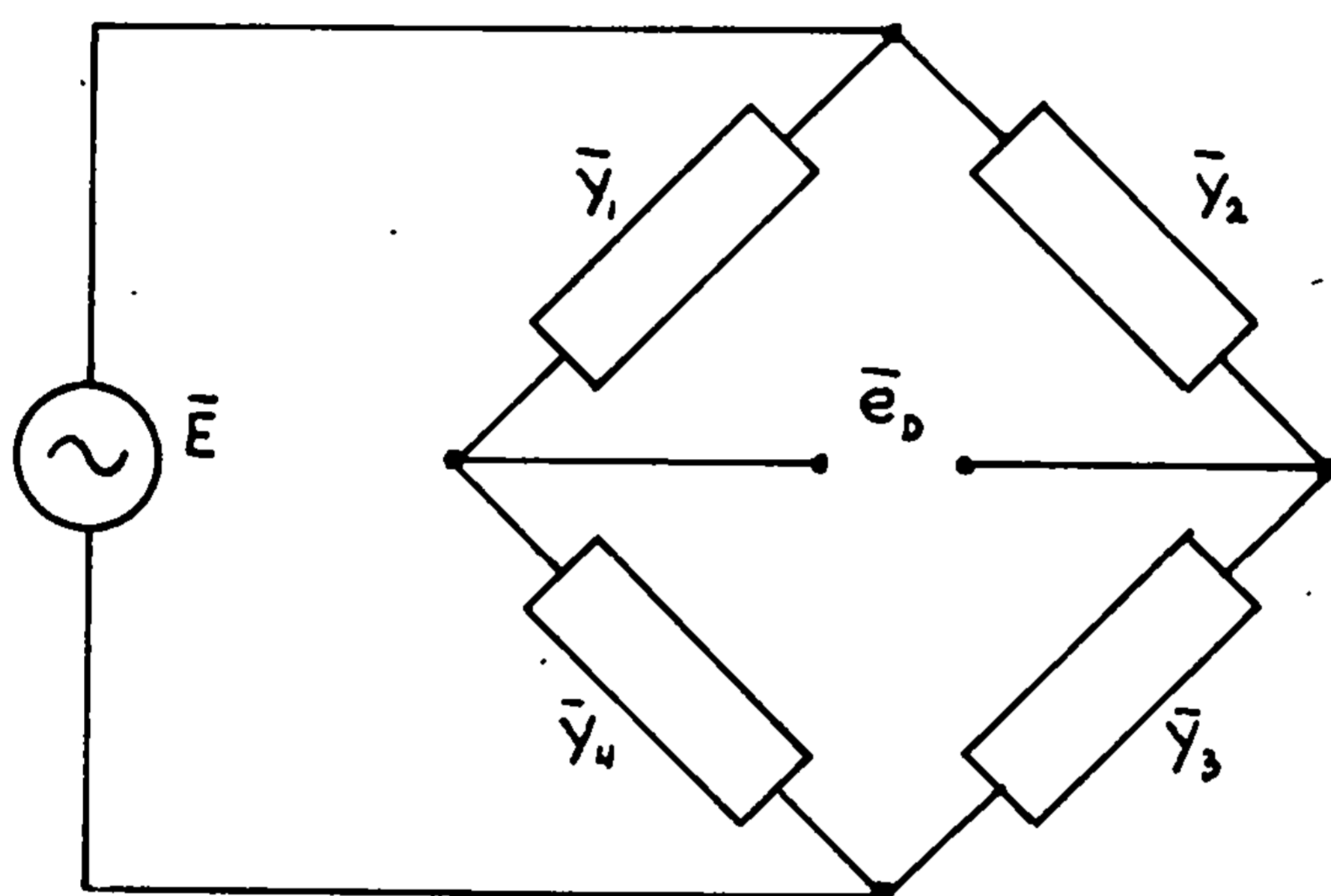


Fig. 2.1.

Voor de configuratie van fig. 2.1. geldt:

$$\bar{e}_d = \left[ \frac{\bar{Y}_1}{\bar{Y}_4 + \bar{Y}_1} - \frac{\bar{Y}_2}{\bar{Y}_2 + \bar{Y}_3} \right] E \quad (1)$$

Door deze vergelijking wordt het verband tussen uitgangsspanning en componenten, wat betreft de stationaire toestand, volledig vastgelegd. Gezien de relatief korte duur van de inschakelverschijnselen, zoals die optreden in de concrete schakeling kan een beschouwing daarvan achterwege blijven.

Wat ons interesseert is de amplitude van de uitgangsspanning als functie van de afregelcomponenten. Dit verband wordt, naast de informatie over de faseverhoudingen, die bij onze opzet overbodig is, door vergelijking (1) gegeven. Om een inzicht te krijgen in het gedrag



van de brug als "proces" in de regelkring, is echter een grafische voorstelling onontbeerlijk.

Bij de gebruikte scheringbrug bevinden zich beide afregelcomponenten in  $\bar{Y}_4$ ;  $\bar{Y}_4 = G_4 + j\omega C_4$ .  $\bar{Y}_2$  bestaat uit de onbekende admittantie:

$$\bar{Y}_2 = \frac{j\omega C_x}{1 + j\omega R_x C_x}$$

Een duidelijke karakteristiek van de brug wordt nu verkregen door een hoogtekaart, waarbij langs de abcis en ordinaat respectievelijk  $G_4$  en  $\omega C_4$  zijn uitgezet en waarin de hoogtelijnen voor constante  $z = |e_D|$  zijn getekend. Wanneer  $G_4 = x$  en  $\omega C_4 = y$ , dan volgt uit de vergelijking (1):

$$(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 = R^2 \quad \text{met: } x_m = f_1(\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, E, z) \text{ enz.}$$

$$y_m = f_2(\quad \quad \quad)$$

$$\text{De afleiding is gegeven in appendix 1. } R = f_3(\quad \quad \quad)$$

De hoogtelijnen zijn dus cirkels. Voor een bepaalde brugconfiguratie, ( $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3$  en  $E$  constant) zijn  $M$  en  $N$  de coördinaten van het middelpunt en ook de straal  $R$ , alleen functies van  $z$ . De hoogtekaart voor de geconstrueerde brug met  $R_x$  en  $C_x$  respectievelijk 7250  $\Omega$  en 11,5 nF is gegeven in fig. 2.2. De cirkels zijn dus de meetkundige plaatsen van alle combinaties van  $x$  en  $y$  ( $G_4$  en  $\omega C_4$ ) die een gelijke amplitude van de uitgangsspanning geven. Het punt  $P$ , waarbij  $z=0$  en  $R=0$ , is het evenwichtspunt van de brug voor deze bepaalde  $R_x$  en  $C_x$ .

Bij de geschetste algemene opzet van de brug worden de regelcomponenten steeds na elkaar, dus niet tegelijkertijd, afgeregeld tot minimum-uitgangsspanning. Van belang zijn dus de relatieve minima, die gegeven worden door de voorwaarden  $\frac{\partial z}{\partial x} = 0$  en  $\frac{\partial z}{\partial y} = 0$ . Blijkens de afleiding in appendix 2, zijn dit takken van orthogonale hyperbolen, die eveneens in fig. 2.2. zijn aangegeven (krommen I en II). Aan de hand van deze lijnen is het verloop van een afregelprocedure te voorspellen, (fig. 2.3). Bijvoorbeeld, wanneer vanaf  $\omega C_4 = 0$  en  $G_4 = 0$  (punt A),  $G_4$  wordt afgeregeld tot minimum-output zal de brug in punt B komen. Afregeling van  $\omega C_4$  leidt dan tot punt C enz.

$z = 0,25$   
 $R = 21,0$

$y \uparrow$   
 $(\omega C_x)$   
 $(10^{-5} S)$

grenzen van  
het meetbereik.

$z = 0,20$   
 $R = 14,8$

$z = 0,15$   
 $R = 10,2$

$z = 0,10$   
 $R = 6,4$

$z = 0,05$   
 $R = 3$

$z = 0,3 \cdot R = 30,0$

$z = 0,35 \cdot R = 45,8$

$x \rightarrow$   $(10^{-5} S)$   
 $(G)$

$z \cdot \sqrt{10^5 \cdot R^2}$   
 $= 0,48 \cdot R_{\infty}$

$R_x = 7250 \Omega$

$E = 1 \text{ Volt.}$

$C_x = 11,5 \text{ nF}$

$z \text{ in Volts}$

Fig 2.2. Hoogte kaart.

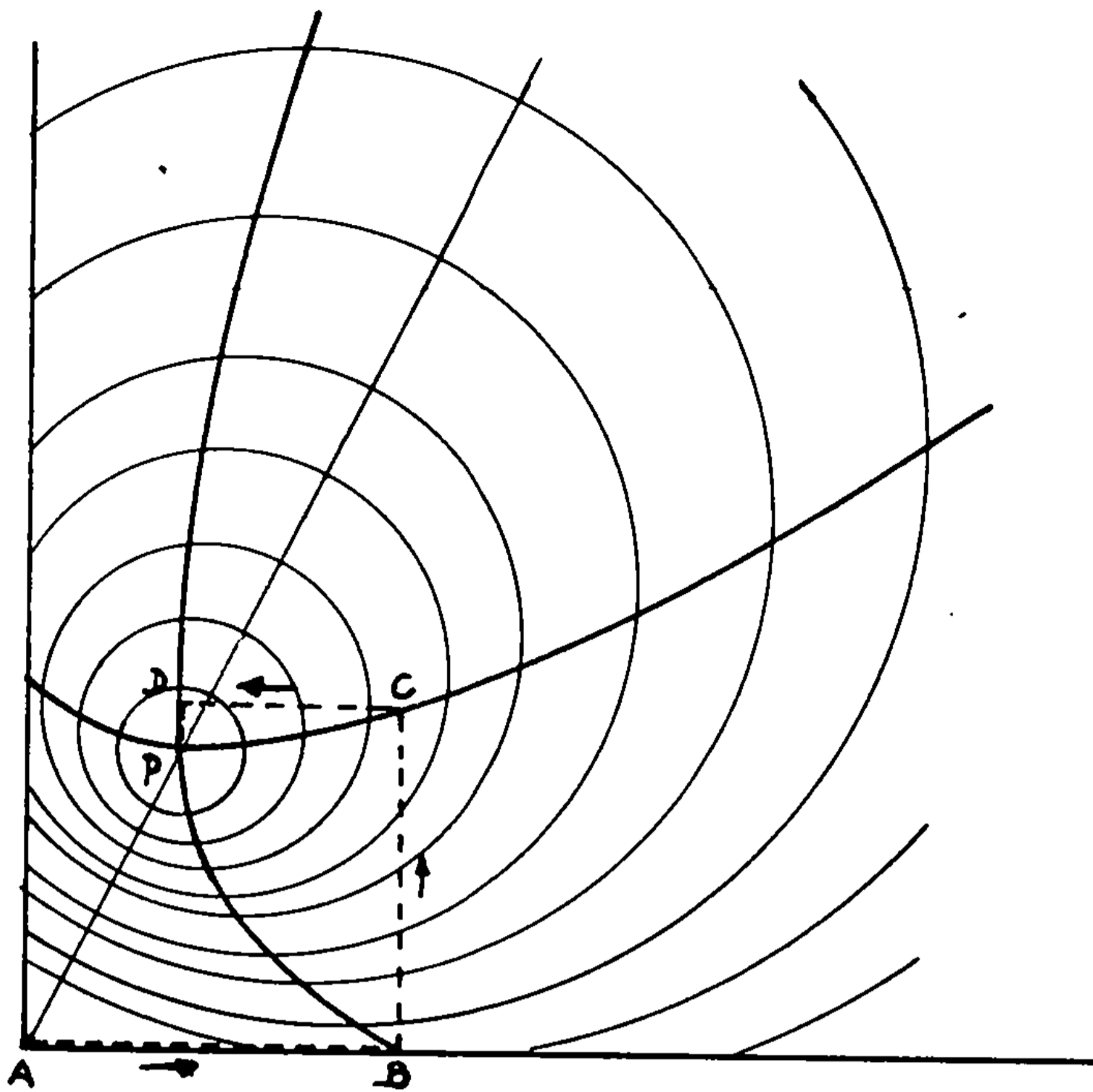


Fig. 2.3.

Hierbij mag niet uit het oog worden verloren dat de hoogtekaart en de relatieve minimalijnen, zoals in fig. 2.2., alleen gelden voor deze bepaalde combinatie van  $R_x$  en  $C_x$ . De figuren 2.4. - 2.5. - 2.6. - en 2.7. tonen vier andere significante beelden voor de geconstrueerde brug.

In een voorstelling van  $z = f(y)$ , met  $x$  als parameter, welke dus van belang is voor de afregeling van  $C_4$ , komt het verloop van de hoogte duidelijk naar voren, fig. 2.2. Deze krommen zijn verkregen door een aantal doorsneden in de  $y$ -richting van het oppervlak  $z = f(x,y)$  te projecteren op het  $y$ - $z$  vlak. Daarbij valt op dat de helling van een kromme  $z = f(y)$ , bij een gegeven waarde van  $x$ , afhankelijk is van  $y$ . Met andere woorden, de relatieve variatie  $\Delta z$  bij een verandering  $\Delta y$  is een functie van  $y$ :

$$\left. \frac{\Delta z}{\Delta y} \right|_{x = x_0} = f(y)$$

Verder is de helling van  $z = f(y)$  voor gegeven  $y$ , afhankelijk van  $x$ :

$$\left. \frac{\Delta z}{\Delta y} \right|_{y = y_0} = f(x)$$

In het algemeen geldt dus:

$$\frac{\Delta z}{\Delta y} = f_1(x, y)$$

Mutatis mutandis geldt deze beschouwing ook voor de afregeling van  $G_4$ ; voor een variatie  $\Delta z$  in  $x$  volgt:

$$\frac{\Delta z}{\Delta x} = f_2(x, y)$$

Bij beschouwing van de krommen wordt hierdoor gerechtvaardigd dat een wijziging in de regelcomponenten geschiedt door het verhogen met een eenheid van de betreffende dekade, welke afgeregeld wordt, in plaats van wijzigen met een bepaald vast bedrag. Immers, wanneer de brug nog ver van het evenwicht is verwijderd, wat het geval is bij afregeling van de meest significante dekaden, zijn de hellingen  $\frac{\Delta z}{\Delta x}$  en  $\frac{\Delta z}{\Delta y}$  veel kleiner dan in de buurt van het evenwichtspunt. Deze manier van wijzigen in de regeltak biedt nu enige compensatie voor de sterk uiteenlopende waarden van  $\frac{\Delta z}{\Delta x}$  en  $\frac{\Delta z}{\Delta y}$ . De amplitudeveranderingen zullen nu minder grote variaties vertonen dan wanneer steeds met een constant bedrag gewijzigd zou worden.

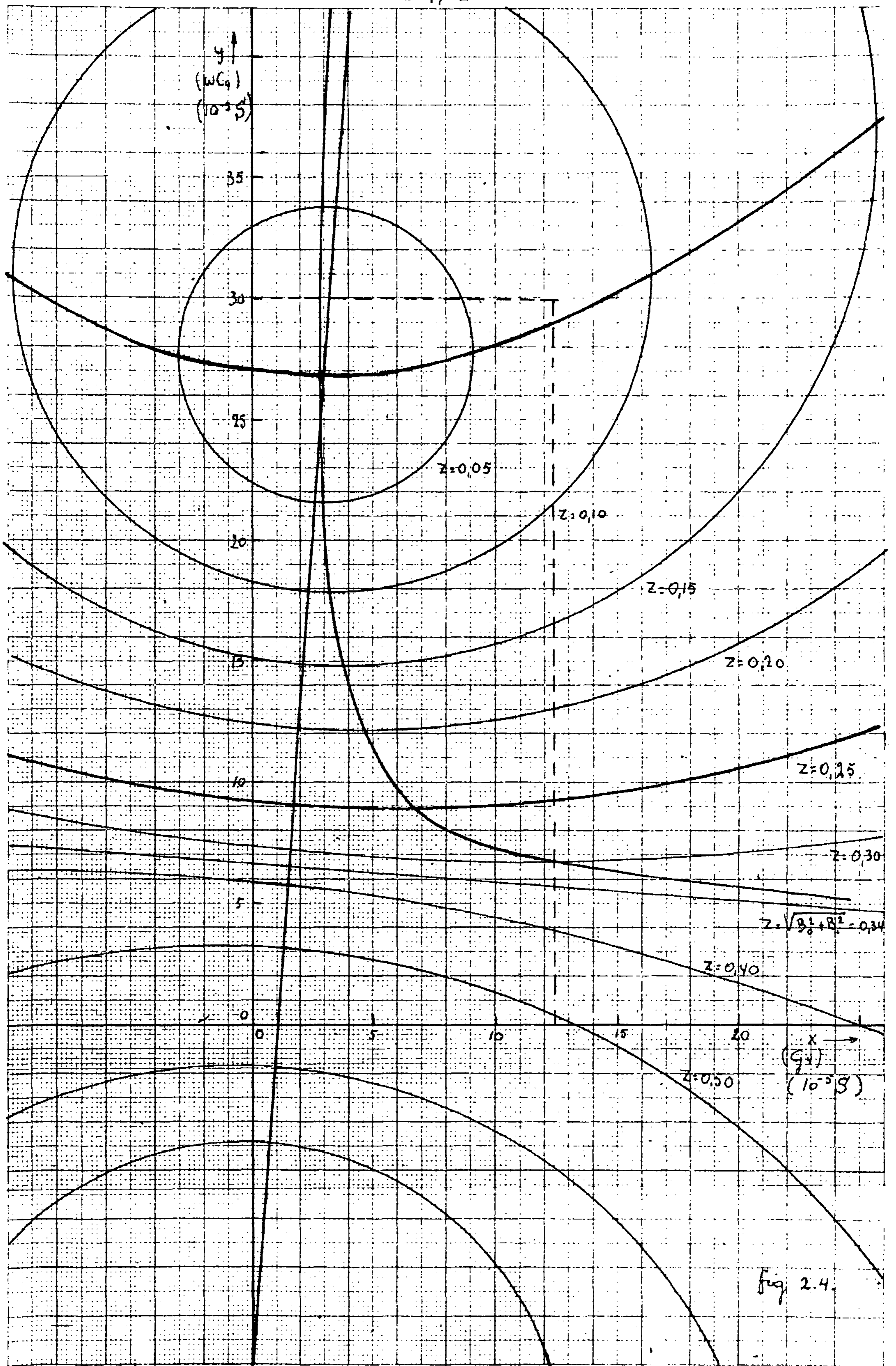


Fig. 2.4.

