

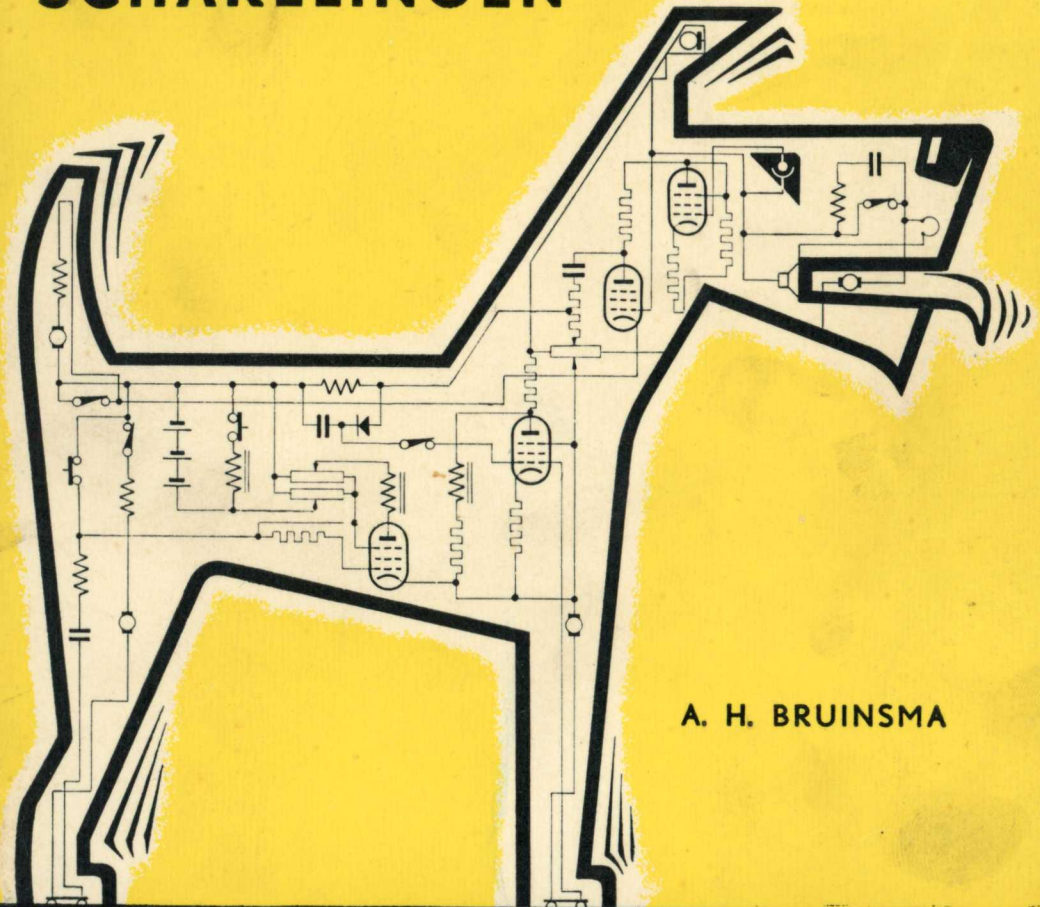
ELECTRONISCHE ZINTUIGEN

EN ZENUWSTELSELS

PRACTISCHE

ROBOT

SCHAKELINGEN



A. H. BRUINSMA

A. H. BRUINSMA PRACTISCHE ROBOTSCHAKELINGEN

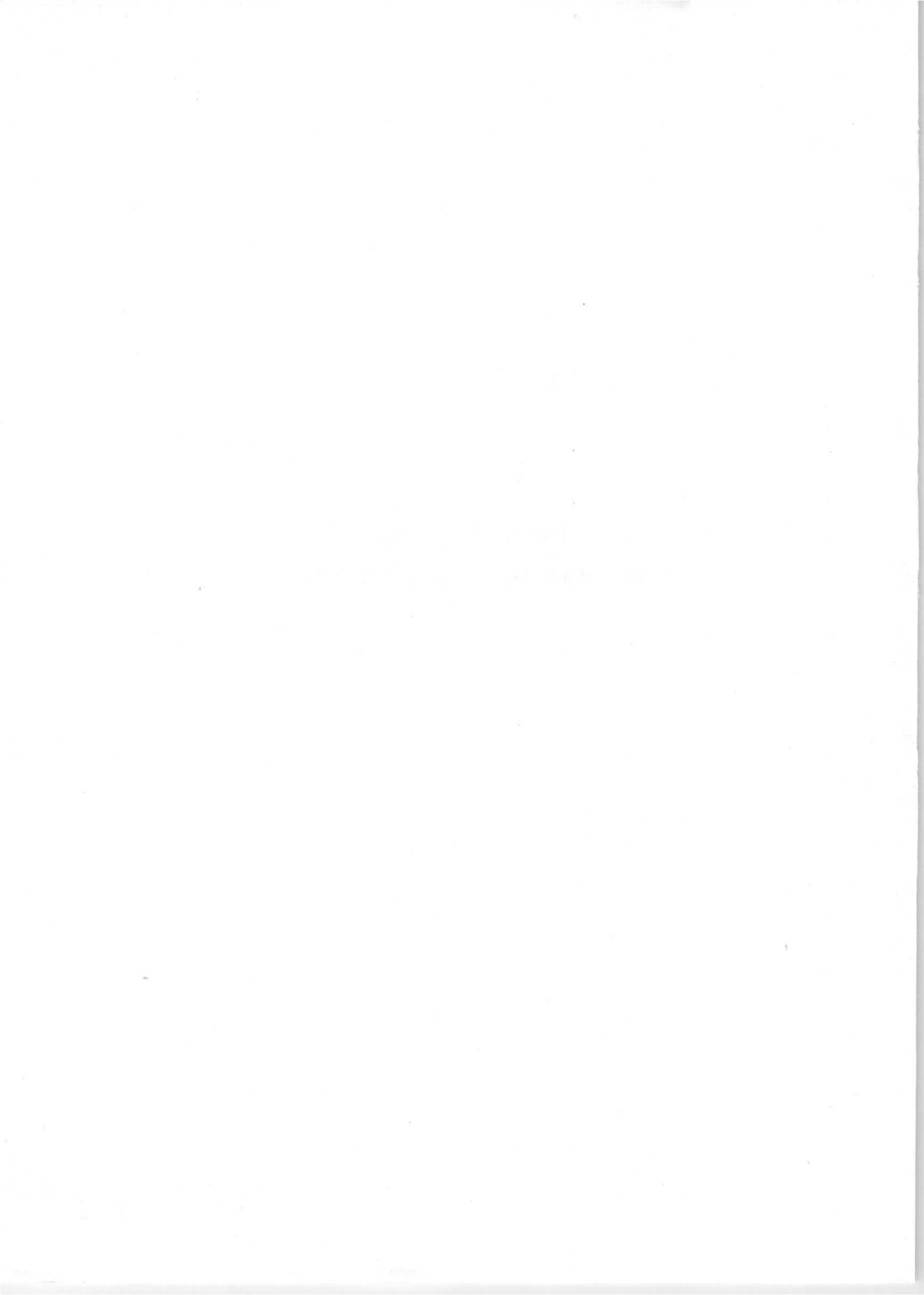


POPULAIRE REEKS

PHILIPS' TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

890

PRACTISCHE
ROBOT SCHAKELINGEN



PRACTISCHE ROBOT SCHAKELINGEN

ELEKTRONISCHE ZINTUIGEN EN ZENUWSTELSELS

DOOR

A. H. BRUINSMA

1958

PHILIPS TECHNISCHE BIBLIOTHEEK

MEDEDELING VAN DE UITGEVER

Dit boek verschijnt in de Nederlandse, Franse, Duitse en Engelse taal.

Het boek bevat 133 pagina's, 53 figuren, 4 vouwbladen

UDC NR. 621.373.431.1

COPYRIGHT N.V. PHILIPS GLOEILAMPENFABRIEKEN
EINDHOVEN (NEDERLAND)

NADRIJK, OOK GEDEELTELIJK, VERBODEN

EERSTE UITGAVE 1958

GEDRUKT IN NEDERLAND

Alle in dit boek opgenomen gegevens worden medegedeeld zonder octrooigarantie van de N.V. Philips Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

VOORWOORD

Indien men over robots hoort spreken, denkt men meestal alleen maar aan machines, die met een uiterlijke vorm van een wezen of dier, in staat zijn bepaalde handelingen te verrichten die inherent zijn met de handelingen van de levende specimen.

In werkelijkheid zijn een aantal van deze robots gemaakt terwijl daarnaast in romans, in films en fiction strips, de robots een dusdanige rol spelen, dat men dit onderwerp rustig populair kan noemen.

Alle verschijningsvormen hebben dit met elkaar gemeen dat ze het publiek doen griezelen en de mening van sommigen versterken, dat deze robots een bedreiging van de mensheid vormen. Nu is het met robots zeker niet erger dan met b. v. buskruit, een atoomsplitsing of welke andere ontwikkeling of ontdekking ook. Het ligt geheel aan de mensen zelf of deze nieuwigheden tot heil of tot verderf van de mensheid zullen worden toegepast.

Ondanks de sterk geromantiseerde verhalen over robots die men soms zelfs in technische tijdschriften ontmoet en ondanks de enorme ontwikkeling van de electronische wetenschap die aan de meeste robotschakelingen ten grondslag ligt, kan men de ontwikkeling van robots nog volkomen overzien en hiervan een dankbaar gebruik maken om de levensstandaard van de mensheid verder op te voeren. Hierbij doet zich direct de vraag voor hoe deze wonderlijke metalen wezens daartoe zouden kunnen bijdragen. Welnu, het praktische nut van deze wezens zal wel zeer klein blijven, maar de verschillende onderdelen en schakelingen daarentegen hebben reeds hun grote praktische waarde bewezen.

De definitie van een robot heeft ook niets te maken met een uiterlijke vorm, maar kan het best als volgt worden omschreven:

Een schakeling of machine die zelfstandig reageert en blijft reageren op bepaalde invloeden van buiten.

Onder deze algemene omschrijving vallen zeer veel apparaten die reeds geruime tijd worden toegepast en er be- slist niet uitzien als robots, maar in tegendeel een vorm hebben die geheel op de praktische waarde is gericht. Het doel van deze apparaten is weliswaar om werk te verrich- ten dat anders door een mens zou moeten worden volbracht, maar dit maakt hen nog niet tot mens. Want hoe knap en in- genieus men ook een robot zou construeren, hij zal altijd reproductief blijven en nooit creatief, met andere woorden, hij zal nooit handelingen kunnen verrichten die niet van te voren door de constructeur er zijn ingebracht. Dit doet echter niets af aan de grote waarde van een dergelijke ro- bot, nl. dat hij de handelingen die hij moet verrichten, beter, accurater en sneller kan doen dan een mens, waar- bij het feit, dat hij niet door geestelijke invloeden of licha- melijke vermoeidheid kan worden gestoord in de uitoefening van zijn taak, zoals dit bij een mens of dier het geval is, alleen maar een voordeel is. Het doel van dit boek is een beschrijving te geven van twee robotsystemen die door ons voor demonstratiedoeleinden zijn vervaardigd.

De eerste heeft de vorm van een levend dier dat een min of meer zelfstandig bestaan leidt. Dit biedt de gelegenheid de verschillende organen te vergelijken met de overeen- komstige menselijke of dierlijke organen.

De tweede is een stationaire robot die in staat is bepaald denkwerk te verrichten, nl. het spelen van het bekende boter, kaas en eieren spelletje.

Indien na lezing van dit boek een indruk is verkregen van de werking van bepaalde robotschakelingen, van de enorme mogelijkheden die nog braak liggen, maar bovenal van het feit dat de mens voorlopig niet en waarschijnlijk nooit in staat zal zijn om de meest ingenieuze robot nl. de mens zelf, te fabriceren, is het doel van de schrijver be- reikt.

INHOUDSOPGAVE

Hoofdstuk I. Enkele grondprincipes van robotschakelingen	2
Hoofdstuk II. Electronische zintuigen	6
II. 1. Het gezichtsorgaan	6
II. 1. 1. De fotocel als oog	6
II. 1. 2. Het stereoscopisch zien	10
II. 1. 3. Een „stereoscopische” fotocelshakeling	14
II. 2. Het gehoororgaan	18
II. 2. 1. De microfoon als oor	18
II. 2. 2. Het stereofonisch horen	19
II. 2. 3. Een stereofonische microfoonshakeling	22
II. 2. 3. 1. De voorversterkers V_1 en V_2	26
II. 2. 3. 2. De begrenzershakeling	27
II. 2. 3. 3. De fasemeter	31
II. 2. 3. 4. De faseindicator	35
II. 2. 4. Het reageren op bepaalde klanken	43
II. 3. Het gevoelsorgaan	49
II. 3. 1. Het voelen van voorwerpen	49
II. 3. 2. Het voelen van temperatuurverschillen	51
II. 3. 3. Het „voelen” van voorwerpen zonder aanraking (het zien in het duister)	54
II. 3. 4. Een acoustisch radarsysteem	55

Hoofdstuk III. Electronische hersenen	65
III. 1. Het verwerken van de prikkels van het zien	67
III. 2. Het verwerken van de prikkels bij het horen van het codesignaal	69
III. 3. Het verwerken van de prikkels bij het horen van de naam	79
III. 4. Het verwerken van de aanrakings-prikkels	80
III. 5. Het verwerken van de temperatuurprikkels	81
III. 6. Het verwerken der prikkels van het radarsysteem	81
Hoofdstuk IV. Enkele problemen bij de verwezenlijking van de robot	85
IV. 1. Mechanische uitvoering	85
IV. 1. 1. Het lopen	85
IV. 1. 2. De omkeerschakeling	85
IV. 1. 3. Het stuurorgaan	87
IV. 1. 4. Verende ophanging	89
IV. 2. Voeding	91
IV. 2. 1. Gloeispanning	91
IV. 2. 2. Anodespanning	93
Hoofdstuk V. Electronisch intellect	99
V. 1. Iets over denkende machines	99
V. 2. Een eenvoudig spelletje	100
V. 3. Analyse van het spel	102
V. 4. Praktische uitvoering van de robot	104
V. 5. Germaniumdioden als relaiscontacten	112
V. 6. De verliesschakeling	117
V. 7. De winstschakeling	118
V. 8. Onderzoek van de winstkans van de speler	122
V. 9. De vrije zet	123
V. 10. De foutenschakeling	124
V. 11. De hoorbare reacties van de robot	130
V. 12. De voeding	133

MEDEDELING OVER DE NOMENCLATUUR

De gebruikte nomenclatuur betreft een aanduiding die wegens zijn eenvoudigheid is gekozen. Hierbij betekent

K : 1000 en

M : 1.000.000,

terwijl een cijfer vóór de betreffende lettereenheden, en een cijfer áchter de letter decimalen aangeeft.

Een aanduiding 2 K 2 voor een weerstand b. v. wil dus zeggen: $2,2 \times 1000 \text{ Ohm} = 2200 \text{ Ohm}$.

M 22 wil dus zeggen: 0,22 Megohm of wel 220.000 Ohm.

10 M en 10 K betekenen resp. 10 Megohm en 10.000 Ohm.

Ook bij de condensatoren betekent

K : 1000 en in dit geval 1000 pF,

terwijl M : 1.000.000 pF dus pF betekent.

Een condensator van 5 K 6 b. v. betekent dus $5,6 \times 1000 \text{ pF} = 5600 \text{ pF}$, terwijl verder een condensator waarop 560 staat vermeld 560 pF betekent. M 22 en 220 K betekenen hetzelfde en worden dan ook door elkaar gebruikt.

HOOFDSTUK I

ENKELE GRONDPRINCIPES VAN ROBOTSCHAKELINGEN

Onder robotschakelingen kunnen we in het algemeen verstaan die schakelingen, die zelfstandig reageren, of anders gezegd automatisch reageren op invloeden van buiten en dit blijven doen als deze invloeden al of niet door reacties van de schakeling zelf zich wijzigen.

Deze invloeden kunnen van velerlei aard zijn, in vele gevallen zijn het fysische zoals licht, warmte, geluid, vochtigheid enz. maar ook luchtdruk, luchtbeweging en mechanische druk. Maar ook kan een robotschakeling reageren op probleemstellingen die op een of andere wijze in de schakeling worden gebracht en waarbij het apparaat werkelijk denk- en observatiewerk verricht. Uit deze grote verscheidenheid blijkt reeds dat er moeilijk van een standaard-schakeling sprake kan zijn.

In de moderne samenleving zijn reeds vele robotschakelingen met elektronische zintuigen, zenuwstelsels en zelfs elektronische hersenen in gebruik. Men denke slechts aan deuren die zich zelf openen en sluiten bij het passeren, automatische brandblusapparaten, projectielen die hun eigen doel zoeken, elektronisch gestuurde draaibanken, vuurleiding apparaten die geschut op het doel gericht houden rekening houdend met allerlei gegevens, elektronische rekenmachines, boekhoudmachines enz. enz.

Een beschrijving van al-deze apparaten zou een omvangrijk boekwerk kunnen vullen en valt dus buiten het bestek van dit boekje.

We zullen ons dan ook moeten beperken tot enkele algemene beschrijvingen van robotschakelingen en wel speciaal van die schakelingen die gebruikt werden in twee apparaten die door ons voor demonstratiedoeleinden werden vervaar-

digd. We hopen aan de hand van deze beschrijving een indruk te geven van de werkwijze van robotschakelingen in het algemeen.

Al deze schakelingen kunnen nl. worden onderverdeeld in de volgende elementen die dan in min of meer uitgebreide of gespecialiseerde vorm aanwezig zijn (zie fig. 1).

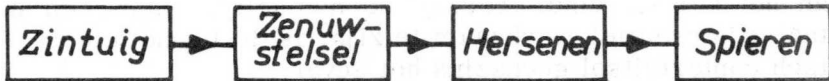


Fig. 1. Hoofdelementen van een robotschakeling

1. Het zintuig: dat is een gedeelte van de schakeling dat de verschillende invloeden van buiten kan waarnemen en omzetten in een elektrische spanning of stroom. Hiervoor bestaan dus zeer uiteenlopende uitvoeringsvormen.

2. het zenuwstelsel: dat is dat gedeelte van de schakeling dat de spanningen of stromen brengt in een dusdanige vorm dat ze kunnen worden toegevoerd en gebruikt in:

3. de hersenen: dat deel van de schakeling dat de gegevens verkregen uit het zenuwstelsel sorteert en verwerkt, eventueel bewaart (geheugen) en dan doorgeeft aan:

4. de spieren: dus dat deel van de schakeling dat de gewenste reactie levert op de invloeden die door de zintuigen zijn waargenomen.

In vele schakelingen is het moeilijk een scherpe scheiding te trekken tussen het zenuwstelsel en de hersenen, zoals dit bij mens en dier ook vaak moeilijk is.

De benamingen van de verschillende robotelementen zijn met opzet gekozen dat ze gedachtenassociaties oproepen met de menselijke organen. Hoewel dit principieel wel gerechtvaardigd is, zal toch blijken dat de uitvoeringsvorm van deze elektronische organen vaak zeer veel verschilt met de menselijke of dierlijke equivalenten. Het is echter erg verleidelijk om vergelijkingen te trekken en we zullen dit dan ook in enkele gevallen doen.

Bij de zintuigen zal dan blijken dat alle gevallen zich kunnen voordoen:

De elektronische zintuigen zijn soms inferieur, soms

gelijkwaardig maar ook dikwijls superieur aan de menselijke zintuigen. Het zenuwstelsel in de vorm van transporteur van gegevens, is wat snelheid en accuratesse betreft wel te vergelijken met het menselijke, maar de gecompliceerdheid van het menselijke zenuwstelsel zal wel nooit in één machine worden gerealiseerd.

Wat de hersenen betreft trekt de electronica ongetwijfeld aan het kortste eind. Terwijl de menselijke hersenen in staat zijn creatief werkzaam te zijn, is dit bij het electronisch contereitsel geenszins het geval.

De laatste kunnen dan ook hoogstens vergeleken worden met dat deel van de menselijke hersenen dat verantwoordelijk is voor de reflexen, dus het gedachtenloos verrichten van handelingen.

Het electronisch geheugen daarentegen, is een zeer betrouwbaar geheugen, het kan tienduizenden gegevens voor onbepaalde tijd bewaren, zij het dan ook dat het gebied wel sterk beperkt is ten opzichte van de enorme veelheid van verschillende soort die de menselijke hersenen kunnen bevatten.

Komt men dan wellicht tot de conclusie dat het niveau van een electronische robot als geheel genomen nauwelijks met de laagst bekende diersoort overeenkomt, dan dient men wel te bedenken dat de in de praktijk toegepaste gevallen dermate voor het beperkte doel zijn gespecialiseerd, dat deze robots op hun gebied verre superieur zijn aan de mens, en hieraan ontleen zij dan hun grote belang voor de mensheid. De moderne samenleving eist nu eenmaal een specialisatie van elk individu afzonderlijk om tot een zo hoog mogelijke efficiency te komen.

Welnu, de electronische robot verschaft een specialisatie tot een hoogte die door een mens niet meer kan worden bereikt.

Om nu tot enkele grondschakelingen te komen voor robotschakelingen zullen we ons moeten beperken tot het zenuwstelsel en de hersenen. Hoewel ook hierbij zeer verschillende schakelingen kunnen worden toegepast, is ons gebleken dat vele, zo niet alle problemen, die zich hierbij voordoen, of ook, of beter kunnen worden opgelost, door

gebruik te maken van de verschillende variëteiten op het gebied van multivibratorschakelingen en bijbehorende vensterbuisschakelingen.

Deze betrekkelijk nieuwe techniek van rechthoekspanningen en de afgeleide naaldspanningen biedt zoveel mogelijkheden dat het de aangewezen techniek lijkt voor vele van de problemen die tot voor kort onoplosbaar schenen. In feite zijn de verschillende robotschakelingen die in dit boek zullen worden beschreven dikwijls gebaseerd op deze multivibratorschakelingen.

Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling dat de principes van deze multivibratorschakelingen en hun variëteiten bij de lezer bekend zijn, enerzijds omdat desbetreffende publicaties reeds verschenen zijn *, anderzijds om de beschrijving van de diverse schakelingen overzichtelijk te houden.

*) A. H. Bruinsma: Multivibratorschakelingen. Inleiding in de Robottechniek.

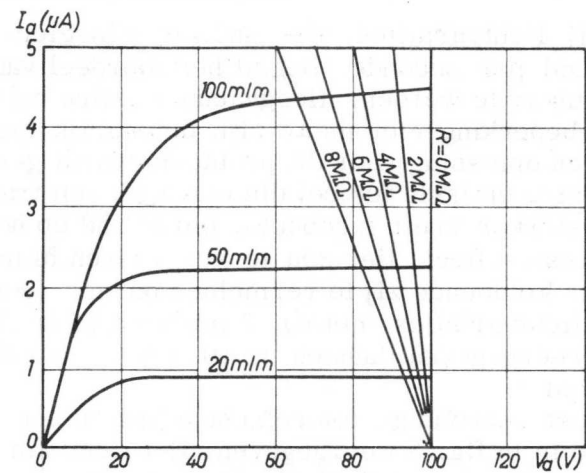
HOOFDSTUK II

ELECTRONISCHE ZINTUIGEN

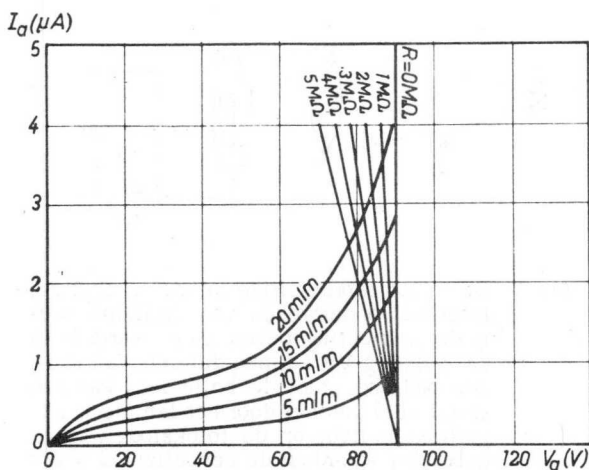
II. 1. Het gezichtsorgaan

II. 1. 1. *De fotocel als oog*

Een van de eerste electronische zintuigen die in robot-schakelingen zijn gebruikt, is wel het equivalent van het menselijke gezichtsorgaan: de foto-cel. Zoals waarschijnlijk reeds bekend zal zijn, bestaat een fotocel uit een plaatvormige katode die onder invloed van opvallend licht, electronen emitteert die op een positieve, meestal staafvormige anode kunnen worden opgevangen. De hierdoor ontstane electronenstroom is een maat voor de sterkte van het opvallende licht. De anode en katode zijn ondergebracht in een glazen ballon die óf geheel vacuum is (hoog-vacuum fotocellen) óf met een kleine hoeveelheid speciaal gas is gevuld (gasge vulde fotocellen). De kleine hoeveelheid gas verhoogt door haar ioniserende werking de gevoeligheid van de fotocel aanzienlijk. Dit blijkt o. a. uit de twee karakteristieken van fig. 2, waar onder elkaar de electronenstromen bij verschillende opvallende lichtsterkten voor twee overeenkomstige fotocellen is weergegeven, waarbij de bovenste een hoogvacuum cel en de onderste een gasge vulde cel is. Zoals bij buiskarakteristieken gebruikelijk kan ook in deze I_a/V_a karakteristieken een anodeweerstand als belastinglijn worden getekend. Hieruit is de anodespanningsverandering te bepalen die bijeenbepaalde lichtsterktevariatie hoort. Het toepassen van gas in de fotocel geeft dus een grotere gevoeligheid, heeft echter het nadeel dat als gevolg van de traagheid van de relatief zware gas-ionen de gevoeligheid voor snelle lichtvariaties weer kleiner



a



b

Fig. 2. Twee karakteristieken van fotocellen, a. van een hoogvacuümc cel (Philips type 90AV) b. van een overeenkomstige gasgevulde fotocel (Philips type 90AG). Met behulp van de belastinglijnen kan de spanning op de anode-weerstand bij verschillende lichtsterkten worden afgelezen.

wordt. Bij lichtvariaties, die sneller wisselen dan ca. 10.000 maal per seconde, begint het voordeel van de gasvulling illusoir te worden. Hoogvacuum cellen hebben deze frequentiebeperving niet maar zijn belangrijk minder gevoelig. Een oplossing voor dit probleem wordt gevonden in de secundaire emissie fotocel die eigenlijk een traagheidsarme versterker heeft ingebouwd berustend op het secundaire emissie-effect. Het zou te ver voeren hierop nader in te gaan. Voldoende zij te vermelden dat met een dergelijke cel lichtvariaties met ca. 5 miljoen wisselingen per seconde weergegeven kunnen worden bij een behoorlijke gevoeligheid.

De meest eenvoudige fotocelshakeling en ook de meest toegepaste is in fig. 3 weergegeven. Het licht van een constante lichtbron L wordt al of niet via een bolle lens ge-

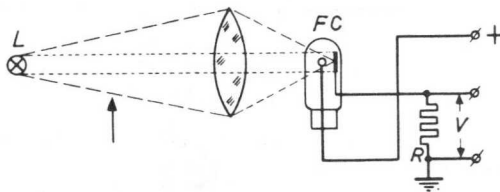


Fig. 3. De meest gebruikelijke fotocelshakeling. Door het onderbreken van de lichtbundel in de pijlrichting ontstaat een variatie in de spanning V waarmee dan iets kan worden bediend. Met de bolle lens kan een groter deel van het door het lampje L uitgestraalde licht op de fotokathode worden gebracht, waardoor de gevoeligheid wordt vergroot (vergelijk de streepjeslijn en de stippellijn die de begrenzing van de bundel weergeeft met en zonder lens).

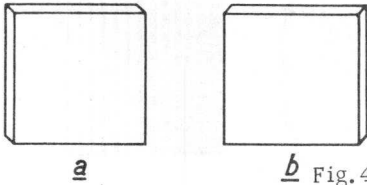
worpen op de fotocel FC . Dit licht veroorzaakt een positieve spanning op de weerstand R . Wordt nu een voorwerp in de pijlrichting door de lichtstraal bewogen, dan wordt de lichtstraal geheel of gedeeltelijk onderbroken en de spanning V op de weerstand R wordt tijdelijk minder. Deze spanningvariatie kan nu worden gebruikt om een of ander

registreerapparaat te bedienen. De fotocel „ziet” dus het voorwerp passeren. Dit „zien” brengt ons er willekeurig toe een fotocel met het menselijk oog te vergelijken; we zien dan enkele overeenkomsten maar ook grote verschillen. Evenals het oog reageert de fotocel op lichtindrukken. De gevoeligheid van het oog is echter belangrijk groter. Onder gevoeligheid verstaan we dan het vermogen om heel kleine lichtsterkten aan te tonen. Bij de fotocel worden deze veranderingen niet meer waarneembaar wanneer de bijbehorende stroomvariaties in dezelfde grootte-orde komen als de stroomvariaties tengevolge van het „ruisen” van de fotocel zelf of van de aangesloten versterker. Bij het menselijk oog treffen we een lens aan waarmee het beeld op het netvlies scherp kan worden gesteld door de brandpuntsafstand te variëren. Ook bij een fotocel kan een lens worden gebruikt, een variërende brandpuntsafstand heeft deze in het algemeen niet, maar het scherpstellen wordt verkregen door de afstand tot de fotocel in te stellen. De iris van het oog vindt haar equivalent bij het diafragma dat men bij fotocellen kan gebruiken. Een automatische instelling hiervan zoals bij het oog, is bij fotocellen niet gebruikelijk hoewel het wel te realiseren zou zijn. Deze automatische instelling van de gevoeligheid van het menselijk oog maakt dit als betrouwbare lichtsterktemeter echter onbruikbaar. Wat zou een fotograaf zijn zonder belichtingsmeter? Een fotocel echter geeft de lichtsterkte steeds betrouwbaar weer, althans binnen de grenzen van haar capaciteit. Het grote verschil tussen oog en fotocel is echter dat het oog, althans in samenwerking met de hersenen een gedetailleerd beeld geeft, terwijl een fotocel alleen de gemiddelde lichtsterkte registreert. Toch zijn er elektronische zintuigen die dit wel kunnen, nl. opnamebuizen voor televisie zoals iconoscopen, vidicons, image-orthicons enz. In feite bestaan deze uit een zeer groot aantal fotocellen (evenals trouwens het menselijk oog een groot aantal gezichtszenwen telt) die in een bepaalde volgorde worden afgetast en zodoende de beeldinhoud vermogen weer te geven. Vooral de moderne uitvoeringen hebben hierbij een gevoeligheid die in de buurt komt van die van het menselijk oog. Deze

opnamebuizen zijn echter nog steeds belangrijk groter in afmetingen dan het menselijk oog. Ook voor het opnemen van kleuren zijn de electronische gezichtsorganen geschikt te maken. In robot-schakelingen treffen we echter alleen nog maar fotocellen aan omdat de interpretatie van een televisiebeeld, om hiermee bepaalde reacties te verkrijgen, nog niet mogelijk is gebleken. Valt de vergelijking tussen oog en fotocel tot nu toe uit in het voordeel van het oog, de fotocel kan echter reageren op soorten licht waarvoor het oog volkomen blind is. Dit is het geval bij infra-rood en ultra-violet licht. Fotocellen kunnen worden gemaakt die voor deze „kleuren” zeer gevoelig zijn en dus kunnen reageren op voor het menselijk oog onzichtbaar licht. Een fotocel kan dan dus zien wat het oog niet ziet. Gevoegd bij de mogelijkheid om zeer snelle lichtvariaties te registreren (tot miljoenen per seconde) terwijl het oog slechts tot ca. 25 x per seconde kan opmerken, maakt de fotocel tot een electronisch oog dat vele praktische toepassingen kent en in vele opzichten beter werkt dan een menselijk oog zou kunnen.

II. 1. 2. *Het stereoscopisch zien*

De mens heeft twee ogen om in drie dimensies te kunnen zien. Met één oog ziet men slechts twee dimensies nl. breedte en hoogte; de derde, de diepte, ontbreekt. Dit kan men gemakkelijk bewijzen door een puntig voorwerp voor zich te plaatsen op tafel; men probeert dan een potlood loodrecht op de punt van dit voorwerp te plaatsen. Met twee ogen open gaat dit gemakkelijk, met één oog dicht echter zeer moeilijk: men vergist zich niet in de hoogte en de breedte, maar wel in de diepte: de derde dimensie. De verklaring voor het feit dat men met twee (uiteraard gezonde) ogen wel diepte ziet, ligt in de twee enigszins verschillende beelden die de twee op een bepaalde afstand van elkaar geplaatste ogen opvangen. Een kubus b.v. ziet het linker oog zoals in fig. 4a en het rechter als in fig. 4b getekend. Het bovenaanzicht in fig. 5 geeft een verklaring voor de beelden in fig. 4. De hersenen nu herleiden deze



a b Fig. 4. Onder bepaalde omstandigheden ziet het linker oog een kubus als in a weergegeven en het rechter oog als in b. Zie ook fig. 5.

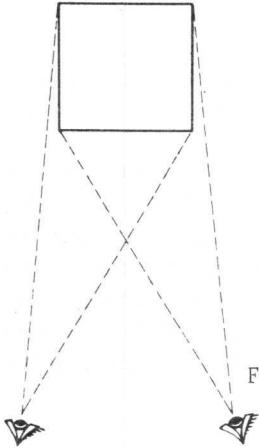


Fig. 5. Verklaring voor het ontstaan van twee verschillende beelden van hetzelfde voorwerp voor het linker en rechter oog.

slechts kleine verschillen tot de derde dimensie: de diepte.

Gewone fotocellen met een gelijkmatig katode-oppervlak laten zoals we gezien hebben geen interpretatie van beelden toe. Beweegt men een lamp een weinig heen en weer dan ziet de fotocel geen verschil, alleen een variatie in de afstand geeft een variatie van de fotocel-stroom die omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand. In zijdelingse richting ontstaat geen variatie zolang tenminste het licht op de katode blijft vallen. Met een eenvoudig hulpmiddel is dit echter toch te bereiken en wel door het plaatsen van een gelijkmatig verlopend lichtsluisje voor de fotocel. Dit is schematisch weergegeven in fig. 6. Hierin wordt de lichtbron L afgebeeld op het lichtsluisje S dat links minder doorlaat dan rechts, zie fig. 6a. Beweegt men de lichtbron L op gelijke afstand van de fotocel in stand L_1 , dan komt de afbeelding L_1 op een minder doorlatend gedeelte van het lichtsluisje terecht dan in de oorspronkelijke

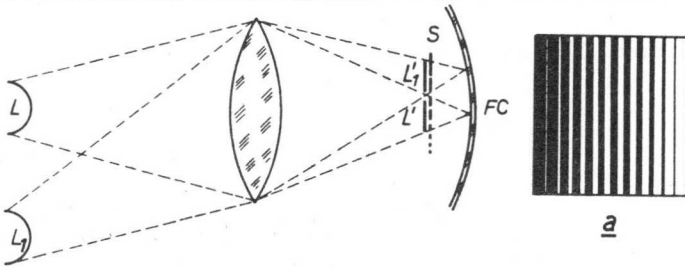


Fig. 6. De lichtsluis S maakt het mogelijk om bij zijdelingse verplaatsing van de lichtbron L meer of minder licht op de katode F te laten vallen. a geeft het aanzicht van het lichtsluisje S.

stand L (afbeelding L'). Op deze wijze kan men de fotostroom van maximum tot nul laten variëren afhankelijk van de richting. Met deze eenvoudige toevoeging is het reeds mogelijk een mechaniek te ontwerpen dat robot-neigingen vertoont. Stel dat de fotocel is opgesteld op een draaischijf die door middel van een omkeerbare motor wordt voortbewogen. In fig. 7 is deze opstelling en een bijbehorende

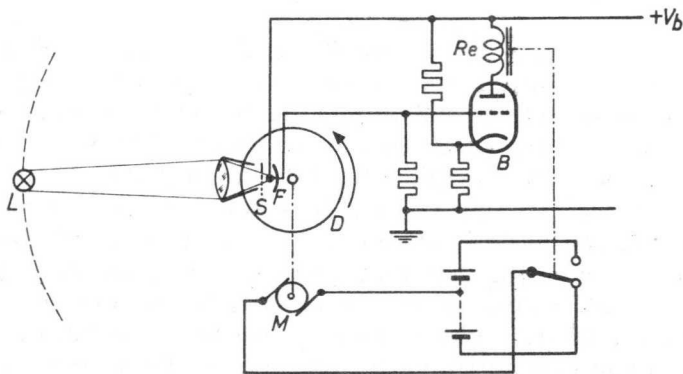


Fig. 7. Principe van een lichtvolgende fotocelshakeling. Dank zij de lichtsluis S zal de fotocel F op de draaischijf D de relaisbuis B en daardoor de motor M zodanig bedienen dat de lamp L zal worden gevolgd indien deze op de gestippelde cirkelboog om de schijf gaat bewegen.

schakeling schematisch weergegeven. We nemen hierbij even aan dat in de getekende stand van de fotocel F t. o. v. de lamp L juist zoveel stroom loopt dat de spanning op de roosterweerstand van de relaisbuis B het relais Re nog juist niet doet intrekken. Dit relais in de getekende ruststand doet de motor in een zodanige richting draaien dat de schijf D in de pijlrichting draait. Het is gemakkelijk na te gaan dat hierbij de afbeelding van lamp L zich gaat bewegen naar een meer licht doorlatend gedeelte van het lichtsluisje. De fotostroom neemt toe, het rooster wordt dus meer positief en het relais zal intrekken. De schijf draait dan tegen de pijlrichting in, door het lichtsluisje wordt minder licht doorgegeven, de roosterspanning daalt, het relais valt af, de schijf draait weer terug in de pijlrichting enz. enz. De schijf gaat dus in een bepaalde hoek heen en weer bewegen maar de cel blijft min of meer gericht op de lamp. De cel „ziet” de lamp en blijft hierop gericht en zal dat ook blijven doen als men de lamp gaat bewegen in de gestippelde cirkel-baan. De cel volgt de lamp dus bij deze beweging. Dit zien met één „oog” is echter maar primitief en kan maar kloppen met één zeer bepaalde afstand. Beweegt men de lamp naar de cel toe dan valt meer licht op het lichtsluisje. De middenstand waaromheen de schijf zich bewoog wordt dan verplaatst naar een minder doorlatend gedeelte hetgeen aan de hand van het voorgaande gemakkelijk is na te gaan. De cel kijkt dan niet meer naar de lamp maar er langs. Hetzelfde gebeurt als men de lamp verder weg plaatst, de cel kijkt dan ook naast de lamp maar juist aan de andere zijde. De schakeling is verder vrij ongevoelig omdat meerdere vólts nodig zijn om het relais om te schakelen. Dit betekent dat het zwaaien om het nulpunt onder een grote hoek moet gebeuren om voldoende lichtvariaties op de cel te krijgen.

Een en ander heeft geleid tot het toepassen van twee fotocellen in een soort balans-schakeling. Hoewel hiermee vele voordelen worden verkregen, levert dit nog geen echte stereoscopie op, integendeel: hiermee wordt juist het effect van de dieptewerking tegengegaan. De analogie met de twee ogen van een mens, heeft ons er toch toe gebracht deze

schakeling een „stereoscopische” schakeling te noemen waarbij echter aanhalingstekens zijn aangebracht.

II. 1. 3. Een „stereoscopische” fotocelschakeling

Door gebruik te maken van een bi-stabiele multivibrator-schakeling, die door twee fotocellen wordt bediend, kan een eenvoudige en toch universele schakeling worden verkregen voor het zoeken en daarna blijven volgen van een lichtbron. De laatste kan hierbij willekeurige bewegingen uitvoeren, mits ze blijft in het vlak van de draaischijf waarop de fotocellen zijn gemonteerd. Wij hebben een dergelijke schakeling uitgevoerd voor gebruik met batterijbuizen en het schema is weergegeven in fig. 8.

Schermrooster en anode van de buizen B_{10} en B_{20} zijn via de aftakking op de anodeweerstand kruislings verbonden en vormen dus een bi-stabiele schakeling die gestuurd kan worden door kleine gelijkspanningsvariaties op de stuurroosters *. We hebben nu twee stuurroosters voor sturing beschikbaar waarvan de spanning bepaald wordt door de hoeveelheid licht die op de fotocellen F_1 en F_2 valt. Indien er geen licht op de cellen valt en de positieve spanning over $R_{11}R_{13}$ resp. $R_{12}R_{14}$ tengevolge van de fotostroom minimaal is, wordt met R_6 de negatieve rooster-spanning zodanig ingesteld, dat de schakeling juist bi-stabiel is.

Dit betekent dus dat één van de buizen meer stroom voert dan de andere en ook dat de anodespanning van de ene buis lager is dan die van de andere. De weerstanden $R_7 \div R_{10}$ zijn nu zo gekozen dat één van de buizen B_{21} en B_{22} afgeknepen is en de andere stroom voert zodat het in deze anodeleiding opgenomen relais Re_{ssr} of Re_{ssl} aange-trokken staat.

In fig. 9 is de opstelling van de fotocellen F_1 en F_2 en de bijbehorende lichtsluizen aangegeven. We zien dat de lichtsluizentegengesteld zijn opgesteld. Hiermee wordt bereikt dat bij het verplaatsen van de lichtbron L naar boven de hoeveelheid doorgelaten licht op F_1 afneemt, terwijl die

*) Men vergelijk de schakeling beschreven in A. H. Bruinsma: Multivibrator-schakelingen. Hfdst. I. 1, 11. 4. Uitgave Philips Technische Bibliotheek.

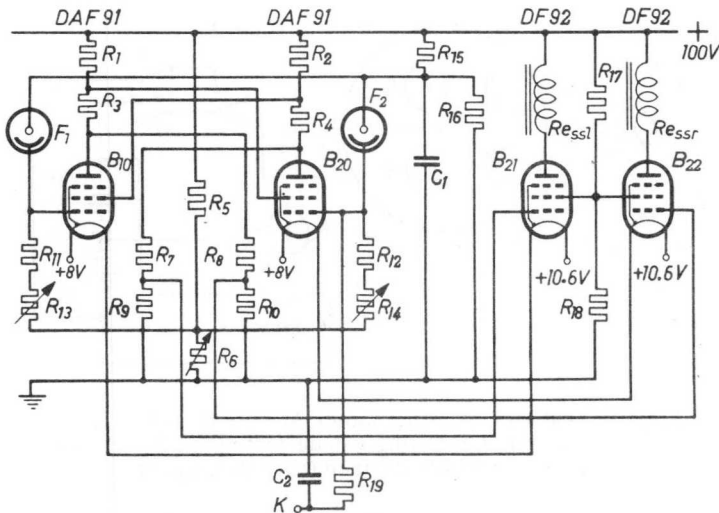


Fig. 8. Complete „stereoscopische“ fotocel­schakeling voor batterij­buizen. Krijgt fotocel F_1 meer licht dan cel F_2 dan wordt relais Re_{ssl} bekrachtigd, krijgt F_1 minder licht dan F_2 dan trekt relais Re_{ssr} in. Bij juiste instelling van R_6 staat zonder licht altijd één van de twee relais ingetrokken. Zie verder fig. 9.

R_1R_2	= 68 K	$R_{13}R_{14}$	= potentiometer 5 M
R_3R_4	= 27 K	R_{15}	= 1 M 2
R_5	= 100 K	R_{16}	= 8 M 2
R_6	= potentiometer 10 K	R_{17}	= 3 K 3
R_7R_8	= 2 M 7	R_{18}	= 56 K
R_9R_{10}	= 560 K	C_1	= 10 K
$R_{11}R_{12}$	= 10 M	C_2	= 6 K 8

op F_2 toeneemt, en omgekeerd. Dit betekent dus ook dat als de roosterspanning op buis B_{10} afneemt, die op buis B_{20} toeneemt. Dit vergroot dus de gevoeligheid van de schakeling. De motor M die de draaischijf met de fotocellen bedient, wordt gecommandeerd door de relaiscontacten van de relais Re_{ssl} en Re_{ssr} . Trekt Re_{ssl} in en valt Re_{ssr} uit, dan draait de motor zodanig, dat de schijf linksom draait.

