

Proep:
Akhain!
Wij:
parant:



TECHNISCHE HOGESCHOOL VLIEGTUIGBOUWKUNDE

Rapport V.T.H. -58.

Beproeving van de analogon rekenmachine van
de sub-afdeling Vliegtuigbouwkunde der

Technische Hogeschool

door

M.J. van den Oever.

Delft - Nederland

februari 1956.

Beproeving van de analogon rekenmachine van de sub-afdeling voor vliegtuigbouwkunde der Technische Hogeschool.

Rapport VTH - 58.

M.J. van den Oever.

februari 1956.

Samenvatting.

Een vergelijking wordt getrokken tussen de door middel van een analogon rekenmachine verkregen oplossingen van enige stelsels lineaire differentiaalvergelijkingen en de numeriek berekende oplossingen van die vergelijkingen.

De hier behandelde differentiaalvergelijkingen beschrijven de langs- en de dwarsbewegingen van een vliegtuig.

INHOUD.

blz .

1. Inhoud.	1.
2. Doel van de metingen.	2.
3. Gegevens.	2.
4. Schakeling.	2.
5. Waarnemingen en berekeningen.	4.
6. Vergelijking der oplossingen.	6.
7. Conclusie.	7.
8. Literatuur.	8.
9. Aanhangsel.	9.
Tabellen.	12.
Figuren.	20.

2. DOEL VAN DE METINGEN.

Het doel van de metingen is het vergelijken van de door de analogon rekenmachine gegeven oplossingen van enige stelsels differentiaalvergelijkingen met de numeriek berekende uitkomsten van deze vergelijkingen.

Als meetobjecten zijn genomen de vliegtuigbewegingen welke ontstaan als responsies op stapvormige roeruitslagen.

Voor de symmetrische beweging is genomen de North-American "Mitchell" B-25 J en voor de asymmetrische beweging de North-American "Harvard" II B.

De keuze is op bovengenoemde vliegtuigen gevallen, daar hiervan de responsies reeds waren berekend.

3. GEGEVENS.

De voor de berekening benodigde vliegtuiggegevens zijn verzameld in de tabellen I en II.

De numeriek berekende responsies als functie van de tijd zijn gegeven in de tabellen III, IV en V.

De numerieke berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van Laplace transformaties. Een beschrijving van deze methode wordt gegeven in lit.3, aanhangsel 3.

Voor de nomenclatuur wordt verwezen naar lit.1 en 5.

4. SCHAKELING.

De vergelijkingen voor de symmetrische beweging van een vliegtuig zijn:

$$(C_{X_u} - 2\mu_c D_c)u + C_{X_\alpha} \alpha + C_{Z_\theta} \theta = 0$$

$$C_{Z_u} u + \{C_{Z_\alpha} - (2\mu_c - C_{Z_{\dot{\alpha}}})D_c\} \alpha + (C_{Z_q} + 2\mu_c)D_c \theta + C_{Z_\delta} \delta_e = 0$$

$$C_{m_u} u + (C_{m_\alpha} + C_{m_{\dot{\alpha}}} D_c) \alpha + (C_{m_q} D_c - 2\mu_c \frac{K^2 D^2}{Y_c}) \theta + C_{m_\delta} \delta_e = 0$$

Deze vergelijkingen zijn ontleend aan lit.1.

Het principeschema volgens hetwelk met de rekenmachine een analogon van deze vergelijkingen werd gemaakt is gegeven in fig.1. Het hiervan afgeleide werkschema is gegeven in de figuren 2 en 2a. Deze schakeling werd afgeleid uit de vergelijkingen volgens de methoden zoals deze zijn aangegeven in lit.2.

De vergelijkingen voor de asymmetrische beweging van een vliegtuig zijn:

$$(C_{Y\beta} - 2\mu_b D_b) \beta + C_L \cdot \varphi - 2\mu_b D_b \cdot \psi + C_{Y\delta_r} \cdot \delta_r = 0$$

$$C_{z\beta} \cdot \beta + \left(\frac{1}{2} C_{L\beta} D_b - 2\mu_b K_{Xb}^2 D_b^2\right) \varphi + \left(\frac{1}{2} C_{L\beta} D_b + 2\mu_b K_{ZX} D_b^2\right) \cdot \psi + C_{L\delta_a} \cdot \delta_a + C_{L\delta_r} \cdot \delta_r = 0$$

$$C_{n\beta} \cdot \beta + \left(\frac{1}{2} C_{n\beta} D_b + 2\mu_b K_{ZX} D_b^2\right) \varphi + \left(\frac{1}{2} C_{n\beta} D_b - 2\mu_b K_{Zb}^2 D_b^2\right) \cdot \psi + C_{n\delta_a} \cdot \delta_a + C_{n\delta_r} \cdot \delta_r = 0$$

Bovenstaande vergelijkingen zijn eveneens ontleend aan lit 1.

De analogon rekenmachine werd voor deze vergelijkingen ingesteld volgens het principieschema van fig. 3. Het bijbehorende werkschema is gegeven in de figuren 4 en 4a. De schakeling werd opgezet volgens de aanwijzingen gegeven in lit. 2.

Bij de metingen werd gebruik gemaakt van een relaisschakeling waarmee het mogelijk was een stophorloge tegelijkertijd met de rekenmachine te starten en te stoppen, zie aanhangsel.

Bij het stoppen werden de integratoren van de rekenmachine geïsoleerd van het overige deel van de schakeling en werd de waarde van de verschillende grootheden afgelezen met de galvanometer van de rekenmachine. Alhoewel na het stoppen van de rekenmachine het rekenen later weer kan worden voortgezet, werd terwille van de nauwkeurigheid voor elke serie waarnemingen behorende bij een bepaald tijdstip het rekenproces weer geheel opnieuw begonnen.

De waarnemingen voor de symmetrische beweging werden verricht op ware tijdschaal, met uitzondering van de waarnemingen over de eerste 3 seconden, waar terwille van een nauwkeurige tijdmeting gemeten werd op een tijdschaal 10. De tijdschaal 10 werd verkregen door het product RC van alle integratoren met een factor 10 te vermenigvuldigen.

In het werkschema bestaande uit de figuren 2 en 2a zijn de condensatorwaarden en de instelstromen voor de integratorweerstand aangegeven voor de ware tijdschaal. Tussen haakjes zijn de waarden voor de tijdschaal 10 aangegeven.

Door de zeer kleine waarde van de instelstroom voor de weerstand van integrator 3 (2,74 A) trad er voor deze instelling enig verlies in nauwkeurigheid op t.o.v. de instelling op ware tijdschaal. Dit had echter een te verwaarlozen invloed op de nauwkeurigheid van de meetresultaten, daar gedurende de eerste 3 seconden (of 30 seconden op de tijdschaal 10) de waarde u (uitgangsspanning van versterker 3) slechts zeer weinig van nul verschilde.

Als ingangsgrootte werd een stap van 10 volt gebruikt.

De waarnemingen voor de asymmetrische beweging werden verricht op een tijdschaal 5. Dit werd gedaan, aangezien de snelheid waarmee deze verschijnselen in werkelijkheid verlopen een nauwkeurige tijdmeting op ware tijdschaal moeilijk uitvoerbaar maakt.

Teneinde verzadiging van een of meer versterkers tijdens de metingen te voorkomen werden voor de rolroeruitslag en de richtingsroeruitslag stapfuncties van verschillende grootte genomen. Voor de rolroeruitslag werd een stapfunctie van 10 volt en voor de richtingroeruitslag een stapfunctie van 5 volt gebruikt.

Een stabiel en constant ingangssignaal (onafhankelijk van de belasting) werd verkregen door dit signaal af te leiden van de referentiespanning van 100 volt van de rekenmachine en het via versterker 12 aan de rekenschakeling toe te voeren (zie de werkschema's).

5. WAARNEMINGEN EN BEREKENINGEN.

De waarnemingen zijn met de uitgewerkte waarden van de responsiefuncties opgenomen in de tabellen VI, VII en VIII.

De galvanometer waarmee de waarnemingen werden verricht geeft een uitslag van 50 schaaldelen voor een spanning van 100 volt. 1 schaaldeel komt dus overeen met een spanning van 2 volt.

De waarnemingen werden verricht in schaaldelen. De uitslag werd geschat tot op 0,1 schaaldeel. Voor kleine uitslagen (minder dan 5 schaaldelen) werd de galvometer geschakeld in een 10 maal zo klein bereik. Deze waarnemingen werden tijdens het opnemen direct omgezet in een aantal schaaldelen van het oorspronkelijk bereik. Voor uitslagen kleiner dan 5 schaaldelen was derhalve een schatting mogelijk

tot op 0,01 schaaldeel.

De responsiefuncties werden als volgt uit de waarnemingen afgeleid:

Voor de symmetrische beweging bedroeg het ingangssignaal δ_e 10 volt overeenkomende met 5 schaaldelen.

De uitgangsspanning van versterker 3 in schaaldelen kwam overeen met 0,1 u. De werkelijke waarde van u in schaaldelen is dus 10 maal de afgelezen waarde. Hieruit volgt dat $\frac{u}{\delta_e} = \frac{10}{5}$ ofwel 2 maal de afgelezen waarde is.

Versterker 6 gaf de grootheid α af. Op overeenkomstige wijze als voor $\frac{u}{\delta_e}$ werd gedaan, kan worden afgeleid dat $\frac{\alpha}{\delta_e}$ gelijk is aan 0,2 maal de afgelezen waarde in schaaldelen van de uitgangsspanning van versterker 6.

Versterker 9 gaf een spanning af overeenkomende met $-10D_c\theta$. Hieruit volgt dat $\frac{D_c\theta}{\delta_e}$ gelijk is aan -0,02 maal de afgelezen waarde in schaaldelen van de uitgangsspanning van versterker 9. Nu is

$q = \frac{d\theta}{dt} = \frac{V}{c}D_c\theta = 26,5 D_c\theta$. Waaruit volgt dat $\frac{q}{\delta_e} = 26,5 \frac{D_c\theta}{\delta_e} = -0,02 \cdot 26,5$ ofwel -5,3 maal de afgelezen waarde in schaaldelen.

De waarden $\frac{u}{\delta_e}$, $\frac{\alpha}{\delta_e}$ en $\frac{q}{\delta_e}$ zijn opgenomen in tabel VI.

De gemeten waarden van bovengenoemde responsiefuncties zijn grafisch voorgesteld in fig. 5 voor de eerste 3 seconden en in fig. 6 voor de eerste 100 seconden.

In deze figuren zijn bovendien opgenomen de berekende waarden van $\frac{u}{\delta_e}$, $\frac{\alpha}{\delta_e}$ en $\frac{q}{\delta_e}$ als functie van de tijd.

Voor de bewegingsvergelijkingen van de asymmetrische beweging bedroeg het ingangssignaal δ_a 10 volt, overeenkomende met 5 schaaldelen en het ingangssignaal δ_r 5 volt, overeenkomende met 2,5 schaaldelen.

