

1947
2^e stuk

2

De voortplanting van het Getij

Bepaald met behulp van de Electrotechniek
door H.J. Stroband en J. de Kat

Veenooij

R.504

R 304.

DE VOORTEPLANTING VAN HET GETIJ BEPAALD MET BEHULP

VAN DE ELECTROTECHNIEK. (2e stuk)

16. 1/2

INHOUD.

- § 1. Inleiding.
- § 2. Een beschouwing over een kwadratisch netwerk in verband met de " exacte methode " .
- § 3. Het nabootsen van een homogene riviersectie van 1 km. door een aantal π of τ secties, indien wordt aangenomen, dat bij beide de weerstand een kwadratisch karakter heeft.
- § 4. De Bernoulli-invloed.
- § 5. Dualiteit van elektrische netwerken.
- § 6. Enkele eigenschappen van metaalgelijkrichters.
- § 7. De omrekening van de éénheden uit de hydrodynamica in elektrische éénheden.
- § 8. Een berekeningsmethode voor de te verwachten stromen resp. spanningen bij de 4e proef.
- § 9. Beschrijving van de 4e proef met uitkomsten.
- § 10. Slotbeschouwing.

Aanhangsel door J. de Kat.

Dit aanhangsel bevat het electrotechnische gedeelte van de uitgevoerde 4e proef.

Inleiding § 1.

In de nota: " De voortplanting van het getij bepaald met behulp van de electrotechniek (1e stuk), " wordt de analogie, welke tussen de begrippen uit de hydrodynamica en de electrotechniek bestaat, uitvoerig besproken.

Een van de meest opmerkelijke verschillen, welke bij onderlinge vergelijking van de dynamische vergelijking eist de hydrodynamica en de spannings-vergelijking uit de kabeltelegrafie blijkt, is wel het verschil in het gedrag van de weerstand.

In de electrotechniek wordt de weerstand in de meest voorkomende en natuurlijke vorm gerealiseerd door de wet van Ohm, n.l. $R = \frac{U}{I}$. Veronderstelt men bovendien, dat in de electrotechniek slechts lineaire elementen voorkomen, d.w.z. elementen beschreven door lineaire vergelijkingen, dan geldt het superpositiebeginsel. Zijn de gegeven stromen en spanningen sinusvormig, dan volgt uit de spanningsvergelijking en de hieraan toegevoegde continuïteitsvergelijking, dat in de elementen van het netwerk ook alleen sinuswisselstromen en sinuswisselspanningen van dezelfde frequentie zullen ontstaan. Is echter de gegeven stroom of spanning niet sinusvormig, dan kan men zowel de stroom als de spanning opvatten als de som van een gelijkstroom of -spanning en sinusvormige stromen of spanningen, van elk daarvan afzonderlijk het resultaat berekenen en de resultaten daarna weer optellen. Het grote voordeel van dit lineaire verband tussen stroomsterkte en spanning is, dat de spanningsvergelijking, waaraan toegevoegd de continuïteitsvergelijking, voor iedere sinusvormige spanning of stroom met behulp van complexe functies in gesloten vorm laat integreren. Zodra echter in een electrisch netwerk niet-lineaire elementen voorkomen, wordt de spanningsvergelijking een partiële-niet-lineaire differentiaalvergelijking, welke zich in gesloten vorm niet laat integreren. In deze laatste vorm laat de spanningsvergelijking zich het best vergelijken met de dynamische vergelijking uit de hydrodynamica.

Immers tengevolge van het kwadratische karakter van de uitdrukking van de weerstand en mede door de verandering van de diepte, stroombreedte en kombergingsbreedte tijdens de getijbeweging wordt de dynamische vergelijking een partiële, niet-lineaire differentiaalvergelijking. Deze laatste differentiaalvergelijking, welke simultaan optreedt met de continuïteitsvergelijking laat zich in gesloten vorm niet integreren.

Voor de getijberekeningen, ten behoeve van de waterbeweging in zeearmen en benedenrivieren, werden in de loop der jaren verschillende methodes ontwikkeld, waarvan in Nederland de bekendste zijn:
a. de sinusoidale methode (prof. Lorentz en Dr. Ir. J.P. Mazure).
b. de exacte methode (prof. Lorentz en Dr. J.J. Dronkers).

Bij de sinusoidale methode worden zowel de horizontale als de verticale getijkrommen door middel van een Fourierreeks in harmonische functies ontwikkeld. De niet-lineaire termen worden vervangen door lineaire uitdrukkingen, tengevolge waarvan de dynamische vergelijking overgaat in een partiële lineaire differentiaalvergelijking. Daar nu het superpositiebeginsel geldt kan voor iedere der harm. bewegingen door middel van complexe functies een oplossing worden gezocht. Deze methode van oplossen is analoog te stellen met die welke gebruikelijk is in de electrotechniek.

De exacte methode staat bekend als de meest nauwkeurige. Deze methode stelt ons n.l. in staat het verloop van getijbeweging van moment tot moment te berekenen.

In § 2 zal worden aangetoond, dat men indien men een homogene riviersectie realiseert door een aantal Π of T netwerken met kwadratische weerstanden en hierop de wetten van Kirchhoff toepast, langs deze eenvoudige weg de termen, welke gevonden worden bij de exacte methode verkrijgt. Zo verkrijgt men een duidelijk beeld van de fysieke interpretatie in de exacte methode.

Stelt men dus de analogie op tussen de waterbeweging en de electrotechniek en realiseert men een rivier ook door middel van een aantal of netwerken, waarin kwadratische weerstandselementen voorkomen, dan zal theoretisch een even grote nauwkeurigheid bereikt kunnen worden, als met de exacte methode het geval is.

In § 3 zal worden nagegaan, hoe groot het aantal secties moet zijn voor het nabootsen van een homogeen riviervak bij een vooruit te stellen graad van nauwkeurigheid.

Essentieel voor het weergeven van de kwadratische weerstandsterm uit de hydrodynamica is een element, waarvan de stroom-spanningskarakteristiek het overeenkomstige kwadratische karakter heeft.

Voor het realiseren van de kwadratische weerstandsterm uit de hydrodynamica kan men voor het elektrisch model o.a. gebruikmaken van metaalgelijkrichters. Een geschikt type hiervoor is de Westinghouse J. oel. Bij het vaststellen van de stroom-spanningskarakteristieken van deze cellen bleek, dat deze voorgesteld kunnen worden door:

$$\begin{array}{l} I = - A E^2 \\ I = - A E^2 \end{array} \quad \begin{array}{l} I > 0 \\ I < 0. \end{array}$$

Daar in de dynamische vergelijking de weerstandsterm voorkomt in de vorm $E = \pm R I^2$, zal alleen door middel van een duaal netwerk aan de kwadratische weerstandswet kunnen worden voldaan.

In hoeverre de Bernoulli-invloed electrisch gelimiteerd kan worden zal in § 4 worden besproken.

In § 5 worden de duale netwerken besproken en er zal worden nagegaan, in hoeverre een dergelijk duaal netwerk toegepast kan worden bij de electrische imitatie van de getijbeweging.

Om het nodige inzicht te verkrijgen in de eigenschappen van metaalgelijkrichters werden enkele honderden van deze cellen doorgemeten en stroom-spanningskarakteristieken bepaald. In § 6 zullen enkele eigenschappen van deze cellen worden besproken.

Op welke wijze de omrekening van de éénheden plaats vindt zal in § 7 worden aangegeven.

Om de stromen en spanningen te berekenen bij gebruikmaking van de kwadratische weerstandswet kan men de " exacte methode " toepassen. (zie § 2) In § 8 wordt een berekeningsmethode aangegeven, welke vrijwel analoog verloopt aan de berekeningsmethoden, gebruikelijk in de electriciteitsleer, echter met dit verschil dat de analoge waarden R , L en C in de hydrodynamica variabel zijn tengevolge van de verticale getijbeweging.

In aansluiting op de 3 proeven, genoemd in het 1e stuk werd een 4e proef uitgevoerd, waarin de kwadratische weerstandswet gerealiseerd werd met behulp van metaalgelijkrichters (type Westinghouse J.). Wederom werd de Lek gekozen en hetzelfde geval als in het 1e stuk werd nagegaan. Aan de 1e harm. (M_2) werd een 2e harm. (M_2) toegevoegd, zodat een zeer nauwkeurige benadering van de getijkromme te Krimpen a/d Lek (randvoorwaarde) werd verkregen.

Een algemene beschrijving van deze proef en de uitkomsten ervan vindt men in § 9. Tevens worden de uitkomsten vergeleken met de uitkomsten van de berekeningen, besproken in § 8.

Tenslotte vindt men in § 10 een slotbeschouwing met conclusies.

In het "aanhangsel " door J. de Kat, wordt het electrotechnische gedeelte tot in bijzonderheden besproken en toegelicht met berekeningen en tekeningen.

§ 2. Een beschouwing over een kwadratisch netwerk in verband met de " exacte methode " .

De dynamische vergelijking, waarvan bij de exacte methode wordt uitgegaan is:

$$I. \rho \left(-v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} \right) = g \cdot \rho \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \mp \frac{g \cdot \rho \cdot v^2}{0.11 R}$$

Hieraan wordt toegevoegd de continuïteitsvergelijking:

$$II. \frac{\partial B}{\partial x} = B \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$

De continuïteitsvergelijking geeft aan, dat het verschil van de door twee dicht bijeen gelegen rivierprofielen stromende waterhoeveelheden, gelijk is aan de tussen deze profielen geborgen hoeveelheid water.

Stelt men bovendien $q = b \cdot h \cdot v_g = f \cdot v_g$ dan volgt hieruit:

$$v_g = \frac{q}{b \cdot h} = \frac{q}{f}$$

Na substitutie gaat vergelijking I. over in:

$$-\rho \frac{q}{b \cdot h^2} \cdot \frac{\partial (b \cdot h)}{\partial x} + \rho \frac{\partial q}{\partial t} = g \cdot \rho \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \mp \frac{g \cdot \rho \cdot q^2}{0.11 R^2 \cdot h}$$

Werkt men bovenstaande vergelijking uit dan verkrijgt men:

$$\begin{aligned} &-\rho \frac{q}{f} \cdot \left\{ \frac{\partial (b \cdot f)}{\partial x} - \frac{\partial f \cdot b}{\partial x} \right\} + \rho \left\{ \frac{\partial (b \cdot f)}{\partial t} - \frac{\partial f \cdot b}{\partial t} \right\} = g \cdot \rho \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \mp \frac{g \cdot \rho \cdot q^2}{0.11 R^2 \cdot h} \\ &-\rho \frac{q}{f} \cdot \frac{\partial b}{\partial x} + \rho \frac{q}{f^2} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} + \rho \frac{\partial b}{\partial t} - \rho \frac{q}{f} \frac{\partial f}{\partial t} = g \cdot \rho \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \mp \frac{g \cdot \rho \cdot q^2}{0.11 R^2 \cdot h} \end{aligned}$$

In verband met de continuïteitsvergelijking kan men nu ook schrijven

$$g \cdot \rho \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = \mp \frac{g \cdot \rho \cdot q^2}{0.11 R^2 \cdot h} + \rho \frac{\partial b}{\partial t} - \frac{q}{f} \frac{\partial h}{\partial t} (B_0 + b) + \frac{q^2}{f^2} \frac{\partial f}{\partial x}$$

De term $v \cdot \frac{\partial v}{\partial x}$ uit vergelijking I. is na uitwerking overgegaan in:

$$-\frac{q \cdot B_0}{f^2} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{q^2}{f^2} \frac{\partial f}{\partial x}$$

De term $-\frac{q}{f} \cdot B_0 \frac{\partial h}{\partial t}$ geeft samen met de term $-\frac{q}{f} \cdot b \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$, welke voortvloeit uit de verandering van het dwarsprofiel met de tijd, de term

$$-\frac{(b+B_0) \cdot q}{f^2} \frac{\partial h}{\partial t}$$

Dr. J.J. Dronkers heeft in zijn artikel: " Een getijberekening voor benedenrivieren ", uit afvoermetingen op deze rivieren geschatte waarden bepaald voor de term $-\frac{\partial (v \cdot v)}{\partial x}$. Door integratie van deze term naar x, vindt men het hoogteverschil van twee punten van een stroomlijn. Deze term verkrijgt dan de vorm $\frac{v_0^2 - v_1^2}{2g}$. In het ongunstigste geval op de benedenrivieren zal bij een $2g$ verval van 0,30 à 0,31 m, deze term maximaal 0,03 à 0,02 m bedragen. Bij de exacte methode wordt dan ook de term $\frac{q^2}{f^2} \frac{\partial f}{\partial x}$ bij getijberekeningen voor de benedenrivieren verwaarloosd terwijl een gedeelte van de term van Bernoulli wel in rekening wordt gebracht en wel als onderdeel van de term $-\frac{(b+B_0) \cdot q}{f^2} \frac{\partial h}{\partial t}$.

De bewegingsvergelijking wordt dan:

$$g \cdot \rho \cdot \frac{\partial h}{\partial x} = \pm \frac{K \cdot \rho \cdot s^2}{0.1 \cdot r \cdot R} + \frac{\rho}{f} \frac{\partial s}{\partial t} - \frac{\rho s \cdot (B_0 + b)}{f^2} \frac{\partial h}{\partial t}$$

Beschouwt men bovenstaande partiële niet-lineaire differentiaalvergelijking aanvankelijk als een gewone differentiaalvergelijking, dan gaat deze vergelijking na integratie over een afstandje Δx over in:

$$g \cdot \rho \cdot (\bar{h} - h_0) = \pm \frac{K \cdot \rho \cdot s_0^2 \cdot \Delta x}{0.1 \cdot r \cdot R} + \frac{\rho}{f} \frac{\partial s}{\partial t} \cdot \Delta x - \frac{\rho s_0 \cdot (b + B_0)}{f^2} \Delta x$$

De continuïteitsvergelijking wordt na integratie over dezelfde afstand:

$$\bar{s} - s_0 = B_0 \Delta x \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$$

Voor het einde van het volgende stukje Δx geldt nu bij benadering

$$g \cdot \rho \cdot (\bar{h} - h) = \pm \frac{K \cdot \rho}{0.1 \cdot r \cdot R} (s_0 + B_0 h_0 \Delta x)^2 \Delta x + \frac{\rho}{f} (s_0 + B_0 h_0 \Delta x) \Delta x - \frac{\rho s_0 (B_0 + b) \Delta x}{f^2}$$

of na uitwerking:

$$g \cdot \rho \cdot (\bar{h} - h) = \pm \frac{K \cdot \rho}{0.1 \cdot r \cdot R} (s_0^2 + 2s_0 h_0 \Delta x + B_0^2 h_0^2 \Delta x^2) \Delta x + \frac{\rho}{f} (s_0 + B_0 h_0 \Delta x) \Delta x - \frac{\rho s_0 (B_0 + b) \Delta x}{f^2}$$

Voor het einde van het 3e vakje, dus op een afstand van $3 \Delta x$ van het begin geldt:

$$g \cdot \rho \cdot (\bar{h} - h) = \pm \frac{K \cdot \rho}{0.1 \cdot r \cdot R} (s_0 + 2B_0 h_0 \Delta x)^2 \Delta x + \frac{\rho}{f} (s_0 + 2B_0 h_0 \Delta x) \Delta x - \frac{\rho s_0 (B_0 + b) \Delta x}{f^2}$$

Stelt men nu $x = n \Delta x$, dan gaat na sommatie de bewegingsvergelijking over in:

$$g \cdot \rho \cdot (\bar{h} - h) = \pm \frac{K \cdot \rho}{0.1 \cdot r \cdot R} \left(n \Delta x \cdot s_0^2 + 2B_0 s_0 h_0 \sum_{n=1}^{n=\infty} (n-1) \Delta x^2 + B_0^2 h_0^2 \sum_{n=1}^{n=\infty} (n-1)^2 \Delta x^3 \right) + \frac{\rho}{f} n \Delta x \cdot s_0 + \frac{\rho B_0 h_0}{f} \sum_{n=1}^{n=\infty} (n-1) \Delta x^2 - \frac{s_0 h_0 \rho (B_0 + b)}{f^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \Delta x$$

Na uitvoering der sommatie verkrijgt men:

$$g \cdot \rho \cdot (\bar{h} - h_0) = \pm \frac{K \cdot \rho \cdot s_0^2 \cdot x}{0.1 \cdot r \cdot R} + \frac{K \cdot \rho \cdot s_0 \cdot h_0 \cdot x^2}{2 \cdot r \cdot R} - \frac{s_0 \cdot h_0 \cdot \rho \cdot (B_0 + b) \cdot x}{f^2} + \frac{B_0 \cdot s_0 \cdot h_0 \cdot x^3 \cdot \rho}{0.1 \cdot r \cdot R} + \frac{B_0^2 \cdot h_0^2 \cdot x^4 \cdot \rho}{2 \cdot r \cdot R}$$

Bovenstaande termen worden bij de z.g. exacte methode (methode Dronkers) gebruikt. De extra termen, welke in de geïntegreerde bewegingsvergelijking voorkomen, zijn te beschouwen als correctie-termen op de weerstandsterm en versnellingsterm tengevolge van de komberging.

