

Rapport No. 333



# LABORATORIUM VOOR SCHEEPSBOUWKUNDE

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

DE SONISCHE GOLFHOOGTEMETER

door

D. Buitenhek

november 1972

## Samenvatting

In dit rapport wordt een sonische afstandmeter beschreven, ontwikkeld door het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde van de Technische Hogeschool te Delft, bestemd voor het meten van golfhoogten.

Bijzondere aandacht is besteed aan de voordelen en de nadelen van een sonische golfhoogtemeter.

## Inhoud

1. Inleiding
2. Beschrijving van het principe van de golfhoogtemeters in gebruik bij het  
Laboratorium voor Scheepsbouwkunde
  - 2.1. De golfhoogtemeter volgens de geleidbaarheidsmethode
  - 2.2. De sonische golfhoogtemeter
3. Blokschema en opbouw van de sonische golfhoogtemeter
  - 3.1. Oscillator
  - 3.2. Vertragingsschakelingen
  - 3.3. Ontstekingsschakeling en geluidszender
  - 3.4. Geluidsontvanger en versterker
  - 3.5. Poortschakeling en flip-flop
  - 3.6. Integrator
  - 3.7. Analoog geheugen
  - 3.8. Uitgangsschakeling
4. Meetnauwkeurigheid
  - 4.1. Temperatuurgevoeligheid
  - 4.2. Meetfout als gevolg van de golfhelling
  - 4.3. Meetfout als gevolg van de wagensnelheid
  - 4.4. Faseverschuiving als gevolg van een beperkt aantal bemonsteringen
5. Installatie
  - 5.1. Opstelling van de geluidszender en de geluidsontvanger
  - 5.2. Aansluiten van de golfhoogtemeter
  - 5.3. Afregelen van de golfhoogtemeter
6. Onderhoud
  - 6.1. Geluidszender
  - 6.2. Geluidsontvanger
7. Specificaties
8. Naschrift
9. Referenties
10. Afleiding van de gebruikte formules
  - 10.1. Formule 1
  - 10.2. Formule 3, 4 en 5
  - 10.3. Formule 6
  - 10.4. Formule 7
11. Lijst van symbolen
12. Lijst van figuren
13. Figuren en schema's

## 1. Inleiding

De golfhoogte wordt, in het proefbassin van het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde, gemeten met behulp van golfhoogtemeters volgens de geleidbaarheidsmethode.

In rapport 204 [1] wordt een golfhoogtemeter volgens de geleidbaarheidsmethode vergeleken met een sonische golfhoogtemeter, ontwikkeld door het St. Anthony Falls laboratorium van de Universiteit van Minnesota.[2][3] De ontwikkeling van een sonische golfhoogtemeter, door het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde, is gebaseerd op de voordelen die deze golfhoogtemeter biedt ten opzichte van een golfhoogtemeter volgens de geleidbaarheidsmethode.

Deze voordelen zijn:

1. Geen verstoring van het wateroppervlak
2. Geen beperking van de wagensnelheid

De nadelen echter van de golfhoogtemeter zijn; het ontstaan van een aantal fouten in het meetsignaal.

1. Een nulverschuiving en een kalibratie verandering als gevolg van de temperatuur verandering van de lucht
2. Een nulverschuiving als gevolg van de wagensnelheid
3. Een amplitude fout als gevolg van de golfhelling
4. Een faseverschuiving als gevolg van een beperkt aantal bemonsteringen.

## 2. Beschrijving van het principe van de golfhoogtemeters in gebruik bij het laboratorium voor Scheepsbouwkunde

### 2.1. De golfhoogtemeter volgens de geleidbaarheids methode

Het principe van de meting berust op het meten van de elektrische stroom door het water tussen twee vertikaal strak gespannen draden, die zich in het proefbassin bevinden. (fig. 1 en 2).

De stroom door het water blijkt evenredig te zijn met de grootte van de indompeling in het water.

Als de voedingsspanning op de draden konstant gehouden wordt geldt :

$$I = k_1 \cdot L \quad [A] \quad (\text{zie 10.1}) \quad 1)$$

Om polarisatie aan de meetdraden te voorkomen, wordt voor het voeden van de meetdraden een wisselspanningsbron gebruikt met een frequentie van 1000 Hz. Met behulp van een stroomtransformator T2 wordt de stroom door de meetdraden gemeten en omgezet in een spanning evenredig met de gemeten stroom.

Een draaggolfversterker en een fase gevoelige demodulator versterken c.q. detekteren het meetsignaal.

De uitgang van de detektor levert nu een spanning evenredig met de indompeling van de meetdraden in het water.

In figuur 2 is een blokschema van dit meetinstrument gegeven. De nadelen van de bij dit meetinstrument behorende opnemer zijn :

1. de opnemer geeft verstoring van het wateroppervlak
2. bij hogere wagensnelheden dan 2,5 m/sec. is er geen goede meting meer mogelijk door het trillen van de meetdraden, het opstuwen van het water tegen de meetdraden en de ventilatie achter de meetdraden.

### 2.2. De sonische golfhoogtemeter

Het principe van de sonische golfhoogtemeting, berust op het meten van de tijd tussen het uitzenden en het ontvangen van een geluidspuls.

Deze meting verloopt als volgt : (fig. 3 en 4)

Een geluidsbron zendt een korte geluidspuls uit, die door het wateroppervlak gereflekteerd en door een geluidsontvanger (mikrofoon) opgevangen wordt.

De tijd die verloopt tussen het uitzenden en het ontvangen van de geluidspuls, wordt gemeten en met behulp van een integrator omgezet in een spanning. Deze spanning, die evenredig is met de gemeten tijd, wordt overgebracht in een analoog geheugen en kan door een schrijver of ander registratie instrument worden vastgelegd.

De frequentie, waarmee de meting herhaald wordt, bepaalt :

1. het oplossend vermogen van de golfhoogtemeter
2. de maximale afstand van de opnemers (zender en ontvanger) tot het wateroppervlak.

Het oplossend vermogen neemt toe met het toenemen van de herhalingsfrequentie, maar de maximale afstand neemt af met het toenemen van de herhalingsfrequentie. Dit is het gevolg van de eindige snelheid van het geluid in lucht. Er is gezocht naar een compromis en bij de in dit rapport beschreven golfhoogtemeter is de herhalings frequentie 240 Hz. De maximale afstand van de opnemers tot het wateroppervlak is dan  $\approx$  55 cm.

### 3. Blokschema en opbouw van de sonische golfhoogtemeter (fig. 3 en 4)

#### 3.1. Oscillator

De oscillator (A) is een a-stabiele multivibrator, afgeregeld op 240 Hz. Deze oscillator stuurt de vertragingsschakelingen (B) en (G). Met schakelaar S3 is het mogelijk de interne oscillator te vervangen door een extern signaal van b.v. een toongenerator of een andere sonische golfhoogtemeter. Hierdoor is het mogelijk, twee of meer sonische golfhoogtemeters te synchroniseren.

#### 3.2. Vertragingsschakelingen

Deze schakelingen geven een instelbare tijdsvertraging tussen het ingaande signaal en het uitgaande signaal, zodat het mogelijk is een aantal kommando's na elkaar te laten uitvoeren.

De schakeling bestaat uit een mono-stabiele multivibrator. De vertragingsschakeling (B) "reset" de integrator en start de vertragingsschakeling (C). De "reset" tijd is 40  $\mu$  sec.

De vertragingsschakeling (C) start de ontstekingschakeling. (D).

#### 3.3. De ontstekingschakeling en geluidszender

Een thyristor ontlaadt een condensator door de primaire spoel van een bobine (D). In de secundaire spoel ontstaat daardoor een zo hoge spanning, dat er een vonk overslaat tussen twee elektroden. Deze vonk levert de geluidspuls.

De eerste halve periode van het uitgezonden geluid, is een sinusvormig signaal waarvan de frequentie ongeveer 100 kHz bedraagt.

De vertragingsschakeling (E) stuurt de flip-flop (J), nadat de ontsteking heeft plaats gehad. De bobine is van een type dat gebruikt wordt in bromfietsontstekingen. In figuur 5 is een samenstellingstekening gegeven van de geluidszender.

#### 3.4. Geluidsontvanger en versterker

De geluidsontvanger bestaat uit een condensator mikrofoon en een voorversterker. De condensator mikrofoon is uit de volgende delen samengesteld :

(De tussen haakjes geplaatste cijfers corresponderen met de cijfers in fig. 6).

Een membraan (20) van éézijdige gemetaliseerd folie vormt met de elektrode (22) de kondensator.

Het membraan wordt bevestigd in een membraanhouders (3), waarin het wordt gespannen als de ring (4) aangedraaid wordt.

De mikrofoon voorversterker (14) is op een gedrukte bedrading gemonteerd en tegen elektrische storingen beschermd door een  $\mu$ -metalen scherm (15). Het geheel is in een messing koker (16) gemonteerd. Bij het ontwerpen van de geluidsontvanger is er vooral gelet op de volgende punten :

1. bij beschadiging van het membraan, moet snel een nieuw exemplaar kunnen worden aangebracht
2. de geluidsontvanger moet bestand zijn tegen spatwater, afkomstig van o.a. een scheepsmodel.

Het verwisselen van een membraan duurt  $\pm$  5 minuten.

### 3.5. Poortschakeling en flip-flop

De monostabiele schakeling (G) houdt de poortschakeling (H) gedurende het starten van de geluidspuls en  $500\mu$  sec. daarna, gesloten voor signalen uit de geluidsontvanger om te voorkomen, dat de schakeling (J) direkt na het starten weer gestopt wordt. Uit de poortschakeling komen dus alleen signalen, die gereflekteerd zijn door het wateroppervlak en de ontvanger niet eerder bereiken dan  $500\mu$ sec. na het starten van de geluidspuls.

De flip-flop schakeling (J) is door de vertragingsschakeling (E) direkt na het zenden van de geluidspuls in de "set" stand gezet. Een signaal uit de poortschakeling "reset" de flip-flop.

### 3.6. Integrator

De uitgang van de flip-flop (J) stuurt een integrator (K). De integrator wordt voor het zenden van de geluidspuls in "reset" stand gezet. De uitgangsspanning van de integrator is dan 0 volt. De integrator integreert een vast aangeboden spanning tussen het tijdstip dat de geluidspuls verzonden wordt en het ontvangen van de gereflekteerde puls. De spanning aan de uitgang van de integrator is dan rechtevenredig met de gemeten tijd.

$$E_o = \frac{E_i}{R_i \cdot C} \cdot T \quad [V] \quad (2)$$

### 3.7. Analoog geheugen

Omdat de integrator bij iedere meting, dus 240 maal per seconde, ge"reset" wordt, is het nodig de uitgangsspanning van de integrator na iedere meting over te brengen in een analoog geheugen.



Dit geheugen bestaat uit een operationele versterker, die als geheugen geschakeld is. De vertragingsschakeling (M) wekt de puls op, die zorgt voor de overdracht van het geïntegreerde signaal in het geheugen.

### 3.8. Uitgangsschakeling

De analoge geheugenschakeling wordt gevolgd door de uitgangsschakeling (N) die bestaat uit een operationele versterker, waarvan de versterking zowel in gekalibreerde stappen, als continu regelbaar is.

#### 4. Meetnauwkeurigheid

Is er een grote mate van nauwkeurigheid vereist, dan moet er met het volgende rekening worden gehouden.

##### 4.1. Temperatuurgevoeligheid

De snelheid van het geluid in lucht, is afhankelijk van de luchttemperatuur waarin het geluid zich verplaatst. Bij temperatuur veranderingen tussen  $-20^{\circ}\text{C}$  en  $+20^{\circ}\text{C}$  geldt het volgende verband tussen de verandering van de luchttemperatuur en de geluidssnelheid: (zie 10.2 voor de afleiding van onderstaande formules)

$$\Delta v_t \approx k_2 \cdot \Delta t^{\circ} \quad [\text{m/sec}] \quad (3)$$

Hierin is  $k_2 = 0,6076$  [m/sec.graden C]

De verandering van de geluidssnelheid geeft een nulverloop van het uitgangssignaal van de golfhoogtemeter en een kalibratieverandering. Het nulverloop is als volgt te berekenen :

$$\Delta L_o = L_o \left\{ \sqrt{1 + \frac{t^{\circ}}{273}} - 1 \right\} \quad [\text{m}] \quad (4)$$

De schijnbare afstand tussen opnemers en het wateroppervlak wordt kleiner voor toenemende temperatuur. Door het veranderen van de geluidssnelheid ontstaat ook een gevoeligheidsverandering die proventueel gelijk is aan :

$$F_1 = \left\{ \sqrt{1 + \frac{t^{\circ}}{273}} - 1 \right\} \times 100 \% \quad (5)$$

De amplitude van de golf neemt schijnbaar af met het toenemen van de temperatuur. In figuur 7 en 8 zijn deze meetfouten uitgezet als functie van de temperatuursverandering.

##### 4.2. Meetfout als gevolg van de golfhelling

De geluidsgolf, door de geluidszender uitgezonden, gedraagt zich als een bolvormige golf. De golfhoogtemeter meet de kortste afstand tussen de geluidszender het wateroppervlak en de geluidsontvanger. Bij hellende oppervlakken zal er een meetfout ontstaan, omdat niet het punt loodrecht onder de opnemers de kortste afstand tot de opnemers heeft maar een punt (B) (fig.9) enigszins daarvan verschoven.

Als de twee brandpunten van een ellips de plaats voorstellen van respectievelijk de geluidszender (Z) en de geluidsontvanger (O) terwijl de ellips het wateroppervlak raakt, dan kan de volgende uitdrukking voor de meetfout worden afgeleid : (zie 10.3)

$$F_2 = \sqrt{\frac{L_o^2 + L_c^2/4}{\cos^2 \alpha} - \frac{L_c^2}{4}} - L_o \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Deze meetfout is in figuur 11 uitgezet als functie van  $L_o$  voor verschillende waarden van  $\alpha$ .

De getrokken lijnen zijn de berekende meetfouten, terwijl de tijdens experimenten bepaalde meetfouten, als meetpunten in de figuur zijn aangegeven.

In uitdrukking (6) is :

$$L_c = L_a + \frac{2 \cdot L_o \cdot V_w}{V_{l_t}} \quad [\text{m}] \quad (7)$$

#### 4.3. Meetfout als gevolg van de wagensnelheid

Tengevolge van de wagensnelheid verandert de schijnbare afstand tussen de zender en de ontvanger. (fig. 10).

De volgende uitdrukking kan worden afgeleid voor de schijnbare afstand tussen zender en ontvanger :

(voor de volledige afleiding zie 10.4)

$$L_c = L_a + \frac{2 \cdot L_o \cdot V_w}{V_{l_t}} \quad [\text{m}]$$

De afstand  $L_o$  neemt af, als de meetwagen zich vanuit de geluidsontvanger gezien, beweegt in de richting van de geluidszender. De nulverschuiving als gevolg van de wagensnelheid is als volgt te bepalen :

$$F_3 = L_o \left\{ 1 - \sqrt{\left( 1 - \frac{V_w^2}{V_{l_t}^2} + \frac{V_w \cdot L_a}{V_{l_t} \cdot L_o} \right)} \right\} \quad [\text{m}] \quad (8)$$

Deze fout is in figuur 12 uitgezet als functie van de wagensnelheid bij een konstante temperatuur van  $20^\circ\text{C}$ .

4.4. Faseverschuiving als gevolg van een beperkt aantal bemonstering.

De tijdsvertraging, die ontstaat door een beperkt aantal bemonsteringen, is maximaal gelijk aan de halve bemonsteringstijd en bij deze golfhoogtemeter maximaal :

$$T_v = \frac{1}{480} \text{ [sec]} \quad (9)$$

De optredende faseverschuiving is dan :

$$\theta = T_v \cdot f_e \cdot 360 \text{ [graden]} \quad (10)$$

Hierin is :

$$f_e = \frac{c_w + V_w}{\lambda} \text{ [Hz]} \quad (11)$$

In figuur 13 is het verband uitgezet tussen de faseverschuiving van het uitgangssignaal en de ontmoetingsfrequentie.