De uitgangsspanning van versterker 3 kwam overeen met β , dus $\frac{\beta}{\delta_a}$ is gelijk aan 0,2 maal de afgelezen waarde in schaaldelen en $\frac{\beta}{\delta_r}$ is gelijk aan 0,4 maal de afgelezen waarde in schaaldelen van de uitgangsspanning van versterker 3.

Versterker 6 gaf een spanning af overeenkomende met $-D_b\phi$. Hieruit volgt dat $\frac{D_b\phi}{\delta_a}$ gelijk aan -0,2 en $\frac{D_b\phi}{\delta_r}$ gelijk aan -0,4 maal de afgelezen waarde in schaaldelen van de uitgangsspanning van versterker 6 is.

Nu is $\dot{\phi} = \frac{V}{b} D_b \phi = 6,08 D_b \phi$. Dus is $\frac{\dot{\phi}}{\delta_a}$ gelijk aan $-0,2.6,08$ ofwel $-1,22$ maal de afgelezen waarde in schaaldelen. Evenzo is $\frac{\dot{\phi}}{\delta_r}$ gelijk aan $-0,4.6,08$ ofwel $-2,43$ maal de afgelezen waarde in schaaldelen.

De uitgangsspanning van versterker 10 kwam overeen met $10 D_b \psi$. Hieruit volgt dat $D_b \psi$ in schaaldelen gelijk is aan $0,1$ maal de afgelezen waarde. Op overeenkomstige wijze als voor $\dot{\phi}$ is gedaan, kan worden afgeleid dat $\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ gelijk is aan $0,122$ maal de afgelezen waarde in schaaldelen en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_r}$ gelijk aan $0,243$ maal de afgelezen waarde in schaaldelen van de uitgangsspanning van versterker 10.

De gemeten waarden $\frac{\beta}{\delta_a}$, $\frac{\dot{\phi}}{\delta_a}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ als functie van de tijd zijn opgenomen in tabel VII en de gemeten waarden $\frac{\beta}{\delta_r}$, $\frac{\dot{\phi}}{\delta_r}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_r}$ als functie van de tijd in tabel VIII.

De gemeten waarden van de responsies op een eenheidsstapfunctie van δ_a zijn grafisch voorgesteld in fig.7. De gemeten waarden van de responsies op een eenheidsstapfunctie van δ_r zijn weergegeven in fig.8.

In deze figuren zijn bovendien opgenomen de berekende waarde van $\frac{\beta}{\delta_a}$, $\frac{\dot{\phi}}{\delta_a}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ evenals die van $\frac{\beta}{\delta_r}$, $\frac{\dot{\phi}}{\delta_r}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_r}$ als functie van de tijd.

6. VERGELIJKING DER OPLOSSINGEN.

Uit de figuren 5,6,7 en 8 blijkt dat voor het overgrote deel der berekende punten de afwijking tussen de berekende en gemeten waarden kleiner is dan 2% van de maximale waarde. In het geval van een systematische afwijking (laatste deel van $\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_r}$) is het verschil iets groter.

Een verschuiving in de tijd tussen de berekende en de gemeten waarden valt niet te constateren.

De afwijkingen tussen de berekende en gemeten waarden worden, behalve door de rekenmachine zelf, veroorzaakt door aflees- en meetfouten, bij het programmeren en bij het meten van de uitkomsten, alsmede door afrondingen bij de numerieke berekening.

De benodigde tijd voor een numerieke berekening met behulp van een bureaurekenmachine en de uitwerking van de responsies in een grafiek bedraagt voor de symmetrische beweging c.a. 12 uur en voor de asymmetrische beweging c.a. 15 uur. Deze tijden gelden voor een enigszins geoefend rekenaar.

Wordt de berekening uitgevoerd met behulp van een analogon rekenmachine op de wijze zoals in dit rapport is beschreven en door iemand

die hier enige ervaring mee heeft dan is de benodigde tijd voor de berekening en uitwerking van de responsies met een bekende programmering voor de symmetrische beweging c.a. $3\frac{1}{2}$ uur en voor de asymmetrische beweging c.a. $5\frac{1}{2}$ uur. Moet de programmering nog worden uitgezocht, dan kost dit per stelsel vergelijkingen c.a. 1 uur.

Kan echter gebruik worden gemaakt van automatische registratie apparatuur, dan kan de benodigde tijd voor het bereiken van een oplossing met behulp van de analogon rekenmachine, zowel voor de symmetrische als voor de asymmetrische beweging worden gereduceerd tot c.a. 1 uur bij bekende programmering en c.a. 2 uur bij onbekende programmering.

7. CONCLUSIE.

De berekende en gemeten waarden van alle beschouwde grootheden stemmen zowel in tijd als in grootte goed met elkaar overeen.

Gezien de nauwkeurigheid waarmee de gegevens voor het type van problemen gelijk de hier behandelde bekend zijn (op zijn best 1%) blijkt wel uit de in dit rapport behandelde vergelijking tussen de berekende en de gemeten uitkomsten, dat de nauwkeurigheid van de analogon rekenmachine ruim voldoende is en dat de eventuele fouten welke door deze machine worden geïntroduceerd volledig kunnen worden verwaarloosd.

Aangezien echter in het algemeen de nauwkeurigheid van een analogon rekenmachine afhankelijk is van de schakeling en het probleem dat er mede wordt behandeld, dient bovenstaande conclusie met voorzichtigheid te worden gehanteerd. Vooral indien de oplossing van het probleem zich bevindt in het grensgebied van stabiliteit en onstabiliteit, is de kans op niet te verwaarlozen fouten zeer groot.

8. LITERATUUR.

1. De dynamische stabiliteit met vast stuur. Volgno.215 en 309 van het collegedictaat Vliegeigenschappen I en II van Prof.dr.ir.H.J.van der Maas.
2. Oever, M.J.van den, Handleiding voor het gebruik van de electro-nische analogon rekenmachine van de subafdeling Vliegtuigbouw-kunde der Technische Hogeschool. VTH handleiding 6.
3. Gerlach, Ir.O.H. Dynamische besturing van vliegtuigen. Uitgave van de subafdeling Vliegtuigbouwkunde der Technische Hogeschool.
4. Milliken, W.F.jr. Progress in dynamic stability and control research.J.A.S. 1947, blz 493 e.v.
5. Normblad V995.Symbolen en nomenclatuur voor de vliegmechanica.

9. AANHANGSEL.

Relaisschakeling.

De relaisschakeling, welke werd gebruikt bij de in dit rapport beschreven metingen moet de volgende functies vervullen:

- a. een functieschakelaar sluiten en tegelijkertijd een stophorloge starten.
- b. enige tijd daarna de rekenmachine op "isoleren" zetten en tegelijkertijd het stophorloge stoppen.

Het stophorloge kan worden bediend door middel van een electro-magneet welke is aangebracht in een houder voor het horloge. Bij de eerste maal aantrekken van de magneet start het horloge. Bij de tweede maal aantrekken van de magneet stopt het.

De analogon rekenmachine kan behalve inwendig via enige schakelaars op het meetpaneel, ook uitwendig via enige contactenstelsels worden bediend. Daartoe zijn onder de schakelaar voor het "instellen" en onder de schakelaar voor het "isoleren" een paar stekerbussen aangebracht (zie VTH handleiding 6). Staan bovengenoemde schakelaars op "rekenen" dan kunnen de functies van deze schakelaars worden overgenomen door een mechanisme dat de stekerbussen onder de betreffende schakelaar al of niet doorverbindt.

De functie schakelaar schakelt het ingangssignaal in.

De bedieningsknop waarmee de electro-magneet van het stophorloge wordt ingeschakeld bedient eveneens (hoewel indirect) de functieschakelaar en de schakelaar voor het "isoleren".

Teneinde een onderscheid te verkrijgen tussen het indrukken van de bedieningsknop voor de eerste keer (starten) en het indrukken van de bedieningsknop voor de tweede keer (stoppen) wordt een relaisschakeling in de vorm van een telschakeling gebruikt. Deze telschakeling bestaat uit de relais A en B (zie fig. 9a). Het relais C is een stuurrelais en heeft geen andere functie dan het eenvoudige sluiten van de bedieningsknop om te zetten in een iets gecompliceerdere schakelfunctie welke benodigd is voor het sturen van de tekschakeling.

De verschillende standen van de relais als functie van de tijd zijn gegeven in fig. 9b. Met behulp van deze figuur kan worden nagegaan dat van t_1 tot t_2 het relais A is aangetrokken. De keten over de stekerbussen "isoleren" bestaat volgens fig. 9c uit een verbreekcontact van A. Deze keten is gesloten vóór t_1 en na t_2 . De rekenmachine staat dus op "isoleren" vóór t_1 en na t_2 .

De keten voor de functieschakelaar bestaat uit een maakcontact van het relais A met daaraan parallel een maakcontact van het relais B. Voor t_1 zijn zowel relais A als relais B afgefallen. De keten van de functie schakelaar is dan dus open. Na t_1 zijn of het relais A, of het relais B of beide relais aangetrokken. Hieruit volgt dat gedurende het deel van de schakelcyclus na t_1 , de keten van functieschakelaar steeds is gesloten.

Teneinde deze schakeling bovendien te kunnen gebruiken voor anders verlopende rekenprocessen, b.v. rekenprocessen met beginvoorwaarden, is over de stekerbussen "instellen" (zie VTH handleiding 6) eveneens een contactenschakeling aangebracht (zie fig.9b). Wordt de in deze keten opgenomen tuimelschakelaar gesloten, dan zal deze keten zijn geopend vanaf het tijdstip t_1 . Op dat tijdstip wordt de rekenmachine dus overgeschakeld van "instellen" op "rekenen".

Wanneer de na t_2 ingedrukte bedieningsknop weer wordt losgelaten, wordt de toestand van voor t_1 weer bereikt. De integratoren verliezen dus hun eindtoestand en komen terug in de begintoestand. Moeten de uitgangsspanningen van de integratoren na een berekening worden afgelezen, dan zal deze aflezing met ingedrukte bedieningsknop dienen te geschieden. Teneinde deze enigszins ongemakkelijke toestand op te heffen is in de keten "instellen" een tuimelschakelaar aangebracht. Wordt deze tuimelschakelaar tijdens het rekenproces geopend dan zal de keten "instellen" open blijven, ook als na het tijdstip t_2 de bedieningsknop wordt losgelaten. De integratoren blijven dan dus de eindtoestand behouden. De begintoestand wordt verkregen door de tuimelschakelaar na de verrichte aflezingen te sluiten.

In het geval van de in dit rapport behandelde berekeningen, waarbij voor de vergelijkingen geen beginvoorwaarden waren vereist, werd voor t_1 de tuimelschakelaar geopend. Hierdoor werd op het tijdstip t_1 waarop het rekenen begon alleen de keten isoleren geopend en de functieschakelaar gesloten. Aangezien de keten "instellen" in de hier beschreven rekenschakelingen 11 relais in de rekenmachine bedient (n.l. in elke versterker een) en de keten "isoleren" slechts 4 (in de integratoren), is bij de hier gevolgde handelwijze de kans op fouten veroorzaakt door het eventueel niet gelijktijdig schakelen van de relais van de rekenmachine tot een minimum gereduceerd.