Past men bovenstaande methode ook toe op de continuïteitsvergelijking dan bedraagt de stroom na een vakje Δx :

$$\bar{s} = s_0 + B_0 h_0 \Delta x$$

Na $2 \Delta x$ wordt de stroom, indien men de correctie-termen uit de geïntegreerde bewegingsvergelijking verwaarloost:

$$\bar{s} = s_0 + B_0 \left(h_0 + \frac{K \cdot \rho \cdot \Delta x}{0.1 \cdot r \cdot R} + \frac{K \cdot \rho \cdot h_0 \cdot \Delta x}{g \cdot f} \right) \Delta x \quad \text{of na uitwerking:}$$

$$\bar{h} = \bar{h}_0 \pm \frac{2B_0 \cdot g \cdot \Delta x^2}{0.111R} + \frac{B_0 \ddot{\Delta x}^2}{g \cdot I} + B_0 \cdot h_0 \cdot \Delta x$$

Stelt men weer $x = n \cdot \Delta x$, dan verkrijgt men na de sommatie:

$$\bar{h} = h_0 + B_0 \cdot h_0 \cdot \sum_{n=1}^{n=\infty} n \cdot \Delta x \pm \frac{2B_0 \ddot{\Delta x}}{0.111R} \sum_{n=1}^{n=\infty} (n-1) \Delta x^2 + \frac{B_0 \ddot{\Delta x}}{g \cdot I} \sum_{n=1}^{n=\infty} (n-1) \Delta x^2 =$$

$$\bar{h} = h_0 + B_0 \cdot h_0 \cdot x \pm \frac{2B_0 \ddot{\Delta x} \cdot x^2}{0.111R} + \frac{B_0 \ddot{\Delta x} \cdot x^2}{2 \cdot g \cdot I} \dots \dots \dots$$

Bovenstaande termen worden gebruikt bij de methode Dronkers. Resumerend verkrijgt men dus de waterstand en de stroom aan het uiteinde van een riviersectie met lengte x met behulp van de onderstaande afgebroken reeksen:

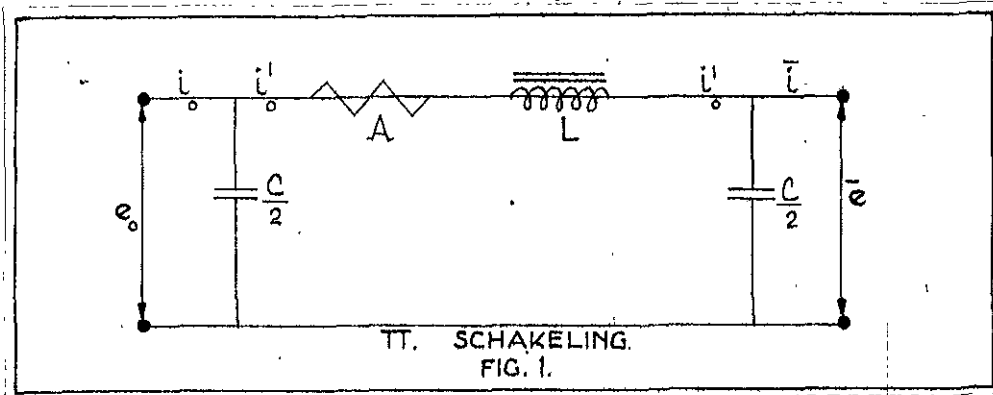
III.
$$\bar{h} = h_0 \pm \frac{B_0 \cdot x}{0.111R} \pm \frac{B_0 \cdot h_0 \cdot x^2}{0.111R} \pm \frac{B_0 \cdot h_0 \cdot x^3}{3 \cdot 0.111R} + \frac{\ddot{h} \cdot x}{g \cdot I} + \frac{B_0 \cdot \ddot{h} \cdot x^2}{2g \cdot I} - \frac{g \cdot h_0 \cdot (B_0 + b) \cdot x}{g \cdot I^2}$$

IV.
$$\bar{h} = h_0 + B_0 \cdot x \cdot h_0 \pm \frac{2B_0 \cdot h_0 \cdot x^2}{0.111R} + \frac{\ddot{h} \cdot x \cdot B_0}{2g \cdot I}$$

In het 1e stuk werd beschreven op welke wijze een homogeen riviervak door een aantal π of τ schakelingen kan worden vervangen bij een vooraf te stellen graad van nauwkeurigheid.

In het onderstaande zal worden aangetoond dat, indien men op een dergelijke π of τ schakeling, waarin een kwadratische weerstand voorkomt, de 1e en 2e wet van Kirchhoff toepast, de formules van de eacts methode worden gevonden.

Allereerst wordt een z.g. π schakeling beschouwd.



Past men de twee wetten van Kirchhoff toe op bovenstaande π -schakeling, waarin een kwadratische weerstand gedacht is, dan kunnen \bar{i} en \bar{e} uitgedrukt worden in i_0 en e_0 en wel als volgt:

$$i_1 = i_0 + \frac{Q}{2} \dot{e}_0$$

$$\bar{e} = e_0 \pm (i_0 + \frac{Q}{2} \dot{e}_0)^2 A + L (i_0 + \frac{Q}{2} \dot{e}_0)$$

V.
$$\bar{e} = e_0 \pm i_0^2 A \pm i_0 \cdot \dot{e}_0 \cdot A \cdot Q \pm \frac{A \cdot Q^2}{4} \dot{e}_0^2 + L i_0 + L \cdot \frac{Q}{2} \dot{e}_0$$

De stroom \bar{i} wordt:

$$\bar{i} = i_0 + \frac{Q}{2} \dot{e}_0 + \frac{Q}{2} (e_0 \pm A i_0^2 + L i_0) =$$

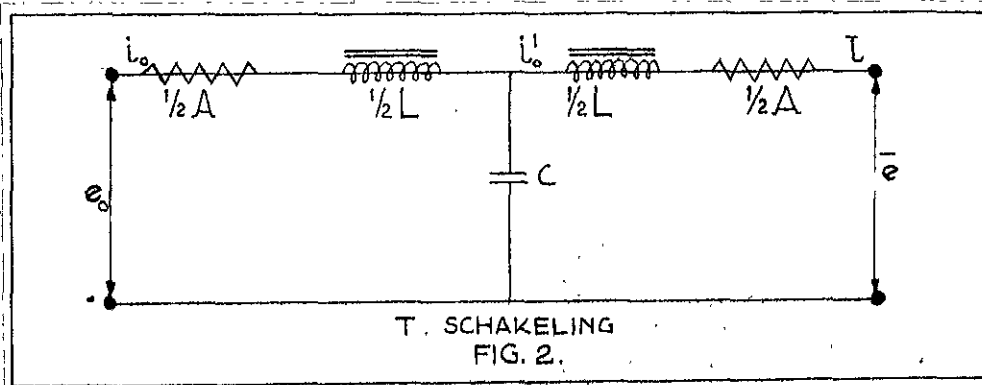
VI.
$$\bar{i} = i_0 + \frac{Q}{2} \dot{e}_0 + \frac{Q}{2} \dot{e}_0 \pm A \cdot Q \cdot i_0 \cdot i_0 + \frac{Q}{2} \cdot L \cdot \dot{i}$$

Vergelijkt men de termen van reeks V met die van reeks III dan blijkt de volgende analogie te bestaan:

$$\begin{array}{l} \bar{h} \longrightarrow \bar{e} \\ h_0 \longrightarrow e_0 \\ \pm \frac{B \cdot h \cdot X^3}{O \cdot I \cdot R} \longrightarrow \pm 1 \cdot A \cdot A \cdot G \\ \pm \frac{B \cdot h \cdot X^3}{O \cdot I \cdot R} \longrightarrow \pm 1 \cdot e \cdot A \cdot G \end{array} \qquad \begin{array}{l} \frac{B \cdot h \cdot X^3}{O \cdot I \cdot R} \longrightarrow \pm \frac{A \cdot G \cdot \ddot{e}}{4} \\ \frac{B \cdot h \cdot X^3}{2G \cdot I} \longrightarrow L \cdot \frac{G}{2} \ddot{e} \\ \frac{B \cdot X^3}{I \cdot G} \longrightarrow L \cdot \dot{i} \end{array}$$

De termen van reeks VI corresponderen met die van reeks IV:

$$\begin{array}{l} \bar{s} \longrightarrow \bar{i} \\ s_0 \longrightarrow i_0 \\ B \cdot x \cdot h_0 \longrightarrow C \cdot \ddot{e} \end{array} \qquad \begin{array}{l} \pm \frac{B \cdot x \cdot B \cdot X^3}{O \cdot I \cdot R} \longrightarrow \pm A \cdot G \cdot \dot{i} \cdot \dot{i} \\ \frac{B \cdot X^3 \cdot B}{2G \cdot I} \longrightarrow L \cdot \frac{G}{2} \ddot{i} \end{array}$$



Past men het bovenstaande toe op een τ schakeling, dan vindt men het volgende:

$$\begin{aligned} e_0 &= e_0 \pm \frac{1}{2} A \cdot i_0^2 + \frac{1}{2} L \cdot \dot{i}_0 \\ i_0 &= i_0 + G(e_0 \pm \frac{1}{2} A \cdot i_0^2 + \frac{1}{2} L \cdot \dot{i}_0) \\ \bar{e} &= e_0 \pm \frac{1}{2} A \cdot i_0^2 + \frac{1}{2} L \cdot \dot{i}_0 \pm \frac{1}{2} A(L + G \cdot e_0 \dots)^2 + \frac{1}{2} L \cdot (i_0 + G \cdot e_0 \dots) \end{aligned}$$

VII. $\bar{e} = e_0 \pm A \cdot i_0^2 + L \cdot \dot{i}_0 \pm A \cdot G \cdot \dot{i}_0 \cdot e_0 \pm \frac{1}{2} A \cdot G \cdot e_0^2 + \frac{1}{2} L \cdot G \cdot \ddot{e}_0$

V Voor de stroom i vindt men:

VIII. $\bar{i} = i_0 + G(e_0 + \frac{1}{2} A \cdot i_0^2 + \frac{1}{2} L \cdot \dot{i}_0)$

VIII. $\bar{i} = i_0 + G \cdot e_0 \pm A \cdot G \cdot \dot{i}_0 \cdot i_0 + \frac{1}{2} L \cdot G \cdot \ddot{i}_0$

De termen voorkomende in de uitdrukkingen VII en VIII corresponderen met de termen, gebruikt bij de exacte methode. (zie III en IV). Zowel bij de π schakeling als bij de τ schakeling vindt men echter één term, welke niet volledig overeenstemt n.l.

$$\pm \frac{B \cdot h \cdot X^3}{O \cdot I \cdot R} \qquad \pm \frac{A \cdot G \cdot \ddot{e}^2}{4} \qquad \frac{A \cdot G \cdot \ddot{e}^2}{2}$$

Bij de exacte methode staat in de noemer van deze breuk de factor 3. Bij de π schakeling de factor 4 en bij de τ schakeling een 2. Daar echter de eerste term in de hydrodynamica van zeer ondergeschikte betekenis is, is de volgende conclusie allerzins gerechtvaardigd.

Indien een zuiver kwadratisch weerstandselement aanwezig is, verkrijgt men zowel met een π schakeling als met een τ schakeling, stroom- en spanningsveranderingen, welke corresponderen met die, welke gevonden worden in de hydrodynamica met behulp van de s.g. " exacte methode " .

§ 7. Het nabootsen van een homogene riviersectie van 1 km. door een aantal π of τ secties, indien wordt aangenomen, dat bij beide de weerstand een kwadratisch karakter heeft.

Bij de elektrische imitatie van een riviersectie van 1 km komt onmiddellijk de vraag naar voren, hoe groot het aantal π of τ secties moet zijn, opdat binnen een vooruit te stellen graad van nauwkeurigheid exact aan de vierpoolvergelijkingen zal worden voldaan.

Om deze vraag te beantwoorden is het noodzakelijk enkele vereenvoudigingen in te voeren n.l.:

- 1e. De diepte wordt onveranderlijk ingevoerd.
- 2e. De Bernoulli invloed wordt verwaarloosd.
- 3e. De tengevolge van het kwadratische karakter van de weerstand optredende harmonischen worden verwaarloosd.

De waterbeweging in primatisch gedachte riviersecties met horizontale bodem kan met inachtneming van bovenstaande vereenvoudigingen worden weergegeven door twee vergelijkingen n.l.:

- a. de bewegingsvergelijking.
- b. de continuïteitsvergelijking.

Deze kunnen als volgt worden geschreven:

$$a. \quad s. g. p. \quad \frac{\partial s}{\partial x} = - \frac{p}{\gamma} \frac{\partial s}{\partial t} - \frac{p \cdot g \cdot |s| \cdot s}{C \cdot R^3}$$

$$\frac{\partial s}{\partial x} = - \eta \cdot \frac{\partial s}{\partial t}$$

De waterbeweging, zoals deze zich voordoet op onze zeearmen en benedenrivieren, kan beschouwd worden als de som van een constante beweging en een aantal harmonische bewegingen.

Het horizontaal en verticaal getij kunnen als volgt worden geschreven:

$$s = S + \zeta_1^0 \cos(\omega t - \varphi) + \zeta_2^0 \cos(2\omega t - \varphi) \dots$$

$$h = H_m + \eta_1^0 \cos(\omega t - K) + \eta_2^0 \cos(2\omega t - K) \dots$$

Is men nu in staat een methode aan te geven, waarbij de in de bewegingsvergelijking voorkomende kwadratische weerstandsterm wordt vervangen door lineaire uitdrukkingen in bovenstaande harmonische bewegingen, dan kan, omdat dan het superpositiebeginsel geldt, de aldus verkregen partiële lineaire differentiaalvergelijking vervangen worden door een vergelijking met constante grootheden en een aantal partiële lineaire differentiaalvergelijkingen.

Substitueert men de uitdrukkingen voor s en h in de oorspronkelijke bewegingsvergelijking, dan kan de kwadratische weerstandsterm, indien s niet van teken wisselt langs goniometrische weg gesplitst worden in:

- a. constante termen.
- b. term met de frequentie en fase van het gestelde hoofdgetij (M2).
- c. term met de frequentie en fase van het gestelde M4 getij.
- d. termen met afwijkende frequenties en fases.

Deze laatste termen zullen echter in verband met het onder 3e genoemde buiten beschouwing worden gelaten.

Het geval dat s niet van teken wisselt werd reeds in § 3 behandeld. Uitgaande van de in § 3 voorkomende vergelijkingen a en b vindt men met in achtname van de onder 1e, 2e en 3e genoemde beperkingen, onderstaande lineaire differentiaalvergelijkingen:

$$\alpha_1 \quad p \cdot s \cdot \frac{\partial \eta_1}{\partial x} = -\frac{p}{r_m} \cdot \frac{\partial \sigma_1}{\partial t} - \frac{2 \cdot B_0 \cdot p \cdot k}{(0 \cdot r \cdot R)_m} \sigma_1$$

$$\beta_1 \quad p \cdot s \cdot \frac{\partial \eta_2}{\partial x} = -\frac{p}{r_m} \cdot \frac{\partial \sigma_2}{\partial t} - \frac{2 \cdot B_0 \cdot p \cdot k}{(0 \cdot r \cdot R)_m} \sigma_2$$

Hieraan worden de continuïteitsvergelijkingen toegevoegd n.l.:

$$\alpha_2 \quad \frac{\partial \sigma_1}{\partial x} = -B_0 \cdot \frac{\partial \eta_1}{\partial t}$$

$$\beta_2 \quad \frac{\partial \sigma_2}{\partial x} = -B_0 \cdot \frac{\partial \eta_2}{\partial t}$$

Worden eerst de simultaan optredende vergelijkingen α_1 en β_1 beschouwd, dan kan σ_1 worden geëlimineerd door α_1 naar x te differentiëren en voor de in dat geval optredende factor $\frac{\partial \sigma_1}{\partial x}$ en $\frac{\partial \sigma_2}{\partial x}$ hun uit α_2 (resp. uit de haar t gedifferentieerde vergelijking β_2) volgende waarde te substitueren. Het resultaat is:

$$p \cdot s \cdot \frac{\partial^2 \eta_1}{\partial x^2} = -\frac{p}{r} \cdot \frac{\partial^2 \sigma_1}{\partial x \cdot \partial t} - \frac{2 \cdot B_0 \cdot p \cdot k}{(0 \cdot r \cdot R)_m} \cdot \frac{\partial \sigma_1}{\partial x} \quad \text{Na substitutie:}$$

$$\alpha_3 \quad p \cdot s \cdot \frac{\partial^2 \eta_1}{\partial x^2} = \frac{p}{r} \cdot B_0 \cdot \frac{\partial^2 \eta_1}{\partial t^2} + \frac{2 \cdot B_0 \cdot B_0 \cdot p \cdot k}{(0 \cdot r \cdot R)_m} \frac{\partial \eta_1}{\partial t}$$

Wanneer men in bovenstaande lineaire differentiaalvergelijking een functie substitueert, welke de tijd uitsluitend in de exponentiële $e^{j\omega t}$ bevat, dan komt men tot een gewone differentiaalvergelijking, waarvan een oplossing is te vinden door aan te nemen dat de coördinaat x in de vorm van een dergelijke functie bevat, zodat gesteld kan worden:

$$\eta_1 = A \cdot e^{j\omega t + r \cdot x}$$

r zal in het algemeen complex zijn, omdat bij een getijrivier zowel amplitude als fase van het getij veranderen.

