

AFDELING  
GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

Rapport no 13

Juni 1952

U.D.C.: 612.172.2.-008.31  
616.12.-008.31  
621.317.761:612.172.2

EEN CARDIOTACHOMETER (POLSFREQUENTIEMETER)

A cardiometer (Pulse Rate Meter)

door

Ir D.H. Bekkering en H.J. van Dal

Bibliotheek Hoofdkantoor TNO  
1-Gravenhage

Gehele of gedeeltelijke publicatie van dit rapport is niet geoorloofd, tenzij daartoe door de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. toestemming is verleend.

Den Haag

Koningskade 12

Telefoon: 776090

RAPPORT No 13 AFDELING GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

Verbeterblad

- Pag. 9 : tweede zin wordt:  
Bij het voeden met wisselspanning van 50 Herz ontstaat,  
tengevolge van de geringe .....
- " 10 : 3) wordt:  
De versterker moet uit het net gevoed worden. Netspan-  
ningsvariaties mogen het gedrag van de versterker niet  
kunnen beïnvloeden. Geïnduceerde bromspanningen moeten  
worden geëlimineerd.  
  
een na laatste alinea wordt:  
Het dubbel T filter heeft als zuigfrequentie 50 Hz,  
zodat geïnduceerde bromspanningen effectief geëlimineerd  
worden (31), (32).
- " 14 : vijfde zin wordt:  
De bovenzijde van deze condensatoren liggen beide  
aan een gestabiliseerde voedingsspanning van +200 V.

## VOORWOORD

De aanleiding tot het vervaardigen van de in dit rapport beschreven polsfrequentiemeter was de vraag van medische zijde of het mogelijk was een eenvoudig apparaat te construeren, dat direct de polsfrequentie aangaf.

De meter werd ontwikkeld in het Fysisch Laboratorium der R.V.O.-T.N.O. te 's-Gravenhage. Een woord van dank is op zijn plaats aan de heer Directeur van het Fysisch Laboratorium voor de verleende gastvrijheid en verder aan zijn medewerkers, die steeds bereid bleken hun ervaring ter beschikking van de schrijvers te stellen.

Het ontwikkelingswerk en de bouw werden grotendeels verricht door de heer H.J. van Dal.

Met ingang van 1 Januari 1952 staakte de Afdeling Gezondheidstechniek T.N.O. haar onderzoek op het gebied van de medische physica. Dit werk werd overgedragen aan de in 1951 ingestelde Medisch-Physische Afdeling van de Gezondheidsorganisatie T.N.O. (Koningskade 12, den Haag), tot welke instelling men zich kan wenden om inlichtingen over het in dit rapport behandelde onderwerp.

INHOUD

	blz
VOORWOORD	II
SAMENVATTING	V
RESUME	V
ZUSAMMENFASSUNG	VI
SUMMARY	VII
1. INLEIDING	1
2. LITERATUUROVERZICHT	1
3. DOELSTELLING	4
4. DETECTIEMOGELIJKHEDEN VAN DE HARTSLAG	5
5. ALGEMENE OPSTELLING	
5.1 Inleiding	6
5.2 Blokschema	7
5.3 Werking	8
6. LICHTBRON EN GENERATOR	9
7. FOTOCEL EN CONTROLE CIRCUIT	9
8. VERSTERKER EN FILTER	10
9. HOOFDTRIGGERS	11
10. LAADCIRCUIT EN MECHANISCH RELAIS	12
11. ELECTRONISCH RELAIS	
11.1 Inleiding	13
11.2 Hulptriggers	13
11.3 Leadcircuit en electronisch relais	13
12. BUISVOLTMEETER	14
13. VOEDING EN STABILISATIE	15
14. SLOTWOORD	16
15. LITERATUURLIJST	17

FIGUREN:

1. Zaagtandspanningen
2. Blokschema
3. Schema fotocel en contrôlecircuit
4. Schema generator met lichtbron
5. Schematische voorstelling van de werking
6. Schema versterker met dubbel T filter
7. Electrocardiogram
8. Zaagtanden van gelijke frequentie
9. Schema hoofdtriggers
10. Schema hulptriggers
11. Schema laadcircuit en mechanisch relais
12. Schema laadcircuit en electronisch relais
13. Schema buisvoltmeter
14. Schaalverdeling
15. Schema voeding en stabilisatie
16. Opstelling eerste chassis
17. Opstelling tweede chassis
18. Frame
19. Foto eerste chassis
20. Foto tweede chassis
21. Werktekening oorklem met fotocel en lampje
22. Foto van de bevestiging van de oorklem
23. Foto van het complete toestel
24. Foto van een meetopstelling

## SAMENVATTING

Een polsfrequentiemeter wordt beschreven, waarin een milliampèremeter de grootte van de tijdsintervallen tussen elke twee opeenvolgende systolen van het hart aangeeft. De schaal heeft een bereik van 50 tot 200 slagen per minuut.

Tengevolge van de hartwerking treden variaties op in de bloeddruk van het oor, welke door middel van een lampje en een fotocel omgezet worden in zaagtandvormige spanningsvariaties. Deze spanningsvariaties worden versterkt door een drietraps balansversterker. Het versterkte signaal wordt zodanig omgezet in een blokspanning, dat de vorm en de grootte van het signaal niet van invloed zijn op de meteraanwijzing. Deze blokspanning stuurt een elektronisch relais, dat een condensator oplaadt tussen elke twee systolen. De eindspanning over deze condensator wordt overgebracht op een tweede condensator, die constant aan een buisvoltmeter is aangesloten. Een registratiemogelijkheid is aangebracht. Het toestel wordt uit het lichtnet gevoed.

Bewegingen of spierspanningen van de proefpersoon beïnvloeden de meteraanwijzing niet. Hierdoor is een eerste eis voor het doen van proeven op het gebied van de arbeidsfysiologie vervuld.

Verwacht mag worden dat het apparaat ook goede diensten kan bewijzen in andere gevallen, waarin het gewenst is de polsfrequentie continu te meten of te registreren. Als toepassingsmogelijkheden kunnen genoemd worden onderzoekingen op het gebied van de

physiologie: functioneel onderzoek van het hart, arbeid, vermoeidheid en training;  
klinisch onderzoek: arhythmie  
chirurgie: contrôle van de narcose  
pharmacotheapie: cardiaca, narcotica, sedativa  
neurologie en psychologie.

Van dit rapport is een Nederlandse en een Engelse uitgave verschenen.

## RESUME

Description d'un appareil pour la mesure de la fréquence du pouls, dans lequel un milliampèremètre indique la durée des intervalles de temps entre tous les deux systoles cardiaques consécutives. Gamme d'échelle 50 - 200 battements par minute.

Par suite de l'action du coeur ils se produisent des variations de remplissage sanguine de l'oreille, lesquelles sont transformées en variations de tension électrique en forme de dents de scie par une petite lampe et une cellule photo-électrique. Ces variations de tension sont amplifiées dans un amplificateur push-pull en trois étages. Le signal amplifié est transformé à une tension rectangulaire de telle façon que la forme et l'amplitude n'influencent pas l'indication du mètre. Cette tension rectangulaire règle un relais électronique, qui entre deux systoles charge un condensateur. La tension du condensateur est une fonction de l'intervalle de temps. Cette tension est transmise à un deuxième condensateur, couplé constamment à un voltmètre électronique. Enregistrement est possible. L'appareil est alimenté par courant alternatif, il comprend

un vérificateur. Réglages complémentaires ne sont pas nécessaires.

Mouvements ou tensions des muscles du sujet d'expérience n'influencent pas l'indication du mètre. De cette manière une première demande aux expériences dans le domaine de la physiologie du travail est contentée.

On peut s'attendre à que l'appareil rendra de bonne offices, notamment là où il est désirable de mesurer ou d'enregistrer continûment la fréquence du pouls. Comme applications on peut mentionner des recherches en domaine de la

physiologie: des recherches fonctionnels du coeur, du travail, de la fatigue et de l'entraînement;  
des observations cliniques: arrhythmie  
chirurgie: le contrôle de la narcose  
pharmacotherapeutique: cardiaca, narcotica, sedativa  
neurologie et psychologie.

Il y a paru de ce rapport une édition néerlandaise et une édition anglaise.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Es wird ein Pulsfrequenzmesser beschrieben, welcher mittels ein Milliampere-meter die Länge der Zeitintervalle zwischen jede zwei aufeinanderfolgenden Systolen des Herzens anzeigt. Die Skala hat ein Bereich von 50 bis 200 Schlägen pro Minute.

Infolge der Wirkung des Herzens treten Änderungen in der Durchblutung des Ohrens auf, welche mittels ein Lämpchen und eine Photozelle in sägezahnförmige Spannungsänderungen umgewandelt werden. Diese Spannungsänderungen werden verstärkt in einem dreistufigen Gegentaktverstärker. Die verstärkte Signale werden in solcher Weise umgesetzt in rechteckigen Spannungen, dass die Form und die Grösse der Signalen keinen Einfluss haben auf die Messeranweisung und dann zugeführt an ein elektronisches Relais, welches einen Kondensator zwischen jeden zwei Systolen ladet. Die Spannung des Kondensators ist also eine Funktion des Zeitintervalles zwischen zwei aufeinanderfolgenden Systolen. Diese Spannung wird umgeschaltet auf einen zweiten Kondensator, dauernd angeschlossen an einem Röhrenspannungsmesser. Eine Registrationsmöglichkeit ist vorgesehen. Der Apparat wird aus dem Netze gespeist. Ein Eichungskreis ist eingebaut, weiteres Einstellen ist nicht nötig.

Die Anweisung wird nicht zerstört durch Bewegungen oder Muskelspannungen der Versuchsperson. Dies ist eine erste Bedingung für Versuche auf dem Gebiete der Arbeitsphysiologie.

Es darf angenommen werden, dass der Apparat auch gute Dienste erweisen wird in Fällen wo die fortlaufenden Messung und Registrierung der Pulsfrequenz erwünscht ist.

Als Anwendungsgebiete können genannt werden Untersuchungen auf dem Gebiete der

Physiologie: funktionale Untersuchung des Herzens, Arbeit, Ermüdung und Training;  
klinische Untersuchungen: Arrhythmus  
Chirurgie: Kontrolle der Narkose  
Pharmakotherapie: Kardiaka, Narkotika, Sedativa  
Neurologie und Psychologie.

Dieser Bericht ist herausgegeben in niederländischer Sprache und in englischer Sprache.

#### SUMMARY

A pulse rate meter is described in which a milliammeter indicates the time intervals between all consecutive systoles of the heart. The scale is calibrated in beats per minute, ranging from 50 to 200.

Because of the action of the heart changes occur in the blood-content of the ear. These changes are transduced by means of a small electric bulb and a photocell into saw tooth shaped potential variations, being amplified in a three stage push pull amplifier. The amplified signal is changed into a square wave, so that the shape and the amplitude of the signal do not affect the meter reading. This square wave controls an electronic relay, which allows a condenser to be charged between every two systoles, making the voltage over this condenser a function of the time interval. This voltage is switched on to another condenser permanently connected to a vacuum tube volt meter. Registration facilities are provided. A checking circuit is included. The apparatus is mains operated.

No ~~errors~~ due to movements or muscular strains of the subject are encountered. One of the first requirements of physiological investigations in cardiae changes during exercise and emotion is thus fulfilled.

It is expected that the apparatus will render good services in other cases in which a continuous indication and recording of the pulse rate is wanted. As applications may be mentioned investigations on the field of

physiology: functional examination of the heart, exercise, fatigue and training;  
                  clinical examination: arrhythmia  
surgery:          controlling the narcosis  
pharmacotherapeutics: cardiaca, narcotica, sedativa  
neurology and psychology.

A Dutch and an English version of this report was published.





## 1. INLEIDING

Bij vele onderzoeken, o.a. bij de arbeidsfysiologie en in klinische gevallen, is het gewenst de polsfrequentie op een bepaald tijdstip of de veranderingen in de polsfrequentie gedurende een bepaalde tijd te kennen. Gewoonlijk gebeurt dit door de pols te "voelen" en het aantal polsslagen gedurende een zekere tijd te bepalen, waarna omrekening in aantal slagen per minuut volgt.

Op deze wijze wordt een gemiddelde bepaald over de tijd, waarin het aantal polsslagen werd opgenomen. Deze methode, die goed bruikbaar is voor de incidentele bepaling van de polsfrequentie van een stilliggende patient, is bezwaarlijk toe te passen bij een proefpersoon in beweging, in het bijzonder wanneer men geïnteresseerd is in de wijze waarop de polsfrequentie tijdens het experiment verandert.

Het doel van het onderzoek was een toestel te vervaardigen, waardoor het in de praktijk van vele arbeidsfysiologische proeven bezwaarlijk toe te passen systeem van "de pols voelen" overbodig werd. Daar de directe toepassing lag in een experiment waarbij gedurende ca 1 uur de polsfrequentie geregistreerd moest worden, is niet in de eerste plaats aandacht besteed aan het weergeven van de verschillen in duur van twee opeenvolgende hartcycli. Een modificatie van het systeem waarbij deze verschillen beter tot hun recht komen is mogelijk en deze uitvoering is als tussenstadium tijdens het onderzoek verwezenlijkt.

## 2. LITERATUUROVERZICHT

De polsslag is wel een der oudste hulpmiddelen van de medicus voor het stellen van een diagnose. Tot voor 150 jaar overheerste de kwalitatieve bepaling, terwijl weinig of geen aandacht werd geschonken aan de kwantitatieve bepaling van de hartslag.

Galilei (1) (1564-1642) construeerde in 1620 de eerste polsfrequentiemeter, gebruik makende van het feit, dat de slingertijd evenredig met de lengte van de slinger is. Een slinger werd zo ver ingekort, tot de slingertijd overeenkwam met de polsslag van de patient. Op een schaalverdeling kon dan de frequentie afgelezen worden.

In het begin der 18e eeuw publiceerde Sir John Floyer een boek "Physician's Pulse Watch", waarin de polsfrequentie zorgvuldig werd onderzocht.

Ongeveer volgens hetzelfde principe als Galilei construeerde Kraus, Goldschmidt en Seelig (2, 3) een z.g. polsresonator. De beweging van de Arteria Radialis maakt door middel van een hefboompje een electrisch contact. De stroomstootjes, die hierdoor ontstaan, worden naar een electromagneet gevoerd, die omgeven is door 24 slingers met verschillende eigenfrequenties. Die slinger, waarvan de eigenfrequentie de polsfrequentie het dichtst benadert, zal de grootste uitslag vertonen. Bij voldoende uitwijking van een slinger wordt een electrisch contact gesloten en de hierbij ontstane electrische stroom schrijft op speciaal geprepareerd papier. Deze polsresonator gaf echter geen bevredigend resultaat. Het apparaat geeft slechts de gemiddelde waarde van 5 tot 10 intervallen, terwijl het per minuut slechts 6 tot 8 polsvariatiën kan aangeven. Bij snelle en grote variatiën blijft de polsresonator geheel in gebreke.

A. Fleisch (4, 5, 6) verving eerst het hefboomstelsel van de polsresonator door een kwikzuiltje, dat met een membraan tegen de Arteria Radialis rust. Later ontwikkelde hij zelf een polsfrequentie-meter. Hierbij wordt tijdens het te registreren interval een schrijfstift door een motor langs een beroete trommel omhoog getrokken. Bij het begin van de volgende systole werd door een elektrisch contact de koppeling tussen motor en schrijfstift even verbroken en door middel van een veer de schrijfstift naar beneden getrokken, om dan weer opnieuw door de motor opgetrokken te worden. De lengte van de geschreven lijn (plus nog een bepaalde vaste afstand) geeft het tijdsinterval aan. Dit tijdsinterval is omgekeerd evenredig met de frequentie.

Een nadeel van deze beide apparaten is, dat de onderarm van de proefpersoon volkomen onbeweeglijk vastgeklemd moet worden voor het aanbrengen van het polsdrukkussentje.

Fürstenberg en Hoffstaedt (7) publiceerden een vergelijkend onderzoek van de polsresonator en de electrocardiograaf.

Goldscheider (8) onderzocht de regelmatigheid van de pols, o.m. met behulp van de polsresonator. Bij gezonde personen vinden in rust de verschillen tussen twee opeenvolgende slagen tussen 0,008 en 0,109 sec. liggen. Na spierarbeid worden deze onregelmatigheden groter, nl. 0,035 tot 0,317 sec. Bij de ziekte van Basedow vond hij een opvallend gelijkmatige polsslagen (z.g. Pulsstarre). Een artificiële Pulsstarre kan o.a. verkregen worden door narcose en door alcohol intoxicatie.