In fig.9d is een lijstje van de in de relaisschakeling gebruikte symbolen gegeven. Deze symbolen geven steeds de rusttoestand van het betreffende schakelelement weer.

Voor een goed begrip wordt er de aandacht op gevestigd dat er

electricch geen verbinding bestaat tussen de bekrachtigingsspoel van een relais en de contacten welke hierdoor worden omgelegd. Een uitzondering vormt natuurlijk het geval waarin opzettelijk zulk een verbinding is aangebracht zoals in de schakeling van fig 9a.

TABEL I.

Gegevens van de North-American "Mitchell" B-25 J in horizontale vlucht.

V	$= 78,3$ m/sec	\bar{c}	$= 2,95$ m	s_c	$= 26,5$ t
hoogte	$= 0$ m	K_Y^2	$= 0,638$		
C_L	$= 0,565$	μ_c	$= 59,8$		
C_{Z_0}	$= -C_L = -0,565$	C_{X_α}	$= 0,212$	C_{Z_q}	$= -2,020$
C_{X_0}	$= 0$	C_{Z_α}	$= -5,410$	C_{m_q}	$= -5,39$
C_{X_u}	$= -0,130$	C_{m_α}	$= -0,417$	C_{Z_δ}	$= -0,364$
C_{Z_u}	$= -1,047$	C_{Z_α}	$= -0,909$	C_{m_δ}	$= -0,975$
C_{m_u}	$= -0,02706$	C_{m_α}	$= -2,43$		

Deze gegevens zijn voornamelijk ontleend aan lit.3 en 4.

TABEL II.

Gegevens van de North-American "Harvard" II B in horizontale vlucht.

V	$= 78$ m/sec	b	$= 12,8$ m	K_{ZX}	$= 0$
hoogte	$= 0$ m	K_X^2	$= 0,0163$	μ_b	$= 6,62$
C_L	$= 0,273$	K_Z^2	$= 0,0244$	s_b	$= 6,08$ t
C_{Y_β}	$= -0,655$	C_{n_p}	$= -0,029$	$C_{n_{\delta_a}}$	$= 0,0042$
C_{l_β}	$= -0,085$	C_{l_r}	$= 0,060$	$C_{y_{\delta_r}}$	$= 0,0910$
C_{n_β}	$= 0,045$	C_{n_r}	$= -0,080$	$C_{l_{\delta_r}}$	$= 0,0052$
C_{l_p}	$= -0,400$	$C_{l_{\delta_a}}$	$= -0,0695$	$C_{n_{\delta_r}}$	$= -0,0400$

Deze gegevens zijn hoofdzakelijk ontleend aan lit.3.

TABEL III.

Numeriek berekende waarden van $\frac{u}{\delta_e}$, $\frac{\alpha}{\delta_e}$ en $\frac{q}{\delta_e}$ als functie van de tijd.

tijd	$\frac{u}{\delta_e}$ +)	$\frac{\alpha}{\delta_e}$	$\frac{q}{\delta_e}$
sec.	$\frac{1}{\text{rad}}$	$\frac{\text{rad}}{\text{rad}}$	$\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$
0	0	0	0
0,2	0,00	-0,155	-1,371
0,4	0,01	-0,446	-2,060
0,6	0,02	-0,752	-2,322
0,8	0,04	-1,013	-2,347
1	0,07	-1,213	-2,258
1,4	0,16	-1,439	-2,010
2	0,37	-1,533	-1,778
2,4	0,55	-1,544	-1,720
3	0,88	-1,560	-1,687
4	1,57	-1,620	-1,638
5	2,45	-1,708	-1,563
8	6,02	-2,083	-1,237
10	8,98	-2,405	-0,956
14	15,56	-3,139	-0,313
20	24,59	-4,187	0,609
24	28,53	-4,662	1,030
30	30,02	-4,872	1,219
35	26,97	-4,589	0,976
40	21,77	-4,024	0,482
50	11,38	-2,826	-0,571
60	9,55	-2,548	-0,822
70	16,18	-3,262	-0,200
80	22,81	-4,037	0,483
90	22,83	-4,089	0,533
100	17,68	-3,480	0,001

+) $U = \frac{\Delta V}{V}$, is de dimensieloze relatieve snelheidsverandering.

TABEL IV.

Numerieke berekende waarden van $\frac{\beta}{\delta_a}$, $\frac{\dot{\phi}}{\delta_a}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ als functie van de tijd.

tijd sec	$\frac{\beta}{\delta_a}$ $\frac{\text{rad}}{\text{rad}}$	$\frac{\dot{\phi}}{\delta_a}$ $\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$	$\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ $\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$
0	0	0	0
0,5	-0,092	-1,845	0,298
1	-0,272	-1,529	0,189
1,5	-0,340	-1,280	-0,215
2	-0,274	-1,400	-0,473
2,5	-0,209	-1,603	-0,454
3	-0,230	-1,617	-0,386
3,5	-0,295	-1,477	-0,451
4	-0,330	-1,372	-0,648
4,5	-0,320	-1,388	-0,797
5	-0,305	-1,445	-0,858
5,5	-0,315	-1,451	-0,891
6	-0,343	-1,393	-0,967
6,5	-0,363	-1,347	-1,079
7	-0,369	-1,337	-1,187
7,5	-0,370	-1,345	-1,267
8	-0,379	-1,339	-1,330
8,5	-0,395	-1,313	-1,406
9	-0,409	-1,287	-1,496
9,5	-0,418	-1,272	-1,583
10	-0,425	-1,265	-1,660

TABEL V.

Numerieke berekende waarden van $\frac{\beta}{\delta_R}$, $\frac{\dot{\phi}}{\delta_R}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_R}$ als functie van de tijd.

tijd	$\frac{\beta}{\delta_R}$	$\frac{\dot{\phi}}{\delta_R}$	$\frac{\dot{\psi}}{\delta_R}$
sec	$\frac{\text{rad}}{\text{rad}}$	$\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$	$\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$
0	0	0	0
0,5	0,449	-0,689	-1,536
1	1,033	-2,246	-1,096
1,5	1,049	-2,681	0,009
2	0,666	-1,886	0,200
2,5	0,438	-1,168	-0,506
3	0,543	-1,262	-1,134
3,5	0,737	-1,761	-1,131
4	0,752	-1,945	-0,834
4,5	0,628	-1,700	-0,793
5	0,534	-1,436	-1,065
5,5	0,549	-1,424	-1,344
6	0,603	-1,567	-1,429
6,5	0,609	-1,631	-1,398
7	0,564	-1,556	-1,434
7,5	0,523	-1,454	-1,576
8	0,516	-1,429	-1,727
8,5	0,526	-1,461	-1,821
9	0,523	-1,475	-1,874
9,5	0,503	-1,445	-1,937
10	0,481	-1,400	-2,037

TABEL VI.

Responsies op δ_e

Waarnemingen van u, α en q als functie van de tijd en de daaruit berekende waarden van $\frac{u}{\delta_e}, \frac{\alpha}{\delta_e}$ en $\frac{q}{\delta_e}$.

afgel. tijd sec	ware tijd sec	u s.d. +)	$\frac{u}{\delta_e}$ $\frac{1}{\text{rad}}$	α s.d. +)	$\frac{\alpha}{\delta_e}$ $\frac{\text{rad}}{\text{rad}}$	q s.d. +)	$\frac{q}{\delta_e}$ $\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$
0	0	0	0	0	0	0	0
1,2	0,12	0,0	0,0	-0,3	-0,06	1,7	-0,90
2,4	0,24	0,0	0,0	-0,9	-0,18	2,8	-1,48
3,2	0,32	0,0	0,0	-1,5	-0,30	3,4	-1,80
5,0	0,50	0,0	0,0	-2,9	-0,58	4,2	-2,23
7,4	0,74	0,0	0,0	-4,7	-0,94	4,4	-2,33
10,0	1,00	0,0	0,0	-6,0	-1,20	4,3	-2,28
13,4	1,34	0,1	0,2	-7,1	-1,42	3,9	-2,07
16,0	1,60	0,1	0,2	-7,5	-1,50	3,6	-1,91
19,6	1,96	0,2	0,4	-7,8	-1,56	3,4	-1,80
24,4	2,44	0,3	0,6	-7,8	-1,56	3,3	-1,75
30,0	3,00	0,4	0,8	-7,9	-1,58	3,2	-1,70
afgel.tijd							
= ware tijd							
0		0	0	0	0	0	0
1,6		0,1	0,2	-7,3	-1,46	3,7	-1,96
2,8		0,4	0,8	-7,8	-1,56	3,2	-1,70
5,0		1,2	2,4	-8,8	-1,76	2,9	-1,54
8,2		3,2	6,4	-11,0	-2,20	2,3	-1,22
10,6		4,9	9,8	-12,8	-2,56	1,7	-0,90
15,0		8,5	17,0	-17,0	-3,40	0,3	-0,16
20,0		12,2	24,4	-21,0	-4,20	-1,0	0,53
25,0		14,6	29,2	-23,8	-4,76	-2,0	1,06
29,8		15,1	30,2	-24,5	-4,90	-2,3	1,22
35,0		13,8	27,6	-23,1	-4,62	-1,9	1,01
40,2		11,0	22,0	-20,2	-4,04	-1,0	0,53
45,2		8,2	16,4	-17,1	-3,42	0,1	-0,05
50,0		5,9	11,8	-14,5	-2,90	0,9	-0,48
56,0		4,7	9,4	-12,9	-2,58	1,5	-0,80
60,2		4,9	9,8	-13,0	-2,60	1,5	-0,80

+) s.d. = schaaldelen.

Vervolg TABEL VI.

afgel.tijd =ware tijd. sec	u s.d.	$\frac{u}{\delta_e}$ $\frac{1}{\text{rad}}$	α s.d.	$\frac{\alpha}{\delta_e}$ $\frac{\text{rad}}{\text{rad}}$	q s.d.	$\frac{q}{\delta_e}$ $\frac{\text{rad}/\text{sec.}}{\text{rad.}}$
65,4	6,2	12,4	-14,6	-2,92	1,0	-0,53
70,2	7,1	14,2	-16,7	-3,34	0,45	-0,24
75,2	10,0	20,0	-18,8	-3,76	-0,3	0,16
80,6	11,4	22,8	-20,3	-4,06	-0,9	0,48
85,0	11,9	23,8	-20,9	-4,18	-1,1	0,58
90,4	11,5	23,0	-20,5	-4,10	-1,0	0,53
95,6	10,2	20,4	-19,2	-3,84	-0,6	0,32
99,8	9,0	18,0	-17,9	-3,58	-0,2	0,11

TABEL VII.

