

2e EXEMPLAAR

Archief V.T.H.



TECHNISCHE HOGESCHOOL  
VLIEGTUIGBOUWKUNDE

Rapport V.T.H.-35

Beschrijving van de sinusgenerator met bij-  
behorende meetapparatuur van de sub-afdeling  
Vliegtuigbouwkunde der Technische Hogeschool.

Delft - Nederland

Januari 1955.

Rapport V.T.H.-35

TECHNISCHE HOGESCHOOL  
VLIEGTUIGBOUWKUNDE

## RAPPORT VTH-35

Beschrijving van de sinusgenerator met bijbehorende meetapparatuur van de sub-afdeling Vliegtuigbouwkunde der Technische Hogeschool.

Samenvatting.

In dit rapport wordt een elektrische sinusgenerator met bijbehorende meetapparatuur beschreven, met behulp waarvan de dynamische eigenschappen van elektrische regelsystemen, of gedeelten daarvan, kunnen worden bepaald.

Vervolgens wordt in dit rapport een gebruiksaanwijzing gegeven van de beschreven apparatuur.

## Inhoud.

1. Inleiding
2. Algemene opbouw van de sinusgenerator en het meetsysteem.
3. Beschrijving van de onderdelen.
  - 3.1. De aandrijving.
  - 3.2. De magstrip.
  - 3.3. De demodulator.
  - 3.4. De modulator.
  - 3.5. De fasedraaier.
  - 3.6. De versterkers.
4. De bediening van de sinusgenerator en bijbehorende apparatuur.
5. Literatuur.  
Aanhangsel 1: Beschrijving van de ringmodulator.  
Figuren.

## 1. Inleiding.

Een sinusgenerator is een apparaat, met behulp waarvan elektrische spanningen kunnen worden opgewekt, welke sinusvormig met de tijd veranderen. Deze spanningen vormen het ingangssignaal voor een te onderzoeken elektrisch regelsysteem of een gedeelte daarvan. Is het regelsysteem een lineair systeem, dan bezit het een uitgangsspanning, welke eveneens sinusvormig met de tijd verandert, met dezelfde frequentie als de ingangsspanning. De amplitudes en fasen van beide spanningen zullen in het algemeen echter verschillend zijn. Ter bepaling van de dynamische eigenschappen van het regelsysteem worden nu de amplitudeverhouding en de faserelaties tussen in- en uitgangsspanning gemeten met behulp van de bij de sinusgenerator behorende meetapparatuur.

De periode van de slingering, welke door de hier beschreven sinusgenerator wordt opgewekt, is continu variabel tussen 0,05 en ca. 300 sec. De amplitude is instelbaar tussen 0 en 35 Volt, terwijl het maximaal af te geven vermogen 0,07 Watt bedraagt.

Het principe van de beschreven sinusgenerator werd ontleend aan lit.1.

## 2 Algemene opbouw van de sinusgenerator en het meetsysteem.

De sinusvormige spanning wordt opgewekt met behulp van een roterende transformator - een z.g. magslip <sup>1)</sup> - welke links in fig.1 is aangegeven. De draaibare wikkeling van de magslip wordt bekrachtigd met een wisselspanning met een frequentie van 500 Hz. De vaste wikkeling zal dan een signaal van 500 Hz. afgeven, waarvan de amplitude sinusvormig verandert met een frequentie gelijk aan het toerental van de draaiende wikkeling. Deze laatste wordt via een variabele overbrenging aangedreven door een kleine electromotor met regelbaar toerental.

Zoals uit fig.1 blijkt, wordt het signaal van de magslip op twee wijzen gebruikt. Enerzijds wordt het gevoerd naar de ingang van het te meten systeem, anderzijds wordt het gebruikt ter bepaling van de faseverschuiving tussen in- en uitgangssignaal van het te meten systeem. Op de fasemeting wordt later uitvoeriger ingegaan.

Het signaal dat naar de ingang van het te meten systeem wordt gevoerd, dient eerst te worden gedemoduleerd. Ten einde het echter voor demodulatie geschikt te maken, moet het nulpunt worden verschoven. Dit wordt bereikt door optelling van een extra ongemoduleerd 500 Hz signaal, zoals in fig.1 is aangegeven. De demodulator geeft dan een sinusvormige spanning met de gewenste frequentie af. De amplitude van deze spanning kan aan de demodulator worden geregeld.

De sinusvormige spanning wordt vervolgens naar het te meten systeem gevoerd. Indien het systeem lineair is zal de uitgangsspanning eveneens sinusvormig zijn.

De amplitude verhouding van in-en uitgangssignaal wordt gemeten door, zoals uit fig.1 blijkt, een voldoende snelle galvanometer beurtelings met de ingang en de uitgang van het te meten systeem te verbinden.

Voor de meting van de fase van het uitgangssignaal ten opzichte van die van het ingangssignaal wordt gebruik gemaakt van twee fase-draaiers en een kathodestraaloscillograaf. Teneinde een vergelijking van de fasen mogelijk te maken, wordt het uitgangssignaal eerst gemoduleerd op een wisselspanning van 500 Hz. Vervolgens wordt het via een versterker gevoerd naar de plaatjes voor de horizontale afbuiging van de kathodestraalbuis.

1) Deze apparaten zijn in Engeland bekend onder de fabrieksnaam "magslip" in de U.S.A. onder de namen "Selsyn" en "autosyn". Aangezien hier een Engelse uitvoering is toegepast, zal verder over een "magslip" worden gesproken.

De reeds eerder genoemde tweede aftakking van de spanning welke door de roterende magstrip wordt geleverd dient als vergelijkings-signaal. Deze spanning wordt, zoals in fig.1 linksonderaan is aangegeven, naar een fasedraaier gevoerd. Met behulp van deze fasedraaier kan de fase van de laag frequente slingering willekeurig worden veranderd, zonder de fase van de draaggolf te beïnvloeden. Van de fasedraaier wordt het vergelijkings-signaal vervolgens via een versterker gevoerd naar de plaatjes voor de verticale afbuiging van de kathodestraalbuis.

Op de oscillograaf zal een niet van stand veranderende rechte lijn verschijnen, welke met de frequentie van de opgewekte spanning van lengte verandert, indien aan de onderstaande voorwaarden is voldaan:

1. De draaggolven van de aan de horizontale en verticale afbuigplaatjes toegevoerde signalen zijn in fase.
2. De signalen zelf zijn in fase.