## 5. Installatie

### 5.1. Opstelling van de geluidszender en de geluidsontvanger

In het hoofdstuk 4 punt 3 blijkt, dat het nulverloop ten gevolge van de wagensnelheid gelijk is aan :

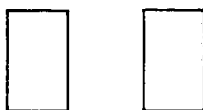
$$F_3 = Lo\{1 - \sqrt{(1 - \frac{V_w^2}{V_{l_t}^2} + \frac{V_w \cdot La}{V_{l_t} \cdot Lo})}\} \quad m \quad (8)$$

De term  $\frac{V_w \cdot La}{V_{l_t} \cdot Lo}$  is afhankelijk van de rijrichting positief of negatief.

Beweegt de meetwagen van uit de geluidsontvanger gezien in de richting van de geluidszender, dan is de term positief en is de meetfout kleiner, dan bij de tegenovergestelde rijrichting, (fig. 12).

De geluidszender wordt dus bij voorkeur bij hoge snelheden voor de geluidsontvanger geplaatst.

ZENDER    ONTVANGER



← Bewegingsrichting (positief)

De afstand tussen het wateroppervlak en de geluidszender en ontvanger, wordt zo gekozen, dat die afstand nooit groter dan 55 cm en nooit kleiner dan 5 cm kan worden. Het is gunstiger bij grotere veranderingen van de luchttemperatuur de opnemers dicht bij het wateroppervlak te plaatsen.

Om het mogelijk te maken de golfhoogtemeter te kalibreren moeten de opnemers een bekende afstand ten opzichte van het wateroppervlak verplaatst kunnen worden.

### 5.2. Aansluiten van de golfhoogtemeter

De geluidsontvanger en de geluidszender worden met behulp van de bijbehorende kabels aangesloten op de golfhoogtemeter. (blauwe plug in blauwe socket).

De bereikschakelaar wordt op het grootste bereik ingesteld. Hierna wordt het instrument op het net aangesloten. (220 V, AC).

### 5.3. Afregelen van de golfhoogtemeter

De schakelaar "METER" wordt nu in de stand "10V" gezet en de schakelaar "NET" ingeschakeld. Hierna wordt de schakelaar "BOBINE" ingeschakeld en de geluidszender vonkt nu.

Met behulp van de potentiometer "NIVEAU" wordt, door deze potentiometer rechtsom te draaien, de gevoeligheid voor de gereflekteerde signalen vergroot. De potentiometer wordt zo ingesteld, dat er juist een stabiel en ruisvrij uitgangssignaal op de meter ontstaat. De opnemers moeten tijdens deze afregeling met de hand of mechanisch ten opzichte van het reflectie oppervlak worden bewogen. De opnemers worden nu in de meetpositie opgesteld en het uitgangssignaal op nul afgeregeld met de potentiometer "BALANS". Het verlangde bereik wordt ingesteld met de bereikschakelaar en de opnemers worden een bekende afstand ten opzichte van het reflectie oppervlak verplaatst. Met potentiometer "VERSTERKING" wordt de uitgangsspanning op de gewenste waarde ingesteld. De opnemers worden nu weer in de nulstand teruggebracht en het instrument is gebruiksklaar.

Op de recorder uitgang kan een galvanometer worden aangesloten. De uitslag van de galvanometer kan met potentiometer "UV. rec" worden ingesteld.

## 6. Onderhoud

### 6.1. Geluidszender

Om een goede werking van de golfhoogtemeter te behouden is het noodzakelijk regelmatig de afstand tussen de elektroden van de geluidszender te controleren. (fig. 5).

De controle op de juiste afstelling is mogelijk door inspectie van de elektroden (6,26) met behulp van een asje, dat door twee daartoe aangebrachte gaten in de zijkanten van de houder (20) gestoken wordt.

Er mag niet meer speling tussen de elektroden en het asje zijn, dan 0,5 mm. De elektrodenafstand kan bijgesteld worden door eerst de voorplaat (8) weg te nemen. Na het bijstellen wordt het asje verwijderd en de voorplaat weer aangebracht. Gebleken is, dat de elektroden niet uit roestvrijstaal of messing vervaardigd mogen zijn.

### 6.2. Geluidsontvanger

Het verwisselen van het membraan is nodig bij beschadiging ervan of bij een slechte werking van de geluidsontvanger. (fig. 6). Het verwisselen van een membraan is als volgt uit te voeren. Verwijder de ring (1) en neem de condensator mikrofoon uit de houder. Schroef de bus (3) los en draai de ring (4) met behulp van een bijbehorende sleutel uit de bus. Verwijder nu de teflon ring (21) en het membraan. (20).

Plaats met een pincet een nieuw membraan (geleidende laag buiten). Monteer de teflon ring (21) en schroef de ring (4) vast.

De elektrode (22) wordt nu onder de rand gedraaid.

De bus (3) wordt weer gemonteerd, waarna de elektrode zover wordt ingedraaid dat de elektrode zich net aftekent op het membraan, (vuil tussen elektrode en membraan beschadigd het membraan en komt de werking niet ten goede). De kontramoer (8) wordt vastgedraaid en het geheel gemonteerd in de houder. De mikrofoon voorversterker is te bereiken door de ring (19) los te draaien, waarna de gehele versterker (14) met de afschermbus (15) uit de buitenbus (16) getrokken kan worden. De afschermbus (15) kan verwijderd worden door twee schroeven los te draaien.

## 7. Specificaties

<u>Netspanning:</u>	220 Volt, $\pm 10\%$ , 50 Hz.
<u>Meetbereik:</u>	5 cm tot 55 cm, verdeeld in 5 meetbereiken; $\pm 2\text{cm}$ , $\pm 5\text{cm}$ , $\pm 10\text{cm}$ , $\pm 20\text{cm}$ , $\pm 30\text{cm}$ .
<u>Frequentie responsie:</u>	Het uitgangssignaal heeft een konstante tijds- vertraging van 2,1 msec.
<u>Uitgang:</u>	Uitgangsspanning max. $\pm 10$ volt Uitgangsstroom max. $\pm 20\text{mA}$ . Recorder uitgang max. $\pm 20\text{mA}$ .
<u>Lineariteit:</u>	$\pm 0,5\%$
<u>Stabiliteit:</u>	$\pm 0,3\%$ van het bereik $\pm 0,2$ mm.
<u>Golfhelling:</u>	max. $15^\circ$ , bij een afstand van max. 20 cm tussen op- nemers en wateroppervlak.
<u>Meetnauwkeurigheid:</u>	Hiervoor wordt verwezen naar het hoofdstuk 4.



## 8. Naschrift

De in dit rapport beschreven golfhoogtemeter is het resultaat van nauwe samenwerking tussen de medewerkers van de mechanische en elektronische afdelingen van het laboratorium voor Scheepsbouwkunde.

Mijn hartelijke dank gaat uit naar de Heer M. Buitenhok voor zijn waardevolle adviezen en naar de Heer P. de Heer voor het door hem verrichte tekenwerk. Voltooiing van dit rapport is mogelijk geworden, door de medewerking van het laboratorium voor Transporttechniek.

9. Referenties

- [1] Experiments with the Sonic Wave Height Meter  
by M. Buitenhek; Rapport no. 204 van het Laboratorium voor Scheepsbouwkunde  
van de Technische Hogeschool te Delft.
  
- [2] The Sonic Surface-Wave Transducer  
by John.M. Killen  
Technical Paper no. 23, series B van de "University of Minnesota",  
St. Anthony Falls Laboratory, juli 1959.
  
- [3] Operating Manual for the St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory "Sonic  
Surface-Wave Transducer" by John.M. Killen  
Memorandum No. M-90 van de "University of Minnesota" St. Anthony Falls  
Hydraulic Laboratory.
  
- [4] Modulation Theory  
by H.S. Black  
New York : D. van Nostrand 1953.
  
- [5] Des Ingenieurs Taschenbuch  
Hütte, Berlin 1955.

10. Afleiding van de gebruikte formules

10.1. Formule 1.

Volgens de wet van Ohm geldt :

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{en omdat } Y = \frac{1}{R} \quad (A)$$

geldt  $I = UY \quad [A] \quad (B)$

In figuur 1a is R gelijk aan de weerstand per cm van de tussen de evenwijdige draden bevindende waterkolom.

De vervangweerstand  $R_v$  van deze waterkolom, is als volgt te berekenen :

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \quad \text{en is dus}$$

$$\frac{1}{R_v} = L \cdot \frac{1}{R} \quad \text{waarin L het aantal cm is, dat de draden zich in het water bevinden.}$$

Uit (A) en (B) volgt nu dat :

$$I = U \cdot Y \cdot L. \quad [A] \quad (C)$$

De spanning U en het geleidsvermogen Y zijn constanten zodat uit (C) volgt :

$$I = k_1 \cdot L \quad [A] \quad (D)$$

10.2. Formule 3, 4 en 5

De geluidssnelheid in lucht is afhankelijk van de temperatuur van de lucht waarin het geluid zich verplaatst.

Volgens Hütte 5 geldt :

$$v_{1_t} = v_{1_0} \cdot \sqrt{1 + \frac{t^{\circ}}{273}} \quad [\text{m/sec.}] \quad (\text{E})$$

Hierin is  $v_{1_0} = 331,8$  m/sec. bij een lucht temperatuur van  $0^{\circ}\text{C}$  en een luchtdruk van 76 cm kwik.

Bij verandering van de luchttemperatuur geldt dan :

$$v_{1_t} + \Delta v_{1_t} = v_{1_0} \sqrt{1 + \frac{t^{\circ} + \Delta t^{\circ}}{273}} \quad [\text{m/sec}] \quad (\text{F})$$

Uit (E) en (F) volgt bij temperatuursveranderingen tussen  $-20^{\circ}$  en  $20^{\circ}$

$$\Delta v_{1_t} = \frac{v_{1_0}^2 \cdot \Delta t^{\circ}}{273 \cdot 2 \cdot v_{1_0} \sqrt{1 + t^{\circ}/273}} \quad [\text{m/sec.}] \quad (\text{G})$$

$$\Delta v_{1_t} = \frac{v_{1_0} \cdot \Delta t^{\circ}}{273 \cdot 2 \cdot \sqrt{1 + t^{\circ}/273}} \quad [\text{m/sec.}] \quad (\text{H})$$

$$\Delta v_{1_t} = k_2 \cdot \frac{\Delta t^{\circ}}{\sqrt{1 + t^{\circ}/273}} \quad [\text{m/sec.}] \quad (\text{I})$$

Hierin is  $k_2 = 0,6076$ . m/sec.graden C

Bij kleine temperatuursveranderingen geldt :

$$\Delta v_{1_t} \approx k_2 \cdot \Delta t \quad [\text{m/sec.}] \quad (\text{J})$$

Tengevolge van het veranderen van de geluidssnelheid ontstaat er een nulverloop van de uitgangsspanning van de golfhoogtemeter. De afstand tussen de geluidszender, geluidsontvanger en het wateroppervlak neemt schijnbaar toe met het afnemen van de geluidssnelheid.

De verandering van de meettijd T is als volgt te schrijven :

$$\Delta T = T_0 - T_t. \quad [\text{sec.}] \quad (\text{K})$$

Hierin is :  $T_0$  meettijd bij geluidssnelheid  $V_{l_0}$  en  
 $T_t$  meettijd bij geluidssnelheid  $V_{l_t}$

Bij konstante geluidssnelheid geldt :

$$\Delta T = \frac{\Delta L_0}{V_{l_t}} \quad [\text{sec.}] \quad (\text{L})$$

zodat t.o.v. een konstante geluidssnelheid  $L_0$  schijnbaar verandert als :

$$\frac{\Delta L_0}{V_{l_t}} = \frac{L_0}{V_{l_0}} - \frac{L_0}{V_{l_t}} \quad [\text{sec.}] \quad (\text{M})$$

Uit (M) en (E) volgt :

$$\Delta L_0 = L_0 \left\{ \sqrt{1 + \frac{t^0}{273}} - 1 \right\} \quad [\text{m}] \quad (\text{N})$$

Door de verandering van de geluidssnelheid ontstaat ook een gevoeligheidsverandering, die onafhankelijk van  $L_0$  is en dus gelijk aan :

$$F = \frac{\Delta L}{L_0} = \sqrt{1 + \frac{t^0}{273}} - 1 \quad (10)$$

De procentuële gevoeligheidsverandering is :

$$F_1 = \left\{ \sqrt{1 + \frac{t^0}{273}} - 1 \right\} \times 100\% \quad (\text{P})$$

10.3 Formule 6 (zie figuur 9)

De ellips stelt de meetkundige plaats voor van de punten waarvoor geldt, dat de som van de afstanden van dat punt tot de brandpunten konstant is. De sonische golfhoogtemeter meet de kortste afstand tussen de geluidszender, het wateroppervlak en de geluidsontvanger, zodat als men de meettijd konstant houdt, dus de som van de afstanden tussen de zender en het wateroppervlak en de ontvanger en het wateroppervlak konstant houdt, het meetpunt op een ellips ligt, waarvan de raaklijn aan de golfhelling de ellips raakt.

De afleiding van deze raaklijn volgt uit :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (Q)$$

Dit is de middelpuntsvergelijking van de ellips. De vergelijking van een rechte lijn is :

$$y = mx + n \quad (R)$$

Uit (Q) en (R) volgt :

$$x^2 = \frac{y^2 - 2 \cdot y \cdot n + n^2}{m^2} \quad (S)$$

Uit (Q) en (S) volgt :

$$y^2(b^2 + a^2 \cdot m^2) - y(b^2 \cdot n) + b^2 \cdot n^2 - a^2 \cdot m^2 \cdot b^2 = 0 \quad (T)$$

De ellips en de lijn  $y = m \cdot x + n$  raken elkaar als de discriminant gelijk is aan 0 dus geldt voor de raaklijn aan de ellips :

$$4 \cdot b^4 \cdot n^2 - 4(b^2 \cdot n^2 - a^2 \cdot m^2 \cdot b^2)(b^2 + a^2 \cdot m^2) = 0 \quad (U)$$

hieruit volgt :

$$n^2 = b^2 + a^2 \cdot m^2 \quad (V)$$

Uit (V) en (R) volgt :

$$y = m \cdot x \pm \sqrt{b^2 + a^2 \cdot m^2} \quad (W)$$

voor  $x = 0$  geldt :

$$y = \pm \sqrt{b^2 + a^2 \cdot m^2} \quad (X)$$

In figuur 9 geldt :

$$a^2 = b^2 + Lc^2/4 \quad (Y)$$

zodat voor hoek  $\alpha = 0$  waarvoor geldt :  $b = L_0$

$$a^2 = L_0^2 + Lc^2/4 \quad (Z)$$

Voor (X) is te schrijven :

$$y^2 = a^2 \cdot (\text{tg}\alpha)^2 + b^2 \quad (AA)$$

Volgens (Y) is  $b^2 = a^2 - Lc^2/4$

$$y^2 = a^2 \{ (\text{tg}\alpha)^2 + 1 \} - Lc^2/4$$

$$a^2 = (y^2 + Lc^2/4) \cdot \cos^2 \alpha \quad (BB)$$

Stellen we (BB) gelijk aan (Z) dan geldt :

$$L_0^2 + Lc^2/4 = y^2 \cdot \cos^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cdot Lc^2/4$$

$$y = \sqrt{\left( \frac{L_0^2 + Lc^2/4}{\cos^2 \alpha} - \frac{Lc^2}{4} \right)} \quad [m] \quad (CC)$$

De gemaakte meetfout is dan :

$$F_2 = y - L_0 = \sqrt{\left( \frac{L_0^2 + Lc^2/4}{\cos^2 \alpha} - \frac{Lc^2}{4} \right)} - L_0 \quad [m] \quad (DD)$$

10.4. Formule 7

De afstand tussen de geluidszender en de geluidsontvanger wordt schijnbaar vergroot of verkleind, afhankelijk van de opstelling van de geluidszender en de geluidsontvanger, tengevolge van de wagensnelheid (fig. 10)

Het bepalen van de schijnbare afstand  $L_c$  tussen de geluidsontvanger en de geluidszender.