E.P. Boas (9) gebruikt de R-top van het electrocardiogram om, na in een 4 traps-batterijversterker versterkt te zijn, een relais te bedienen. De schrijfstift van het relais schrijft een rechte lijn op een lopende papierband en wijkt enkele millimeters uit bij het inklappen van het relais. Het aantal topjes kan dan geteld worden.

In 1935 publiceerden Whitehorn, Kaufman en Thomas (10) een verslag van diverse proefnemingen, waaruit bleek dat de polsfrequentie bij diverse emotionele verstoringen sterk varieert.

Schwarzschild en Sheleanyak (20) ontwikkelden in 1936 een polsteller. De R-top van het electrocardiogram vermindert, na in een balansversterker versterkt te zijn, de negatieve voorspanning van een gasgevulde triode. De hierdoor ontstane stroomstoten worden door een electromagnetische teller geteld. Met behulp van een synchroonmotor wordt elke minuut een fotografische opname gemaakt van de tellerstand en onmiddellijk daarop een relais bekrachtigd, dat de teller weer op zijn nulstand brengt.

In 1937 beschreef Franklin Henry (11) een polsteller, waarin de R-top van het electrocardiogram na voldoende versterking een telefoonrelais stuurt. Door de versterker af te stemmen op een resonatiefrequentie van 20 Hz. kon een hoge versterkingsfactor  $10^6$  bereikt worden bij een laag ruisniveau, nl.  $4 \mu V$ . De actieve elektrode werd op de borst geplaatst, de andere elektrode in de mond. Volgens Henry laat het apparaat toe, dat de proefpersoon eenvoudige oefeningen doet. Grotere spierspanningen van de thorax moeten o.i. echter foutieve tellingen geven.

Ongeveer een jaar later verbeterde Henry (13) zijn polsteller. Inplaats van een telsysteem aan te drijven, schakelt het relais nu een condensator beurtelings aan een constante spanning en aan

een ontlaadcircuit. De tijdconstante van dit ontlaadcircuit is zodanig, dat de ontlaadfrequentie uitgefilterd wordt en zo de gemiddelde waarde van de spanning kan worden bepaald tot een frequentie van 2 slagen per seconde. Voor de lagere frequenties kan de tijdconstante echter niet groter worden gemaakt, daar dan in de hogere frequentiegebieden integratie ontstaat. De te meten spanning wordt naar een Wheatstonebrug, gevormd door twee electronenbuizen en twee weerstanden, gevoerd. De meter in de brugtak kan worden gekoppeld op de gemiddelde waarde van deze spanning. Voeren we nu een constante lage frequentie toe, dan zal de wijzer niet stil staan, doch telkens tot een bepaald punt van de schaal uitslaan en dan weer terug zakken. Voor een nauwkeurige aflezing is dit erg bezwaarlijk.

In 1938 beschreef A. Djourno (12) een eenvoudige mechanische polsteller, waarbij de beweging van de Arteria Radialis een relais opent en sluit. Dit relais bedient een hefdraaischakelaar, zoals in automatische telefooncentrales wordt gebruikt.

M. Tiitso (14) heeft bij diverse dierproeven de Fleisch polschrijver gebruikt (4) en vergeleken met een bloeddrukmeter en het electrocardiogram.

Ook Laurence, Morehouse en Tuttle (15) beschreven een polsteller, waarbij de R-top van het electrocardiogram wordt benut om na versterking een relais te sturen. De elektroden worden op de borst in de onmiddellijke nabijheid van het hart geplaatst. Goed contact en lage overgangswaarden zijn hier van groot belang. De tweede trap van de versterker is op ongeveer 30 Hz. afgestemd. De volumeregelaar moet voor elk geval opnieuw op de juiste waarde worden ingesteld om onjuiste telling te voorkomen. Alleen de R-top mag het relais doen inklinken. Bij te grote versterking kan bijv. de T-top een extra puls veroorzaken en wordt een te hoge frequentie aangegeven. Bij te kleine versterking kunnen polsslagen overgeslagen worden (zie fig. 7).

Meyer en Seidel (17) stelden in 1941 een formule op om de hartzwakte uit te drukken in secondenvolume, polsfrequentie en veneuze druk.

Dirk Albers (19) onderzocht vijftig personen met hartdefect. Het verband tussen arbeidsprestatie, polsfrequentie en hersteltijd werd voor diverse hartgebreken onderzocht. Waarschijnlijk tengevolge van het te kleine aantal personen konden geen belangrijke conclusies worden getrokken. Gesuggereerd werd een en ander ook te vergelijken met het electrocardiogram en de opname van zuurstof en de afgifte van koolzuur.

E.A. Müller (18) onderzocht het verband tussen polsfrequentie en training. De prestatievermeerdering na training is een gevolg van verbeterde uitwisselingsmogelijkheden van het bloed in de spierweefsels. Er is geen sprake van training van het hart, daar na training van een bepaalde groep spieren, deze verbetering niet geldt voor een andere groep spieren.

K. Matthes (16) beschreef een door hem gebruikte reflectiemeter. Een selenium fotocel is in het midden doorboord. Achter de fotocel is een lichtbron geplaatst. De straal wordt door het te onderzoeken oppervlak gereflecteerd en de intensiteitsvariatië op de fotocel worden door een lichtvlek galvanometer weergegeven. Schrijver past deze methode toe met infrarood licht voor pupilreflexen. Hij suggereert de toepassing van deze methode voor het meten van de polsfrequentie op de Jugularis Vene. Een bezwaar hiervoor is o.i., dat dan het registratie-apparaat onbeweeglijk met de hals van de proefpersoon verbonden moet zijn.

In 1942 verbeterden Schwarzschild en Shelesnyak (20) hun polsteller. In plaats van de electromagnetische teller wordt nu een condensator gebruikt, die door een gasgevulde triode na elke hartslag wordt ontladen. Deze ontlading hangt echter te veel af van de vorm en de grootte van het signaal en wordt daarom niet rechtstreeks gemeten, maar gebruikt om een tweede gastriode te sturen. Deze tweede ontlading stroomt door een meter, waaraan een condensator parallel geschakeld is. Ook hierbij loopt de meter na elke impuls terug, zodat een nauwkeurige aflezing niet wel mogelijk is.

Verschillende soorten arbeid werden door E.A. Müller (21) onderzocht op hun vermoeidheidsfactor. Als vermoeidheidsfactor stelde hij de verhouding polsfrequentie-zuurstofopname. De volgende reeks vertoont een stijgende vermoeidheidsfactor: fietsen, bergbeklimmen, gewichtheffen, draaien van een handwiel, melken, maaien.

Wood, Lambert, Baldes en Code (22) beschreven de invloed van versnellingen op arteriele druk, polssnelheid, vaatvulling, ademhaling en bewustzijn.

In de polsfrequentiemeter van Sturm en Wood (23) wordt weer de R-top van het electrocardiogram gebruikt. Door de versterker op 15 Hz af te stemmen en voor ieder geval de meest gunstige plaatsing van de elektroden proefondervindelijk te bepalen, wordt getracht foutieve telling te voorkomen. Daar de laadcondensator constant aan de buisvoltmeter is aangesloten, loopt de meter bij iedere ontlading naar het nulpunt terug. Verdere bezwaren zijn nog de vele instelmogelijkheden en de batterijvoeding.

Suckling (24) bracht de beweging van de Arteria Radialis over op een piëzo-electrisch kristal. Door middel van een electromagnetisch relais geeft een condensator, die tussen elke twee systolen opgeladen wordt, zijn eindspanning over aan een RC-combinatie, waarachter een buisvoltmeter is geschakeld. Op deze wijze geeft de meter alleen gemiddelde waarden aan en kunnen slechts langzame variaties in de polsfrequentie gereproduceerd worden. Spierbewegingen in de omgeving van de polsmanchette veroorzaken artificiële extrasystolen.

Müller en Reeh (25) ontwikkelden een polsteller, waarbij het signaal langs optische weg wordt afgenomen. Een seleniumfotocel en een lampje worden op het oor geklemd. De spanningsvariaties aan de fotocel worden versterkt en sturen een gastriode. In de anodeleiding van deze gastriode is een telwerk opgenomen. De stand van de teller wordt iedere minuut gefotografeerd. Door van ieder getal het voorgaande af te trekken, kan men de gemiddelde frequentie over een minuut bepalen.

De polsfrequentiemeter van Boyd en Eadie (38) gebruikt weer de actiestromen van het hart. Deze meter is speciaal geconstrueerd voor farmacologische dierexperimenten. Achter de versterker volgt een frequentie selectieve trap afgestemd op 15 Hz. Een nadeel is ook hier de instelling van het apparaat bij elk experiment.

### 3. DOELSTELLING

Wanneer men zich nu ten doel stelt een toestel te construeren, dat van een proefpersoon, die arbeid verricht, de polsfrequentie aangeeft, of gedurende enige tijd registreert, dan moet geconcludeerd worden, dat aan de hierboven in het kort beschreven polsfrequentie-

meters voor de toepassing in de praktijk bezwaren kleven. Een aantal zijn nl. geen polsfrequentiemeters, maar polstellers((9), (20), (11), (12), (15), (25)). Andere zijn niet bruikbaar bij proefpersonen, die spierarbeid verrichten ((2), (4, 6), (13), (15), (16), (20), (23), (24)). Bovendien blijkt aan enkele systemen van frequentiemeting het bezwaar te kleven, dat de wijzer van de indicator tussen twee systolen terug loopt, waardoor de aflezing bemoeilijkt wordt ((20), (23), (24)). Verder moet er naar gestreefd worden, dat de onderzoeker zo min mogelijk aandacht hoeft te besteden aan de apparatuur en de instelling daarvan. De polsfrequentiemeter van Sturm en Wood (23) bijv., is in de praktijk moeilijk aanvaardbaar, daar hier van geval tot geval een nieuwe instelling is vereist. Zodoende werd besloten een polsfrequentiemeter te construeren, die:

1. de polsfrequentie als meteraanwijzing geeft;
2. het mogelijk maakt de polsfrequentie op een filmband te registreren;
3. bruikbaar is bij een proefpersoon in beweging;
4. een minimum aan aandacht van de experimentator vergt.

#### 4. DETECTIEMOGELIJKHEDEN VAN DE HARTSLAG

Een polsfrequentiemeter zal in het algemeen de tijd, verlopend tussen twee opeenvolgende systolen, meten, welke tijd het omgekeerde is van de frequentie, die men wil kennen.

Deze herhaalde tijdsmeting kan het beste langs elektrische weg geschieden. Het is dus noodzakelijk, dat het toestel voorzien is van een opnemer, die een van de wijzen, waarop de hartslag zich manifesteert, detecteert en omzet in een of andere elektrische grootheid, welke voor verdere verwerking geschikt is. Als uitingen van de hartslag, die voor detectie in aanmerking komen, kunnen genoemd worden:

1. de actie potentialen van het hart;
2. de harttonen;
3. de variaties in vullingsgraad van de bloedvaten.

ad 1. Alhoewel de hartactiepotentialen de aantrekkelijkheid bezitten reeds elektrische verschijnselen te zijn, zodat omzetting overbodig is, wijst de vorm van het electrocardiogram uit, dat het moeilijk zal zijn een meter te construeren, die aan de hartactiepotentialen de frequentie meet. Het apparaat zou dan niet alleen moeten kunnen discrimineren tussen de R-top en de T-top (eventueel de P-top) van het electrocardiogram, maar ook tussen de actiepotentialen van het hart en die van de andere spieren.

ad 2. Wil men bij de harttonen aansluiten, dan zal men een opnemer moeten gebruiken, die discrimineert tussen de puntstoten en ieder der harttonen. Een dergelijke opnemer zal ongevoelig moeten zijn voor ademhalingsgeruis en geluiden, die in de proefruimte ontstaan. Het fixeren van een microfoon op de borst van een proefpersoon in beweging zal moeilijk zijn.

ad 3. De variaties in vullingsgraad van de bloedvaten kunnen plethysmografisch en fotoelectrisch aangetoond worden. Bij volumemetingen is

het toch wel een vereiste, dat het lichaamsdeel waaraan gemeten wordt, zich in rust bevindt. Het meten van de vullingsgraad van bloedvaten langs fotoelectrische weg biedt voor het bepalen van de polsfrequentie bij een proefpersoon in beweging de beste perspectieven. Uit de literatuur zijn oxymeters, polstellers en circulatietijdmeters bekend, waarbij het signaal afgenomen wordt aan de oorlel. Het oor leent zich uitstekend voor lichtdoorstraling, terwijl tengevolge van een minimum aan spierweefsel in het oor, geen storingen te verwachten zijn door spierbewegingen. Om deze redenen werd deze wijze van detecteren van de hartslag nador onderzocht op de mogelijkheid om als uitgangspunt van frequentiemeting te dienen. Het bleek van belang de fotocel en de lichtbron goed aan het oor te fixeren, zodat onderlinge verschuivingen voorkomen worden. Hiertoe is een speciaal hulpstukje van perspex tussen de lichtbron en de oorschelp gebracht. Met dit hulpstukje en een stalen veer worden de lichtbron en de fotocel voldoende vast op het oor geklemd, zodat verschuiving niet meer mogelijk is, terwijl de bloedcirculatie in het belichte gedeelte van de oorschelp niet belemmerd wordt. Bovendien vrijwaart dit hulpstukje het oor voor overmatige verwarming. Het pulseren van de bloedstroom in het oor komt aan de belastingsweerstand van de fotocel tot uiting als een zaagtandvormige spanning. Figuur 1 geeft enkele voorbeelden van de spanning aan de belastingsweerstand van de fotocel als functie van de tijd. De krommen zijn afkomstig van verschillende personen en zijn met gelijke gevoeligheid van de registratie-appatuur opgenomen. Uit de figuur blijkt, dat vorm en amplitude van de krommen bij verschillende personen uiteen loopt. In pathologische gevallen zijn nog grotere afwijkingen te verwachten dan hier getoond. Toch komt telkens het zaagtandvormige karakter van de spanning goed tot uiting. Daar een zaagtandspanning zich uitstekend leent als uitgangspunt voor electronische frequentiemeting werd deze methode van detectie van de hartslag gekozen.

## 5. ALGEMENE OPSTELLING

### 5.1 Inleiding

Als normale polsfrequentie van de mens in rust wordt algemeen 70 slagen per minuut aangenomen. Onder verschillende omstandigheden, zoals het gebruiken van voedsel, het verrichten van arbeid, of tengevolge van emoties kan de polsfrequentie oplopen. De polsfrequentie daalt, bijv. tijdens slaap of narcose. Daar de uitgevoerde polsfrequentiemeter speciaal bedoeld is voor proeven op het gebied van de arbeidsfysiologie, is als frequentiebereik gekozen dat van 50 tot 200 slagen per minuut. Dit frequentiebereik kan, indien de omstandigheden dit wenselijk maken, op eenvoudige wijze veranderd worden.

Er zijn verschillende mogelijkheden om frequenties langs electronische weg te meten. Het meten van zeer lage frequenties kan indirect geschieden met behulp van een condensator, die periodiek geladen en ontladen wordt. De polsfrequentie is de reciproke waarde van de grootte van de tijdsinterval tussen twee

opeenvolgende systolen. Wordt een condensator gedurende dit tijdsinterval op een bepaalde wijze geladen, dan zal de spanning op de condensator, aan het eind van het interval, een maat zijn voor de lengte hiervan. Wanneer we dit laden herhaald uitvoeren, dus steeds bij het optreden van een systole de condensator snel ontladen en daarna weer laden, zal de spanning op de condensator onmiddellijk vóór het ontladen: de eindspanning, een functie zijn van de polsfrequentie. Indien het gelukt deze eindspanning als meteruitslag waarneembaar te maken, kunnen we deze uitslag direct ijken in slagen per minuut en is de polsfrequentiemeter in principe verwezenlijkt.

## 5.2 Blokschema

Aan de hand van een blokschema zal de algemene opbouw en werking van het apparaat besproken worden. Fig. 2 geeft het blokschema. Aan de ingang bevindt zich de fotocel. Het signaal door de fotocel geleverd, wordt versterkt. De versterker heeft een frequentieband van  $\frac{1}{8}$  - 30 Hz. terwijl bovendien de frequentie van 50 Hz extra verzwakt wordt.