Responsies op δ_a

Waarnemingen van β, ψ en $\dot{\psi}$ en de daaruit berekende waarden van $\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ en $\frac{\psi}{\delta_a}$ als functie van de tijd.

afgel. tijd sec	ware tijd sec	β s.d.	$\frac{\beta}{\delta_a}$ $\frac{\text{rad}}{\text{rad}}$	ψ s.d.	$\frac{\dot{\psi}}{\delta_a}$ $\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$	ψ s.d.	$\frac{\psi}{\delta_a}$ $\frac{\text{rad/sec}}{\text{rad}}$
0	0	0	0	0	0	0	0
1,12	0,22	-0,08	-0,016	1,19	-1,45	1,10	0,134
2,10	0,42	-0,30	-0,060	1,48	-1,80	2,08	0,253
3,12	0,62	-0,66	-0,132	1,49	-1,81	2,55	0,310
4,20	0,84	-1,07	-0,214	1,37	-1,67	2,29	0,278
5,12	1,02	-1,38	-0,276	1,25	-1,52	1,53	0,186
6,07	1,21	-1,60	-0,320	1,14	-1,39	0,37	0,045
8,00	1,60	-1,70	-0,340	1,05	-1,28	-2,19	-0,266
10,06	2,01	-1,40	-0,280	1,14	-1,39	-3,73	-0,453
12,10	2,42	-1,09	-0,218	1,30	-1,58	-3,77	-0,458
14,08	2,82	-1,07	-0,214	1,33	-1,62	-3,23	-0,396
16,12	3,22	-1,29	-0,258	1,29	-1,57	-3,16	-0,381
18,07	3,61	-1,53	-0,306	1,20	-1,46	-3,80	-0,462
20,08	4,02	-1,67	-0,334	1,12	-1,36	-5,15	-0,626
22,02	4,40	-1,63	-0,326	1,12	-1,36	-6,1	-0,74
24,15	4,83	-1,55	-0,310	1,17	-1,42	-6,8	-0,87
26,10	5,22	-1,54	-0,308	1,20	-1,46	-7,0	-0,85
28,02	5,60	-1,61	-0,322	1,18	-1,44	-7,2	-0,82
30,05	6,01	-1,72	-0,344	1,15	-1,40	-7,8	-0,95
32,15	6,43	-1,81	-0,362	1,10	-1,34	-8,5	-1,03
34,05	6,81	-1,85	-0,370	1,10	-1,34	-9,2	-1,12
36,04	7,21	-1,86	-0,372	1,10	-1,34	-9,9	-1,20
38,14	7,63	-1,87	-0,374	1,10	-1,34	-10,3	-1,25
40,08	8,02	-1,90	-0,380	1,10	-1,34	-10,8	-1,31
42,05	8,41	-1,97	-0,394	1,08	-1,31	-11,2	-1,36
44,15	8,83	-2,03	-0,406	1,06	-1,29	-11,9	-1,45
46,08	9,22	-2,08	-0,416	1,04	-1,27	-12,3	-1,50
48,10	9,62	-2,10	-0,420	1,03	-1,25	-13,0	-1,58
50,06	10,01	-2,13	-0,426	1,02	-1,24	-13,3	-1,62

TABEL VIII.

Rsponsies op δ_r Waarnemingen van β, ϕ en ψ en de daaruit berekende waarden van $\frac{\dot{\phi}}{\delta_r}$, $\frac{\dot{\psi}}{\delta_r}$ en $\frac{\dot{\psi}}{\delta_r}$ als functie van de tijd.

afgel. tijd sec	ware tijd sec	β s.d.	$\frac{\beta}{\delta_r}$ $\frac{\text{rad}}{\text{rad}}$	ϕ s.d.	$\frac{\dot{\phi}}{\delta_r}$ $\frac{\text{rad}/\text{sec}}{\text{rad}}$	ψ s.d.	$\frac{\dot{\psi}}{\delta_r}$ $\frac{\text{rad}/\text{sec}}{\text{rad}}$
0	0	0	0	0	0	0	0
1,12	0,22	0,27	0,11	0,01	-0,02	-3,56	-0,864
1,98	0,40	0,72	0,29	0,15	-0,36	-5,49	-1,33
3,04	0,61	1,45	0,58	0,40	-0,97	-6,4	-1,56
4,08	0,82	2,17	0,87	0,70	-1,70	-6,0	-1,46
5,04	1,01	2,61	1,04	0,93	-2,26	-4,46	-1,08
6,04	1,21	2,83	1,13	1,10	-2,68	-2,60	-0,632
8,10	1,62	2,50	1,00	1,09	-2,65	0,51	0,124
10,12	2,02	1,67	0,67	0,79	-1,92	0,68	0,165
12,06	2,41	1,17	0,47	0,52	-1,26	-1,48	-0,359
14,10	2,82	1,21	0,48	0,47	-1,14	-3,97	-0,964
16,05	3,21	1,60	0,64	0,60	-1,46	-4,91	-1,19
18,05	3,61	1,90	0,76	0,76	-1,85	-4,40	-1,07
20,08	4,02	1,90	0,76	0,80	-1,94	-3,46	-0,840
22,07	4,41	1,65	0,66	0,72	-1,75	-3,27	-0,794
24,13	4,83	1,40	0,56	0,62	-1,51	-4,00	-0,971
26,03	5,21	1,34	0,54	0,58	-1,41	-5,00	-1,21
28,06	5,61	1,42	0,57	0,60	-1,46	-5,8	-1,41
30,05	6,01	1,53	0,61	0,65	-1,58	-6,0	-1,46
32,02	6,40	1,54	0,62	0,68	-1,65	-5,9	-1,43
34,03	6,81	1,48	0,59	0,66	-1,61	-5,9	-1,43
36,08	7,22	1,38	0,55	0,62	-1,51	-6,2	-1,51
38,18	7,64	1,30	0,52	0,60	-1,46	-6,8	-1,65
40,02	8,00	1,30	0,52	0,59	-1,44	-7,2	-1,75
42,09	8,42	1,32	0,53	0,60	-1,46	-7,6	-1,85
44,03	8,81	1,32	0,53	0,60	-1,46	-7,8	-1,89
46,18	9,24	1,30	0,52	0,60	-1,46	-8,0	-1,94
48,05	9,61	1,26	0,50	0,60	-1,46	-8,2	-1,99
50,08	10,02	1,21	0,48	0,58	-1,41	-8,5	-2,06

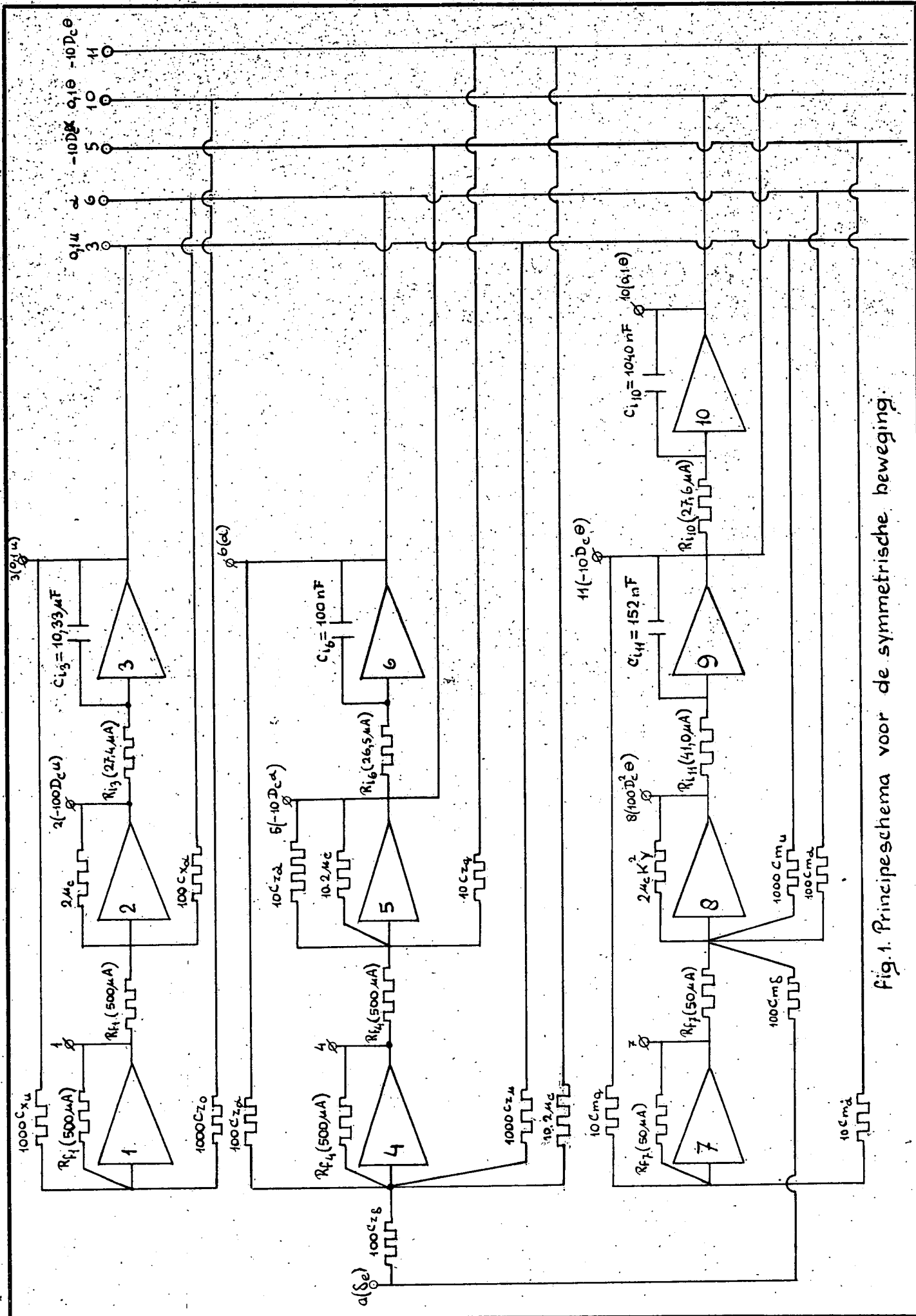


fig.1. Principeschema voor de symmetrische beweging.