Teneinde aan de eerste voorwaarde te kunnen voldoen, is nog een tweede fasedraaier aangebracht tussen de bron van de 500 Hz draaggolf en de modulator, zoals rechts bovenaan in fig.1 is aangegeven. Hiermede kan de draaggolf van het uitgangssignaal in fase worden gebracht met die van het ingangssignaal.

Zoals uit het voorgaande volgt, kunnen het uitgangssignaal en het vergelijkings-signaal met elkaar in fase worden gebracht door de eerste fasedraaier te verdraaien. Aangezien de spanning, welke aan de fasedraaier wordt toegevoerd, in fase is met de ingangsspanning van het te meten systeem, is de hoek waarover de fasedraaier is verdraaid een directe maat voor het faseverschil tussen in- en uitgangssignaal.

### 3. Beschrijving van de onderdelen.

#### 3.1 De aandrijving.

Zoals reeds werd gezegd, wordt de frequentie van de opgewekte wisselspanning bepaald door het toerental van de roterende wikkeling van de magslip. Deze wordt aangedreven door een in shunt geschakelde electromotor.

Ten einde over een groot regelgebied te kunnen beschikken is tussen de electromotor en de magslip een mechanische, continu variabele overbrenging aangebracht.

Een nauwkeurige regeling van het toerental van de magslip wordt verkregen met behulp van een elektrische snelheidsregeling van de motor. Het elektrische schema van de motor is weergegeven in fig.2. De motor wordt gevoed met een gelijkspanning van ongeveer 40 Volt. De regeling van het toerental van de motor geschiedt met de weerstanden  $R_s$  en  $K_p$ . Verkleining van  $R_s$  en vergroting van  $R_p$  doen het toerental toenemen.

De bepaling van de frequentie vindt tot een  $1/2$  Hz plaats door het meten van de omwentelingstijd van de draaibare wikkeling van de magslip met behulp van een chronometer. Bij hogere frequenties wordt het toerental van de magslip met behulp van een stroboscoop afgelezen. De stroboscoop bestaat uit een schijf waarvan de omtrek is verdeeld in 100 witte en 100 zwarte vakjes. De schijf wordt verlicht door een neonlamp welke wordt gevoed uit het stadsnet. Daar de wisselstroomfrequentie van het stadsnet 50 Hz bedraagt wordt de schijf 100x per seconde belicht. Dientengevolge staat het beeld stil bij elk toerental dat een geheel aantal omwentelingen per seconde bedraagt. Met behulp van deze stroboscoop kunnen frequenties tot ca 12 Hz worden gemeten.

#### 3.2. De magslip.

Een magslip is een transformator met één draaibare en drie vast opgestelde wikkelingen. De vast opgestelde wikkelingen maken een ruimtelijke hoek van  $120^\circ$  met elkaar en zijn in een sterschakeling verbonden. ( zie figuur 3 bovenste gedeelte)

Teneinde met behulp van een magslip een sinusvormig gemoduleerde draaggolf te verkrijgen wordt de draaibare wikkeling als primaire gebruikt. Hierop wordt een wisselspanning van 500 Hz, 36 Volt aangesloten. De in elk der vast opgestelde wikkelingen geïnduceerde spanning is evenredig met de cosinus van de hoek tussen deze wikke-

ling en de draaibare wikkeling. Wordt deze laatste wikkeling derhalve met een eenparige snelheid rondgedraaid, dan zal in elk der vaste wikkelingen een spanning worden geïnduceerd waarvan de amplitude sinusvermig met de tijd verandert.

De fasen van de sinusvormige amplitudevariatiën in elk der vaste wikkelingen zullen  $120^\circ$  ten opzichte van elkaar zijn verschoven. Het spanningsverloop tussen twee van de drie uitgangsklemmen van de magslip wordt verkregen door vectoriële optelling van twee van de, in de vaste wikkelingen geïnduceerde spanningen.

Resumerend kan worden gezegd, dat er tussen elk tweetal klemmen, dat van de drie klemmen van de vaste wikkelingen kan worden gevormd, een wisselspanning van 500 Hz aanwezig is. De amplitude van deze wisselspanning varieert sinusvormig met de tijd, met een frequentie welke gelijk is aan het toerental van de draaibare wikkeling van de magslip.

### 3.3. De demodulator.

Het door de magslip geleverde signaal is een sinusvormige wisselspanning, gemoduleerd op een 500 Hz draaggolf. Daar voor het te meten systeem een ongemoduleerd signaal is vereist, dient de wisselspanning te worden gedemoduleerd.

Door toevoeging van een extra draaggolf van constante amplitude wordt eerst het nulpunt van het signaal verschoven, teneinde demodulatie mogelijk te maken, zie fig.1.

De eigenlijke demodulator (fig.4) is uitgevoerd als in de radiotechniek bekende - diode topgelijkrichter. De condensator  $C_1$  wordt via de diode door de negatieve helft van de draaggolf opgeladen en vervolgens ontladen over  $R_1$ . Aangezien de door  $R_1$  en  $C_1$  gevormde tijdconstante groot is ten opzichte van de duur van een periode van de draaggolf, zal de spanning over de weerstand  $R_1$  voortdurend bij benadering gelijk zijn aan de topspanning van de draaggolf. De tijdconstante van  $R_1$  en  $C_1$  is echter klein ten opzichte van de duur van een periode van de gemoduleerde sinusvormige spanning. Als gevolg daarvan blijft de sinusvorm van deze spanning behouden. De in fig.4 aangegeven weerstand en condensator  $R_2$  en  $C_2$  vormen een afvlakfilter voor de draaggolffrequentie.

De tweede buis in het demodulatorcircuit werkt in een z.g. anodebasisschakeling. De buis fungeert in deze schakeling als buffer, waardoor de demodulator zelf niet wordt beïnvloed door de belasting. In dit geval bestaat de belasting uit de stuuenergie voor het te



meten systeem.

Aangezien de eindbuis steeds stroom trekt, bevat de uitgangsspanning van de demodulator een gelijkspanningscomponent. Is dit in verband met de meting ongewenst, dan kan deze gelijkspanning door een passende spanningsbron worden gecompenseerd. De grootte van de uitgangswisselspanning van de demodulator kan worden ingesteld met de potentiometer  $R_1$ .

### 3.4. De modulator.

Teneinde het faseverschil tussen de in- en uitgangssignalen van het te meten systeem te kunnen bepalen, worden deze signalen op een kathodestraaloscillograaf tot een Lissajousfiguur samengesteld, zoals in de inleiding reeds werd aangeduid.

Aangezien de versterkers van de oscillograaf alleen wisselspanningen met frequenties hoger dan ca 1 Hz doorlaten en beter afleesbare figuren op het oscillograafscherf verschijnen indien met gemoduleerde signalen wordt gewerkt, dient het uitgangssignaal van het te meten systeem op een 500 Hz draaggolf te worden gemoduleerd.