Zoals wij reeds gezien hebben kan de vorm en de amplitude van de zaagtandspanning van persoon tot persoon variëren. In figuur 8 zijn twee zaagtandspanningen getekend, die dezelfde frequentie hebben, maar in vorm en amplitude verschillen. Men kan zich nu voorstellen, dat men deze spanningen benut om een relais te sturen. De gang van zaken zou dus kunnen zijn, dat wanneer de amplitude van het signaal een bepaalde waarde heeft bereikt, bijv. het niveau e in figuur 8, het relais inslaat en een contact sluit, om wanneer de amplitude weer beneden de waarde daalt, het contact weer te verbreken. Men zou nu via dit contact een condensator kunnen laden. Maar uit fig. 8 blijkt, dat dan de mogelijkheid bestaat, dat bij een zelfde frequentie de laadtijd verschillend is. (Vergelijk  $t_1$  en  $t_2$ ), zodat er in dit geval geen eenduidig verband bestaat tussen de frequentie van het signaal en de eindspanning op de condensator. Daarom bleek het nodig tussen de versterker en het relais een schakeling op te nemen (voorgesteld door het blok "triggers" in het blokdiagram), die van het zaagtandvormig signaal impulsen afleidt, waarvan de onderlinge afstand een maat is voor de frequentie van het signaal, ongeacht de vorm of amplitude van de zaagtand. Deze impulsen worden gevormd op het tijdstip, dat de spanning weer tot het niveau e in fig. 8 is gedaald.

Een condensator wordt via een relaissysteem met behulp van impulsen periodiek geladen en ontladen, deze condensator noemen wij de laadcondensator. Aan het einde van de laadperiode even vóór het ontladen, wordt de spanning van de laadcondensator overgebracht op een kleine condensator: de meetcondensator. Terwijl de spanning op de laadcondensator tussen twee systolen, vanaf een bepaalde beginwaarde aangroeit tot de eindwaarde behorende bij het tijdsinterval tussen deze systolen en dan snel afvalt, blijft de spanning op de meetcondensator - mits wij deze niet belasten - constant gedurende dit tijdsinterval en gelijk aan de voorafgaande eindspanning op de laadcondensator. Indien de frequentie niet verandert, bereikt de laadcondensator steeds dezelfde eindspanning; de spanning op de meetcondensator blijft in dit geval constant. Hiermee is de mogelijkheid geschapen de frequentie als directe meteraanwijzing waarneembaar te maken. Het meten van de spanning op de meetcondensator gebeurt door een buisvoltmeter



met zeer hoge ingangsweerstand, zodat de meetcondensator niet door de buisvoltmeter belast wordt. De frequentie wordt uiteindelijk aangegeven door een draaispoelmeter. Met deze meter is een registrerende meter in serie te schakelen.

### 5.3 Werking

Aan de hand van fig. 5 zullen de verschillende omzettingen, die het signaal van de fotocel ondergaat nader toegelicht worden. Fig. 5a geeft schematisch de uitgangsspanning van de fotocel voor twee verschillende frequenties. In fig. 5b is hetzelfde signaal voorgesteld na versterking. Dit signaal dat in fig. 5c met een dunne lijn is aangegeven, is de ingangsspanning van een bistabiele trigger. Een bistabiele trigger is een circuit met twee stabiele toestanden. Met deze twee stabiele toestanden komen twee uitgangsspanningen overeen. Wanneer de ingangsspanning van een dergelijk circuit boven een bepaald niveau stijgt, springt de uitgangsspanning van zijn laagste op zijn hoogste waarde. Daalt de ingangsspanning beneden dit niveau, dan geschiedt aan de uitgang het omgekeerde: de uitgangsspanning springt op zijn laagste waarde terug. Zo is dus de zaagtandspanning omgezet in een blokspanning. De breedte van deze blokspanning is echter nog geen maat voor de frequentie, daar deze breedte nog afhankelijk is van de vorm en amplitude van de zaagtand. Vergelijk ook fig. 8. De afstand tussen twee overeenkomstige zijden van de blokken is echter wel een maat voor de frequentie. Zonder meer valt niet te discrimineren tussen de stijgende en de dalende zijden van het blok. Daarom wordt de blokspanning eerst gedifferentieerd (fig. 5d), zodat positieve impulsen ontstaan in plaats van de stijgende zijden van het blok en negatieve impulsen in plaats van de dalende zijden. Door nu hetzij de positieven, hetzij de negatieve impulsen af te snijden, is de gewenste discriminatie verkregen.

Daar zoals we verderop zullen zien, de volgende trigger op negatieve impulsen reageert, zijn hier de positieve impulsen afgesneden. Het resultaat is in fig. 5e aangegeven, waarbij er de aandacht op gevestigd wordt, dat de afstand tussen deze impulsen een maat vormt voor de frequentie van het oorspronkelijk signaal. Deze impulsen markeren het begin en het einde van elk interval.

Voor het ontladen van de condensator is enige tijd nodig, die in mindering van de laadtijd komt. Het is voor een eenduidige frequentiemeting noodzakelijk, dat deze ontlaadtijd constant is. De negatieve impulsen uit fig. 5e kunnen nu met behulp van een monostabiele trigger omgezet worden in blokken van constante breedte. Een monostabiele trigger is een circuit met een stabiele toestand. Wanneer aan de ingang van een dergelijk circuit een negatieve impuls wordt toegevoerd, stijgt de uitgangsspanning van zijn stabiele lage waarde tot een bepaalde hogere waarde, om na verloop van een tijd, afhankelijk van de tijdconstante van de trigger, weer op zijn stabiele lage waarde terug te vallen. Op deze wijze zijn de negatieve impulsen omgezet in blokken van constante breedte (fig. 5f). Deze blokken worden gebruikt om de condensator aan het einde van het interval te ontladen (fig. 5g).

## 6. LICHTBRON EN GENERATOR

Als lichtbron werd een normaal gloeilampje (6 Volt; 0,35 Amp.) gebruikt. Bij het voeden met wisselspanning van 50 Herz ontstaan, tengevolge van de geringe warmtecapaciteit van het gloeidraadje een 100 Hz component in het uitgezonden licht. Het signaal van de belastingweerstand van de fotocel zal dan ook een 100 Hz component bevatten. Daar deze stoorspanning enkele malen groter is dan het gewenste signaal, is het niet op eenvoudige wijze mogelijk deze stoorfrequentie voldoende uit te filteren zonder het gewenste signaal aanmerkelijk te verzwakken. Hoewel het in principe mogelijk is de voedingsspanning gelijk te richten en rigoureuus af te vlakken, is het doelmatiger het lampje te voeden met een hoogfrequente wisselspanning. Hiervoor werd een spanning met een frequentie van ongeveer 100kHz gekozen. De warmtecapaciteit van de gloeidraad is bij 100 kHz voldoende groot, zodat in het uitgezonden licht geen 200 kHz component te verwachten is. Bovendien ligt 200 kHz zover buiten de frequentieband van het signaal, dat filteren eenvoudig is.

Terwijl overmatige verwarming van het oor voorkomen wordt door tussenvoeging van een hulpstukje van perspex (zie fig. 21) is bovendien de ballon van het lampje gemetalliseerd, wat de warmteafvoer naar de fitting bevordert en de directe straling op het oor tot een minimum reduceert. In deze metaallaag is een venstertje uitgespaard, zodanig dat de uittredende lichtbundel op de fotocel valt.

Als generatorschakeling werd een modificatie van de Meissner schakeling gekozen. Fig. 4 geeft het schema. Door het inductief terugkoppelen van de anodekring van de EL 41 op de roosterkring wordt de oscillatie onderhouden. Een filter bestaande uit een zelfinductie van 200 mH en een condensator van 0,1  $\mu$ F, dient om de hoogfrequente trilling buiten de gemeenschappelijke voeding te houden. Om het rendement op te voeren, is de anodekring afgestemd. De drie spoeltjes - in honingraatwikkeling uitgevoerd - zijn gezamenlijk op een pertinax koker gewikkeld. In de koker is een verschuifbare ijzerpoederkern aangebracht. Het aan het lampje afgegeven vermogen is door de stand van deze kern te regelen. De anodespanning van de generator wordt aan de gestabiliseerde gemeenschappelijke voeding ontnomen. Hierbij bleek de stabiliteit van de generator zodanig te zijn, dat de lichtintensiteit van het lampje als constant beschouwd kon worden.

## 7. FOTOCCEL EN CONTROLE CIRCUIT

Als fotocel werd gekozen een Philips fotocel, type 3530, een gasgevulde cel met caesium kathode. Deze cel biedt een voor ons doel voldoende gevoeligheid voor rood licht. Afmetingen en gewicht werden gereduceerd door de cel te ontdoen van de sockel. De benodigde voedingsspanning (90 V.) wordt via een laagdoorlatend filter en een potentiometerschakeling afgenomen van de gestabiliseerde gemeenschappelijke voeding (zie fig. 3). Parallel aan de belastingweerstand van 3 M $\Omega$  is een condensator van 15000 pF geschakeld om de versterker te vrijwaren van de hoogfrequente voedingsspanning van het gloeilampje.

Met behulp van een schakelaar kan de fotocel, dan wel het controlecircuit aan de ingang van de versterker aangesloten worden. Dit circuit dient om de juiste werking van het apparaat te verifiëren. Men kan naar wens een blokspanning met een frequentie van 80 of 160 impulsen per minuut naar de versterker voeren. Deze

frequenties zijn zo gekozen, omdat zij redelijk verdeeld liggen in het gekozen frequentiebereik van 50 tot 200 slagen per minuut. Het contrôle-circuit bestaat uit een zelfaanlopende synchronomotor, die een asje aandrijft, dat 80 omwentelingen per minuut maakt. Op dit asje zijn twee nokken schijfjes aangebracht, respectievelijk met één en met twee nokjes. Deze nokkenschijfjes bedienen ieder een contact, dat periodiek een spanning aan de ingang van de versterker legt. Deze spanning wordt via een potentiometerschakeling van de gestabiliseerde gemeenschappelijke voeding afgenomen.

## 8. VERSTERKER EN FILTER

Aan de versterker worden de volgende eisen gesteld.

- 1) De frequentie-karakteristiek moet zodanig zijn, dat zaagtandvormige spanningen met een grondfrequentie van  $\frac{1}{2}$  tot 3 Hz voldoende versterkt worden.
- 2) Spanningen van de grootteorde van een half millivolt moeten versterkt worden tot ongeveer 40 Volt. De versterkingsfactor moet dus circa 80.000 bedragen.
- 3) De versterker moet uit het net gevoed worden. Netspanningsvariabels mogen het gedrag van de versterker niet kunnen beïnvloeden. Geïnduceerde bronspanningen moeten worden geëlimineerd.

Voor het versterken van deze extreem lage frequenties biedt de balansversterker vele voordelen (27), (28). O.a. vervalt de eis tot ont koppeling van de kathode en schermroosterspanningen en is dit type versterker minder gevoelig voor voedingsspanningsvariaties.

De versterker (zie fig. 5) bestaat uit drie balanstrappen en is afgesloten met een dubbel T filter.

De eerste trap bestaat uit een dubbel triode **ECC 40** en is als kathode volger geschakeld (29) (30), waardoor bereikt wordt, dat de beide stuurroosters van de volgende trap (tweemaal **EF 40**) gelijke, doch tegengestelde wisselspanningen ontvangen. Daar in dit geval de gemeenschappelijke kathodeweerstand groot is (33 k $\Omega$ ) moet voor de juiste instelling van de dubbel triode aan de roosters een constante positieve spanning gelegd worden. Deze spanning wordt van de gestabiliseerde gemeenschappelijke voeding afgenomen via een potentiometerschakeling en een dubbel afvlakfilter (tweemaal 2 M $\Omega$  en 12,5  $\mu$ F).

De koppelleden zijn zodanig gekozen, dat ook de laagste gewenste frequenties nog voldoende versterkt worden. Door de parallel condensatoren aan de in- en uitgang van de versterker en het dubbel T filter werd de frequentiekarakteristiek van het versterkergedeelte naar boven begrensd tot ongeveer 30 Hz.

Het dubbel T filter heeft als zuigfrequentie 50 Hz, zodat geïnduceerde bronspanningen effectief geëlimineerd worden (31), (32).

De buizen zijn zo ingesteld, dat de totale versterking ongeveer 160.000 bedraagt. Daar het filter het gewenste signaal met een factor 2 verzwakt resulteert  $\frac{1}{2}$  mV aan de belastingweerstand van de fotocel in ongeveer 40 Volt aan het ingangsrooster van de bistabiele trigger.

## 9. HOOFDTRIGGERS

Het op de versterker aansluitend circuit bestaat uit drie gedeelten:

1. de bistabiele trigger
2. het differentieerlid
3. de monostabiele trigger

In het kort zal de werking van het circuit aan de hand van fig. 9 worden uiteengezet (33). Het rooster van de eerste triode van de bistabiele trigger heeft een negatieve voorspanning. Tengevolge hiervan voert de eerste triode slechts een geringe anodestroom: deze buis staat dicht. Hierdoor is de spanning aan de anode en dus de spanning aan het rooster van de tweede triode hoog. De tweede triode voert dus een grote anodestroom: deze buis staat open. De spanning aan de anode van de tweede triode (de uitgangsspanning van deze trigger) is dus laag. Het eerste rooster ontvangt signaal van het dubbel T filter. Stijgt de spanning aan dit rooster tengevolge van het signaal dan zal, bij het bereiken van een bepaald vooraf instelbaar niveau deze triode open gaan. Hierdoor stijgt de kathodespanning, terwijl de anodespanning, en hiermede dus de spanning aan het tweede rooster, daalt, zodat de tweede triode dicht gaat. De uitgangsspanning vertoont een plotselinge stijging. Daalt de ingangsspanning weer beneden het bepaalde niveau, dan heeft het omgekeerde plaats: de eerste buis gaat dicht, de tweede open. De uitgangsspanning daalt weer tot zijn oorspronkelijk niveau. Hiermede is het ingangssignaal omgezet in een blokvormige spanning.

Het uitgangssignaal van de bistabiele trigger wordt met behulp van een condensator van 1 kpF en een weerstand van 500 k $\Omega$  gedifferentieerd, d.w.z. de blokspanning wordt omgezet in twee scherpe impulsen, een positieve corresponderend met de stijgende zijde van het blok, een negatieve corresponderend met de dalende zijde van het blok - (vergeleijk fig. 5c en d). De diode EA 50 is zo geschakeld, dat hij een kortsluiting vormt voor de positieve impulsen. In fig. 5c is de basislijn recht getrokken, in werkelijkheid kunnen hierin onregelmatigheden optreden. Om te voorkomen dat de volgende trigger hierop zou reageren, wordt met behulp van een weerstand van 2 M $\Omega$  een kleine positieve voorspanning aan de diode gelegd. Tengevolge hiervan begint de afsnijdende werking reeds beneden de basislijn, zodat alleen de gewenste negatieve impulsen het rooster van de volgende trigger kunnen bereiken. Deze volgende trigger is monostabiel. In de stabiele toestand staat de eerste triode open, daar de kathode rechtstreeks aan aarde ligt en het rooster een positieve voorspanning heeft. De anodespanning van de eerste triode (de uitgangsspanning van deze trigger) is laag. De tweede triode staat dicht, daar de roosterspanning laag is en de kathode een positieve voorspanning heeft. Ontvangt nu het rooster van de eerste triode een negatieve impuls, dan zal deze buis dicht gaan, hierdoor stijgt de uitgangsspanning en tevens de roosterspanning van de tweede triode, waardoor zijn anodespanning daalt. Tussen de anode van de tweede triode en het rooster van de eerste triode is een condensator van 10 kpF aangebracht. Het hangt nu van de tijdconstante van de condensator en roosterlekweerstand af, hoe lang het duurt tot de roosterspanning van de eerste triode voldoende is gestegen om de stabiele toestand te herstellen. Zodoende is aan de uitgang van deze trigger een blok ontstaan, waarvan de breedte constant is en overeenkomt met de tijd, gedurende welke de eerste buis dicht is.