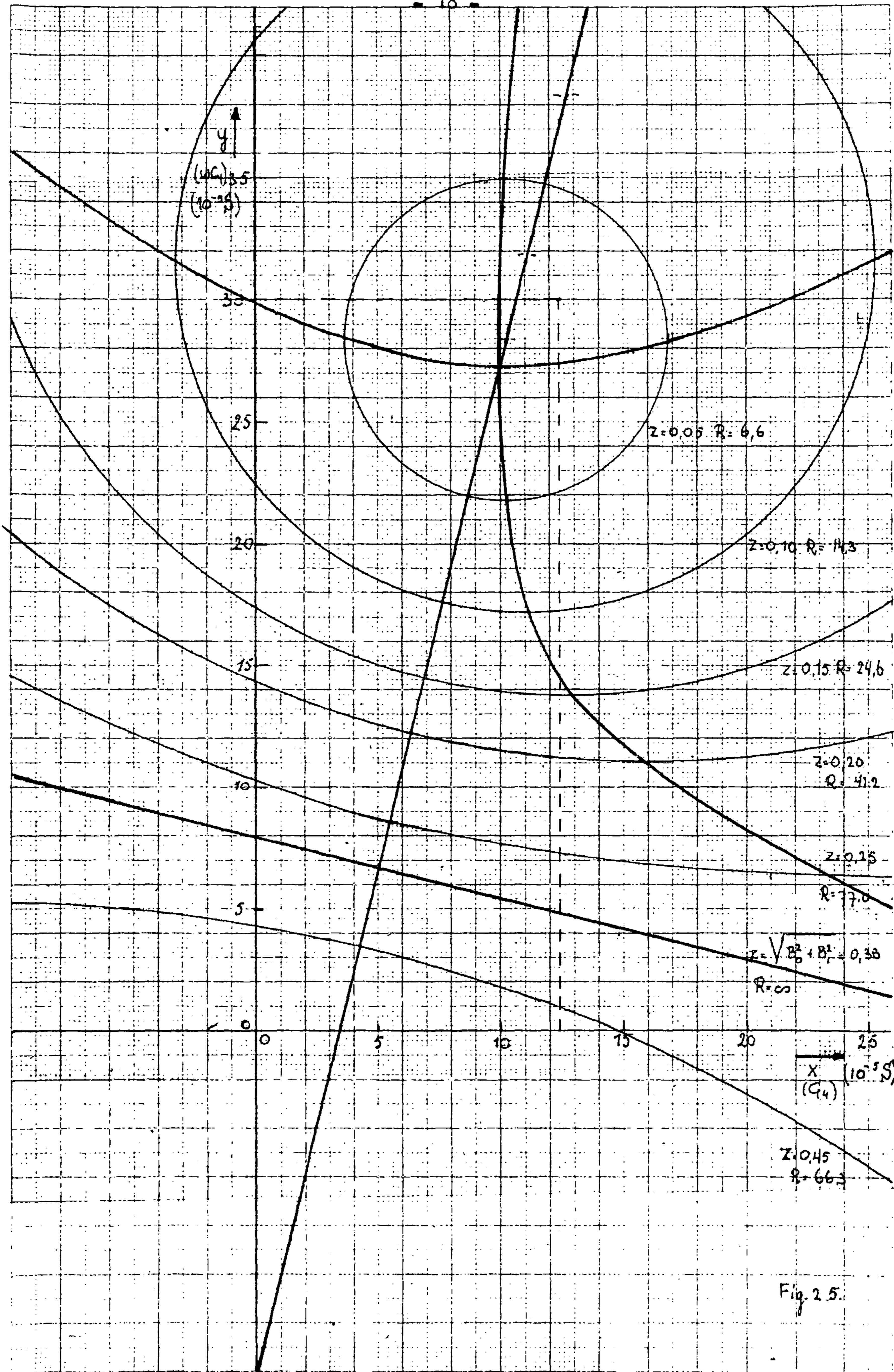


Fig. 2.5.

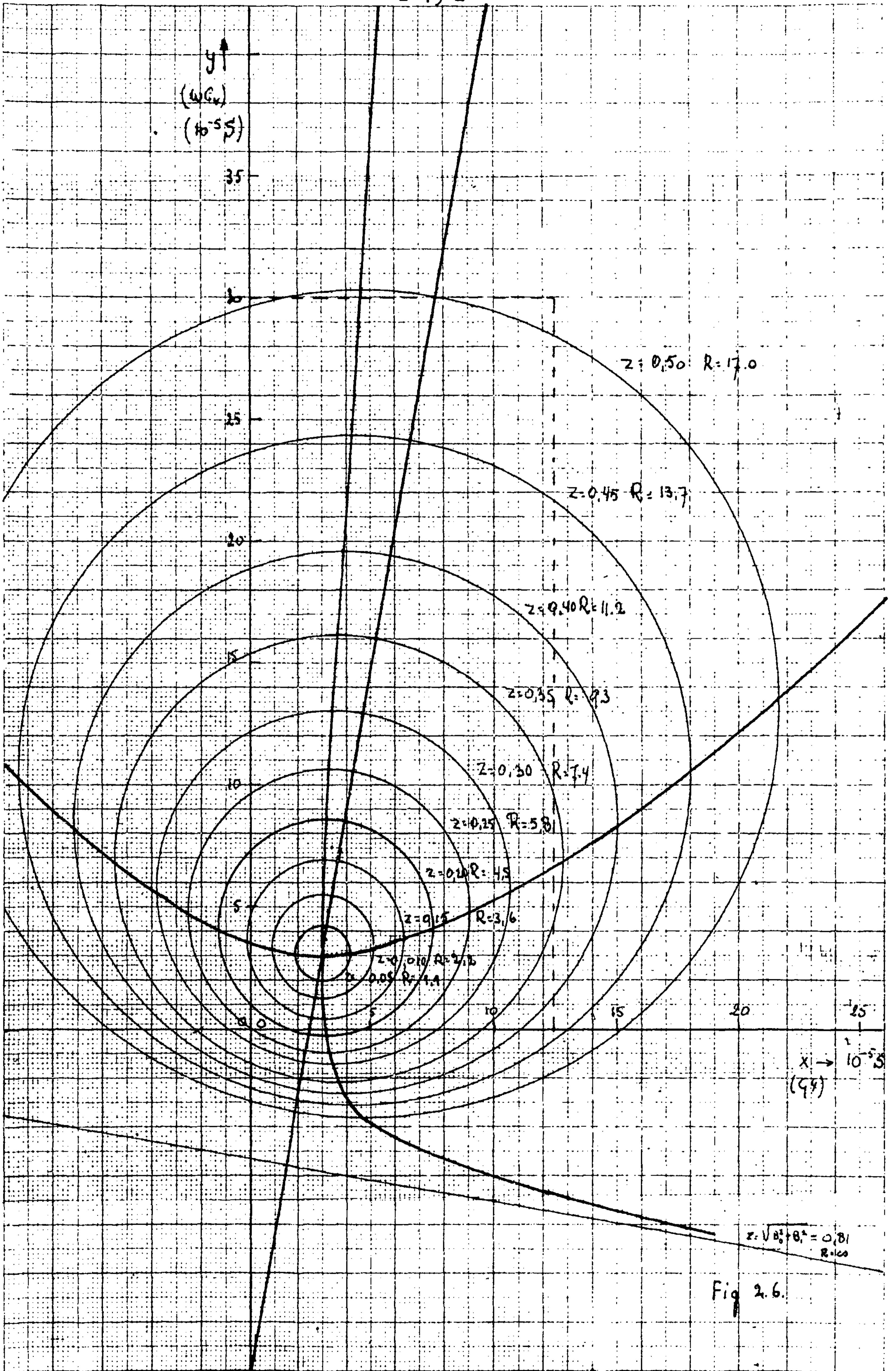
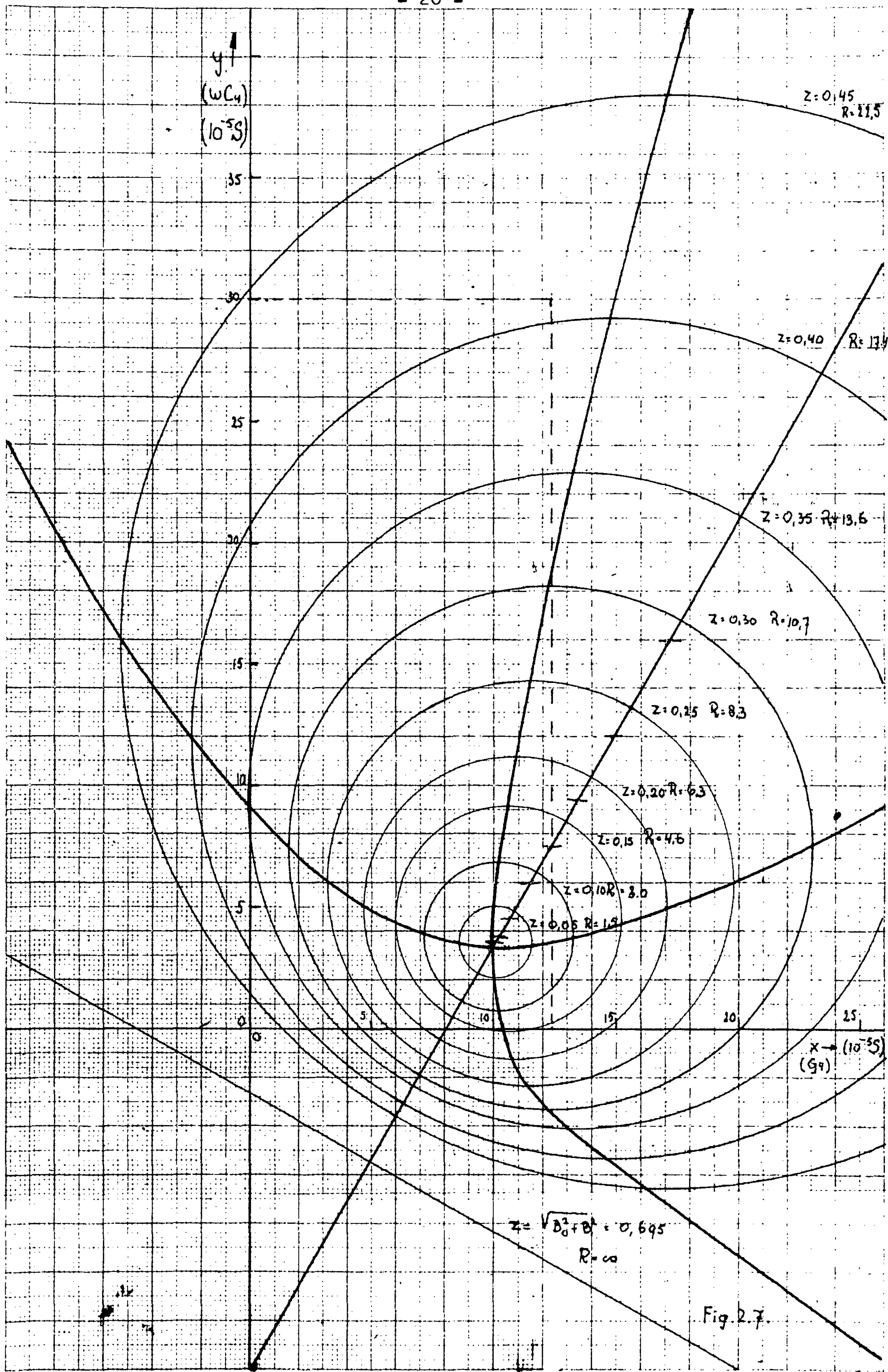


Fig 2.6.





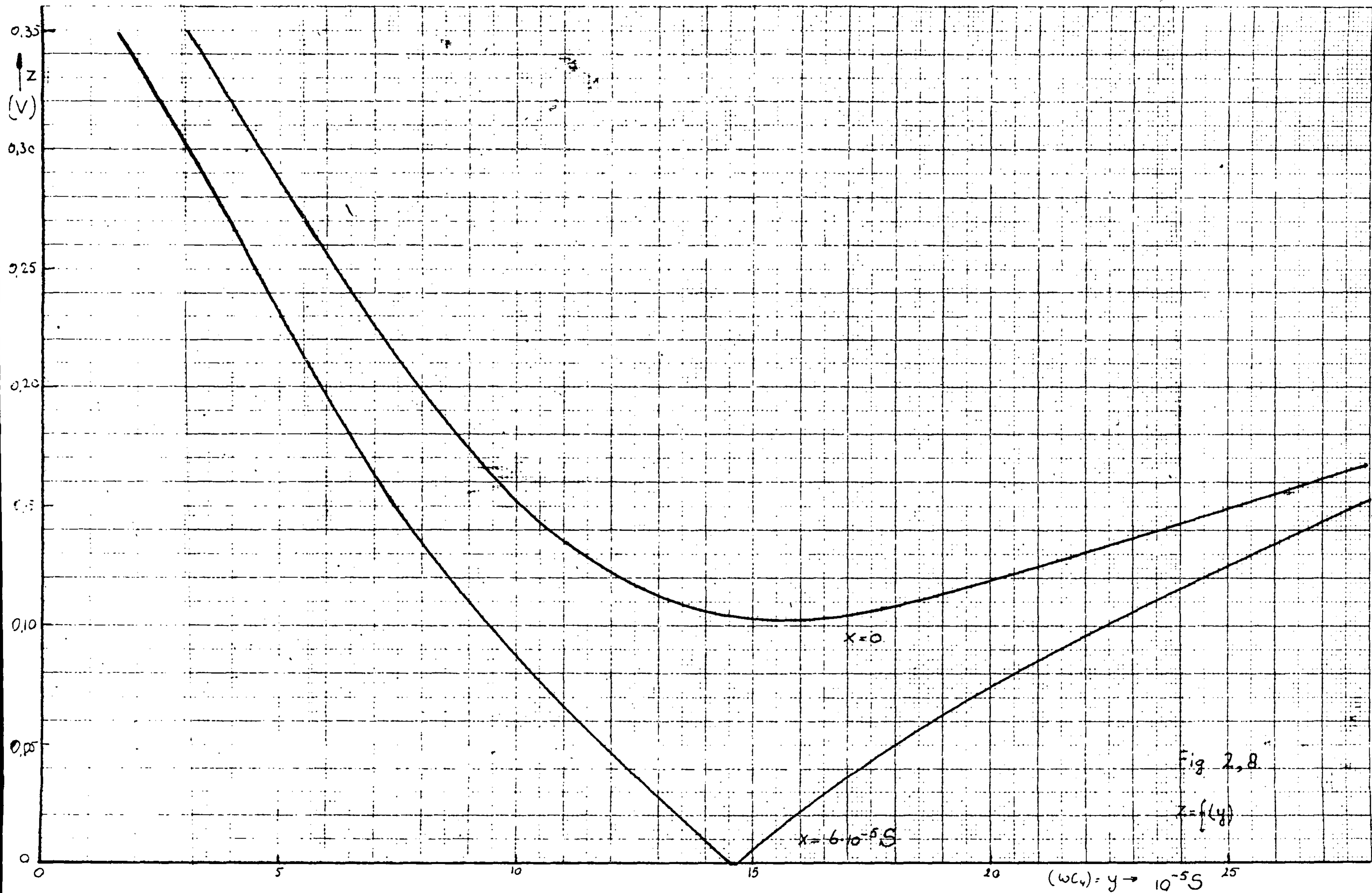


Fig 2,8

$z=f(y)$

### Hoofdstuk 3. De afregelprocedure

In dit hoofdstuk wordt de afregelprocedure beschreven zoals die door ons gerealiseerd is. Met nadruk zij gesteld dat deze methode niet optimaal is. Suggesties en beschouwingen voor wellicht betere procedures zijn in hoofdstuk 5 verwerkt.

Bij het gebruikte systeem gaan we uit van de gedachte dat de regeli-componenten afzonderlijk, dus niet tegelijkertijd, worden afgeregeld. Uit de algemene opzet blijkt dat het beginpunt ligt bij:  $G_4 = 0$  en  $C_4 = 0$ . Of er enige voorkeur bestaat om eerst  $G_4$  of eerst  $C_4$  af te regelen, is geen duidelijke zaak. Gezien de ligging van de minimumlijnen I en II in de hoogtekaarten zou, aannemend dat alle mogelijke combinaties van  $R_x$  en  $C_x$  met gelijke kans kunnen voorkomen, een zekere voorkeur voor  $C_4$  verdedigd kunnen worden. We zijn echter bij onze aanvankelijke keuze om  $G_4$  als eerste af te regelen gebleven.