ANALOGON REKENMACHINE

ingang versterker

uitgang versterker

ingang versterker

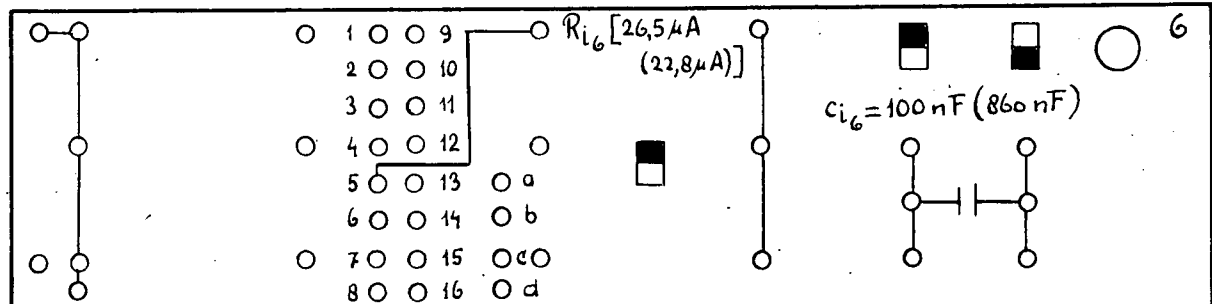
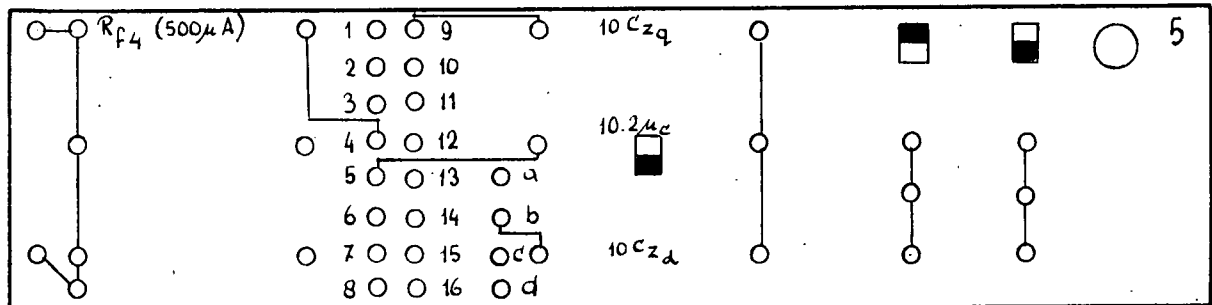
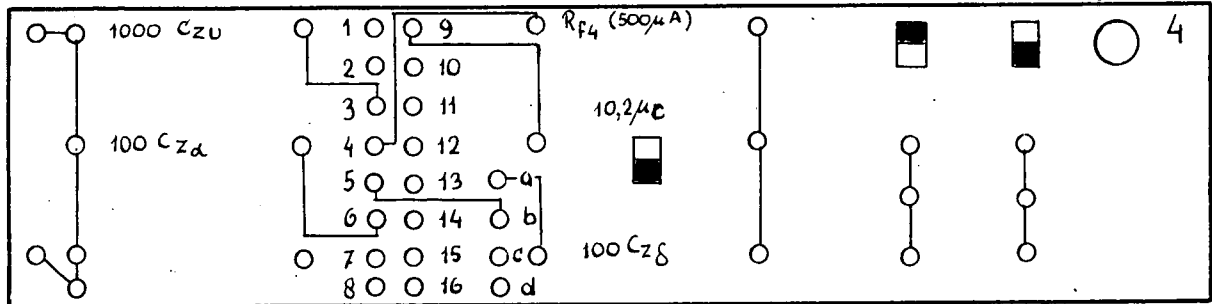
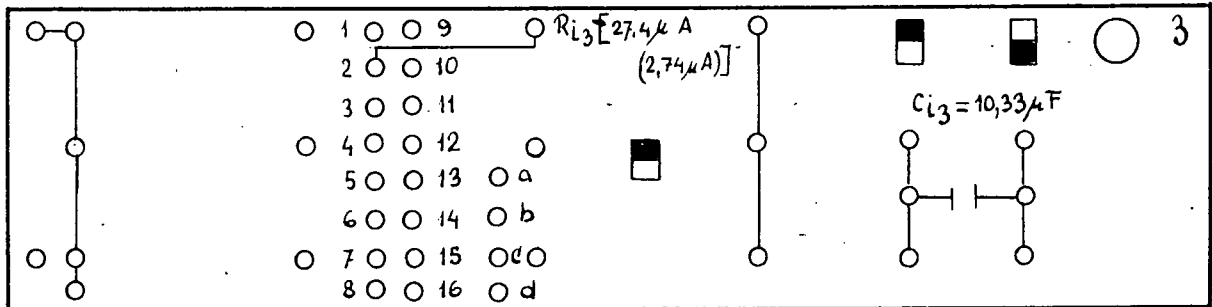
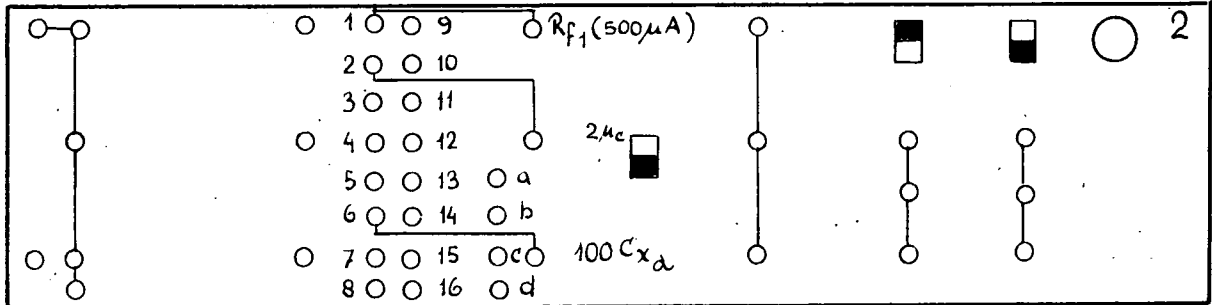
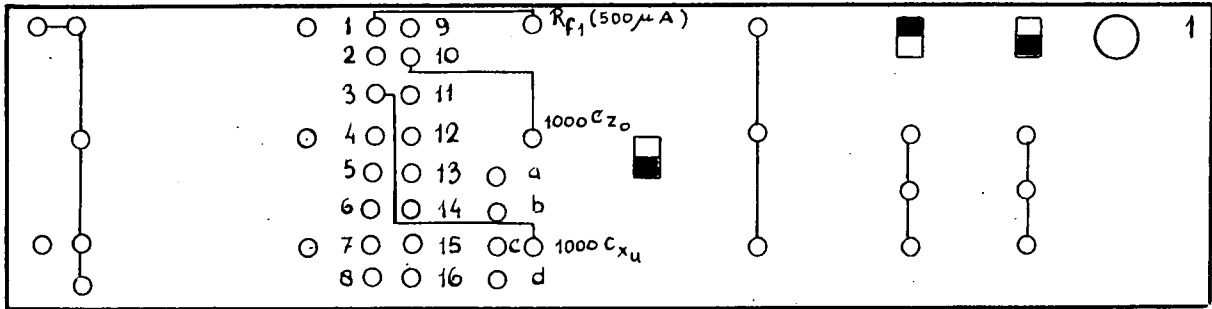


Fig: 2a. Werkschema voor de symmetrische beweging.

ANALOGON REKENMACHINE

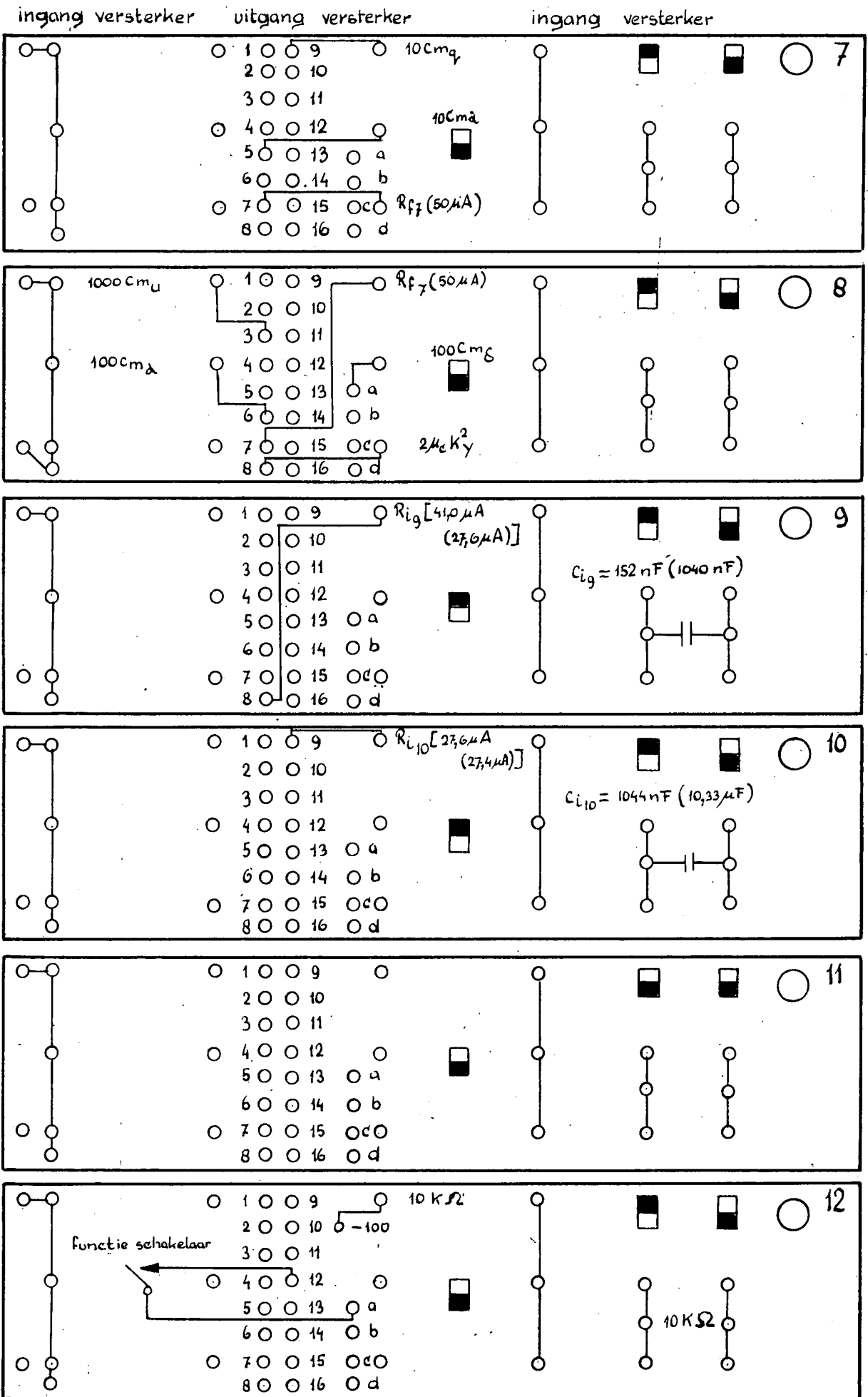
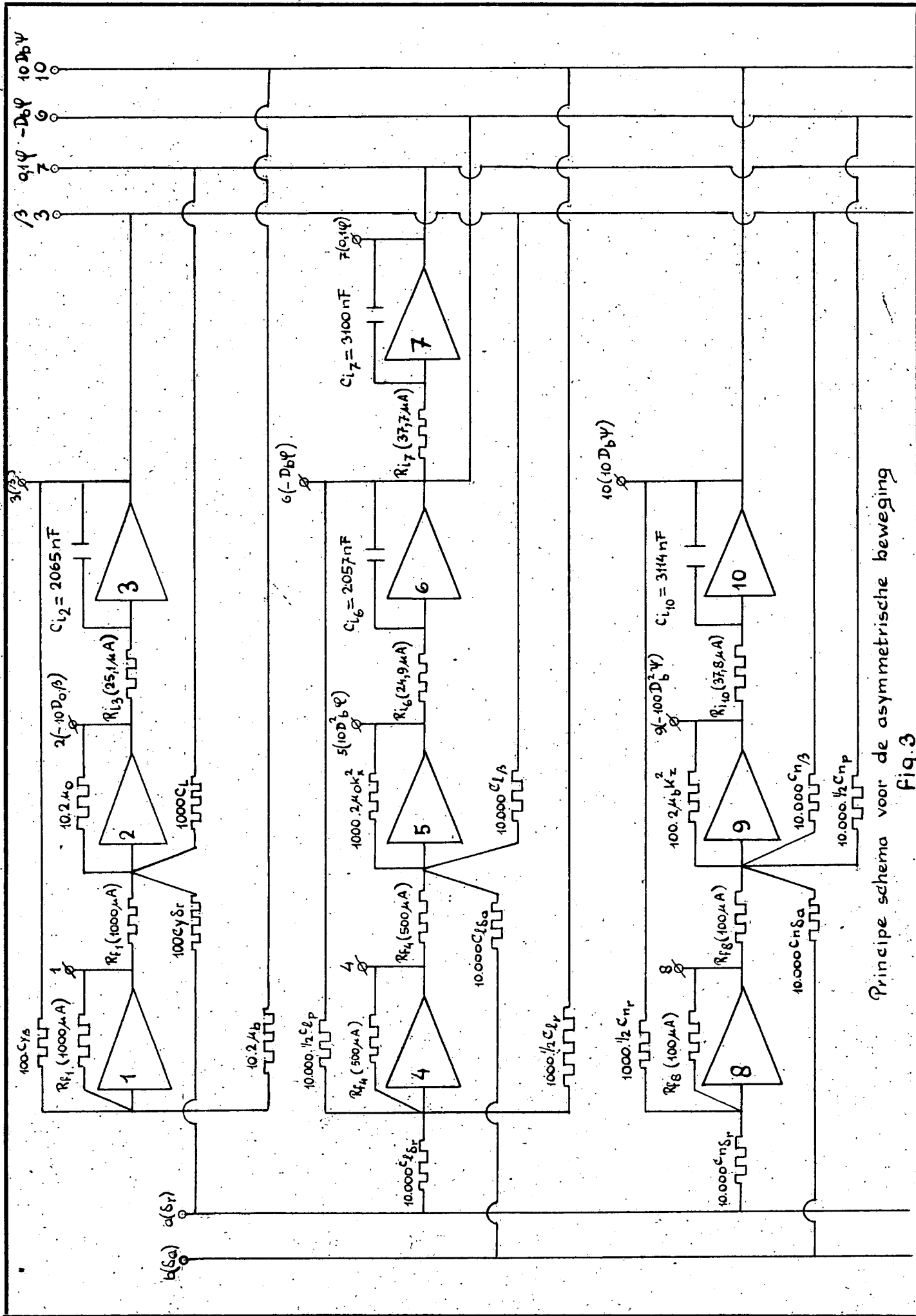