De modulatie geschiedt met een aan de draaggolftelefonie ontleende schakeling: de zgn. knipoog- of ringmodulator (fig. 5). De werking van deze modulator berust op de mogelijkheid een gelijkrichtcel als schakelaar te laten functioneren. Voor een gedetailleerde beschrijving van de werking van deze modulator wordt verwezen naar aanhangsel 1.

De modulator wordt afgesloten met een resonantieketen aangezien het uitgangssignaal als gevolg van de schakelwerking van de gelijkrichtcellen een kanteelvorm in plaats van de gewenste sinusvorm heeft. Dit zou de aflezing van de fasehoek bemoeilijken. Door de resonantieketen worden de hogere harmonischen uitgefilterd, zodat alleen de grondfrequentie van de kanteelkromme overblijft.

De fase van de draaggolf van het gemoduleerde signaal is gelijk aan de fase van de aan de modulator toegevoerde draaggolf. Zoals reeds in de inleiding werd uiteengezet, is voor een goede fasevergelijking van het laagfrequente signaal ook de fase van de draaggolf bepalend. Als gevolg van de kleine faseverschuiving van de draaggolf welke optreedt in de magslips en de resonantieketens, is een correctie op de draaggolffase noodzakelijk. De draaggolf wordt derhalve via een fasedraaier, welke deze correctie kan geven, aan de modulator toegevoegd. Deze fasedraaier is een magslip waarvan

de klemmen van de vast opgestelde wikkelingen zijn verbonden met de drie fasen van het 36 Volt 500 Hz draaistroomnet. Hierdoor wordt in het magnetisch circuit van de magslip een draaiveld opgewekt dat een spanning induceert in de draaibare wikkeling. De fase van de secundair geïnduceerde spanning is afhankelijk van de ruimtelijke stand van de draaibare wikkeling ten opzichte van de vaste wikkelingen. De secundair spanning wordt als draaggolf aan de modulator toegevoegd.

### 3.5. De fasedraaier.

Zoals reeds in de inleiding werd gezegd, wordt de gemoduleerde wisselspanning, afkomstig van de draaiende magslip, via een fase-draaier en een versterker naar de plaatjes van de verticale afbuiging voor de kathodestraalbuis geleid.

Met de fasedraaier kan de fase van het op de draaggolf gemoduleerde laagfrequente signaal zodanig worden verschoven, dat het faseverschil met het uitgangssignaal van het te meten systeem nul is. De hoek waarover de fasedraaier dan is verdraaid, is een maat voor het faseverschil tussen in- en uitgangssignaal. De fase van de draaggolf wordt door deze fasedraaier niet beïnvloed.

Als fasedraaier is een zgn. "magsliphunter" gebruikt. Het verschil met de reeds beschreven gewone magslip is, dat er niet één, maar drie draaibare wikkelingen zijn, welke ruimtelijk een hoek van  $120^\circ$  met elkaar maken en in een sterschakeling zijn verbonden. Het elektrische schema is in fig. 3 weergegeven.

De drie vaste wikkelingen van de fasedraaier worden verbonden met de drie vaste wikkelingen van de magslip welke de laagfrequente spanning opwekt. De geïnduceerde spanningen in de draaibare wikkelingen zullen zoveel in fase verschillen als de ruimtelijke hoekverdraaiing ten opzichte van de vaste wikkelingen bedraagt.

De fasedraaier introduceert enige vervorming in de draaggolf, hetgeen in verband met de afleesbaarheid van het beeld op de oscillograaf ongewenst is. Om deze reden is het geheel afgesloten met een resonantieketen in serie met een weerstand, waardoor deze vervorming grotendeels wordt opgeheven.

### 3.6. De versterkers.

De beide versterkers welke volgens fig. 1 voor de oscillograaf zijn aangebracht, hebben tot doel het beeld een gemakkelijk afleesbare grootte te geven.

Voor het signaal, afkomstig van de fasedraaier en werkend op de plaatjes voor de verticale afbuiging, wordt de in de oscillograaf aanwezige versterker gebruikt.

Het signaal, afkomstig van de uitgang van het te meten systeem, dat op de plaatjes voor de horizontale afbuiging werkt, wordt door een aparte versterker (fabrikaat Peekel) gevoerd. De versterking van deze laatste kan in stappen van 10 db ( $=\sqrt{10x}$ ) worden geregeld.

#### 4. De bediening van de sinusgenerator en bijbehorende apparatuur.

De sinusgenerator is verdeeld in twee eenheden. De ene bevat voornamelijk de electromechanische onderdelen, zie fig. 8 en 9 en de andere de elektronische, zie fig. 10 en 11.

De eenheden worden met elkaar verbonden door twee vijfaderige kabels, voorzien van aansluitpluggen. De pluggen en contrapluggen zijn paarsgewijze gemerkt en er dient op te worden gelet, dat elke plug wordt verbonden met de contraplug voorzien van hetzelfde merkteken.

Ter onderscheiding van de verschillende stekkerbusjes is in de gehele sinusgenerator het volgende kleurenschema gebruikt:

- rood = positief
- zwart = negatief
- blauw = wisselspanning

Naar het electromechanische deel worden de onderstaande spanningen gevoerd, welke worden verkregen van het elektrische paneel in de ijkkamer.

1. 40 V gelijkspanning voor de aandrijving van de motor.
2. 36 V - 500 Hz driefase draaistroom voor de draaggolf.
3. 24 V gelijkspanning voor balanceerdoeleinden.  
Ter verkrijging van een zo glad mogelijke gelijkspanning dient deze door een accu te worden geleverd.
4. 55 V - 50 Hz wisselspanning voor de voeding van de stroboscooplamp.

In het chassis op het electro-mechanische gedeelte (zie fig. 9) bevinden zich tevens twee paar stekkerbusjes, gemerkt Rs en Rp. Deze worden verbonden met de weerstanden Rs en Rp voor de regeling van het motortoerental.

Rs is een schuifweerstand van 440 voor max. 2 A,

Rp is een schuifweerstand van 23 voor max. 8,5 A.

Naar het elektronisch deel van de sinusgenerator worden de volgende spanningen gevoerd:

1. 6,3 V wisselspanning voor de gloeidraden van de buizen, aangesloten op de stekkerbusjes gemerkt 6,3.
2. De hoogspanning, regelbaar tussen 100 en 280 V, aangesloten op de stekkerbusjes, gemerkt H.S.