Het is triviaal dat begonnen moet worden met de meest significante dekade:  $G_4^{100}$ . Via de, - eventueel herhaalde -, cyclus 1, zal het relatieve minimum van  $z$  voor  $C_4 = 0$  gevonden worden. Hierbij treedt een gemiddelde afwijking voor  $G_4$  op van een halve dekade i.e. 50. In cyclus 2 wordt nu overgeschakeld naar de volgende dekade. Bij de gegeven mogelijkheden der constructie is alleen de scherpheid van de totale afregeling, maatstaf voor de beoordeling van een procedure. Het is nu duidelijk dat het tijdverspillen zou zijn om de minder significante dekaden  $G_4^{10}$  en  $G_4^1$ , nu te gaan afregelen om een nauwkeuriger benadering van het relatieve minimum te bereiken. De hoogtekaarten geven n.l. duidelijk aan dat, zolang  $C_4$  nog niet in de buurt van het evenwicht is gebracht, het relatieve minimum van  $G_4$  nog wel enkele honderdtallen van het absolute minimum verwijderd kan zijn. Achteraf zouden de  $G_4^{10}$  en  $G_4^1$  dekaden dan toch weer gecorrigeerd moeten worden. Logisch lijkt dus nu om eerst de  $C_4^{100}$  dekade af te regelen en daarna achtereenvolgens  $R_4^{10}$ ,  $C_4^{10}$ ,  $R_4^1$  en  $C_4^1$ .

(In hoofdstuk 5 wordt hierop teruggekomen, omdat het misschien beter is de honderdtallen dekaden herhaald om en om, af te regelen.)

Bij deze opzet ontstaan enkele moeilijkheden. Wanneer de minimumlijnen liggen zoals aangegeven in fig. 2.3. zal er geen afkeursignaal optreden bij het afregelen van  $G_4^{100}$ , zolang  $C_4$  nog nul is. Zonder maatregelen zou de binaire teller naar de stand 1-1-1-1 lopen.

Deze moeilijkheid is ondervangen, door bij het bereiken van de stand 1-0-1-0 (decimaal 10) met behulp van een poortschakeling, een signaal te doen geven aan de cycluskeuzeschakeling dat overeenkomt met een afkeursignaal uit de interpretatieschakeling. Wanneer dus tijdens het herhalen van cyclus 1 de binaire teller in de stand 1-0-1-0 komt, gaat cyclus 2 lopen, waarbij de dekade teruggezet wordt in de stand 1-0-0-1 (decimaal 9) en de volgende dekade zal worden afgeregeld.

Een tweede moeilijkheid kan duidelijk gemaakt worden aan de hand van fig. 3.1. De figuur is een doorsnede uit het oppervlak  $z = f(x, y)$  met  $G_4$  is constant, zoals reeds eerder geïntroduceerd.

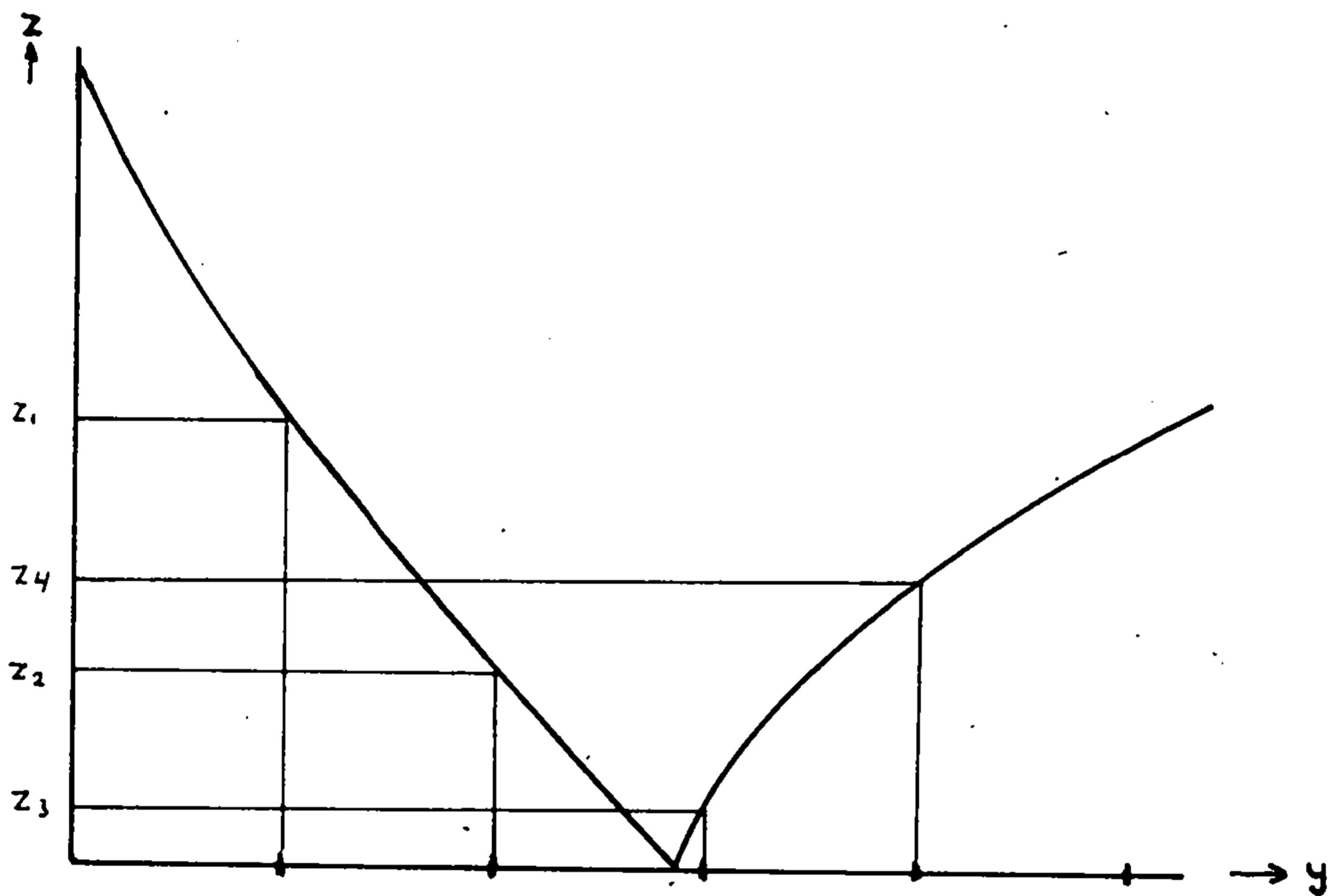


Fig.3.1.

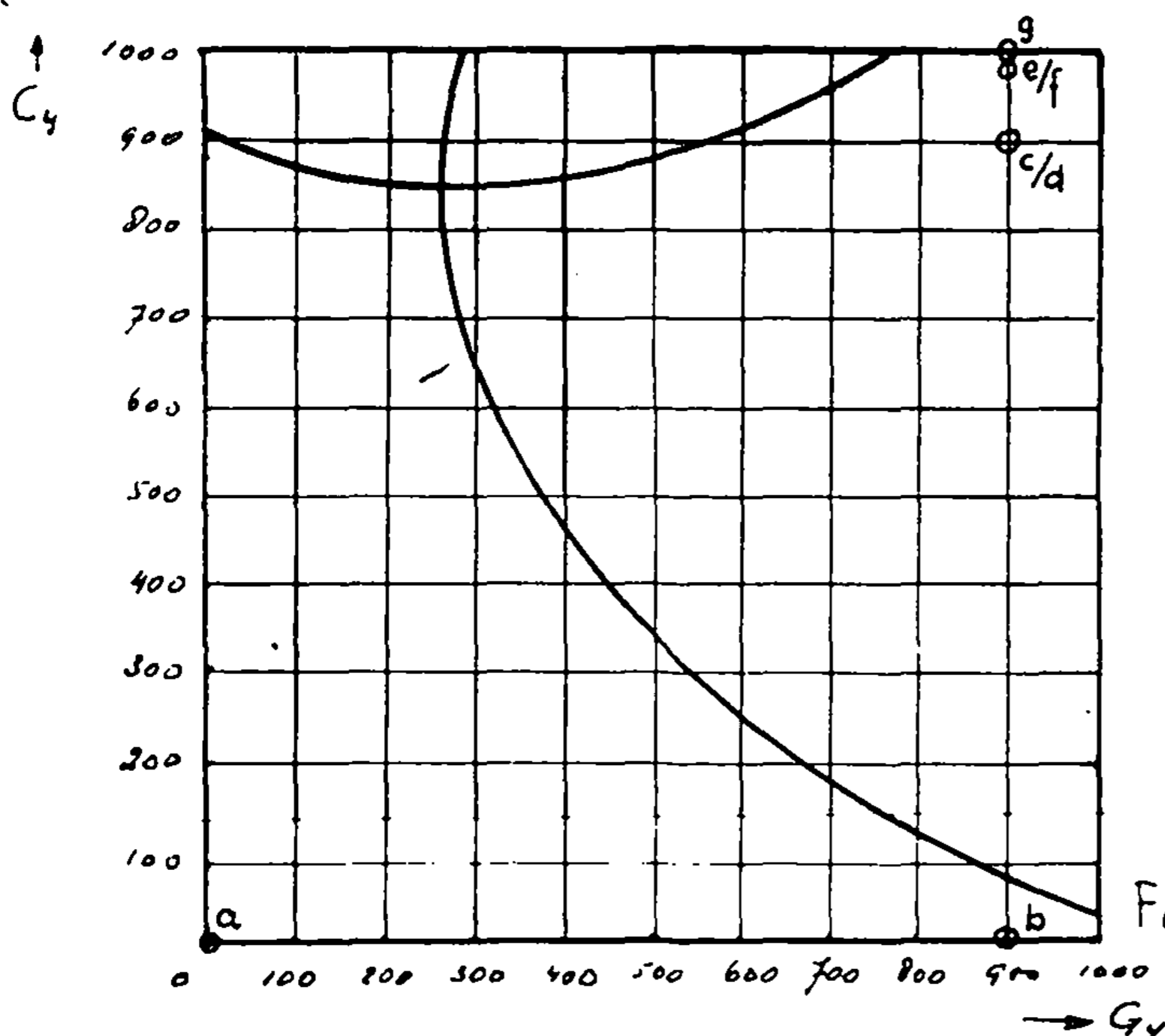
Bij afregelen van  $G_4^{100}$  zullen de uitgangsspanningen achtereenvolgens zijn :  $z_1, z_2, z_3, z_4$ . Pas bij de overgang van  $z_3$  naar  $z_4$  treedt een afkeursignaal op. Daarop wordt  $G_4^{100}$  van 400 naar 300 teruggebracht. Maar nu is  $G_4^{100} = 300$  reeds voorbij het minimum. Dezelfde moeilijkheid zal zich ook voordoen wanneer het eerste relatieve minimum bij een belangrijk hogere waarde van  $G_4$  ligt, dan het evenwichtspunt. Wanneer een van deze situaties zich voordoet, zal bij de afregeling van de tientallen- en eenhedendekade reeds na de eerste wijziging een afkeursignaal ontstaan. Het feit, dat het minimum is overschreden wordt dus gekenmerkt door de stand  $G_4^{100}, G_4^{10}, G_4^1 = x, 0, 0$ , en analoog  $G_4^{100}, G_4^{10}, G_4^1 = 0, 0, 0$ . Een oplossing is gevonden door na het eerste volledige doorlopen

van de zes dekaden, de afregeling voort te zetten, waarbij opnieuw gestart wordt met  $G_4^{100}$ . Deze dekade, en alleen deze, wordt daarbij op nul gezet en daarna op de normale wijze opgehoogd. Zodra nu een afkeursignaal optreedt en cyclus 2 gaat lopen, zal de laatste ophoging niet alleen teruggezet worden, maar de binaire teller krijgt nog een extra aftrekpuls toegevoerd, zodat de nieuwe stand van  $G_4$  wordt:  $x-1, 0, 0$ .

Hiertoe is de ringteller van cyclus 2 met een stap uitgebreid, die deze extra aftrekpuls geeft, maar die geblokkeerd blijft in de "normale" situatie, waarbij de standen  $x, 0, 0$ , en  $y, 0, 0$ , niet voorkomen. De blokkering komt tot stand door een poortschakeling aan de uitleescontacten van de relais. Geheel analoog geldt deze beschouwing voor de gevallen waarbij de standen  $x, x, 0$  en  $y, y, 0$  voorkomen. Dezelfde oplossing is hier gebruikt. Om te voorkomen dat extra aftrekpulsen al in de eerste volledige afregelingsrun optreden, is een teller aangebracht die het aantal runs telt en pas na de eerste, respectievelijk tweede volledige run de extra telpulsen door laat gaan. De teller ontvangt zijn pulsen uit de dekade selector bij het bekrachtigen van de laatste dekadekolom ( $C_4^2$ ).

Tot zover de gerealiseerde afregelprocedure. Er blijft nog een moeilijkheid over die in principe dezelfde oorzaak heeft als de hierboven gesignaleerde.

Het eenvoudigst is weer verduidelijking aan de hand van een voorbeeld, fig. 3.2. Achtereenvolgens ontstaan bij de afregeling de volgende standen.



	$G_4$	$C_4$
a	0, 0, 0,	0, 0, 0,
b	9, 0, 0,	0, 0, 0,
c	9, 0, 0,	9, 0, 0,
d	9, 0, 0,	9, 0, 0,
e	9, 0, 0,	0, 9, 0,
f	9, 0, 0,	9, 0, 0,
g	9, 0, 0,	9, 0, 0,

Fig. 3.2.

Na deze eerste run wordt  $G_4^{100}$  weer afgeregeld en bij de eerste afkeur, (3,0,0), zal door de dan effectieve extra telpuls naar de binaire teller de stand gebracht worden op 1,0,0. Hierdoor wordt de hoogst bereikbare stand voor  $G_4$  1,0,0, wat te laag is.

De beide moeilijkheden gekarakteriseerd door de standen  $x/y, 7, 7$ , en  $x/y, 9, 0$ , vinden hun oorzaak in dezelfde onvolkomenheid van het systeem: er is geen "overflow" van de ene naar de volgende dekade en terug.

Voor het laatste geval  $x, 9, 9$ , zou een zelfde voorziening getroffen kunnen worden als voor de situatie  $x, 0, 0$ . Deze is niet uitgevoerd omdat meer principiële wijzigingen belangwekkender schijnen, temeer omdat aan de werking van een dergelijke voorziening, gezien de ervaring met de analoge voorziening voor de situatie  $x, 0, 0$ , geen twijfel bestaat. Wat betreft deze meer ingrijpende wijzigingen, hiervoor zij verwezen naar hoofdstuk 5.

Hoofdstuk 4. Gedetailleerde beschrijving van het gehele systeem.

In dit hoofdstuk worden de gebruikte schakelingen tot in details besproken. Hierbij wordt de indeling in afzonderlijke eenheden aangehouden zoals deze al in het blokschema van fig. . . . naar voren zijn gekomen met de voorzieningen genoemd in hoofdstuk 3.

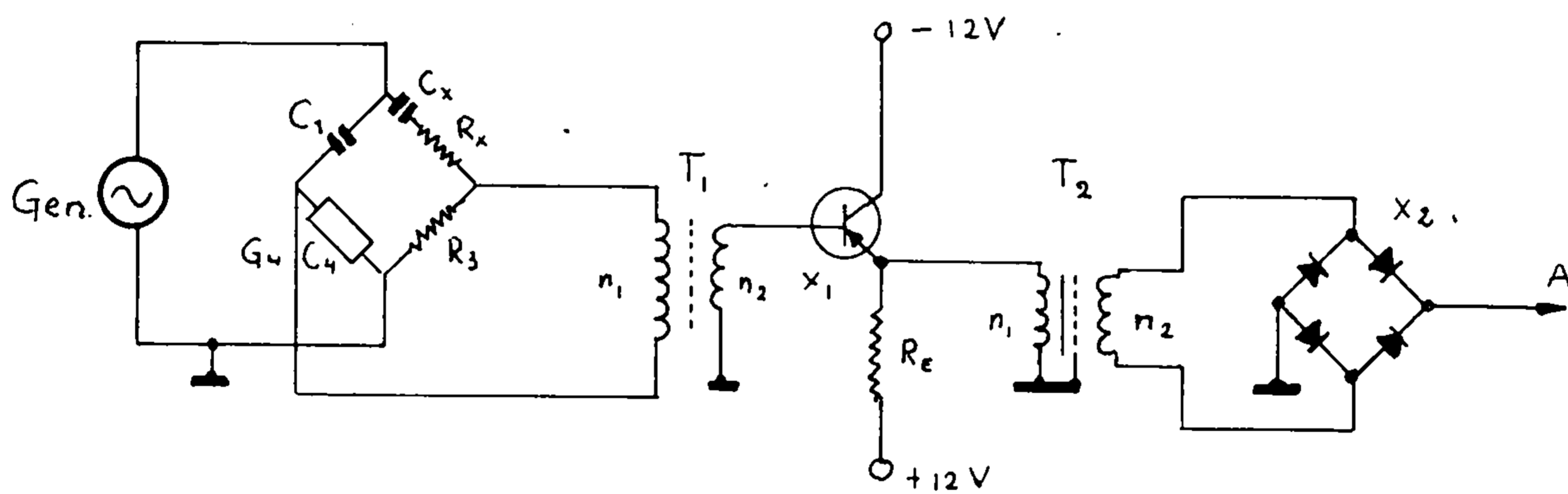
Daarnaast worden enkele completere schakelingen van meer of minder belang, welke nog niet genoemd zijn, beschreven.