Substitueert men $\eta_1 = A \cdot e^{j\omega t + r \cdot x}$ in vergelijking α_3 , dan verkrijgt men na deling door $A \cdot e^{j\omega t + r \cdot x}$:

$$p \cdot s \cdot r^2 = \frac{2 \cdot B_0 \cdot B_0 \cdot p \cdot k}{(0 \cdot r \cdot R)_m} j\omega - \omega^2 \cdot B_0 \cdot \frac{p}{r_m}$$

$$r^2 = \frac{2 \cdot B_0 \cdot B_0 \cdot j \cdot \omega}{(0 \cdot r \cdot R)_m} - \frac{\omega^2 \cdot B_0}{s \cdot r_m}$$

$$r = \pm \sqrt{B_0 \cdot \omega \cdot j \cdot \left\{ \frac{2 \cdot B_0}{(0 \cdot r \cdot R)_m} + \frac{\omega}{s \cdot r_m} \right\}}$$

De meest algemene oplossing van α_3 door enkelvoudige harmonische functies van t met een periode van T wordt voorgesteld door:

$$\eta_1 = C_1 \cdot e^{j\omega t + r \cdot x} + C_2 \cdot e^{j\omega t - r \cdot x}$$

Met behulp van de continuïteitsvergelijking volgt voor de stroom de waarde:

$$\sigma_1 = -\frac{B_0 \cdot \omega \cdot j}{r} \cdot C_1 \cdot e^{j\omega t + r \cdot x} + \frac{B_0 \cdot \omega \cdot j}{r} \cdot C_2 \cdot e^{j\omega t - r \cdot x}$$

Wordt het beginpunt van een riviersectie aangeduid met de index a en het einde met de index l , dan geldt voor $x=0$

$$\eta_a = (C_1 + C_2) e^{j\omega t}$$

$$\sigma_a = \left(-\frac{B_0 \omega j}{r} C_1 + \frac{B_0 \omega j}{r} C_2 \right) e^{j\omega t}$$

waaruit men C_1 en C_2 kan oplossen.

Na oplossing van C_1 en C_2 kan men voor η_l en σ_l schrijven:

$$\eta_l = \eta_a \left(\frac{e^{r l} + e^{-r l}}{2} \right) - \frac{\sigma_a r}{B_0 \omega j} \left(\frac{e^{r l} - e^{-r l}}{2} \right)$$

$$\sigma_l = -\eta_a \frac{B_0 \omega j}{r} \left(\frac{e^{r l} - e^{-r l}}{2} \right) + \sigma_a \left(\frac{e^{r l} + e^{-r l}}{2} \right) \quad \text{of}$$

$$\eta_l = \eta_a \text{Ch}.r.l. - \frac{\sigma_a r}{B_0 \omega j} \text{Sh}.r.l.$$

$$\sigma_l = \frac{\eta_a B_0 \omega j}{r} \text{Sh}.r.l. + \sigma_a \text{Ch}.r.l.$$

Stelt men $\frac{r}{B_0 \omega j} = \sqrt{\frac{2B}{(O.I.F.H)_m} + \frac{1}{E.I_m}} = \sqrt{\frac{2B}{(O.I.F.H)_m} + \frac{1}{E.I_m}} = z_0$

dan heeft z_0 de dimensie van een weerstand en wordt karakteristieke of golf weerstand genoemd. Men kan nu schrijven:

$$\eta_l = \eta_a \text{Ch}.r.l. - \sigma_a z_0 \text{Sh}.r.l.$$

$$\sigma_l = -\frac{\eta_a}{z_0} \text{Sh}.r.l. + \sigma_a \text{Ch}.r.l.$$

Noemt men de complexe langs-impedantie per éénheid van lengte $\frac{2B}{(O.I.F.H)_m} + \frac{1}{E.I_m} = R_1$ en de complexe dwars-impedantie per éénheid van lengte $\frac{1}{B_0 \omega j} = R_2$, dan volgt hieruit dat $z_0 = \sqrt{R_1 R_2}$ en $r = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$ terwijl

$$z_0 r = R_1 \quad \text{en}$$

$$\frac{z_0}{r} = R_2$$

Daar voor het gestelde probleem alleen de stroom en spanning aan het uiteinde van een riviersectie gevraagd worden, zullen we de riviersectie in een aantal vakjes onderverdelen en wel zodanig, dat voor de riviersectie binnen een vooruit te stellen nauwkeurigheidsgrens exact aan de vierpolenvergelijking wordt voldaan.

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van z.g.: "equivalente netwerken". De eenvoudigste netwerken zijn de π en τ netwerken.

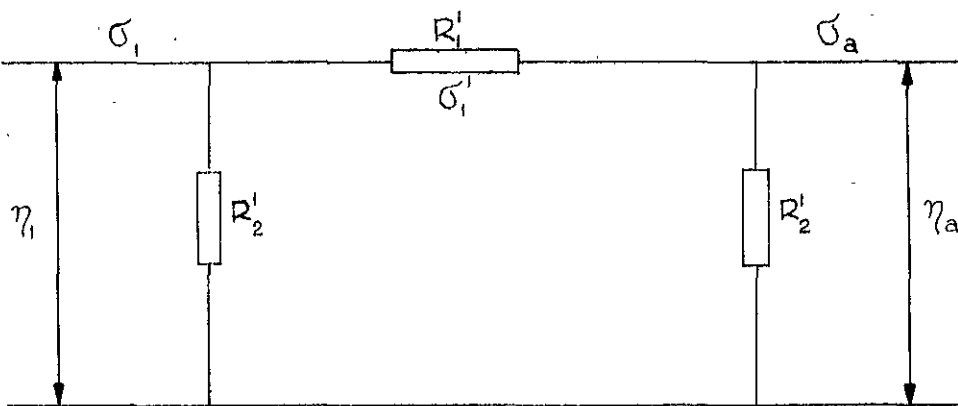


FIG. 3.

Uit de wetten van Kirchoff volgen onderstaande vergelijkingen:

$$\eta_a = (\sigma_a - \sigma'_1) R'_2$$

$$R'_2 \sigma_a + R'_2 \sigma_1 - 2 \sigma'_1 R'_2 - \sigma'_1 R'_1 = 0$$

$$\eta_1 = (\sigma'_1 - \sigma_1) R'_2$$

Uit deze vergelijkingen volgt:

$$\eta_1 = \eta_a \cdot \frac{(R'_2 + R'_1)}{R'_2} - \sigma_a R'_1$$

$$\sigma_1 = -\eta_a \cdot \frac{(2R'_2 + R'_1)}{R'_2} + \sigma_a \frac{(R'_2 + R'_1)}{R'_2}$$

Om nu deze vergelijkingen indentiek te maken met de vierpohlvergelijkingen, moeten de volgende betrekkingen gelden:

$$\frac{R'_2 + R'_1}{R'_2} = Ch.r.l.$$

$$R'_1 = z_0 Sh.r.l.$$

$$\frac{2R'_2 + R'_1}{R'_2} = \frac{Sh.r.l.}{z_0}$$

$$R'_2 = z_0 Ch. \frac{r.l.}{z_0}$$

$$\text{Hieruit volgt } R'_1 = \frac{z_0 Sh.r.l.}{Ch.r.l. - 1} = \frac{2z_0 Ch. \frac{r.l.}{z_0} Sh. \frac{r.l.}{z_0}}{2Sh. \frac{r.l.}{z_0} - 1} = z_0 Ch. \frac{r.l.}{z_0}$$

Voor R'_1 en R'_2 kan men nu ook schrijven:

$$R'_1 = \sqrt{R_1 R_2} \left(r.l. + \frac{(r.l.)^3}{6} + \frac{(r.l.)^5}{120} \right) \dots\dots$$

$$R'_2 = \sqrt{R_1 R_2} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \cdot l \left(1 + \frac{(r.l.)^2}{6} + \frac{(r.l.)^4}{120} \dots\dots \right)$$

$$R'_1 = R_1 \cdot l \left\{ 1 + \frac{(r.l.)^2}{6} + \frac{(r.l.)^4}{120} \dots\dots \right\}$$

$$R'_2 = \sqrt{R_1 R_2} \frac{l}{z_0} \left(1 - \frac{(r.l.)^2}{12} + \frac{(r.l.)^4}{120} \dots\dots \right)$$

$$R'_2 = \sqrt{R_1 R_2} \frac{2}{r.l.} \left(1 - \frac{(r.l.)^2}{12} + \frac{(r.l.)^4}{120} \dots\dots \right)$$

$$R'_2 = \frac{2R_2}{l \left\{ 1 - \frac{(r.l.)^2}{12} + \frac{(r.l.)^4}{120} \dots\dots \right\}}$$

Voor korte vakken verkrijgt men nu praktisch $R_1 = R_1 \cdot l$ en $R_2 = 2 \cdot R_2$.

Uit de uitdrukkingen voor R_1 en R_2 blijkt, dat indien men een homogene riviersectie van l km. lengte wil imiteren door een π sectie van l km. men de dwars- en langs-impedantie hiervoor niet mag vervangen door de dwars- en langs-impedantie der homogene riviersectie, maar deze laatste moet corrigeren en wel de dwars-impedantie met de correctiefactor

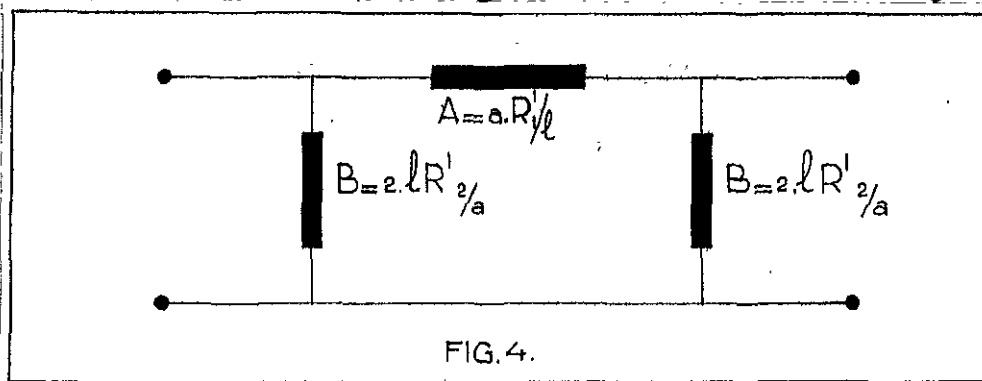
$$\left\{ 1 - \frac{(x \cdot l)^2}{12} + \frac{(x \cdot l)^4}{120} \dots \right\}$$

en de langs-impedantie met de correctiefactor $\left\{ 1 + \frac{(x \cdot l)^2}{6} + \frac{(x \cdot l)^4}{120} \dots \right\}$

Wordt $l = a \cdot n$ gesteld, dan is het gewenst de homogene riviersectie van l km. zodanig in vakjes met lengte van a km. onder te verdelen, dat ieder riviervakje dezelfde dwars- resp. langs-impedantie bezit en dat bovendien de dwarsimpedantie van ieder vakje $\frac{1}{a}$ x de totale dwars-impedantie van de homogene riviersectie bedraagt en de langs-impedantie van de betreffende riviervakjes $\frac{a}{l}$ x de totale langs-impedantie van de homogene riviersectie is.

Stelt men de vervangings-longs-impedantie van de homogene riviersectie van l km. voor door R_1 en de vervangings-dwars-impedantie door R_2 , dan wordt, rekening houdende met het bovenstaande, de vervangings-longs-impedantie voor een vakje van a km. $A = \frac{a}{l} R_1$ en de dwarsimpedantie voor een vakje van a km. $B = \frac{1}{a} R_2$

In fig. 12 is de π sectie getekend voor een a vakje van a km.



Nu gelden de volgende betrekkingen:

$$\frac{A + 2B}{B^2} = \frac{Sh \cdot r \cdot a}{s_0} \quad ; \quad A = s_0 \cdot Sh \cdot r \cdot a \quad ; \quad B = s_0 \cdot Oh \cdot \frac{R_2 \cdot a}{2}$$

$$\text{Hieruit volgt: } s_0^2 = \frac{A \cdot B}{A + 2B} = \frac{A \cdot B}{2 + \frac{A}{B}} = \frac{A \cdot B}{1 + \frac{A}{2B}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{4 \cdot l \cdot R_2}$$

$$\frac{s_0^2 \cdot \Pi \cdot s_0}{1 + 2 \cdot \frac{s_0^2}{2 \cdot l} \cdot Sh \cdot \frac{R_2 \cdot a}{2}} = \frac{s_0^2 \cdot \Pi \cdot s_0}{1 + \frac{s_0^2}{2 \cdot l^2} (Oh \cdot r \cdot l - 1)} = \frac{s_0^2 \cdot \Pi \cdot s_0}{1 + \frac{s_0^2}{2 \cdot l^2} \left\{ \frac{(x \cdot l)^2}{2} + \frac{(x \cdot l)^4}{24} \dots \right\}}$$

$$\frac{s_0 \cdot \Pi \cdot s_0}{s_0 \cdot hom \cdot s_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{x \cdot l}{2n}\right)^2 + \dots} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x \cdot l}{2n}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{x \cdot l}{2n}\right)^4$$

$$\frac{s_0 \cdot \Pi \cdot s_0}{s_0 \cdot hom \cdot s_0} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x \cdot l}{2n}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{x \cdot l}{2n}\right)^4 \dots$$

Verder geldt: $\frac{A}{2B} = Sh \cdot \frac{R_2 \cdot a}{2}$

Stelt men de voortplantingsconstante van de π sectie per km. ϵ dan verkrijgt men $\sqrt{\frac{g}{4.1^2} \frac{R_1}{R_2}} = \frac{g}{2.1} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \frac{g}{2} \cdot \epsilon$. Hieruit volgt:

$$Sh, \frac{R_1}{2} = \frac{g}{2} \cdot \epsilon.$$

$$\frac{R_1}{2} + \frac{R_1^3}{5 \cdot 2^3} + \dots = \frac{g}{2} \cdot \epsilon \quad \text{of r.a.} \left(+ \frac{R_1^2 \cdot g}{2 \cdot 5} + \dots \right) = a \cdot \epsilon \quad \text{of}$$

$$\frac{\epsilon}{R} = 1 + \frac{(R+1)^2}{24} + \dots$$

In bijlage 1-2-3 zijn de waarden r.l. berekend.

Men kan n zodanig kiezen, dat voldaan wordt aan de eis, dat de afwijking in de modulus van de verhouding $\frac{R_1}{R_2}$ 1% mag bedragen en de fout in het argument $\pm 2\%$ voor de $\frac{R_1}{R_2}$. De 2e harm. van veel kleiner orde is dan de 1e harm. zullen de toelaatbare afwijkingen hier groter kunnen zijn. In tabel... vindt men voor de rivier de Lek met een oppervlakte van 920 m/see. bij variërende waarden n , de bijbehorende afwijkingen.

Op bijlage... is het schema van de rivier de Lek getekend, waarvan de homogene riviersecties verdeeld zijn volgens het in tabel... aangegeven aantal riviervakjes. Verondersteld wordt nu, dat bij gebruikmaking van de kwadratische weerstand ook met deze vakverdeling van een riviersectie volstaan kan worden.

Tenslotte wordt nog opgemerkt, dat de gevonden vaklengtes der riviersecties vrijwel overeenkomen met die, welke toegepast worden bij de n.g. exacte methode.

In tabel... zijn de waarden van n verzameld, welke zodanig zijn bepaald, dat aan de gestelde eis is voldaan.

§ 4. De Bernoulli-invloed.

In § 2 zagen we reeds, dat de Bernoulli-invloed na de integratie gesplitst kan worden in twee gedeeltes n.l.

$$a, \quad \frac{-R_1 R_2 h_0 x}{R_1 g} \quad \text{en} \quad b, \quad -\int_{x_1}^{x_2} \frac{g}{2 \cdot g \cdot x} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} dx$$

Bij de exacte methode wordt de term $-\frac{R_1 R_2 h_0 x}{R_1 g}$ gevoegd bij de term $-\frac{b \cdot g \cdot h_0 x}{R_1 g}$

Dese laatste term vloeit voort uit de versnellingsterm, tengevolge van de verandering van de diepte met de tijd.

Bij de praktische toepassing van de exacte methode op de getijbeweging van de benedenrivieren blijkt steeds dat de gecombineerde term $-\frac{(R_1 + R_2)}{R_1 g} g \cdot h_0 x$ klein is t.o.v. de andere termen (weerstand $\int_{x_1}^{x_2} \frac{g}{2 \cdot g \cdot x} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} dx$ en versnellingsterm).