Deze twee spanningen worden verkregen van een voedingsapparaat, waarvan de desbetreffende stekkerbusjes eveneens zijn gemerkt met resp. 6,3 en H.S. De hoogspanning kan in het voedingsapparaat worden geregeld.

Vervolgens worden de onderstaande aansluitingen met het electro-nische deel gemaakt.

1. De stekkerbusjes gemerkt G worden verbonden met de Kippgalva-nometer VTH 19-005.
2. De stekkerbusjes gemerkt I worden verbonden met de ingang van het te meten systeem.
3. De stekkerbusjes gemerkt U worden verbonden met de uitgang van het te meten systeem.
4. De stekkerbusjes gemerkt Y worden aangesloten op de normale signaalingang van de kathodestraaloscillograaf.
5. De stekkerbusjes X worden aangesloten op de Peekelversterker.

Tenslotte wordt de uitgang van de Peekelversterker verbonden met de stekkerbusjes van de oscillograaf voor de horizontale afbuiging. De tijdbasischakelaar van de oscillograaf moet staan op tijdbasis extern.

De Peekelversterker, de kathodestraaloscillograaf en het voe-dingsapparaat worden vanuit het 220 V lichtnet gevoed.

Het verdient aanbeveling het electronische gedeelte van de sinusgenerator op een afstand van tenminste 0,5 m op te stellen van apparatuur welke transformatoren bevat (versterkers, de oscillo-graaf en het electro-mechanisch gedeelte). Wordt dit nagelaten, dan zullen de spreidingsvelden van de transformatoren van deze apparatuur stoorspanningen induceren in de transformatoren van het electronische gedeelte van de sinusgenerator. Aangezien deze laatste transformatoren op een laag signaalniveau werken, zullen de stoor-spanningen het beeld op de oscillograaf vertekenen, waardoor de fasebepaling sterk wordt bemoeilijkt.

De sinusgenerator wordt als volgt in werking gesteld:

1. Zorg dat het te meten systeem bedrijfsklaar is.
2. Schakel achtereenvolgens in:
  - a. de Peekelversterker
  - b. de kathodestraaloscillograaf
  - c. de gloeidraden van het voedingsapparaat
  - d. de 36 V - 500 Hz draaistroom, electrisch paneel
  - e. de 55 V - 50 Hz wisselspanning, electrisch paneel
  - f. de 24 V gelijkspanning, " "
  - g. de 40 V gelijkspanning, " "
3. Stel de machanische variabele overbrenging en de weerstanden  $R_s$  en  $R_p$  zodanig in, dat de frequentie van de opgewekte sinus-vormige spanning ongeveer in het midden van het frequentie-gebied ligt, waarin de metingen moeten worden verricht.

4. Zet de schakelaar G naar links, de galvanometer is dan verbonden met de ingang van het te meten systeem.
5. Schakel aan het voedingsapparaat de hoogspanning in.
6. Regel met de knop V de amplitude van de aan het systeem toegevoerde sinusvormige spanning. Het te meten systeem moet enerzijds flink reageren, anderzijds mag de amplitude niet te groot zijn, aangezien dan dikwijls de lineaire werking van het systeem verloren dreigt te gaan.

Op het scherm van de oscillograaf zal nu in het algemeen een van stand en grootte veranderende ellips verschijnen.

7. Breng door het verdraaien van de middelste magstrip de draaggolf van het uitgangssignaal van het te meten systeem in fase met die van het ingangssignaal. Wanneer beide draaggolven in fase zijn, vertoont de oscillograaf een van lengte en stand veranderende lijn.
8. Zet de schakelaar M.D. (modulatiediepte) omhoog. Het ingangssignaal wordt dan niet meer naar de oscillograaf gevoerd. Op het scherm verschijnt een van lengte veranderende horizontale lijn.
9. Maak de verbinding U los. De oscillograaf ontvangt dan evenmin het uitgangssignaal. Het beeld is nu een punt. Indien nodig, kan de scherpte van de punt worden vergroot door middel van knop B (balanceren van de modulator). Deze instelling behoeft niet zeer nauwkeurig en bovendien slechts eenmaal te worden verricht.
10. Breng de verbinding U weer aan. Op het scherm verschijnt de van lengte veranderende horizontale lijn.
11. Stel met knop A (afstemming van de resonantieketen achter de modulator op de draaggolf) een zo groot mogelijke maximale lengte van de lijn in. Ook deze instelling behoeft slechts eenmaal te worden uitgevoerd.
12. Stel de knop M.D. zodanig in, dat de opeenvolgende maximale lengten van de horizontale lijn evengroot zijn. De instelling is zeer gevoelig en dient voor elke waarneming te worden herhaald.
13. Zet de schakelaar M.D. omlaag. Het ingangssignaal wordt nu weer naar de oscillograaf gevoerd. Op het scherm verschijnt een van lengte en stand veranderende lijn.
14. Stel de magstrip-hunter - de fasedraaier, rechts in fig. 8 - zodanig in, dat de lijn op het scherm van de oscillograaf uitsluitend van lengte en niet meer van stand verandert.

Het is dikwijls nodig, tijdens het manoeuvreren met de fase-draaier de knop M.D. nog iets bij te stellen. De schakelaar M.D. wordt daarbij weer tijdelijk omhoog gezet.

15. Stel de versterkers zodanig in, dat de lijn een hoek van ca  $45^{\circ}$  met de horizontale lijn maakt. Er zijn twee dergelijke standen. Deze zijn gelijkwaardig, mits gedurende de gehele waarnemingsreeks dezelfde stand wordt gebruikt.

Nadat bovenstaande instelling is verkregen, wordt met de metingen begonnen. De eerste meting wordt verricht bij de laagste frequentie (periode gewoonlijk ca 1 min.). Aan de fasehoek bij deze laagste frequentie en de daarbij behorende stand van de fasedraaier wordt de waarde nul toegekend. De fasehoeken bij hogere frequenties worden gerekend ten opzichte van deze waarde.

De amplitude vergelijking wordt uitgevoerd met behulp van de galvanometer, door de schakelaar G eerst naar links (ingangssignaal) en vervolgens naar rechts (uitgangssignaal) te zetten.

De frequentie van de opgewekte sinusvormige spanning wordt, zoals reeds eerder is gezegd, bepaald door het toerental van de meest linkse magslip. Dit toerental wordt grof geregeld met de variabele overbrenging tussen de motor en de magslip. Fijnregeling geschiedt eerst met Rs en daarna met Rp.