De uitvoering van de gehele schakeling geschiedde bij de groep Telecommunicatie B van de Technische Hogeschool Eindhoven. Voor de afzonderlijke bouwstenen werd gebruik gemaakt van de daar voorhanden zijnde eenheden. De technische specificaties van deze bouwstenen zijn opgenomen in de map: Documentatie bouwstenen ECB. De codering welke hierin gebruikt wordt, is aangehouden in dit hoofdstuk. Een beknopt overzicht van de symboliek en nomenclatuur is op blz. 41- gegeven.

4.1.

De brug met de uitgangsversterker en gelijkrichter.

De schakeling heeft de volgende opbouw: (fig. 4.1.)



Gen: Peckel l.f. generator  
 $f=5000$  Hz.  $V_u = 35V$  eff.

Brug:  $C_1=4700$  pF  
 $R_1=5000$  Ohm  
 $R_3$   
 $C_2, R_2, C_3, C_4$  zie tekst.

$T_1$ : Ferroxcube kern  $\mu=38$   
 $n_1=1250$   $L_1=1,02$  H  
 $n_2=1550$   $L_2=1,67$  H

$T_2$ : General Radio 1578-1  
 $n_1=2400$   
 $n_2=400$

$X_1$  = AG 12C Philips

$X_2$  = basiscollector diode 2N1305 Raytheon

$R_e$  = 5600  $\Omega$

$G_4$  en  $C_4$  zijn als volgt opgebouwd:

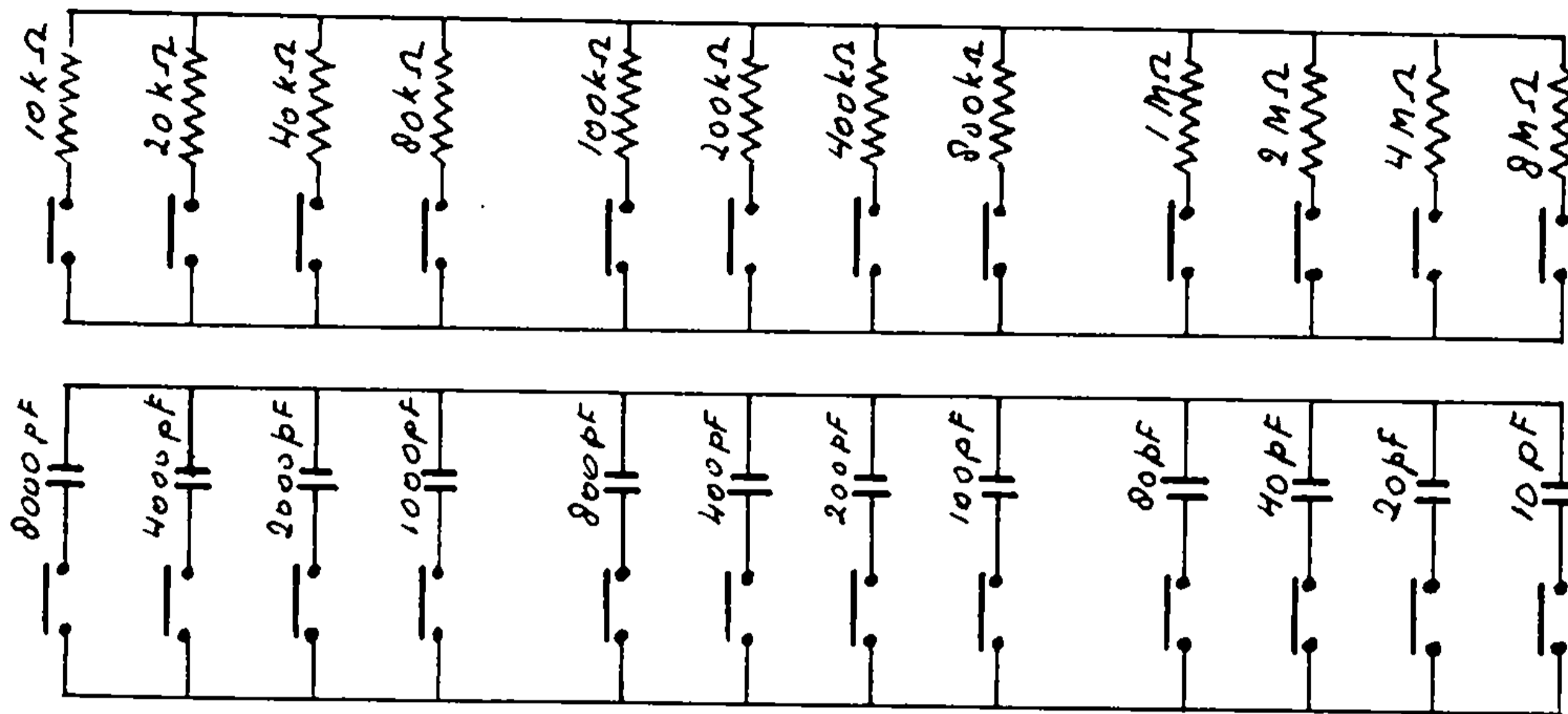


Fig. 4.1.2.

$G_4$  is dus maximaal (alle dekaden op 1010):  $125 \cdot 10^{-6}$  S en  $C_4$  max is:  $999 \cdot 10^{-11}$  Farad.

Hieruit volgt voor de grenzen van  $R_x$  en  $C_x$ , door substitutie in de evenwichtsvoorwaarden:

$$R_x = R_3 \frac{C_4}{C_1} \quad R_{x \text{ max}} = \sim 15k$$

$$C_x = \frac{C_1}{R_3 C_4} \quad C_{x \text{ max}} = \sim 5,5nF$$

De grenzen van  $R_x$  min en  $C_x$  max die theoretisch 0 en  $\infty$  zijn, hangen in de praktijk af van de gevraagde nauwkeurigheid i.v.m. de parasitaire capaciteiten en isolatieweerstanden in de regeltak.

De transformatoren zijn aangebracht vanwege aardingsmoeilijkheden. De emittervolger heeft ten doel de bruguitgang niet te veel te belasten.

#### 4.2. De vergelijkingsschakeling

De opbouw is als volgt, fig. 4.2.1.

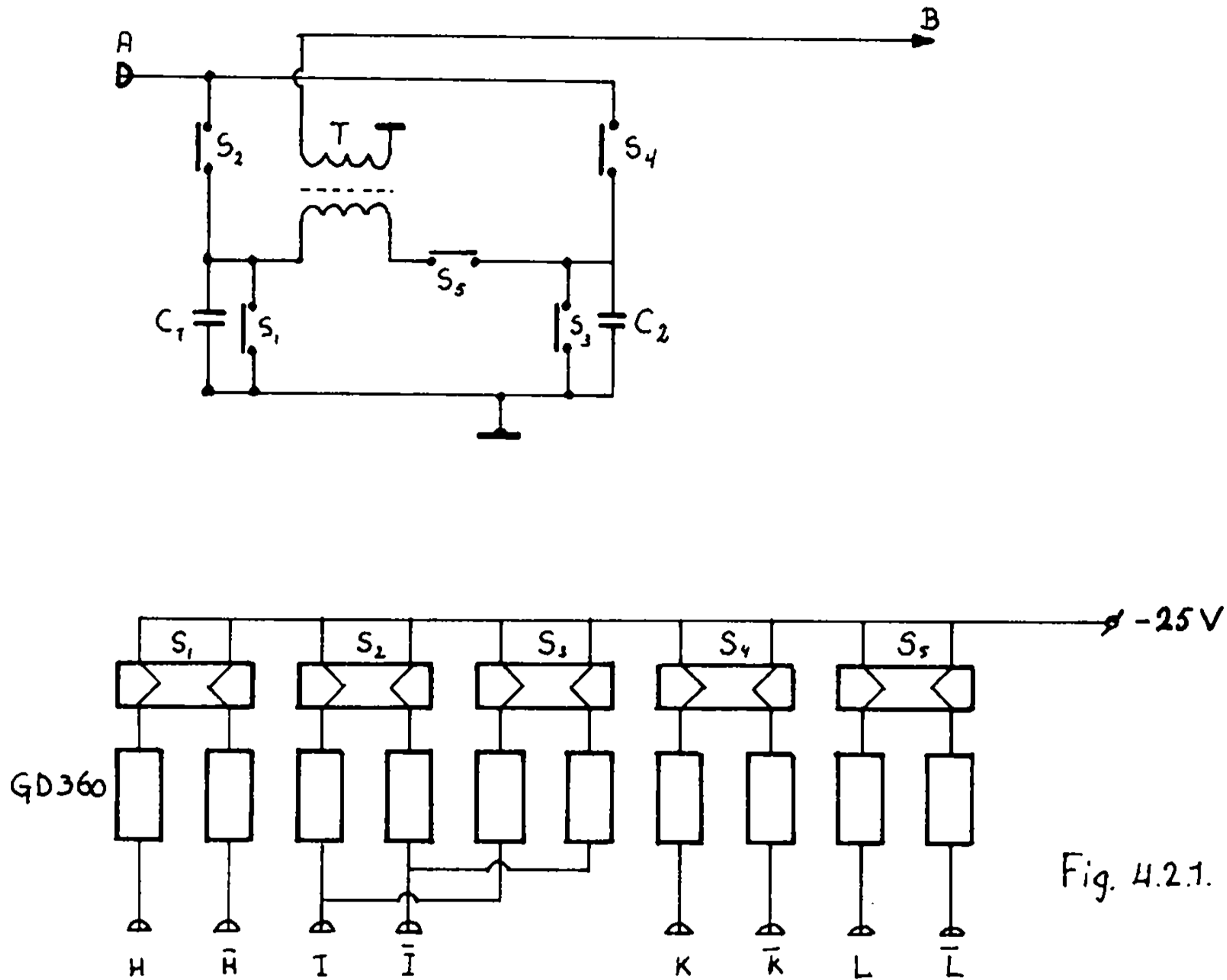


Fig. 4.2.1.

$S_1 S_2 S_3 S_4 S_5$ : mercury wetted reed relays

Clare HGSL 1019 bistable  $R_{\text{core}} = 1250 \Omega$

$C_1 = C_2 = 82 \text{ nF}$  )

$T_1$ : ferroxcube kern  $\alpha = 60$  )

$n_1 = n_2 = 270$   $L = 20,3 \text{ H}$  )

$f_{\text{resonantie}} = \sim 5000 \text{ Hz}$

fig. 4.2.1.

Nog niet eerder genoemd zijn de contacten  $S_1$  en  $S_2$ . Deze zijn aangebracht om de geheugencondensatoren snel te kunnen laden.



Het tijdsvolgorde diagram wordt nu als volgt:

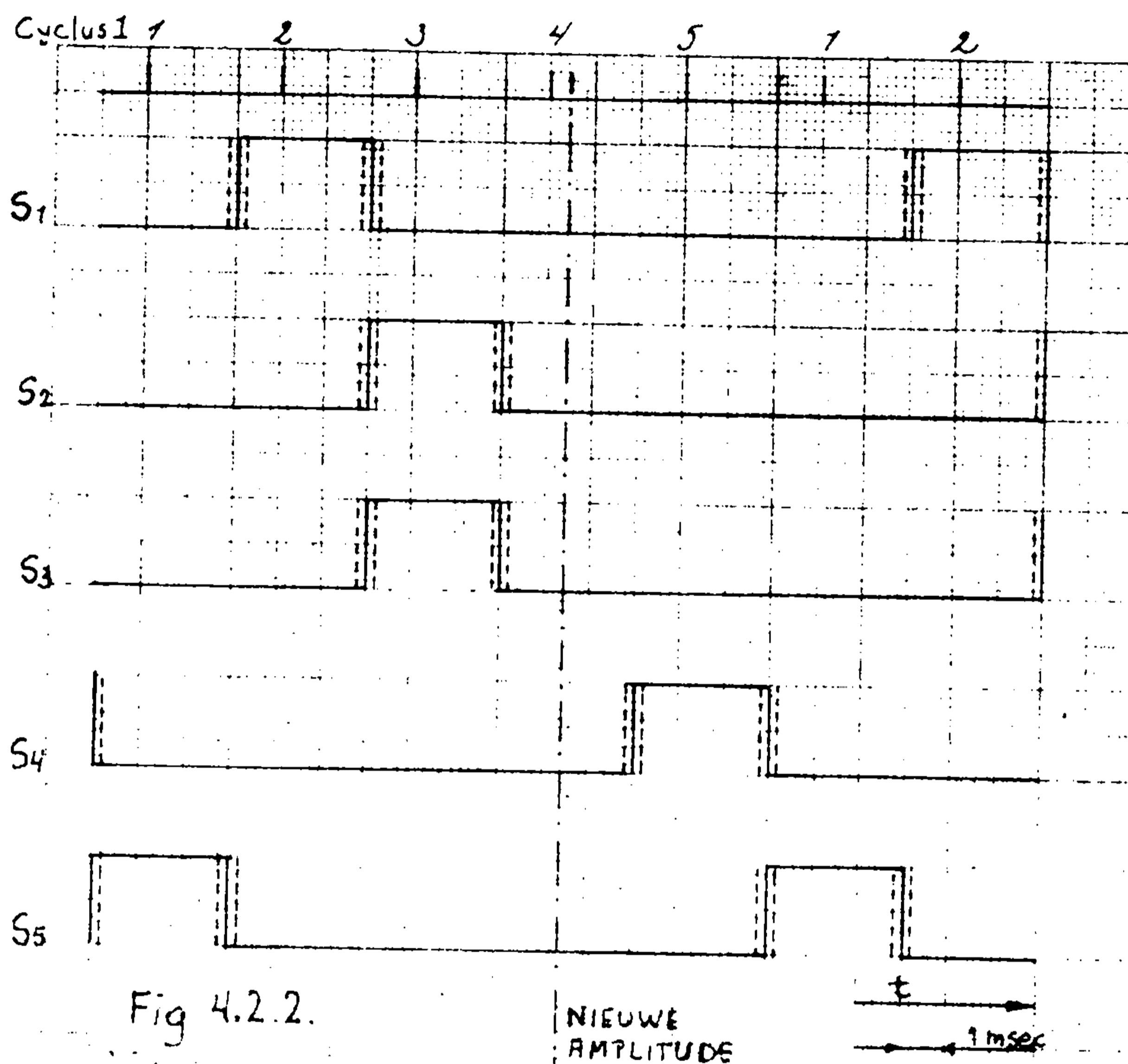


Fig 4.2.2.

Aangegeven is ook de vertraging tussen de stappen in cyclus 1 en het sluiten van de contacten, (ca. 2 msec.). De contacten in de relais-matrix van de regeltak sluiten met een grotere vertraging, ca 3,5 msec., zodat de "nieuwe" amplitude pas 3,5 msec. na stap 3 in cyclus 1 ontstaat. De bekrachtiging van de relais in de matrix is n.l. geringer dan die van de relais in de vergelijkings-schakeling. Bij de klokfrequentie zoals hier getekend, ca. 350 Hz., valt echter het verschijnen van de nieuwe amplitude op een moment dat alle relais-contacten geopend zijn, zodat geen storingen kunnen optreden.

### 4.3. Flankdetektie

Deze is geheel samengesteld uit bouwstenen, fig. 4.3.1.