In figuur 10 is :

$$L_c = L_a + L_1 \quad [m] \quad (EE)$$

De afgelegde weg van het geluid gedurende een meting is gelijk aan :

$$L_2 = V_{l_t} \cdot T = 2 \cdot L_o \quad [m] \quad (FF)$$

zodat :  $T = \frac{2 \cdot L_o}{V_{l_t}} \quad [sec]$

De afgelegde weg van de meetwagen is :

$$L_1 = V_w \cdot T \quad [m] \quad (GG)$$

Hieruit volgt :

$$L_1 = V_w \cdot \frac{2 \cdot L_o}{V_{l_t}} \quad [m] \quad (HH)$$

en  $L_c = L_a + L_1 = L_a + \frac{V_w \cdot 2 \cdot L_o}{V_{l_t}} \quad [m] \quad (JJ)$

In figuur 10 is :

$$a^2 = b^2 + \left(\frac{L_c}{2}\right)^2 \quad (KK)$$

Bij  $V_w = 0$  is :  $b = L_o$  en  $L_c = L_a$  zodat :

$$a_o^2 = L_o^2 + \frac{L_a^2}{4} \quad (LL)$$



Is  $V_w \neq 0$  dan is :

$$L_c = L_a + \frac{V_w \cdot 2 \cdot L_o}{V_{1_t}} \quad [m]$$

zodat uit (JJ) en (KK) volgt :

$$a_1^2 = b_1^2 + \frac{L_a^2}{4} + \frac{L_o \cdot L_a \cdot V_w}{V_{1_t}} + \frac{L_o^2 \cdot V_w^2}{V_{1_t}^2} \quad (MM)$$

Uit het gelijk stellen van (LL) en (MM) volgt :

$$b_1 = L_o \sqrt{\left(1 - \frac{V_w^2}{V_{1_t}^2} + \frac{V_w \cdot L_a}{V_{1_t} \cdot L_o}\right)} \quad [m] \quad (NN)$$

De gemaakte meetfout is dan :

$$F_3 = L_o - b_1 = L_o \left\{ 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{V_w^2}{V_{1_t}^2} + \frac{V_w \cdot L_a}{V_{1_t} \cdot L_o}\right)} \right\} \quad [m] \quad (OO)$$

hierin is  $\frac{V_w^2}{V_{1_t}^2} \ll \frac{V_w \cdot L_a}{V_{1_t} \cdot L_o}$  en  $\frac{V_w \cdot L_a}{V_{1_t} \cdot L_o} \ll 1$

zodat :

$$F_3 \approx + \frac{V_w \cdot L_a}{2 \cdot V_{1_t}} \quad [m] \quad (PP)$$

## 11. Lijst van Symbolen

- C = integrator condensator
- $c_w$  = voortplantingssnelheid van de golf
- $E_i$  = ingangsspanning van de integrator
- $E_o$  = uitgangsspanning van de integrator
- F = gevoeligheidsverandering t.g.v. de luchttemperatuursverandering
- $F_1$  = procentuele gevoeligheidsverandering t.g.v. de luchttemperatuursverandering
- $F_2$  = nulverschuiving als gevolg van de helling van het reflektieoppervlak
- $F_3$  = nulverschuiving als gevolg van de wagensnelheid
- $f_e$  = ontmoetings-frequentie van de golf
- I = stroom door de meetdraden
- $k_1$  = konstante afhankelijkheid van de soortelijke weerstand van de waterkolom tussen de meetdraden
- $k_2$  = konstante afhankelijkheid van de luchtdruk en de zwaartekracht
- L = lengte van de waterkolom tussen de meetdraden (indompelingslengte)
- $L_o$  = ingestelde afstand tussen de geluidsopnemers en het wateroppervlak
- $L_1$  = afstand afgelegd door de meetwagen in de meettijd T.
- $L_2$  = afstand afgelegd door het geluid in de meettijd T.
- $L_a$  = afstand tussen de geluidszender en de geluidsontvanger
- $L_c$  = schijnbare afstand tussen de geluidszender en de geluidsontvanger
- R = weerstand per cm van de zich tussen de meetdraden bevindende waterkolom
- $R_i$  = ingangsweerstand van de integrator
- $R_v$  = vervangweerstand
- T = tijdsinterval (meettijd)
- $T_v$  = tijdsvertraging door een beperkt aantal bemonsteringen
- $t^\circ$  = temperatuur in  $^\circ\text{C}$ .
- U = voedingsspanning op de meetdraden
- $V_{l_o}$  = snelheid van geluid in lucht bij een temperatuur van  $0^\circ\text{C}$  en een luchtdruk van 76 cm kwik
- $V_{l_t}$  = snelheid van geluid in lucht bij een temperatuur van  $t^\circ\text{C}$  en een luchtdruk van 76 cm kwik
- $V_w$  = wagensnelheid
- Y = geleidingsvermogen per cm van de zich tussen de meetdraden bevindende waterkolom
- $\theta$  = hoek tussen de raaklijn aan het wateroppervlak op het punt van reflectie en de horizontaal
- $\phi$  = faseverschuiving t.g.v. een beperkt aantal bemonsteringen
- $\lambda$  = golflengte.

## 12. Lijst van figuren

1. Opnemer voor golfhoogtemeter volgens de geleidbaarheidsmethode
2. Blokschema van golfhoogtemeter volgens de geleidbaarheidsmethode
3. Blokschema sonische golfhoogtemeter
4. Tijddiagram sonische golfhoogtemeter
5. Samenstellingstekening van de geluidszender
6. Samenstellingstekening van de geluidsontvanger
7. Nulverloop  $\Delta L_0$  uitgezet als functie van de luchttemperatuursverandering
8. Procentuele kalibratie-verandering als functie van de temperatuursveranderingen
9. Schematische voorstelling van de opstelling van de geluidszender en de geluidsontvanger bij een golfhelling
10. Schematische voorstelling van de schijnbare afstand tussen de geluidszender en de geluidsontvanger
11. Meetfout  $F_2$  tengevolge van de golfhelling
12. Nulverloop  $F_3$  ten gevolge van de wagensnelheid
13. Faseverschuiving ten gevolge van een beperkt aantal bemonsteringen
14. Blokschema van sonische golfhoogtemeter
15. Tijddiagram van sonische golfhoogtemeter
16. Timing circuit 1
17. Timing circuit 2
18. Ontstekingscircuit
19. Puls versterker
20. Analoge schakeling
21. Voeding  $\pm 15$  V
22. Voeding  $\pm 24$  V en  $+ 150$  V
23. Mikrofoonversterker
24. Schema chassis golfhoogtemeter
25. Mikrofoonversterker