De frequentie van de opgewekte sinusvormige spanning wordt tot 0,5 Hz bepaald, door de duur van de periode met een chronometer te meten. De frequentie 0,5 Hz kan zowel met de chronometer als met de stroboscoop worden bepaald (stilstaand beeld met strepen van de halve breedte). Frequenties van 1 Hz en gehele veelvouden daarvan worden uitsluitend met behulp van de stroboscoop ingesteld. Het bepalen van deze frequenties geschiedt door aftellen van het aantal stilstaande beelden vanaf 1 Hz.

Na het beëindigen van de metingen wordt de sinusgenerator in de onderstaande volgorde uitgeschakeld:

1. de hoogspanning
2. de 40 V gelijkspanning
3. de 24 V gelijkspanning
4. de 55 V - 50 Hz wisselspanning
5. de 36 V - 500 Hz wisselspanning
6. de 6,3 V voedingsspanning
7. de kathodestraaloscillograaf
8. de Peekelversterker.

5. Literatuur.

1. Brow, G.A. en Campbell, D.P.

"Principles of Servomechanisms", 2e druk

Uitgave John Wiley and Sons, Inc. New York

Hoofdstuk 10, blz. 310 - 331.



## Aanhangsel 1.

### Beschrijving van de ringmodulator.

Het schema van de modulator is in fig. 5 gegeven. De werking berust op de eigenschappen van de gelijkrichtcellen.

Indien van een gelijkrichter de stroom  $i$  als functie van de spanning  $e$  wordt bepaald, wordt een karakteristiek gevonden als in fig. 6 is getekend.

Wordt de gelijkrichter in een bepaald punt van deze karakteristiek ingesteld en worden kleine spanningsvariaties  $\Delta e$  aangebracht, dan ontstaan kleine stroomvariaties  $\Delta i$ , waarvan de grootte door de karakteristiek wordt aangegeven. De weerstand van de gelijkrichter is bij die instelling gelijk aan:

$$R = \frac{\Delta e}{\Delta i}$$

of in het limietgeval:

$$R = \frac{de}{di}$$

Dit is dus de cotangens van de hoek, die de raaklijn aan de kromme in het beschouwde punt maakt met de horizontale as. Bij een instelling in het punt  $P_1$  zal de weerstand derhalve groot zijn en bij een instelling in punt  $P_2$  klein.

Door de draaggolf worden nu de gelijkrichtcellen in de schakeling van fig. 5 beurtelings in de punten  $P_1$  en  $P_2$  ingesteld. Bij de instelling in punt  $P_1$  is de weerstand zo groot dat de verbinding als niet bestaand kan worden beschouwd. Bij de instelling in punt  $P_2$  is de weerstand laag, de verbinding is dan wel aanwezig. Hierdoor worden beurtelings de situaties van de fig. 7a en b verkregen. Het signaal wordt, gecommuteerd in het rythme van de draaggolf-frequentie aan de uitgangstransformator toegevoegd. In de balans-transformator wordt de draaggolf uitgebalanceerd, zodat er zonder ingangssignaal geen uitgangssignaal is. Op deze wijze ontstaat een blokjeskromme met een amplitude, gelijk aan de grootte van het ongemoduleerde signaal.

Door middel van een resonantiekring wordt uitsluitend de grondharmonische van de blokjeskromme gebruikt, waardoor een goed gemoduleerd signaal wordt verkregen.