Evenzo als Re_{ssr} intrekt, draait de schijf rechtsom. Denkt men zich in dat in fig. 9 de lichtbron naar beneden wordt bewogen, dan zal de afbeelding van de lamp op de

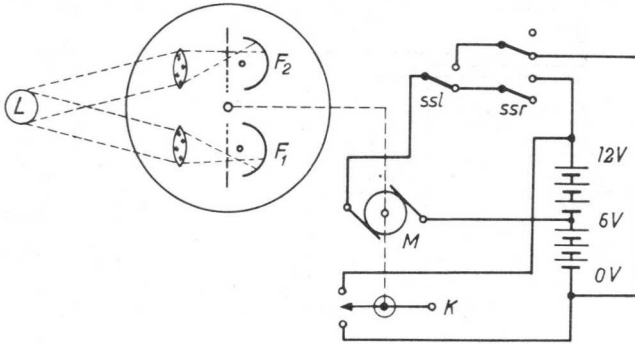


Fig. 9. Schakeling van de motor M door de relais contacten ssl en ssr. Opstelling van de fotocellen F_1 en F_2 en de bijbehorende lichtsluizen (vergelijk fig. 8).

lichtsluis zich bij fotocel F_1 naar een lichter gedeelte begeven en dus meer licht op de cel produceren, terwijl gelijktijdig het licht op cel F_2 afneemt. Daar de schijf dan linksom draait, volgt de schijf dus de beweging van de lamp tot, als deze tot rust is gekomen, de schijf zo ver is doorgedraaid, dat F_2 meer licht krijgt dan F_1 . De motor draait dan weer om enz. zodat uiteindelijk de schijf heen en weer gaat bewegen om een punt dat de richting van de lamp aangeeft. In principe is dit dus hetzelfde wat met de eenvoudige schakeling van fig. 7 kan worden bereikt. Die van fig. 8-9 heeft echter belangrijke voordelen:

1. De gevoeligheid is door de bi-stabiele schakeling belangrijk groter.

Ca. 1 mV verschil in spanning tussen de stuurroosters is voldoende om de schakeling te doen omklappen. Daardoor is de slag van het heen- en weer bewegen slechts uiterst klein.

2. De lichtbron kan veel zwakker zijn of kan op veel groter afstand de schakeling nog bedienen.

3. Binnen het gevoeligheidsgebied kan de lichtbron naar de cellen toe of er van af worden bewogen zonder dat dit de richting van „zien” beïnvloedt. Immers reageren beide

cellen op gelijke wijze op zo'n verplaatsing en de schakeling reageert alleen op verschillen.

4. Door de wijze van plaatsen der lichtsluizen wordt bovendien een soort automatische gevoeligheidsregeling verkregen. Op grote afstand van de lamp valt de afbeelding op de lichtsluis voor beide cellen op een meer doorlatend gedeelte dan bij een korte afstand. Relatief is dus op grote afstand (dus bij kleinere lichtsterkte) meer doorgelaten licht beschikbaar, en bij korte afstand (dus bij grote lichtsterkte) minder licht.

5. De schakeling kan bij afwezigheid van opvallend licht op eenvoudige wijze „zoekend” worden gemaakt. Hiertoe laat men met de schijf een contact K meedraaien dat in de uiterst linkse stand een contact met spanning 0V raakt en in de uiterst rechter stand een contact met + 12V (zie fig. 9). Dit contact K wordt via een hoge weerstand met het stuurrooster van de tweede buis (B_{20} , fig. 8) verbonden.

Daar steeds één van de twee relais ingetrokken staat (ook zonder licht op de fotocellen) zorgt dit contact K ervoor dat in de uiterste standen de schakeling wordt omgeklapt. De schijf gaat zich dan dus bewegen van de ene uiterste naar de andere uiterste stand en zal dus de omgeving afzoeken naar eventuele lichtbronnen.

In de beschreven schakeling kan de gevoeligheid bij een juiste instelling van R_6 (fig. 8) zodanig worden opgevoerd dat bij een goede algemene verlichting een wit voorwerp met een oppervlakte van enige vierkante decimeters op een afstand van ruim 1 meter nog wordt gezien. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de kleine gasgevulde fotocellen type 58 CG voorzien van een lens met 3 cm doorsnede. Een honderd watt lamp wordt nog gezien op een afstand van minstens 12 meter. Bij een grote lichtsterkte op de cellen wordt de anodestroom in beide buizen zo groot dat beide relais uitvallen en het heen en weer bewegen ophoudt. Uiteraard blijft de schijf de lichtbron ook in dit geval wel volgen. De regelweerstand R_{13} en R_{14} in fig. 8 hebben alleen tot taak kleine verschillen in de symmetrie van de schakeling te compenseren zodat de cellen in de juiste richting naar de lichtbron kijken.

II. 2. Het gehoororgaan

II.2.1. *De microfoon als oor*

Het elektrische contereitsel van het menselijk gehoororgaan is ongetwijfeld de microfoon. De microfoon zet geluidstrillingen nl. om in elektrische spanningen, die in een versterker kunnen worden versterkt en dan ofwel op b.v. een magnetfoonband kunnen worden vastgelegd of direct worden weergegeven met behulp van een luidspreker. Er bestaan een groot aantal soorten microfoons, we noemen enkele: koolmicrofoons, electro-magnetische- en electro-dynamische microfoons, condensatormicrofoons, crystal-microfoons. Hoewel de constructie van deze soorten sterk uiteenloopt en er grote verschillen zijn in gevoeligheid en natuurgetrouwe weergave, doen ze allen precies hetzelfde nl. de omzetting van luchtrillingen in elektrische spanningen. Vergelijken we een goede moderne microfoon met het menselijk oor dan zien we dat het bestreken frequentiegebied van de microfoon minstens gelijk is, zo niet beter.

Ook de gevoeligheid komt zeer dicht in de buurt van die van het menselijk gehoororgaan. Voor speciale doeleinden kan met bijzondere middelen de microfoongevoeligheid voor bepaalde geluidstrillingen zelfs groter gemaakt worden. Daar ook de afmetingen van een microfoon niet zo groot behoeven te zijn, zou men kunnen concluderen dat de techniek de natuur op dit gebied heel aardig heeft benaderd, zo niet voorbij gestreefd. Men zou kunnen opmerken dat een microfoon echter serieuze of licht muziek met even weinig gevoel opneemt, terwijl dit bij een mens zeker niet het geval is. Men vergeet dan echter niet dat deze interpretatie van b.v. muziek niet door het oor maar door de aangesloten hersenen geschiedt. Het oor geeft slechts de geluidstrillingen door en zo doet ook de microfoon. Dat er geen elektronische hersenen bestaan, die b.v. muziek kunnen interpreteren of waarden, heeft hiermee niets van doen. Door een microfoon opgenomen muziek en direct, of via een magnetfoonband later weergegeven muziek wekt bij goede kwaliteitsweergave precies dezelfde gemoedsstem-

mingen op als de originele muziek. Toch klinkt muziek uit één luidspreker zelfs bij de beste kwaliteit anders dan een originele muziekuitvoering. Dit komt omdat bij de laatste men de instrumenten uit de verschillende richtingen hoort, terwijl bij luidsprekerweergave, het gehele orkest uit één punt (de luidsprekeropening) komt. De mens en ook de meeste dieren zijn dus blijkbaar in staat de richting waaruit het geluid tot hun komt te bepalen. Hiertoe beschikken ze over twee oren, waarmee ze dus ruimtelijk (dus stereofonisch) of, waar het in de praktijk op neer komt, „richting” kunnen horen.

II. 2. 2. *Het stereofonisch horen*

Gaan we na waarom we met 2 oren de richting van een geluidsbron kunnen vaststellen, dan vinden we dat dit voor een belangrijk gedeelte bepaald wordt door het verschil in afstand tussen de 2 oren en de geluidsbron. Nu neemt de geluidssterkte af met het kwadraat van de afstand zodat het voor de hand ligt te veronderstellen, dat de mogelijkheid om de richting van een geluidsbron te vinden, bestaat in het op de juiste wijze interpreteren (door de hersenen) van de verschillen in geluidssterkte die door de twee oren worden opgevangen. Hoewel deze verschillen wel kunnen meewerken is dit toch niet de belangrijkste bron van informatie. Het verschil wordt ook klein als men de geluidsbron op grote afstand denkt. Het procentuele verschil in afstand wordt dan zo klein, dat zelfs na het kwadrateren de bijbehorende geluidssterkte-verschillen al spoedig onmeetbaar klein worden. Toch wordt op grote afstanden van de geluidsbron de nauwkeurigheid, waarmee de richting kan worden bepaald, slechts weinig kleiner dan op korte afstanden. Er moet dus een ander verschil zijn en dat is het faseverschil. Hoe dit ontstaat wordt in fig. 10 verduidelijkt.

Vanuit een geluidsbron *B* wordt het geluid in een regelmatige opeenvolging van luchtverdichtingen en -verdunningsen naar alle kanten uitgestraald met een voortplantingsnelheid van 330 meter per seconde. Daar de voortplanting

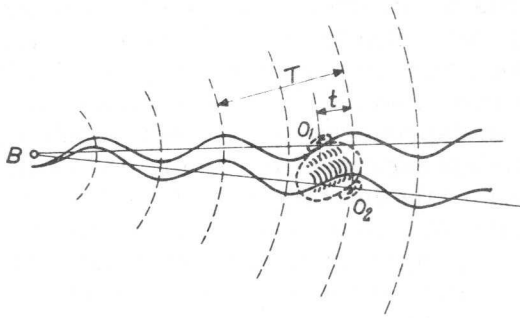


Fig. 10. Verklaring voor het horen van de richting van de geluidsbron B. Het optredende faseverschil, door het verschil in afstand van de twee oren tot B, is door t aangegeven. T is de trillingstijd van een complete cyclus van de geluidstrilling.

rechtlijnig is interesseren ons slechts de trillingen, die zich van de geluidsbron direct naar de twee oren begeven. Daar het tekenen van verdikkingen en verdunningen vrij lastig is, hebben we deze aangegeven met een sinusvormige trilling om de twee lijnen waarbij een „buik” naar boven overeenkomt met een verdikking van een „buik” naar beneden met een verdunning. Uiteraard moet men fig. 10 verder opvatten als een momentopname omdat de getekende buiken en knopen zich met de geluidssnelheid verplaatsen zodat de situatie bij de oren zich steeds wijzigt. Wat echter niet verandert is het verschil in afstand en daardoor het verschil in tijd waarop een bepaalde buik of knoop bij het ene en het andere oor aankomt. Nu is het gebruikelijk dit tijdsverschil uit te drukken als faseverschil (gemeten in graden), waarbij het tijdsverschil tussen twee opeenvolgende geluidsverdichtingen (T in fig. 10) overeenkomt met 360° . Het faseverschil tussen de punten van de oren O_1 en O_2 is nu $\frac{t}{T} \times 360^\circ$ en is dus in fig. 10 ca. 120° .

De trilling bij O_1 ijlt 120° vóór bij die bij O_2 , omdat een bepaalde toestand eerder bij O_1 aankomt. Voor een andere trillingfrequentie blijft weliswaar het tijdsverschil t dezelfde, maar aangezien de trillingstijd T anders is, zal ook

het faseverschil anders worden. Voor een twee maal zo hoge frequentie als in fig. 10, wordt T de helft en het faseverschil twee maal zo groot, dus 240° , voor een twee maal zo lage frequentie daarentegen wordt T twee keer zo groot en het faseverschil twee keer zo klein, dus 60° . Daar de afstand tussen de oren voor een mens een bepaalde vaste waarde heeft, zal het duidelijk zijn, dat naarmate de frequentie lager is, het mogelijke faseverschil steeds kleiner wordt. Dit kan dan ook verklaren dat het bij lagere frequenties steeds moeilijker wordt de richting van de geluidsbron vast te stellen.

Verder kan men aan de hand van fig. 10 gemakkelijk inzien, dat de afstand van de geluidsbron tot het hoofd, op de optredende fasehoek vrijwel geen invloed heeft. Alleen bij zeer korte afstanden gaat de fase zich wijzigen maar dan komen bij de menselijke organen de geluidsterkteverschillen een handje helpen. Voor grote afstanden en niet te lage frequenties is het bepalen van het faseverschil dus een betrouwbare methode om de richting te bepalen. De mens is dus blijkbaar in staat om van een bepaalde geluidsbron die ook nog meerdere frequenties tegelijk kan bevatten, van elke frequentie afzonderlijk het faseverschil te bepalen en hieruit de richting vast te stellen. Dit kan dus verklaard worden uit de werking van de twee oren. De mens en ook het dier kunnen echter bovendien nog bepalen of het geluid van voren of van achter komt, terwijl toch het faseverschil dan hetzelfde kan zijn. Bovendien kan worden bepaald onder welke hoek naar boven of beneden het geluid binnenkomt, terwijl dit in principe toch geen extra faseverschillen oplevert. Het schijnt dat deze laatste twee mogelijkheden verband houden met de oorschelpen en de vorm van het hoofd.

Vervangt men in fig. 10 de oren door 2 microfoons dan zullen de opgewekte wisselspanningen hetzelfde faseverschil hebben als de geluidstrillingen, indien althans de twee microfoons geen verschillende fasekarakteristiek hebben. Uit dit faseverschil kan dan eveneens de richting van een geluidsbron worden bepaald. In de volgende paragraaf zul-

len we een dergelijke installatie, die dit mogelijk maakt, leren kennen.

II. 2. 3. *Een stereofonische microfoonschakeling*

De door ons gebruikte stereofonische microfoonschakeling moet voldoen aan de eis dat hiermee de kop van de robot in de richting van een fluitsignaal moest worden gedraaid. Daar slechts twee microfoons (de twee oren) konden worden gebruikt, bleek het niet mogelijk hierbij onderscheid te maken tussen geluid dat van voren of van achteren kwam. Het gebruik van een fluitsignaal wat dus slechts één grondfrequentie (+ een aantal harmonischen) bevat gaf de mogelijkheid om, 1e een grote gevoeligheid voor de gekozen frequentie te bereiken, 2e een relatief grote ongevoeligheid voor omgevingslawaai (voor demonstraties zeer belangrijk) * en 3e een eenvoudige fasemeter voor slechts één frequentie te gebruiken omdat de fase dan direct een maat is voor de hoek waaronder het geluid binnen komt.

Als frequentie voor dit fluitsignaal is 400 Hz gekozen:

1. in verband met het feit dat hierbij de afstand tussen de twee microfoons binnen redelijke grenzen blijft om voor de verschillende invalshoeken een goed bruikbaar faseverschil te verkrijgen (zie verder);
2. omdat met deze frequentie behoorlijk selectieve filterkringen kunnen worden verkregen;

*) In de praktijk is al spoedig gebleken dat de gevoeligheid voor omgevingslawaai toch te groot was. In een groot aantal geluiden zoals het dichtvalen van een deur, het hoesten, het overvliegen van een vliegtuig, komt blijkbaar de frequentie van 400 p/s zo sterk voor dat de schakeling hierop reageerde.

Daar dit soort geluiden bij de mens geen enkele indruk meer maken (al hoort men ze uiteraard wel) werd het reageren van de schakeling hierop volkomen onbegrijpelijk.

Daar verder de reactie op een gehoord signaal vrij veel tijd vergt, werd het moeilijk en tijdrovend het gewenste effect te demonstreren. Om dit bezwaar althans voor een groot gedeelte op te heffen is een bepaalde coderingsschakeling aangebracht die echter het principe van het stereofonisch horen niet aantast. De wijzigingen in de te bespreken schakeling zullen onder het hoofd „het reageren op bepaalde klanken” nog nader worden besproken.

3. in verband met andere in de robot voorkomende frequenties;
4. omdat deze frequentie moeilijk is te produceren door de mens (ongewenste beïnvloeding van de demonstratie door het publiek).

De schakeling bestaat uit de volgende elementen die in fig. 11 in een blokschema zijn weergegeven. De microfoons M_1 en M_2 waarvoor we wegens het geringe gewicht kristalmicrofoons hebben gekozen, zijn aangesloten op de versterkers V_1 en V_2 . Deze versterkers bevatten een afgestemde kring voor de gekozen frequentie van 400 Hz. Hoewel gestreefd is naar een volkomen fasegelijkheid bevatten

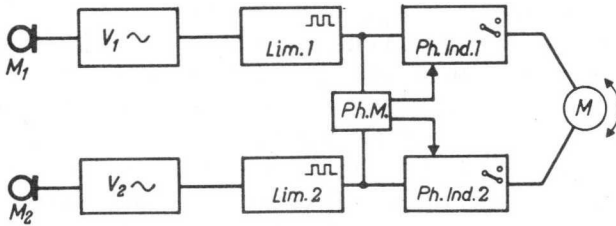


Fig. 11. Blokschema van de door ons gebruikte stereofonische microfoonschakeling. V_1 en V_2 zijn selectieve versterkers. Lim 1 en 2 zijn begrenzerschakelingen die de sinusvormige trillingen omzet in rechthoekspanningen. Ph. M. is de eigenlijke fase-meter die de uitgangsspanning van Ph. ind. 1 en Ph. ind. 2 commandeert. Afhankelijk van het feit of de microfoonspanning van M_1 voorijlt of najilt t. o. v. die van M_2 zal Ph. ind. 1 of wel Ph. ind. 2 de motor M doen draaien in de gewenste richting. De duur van dit draaien wordt in beide gevallen bepaald door de fase-meter Ph. M.

deze versterkers toch een mogelijkheid de fase te wijzigen zodat de uitgangsspanningen voor beide kanalen, wat de fase

betreft, volkomen aan elkaar gelijk gemaakt kunnen worden. De uitgangsspanningen worden dan toegevoerd aan een begrenzerschakeling die de sinusvormige spanningen omzet in rechthoeksspanningen met constante amplitude en uiteraard met behoud van de fasegetrouwheid. Sterkteverschillen in de twee kanalen worden hierdoor volledig gecompenseerd. Het faseverschil tussen de twee rechthoeksspanningen van de twee kanalen, dat dus een directe maat is voor de hoek, waaronder het geluid op de microfoons aankomt, wordt vervolgens gemeten in de fasemeter *Ph. M.* Eén van beide uitgangsschakelingen *Ph ind 1* of *Ph ind 2* zal worden bediend door de rechthoeksspanning afhankelijk er van of de spanning van kanaal 1 voorijlt of najilt ten opzichte van die van kanaal 2. Hierdoor wordt de motor die de kop van de robot bedient in de juiste richting gedraaid. De duur van dit draaien wordt bepaald door de uitkomst van de fasemeter en wordt dus zo ingesteld dat de kop zich naar de geluidsbron toekeert. Alvorens nu over te gaan tot een nadere beschrijving van de verschillende elementen zullen we de verhouding tussen richting van het inkomende geluid en het resulterende faseverschil nog even nader bekijken. In fig. 12 zijn de twee microfoons M_1 en M_2 op grote afstand van de geluidsbron getekend. Hierdoor is het geoorloofd de aangegeven rechte hoek als voldoende juist te accepteren. Indien de twee microfoons nu vrij in de lucht zijn opgesteld is het bij een bepaalde frequentie optredende faseverschil $t = d \sin \alpha$. In fig. 12a is het verband tussen de hoek α en

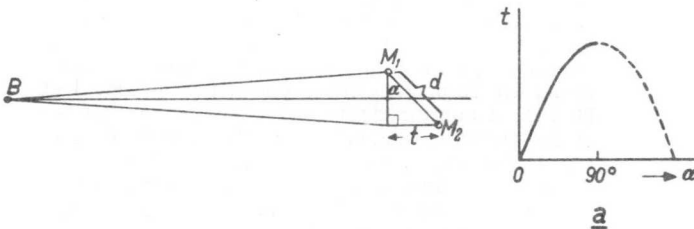


Fig. 12. Het optredende faseverschil t afhankelijk van de hoek α waaronder het geluid wordt opgevangen. In a is dit verband grafisch uitgezet, indien de microfoons M_1 en M_2 vrij in de lucht zijn opgesteld.

de optredende faseverschuiving grafisch uitgezet. Hieruit blijkt dus dat het verband niet lineair is maar een sinus-functie, terwijl het duidelijk zal zijn dat de grootste verschillen in fase per graad verdraaiing zullen optreden bij $\alpha = 0$, dus met de kop in de richting van het geluid, en de kleinste verschillen bij $\alpha = 90^\circ$ dus met de kop dwars. De nauwkeurigheid is bij $\alpha = 0^\circ$ dus het grootst, ook bij de mens die immers bij het bepalen van de richting steeds neiging heeft het hoofd in de richting van het geluid te draaien. Bij de robot zou dit ook kunnen worden gedaan maar in onze schakeling verdiende een lineair verband toch aanbeveling ook al om de schakeling niet te gecompliceerd te maken. Door de microfoons in een kop in te bouwen kan het verband veel beter lineair worden gemaakt. Om dit in te zien raadplege men fig. 13 waar van een cilindervormige kop is uitgegaan. Bekijken we het kortste verschil in afstand dan zien we dat dit verschil $t = (\alpha + \sin \alpha) \frac{1}{2}d$ *. Zetten we dit verband grafisch uit (fig. 13b) dan blijkt deze grafiek de rechte lijn al aardig te benaderen.

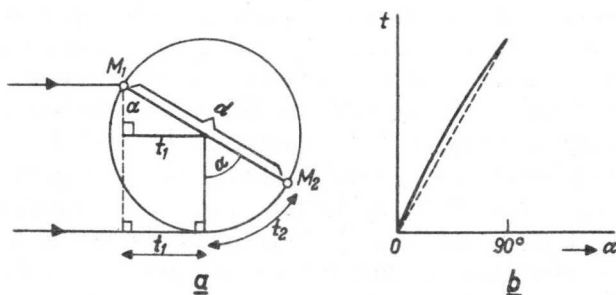


Fig. 13. Het optredende faseverschil t ($= t_1 + t_2$) afhankelijk van de hoek α waaronder het geluid wordt opgevangen door de twee microfoons M_1 en M_2 , die in een cilindervormig hoofd zijn opgesteld. Het verband is in b grafisch uitgezet en blijkt vrij goed lineair (vergelijk de rechte stippellijn).

De afstand tussen de microfoons kan nu worden vastgesteld aan de hand van de gekozen frequentie (in ons geval 400 p/s). Zoals we zullen zien is het maximum fasever-

*) de hoek α is hierbij uitgedrukt in radialen.

schil wat door de fasemeter kan worden bepaald $\pm 180^\circ$. Bij de frequentie van 400 p/s komt dit er op neer dat het grootste verschil in afstand tussen de twee geluidswegen niet meer dan $\frac{33000}{2 \times 400} = \text{ca. } 41 \text{ cm}$ mag bedragen. De doorsnede van een cilindervormige kop moet dan ca. 32 cm zijn. Vanwege het feit dat de uitwerking van de fasemeter op de volgende schakeling bij grote faseverschillen niet meer lineair is (zie verder) hebben wij de diameter resp. afstand tussen de microfoons iets kleiner gehouden zodat het maximale faseverschil ca. 150° bedraagt.

We zullen nu de verschillende elementen van fig. 11 aan een nadere beschouwing onderwerpen.

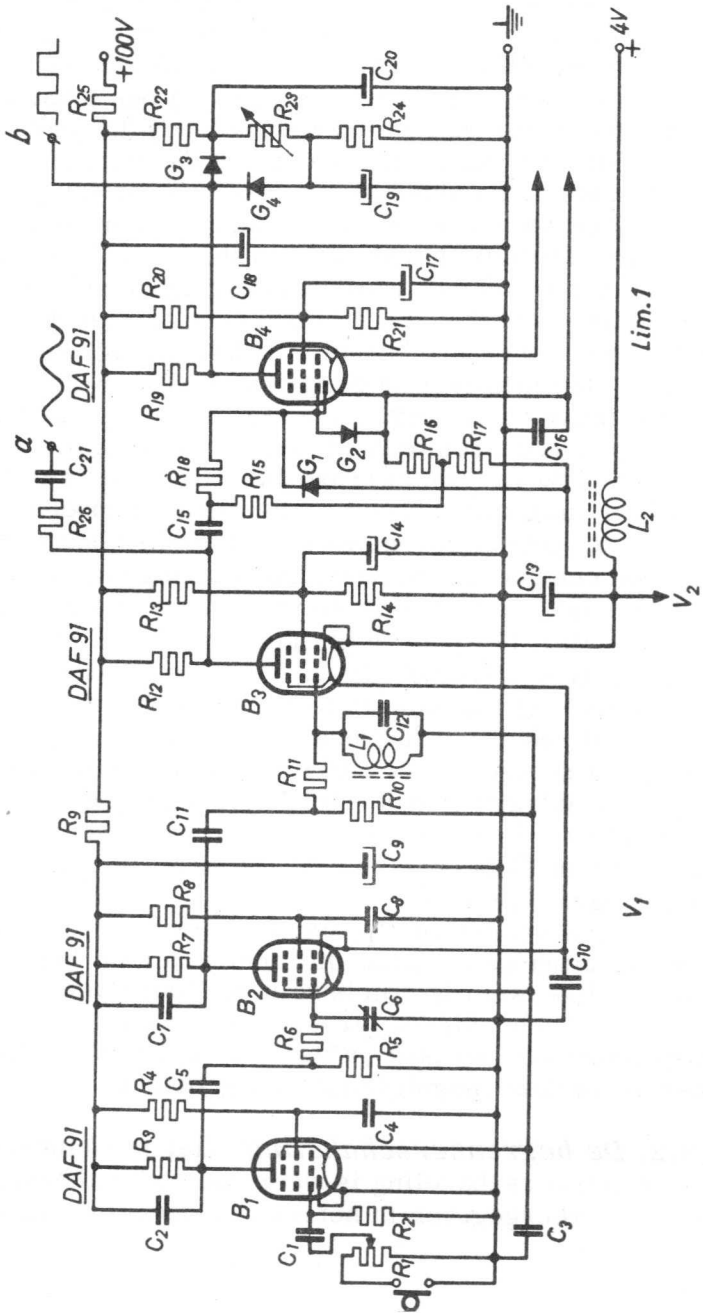
II. 2. 3. 1. De voorversterkers V_1 en V_2 . Het principe-schema van de twee voorversterkers V_1 en V_2 (fig. 11) is geheel gelijk en is weergegeven in fig. 14. De onderdelen zijn van te voren gemeten om de versterking en fasekarakteristiek zo goed mogelijk aan elkaar gelijk te maken. Gevoeligheidsverschillen van de microfoons kunnen met potentiometer R_1 eventueel worden gecompenseerd. De gloeidraden van de buizen B_1 , B_2 en B_3 zijn in serie geschakeld en aangesloten op een 4V spanningsbron. Zodoende wordt voor de buizen B_2 en B_3 op eenvoudige wijze de beschikking gekregen over negatieve roosterspanningen. De overeenkomstige gloeidraadketen van versterker V_2 is op dezelfde batterij aangesloten. Daar de gebruikte buizen DAF91 (gekozen vanwege de anti-microfonie) 50 mA gloei-stroom verbruiken is het totale gloeistroomverbruik 100 mA. Daar er verder nog meer versterking volgt door buizen die weer met de 4V batterij in serie staan, is het nodig gebleken de gloeidraadgroepen van de buizen $B_1 \div B_3$ met het filter $L_2 - C_{13}$ af te vlakken om koppeling via de gloeidraadketens tegen te gaan. De ont koppeling in de anodevoeding wordt bewerkstelligd door de filters $R_9 - C_9$ en $R_{25} - C_{18}$.

De condensatoren C_2 en C_7 over de anodeweerstanden van buis B_1 en B_2 zijn zo bemeaten, dat de versterking voor hogere frequenties dan 400 p/s geleidelijk minder wordt

terwijl met de relatief kleine koppelcondensatoren C_1 , C_5 en C_{11} hetzelfde bereikt wordt voor frequenties lager dan 400 p/s. Om dezelfde reden hebben de ontkoppelcondensatoren voor de schermroosters (C_4 en C_8) ook maar kleine waarden. Het filter R_6C_6 verzwakt ook nog de hogere frequenties. Het doel van dit filter dat met de trimmer C_6 kan worden ingesteld, is echter om de fase van het 400 p/s signaal te kunnen variëren. Hiermee kunnen dan verschillen in fasekarakteristiek tussen de versterkers V_1 en V_2 of van de twee microfoons worden gecompenseerd. Heeft de karakteristiek van het versterkergedeelte van de buizen B_1 en B_2 dus reeds een bepaalde „afstemming” verkregen bij 400 p/s, de eigenlijke selectiviteit wordt verkregen door de schakeling met de afgestemde kring L_1C_{12} . De zelfinductie L_1 (evenals trouwens de smoorspoel L_2) is gewikkeld op een potkern van Ferroxcube. Hierdoor is een hoog kwalitatieve magnetisch goed afgeschermd spoel verkregen. Door het geheel bovendien in een blikken bus te plaatsen, is ook een goede statische afscherming verwezenlijkt. Door de geringe verliezen is de impedantie van de kring in afstemming (bij 400 p/s) zeer hoog, nl. enige megohms. De potentiometerwerking met R_{11} geeft dan ook praktisch geen verzwakking. Buiten afstemming echter daalt de impedantie snel zodat met R_{11} een snel toenemende verzwakking wordt verkregen. Het uittrillen van de kring op stootvormige spanningen wordt sterk tegengegaan door het plaatsen van de kring na de reeds min of meer selectieve versterker van B_1B_2 die andere frequenties dan 400 p/s reeds belangrijk verzwakt.

Op de anodeweerstand R_{12} ontstaat tenslotte de nog onvervormde uitgangsspanning die echter alleen bij 400 p/s een behoorlijke waarde kan bereiken. Voor doeleinden die in het volgende hoofdstuk ter sprake komen kan deze uitgangsspanning van het punt „a” worden afgenomen. Bij versterker V_2 is deze mogelijkheid niet gebruikt.

II. 2. 3. 2. *De begrenzerschakeling.* Het principeschema van de begrenzerschakeling is weer voor beide kanalen dezelfde en is weergegeven in het rechter gedeelte van fig. 14.



De schakeling bestaat uit buis B_4 en 4 germaniumdiodes G_1 t/m G_4 . De gemiddelde rooster potentiaal van buis B_4 wordt bepaald door de middenaftakking van de weerstanden R_{16} en R_{17} ($\pm 0,7V$ negatief t. o. v. de gloeidraad van B_4) welke spanning via R_{15} en R_{18} aan het rooster wordt toegevoerd. Naar boven toe wordt een wisselspanning begrensd door het in werking treden van G_2 in combinatie met de diode die samen met weerstand R_{18} een zeer hoge potentio-meter gaat vormen. Naar beneden gebeurt hetzelfde door de diode G_1 . De roosterspanning kan dus nooit hoger worden dan $0V$ en nooit lager dan $-1,35V$. Bij grote signalen wordt door deze symmetrische schakeling voorkomen dat door eenzijdige roosterstroom de gemiddelde potentiaal van het rooster verandert, wat in verband met de tweede begrenzingschakeling in de anode moet worden voorkomen. Over de regelbare weerstand R_{23} ontstaat een spanning door middel van de weerstand R_{22} en R_{24} . Zonder signaal is door juiste keuze van deze weerstanden de anode potentiaal van B_4 gelijk aan de gemiddelde potentiaal over R_{23} . Naar boven toe wordt deze anodepotentiaal begrensd door G_3 en symmetrisch naar beneden door G_4 . De electrolytische condensatoren C_{19} en C_{20} zorgen ervoor dat deze begrenzingswaarde tijdens de korte stroomstoten constant wordt gehouden. In figuur 15 zien we achtereenvolgens onder a een wisselspanning, onder b deze spanning zoals die op het rooster van de buis terecht komt en onder c gestippeld dezelfde spanning zoals die op de anodeweerstand zou ontstaan indien de germaniumdiodes G_3 en G_4 niet aanwezig waren. Uit deze figuur blijkt dat de flanksteilheid in de schakeling aanzienlijk is toegenomen, hetgeen betekent dat op deze wijze profijt wordt getrokken van de versterking die door de buis B_4 is verkregen.

Het resultaat van de begrenzerschakeling is dus dat een sinusvormige ingangsspanning is omgezet in een rechthoekspanning waarvan bovendien de amplitude vast is en onafhankelijk van de ingangsspanning. Alleen bij microfoonspanningen kleiner dan $0,5$ mV is de flanksteilheid niet meer voldoende om de rest van de schakeling betrouwbaar te

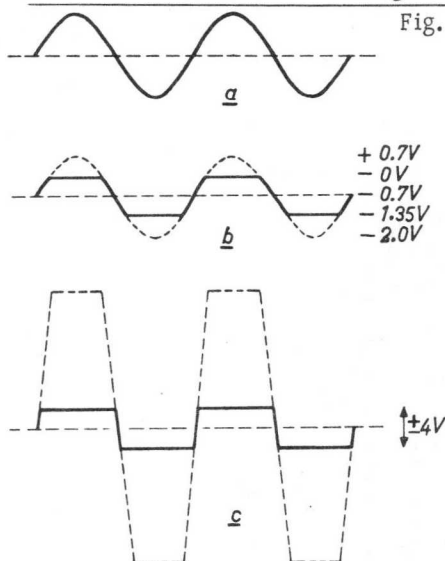


Fig. 15. Grafische voorstelling van de werking van de begrenzerschakeling van fig. 14.

- a. wisselspanning op de anode van buis B_3 .
- b. getrokken lijn: de resulterende spanning op het stuurrooster van buis B_4 .
- c. gestippeld: de anodewisselspanning van buis B_4 indien de dioden G_3 en G_4 niet aanwezig waren.
getrokken lijn: de anodespanning van buis B_4 en de spanning op de uitgangsklem b (fig. 14) onder invloed van de begrenzing door de dioden G_3 en G_4 . Ten opzichte van de rooster spanning (b) is de amplitude slechts weinig groter geworden, maar de flanksteilheid van de rechthoekspanning is belangrijk verbeterd.

laten werken. Met de regelweerstand R_{23} kan de amplitude van de rechthoekspanning worden ingesteld.

II. 2. 3. 3. De fasemeter. De fasemeter heeft tot taak het faseverschil tussen de twee microfoonkanalen te meten. Het schema is in fig. 16 weergegeven.

De meetschakeling bevat 4 buizen, nl. B_5 en B_6 voor het ene, B_{15} en B_{16} voor het andere kanaal. Het uit de begrenzer komende rechthoekige signaal 1 wordt via C_{22} toegevoerd aan het rooster van B_5 evenals trouwens het tweede in phase verschoven signaal via C_{23} aan het rooster van B_{15} wordt toegevoerd. Zonder signaal zijn deze buizen afgeknepen doordat de katode op + 4 Volt staat. De germaniumdiodes G_5 en G_6 zorgen ervoor, dat bij binnenkomend signaal de rooster spanning steeds positief wordt ten opzichte van de aardpotentialaals zoals in fig. 17a is weergegeven. Door juiste keuze van de amplitude van het signaal kan deze buis dus vrijwel volkomen worden uitgestuurd. Het van de begrenzer komende signaal wordt eveneens via C_{24} toegevoerd aan het rooster van B_6 , het fase verschoven signaal via C_{25} aan het rooster van B_{16} . Door rooster gelijkrichting wordt verkregen dat dit signaal steeds nega-

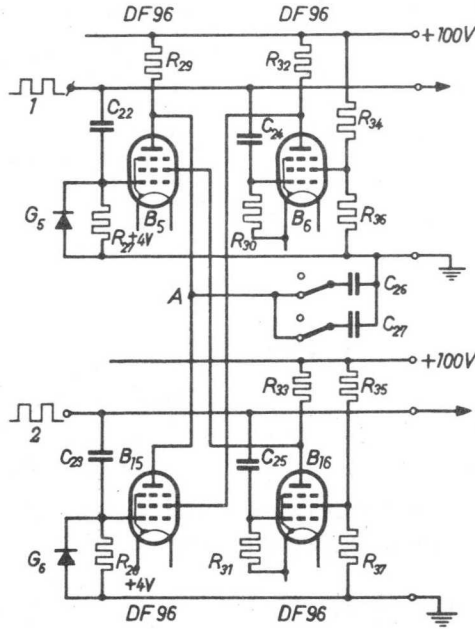
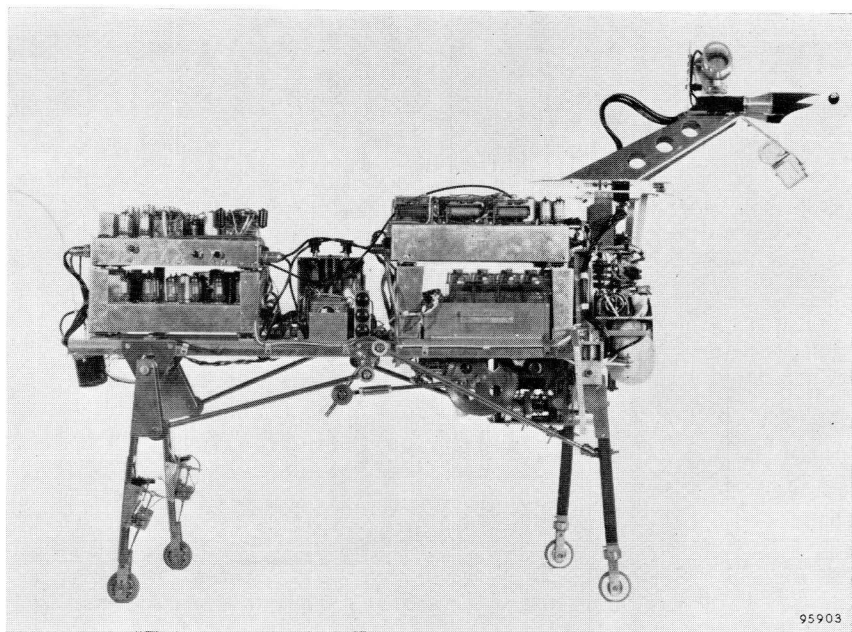


Fig. 16. Schema van de fasemeter. De spanning op punt A staat in lineair verband met het faseverschil tussen de ingangssignalen 1 en 2.

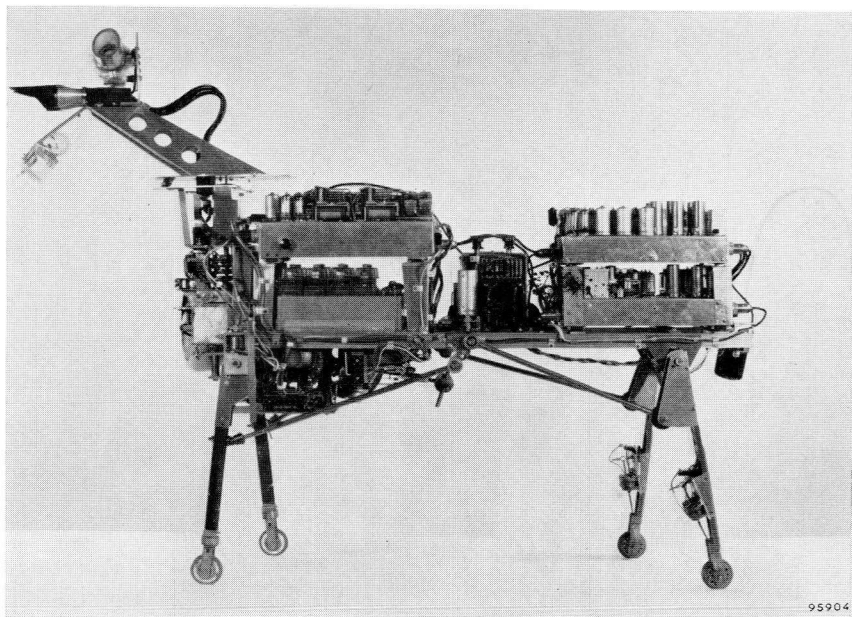
- R_{27} en $R_{28} = 2M\Omega$
- $R_{29} = 220 K$
- R_{30} en $R_{31} = 2M\Omega$
- R_{32} en $R_{33} = 68 K$
- R_{34} en $R_{35} = 39 K$
- R_{36} en $R_{37} = 68 K$
- C_{22} en $C_{23} = 22 K$
- C_{24} en $C_{25} = 22 K$
- C_{26} en $C_{27} = 330 K$
- G_5 en $G_6 =$ germaniumdiode
0A85

tief is ten opzichte van de potentiaal van de katode zoals in fig. 17b is weergegeven. Nu is de anode van B_6 verbonden met het schermrooster van B_{15} en omgekeerd de anode van B_{16} met het schermrooster van B_5 . Voor B_5

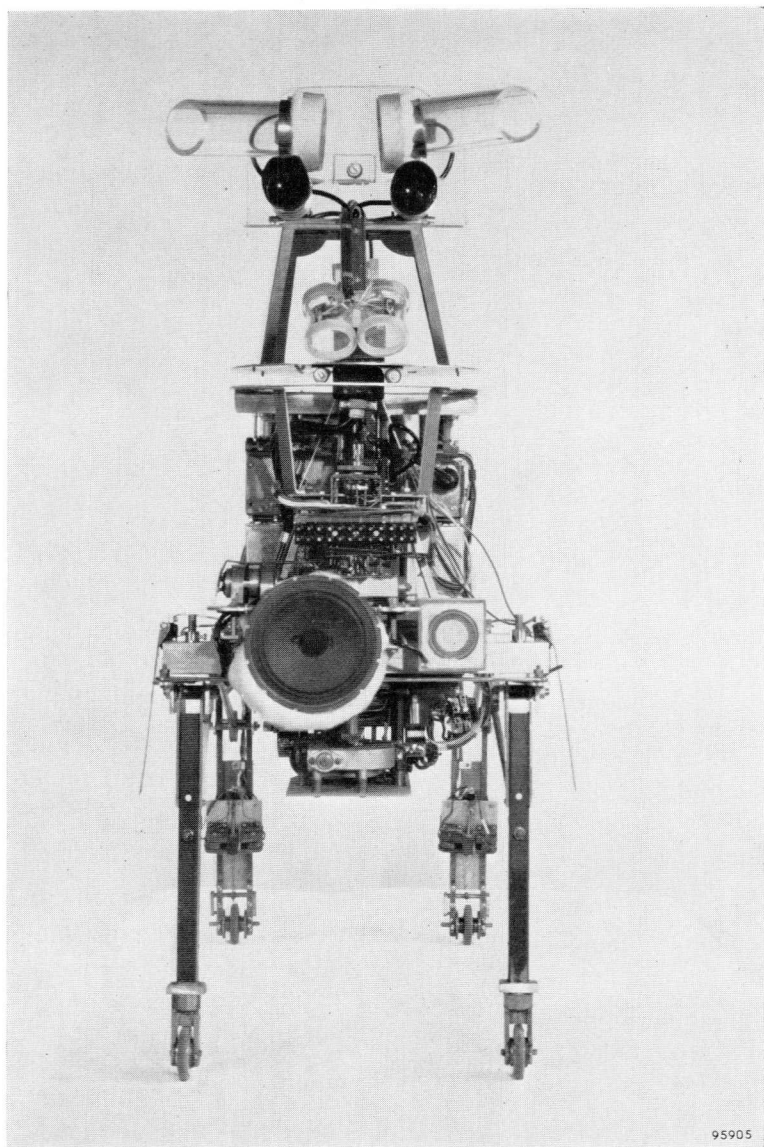


95903

Twee overzichtsfoto's van de linker- en de rechterzijde van het elektronische robottier nog voor de provisorische plastic huid was aangebracht.



95904



95905

*Voorraanzicht. Foto werd gemaakt nog voor de plastic huid was aan-
gebracht. Duidelijk zichtbaar zijn de oren (microfoons), de ogen (foto-
cellen), de neusgaten (N.T.C. weerstanden). De tong was nog niet aan-
gebracht. De luidspreker en de microfoon in het midden zijn die van het
radarsysteem.*

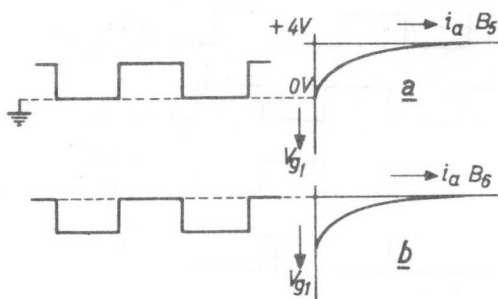


Fig. 17. De rechthoekspanning stelt zich door de germaniumdiode G_5 in de roosterruimte van buis B_5 in, zoals onder a weergegeven. Dezelfde rechthoekspanning stelt zich door de optredende roosterstroom in de roosterruimte van buis B_6 in zoals onder b weergegeven.

betekent dit dus dat zonder faseverschuiving tussen de twee kanalen de fase van de rooster- en schermroosterspanningen in tegen fase staan, waardoor deze buis geheel geblokkeerd is en er geen anodestroom in B_5 kan ontstaan. Ditzelfde geldt ook voor buis B_{15} . Bij een faseverschuiving tussen de twee signalen evenwel zal een impulsvormige anodestroom ontstaan omdat alleen anodestroom kan vloeien in de periode dat het stuurrooster katodepotentiaal heeft (+ 4V t.o.v. aarde) en tegelijkertijd het schermrooster max. positief is. Deze periode ligt zoals in fig. 18d is weergegeven. De breedte van deze impuls is gelijk aan het faseverschil tussen de ingangssignalen „1” en „2”. In fig. 18d is de anodestroom weergegeven van buis B_5 terwijl in fig. 18e de onder dezelfde omstandigheden optredende anodestroom van B_{15} is uitgezet. Daar nu de anodes van de buizen B_5 en B_{15} onderling zijn doorverbonden krijgen wij voor de totale anodestroom dus het beeld van fig. 18f, waarbij blijkt dat de stroompieken van de buizen precies tussen elkaar vallen. Bij een faseverschuiving van 180° bereiken de pieken eveneens een breedte van 180° , zodat over de gehele cyclus een anodestroom geleverd wordt en deze dus constant maximum zal zijn. De anodepo-

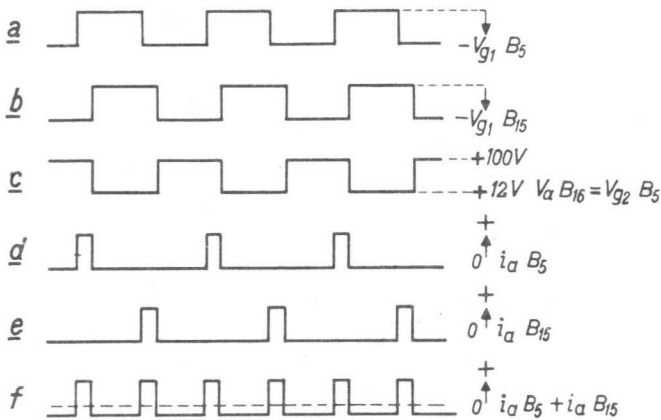


Fig. 18. Verband tussen toegevoerde rechthoekspanningen bij een bepaald faseverschil (ca. 45°) en optredende anode- en schermroosterspanningen en anodestromen bij de fasemeter van fig. 16.