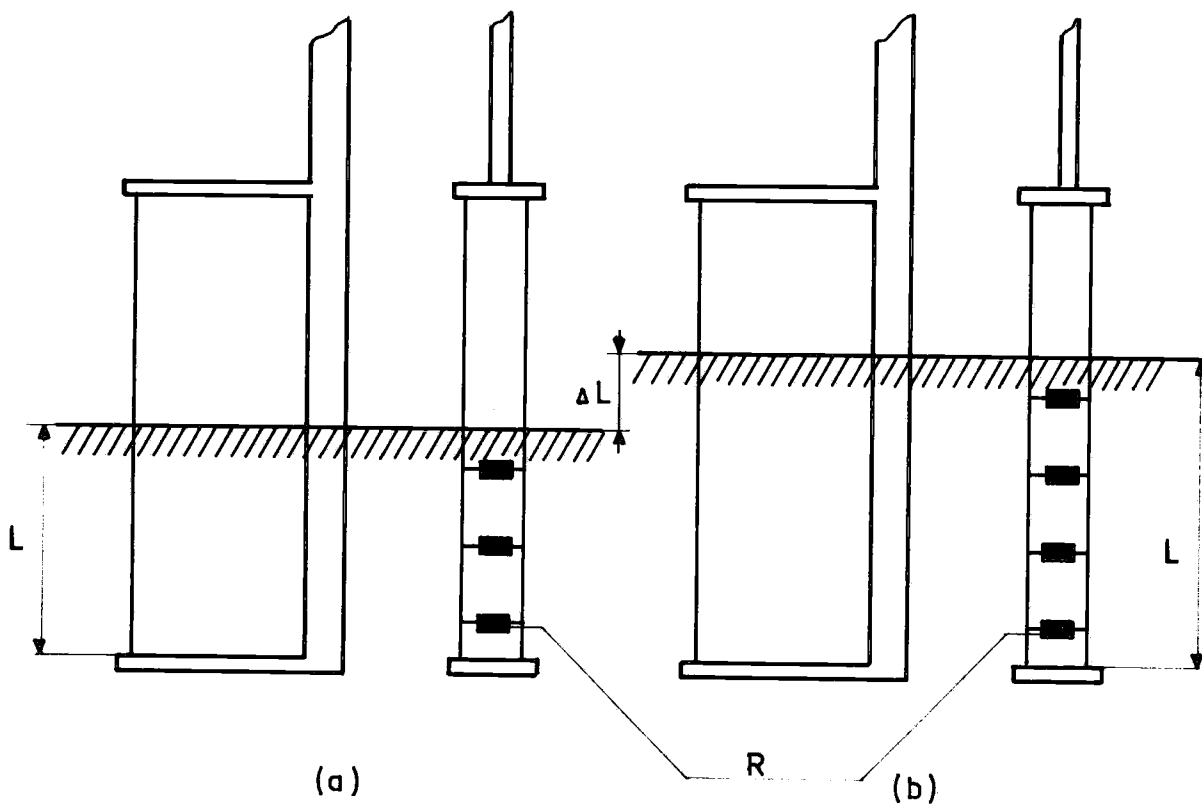


fig. 1

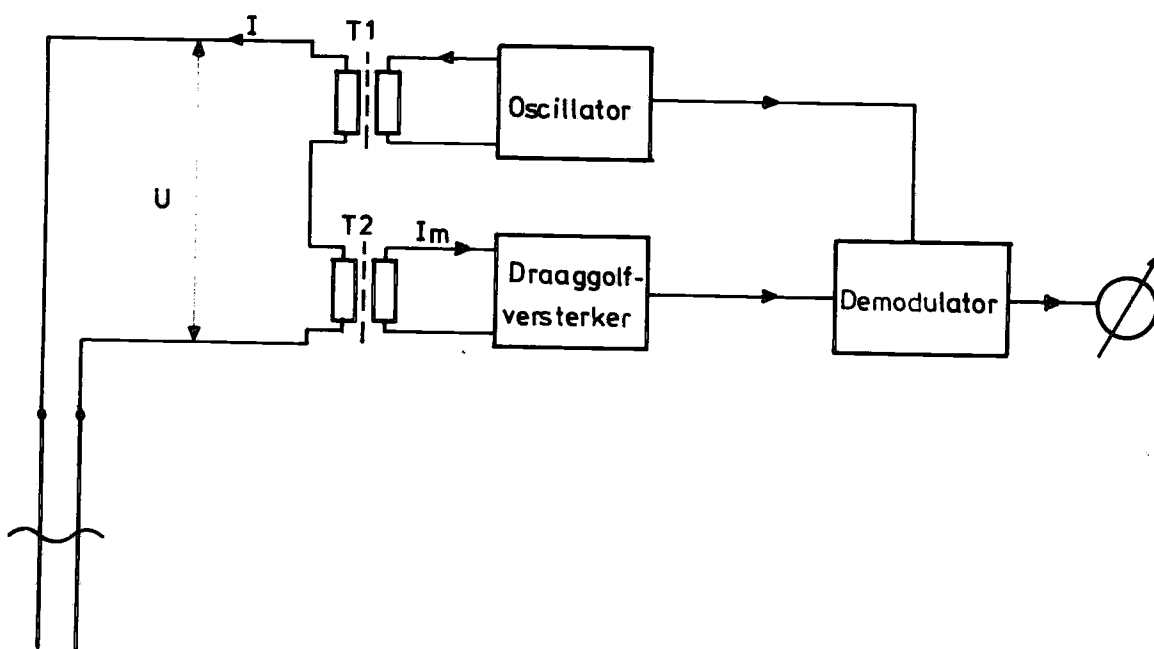


fig. 2

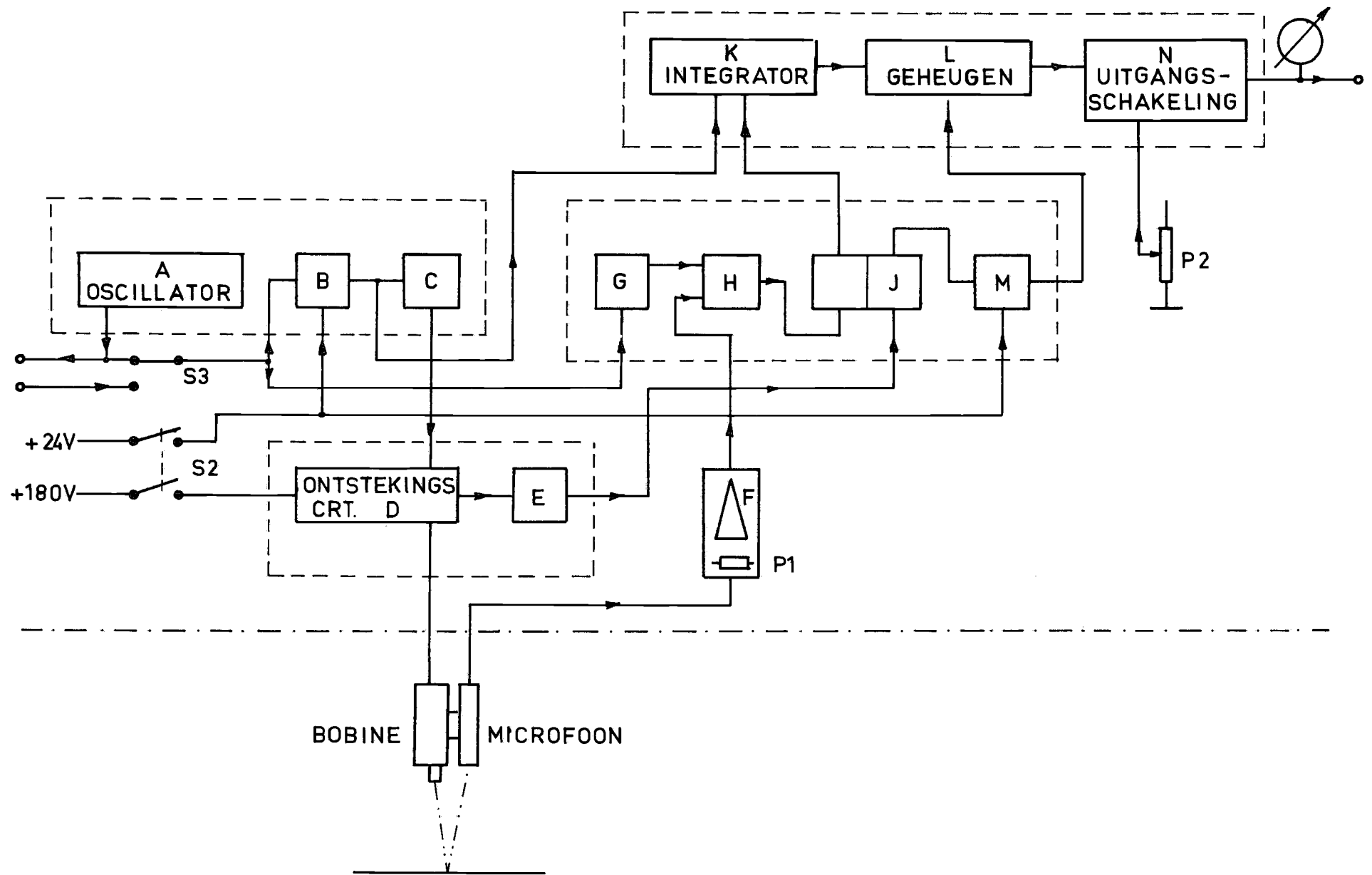


fig.3

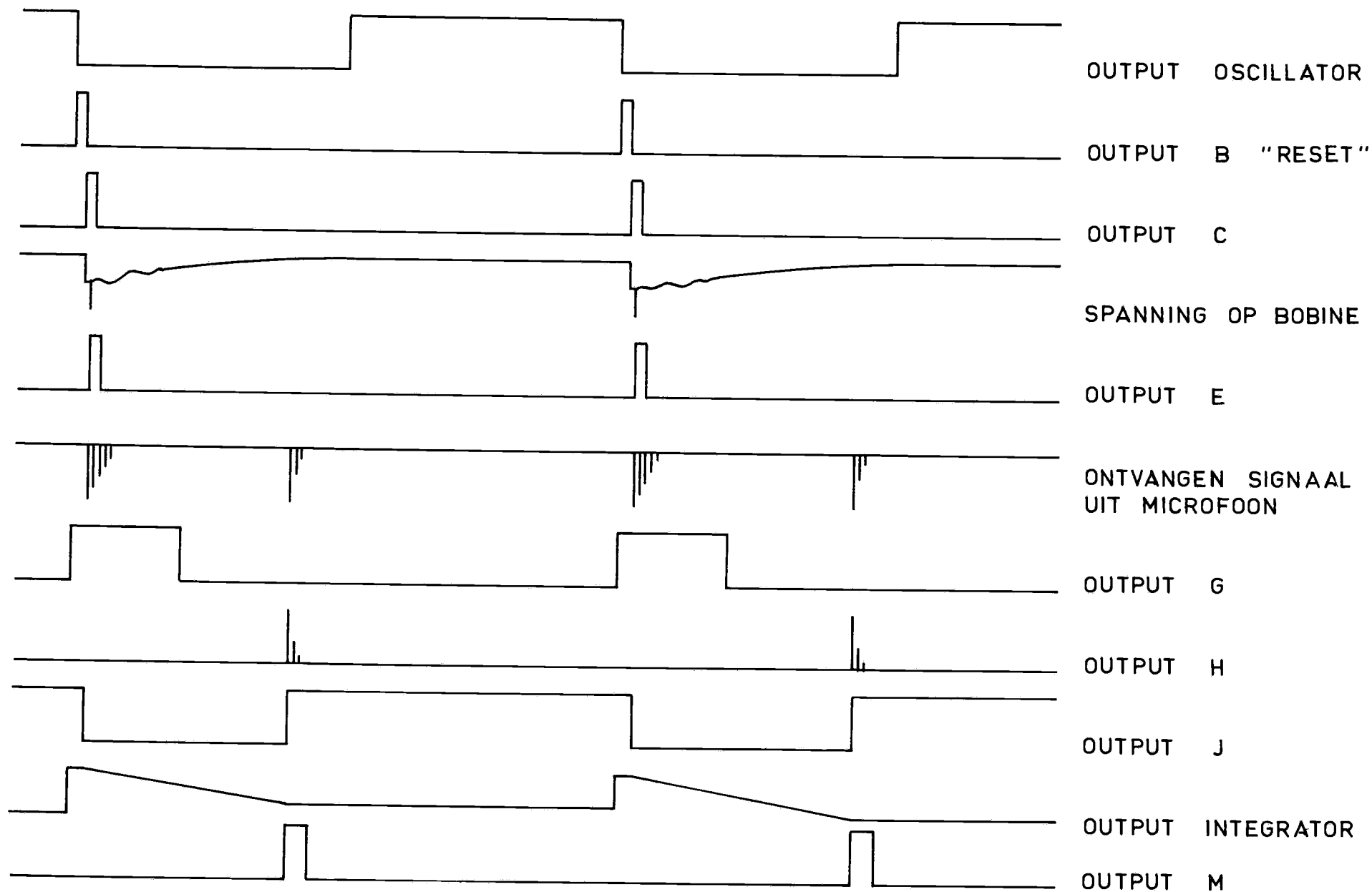


fig.4

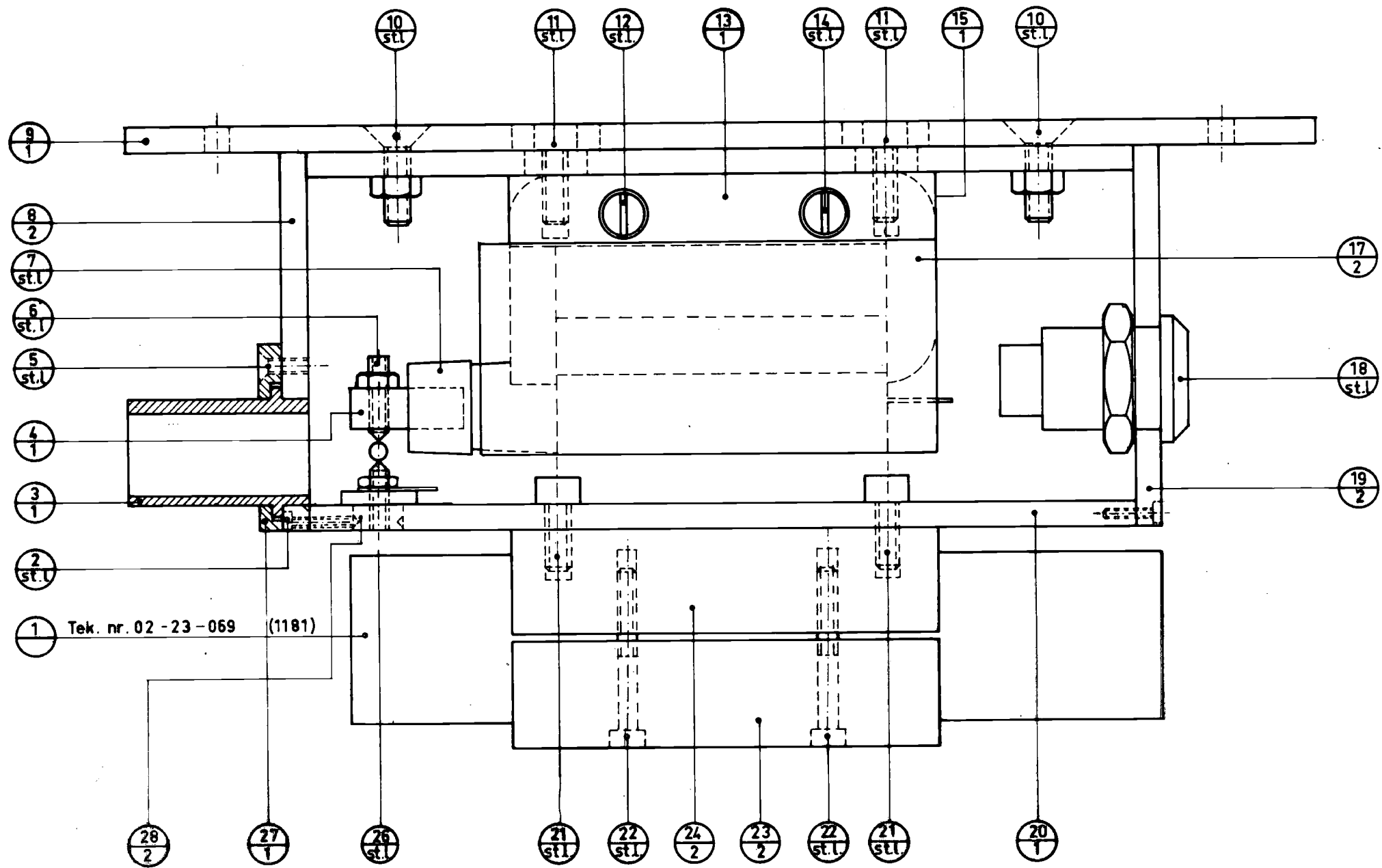


fig.5





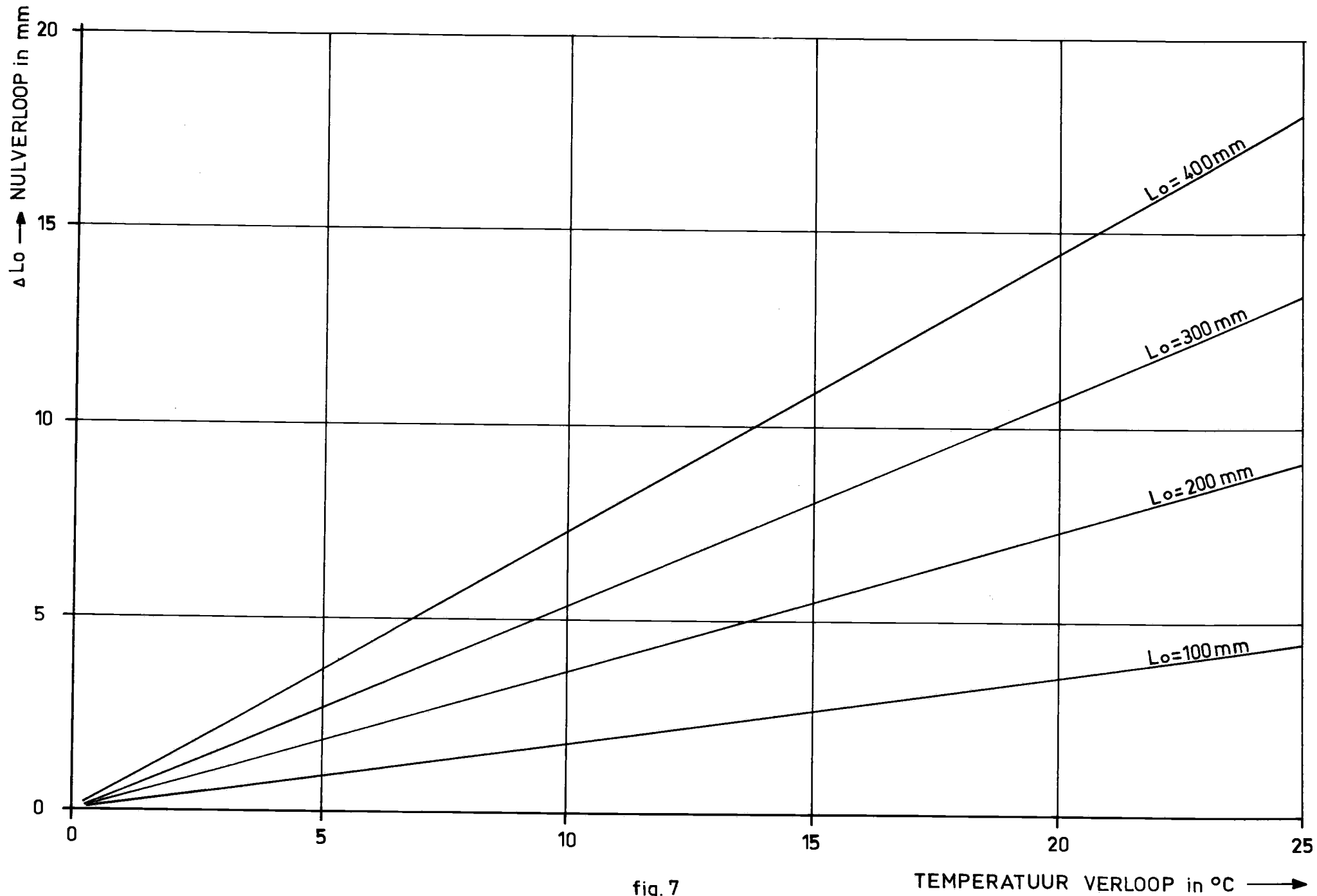


fig. 7

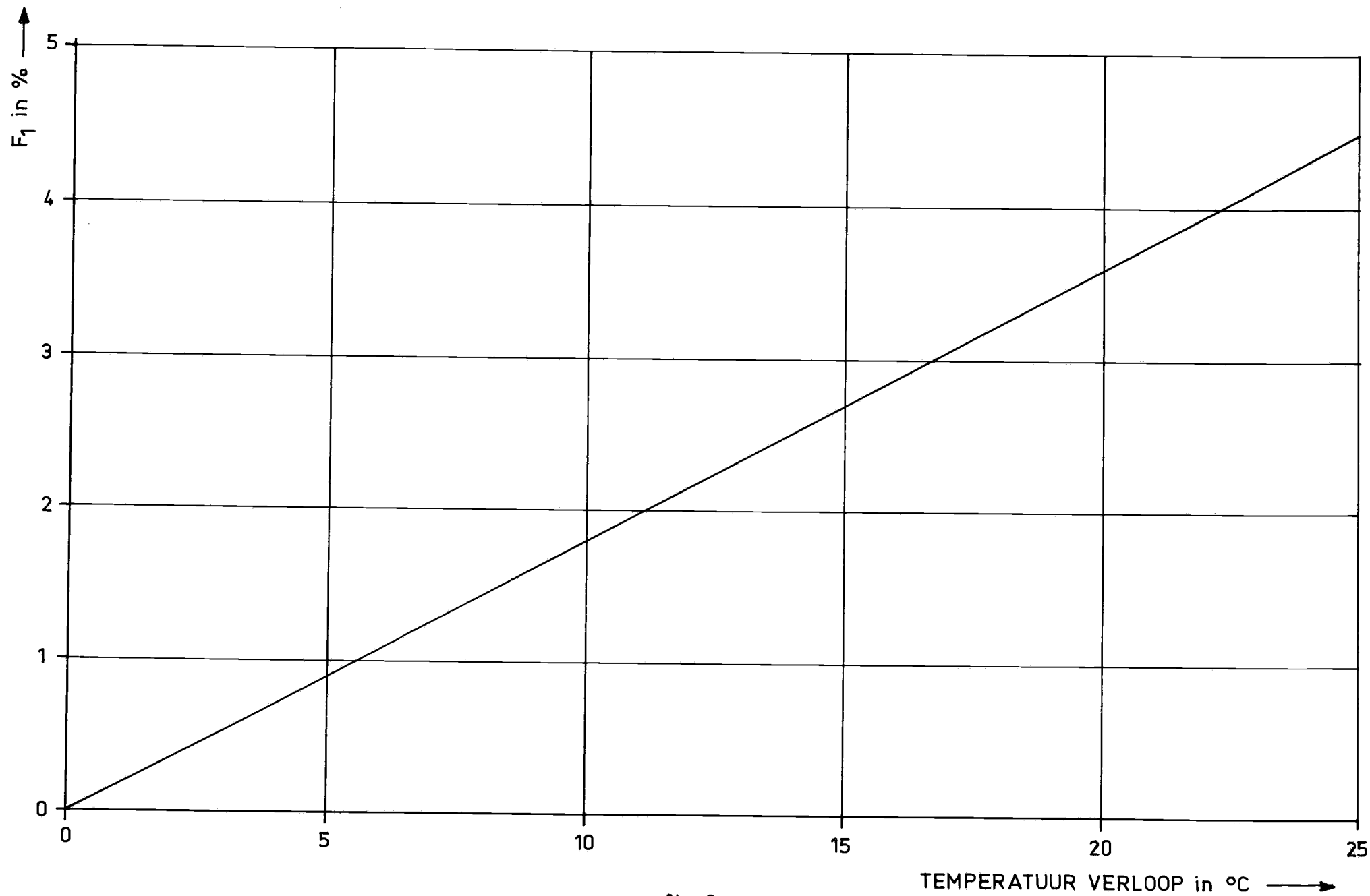


fig. 8