## 10. LAADCIRCUIT EN MECHANISCH RELAIS

De blokken van constante breedte en hoogte, die aan de uitgang van de monostabiele trigger ontstaan, hebben een onderlinge afstand, die overeenkomt met het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende systolen van het hart. Het is nu mogelijk om met deze blokken door middel van een mechanisch relaissysteem het laden en ontladen van de laadcondensator, alsmede het overbrengen van de eindspanning van de laadcondensator op de meetcondensator te bewerkstelligen. In fig. 11 is het schema van het laadcircuit en het mechanisch relais weergegeven. De spoel van relais 1 is in de anodeleiding van een triode (ECC 40) geschakeld. In de kathodeleiding van deze triode is een neonbuis (85 A 1) opgenomen, die gevoed wordt via een weerstand van  $120 \text{ k} \Omega$ . Hierdoor wordt de kathodespanning constant op 85 V. gehouden. Het rooster van de triode ligt via een spanningsdeler aan de uitgang van de monostabiele trigger van fig. 9. Zolang er aan de uitgang van de trigger geen blok optreedt, is het rooster sterk negatief ten opzichte van de kathode. In dit geval voert de buis geen stroom. Treedt nu een blok op, dan stijgt de roosterspanning en gaat de buis stroom voeren, waardoor relais 1 wordt bekrachtigd. Hierdoor worden de contacten a en b gelijktijdig gesloten en blijven gesloten, zolang relais 1 bekrachtigd wordt. Via contact a wordt relais 2 bekrachtigd. De contacten c en d zijn zo afgesteld, dat tijdens de neergaande slag contact c even gesloten en weer geopend wordt voordat contact d gesloten wordt. Gedurende de verdere tijd, dat relais 2 bekrachtigd is, blijft c open en d gesloten. Tijdens de teruggaande slag wordt c dus weer even gesloten en verbroken. Tijdens de neergaande slag van relais 2 verbindt contact c via het gesloten contact b de laadcondensator ( $12 \mu\text{F}$ ) met de meetcondensator ( $5 \text{ kpF}$ ). Daar de meetcondensator klein is ten opzichte van de laadcondensator, neemt de eerste de spanning van de tweede aan. Nadat contact c weer verbroken is, wordt de laadcondensator via contact d en de weerstand van  $10 \Omega$  ontladen. Wanneer het blok aan het rooster van de triode wegvalt, opent relais 1 de contacten a en b. Hierdoor opent relais 2 contact d. Tijdens de terugslag van relais 2 wordt weliswaar contact c even gesloten, doch daar nu contact b open is, wordt de meetcondensator niet in verbinding gebracht met de inmiddels ontladen laadcondensator, zodat de meetcondensator zijn spanning behoudt tot het begin van het volgende blok.

In fig. 5g is eenvoudigheidshalve voorgesteld, dat de spanning op de laadcondensator gedurende een interval een lineaire functie van de tijd is. Hierdoor zou de schaal van de frequentiemeter lineair verdeeld worden, ware het niet dat van ieder tijdsinterval een constant deel gebruikt moet worden voor het schakelen, zodat de schaal voor de hogere frequenties inkrimpt.

Het te kiezen frequentiebereik bepaalt de grootteorde van de laadstroom, die afhangt van de dimensionering van het laadcircuit. Behalve het frequentiebereik is tevens de frequentieverdeling over dit bereik door geschikte keuze van de laadcircuitcomponenten aan te passen aan de eventuele bijzondere eisen.

In het onderhavige geval was het gewenst de frequentieschaal in het midden van het bereik te expanderen, daar hier de, voor de arbeids-physiologie interessante, frequenties liggen. Dit werd bereikt door het laden te doen plaats vinden via een parallelschakeling van een triode en een weerstand. Bovendien kon hierdoor het inkrimpen van de schaal aan het bovineinde van het bereik verminderd worden. Zoals bekend kan een penthode een constante laadstroom leveren, een weerstand levert een exponentieel verlopende laadstroom, terwijl de laadstroom van een triode een tussenvorm van deze beide is. In het kiezen van de grootte van de inwendige weerstand van de triode en de waarde van de parallelweerstand ligt een grote verscheidenheid van laadkrommen opgesloten. Fig. 14 geeft de schaalverdeling van de hier besproken frequentiemeter weer.

## 11. ELECTRONISCH RELAIS

### 11.1 Inleiding

Aan de uitvoering van de polsfrequentiemeter met een mechanisch relais kan in bepaalde gevallen een praktisch bezwaar kleven. Het in- en uitslaan van het mechanisch relais is hoorbaar. Dit tikken, dat uiteraard in het rythme van de hartslag van de proefpersoon plaats vindt, kan hem psychisch beïnvloeden. Daar het dus gewenst was de meter geluidloos uit te voeren, werd gezocht naar een elektronisch equivalent van het mechanisch relais. Bij het mechanisch relais was het, door een juiste keuze van de onderlinge stand der contactarmen, mogelijk om, uitgaande van de impuls afkomstig van de monostabiele trigger, zowel het met elkaar in contact brengen van meet- en laadcondensator, als het ontladen van deze laatste te bewerkstelligen. Voor de elektronische uitvoering zijn echter twee, kort na elkaar optredende, impulsen nodig. Hiertoe worden een tweetal hulptriggers ingevoegd.

### 11.2 Hulptriggers

Fig. 10 toont twee monostabiele triggers, die op de monostabiele trigger uit fig. 9 aangesloten worden. We hebben nu dus drie monostabiele triggers in serie geschakeld met differentieerleden als koppel-elementen. Hierdoor worden drie rechthoekige positieve impulsen verkregen, die in tijd direct op elkaar aansluiten: de dalende zijde van de voorgaande valt samen met de stijgende zijde van de volgende impuls. Tussen de eerste en de laatste impuls ligt een tijdsinterval, dat gegeven wordt door de breedte van de middelste impuls. Op deze wijze zijn dus twee, kort na elkaar optredende impulsen verkregen.

### 11.3 Laadcircuit en elektronisch relais

Het laadcircuit bij de elektronische uitvoering is identiek aan het laadcircuit bij de mechanische uitvoering van het relais. In fig. 12 is het laadcircuit volledigheidshalve bijgevoegd.

De dubbeltriode 6SN7 dient om laad- en meetcondensator met elkaar in verbinding te brengen. De beide trioden zijn parallel en tegengesteld geschakeld, d.w.z. de anode van de ene triode is verbonden met de kathode van de andere en omgekeerd, terwijl de roosters doorverbonden zijn. De gloeidraadtemperatuur is verlaagd door in serie met de gloeidraad een weerstand van  $10 \Omega$  te schakelen. De als triode geschakel-

de penthode, UL 41 draagt zorg voor het kortsluiten van de laadcondensator. De impuls, afkomstig van de eerste monostabiele trigger wordt toegevoerd aan de roosters van de dubbeltriode; de impuls afkomstig van de derde monostabiele trigger, aan het stuurrooster van de penthode. Daar tussen het optreden van deze beide impulsen een korte tijd verloopt, is dus verkregen dat de laadcondensator eerst ontladen wordt nadat de geleiding tussen beide condensatoren is opgeheven. De punten x en ij zijn verbonden met de onderzijde van de laad-, resp. de meetcondensator. De bovenzijde van deze condensatoren liggen beide aan een gestabiliseerde voedingsspanning van +200 V. Afhankelijk van de lading op deze condensatoren kunnen de spanningen op de punten x en ij variëren van  $\approx 150 - 200$  V. ten opzichte van de aarde. De doorverbonden roosters liggen aan de eerste anode van de eerste monostabiele trigger. Deze anode heeft in stabiele toestand een spanning van  $\approx 60$  V. De roosters van de dubbele triode zijn dus zeer sterk negatief, zowel ten opzichte van anode als kathode; de buis zit dicht.

In de praktijk blijkt echter, dat bij een dergelijk instelling nog een hinderlijke lek kan optreden. De berekening leert dat, wil bij de laagste frequenties de meetcondensator zijn spanning gedurende het interval behouden, d.w.z. wil dus de wijzer van de buisvoltmeter tijdens het interval, stilstaan, men slechts een maximale lekstroom van ongeveer  $10^{-11}$  Ampère mag toelaten. Hierom moet de dubbeltriode geselecteerd worden. Treedt nu een impuls aan de eerste monostabiele trigger op, dan wordt de roosterspanning ongeveer 100 V. hoger, waardoor de dubbeltriode in beide richtingen geleidend wordt. Wanneer nu over beide condensatoren ongelijke spanningen staan (dus bij frequentie verandering) zal tussen de punten x en ij een vereffeningsstroompje vloeien, zodat de spanning op de meetcondensator gelijk wordt aan de eindspanning op de laadcondensator. De serieweerstand  $2,2 \text{ M}\Omega$  in de roosterleiding heeft ten doel eventuele roosterstroom te beperken en bovendien de belasting van de trigger te verminderen. Het RC lid ( $1 \text{ M}\Omega - 0,1 \mu\text{F}$ ) vermindert de invloed van de capacitieve koppeling tussen de roosters enerzijds en de kathoden en anoden van de dubbeltriode anderzijds. De impuls afkomstig van de derde monostabiele trigger, die even na de impuls van de eerste trigger optreedt, maakt de UL 41 geleidend, zodat de laadcondensator zich via deze buis kan ontladen.

Opgemerkt kan nog worden, dat het geleidingsvermogen van het electronisch relais kleiner is dan dat van het mechanisch relais, waar een galvanische verbinding tot stand wordt gebracht. Een gevolg hiervan is, dat de polsfrequentiemeter uitgevoerd met electronisch relais een snelle frequentieverandering trager volgt. Hieruit volgt weer, dat een extra systole slechts kwalitatief in de meteraanwijzing tot uiting zal komen.

## 12. BUISVOLT-METER

Zoals reeds eerder uiteengezet werd, mag de buisvoltmeter de meetcondensator niet noemenswaard belasten. Hierom viel de keus op de kathodevolger (34). Deze werd in balans uitgevoerd om de invloed van eventuele voedingsspanningsvariatioes te verminderen (zie fig. 13). Door de draaispoelmeter tussen de beide kathoden aan te sluiten, wordt voorkomen dat de stroom voor de meteraanwijzing

door de buis zou moeten vloeien. De buis kan nu op minimale anodestroom, dus grote negatieve roosteroverspanning ingesteld worden, wat impliceert, dat de weerstand tussen rooster en kathode groot is, zodat de meetcondensator praktisch niet belast wordt. In de rooster- en anodeleidingen zijn stopweerstand (1 k $\Omega$ ) opgenomen.

Om kleine verschillen in de inwendige weerstand van de beide triodehelften op te heffen, kan in een der kathodeleidingen een correctieweerstand worden opgenomen. De nulpuntsinstelling vindt plaats met behulp van de potentiometer, waarvan de middenaftakking aan het tweede rooster ligt.

De voorschakelweerstand van het wijzerinstrument is zo groot gekozen, dat een stroomvariatie van 0 tot 100  $\mu$  Amp. overeenkomt met het maximaal spanningsverschil op de meetcondensator.

### 13. VOEDING EN STABILISATIE

Het apparaat wordt uit het lichtnet gevoed en de anodespanningen, die ontleend zijn aan de gelijkrichtbuis AZ 41 worden elektronisch gestabiliseerd (zie fig. 15). In plaats van het normale LC filter is hier volstaan met een capacitiële afvlakking.

Het stabilisatiegedeelte bestaat uit een regelbare seriële weerstand UL 41, twee regelpentoden EF 40 in balans geschakeld en een tweetal neonbuizen 85 A1 (27), (35), (36).

Het punt a van de potentiometer, gevormd door een weerstand van 90 k $\Omega$  en een neonbuis 85 A 1, heeft een constante spanning, nl. 85 V. Deze spanning wordt als referentiespanning aan het stuurrooster van een der regelpentoden toegevoerd. Achter de regelbare seriële weerstand UL 41 wordt een potentiometer gevormd door twee weerstanden, resp. 220 k $\Omega$  en 70 k $\Omega$ . In evenwichtstoestand heeft het punt b eveneens een spanning van 85 V. Stijgt de uitgangsspanning van het circuit - om welke reden dan ook - dan zal de roosteroverspanning van de tweede regelpentode stijgen, waardoor de anodestroom toeneemt. De spanning in het punt c, dus de roosteroverspanning van de UL 41, zal hierdoor dalen. Het gevolg hiervan is, dat de inwendige weerstand van de UL 41 toeneemt, zodat de uitgangsspanning weer daalt. Bij eventuele daling van de uitgangsspanning vindt het tegenovergestelde plaats.

Deze regeling werkt vrijwel onmiddellijk, terwijl ten overvloede nog een vooruitregeling, bestaande uit een weerstand van 15 M $\Omega$  en een condensator van 100 pF is aangebracht. Deze vooruitregeling is vòòr de seriële weerstand UL 41 aangesloten, zodat spanningsvariatiën gestabiliseerd kunnen worden, zonder dat deze variatiën aan de uitgang behoeven op te treden.

Met behulp van de eerstgenoemde potentiometer (220 k $\Omega$ , 70 k $\Omega$ ) kan de gewenste uitgangsspanning worden ingesteld. Met de hiermede verkregen waarden wordt reeds een bepaalde stabilisatiegraad bereikt, welke verhoogd kan worden door geschikte keuze van de waarde van de weerstand van de vooruitregeling. In verband met reeds aanwezige, onvermijdelijke capaciteiten zijn voor de stabilisatie van de bromspanningen in het regelcircuit nog een tweetal condensatoren, resp. 0,1  $\mu$ F en 100 pF opgenomen.

Belastingvariatiën worden gestabiliseerd met behulp van de weerstand van 10  $\Omega$ , die in de minleiding van het afvlakfilter is opgenomen. Wordt de belasting hoger, dan zal over deze weerstand een groter spanningsverschil ontstaan, waardoor de roosteroverspanning van de tweede



regelpenthode meer negatief wordt en zo de uitgangsspanning constant gehouden wordt.

Daar voor de buisvoltmeter een stabiele spanning van 200 V. nodig is, is aan de uitgang van het stabilisatiecircuit een EF 42 als kathodevolger geschakeld, waaraan deze spanning ontleend wordt (37).

In verband met de hoge eisen, die aan de ingangsweerstand van de buisvoltmeter worden gesteld, is het nodig de gloeidraden van de buisvoltmeter en het electronisch relais ieder uit een afzonderlijke, uitstekend geïsoleerde, wikkeling op de voedingstransformator te voeden, zodat lek langs deze weg voorkomen wordt.

#### 14. SLOTWOORD

Bijgevoegd zijn nog een aantal tekeningen en foto's ter verduidelijking van de constructie.

Fig. 16 en 19 tonen het eerste chassis, dat boven in de kast geplaatst is. Dit chassis bevat de versterker, de triggere en het controlecircuit met schakelaar. Opgemerkt dient nog te worden, dat het ingangscircuit, inclusief de schakelaar en de buis van de eerste trap van de versterker afgeschermd zijn.

Fig. 17 en 20 geven resp. de opstelling en de foto van het tweede chassis, op de bodem van de kast geplaatst, dat de voeding met stabilisatie, generator, electronisch relais en buisvoltmeter bevat.

Fig. 18 is een maatschets van het frame.

Fig. 21 geeft enige details van de oorklem met fotocel, lampje en hulpstuk.

In fig. 22 is de oorklem in situ te zien. De vier aansluitingen zijn met enkele zeer soepele draadjes naar een klem op het masker geleid, en verder door een afgeschermd kabel van ongeveer 2 meter met het toestel verbonden.

Aan de hand van fig. 23 kan er op gewezen worden, dat er voor een goede ventilatie is gezorgd, zie de ventilatie-openingen in de kast.

Tenslotte geeft fig. 24 een foto van een complete opstelling, zoals deze bij proeven op het gebied van de arbeidsfysiologie gebruikt wordt.

Voor diverse proeven op het gebied van de arbeidsfysiologie is het van belang dat de proefpersoon een grotere bewegingsvrijheid heeft, dan met een kabel van ongeveer 2 meter mogelijk is. Het gevaar van optredende stoorspanningen bij langere kabels kan worden voorkomen door de eerste twee trappen van de versterker plus de generator voor de lichtbron, in een apart kastje onder te brengen en dit op de rug van de proefpersoon te bevestigen. Doordat het signaal van de fotocel nu voldoende versterkt is, kan deze voorversterker zonder bezwaar met een zeer lange kabel aan de polsfrequentiemeter verbonden worden. Ter voorkoming van storingen door lichtvariaties kan over het oor een kap geplaatst worden, die het directe licht op het oor en de fotocel afschermt.