- a. roosterspanning buis B5
- b. roosterspanning buis B15
- c. anodespanning van buis B16 en tevens schermroosterspanning van buis B5
- d. de uit a en c afgeleide anodestroom van buis B5
- e. de op soortgelijke wijze ontstane anodestroom van buis B15
- f. de totale anodestroom van de buizen B5 en B15 die door de gemeenschappelijke anodeweerstand R₂₉ loopt. Gestippeld de gemiddelde anodestroom die uiteindelijk de gelijkspanning op de condensatoren C₂₆ en C₂₇ in fig. 16 bepaalt.

tentiaal zal dus gemiddeld variëren tussen + voeding spanning bij 0° faseverschuiving tot de minimale waarde die bij een constante anodestroom bij 180° faseverschuiving optreedt. Deze fase afhankelijke spanning staat dus eveneens op de condensatoren C₂₆ en C₂₇, waarop wij aanstonds terugkomen.

Verder zal het duidelijk zijn dat het verband tussen faseverschuiving en gemiddelde anodestroom lineair is. De maximum en minimum waarde is immers steeds dezelfde bij een zelfde ingangssignaalsterkte. Door de begrenzer wordt deze signaalsterkte rigoreus constant gehouden, zodat de gemiddelde waarde alleen afhangt van het faseverschil.

II.2.3.4. *De fase-indicator.* Zoals we gezien hebben levert de fasemeter een spanning afhankelijk van het faseverschil tussen 0 en 180° , maar geeft geen uitslag over het feit of het signaal van een bepaald kanaal voorijlt of najilt. Hiervoor dient nu de fase-indicator, waarvan het schema in fig. 19 is weergegeven. De schakeling bestaat uit twee identieke monostabiele multivibrator schakelingen, bestaande uit de buizen B_7 en B_8 voor het ene en B_{17} en B_{18} voor het andere kanaal. Normaal is de roosterpotentiaal van buis B_7 gelijk aan + 4V door de aanwezigheid van de weerstand R_{44} . Buis B_7 trekt dus veel anodestroom en de anodespanning zal dus laag zijn (ca. 10V). Ongeveer 1/10 van deze spanning, dus + 1V wordt door de potentiometerschakeling R_{62} , R_{64} en R_{66} toegevoerd aan het rooster van B_8 en eveneens aan het rooster van de relaisbuis B_9 . Door de katodespanning van deze buizen te kiezen (+ 6,7V voor de relaisbuis en + 10,7 voor de buis B_5) zijn deze buizen geheel afgeknepen zodat het relais niet ingetrokken staat. Via C_{30} , R_{40} en de anodeweerstand R_{60} wordt nu een gedeelte van de door de begrenzer geleverde rechthoek spanning toegevoerd aan het rooster van buis B_7 . Door roostergeleijkrichting zal dit signaal steeds negatief zijn ten opzichte van de katode. De resulterende rechthoekspanning op de anode zal eveneens op het rooster van B_8 , zij het dan ook 1/10 verzwakt, terecht komen. De katodespanning van B_8 echter is zo groot, dat dit signaal de buis nog niet kan doen omklappen. Dezelfde redenering kan gevolgd worden voor het tweede kanaal met de buizen B_{17} , B_{18} en B_{19} . Om nu het faseverschil in de schakeling tot uiting te laten komen, wordt via de kleine condensator C_{38} de rechthoek anodespanning van buis B_7 gedifferentieerd doorgegeven aan het rooster van B_{18} (circuit: $R_{48} - C_{34} - C_{38} - R_{70} - R_{65} - R_{67}$), terwijl anderzijds de rechthoekspanning op de anode van B_{17} eveneens gedifferentieerd door middel van C_{39} wordt doorgegeven op het rooster van B_8 (circuit: $R_{49} - C_{35} - C_{39} - R_{71} - R_{64} - R_{66}$). In fig. 20 is een en ander voor een bepaalde faseverhouding tussen de twee kanalen weergegeven ter verduidelijking. Onder *a* zien wij het roostersignaal van B_7 , onder *b* het corresponderend ano-

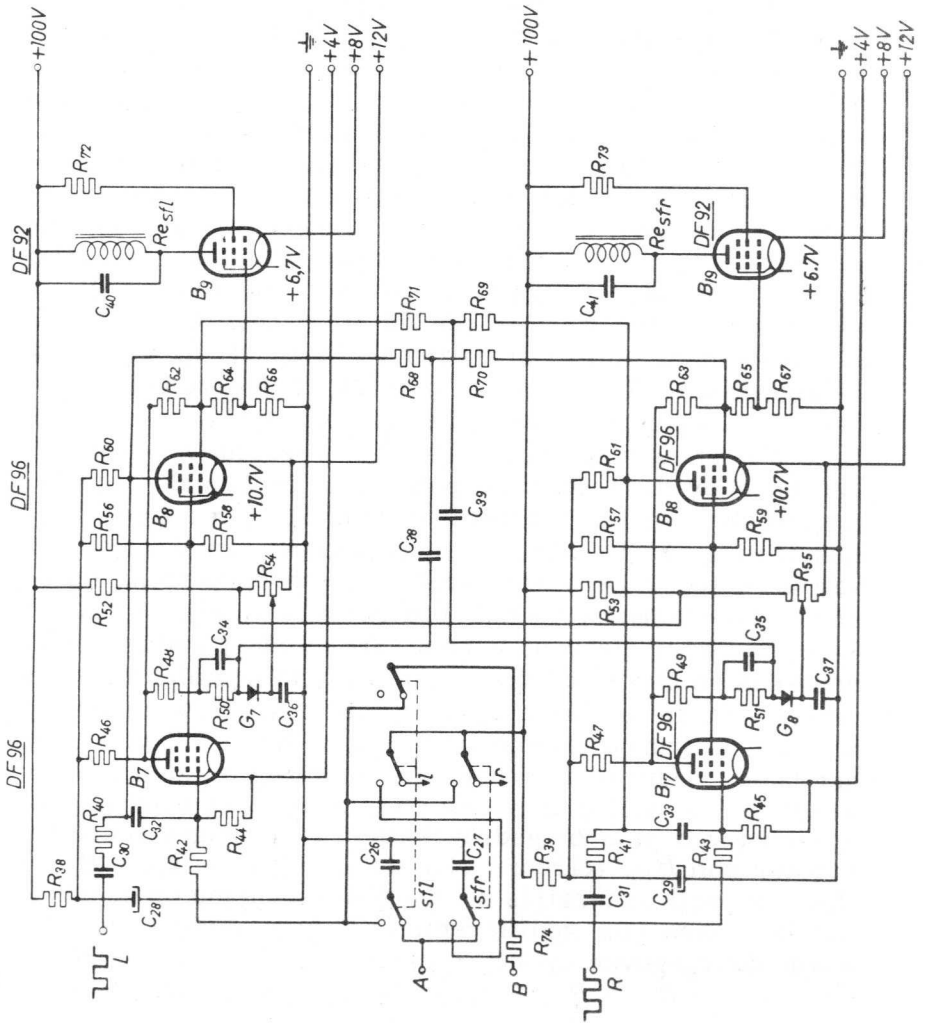


Fig. 19. Schema van een faseindicator waarbij de intrektijd van een relais afhankelijk is van het faseverschil dat in de vorm van een spanning op een condensator (C26 of C27) door de fase-meter van fig. 16 wordt toegevoerd. Relais Resfl zal intrekken indien de spanning L voortijlt bij Ren Resfr zal intrekken indien spanning R voortijlt bij L.

R38 en R39 = 2K2	C26 en C27 = 330 K
R40 en R41 = 220 K	C28 en C29 = 25 μ F
R42 en R43 = 1 M	C30 en C31 = 470 K
R44 en R45 = 5M6	C32 en C33 = 470 K
R46 en R47 = 100 K	C34 en C35 = 220 pF
R48 en R49 = 39 K	C36 en C37 = 22 K
R50 en R51 = 1 M	C38 en C39 = 56 pF
R52 en R53 = 33 K	C40 en C41 = 2K7
R54 en R55 = 20 K (lineaire potentiometer)	G7 en G8 = germaniumdiode 0A85
R56 en R57 = 18 K	Resfl en Resfr = relais met vier wisselcontacten 15000 Ω wikkeling
R38 en R59 = 39 K	
R60 en R61 = 100 K	
R62 en R63 = 560 K	
R64 en R65 = 33 K	
R66 en R67 = 68 K	
R68 en R69 = 4 M	
R70 en R71 = 68 K	
R72 en R73 = 4K7	
R74 = 1 M	

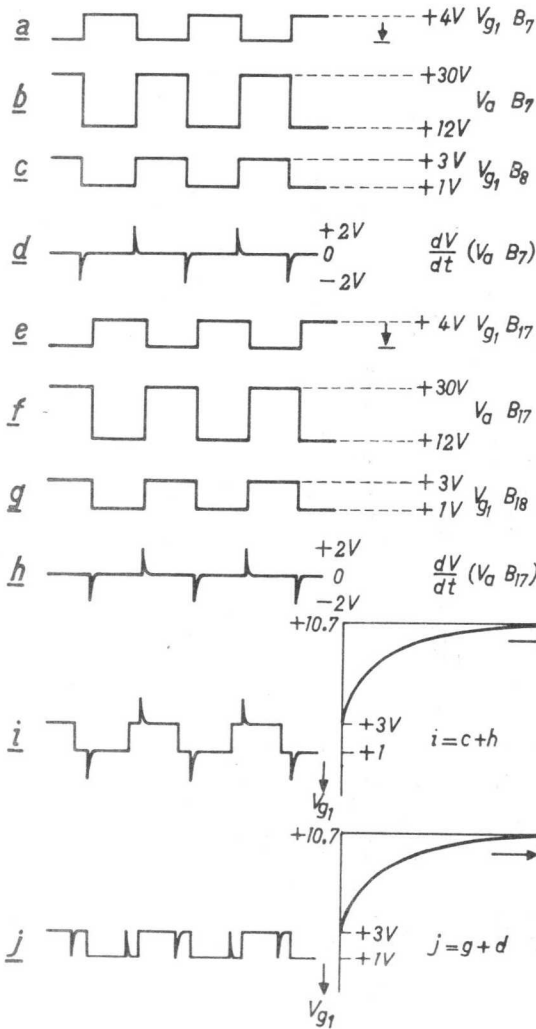


Fig. 20. Verband tussen de optredende rooster- en anodespanningen in de faseindicator-schakeling van fig. 19.

- a. De aan het stuurrooster van buis B7 toegevoerde rechthoekspanning.
- b. de resulterende anodespanning van B7.
- c. het deel van deze anodespanning dat op het stuurrooster van buis B8 terecht komt.
- d. de anodespanning van buis B7 gedifferentieerd door condensator C38 wordt toegevoerd aan het stuurrooster van buis B18.
- e. de rechthoekspanning van het tweede kanaal dat wordt toegevoerd aan het stuurrooster van buis B17. Deze spanning ijlt dus na t.o.v. het signaal onder a.
- f. de resulterende anodespanning van buis B17.
- g. het deel van deze anodespanning dat op het stuurrooster van buis B18 komt.
- h. de anodespanning van buis B17 gedifferentieerd door condensator C39 en toegevoerd aan stuurrooster van buis B8.

- i. de totale roosterspanning op het rooster van buis B8 ($c+h$) getekend ten opzichte van de $i_a - v_{g1}$ karakteristiek van deze buis. De pieken vallen in het anodestroomgebied en zullen de schakeling doen omklappen.
- j. de totale roosterspanning op het rooster van buis B18 ($g+d$) eveneens getekend ten opzichte van de $i_a - v_{g1}$ karakteristiek van B18. Noch de rechthoekspanning, noch de pieken komen in het anodestroomgebied en de schakeling heeft geen neiging om om te klappen.

designaal en onder c het resulterend roostersignaal van buis B_8 . Als het anodesignaal van B_7 wordt gedifferentieerd, ontstaan positieve en negatieve pieken op de tijdstippen zoals onder d weergegeven is. Verder zien wij onder e het roostersignaal van B_{17} , onder f het corresponderende anodesignaal en onder g het resulterende roostersignaal van B_{18} , terwijl het gedifferentieerde anodesignaal met de positieve en negatieve piekjes met de juiste faseverhouding onder h is weergegeven. Onder i is het reeds aangegeven roostersignaal van B_8 opgeteld met het toegevoerde gedifferentieerde signaal van buis B_{17} , tevens is hierbij de I_a/V_a karakteristiek van buis B_8 weergegeven, waaruit blijkt dat de piekjes juist in het rooster bereik van deze buis vallen en de schakeling dus kan omklappen. Onder j zien we dan nog de optelling van het roostersignaal van B_{18} met het toegevoerde gedifferentieerde anodesignaal van B_7 , waaruit blijkt dat bij deze instelling deze buis geen gelegenheid krijgt om om te klappen. Het principe van de schakeling berust dus hierop dat met een enkel signaal op een van de kanalen, het relais nooit zal ingaan, maar dat dit alleen kan gebeuren door toevoer van een tweede signaal dat naijlt, omdat in dat geval de piekjes bij het rechthoeksignaal worden opgeteld. Het kanaal waarvan de spanning voorijlt ten opzichte van het andere zal dus ingaan zolang dit voorijlen ligt tussen de 0 en 180° .

Nu moet echter nog rekening worden gehouden met het volgende. De signaalsterkte die, zonder aanwezigheid van piekjes van het tweede kanaal, de schakeling nog net niet doet omklappen, is slechts een gedeelte van het totale roosterbereik van de buis B_7 resp. B_{17} . Dat wil zeggen, dat de anode van deze buizen tijdens de rechthoeken slechts ca. 18V hoger wordt dan in de ruststand. Zodra nu de schakeling omklapt door aanwezigheid van het tweede signaal wordt buis B_7 geheel afgeknepen, waardoor de anode potentiaal zeer snel naar de voeding-spanning toevliegt. Voor buis B_7 betekent dit dat via de condensator C_{38} een flinke positieve stoot wordt gegeven op het rooster van B_{18} waardoor deze schakeling ook zeer zeker zou omslaan, wat echter niet de bedoeling is uiteraard. Om dit nu te voorko-

men, zijn een aantal blokkeringen aangebracht die beletten dat het tweede kanaal ingaat als het eerste omklapt. De eerste wordt gevormd door de combinatie R_{48} , R_{50} , C_{34} en germaniumdiode G_7 . Met behulp van potentiometer R_{54} wordt de spanning op C_{36} zodanig ingesteld, dat deze gelijk is aan de anode potentiaal van B_7 , op het moment dat de stuurspanning negatief is, zonder dat de schakeling omklapt. Deze spanning is ca. 30V ten opzichte van aarde en maakt dus de germaniumdiode G_7 niet geleidend gedurende het gehele stuursignaal. Wordt nu door omklappen van de schakeling de anodespanning hoger dan 30V dan wordt G_7 geleidend waardoor de spanning van de anode van de germaniumdiode niet boven de 30V uit kan komen. De hele positieve stoot op de anode van B_7 , die dus bij het omklappen van + 30 naar + 100V oploopt, wordt dus volkomen tegengehouden door de germaniumdiode G_7 en zal dus op het rooster van B_{18} geen positieve piek kunnen geven. Weerstand R_{48} zorgt ervoor dat de anode van B_7 toch met een behoorlijke flanksteilheid positief kan worden zodat het omklappen van de schakeling B_7 en B_8 niet wordt beïnvloed. De condensator C_{34} is groot genoeg gekozen ten opzichte van C_{38} om de piekjes, die voor het differentiëren moeten worden doorgelaten, niet te verkleinen. De weerstand R_{50} zorgt ervoor, dat de spanning op C_{34} uiteindelijk na het terugklappen weer kan afvloeien. De condensator C_{36} is groot gekozen om de katodepotentiaal van de germaniumdiode, tijdens de stroomstoot bij het omklappen, op de met R_{54} ingestelde waarde vast te houden (en hierdoor tevens de anodepotentiaal van G_7).

Een tweede blokkering wordt gevormd door de weerstand R_{68} die de anode van B_8 verbindt met het rooster van B_{18} via de weerstand R_{70} . Als de schakeling niet is doorgeslagen is de anode-potentiaal van B_8 ca. 100V, en levert op het rooster van B_{18} een constante gelijkspanning van + 1V. Deze valt echter vrijwel volledig weg op het moment dat de schakeling B_7 en B_8 omklapt, omdat de anode van B_8 dan tot ca. 18V daalt. Dit komt dus neer op een negatieve stoot op het stuurrooster van B_{18} waardoor ook de neiging tot omklappen wordt tegengegaan.

Overeenkomstige blokkering-schakelingen vindt men bij de buizen B_{17} en B_{18} , waar de pieken worden onderdrukt door germaniumdiode G_8 en de 1V spanningsvermindering op het rooster van B_8 wordt verkregen door middel van R_{69} .

Tenslotte is er nog een vergrendeling „achteraf” door het rechter relais contact sfl of sfr dat de weerstand R_{43} resp. R_{42} met de + 100V leiding verbindt. Hierdoor wordt door toename van de roosterstroom de weerstand van de rooster-gloeidraadruimte zoveel verminderd dat door de potentiometerwerking met R_{41} resp. R_{40} het toegevoerde rechthoeksignaal op het rooster belangrijk wordt verzwakt.

De spanning op het rooster van B_9 die verkregen wordt door R_{64} en R_{66} is; zodanig dat bij het omklappen van de schakeling $B_7 B_8$, het relais Re_{sfl} wordt ingetrokken. De tijd waarin de schakeling omgeklapt blijft, wordt, zoals bekend, bepaald door de tijd-constante van C_{32} en R_{44} . Bij het omklappen nl. daalt de anodespanning van B_8 ca. 70V die via C_{32} op het rooster van B_7 komt, waardoor deze buis dus is afgeknepen en pas weer in de ruststand zal terugkeren als C_{32} via R_{44} is bijgeladen tot aardpotentiaal. Deze tijdconstante wordt nu echter beïnvloed doordat door middel van het relaiscontact sfl , condensator C_{26} , die, zoals bekend, een phase afhankelijke positieve spanning ten opzichte van aarde heeft verkregen, via R_{42} te verbinden met C_{32} . De waarde van deze condensator is nu zo gekozen dat bij het minimale faseverschil waarbij de relais nog reageren, de lading die door C_{26} via R_{42} wordt toegevoerd, in ca. 1/4 seconde wordt overgebracht naar C_{32} . De negatieve spanning op C_{32} wordt hierdoor geneutraliseerd en terug gebracht op ca. aardpotentiaal waardoor de schakeling terugklapt.

Bij elk groter faseverschil zal de lading op C_{26} zoals we gezien hebben, kleiner zijn, zodat deze niet de negatieve spanning op C_{32} volledig kan neutraliseren en beide condensatoren via R_{44} naar aardpotentiaal toe moeten lopen. Bij 180° faseverschil levert dit bij de aangegeven waarden een tijd op van 15 sec, zodat de tijd-constanten tussen 0 en 180° variëren tussen 1/4 sec en 15 sec. Het verband tussen

tijdconstante en fasehoek is weergegeven in fig. 21. We zien dat voor grotere fasehoeken het verband niet meer

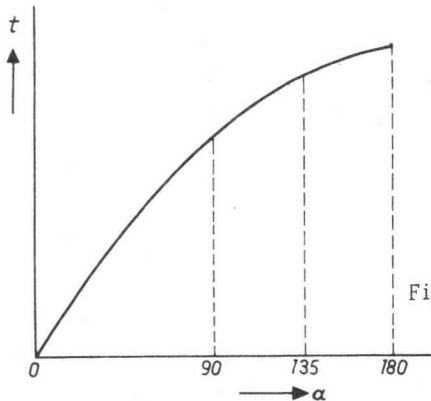


Fig. 21. Verband tussen intrektijd van de fase-indicator en de fasehoek. Eerst boven de 135° begint het verband te sterk van het lineaire af te wijken.

lineair is. De afstand tussen de twee microfoons is dan in ons geval ook zodanig gemaakt dat grotere faseverschuivingen dan 150° niet voorkomen.

Tenslotte vestigen wij nog even de aandacht op aansluitpunt *B* in fig. 19. Verbinden we dit punt met + 100V dan gebeurt hetzelfde als wanneer het rechter relais contact *sfr* zich sluit, nl. een blokkering van de bovenste monostabiele multivibrator. Dit betekent dan ook dat de gehele fase-indicator onwerkzaam wordt gemaakt omdat immers hiervoor beide schakelingen nodig zijn. Deze mogelijkheid is van belang voor het gebruik van een deel van de schakeling voor een ander doel, dat in het volgende hoofdstuk zal worden beschreven. De weerstand R_{74} heeft hierbij een secundairé functie en dient alleen om de scherpe spanningsstijging die bij het sluiten van relaiscontact *sfr* ontstaat op het punt *B* (en op de daarop aangesloten leiding die met een andere gevoelige leiding in eenzelfde kabel is opgenomen) af te vlakken.

Volledigheidshalve geven we in fig. 22 nog een verklaring voor de verschillende gloeidraadpotentialen die in de schema's zijn aangegeven. In ons model zijn nl. de „stereoscopische” fotocelschakeling en de stereofonische mi-

crofoonschakeling in één chassis ondergebracht. De in fig. 22 gegeven aanduidingen van buizen hebben dus betrekking

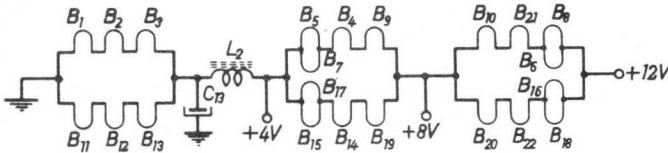


Fig. 22. Onderlinge verbinding van de gloeidraden van het stereoscopische en stereofonisch gedeelte. Voor de aanduidingen van de buizen raadplege men de fig. 8, 14, 16 en 19.

op de buizen van de figuren 8, 14, 16 en 19. De buizen B_{11} , B_{12} en B_{13} zijn de met de buizen B_1 , B_2 en B_3 overeenkomende voorversterkerbuizen van het tweede geluidskanaal. Elke keten van buizen heeft een stroomverbruik van 50 mA. Totaalverbruik is dus 100 mA bij 12V.

II. 2. 4. Het reageren op bepaalde klanken. Een mens, en zij het in veel mindere mate ook vele dieren, zijn in staat aan bepaalde klanken een betekenis toe te kennen. Men denke slechts aan het gesproken woord dat in feite niets anders is dan een opeenvolging van bepaalde klanken. Weliswaar moet de betekenis geleerd worden, maar dan blijft deze kennis ook lange tijd behouden (het geheugen). Omdat het aantal combinaties (woorden) dat een ontwikkeld mens ter beschikking staat onvoorstelbaar groot is, moet het deel der hersenen dat deze kennis bevat wel zeer gecompliceerd zijn. In de door ons geconstrueerde robot is ook een zij het bescheiden „kennis” van deze soort van klankencombinatie aangebracht.

Hierbij maken we gebruik van selectieve microfoonversterkers die voor andere doeleinden reeds aanwezig waren, nl. één van de twee voorversterkers voor de stereofonische schakeling, die zowel op 600 als 400 p/s kan zijn afgestemd, en die van het later te behandelen radarsysteem dat op 10.000 p/s is afgestemd. Wat de eerste betreft is het schema reeds gegeven in fig. 14. We moeten

echter even een kleine toevoeging doen in de afgestemde kring $L_1 C_{12}$ die de frequentie, waarvoor de schakeling gevoelig is, bepaalt. Deze kring is hiertoe tevens opgenomen in fig. 23 waarbij we zien dat in serie met de afstemcondensator C_{12} nog een condensator C_{66} is opgenomen die met het contact van relais R_{OG} kan worden kortgesloten. In de ruststand van dit relais echter, zorgt C_{66} er voor dat de afstemfrequentie 600 p/s in plaats van 400 p/s bedraagt. Met deze microfoonversterkers zijn nu de volgende klankcombinaties mogelijk.

1. *een 10.000 p/s signaal gevolgd door een 600 p/s signaal* (zie fig. 23). Het 10.000 p/s-signaal wordt via de condensator C_1 toegevoerd aan het stuurrooster van buis B_{21} en in deze buis versterkt. Het versterkte signaal wordt met de germaniumdiode G_1 gelijkgericht zodat op punt „a” een positieve spanning ten opzichte van aarde ontstaat. Deze wordt toegevoerd aan het rooster van de relaisbuis B_{22} . Het 10.000 p/s-signaal, dat ook nog in volle sterkte op het punt „a” aanwezig is, wordt hierbij in het filter $R_5 C_4$ onderdrukt. Het relais R_0 10.000 zal dan kunnen intrekken.

Na het wegvallen van het signaal blijft het relais nog even (ca. 1 seconde) ingetrokken door de tijdconstante van $C_3 R_4$. Door de weerstand R_{127} die het gelijkrichten van het signaal vertraagt en door de grootte van C_3 wordt bereikt, dat het intrekken van het relais ook even tijd vergt (ca. 0,5 seconde), zodat de schakeling niet zal reageren op kortstondige signalen die, zoals we verder zullen zien, ook in deze schakeling aanwezig zijn. Trekt het relais R_0 10.000 echter in, dan gebeuren twee dingen:

a. wordt punt B (zie ook fig. 19) met + 100V verbonden via R_8 . We hebben reeds gezien dat hierdoor één kanaal van de stereofonische schakeling buiten bedrijf wordt gesteld*.

b. wordt de germaniumdiode G_2 parallel geschakeld aan

*) De weerstand R_8 en de condensator C_6 hebben alleen tot doel een scherpe positieve spanningsstoot op de leiding B te voorkomen (vgl. R_{74} in fig. 19).

R_{13} en hiermee dit circuit identiek gemaakt met het 10.000 p/s gedeelte.

Een 600 p/s signaal toegevoerd via C_9 aan buis B_{23} , zal dan ook worden gelijkgericht door deze diode en het relais R_0 400 doen intrekken. De 600 p/s rimpel op punt „b” wordt door hetzelfde contact van R_0 10.000 toegevoerd aan de geheugenschakeling Gh_1 die hierdoor in werking wordt gesteld, en de aandrijfmotor M_1 uitschakelt. Tevens wordt door een relaiscontact van de geheugenschakeling Gh_1 de stereofonische schakeling geblokkeerd (via R_{150}) ook als het relais R_0 10.000 reeds is afgevallen. Het relaiscontact van R_0 400 bedient nog de omkeerschakeling OK , waardoor de robot abrupt tot stilstand komt zoals we verder nog zullen zien.

De opeenvolging van een 10.000 en 600 p/s signaal komt voor in het woord Cyber indien althans met een speciale articulatie uitgesproken. Indien de C als een sissende s en de y als een i met facetstem (in de hollandse taal) wordt uitgesproken, zijn voldoende componenten aanwezig om de schakeling op de bovenbeschreven wijze te laten functioneren. Men kan dus zeggen dat de robot op zijn naam Cyber reageert met stil te blijven staan tot de geheugenschakeling is uitgewerkt (ca. 20 seconden).

2. *een 600 p/s signaal gevolgd door een 400 p/s signaal.* Zoals we reeds gezien hebben werkt de stereofonische schakeling op een 400 p/s signaal. Daar deze frequentie in veel omgevingslawaai voorkomt, wat dus een demonstratie bemoeilijkt, bleek het gewenst een bepaalde code in te voeren die in de praktijk niet of weinig voorkomt. Deze code berust er nu op dat normaal de stereofonische schakeling is uitgeschakeld en slechts wordt ingeschakeld, nadat een 600 p/s signaal is opgehouden en ook geen ander signaal van ongeveer dezelfde frequentie op dat moment hoorbaar is. Het uitschakelen van de stereofonische schakeling wordt bepaald door de ruststand van de monostabiele multivibratorschakeling met de buizen B_6 en B_5 (fig. 23). In de ruststand van het bijbehorende relais R_{0G} is nl. via R_{142} de stereofonische schakeling geblokkeerd en tevens door C_{66} de afgestemde kring van het linker microfoonkanaal op 600 p/s gebracht.

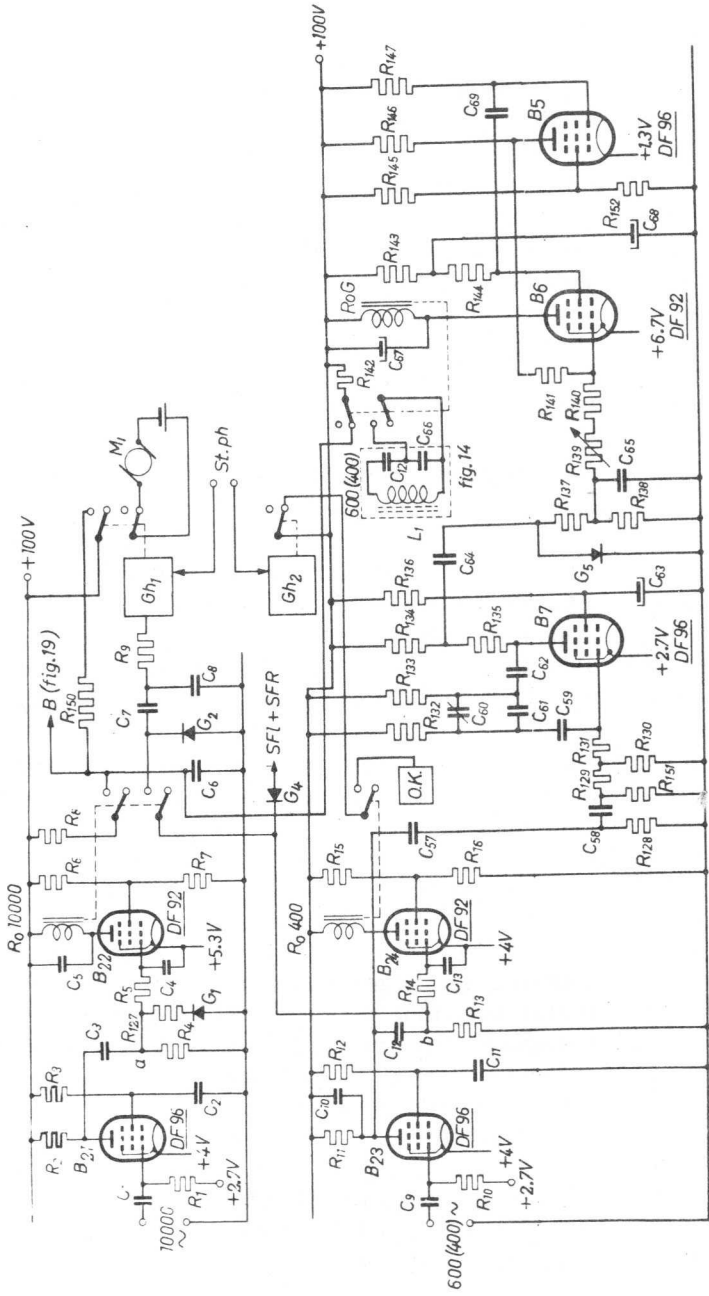
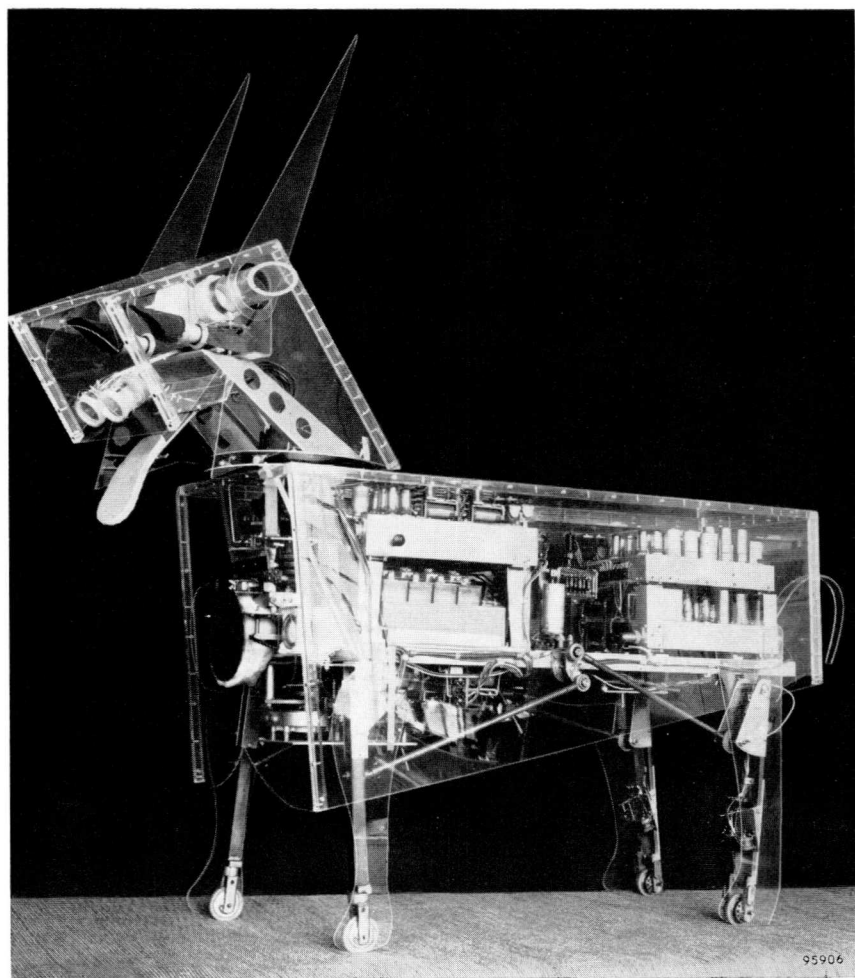


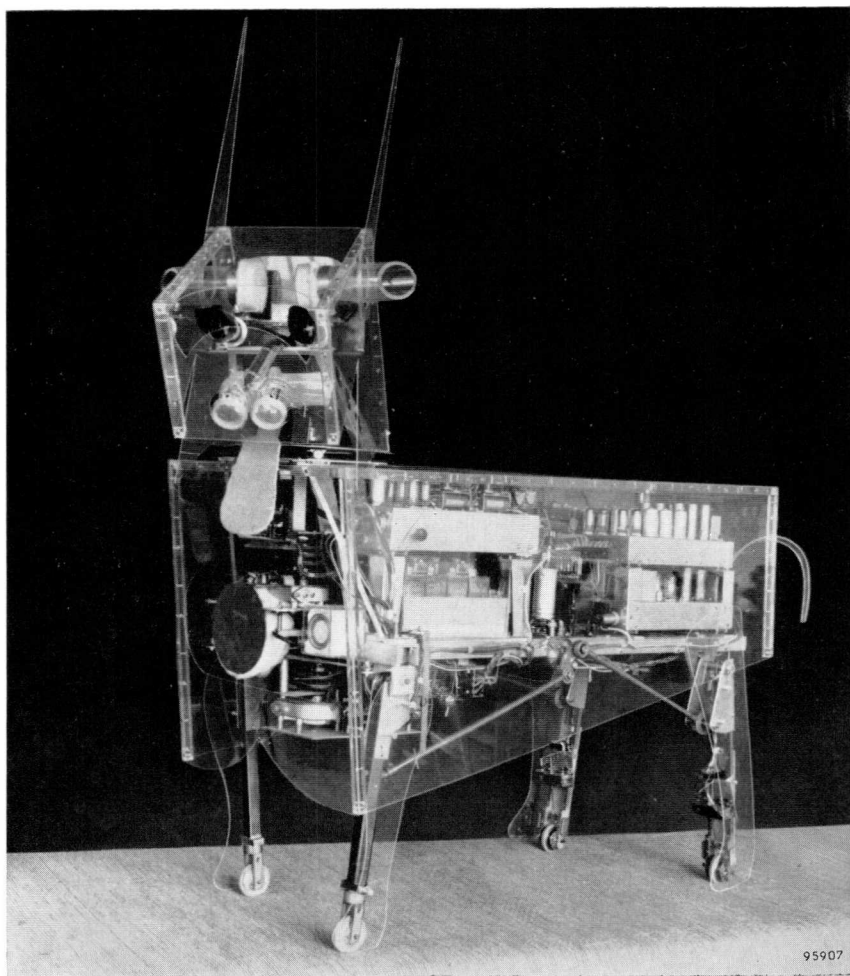
Fig. 23. Schakeling voor het reageren op een directe opeenvolging van klanken (een 10000 p/s met een 600 p/s signaal en een 600 p/s met een 400 p/s signaal).
Voor beschrijving zie tekst.

R1	= 220 K	G1 + G5	= germaniumdiode 0A85
R2	= 100 K	R ₀ 10 000	= R ₀ G' en
R3	= 150 K	R ₀ 400	= relais met 2 wisselcontacten
R4	= 2 M 2		Speelweerstand 15000 Ohm
R5	= 1 M		Gh1 en Gh2 = geheugen schakelingen
R6	= 8 K 2		(zie blz. 71)
R7	= 47 K		O. K.
R8	= 100 K		= omkeerschakeling (zie blz. 183)
R9	= 100 K		M1
R10	= 470 K		= aandrijfmotor
R11	= 100 K		
R12	= 150 K		
R13	= 2 M 2		
R14	= 1 M		
R15	= 8 K 2		
R16	= 47 K		
R127	= 56 K		
R128	= 100 K		
R129	= 5 M 6		
R130	= 2 M 2		
R131	= 3 M 3		
R132	= 1 M 5		
R133	= 470 K		
R134	= 33 K		
R135	= 68 K		
R136	= 220 K		
R137	= 56 K		
R138	= 100 K		
R139	= 1 M (potentio- mejer)		
R140	= 560 K		
R141	= 1 M 2		
R142	= 100 K		
R143	= 1 K		
R144	= 15 K		
R145	= 15 K		
R146	= 100 K		
R147	= 5 M 6		
R150	= 100 K		
R151	= 1 M		
R152	= 68 K		
C1	= 270 pF		
C2	= 12 K		
C3	= 1 μF		
C4	= 12 K		
C5	= 10 K		
C6	= 820 pF		
C7	= 5 K 6		
C8	= 1 K		
C9	= 2 K 2		
C10	= 8 K 2		
C11	= 22 K		
C12	= 2 μF		
C13	= 22 K		
C57	= 2 K 2		
C58	= 150 K		
C59	= 18 pF		
C60	= trimmer 30 pF		
C61	= 68 pF		
C62	= 220 pF		
C63	= 8 μF		
C64	= 100 K		
C65	= 220 K		
C66	= 65 K		
C67	= 5 μF		
C68	= 25 μF		

De waarde van de roosterweerstand van B_6 (R_{140} en R_{139}) in deze monostabiele schakeling is zo hoog gekozen dat, om buis B_6 in de ruststand in afgeknepen toestand te houden, een negatieve spanning op R_{138} en C_{65} nodig is. Valt deze even weg dan klapt de schakeling dus om en blijft dit gedurende de tijdconstante van de schakeling, die slechts 1 seconde bedraagt. Gedurende deze ene seconde kan een 400 p/s signaal de stereofonische schakeling doen functioneren. De waarde van de roosterweerstand wordt met R_{139} zodanig ingesteld dat de monostabiele schakeling weer in de ruststand terugkeert als de negatieve spanning op R_{138} is hersteld. De negatieve spanning op R_{138} nu, wordt verkregen door gelijkrichting van een gedeelte van de anodewisselspanning van de als RC oscillator geschakelde buis B_7 . Voor het principe van de werking van een dergelijke oscillator wordt naar hoofdstuk V. 11 verwezen. De frequentie kan met trimmer C_{60} op 600 p/s worden ingesteld. De vaste negatieve roosterspanning van B_7 bedraagt - 2,7V. Om bij deze negatieve waarde nog voldoende steilheid en versterking te verkrijgen moet de schermroosterspanning vrij hoog zijn. Tijdens het oscilleren neemt de katodestroom door het uitsturen van de roosterruimte iets toe, waardoor de schermroosterspanning weer iets daalt en een evenwichtstoestand ontstaat. Bij deze evenwichtstoestand is het roostersignaal slechts klein en vrij goed sinusvormig. Wordt nu het rooster verder uitgestuurd door via R_{129} een signaal van 600 p/s toe te voeren dan zal de katodestroom dus toenemen en de schermroosterspanning verder zakken. Houdt het toevoeren van dit extra signaal dan plotseling op, dan zal de schermroosterspanning door de tijdconstante van R_{136} C_{63} niet snel genoeg kunnen stijgen tot de waarde waarbij oscilleren mogelijk is en zal de buis dus even ophouden met het produceren van een anodewisselspanning. De hieruit verkregen gelijkspanning op R_{138} valt dus ook even weg en de monostabiele schakeling kan omklappen en de blokkering van de stereofonische schakeling gedurende 1 seconde opheffen. Het extra signaal wordt van het linker microfoonkanaal (dat in de ruststand op 600 p/s is afgestemd) afgenomen en via buis B_{23} C_{57} C_{58} en



Overzichtsfoto. Door de provisorische plastic huid heen onderscheidt men in de romp: links boven het „hersenen“-chassis; daaronder de voedingsaccu; rechts boven het chassis voor het „stereoscopische“ en het stereofonische gedeelte; daaronder het radarchassis. Tussen deze chassis is het trillergedeelte van de voeding nog zichtbaar. Het hefboomstelsel dat de poten doet bewegen is op deze foto ook duidelijk te zien.



*In de kop ziet men onder elkaar respectievelijk: de twee oren (microfoons), de twee ogen (fotocellen) de twee neusgaten (N.T.C. weerstanden) en de tong. In de romp daar-
onder is de luidspreker en de microfoon van het radarsysteem zichtbaar.*

R_{129} aan de oscillatorschakeling toegevoerd. Afwijkende frequenties worden door de kring $L_1 - C_{12} - C_{66}$ reeds verzwakt maar hebben bovendien in de oscillatorschakeling veel minder uitwerking omdat deze zich ook weer als een selectieve versterker gedraagt. Men kan het zo opvatten dat de weerstand R_{130} voor 600 p/s een hogere impedantie krijgt door de terugkoppeling in de oscillatorschakeling.

Voor frequenties die afwijken van 600 p/s wordt het verder uitsturen van de buis dus veel moeilijker zodat dan ook geen uitvallen van de oscillatiespanning optreedt na het wegvallen.

Tijdens het 600 p/s signaal wordt het relais R_{0400} niet bediend omdat er nu geen germaniumdiode in het rooster-circuit van B_{24} is en er dus geen gelijkspanning ontstaat (alleen even na een 10.000 p/s signaal zie onder II. 2. 4. 1 en bij intrekken van de relais sfl of sfr (G_4).

II. 3. Het gevoelsorgaan

Mensen en dieren hebben over praktisch het gehele lichaamsoppervlak gevoelszenuwen, die in staat zijn een aanraking met een voorwerp te constateren en de temperatuur hiervan te bepalen, zij het ook vrij onnauwkeurig. Deze gevoelszenuwen zijn zeer klein (een speldeprik is op elk punt van het lichaam voelbaar) en ook buitengewoon groot in aantal. Een zuiver elektronisch equivalent van een gevoelszenuw is er niet, maar een combinatie van gevoelige schakelaar en een thermo-element neemt het „voelen” resp. temperatuur meten voor haar rekening. Ook in onze robot zijn deze zintuigen aangebracht, zij het ook maar enkele en alleen op de „strategische” punten.

II. 3. 1. *Het voelen van voorwerpen*

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van microschemelaars die gesloten worden als de robot zich stoot tegen een voorwerp. In ons geval zijn er twee aan de zijkant aangebracht die over een betrekkelijk groot oppervlak werkzaam zijn

door de aanwezigheid van een contactschijf die de microschakelaar bedient. Het sluiten van een microschakelaar veroorzaakt een tijdelijke verandering in het besturingsorgaan en kan dus opgevat worden als een reflexbeweging. Een dergelijke reflexbeweging ontstaat bij een mens als men zich onverwachts stoot, bv. met een elleboog. Onwillekeurig trekt men dan de arm weg in tegengestelde richting en aarzelt enige tijd om de arm weer terug te bewegen. De door ons gebruikte reflexschakeling is in fig. 24 weergegeven.