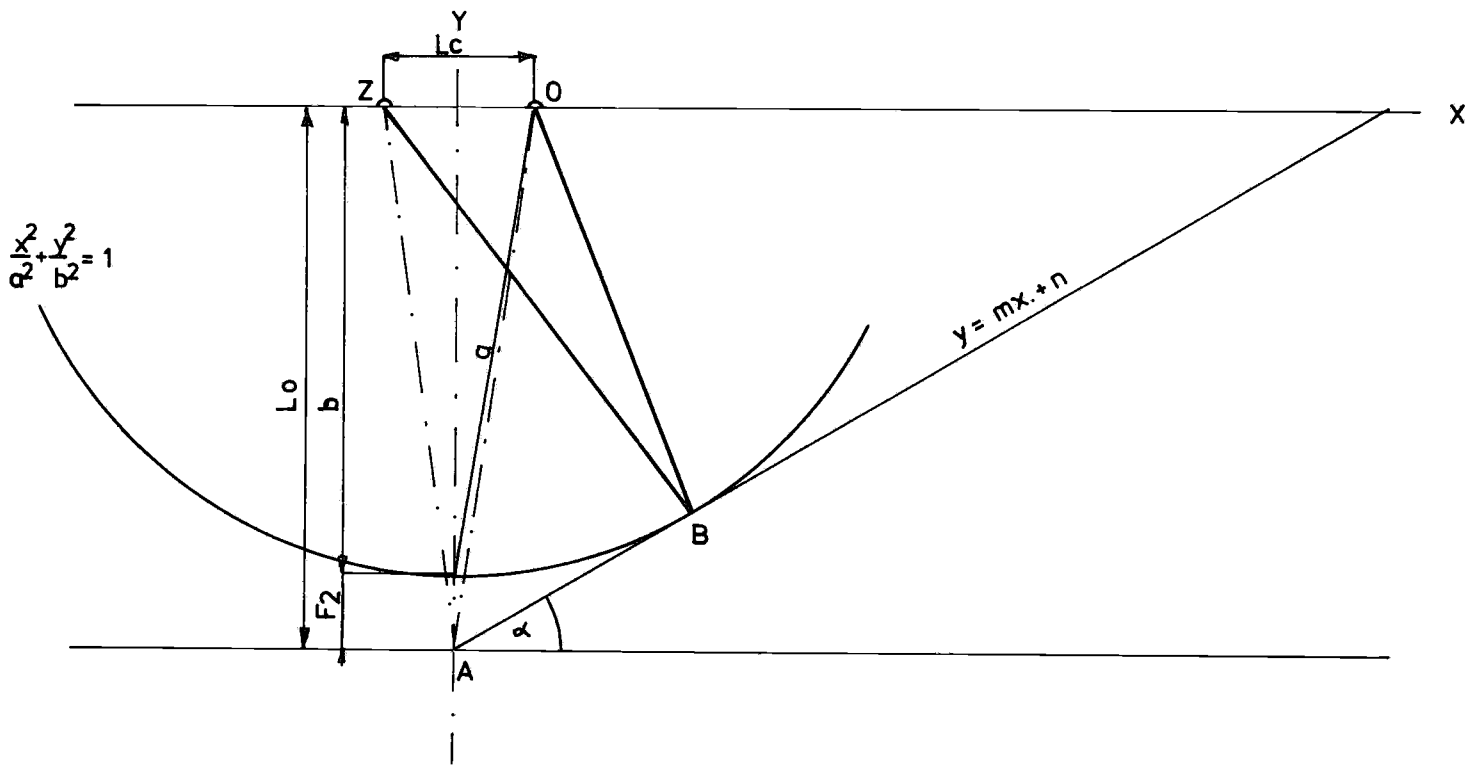


fig. 9

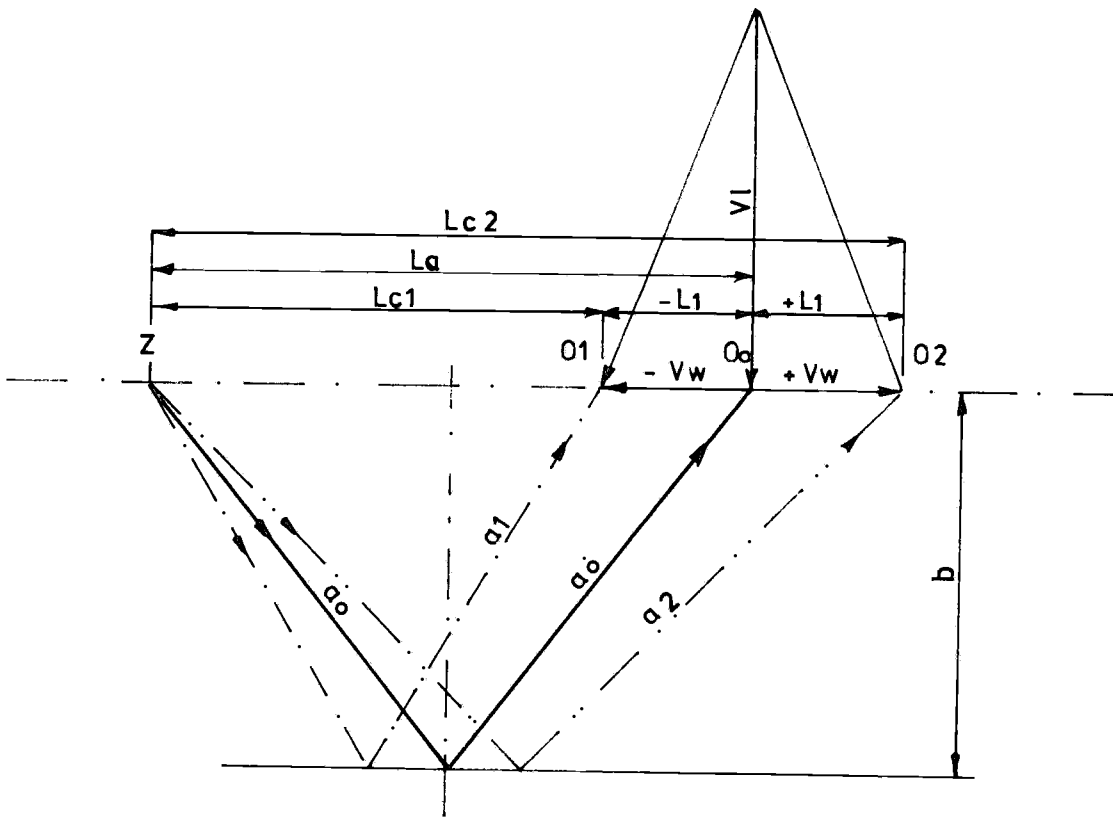


fig 10

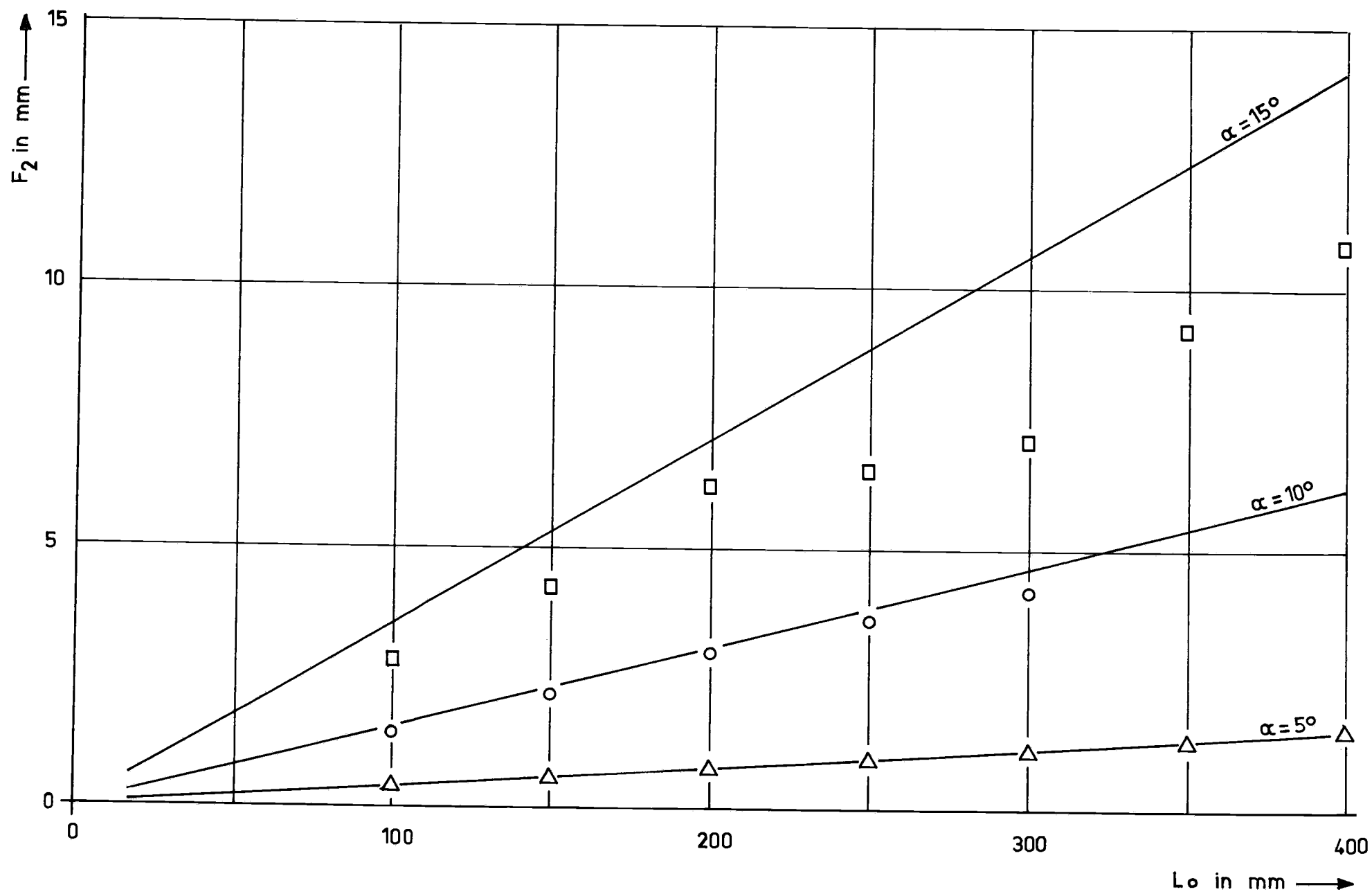


fig. 11

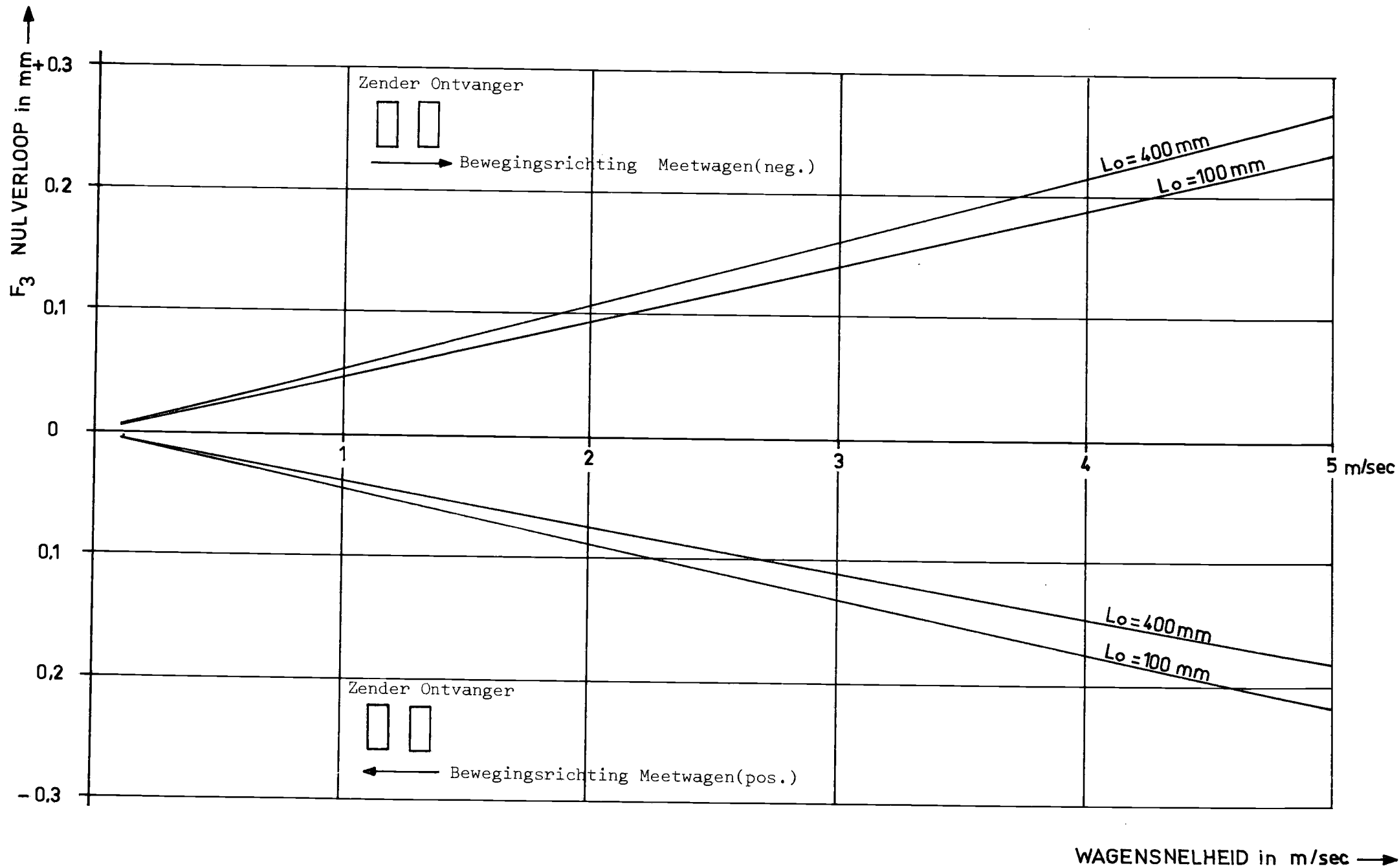


fig.12

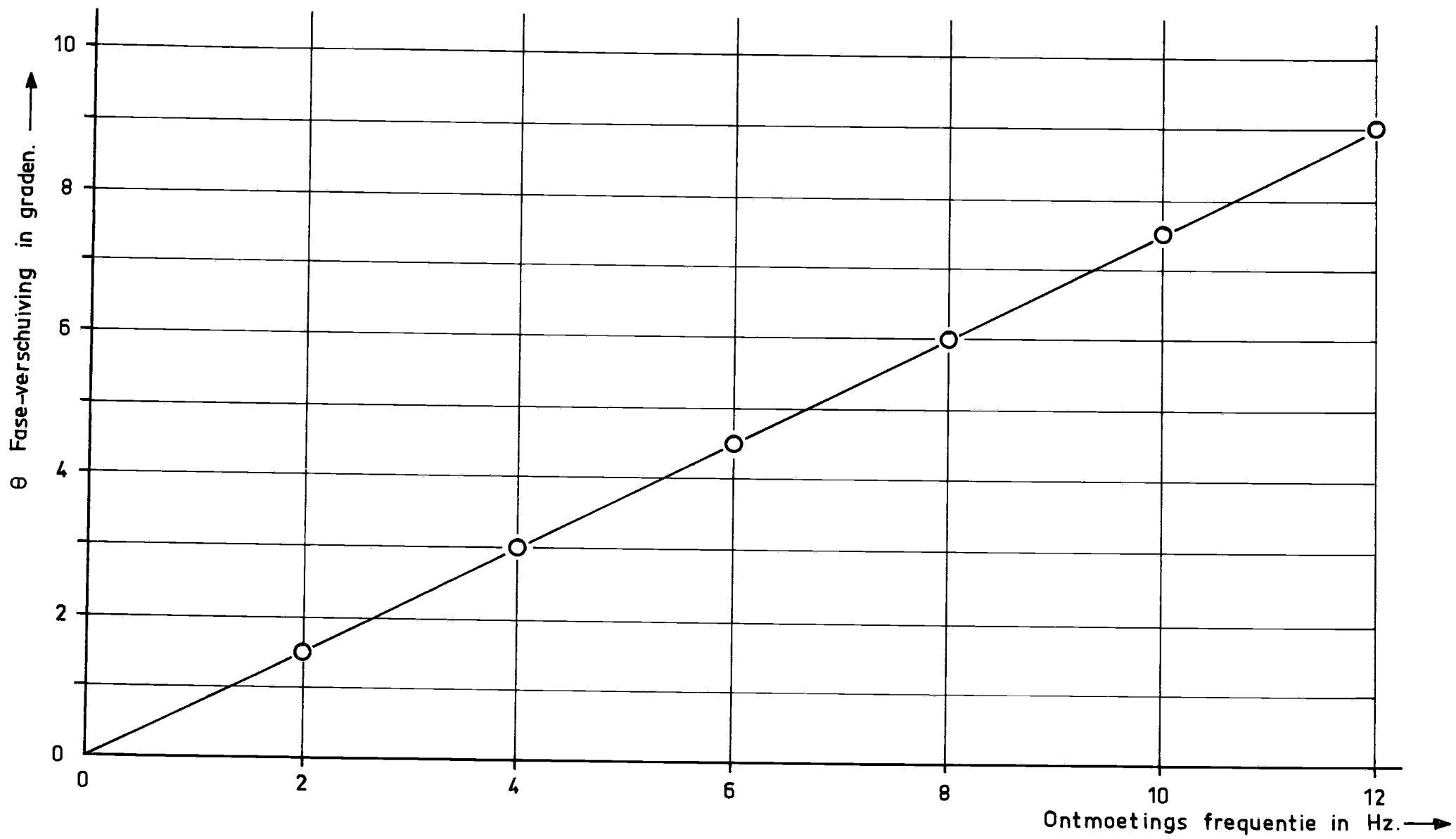


fig.13

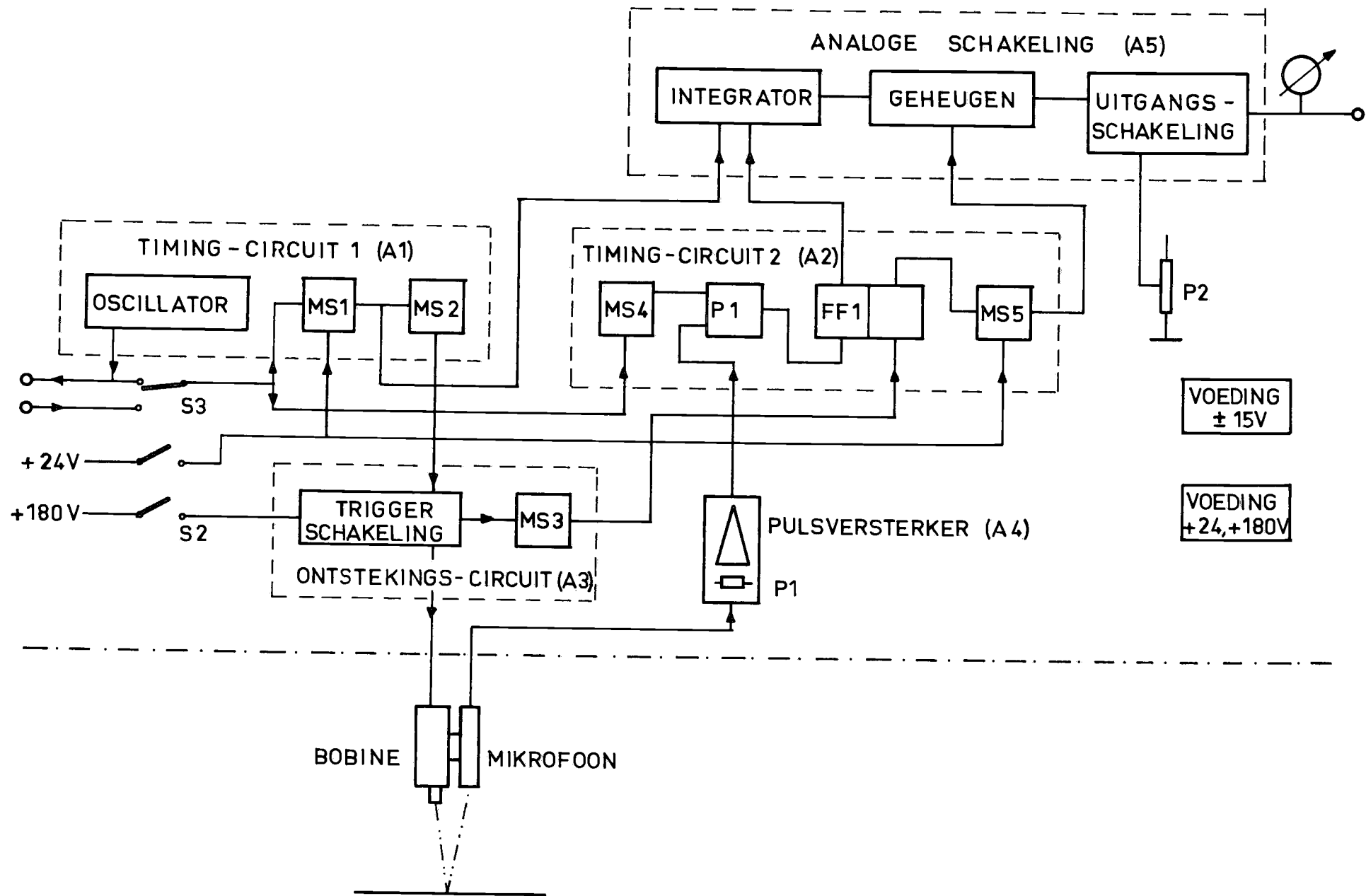
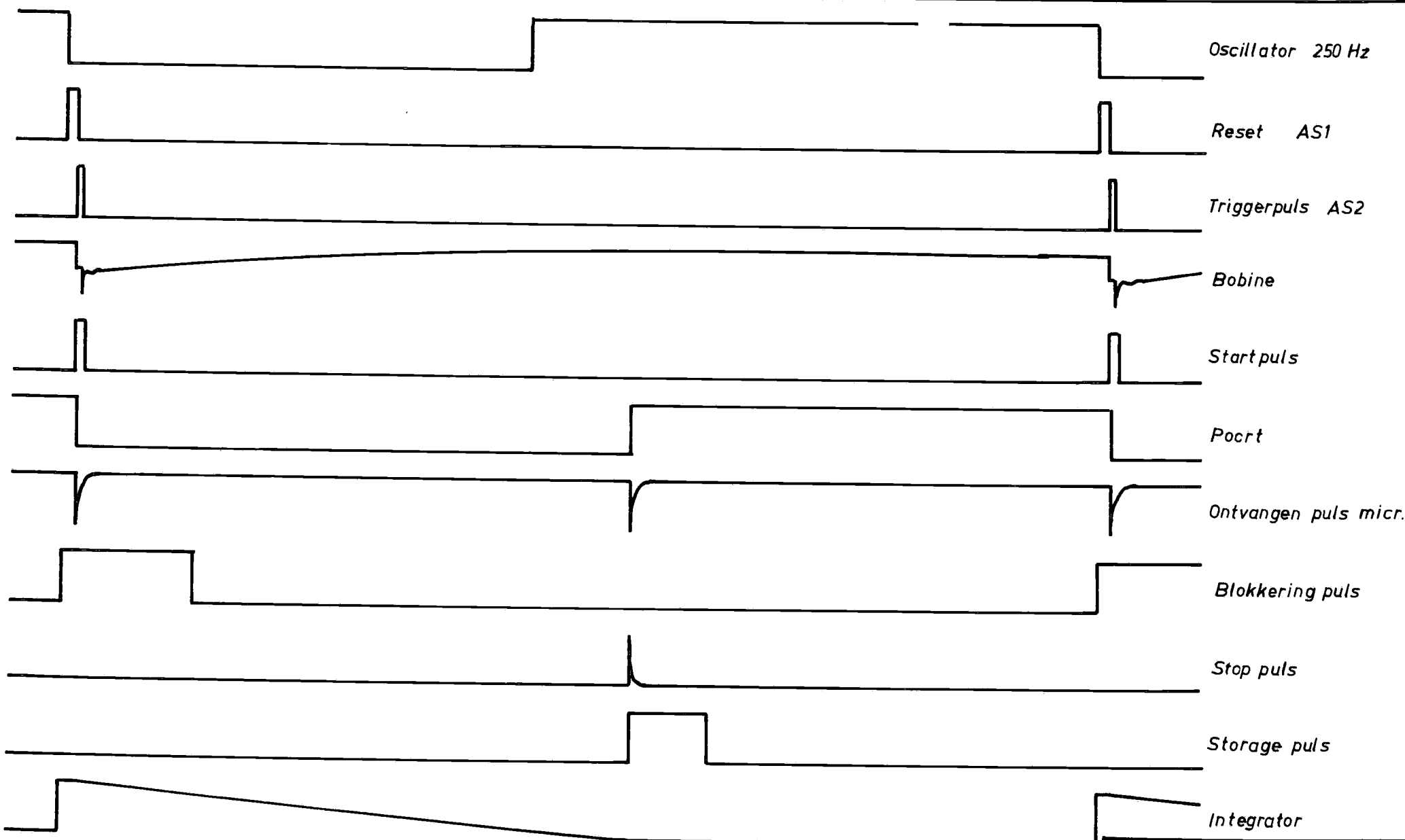


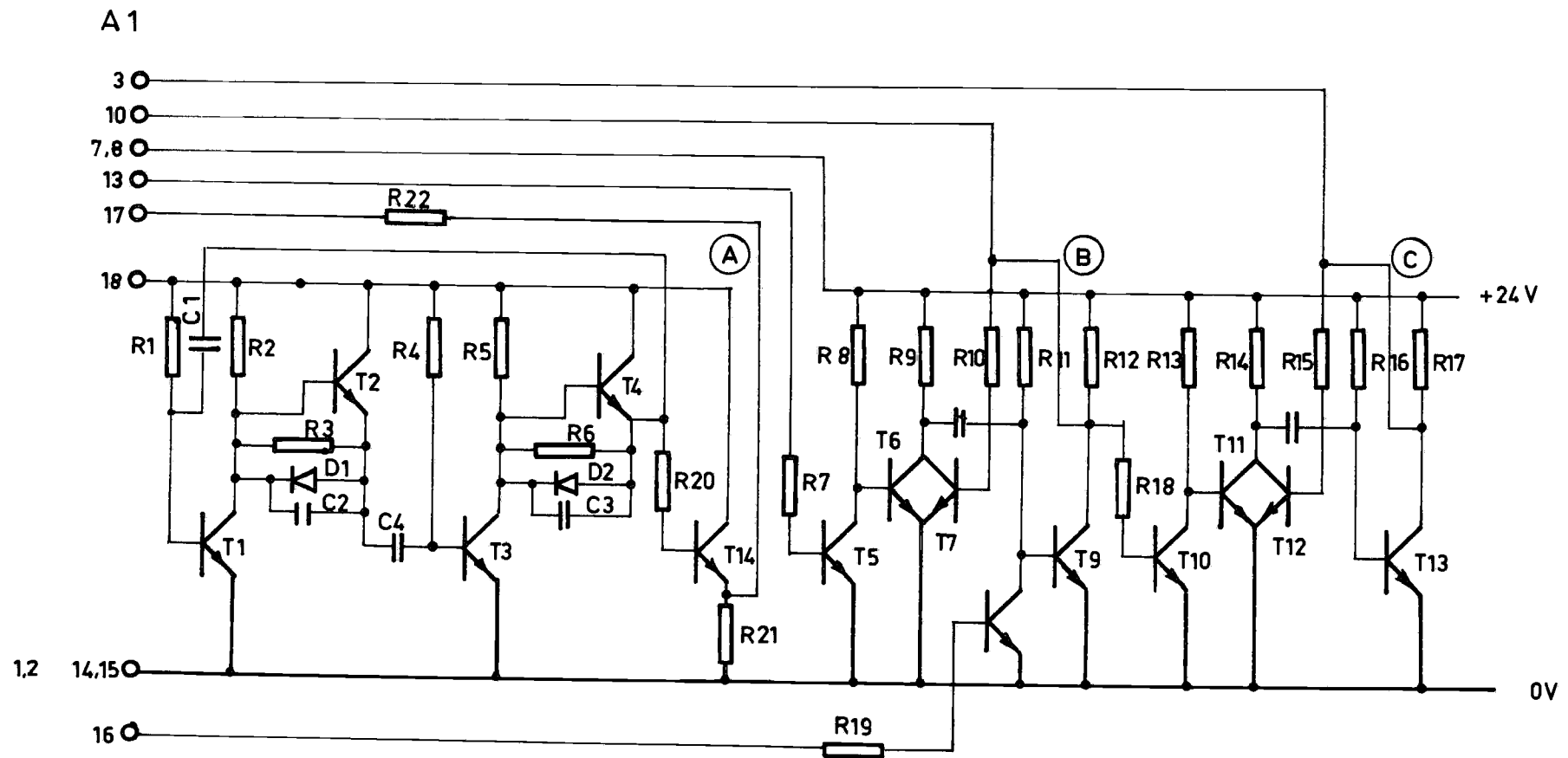
fig. 14



Get db