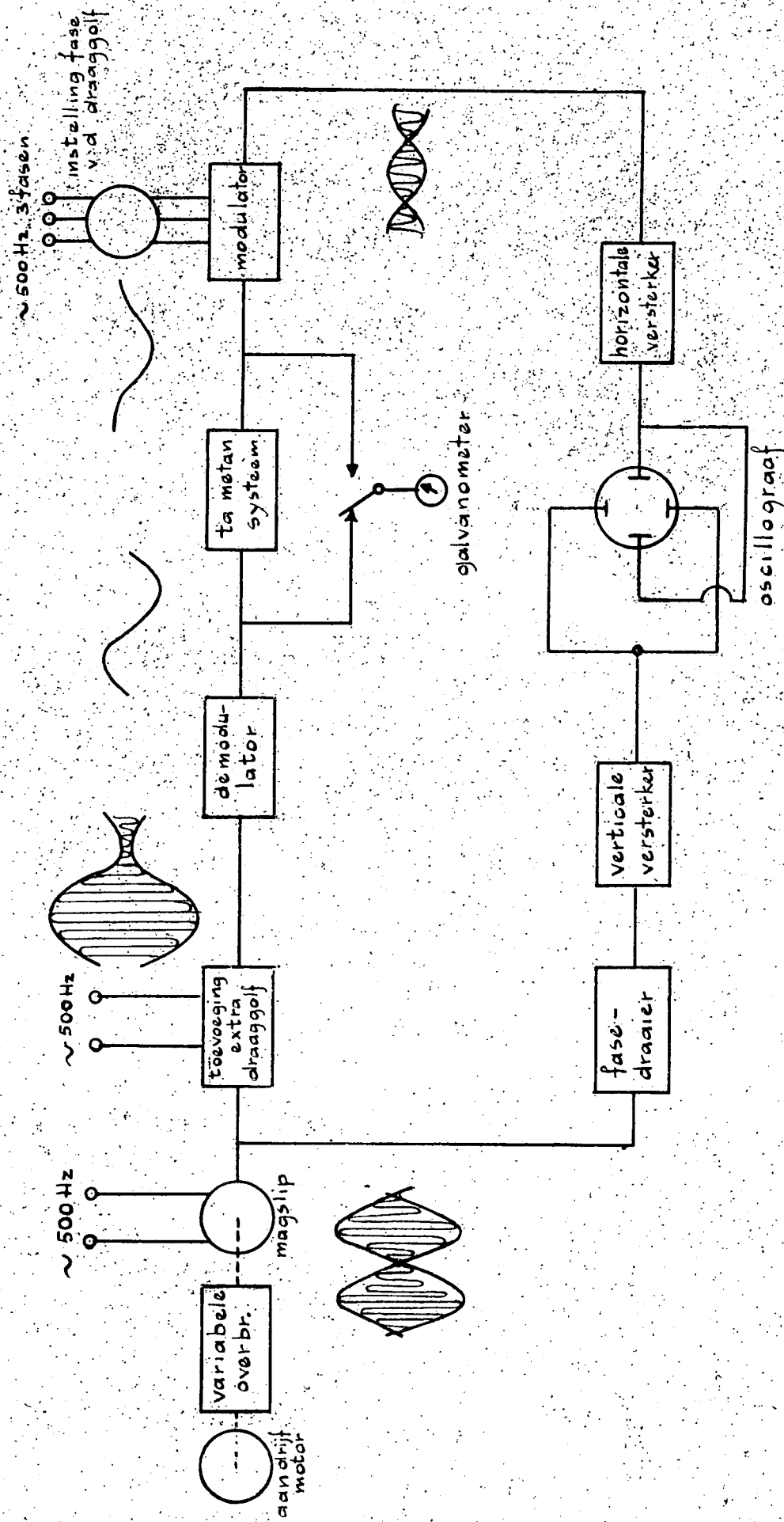


Fig. 1

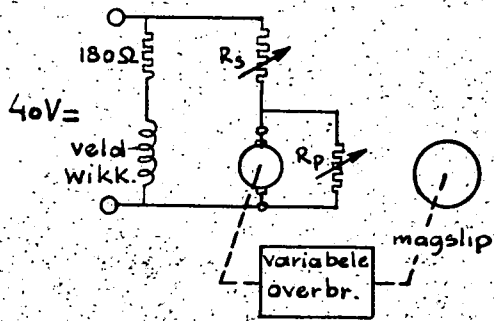


Fig. 2

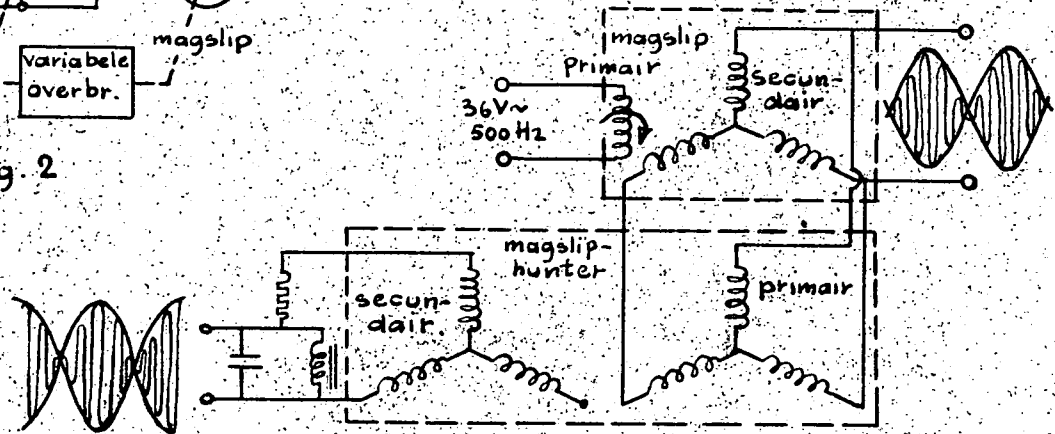


Fig. 3