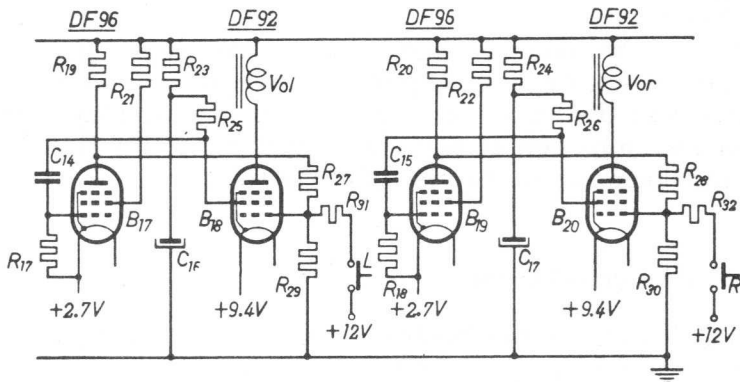


Fig. 24. De voelschakeling voor de linker resp. rechterkant, bediend door de schakelaars *L* resp. *R*.

R_{17} en $R_{18} = 5 \text{ M } \Omega$	C_{14} en $C_{15} = 1 \mu\text{F}$
R_{19} en $R_{20} = 100 \text{ K}$	C_{16} en $C_{17} = 25 \mu\text{F}$
R_{21} en $R_{22} = 27 \text{ K}$	Vol en $Vor = \text{relais } 15000 \text{ Ohm}$
R_{23} en $R_{24} = 1 \text{ K}$	L en $R = \text{microschakelaars}$
R_{25} en $R_{26} = 15 \text{ K}$	
R_{27} en $R_{28} = 820 \text{ K}$	
R_{29} en $R_{30} = 100 \text{ K}$	
R_{31} en $R_{32} = 27 \text{ K}$	

Uit deze figuur blijkt, dat gebruik is gemaakt van een monostabiele multivibrator die een relais bedient. De microschakelaars *L* en *R* verbinden het stuurrooster van de relaisbuis *B*₁₈ resp. *B*₂₀ via *R*₃₁ of *R*₃₂ met een spanning van 12V, dus hoger dan de katodespanning, waardoor de schakeling zal omklappen en tevens het relais *Vol* of *Vor*

zal intrekken. Het voordeel van de multivibratorschakeling is, dat ook bij een zeer kortstondig sluiten van de schakelaars het relais toch enige tijd ingetrokken blijft (afhankelijk van $C_{14} R_{17}$, resp. $C_{15} R_{18}$), terwijl anderzijds de wijze waarop de schakeling wordt bediend het mogelijk maakt, dat het relais ingetrokken blijft als de schakelaar om welke reden dan ook langere tijd gesloten blijft.

Er is nog een derde microschemakelaar aan de achterzijde van de robot aangebracht; deze werkt echter in een andere schakeling en zal bij het hoofdstuk „een acoustisch radar-systeem” worden behandeld.

II.3.2. *Het voelen van temperatuurverschillen*

We hebben reeds opgemerkt, dat het meten van temperaturen door de menselijke voelzenuwen slechts zeer onnauwkeurig mogelijk is. In feite beperkt zich de meting tot de gewaarwordingen: zeer koud - koud - fris - lauw - warm - heet. De absolute temperatuur is slechts bij benadering vast te stellen. Daarbij komt nog het verschijnsel van de goede of slechte warmtegeleiding van het voorwerp, dat soms valse uitkomsten veroorzaakt. Men kent het verschijnsel bij een stuk hout en een stuk ijzer van dezelfde temperatuur, waarbij, indien deze temperatuur lager is dan de lichaamstemperatuur, het ijzer (door het gemakkelijk warmte onttrekken aan lichaam) kouder schijnt dan het hout; terwijl als de temperatuur boven de lichaamstemperatuur ligt, het ijzer juist warmer aanvoelt dan het hout,

Bij een elektronische temperatuurmeting bestaan deze bezwaren niet; ten eerste is de warmtecapaciteit van een thermoelement zo gering, dat deze de temperatuur van het voorwerp niet kan beïnvloeden, ten tweede is de nauwkeurigheid zo groot, dat onderdelen van graden gemakkelijk en betrouwbaar kunnen worden geregistreerd. In onze robot is een temperatuurmeter aanwezig, waarbij gebruik wordt gemaakt van de hiervoor zeer geschikte miniatuur NTC-weerstanden (NTC = negatieve temperatuur-coëfficiënt). Deze NTC-weerstanden leveren bij kleine temperatuurvariëaties relatief grote weerstandsvariëaties op.

Nu kan men op twee manieren de temperatuur van een

voorwerp bepalen: 1e als absolute waarde die b.v. in graden Celsius wordt afgelezen. 2e als relatieve waarde, dus als een verschil ten opzichte van een andere temperatuur.

In ons geval was het de bedoeling om de robot op kleine temperatuurverschillen te laten reageren, dus een relatieve meting. Gedacht is aan b.v. een warm worstje of een hand. De schakeling moest verder bij voorkeur niet reageren op veranderingen in omgevingstemperatuur die op een tentoonstelling vrij aanzienlijk kunnen zijn. Een absolute temperatuurmeting kwam dus niet in aanmerking, omdat de schakeling dan, afhankelijk van de omgevingstemperatuur, of wel zeer kritisch, of zeer ongevoelig zal zijn. De door ons toegepaste schakeling is weergegeven in fig. 25. Ze bestaat uit twee geheel identieke gedeelten, nl. één voor links en één voor rechts, waarbij zoals we in een volgend hoofdstuk zullen zien, een bepaald effect kan worden bereikt.

Vatten we het schermrooster en de anode van buis B_{13} op als triode en het stuurrooster met het schermrooster van buis B_{14} eveneens als triode, dan zien we dat door de onderlinge verbinding van deze elektroden een bi-stabiele multivibrator-schakeling is ontstaan, die omgeklapt kan worden door een kleine spanningsverandering op het stuurrooster van buis B_{13} . Hierbij moet dit stuurrooster echter een bepaalde potentiaal hebben, die grof kan worden ingesteld met regelweerstand R_{33} en nauwkeurig met regelweerstand R_{37} . Daar de stroom door R_{39} (R_{40}) groot wordt genomen ten opzichte van die door de NTC-weerstanden, wordt de spanning van punt „a” uitsluitend bepaald door de regelweerstand R_{33} en R_{37} , en bedraagt ca. 90V. De spanning op punt „b” hangt af van de weerstandwaarden R_{41} , R_{43} , NTC L' en NTC L . R_{41} en R_{43} hebben dezelfde waarde terwijl ook de twee NTC-weerstanden zodanig zijn uitgezocht, dat ze bij verschillende temperaturen ook ongeveer dezelfde weerstand hebben. De spanning op punt „b” is dus ca. 45V. Met behulp van de batterij Ba_1 wordt deze potentiaal op het stuurrooster van buis B_{13} teruggebracht tot ca. 1V negatief. Neemt nu de omgevingstemperatuur toe, dan wordt de weerstand van beide NTC-weerstanden

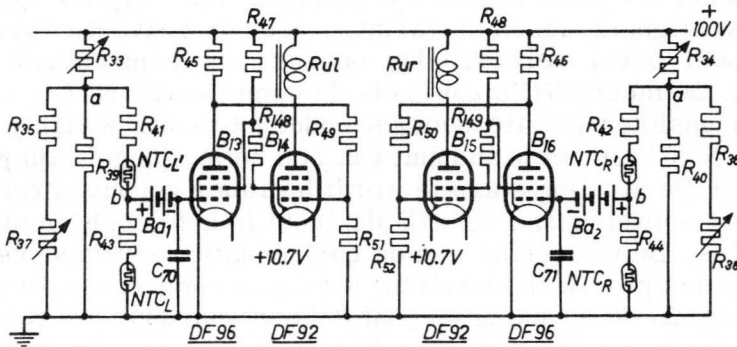


Fig. 25. De twee identieke schakelingen voor gevoelige temperatuurmeting op twee plaatsen. Hierbij is de invloed van de omgevingstemperatuur gecompenseerd door de serieschakeling van de twee gelijke NTC weerstanden. De schakelingen, die als bi-stabiele multivibrator zijn uitgevoerd en een grote gevoeligheid opleveren, worden bediend door een plaatselijke temperatuurverhoging van de NTC weerstand L voor de ene of van NTC R voor de andere schakeling.

R33 en R34 = 20 K potentiometer	R43 en R44 = 1 M
R35 en R36 = 1 M	R45 en R46 = 100 K
R37 en R38 = 5 M potentiometer	R47 en R48 = 4 K 7
R39 en R40 = 68 K	R49 en R50 = 470 K
R41 en R42 = 1 M	R51 en R52 = 560 K
R148 en R149 = 4 K 7	C70 en C71 = 22 K

NTC L, NTC L', NTC R en NTC R' = miniatuur NTC-weerstanden met een weerstand bij kamertemperatuur van ca. 10 MOhm.

Ru1 en Ru2 = relais met spoelweerstand van 15000 Ohm
 Ba1 en Ba2 = droge batterij van 45V.

lager, maar, als dit evenveel is voor beiden, zal de potentiaal van punt „b” en dus van het stuurrooster niet veranderen.

Nu is gebleken dat NTC-weerstanden zeer gevoelig zijn voor convectie- en conductiewarmte d.w.z. voor warmte die door langsstromende lucht of door directe aanraking wordt overgebracht, terwijl de gevoeligheid voor stralingswarmte belangrijk kleiner is. Daar het de bedoeling was het reukorgaan te imiteren, kwam praktisch alleen stralingswarmte in aanmerking. Hiertoe moest de schake-

ling dus zeer gevoelig worden gemaakt. Maar bij deze grote gevoeligheid bleken de variaties door de convectiewarmte (tocht b.v.) veroorzaakt, ondanks de compensatie te groot. De meet NTC's zowel als de compensatie NTC's zijn nu in gesloten plastic doosjes ondergebracht, waarbij de meet NTC's in het brandpunt van een holle spiegel zijn geplaatst. De stralingswarmte wordt hierdoor geconcentreerd op de meetweerstand terwijl de lucht in het doosje in stilstand is. De weerstand van de compensatieweerstand verandert dus praktisch niet en bij het toevoeren van stralingswarmte zal de spanning op punt *b* dalen waardoor het relais zal intrekken. Bij een gevoelige instelling en een niet te hoge omgevingstemperatuur kan de warmte van een hand op een afstand van ca. 10 cm de schakeling nog bedienen, zij het ook dat het ca. 1 minuut duurt. Bij een heet worstje gaat dit uiteraard sneller. De weerstanden R_{41} en R_{43} dienen alleen om de NTC-weerstanden te beschermen tegen een te grote stroom. Indien ze niet aanwezig waren, zouden de vooral bij hogere temperaturen optredende grotere stromen zoveel warmte in de NTC-weerstanden kunnen opwekken, dat de temperatuur nog verder zou oplopen, nog grotere stromen ontketenen waardoor de NTC-weerstanden zich zelf kunnen vernietigen.

II. 3. 3. *Het voelen van voorwerpen zonder aanraking* (het zien in het duister).

Een gezond mens of dier zal in gewoon licht niet tegen voorwerpen op behoeven te lopen of ze eerst aan te raken om te weten dat ze er zijn. Daarvoor hebben ze immers hun gezichtsorgaan dat hun tijdig waarschuwt indien een voorwerp in hun weg komt. Indien ons gezichtsvermogen ons in de steek laat, b.v. in pikdonker, hebben we de aanraking echter nodig om niet over alle mogelijke voorwerpen te struikelen en het zoeken en tasten in het duister moet de plaats innemen van het zien. Alleen zij die reeds langere tijd blind zijn schijnen een soort zesde zintuig te kunnen ontwikkelen om voorwerpen te voelen zonder ze aan te hoeven raken. Dit is waarschijnlijk te verklaren door de wijze waarop ze de geluiden, die ze zelf maken bij het lo-

pen of die anderszins aanwezig zijn, interpreteren. Ze horen deze geluiden niet alleen direct van de geluidsbron, maar tevens als een samenstel van echo's, die door reflectie tegen de voorwerpen hun oor treffen. Dit vermogen van sommige blinden heeft dus iets weg van een acoustisch radarsysteem.

Eendergelijk maar meer geperfectioneerd systeem vinden we in de natuur terug bij het nachtdier de vleermuis. Deze is in staat 's nachts in pikdonker te vliegen zonder ergens tegen op te botsen en dat terwijl het gezichtsvermogen van de vleermuis zeer slecht ontwikkeld is. Het is aangetoond kunnen worden, dat dit dier al vliegende met korte tussenpozen zeer korte geluidstrillingen produceert die boven de gehoorgrens van de mens liggen (z.g. supersonische trillingen) en door reflecties van deze trillingen, die dus voor hem wel hoorbaar zijn, gewaarschuwd wordt tegen de aanwezigheid van deze voorwerpen.

Ook onze robot is met een dergelijke inrichting voorzien, ook al doordat het gezichtsvermogen door het beperkte onderscheidingsvermogen van de door ons toegepaste fotocelschakeling, een dergelijke toevoeging wel wenselijk maakt. Een aardige bijkomstigheid is dan nog dat onze robot ook in pikdonker niet tegen voorwerpen zal aanlopen wat dus meer is dan men van een normaal mens mag verwachten.

II.3.4. *Een acoustisch radarsysteem*

Het in de robot gebruikte radarsysteem is om praktische redenen gecombineerd met een elektronische generator van een soort blafgeluid. Dit blafgeluid dat onder bepaalde omstandigheden wordt geproduceerd, moest toch met het radarsysteem worden gekoppeld om geen onderlinge storingen te krijgen. Het geheel is dan ook op één chassis ondergebracht. Het principe van radar (= radio detection and ranging) berust in het kort op het volgende. Een zeer krachtig maar zeer kortdurend hoogfrequentsignaal (ca. 800 MHz = ca. 37 cm golflengte) wordt door het zendergedeelte van het radarsysteem met regelmatige tussenpozen (ca. 10.000 maal per seconde) uitgezonden. Dit H.F.-signaal plant zich

uiteraard voort met een snelheid van 300.000 km per seconde en door gebruik te maken van een speciaal gevormde antenne wordt dit signaal alleen in één bepaalde richting uitgestraald. Bevindt zich een voorwerp in deze baan, dan wordt het signaal teruggekaatst en een klein gedeelte van de energie legt de weg terug af met dezelfde snelheid. Het tijdsverschil tussen het moment van vertrek en het moment van terugkomst van de echo is dus een maat voor de afstand van het reflecterende voorwerp. De echo wordt door dezelfde antenne opgevangen en toegevoerd aan de ontvanger die het tijdsverschil bepaalt. De ontvanger is over het algemeen zeer gevoelig omdat vooral bij grote afstanden de echosignalen maar zwak zijn. Om nu toch het oorspronkelijke zendersignaal dat vele kilowatts sterk is uit de ontvanger te houden, wordt deze o. a. met behulp van een vensterbuis dichtgehouden en alleen ingeschakeld in het tijdsverloop dat echo's kunnen binnenkomen. Bij een herhalingsfrequentie van de uitgezonden H.F.-impulsen van 10.000 p/s is in principe dus een tijdsruimte van max. 100 μ sec beschikbaar voor de terugkeer van een echo. In deze tijd kan het signaal maximaal $\frac{300.000}{10.000} = 30$ km hebben afgelegd en daar dit voor een echo steeds de dubbele afstand betreft is bij deze herhalingsfrequentie de max. reikwijdte 15 km. Om daarentegen een voorwerp op 100 meter afstand aan te tonen, is een tijdsverschil te meten van slechts $\frac{200}{300.000.000}$ seconde = 0,67 μ sec. Dit is wel ongeveer de grens der praktische mogelijkheden en bewijst tevens dat de H.F.-impuls wel zeer kort moet zijn en in ieder geval korter dan de genoemde tijd, omdat anders het begin van de impuls reeds terug is voor het eind er van de zender heeft verlaten.

Het door ons gebruikte acoustische radarsysteem werkt op hetzelfde principe als boven beschreven maar de getallen-waarden liggen voor korte afstanden veel gunstiger omdat de voortplantingssnelheid van geluidsgolven slechts 330 m/sec bedraagt. Dit systeem leent zich dan ook veel beter voor gebruik op korte afstanden: immers om een

voorwerp op 10 cm afstand aan te tonen, moet het te meten tijdsverschil $\frac{20}{33.000}$ sec = 600 μ sec bedragen, hetgeen geen enkele moeilijkheid oplevert. Daar in ons geval een maximum reikwijdte van 1 m ruimschoots voldoende was, behoeft de ontvanger niet langer dan ca. 6.000 μ sec na elke impuls opengezet te worden. Hieruit volgt dat een herhalingsfrequentie van ca. 160 p/s mogelijk zou zijn. Om verschillende redenen, waaronder die van het beschikbare vermogen van de voedingsbron, hebben we deze herhalingsfrequentie teruggebracht tot ca. 0,5 p/s. Dit heeft het voordeel dat de ontvanger voor het grootste gedeelte van de tijd „dicht” zit en dus ongevoelig is voor andere eventueel storende geluidsgolven, terwijl deze tijd ook gebruikt kan worden voor het produceren van andere geluiden zoals in ons geval het „blaf”-geluid. Bovendien kunnen we hiervoor dan ook nog dezelfde luidspreker gebruiken die voor de radarimpulsen zorgt. Als „H. F. -signaal” gebruiken we nl. 10.000 p/s en wel één complete sinustrilling dus met een tijdsduur van 100 μ sec. In principe had deze frequentie supersonisch, dus boven de gehoorrens, kunnen liggen, maar de eisen die dan aan de luidspreker, de microfoon en de ecoversterker hadden moeten worden gesteld, waren dan onevenredig zwaarder geworden. Nu kan b. v. als microfoon een lichte kristalmicrofoon worden gebruikt, terwijl een normale gevoelige luidspreker voor het produceren van het „H. F. ”-signaal zorgt.

De verschillende elementen van de gebruikte schakeling zijn in fig. 26 in blokschema weergegeven. De hoofdiscillator *HO* die één maal per twee seconden een rechthoekspanning opwekt, stuurt de impulsgever die dus eens per twee seconden een trilling van 10.000 p/s aan de luidspreker toevoert. Verder stuurt de hoofdiscillator de blafoscillator *BO* die een min of meer op blaffen gelijkend signaal opwekt, dat via de versterker *KV* eveneens aan de luidspreker toegevoerd wordt in de tussenpozen tussen twee radarimpulsen. Uit de radarimpuls zelf wordt een syncsignaal afgeleid dat de vertragingsschakeling *VS* met een tijdsduur van 500 μ sec bedient. Na deze 500 μ sec levert

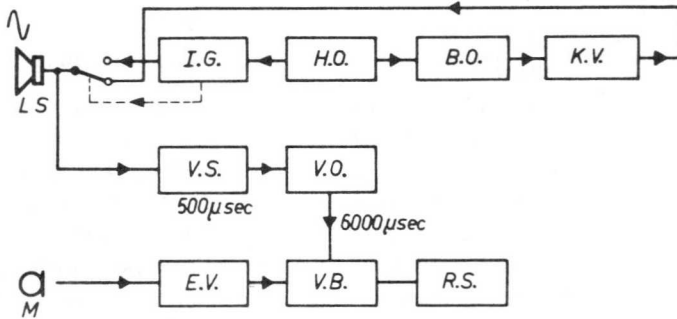


Fig. 26. Blokschema van het acoustisch radarsysteem

- H.O. = hoofdiscillator
 I.G. = impulsgever
 L.S. = luidspreker
 V.S. = vertragingsschakeling van ca. $500 \mu\text{sec}$.
 V.O. = vensteroscillator van ca. $6000 \mu\text{sec}$.
 M = microfoon voor het echo-signaal.
 E.V. = echoversterker afgestemd op $10\,000 \text{ p/s}$
 V.B. = vensterbuischakeling bediend door V.O.
 R.S. = reactieschakeling
 B.O. = „blaf” oscillator
 K.V. = krachtversterker die de luidspreker L.S. voedt bij het „blaf” signaal.

de vertragingsschakeling een sync-impuls aan de vensteroscillator VO die gedurende ca. $6.000 \mu \text{ sec}$ de vensterbuis VB opent.

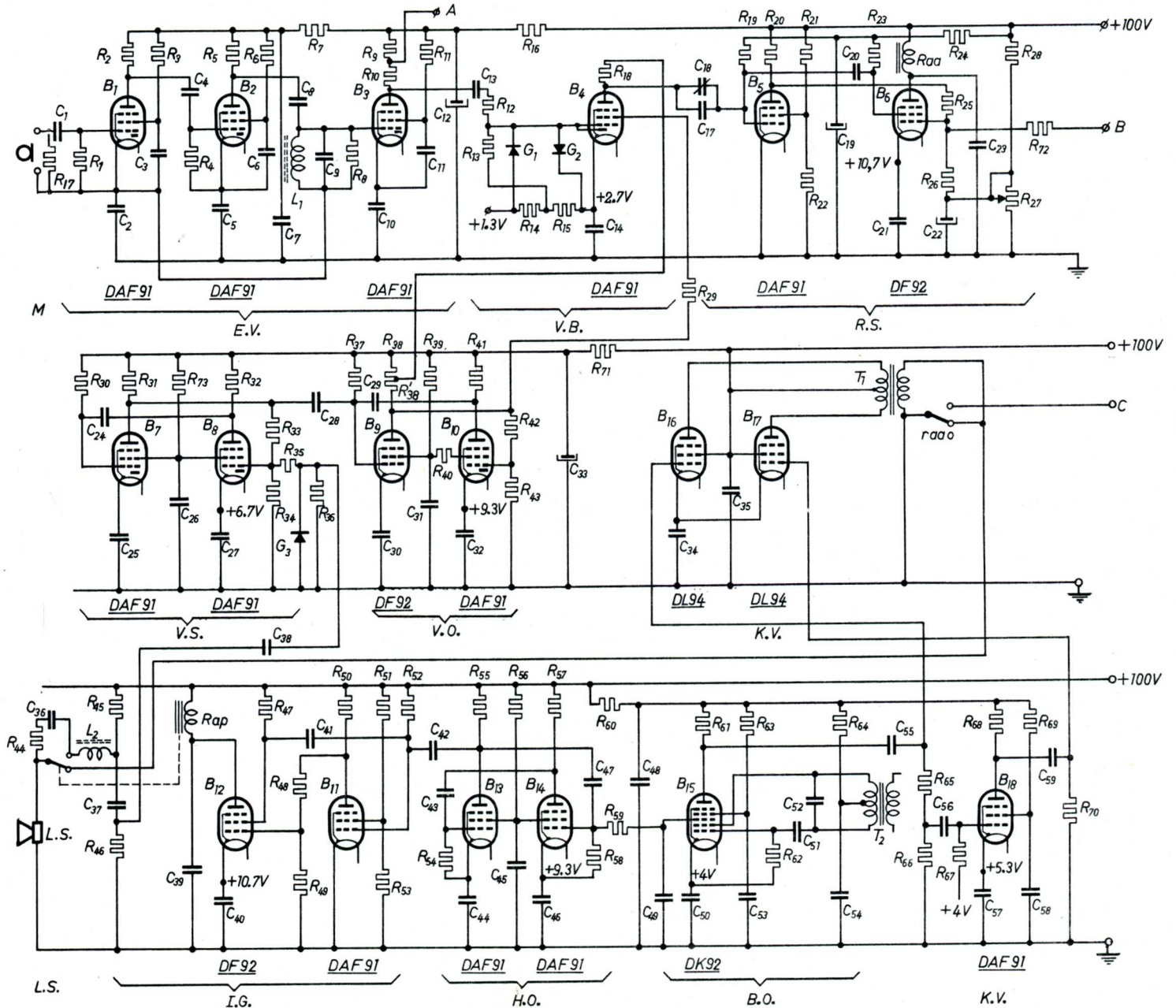
Deze vensterbuis VB is opgenomen in de echoversterker die bestaat uit de microfoon M , de eigenlijke selectieve versterker EV , die alleen signalen van 10.000 p/s doorlaat, en de vensterbuis VB . Alleen indien een echo binnenkomt in het door de vensteroscillator VO bepaalde tijdsverloop van $6.000 \mu \text{ sec}$, wordt dit signaal doorgegeven aan de reactieschakeling RS die een relais bedient dat een bepaalde tijd blijft instaan. In ons geval wordt dus niet de afstand van het voorwerp bepaald, maar alleen aangetoond dat een voorwerp aanwezig is binnen een afstand van ca. 1 meter.

In fig. 27 is het complete principeschema van de radarschakeling weergegeven. De hoofdiscillator bestaat uit de buizen B_{13} en B_{14} die als a-stabiele dus oscillerende mul-

Fig. 27. Principeschema van een acoustisch radarsysteem met een gekoppelde „blaf-oscillator” en bijbehorende krachtversterker. De aangegeven letteraanduidingen corresponderen met die van fig. 26.

R ₁ = 100 K	R ₃₈ = 18 K	C ₁ = 330 pF	C ₄₀ = 120 K
R ₂ = 1 M	R _{38'} = 12 K	C ₂ = 100 K	C ₄₁ = 120 K
R ₃ = 4 M 7	R ₃₉ = 12 K	C ₃ = 33 pF	C ₄₂ = 100 pF
R ₄ = 3 M 3	R ₄₀ = 8 K 2	C ₄ = 27 pF	C ₄₃ = 120 K
R ₅ = 1 M	R ₄₁ = 150 K	C ₅ = 100 K	C ₄₄ = 120 K
R ₆ = 4 M 7	R ₄₂ = 1 M	C ₆ = 33 pF	C ₄₅ = 120 K
R ₇ = 100 K	R ₄₃ = 100 K	C ₇ = 100 K	C ₄₆ = 120 K
R ₈ = 3 M 3	R ₄₄ = 470 Ohm	C ₈ = 10 pF	C ₄₇ = 180 K
R ₉ = 82 K	R ₄₅ = 100 K	C ₉ = 110 pF	C ₄₈ = 100 K
R ₁₀ = 150 K	R ₄₆ = 3 Ohm	C ₁₀ = 100 K	C ₄₉ = 820 pF
R ₁₁ = 820 K	R ₄₇ = 15 K	C ₁₁ = 220 pF	C ₅₀ = 120 K
R ₁₂ = 100 K	R ₄₈ = 1 M	C ₁₂ = 2,5 μF	C ₅₁ = 10 K
R ₁₃ = 2 M 2	R ₄₉ = 150 K	C ₁₃ = 220 pF	C ₅₂ = 22 K
R ₁₄ = 2 K 2	R ₅₀ = 150 K	C ₁₄ = 120 K	C ₅₃ = 120 K
R ₁₅ = 2 K 2	R ₅₁ = 56 K	C ₁₇ = 33 pF	C ₅₄ = 120 K
R ₁₆ = 10 K	R ₅₂ = 5 M 6	C ₁₈ = trimmer	C ₅₅ = 10 K
R ₁₇ = 100 K	R ₅₃ = 82 K	C ₁₉ = 25 μF	C ₅₆ = 10 K
R ₁₈ = 68 K	R ₅₄ = 1 M	C ₂₀ = 2 μF	C ₅₇ = 120 K
R ₁₉ = 10 M	R ₅₅ = 150 K	C ₂₁ = 120 K	C ₅₈ = 120 K
R ₂₀ = 150 K	R ₅₆ = 180 K	C ₂₂ = 2,5 μF	C ₅₉ = 10 K
R ₂₁ = 56 K	R ₅₇ = 150 K	C ₂₃ = 100 K	
R ₂₂ = 82 K	R ₅₈ = 2 M 2	C ₂₄ = 560 pF	
R ₂₃ = 15 K	R ₅₉ = 5 M 6	C ₂₅ = 120 K	
R ₂₄ = 1 K 2	R ₆₀ = 10 K	C ₂₆ = 120 K	
R ₂₅ = 560 K	R ₆₁ = 100 K	C ₂₇ = 120 K	
R ₂₆ = 100 K	R ₆₂ = 1 M	C ₂₈ = 120 pF	
R ₂₇ = regelweerstand	R ₆₃ = 180 K	C ₂₉ = 3 K 9	
	R ₆₄ = 33 K	C ₃₀ = 120 K	
R ₂₈ = 180 K	R ₆₅ = 1 M	C ₃₁ = 100 K	
R ₂₉ = 220 K	R ₆₆ = 47 K	C ₃₂ = 120 K	
R ₃₀ = 3 M 9	R ₆₇ = 1 M	C ₃₃ = 25 μF	
R ₃₁ = 150 K	R ₆₈ = 100 K	C ₃₄ = 120 K	
R ₃₂ = 150 K	R ₆₉ = 470 K	C ₃₅ = 100 K	
R ₃₃ = 1 M	R ₇₀ = 1 M	C ₃₆ = 100 K	
R ₃₄ = 470 K	R ₇₁ = 1 K	C ₃₇ = 0,5 μF	
R ₃₅ = 100 K	R ₇₂ = 100 K	C ₃₈ = 22 K	
R ₃₆ = 22 K	R ₇₃ = 180 K	C ₃₉ = 0,5 μF	
R ₃₇ = 3 M 3			

L₁ = 2,3 H
 L₂ = 0,25 mH
 G₁, G₂ en G₃ = germaniumdioden 0A85
 Raa en Rap = relais met spoel van 15000 Ohm
 T₁ = luidsprekertrafo 43:43:1
 T₂ = luidsprekertrafo 43:43:1



tivibrator zijn geschakeld. De frequentie van de opgewekte rechthoekspanning is ca. 0,5 p/s. Op het moment dat de anodespanning van buis B_{13} van de hoge naar de lage spanning omklapt, wordt via C_{42} de impulsgever met de buizen B_{11} en B_{12} aangestoten. Deze buizen zijn als mono-stabiele multivibrator geschakeld, waarbij de tijd, die het relais R_{ap} ingetrokken blijft, bepaald wordt door $C_{41} R_{52}$. Deze tijd is ca. 0,3 seconde. Met het relaiscontact van R_{ap} wordt nu de 10.000 p/s trilling op de luidspreker gebracht. Dit gebeurt als volgt. In de ruststand van het contact kan de condensator C_{37} via R_{45} tot de 100V spanning van de voedingsbron worden opgeladen. Als het relaiscontact omschakelt wordt de condensator C_{37} via L_2 en de luidsprekerspoel (en R_{46}) ontladen. Door de aanwezigheid van L_2 en de zelfinductie van de luidsprekerspoel zelf, zal dit ontladen in de vorm van een gedempte sinustrilling met een frequentie van 10.000 p/s geschieden. Nu is een aardige bijkomstigheid dat het bovenste (vaste) relaiscontact door de klap van het aantrekken van het wisselcontact even doorschiet, en daarna weer terugveert. Na het eerste contact wordt dit dus weer even verbroken om daarna „blijvend” te sluiten. Nu is door de bestaande veerkracht en massa van de contactveer de tijd van het eerste contactmaken net ongeveer 100 μ sec dus voldoende voor het vol-eindigen van één volledige sinus. Doordat de trilling sterk gedempt is, is de condensator dan ook praktisch geheel ontladen. De tijd die verder verloopt vóór het contact zich voor de tweede maal sluit, is enkele duizenden microseconden en het kleine restant van de trilling speelt dan voor het radarsysteem ook geen rol meer. Bovendien zorgt $C_{36} R_{44}$ nog voor een extra demping ook al om vonken van de contacten tegen te gaan.

Om een indruk te krijgen van de energie van de aldus opgewekte geluidstrilling, kunnen we de energie berekenen die in de condensator is opgehoopt; deze bedraagt $\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 100^2 : 10^6 = 0,0025$ Wattseconde. Daar deze energie echter reeds in 100 μ sec is verbruikt, komt dit overeen met een vermogen van 25W. Afgezien van de verliezen die o.a. optreden in R_{46} , kan men zich de luidspreker dus

aangesloten denken op een 25W versterker gedurende de periode van $100 \mu \text{ sec}$. De geluidsimpuls is dan ook behoorlijk krachtig, zeer zeker bij gebruik van een luidspreker met een goed rendement bij hoge frequenties.

Door het ontladen van de condensator via de luidspreker zal de stroom in het circuit van fig. 27 in eerste instantie een richting hebben tegengesteld aan de wijzers van een klok. De spanning op R_{46} is dus ook in eerste instantie negatief ten opzichte van aarde. De koppelcondensator C_{38} kan dan ook worden geladen via de germaniumdiode G_3 die voor deze stroomrichting geleidend is. Wordt de spanning op R_{46} daarna positief, dan zal de lading van C_{38} niet zo snel kunnen wegvloeien (G_3 is dan geblokkeerd) en dit zal resulteren in een positieve spanningstoot op het rooster van B_8 . De vertragingsschakeling met de als monostabiele multivibrator geschakelde buizen B_7 en B_8 , zal door deze positieve stoot omklappen en dank zij R_{30} C_{24} ca. $500 \mu \text{ sec}$ omgeklapt blijven.

Na deze vertragingstijd, die nodig is om de ecoversterker tijdens en direct na de geluidsstoot in de luidspreker (die immers direct in de er naast geplaatste microfoon kan terechtkomen) in ieder geval geblokkeerd te houden, wordt bij het terugklappen via C_{28} een negatieve sync impuls doorgegeven aan de vensteroscillatorschakeling met de buizen B_9 en B_{10} . Deze schakeling is eveneens een monostabiele schakeling met een omkaptijd van ca. $6000 \mu \text{ sec}$ bepaald door R_{37} C_{29} . De anode van buis B_9 bedient direct het schermrooster van vensterbuis B_4 via de schermroosterweerstand R_{29} . Een aftakking op de anodeweerstand van B_9 bepaalt de voedingsspanning waarop de anodeweerstand R_{18} van B_4 is aangesloten.

In de rusttoestand is de anodespanning van B_9 laag en dus ook de schermroosterspanning van B_4 . Deze laatste is daardoor practisch afgeknepen en de anodepotentiaal van B_4 wordt daardoor alleen bepaald door de spanning op de aftakking van de weerstand R_{38} - R_{38}' . Tijdens het omklappen van de schakeling B_9 B_{10} is buis B_9 afgeknepen en is de anodespanning van deze buis dus hoog en daarmee de voedingsspanning voor schermrooster en anode van ven-

sterbuis B_4 . Deze buis gaat daardoor stroom trekken en er ontstaat dus een spanningsval over R_{18} . Door een juiste keuze van de aftakking op R_{38} kan deze spanningsval gelijk gemaakt worden aan de stijging van de spanning op de bewuste aftakking. Zodoende kan de anodepotential van de vensterbuis, tijdens het opengaan van de vensterbuis, constant worden gehouden zodat ten gevolge hiervan geen impuls wordt doorgegeven aan de aangesloten reactieschakeling $B_5 - B_6$ (gecompenseerde vensterbuischakeling).

Daar de vensterbuisstroom ook door R_{38} loopt is het gewenst de invloed hiervan op de schakeling van $B_9 - B_{10}$ klein te houden door de weerstand van $R_{38} - R_{38}'$ klein te kiezen. Daarom is voor B_9 een ruimere buis ($DF92$) genomen dan voor de andere multivibratorbuizen ($DAF91$). De echoversterker met de buizen B_1 B_2 en B_3 wijkt in de volgende punten af van een normale laagfrequentieversterker:

1. de koppelcondensatoren C_1 , C_4 , C_8 en C_{13} zijn maar klein, evenals

2. de afvlakcondensatoren C_3 , C_6 en C_{11} . Hierdoor wordt de versterking voor de frequenties lager dan 10.000 p/s belangrijk kleiner gemaakt.

3. parallel aan de roosterweerstand R_8 van buis B_3 is een verliesarme afgestemde kring L_1C_9 aangebracht die afgestemd is op 10.000 p/s en dus practisch alleen deze frequentie zal doorlaten.

4. is een begrenzerschakeling in de roosterkring van buis B_4 aangebracht die de amplitude van de doorgelaten frequentie op een top tot top waarde van ca. 1,3V begrenst. Deze begrenzerschakeling met de hoofdelementen R_{12} , G_1 en G_2 werkt op dezelfde wijze als die bij de stereofonische schakeling welke in een vroeger hoofdstuk reeds is besproken.

De steile flanken van een 10.000 p/s echosignaal worden nu via de koppelcondensatoren C_{17} en C_{18} (waarvan C_{18} als trimmer is uitgevoerd) aan de reactieschakeling met de buizen B_5 en B_6 doorgegeven en zullen deze doen omklappen. De tijd van dit omklappen wordt weer bepaald door R_{19} C_{20} en bedraagt ca. 3 seconden. We zullen verder nog zien dat door het relais *Raa* de robot op achterwaartse

richting wordt overgeschakeld. Komt al achteruitlopend de robot in aanraking met een voorwerp, dan wordt via een staartcontact het punt B met aarde verbonden waardoor de monostabiele schakeling direct terugklapt en de robot dus weer op voorwaarts wordt omgeschakeld. Met behulp van de regelweerstand R_{27} kan de gevoeligheid van de reactieschakeling zeer groot worden ingesteld. Om dan toch niet beïnvloed te worden door stoorspanningen op de voedingsleiding, wordt o. a. de schermroosterspanning voor B_6 afgenomen van de door $R_{24} C_{19}$ afgevlakte leiding. Tenslotte noemen we nog even punt A , waarvan een geluidsfrequentie van 10.000 p/s kan worden afgenomen onafhankelijk van de stand van de vensterbuis. Dit punt wordt dan ook gebruikt voor de schakeling waarbij de robot moet reageren op bepaalde klanken (zie II. 2. 4).

We keren nu nog even terug naar de hoofdosillator HO . Op het moment dat de anodespanning van buis B_{13} daalt en de radarcyclus begint wordt via C_{47} ook het rooster van B_{14} negatief. Via $R_{59} C_{49}$ is dit verbonden met het derde rooster van buis B_{15} waardoor deze buis wordt afgeknepen. De eerste twee roosters van deze heptodebuis wekken constant een wisselspanning op, doordat ze in een Heartley-schakeling zijn verbonden met de met C_{52} afgestemde wikkeling van de transformator T_2 . Als het derde rooster negatief is wordt dit signaal niet doorgegeven naar de anode. Zoals bekend, stijgt de roosterspanning van B_{14} (en dus het derde rooster van B_{15}) volgens een exponentiële curve. Geleidelijk zal het blafsignaal dus op de anode van B_{15} sterker worden en tot een maximum aanzwellen. Dit aanzwellende signaal op de anode wordt dan aan het stuurrooster van B_{16} en via de faseomkeerbuis B_{18} eveneens aan het stuurrooster van de tweede eindbuis B_{17} toegevoerd. Is verder het contact raa_0 van het relais Raa omgeschakeld (dit is dus na het ontvangen van een echo), dan zal het „blaf“-signaal door de luidspreker worden weergegeven. Men kan dus zeggen dat de robot „blaft“ tegen een voorwerp dat hij tegenkomt.

In fig. 28 is volledigheidshalve nog eens de onderlinge tijdsverhouding van de verschillende signalen weergegeven.

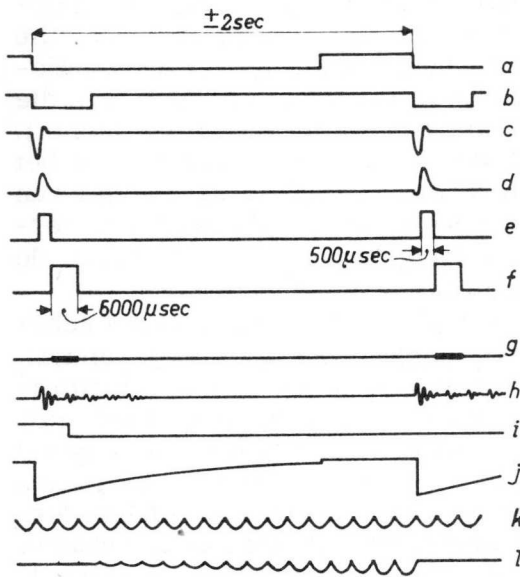


Fig. 28. Verband tussen de verschillende signalen opgewekt in de acoustische radarinstallatie.

- a) hoofdosillatorspanning
- b) impulsgeverspanning
- c) 10.000 p/s stroom in R_{46} en ook in luidspreker
- d) uit c) afgeleide positieve sync impuls
- e) vertragingssimpuls van 500 μ sec
- f) vensteroscillator-impuls van 600 μ sec.
- g) tijd waarin vensterbuis "open" staat
- h) origineel radarsignaal met echo's zoals die op het rooster van de vensterbuis voorkomen
- i) reactieschakeling reagerend op echosignaal
- j) spanning op derde rooster van "blaf"-oscillator
- k) blafoscillatorspanning
- l) resulterend "blaf"-signaal in luidspreker

Achtereenvolgens zien we onder a. de anodespanning van buis B_{13} van de hoofdosillator; onder b. de spanning op de anode van de relaisbuis B_{12} van de impulsgever. Het korte negatieve stuk geeft de aantrekperiode van het relais R_{ap} aan (met verwaarlozing van de aantrek- en afvaltijden). c. geeft de spanning over R_{46} als gevolg van de ontlaadstroom van C_{37} over de luidsprekerspoel met de onderbreking na 100 μ sec. (Hierbij is de tijdas aanzienlijk uitgerekt om de vorm beter te tonen.). d. geeft de uit c. afgeleide positieve sync. impuls op R_{36} (tijdas eveneens uitgerekt). e. is de impuls van de vertragingsschakeling (tijdas uitgerekt) en f. de hierdoor aangestoten vensteroscillator impuls (tijdas eveneens uitgerekt). g. geeft op dezelfde tijdas in dik getrokken lijn aan de tijd waarin de vensterbuis open staat. h. op dezelfde uitgerekte tijdas, de originele impuls en een aantal echosignalen zoals die in de echoversterker optreden. We zien hierbij dat de echo-

signalen, evenals trouwens het originele impulssignaal nu meerdere perioden uittrilt als gevolg van de scherpe afgestemde kring in de echoversterker. Alleen de echo, die valt in de tijd dat de vensterbuis openstaat, zal de reactieschakeling doen omklappen wat door i. is weergegeven, die de anodespanning van relaisbuis B_6 weergeeft. Kromme j. geeft op de originele tijdas het spanningsverloop op het stuurrooster van B_{14} en tevens op het derde rooster van B_{15} . k. is de in buis B_{15} opgewekte „blaf”-spanning, terwijl in l. het amplitude-verloop van deze spanning op de anode van B_{15} is weergegeven.

Volledigheidshalve en ter verklaring van de in het schema van het radarchassis aangegeven katodespanningen, wordt in fig. 29 de onderlinge verbinding van de gloeidraden van de 18 gebruikte buizen weergegeven. Daar alle buizen een gloeistroomverbruik van 50 mA hebben, is het totale gloeistroomverbruik dus 100 mA bij 12V. De punten 4V en 8V worden ook met de spanningsbron verbonden, terwijl om inderlinge beïnvloeding van verschillende schakelingen via de gloeidraden tegen te gaan, op verschillende plaatsen de gloeidraden afzonderlijk met condensatoren zijn ontkoppeld.

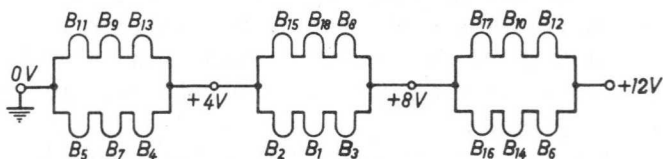


Fig. 29. Onderlinge verbinding van de gloeidraden in het radarchassis. De aanduidingen van de buizen corresponderen met die in fig. 27.

HOOFDSTUK III

ELECTRONISCHE HERSENEN

In het vorige hoofdstuk hebben we kennis gemaakt met een aantal electronische zintuigen die evenals de menselijke zintuigen in staat waren bepaalde verschijnselen in de omgeving waar te nemen. In sommige gevallen ging dit waarnemen slechter of onvollediger, in andere gevallen nauwkeuriger dan bij de menselijke zintuigen. Bij de menselijke zintuigen gaan de waarnemingen van deze zintuigen via het zenuwstelsel naar de hersenen en worden daar in de vorm van prikkels afgegeven. De schakeling die bij de electronische zintuigen behoort, en die in ons geval dus steeds resulteert in het sluiten of openen van een relaiscontact, kan dus met een zenuw worden vergeleken waarbij het relaiscontact dus de „prikkel” voorstelt.

Bij de mens worden de zenuwprikkels in de hersenen geïnterpreteerd en wordt er in sommige gevallen op bepaalde wijze op gereageerd met het doorgeven van een nieuwe prikkel die zekere spieren doet samentrekken. In sommige gevallen gaat deze reactie direct zonder verstandelijke overweging, zoals b. v. de toch zeer ingewikkelde reactie bij het lopen waarbij een groot aantal spieren in een bepaalde volgorde betrokken zijn, zonder dat men zich dit bewust wordt. Ook komen bij het lopen nog een groot aantal correcties voor om het evenwicht te bewaren, zoals bij oneffenheden op de grond. Toch blijft van al deze prikkels niets over: niemand zal zich de details van oneffenheden van een trottoir voor de geest kunnen halen waarover men gelopen heeft (behalve bij grote kuilen natuurlijk), terwijl toch reeds een halve cm hoogteverschil een correctie voor het evenwicht noodzakelijk maakt. Het geheugen wordt voor deze „normale” handelingen niet meer in-

geschakeld en van alle prikkels die tijdens het lopen optreden blijft normaal niets over.