Lab. v Scheepsbouwkunde
TIJD DIAGRAM
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

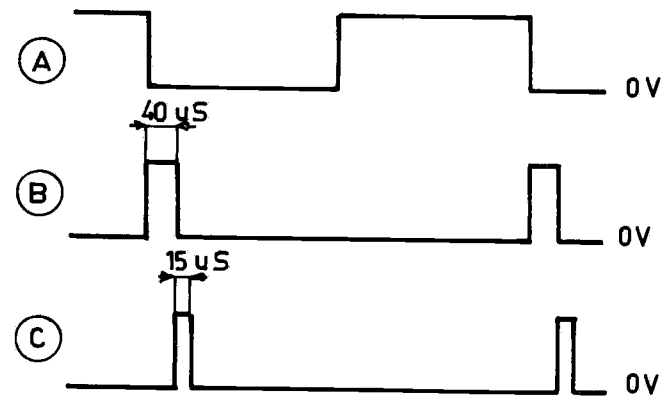
fig.15



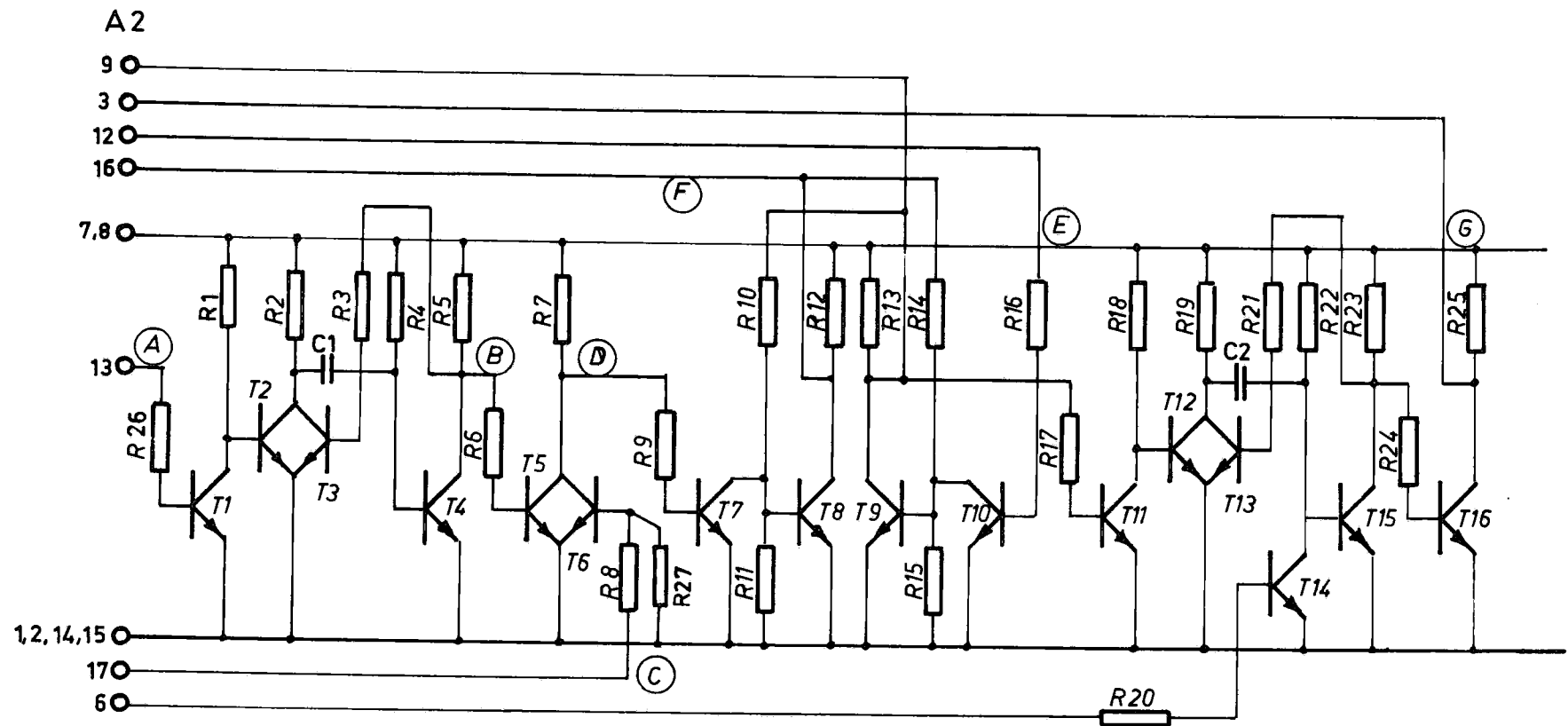


SLOT OP 5

fig. 16

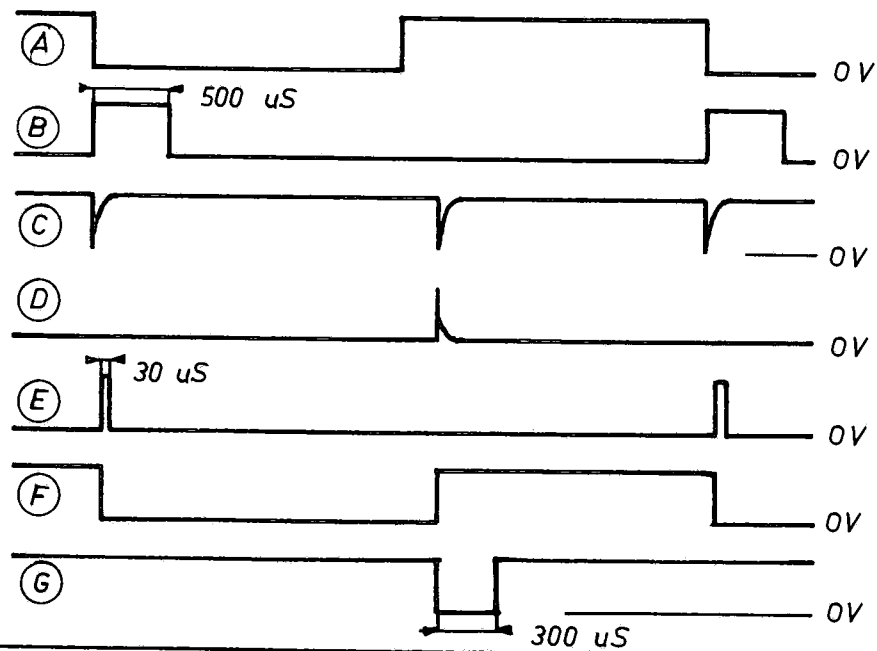


Get	db	26-11-69	Q
Lab. v Scheepsbouwkunde			
<u>TIMING CIRCUIT 1</u>			
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT			