Voor de term $\int_{x_1}^{x_2} \frac{g}{2 \cdot g \cdot x} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} dx$ kan na integratie ook worden geschreven: $\frac{g}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$

Bij bovenstaande integratie wordt aangenomen, dat de stroom niet verandert met de afstand. Voert men echter deze verandering van de stroom wel in, dan verkrijgt men de volgende termen:

$$-\frac{g}{2 \cdot g} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right) + \frac{R_1 R_2 h_0 x}{2 \cdot g} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right) + \frac{R_1^2 h_0 x^2}{3(2g)} \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right)$$

Getij riviersectie	N_2								
	n = 1		n = 2		n = 3		n = 4		
Krimpen-Streefkerk.	0,99625	1° 18'	0,99020	15	0,99976	5	0,99975	2	
Streefkerk-Schoonhoven.	0,99665	1° 48'	0,99907	27	0,99957	6	0,99976	2	
Schoonhoven-Jaarsveld.	0,99583	4° 50'	0,99829	1 11'	0,99918	28	0,99953	16	
Jaarsveld-Vreeswijk.	0,99565	5°	0,99821	1° 15'	0,99915	29	0,99950	16	
Vreeswijk-Culemborg.	0,99969	7° 41'	0,99827	1° 54'	0,99910	50	0,99946	28	
Culemborg-Wijk bij Daurstede.	1,00182	9° 10'	0,99806	2° 17'	0,99898	1°	0,99937	34	
Getij Riviersectie	N_4								Gekozen aantal rivier- vakjes.
	n = 1		n = 2		n = 3		n = 4		
Krimpen-Streefkerk.	0,98397	2° 37'	0,99605	39	0,99823	17	0,99900	10	1
Streefkerk-Schoonhoven.	0,98663	3° 39'	0,99628	54	0,99831	24	0,99905	13	1
Schoonhoven-Jaarsveld.	0,98355	9° 50'	0,99313	2° 26'	0,99673	1° 05'	0,99811	36	2
Jaarsveld-Vreeswijk	0,98684	10°	0,99381	2° 30'	0,99702	1° 06'	0,99828	37	2
Vreeswijk-Culemborg.	0,99928	15° 20'	0,99307	3° 50'	0,99637	1° 40'	0,99786	56	3
Culemborg-Wijk bij Doorstede.	1,00798	18° 26'	0,99226	4° 36'	0,99576	2° 02'	0,99746	1° 09'	3

Het kan nu voorkomen, bij stromen, welke zich door een nauwe bedding moeten wringen, dat de term van Bernoulli $\frac{v_0}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ wel van betekenis wordt.

Het kan zelfs zo zijn, dat deze term van de zelfde orde van grootte wordt als de weerstandsterm.

Stel derhalve, dat $\frac{v_0}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) > \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ maar van de zelfde orde van grootte.

Men kan de reeks termen dan ook als volgt schrijven:

$$h = h_0 \pm s \cdot \left(\frac{v_0}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right) + \frac{B \cdot v_0}{g \cdot r} \pm B \cdot s \cdot h \cdot x \left(\frac{v_0}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right) + \frac{B \cdot h \cdot x}{2g \cdot r} \left(\frac{v_0}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right) + \frac{B \cdot h \cdot x}{2g \cdot r}$$

Uit bovenstaande termen blijkt, dat er dus gedurende de eb een andere weerstand aanwezig moet zijn, dan gedurende de vloed.

Dit zal eenvoudig zijn te bereiken door de tegengestelde geschakelde gelijkrichters verschillende weerstanden te geven.

Voor het geval dat $\frac{v_0}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ zal men over de eb geen weerstand aantreffen.

Bij de uitgevoerde 4e proef werd de Bernoulli-invloed in zijn geheel buiten beschouwing gelaten.

§ 5. Dualiteit van elektrische netwerken.

Twee netwerken kunnen de eigenschap bezitten, dat het éne zich wat betreft de er in optredende stromen geheel analoog gedraagt als het andere, wat betreft de er in heersende spanningen.

Bestaat een dergelijke analogie, dan zegt men, dat de netwerken "dual" zijn. Ook worden de woorden reciproof of inverteers wel gebruikt.

Teneinde de analogie tussen twee duale netwerken zo scherp mogelijk te stellen, worden de volgende begrippen ingevoerd: een willekeurig elektrisch element (weerstand, spoel, condensator, spanningsbron, stroombron enz.) noemen wij een tak van het netwerk; een eindpunt van een tak, dat dus tevens het verbindingpunt van twee of meer takken vormt, noemen wij een knooppunt; een gesloten stroombaan, welke door willekeurig gekozen takken van het netwerk wordt gevormd, noemen we een maas.

Zijn twee systemen van netwerken dual, dan kunnen aan elkaar toegevoegd worden:

Spanning	~	stroom.
Weerstand	~	geleidingsvermogen.
Serieschakeling	~	parallelschakeling.
Knooppunt	~	maas.
Knooppuntspotentiaal	~	maasstroom.
Capaciteit	~	zelfinductie.

Interesseert men zich niet voor de elektrische betekenis der in het netwerk voorkomende takken, maar alleen voor de meetkundige configuratie van het netwerk, waarbij alleen de wijze waarop de knooppunten verbonden zijn een rol speelt en niet de ligging van deze knooppunten en de lengte en vorm der takken, dan leidt deze beschouwingwijze der figuur tot een deel der meetkunde dat topologie wordt genoemd.

Bij netwerken, welke klemmenparen bezitten, wordt elk klemmenpaar beschouwd als een tak van de configuratie. Hebben we b.v. te doen met een vierpool, welke bestaat uit twee klemmenparen, verbonden door drie in ster geschakelde weerstanden, dan bevat deze vier knooppunten, die door vijf takken verbonden zijn. De configuratie van deze vierpool is in fig. 4. aangegeven. Doordat de klemmenparen als takken van de configuratie beschouwd worden, loopt de stroom geheel in de configuratie rond.

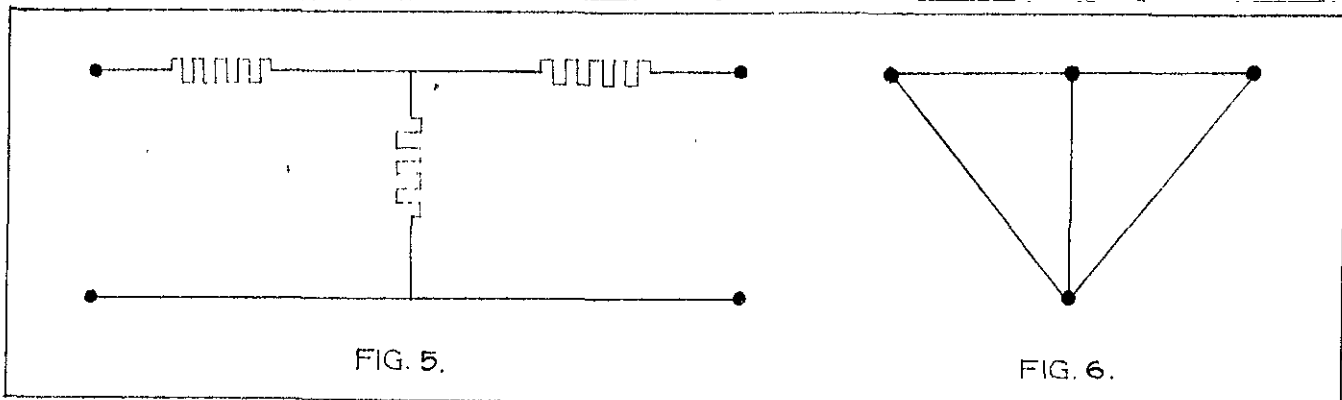


FIG. 5.

FIG. 6.

Bovenstaande configuratie bestaat uit:

$$\begin{array}{l} t = 5 \\ k = 4 \\ m = 3 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} t = \text{takken} \\ k = \text{knooppunten} \\ m = \text{mazen} \end{array} \right.$$

Tussen het aantal mazen, het aantal takken en het aantal knooppunten, bestaat een betrekking, welke de naam draagt van Eulerse polyederformule en welke luidt:

$$k - t + m = 2$$

De duale vierpool zal nu moeten bevatten:

$$\begin{array}{l} t = 5 \\ k = 3 \\ m = 4 \end{array}$$

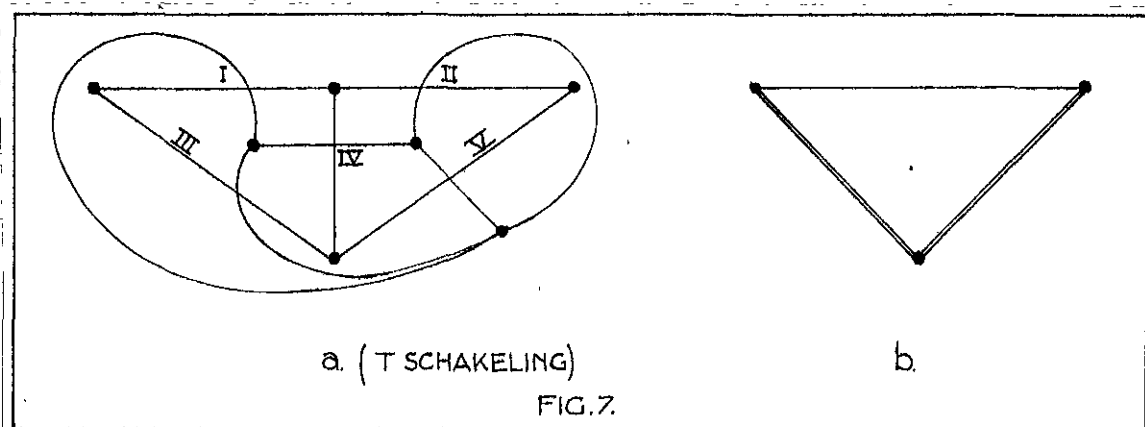
Bij de dualiteit wordt dus de eis gesteld, dat de knooppunten van het duale systeem overeenkomen met bepaalde mazen van het oorspronkelijke systeem. Configuraties, die in een plat vlak getekend kunnen worden noemt men planair. Nu geldt de stelling:

Een netwerk bezit dan en alleen dan een duaalstelsel, wanneer het planair is.

Voor het bewijs van deze stelling wordt verwezen naar het tijdschrift; Ned. Radio Genootschap Deel IX Juni 1941 No.1.

Is een netwerk planair, dan kan op de volgende manier het duale systeem gevonden worden. Teken daartoe de configuratie van het netwerk op een bol, dan worden daardoor bepaalde mazen naar voren gebracht, n.l. de mazen, welke de zijvlakken van de bol begrenzen. Deze mazen moeten nu met de knooppunten van het duale systeem overeenkomen. Binnen ieder van deze mazen (in het platte vlak ook buiten de buitenste maza) nemen wij daarom een nieuw knooppunt aan en verbinden elk paar van deze nieuwe knooppunten door een nieuwe tak. Hebben de mazen meer dan een tak gemeen, dan worden de bijbehorende nieuwe knooppunten ook door meer dan een tak verbonden.

Constructie van de duale vierpool.



a. (T SCHAKELING)

b.

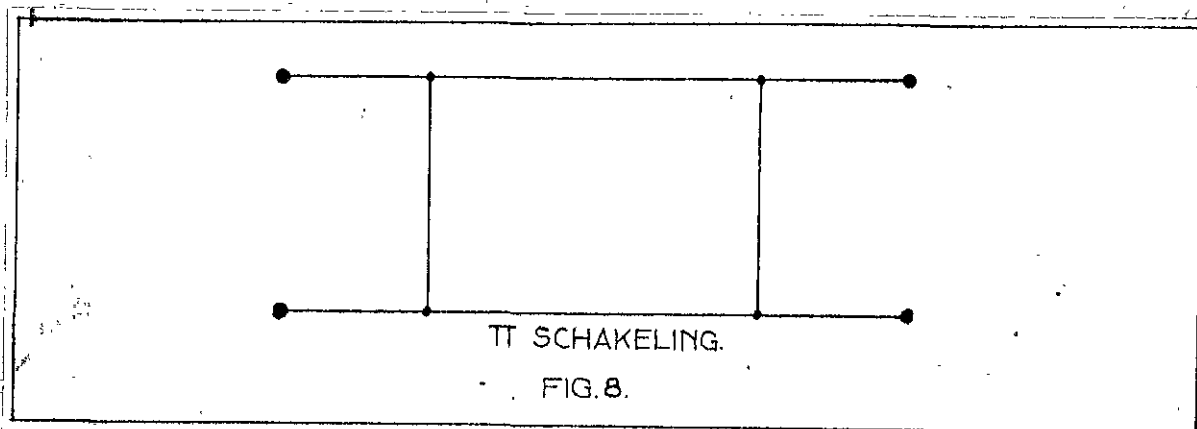
FIG. 7.

De takken I, III en IV vormen een maas, evenals de takken II, IV en V en de takken I, II, III en V.

Men neemt nu in de mazen, gevormd door de takken I, III en IV en II, IV en V een knooppunt aan en eveneens een knooppunt buiten de buitenste maas. Verbindt men deze drie knooppunten zodanig door nieuwe takken, dat de gemeenschappelijke takken der mazen door de nieuwe takken worden gesneden, dan verkrijgt men de configuratie van fig. b. De configuratie bestaat uit:

5 takken
3 knooppunten
4 mazen.

Het duale systeem bestaat dan uit twee paren parallel takken en een tak in serie. Hieraan voldoet onderstaande Π schakeling.



Uit de meestkundige configuratie van de Γ en Π schakeling volgt dus, dat deze systemen dual tegenover elkaar staan. De twee weerstanden in serie zijn vervangen door twee weerstanden parallel en de parallelle weerstand door een weerstand in serie. Uit de constructie van fig. VI blijkt dat de oorspronkelijke knooppunten in de nieuwe mazen liggen.

De dualiteit is dus wederkerig.

Heeft men een riviersectie voorgesteld door een Γ schakeling, dan zal de gewenste duale schakeling een Π schakeling zijn. Heeft de Γ schakeling de volgende gedaante, welke analoge vorm veel voorkomt in het huidige rivierenstelsel (fig. 9), dan wordt de configuratie van het duale systeem voorgesteld door fig. 10. Deze bestaat dan uit een tak in serie en 2 x 3 parallelle takken.

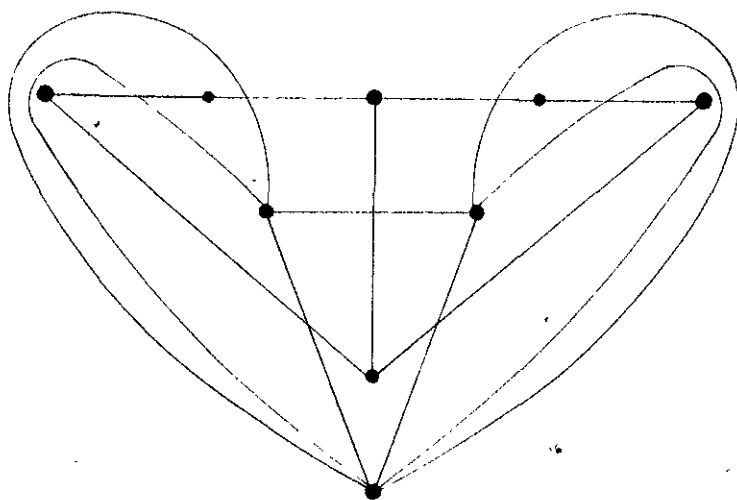


FIG. 9.