Het geheugen komt in werking in die gevallen, waarin met de reactie een bepaald doel wordt beoogd dat enige tijd vergt om het te volbrengen. Wanneer men door iemand geroepen wordt en men begeeft zich naar de persoon toe, moet men zich het roepen toch minstens herinneren, tot men bij de persoon is aangekomen. Eerst dan kan men het rustig vergeten. Nu kan het wel degelijk voorkomen, dat men onderweg zijnde door andere prikkels wordt afgeleid en dan het oorspronkelijke doel vergeet. Een dergelijke verstrooidheid komt volgens overlevering zelfs vooral bij hooggeleerde heren voor. We zullen aanstonds zien dat deze verstrooidheid ook bij onze robot aanwezig is.

Verder zijn er de zuivere reflexbewegingen die zonder ingrijpen van, maar wel via de hersenen direct volgen op een ontvangen prikkel. Deze reflexbewegingen komen b. v. voor bij zich stoten of branden en kunnen een bepaalde tijd blijven nawerken.

Tenslotte is er bij de menselijke hersenen nog het enorm grote gebied van het verstandelijk reageren op één prikkel of meerdere prikkels. In feite wordt dan een keus gemaakt uit een groot aantal reactiemogelijkheden, waarbij de keus geleid wordt door ervaring bij vroegere gelegenheden (lering) en verstandelijke overweging al of niet gecombineerd met originaliteit. Nu zijn er electronische hersenschakelingen mogelijk die kunnen leren *) en ook die verstandelijk reageren, d. w. z. intellectueel werk kunnen verrichten. Een voorbeeld van deze laatste mogelijkheid wordt in het laatste hoofdstuk van dit boek behandeld. Maar electronische hersenen die origineel zijn, dus iets verrichten wat niet te voren door de constructeur er in is gebracht, zijn (nog?) niet gemaakt ook al lijkt het soms dat er wel iets origineels en onvoorziens uit voortkomt **).

In de door ons geconstrueerde robot hebben we ons wil-

*) A machine that learns, door W. Grey Walter, Popular Science, November, 1951.

***) De homeostaat van W. Ross Ashby.

len beperken tot elektronische hersenen die gedachtenloos reageren op de prikkels der zintuigen, weliswaar met een kort geheugen in sommige gevallen, maar zonder lering te trekken uit het verleden. Niettemin is hiermee een robot verkregen die zich reeds zeer merkwaardig gedraagt en kennelijk een eigen leven leidt, dat echter door allerlei verschijnselen van buiten af wordt beïnvloed.

Daar de spieren van onze robot hoofdzakelijk bestaan uit motoren, worden deze direct of indirect door de prikkels van de zintuigen (de bijbehorende relaiscontacten) geschakeld. Fig. 30 geeft de schakeling van de diverse motoren door de verschillende relaiscontacten weer. We zullen nu achtereenvolgens de invloed van de prikkels van de diverse elektronische zintuigen nader beschouwen.

III. 1. Het verwerken van de prikkels van het zien

In hoofdstuk II is dit reeds gedeeltelijk behandeld (vgl. fig. 9). In fig. 30 is te zien dat de motor M_3 , die de nek doet draaien en daardoor de kop, met de relaiscontacten ssl en ssr (via G_1b) of met +12V of 0V van de 12V accu kan worden verbonden. Hierdoor gaat de nek of rechtsom draaien (contact ssr gesloten) of linksom (contact ssl gesloten). In de uiterste standen wordt de stroom door de motor onderbroken door de uitloopcontacten, N_4 of N_5 , terwijl hierbij tevens punt K met +12V of 0V wordt verbonden wat, zoals in fig. 8 is na te gaan, de schakeling van de fotocellen doet omklappen. De nek resp. kop van de robot zal dus of de omgeving afzoeken naar licht of indien dit gevonden is, zich op de lichtbron richten. De pijltjes bij M_3 geven de draairichting aan die optreedt bij de aangegeven stroomrichting. De stuurmotor M_4 , die de richting waarin de robot zich voortbeweegt, bepaalt (ook van pijltjes voorzien voor de draairichting), wordt in de getekende stand van de relaiscontacten Vol , Vor , Rab en G_1a gevoed door het glijcontact N_3 , waarvan de stand door de nek wordt bepaald. Staat de nek naar links, dan gaat het stuur ook naar links en het zoeken van de robot naar licht wordt hierdoor

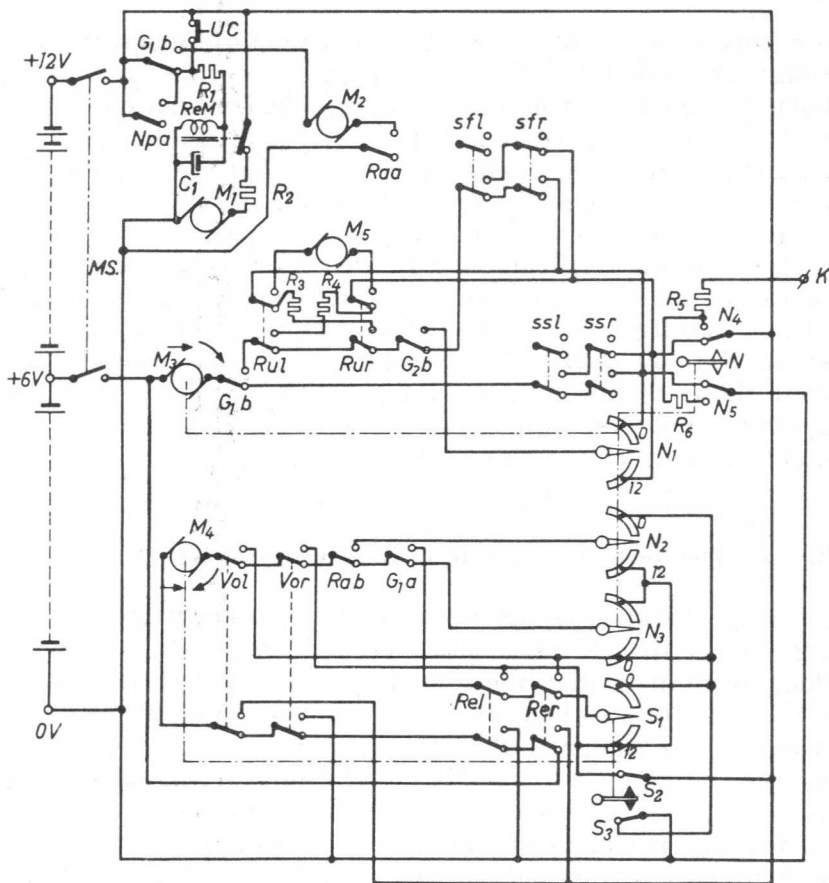


Fig. 30. Schakeling van de diverse motoren (M) van de robot door middel van de relaiscontacten en glijcontacten.

- M_1 = voortbewegingsmotor
 M_2 = motor voor de kwispelstaart
 M_3 = motor die de nek doet draaien (2 richtingen)
 M_4 = motor die het stuurorgaan bedient (2 richtingen)
 M_5 = motor die het likken van de tong bedient
 N_1, N_2 en N_3 = glijcontacten die meelopen met de as van de nek. In de middenstand wordt het contact verbroken.
 N_4 en N_5 = uitloopcontacten door de nek in de uiterste standen bedient.
 S_1 = glijcontact bedient door het stuurorgaan. In de middenstand is ook hierbij het contact verbroken.

S_2 en S_3 = uitloopcontacten door het stuurorgaan in de uiterste standen bedient. Voor verdere verklaring zie tekst.
 M. S. = hoofdschakelaar voor de motoren.

- R_1 = 68 ohm
 R_2 = 0,7 ohm
 R_3 en R_4 = 4,7 ohm
 R_5 en R_6 = 1 M
 R_0M = 6 - V sterkstroomrelais
 C_1 = 750 μ F
 UC = verbreekcontact bedient door aandrijfas voor de poten.

over een grotere hoek, dan de nek alleen toelaat, mogelijk. Indien een lichtbron of een licht reflecterend vlak gevonden is, wordt het door deze schakeling dan tevens mogelijk dat de robot zich direct hier naar toe gaat bewegen. Indien de lichtbron beweegt zal de robot deze ook gaan volgen mits de nekmotor de beweging kan bijhouden. Gaat de beweging te vlug dan is het mogelijk dat in het gezichtsveld een lichtverdeling voorkomt die de nek juist de andere richting doet draaien.

Tenslotte wijzen we er op, dat het gezichtsorgaan met de fotocellen direct wordt uitgeschakeld, zodra het relais-contact $G_1 b$ omgeschakeld wordt (fig. 30). Dit gebeurt bij het in werking treden van het gehoororgaan waarvoor we naar de volgende paragrafen verwijzen.

III. 2. Het verwerken van de prikkels bij het horen van het codesignaal

We hebben reeds gezien dat de stereofonische microfoonschakeling alleen reageert op het codesignaal dat bestond uit een 600 p/s signaal gevolgd door een 400 p/s signaal. Op het moment dat de schakeling op dit laatste signaal reageert, kunnen zich de volgende toestanden voordoen: De romp van de robot zal zich onder een bepaalde hoek ten opzichte van de geluidsbron bevinden. Onafhankelijk hiervan zal de nek zich ook weer onder een bepaalde hoek met de geluidsbron en tevens met de romp bevinden. Om nu toch een juiste reactie op het signaal te krijgen, namelijk het lopen in de richting van het reeds opgehouden signaal, moeten verschillende stadia worden doorlopen, wil men tenminste het gebruik van een gyroscoop met alle complicaties hieraan verbonden, vermijden.

Aan de hand van een bepaalde situatie, weergegeven in fig. 31 zullen we verschillende stadia eerst opsommen en daarna uitvoeriger behandelen.

Op het moment dat het signaal ter plaatse van G weerklinkt, heeft de nek N (de kop) een hoek α met de geluidsbron. Verder heeft de nek een hoek β met de romp R ,

terwijl deze laatste een hoek γ met de geluidsbron heeft.

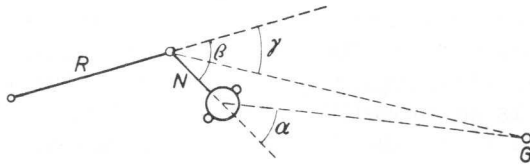


Fig. 31. Voorbeeld van een situatie waaronder het 400 p/s signaal wordt gehoord. G = geluidsbron. De kop op de nek N hoort het geluid onder hoek α . De nek maakt op dit moment een hoek β met de romp R. De romp heeft de hoek γ met de richting van de geluidsbron.

Nu gebeurt na elkaar resp. bijna tegelijkertijd het volgende:

- de robot stopt onmiddellijk;
- de nek draait tot de kop in de richting van de geluidsbron staat (zie gestippelde toestand) en de stand t. o. v. de romp γ is geworden;
- de hoek γ wordt nu vastgelegd in een geheugenschakeling;
- de nek en het stuur worden nu beiden in de neutrale middenstand gebracht;
- als dit gebeurd is, wordt de aandrijfmotor weer ingeschakeld;
- nu wordt het stuur gecommandeerd door de geheugenschakeling, zodanig dat dit vanuit de middenstand een bepaalde tijd rechts en een kortere tijd links wordt gedraaid, afhankelijk van hoek γ ;
- de robot krijgt hierdoor de juiste richting en met het stuur weer in de middenstand blijft hij gedurende een bepaalde tijd die richting volgen.

Ad a. Uit fig. 30 blijkt, dat het relais ReM , dat de aandrijfmotor M_1 bedient, in de ruststand via contact G_1b en R_1 op de 12V accu is aangesloten. Het relais zal uitvallen en de motor stoppen zodra G_1b omschakelt. Dit gebeurt di-

rect onder invloed van de werking van de stereofonische microfoonschakeling zoals we onder b zullen zien. Verder wordt niet alleen de aandrijfmotor gestopt, maar bovendien wordt de robot afgeremd door de omkeerschakeling die verderop zal worden behandeld.

Ad b. Uit fig. 19 is gebleken, dat als reactie op het 400 p/s signaal, of wel relais Re_{sfl} of wel Re_{sfr} zal intrekken afhankelijk ervan of de linker resp. de rechter microfoon dichter bij de geluidsbron was. Verder bleek dat de tijd waarin het relais ingetrokken bleef, evenredig was met de fasehoek, dus afhankelijk van hoek α in fig. 31. De relaiscontacten l en r (zie fig. 19) bedienen elk twee hulprelais met ieder twee wisselcontacten. De schakeling hiervan vinden we in fig. 32 waar deze als Sfl a en b, resp. Sfr a en b zijn aangegeven. In de ruststand voeren de contacten l en r in fig. 19 spanning, zodat de hulprelais in de ruststand ingetrokken staan. Daarom zijn de betreffende contacten in fig. 32 in dit geval in de bovenste stand (de ruststand) getekend *).

Nu blijkt dus, dat in de ruststand condensator C_{21} (fig. 32) geladen wordt tot een spanning bepaald door R_{56} en R_{58} . Wordt nu door het in werking treden van de stereofonische microfoonschakeling de linker of rechter relaisketen spanningsloos gemaakt, dan wordt condensator C_{21} tegen aarde kortgesloten. Dit betekent een plotselinge spanningsdaling die via C_{22} als negatieve piek aan de geheugenschakeling Gh_1 wordt toegevoerd en deze doet omklappen. Deze geheugenschakeling met de buizen B_1 en B_2 is immers een monostabiele multivibratorschakeling met een tijdconstante van ca. een halve minuut. Hierdoor trekt relais G_{1a} onmiddellijk in, terwijl het hulprelais G_{1b} tegelijkertijd uitvalt. Uit fig. 30 blijkt nu dat met het contact G_{1b} het relais van aandrijfmotor M_1 wordt uitgeschakeld.

Door het relais Sfl of Sfr wordt echter tevens de germaniumdiode G_4 met aarde verbonden, zodat het 400 p/s signaal dat door buis B_{23} (zie fig. 23) wordt doorgegeven, kan

*) Hoewel deze schakeling bij nog andere hulprelais ook voorkomt, hebben we daar de onderste stand steeds als ruststand genomen, als dit dus eigenlijk niet de ruststand van het relais weergeeft.

worden gelijkgericht en het relais R_{O400} zal intrekken. Uit fig. 32 blijkt, dat hierdoor spanning wordt toegevoerd aan de relais R_{ab} en R_{ac} , omdat relais G_{2a} zich nog in de getekende ruststand bevindt. Hierdoor nu wordt de omkeerschakeling bediend die de robot abrupt doet stoppen.

Er gebeurt echter nog meer. Uit fig. 30 blijkt verder dat de motor M_3 die de nek bedient, via G_1b (die dus omgeschakeld is) via R_{ul} en R_{ur} en via G_2b (die nog in de getekende ruststand staat) nu wordt bediend door de contacten s_{fl} en s_{fr} . Afhankelijk van het feit of door het fluitsignaal één van deze twee wordt bediend, zal de nek rechtsom of linksom in de richting van het geluid gaan draaien. De uitloopcontacten N_4 of N_5 bepalen hierbij weer de uiterste standen. Verder zal de stuurmotor M_4 die eerst door het glijcontact N_3 van de nek werd gecommandeerd, door het omschakelen van contact G_1a nu door glijcontact S_1 via R_{el} en R_{er} worden bediend. Dit glijcontact wordt door de stuurmotor zelf bewogen en de spanningen op de contacten zijn zodanig, dat het stuur zich naar de spanningsloze middenstand zal gaan bewegen. Dit alles gebeurt dus praktisch tegelijkertijd. De tijd dat het contact s_{fl} of s_{fr} zal reageren en de nek zal draaien is nu zodanig gekozen, in verband met de draaisnelheid, dat de nek zich in de richting van het geluid kan plaatsen.

Ad c. Uit fig. 32 blijkt verder, dat zolang een relais s_{fl} of s_{fr} uit de ruststand is, de condensator C_{18} die normaal kortgesloten staat, zich nu via R_{55} kan laden tot een positieve spanning, bepaald door de weerstanden R_{53} R_{54} . Keert het relais naar de ruststand terug (dus als de nek in de richting van het geluid is gekomen), dan wordt C_{18} weer kortgesloten; er ontstaat via C_{28} een negatieve impuls die de tweede geheugenschakeling G_{h_2} met de buizen B_3 en B_4 doet omklappen. Relais G_{2a} trekt in en G_{2b} valt uit (schakeling G_{h_2} is overigens geheel identiek met G_{h_1}).

Er gebeuren nu weer een aantal dingen tegelijkertijd: Indien R_{O400} nog niet zou zijn teruggevallen, wordt met contact G_{2a} de spanning op de relais R_{ab} en R_{ac} onderbroken, waardoor de omkeerschakeling de robot weer op vooruit schakelt, hoewel de aandrijfmotor M_1 nog niet is inge-

Fig. 32. Het gedeelte van de hersenen van de robot dat gebruikt wordt om de reactie op het 400 p/s signaal te bewerkstelligen.

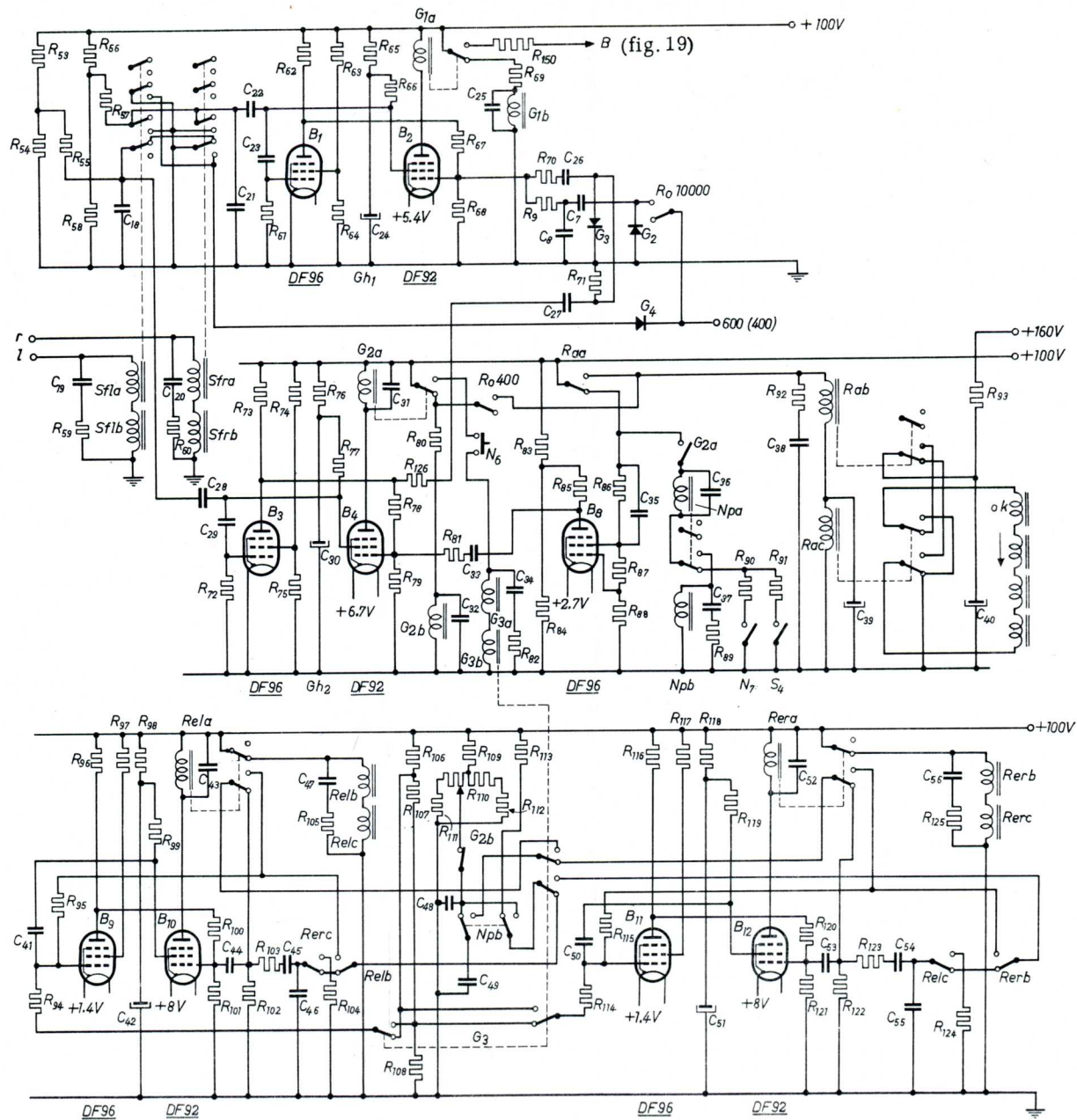
R53 = 1 M	R92 = 5 K 6	C18 = 100 K
R54 = 100 K	R93 = 10 K	C19 = 10 K
R55 = 1 M	R94 = 22 M	C20 = 10 K
R56 = 220 K	R95 = 2 M 7	C21 = 100 K
R57 = 1 M	R96 = 100 K	C22 = 1 K
R58 = 15 K	R97 = 15 K	C23 = 2 μ F
R59 = 5 K 6	R98 = 1 K	C24 = 25 μ F
R60 = 5 K 6	R99 = 15 K	C25 = 10 K
R61 = 10 M	R100 = 1 M	C26 = 8 K 2
R62 = 100 K	R101 = 100 K	C27 = 56 pF
R63 = 15 K	R102 = 4 M 7	C28 = 820 pF
R64 = 68 K	R103 = 47 K	C29 = 2 μ F
R65 = 1 K	R104 = 10 M	C30 = 25 μ F
R66 = 15 K	R105 = 5 K 6	C31 = 10 K
R67 = 1 M 5	R106 = 92 K	C32 = 10 K
R68 = 100 K	R107 = 27 K	C33 = 820 pF
R69 = 15 K	R108 = 15 K	C34 = 10 K
R70 = 100 K	R109 = 8 K 2	C35 = 10 K
R71 = 2 M 2	R110 = lineaire potentiometer 200 K met middenaftakking	C36 = 10 K
R72 = 10 M	R111 = 4 K 7	C37 = 10 K
R73 = 100 K	R112 = 4 K 7	C38 = 22 K
R74 = 15 K	R113 = 10 M	C39 = 5 μ F
R75 = 68 K	R114 = 22 M	C40 = 100 μ F
R76 = 1 K	R115 = 2 M 7	C41 = 470 K
R77 = 15 K	R116 = 100 K	C42 = 25 μ F
R78 = 1 M 2	R117 = 15 K	C43 = 10 K
R79 = 100 K	R118 = 1 K	C44 = 82 pF
R80 = 15 K	R119 = 15 K	C45 = 1 K
R81 = 100 K	R120 = 1 M	C46 = 1 K
R82 = 5 K 6	R121 = 100 K	C47 = 10 K
R83 = 150 K	R122 = 4 M 7	C48 = 82 K
R84 = 39 K	R123 = 47 K	C49 = 82 K
R85 = 10 M	R124 = 10 M	C50 = 470 K
R86 = 180 K	R125 = 5 K 6	C51 = 25 μ F
R88 = 10 K	R126 = 100 K	C52 = 10 K
R89 = 5 K 6		C53 = 82 pF
R90 = 56 K		C54 = 1 K
R91 = 56 K		C55 = 1 K
		C56 = 10 K

G₂, G₃ en G₄ = germaniumdiode 0A85

Alle relais Re hebben een spoel van 15.000 Ohm en zijn voorzien van 2 wisselcontacten.

O. K. = spoelen van de omkeerschakeling.

Totale weerstand ca. 80 Ohm.



schakeld. Afhankelijk ervan of de nek in de nieuw aangekomen stand zich rechts of links van de middenstand bevindt, zal het hulpcontact N_6 , dat door een nokkenschijf op de nekas wordt bediend, al of niet gesloten zijn, zodat via dit contact de hulprelais G_{3a} en G_{3b} al of niet zullen worden bekrachtigd. Deze relais bepalen of de robot zich naar rechts of links moet bewegen om in de richting van de geluidsbron te komen.

In het onderste gedeelte van fig. 32 vinden we de potentiometer R_{110} , die met de nek-as is gekoppeld en waarvan de looper een spanning heeft die lager wordt naarmate de nek verder vanuit de middenstand komt, hetzij naar links of naar rechts. In de middenstand is de spanning maximaal (ca. 90V). De spanning op de looper staat ook op de twee condensatoren C_{48} en C_{49} . Wordt G_{2b} echter bediend, dan blijft de spanning die op dat moment op de looper stond, bewaard op de beide condensatoren. Deze zijn nl. van het verliesarme type. De spanning op deze condensatoren vormen samen met de stand van de relais G_{3a} en G_{3b} de gegevens die de hoek γ van de geluidsbron met de romp bepalen.

Ad d. Uit fig. 30 blijkt dat als contact G_{2b} omschakelt, de nek motor M_3 zal worden bediend door glijcontact N_1 van de nek-as zelf. De spanning op de contacten is weer zodanig, dat de nek zich naar de middenstand zal gaan bewegen, evenals dit voor het stuur gebeurt, door glijcontact S_1 . Zowel de nek als het stuur hebben verder een contact N_7 resp. S_4 in fig. 32, dat alleen in de middenstand gesloten is. Daar het relaiscontact G_{2a} nu gesloten is, zal via R_{aa} en de weerstanden R_{90} en R_{91} een stroom door het relais N_{pa} kunnen gaan lopen. Is slechts één van de contacten N_7 of S_4 gesloten, dan is deze stroom niet voldoende om het relais aan te trekken. Alleen als zowel de nek als het stuur in de middenstand zijn aangekomen, zal het relais N_{pa} , en zoals uit de schakeling is na te gaan, daardoor ook relais N_{pb} intrekken. Het onderste wisselcontact van relais N_{pa} is daartoe zo bijgebogen dat eerst als verbinding met het bovenste contact is tot stand gebracht, de verbinding met het onderste wordt verbroken.

Ad e. Uit fig. 30 blijkt, dat als contact Npa wordt omgeschakeld, het relais van motor M_1 op de 12V accu wordt aangesloten, zodat de robot zich in voorwaartse richting zal gaan bewegen.

Ad f. De nek blijft in de middenstand staan, maar de stuurmotor M_4 zal nu door de contacten Rel en Rer (fig. 30) zodanig worden bediend, dat of wel een linkse gevolgd door een rechtse beweging, of een rechtse gevolgd door een linkse beweging zal worden uitgevoerd. Dit schakelen gebeurt door 2 contacten tegelijkertijd waarbij de spanning op de stuurmotor 12V in plaats van 6V wordt. Hierdoor wordt het stuur zeer snel naar de uiterste stand gebracht. Door deze besturing komt de richtingverandering tot stand die de robot in de juiste richting brengt. Hierna komt het stuur weer in de middenstand terug. De richtingverandering die dus afhankelijk moet zijn van de hoek γ , wordt nu verkregen door de reactieschakeling die de relais Rel en Rer bedient en die in de volgende paragraaf zal worden besproken.

Ad g. Indien de richtingverandering is volbracht zal de robot zich rechtlijnig in die richting blijven voortbewegen zolang de geheugenschakelingen Gh_1 en Gh_2 blijven werken. Deze tijd is lang genoeg om de geluidsbron te bereiken. Wat er dan kan gebeuren zal verderop worden behandeld.

III. 2. 1. *De reactieschakeling*

Alvorens de werking van de reactieschakeling te verklaren, zullen we aan de hand van fig. 33 eerst de eisen die hieraan gesteld moeten worden nader bekijken. R stelt hierbij de romp van de robot voor en G de geluidsbron zodat de richting waaronder het geluid binnenkomt, bepaald wordt door hoek γ . We hebben in het voorgaande reeds gezien dat de nek zich in de richting van de geluidsbron zal stellen en dat de hoek γ in een condensatorspanning wordt vastgelegd. De reactieschakeling moet er nu voor zorgen dat de romp van de robot in de richting van de geluidsbron komt. Hiertoe moet dus het stuur in het geval van fig. 33

eerst rechtsonder worden geplaatst. De robot beschrijft dan bij de rechtse stand van het stuur een cirkelboog met straal r en wel over een afstand bepaald door de hoek $(\gamma + \alpha)$; dan

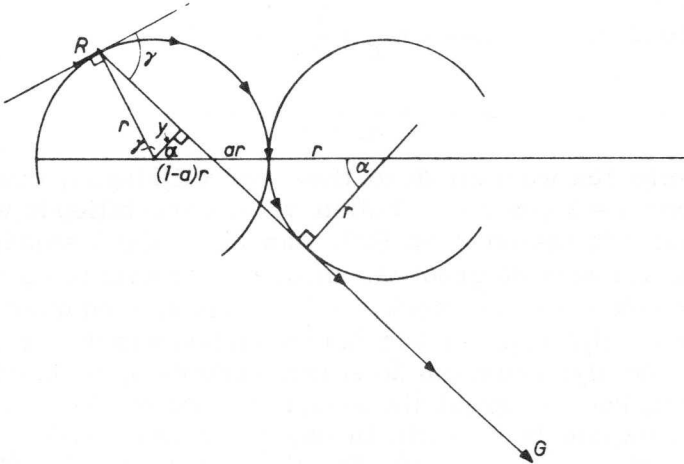


Fig. 33. Bepaling van de hoekverhouding nodig om bij een bepaalde hoek γ van de romp R met de richting van de geluidsbron G de robot in de gewenste richting te krijgen. Voor γ tussen 90° en 0° is $\frac{\gamma + \alpha}{\alpha}$ vrijwel constant en gelijk aan 2,5.

draait het stuur naar links en beschrijft weer een cirkelboog met dezelfde straal r , nu over een afstand bepaald door hoek α in de rechter cirkel. De richting is dan verkregen en het stuur komt weer in de middenstand. Bij constante loopsnelheid zijn de hoeken $(\gamma + \alpha)$ en α evenredig met de tijd die voor het doorlopen van de betrokken cirkelbogen beschikbaar komt. Nu is aan te tonen, dat de verhouding $\frac{\gamma + \alpha}{\alpha}$ constant is en wel gelijk aan 2,5 (met een nauwkeurigheid beter dan 2%). Hoek $\gamma + \alpha$ is dus recht evenredig met hoek γ , en dus ook de tijd die de robot rechtsonder moet lopen is recht evenredig met hoek γ . Verder is de tijd die de robot daarna linksom moet lopen eveneens recht evenredig met hoek γ en wel $1/2,5$ deel van de eerst genoemde tijd.

Uit de gelijkvormigheid van de driehoeken met de hoeken α en 90° volgt: $\frac{y}{r} = \frac{(1-a)r}{ar+r} = \frac{1-a}{1+a}$
 a kan hierbij variëren van 0 tot 1.

Verder is $\cos \gamma = \frac{y}{r} = \frac{1-a}{1+a}$ en

$$\cos \alpha = \frac{r}{ar+r} = \frac{1}{a+1}$$

Elimineren we a uit deze twee vergelijkingen, dan ontstaat $\cos \gamma = 2 \cos \alpha - 1$. Vullen we nu verschillende waarden voor α in tussen 0 en 60° . dan blijkt dat γ steeds 1,5 of bijna 1,5 keer zo groot is, m. a. w. γ is evenredig met α en dus ook $\gamma + \alpha$. De hoek $\gamma + \alpha$ is dus $2\frac{1}{2}\alpha$ en daar deze hoeken de tijd bepalen van het doorlopen van de cirkelbogen, is de tijd nodig om de eerste cirkelboog te doorlopen steeds $2\frac{1}{2}$ keer zo groot als de tijd voor de tweede boog.

De grootste hoek α die in ons geval kan voorkomen is 60° , hierbij is γ dus 90° . De kleinste hoek α is 0° en γ dus eveneens 0° . In dit geval is de geluidsbron dus recht voor de romp.

Uit het voorgaande blijkt dus dat de reactieschakeling het stuur een bepaalde tijd rechtsom resp. linksom moet houden, afhankelijk van hoek γ gevolgd door $1/2,5$ deel van die tijd linksom resp. rechtsom.

De schakeling is in het onderste deel van fig. 32 weergegeven en bestaat uit twee identieke monostabiele multivibratorschakelingen met de buizen B_9B_{10} resp. $B_{11}B_{12}$. De vaste verhouding in tijdconstante van $1:2\frac{1}{2}$ wordt verkregen door de roosterweerstand R_{94} en R_{114} met overeenkomstige positieve spanningen te verbinden via de onderste relaiscontacten G_3 . In de getekende stand is de roosterweerstand van de linker schakeling met de meest positieve spanning en die van de rechter met de minst positieve spanning van de vaste potentiometers R_{106} , R_{107} , R_{108} verbonden. De keuze van deze weerstanden is zodanig dat de tijdconstante van de linker schakeling dus $2\frac{1}{2}$ keer korter is dan die van de rechter. Verder zorgen de andere twee contacten van G_3 er voor, dat bij het omschakelen van Npb

(dus als nek en stuur in de ruststand zijn aangekomen) C_{48} wordt geschakeld op C_{46} en C_{49} op R_{122} .

Bekijken we eerst het eerste geval. Vóór het omschakelen van Npb was C_{46} via de verschillende relaiscontacten en R_{113} met + 100V verbonden en is dus tot 100V geladen. Wordt nu Npb omgeschakeld, dan resulteert het parallel schakelen van C_{48} dus in een grotere of kleinere negatieve spanningsverandering op C_{46} en de resulterende negatieve piek op het stuurrooster van B_{10} kan deze schakeling niet doen omklappen. Verder is C_{46} veel kleiner dan C_{48} , zodat de spanning op C_{48} dus praktisch niet verandert.

Het parallelschakelen van C_{49} met R_{122} echter betekent steeds een positieve verandering afhankelijk van de spanning op C_{49} . Boven een minimum waarde van ca. 4V levert dit via C_{53} een voldoende positieve piek op het stuurrooster van B_{12} dat de rechter schakeling wel omklapt. Door het ingaan van relais *Rera* wordt C_{49} dan via R_{115} met het stuurrooster van B_{11} verbonden. Doordat het omklappen zeer snel gebeurt en R_{122} zeer groot is, wordt hierbij slechts uiterst weinig spanning op C_{49} verloren zodat deze spanning nog steeds een maat is voor de hoek γ . De tijdconstante van de rechter schakeling wordt nu niet meer alleen bepaald door C_{50} , R_{114} en de spanning waarmee R_{114} is verbonden maar tevens door de lading van C_{49} die de lading van C_{50} doet verminderen, waardoor de tijdconstante wordt bekort. Deze vermindering van lading van C_{50} is sterker naarmate de spanning op C_{49} hoger is, dus afhankelijk van hoek γ . Is C_{49} max. positief (ca. 90V) dan wordt de lading van C_{50} zoveel verminderd, dat de schakeling praktisch direct weer terugklapt. Bij de minimale spanning op C_{49} (ca. 4V) is de tijdconstante zodanig geworden, dat de tijd van omklappen juist voldoende is om de maximale boog van 150° te kunnen afleggen. Voor tussenliggende waarden wordt dit dus een evenredig kleinere tijd.

De weerstand R_{115} heeft overigens nog een belangrijke functie. Zonder deze weerstand zou bij het schakelen van C_{49} het rooster tijdelijk de spanning van C_{49} krijgen, waardoor de schakeling gegarandeerd zou terugklappen. Door de potentiometerwerking van R_{115} met R_{119} wordt de

positieve piek op het stuurrooster van B_{11} zodanig verzwakt, dat terugklappen hierdoor wordt vermeden. Hier toe is $R_{115} \gg R_{119}$. De tijdconstante van C_{49} , C_{50} en R_{115} (die dus de tijd van het overvloeien der lading van C_{49} naar C_{50} bepaalt) is echter weer klein ten opzichte van de tijdconstante van de schakeling omdat $R_{114} \gg R_{115}$. Na het overvloeien van de lading kan men C_{49} en C_{50} parallel denken die samen via R_{114} worden bijgeladen tot de schakeling terugklapt.

Door het intrekken van relais *Rera* worden verder de relais *Rerb* en *Rerc* niet langer bekrachtigd en de bijbehorende contacten dus omgeschaakeld. Door het contact *Rerb* verandert niets in de schakeling zoals gemakkelijk in fig. 32 is na te gaan. Het contact *Rerc* echter schakelt condensator C_{46} af van C_{48} en wordt nu via R_{104} met aarde verbonden. Hierdoor daalt de spanning van C_{46} vrij snel naar aardpotentiala. Ook hierdoor zal de linker schakeling echter niet kunnen omklappen.

Is nu echter de rechter schakeling uitgewerkt en klapt deze terug, dan zal dus ook contact *Rerc* weer in de getekende ruststand terugkeren. C_{46} wordt dus opnieuw verbonden met C_{48} maar nu met een eigen spanning van 0V. Dit resulteert dus in een positieve verandering waarvan de positieve piek via C_{45} , R_{103} en C_{44} op het rooster van B_{10} komt en de linker schakeling zal omklappen. Doordat hierbij relais *Rela* intrekt en dus *Relb* en *Relc* uitvallen, zal door contact *Relb* de condensator C_{48} via R_{95} met het rooster van B_9 worden verbonden. Dit is dus hetzelfde als bij de rechter schakeling het geval was. Doordat zoals we gezien hebben de roosterweerstand R_{94} met een hogere spanning is verbonden dan R_{114} zal de tijd van omklappen van de linker schakeling slechts $1/2,5$ zijn van die van de rechter schakeling, omdat de omstandigheden verder geheel dezelfde zijn. Na het terugklappen van de linker schakeling staan alle contacten weer in de getekende standen. De schakeling zal dan echter niet meer in kunnen gaan, omdat de spanning van de condensatoren C_{48} en C_{49} is verdwenen. De eindspanning kan hierop nl. nooit hoger zijn dan de + 1,5V van de katode van de buizen B_9 of B_{11} , het-

geen te laag is om een schakeling aan te stoten. Weliswaar wordt C_{46} weer via R_{113} met + 100V verbonden, maar de tijdconstante van $C_{46} R_{113}$ is voldoende groot om niet via C_{44} een voldoende positieve stoot te geven.

Pas na het terugvallen van geheugenschakeling Gh_2 en daardoor van de contacten G_2b en Npb krijgen de condensatoren C_{48} en C_{49} weer spanning van potentiometer R_{110} en is de schakeling gereed voor een volgende actie. Komt daarbij dan de situatie voor dat relais G_3a en G_3b wel zijn ingetrokken dan zien we dat door de onderste contacten G_3 nu de linker schakeling een grotere tijdconstante krijgt dan de rechter en ook nu weer 2,5 keer zo groot. Verder zal dan C_{48} op de tot 100V geladen condensator C_{55} geschakeld worden dus geen invloed hebben, terwijl C_{49} met R_{102} zal worden verbonden en de linker schakeling als eerste doen omklappen. Daarna zal dan weer de rechter schakeling omklappen met een $2\frac{1}{2}$ keer kleinere tijdconstante. Hiermee is dus weer het gestelde doel bereikt.

III. 3. Het verwerken van de prikkels bij het horen van de naam

We hebben gezien dat door het roepen van de naam Cyber de stereofonische schakeling geblokkeerd wordt zodat de relais Sfl en Sfr niet in werking zullen treden. Via het contact van Ro 10.000 zal de 600 p/s rimpel de geheugenschakeling Gh_1 via $C_7 R_9$ bereiken en doen omklappen (fig. 32). Via hetzelfde relais contact wordt de germaniumdiode G_2 aangesloten waardoor relais Ro 400 gedurende enige tijd zal intrekken onder invloed van het 600 p/s signaal. Daar G_2a in de ruststand staat, zal contact Ro 400 de omkeerschakeling met de relais Rab en Rac bedienen waardoor de robot op achteruit wordt geschakeld. Doordat met contact G_1b van de geheugenschakeling de aandrijfmotor M_1 wordt uitgeschakeld (fig. 30) resulteert het roepen van de naam in een abrupt stoppen.

Doordat verder G_1b omschakelt, zal de nekmotor M_3 eveneens abrupt stoppen. Immers de contacten sfl en sfr

blijven in de ruststand evenals contact G_{2b} . De nekmotor kan alleen nog worden bediend door de contacten R_{1l} en R_{1r} zoals we verder zullen zien.

Het verschil in reactie ten opzichte van die met het codesignaal is dus aanzienlijk. Bij het codesignaal immers een bewegen naar de geluidsbron, bij de naam een volledige onbewegelijkheid. Deze onbewegelijkheid blijft zolang de geheugenschakeling Gh_1 werkt en wordt ook door de radar niet beïnvloed zoals we verder nog zullen zien. Het principiële verschil is eigenlijk dat nu de geheugenschakeling Gh_2 niet in werking treedt.

III. 4. Het verwerken van de aanrakingsprikkels

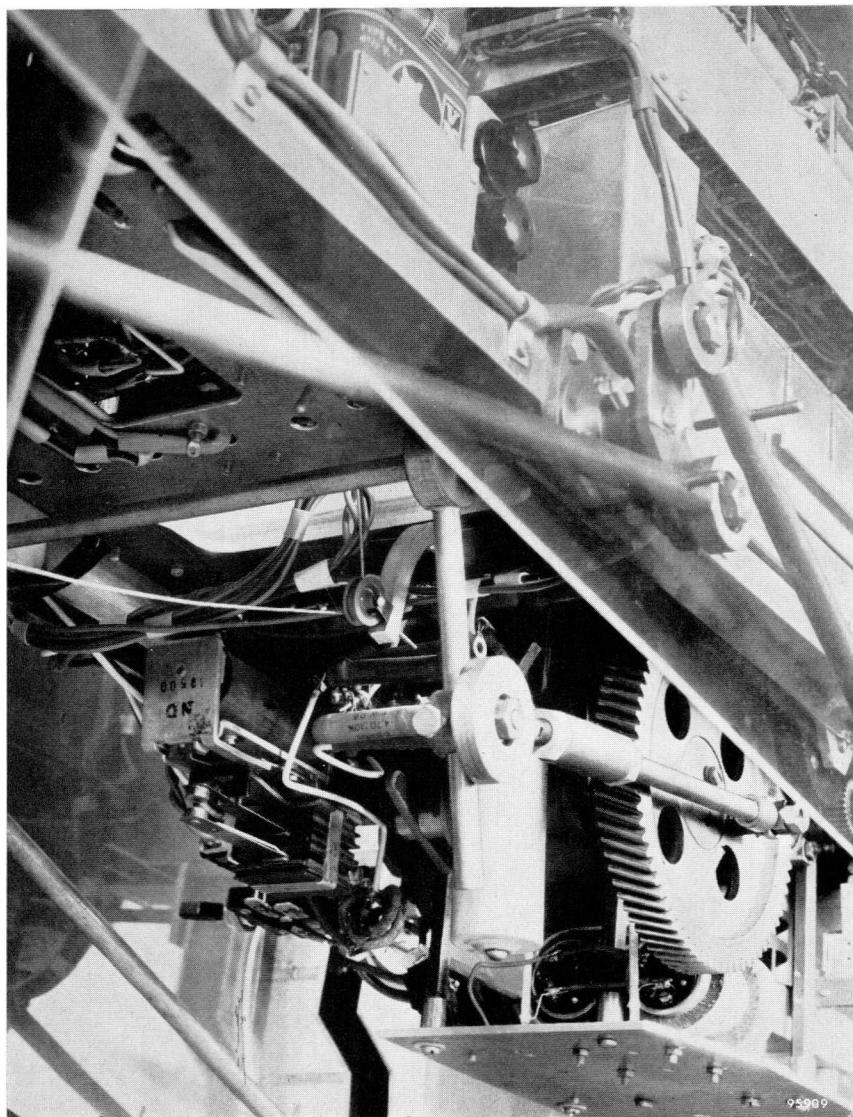
We hebben gezien dat tengevolge van een aanraking met een voorwerp op de linker of rechter zijkant het relais V_{or} resp. V_{ol} gedurende een bepaalde tijd zullen worden ingetrokken of wel ingetrokken blijven staan zolang de aanraking blijft duren. Uit fig. 30 blijkt dat hierdoor de stuurmotor M_4 zal worden bediend, en wel zodanig dat bij een aanraking rechts het stuur naar links gaat en omgekeerd, zodat de robot de neiging heeft de aanraking te doen ophouden. Ook in dit geval krijgt de stuurmotor een dubbele spanning zodat de reactie zeer snel geschiedt. Hierdoor is het mogelijk door middel van een stok de robot in een bepaalde richting te doen lopen. Verder blijkt, dat de reactie op de aanrakingsprikkels primair is, dus niet afhankelijk van andere invloeden (lees: standen van andere relaiscontacten).

Dit houdt weer in dat indien de robot op weg is naar de bron van het 400 p/s signaal, en een aanraking ontstaat met een voorwerp of wel met een stok, de juiste richting verloren gaat. De robot wordt hierdoor dus afgeleid en raakt in de war.