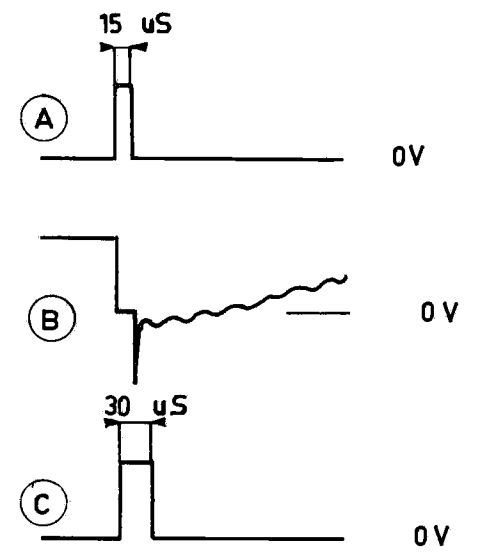
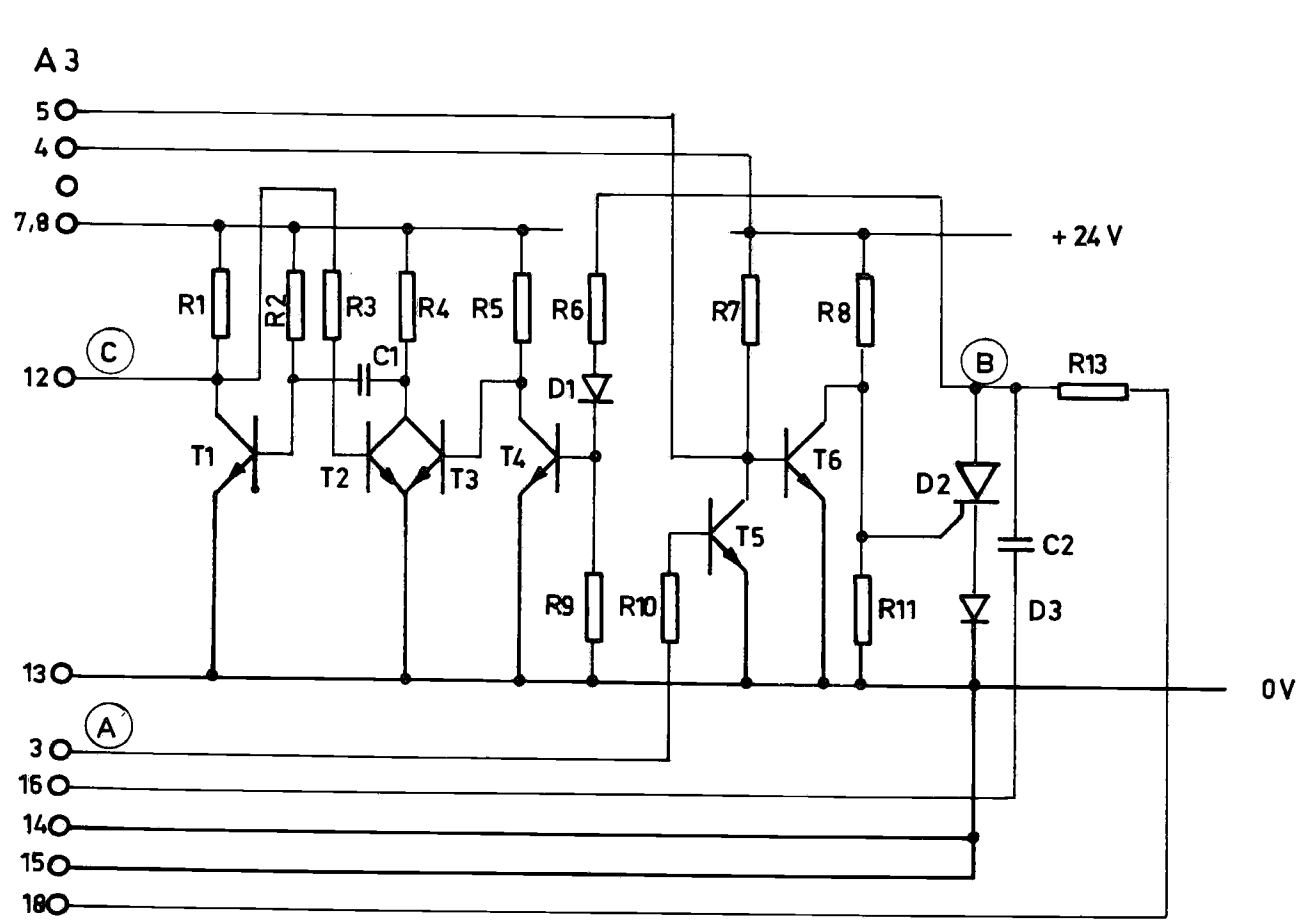


Slot op 4

fig. 17



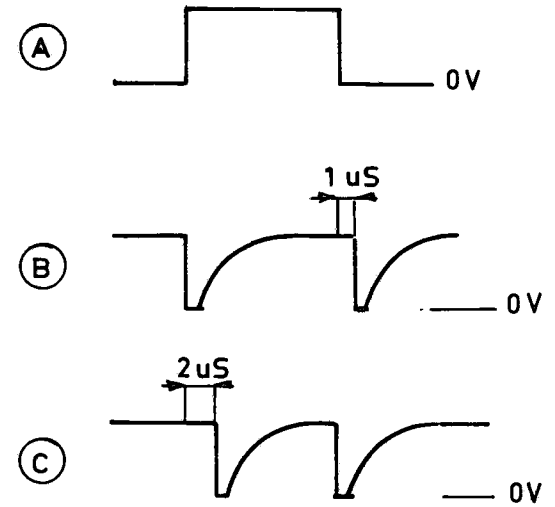
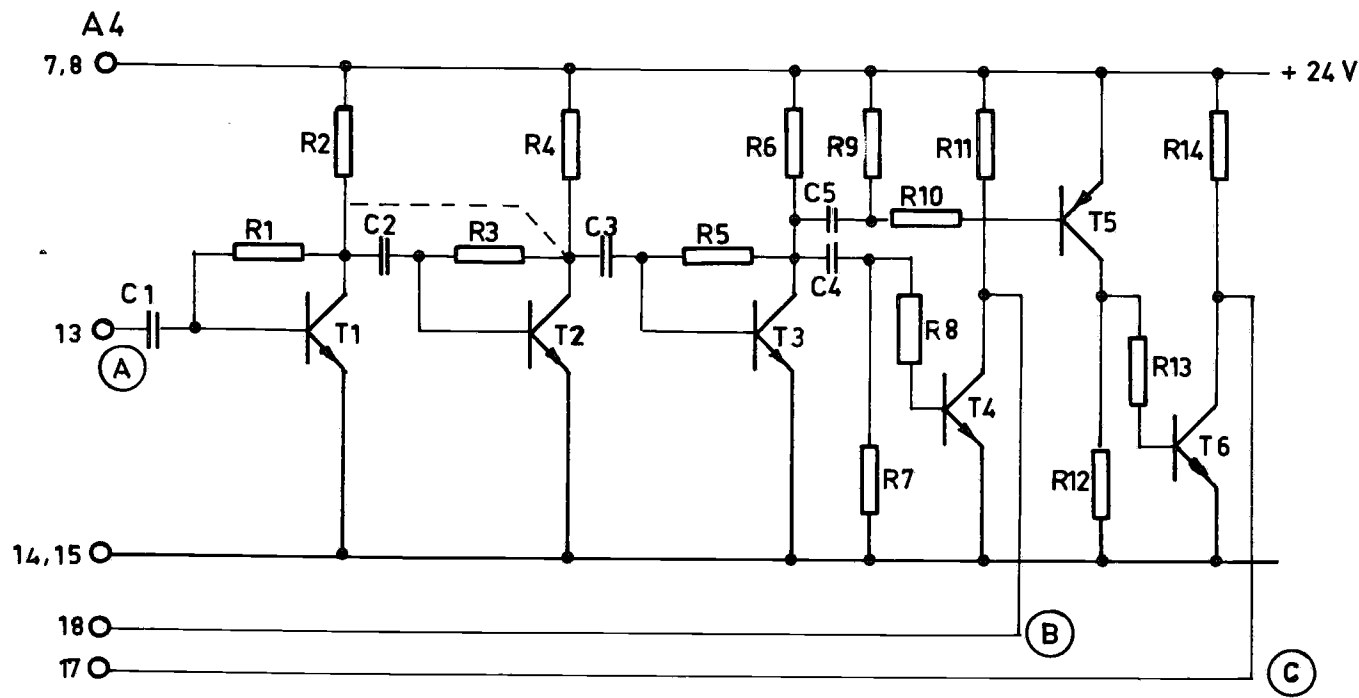
Get. db	26-11-69
Lab. v Scheepsbouwkunde	
TIMING - CIRCUIT 2	
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT	



Slot op 10

fig. 18

Get db	26-11-69
Lab. v Scheepsbouwkunde	
<u>ONTSTEKINGS CIRCUIT</u>	
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT	

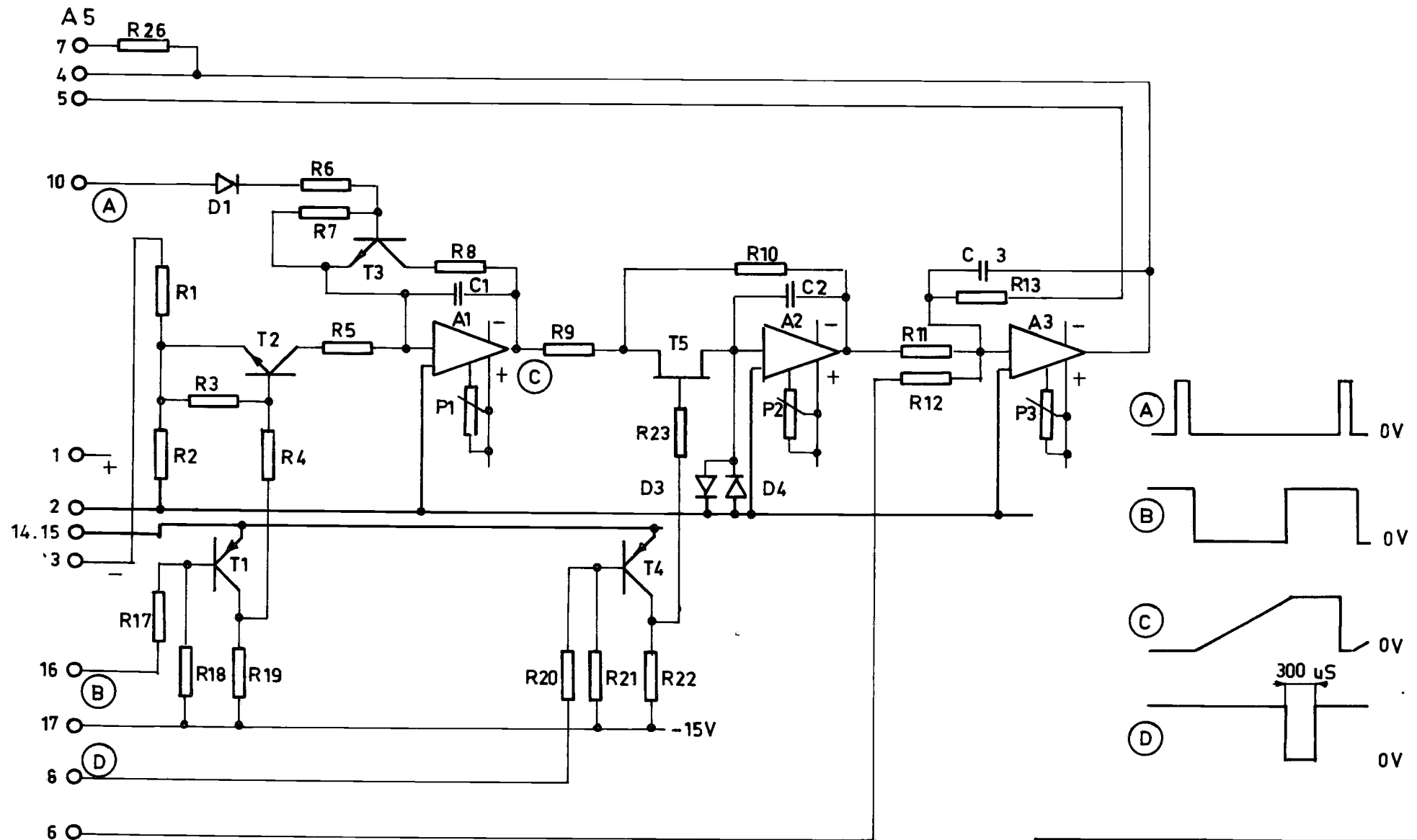


C2, R3, R4, en T2 vervallen bij korte afstanden

SLOT OP 1

fig. 19

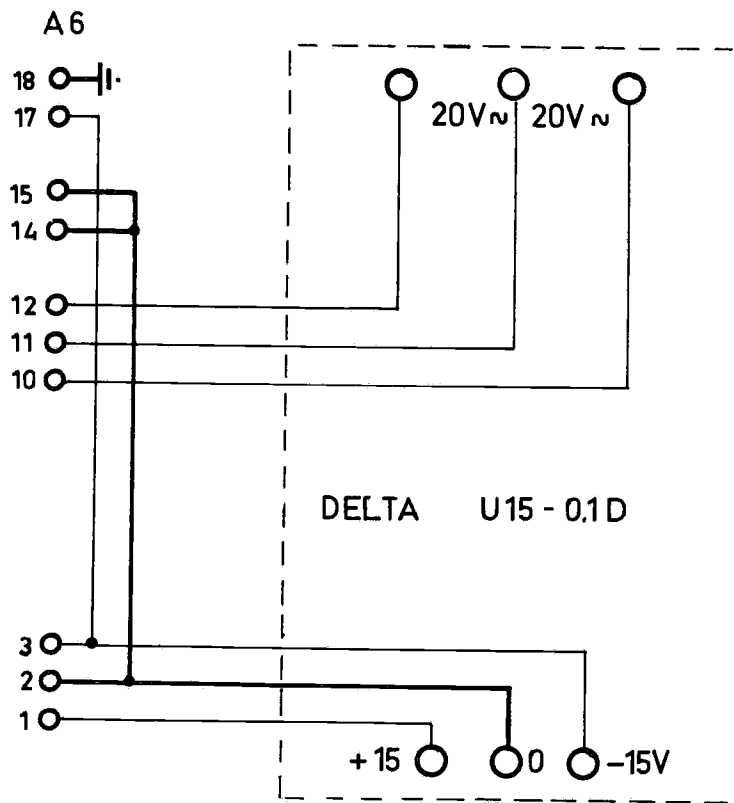
Get. db	26-11-69
Lab. v Scheepsbouwkunde	
<u>PULS VERSTERKER</u>	
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT	