15. LITERATUURLIJST

1. Forbis, Prof. Ir R.J.      Cultuurgeschiedenis van Wetenschap en Techniek, pag. 237
2. Kraus, F. en Seelig, S.      Der Goldschmidtsche Pulsresonator  
Medizinische Klinik, 23 Jrg., no 18,  
Seite 670, 1927
3. Kraus, Prof. Dr F.,  
Goldschmidt, Prof. Dr  
Ing R., Seelig, Dr S.      Analyse des Pulsrhythmus mit dem  
Pulsresonator  
Zeitschrift für die gesamte Experimen-  
telle Medizin, Band 53, Seite 243, 1926
4. Fleisch, A.      Der Pulszeitschreiber  
Zeitschrift für die gesamte Experimen-  
telle Medizin, Band 72, Seite 384, 1930
5. Fleisch, A.      Ueber das Verhalten der Pulsfrequenz  
bei seelischer Erregung, registriert  
mit einem neuen Zeitordinatenschreiber  
Archiv für die gesamte Psychologie,  
Band 87, Seite 532, 1933
6. Fleisch, A.      Die Registrierung zeitlicher Intervalle  
direkt als Ordinate mit dem Pulszeit-  
schreiber  
Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden  
Emil Abderhalden. Abt.V, Teil 8,  
Seite 905, 1935
7. Fürstenberg en  
Hoffstaedt      Ueber vergleichende Untersuchungen mit  
dem Pulsresonator und dem Elektrokardiographen  
Klinische Wochenschrift, Jrg 8, no 31,  
Seite 1451, 1929
8. Goldscheider      Arrhythmie und Pulsresonator  
Medizinische Klinik, Jrg 23, no 24,  
Seite 901, 1927
9. Boas, E.      The Cardiotachometer  
Archives of Internal Medicine, vol. 41,  
no 3, page 403, March 1928
10. Whitehorn, J.C.,  
Kaufman, M.R.,  
Thomas, J.M.      Heart rate in relation to emotional  
disturbances  
Archives of Neurology and Psychiatry,  
vol. 33, no 4, page 712, 1935
11. Henry, F.      An electric Cardiometer  
Science, vol. 86, no 2227, page 230, 1937

12. Djourno, A. Sur la mesure instantanée de la fréquence du pouls  
Paris Medical, Partie Medicale, CIX,  
pag. 183, 1938
13. Henry, F. A direct reading cardio-chronoscope  
Journal of Experimental Psychology,  
vol. 22, page 598, 1938
14. Tiitso, M. Ueber die Methode der Registrierung  
von Pulsintervallen als Ordinate im  
Tierversuch  
Pflügers Archiv für die gesamte  
Physiologie, Band 239, Seite 265, 1938
15. Laurence, Morehouse,  
Tuttle An electric Pulsecounter  
The Journal of Laboratory and Clinical  
Medicine, vol. 24, page 1213, 1939
16. Matthes, K. Ueber die Registrierung von Bewegungs-  
vorgängen mit dem lichtelektrischen  
Reflexionsmesser  
Klinische Wochenschrift, Jrg 20, Heft 12,  
Seite 295, 1941
17. Meyer, F, en  
Seidel, K Ueber die hämodynamische Bedeutung der  
Tachykardie bei der Kreislaufkrankheit  
Klinische Wochenschrift, Jrg 20, Heft 19,  
Seite 469, 1941
18. Müller, E.A. Die Pulszahl als Kennzeichen für Stoff-  
austausch und Ermüdbarkeit des arbeiten-  
den Muskels  
Arbeitsphysiologie, Band 12, Heft 1,  
Seite 92, 1942
19. Albers, D. Untersuchungen über den Einfluss von  
dosierter ergometrischer Arbeit auf die  
Pulsfrequenz von Herzkranken  
Arbeitsphysiologie, Band 12, Heft 1,  
Seite 15, 1942
20. Schwarzschild en  
Shelesnyak A continuous electronic pulse rate  
indicator and recorder  
Review of Scientific Instruments,  
vol. 13, page 496, 1942
21. Müller, E.A. Der Pulsquotient als Masz der Muskel-  
ermüdung  
Arbeitsphysiologie, Band 12, Heft 4,  
Seite 320, 1943

22. Wood, E.H., Lambert, E.H., Effects of acceleration in relation  
Baltes, E.J., Code C.F. to aviation  
Federation Proceedings, vol. 5,  
page 327, 1946
23. Sturm en Wood An instantaneous recording cardio-  
tachometer  
Review of Scientific Instruments,  
vol. 18, no 10, page 771, 1947
24. Suckling A cardiometer based on the  
plethysmogram  
Review of Scientific Instruments,  
vol. 20, no 7, page 518, 1949
25. Müller, E.A. en Die fortlaufende Registrierung der  
Reeh, J.J. Pulsfrequenz bei beruflicher Arbeit  
Arbeitsphysiologie, Band 14, Seite 137,  
1950
26. Pinxteren, J.A.C. Hartmiddelen  
Pharmaceutisch Weekblad, Jrg. 85,  
no 45/46, 11 November 1950
27. Johnston, D.L. Electro-Encephalograph Amplifier  
Wireless Engineer, vol. 24, page 231,  
August 1947
28. Parnum, D.H. Transmission factor of differential  
Amplifiers  
Wireless Engineer, vol. 27, page 125,  
April 1950
29. Bishop, P.O. A high impedance input stage for a valve  
Amplifier  
Electronic Engineering, vol. 21, no 262,  
page 469, December 1949
30. Geyger, W. Der Katodenverstärker  
Funk und Ton, Heft 3, Seite 119, 1948
31. Günther, Dipl. Ing. Die Eigenschaften des Doppel-T-Vierpols  
zwischen endlichen Widerständen  
Funk und Ton, Jrg 50, no 12, Seite 628,  
Dezember 1950
32. Givens, M.P. en A simplified analysis of the parallel-T  
Saby, J.S. null network  
Review of Scientific Instruments, vol.  
18, no 5, page 342, May 1947  
vol. 18, no 10, page 802, October 1947

33. Puckle, O.S. Time Bases  
London, Chapman and Hall Ltd, 1947
34. Taeger, W. Der Katodenverstärker als Impedanz-  
wandler  
Funktechnik, no 16, Seite 444, 1951
35. Taeger, W. Stabilisierung von Gleichspannungen  
Funk und Ton, no 8, Seite 403, 1950
36. Benson, F.A. Voltage Stabilisers  
London, Electronic Engineering 1950
37. Willmore, A.P. The cathode follower as a voltage  
regulator  
Electronic Engineering, vol. 22, page 395,  
September 1950
38. Boyd, W.E. and  
Eadie, W.R. A heart rate recorder for biological  
experiments  
Electronic Engineering, page 102,  
March 1952

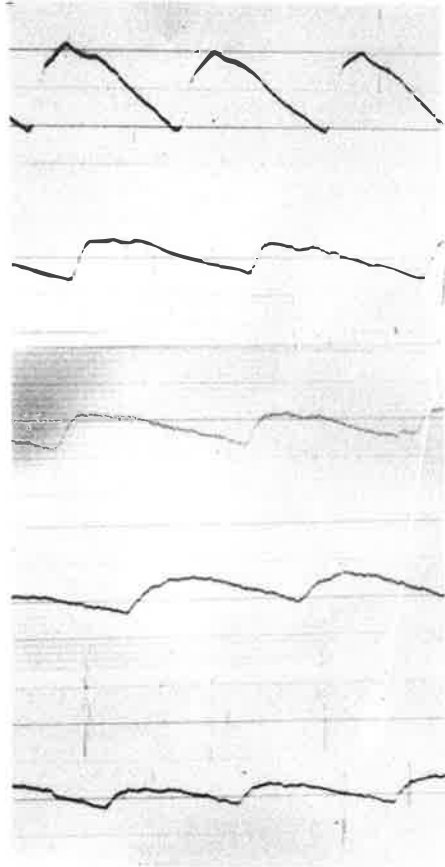


fig. 1 Zaagtandspanningen  
fig. 1 Saw tooth potentials

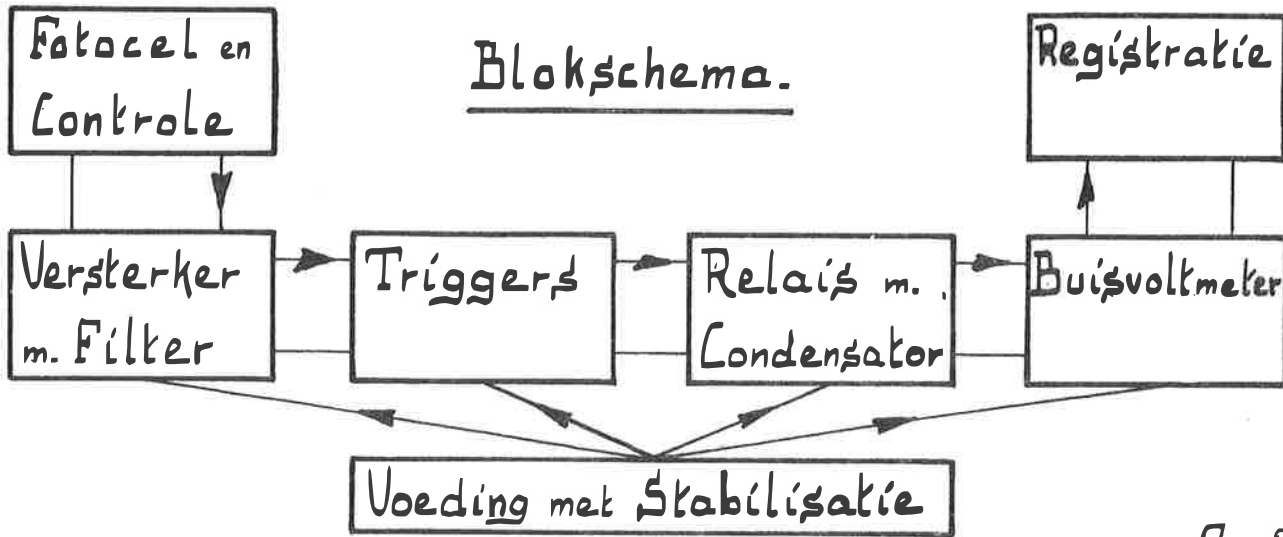
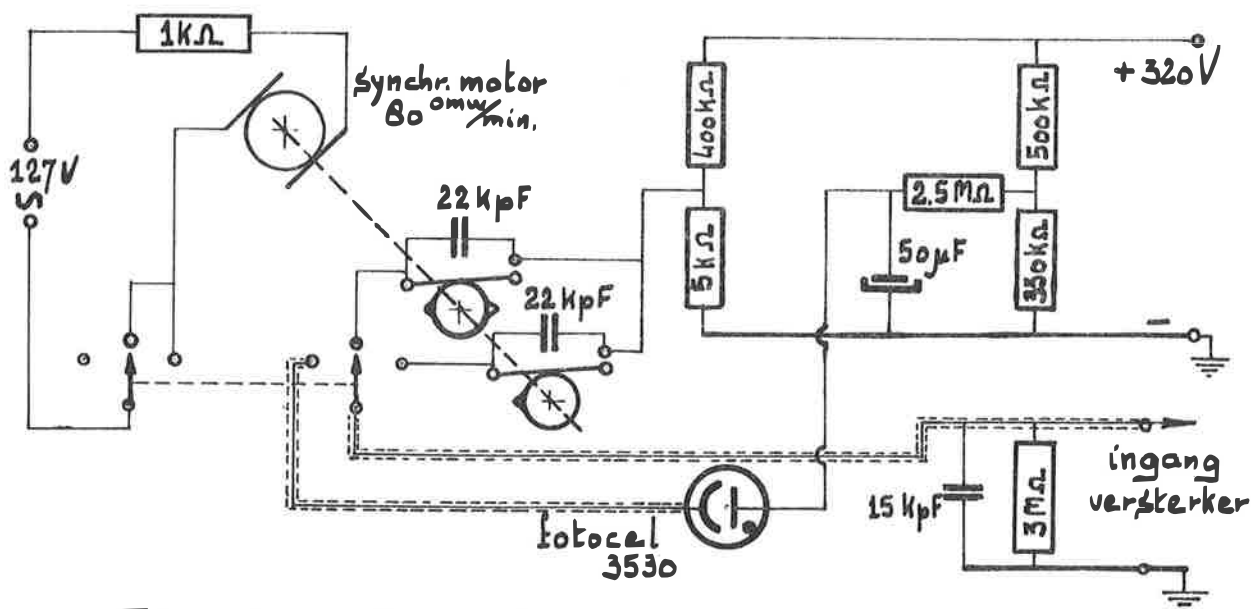
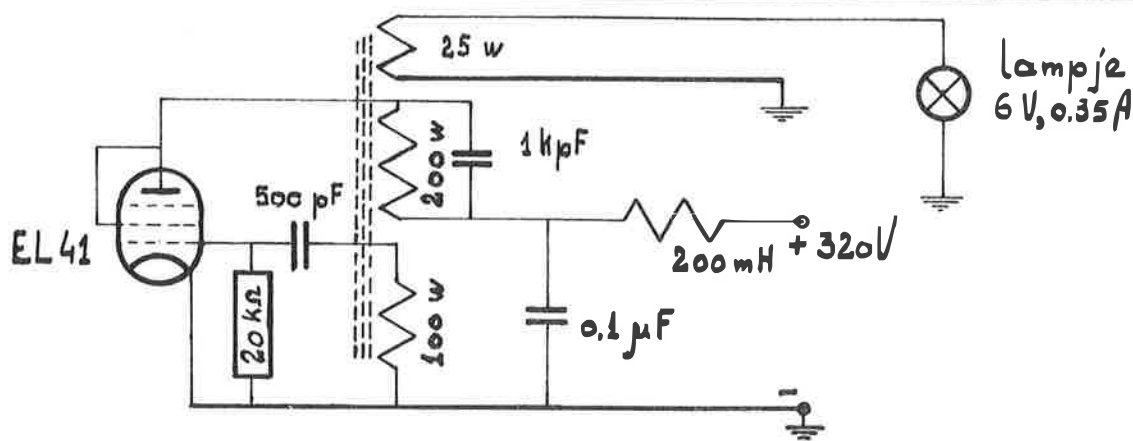


Fig. 2



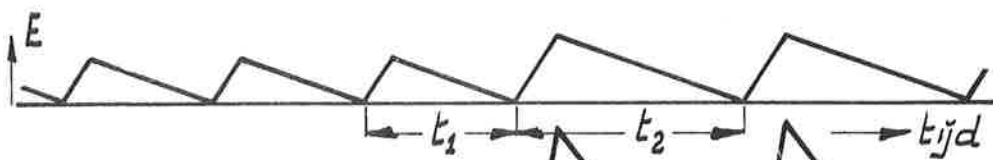
Schema Fotocel en Controlecircuit

Fig. 3



Schema Generator en Lichtbron.

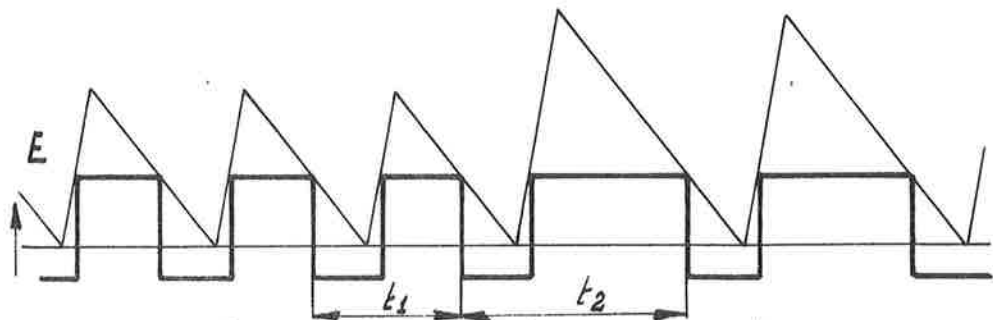
Fig. 4



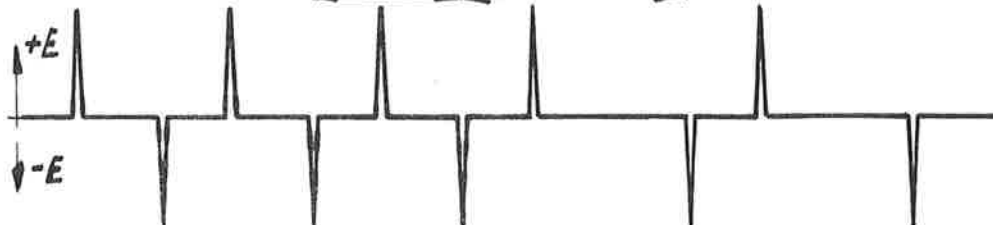
a signaal van de fotocel.



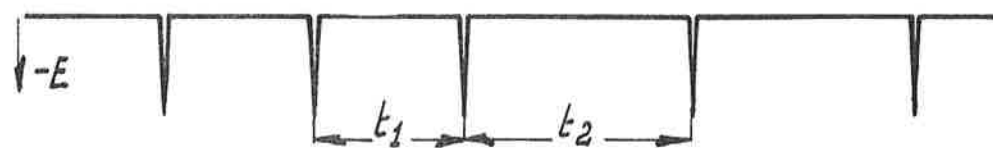
b signaal na versterking.



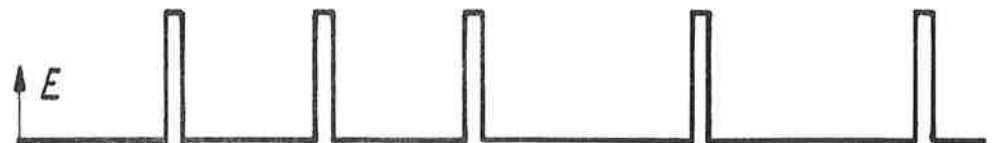
c signaal wordt omgezet in blokken.