Fig.2b. Werkschema voor de symmetrische beweging.



Principe schema voor de asymmetrische beweging Fig. 3

ANALOGON REKENMACHINE

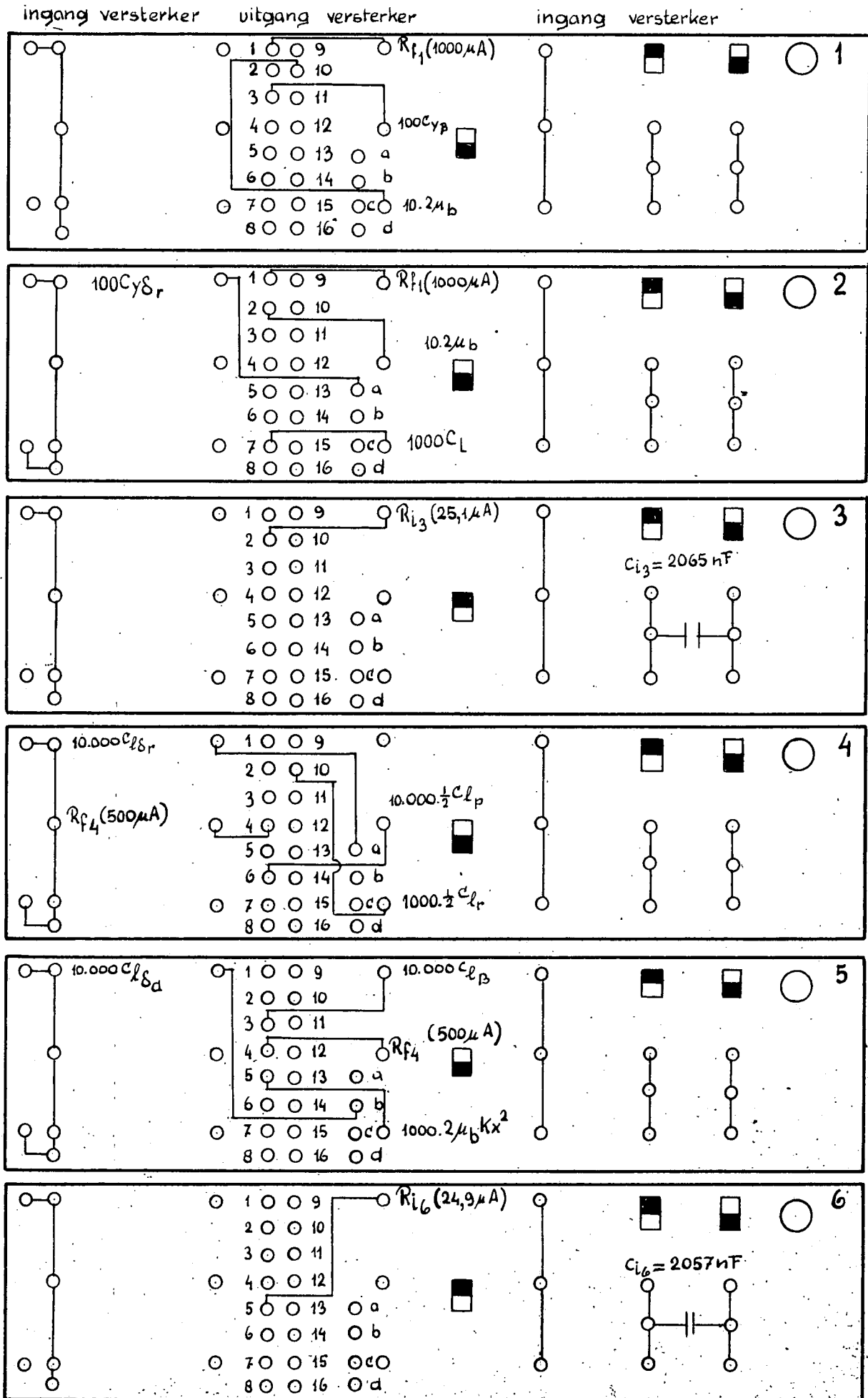


Fig: 4a. Werkschema voor de asymmetrische beweging

TECHNISCHE HOGESCHOOL

VLEIGTUIGBOUWKUNDE

Datum 12-12-58
Paraaf *[Signature]*

Dict.

C.C.L.