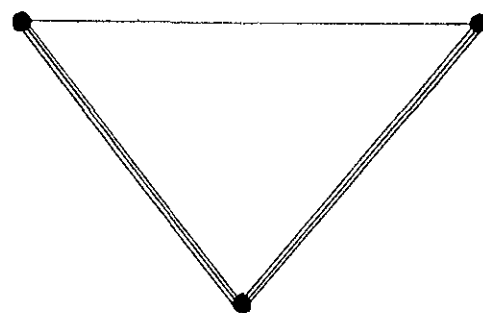
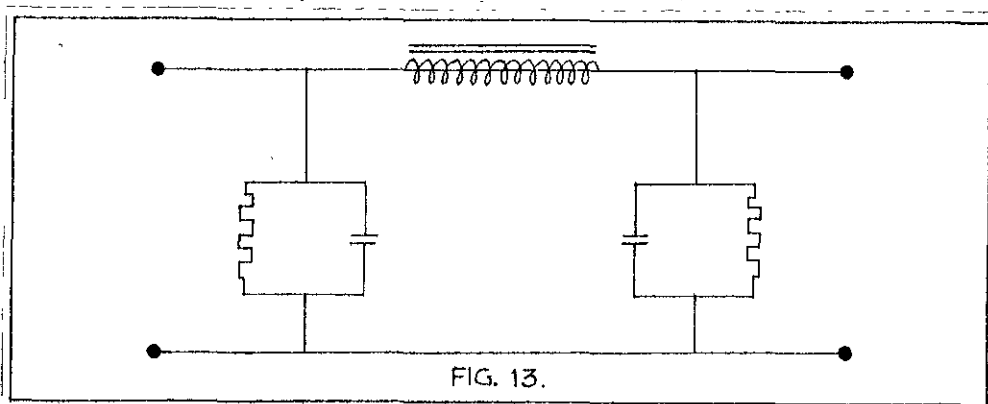
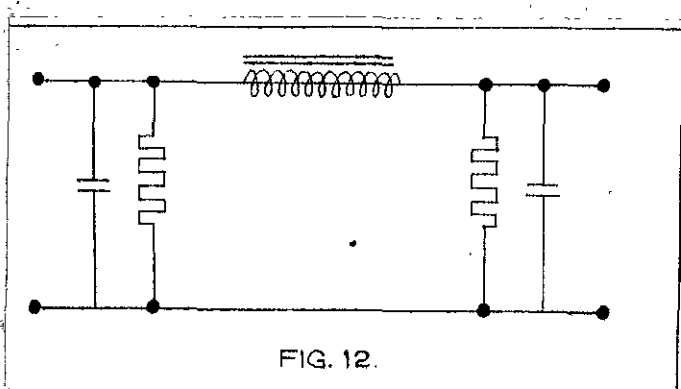
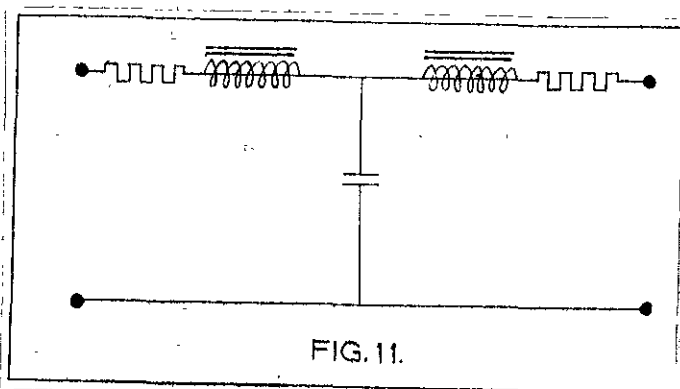


FIG. 10.

Heeft men dus de T schakeling van fig. 11, welke eveneens veel in de praktijk voorkomt, dan wordt de duale schakeling (π schakeling) voorgesteld door fig. 12. In plaats van fig. 12 kan ook fig. 13 worden getekend.



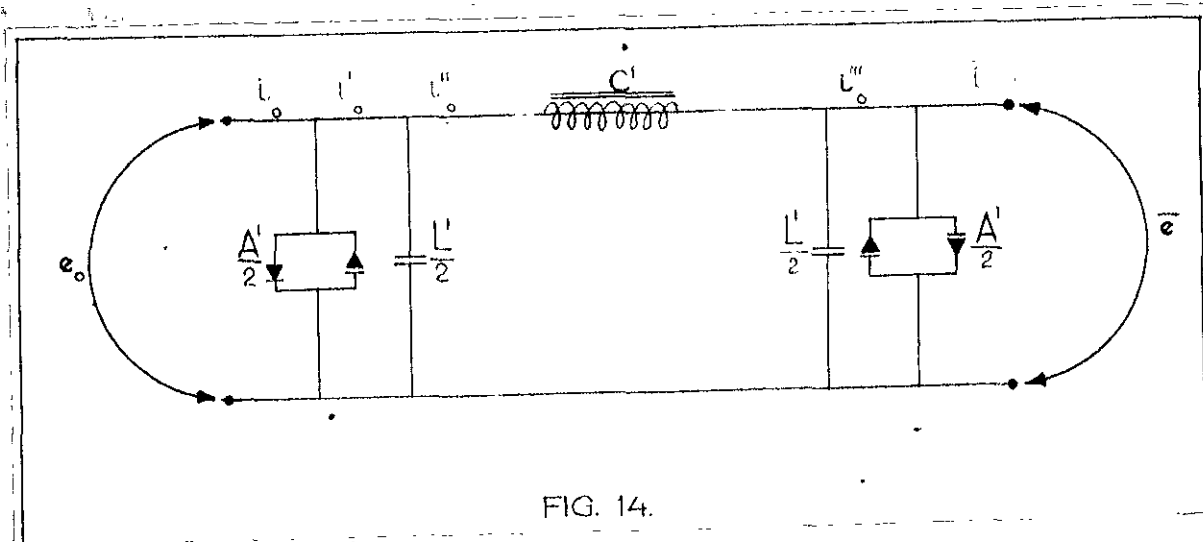
Zijn de in fig. 11 voorkomende weerstanden-elementen met een kwadratische stroom-spanningskarakteristiek ($E = \pm AI^2$), dan worden de stroom en spanning aan het einde van een sectie uitgedrukt in die aan het begin van een sectie door middel van de uitdrukkingen (zie § 2):

$$\alpha \quad \bar{e} = e_0 \pm AI_0^2 \pm A \cdot C \cdot i_0 \dot{e}_0 \pm \frac{1}{2} A \cdot C \cdot e_0^2 + B \cdot i_0 + \frac{1}{2} B \cdot C \cdot \ddot{e}_0$$

$$\beta \quad \bar{i} = i_0 + C \dot{e}_0 \pm A \cdot C \cdot i_0 \dot{i} + \frac{B \cdot C}{2} \ddot{i}$$

In het duale netwerk zal de weerstand van de vorm $i = A \cdot E^2$ moeten zijn.

Het duale netwerk ziet er dan als volgt uit:



Past men de methode, beschreven in § 2, toe op het schema van fig. 14 dan voert dit tot onderstaande formules:

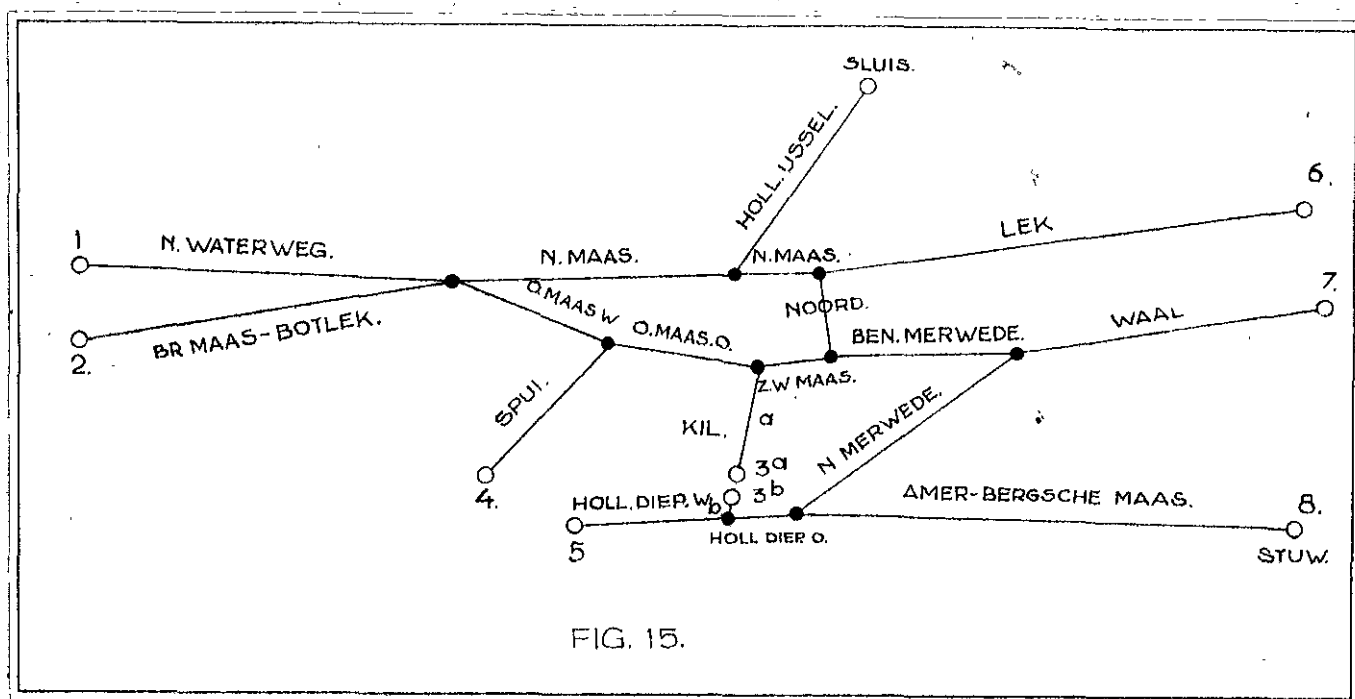
$$\begin{aligned} \gamma &= i_0 \pm A \cdot e_0^2 + L \cdot \dot{e}_0 \pm A \cdot C \cdot e_0 \cdot i_0 \pm \frac{A \cdot C \cdot i_0^2}{2} + \frac{L \cdot \dot{e}_0^2}{2} \\ \delta &= e_0 + C \cdot i_0 + A \cdot C \cdot e_0 \cdot i_0 + \frac{C \cdot L}{2} \dot{e}_0 \end{aligned}$$

Vergelijkt men de formules α en β met γ en δ dan blijkt dat de uitdrukkingen voor α en β overgaan in die voor γ en δ door eenvoudig stroom en spanning, weerstand en geleidingsvermogen, inductie en capaciteit, capaciteit en inductie met elkaar te verwisselen.

Om te zeggen, dat aan elke vergelijking, welke voor het oorspronkelijke systeem is op te schrijven, een geheel analoge vergelijking voor het duale systeem beantwoordt, moeten wij, op de wijze zoals hierboven is aangegeven, de elektrische grootheden van het oorspronkelijke systeem veranderen in overeenkomstige grootheden van het duale systeem. Een stroom i , b.v. gaat daarbij over in een spanning e .

Daar deze grootheden verschillende dimensies hebben, kunnen wij ze niet zonder meer aan elkaar gelijk stellen, maar moeten wij een dimensie-factor K invoeren, welke de dimensie van een weerstand heeft en waarvan wij de grootte willekeurig kunnen kiezen. Hebben wij op deze wijze $e = K \cdot i$ gesteld, dan geldt voor elk paar aan elkaar toegevoegde impedanties der twee duale netwerken, dat hun product gelijk aan K is. Vervangen wij de grootheden van het eerste systeem door de grootheden van het duale systeem, dan krijgen we in overeenstemming met het hierboven genoemde: $C = L/K^2$, $L = K^2 C$, $R = K^2 G$, $e = K \cdot i$, $i = e/K$.

Daar alleen van planaire netwerken een duaal schema is te tekenen rijst de vraag in hoeverre van het dualiteitsprincipe voor de elektrische nabootsing van de waterbeweging op een stelsel benedenrivieren gebruik kan worden gemaakt. In fig. 15 is het stelsel van benedenrivieren getekend, waarvoor een elektrisch vervangingschema getekend zal worden met het daaraan toegevoegde duale schema.



Uit het schema van bijlage II blijkt, dat het zonder meer niet mogelijk is, zonder kruisende lijnen het vervangingschema van de benedenrivieren te tekenen. Denkt men zich het netwerk aangeduid met Kil a weg, dan zal men het knooppunt 34 moeten verbinden met knooppunt 6. Dit is zonder kruisende lijnen onmogelijk, met gevolg dat aan de polyederformule niet kan worden voldaan.

Snijdt men echter de Kil in twee stukken, n.l. de Kil a en de Kil b en zorgt men voor twee nieuwe voorwaarden ter plaatse van de doorsnijding, dan is de zaak volkomen in orde. Deze nieuwe voorwaarden moeten zodanig gekozen worden, dat ter plaatse van de doorsnijding twee gelijke spanningen en twee gelijke doch tegengestelde stromen aanwezig zullen zijn. Denkt men n.l. op het netwerk ter plaatse van de doorsnijding bij de stukken Kil a en Kil b gelijkspanningen, dan zullen in het algemeen hierbij geen gelijke tegengestelde stromen behoren. Laat men deze spanningen variëren, doch zodanig dat de spanningen ter plaatse van de doorsnijding (Kil a = Kil b) gelijk zijn, dan zullen bij een bepaalde spanning E, gelijk gelijke doch tegengestelde stromen behoren.

In deze toestand verkregen, dan is de gehele toestand in het netwerk bepaald door de gegeven randvoorwaarden. Uit bovenomschreven methode zou volgen, dat door toepassing van een kunstgreep, welke bestaat uit het aanbrengen van een snede, het bezwaar van kruisende lijnen ondervangen kan worden.

Op bijlage II is tevens het duale schema getekend; ook hier is aan de polyederformule voldaan.

§ 6. Enkele eigenschappen van metaalgelijkrichters.

De uitdrukking voor het verband tussen het potentiaalverschil en stroom tengevolge van de weerstand, zoals deze laatste zich voordoet in de hydrodynamica, kan worden geschreven als:

$$g \cdot p \cdot (h_1 - h_2) = \pm \frac{g \cdot p \cdot K}{0.7748 A}$$

Stelt men eenvoudigheidshalve: $\frac{g \cdot p \cdot K}{0.7748 A} = A$ en schrijft men voor $\pm s^2$, $|s| \cdot s$, dan wordt $g \cdot p \cdot (h_1 - h_2) = A \cdot |s| \cdot s$.

Wordt de functie $g \cdot p \cdot (h_1 - h_2) = A \cdot |s| \cdot s$ grafisch voorgesteld, dan zou men in overeenstemming met de electrotechniek kunnen spreken van de stroom-spanningskarakteristiek. Zolang s positief is, stelt de functie $|s| \cdot s = s^2$, dat gedeelte van een parabool voor, dat gelegen is in het 1e kwadrant. Wordt s negatief, dan wordt $|s| \cdot s = -s^2$ en stelt deze functie dat gedeelte van een parabool voor, dat gelegen is in het 3e kwadrant. Beide gedeeltes der parabolen hebben het punt (0,0) gemeen. In onderstaande figuur is een stroomspanningskarakteristiek getekend, zoals deze in de hydrodynamica voorkomt.

In het algemeen kan voor de analytische uitdrukkingen van de stroomspanningskarakteristieken der metaalgelijkrichters worden geschreven:

$$I = A \cdot E^p \quad (\text{zie fig. 17})$$

Voor het gestelde doel moet $p = 2$ zijn. Uit bovenstaande uitdrukking voor de stroomspanningskarakteristiek der metaalgelijkrichters blijkt bovendien, dat deze duaal staat tegenover de uitdrukking voor het weerstandsverval uit de hydrodynamica. Uit $I = A \cdot E^p$ volgt, dat:

$$\log. I = \log. A + p \cdot \log. E.$$

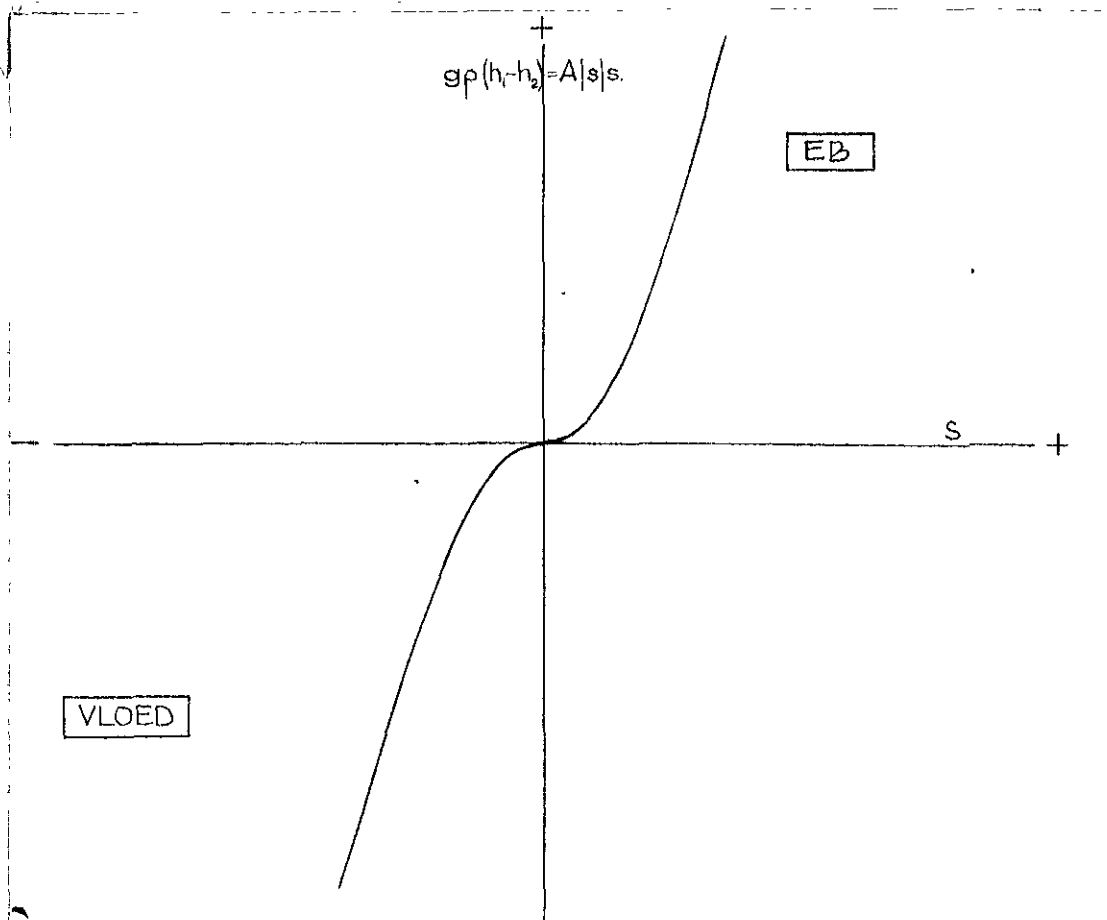


FIG. 16.