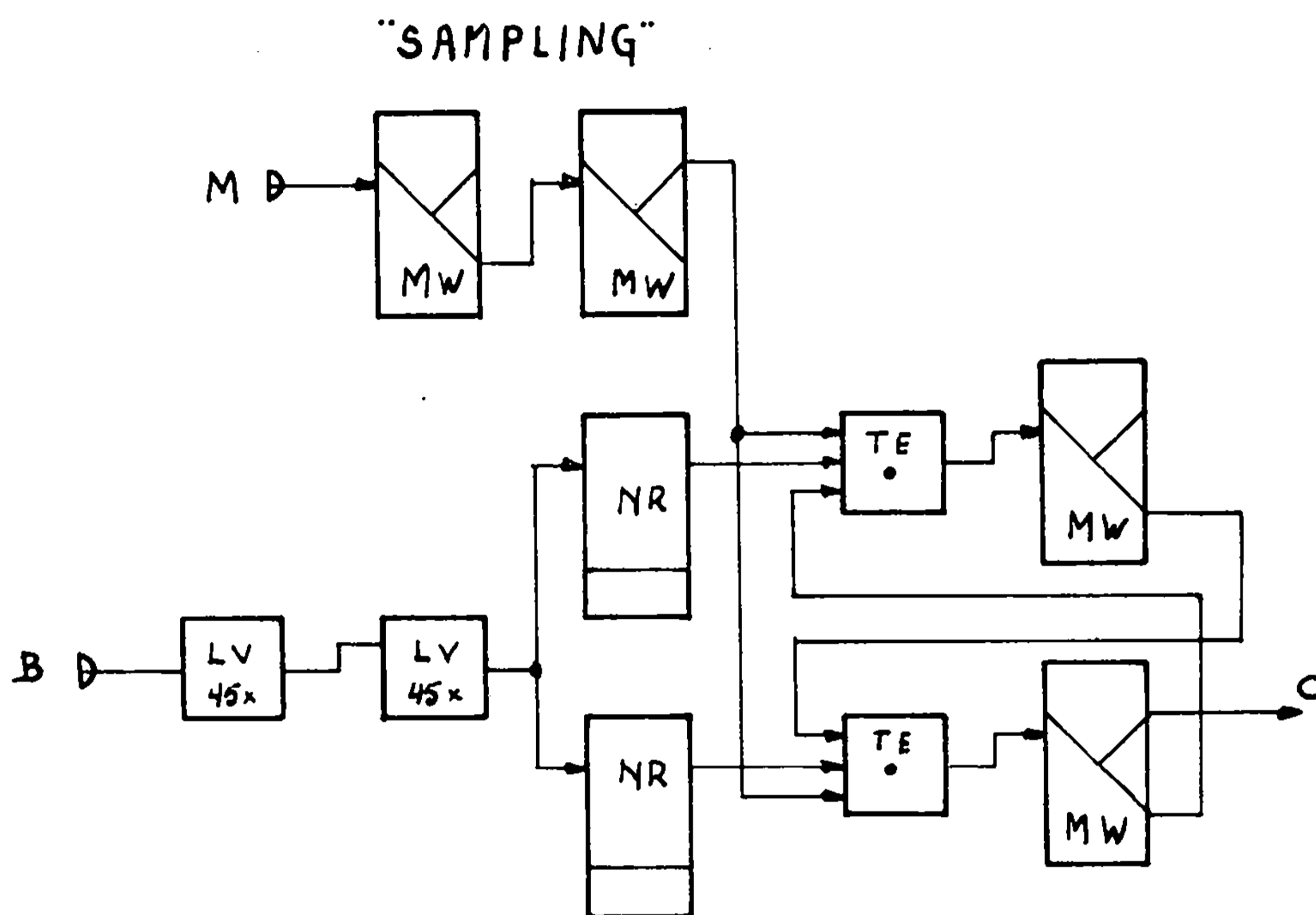


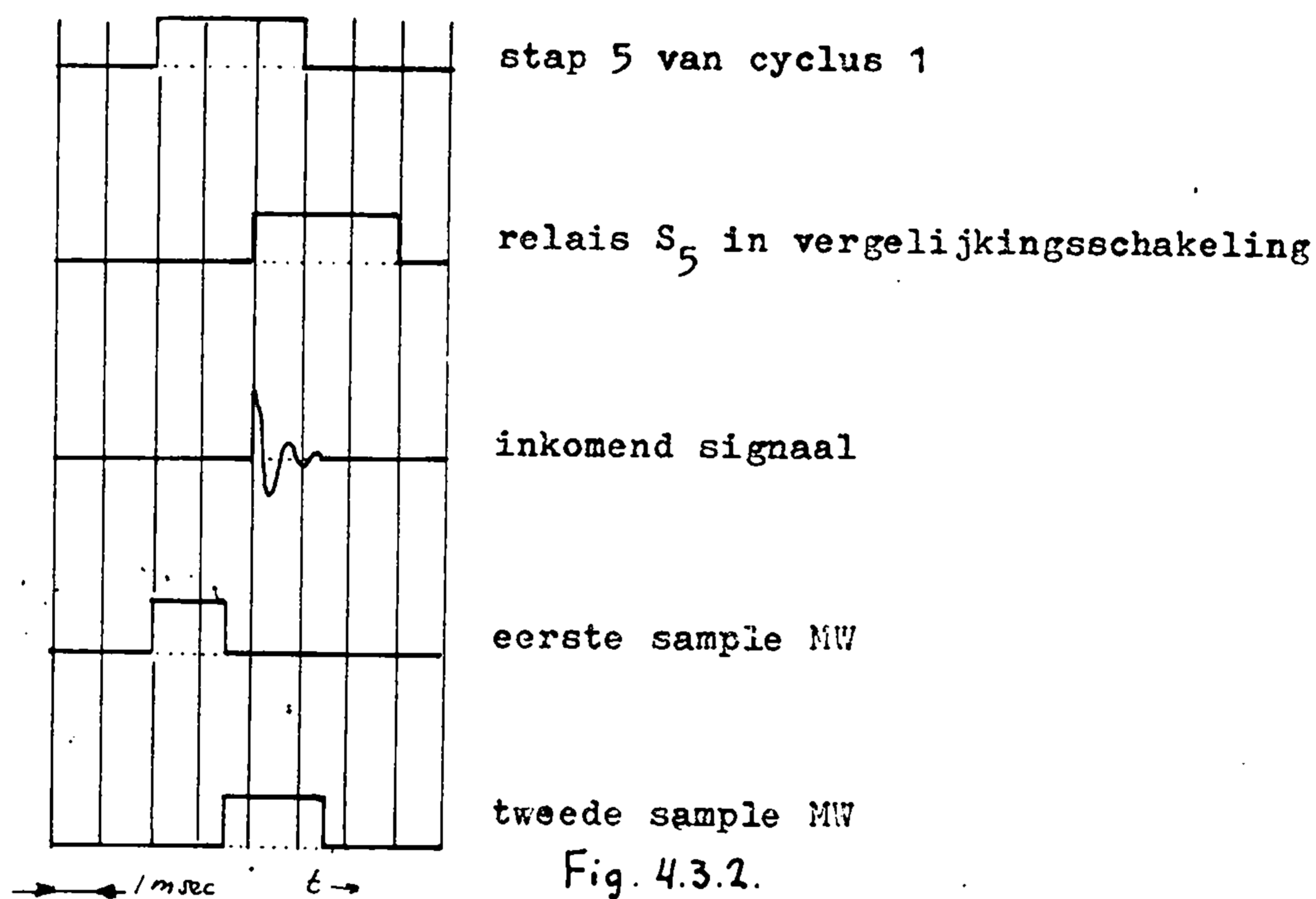
Fig. 4.3.1.

Het signaal uit de vergelijkingsschakeling wordt tweemaal versterkt. Door deze grote versterking wordt bereikt, dat ook kleine amplitudeveranderingen steeds een te detekteren flank opleveren. Experimenteel werd gevonden dat een totale versterking van 2025 in alle gevallen volstond.

Met behulp van twee niveauregeneratoren (Schmitt-trigger), die als niveaudetektoren worden gebruikt, wordt de eerste flank onderscheiden in positief of negatief. Door middel van twee poorten en monowips (MW) wordt dan blokkering gemaakt voor de volgende flanken van de puls. Wanneer een NR omslaat, start deze de bijbehorende MW die door zijn

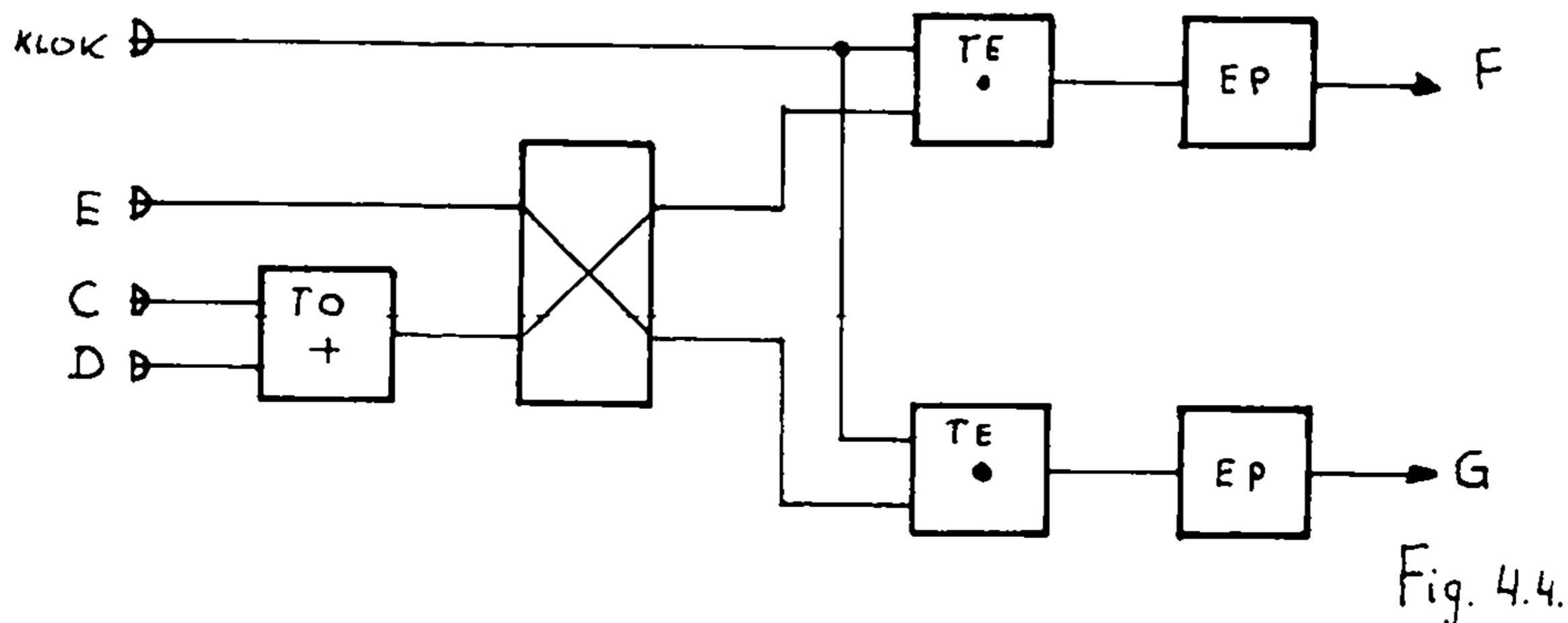
"0"-uitgang de ingang van de andere MW blokkeert.

Door de grote versterking van het inkomend signaal is de schakeling gevoelig voor stoorpulsen. Afscherming gaf geen afdoende oplossing. Verhalve worden beide poorten geblokkeerd, totdat de beide MW's met aanduiding "sampling" gestart worden door een puls (stap 5) uit cyclus 1. De tijden zijn zó ingesteld, dat bij het verschijnen van de pulsen uit de vergelijkingsschakeling aan de ingang, het signaal kan doorgaan via de EN-poorten; fig. 4.3.2.



#### 4.4. Cyclus-keuze.

Afhankelijk van de stand van de biwip (fig. 4.4.) gaan de klokpulsen naar cyclus 1 of 2.



Een puls op de E ingang zet de biwip in de "1" stand, zodat cyclus 1 gaat lopen; de ingangen C en D corresponderen met cyclus 2.

Teneinde de poorten niet te zwaar te belasten zijn emittervolgers tussengeschaakeld.

Ingang C is verbonden met de flankdetectie en ingang D wordt gestuurd zodra de stand 1010 in de binaire teller van het uitvoerend orgaan verschijnt (zie hoofdstuk 3). In beide gevallen moet cyclus 2 in werking treden. De laatste stap van cyclus 2 stuurt ingang E om cyclus 1 weer in te schakelen.

#### 4.5. Cyclus 1

De schakeling bestaat uit een ringteller of zo men wil, een schuifregister met in- en uitgang aan elkaar verbonden, waarin steeds één bit circuleert. fig. 4.5.

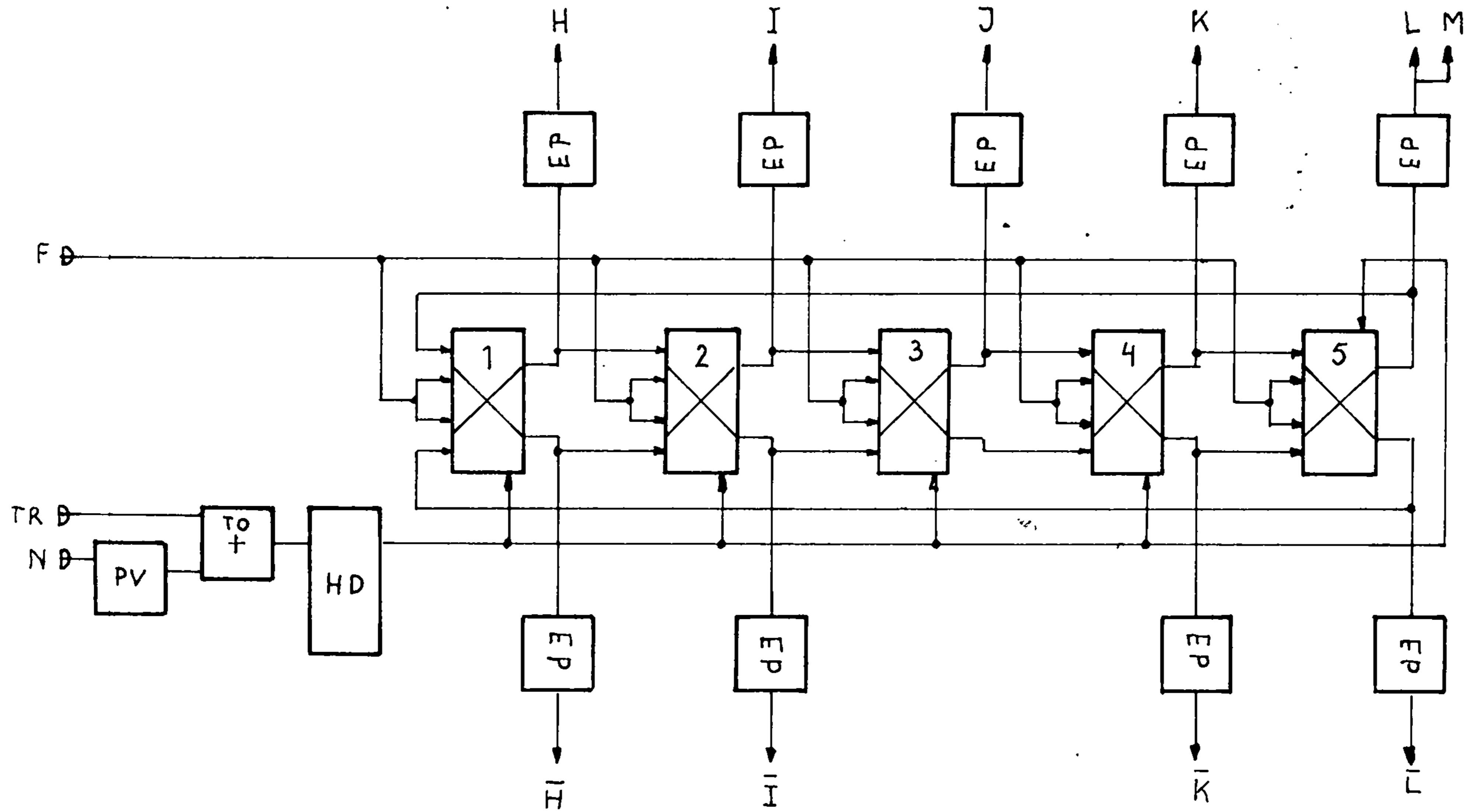
De schuifpuls komt van de klok via de programmakeuze op ingang G. De "1" en "0" uitgangen van de schuifwips zijn via emittervolgers verbonden met de relaisspoelen  $S_1 - S_{2/3} - S_4 - S_5$  van de vergelijkings-schakeling. Stap 5 geeft bovendien het startsignaal aan de sampling-schakeling in de flankdetectie.

Stap 3 is verbonden met de toelingang van de binaire teller in het uitvoerend orgaan en zal dus de dekade die afgeregeld wordt met één eenheid verhogen.

Tenslotte is een resetingang voorzien die via een hersteldrijver HD, de ringteller in stand 5 zet. Deze wordt bediend door de totale reset TR en door de eerste stap van cyclus 2. Wanneer cyclus 1 gaat lopen moet de eerste klokpuls stap 1 te weeg brengen. Als dit na een afkeuring gebeurt, is cyclus 1 in stand 5 blijven staan, wat juist is. Indien echter de stand 1010 in de binaire teller de afkeurcyclus heeft gestart is cyclus 1 in stand 3 achtergebleven. Bij het verder gaan zouden dan storingen optreden.

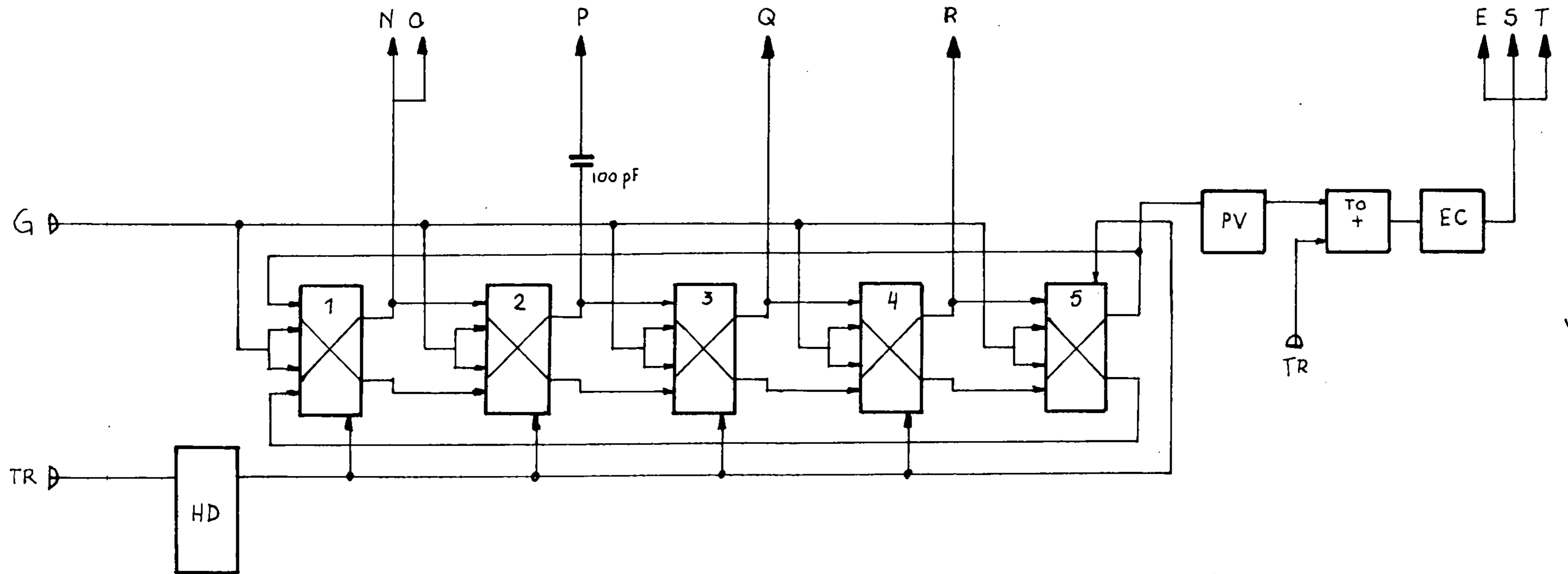
#### 4.6. Cyclus 2.