VOLGNUMMER blz. 24

ANALOGON REKENMACHINE

ingang versterker

uitgang versterker

ingang versterker

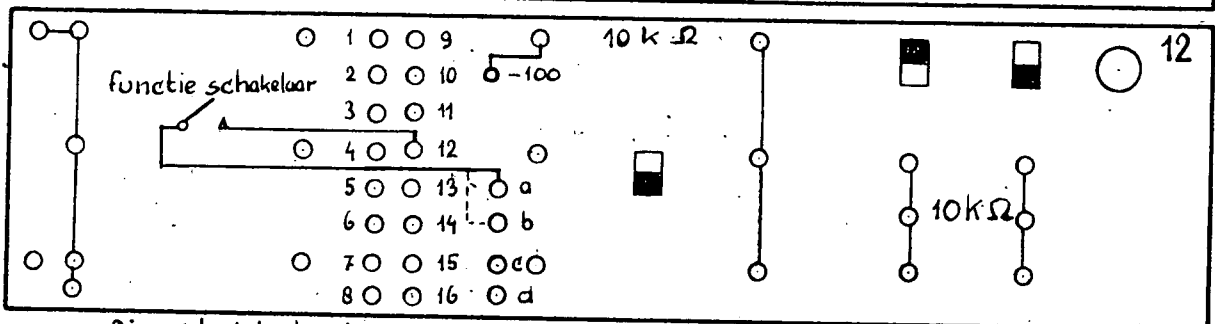
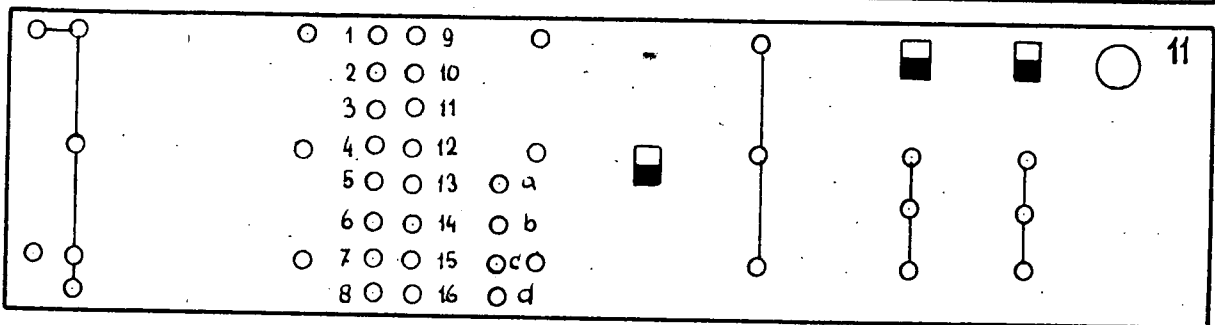
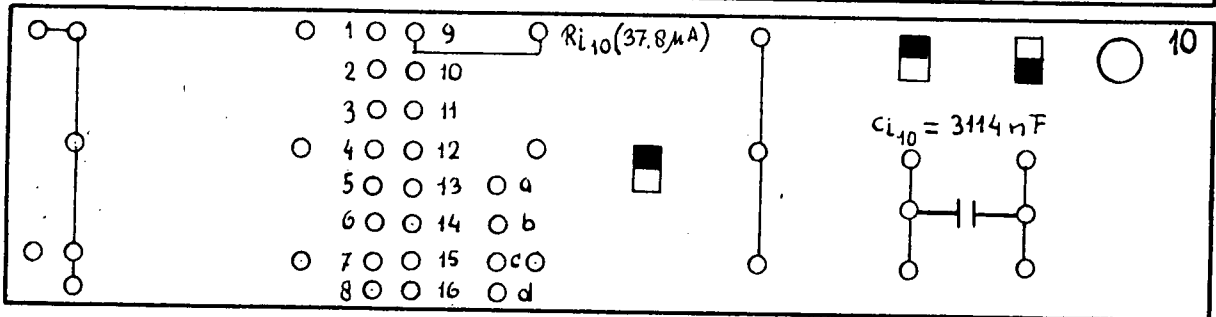
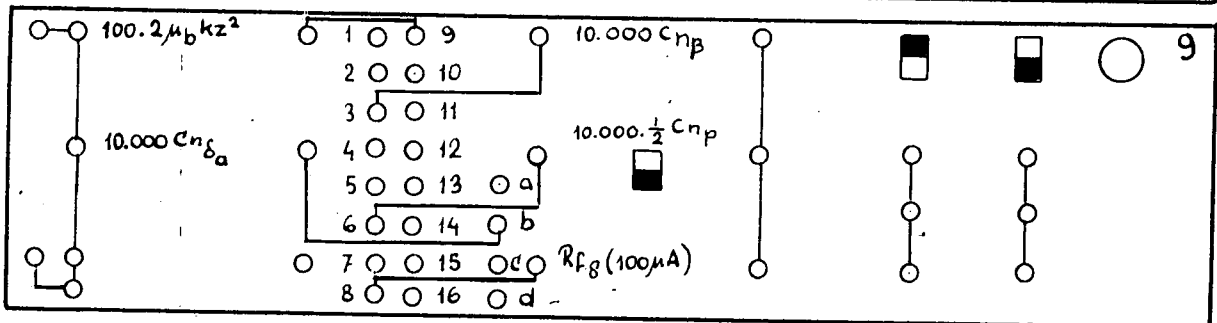
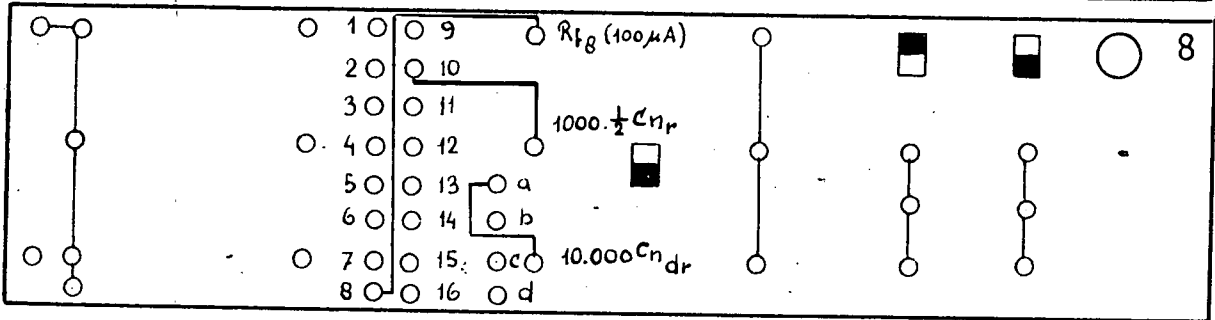
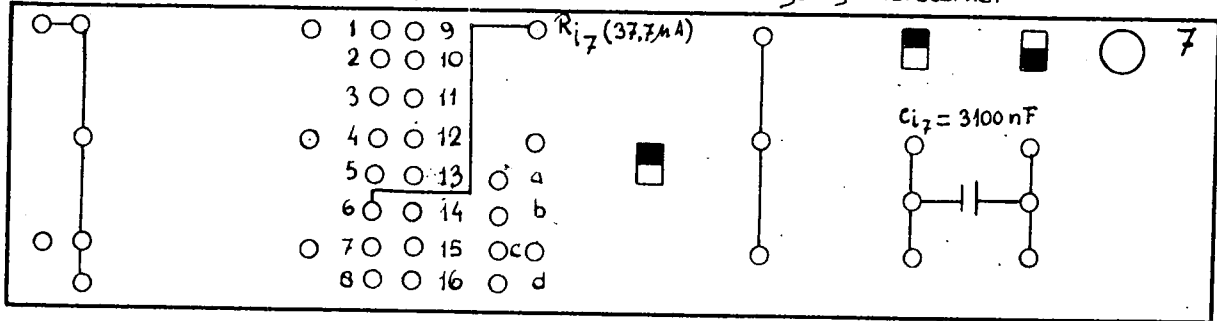
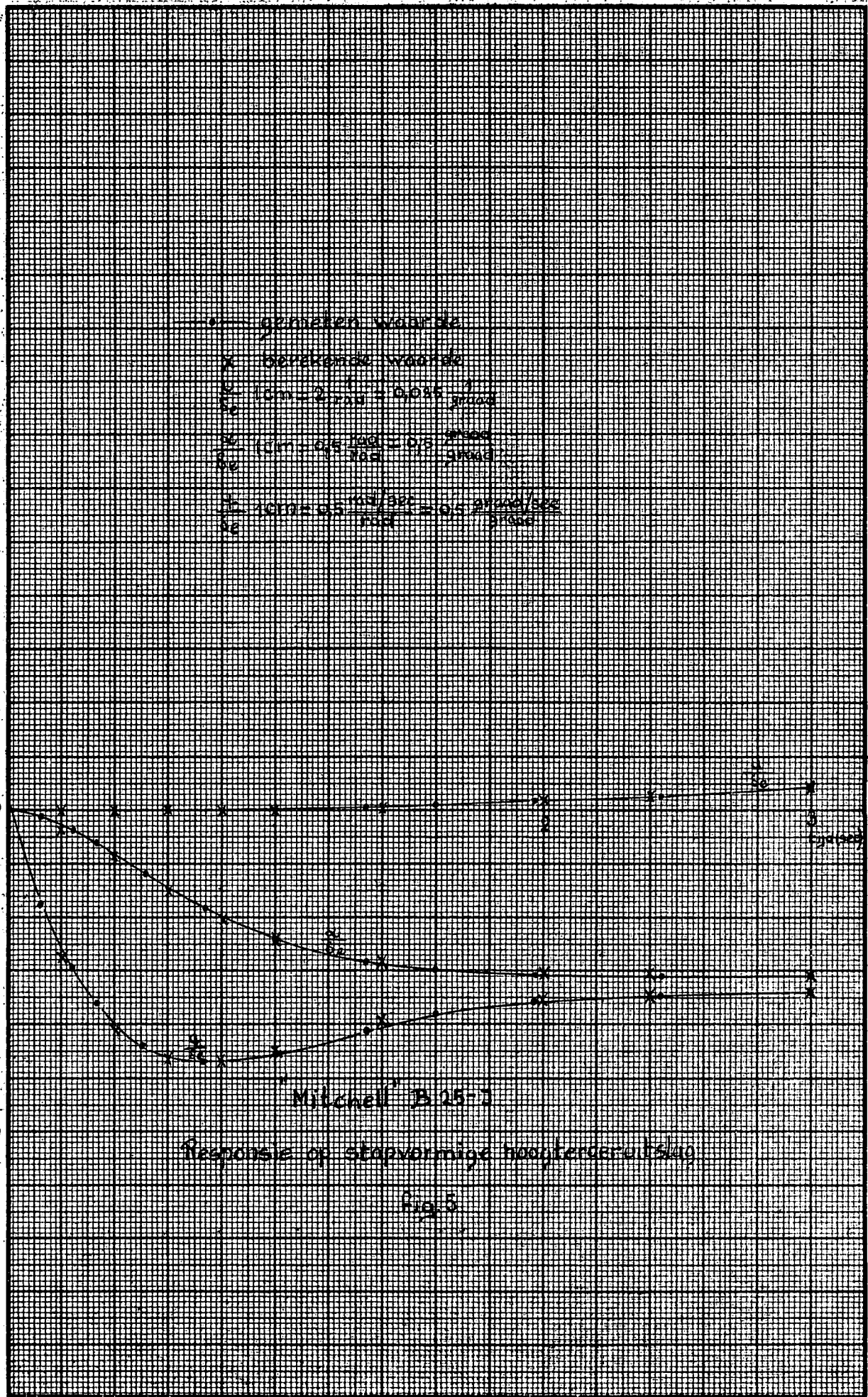


Fig: 4b. Werkschema voor de asymmetrische beweging.