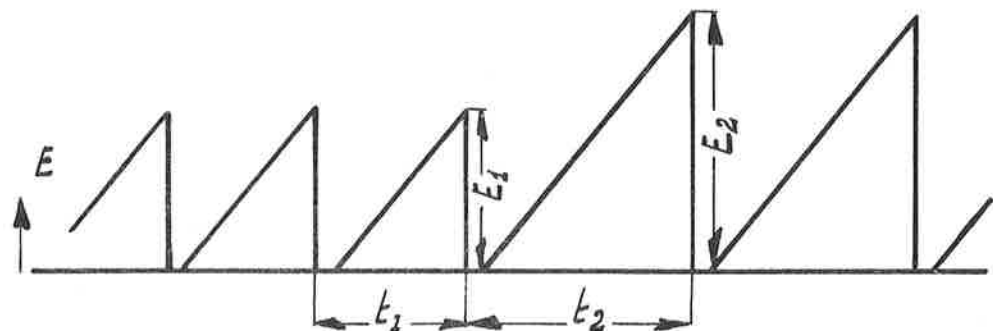
d blokken worden gedifferentieerd.



e positieve pieken afgesneden.



f pieken omgezet in blokken met constante breedte.



g spanning op condensator evenredig aan tijdsduur.

Schematische Voorstelling van de Werking.

Fig. 5



Schema Verstarker met Filter-

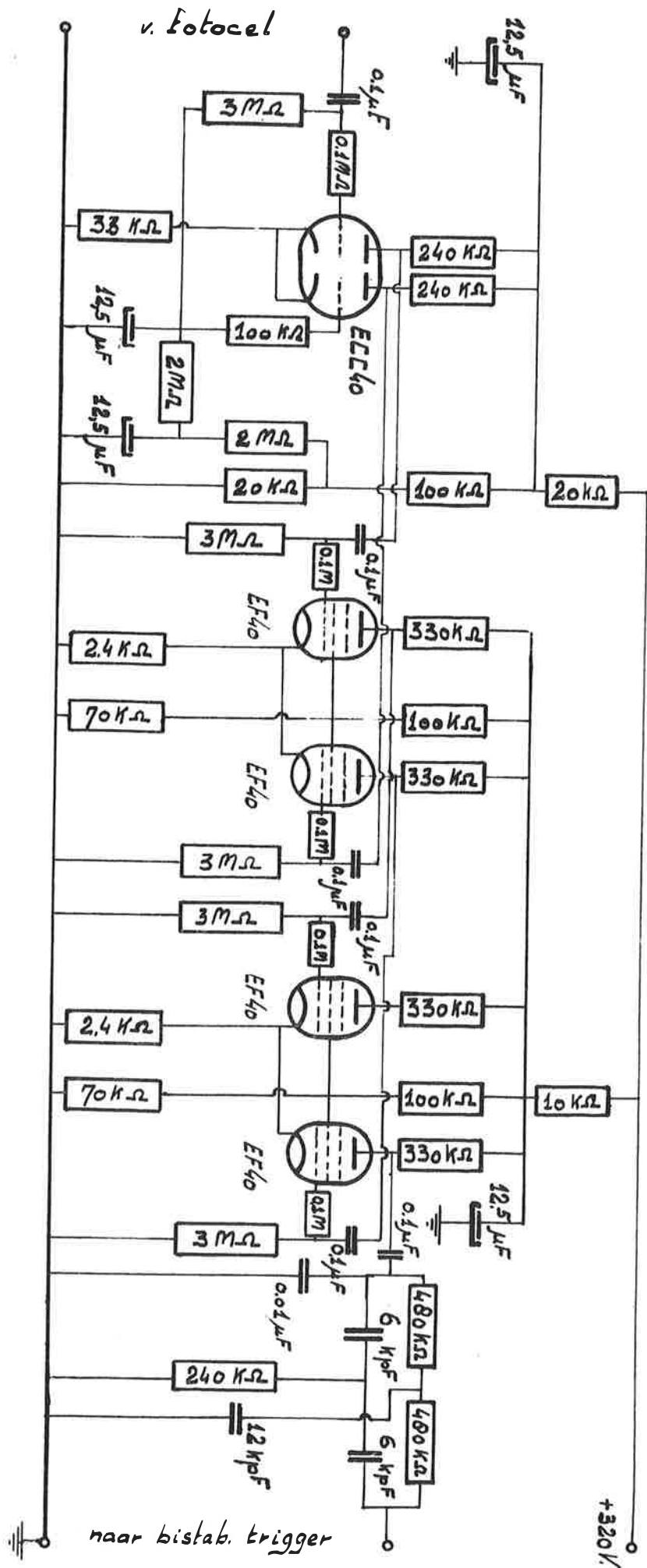
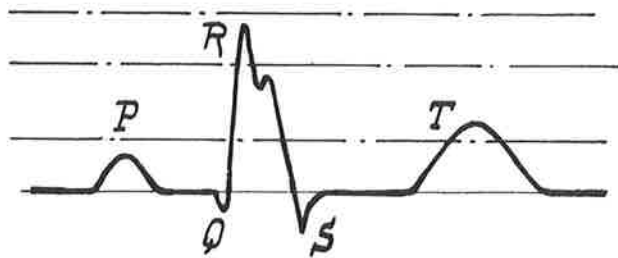


Fig. 6

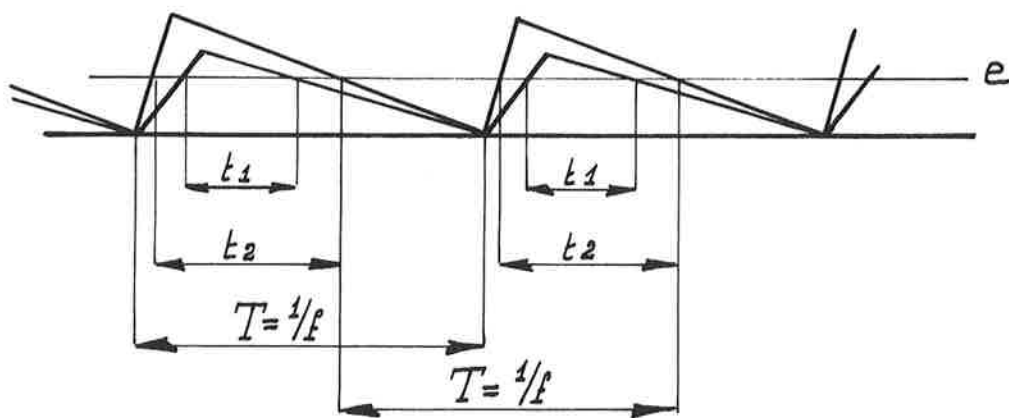
naar bistab. trigger



te kleine  
juiste versterking.  
te grote

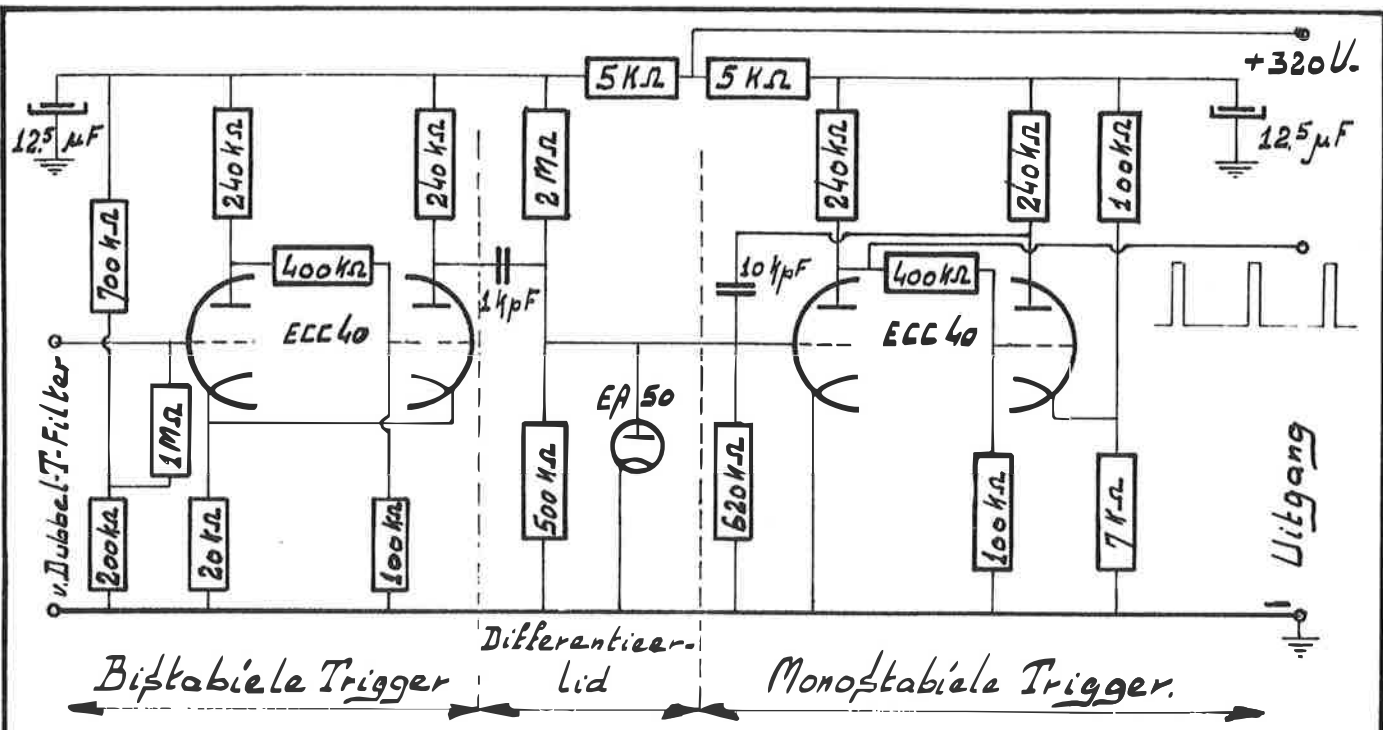
Electrocardiogram.

Fig. 7



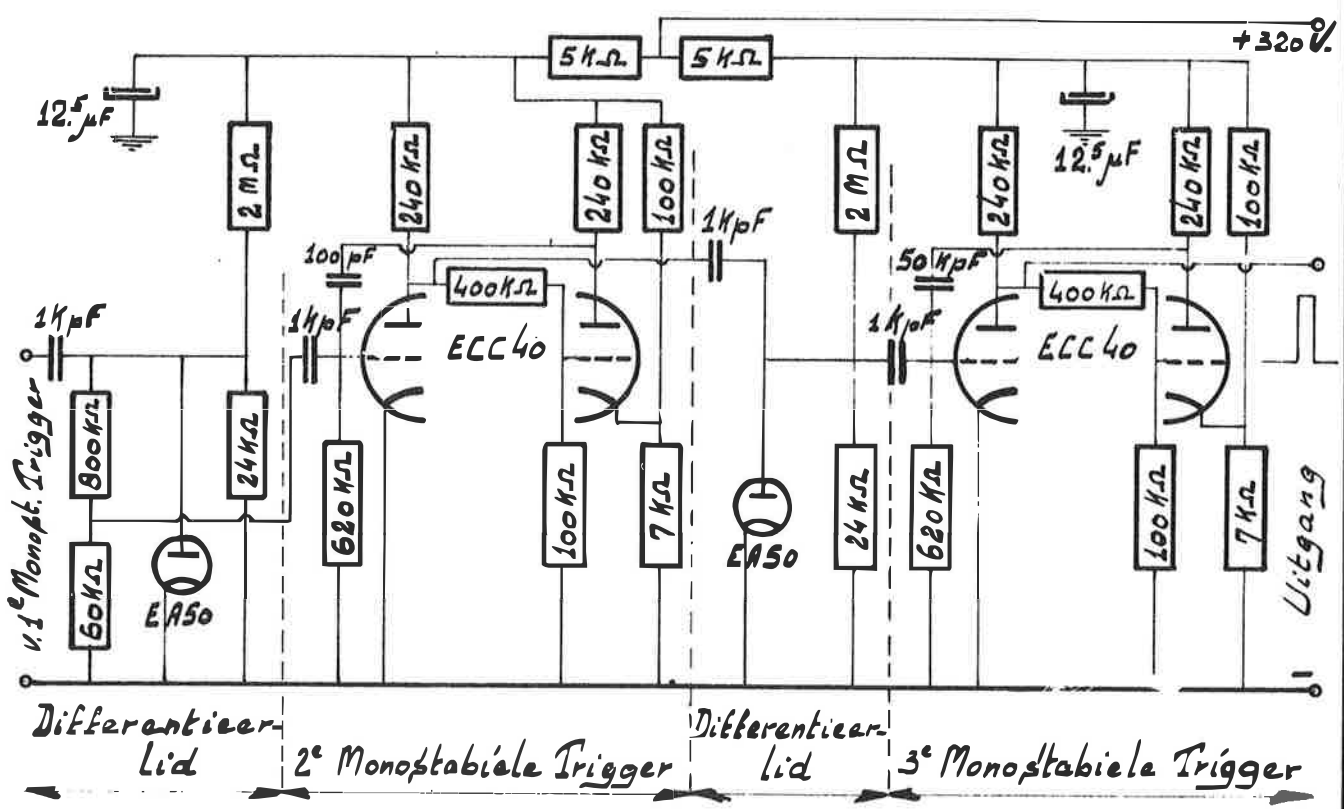
Zaagtanden van gelijke frequentie.

Fig. 8



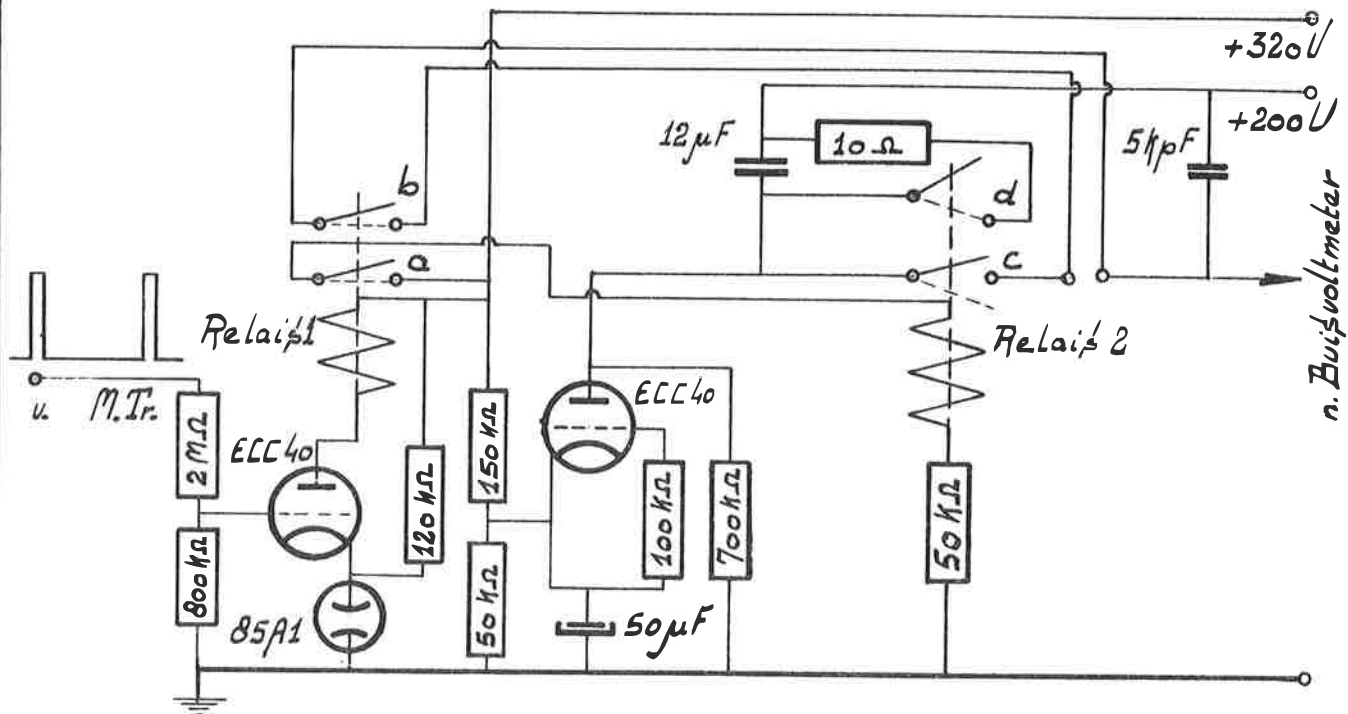
Schema Hoofd Trigger's.