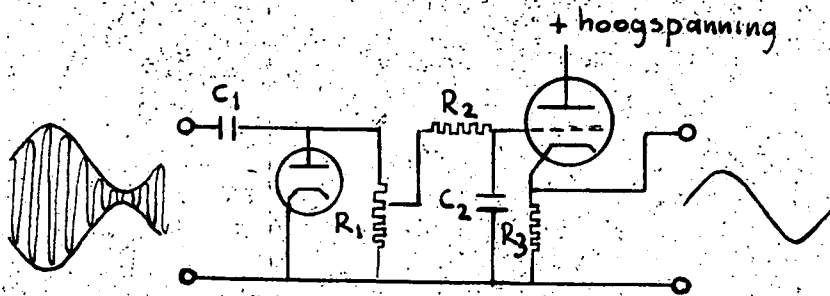


Fig. 4



Fig. 6

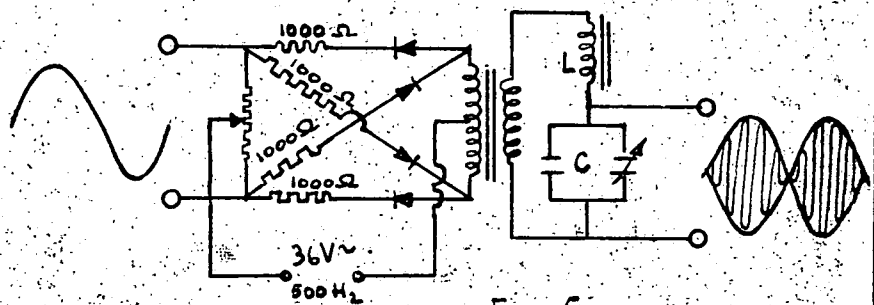


Fig. 5

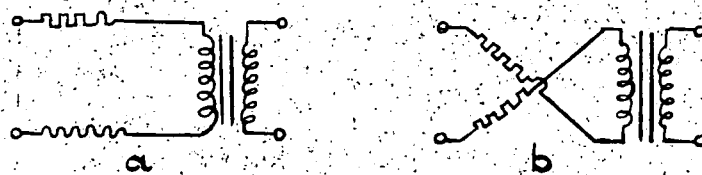


Fig. 7

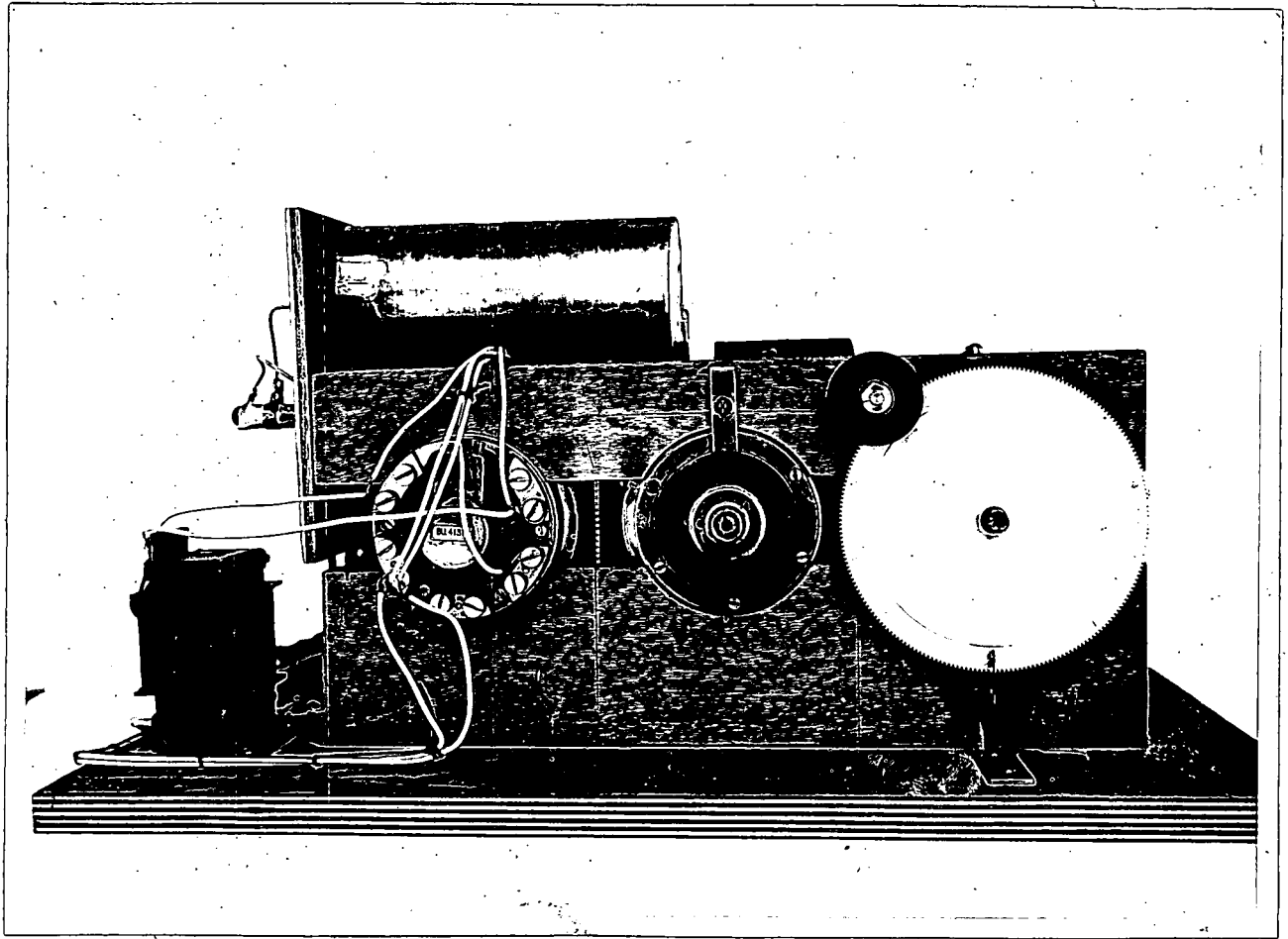