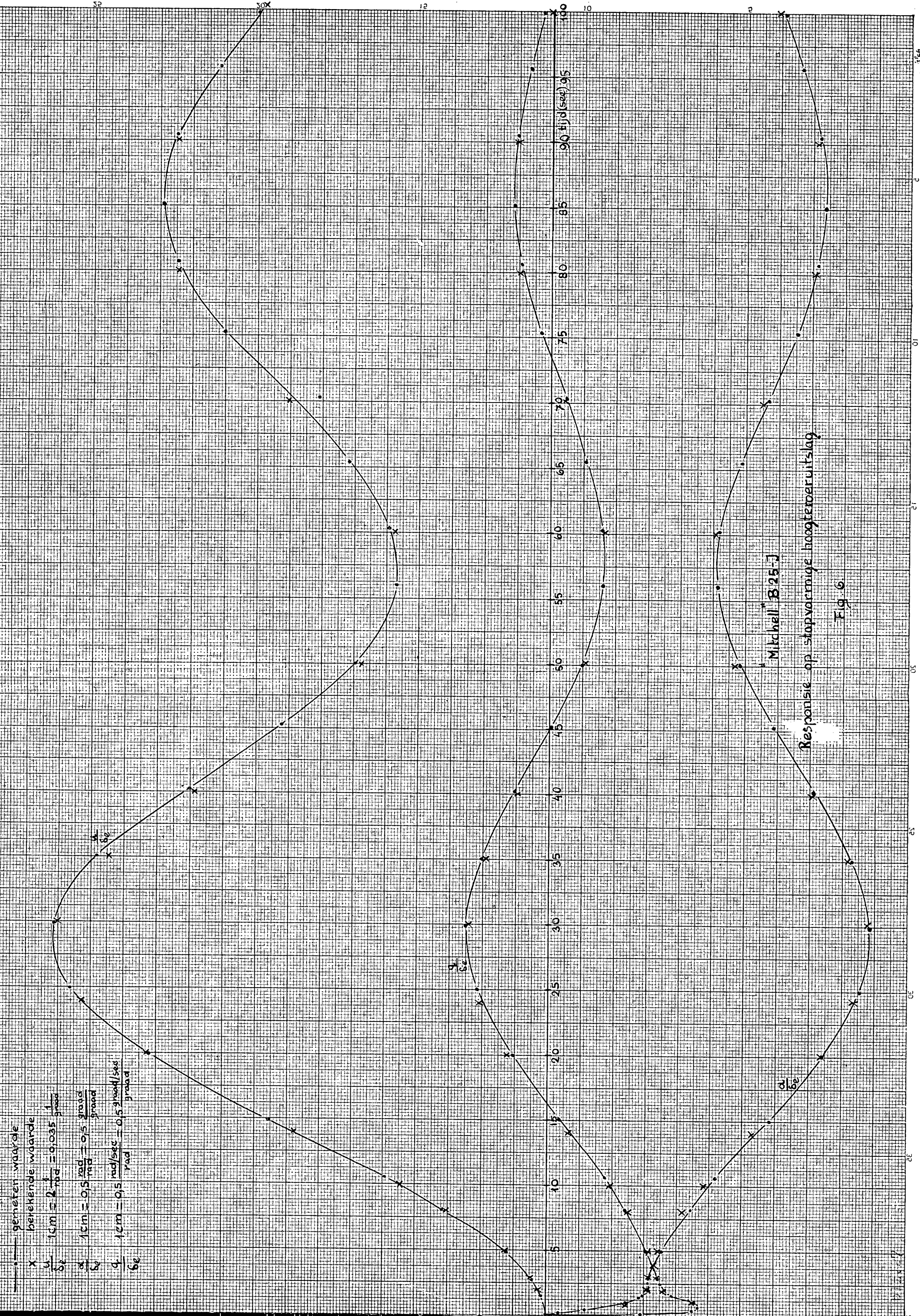


Fig. 6

gemeten waarde

berokende waarde

$10m = 0,1 \frac{rad}{sec} \frac{graad}{m}$

$10m = 0,2 \frac{rad/sec}{rad} = 0,2 \frac{graad/sec}{graad}$

$10m = 0,2 \frac{rad/sec}{rad} = 0,2 \frac{graad/sec}{graad}$

•

x

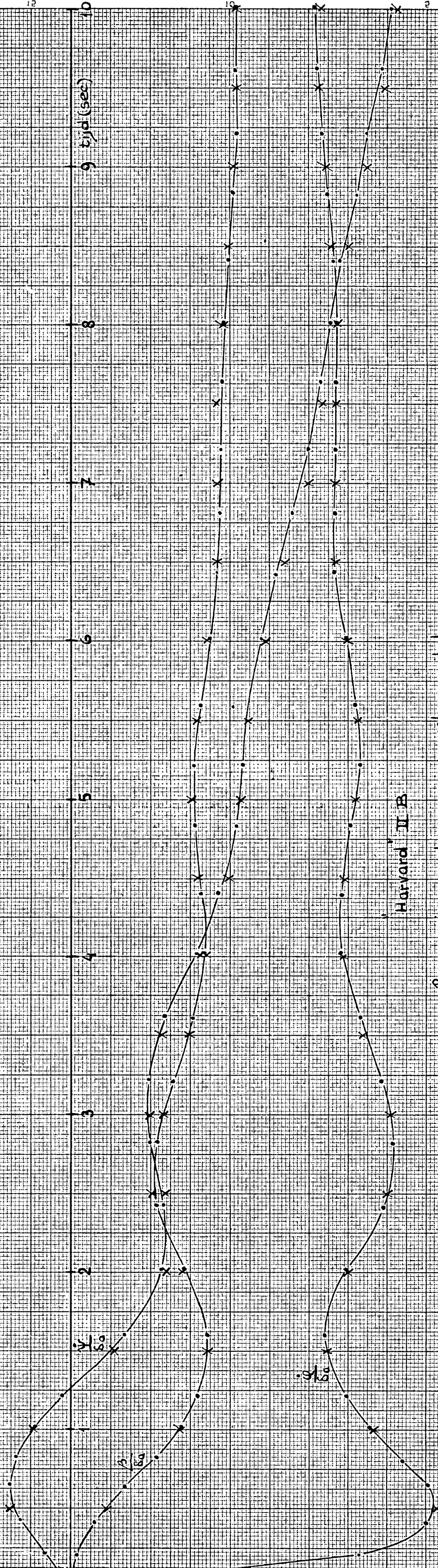
p

$\frac{q}{s_a}$

$\frac{q}{s_a}$

$\frac{y}{s_a}$

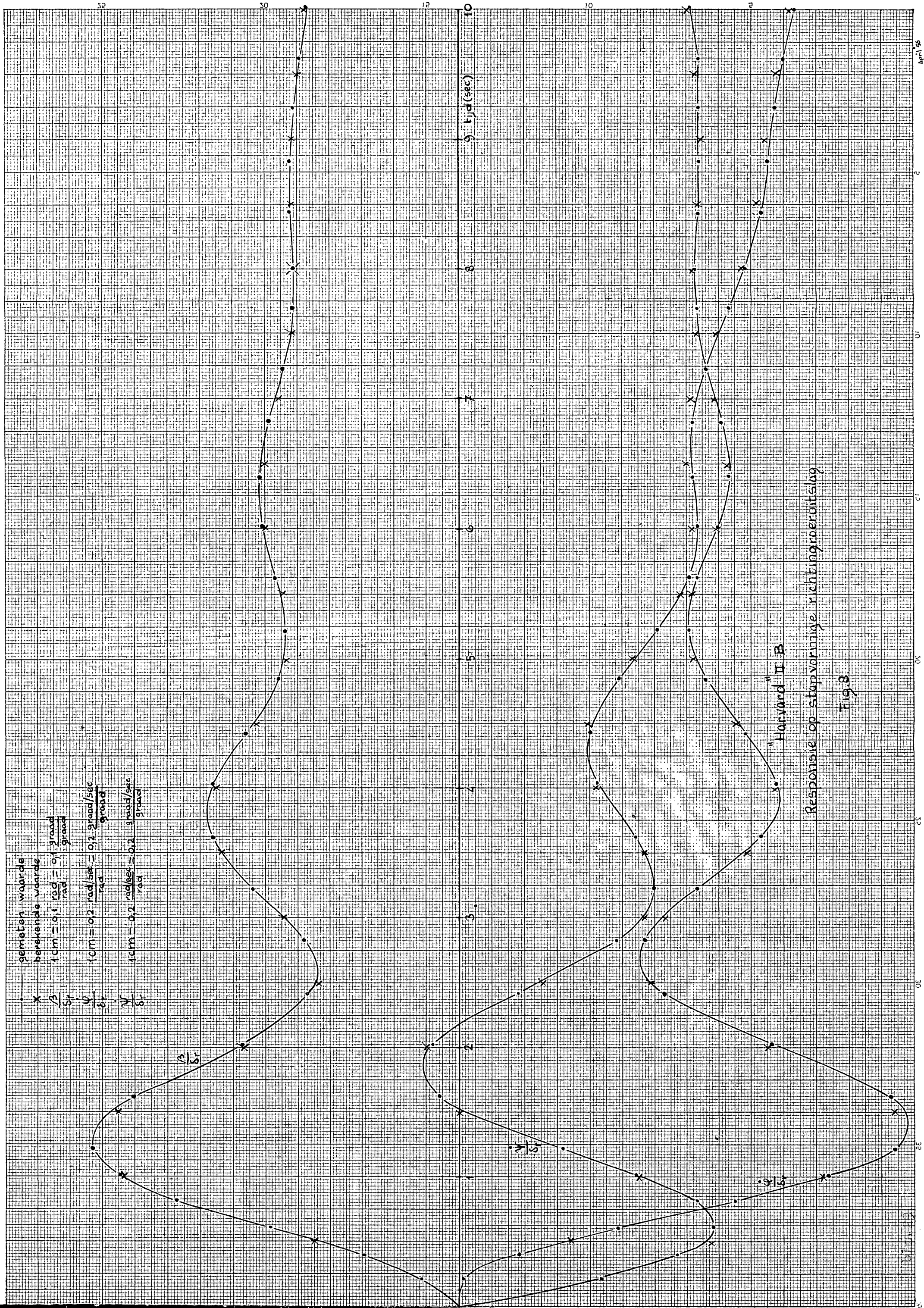
$\frac{y}{s_a}$

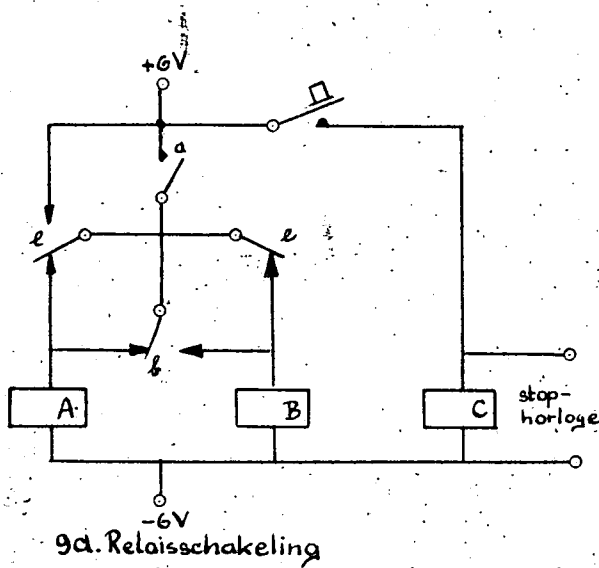


Harvard II B

Response op stapvormige rolroeruitslag

Fig. 7

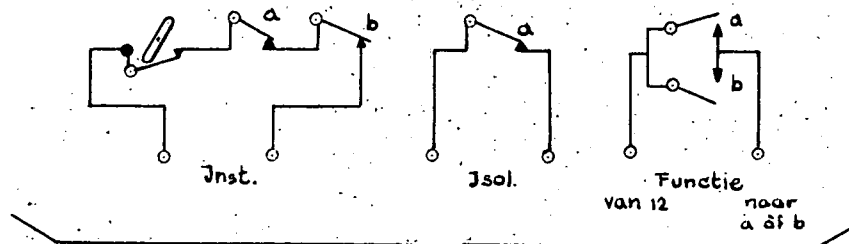




	t_1		t_2		
	los	ingedr.	los	ingedr.	
	af	op	af	op	Bedieningsknop
	af	op	op	af	Relais C
	af	af	op	op	Relais A
	af	af	op	op	Relais B
	gesl.	open	open	open	Inst.
	gesl.	open	open	gesl.	Jsol.
	open	gesl.	gesl.	gesl.	Functie

ten tijde t_1 begint het rekenen
 ten tijde t_2 wordt het rekenen beëindigd

9b. Relaisfunctie



naar rekenmachine

9c. contacten schakeling

- Bekrachtigingsspoel van relais A
contacten van een relais worden schematisch aangeduid in de rusttoestand.
- Maakecontact van relais A, gesloten als A op is.
- Verbreekcontact van relais A, open als A op is.
- Drukknopschakelaar, in rusttoestand open
- Tuimelschakelaar, in rusttoestand gesloten

9d. Betekenis van de symbolen

9b. volgt uit 9d. en omgekeerd. Zij stellen samen de relaischakeling voor.

9c. geeft de verbindingen van de relaischakeling met de rekenmachine

Fig. 9.