Cyclus 2 is eveneens een ringteller opgebouwd uit schuifwips SW. fig. 4.6. De schuifpulsingang is G. Stap 1 brengt de binaire teller in de stand af-trekken(O) en de reset cyclus 1 (N). Stap 2 geeft een telpuls aan de binaire teller (wijzigingen ongedaan maken P); de seriecondensator



CYCLUS 1

Fig. 4.5



CYCLUS 2

Fig. 4.6.

veroorzaakt een betere puls. Stap 3 geeft de extra aftrekpuls voor de in hoofdstuk 3 beschreven situatie x,0,0, (Q). Stap 4 zet de dekadeselector van het uitvoerend orgaan in de volgende stand en tenslotte zorgt stap 5 voor de verschillende resets:

- de binaire teller weer laten optellen; (S)
- de binaire teller in stand 0-0-0-0; (T)
- de programmakeuze terug op cyclus 1. (E)

Deze resets vragen nogal energie, vandaar de complementaire emittervolger EC.

#### 4.7. Bedienend orgaan.

Dit valt uiteen in enkele eenheden.

##### 4.7.1. Binaire teller.

Dit is een normale tweezijdige teller met vier bits. fig.4.7.1.1.

De biwips zijn verbonden door de combinatiepoorten (twee EN-poorten en een CF-poort: PECS).

De uitgangen van de biwips zijn via emittervolgers met de relaismatrix verbonden. Wat betreft de "0" uitgang, deze moet in staat zijn zes relais tegelijkertijd te bekrachtigen, n.l. bij de totale reset als alle relais op "0" moeten komen. Vandaar de tussenschakeling van een extra emittervolger (OC 140) volgens fig. 4.7.1.2.

De stand optellen of aftrekken van de teller wordt ingesteld door biwip OA; de sturing komt van cyclus 2 (S en O).

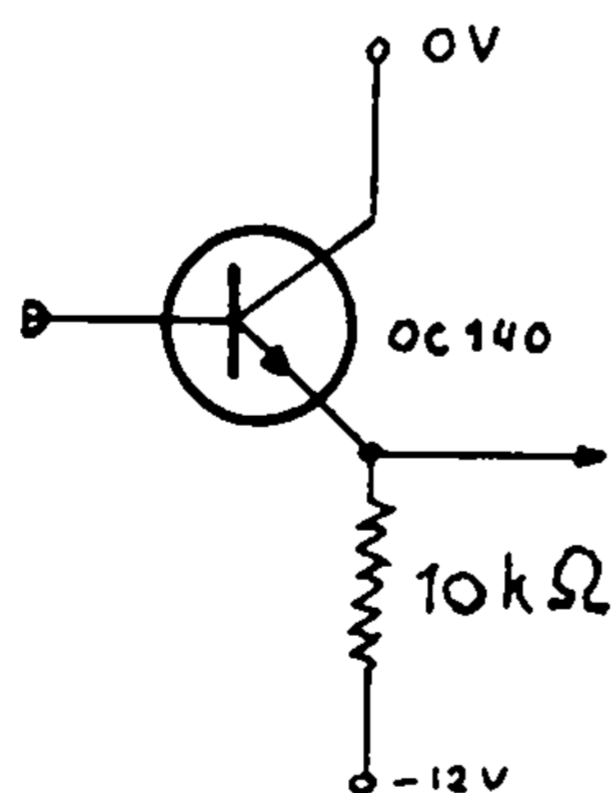
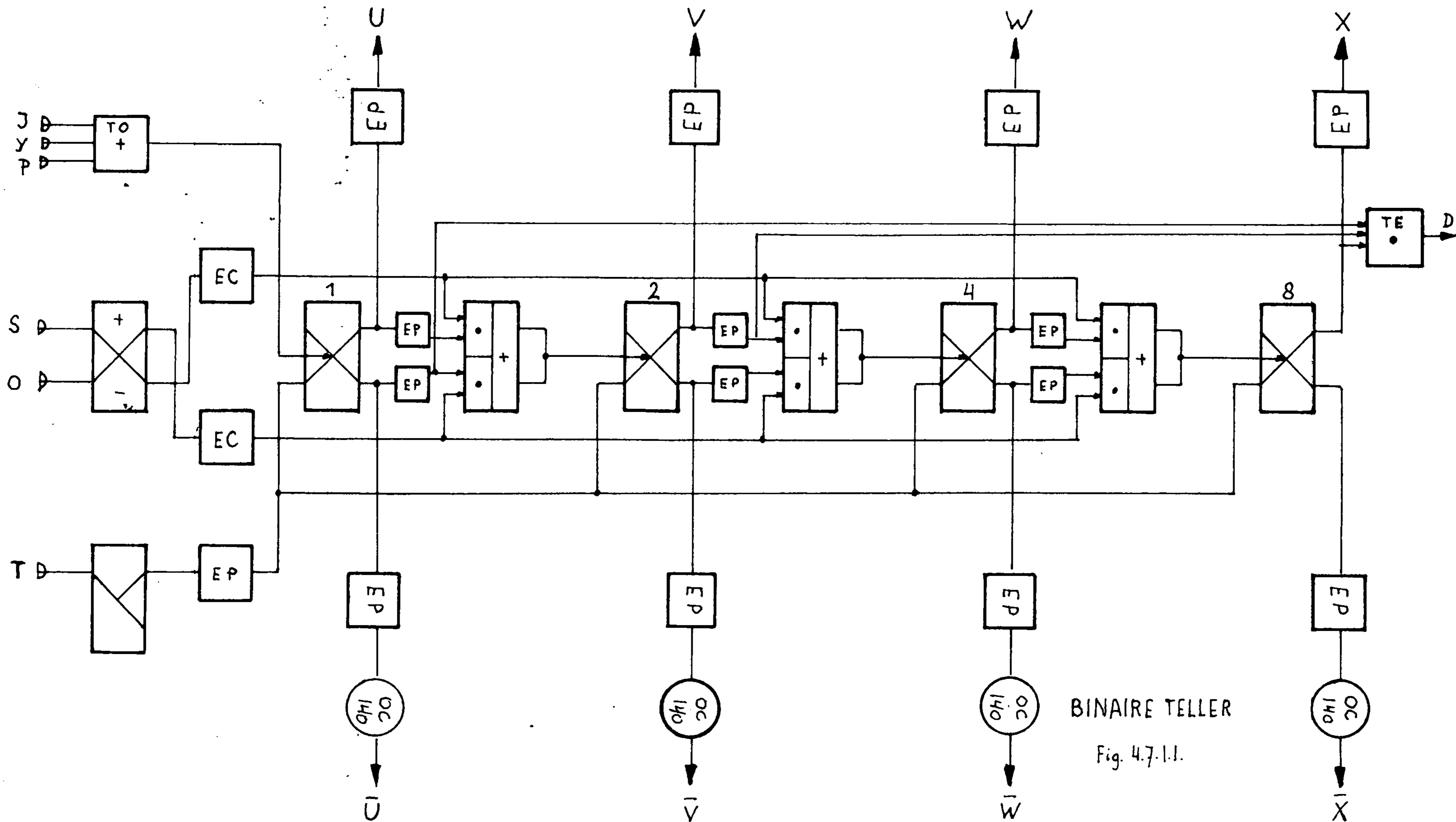


Fig. 4.7.1.2.

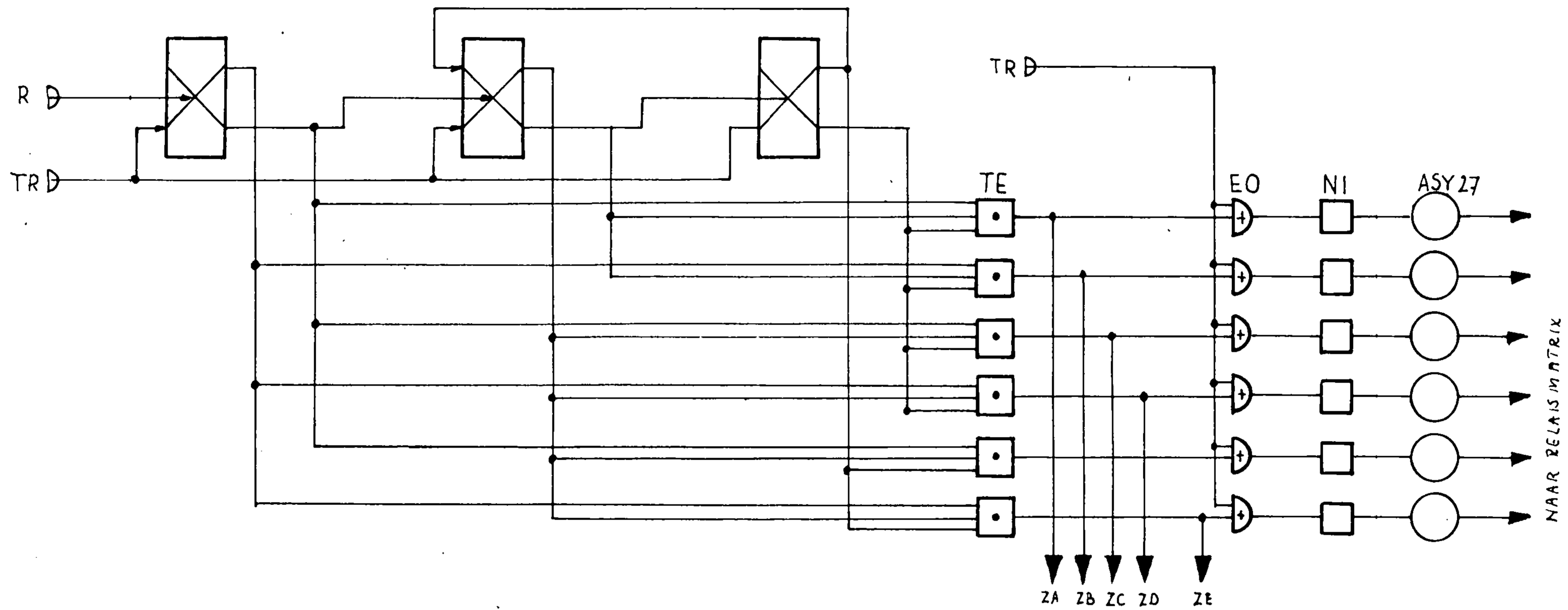
##### 4.7.2. Dekadeselector

Deze bestaat uit een normale drie-bits binaire teller met terugkoppeling zodat zes onderscheiden standen mogelijk zijn, fig. 4.7.2.1. De tellingang is verbonden met stap 4 van cyclus 2, (R). Via poorten worden de zes standen gedecodeerd. Deze uitgangen worden enerzijds via invertereenheden NI en emittervolgers (ASY 27, (fig. 4.7.3.2.))



BINAIRE TELLER  
Fig. 4.7.1.1.





DEKADE SELECTOR

Fig. 4.7.2.1.

met de relaismatrix verbonden en anderzijds met de schakeling voor minimum-overschrijding (ZA-ZB-ZC-ZD-ZE).

4.7.3. Relaismatrix.

De matrixrijen zijn verbonden met de binaire teller, de kolommen met de dekadeselector (fig. 4.7.3.1).

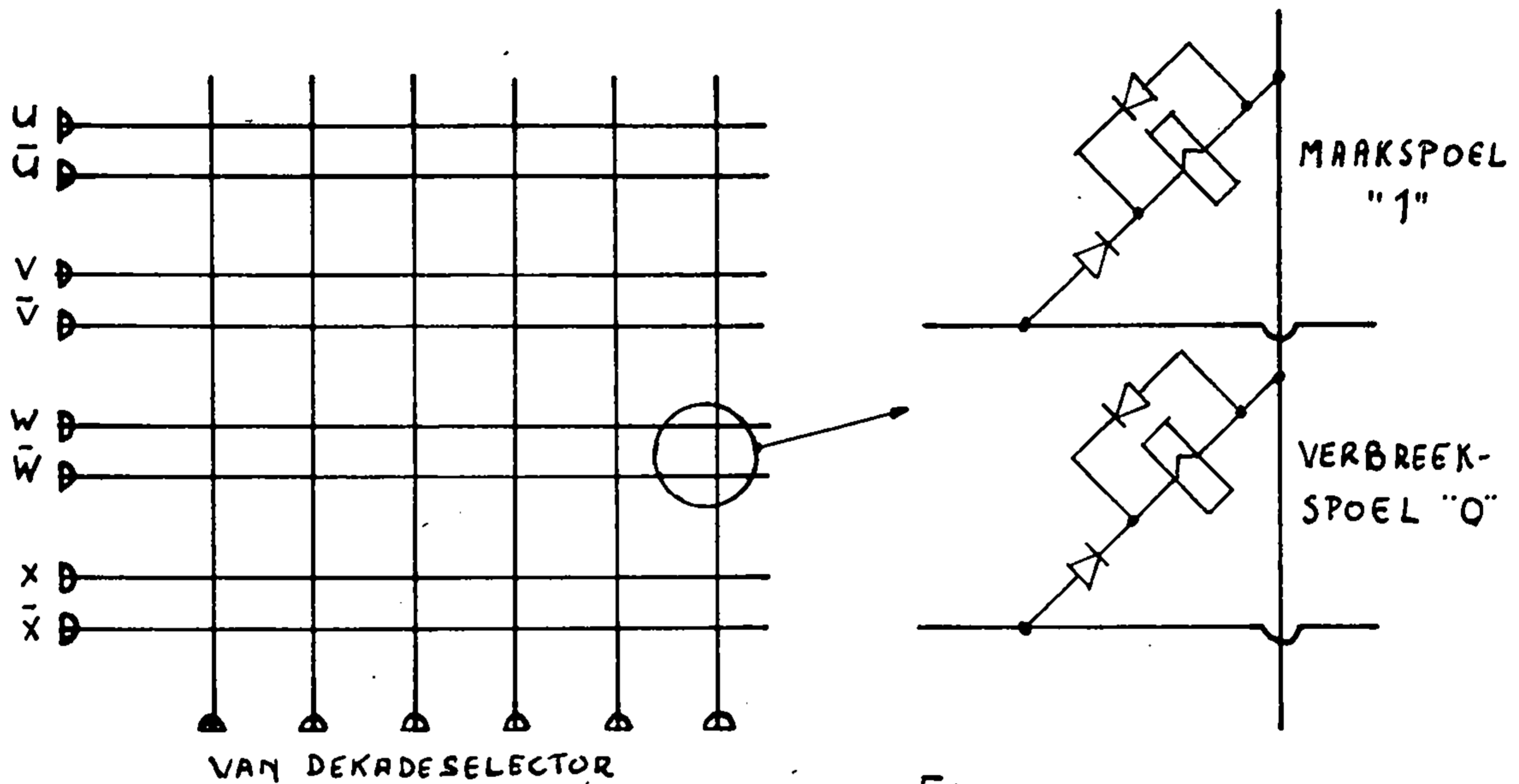


Fig. 4.7.3.1

In serie met de spoelen zijn diodes aangebracht die voor de scheiding zorg moeten dragen. De dioden welke parallel aan de spoel staan, dempen de spanningsstoot welke bij afschakeling ontstaat.

Ter verduidelijking is het stroomcircuit van een spoel aangegeven, in dit geval een "0"-spoel, fig. 4.7.3.2.