Deze functie stelt op dubbel log. papier een rechte lijn voor. De helling van de rechte stelt de graad van de parabool voor, terwijl de weerstand $A = \frac{I}{R^2}$, onmiddellijk afgelezen kan worden bij 1 Volt. (zie fig. 18)

Alle stroomspanningskarakteristieken der metaalgelijkrichters, waarvan de graad 2 bedraagt, lopen dus evenwijdig aan de rechte met $p=2$. Aan de hand van deze eenvoudige eigenschap kan onmiddellijk de graad van de parabool bepaald worden. Door 2 gelijkrichters tegengesteld te schakelen worden de stroomspanningskarakteristieken verkregen, welke corresponderen met die van fig. 16.

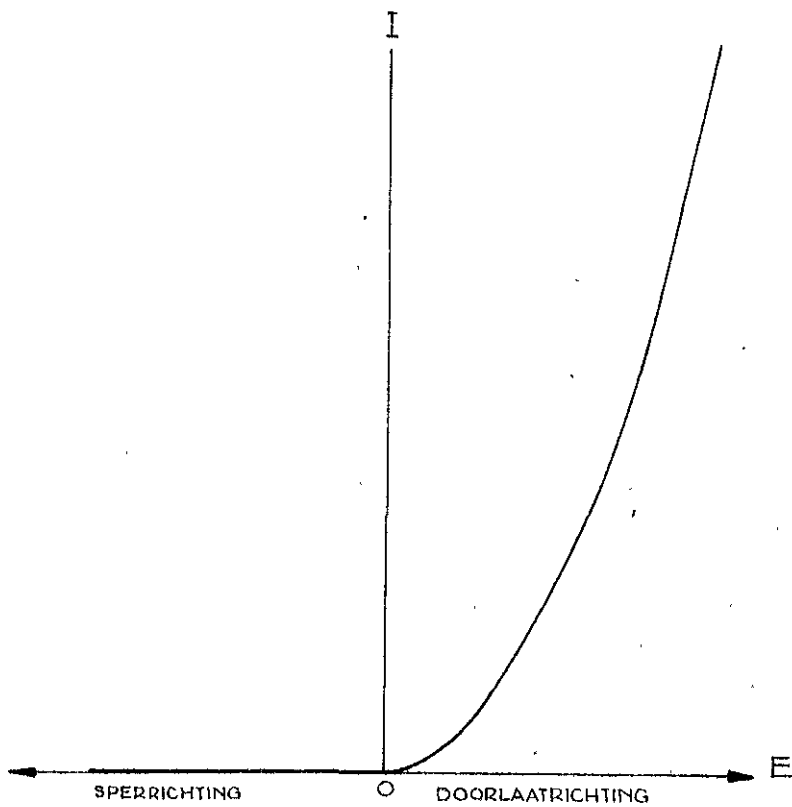
Voor het realiseren van de kwadratische weerstandsterm uit de hydrodynamica, werd bij het opstellen van de 4e proef gebruik gemaakt van de bovengenoemde eigenschappen van metaalgelijkrichters.

In de handel zijn verschillende typen van metaalgelijkrichters verkrijgbaar o.a.:

Westinghouse cellen,
Philips ventielen,
Selenium cellen.

Voor het hier gestelde doel, bleken voor zover over verschillende typen cellen beschikt kon worden, de Westinghouse J. cellen het beste te voldoen. Deze metaalgelijkrichters bestaan uit een koperen schijfje, waarop bij verhitting een laagje oxyde is aangebracht. De elektrische weerstand, welke in de richting oxyde Koper gemeten wordt is laag, terwijl in de tegengestelde richting de weerstand hoog is. Deze eigenaardigheid doet zich voor bij het verenigingspunt van het oxydelagje en het koperen is onafhankelijk van de contact oppervlakte, grenzende aan de oxydelag. Het actieve oppervlak is beschermd tegen atmosferische invloeden en tengevolge van van de beschermende materialen tegen inwerking van buitenaf zal de metaalgelijkrichter bestand zijn tegen aantasting.

Om het contact met de oxyde laag te verkrijgen, welke laatste een hard en mat oppervlak bezit, wordt weer een koperen schijfje aangebracht.



ALGEMENE STROOMSPANNINGS KARAKTERISTIEK
VAN METAAL-GELUKRICHTERS.

FIG 17.

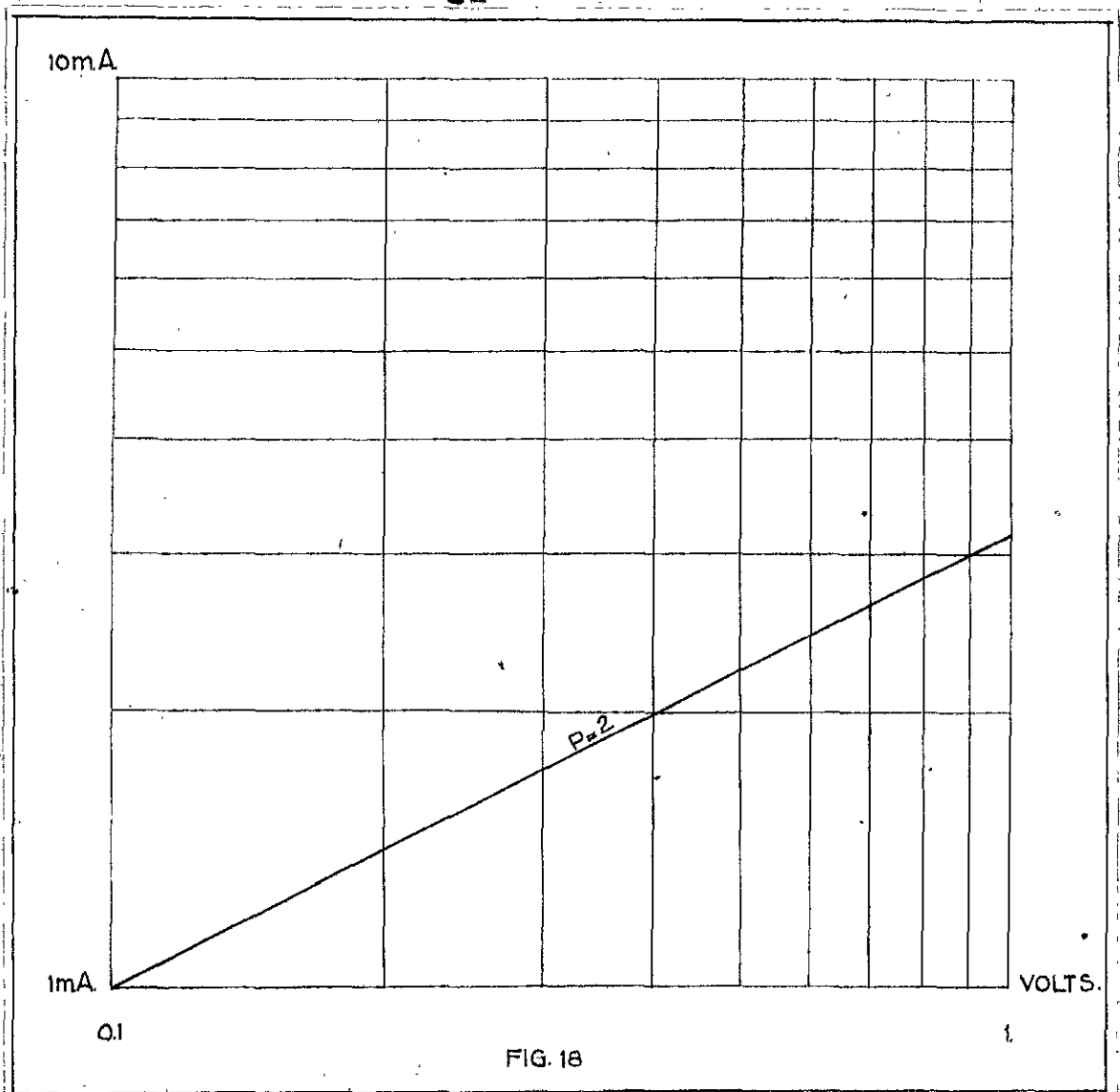


FIG. 18

Indien de gelijkrichter een groot potentiaal-verschil moet kunnen weerstaan, wordt een aantal van deze cellen in serie geplaatst terwijl ze bij grote stromen parallel geplaatst kunnen worden.

Door de Engelse firma Westinghouse worden verschillende typen metaalgelijkrichters gefabriceerd. Teneinde een inzicht te verkrijgen in de stroomspanningskarakteristieken werden z.g. Westinghouse J. cellen en Westinghouse H. cellen doorgemeten. Voor de gevolgde meetmethode wordt verwezen naar het "Aanhangsel".

In totaal werden 375 metingen verricht van het type J. Hiervan had $\pm 5\%$ een vrij zuiver kwadratisch verloop ($p=2$). Dit aantal was echter te gering, niet alleen omdat er meer cellen nodig waren, maar tevens moesten de cellen een zekere weerstandswaarde A bezitten.

Daarna werden nog 120 cellen type H, max. belasting $5mA$ gemeten. Hiervan hadden eveneens 5% een kwadratisch verloop. Deze cellen waren voor ons doel niet geschikt wegens te lage weerstand (waarde A te klein).

Daarom werden de cellen, waarvan het stroom-spanningsverloop minder dan 10% van het kwadratische verloop verschilden, eveneens geschikt geacht ($p=1,9-2,1$). Het bruikbare percentage steeg hierdoor tot 15% .

Door de oxydeleag van enige cellen met fijn schuurpapier te bewerken, werd p verkleind. Hierdoor was het mogelijk de cellen met een waarde p , een kwadratisch verloop te geven. Het aantal bruikbare cellen, met inbegrip van de beschuurde bedroeg nu 85 .

De metingen werden nog eens uitgevoerd, nadat de cellen 10 min. voorgewarmd waren met de max. toegelaten stroomsterkte (2,5mA). Dit laatste in tegenstelling met de eerste metingen, waarbij dit niet werd gedaan. De weerstandswaarden A bleken nu te verschillen met de uitkomsten van de eerste metingen. De waarden van p waren echter de zelfde gebleven, daar de stroom-spanningskarakteristieken zich op dubbel-log. papier // hadden verplaatst.

Uit deze metingen blijkt dus, dat de temperatuur de weerstandswaarde A beïnvloed, maar niet het karakter van de stroomspanningskarakteristiek.

De stroom-spanningskarakteristieken kunnen in het algemeen gesplitst worden in twee gedeeltes. Het eerste gedeelte (0-0,4V) heeft waarden van p schommelende om de waarden ± 3 , om daarna vrij plotseling in de waarde $p=2$ overtegaan. Bij alle cellen, onafhankelijk van hun Ohmse weerstand heeft dit plaats bij 0,4 V. (zie bijlage ...)

Daar de cellen een capaciteit bezitten is het noodzakelijk aan de te gebruiken cellen capaciteitsmetingen te verrichten.

Omdat de cellen een zekere weerstand hebben en tevens een bepaalde capaciteit kunnen deze beschouwd worden als een weerstand en een capaciteit parallel geschakeld. Voor de capaciteitsmetingen wordt verwezen naar het " Aanhangsel ". In het duale schema staan geleidingsvermogen en capaciteit parallel en dus in het oorspronkelijke systeem weerstand en zelfinductie in serie.

De capaciteit van een cel werkt in het oorspronkelijke systeem als een zelfinductie. Een gevolg hiervan is dat in het te bouwen duale schema de vereiste capaciteiten volgens de rivierfiguratie gecorrigeerd moeten worden met de eigen capaciteiten van de gelijkrichters (zie § ... tabel ... en het schema van bijlage 3).

§ 7. De omrekening van de éénheden uit de hydrodynamica in elektrische éénheden.

Gaat men uit van het technische éénhedenstelsel:

Éenheid van lengte: 1 meter
 " " kracht: 1 K.g.
 " " tijd: 1 sec.

dan volgt hieruit:

Éenheid van stroomsterkte: 1 m/sec.
 " " spanning: 1 K.g./m.

Uit de overeenkomsten tussen de simultaan optredende partiële differentiaal-vergelijkingen uit de hydrodynamica en de electro-techniek volgen de onderstaande analogieën:

		Dimensie
Hoeveelheid electriciteit (Coulomb)	→ Hoeveelheid water	l.
stroom (Ampère)	→ Stroom (afvoer)	l'.t.
Weerstand (Kwadr. weerstandseenheden)	→ Weerstand	Kr.l'.t.
Zelfinductie (Henry)	→ coëfficiënt	
	vermellingsterm	Kr.t'.l.
Capaciteit (Farad)	→ Capaciteit v/d	
	komberging	Kr.l.

Stel: 1 K.g./m - a volts
 1 m - b Coulomb
 1 t_w - c.t_e

t_w = tijdeenheid hydrodynamica.
 t_e = " " " electro-techniek.

We maken gebruik van spanningen met frequenties, welke evenredig zijn met 1000 Hz. De trillingstijd bedraagt dus 10⁻⁷ sec. In de getijbeweging duurt een trilling van het Maansgetij (M2) 12 h. 25 min. = 44700 sec. Daar de getijkrommen door middel van getijanalyse ontbonden kunnen worden in een aantal periodieke functies,

waarvan de tijd van één trilling op 44700 sec. kan worden gesteld, verkrijgt men de betrekking:

$$\alpha \cdot 10^{-3} t_e = e \cdot \alpha \cdot 44700 t_w.$$

$$e = 2,24 \cdot 10^{-11}$$

Deze constante e is dus onafhankelijk van de factor α .

De afvoer van een bovenrivier is steeds gegeven in m/sec., dit komt overeen met 1 Amp. Stelt men 1 m/sec. = 0,001 Amp. (het teken α betekent analoog met), dan volgt hieruit voor $b = 2,24 \cdot 10^{-11}$. Wordt verder 1 K.g./m = 0,01 m.V. gesteld, dan wordt $a = 0,01 \cdot 10^{-7}$.

De weerstand heeft een dimensie van $\frac{K \cdot l^{-2}}{(I \cdot V)^2} = K \cdot l^3 \cdot t^2$.

Hieruit volgt, dat de éénheid van weerstand uit de hydrodynamica overeenkomt met:

$$\frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{2,24 \cdot 10^{-11}}{2,24 \cdot 10^{-3}}\right)^2} = 10 \text{ elektrische kwadratische éénheden.}$$

De éénheid van zelfinductie wordt:

$$\frac{0,01 \cdot 10^{-3} \text{ Volt}}{\frac{0,001 \text{ Amp.}}{2,24 \cdot 10^{-3}}} = 2,24 \cdot 10^{-10} \text{ Henry.}$$

De éénheid van capaciteit wordt:

$$\frac{2,24 \cdot 10^{-11} \text{ Coulomb}}{0,01 \cdot 10^{-3} \text{ Volt}} = 2,24 \cdot 10^{-6} \text{ Farad.}$$

In tabel .2. zijn de waterloopkundige grootheden van de rivier de Lek met een oppervlaktewaterafvoer van 920 m³/sec. verzameld en eveneens de daarbij behorende gegevens van gemiddelde getijkrommen, die afgeleid werden uit gegevens van peilschaalstations.

De elektrische éénheden van het oorspronkelijke schema vindt men in tabel .3.

Het oorspronkelijke schema bestaat uit een aantal in serie geschakelde τ secties.

Om nu te zorgen, dat aan elke vergelijking welke voor het oorspronkelijke systeem opgeschreven kan worden, een geheel analoge vergelijking van het duale systeem beantwoordt, moet men op de wijze zoals in § 1 is aangegeven, de elektrische grootheden van het oorspronkelijke systeem veranderen in overeenkomstige grootheden van het duale systeem. Zo gaat b.v. de stroom I over in de spanning V . Daar deze beide grootheden verschillende dimensies hebben, kunnen we ze niet zonder meer aan elkaar gelijk stellen, maar mochten we de grootheid K invoeren, waarvan we de grootte willekeurig kunnen kiezen, maar die toch steeds de dimensie van de Ohmse weerstand moet hebben. Stellen we $V = KI$, dan geldt voor elk paar toegevoegde lineaire elementen (takken) der duale netwerken, dat hun product gelijk is aan K^2 .