9599B

Bovenaanzicht van de romp van het robotdier. Op de voorgrond het „hersenen“-chassis met daaronder de voedingsaccu. Daarachter de triller met trillertransformator, en verder de twee chassis voor de „stereoscopische“ en stereofonische schakelingen (boven) en het radarchassis (onder). Links op de voorgrond is de draaiconstructie van de nek gedeeltelijk zichtbaar.



Onderaanzicht van het robotdier, waarop het aandrijvingsmechaniek van de poten duidelijk is te zien. Het zichtbare relais bedient de aandrijfmotoren, die overigens niet duidelijk zichtbaar zijn. De twee kleine ronde motoren onderaan op de foto vormen samen de stuurmotor.

III. 5. Het verwerken van de temperatuurprikkel

We hebben gezien, dat door een temperatuursverhoging van de NTC-weerstanden de relais *Rul* en *Rur* kunnen worden bediend. Uit fig. 30 blijkt dat de bijbehorende contacten de nekmotor kunnen bedienen, indien althans contact G_1b omgeschakeld is. Dit is het geval indien de robot onderweg is naar de bron van het 400 p/s fluitsignaal of indien hij heeft gereageerd op het roepen van zijn naam. Alleen het tweede geval heeft echter praktische betekenis, omdat de tijd tijdens het lopen te kort is om de NTC-weerstanden voldoende te verwarmen. Nu bevinden zich de twee NTC-weerstanden aan weerskanten van de bek. Is nu de robot door het horen van zijn naam tot stilstand gekomen en houdt men b.v. een warm worstje bij z'n bek dan zal de nek, indien de rechter NTC het dichtste bij is, langzaam rechtsonder gaan draaien onder invloed van *Rur* om nog dichterbij het worstje te komen. Het langzaam draaien wordt veroorzaakt door de weerstand R_3 zoals in fig. 30 is na te gaan. Is nu ook de tweede NTC-weerstand bij het worstje gekomen dan zal het contact *Rul* omgezet worden en stopt de nekmotor. Nu zal echter motor M_5 aangesloten zijn op de 12V van de accu en aangezien M_5 de tong bedient, zal het zijn alsof de robot het worstje aflikt. In principe beweegt de kop zich dus naar een warm voorwerp toe en likt dit af.

III. 6. Het verwerken der prikkels van het radarsysteem

Aangezien de luidspreker die de radarimpulsen produceert, evenals de microfoon die de echo's opvangt, voor in de romp van de robot zijn gemonteerd, zal de radar in werking komen als een voorwerp recht voor de romp komt. Zoals we reeds gezien hebben, zal het contact *Raa* dan tijdelijk omgeschakeld worden. Uit fig. 32 blijkt, dat hierdoor de omkeerschakeling met de relais *Rab* en *Rac* wordt bediend waardoor de robot op achteruit wordt geschakeld. Uit fig. 30 blijkt verder, dat door het omschakelen van

contact *Rab* de stuurmotor M_4 wordt verbonden met het glijcontact N_2 dat door de nek wordt gedraaid. De resulterende draairichting van de stuurmotor hangt dan dus af van de stand van de nek. De spanningen op N_2 zijn net andersom als die op N_3 . Hiermee wordt nu het volgende effect bereikt. In het algemeen kan gesteld worden, dat de nek zich of rechts of links van de middenstand zal bevinden. Zolang M_4 (het stuur) door N_3 wordt bediend, zal het stuur dan ook rechts of links zijn gericht. Ontmoet de robot b. v. rechtsom gaande een obstakel waardoor *Rab* omschakelt, dan draait het stuur dus direct linksom. Bij het achteruitlopen zal de robot het obstakel dus in tegengestelde draairichting ontwijken. Is de radar reactie uitgewerkt, dan wordt weer op glijcontact N_3 teruggeschakeld en het hangt dan weer van de dan optredende nekstand af hoe de robot z'n weg zal vervolgen. Uit fig. 30 blijkt verder, dat met contact *Raa* tevens motor M_2 die de staart doet kwispelen kan worden bediend, indien althans geheugenschakeling Gh_1 ingeschakeld staat. Dit is dus het geval als de robot het codesignaal heeft gehoord of zijn naam.

Tenslotte hebben we reeds gezien dat bij het in werking treden van het radarsysteem tevens het blafsignaal in de luidspreker hoorbaar wordt. Het omschakelen van contact *Raa* geeft in fig. 32 nog een verandering. Van buis B_8 wordt nl. de schermrooster- en stuurroosterspanning afgeschakeld waardoor de anodestroom op nul terugvalt. Hierdoor wil de anodespanning van B_8 lopen naar de spanning bepaald door R_{83} en R_{84} . Hierdoor wordt C_{33} geladen via R_{81} en R_{79} en zou een positieve stoot op het rooster van B_4 en dus omklappen van geheugenschakeling Gh_2 veroorzaken, ware het niet dat de anodeweerstand R_{85} zo hoog is gekozen, dat dit niet kan gebeuren. C_{35} zal zich over R_{86} kunnen ontladen zodat, als *Raa* in de ruststand terugkeert, het schermrooster dus het stuurrooster een tijdelijk hoge positieve spanning zal krijgen. Hierdoor treedt even een hoge anodestroom op, dus een negatieve piek op de anode. Deze wordt wel in volle sterkte via C_{33} en R_{81} op het stuurrooster van B_4 doorgegeven. Indien Gh_2 omgeklapt staat, zal de schakeling door deze negatieve piek zeker terugklappen.

Dit terugklappen geeft weer een negatieve stoot op R_{73} die via R_{126} , C_{27} , C_{26} en R_{70} op het rooster van B_2 komt en ook deze schakeling (Gh_1) zal doen terugklappen (Germaniumdiode G_3 zorgt er voor dat positieve stoten niet kunnen doordringen en dus het ongewenst ingaan van de schakelingen belet).

Het resultaat van dit uitschakelen van de beide geheugenschakelingen is dat de robot, op weg zijnde naar de bron van het codesignaal, na het tegenkomen van een obstakel, de gegevens hiervan geheel verliest. Men moet dan dus opnieuw het codesignaal geven.

Na het roepen van de naam echter, kan men zich gerust voor de robot plaatsen, want een dan optredend radarsignaal zal Gh_1 niet kunnen doen terugklappen omdat alleen Gh_2 dit kan en deze geheugenschakeling is dan immers niet ingeschakeld. Wel zal in zo'n geval het blaffen hoorbaar worden en zal het kwispelstaarten optreden.

De omkeerschakeling

Zoals reeds enige malen vermeld, bewerkt de omkeerschakeling het op voor- of achteruitschakelen van de robot. Deze kan dus door R_{0400} of door R_{aa} worden bediend. In de in fig. 32 getekende ruststand kan de electrolytische condensator C_{40} via R_{93} tot 160V worden geladen. Wordt nu contact R_{0400} of R_{aa} omgeschakeld, dan zal in eerste instantie R_{ab} aantrekken omdat de spanning op R_{ac} door de aanwezigheid van condensator C_{39} wordt vertraagd (ca. $\frac{1}{4}$ seconde). Op het moment dat R_{ab} intrekt wordt de condensator C_{40} via de spoelen OK ontladen. Dit ontladen gebeurt zeer snel omdat de weerstand van de spoelen maar klein is, hoewel niet zo klein evenwel dat door de aanwezigheid van de zelfinductie een gedempte trilling kan ontstaan. De demping is nog meer dan kritisch en er ontstaat dus een krachtige piekstroom in de richting van de pijl in fig. 32 die dan snel op nul terugvalt. Als R_{ac} dan even later intrekt kan C_{40} zich weer laden en zal na ca. 1 sec reeds weer een spanning van ca. 100V hebben bereikt. Wordt de stroom door de relais R_{ab} en R_{ac} nu weer uitgeschakeld

dan gebeurt het volgende: eerst valt Rab terug, terwijl Rac door C_{39} nog even aangetrokken blijft. C_{40} wordt weer ontladen, maar zoals in fig. 32 is na te gaan, nu met een stroomrichting door de spoelen OK tegengesteld aan de pijl. Als ook Rac is afgevallen kan C_{40} weer worden geladen.

Met de stroomstoten in de spoelen OK worden nu permanente magneten van Ferroxdure bediend die op mechanische wijze de looprichting van de robot bepalen (zie volgende hoofdstuk IV).

In fig. 34 is de onderlinge schakeling van de diverse gloeidraden van de buizen in de besproken schakelingen van de figuren 23, 24, 25 en 32 aangegeven.

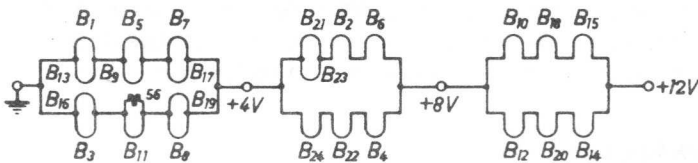


Fig. 34. Onderlinge verbinding van de gloeidraden der buizen van het „hersenen“-chassis. De aanduiding van de buizen heeft betrekking op de buizen van de figuren 23, 24, 25 en 32.

HOOFDSTUK IV

ENKELE PROBLEMEN BIJ DE VERWEZENLIJING VAN DE ROBOT

IV. 1. Mechanische uitvoering

Het zou te ver voeren alle moeilijkheden die zich bij de constructie van de robot hebben voorgedaan uitvoerig te belichten. Enkele wellicht interessante problemen menen we echter even te moeten vermelden.

IV. 1. 1. *Het lopen*

Er is direct van uitgegaan dat de robot vier poten moest hebben. Om vrijwel onoplosbare evenwichtsproblemen te vermijden was het optillen van poten ook tijdens het lopen uitgesloten. Dit hield in dat de voeten van wieltjes moesten zijn voorzien die in ieder geval bij het naar voren bewegen vrij konden draaien (bij een voorwaartse looprichting althans). De aandrijving bestond dus in het heen en weer bewegen van de poten onafhankelijk van de looprichting. Bij dit systeem moet de robot niet alleen voor of achteruit bewogen worden, maar bovendien bij elke stap ook nog een weinig op en neer doordat de poten met vaste scharnieren aan de romp zijn bevestigd. Daar bovendien om aesthetische redenen de wieltjes in de voet slechts klein konden zijn (grote wrijving) was het nodig een krachtige 12V motor te gebruiken die een aanloopstroom van ruim 6 A had.

IV. 1. 2. *De omkeerschakeling*

Om de robot bij heen en weer bewegende poten zowel voor als achteruit te kunnen laten bewegen, moeten de wieltjes in de voet naar keuze in de ene of de andere draai-richting kunnen worden geblokkeerd. Om praktische rede-

nen is dit alleen bij de achterpoten aangebracht, de wiel-
tjes in de voorpoten kunnen vrij voor en achteruit draaien.

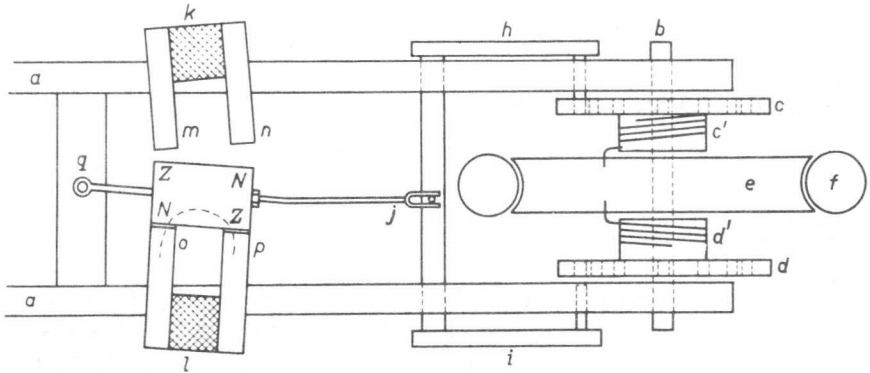


Fig. 35. Mechanisch gedeelte van de omkeerschakeling in de achterpoten van de robot.

Voor verklaring der letters zie tekst.

De constructie van de wielen in de achterpoten is in fig. 35 weergegeven. In de vork *a* is de as *b* vast bevestigd. Om deze as kan het eigenlijke wiel *e* voorzien van rubberband *f* vrij draaien evenals de schijven *c* en *d* die met de cilindervormige stukken *c'* en *d'* een geheel vormen. Op deze cilindervormige stukken zijn spiraalveren tegengesteld gewikkeld waarvan de uiteinden in het wiel *e* zijn bevestigd. De één geheel vormende brug met de zijstukken *h* en *i* kan (in de tekening) op een neer worden bewogen waardoor de pennen van de zijstukken kunnen vallen in één van de radiaal aangebrachte gaten in de schijf *c* of *d*. In de getekende stand b. v. valt de pen van stuk *h* in een gat van schijf *c* waardoor deze wordt vastgezet aan de vork *a*. Het wiel *e* kan nu b. v. wel linksom draaien, maar niet rechtsom omdat dan de spiraal veer op de cylinder *c'* wordt vastgetrokken. Indien de brug *hi* naar boven wordt bewogen komt schijf *c* vrij en wordt schijf *d* vastgezet door de pen van stuk *i*. Het wiel kan dan wel rechtsom maar niet linksom draaien, dus juist omgekeerd. Hiermee kan dus voor en

achteruit lopen worden verkregen. Het verplaatsen van de brug hi geschiedt nu door de vork j die met een bladveer is verbonden met de Ferroxdurmagneet, die weer om het draaipunt q tussen de electromagneten k en l kan bewegen. Door haar eigen magnetisme zal de magneet stevig tegen de polen van de electromagneet worden getrokken waarbij de krachtlijnen in fig. 35 door een stippellijn zijn aangegeven. Wordt nu een stroomstoot door de spoelen k en l gevoerd in een dusdanige richting dat poolschoen o een noordpool, p een zuidpool, m een noordpool en n een zuidpool wordt, dan zal het duidelijk zijn dat de Ferroxdurmagneet door l zal worden afgestoten en door k zal worden aangetrokken. De magneet zal dus naar boven klappen en zich na heteindigen van de stroomstoot zich zelf daar weer vasthouden. Een stroomstoot in tegengestelde richting doet de magneet weer de andere stand innemen. Deze stroomstoten worden geleverd door de omkeerschakeling OK die in het vorige hoofdstuk is beschreven (fig. 32). Daar het niet zeker is dat de brug hi de magneet direct kan volgen (door een mechanische belasting tijdens het lopen kan de pen tijdelijk vastzetten in de schijf) zorgt de bladveer er voor dat de magneet wel kan omklappen waarna een constante druk op de brug hi deze, bij de eerste gelegenheid die zich voordoet, zal laten volgen.

Van beide achterpoten zijn de spoelen van de electromagneten in serie geschakeld en de aansluiting is uiteraard zo dat van beide poten dezelfde draairichting is geblokkeerd.

IV. 1. 3. *Het stuurorgaan*

Daar de twee achterpoten steeds in een tegengestelde richting heen en weer bewegen (evenals trouwens de achter- en voorpoot aan dezelfde kant van de robot) zal het duidelijk zijn dat de voortbeweging steeds maar door één achterpoot wordt verkregen. De afstand tussen de aandrijvende achterpoot en de voorpoten verandert dus steeds, terwijl bij de volgende stap deze situatie opnieuw verandert.

Het eenvoudig draaien van de voorwielen in de voorpoten, om een richtingverandering te krijgen, is dan ook niet

mogelijk omdat dan aanzienlijke krachten loodrecht op de wieltjes optreden, die vooral bij kleinere bochten, ontoelaatbare waarden aannemen. Het is dan ook om deze dwarskrachten op te heffen dat de volgende constructie voor het stuurorgaan is toegepast. De hoofdelementen van de constructie zijn in fig. 36 in bovenaanzicht weergegeven. De

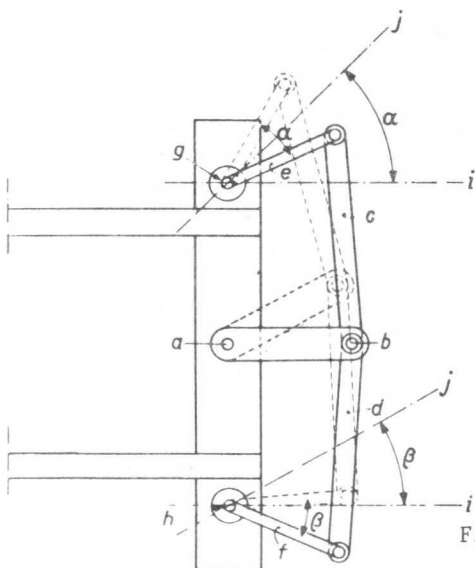


Fig. 36. Principe van de stuurschakeling, werkend op de voorpoten. Voor verklaring van de letters zie tekst.

verticale as a wordt aangedreven door de stuurmotor, zodat de hefboom met het scharnierpunt b op haar beurt via de hefbomen c en e de verticale as g , en via de hefbomen d en f , de as h kan aandrijven.

Aan de assen g en h zijn nu de scharnieren bevestigd waarmee de voorpoten dus in een vertikaal vlak kunnen heen en weer bewegen. In de middenstand, die in fig. 36 met getrokken lijnen is aangegeven, geschiedt dit heen en weer bewegen in de vlakken i . Wordt de as a nu b. v. iets linksom gedraaid zoals in fig. 36 gestippeld is aangegeven, dan zal door het feit, dat de hefbomen c en d langer zijn dan de afstand $g-a$ resp. $h-a$, de hoekverdraaiing van

as g groter zijn dan die van as h ($\alpha > \beta$). De vlakken j waarin de voorpoten zich dan kunnen bewegen zijn dan niet meer evenwijdig. De voorpoot in de binnenbocht wordt dus sterker gedraaid dan die in de buitenbocht. Bij een juiste keuze van de lengten c , e , d en f , is gebleken dat de dwarskrachten op de voorwielen in een bocht bij het lopen tot een zeer klein minimum kunnen worden teruggebracht. Tijdens het draaien van de stuurmotor echter, zal de afstand tussen de voorwielen nog wel zodanig kunnen veranderen dat hierbij dwarskrachten optreden. Indien dit tijdens het voortbewegen gebeurt is dit niet hinderlijk: door de beperkte kracht van de stuurmotor gebeurt het veranderen van richting dan automatisch in het gebied waarin de poten ongeveer vertikaal staan. In deze stand nl. treden de dwarskrachten niet op.

Daar het verder noodzakelijk is dat de stuurstand ook moet kunnen worden veranderd als de robot stilstaat, ligt het voor de hand er voor te zorgen dat als de robot tot stilstand komt door het uitschakelen van de aandrijfmotor, dit gebeurt op het moment dat de poten vertikaal staan. Dit wordt bereikt met het overneemcontact UC in fig. 30. Dit contact is normaal gesloten maar wordt even onderbroken door een nokkenschijf, elke keer dat de poten door de vertikale stand heen gaan. Het relais dat de aandrijfmotor bedient kan dus alleen in deze stand worden uitgeschakeld. De aandrijfmotor slaat bij het uitschakelen iets terug; om nu toch de juiste stand te bereiken wordt het uitvallen van het relais iets vertraagd door de electrolytische condensator C_1 parallel aan het relais ReM (fig. 30).

IV.1.4. *Verende ophanging*

Daar in de robot verschillende zeer gevoelige microfoonschakelingen voorkomen, is veel zorg besteed aan een afdoende isolering van deze versterkers voor de geluiden die de robot zelf voortbrengt. Deze geluiden worden hoofdzakelijk veroorzaakt door de verschillende motoren en mechanische overbrengingen, die ondanks zorgvuldige constructie nooit geheel kunnen worden vermeden. De oorzaak van deze geluiden zijn uiteraard mechanische trillingen,

die dus niet alleen via de lucht als acoustische trillingen, maar ook rechtstreeks via de metalen constructie van de robot, de microfoons en zelfs de eerste buizen van de versterkers kunnen beïnvloeden.

Deze buizen zijn, om dit tegen te gaan, in verende buis-houders geplaatst op de chassis, terwijl deze laatste weer met rubberblokken aan het geraamte zijn bevestigd.

De motoren zelf zijn zo veel mogelijk eveneens in rubber bevestigd zo dat ze hun trillingen aan zo weinig mogelijk onderdelen kunnen doorgeven. Maar uiteindelijk is toch de ophanging van de microfoons zelf het belangrijkste. Vooral de kristalmicrofoons voor de 600 en 400 p/s signalen waren zeer gevoelig, vooral voor mechanische trillingen. Deze microfoons zijn eerst in een ring van sponsrubber bevestigd en hiermee in een plastic doosje vol watten (behalve aan de voorzijde) verpakt. De plastic doosjes van de twee microfoons zijn samen bevestigd op een plastic brugje dat weer met rubberringen aan de plastic kopconstructie is bevestigd. De lagering van de nek-as is tenslotte ook nog met een rubber ring geïsoleerd. Het verpakken van de microfoons in een plastic doosje met watten heeft nog een tweede doel, nl. om de gevoeligheid van de achterzijde van de microfoons zo klein mogelijk te maken. Dit werkt zelfs zo goed dat het mogelijk was de 600 en 400 p/s microfoons (de oren van de robot) te voorzien van plastic cylinders die als oorschelpen dienst doen en het mogelijk maken een voldoende faseverschil te krijgen zonder nochtans de afstand tussen de microfoons onpractisch groot te moeten maken. Als afstand tussen de microfoons kan nu de afstand tussen de openingen van de plastic cylinders worden aangenomen hetgeen het uiterlijk van de kop ten goede komt.

Bij de microfoon van het radarsysteem heeft ongevoeligheid van de achterzijde het voordeel dat echosignalen die van het binnenste van de robot worden teruggekaatst minder invloed uitoefenen. Om deze invloed nog kleiner te houden wordt tevens de achterzijde van de luidspreker, die de radarsignalen produceert, met een laag watten afgedicht.

IV. 2. Voeding

IV.2.1. *Gloeispanning*

Multivibratorschakelingen, die in onze robot in grote getale voorkomen, zijn in het algemeen niet erg gevoelig voor gloeispanningsveranderingen zonder meer. Door de toegepaste serieschakeling van gloeidraden, waarmee op eenvoudige wijze negatieve roosterspanningen kunnen worden verkregen, resulteert een variatie van de voedingspanning van de gloeidradencircuits echter eveneens in een verandering van deze negatieve voorspanning en deze heeft wel invloed op de monostabiele schakelingen. Een te hoge voedingsspanning maakt deze schakeling ongevoeliger, een te lage spanning veel gevoeliger dan bij de normale instelling. Om moeilijkheden hierdoor te voorkomen is het gewenst als voedingsbron een accu te gebruiken die een constante spanning heeft tijdens de ontlading.

De keus is gevallen op een zilver-zinkbatterij die aan deze voorwaarde voldoet behoudens een kleine verhoging van spanning in de eerste periode na een lading. Bovendien hebben deze accu's ten opzichte van hun capaciteit een gering gewicht en kleine afmetingen hetgeen in ons geval uiteraard ook een groot voordeel was. Bij monostabiele multivibratorschakelingen komen ook aanzienlijke anodestroomvariatiës voor. Daar deze bij serieschakeling van gloeidraden ook door de gloeidraden lopen, kunnen hierdoor ook variatiës van de negatieve instellingen ontstaan. Het is dan ook gebruikelijk en gewenst om niet meer dan drie gloeidraden in serie te zetten en de verbindingspunten van meerdere van deze groepen, die dus elk een spanningsgroep van 4V voorstellen, met de voedingsbron met een lage inwendige weerstand te verbinden. Zodoende wordt dan bovendien nog een mee- of tegenkoppeling tussen de groepen via de gloeidraden, belangrijk verminderd. Op de gebruikte accu van 12V komen de spanningen van 4 en 8V niet voor, omdat elke cel 1,5V spanning heeft. De door ons toegepaste oplossing met drie droge batterijen van 4V elk, is in fig. 37 weergegeven. Hierin is A de accu bestaande

bij veranderende katodestroom voldoende vast te houden.

IV. 2. 2. Anodespanning

Multivibratorschakelingen zijn zeer gevoelig voor anodespanningsvariaties *. Daarom is het gewenst deze spanning te stabiliseren en wel electronisch, zodat een zeer lage inwendige weerstand wordt verkregen.

Een gebruikelijke schakeling om een voedingsspanning te stabiliseren is in vereenvoudigde vorm weergegeven in fig. 38. V_r is hierbij de ruwe niet gestabiliseerde gelijkspanning. De totale afgenomen stroom loopt door buis B_1 . V_{st} is dan de gestabiliseerde uitgangsspanning, hetgeen als volgt is in te zien. Door de juiste waarde van R_2 te kiezen loopt door de spanningsreferentiebuis B_3 de gewenste ruststroom zodat de katode van B_2 een gestabiliseerde spanning van 85V t.o.v. aarde heeft. Bij de negatieve roosterspanning en de schermroosterspanning, bepaald door de weerstanden R_3 , R_4 en R_5 loopt een normale katodestroom van B_2 die via de anodeweerstand R_1 de negatieve roosterspanning voor de regelbuis B_1 verzorgt. Zakt

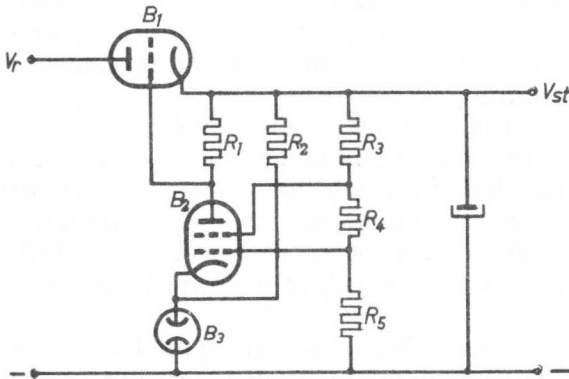


Fig. 38. Vereenvoudigde gebruikelijke schakeling voor stabilisatie van de uitgangsspanning V_{st} .

*) Voor uitvoeriger behandeling zie A. H. Bruinsma: Multivibratorschakelingen Hfdst. I. Uitgave Philips' Technische Bibliotheek.

nu de uitgangsspanning V_{st} doordat meer stroom wordt afgenomen, dan zakken dus stuurrooster en schermrooster-spanning van B_2 , waardoor dus minder katodestroom gaat lopen en op R_1 minder negatieve spanning voor B_1 ontstaat. Deze buis gaat dus meer stroom leveren waardoor de spanning V_{st} weer kan stijgen. Om te kunnen regelen moet natuurlijk een afwijking van V_{st} aanwezig zijn. Hoe groter echter de spanningsversterking tussen V_{st} en stuurrooster van B_1 (via B_2) hoe nauwkeuriger de stabilisatie zal zijn. Ook een variatie van de spanning V_r wordt gecompenseerd zoals gemakkelijk is na te gaan.

Voor gebruik in onze robot heeft deze overigens uitstekende schakeling een aantal nadelen.

Doordat de totale afgenomen stroomsterkte door de regelbuis gaat en deze stroom in ons geval 160 mA maximaal bedraagt, zouden één of meer zeer ruime buizen nodig zijn; met dus ook een hoog gloeistroomverbruik. Daar verder de gloeidraad op 100V t.o.v. aarde zou staan, zou ook een aparte voedingsaccu voor deze gloeidraden nodig zijn. Tenslotte zou ook voor deze regelbuis een anodespanning van ca. 150V nodig zijn om deze stroom te kunnen leveren zodat voor de totale spanning van V_r dus minstens 250V beschikbaar zou moeten zijn. Deze spanning moet door een triller worden geleverd en het rendement wordt hierbij slechter naarmate de verhouding tussen uitgangsen ingangsspanning groter is.

Wij hebben dan ook een andere stabilisatiemethode gevolgd waarbij een ballast-buis parallel aan de uitgangsspanning wordt geschakeld. Deze buis behoeft niet meer stroom op te nemen dan overeenkomt met de maximale variatie die kan optreden en die is in ons geval ca. 30 mA. Met een kleine reserve wordt de stroom door de ballastbuis ca. 40 mA.

Twee miniatuurtrioden van het type EC 70 in parallel kunnen bij 100V anodespanning een stroom van 50 mA opnemen hetgeen dus ruim voldoende is voor stabilisatie van de spanning als gevolg van variaties in de afgenomen stroom. De gebruikte schakeling is weergegeven in fig. 39.

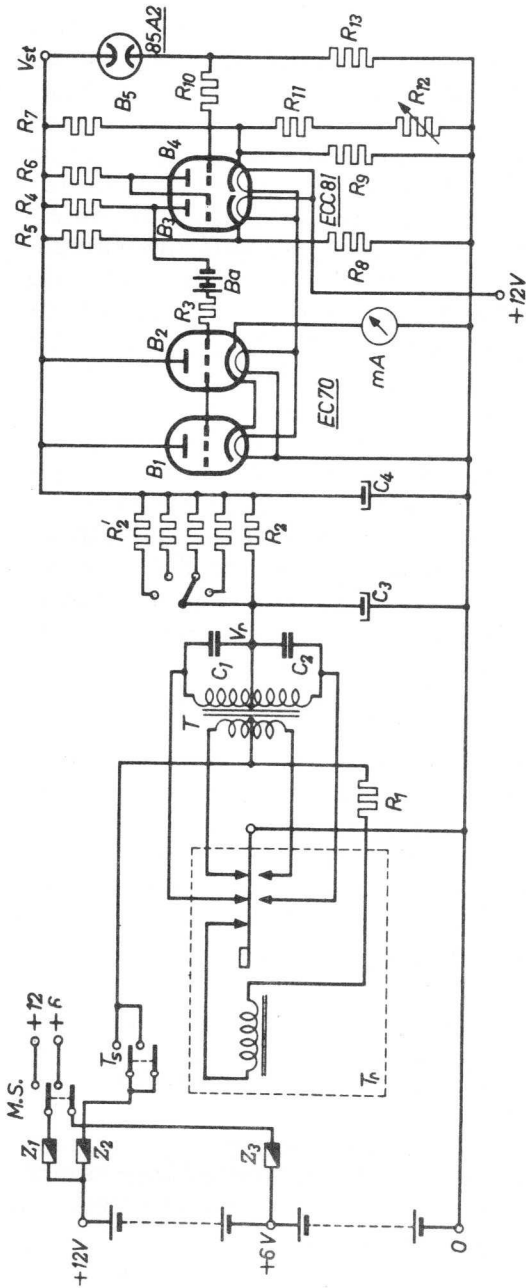


Fig. 39. Het in onze robot gebruikte voedingsgedeelte. De uitgangsspanning V_r van 160 V wordt verkregen uit de 12 V accu met behulp van de triller T_r van het zelfgeijkrichtende type en de transformator T. Via de instelbare weerstand R_2 wordt uit deze spanning de uitgangsspanning V_{st} (100 V) verkregen die gestabiliseerd wordt door regeling op de ballastbuizen B_1 en B_2 . De gloeidraden van de buizen B_1 + B_2 worden gevoed uit de 12-V gloeistroomaccu van fig. 37.

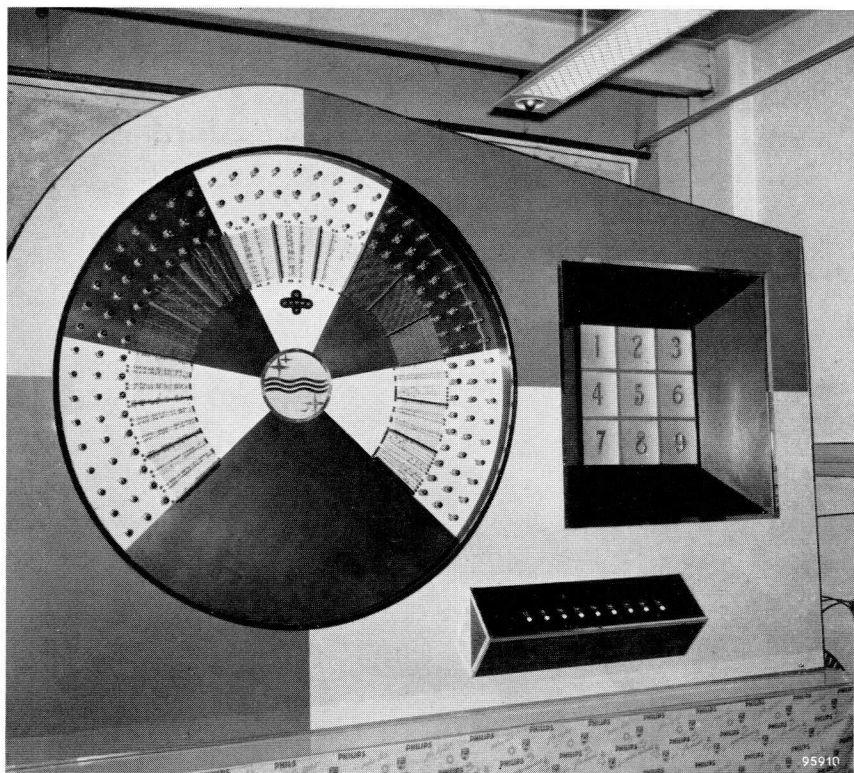
- | | | | | | |
|----------------|---------------------|----------------|------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Z_1 | = 10 A | R_6 | = 330 K | B_a | = droge batterij 67,5 V |
| Z_2 | = 6 A | R_7 | = 39 K | MS | = hoofdschakelaar voor de motoren |
| Z_3 | = 6 A | R_8 | = 18 K | T_s | = hoofdschakelaar voor de triller |
| | | R_9 | = 8 K 2 | T_r | = triller Philips type AP 6002 |
| R_1 | = 18 ohm | R_{10} | = 22 K | B_1 en B_2 | = EC 70 |
| R_2 - R_2' | = gemiddelde waarde | R_{11} | = 18 K | B_3 - B_4 | = ECC 81 |
| | | R_{12} | = 100 K regelweerstand | B_5 | = 85 A2. |
| R_3 | = 100 K | R_{13} | = 4 K 7 | | |
| R_4 | = 100 K | C_1 en C_2 | = 33 K | | |
| R_5 | = 33 K | C_3 en C_4 | = 50 μF | | |

De spanningsreferentiebus B_5 van het type 85A2 krijgt de benodigde ruststroom via R_{13} . Daar de spanning op B_5 rigoureus constant is zal een verandering in de uitgangsspanning V_{st} onverzwakt op B_{13} en via R_{10} op het stuurrooster van B_4 terecht komen. Deze verandering wordt nu in de buizen B_4 en B_3 belangrijk versterkt en via de batterij Ba aan de stuurroosters van de ballastbuizen B_1 en B_2 toegevoerd. In feite is deze schakeling een gelijkspanningsversterker. De tegenkoppeling die door de aanwezigheid van katodeweerstanden optreedt en dus de versterking vermindert, wordt laag gehouden door via R_7 resp. R_5 een constante stroom door deze weerstanden te sturen, die groot is ten opzichte van de optredende katodestroom.

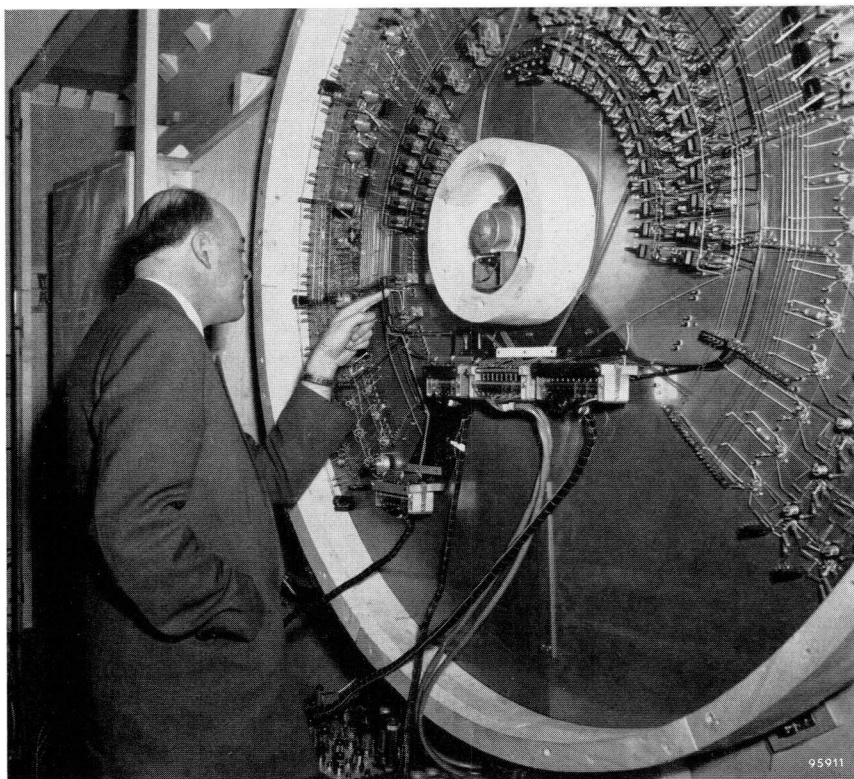
De gemiddelde roosterpotentiala van B_4 is 16V positief, de katodepotentiala van B_4 kan met R_{12} worden ingesteld op ca. 16,5V zodat de bus ca. $\frac{1}{2}$ V negatief staat. De anodepotentiala van B_4 en dus de roosterpotentiala van B_3 is daarbij ca. 38,5V. De katodepotentiala van B_3 is ingesteld op 39V (dus ook 0,5V negatieve roosterspanning). Daar de anodepotentiala van B_3 hierbij 66V bedraagt moet de batterij Ba een waarde van 67,5V hebben om 1,5V negatief te verkrijgen voor de buizen B_1 en B_2 . Een kleine verhoging van de uitgangsspanning (door een vermindering van de afgenomen stroom) resulteert nu in een grote verhoging op het stuurrooster van B_1 en B_2 . De anodestroom in deze buizen neemt nu zoveel toe dat de spanningsbron weer zoveel sterker wordt belast dat de uitgangsspanning weer op dezelfde (of bijna dezelfde) waarde terugkomt. Het komt er dus op neer dat een afname van uitgangsstroom extra door de ballastbuizen gaat lopen en een toename van stroom gaat van deze ballaststroom af,

De balasting op de spanningsbron is dus constant. Deze spanningsbron bestaat uit de triller Tr met de transformator T die de accuspanning van 12V omvormt tot een gelijkspanning van 160V bij volle belasting.

Er moet dus 60V worden weggewerkt in de weerstand R_2 . Deze weerstand dient niet alleen als afvlakfilter samen met C_4 maar is tevens noodzakelijk om de ballastbuizen tegen overbelasting te beschermen. Dit is als volgt in te



Voorkant NK spel. Voorzijde van de stationaire robot die in staat is het bekende boter, kaas en eieren spelletje feilloos te spelen. Links in de grote cirkel de diverse buizen en het diode-netwerk van het elektronische gedeelte. In het midden van de cirkel de luidspreker-opening voor het weergeven van de overwinningsskreet. Daarboven de foutschakelaar met de indicatielampjes voor de aanwezige tactische speelfouten. Rechts is het vierkant met de negen speelvakken die, door rood of groen op te lichten, de stand van het spel aangeven. Daaronder het bedieningspaneel met de drukknoppen voor de menselijke tegenspeler.



Achterkant NK spel. Achteraanzicht van de stationaire robot. Men ziet hierop een deel van de bedrading van het cirkelvormige elektronische gedeelte. De verbinding met het voedingsgedeelte (onder in de kast) en het speelveld lopen via veelpolige stekers, om het geheel gemakkelijk demonteerbaar te maken.

zien. In ons geval zal bij een beschikbare spanning van 160V en een stroomafname van 160 mA, R_2 een waarde hebben van $\frac{60000}{160} = 375$ ohm. Dit geeft een energieverlies van bijna 10W en men kan zich dus afvragen waarom b.v. geen spanningsbron van slechts 110V wordt gebruikt. R_2 behoeft dan slechts $\frac{10000}{160} = 62,5$ ohm en het energieverlies slechts 1,6W te bedragen.

De belasting met de stabilisatieschakeling kan men voor de spanningsbron (de triller) in feite opvatten als een tegen-*EMK* met een zeer lage R_i .

Neemt de voedingsspanning 10% toe (b.v. als de accu pas geladen is) dan heeft ook de uitgangsspanning de neiging op te lopen. Door de regeling wordt echter alleen de stroom door de ballastbuizen zoveel groter dat de spanning 100V blijft. Bij een beschikbare spanning van 110V is 10% een toename van 11V die dus alleen over de weerstand R_2 van 62,5 ohm kan ontstaan, hetgeen betekent dat er 176 mA meer door deze weerstand loopt. Deze extra stroom moet dus tevens door de ballastbuizen vloeien die daartoe niet eens in staat zijn, zodat deze buizen worden overbelast en de regeling ook niet meer werkt.

Bij een beschikbare spanning van 160V en een weerstand R_2 van 375 ohm, levert 10% verhoging dus 16V extra over 375 ohm, overeenkomend met 43 mA extra door de ballastbuizen.

Hoewel dit ook nog aan de hoge kant is, is het toch een verbetering van meer dan een factor 4. Het zal duidelijk zijn dat een nog grotere voedingsspanning (en grotere R_2) nog gunstiger is in dit opzicht, maar door het grotere Wattverlies in R_2 wordt het rendement ook steeds slechter en gaat ook het voordeel ten opzichte van de schakeling van fig. 38 verloren. Daar we voor de omkeerschakeling een spanning van 160V nodig hadden, is deze waarde als voedingsspanning gekozen.

Hierbij is de maximum toelaatbare spanningsvariatie van de accu 5%. Deze mag niet alleen overschreden worden door een geleidelijke afname tijdens de ontlading, maar

ook niet bij tijdelijke zware belasting, b.v. door het in- en uitschakelen van de aandrijfmotor en/of van de andere motoren die via Z_1 en Z_3 en MS in fig. 39 uit dezelfde accu worden gevoed (zie ook fig. 30). Ook voor deze accu is dus een zilver-zink accu gebruikt, die niet alleen een constante spanning tijdens de hele ontladingsperiode heeft, maar ook een zeer lage R_i .

Hoewel de spanning van de accu minder varieert dan 5% was, vooral bij het in- en uitschakelen van de aandrijfmotor, de variatie toch nog zo groot, dat het niet wenselijk was, ook de gloeidraden uit dezelfde accu te voeden. Vandaar het gebruik van de aparte gloeistroomaccu.

Direct na het laden van dit type accu's is de spanning gedurende korte tijd hoger dan de normale waarde. Om dan een overbelasting te kunnen voorkomen is de weerstand R_2 met een stappenschakelaar enigszins variabel gemaakt. Hiermee kan de stroom door de ballastbuizen op ca. 40 mA worden ingesteld waartoe in de katode van deze buizen een mA-meter is opgenomen. Deze meter kan met een keuzeschakelaar (niet aangegeven in het schema) tevens worden gebruikt voor het controleren van een aantal voedings- en regelspanningen in de schakeling van de robot.

HOOFDSTUK V

ELECTRONISCH INTELLECT

V. 1. Iets over denkende machines

In hoofdstuk III hebben we reeds kennis gemaakt met electronische hersenen die in staat waren bepaalde reacties te veroorzaken onder invloed van bepaalde prikkels. Deze reacties lagen van te voren vast en hielden eigenlijk alleen verband met wat we bij mens en dier reflexbewegingen zouden noemen. In dit hoofdstuk echter zullen we ons bezig houden met electronische hersenen die reageren op zich wijzigende omstandigheden en waarbij de reactie, die een keuze is uit een *aantal* mogelijkheden, steeds van dien aard is dat een mens hierover een bepaalde tijd zou moeten nadenken.

Deze electronische hersenen verrichten dus denkwerk en de reactie verraadt een zekere mate van intellect. Dit intellect is er door de ontwerper ingebracht en zal dus nooit groter kunnen zijn dan dat wat de ontwerper er in heeft gebracht. Het geldt ook alleen maar voor het gebied waarvoor het apparaat is ontworpen, d.w.z. het is vergeleken met menselijke hersenen zeer eenzijdig. Maar op zijn eigen gebied is het volledig gespecialiseerd. Niet beïnvloed door allerlei omstandigheden, die bij de mens de reactiesnelheid en -juistheid ongunstig kunnen beïnvloeden, is de kennis in zo'n apparaat steeds beschikbaar. Daarenboven is de snelheid van reageren dermate groot te maken, dat die vele malen groter is dan een mens, onder de meest gunstige omstandigheden, ooit zal kunnen bereiken. Een zeer ver doorgevoerde specialisatie dus. Op dit principe berusten dus electronische rekenmachines, die de meest ingewikkelde wiskundige problemen oplossen in een fractie

van de tijd, die de beste wiskundige hiervoor nodig heeft. Onder deze categorie kan men ook rekenen de sorteer- en telmachines die de meest ingewikkelde boekhoudingen kunnen automatiseren.

Daar zo'n apparaat ondanks de eenzijdigheid, toch met enorm veel mogelijkheden rekening moet houden, is het meestal een zeer gecompliceerd en dus duur geheel. Om de mogelijkheden die de moderne electronica op dit terrein te bieden heeft, in een overzichtelijke vorm te kunnen demonstreren, hebben we een demonstratie-apparaat ontwikkeld, dat gespecialiseerd is in een betrekkelijk eenvoudig spelletje dat in een groot gedeelte van Europa, en wellicht ook daarbuiten, vrij algemeen bekend is. Bovendien is het vrij snel te leren zodat men zich in korte tijd kan meten met de op dit gebied gespecialiseerde robot.