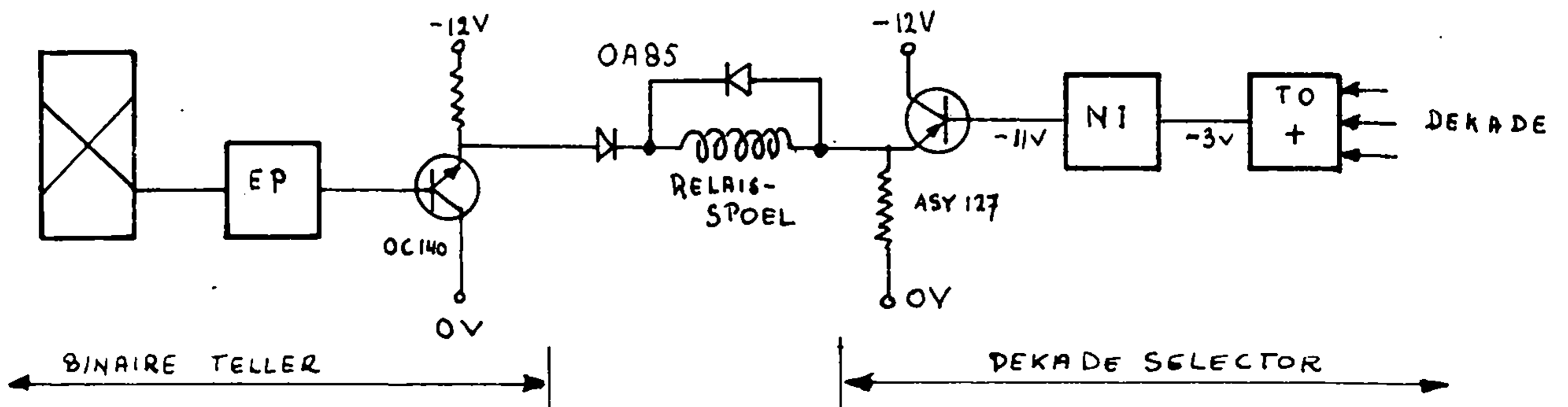
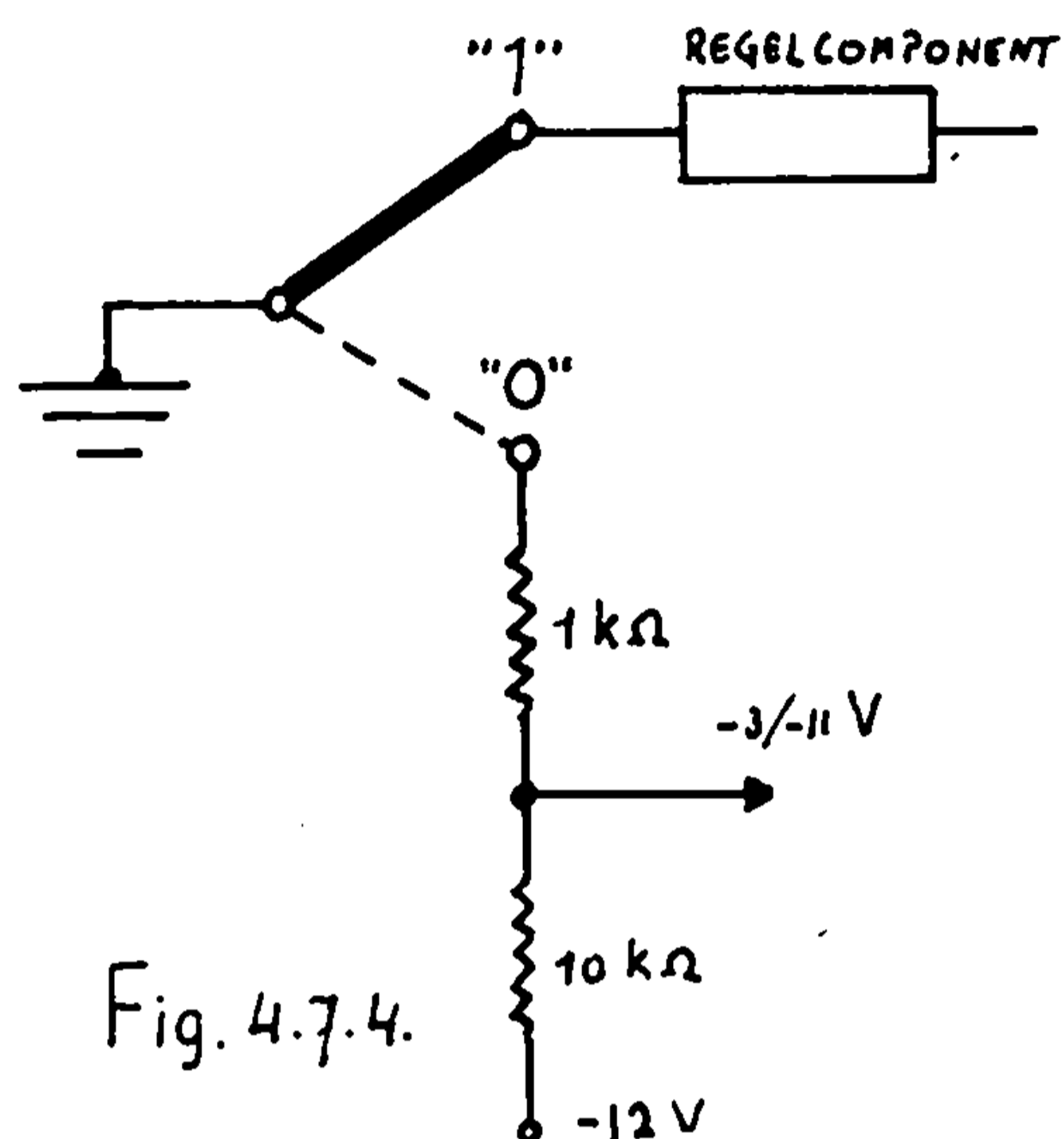


Fig. 4.7.3.2

#### 4.7.4. "Nulleescontacten.

De relais hebben één wisselcontact. Het anker is verbonden met aard-potentiaal, 0 Volt. In de "1" stand wordt daarmee een component van de regeltak met de brug verbonden.

In de "0" stand wordt een spanningsdeler ingeschakeld, fig. 4.7.4.



Op de uitgang ontstaat nu een geïnverteerd

signaal: "0" - -3 Volt

"1" - -11 Volt.

Dit signaal wordt toegevoerd aan de schakeling voor minimum-overschrijding. Een decodering om de bereikte stand van de regeltak decimaal uit te kunnen lezen is niet uitgevoerd, doch kan eenvoudig met poorten gerealiseerd worden. Tijdens het onderzoek werd binair uitgelezen met behulp van indicatorbuisjes DM 16C Philips.

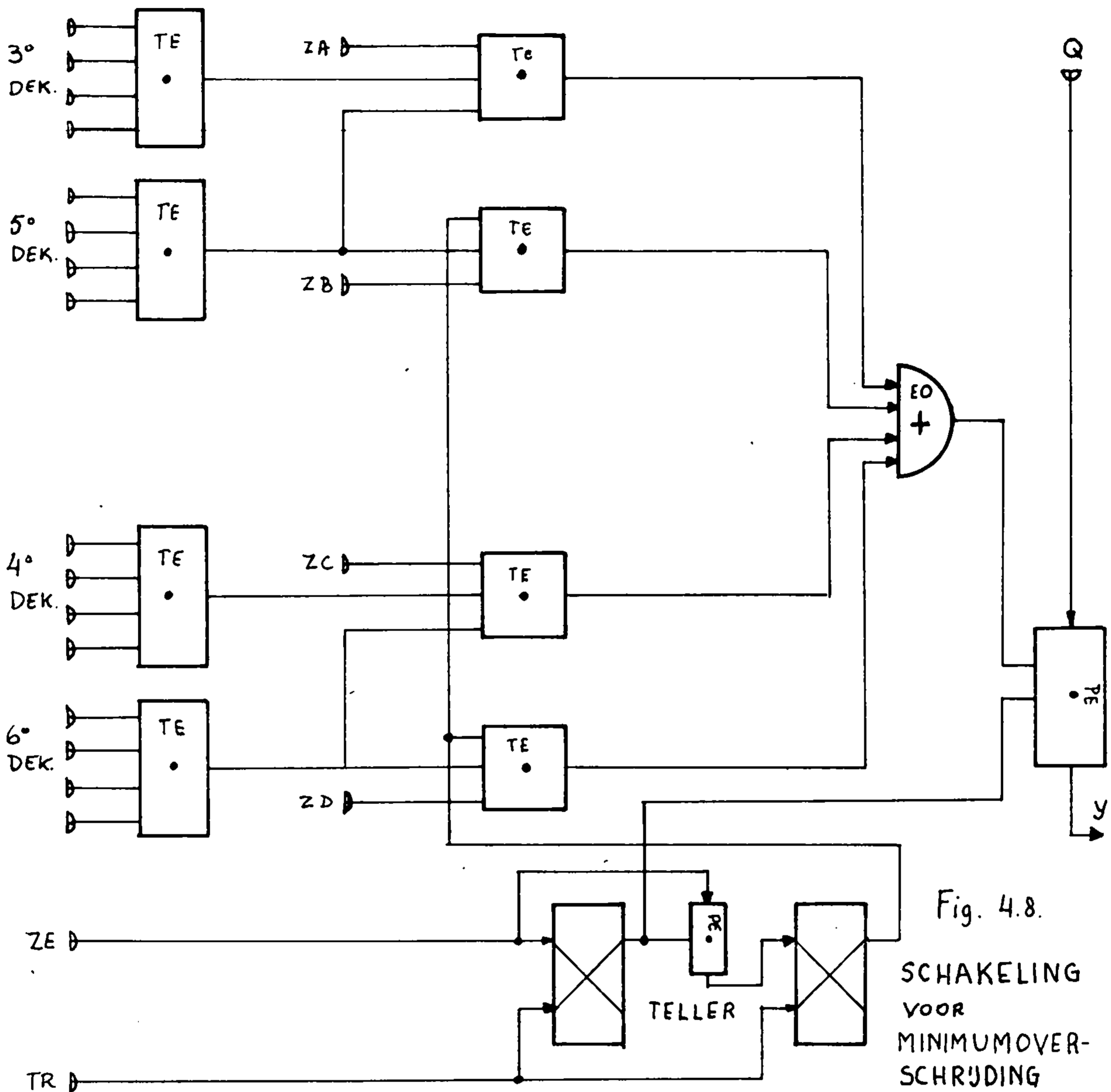
#### 4.8. Schakeling voor minimumoverschrijding.

Zoals in hoofdstuk 3 reeds is betoogd, moet bij voorkomen van de stand x-0-0 of y-0-0 de extra aftrekpuls van cyclus 2 niet geblokkeerd worden. In fig. 4.8. is de schakeling die dit realiseert weergegeven.

De viervoudige EN-poorten krijgen signaal van de nulleescontacten. Dit signaal is geïnverteerd met betrekking tot de stand van de matrixrelais. De poorten zijn dus open wanneer er nullen in de betreffende dekaden staan. De daarop volgende drievoudige EN-poorten geven signaal af als:

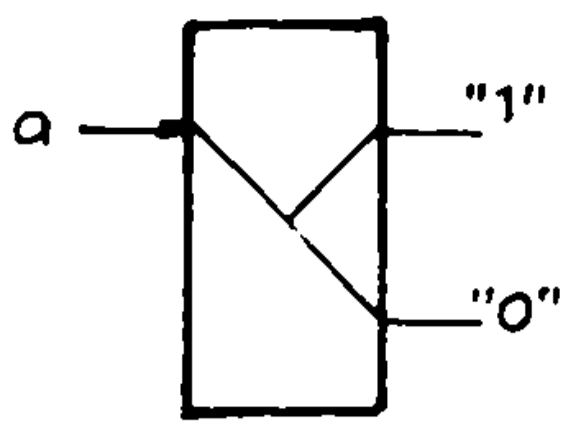
- a. de betreffende dekade afgeregeld wordt; (Z contacten)
- b. de vereiste "nullen" in de andere dekaden staan;
- c. het nodige aantal volledige afregelrums heeft plaats gehad (teller).

Als een van de vier drievoudige poorten open komt zal de extra aftrekpuls uit cyclus 2 die in Q binnenkomt door kunnen gaan naar de binare teller, mits de eerste run heeft plaats gevonden (teller).



#### 4.2. Totale reset.

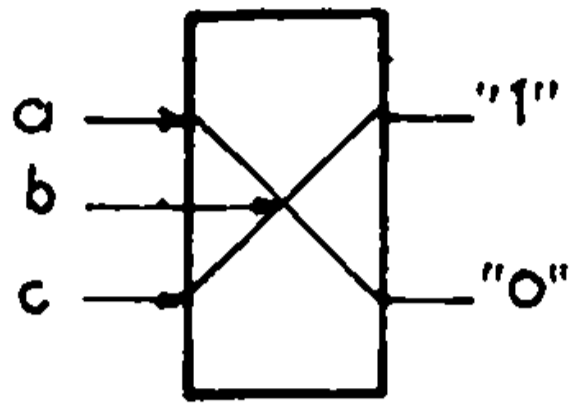
De totale reset welke gebruik wordt bij het starten van het totale systeem wordt verkregen door alle ingangen in de voorgaande schakels generkt TR, te verbinden met -3 Volt (= "1"), door middel van een drukknopschakelaar.



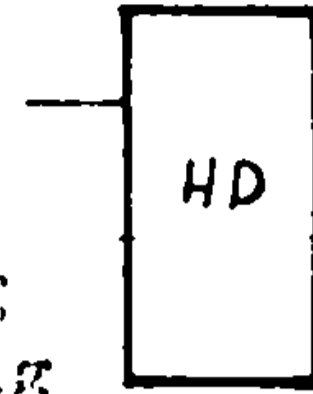
MW monostabiele multivibr.  
a = ingang



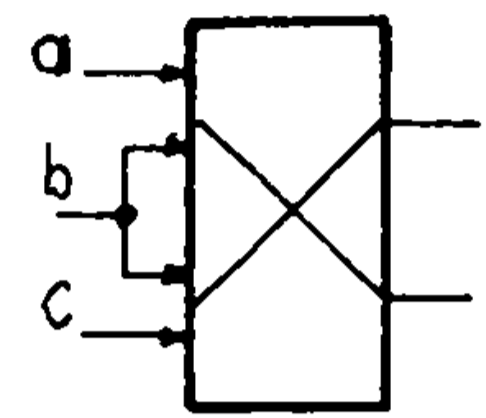
PV = puls versterker



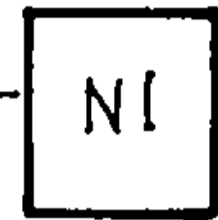
BW biwip  
bistabiele multivibr. b=deel ingang  
c="0"-ingang



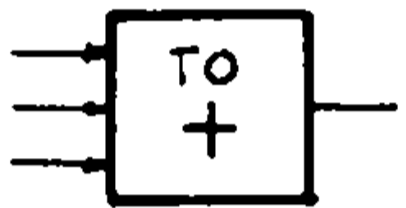
HD = Herstel  
drijver voor  
reset van  
aantal BW's  
of SW's



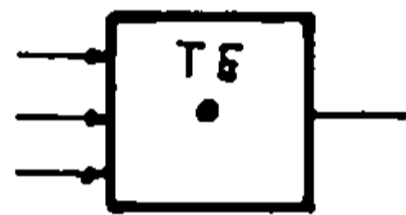
SW schuifwip  
bistabiele multivibr. b=schuif-  
met poorten  
a="1"-ingang  
c="0"-ingang



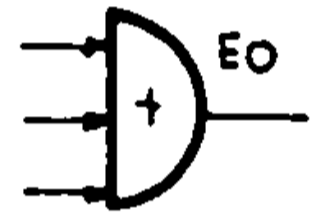
NI = niveau invertor



TO -OF-Poort met transistoren



TE -EN-Poort met transistoren



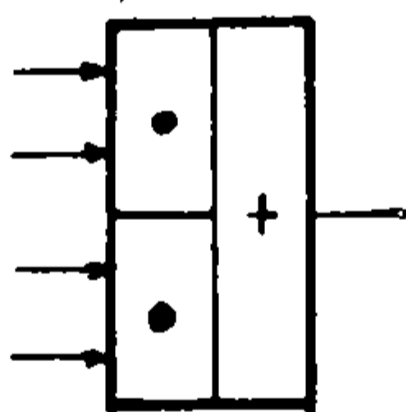
EO -OF-Poort gelijkstroom



EE -EN-Poort gelijkstroom



PE - puls EN poort  
a = puls ingang  
b-c-d = regelingang



PEOS puls En & OF poort



EP Emittervolger NPN



EC Emitter NPN-PNP



Emittervolger



Emittervolger

## Hoofdstuk 5. Suggesties voor wijzigingen in het systeem.

Het beschreven systeem is een van de mogelijke oplossingen om een automatische digitale brug te construeren. Zonder principieel andere methoden te introduceren, wat ons buiten het kader van dit onderzoek zou brengen, zijn wijzigingen wenselijk, die tot een verbetering kunnen leiden. Daarbij stellen we de snelheid waarmee de brug in evenwicht komt als beoordelingsmaatstaf.

### 5.1.

De vergelijkingschakeling neemt relatief een groot deel van de in totaal gebruikte tijd in beslag. Bij elke wijziging moeten de vijf cyclus stappen doorlopen worden. Een besparing in tijd in deze schakeling zal daarom zeer effectief zijn.

Bij de beschreven schakeling wordt eerst de amplitude vóór de wijziging en daarna die ná de wijziging opgeslagen. In de volgende cyclus herhaalt zich dit. De amplitude vóór de wijziging in deze tweede cyclus is echter dezelfde, die in de eerste cyclus ná de wijziging ontstond. Anders gezegd, één bepaalde amplitude wordt tweemaal in een geheugen opgeslagen. Het aantal stappen zou dus gereduceerd kunnen worden door deze doublure te vermijden. Bovendien kan dan een wastap vervallen. De tijdwinst in cyclus 1 bedraagt dan 40%. Aan een eis moet dan echter voldaan worden: het vergelijken mag de informatie in de geheugencondensator niet verloren doen gaan.

### 5.2.

In de afkeurencyclus is een stap opgenomen om een extra aftrekpuls te kunnen geven in verband met de schakeling tegen minimumoverschrijding. Wanneer het minimum niet overschreden is, wordt deze extra aftrekpuls geblokkeerd. De stap wordt echter in de ringteller van de afkeurencyclus wel gemaakt. Voordeliger in verband met de benodigde tijd zou zijn om "normaal" deze stap niet te maken, maar alleen als de situatie  $x/y, 0, 0$  zich voordoet deze extra stap te genereren. In het normale geval wordt dan deze stap in de teller overgeslagen, welke blokkering alleen opgeheven wordt wanneer het minimum is overschreden.