Fig. 8

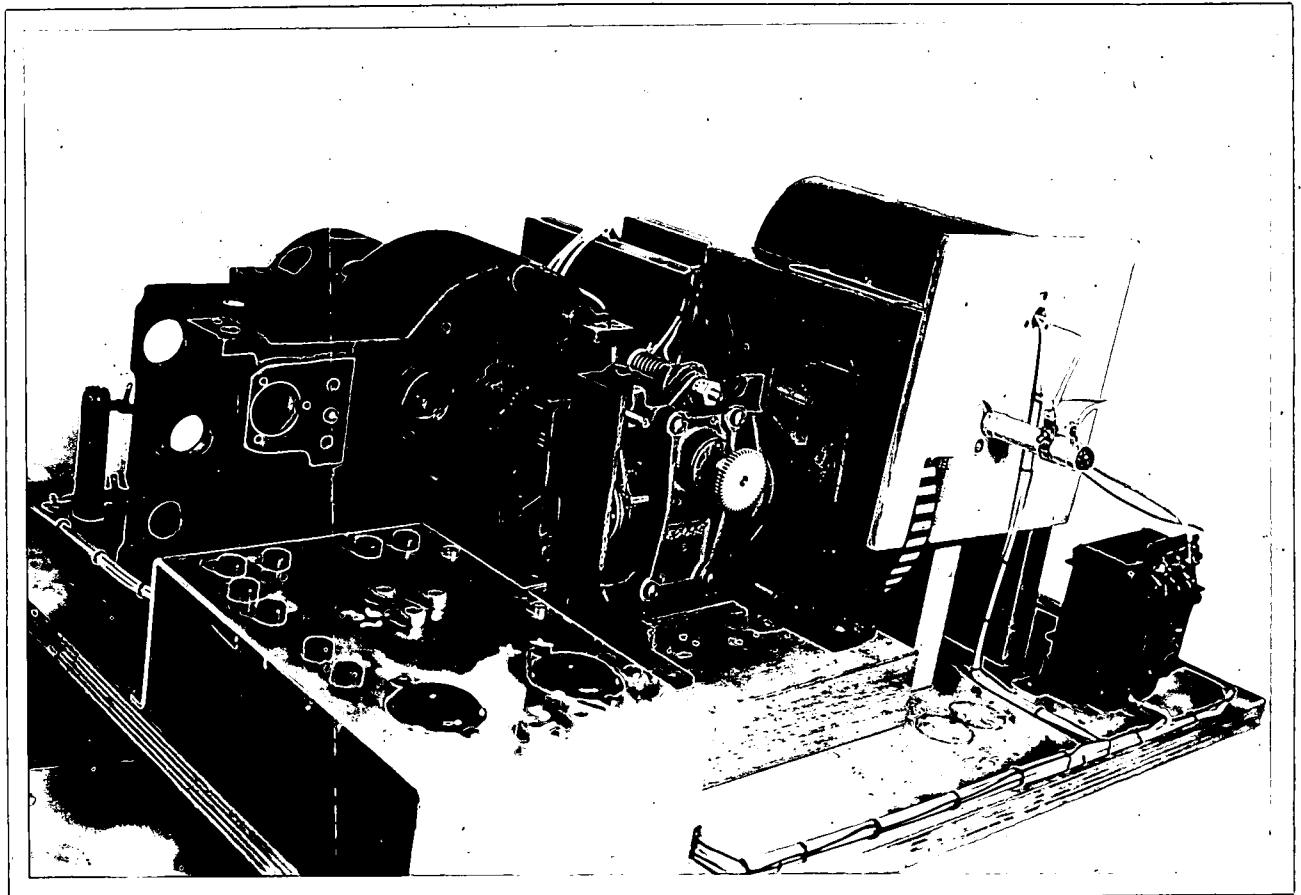


Fig. 9

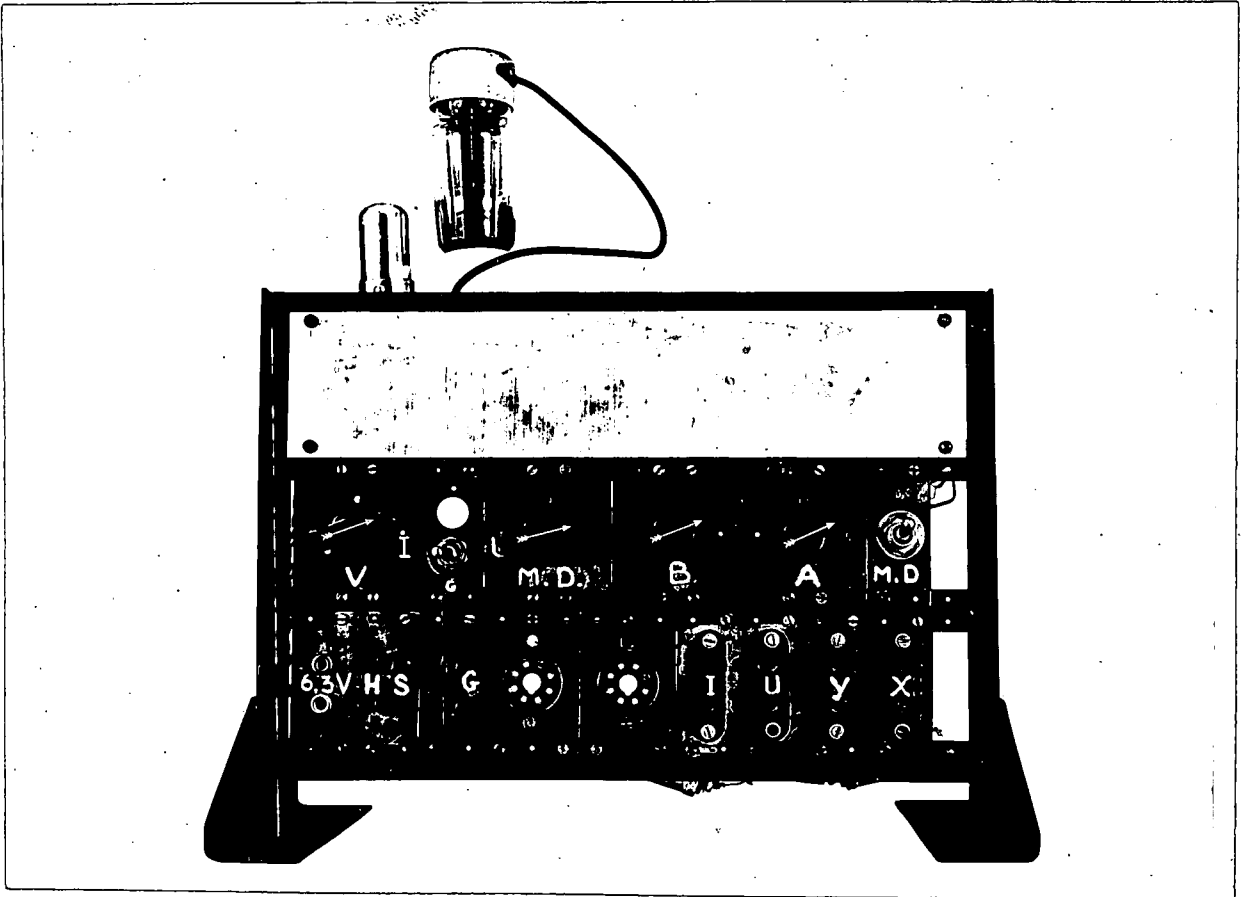


Fig. 10

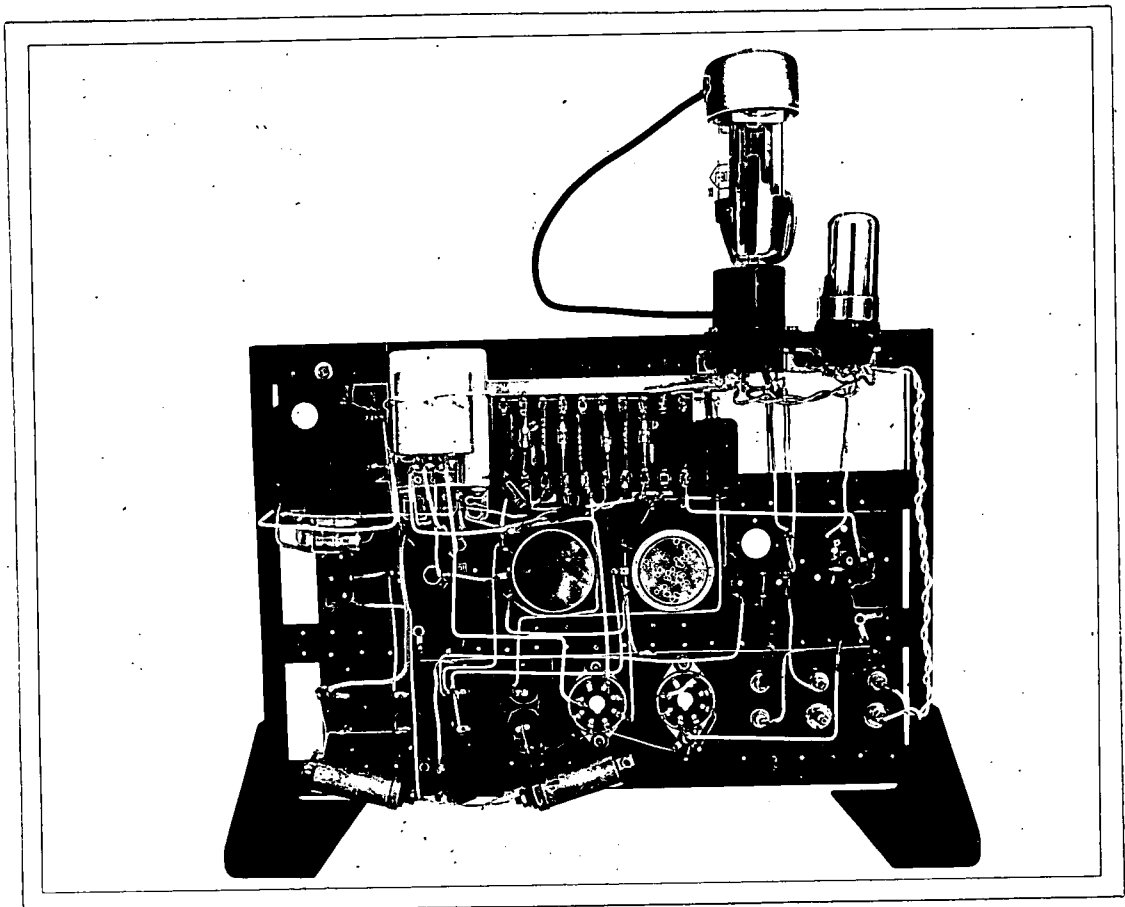


Fig. 11