SLOT OP 12

fig. 20

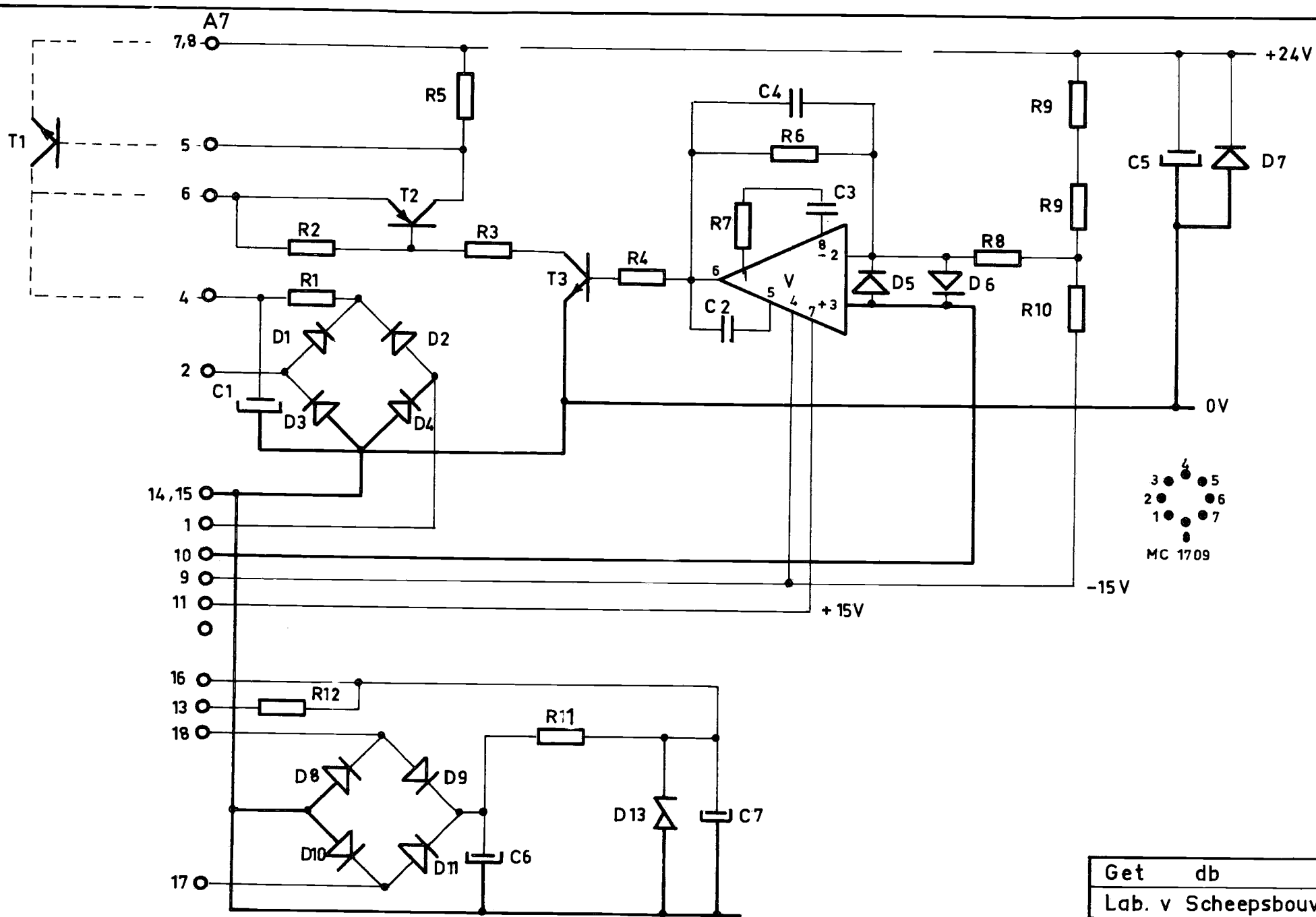
Get. db 26-11-69
Lab. v Scheepsbouwkunde
<u>ANALOGE SCHAKELING</u>
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT



SLOT OP 7

fig. 21

Get db
Lab. v Scheepsbouwkunde
<u>VOEDING ± 15V</u>
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT



SLOT OP 3

fig. 22

Get	db
Lab. v Scheepsbouwkunde	
VOEDING +24V en +150V	
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT	

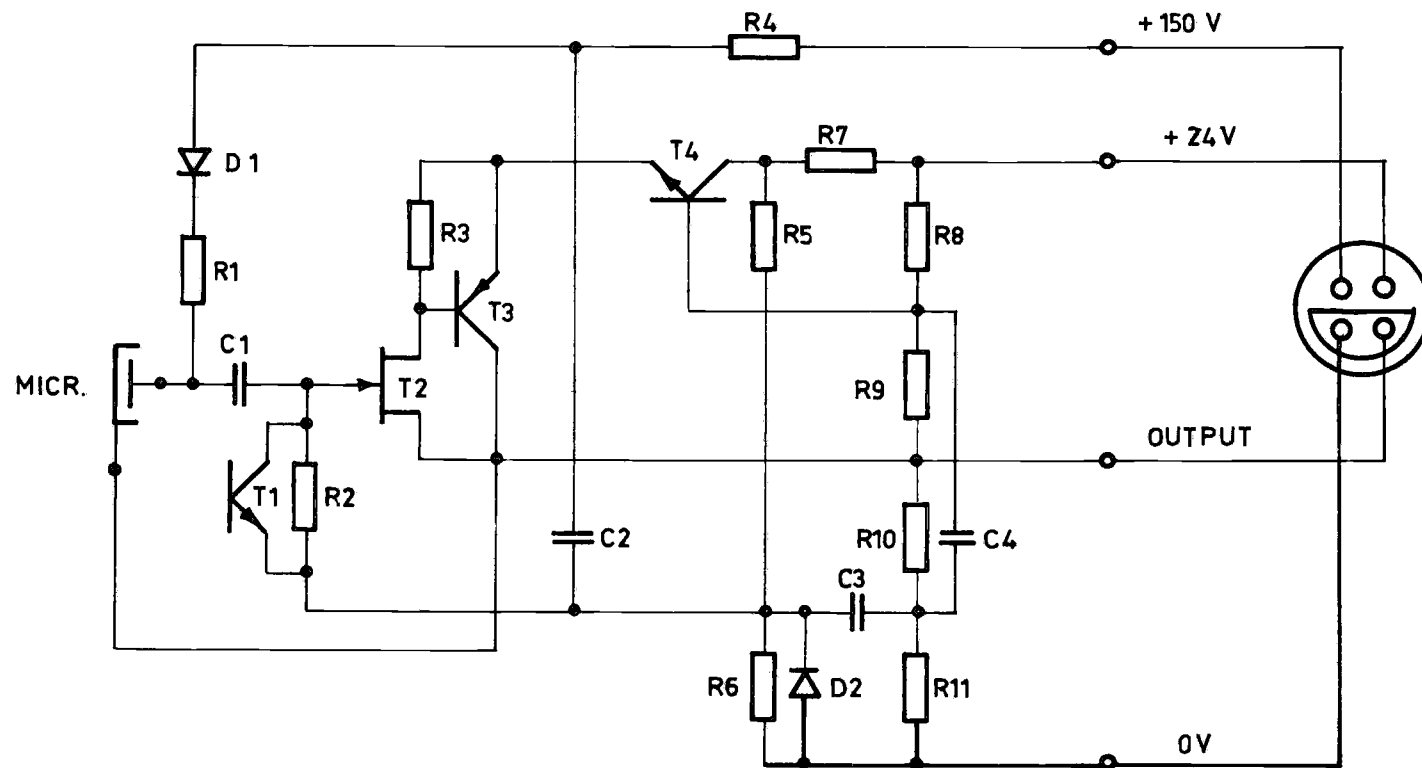


fig. 23

Get. db
Lab. v Scheepsbouwkunde
MICROFOON VERSTERKER
TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT



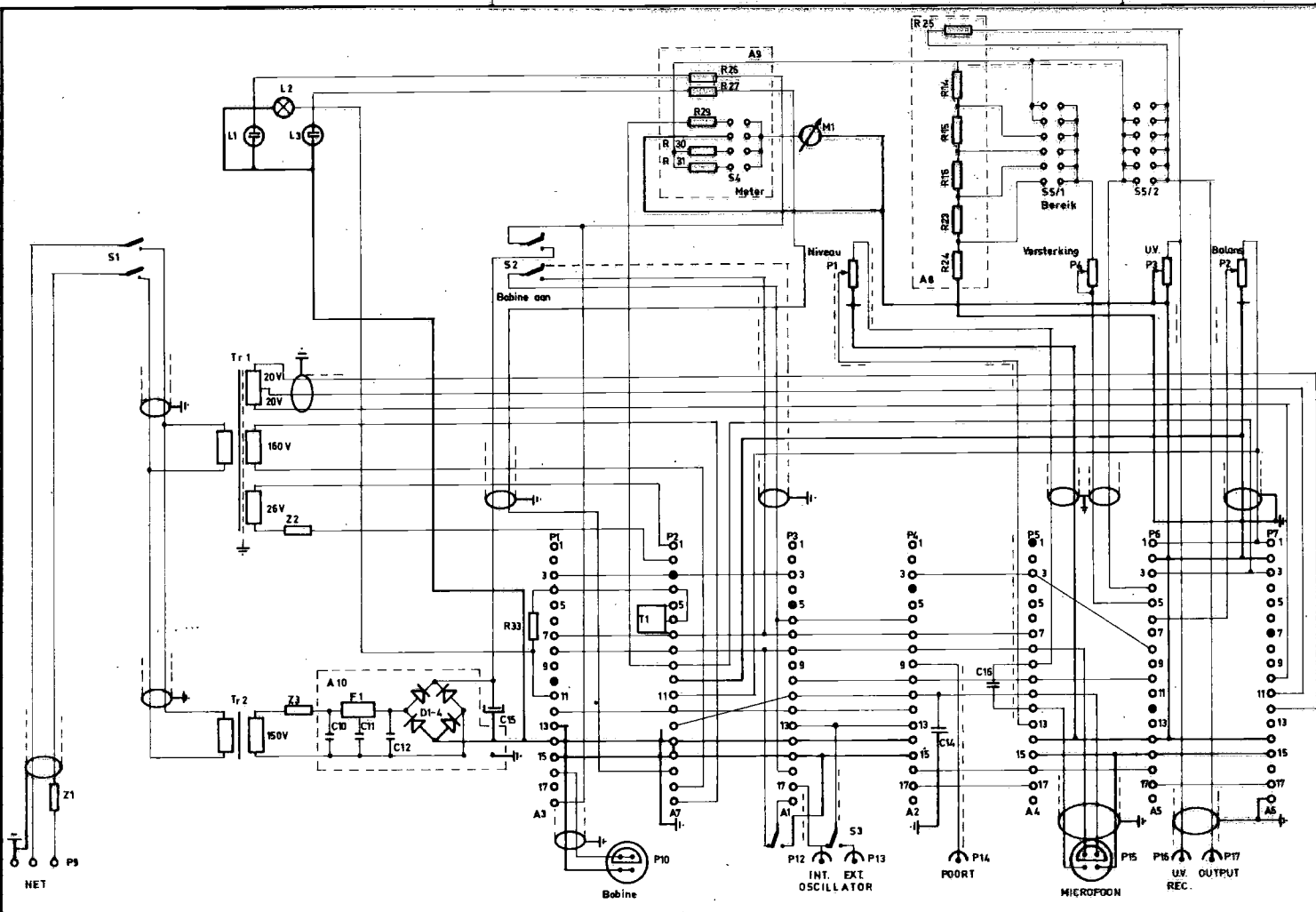



fig. 24

AAK TAL	POST RV	BENAMING	MATERIAAL	NORMAAL	ZIE R.S. N°	OPM.
		SCHAAL	DATUR	25	= 25 ± 0.5	GEWUZZIG
		GETEKEND D Buitenbak		25.0	= 25 ± 0.2	
		GECONTROLEERD		25.0	= 25 ± 0.1	
		GEZIEB		25.00	= 25 ± 0.05	
				25.00	= 25 ± 0.02	

**SCHEMA CHASSIS GOLFHOOGTE METER (Sonisch)**


**TECHNISCHE HOGESCHOOL  
LAB. VOOR SCHEEPSBOUWKUNDE  
DELFT**

FORMAAT: **A2**  
 TEKENING N°:  
 RANGSCHIK N°:

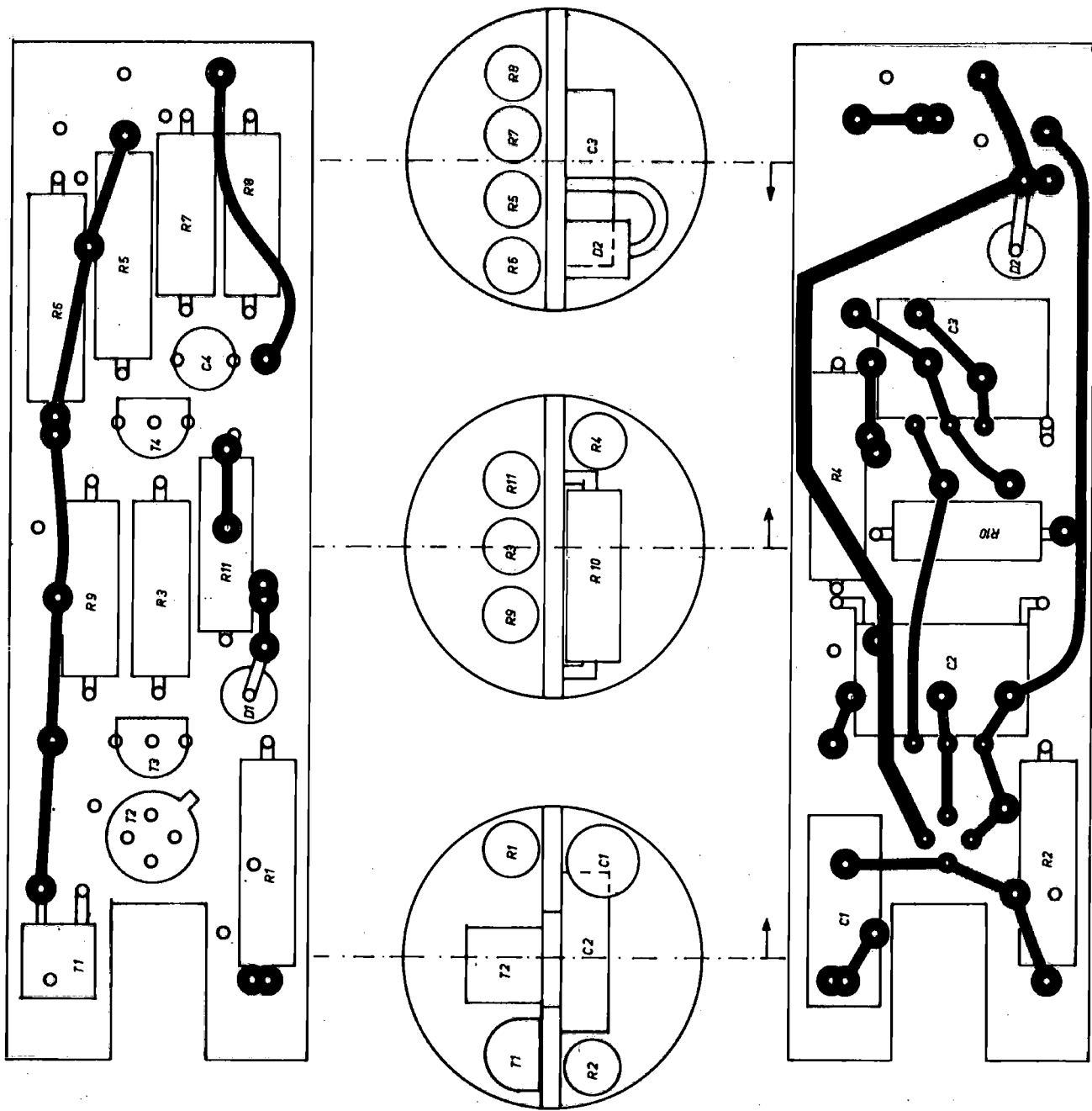



fig. 25

LAAT TAL	POST N°	BENAMING	MATERIAAL	NORMAAL	ZIE R.S.N°	OPM.
SCHAAL		DATUM	25	25 ± 0.5	DATUM	GEWUZIGD
GETEKEND db			25.0	25 ± 0.2		
GECONTROLEERD			25.0	25 ± 0.1		
GEZIEN			25.0	25 ± 0.05		
			25.00	25 ± 0.02		

**MICROFOON VERSTERKER**

 <b>TECHNISCHE HOGESCHOOL LAB. VOOR SCHEEPSBOUWKUNDE DELFT</b>	<b>FORMAAT</b> A2 <b>RANGSCHIK N°</b>	<b>TEKENING N°</b>
---	---	--------------------