Stel $K = 1$, dan gaat $E = AI^2$ na duale omvorming over in:

$$KI = \frac{A \cdot E}{K} \text{ of } K^2 = \frac{A \cdot E}{I} \text{ of } I = A \cdot E^2 \quad (K = 1)$$

Veronderstelt men, dat de stroom-spanningskarakteristiek van de vereiste metaal-gelijkrichter verloopt volgens de formule $I = A \cdot E^2$, dan worden de elektrische éénheden van het duale systeem vermeld in tabel .4.

De stroomspanningskarakteristieken der metaal-gelijkrichters met de waarden in tabel .4. voor A , vindt men op bijlage 4. Op deze bijlage is de sectieverdeling gevolgd, zoals deze in § 3 is aangegeven. De gelijkstroom bedraagt: 0,920 Amp., dit komt overeen met 920 m³/sec. In het duale systeem wordt deze stroom vervangen door 0,92 Volt.

De beginspanning (zie § 8) wordt uitgedrukt in de gebruikelijke éénheden der hydrodynamica:

$$0,47 + 0,681 \cos \omega t + 0,13 \cos(2\omega t - 50^\circ)$$

Vakken						
Bodemdiepte H.m.	6,35	5,80	5,45	5,65	5,75	5,95
Profielinhoud f.m.	1718	1305	1055	925	786	770
Hydr. str. R.m.	5,78	5,24	4,85	4,95	4,88	4,99
Watersp.br. h _w	296	248	215	186	160	153
Berg.br. B ₀	345	300	275	250	250	240
Langte l	8900	8150	10900	10250	10700	11800
C.f.R _m	3,93.10 ³	2,058.10 ³	1,242.10 ³	0,974.10 ³	0,694.10 ³	0,681.10 ³
b.g.h _m	16,85.10 ³	12,80.10 ³	10,35.10 ³	9,07.10 ³	7,71.10 ³	7,55.10 ³
B ₀ .x.	3,0705.10 ³	2,445.10 ³	2,9975.10 ³	2,5625.10 ³	2,675.10 ³	2,832.10 ³
C.f.R _m	0,226.10 ³	0,397.10 ³	0,878.10 ³	1,05.10 ³	1,54.10 ³	1,735.10 ³
b.g.h _m	0,529	0,638	1,055	1,13	1,39	1,56
P.R.	1000	1000	1000	1000	1000	1000
A = $\frac{B}{T}$	0,226.10 ³	0,397.10 ³	0,878.10 ³	1,05.10 ³	1,54.10 ³	1,735.10 ³
Zelfinductie	529	638	1055	1130	1390	1560
Capaciteit	3,0705.10 ³	2,445.10 ³	2,9975.10 ³	2,5625.10 ³	2,675.10 ³	2,832.10 ³

Tabel .3.

Vakken						
A	0,00226	0,00397	0,00878	0,01050	0,01540	0,01734
L	0,119 μH.	0,1435 μH.	0,237 μH.	0,254 μH.	0,312 μH.	0,350 μH.
C	6,88 m.F.	5,49 m.F.	6,72 m.F.	5,75 m.F.	6,- m.F.	6,35 m.F.

Tabel .4.

Vakken						
A	0,00226	0,00397	0,00878	0,01050	0,01540	0,01734
C	0,119 μF.	0,1435 μF.	0,237 μF.	0,254 μF.	0,312 μF.	0,350 μF.
L	6,88 m.H.	5,49 m.H.	6,72 m.H.	5,75 m.H.	6,- m.H.	6,35 m.H.

In het duale systeem wordt dit dan:

$$4,7 \text{ m.A.} + 6,81 \text{ m.A.} \cos \omega \cdot t + 1,3 \text{ m.A.} \cos(2\omega \cdot t - 50^\circ)$$

(zie bijlage 5)

Voor een onderverdeling van de riviersecties in vakjes zoals werd berekend in § 3 werd het electrisch schema opgezet en getekend op bijlage 3.

§ 8. Berekening van de te verwachten stromen - resp. spanningen bij de 4e proef.

Wil men de stromen en spanningen berekenen bij gebruikmaking van de quadratische weerstandswet, dan kan men de z.g. exacte methode toepassen (voor de te gebruiken formule zie men § 1.).

Wegens de onmogelijkheid van een gesloten integratie gaat men over tot reeksontwikkeling. Bij de diverse beschikbare berekeningsmethoden voor de getijbeweging op beneden-rivieren wordt een verband gelegd tussen de bekend onderstelde waterhoogte en stroom aan het ene uiteinde van een betrekkelijk korte geul en de onbekende waterhoogte en stroom aan het andere einde. Bij een exacte berekening verloopt de berekening als volgt:

Gegeven is het spanningsverloop (verticaal getij) aan de mond en bovendien de gelijkstroom (opperwaterafvoer). Men moet dan aan de mond de stroomkromme schatten en met deze stroomkromme en de gegeven spanningskromme de rivier doorrekenen. Op de plaats waar het getij uitgestorven is (de wisselspanning-nul) zal de stroomkromme overgegaan zijn in de gegeven gelijkstroom. Over het algemeen zal na de 1e berekening hieraan niet voldaan zijn. Men moet dan de stroomkromme aan de mond corrigeren en de berekeningen zolang herhalen totdat aan de voorwaarden voldaan is.

Deze methode, hoewel ze tot de meest nauwkeurige berekeningsmethoden behoort, vereist veel routine en kennis van zaken. De in deze nota gevolgde berekeningsmethode berust op het lineariseren van de kwadratische weerstandsterm.

Bij de 4e proef werd als spanning aan de benedenmond aangenomen: $0,47 + 0,681 \cos(\omega \cdot t - 112^\circ) + 0,13 \cos(2\omega \cdot t - 162^\circ)$ en voor de gelijkstroom 920 m/sec . Bij deze proef wordt een constante diepte verondersteld. Na verwaarlozing van de Bernoulli-invloed wordt de bewegingsvergelijking:

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = - \frac{1}{g \cdot x} \frac{\partial \xi}{\partial t} - \frac{|\xi| \cdot \xi}{\sigma \cdot x^3 \cdot H}$$

Hieraan wordt toegevoegd de continuïteitsvergelijking:

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = - B \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$$

Stelt men nu:

$$\begin{aligned} \xi &= \xi + \xi_1 \cos(\omega t - \phi) + \xi_2 \cos(2\omega t - \phi) + \xi_3 \cos(3\omega t - \phi) \\ h &= H + \eta_1 \cos(\omega t - K) + \eta_2 \cos(2\omega t - K) + \eta_3 \cos(3\omega t - K) \\ \xi &= \xi + \eta_1 \cos(\omega t - K) + \eta_2 \cos(2\omega t - K) + \eta_3 \cos(3\omega t - K) \end{aligned}$$

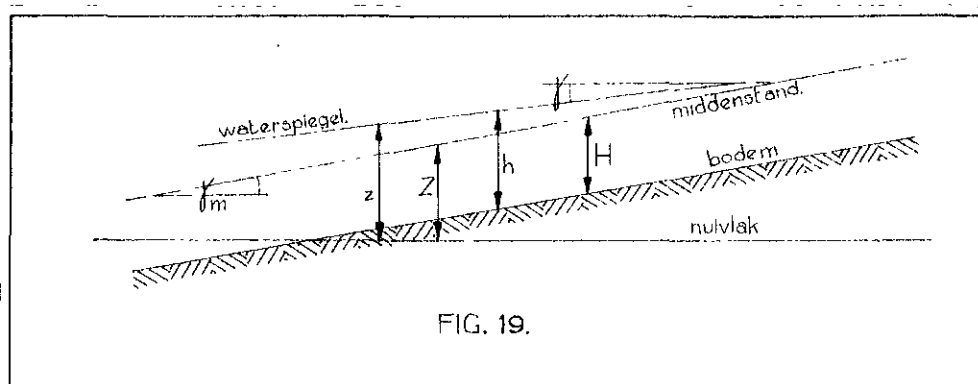


FIG. 19.

Daar de gelijkstroom (opperwaterafvoer) hier hoog is, wordt verwacht dat de stroom steeds een abtroom zal zijn, d.w.z. de stroom behoudt steeds hetzelfde teken.

De kwadratische weerstandsterm, uit de bewegingsvergelijking wordt dan, indien we de factor $\frac{g}{U^2 R^2 H}$ buiten beschouwing laten vanwege de aangenomen constante diepte:

$$\begin{aligned} & \left\{ s + \sigma_0 \cos(\omega t - \varphi) + \sigma_1 \cos(2\omega t - \varphi) + \sigma_2 \cos(3\omega t - \varphi) \right\}^2 = \\ & s^2 \left\{ 1 + \frac{\sigma_0}{s} \cos(\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_1}{s} \cos(2\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_2}{s} \cos(3\omega t - \varphi) \right\}^2 = \\ & s^2 \left\{ 1 + \frac{\sigma_0^2}{2s^2} + \frac{\sigma_1^2}{2s^2} + \frac{\sigma_2^2}{2s^2} + \frac{2\sigma_0}{s} \cos(\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_1}{s^2} \cos(\omega t - \varphi + \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(\omega t - \varphi + \varphi) \right. \\ & + \frac{2\sigma_1}{s} \cos(2\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_1^2}{2s^2} \cos 2(\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_1}{s^2} \cos(2\omega t - \varphi + \varphi) \\ & + \frac{2\sigma_2}{s} \cos(3\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(3\omega t - \varphi - \varphi) + \frac{\sigma_1 \sigma_2}{2s^2} \cos(4\omega t - 2\varphi) \\ & \left. + \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(4\omega t - \varphi - \varphi) + \frac{\sigma_1 \sigma_2}{s^2} \cos(5\omega t - \varphi - \varphi) + \frac{\sigma_2^2}{2s^2} \cos(6\omega t - 2\varphi) \right\} \end{aligned}$$

Dat in bovenstaande herleiding termen voorkomen van een andere vorm, dan $\cos(\omega t - \varphi)$, $\cos(2\omega t - \varphi)$ en $\cos(3\omega t - \varphi)$ vindt zijn oorszaak in het feit dat tengevolge van het kwadratische karakter van de weerstand bovengetijden en samengestelde getijden ontstaan.

Zo ontstaat naast de term $\frac{\sigma_0}{s} \cos(\omega t - \varphi)$ een term $\frac{\sigma_0 \sigma_1}{s^2} \cos 2(\omega t - \varphi)$, welke de dubbele frequentie bezit.

Na invoering van de termen van blz. in de bewegingsvergelijking worden gesplitst in termen welke constant zijn, termen met ω , 2ω , 3ω enz. frequentie. Men verkrijgt dan:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial x} &= \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{\partial \eta_0 \cos(\omega t - k)}{\partial x} + \frac{\partial \eta_1 \cos(2\omega t - k)}{\partial x} + \frac{\partial \eta_2 \cos(3\omega t - k)}{\partial x} = \\ & - \frac{1}{s \cdot I} \cdot \left\{ \frac{\partial \sigma_0 \cos(\omega t - \varphi)}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_1 \cos(2\omega t - \varphi)}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_2 \cos(3\omega t - \varphi)}{\partial t} \right\} + \\ & - \frac{s^2}{U^2 R^2 H} \left[\left\{ 1 + \frac{\sigma_0^2}{2s^2} + \frac{\sigma_1^2}{2s^2} + \frac{\sigma_2^2}{2s^2} \right\} + \left\{ \frac{2\sigma_0}{s} \cos(\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_1}{s^2} \cos(\omega t - \varphi + \varphi) + \right. \right. \\ & + \left. \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(\omega t - \varphi + \varphi) \right\} + \left\{ \frac{2\sigma_1}{s} \cos(2\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_1^2}{2s^2} \cos 2(\omega t - \varphi) + \right. \\ & + \left. \frac{\sigma_0 \sigma_1}{s^2} \cos(2\omega t - \varphi + \varphi) \right\} + \left\{ \frac{2\sigma_2}{s} \cos(3\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(3\omega t - \varphi - \varphi) \right\} + \\ & + \left\{ \frac{\sigma_1 \sigma_2}{2s^2} \cos(4\omega t - 2\varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(4\omega t - \varphi - \varphi) \right\} + \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(5\omega t - \varphi - \varphi) \\ & + \left. \frac{\sigma_2^2}{2s^2} \cos(6\omega t - 2\varphi) \right] \end{aligned}$$

Na de splitsing verkrijgt men:

$$a. \quad \frac{\partial Z}{\partial x} = m = - \frac{1}{U^2 R^2 H} \left\{ 1 + \frac{\sigma_0^2}{2s^2} + \frac{\sigma_1^2}{2s^2} + \frac{\sigma_2^2}{2s^2} \right\}$$

$$b. \quad \frac{\partial \eta_0 \cos(\omega t - k)}{\partial x} = - \frac{1}{U^2 R^2 H} \cdot \frac{\partial \sigma_0 \cos(\omega t - \varphi)}{\partial t} - \frac{s^2}{U^2 R^2 H} \cdot \left\{ \frac{2\sigma_0}{s} \cos(\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_1}{s^2} \cos(\omega t - \varphi + \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_2}{s^2} \cos(\omega t - \varphi + \varphi) \right\}$$

$$c. \quad \frac{\partial \eta_1 \cos(2\omega t - k)}{\partial x} = - \frac{1}{U^2 R^2 H} \cdot \frac{\partial \sigma_1 \cos(2\omega t - \varphi)}{\partial t} - \frac{s^2}{U^2 R^2 H} \cdot \left\{ \frac{2\sigma_1}{s} \cos(2\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_1^2}{2s^2} \cos 2(\omega t - \varphi) + \frac{\sigma_0 \sigma_1}{s^2} \cos(2\omega t - \varphi + \varphi) \right\}$$

$$\frac{\partial \eta \cos(3\omega t - \varphi)}{\partial x} = -\frac{1}{g \cdot x} \cdot \frac{\partial \eta \cos(3\omega t - \varphi)}{\partial t} - \frac{S^2}{0.17 \cdot R} \cdot \left\{ \frac{2 \sqrt{S}}{S} \cos(3\omega t - \varphi) + \right.$$

$$\left. + \frac{\sqrt{S}}{S} \cos(3\omega t - \varphi - \varphi) \right\}$$

De hogere harmonischen worden verder niet beschouwd.

In de vergelijking b. treden twee termen op welke als z.g. "correctbekrachten" opgevat kunnen worden. Heeft men aanvankelijk deze termen verwaarloosd, dan kan het getij met ω frequentie, welke ontstaat uit de aan de mond gegeven spanning met ω frequentie, worden berekend. Dit kan men eveneens toepassen op de vergelijkingen c. en d. Men kan nu de verkregen differentiaalvergelijkingen b. c. en d. als volgt integreren. Daar ze voor alle 3 gelijk verlopen, zal de integratie alleen voor b. worden behandeld.

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{g \cdot x} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{S^2}{0.17 \cdot R} \cdot \frac{2}{S} \cdot \eta$$

Differentieert men deze vergelijking naar x dan verkrijgt men:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = -\frac{1}{g \cdot x} \cdot \frac{\partial^2 \eta}{\partial t \cdot \partial x} - \frac{2S}{0.17 \cdot R} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x}$$

In verband met de continuïteitsvergelijking $\frac{\partial \eta}{\partial x} + - B_0 \cdot \frac{\partial \eta}{\partial t}$ Verkrijgt men:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = + \frac{1}{g \cdot x} \cdot B_0 \cdot \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{B_0 \cdot S}{0.17 \cdot R} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial t}$$

Substitueert men nu in deze lineaire vergelijking voor een functie, welke de tijd uitsluitend in de exponentiële functie $e^{j\omega t}$ bevat, dan kunt men tot een gewone differentiaalvergelijking, waarvan een oplossing is te vinden door aan te nemen dat η de coördinaat x in de vorm van een dergelijke functie bevat, zodat gesteld kan worden:

$$\eta = A \cdot e^{j\omega t + rx}$$

waarbij r in het algemeen complex zal zijn, omdat langs een getijrivier zowel amplitude als fase van het hoofdgetij veranderen.

Indien men de coëfficiënt $r = \mu + vi$ stelt dan geeft e^r de relative verandering van de amplitude en v de verandering van het kappagetal, beide per éénheid van lengte. μ kan worden aangeduid als de dempingcoëfficiënt, v vertragingcoëfficiënt en r als de voortplantingscoëfficiënt. Tussen r en ω bestaat een betrekking, welke volgt door in $\eta = A \cdot e^{j\omega t + rx}$ te substitueren en dan te delen door $A \cdot e^{j\omega t + rx}$. Er ontstaat dan een vergelijking welke de karakteristieke vergelijking van het vakgenoemde wordt:

$$r^2 = -\frac{B_0 \cdot \omega^2}{g \cdot x} + \frac{B_0 \cdot j \cdot \omega \cdot 2 \cdot S}{0.17 \cdot R}$$

Deze vergelijking levert twee gelijke doch tegengestelde waarden voor r op.