Fig. 9



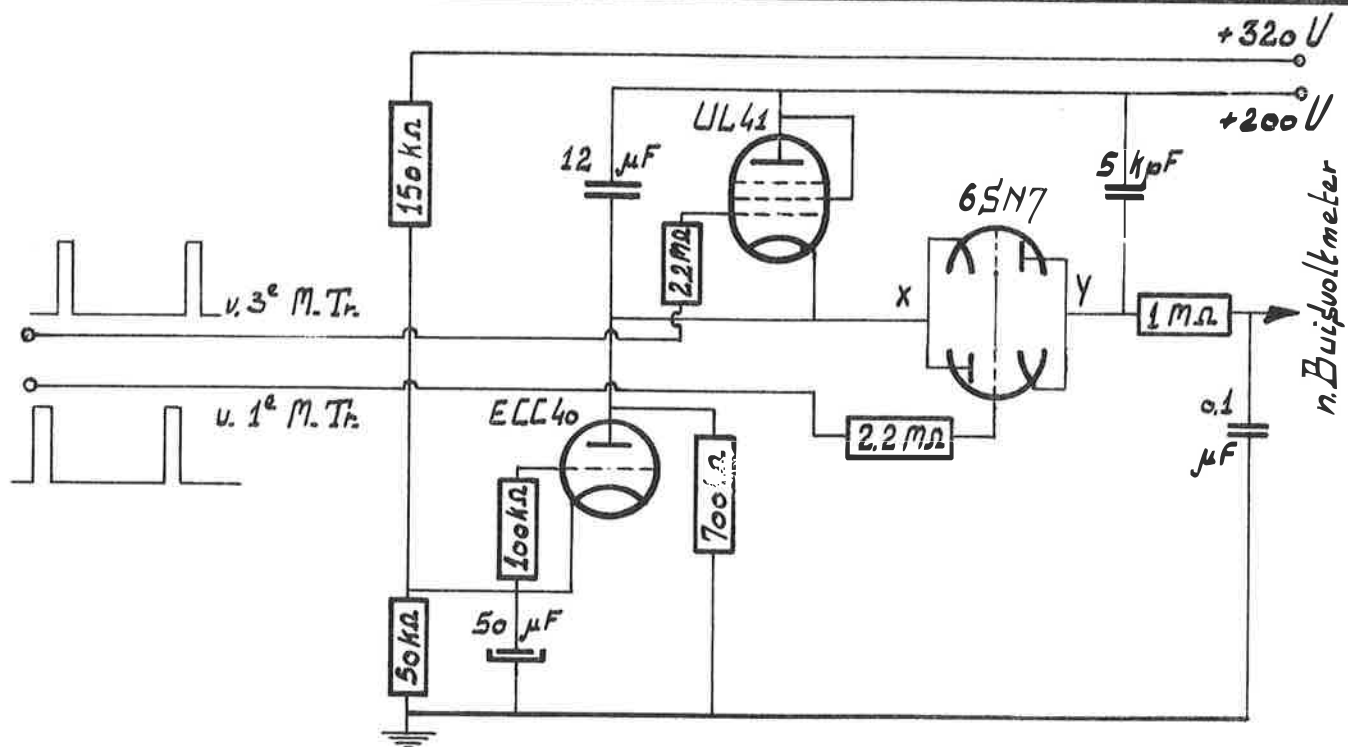
Schema Hulp Trigger's.

Fig. 10



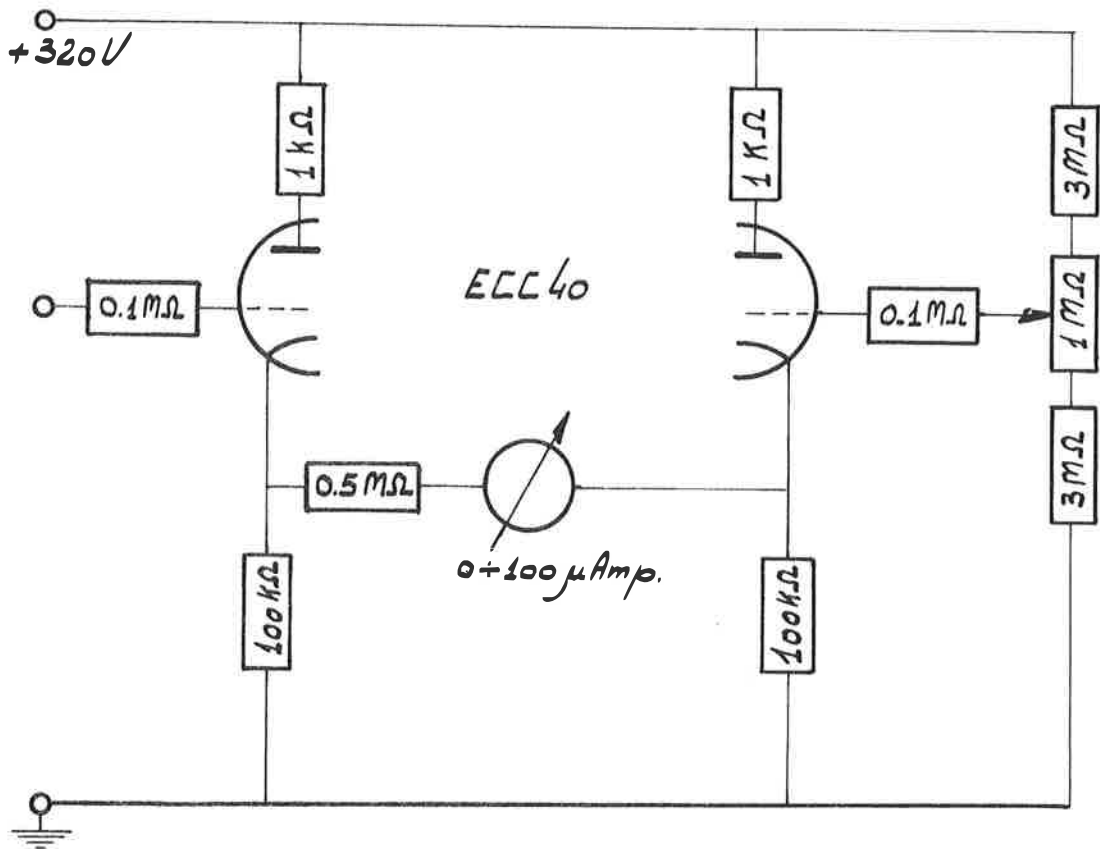
Schema Loadcircuit en Mechanisch Relais.

Fig. 11



Schema Loadcircuit en Electronisch Relais.

Fig. 12



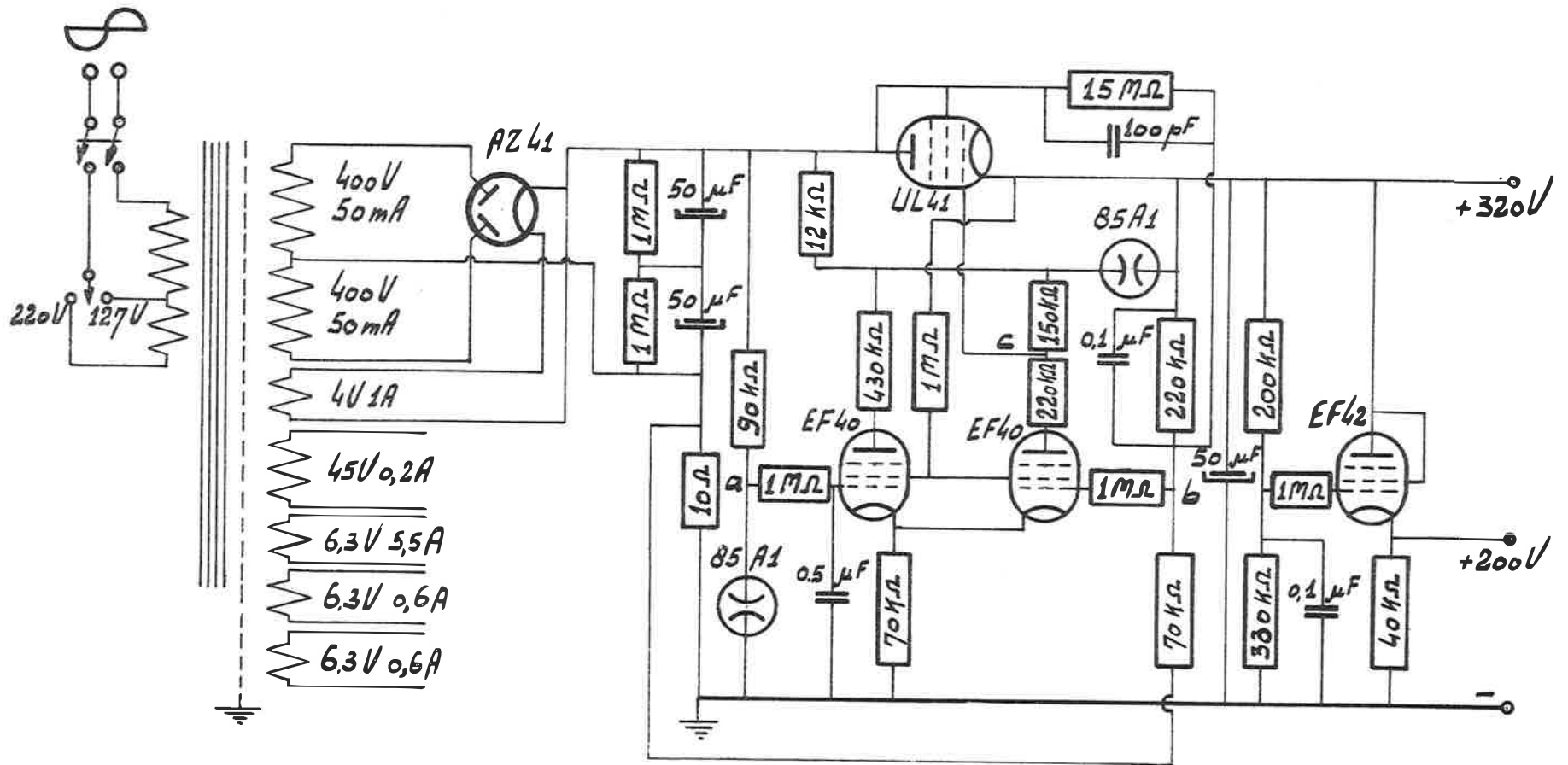
Buisvoltage meter.

Fig. 13



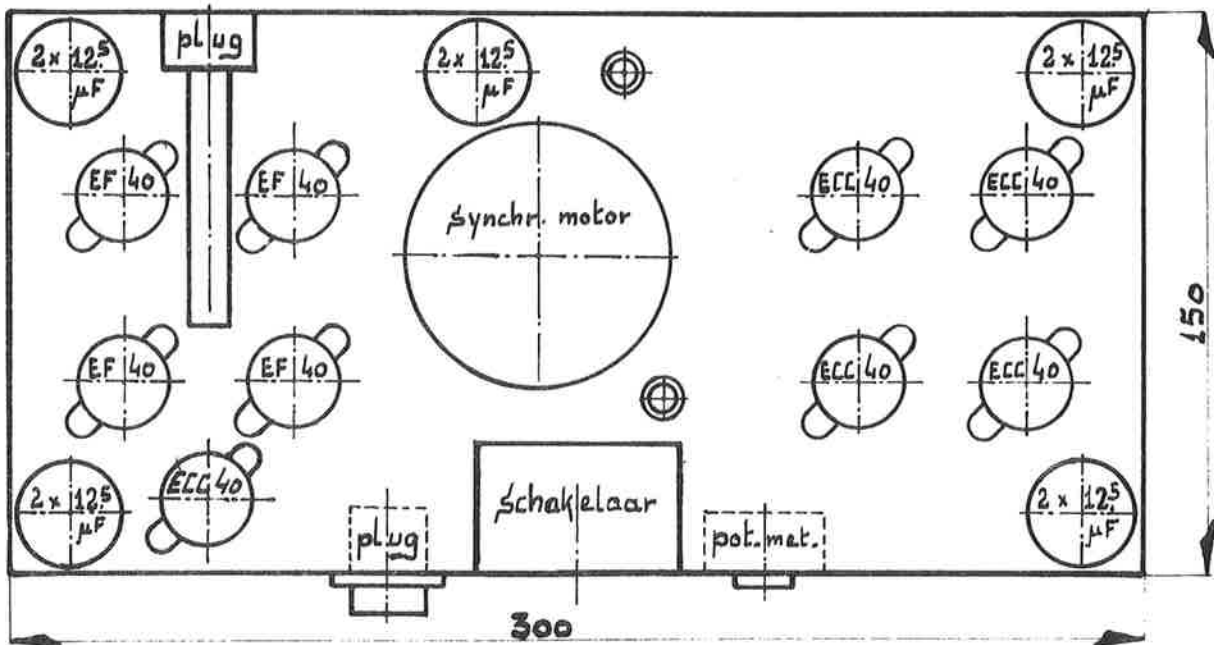
Schaalverdeling.

Fig. 14



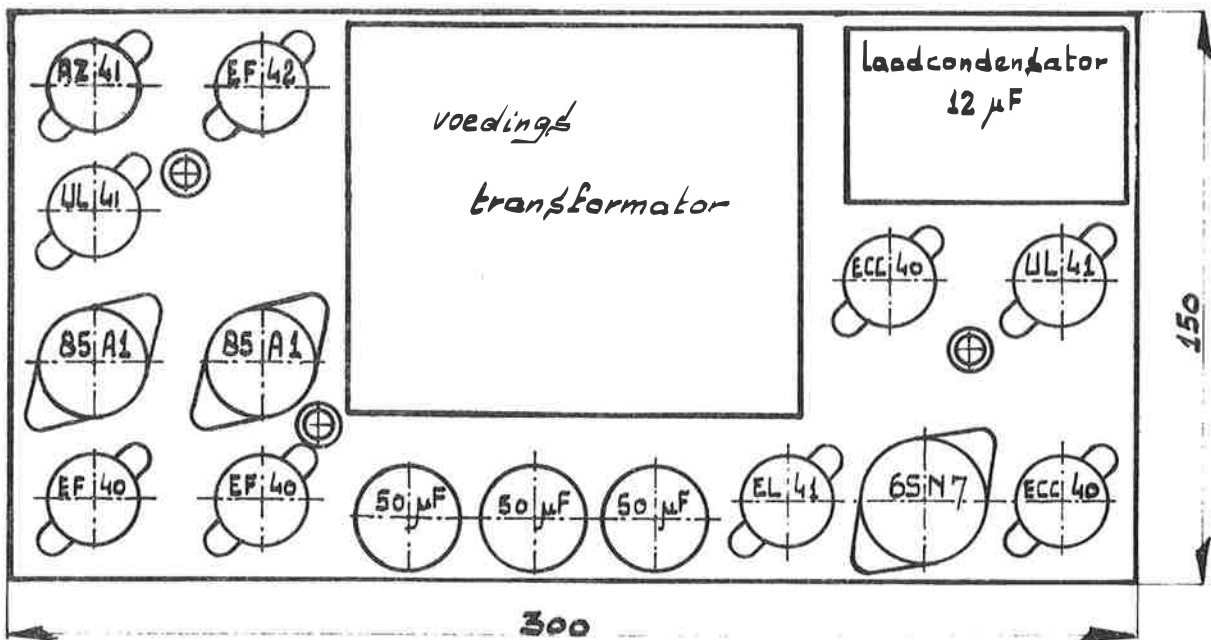
Schema Voeding en Stabilisatie.