V. 2. Een eenvoudig spelletje

Aangezien het spelletje, waarin ons apparaat is gespecialiseerd, in de verschillende landen zeer uiteenlopende benamingen of helemaal geen naam heeft, zullen we het principe aan de hand van fig. 40 even uiteenzetten.

De ene speler zet een kruisje, de andere een cirkeltje. De bedoeling is nu drie kruisjes of wel 3 cirkeltjes in één lijn te krijgen. Deze lijn kan of wel horizontaal (3 mogelijkheden), of wel verticaal (3 mogelijkheden), of wel diagonaal zijn (2 mogelijkheden). Is het spel ten einde dan zijn er weer drie mogelijkheden: 3 kruisjes op één rij: dan heeft de ene speler gewonnen (fig. 40b); 3 cirkeltjes op één rij: dan heeft de andere speler gewonnen (fig. 40c); alle vakjes bezet maar nergens 3 op één rij dan is het spel onbeslist (fig. 40d).

Indien nu beide spelers foutloos spelen eindigt het spel altijd onbeslist. Zonder nu diep op alle mogelijkheden van het spel in te gaan (hierover bestaat reeds bepaalde literatuur), willen we in het kort enkele principes aangeven.

Om te winnen moet men proberen twee rijtjes voor te

7	2	3
4	5	6
7	8	9

a

+	0	+
	+	0
+		0

b

0	0	0
	+	
	+	+

c

0	+	0
+	+	0
0	0	+

d

Fig. 40. Het principe van het spelletje

- a. de negen vakjes waarin gespeeld wordt
- b. eindstand waarbij de speler met de kruisjes gewonnen heeft
- c. eindstand waarbij de speler met de nullen gewonnen heeft
- d. onbesliste eindstand.

bereiden zonder dat de tegenspeler dit merkt. Dan blijkt dat een hoek de sterkste beginzet is. Men bestrijkt daarmee 3 rijtjes (1 horizontaal, 1 verticaal, 1 diagonaal). Het sterkste antwoord daarop is het midden. Immers hierdoor blokkeert men 1 rijtje van de tegenpartij en verkrijgt zelf ook drie vrije rijtjes. De situatie is dan zoals in fig. 41 a en b weergegeven. Bij de tweede zet neemt men bij voor-

1	2	0
4	5	6
7	8	9

a

1	2	0
4	+	6
7	8	9

b

1	2	0
4	+	6
7	0	9

c

+	2	0
4	+	6
7	0	9

d

+	2	0
4	+	6
7	0	0

e

Fig. 41. a. 1e zet
 b. 1e antwoordzet
 c. 2e zet
 d. 2e antwoordzet
 e. 3e gedwongen zet die echter tot winst leidt.

keur een vakje dat de tegenpartij niet direct tot een bepaald antwoord dwingt (dus niet 1-2-6-9) maar b. v. 8. Hierdoor brengt men de tegenpartij in de verleiding om een hoek te nemen (fig. 41d). De derde zet is altijd een gedwongen zet maar in dit geval (9) zeer voordelig omdat nu twee rijtjes met elk twee bezette vakjes ontstaan (3-6-9 en 7-8-9). De volgende antwoordzet kan alleen 6 of 7 bezetten maar bij de

vierde zet heeft men dan gewonnen met 7 resp. 6. De 2e antwoordzet (1) was dus fout - en leidde tot verlies. Heeft een speler een rijtje bezet dan is het spel gewonnen en behoort er geen antwoord meer op te volgen ook al zou de verliezer alsnog een eigen rijtje kunnen completeren.

V. 3. Analyse van het spel

Gaat men het spel nu analyseren, d. w. z. alle mogelijkheden onderzoeken die tot een zo gunstig mogelijk resultaat leiden, dan valt al gauw op dat er twee soorten zetten zijn nl. de vrije zet en de gedwongen zet.

Bij het begin van het spel heeft men uiteraard te maken met een vrije zet; men is nog vrij in de keuze van het vakje, zonder direkt gevaar te lopen te verliezen door de volgende zet van de tegenstander.

Bij een volgende zet kan het al voorkomen dat de tegenpartij ergens reeds twee vakjes van een rij heeft bezet. Men moet het derde vakje dan direkt bezetten, omdat men het spel anders verliest: dit is dus een gedwongen zet.

Normaal is het zo dat men met een gedwongen zet zijn positie niet verbetert maar verslechtert, wordt de positie door een gedwongen zet wel verbeterd, dan betekent dit dat de tegenspeler die deze gedwongen zet heeft veroorzaakt, een fout heeft gemaakt die meestal zijn ondergang inleidt.

Om het spel juist te spelen moet men dus steeds zijn kansen overwegen en profiteren van de mogelijkheden die een vrije zet kan bieden. Verder mag een gedwongen zet nooit over het hoofd worden gezien, evenmin als trouwens een direkte winstkans. Verder moeten uiteraard de spelregels strikt worden opgevolgd, dus maar één zet tegelijk en geen antwoordzet meer als het spel verloren is. Een robot die dit spelletje feilloos moet kunnen spelen moet dus eveneens volgens bovenstaande gegevens te werk gaan. Na elke zet van de menselijke tegenspeler moet de hierdoor ontstane situatie worden onderzocht en de juiste reactie worden gegeven. Dit onderzoek kan nu worden gesplitst

in 4 stadia die *na* elkaar moeten worden gecontroleerd. Deze stadia zijn:

1. onderzoek of de robot heeft verloren.
2. onderzoek of er een directe winstkans voor de robot is en hiervan gebruik maken.
3. onderzoek of de menselijke tegenspeler bij een volgende zet een directe winstkans heeft en deze kans te niet doen (gedwongen zet).
4. als dit alles niet het geval is, moet onderzocht worden welke (vrije) zet, de meeste winstkansen biedt.

Dat de aangegeven volgorde de enig juiste is kan als volgt worden ingezien.

Bij het constateren van verlies (punt 1) mag geen antwoordzet worden gegeven terwijl dit bij de anderen wel het geval is. Dit verliesonderzoek moet dus eerst volbracht alvorens met de volgende onderzoeken mag worden begonnen.

Onderzoek 2 komt weer voor de anderen 3 en 4 omdat het nemen van winst uiteraard belangrijker en dus urgenter is dan welke andere zet ook.

Onderzoek 3 is nog weer urgenter dan het doen van een vrije zet omdat hiermee bij een goede tegenspeler een zeker verlies kan worden voorkomen.

Daar het verder zeer wel kan voorkomen dat bij een bepaalde stand van het spel, antwoorden mogelijk zijn die zowel in groep 2, 3 en 4 vallen terwijl toch uiteraard maar 1 antwoordzet mag komen, moet in het gebruikte systeem de mogelijkheid aanwezig zijn het onderzoek te stoppen zodra een antwoord is gegeven.

Tenslotte kan het voorkomen dat twee gelijkwaardige antwoorden mogelijk zijn die in dezelfde groep vallen. Ook hierbij moet het onderzoek dus worden gestopt zodra een antwoord is gegeven. Dus ook in elke groep afzonderlijk is een volgorde van onderzoek gewenst hoewel die meestal willekeurig kan zijn.

Aan de hand van bovenstaande algemene analyse is na te gaan dat een kettingschakeling van monostabiele multivibratorschakelingen voorzien van een blokkeringschakeling alle benodigde elementen bevat.

Immers de opeenvolging van impulsen in de kettingschakeling geeft de verlangde tijdverschillen tussen het onderzoek in de verschillende groepen en delen van groepen, terwijl de blokkeringsschakeling het mogelijk maakt dit onderzoek elk gewenst moment te doen stoppen *.

V. 4. Praktische uitvoering van de robot

De stand van het spel wordt zichtbaar gemaakt door rode en groene lampen die elk van de negen spelvakken een rode of groene kleur kunnen geven. Een groene kleur geeft aan dat het vak door de menselijke tegenspeler is bezet, de rode kleur is die van de robot.

Deze gekleurde lampen worden bediend door relais, die op hun beurt worden bediend door bedieningsknoppen op de robot voor de groene lampen, resp. door gas gevulde buizen voor de rode lampen. Daar een vak natuurlijk niet rood en groen tegelijk mag zijn worden de overeenkomstige relais onderling geblokkeerd zoals in fig. 42 voor één van de negen vakken is aangegeven. Uit deze figuur blijkt dat het relais G_1 kan worden ingeschakeld door het indrukken van knop 1 (indien althans het relais R_1 niet reeds ingetrokken staat). Relais G_1 blijft dan ingetrokken door het overneemcontact (onderste van de vier). Met dit zelfde contact wordt tevens de anodespanning voor de gasgevulde buis onderbroken zodat relais R_1 niet meer kan intrekken.

Slaat echter de gasgevulde buis door, voordat de drukknop is bediend, dan trekt relais R_1 in zodat de rode lamp R_1 gaat branden. Door het onderste relaiscontact wordt de drukknop voor relais G_1 dan uitgeschakeld zodat relais G_1 dan niet meer kan worden bediend. Is nu het feit of het vak door de speler of door de robot is bezet, voor de speler zichtbaar gemaakt door de lampen G_1 en R_1 , voor de robot worden deze gegevens verkregen door de spanningslijnen g_1a , g_1b , r_1a en r_1b .

Er zijn nu bij elk vak natuurlijk drie mogelijkheden:

*) Zie ook A.H. Bruinsma: Robotschakelingen, Hfdst. I. 1. 12. Uitgave Philips Technische Bibliotheek.

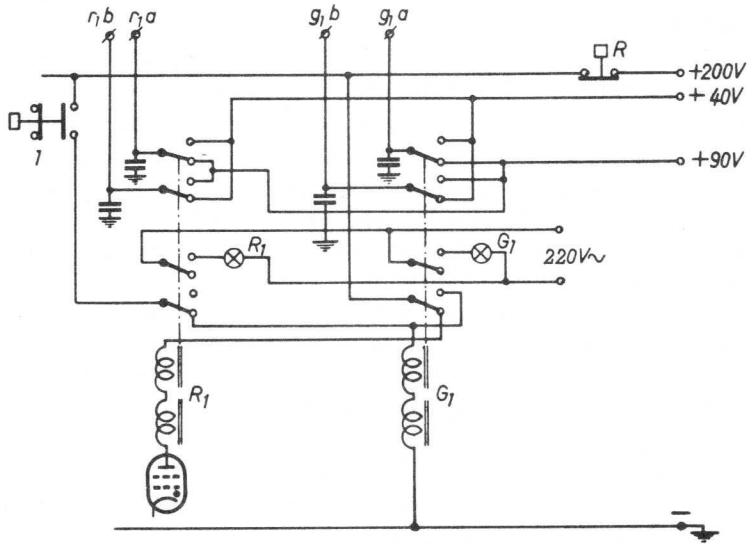


Fig. 42. Schakeling van de relais G_1 en R_1 voor het bezetten van vakje 1 door de speler resp. door de robot. Het bezetten van het vak wordt voor het oog van de speler aangegeven door het branden van de lampen R_1 of G_1 (rood resp. groen) terwijl dit voor de schakeling van de robot wordt aangegeven door de potentiaal van de spanninglijnen g_{1a} , g_{1b} , r_{1a} en r_{1b} .

1. het vak is vrij (donker): $g_{1a} = 90V$
 $g_{1b} = 40V$
 $r_{1a} = 90V$
 $r_{1b} = 40V$
2. het vak is bezet door de robot (rood): $g_{1a} = 90V$
 $g_{1b} = 40V$
 $r_{1a} = 40V$
 $r_{1b} = 90V$
3. het vak is door de speler bezet (groen): $g_{1a} = 40V$
 $g_{1b} = 90V$
 $r_{1a} = 90V$
 $r_{1b} = 40V$

De vierde mogelijkheid dat een vak rood en groen zou zijn, wordt door de onderlinge blokkering van de relais voorkomen,

Voor alle negen vakken is de schakeling van de relais precies dezelfde. Er zijn dus 9 drukknoppen voor de speler die 1 t/m 9 gemerkt zijn, overeenkomstig de bijbehorende negen speelvakken. Verder zijn er dus ook 9 gasgevulde buizen die de bijbehorende „rode” relais kunnen bedienen. Voor elk van de negen vakken zijn er verder dan nog de vier spanningslijnen waarvan de potentiaal de stand van het spel aangeeft voor de robot.

De drukknop R maakt het mogelijk de spanning voor de relais te onderbreken zodat ze afvallen. Daar alle R en G relais achter deze drukknop zijn aangesloten kan het spel weer in de nulstand worden gebracht, waarbij geen enkel vak is bezet.

Alvorens te verklaren hoe met de bovengenoemde spanningslijnen de stand van het spel aan de robot kenbaar kan worden gemaakt, en daardoor de antwoordzet kan worden bepaald, zullen we eerst nagaan hoe eigenlijk een antwoordzet kan ontstaan. Hiertoe is in fig. 43 een gedeelte van het totaalschema opgenomen, waarin de belangrijkste elementen zijn opgenomen.

In fig. 42 is te zien dat een bedieningsknop (1) uit twee delen bestaat: een sluitcontact dat het relais G bedient en een verbreekcontact. De verbreekcontacten van alle negen bedieningsknoppen zijn in serie geschakeld en houden in de ruststand de condensator C_1 kortgesloten (fig. 43) met behulp van R_4 (15 ohm).

Wordt nu een bedieningsknop ingedrukt om een zet te doen, dan wordt dus het bijbehorende contact uit de serie-schakeling van de negen contacten geopend en kan C_1 zich opladen tot de spanning bepaald door de potentiometer R_2 . Laat men de knop los, dan wordt C_1 plotseling door R_4 kortgesloten hetgeen overeenkomt met een negatieve spanningsstoot die via C_2 wordt doorgegeven aan de eerste monostabiele multivibrator met buis B_1 .

Die weerstand R_4 zorgt er voor dat het ontladen van C_1

Fig. 43. Geconcentreerd overzichtschema van het elektronische gedeelte van de spelende robot.

De buizen B1 ÷ B59 (voor zover getekend) vormen de kettingschakeling van monostabiele multivibratoren, die de in tijd verschoven impulsen levert. B60 is de speciale multivibratorbuis voor de winstschakeling. B61 ÷ B107 (voor zover getekend) zijn de vensterbuizen die door de impulsen van de kettingschakeling worden afgetast op de anode. Afhankelijk van het feit of het stuurrooster van deze buizen positief of negatief is t.o.v. +60 Volt zal in de katodeleiding van deze buizen (aangegeven door de spanningslijnen 1 ÷ 9) al of niet een positieve impuls ontstaan.

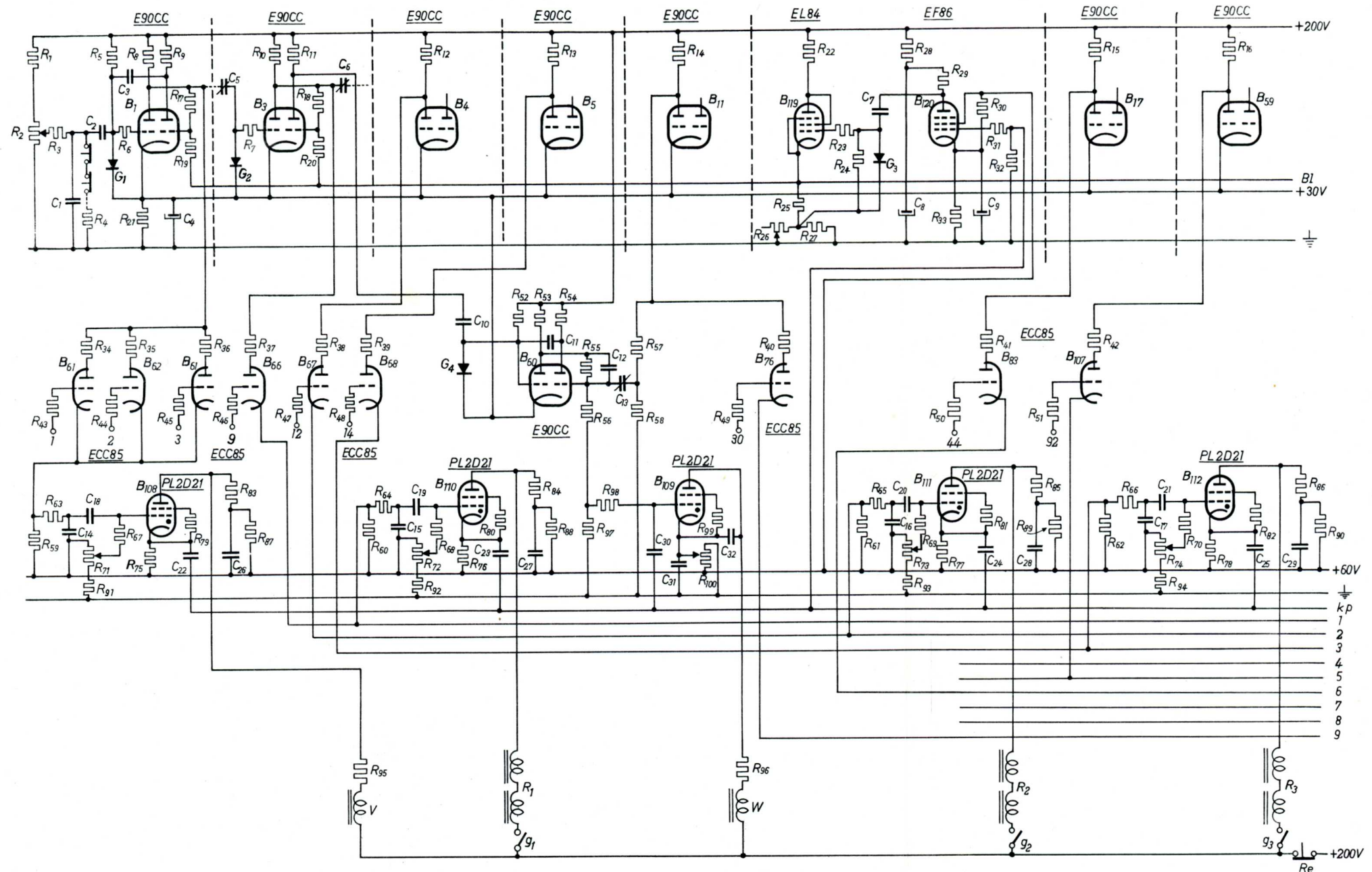
De spanningslijnen 1 ÷ 9 zijn opgenomen in de roostercircuits van de gasgevulde buizen B110 ÷ B118 die een van de relais R1 ÷ R9 op een impuls dus zullen doen intrekken.

B108 is de buis die het verliesrelais V bedient, B109 bedient het winstrelais W. De katoden van alle gasgevulde buizen (behalve B109) zijn gekoppeld met de katodepulsleiding kp waarop bij het doorslaan van een gasgevulde buis een positieve impuls ontstaat die de blokkeringschakeling met de buizen B119 en B120 bedient en de kettingschakeling doet stoppen.

R1 = 2 M 2	R71 ÷ R74 = potentiometer
R2 = 1 M	100 K
R3 = 1 M	R75 ÷ R78 = 2 K 2
R4 = 15 Ohm	R79 ÷ R82 = 120 K
R5 = 1 M 2	R83 ÷ R86 = 2 K 2
R6 en R7 = 2 K 2	R87 ÷ R90 = 1 M
R8 ÷ R16 = 22 K (1 W)	R91 ÷ R94 = 220 K
R17 en R18 = 120 K	R95 ÷ R96 = 15 K
R19 en R20 = 100 K	R97 = 47 K
R21 = ± 75 Ohm (15 W)	R98 = 330 K
R22 = 120 Ohm	R99 = 120 K
R23 = 1 K	R100 = potentiometer
R24 = 1 M	20 K
R25 = 135 Ohm	C1 = 100 K
R26 = potentiometer 2 K	C2 = 68 pF
R27 = 68 Ohm	C3 = 820 pF
R28 = 100 K	C4 = 10 x 50 µF (parall)
R29 = 22 K	C5 en C6 = trimmer 30 pF
R30 = 2 x 5K6 (parall)	C7 = 56 K
R31 = 1 M	C8 = 8 F
R32 = 120 K	C9 = 100 F
R33 = 135 Ohm	C10 = 68 pF
R34 ÷ R42 = 180 K	C11 = 10 K
R43 ÷ R51 = 1 M	C12 = 33 pF
R52 = 1 M 2	C13 = trimmer 30 pF
R53 en R54 = 22 K (1 W)	C14 ÷ C17 = 2 K 7
R55 = 820 K	C18 ÷ C21 = 18 K
R56 = 100 K	C22 ÷ C25 = 470 K
R57 = 470 K	C26 ÷ C29 = 22 K
R58 = 330 K	C30 = 220 pF
R59 ÷ R62 = 18 K	C31 = 100 K
R63 ÷ R66 = 39 K	C32 = 10 K
R67 ÷ R70 = 330 K	

V, W, R1, R2 en R3 = relais met twee wisselcontacten; spoelweerstand 15000 Ohm.

G1 - G4 = germaniumdiode OA 85.



aperiodisch geschiedt en niet kan uitslingeren wat tot meerdere impulsen aanleiding zou kunnen geven. Daar er namelijk een lange verbinding bestaat tussen de verschillende drukknoppen en C_1 met een onvermijdelijke zelfinductie is deze mogelijkheid tot uitslingeren niet denkbeeldig.

Dat bij het indrukken van een knop, C_1 via R_3 , dus met betrekkelijk grote tijdconstante, niet direkt tot de gewenste spanning wordt geladen, heeft de volgende reden:

Zoals wellicht bekend is, zal een contact dat mechanisch wordt gesloten bijna nooit direct de eerste keer blijvend contact maken. Vrij normaal is dat het contact wel drie keer gesloten en dus ook drie maal geopend is, alvorens het definitief in de ruststand gesloten is. Deze „voorlopige” sluitingstijden liggen in de grootte-orde van milliseconden en hebben voor normale schakelaars dan ook geen belang, behalve dat ze vonken kunnen veroorzaken. In ons geval echter is dit herhaald sluiten ontoelaatbaar, indien althans hierdoor telkens een negatieve impuls zou worden geproduceerd. Dit laatste nu wordt voorkomen door de tijdconstante van C_1 met R_3 (en ook gedeeltelijk van R_1). Bij de eerste keer sluiten kan C_1 zich vrijwel geheel ontladen en de verlangde negatieve impuls leveren. Het korte moment van opnieuw openen is door de ingebrachte tijdconstante dan wel zo kort, dat C_1 zich hoegenaamd niet kan bijladen. Bij het opvolgende sluiten zal er dan ook geen ontlading zijn en dus ook geen negatieve stoot ontstaan. Zo ook bij nog volgende korte openings- en sluitingsmomenten.

Met deze eenvoudige schakeling is bereikt dat men bij indrukken * en daarna loslaten steeds maar één impuls veroorzaakt of men de knop nu vlug of langzaam bedient.

We hebben dus gezien dat na het doen van een zet (door het indrukken van een bedieningsknop) één negatieve impuls via C_2 aan de eerste van de kettingschakeling van monostabiele multivibratorschakelingen wordt toegevoerd.

*) Bij het indrukken heeft deze schakeling ook haar nut: de volgorde kan immers zijn: even open, even dicht, even open, even dicht, lang open. Hierbij kan dus geen impuls ontstaan, omdat C_1 geen tijd krijgt zich te laden.

Deze kettingschakeling bestaat uit 59 schakelingen met de buizen $B_1 \div B_{59}$.

In fig. 43 is eenvoudigheidshalve alleen de schakeling van B_1 volledig getekend, die van de andere buizen is of symbolisch of in het geheel niet weergegeven. Ze zijn echter allen volkomen identiek en hebben dus ook alle de extra roosterschakeling met $G_1 R_6$, die er voor zorgt * dat geen positieve pieken op het rooster kunnen ontstaan en daardoor geen extra impulsen in het verdere verloop van de kettingschakeling kunnen optreden. De katoden van alle 59 buizen E90CC zijn doorverbonden en hebben een gemeenschappelijke katode weerstand R_{21} . In feite wordt deze weerstand gevormd door een 20-tal weerstanden van 1K5 (1 Watt) die over de beschikbare montage lengte zijn verdeeld. Dit is ook zo bij de afvlakcondensator C_4 die is samengesteld uit 10 condensatoren van 50 μ F. R_{21} is nu zo gekozen dat de katodespanning 30V t.o.v. aarde bedraagt. In de rusttoestand is de linker helft van de buizen stroomvoerend en de anodestroom bedraagt ca. 6,7 mA per buis met de voedingsspanning van 200V en de anodeweerstand R_8 van 22K. De spanning op de linker anode is dan ook 60V t.o.v. aarde. Deze zelfde spanning staat dus ook op anode van de vensterbuizen $B_{61} \div B_{107}$. Verder zien we dat de roosterweerstand R_{19} en volgende alle verbonden zijn met de blokkeringsleiding Bl die door de katodestroom van de blokkeringsbuis B_{119} een spanning van ca. +8V t.o.v. aarde heeft. We komen hier aanstonds op terug. Onder de gegeven omstandigheden blijkt, dat de impulsbreedte van elke schakeling (die dus mede bepaald wordt door $R_5 = 1M2$ en $C_3 = 820$ pF) ca. 800 microseconden bedraagt.

Daar er in totaal 59 impulsen na elkaar kunnen ontstaan, is de tijd, die een impuls nodig heeft om door de hele schakeling te lopen, ca. 48000 μ sec of wel minder dan 1/20 seconde. Hoewel deze tijd nog belangrijk kleiner had gekund, had dit in ons geval weinig zin omdat steeds ook nog een relais moet worden ingetrokken waarvan de intrektijd alleen al in deze grootteorde ligt.

We zullen nu bekijken hoe met behulp van de vensterbuizen een gasgevulde eindbuis kan worden bediend. De

*) Zie A.H. Bruinsma: Multivibratorschakelingen, Hfdst. I. Uitgave Philips Technische Bibliotheek.

verschillende vensterbuizen zijn via anodeweerstanden van 180 K (R_{34} enz.) met de multivibratorbuizen, of in groepen, of apart verbonden.

Zoals we reeds hebben gezien bedraagt de beschikbare spanning in rusttoestand 60V t. o. v. aarde, terwijl deze bij het passeren van de impuls, gedurende ca. 800 μ sec bijna 200V bedraagt. De katode van een vensterbuis is alleen, of samen met anderen, steeds via een weerstand van 18K (R_{59} in fig. 43 voor de vensterbuizen B_{61} en B_{62}) met een +.60V leiding verbonden. In rusttoestand is de anodespanning van een vensterbuis dus 0V en er zal dan ook geen anodestroom lopen. Indien het stuurrooster van een vensterbuis positief zou zijn, zou er echter nog roosterstroom kunnen lopen die op de katodeweerstand een positieve spanning zou kunnen opleveren. In alle stuurroosters van de vensterbuizen is echter een weerstand van 1 megohm ($R_{43} \div R_{51}$) opgenomen waardoor de roosterstroom en de dus resulterende katodestroom zeer laag wordt gehouden (katodespanning $< 0,5V$).

Is een stuurrooster met een positieve spanning verbonden en komt de impuls op de anode dan ontstaat er uiteraard ook een impulsvormige katodestroom die een recht-hoekspanning op de katodeweerstand van ca. 9V doet ontstaan. Via het filter $R_{63} C_{14}$ en via C_{18} (in het geval van buis B_{108}) komt deze impuls op het stuurrooster van de gasgevulde buis en zal deze doen doorslaan en het bijbehorende relais doen intrekken. Hiermee is dus de reactie van de robot verkregen. Daar de gasgevulde buizen uit de 200V gelijkspanningsleiding worden gevoed blijft de buis doorgeslagen wat er ook daarna met de roosterspanning gebeurt. Alleen door met de drukknop R_e de voedingspanning te onderbreken kunnen de gasgevulde buizen gedoofd en de relais weer in de ruststand gebracht worden.

Indien nu het stuurrooster van een vensterbuis zo sterk negatief is t. o. v. de katode dat de buis volledig is afgeknepen, zal er, ook als de impuls op de anode komt, geen katodestroom kunnen lopen. Er ontstaat echter toch een positieve piek op de katode. Dit komt doordat de anode-katode capaciteit van de vensterbuis tijdelijk (gedurende de

impuls) tot de nieuwe spanning wordt geladen. De katode van de vensterbuis krijgt hierdoor weliswaar geen recht-hoekspanning zoals in het vorige geval, maar een naald-spanning. De amplitude van deze naald ligt echter in de-zelfde grootte-orde als die van de rechthoekspanning en zou dus evenzeer in staat zijn de gasgevulde buis te doen doorslaan. Om dit te voorkomen is nu het filter $R_{63} C_{14}$ (en overeenkomstige filters bij de andere buizen) aange-bracht. De tijdconstante (ca. 100 μ sec) is voldoende lang om de naaldspanning op het rooster klein te houden (max. 1V) terwijl de gewenste rechthoekspanning onverzwakt, zij het ook afgerond wordt doorgelaten. Er blijft dus ca. 8V verschil tussen gewenst en ongewenst signaal.

De gewenste roosterspanning-instelling wordt verkregen door potentiometer R_{71} die samen met weerstand R_{91} tus-sen de + 60V leiding en aarde is aangesloten. Daar de ka-tode van de gasgevulde buizen met de 60V leiding is ver-bonden kan de roosterspanning op deze wijze op ca. - 5V worden ingesteld. Het tweede stuurrooster wordt via R_{79} met de katode van de buis verbonden.

In het voorgaande hebben we gezien hoe onder invloed van de lopende impuls in de kettingschakeling een gasge-vulde buis kan doorslaan en dat hiermee dus een reactie op een zet van de speler kan worden verkregen. Volgens de spelregels mag echter steeds maar één antwoord wor-den gegeven terwijl het toch zeer wel mogelijk is dat meer-dere vensterbuizen positieve roosterspanningen hebben en hierdoor een antwoord in petto hebben. Er moet dus een aanduiding zijn dater een antwoord zal komen door een be-paalde impuls op een bepaald moment, lang voordat het betreffende relais heeft gereageerd. Dit reageren kan im-mers wel 1/25 sec duren en in die tijd heeft de impuls bijna reeds de gehele schakeling doorlopen en zijn dus eventuele meerdere antwoordimpulsen reeds gegeven.

De gewenste aanduiding nu van een op handen zijnd ant-woord, hebben we nu gevonden in de positieve spannings-stoot op de katodeweerstand van de gasgevulde buis (R_{75} en volgende in fig. 43) die bij het doorslaan van een buis ontstaat. Om de gewenste spanningspiek onafhankelijk te

maken van de zelfinductie van de te schakelen relais in de anodeketen, is een condensator C_{26} in de anodeketen opgenomen die bij doorslaan van de buis zich met een scherpe stroompiek ontladst over R_{83} , de inwendige weerstand van de buis en R_{75} . De spanningspiek op de katodeweerstand wordt nu via C_{22} doorgegeven aan de katodeimpulsleiding $k\phi$ waarop alle gasgevulde buizen zijn aangesloten (uitgezonderd B_{109}). In ons geval zijn dat 10 stuks zodat de katodeimpedantie slechts 220 ohm bedraagt (R_{75} en de andere katodewestanden zijn alle 2 K2).

De bereikbare spanningspiek op de katodeimpulsleiding die dus hoofdzakelijk bepaald wordt door R_{83} (in het geval van buis B_{108}) is ingesteld op ca. 4V. De serieweerstand R_{83} (en volgende) kan niet willekeurig klein worden gemaakt in verband met dan optredende oscillatieverschijnselen.

De functie van de hoogohmige weerstand over de condensatoren C_{26} en volgende is tenslotte de volgende. Indien b. v. door het indrukken van de knop van vak 1 dat vak door de speler wordt bezet, wordt, zoals we op blz. 104 hebben gezien, de anodespanning van de betreffende gasgevulde buis (B_{110}) onderbroken. Door de goede kwaliteit van de moderne onderdelen zou de spanning op C_{27} (ca. 140V) gedurende lange tijd behouden blijven. Bij een impuls op het rooster zou dan door het ontladen van C_{27} even goed een katodeimpuls ontstaan juist alsof een antwoord van de robot zou zijn gegeven. Dit mag natuurlijk niet en de parallelweerstand R_{88} zorgt er voor dat de lading op C_{27} tijdig kan wegvloeien als de anodeleiding wordt onderbroken.

We hebben nu dus gezien dat een impuls op de katodeimpulsleiding eenduidig aangeeft dat de robot een antwoord gaat geven.

Deze positieve piek nu wordt toegevoerd aan het stuurrooster van buis B_{120} die normaal staat afgeknepen door de aanwezigheid van de weerstanden R_{30} en R_{33} . Bij een piek zal de anodespanning van deze buis tijdelijk dalen en daarvoor de blokkeringsbuis B_{119} tijdelijk worden afgeknepen*.

*) Zie A.H. Bruinsma: Multivibratorschakelingen, Hfdst. I. 1. 12. Uitgave Philips Technische Bibliotheek.

De katodespanning van deze buis valt tijdelijk weg en daarmee de spanning op de blokkeerleiding Bl waarmee de roosters van de kettingschakeling zijn verbonden. De resulterende spanningsdaling van ca. 8V op deze leiding heeft nu twee gevolgen:

1. die buis van de kettingschakeling die omgeklapt staat op dat moment (en die het antwoord van de robot heeft veroorzaakt) klapt onmiddellijk terug;

2. de hierbij doorgegeven impuls naar de volgende schakeling kan deze niet doen omklappen omdat het betreffende rooster ook ca. 8V negatiever staat dan normaal.

Het zal dus duidelijk zijn dat de kettingschakeling ophoudt met werken en geen nieuwe antwoordimpulsen kunnen ontstaan, voordat een nieuwe zet door de speler wordt gedaan.

Het afvlakfilter $R_{28} C_8$ zorgt er voor dat stoorimpulsen op de 200V leiding de blokkering niet op een ongewenst moment kunnen laten werken.

Als blokkeringsbuis is een groot type eindbuis gekozen om de stroom in de rusttoestand groot te maken ten opzichte van de 49 kleine stroompjes door de weerstanden $R_8 - R_{17} - R_{19}$ en volgende. De grootte van de blokkeerspanning kan met R_{26} op ca. 8V worden ingesteld.

V. 5. Germaniumdioden als relaiscontacten

We hebben in het voorgaande gezien dat een antwoord en welk antwoord bepaald wordt door een positieve stuurroosterspanning van die vensterbuis die het eerst door de kettingschakeling van een impuls wordt voorzien. Deze positieve roosterspanning moet uiteraard door de stand van het spel worden bepaald. Nu kan men zich voorstellen dat dit met behulp van relaiscontacten op de manier zoals in fig. 44 aangegeven, kan worden bereikt.

De relaiscontacten in fig. 44a zijn in de ruststand getekend en het zal duidelijk zijn dat het rooster dan op aardpotentiaal ligt en dus negatief is t. o. v. de katode. Dit rooster zal alleen positief kunnen zijn als:

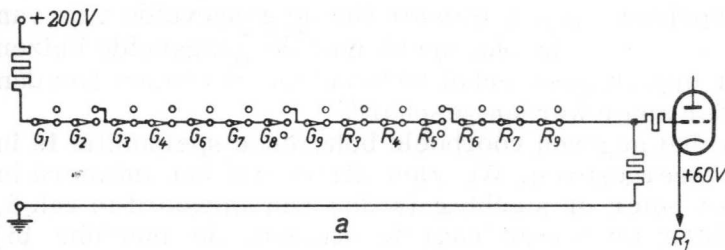


Fig. 44. a. schakeling van een roostercircuit van een vensterbuis voor een antwoord van de machine in vak 1. Alleen als alle contacten gesloten zijn zal dit antwoord met deze vensterbuis gegeven kunnen worden.

b. de stand van het spel om dit te bereiken; de vakken 2 en 8 zijn door de speler bezet, vak 5 door de machine. De andere vakken mogen niet bezet zijn.

R	→		G	3
		4	R	6
		7	G	9

b

1. vak 1 niet door groen bezet is (dan is contact G_1 immers gesloten zoals getekend)
2. vakken 2 en 8 door groen bezet zijn (contact G_2 en G_8 wordt dan gesloten)
3. vakken 3, 4, 6, 7 en 9 mogen niet door groen zijn bezet
4. vakken 3, 4, 6, 7 en 9 mogen niet door de machine zijn bezet.
5. vak 5 moet door de machine zijn bezet.

Indien verder de vensterbuis op de gasgevulde buis van R_1 werkt zal het antwoord van de machine dus bestaan uit het bezetten van vak 1. Elke afwijking van de bovenstaande voorwaarden laat het rooster negatief en zal er via deze vensterbuis geen antwoord kunnen komen. We zien dat niet alle contacten in rood en groen beide zijn uitgevoerd. Zo ontbreekt G_5 : deze is ook niet nodig omdat door het feit dat dit vak door rood bezet moet zijn (contact R_5) de situatie reeds vastligt. Om dezelfde reden ontbreken de contacten R_2 en R_8 omdat de situatie door G_2 en G_8 reeds is vastgelegd.

Tenslotte ontbreekt ook R_1 . Dit zou alleen maar een gesloten contact kunnen zijn dat zich na het antwoord dus zou openen en zodoende zou kunnen voorkomen dat een volgende

impuls opnieuw op het rooster van de gasgevulde buis van R_1 zou arriveren. In ons geval met de gasgevulde buizen heeft dit echter geen enkel bezwaar en dit contact kan dan ook zonder meer worden gespaard.

De bij het gegeven voorbeeld behorende spelpositie is in fig. 44b weergegeven. We zien direct dat het antwoord in vak 1 niet beter of slechter is dan een antwoord in vak 3, 7 of 9. Door er echter naar te streven, de machine bij vrije keuze steeds vak 1 te laten bezetten is het aantal in de machine aan te brengen mogelijkheden met een factor 4 verminderd.

Er blijven dan toch nog 92 verschillende antwoordmogelijkheden over. Daar elke mogelijkheid een samenstelling van contacten vereist, zij het ook dat deze niet steeds een dergelijk aantal nodig hebben en dat ook combinaties van groepen contacten voor verschillende circuits kunnen worden gevonden, zal het aantal benodigde relaiscontacten toch vele honderden moeten bedragen. Daar zelfs de beste kwaliteit contacten op den duur vuil kunnen worden en dus storingen kunnen geven is de kans op storing bij zo'n aantal lang niet denkbeeldig. Maar het grote aantal contacten maakt ook het gebruik van vele of zeer omvangrijke dus zware relais noodzakelijk. Daarom hebben wij een netwerk van de zeer kleine, lichte en betrouwbare germaniumdioden gebruikt die zodanig zijn geschakeld dat elke diode de functie van een relaiscontact overneemt. Vandaar de wellicht vreemd aandoende titel van deze paragraaf.

Het netwerk bestaat uit horizontale en verticale draden die op sommige kruispunten met behulp van dioden onderling worden verbonden.

De horizontale draden worden gevormd door de 36 spanningslijnen die reeds in V.3. en in fig. 42 zijn vermeld. De verticale lijnen vormen de roosterleidingen van de verschillende vensterbuizen. Om het principe van de werking van dit netwerk duidelijk te maken hebben we in fig. 45 hetzelfde voorbeeld genomen als in fig. 44. We zien dat alle germaniumdioden met de anode aan de verticale roosterleiding zijn verbonden. De katode is of met een 90V leiding of met een 40V leiding verbonden. Indien

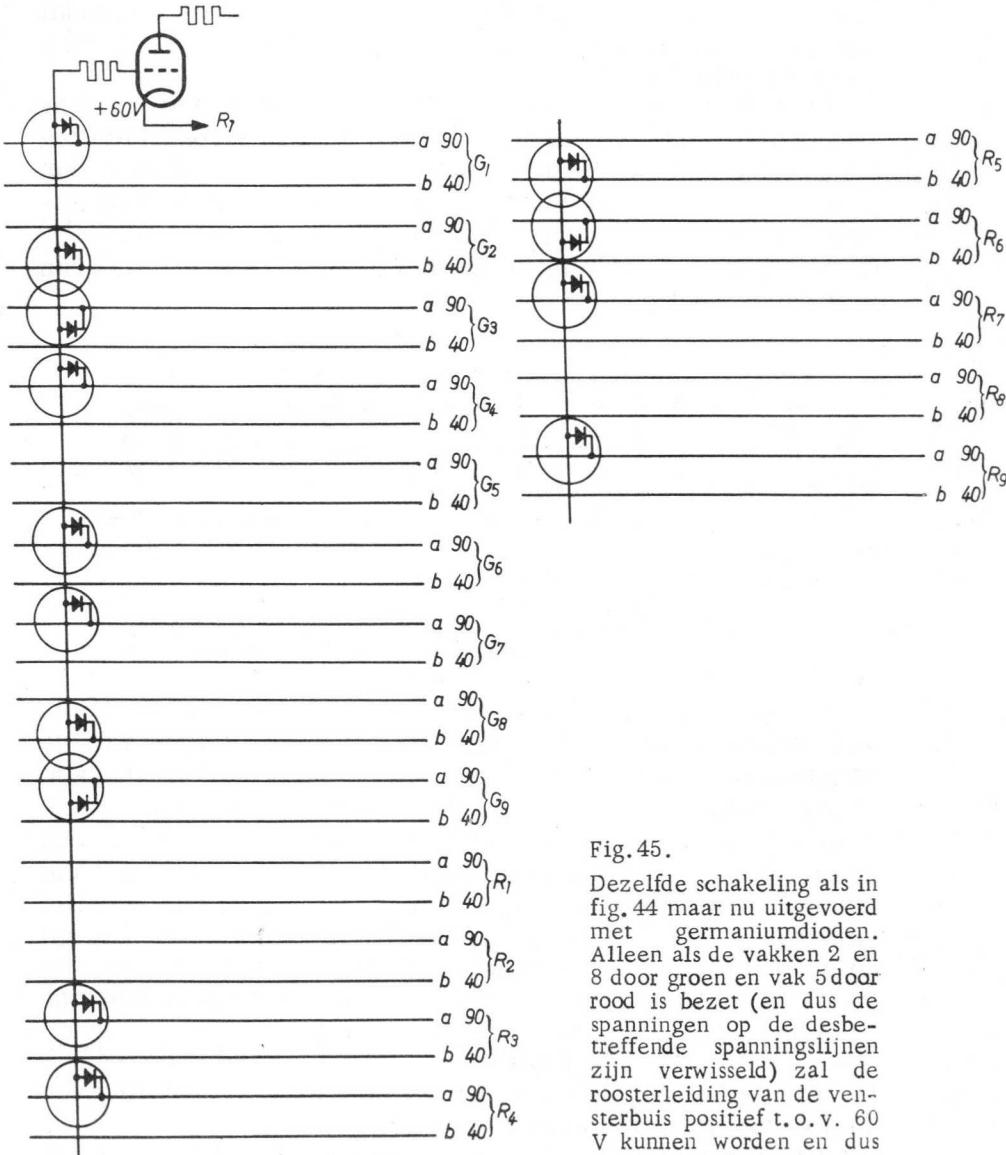


Fig. 45.

Dezelfde schakeling als in fig. 44 maar nu uitgevoerd met germaniumdioden. Alleen als de vakken 2 en 8 door groen en vak 5 door rood is bezet (en dus de spanningen op de desbetreffende spanningslijnen zijn verwisseld) zal de roosterleiding van de vensterbuis positief t.o.v. 60 V kunnen worden en dus een antwoord in vak 1 mogelijk maken.

slechts 1 katode met een 40V leiding is verbonden, zal de roosterleiding nooit veel boven de 40V kunnen komen omdat van deze ene germaniumdiode de weerstand dan zeer laag wordt (slechts ca. 200 ohm).

De andere dioden zijn dan weliswaar met de 90V leiding verbonden maar deze hebben dan voor deze stroomrichting hun blokkeringsweerstand die zeer hoog is (groter dan 1 megohm). Dit zien we direct in fig. 46 waar de schakeling van fig. 45 nu eens anders is getekend. De dioden G_2 , G_8 en R_5 voeren stroom in de doorlaatrichting, de anderen in de sperrichting.

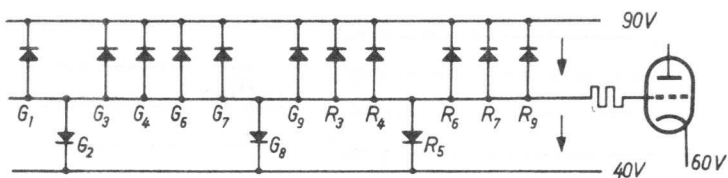


Fig. 46. Dezelfde schakeling als de toestand in fig. 45 maar op een andere manier getekend.

Eén van de dioden G_2 , G_8 of R_5 is reeds voldoende om de spanning op de roosterleiding op 40 V te houden.

De spanning van de roosterleiding kan dan niet boven de 40V stijgen en is dus 20V negatief t.o.v. de katode van de vensterbuis, voldoende om deze buis volledig af te knippen.