### 5.3.

De benadering van het eerste relatieve minimum geschiedt door afregeling van  $G_4^{100}$ , met  $C_4=0$ . Uit de fig. 2.2.; 2.4. en 2.5. (hoofdstuk 2) blijkt dat in sommige gevallen deze eerste instelling van  $G_4^{100}$  nog ver (meer dan één honderdtal) verwijderd is van de vereiste waarde voor het absolute minimum. In het gebruikte programma volgt na de afregeling van  $G_4^{100}$ ,  $C_4^{100}$  en daarna  $G_4^{10}$ ,  $C_4^{10}$  enz. In de bepaalde "ongunstige" gevallen zou het echter veel tijd besparen wanneer de honderdtallen nogmaals beide opnieuw zouden worden afgeregeld, dus in deze volgorde:  $G_4^{100}$ ,  $C_4^{100}$ ,  $G_4^{10}$ ,  $C_4^{10}$  en dan pas  $G_4^{10}$ ,  $C_4^{10}$  enz. In het beschreven programma moet n.l. eerst de hele run van zes dekaden doorlopen worden, voordat de situatie  $x/y, 0, 0$  gesignaleerd kan worden, waarna dan nog pas de honderdtallen dekade met één stap wordt teruggebracht. De realisering is zeer eenvoudig door te voeren door de dekadeselector tot een acht-toller uit te breiden.

### 5.4.

Wanneer de voorgaande wijziging aangebracht zou worden, zal het evenwicht van de brug na de beurtelings herhaalde afregeling van  $G_4^{100}$  en  $C_4^{100}$  tot op een afstand van hoogstens 100  $G_4$  resp. 100  $C_4$  benaderd worden, althans bij de gebruikte brugdimensionering. Eenmaal het regelgebied tot op deze grootte beperkt, wordt het aantrekkelijk om toch de informatie die in de fase van het uitgangssignaal voorhanden is te gebruiken. Daarmee kan voorkomen worden dat het minimum wordt overschreden, waardoor de schakeling voor minimumoverschrijding overbodig wordt.

### 5.5.

Bij de beschreven test-cyclus (cyclus 1) wordt de wijziging uitgevoerd door het verhogen van de betreffende dekade met één eenheid. Een andere mogelijkheid is om deze testcyclus zowel met verhogen als met verlagen te doen verlopen. Bijvoorbeeld starten met verhogen, maar bij onmiddellijk volgende afkeer doorgaan met testen door verlagen. Anders gezegd het invoeren van een twee richtingen test-procedure. Bij dit systeem komt de behoefte aan een "overflow" tussen de opeenvolgende dekaden van een regelcomponent nog dwingender naar voren. Een aanzienlijke tijdsbesparing lijkt echter bereikbaar.

5.6.

In direkte samenhang hiermede, moet het startpunt van de afregeling beoordeeld worden. Wanneer alle onbekende impedanties willekeurig verdeeld in het meetbereik voor kunnen komen, biedt het voordelen om te beginnen met  $C_4$  en  $C_1$  in het midden van het meetbereik. De som der afstanden van het middelpunt tot de willekeurig verdeelde instellingen voor het evenwichtspunt van de brug is n.l. kleiner dan de som van de afstanden van enig ander startpunt tot dezelfde willekeurig verdeelde evenwichtspunten. Gemiddeld genomen zal dus de afregeling minder stappen vragen. Zoals duidelijk zal zijn is hiervoor het tweezijdig testen noodzakelijk.

5.7.

Als mogelijkheid om de snelheid van de afregeling te verhogen moet nog gewezen worden op verandering van de code welke in de regeltak gebruikt wordt (nu binair-decimaal). Vooral wanneer informatie verkregen kan worden over de ligging van een in de loop van de afregeling bereikt instelpunt ten opzichte van de lijnen van relatieve minima lijkt de toepassing van de zuiver binaire code aantrekkelijk.

5.8.

Wanneer we iets verder van de nu gevolgde opzet afwijken, kan nog een andere informatie gebruikt worden n.l. de grootte van de amplitudeverandering. Bij handbediening speelt deze ook een rol. Een mogelijkheid is dan bijvoorbeeld om met de afregeling van een bepaalde component slechts zolang door te gaan als een bepaalde drempelwaarde van amplitudeverandering nog overschreden wordt. De meest significante afregelcomponent krijgt dan voorkeur in de afregelvolgorde. Wel worden de constructieve moeilijkheden groot in verband met de eisen die aan de versterker van het uitgangssignaal gesteld worden.

5.9.

Tenslotte is het duidelijk dat vele van de onderzochte moeilijkheden zich sterk reduceren wanneer het meetbereik van de brug verkleind mag worden.



Dit is geen irreële veronderstelling, wanneer men denkt aan toepassingen voor seriemetingen aan onderdelen uit produktie. Daarbij zullen de onderdelen van één serie immers relatief slechts geringe spreiding vertonen. De minimum lijnen kunnen in zo'n beperkt wettbereik met goede benadering als rechten beschouwd worden met alle voordelen vandaan.

## Hoofdstuk 6. Conclusies

### 6.1.

Het onderzoek heeft aangetoond dat de realisatie van een digitale automatische wisselstroombrug met betrekkelijk eenvoudige middelen uitvoerbaar is. De gedragingen van het systeem komen overeen met de verwachtingen welke hierover bestonden. Divergente werking werd niet geconstateerd.

### 6.2.

De verwachte mogelijkheid om de afregeling te voorspellen aan de hand van de hoogtekaart werd bevestigd. Vooral de daarin gelegen lijnen van relatieve minima spelen een hoofdrol. In dit verband moge ook vermeld worden de stage uitgevoerd in de groep van Prof. Eykhoff door dhr. Nijssen (10). Deze stage omvat simulaties op een digitale rekenmachine van de bestaande afregelprocedure alsmede van enige procedures met enkele wijzigingen. De resultaten van de eerste simulatie komen overeen met de gedragingen van de geconstrueerde schakeling. De gewijzigde procedures leverden resultaten, die volledig overeenstemmen met de verwachtingen welke op grond van de hoogtekaart konden worden opgesteld.

### 6.3.

De nauwkeurigheid van een meting wordt beïnvloed door parasitaire impedanties. Enerzijds zijn dit de storende invloeden die bij elke brugschakeling naar voren komen, maar anderzijds worden in het beschreven systeem parasitaire impedanties geïntroduceerd door de opbouw van de regeltak in samenhang met het bedienend orgaan. In het bijzonder de bedrading tussen relaiscontacten en componenten en mede de ligging van de relaiscontacten binnen de relaisspoel spelen hier een rol.

Aan deze complicatie is geen aandacht besteed, omdat de brug als regelsysteem hierdoor geen essentiële veranderingen ondergaat. In het kader van het onderzoek is de invloed van deze parasitaire impedanties dan ook van ondergeschikt belang. Bij een voortgezet onderzoek zal hieraan echter zeker aandacht besteed moeten worden.

Appendix 1

We gaan uit van  $\bar{e}_D = \frac{\bar{Y}_1}{\bar{Y}_L + \bar{Y}_1} - \frac{\bar{Y}_2}{\bar{Y}_3 + \bar{Y}_2} \bar{E}$  vgl 1 blz.

Stel  $\bar{E} = 1$

$$\bar{Y}_1 = A_0 + jA_1$$

$$\bar{Y}_L = G_L + j\omega C_L = x + jy$$

$$\frac{\bar{Y}_2}{\bar{Y}_3 + \bar{Y}_2} = B_0 + jB_1$$

dan volgt:

$$\bar{e}_D = \frac{A_0 + jA_1}{x + A_0 + j(y + A_1)} - B_0 - jB_1$$

Stel  $x + A_0 = p$

$y + A_1 = q$

dan geldt:

$$\bar{e}_D = \frac{A_0 + jA_1}{p + jq} - B_0 - jB_1 = \frac{A_0 p + A_1 q}{p^2 + q^2} - B_0 + j \left[ \frac{A_1 p - A_0 q}{p^2 + q^2} - B_1 \right]$$

Voor de amplitude van  $\bar{e}_D$  geldt nu:

$$|e_D|^2 = z^2 = \left[ \frac{A_0 p + A_1 q}{p^2 + q^2} - B_0 \right]^2 + \left[ \frac{A_1 p - A_0 q}{p^2 + q^2} - B_1 \right]^2$$

Waaruit na herleiding:

$$\left( p - \frac{A_0 B_0 + A_1 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} \right)^2 + \left( q - \frac{A_1 B_0 - A_0 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} \right)^2 = \frac{(A_0^2 + A_1^2) z^2}{(B_0^2 + B_1^2 - z^2)^2}$$

Teruggaande naar x en y:

$$\left\{ x - \left[ \frac{A_0 B_0 + A_1 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} - A_0 \right] \right\}^2 + \left\{ y - \left[ \frac{A_1 B_0 - A_0 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} - A_1 \right] \right\}^2 = \frac{(A_0^2 + A_1^2) z^2}{(B_0^2 + B_1^2 - z^2)^2}$$

Voor een bepaalde brugconfiguratie en een bepaalde onbekende admittantie zijn  $\bar{Y}_1$ ;  $\bar{Y}_2$ ;  $\bar{Y}_3$  en dus ook  $A_0$ ;  $A_1$ ;  $B_0$  en  $B_1$  constant.

De krommen met constante z zijn dus cirkels in het x-y vlak. Zowel middelpunt als straal zijn functies van z. De middelpunten liggen op een rechte, immers:

$$x_m = \frac{A_0 B_0 + A_1 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} - A_0; \quad y_m = \frac{A_1 B_0 - A_0 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} - A_1$$

dus:

$$\frac{y_m + A_1}{x_m + A_0} = \frac{A_1 B_0 - A_0 B_1}{A_0 B_0 + A_1 B_1} \quad \text{of:}$$

$$y_m = \frac{A_1 B_0 - A_0 B_1}{A_0 B_0 + A_1 B_1} \cdot x_m + \left[ A_0 \frac{A_1 B_0 - A_0 B_1}{A_0 B_0 + A_1 B_1} - A_1 \right]$$

Voor de schoringbrug geldt:

$$\bar{Y}_1 = A_0 + jA_1 = j\omega C_1 \quad \text{dus } A_0 = 0$$

De cirkelbundel wordt dan gegeven door:

$$\left\{ x - \frac{A_1 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} \right\}^2 + \left\{ y - \left[ \frac{A_1 B_0}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} - A_1 \right] \right\}^2 = \left\{ \frac{A_1 z}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} \right\}^2$$

Appendix 2

Wanneer we uitgaan van de hoogtelijnen bundel in de volgende gedaante:

$$(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 = R^2 \quad \text{met : } \begin{aligned} x_m &= x_m(z) \\ y_m &= y_m(z) \\ R &= R(z) \end{aligned}$$

dan volgt voor partiële differentiatie naar x:

$$2(x - x_m) \left[ 1 - \frac{dx_m}{dz} \cdot \frac{z}{x} \right] + 2(y - y_m) \left[ - \frac{dy_m}{dz} \cdot \frac{z}{x} \right] = 2R \frac{dR}{dz} \cdot \frac{z}{x}$$

of:

$$\frac{z}{x} \left\{ (x - x_m) \frac{dx_m}{dz} + (y - y_m) \frac{dy_m}{dz} + R \frac{dR}{dz} \right\} = x - x_m$$

Voor de relatieve minima geldt:

$$\frac{z}{x} = 0 \quad \text{waaruit volgt dat: } x = x_m$$

Voor  $y = y_0$  zal dus minimaal zijn als  $x_0 = x_m$

De meetkundige plaats van de relatieve minima in het x-O-y vlak wordt dus gevonden door z te elimineren uit het stelsel vergelijkingen:

$$x_0 = x_m \quad (1)$$

$$(y_0 - y_m)^2 = R^2 \quad (2)$$

$$\text{Uit (1) : } x_0 = x_m = \frac{A_0 B_0 + A_1 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} - A_0 \quad ; \quad (\text{appendix 1})$$

$$\text{volgt: } z^2 = B_0^2 + B_1^2 - \frac{A_0 B_0 + A_1 B_1}{x_0 + A_0}$$

Vgl. (2) geeft :

$$\left( y_0 - \frac{A_1 B_0 - A_0 B_1}{B_0^2 + B_1^2 - z^2} - A_1 \right)^2 = \frac{(A_0^2 + A_1^2) z^2}{(B_0^2 + B_1^2 - z^2)^2} = (\text{appendix 1})$$

Substitutie van (1) in (2):

$$\left[ (y_0 + A_1) - \frac{(A_1 B_0 - A_0 B_1)(x_0 + A_0)}{A_0 B_0 + A_1 B_1} \right]^2 =$$

$$\frac{(A_0^2 + A_1^2)(B_0^2 + B_1^2 - \frac{A_0 B_0 + A_1 B_1}{x_0 + A_0})(x_0 + A_0)^2}{(A_0 B_0 + A_1 B_1)^2} \quad (3)$$

Stel:  $x_0 + A_0 = p$  ;  $A_1 B_0 - A_0 B_1 = S$  ;  $A_0^2 + A_1^2 = V$  ;  
 $y_0 + A_1 = q$  ;  $A_0 B_0 + A_1 B_1 = T$  ;  $B_0^2 + B_1^2 = W$  ;

Dan wordt (3):

$$\left[ q - \frac{Sp}{T} \right]^2 = \frac{V(W - \frac{T}{p}) p^2}{T^2}$$

of:  $(S^2 - VW) p^2 + T^2 q^2 + 2 TSpq + VTp = 0$

Nu is:  $S^2 - VW = -T^2$

dus:  $Tp^2 - Tq^2 - 2Spq - Vp = 0$

De meetkundige plaats der relatieve minima wordt dus gegeven door:

$$(A_0 B_0 + A_1 B_1)(x + A_0)^2 - (A_0 B_0 + A_1 B_1)(y + A_1)^2 - 2(A_1 B_0 - A_0 B_1)(x + A_0)(y + A_1) -$$

$$- (A_0^2 + A_1^2)(x + A_0) = 0 \quad (\text{orthogonale hyperbool})$$

Voor de relatieve minima bij constante  $x = x_0$  ( $\frac{x}{y} = 0$ ) volgt door analoge afleiding:

$$(A_1 B_0 - A_0 B_1)(x = A_0)^2 - (A_1 B_0 - A_0 B_1)(y + A_1)^2 -$$

$$- 2(A_0 B_0 + A_1 B_1)(x + A_0)(y = A_1) + (A_0^2 + A_1^2)(y + A_1) = 0$$

Voor de scheringbrug ( $A_0 = 0$ ) reduceren deze formules zich tot:

$$B_1 x^2 - B_1 (y + A_1)^2 - 2B_0 x (y + A_1) - A_1 x = 0 \quad (\text{kromme I fig. 2.2.})$$

$$\text{en: } B_0 x^2 - B_0 (y + A_1)^2 - 2B_1 x (y + A_1) + A_1 (y + A_1) = 0 \quad (\text{kromme II fig. 2.2.})$$

Literatuuropgave.

1. M. Poleck:

"Mechanisiertes Abgleichverfahren für Wechselstrom-Messbrücken bei Verwendung phasenabhängiger Nullindikatoren",  
Archiv für Elektrotechnik, 1934, p. 492 - 506

2. Wilhelm Geyer:

"Selbsttätige Abgleichung von komplexen Kompensations- und Brückenschaltungen mit phasenabhängigen Nullmotoren",  
Archiv für Elektrotechnik, 1935, p. 842 - 850

3. J.J.R.M. Lückers:

"Automatische wisselstroombruggen"  
Intern rapport Technische Hogeschool Eindhoven

4. J.F. Graham:

"Automatic A.C. Bridges"  
Electronics, febr. 1951, p. 110 - 116

5. G.W.C. Jacobs,

"Een automatische wisselstroombrug met fasegevoelige detectoren",  
Stage-opdracht in de regeltechniek, dec. 1962, Technische Hogeschool Eindhoven.

5a. J. Lückers and C.E. Mulders:

"An automatic A.C. Bridge with phase-sensitive detectors"  
Revue A, vol. VII - nr. 2 - Avril 1965

6. F.B. Grinevitch:

"Principles of constructing Automatic A.C. Bridges with extremal regulation", Measurements Techniques, 1961, p. 1025 - 1027,  
vertaling van Izmeritel'naya Tekhnika, no. 12, dec. 1960, p.20 - 22

7. C.A.L. van den Brekel:

"Verslag betreffende de constructie van een automatische wisselstroombrug met behulp van een extremum zoekend systeem".  
Stage-opdracht in de regeltechniek, jan. 1963, Technische Hogeschool, Eindhoven.



1. A. I. Malinovsky and V. S. Marchenko:

"Digital display transistorized bridge",  
Measurements Techniques, p. 961 - 965, Translated from Izmeritel'naya  
Tekhnika 1960, no. 11, p. 37 - 41.

2. V. P. Kotel'nikov:

"Measuring circuit of an automatic digital bridge",  
Measuring Techniques, p. 900 - 905, 1961, translated from Izmeritel'naya  
Tekhnika, nov. 1961, no. 11, p. 39 - 42.

3. G. A. Nijssen:

"Een strategie simulatie"  
Stage-opdracht in de groep Meten en Regelen, dec. 1964, Technische  
Hogeschool, Eindhoven.