Fig. 15



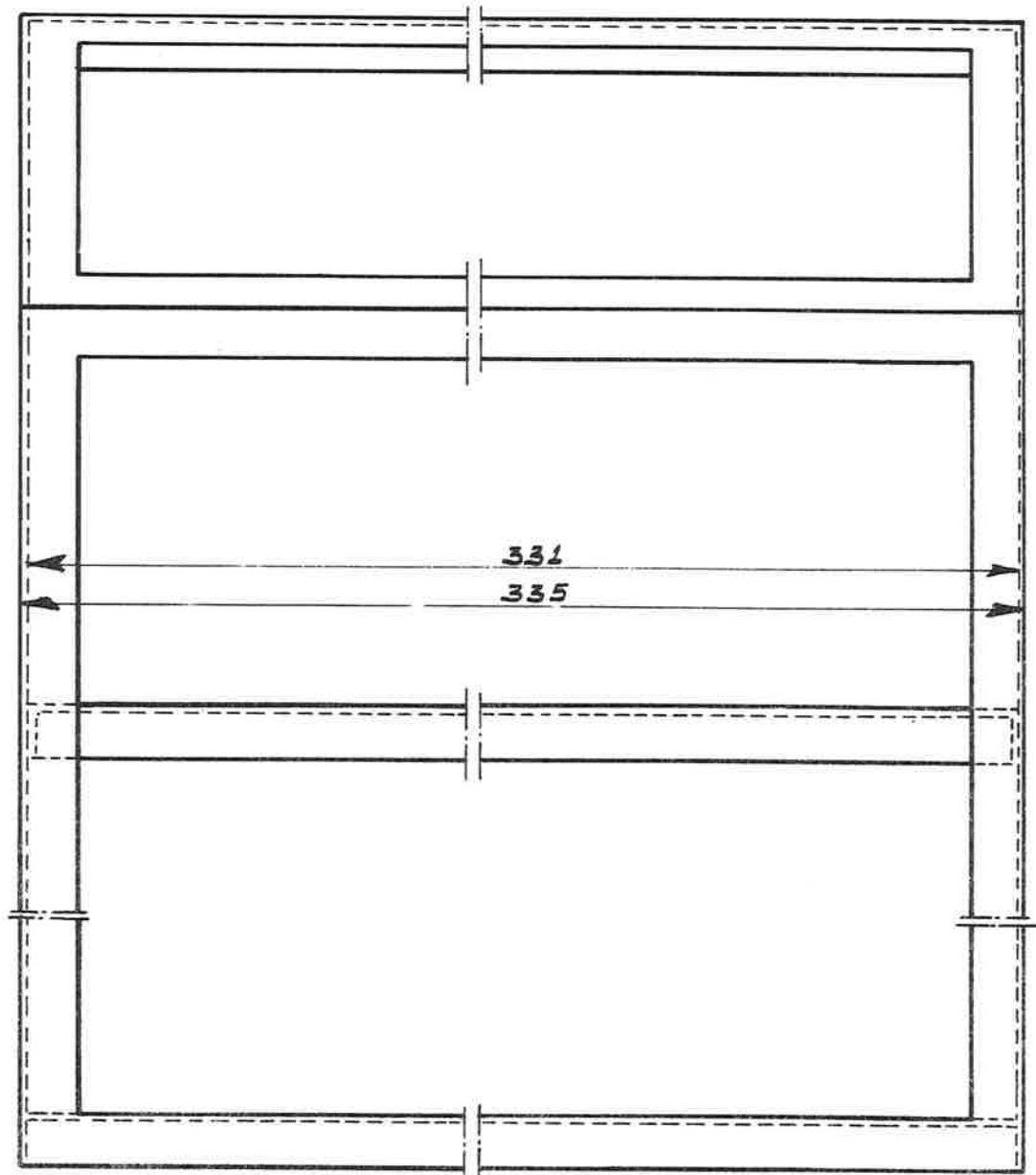
1<sup>e</sup> Chassis. links versterker, rechts trigger's

Fig. 16



2<sup>e</sup> Chassis. links stabilisatie, rechts generator, elektronisch relai's en buisvoltmeter

Fig. 17



Frame. Schoal 1:2. Hoekijzer 15x15x2.

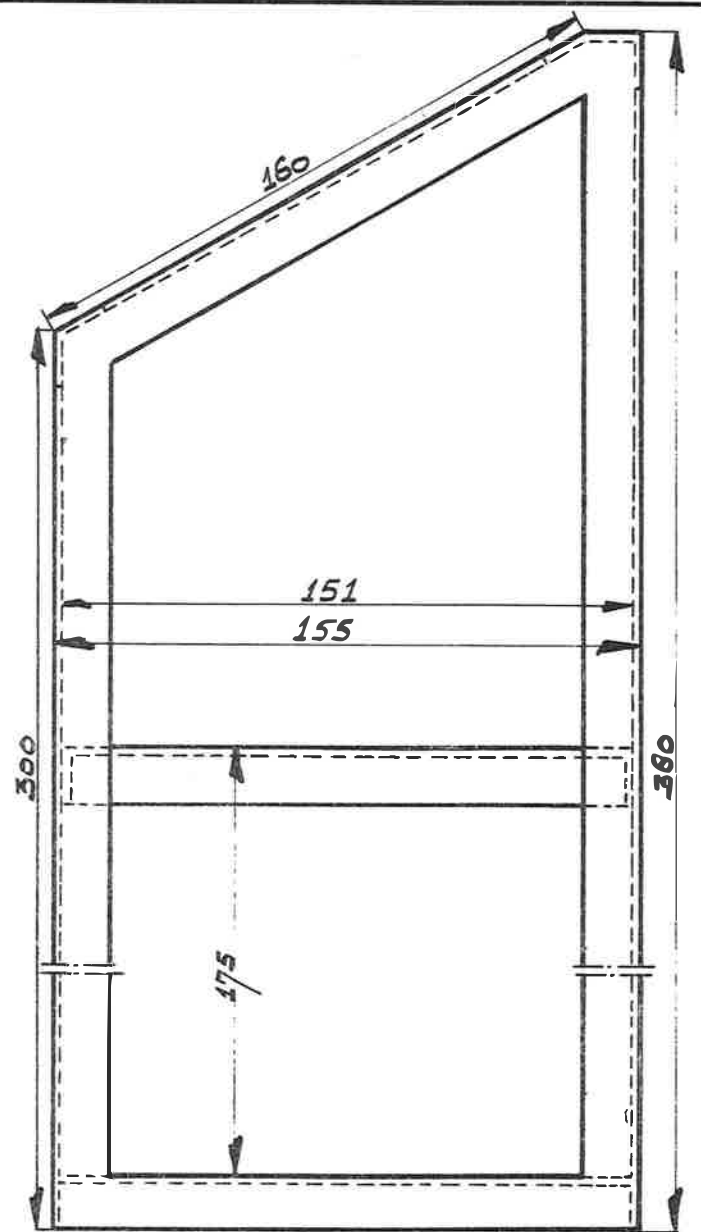


Fig. 18



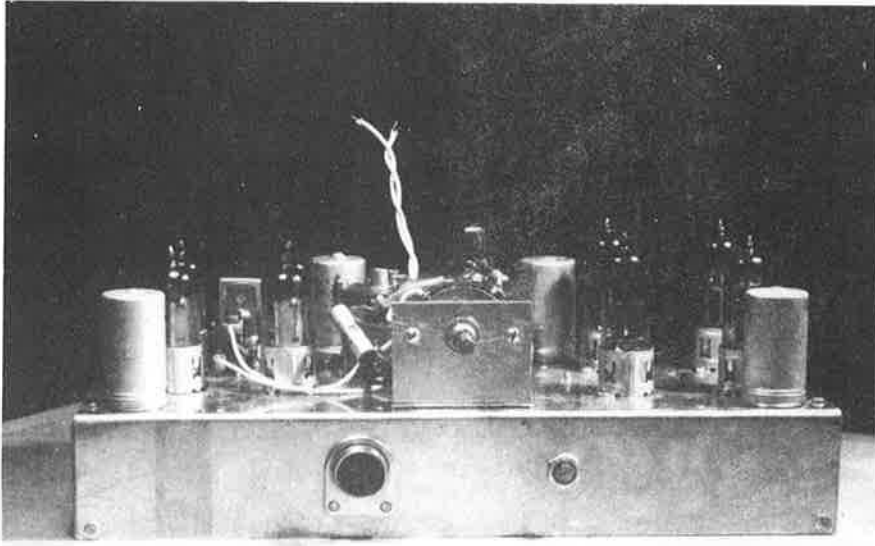


fig. 19 Foto eerste chassis  
fig. 19 Picture of top chassis

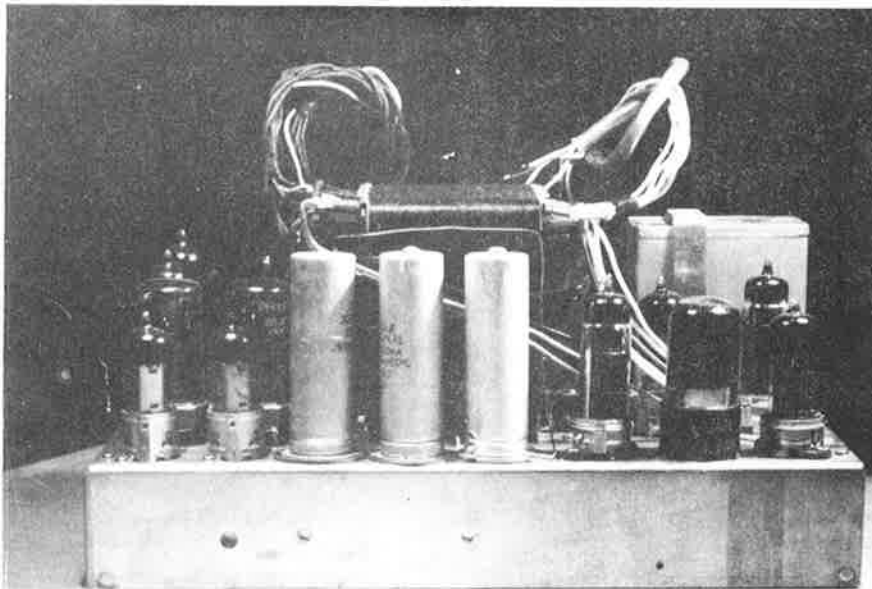
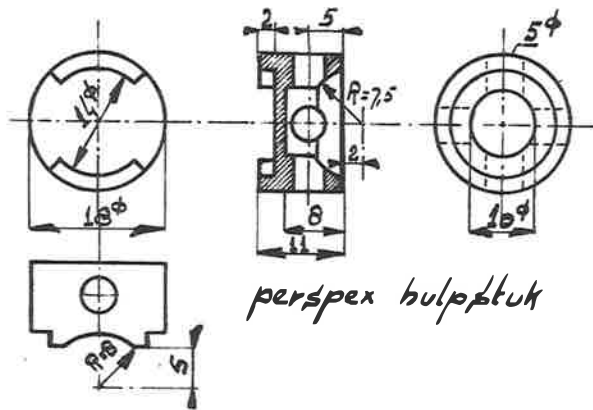
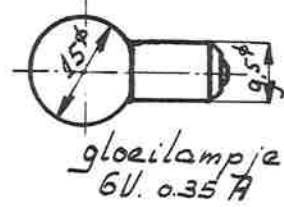


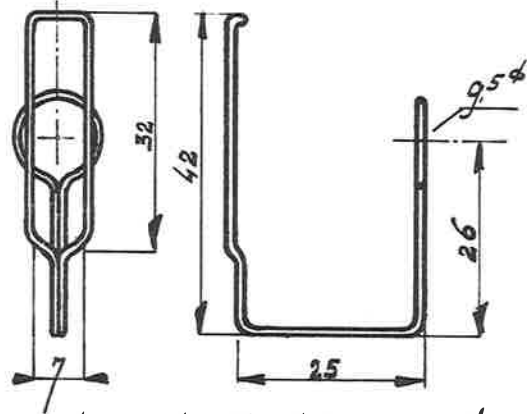
fig. 20 Foto tweede chassis  
fig. 20 Picture of bottom chassis



perspex hulpstuk



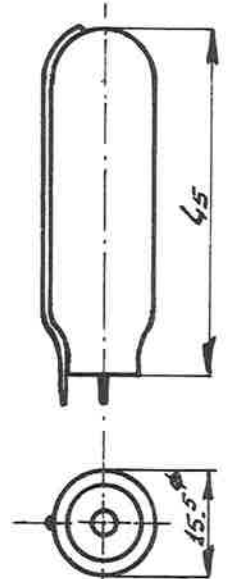
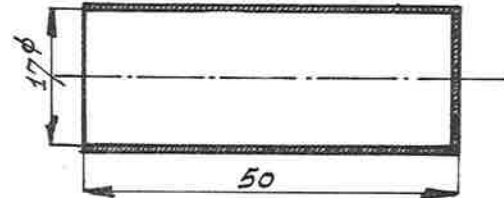
gloeilampje  
6V. 0.35 A



beugel. staaldraad 1mm<sup>+</sup>

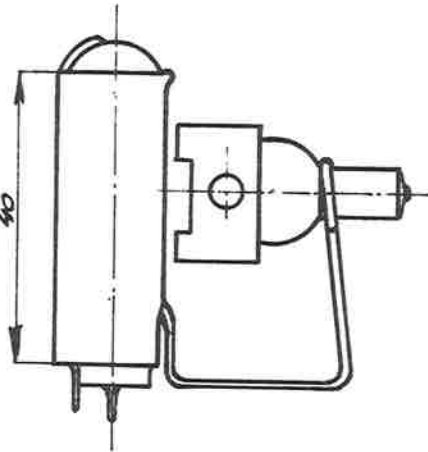


hulp v. fotocel.



fococel  
3530

latoenkoper  
40x40x0.1mm



samenstelling.

Constructie detail oorklem.

Fig. 21

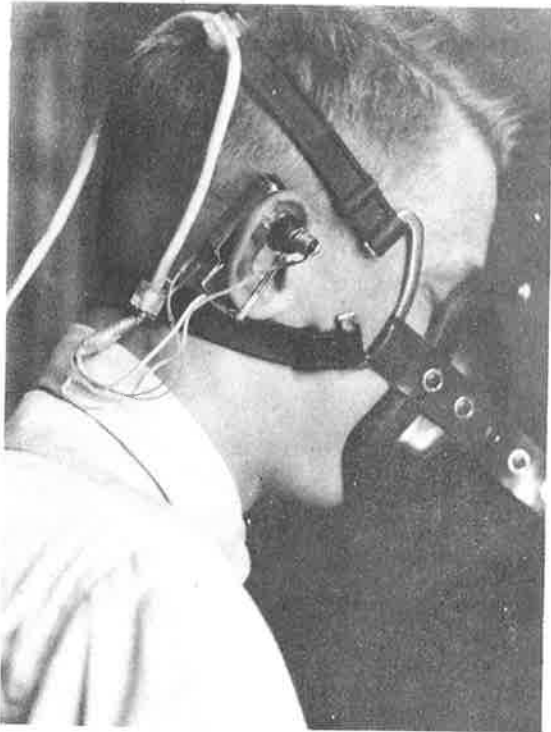


fig.22 Foto bevestiging van de oorklem  
fig. 22 Picture of earclip in situ

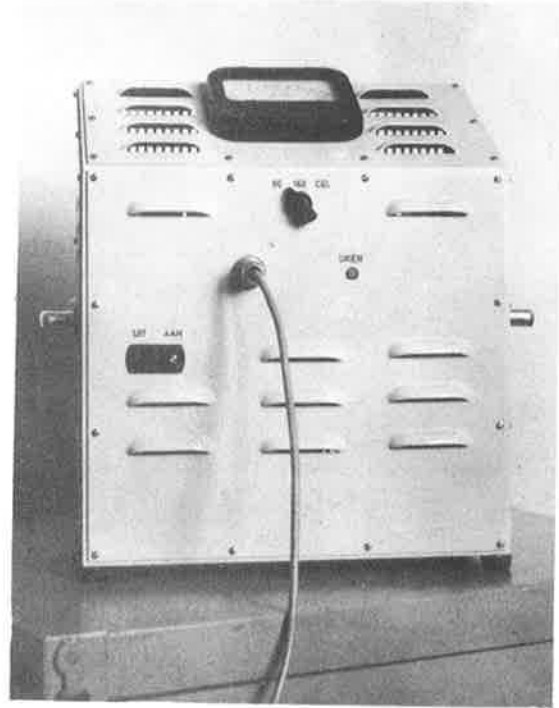


fig. 23 Foto van het complete toestel  
fig. 23 Picture of the complete instrument

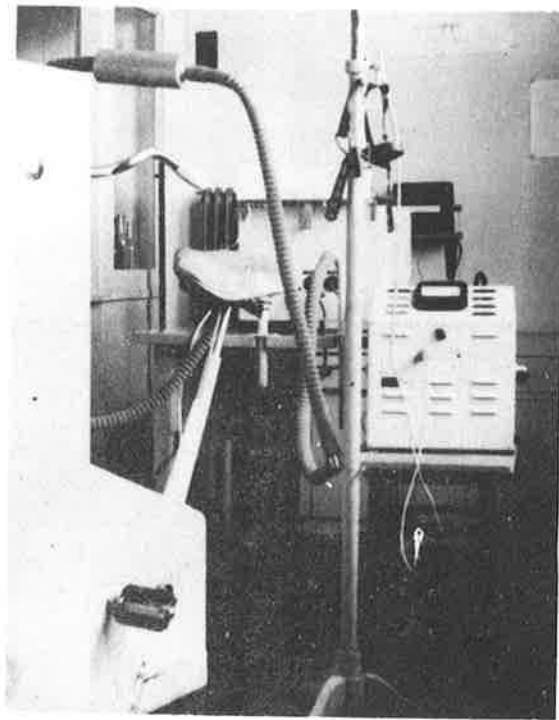


fig. 24 Foto van een meetopstelling  
fig. 24 Picture of a complete arrangement