We zullen nog even voor het extreme geval dat slechts 1 diode met 40V is verbonden, dit berekenen. Deze ene diode heeft in de doorlaatrichting een weerstand van ca. 200 ohm. Alle anderen, dus 13 in totaal, staan dus parallel en zijn met de 90V leiding verbonden. Nemen we aan dat de weerstand in de sperrichting 500.000 ohm bedraagt. Met 13 parallel wordt dit ca. 39000 ohm. We krijgen dan een spanningsdeling met $\frac{200}{39000} \times 50 = 0,25V$ op de ene diode.

De roosterleiding heeft in dit geval dus een spanning van 40,25V dus practisch weer 40V.

Alleen als alle dioden met de 90V leiding zijn verbonden kan de roosterleiding in de buurt van de 90V komen. In fig.

45 is dit het geval als de vakken 2 en 8 door groen en vak 5 door rood wordt bezet. In fig. 42 hebben we nl. gezien dat de spanningslijnen a en b dan van spanning verwisselen. G_{2b} wordt dan van 40, 90V, G_{8b} eveneens terwijl ook R_{5b} dan 90V wordt. Dan is dus de roosterleiding voldoende positief om een impuls in de katode te verkrijgen. De spanning op het rooster van de vensterbuis zal dan practisch 60V bedragen (dus gelijk aan de katodespanning) omdat door het optreden van roosterstroom weer een spanningdeling t.o.v. de 90V ontstaat. Hiertoe draagt ook de roosterweerstand van 1 megohm in het rooster bij, samen met de parallelschakeling van de sperweerstand der dioden. Het zal verder ook wel duidelijk zijn dat een bezetting van een ander vak de roosterspanning direkt weer op 40V laat zakken. In V.3 hebben we gezien dat het onderzoek van de stand het spel door de robot in 4 opeenvolgende stadia geschiedt. Van elk van deze stadia zullen we nu een voorbeeld geven.

V. 6. De verliesschakeling

Het gaat er hierbij om te constateren dat de robot verloren heeft en te voorkomen dat er nog een zet volgt. Bij dit constateren hoeft alleen maar rekening te worden gehouden met vakken die door groen (dus door de speler) zijn bezet en wel als er drie op één rij zijn. Dit zijn in totaal 8 mogelijkheden (3 horizontaal, 3 verticaal en 2 diagonaal). Nu is de diagonaal 1-5-9 niet in het apparaat opgenomen omdat de speelwijze van het apparaat zodanig is dat de robot altijd één van deze drie zal hebben bezet, zodat dit rijtje door groen nooit helemaal bezet kan worden. De diodeschakeling voor één van de 7 resterende mogelijkheden is in fig. 47 weergegeven.

Dit is de roosterleiding no. 1 die op de vensterbuis B_{61} in fig. 43 is aangesloten. De schakeling voor de andere mogelijkheden werkt op dezelfde wijze. Deze zijn op de roosters 2, 3 tot en met 7 aangesloten. De vensterbuizen zijn verdeeld over 2 monostabiele schakelingen van de ket-

tingschakeling. In fig. 43 is ook te zien dat de katoden van al deze vensterbuizen zijn aangesloten op het rooster van de gasgevulde buis B_{108} . Bij verlies zal dus deze buis doorslaan. Met het bijbehorende verliesrelais V wordt echter geen antwoordzet gedaan: alleen wordt een deel van

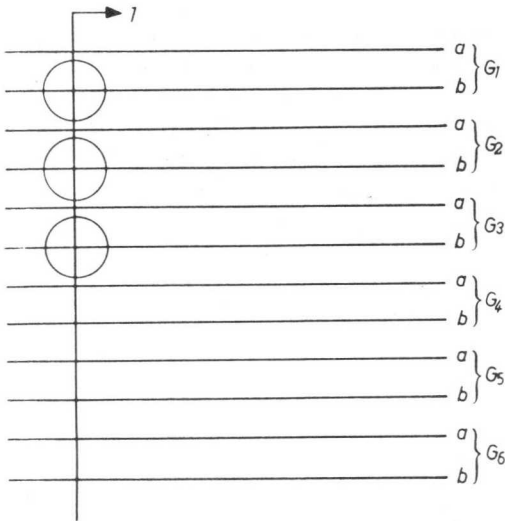


fig. 47. Schakeling van de germanium dioden voor de verliesmogelijkheid G_1, G_2, G_3 . De cirkels geven de dioden aan. Deze zijn weer aangesloten zoals in fig. 45 aangegeven. Alleen als de spanningslijnen b van G_1, G_2 en G_3 90 V zijn geworden, dus als de vakken 1, 2 en 3 door groen zijn bezet, zal de roosterleiding 1, op een spanning van 90 V kunnen komen, en zal vensterbuis B_{61} (fig. 43) een impuls kunnen doorgeven.

de gloeispanning op de in het apparaat ingebouwde geluidsversterker geschakeld zodat de luidspreker een bromtoon laat horen. Dit is dus het constateren van het verlies. Daar de katode van B_{108} wel met de katode-impulsleiding is verbonden (via C_{22}) zal de werking van de kettingschakeling wel worden geblokkeerd zodat geen antwoordzet meer kan worden gegeven. Om het brommen te doen ophouden moet de resetknop Re (fig. 43) even worden ingedrukt zodat alle relais weer uitvallen en men opnieuw kan gaan spelen.

V. 7. De winstschakeling

De tweede groep van onderzoek is de winstschakeling. Deze komt in werking als van één van de acht rijtjes reeds

twee vakken door de robot zijn bezet en de derde nog vrij is. Hierbij komen nu wel alle acht rijtjes in aanmerking terwijl elk rijtje weer 3 mogelijkheden biedt. Nemen we b.v. het rijtje 1, 2, 3 dan kan dit 1, 2 maar ook 2, 3 en verder nog 1, 3, zijn, waarop de antwoorden resp. 3, 1 en 2 moeten luiden. Daar het bij winst alleen gaat om door rood bezette vakjes, komen alleen de spanningslijnen van deze groep in aanmerking. In fig. 48 zijn een viertal voorbeelden van deze diode-schakelingen gegeven en wel voor de roosterleidingen 9, 12, 14 en 30.

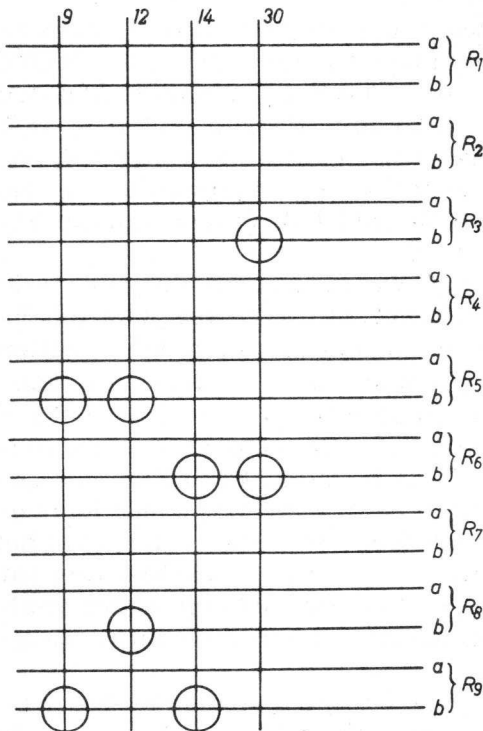


Fig. 48. Schakeling van de germanium dioden (aangegeven door cirkeltjes) voor een viertal winstmogelijkheden. Voor beschrijving zie tekst.

Roosterleiding 9 zal positief worden als de vakken 5 en 9 door rood zijn bezet. De bijbehorende vensterbuis B_{66} (fig. 43) zal dan op katodeleiding no. 1 een impuls geven die de gevulde buis B_{110} zal doen doorslaan en zodoen-

de het apparaat in vak 1 (relais R_1) doen antwoorden. Uiteraard wordt dan de kettingschakeling geblokkeerd zodat het bij dit antwoord blijft. Zou vak 1 echter reeds door groen zijn bezet, dan wordt weliswaar een impuls doorgegeven op het rooster van B_{110} maar omdat het anodecircuit dan door contact G_1 is onderbroken zal in de katode van B_{110} geen impuls ontstaan: de kettingschakeling wordt niet geblokkeerd en de zoekimpuls blijft verder lopen tot een andere antwoordmogelijkheid is gevonden. Roosterleiding 12 in fig. 48 zal positief worden als de vakken 5 en 8 door rood zijn bezet.

Vensterbuis B_{67} geeft dan een impuls door op katodelijn 2 zodat vak 2 zal worden bezet indien vrij. Op dezelfde wijze roosterlijn 14 voor de vakken 6 en 9 met antwoord via B_{68} op R_3 en roosterlijn 30 voor de vakken 3 en 6 met antwoord op R_9 (niet getekend in fig. 43). De vensterbuizen met in totaal 24 mogelijkheden voor de winstschakeling zijn verdeeld over de monostabiele multivibratoren van de kettingschakeling B_3 tot en met B_{11} .

In het voorgaande hebben we gezien dat de robot alle winstkansen onderzoekt en benut indien mogelijk. We hebben nu ook nog een hoorbare aanduiding van de winst willen brengen en wel een overwinningskreet. Om deze in te kunnen schakelen konden we geen gebruik maken van de gasgevulde buizen met de relais R_1 t/m R_9 omdat deze ook kunnen doorslaan als geen winst is bereikt. We hebben dus gebruik gemaakt van het feit dat een winstbrengende katodeimpuls in de katodeimpulsleiding $k\phi$ alleen ontstaat in het tijdsverloop van de impulsen van de kettingschakeling van de buizen B_3 tot en met B_{11} . Dit tijdsverloop wordt vastgelegd met een aparte monostabiele multivibratorschakeling met buis B_{60} (fig. 43).

Deze schakeling wordt via C_{10} aangestoten op het moment dat de schakeling met buis B_3 omklapt. Op de tweede anode van deze buis ontstaat dan immers een negatieve impuls, die buis B_{60} doet omklappen. De tijdconstante van deze schakeling is groter gemaakt dan de 9 normale impulsbreedten van de kettingschakeling. C_{11} heeft hier toe een waarde van 10 K vergeleken met de 820 pF van de

kettingschakeling. Op het moment dat B_{11} terugklapt ontstaat op de eerste anode een negatieve impuls die behalve aan de volgende schakeling, via R_{57} en C_{13} ook wordt toegevoerd aan het tweede stuurrooster van B_{60} . Deze laatste klapt daardoor weer terug in de ruststand.

De spanning op dit tweede stuurrooster van B_{60} heeft dus een positieve rechthoeksvorm, waarvan het verloop met de tijd ten opzichte van de impulsen van de kettingschakeling in fig. 49 is weergegeven. Duidelijkheidshalve zijn de impulsen vrij ver uit elkaar getekend. Een deel

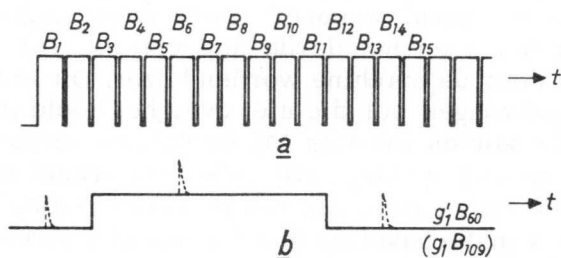


Fig. 49. Tijdsverhouding tussen de impulsen van de kettingschakeling (a) en van de speciale buis B_{60} voor de winstschakeling (b). Gestippeld: mogelijke impulsen op de katodeimpulsleiding. Alleen tijdens de duur van de rechthoekspanning kan een katodeimpuls de gasgevulde buis B_{109} (fig. 43) doen doorslaan.

van de rechthoekspanning (bepaald door $R_{56} R_{97}$) wordt via R_{98} toegevoerd aan het stuurrooster van de gasgevulde buis B_{109} . Deze is met potentiometer R_{100} zodanig negatief ingesteld dat de rechthoekspanning alléén deze buis niet kan doen doorslaan. Via C_{30} wordt aan dit stuurrooster ook de katodeimpulsleiding kp verbonden, maar de instelling van B_{109} is ook weer zo, dat deze impuls alléén de buis evenmin kan doen doorslaan.

Alleen beide spanningen samen kunnen dit bereiken en het intrekken van relais W betekent dan ook dat een antwoord van de machine is verkregen tengevolge van één van de winstmogelijkheden.

Het relais W kan dus de overwinningskreet op de ingebouwde versterker schakelen en zodoende in de luidspreker hoorbaar maken. Ook in dit geval wordt het geluid pas weer uitgeschakeld nadat op de resetknop Re is gedrukt en een nieuw spel kan beginnen.

V. 8. Onderzoek van de winstkans van de speler

De derde groep van onderzoek dient, zoals we reeds gezien hebben, om te voorkomen dat de speler kan winnen. Dit is dus het geval wanneer reeds twee vakken van een rijtje zijn bezet en het derde nog vrij is. Dit vakje moet dan direct door de machine worden bezet. Dit is dus eigenlijk een gedwongen zet die niet over het hoofd gezien mag worden. Er komen evenals bij de verliesschakeling 7 rijtjes voor in aanmerking. Rij 1-5-9 ontbreekt ook hierbij om dezelfde reden. Voor elk van de zeven rijtjes zijn evenals bij de winstschakeling weer 3 mogelijkheden beschikbaar zodat er 21 roostercircuits zijn waarvan in fig. 50 een voorbeeld is gegeven. Het gegeven voorbeeld is dat voor de vensterbuis B_{83} (fig. 43). Het circuit wordt positief als de vakken 4 en 5 door groen zijn bezet. Er ontstaat dan een impuls op de katodelijn no. 6 zodat, als dit vak vrij is, vak no. 6 door de machine wordt bezet. De blokkeringschakeling voorkomt dan op de gewone wijze een tweede antwoordzet. Was het vak al bezet dan ontstaat er dus geen katodeimpuls in de leiding $k\bar{p}$ en de zoekimpuls blijft doorlopen.

Indien groen er in geslaagd is twee rijtjes voor te bereiden, zullen dus ook twee roostercircuits positief worden. Om dan twee antwoorden te voorkomen, hetgeen tegen de regels van het spel zou zijn, mogen vensterbuizen met roostercircuits die tegelijk positief kunnen worden, nooit uit dezelfde buis van de kettingschakeling worden gevoed. Anders zou de blokkering een dubbel antwoord immers niet kunnen voorkomen.

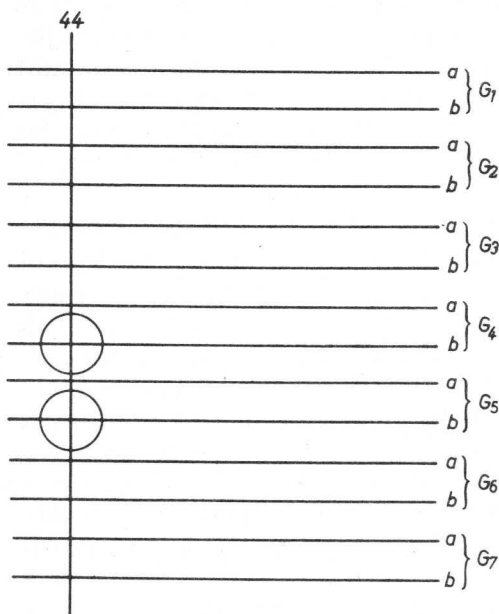


Fig. 50. Schakeling van de germanium dioden voor onderzoek van de winstkans van de speler. Als de vakken 4 en 5 door groen zijn bezet wordt het roostercircuit 44 positief en zal de machine vak 6 gaan bezetten (zie ook fig. 43).

V. 9. De vrije zet

Als geen van de mogelijkheden, besproken in de vorige drie paragrafen, zich voordoet, moet de machine uiteraard een keus doen uit de nog vrije vakjes. Hierbij is er naar gestreefd de antwoordzet zó te maken dat een zo sterke mogelijke positie voor de machine wordt verkregen.

Deze vrije zet wordt dus bepaald door de stand. De manier waarop de stand van het spel in de diodenschakeling kan worden vastgelegd is reeds in V. 5 behandeld.

We hebben daar ook reeds opgemerkt dat indien het resultaat hetzelfde is, de machine bij voorkeur hoekpunt 1 zal bezetten om het aantal mogelijkheden te beperken.

In dit verband willen we nog opmerken dat in onze robot ook nog de mogelijkheid wordt geboden dat de robot de eerste zet doet. Hiertoe is een aparte rode knop aangebracht die geen groen relais bedient maar alleen een im-

puls in de kettingschakeling doet ontstaan. In dat geval is de zet van de machine in vak 1, ook weer om de mogelijkheden te beperken. Het zal duidelijk zijn dat het aantal vrije zetten in het geval dat de machine de eerste zet gedaan heeft, weer andere roostercircuits nodig maakt. Het totaal aantal mogelijkheden voor vrije zetten bedraagt 40 stuks.

Een veel voorkomende vrije zet is natuurlijk de eerste antwoordzet van de machine als de speler de eerste zet heeft gedaan. Voor het geval dat de speler niet vak 5 maar één van de anderen kiest is het antwoord van de robot vak 5. De bijbehorende diodeschakeling vormt het roostercircuit no. 92 van vensterbuis B_{107} die door de laatste multivibratorbuis B_{59} van de kettingschakeling wordt gevoed. Zoals in fig. 43 aangegeven is de katode van deze vensterbuis met katodelijn 5 verbonden zodat het antwoord in vak 5 wordt verkregen. Indien dus één van de vakken 1 t/m 9 uitgezonderd 5 bij het begin van het spel door de speler wordt bezet is het antwoord 5. Dit eenvoudige geval is dan tevens het bewijs dat de impuls in de kettingschakeling tot de laatste buis door loopt, en is dus een eenvoudige controle op de werking van een groot gedeelte van de schakeling verkregen.

Opmerking. De keuze van de vrije antwoordzetten in het apparaat is zo gedaan dat het in principe niet mogelijk is van het apparaat te winnen. Een onbeslist einde is het gunstigste resultaat dat een speler dus kan bereiken. We hebben gemeend niet een volledig schema van alle diodecircuits en van alle buizen te moeten geven daar dit vrij veel ruimte zou vergen en het principe van de werking niet verder zou verduidelijken. Aan de hand van de gegeven voorbeelden geloven we dat een opmerkzaam lezer deze desgewenst zelf zal kunnen reconstrueren en het algemene schema van fig. 43 completeren.

V. 10. De foutenschakeling

Uit het voorgaande is gebleken dat een speler in princi-

pe zelfs bij ideaal spel niet van de robot kan winnen. Men zou zich dan ook kunnen afvragen waarom er dan een verliesschakeling is opgenomen (V.6.). We hebben echter gemeend dat naast de mogelijkheid de feilloosheid van de robot te kunnen bewijzen, het apparaat aan attractieve waarde zou winnen als het ook mogelijk zou zijn onder bepaalde omstandigheden te winnen. Hiertoe moeten dus fouten in de schakeling worden geïntroduceerd en hiertoe dient nu de foutenschakeling die met een schakelaar in en uit kan worden geschakeld. Met deze foutenschakeling kunnen nu tot 5 verschillende fouten worden ingebracht die geen grove nalatigheden betekenen maar tactische speelfouten, die niet direct in het oog springen. De verandering bevindt zich dan ook in de groep van de vrije zetten. In fig. 51 is

7	2	G
4	R	6
G	8	9

Fig. 51. Stand van het spel waarbij het juiste antwoord van de robot vak 2 zou zijn. Door de foutenschakeling wordt dit antwoord echter in vak 9 gegeven waardoor de speler een winstkans krijgt.

een voorbeeld van een dergelijke fout gegeven. De vakken 3 en 7 zijn door groen, vak 5 door rood bezet. De katode van de vensterbuis, op welks rooster het met deze stand overeenkomende diodecircuit is aangesloten, is normaal verbonden met katodelijn 2 zodat het normale juiste antwoordvak 2 is. Met een relaiscontact van de foutenschakeling wordt nu de katode van deze vensterbuis in plaats van met lijn 2 met lijn 9 verbonden. Het foutieve antwoord wordt dan vak 9. De speler moet dan vak 1 bezetten maar heeft dan twee rijtjes voorbereid nl.: 1, 2, 3 en 1, 4, 7. De machine zal dan of vak 2 of vak 4 kunnen bezetten maar het niet bezette vak geeft de speler de mogelijkheid te winnen.

De schakeling die de relais bedient, die de genoemde omschakeling van de katode van de vensterbuis veroorzaakt, is een kettingschakeling van 5 bi-stabiele multivibratoren*. Het aanstoten van deze kettingschakeling

*) Behandeld in A.H. Bruinsma; Multivibratorschakelingen, Hfdst. I. 1. 11. 3. Uitgave Philips Technische Bibliotheek.

gebeurt met een contact dat door de „reset” knop wordt bediend. Na het beëindigen van elk spel wordt de combinatie van mogelijke fouten dus veranderd. Door neonlampjes wordt alleen aangegeven hoeveel fouten op een bepaald moment ingeschakeld zijn, maar de wijze waarop men hiervan kan profiteren wordt uiteraard niet aangegeven. Hoewel men er dus niet op mag rekenen, dat als men een keer gewonnen heeft door een bepaalde wijze van spelen, dit de volgende keer ook zal lukken, hebben we deze kans nog belangrijk kleiner gemaakt door de nummers te laten verspringen. Dit gebeurt alleen elektrisch en is voor het oog dus niet zichtbaar en gebeurt bovendien alleen maar als de robot gewonnen of verloren heeft. Dit verspringen van de nummers gebeurt door het omschakelen van de draden van de groene en rode lampen in het speelvak en van de bedieningsknoppen. Drukt men b.v. knop 2 in dan licht weliswaar vak 2 op maar voor de robot betekent dit dan b.v. vak 6 en de reactie is dan ook dienovereenkomstig. Op deze wijze kan het speelvak onzichtbaar in vier standen worden gedraaid. De foutenschakeling draait uiteraard mee en zodoende wordt het uiterst moeilijk en tijdrovend het systeem van de foutenschakeling te doorgronden. Het brengen van de nummers in één bepaalde stand gebeurt met een enkel relais met 24 contacten dus zijn er 4 van deze relais. De bedrading van al deze contacten is alleen maar ingewikkeld en verder niet interessant. We menen echter dat de schakeling die deze relais bedient wel interessant voor de lezer zou kunnen zijn. De schakeling is in fig. 52 weergegeven. Voor goed begrip diene dat steeds één van de hoofdrelais A' , B' , C' of D' ingetrokken moet staan en dat voor het verwisselen, alleen het tijdelijk sluiten van een contact van het winst of verliesrelais beschikbaar is. Twee sluitcontacten van deze relais zijn dus parallel geschakeld en vormen het bedieningscontact Sk van fig. 52. In deze figuur zijn alle relais in de ruststand getekend dus zijn ook geen van de hoofdrelais ingetrokken. Dit is echter geen blijvende toestand want zoals men zal zien kan condensator C_2 via R_{16} en twee contacten van relais E worden geladen door de gelijkspanning van 280V, verkregen door enkel-

fazige gelijkrichting van het 220V net. De spanning op C_2 stijgt dus vrij snel volgens een e -functie en dus via R_2 ook de spanningslijn waarop de anoden van alle vijf koudekatodebuisjes zijn aangesloten. Deze buisjes zijn voor deze schakeling uitgezocht zodat hun doorslagspanning * dezelfde, nl. ca. 210V is.

Hebben de anoden dus alle dezelfde potentiaal, die van de katoden zijn verschillend. Die van Z_1 heeft via R_3 en de spoel van relais A de potentiaal van de onderste gemeenschappelijke „aard”-verbinding. Die van Z_2 echter heeft een positieve potentiaal t. o. v. deze „aard”-verbinding omdat de katode via het contact van relais E (het bovenste) en van relais A dat immers (nog) niet is ingetrokken en via R_{12} verbonden is met de + 280V. Hierdoor zal er dus via R_4 en de spoelweerstand van relais B een stroom lopen die een spanning op de katode van Z_2 van ca. 17V veroorzaakt. De stroom door de relaisspoel is voldoende laag om het relais niet te doen intrekken. Op dezelfde wijze ontstaat op de katode van de buizen Z_3 , Z_4 en Z_5 eveneens een positieve potentiaal van 17V ten opzichte van de „aard”-verbinding. Als dus nu de spanning op C_2 volgens de e -functie gestegen is tot 210V dan is de spanning op Z_1 ook 210V maar die op de andere buizen Z_2 tot en met Z_5 nog maar 193V. Het is duidelijk dat Z_1 dus zal doorslaan. C_2 zal zich dan via R_2 kunnen ontladen over Z_1 , R_3 en spoel A . Door de afgenomen stroom via R_2 zakt de spanning op de anodelijn waardoor de andere buizen ($Z_2 \div Z_5$) helemaal geen gelegenheid meer krijgen om door te slaan.

Door de sterke ontlaadstroom zal verder relais A intrekken, waarna de relaisspoel van A via R_8 nog wordt verbonden met + 280V zodat het relais A ingetrokken blijft als de ontlaadstroom van C_2 belangrijk kleiner is geworden. Buis Z_1 blijft echter doorgeslagen zodat nog een ge-

*) Zoals wellicht bekend, vormen deze buisjes een zeer hoge weerstand indien ze gedooft zijn en de spanning tussen anode en katode lager is dan de doorslagspanning. Stijgt de spanning boven deze waarde dan ontstaat een doorslag waarbij de weerstand zeer laag wordt en de spanning tussen anode en katode zakt tot ca. 60V. Daalt de spanning om een of andere reden beneden deze waarde dan dooft de buis weer en de spanning moet opnieuw stijgen tot boven de doorslagspanning om opnieuw een doorslag te krijgen.

deelte van de totale relaisstroom door Z_1 en R_3 wordt geleverd (1,8 mA in ons geval). Hierdoor stelt de potentiaal op de anoden van alle buisjes zich in op ca. 138V, veel te laag dus voor de andere buisjes om door te slaan; ook voor Z_2 ondanks het feit, dat door het ingaan van relais A , de voorspanning op de katode van Z_2 is weggevallen. Door het ingaan van relais A is tevens het hoofdrelais A' ingetrokken. We hebben hiermee dus een werkelijke stabiele stand verkregen.

We gaan nu eens zien wat er gebeurt als het bedieningscontact wordt gesloten. De spanning op C_2 daalt dan belangrijk door het parallel schakelen van R_1 en het buisje Z_1 zal doven. Relais A en A' blijven echter aangetrokken doordat de stroom door R_3 relais A ingetrokken houdt. De spanning op de spoel A die ca. 60V bedroeg zakt nu tot ca. 38V hetgeen echter nog voldoende is om het relais ingetrokken te houden. Alle buisjes zijn nu dus gedoofd.

Als het bedieningscontact nu weer geopend wordt stijgt de spanning op C_2 weer en dus op de anoden van de buisjes $Z_1 \div Z_5$. Alleen de katode van Z_2 heeft nu geen voorspanning omdat relais A ingetrokken staat, Z_1 heeft nu wel een voorspanning nl. de reeds genoemde 38V terwijl $Z_3 \div Z_5$ hun normale voorspanning van ca. 17V hebben. Z_2 zal dus doorslaan en relais B en dus ook B' zullen intrekken. Relais A blijft ook ingetrokken maar hoofdrelais A' zal afvallen omdat de voeding van A' door B' wordt onderbroken.

Op dezelfde wijze kunnen we nagaan dat als het bedieningscontact Sk nog eens wordt gesloten en verbroken dat dan relais C ook zal worden ingetrokken, daardoor C' terwijl B' zal afvallen. Evenzo de volgende keer zal relais D intrekken, daardoor D' en zal C' afvallen. In dit geval staan dus de relais A , B , C en D ingetrokken evenals D' .

Wordt nu het bedieningscontact gesloten dan zijn weer alle buisjes gedoofd en is de voorspanning voor Z_5 weggevallen. Opent het bedieningscontact nu weer dan zal Z_5 dus doorslaan en relais E zal intrekken. Door het onderste contact van dit relais wordt dan C_2 direct parallel aan de relaisspoel geschakeld zodat deze condensator zich geheel over de spoel kan ontladen. Daardoor blijft dit relais iets

langer instaan dan anders het geval geweest zou zijn. Bovendien zal het buisje Z_5 direct doven omdat de spanning hierover wordt kortgesloten.

Tenslotte zien we dat het bovenste contact van E de + 280V leiding onderbreekt waardoor de relais A , B , C en D moeten afvallen. Zodoende valt ook D' af. Is de spanning op C_2 zo laag geworden dat relais E afvalt dan hebben we op dat moment de toestand terug die in fig. 52 getekend is en waarbij alle relais dus in de ruststand staan. Dit is, zoals we in het begin van deze paragraaf hebben gezien,

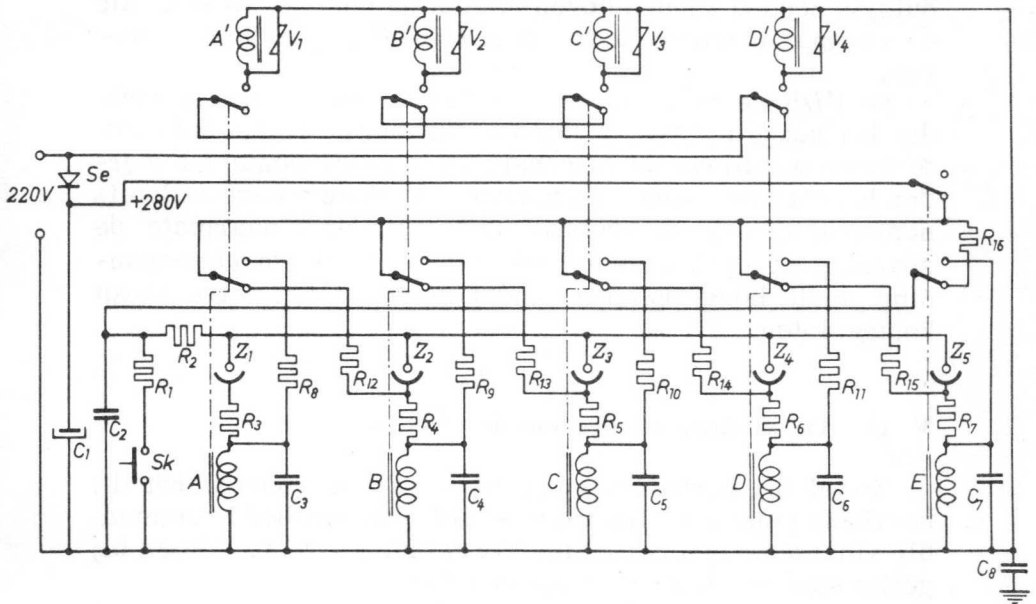


Fig. 52. Schakeling voor het laten verspringen van de cijfers van het spel.

Voor beschrijving zie tekst.

$R_1 = 10\text{ K}$

$R_2 = 10\text{ K}$

$R_3 \div R_7 = 10\text{ K}$

$R_8 \div R_{11} = 100\text{ K}$

$R_{12} \div R_{15} = 390\text{ K}$

$R_{16} = 68\text{ K (1 W)}$

$C_1 = 50\ \mu\text{F}$

$C_2 = 2\ \mu\text{F}$

$C_3 \div C_7 = 100\text{ K}$

$C_8 = 100\text{ K}$

$A \div E =$ gelijkstroomrelais met 2 wisselcontacten. Spoelweerstand 15000 Ohm.

$A' \div D' =$ 220 V wisselstroomrelais met 24 sluitcontacten

$V_1 \div V_4 =$ V. D. R. -weerstanden 480.

$Z_1 \div Z_5 =$ koude katodebuisjes type Z 50 T

$S_e =$ gelijkrichter seleniumcel

$S_k =$ bedieningscontact (= relaiscontact van het verlies en winstrelais van de robot parallel).

geen stabiele toestand en relais A zal weer intrekken met als gevolg dat ook hoofdrelais A' intrekt. Hiermee hebben we dus het gewenste resultaat, dat steeds één van de hoofdrelais instaat, verkregen. Het wisselen van de nummers gebeurt dus elke keer dat de robot gewonnen of verloren heeft, en voorkomt dus dat men twee keer op dezelfde manier zou kunnen winnen.

De condensatoren $C_3 \div C_7$ die parallel staan aan de relaisspoelen dienen ervoor om een uittrillen van de spanning op de relaisspoel te voorkomen waardoor de koude-katode buisjes zouden kunnen doven, direct na het doorslaan of als de overname stroom door resp. $R_8 \div R_{11}$ wordt ingeschakeld.

De VDR weerstanden $V_1 \div V_4$ dienen om de inductievonk, die bij het uitschakelen van deze krachtige relais ontstaat, te doven waardoor de uitschakelende relaiscontacten worden beschermd. Een eigenschap van deze weerstanden is namelijk dat de weerstand sterk afneemt naarmate de spanning er op toeneemt. Hierdoor kan de inductiespanning nooit hoog oplopen omdat deze als het ware wordt kortgesloten.

V. 11. De hoorbare reacties van de robot

Zowel bij verlies als bij winst van de robot wordt dit hoorbaar gemaakt. Bij verlies door een somber brommen, bij winst door een herhaalde overwinningskreet. Alleen bij gelijk spel wordt geen geluid gehoord.

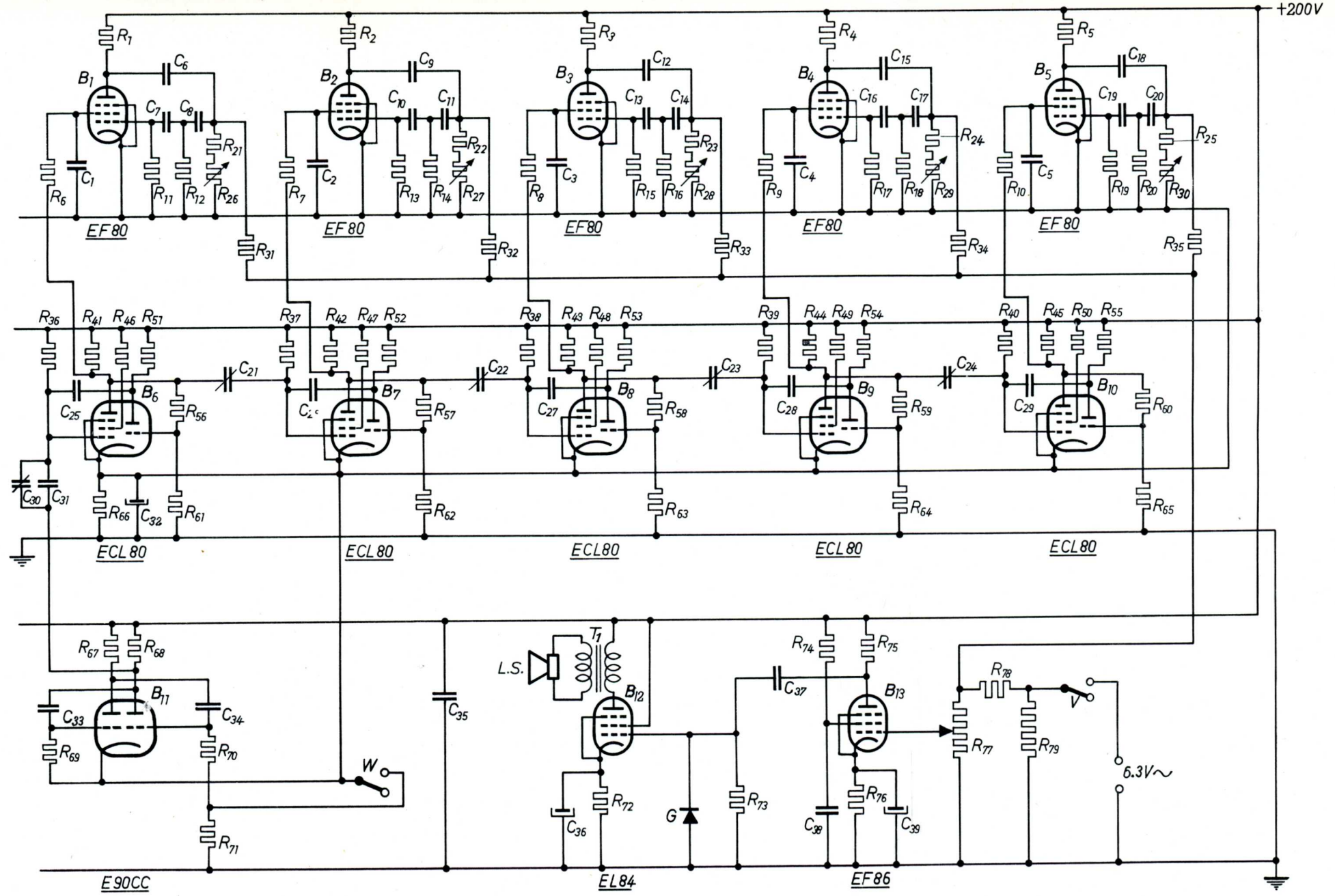
De schakeling voor het geluidsgedeelte is in fig. 53 weergegeven. De laagfrequentversterker met de buizen B_{12} en B_{13} die de ingebouwde luidspreker LS voedt heeft als enige afwijking van de normale schakeling een germaniumdiode G in het roostercircuit. Deze heeft tot taak de toegevoerde sinusvormige spanningen te vervormen zodat de klank van het geproduceerde geluid iets menselijker aan doet.

De versterker kan nu twee signalen toegevoerd krijgen. Heeft de robot een spel verloren wat dus resulteert in het

Fig. 53. Geluidsgedeelte van de robot. Bovenste rij: oscillatoren voor de overwinningsmelodie. Middelste rij: kettingschakeling van monostabiele multivibratoren voor het successievelijk inschakelen van de oscillatoren. Onderste rij links: oscillerende multivibratorschakeling voor het aanstoten van de kettingschakeling. Onderste rij rechts: de laagfrequentversterker voor het weergeven van het geluid.

- R1 ÷ R5 = 18 K
- R6 ÷ R10 = 33 K
- R11 ÷ R20 = 1 M
- R21 ÷ R25 = 560 K
- R26 ÷ R30 = potentiometers 1 M
- R31 ÷ R35 = 10 M
- R36 ÷ R38 = 680 K
- R39 = 1 M 8
- R40 = 1 M 2
- R41 ÷ R45 = 15 K (1 W)
- R46 ÷ R50 = 8 K 2
- R51 ÷ R55 = 56 K
- R56 ÷ R60 = 1 M
- R61 ÷ R65 = 820 K
- R66 = 2 x 2K2 (1 W) parallel
- R67 en R68 = 22 K (1 W)
- R69 = 560 K
- R70 = 1 M
- R71 = 100 K
- R72 = 120 Ohm (1 W)
- R73 = 1 M
- R74 = 390 K
- R75 = 100 K
- R76 = 1 K
- R77 = potentiometer 1 M
- R78 = 4 M 7
- R79 = 1 K

- C1 ÷ C5 = 22 K
- C6 ÷ C8 = 560 pF
- C9 ÷ C11 = 470 pF
- C12 ÷ C14 = 390 pF
- C15 ÷ C17 = 330 pF
- C18 ÷ C20 = 390 pF
- C21 ÷ C24 = trimmers 30 pF
- C25 ÷ C29 = 330 K
- C30 = trimmer 30 pF
- C31 = 33 pF
- C32 = 3 x 25 µF parallel
- C33 = 2 µF
- C34 = 10 K
- C35 = 220 K
- C36 = 50 µF
- C37 = 10 K
- C38 = 100 K
- C39 = 50 µF
- G = germaniumdiode 0A85
- LS = 6-W luidspreker
- T1 = luidsprekertransformator
- W = relaiscontact van winstrelais
- V = relaiscontact van verliesrelais



intrekken van het verliesrelais, dan zorgt het contact „V” van dit relais er voor dat een deel van de gloeispanning van 6,3V aan de versterker wordt toegevoerd. Dit veroorzaakt dus het ontstemd brommen bij verlies.

Heeft het apparaat echter gewonnen dan wordt het winstrelais ingetrokken en zal het contact „W” in fig. 53 worden gesloten. Hierdoor gaat de schakeling met buis B_{11} oscilleren. Deze schakeling is dan namelijk een oscillerende multivibratorschakeling zoals gemakkelijk zal worden ingezien. Daar de katode van deze buis ca. 30V positief ten opzichte van aarde is, zal de rechter helft afgeknepen zijn als het contact W geopend is. De anodespanning van de rechter buis is dan dus 200V. Bij het sluiten van contact W daalt deze spanning met de impulsamplitude en geeft dus via $C_{30} - C_{31}$ een negatieve sync impuls door. De negatieve rechthoekimpuls op de rechter anode van B_{11} duurt slechts kort (bepaald door $C_{34} R_{70}$) die van de hier op volgende positieve impuls echter ca. 2 seconden (bepaald door $C_{33} R_{69}$). Zodoende wordt dus na elke twee seconden een negatieve impuls doorgegeven aan de kettingschakeling van monostabiele multivibratorschakelingen met de buizen $B_6 \div B_{10}$. Elke twee seconden loopt dus een impuls door deze schakeling. De opgewekte impuls op de anode van het pentodegedeelte, die dus positief is, wordt toegevoerd aan het schermrooster van de oscillatorbuizen $B_1 - B_5$ die onder invloed van deze impulsen even gaan oscilleren. De duur van dit oscilleren wordt bepaald door de breedte van de toegevoerde impuls en is aangepast aan de gewenste melodie.

Deze breedte wordt uiteraard bepaald door de weerstanden $R_{36} \div R_{40}$ en de condensatoren $C_{25} \div C_{29}$. Een pentode-triode buis (ECL 80) is gekozen omdat de anodespanning van het pentodegedeelte zeer laag kan zijn terwijl toch de anodeweerstand vrij klein is. Daardoor kon nog een seriëweerstand $R_6 \div R_{10}$ in het schermrooster van de oscillatorbuizen worden opgenomen die samen met de condensatoren $C_1 \div C_5$ de steile flanken van de rechthoekimpulsen uit de geluidsversterker houden.

Daar verder de katoden van de oscillatorbuizen en van de monostabiele multivibratorbuizen dezelfde potentiaal

hebben, heeft de lage anodespanning van het pentodegedeelte in de rusttoestand het voordeel, dat de oscillatorbuisen in de rusttoestand zeker niet kunnen oscilleren. Deze laatste zijn dan ook blijvend op de ingang van de laagfrequentversterker aangesloten via de weerstanden $R_{31} \div R_{35}$. De hoogte van de opgewekte tonen wordt bepaald door de condensatoren $C_6 \div C_8$ voor de eerste oscillator. Daar de weerstandwaarde van R_{11} , R_{12} en $R_{21} - R_{26}$ echter ook een rol speelt, is de laatste variabel uitgevoerd om op de juiste waarde te kunnen instellen. Dat een dergelijke schakeling oscilleert kan men zich als volgt voorstellen.

Stel dat op de anode van de buis een groot aantal frequenties aanwezig is. Dit is weer een gerechtvaardigde veronderstelling omdat in de altijd aanwezige „ruis” alle frequenties zijn vertegenwoordigd. Nemen we nu een hoge frequentie dan is de impedantie van de condensatoren klein ten opzichte van de weerstanden, deze frequenties worden dus niet verzwakt er treedt vrijwel geen faseverschuiving op en vrijwel dezelfde spanning en fase komt op het stuurrooster. Deze geeft echter een fasedraaiing van 180° op de anode en we zien dus dat voor deze hoge frequenties een zeer sterke tegenkoppeling ontstaat en deze frequenties dus worden onderdrukt. Bij zeer lage frequenties treedt echter wel een grote faseverschuiving op terwijl bovendien een verzwakking optreedt. Wordt de faseverschuiving groter dan ca. 60° per koppellement dan is er ook weereen component die nog een tegenkoppeling veroorzaakt dus nog een extra verzwakking.

Het zal dus duidelijk zijn dat tussen deze twee uitersten een frequentie gevonden kan worden waarbij een optimale versterking of liever nog een minimale verzwakking optreedt bij een faseverschuiving van 180° in het totale koppelcircuit. Door de optredende roosterstroom met als gevolg een negatieve roosterspanning en dus een vermindering in versterking zal de frequentie zich op deze gunstigste waarde gaan instellen. Daar alle andere frequenties worden verzwakt zal de opgewekte trilling vrij goed sinusvormig zijn.

Het gebruikte systeem van in en uitschakelen van de

oscillatoren, in de volgorde bepaald door de monostabiele multivibratorschakelingen, geeft een zeer soepele en onhoorbare overgang van de ene toon in de andere. In de laagfrequent versterker worden, ook voor de hierdoor opgewekte overwinningskreet, de sinustrillingen vervormd om het geluid wat muzikaler te maken.

V. 12. De voeding

Over de voeding kunnen we kort zijn. Gezien het experimentele karakter hebben we vrijwel alle voedingsspanningen gestabiliseerd. Zo b. v. de 200V voedingsspanning voor de buizen. Verder de 90V spanning voor het netwerk van de germaniumdioden en de 60V waarop de katoden van de vensterbuizen en de gasgevulde relaisbuizen zijn aangesloten.

De 40V lijn voor de germaniumdiode circuits is verkregen uit een aftakking op de belastingweerstand van de 60V-spanningslijn.





€ 5.