De meest algemene oplossing kan dan worden voorgesteld door:

$$\eta = C_1 \cdot e^{j\omega t + rx} + C_2 \cdot e^{j\omega t - rx}$$

Met behulp van de continuïteitsvergelijking volgt dan voor :

$$\sigma = -\frac{B_0 \cdot \omega \cdot i}{x} \cdot C_1 \cdot e^{j\omega t + rx} + \frac{B_0 \cdot \omega \cdot i}{x} \cdot C_2 \cdot e^{j\omega t - rx}$$

Duidt men het beginpunt van een riviersectie aan met de index a. het eindpunt L met de index l, dan geldt voor A, dat $x = 0$, zodat geldt, met weglating van de algemene factor $e^{j\omega t}$:

$$\eta_a = C_1 + C_2 \text{ en } \sigma_a = -\frac{B_0 \cdot \omega \cdot i}{x} \cdot C_1 + \frac{B_0 \cdot \omega \cdot i}{x} \cdot C_2$$

waaruit C_1 en C_2 zijn op te lossen:

$$C_1 = \frac{\eta_a}{2} - \frac{F}{2B \cdot \omega \cdot J}$$

$$C_2 = \frac{\eta_a}{2} + \frac{F}{2B \cdot \omega \cdot J}$$

Substitueert men deze waarden in f. en g., daarbij $x = l$ stellende, dan vindt men:

$$\eta_1 = \eta_a \cdot \frac{e^{rl} + e^{-rl}}{2} + C_a \cdot \frac{F}{B \cdot \omega \cdot J} \cdot \frac{e^{rl} - e^{-rl}}{2}$$

$$\sigma_1 = -\frac{\eta_a \cdot B \cdot \omega \cdot J}{F} \cdot \frac{e^{rl} - e^{-rl}}{2} + C_a \cdot \frac{e^{rl} + e^{-rl}}{2}$$

Deze vergelijkingen gelden voor een bovenafvoer volgens de richting van de positieve X-as, m.a.w. A is het bovenstroomse, L het benedenstroomse einde van het vak. Korthedshalve kan men deze vergelijkingen ook schrijven als:

$$\eta_{\pm} = L \cdot \eta_a + M \cdot \sigma_a$$

$$\sigma_{\pm} = N \cdot \eta_a + O \cdot \sigma_a$$

Deze uitdrukking voor η_{\pm} zal nu gecorrigeerd moeten worden met het verval voortvloeiende uit de correctietermen. Stel dit verval voor door α . De uitdrukking voor σ_{\pm} zal dan gecorrigeerd moeten worden met een stroom β , behorende bij het correctieveral α .

De uitdrukkingen voor η_{\pm} en σ_{\pm} worden nu:

$$\eta_{\pm} = L \cdot \eta_a + M \cdot \sigma_a + \alpha$$

$$\sigma_{\pm} = N \cdot \eta_a + O \cdot \sigma_a + \beta$$

De correctietermen α en β kunnen nu als volgt worden berekend. Heeft men de voortplanting van de 1e harm., 2e harm. enz. berekend welke uit de randvoorwaarden ontstaan, zonder de correctietermen in rekening te brengen, dan zijn de waarden $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \eta_0, \eta_1, \eta_2$ en bekend zodat hun gemiddelde waarden bekend zijn op een riviersectie. Om het totale verval der correctietermen in het punt L. moet men de correctietermen, welke de dimensie van verhang hebben met 1 vermenigvuldigen. Uit de continuïteitsvergelijking volgt voor de bijbehorende stroom, uitgaande van de veronderstelling, dat het verval lineair toeneemt met de afstand:

$$\beta = -\frac{E \cdot l}{2} \cdot \frac{d\sigma}{dx}$$

De berekeningen zijn uitgevoerd op de bijlagen 1, 1 t/m 31, terwijl op de bijlagen 6-7-8- de resultaten grafisch zijn voorgesteld.

De resultaten van de berekeningen zijn hieronder in tabelvorm verzameld. De berekende spanningen aan het begin van ieder riviervakje waren als volgt:

	Verticaal getij.					
	Midden-standan	M2.		M4.		M6.
Krimpen a/d Lek.	0,47 0,584	0,681 0,681	cos(wt-112) cos(wt-121)	0,13 0,129	cos(2wt-162) cos(2wt-180)	(randvoorwaarde) 0,00664 cos(3wt-294)
Streefkerk.	0,691 0,871	0,588 0,519	cos(wt-128) cos(wt-139)	0,123 0,108	cos(2wt-192) cos(2wt-212)	0,01073 cos(3wt-310) 0,01161 cos(3wt-312)
Schoonhoven.	1,047 1,426	0,463 0,361	cos(wt-148) cos(wt-166)	0,096 0,070	cos(2wt-229) cos(2wt-259)	0,01133 cos(3wt-342) 0,01132 cos(3wt- 14)
Jaarsveld.	1,800 2,247	0,289 0,225	cos(wt-183) cos(wt-202)	0,053 0,038	cos(2wt-286) cos(2wt-315)	0,00908 cos(3wt- 44) 0,00574 cos(3wt- 78)
Vreeswijk.	2,691 3,125 3,558	0,177 0,141 0,112	cos(wt-217) cos(wt-231) cos(wt-245)	0,027 0,020 0,015	cos(2wt-341) cos(2wt-363) cos(2wt- 23)	0,00368 cos(3wt-126) 0,00184 cos(3wt-159) 0,00108 cos(3wt-202)
Oulenburg.	3,991 4,483 4,978	0,089 0,069 0,053	cos(wt-260) cos(wt-274) cos(wt-289)	0,011 0,008 0,005	cos(2wt- 47) cos(2wt- 70) cos(2wt- 94)	0,00064 cos(3wt-246) 0,00035 cos(3wt-292) 0,00020 cos(3wt-339)

	Horizontaal getij.					
	Boven afvoer.	M2.		M4.		M6.
Krimpen a/d Lek.	920	586	cos(wt-239)	189	cos(2wt-304)	26 cos(3wt- 67)
Streefkerk.	920	473	cos(wt-248)	152	cos(2wt-318)	21 cos(3wt- 83)
Schoonhoven.	920	371	cos(wt-259)	117	cos(2wt-336)	18 cos(3wt- 96)
Jaarsveld.	920	299	cos(wt-270)	92	cos(2wt-352)	17 cos(3wt-113)
Vreeswijk.	920	239	cos(wt-283)	70	cos(2wt-372)	15 cos(3wt-131)
Oulenburg.	920	173	cos(wt-298)	49	cos(2wt-399)	8 cos(3wt-166)
Krimpen a/d Lek.	920	123	cos(wt-317)	40	cos(2wt- 77)	6 cos(3wt-202)
Streefkerk.	920	90	cos(wt-334)	22	cos(2wt- 93)	4 cos(3wt-229)
Schoonhoven.	920	65	cos(wt-353)	14	cos(2wt-121)	2 cos(3wt-298)
Jaarsveld.	920	51	cos(wt- 7)	10	cos(2wt-142)	1 cos(3wt-305)
Vreeswijk.	920	40	cos(wt- 22)	7	cos(2wt-164)	0,7 cos(3wt-347)
Oulenburg.	920	31	cos(wt- 37)	5	cos(2wt-186)	0,4 cos(3wt- 22)
Krimpen a/d Lek.	920	24	cos(wt- 51)	4	cos(2wt-209)	0,2 cos(3wt- 77)
Streefkerk.	920	19	cos(wt- 66)	2	cos(2wt-220)	0,1 cos(3wt-122)

Rekening houdende met de elektrische eenheden voor het duale netwerk zal men voor de 4e proef de volgende stromen en spanningen moeten vinden:

	Stromen in mA					
	gelijk-stroom.	1000 Hz.		2000 Hz.		3000 Hz.
Krimpen a/d Lek.	4,7 5,84	6,81 6,805	cos(wt-112) cos(wt-121)	1,3 1,29	cos(2wt-162) cos(2wt-180)	0,0664 cos(3wt-294)
Streefkerk.	6,91 8,71	5,877 5,192	cos(wt-128) cos(wt-139)	1,233 1,081	cos(2wt-192) cos(2wt-212)	0,1073 cos(3wt-310) 0,1161 cos(3wt-312)
Schoonhoven.	10,47 14,26	4,628 3,611	cos(wt-148) cos(wt-166)	0,959 0,70	cos(2wt-229) cos(2wt-259)	0,1133 cos(3wt-342) 0,1132 cos(3wt- 14)
Jaarsveld.	18,00 22,47	2,893 2,245	cos(wt-183) cos(wt-202)	0,529 0,377	cos(2wt-286) cos(2wt-315)	0,0908 cos(3wt- 44) 0,0574 cos(3wt- 78)
Vreeswijk.	26,91 31,25 35,58	1,77 1,40 1,118	cos(wt-217) cos(wt-231) cos(wt-245)	0,2745 0,2 0,147	cos(2wt-341) cos(2wt- 3) cos(2wt- 23)	0,0368 cos(3wt-126) 0,0184 cos(3wt-159) 0,0108 cos(3wt-202)
Oulenburg.	39,91 44,83 49,78	0,892 0,690 0,533	cos(wt-260) cos(wt-274) cos(wt-289)	0,108 0,075 0,053	cos(2wt- 47) cos(2wt- 70) cos(2wt- 94)	0,0064 cos(3wt-246) 0,0035 cos(3wt-292) 0,0020 cos(3wt-339)

Spanningen in Volts.

	Gelijkspanningen.	1000 Hz.	2000 Hz.	3000 Hz.
Krimpen a/d Lek.	0,92	0,586 cos($\omega t - 239^\circ$)	0,189 cos($2\omega t - 304^\circ$)	0,026 cos($3\omega t - 67^\circ$)
	0,92	0,473 cos($\omega t - 248^\circ$)	0,152 cos($2\omega t - 318^\circ$)	0,021 cos($3\omega t - 83^\circ$)
Streefkerk.	0,92	0,571 cos($\omega t - 259^\circ$)	0,117 cos($2\omega t - 336^\circ$)	0,0184 cos($3\omega t - 96^\circ$)
	0,92	0,299 cos($\omega t - 270^\circ$)	0,092 cos($2\omega t - 352^\circ$)	0,0171 cos($3\omega t - 115^\circ$)
Schoonhoven.	0,92	0,239 cos($\omega t - 283^\circ$)	0,070 cos($2\omega t - 12^\circ$)	0,0147 cos($3\omega t - 131^\circ$)
	0,92	0,173 cos($\omega t - 298^\circ$)	0,049 cos($2\omega t - 39^\circ$)	0,0080 cos($3\omega t - 166^\circ$)
Jaarsveld.	0,92	0,123 cos($\omega t - 317^\circ$)	0,040 cos($2\omega t - 77^\circ$)	0,0058 cos($3\omega t - 202^\circ$)
	0,92	0,090 cos($\omega t - 334^\circ$)	0,022 cos($2\omega t - 93^\circ$)	0,0038 cos($3\omega t - 229^\circ$)
Vreeswijk.	0,92	0,065 cos($\omega t - 353^\circ$)	0,014 cos($2\omega t - 121^\circ$)	0,0019 cos($3\omega t - 298^\circ$)
	0,92	0,051 cos($\omega t - 367^\circ$)	0,010 cos($2\omega t - 142^\circ$)	0,0011 cos($3\omega t - 305^\circ$)
	0,92	0,040 cos($\omega t - 22^\circ$)	0,007 cos($2\omega t - 164^\circ$)	0,0007 cos($3\omega t - 347^\circ$)
Gulemborg.	0,92	0,031 cos($\omega t - 37^\circ$)	0,005 cos($2\omega t - 186^\circ$)	0,0004 cos($3\omega t - 22^\circ$)
	0,92	0,024 cos($\omega t - 51^\circ$)	0,004 cos($2\omega t - 209^\circ$)	0,0002 cos($3\omega t - 77^\circ$)
	0,92	0,019 cos($\omega t - 66^\circ$)	0,002 cos($2\omega t - 220^\circ$)	0,0001 cos($3\omega t - 122^\circ$)

§ 9. Beschrijving van de 4e proef met uitkomsten.

Evenals de 2e en 3e proef (zie 1e stuk) werd ook de 4e proef verricht in het laboratorium voor kabeltelegrafie van de P.T.T.

Tijdens de voorbereiding en gedurende de opstelling van het instrumentarium, stond Ir. Z.W. van Soest ons terzijde en veel is te danken aan zijn raadgevingen en technische hulp.

Zoals ook reeds uit de vorige paragrafen is gebleken, was het onmiddellijke doel van de 4e proef, de kwadratische weerstandswet elektrisch te realiseren. De veranderingen van de diepten en de kombergingsbreedten tijdens de getij-beweging benevens de Bernoulli invloed werden buiten beschouwing gelaten. Daar de realisatie van de kwadratische weerstandswet verkregen moet worden met behulp van de in § 5. besproken metaalgelijkrichters, werd het duale schema van de Lek op bijlage 3 getekend. De riviersecties werden volgens de in § 3. berekende aantallen riviervakjes onderverdeeld. In het oorspronkelijke Lekschema, dat dus elektrisch niet onmiddellijk is te realiseren, zou een riviervakje gelimiteerd kunnen worden door een T netwerk (zie fig. 20).

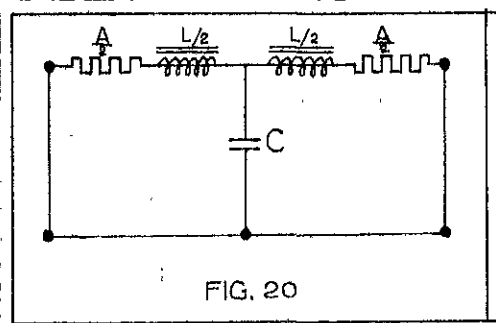


FIG. 20

De weerstanden welke in fig. 20 voorkomen zijn dus elementen, welke op één of andere manier voldoen aan de wet $R = \pm AI^2$, waarin I uitgedrukt in elektrische eenheden overeenkomt met de betreffende rivierconstante K_{rivier} .

De zelfinducties, welke in serie voorkomen met de weerstandselementen, zijn analoog met de uitdrukking voor de veranellung, $L/2$ uitgedrukt in elektrische eenheden correspondeert met de rivierconstante K_{rivier} .

De parallel geschakelde condensator C uitgedrukt in elektrische eenheden correspondeert met de kombergingsoppervlakte $B_{\text{komberging}}$.

Het duale schema van fig. 20 vindt men afgebeeld in fig. 21. (zie § 5.)

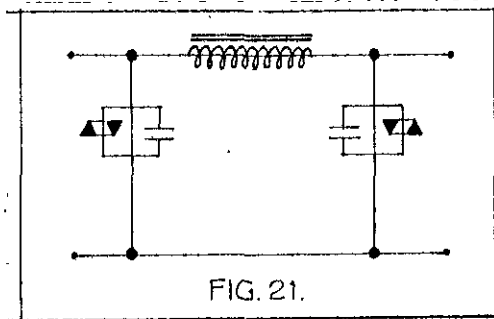


FIG. 21.

In het duale netwerk (fig. 17) is de weerstandswet $I = \pm A\dot{E}$ elektrisch gerealiseerd door 2 tegengestelde geschakelde metaalgelijkrichters.

Het getijprobleem op de Lek is volkomen bepaald indien gegeven zijn:

- 1e. De bodemfiguratie.
- 2e. De verticale getijkromme aan de ben. mond v.d. Lek
- 3e. De bovenafvoer.

Bij de 4e proef is de randvoorwaarde bij Krimpen a/d

Lek gegeven en luidt: $0,47 + 0,618 \cos \omega t + 0,13 \cos(2\omega t - 50)$, (in meters).

In elektrische eenheden wordt dit (zie § 7) en na duale omvorming $I_k = 4,7 \text{ mA} + 6,81 \text{ mA} \cos \omega t + 1,3 \text{ mA} \cos(2\omega t - 50)$.

De bovenafvoer bedraagt 920 m/sec. of ook uitgedrukt in elektrische eenheden en na duale omvorming 0,92 Volt. Bestudeert men het duale schema van de Lek op bijlage 3, dan ziet men onmiddellijk dat deze 0,92 V. over de gehele lengte van de rivier gehandhaafd blijft. Hierbij wordt verondersteld, dat de in serie voorkomende spoelen geen Ohmse weerstand bezitten. Technisch is dit echter niet te verwezenlijken, daar altijd in de spoelen spanningsverliezen zullen optreden. Bij de 4e proef werden de Ohmse weerstanden der spoelen zo laag mogelijk gehouden. De spanningsverliezen tengevolge van deze Ohmse weerstanden der spoelen corresponderen met de Lek verliezen uit de hydrodynamica, d.w.z. verliezen van de bovenafvoer tengevolge van aftappingsen, kwel en Lek verliezen.

De randvoorwaarde te Krimpen a/d Lek bestaat in het duale schema uit een gelijkstroom, waarop gesuperponeerd een grondharmonische (M2) met een freq. van 1000 Hz. en een bovenharmonische (M4) van 2000 Hz. Van de 1000 Hz. en 2000 Hz. generatoren vindt men afbeeldingen op foto 1. Voor de elektrotechnische uitvoering wordt verwezen naar het "Aanhangsel".

Het Lekschema zelf is gemonteerd op een plank met opstaand voorpaneel.

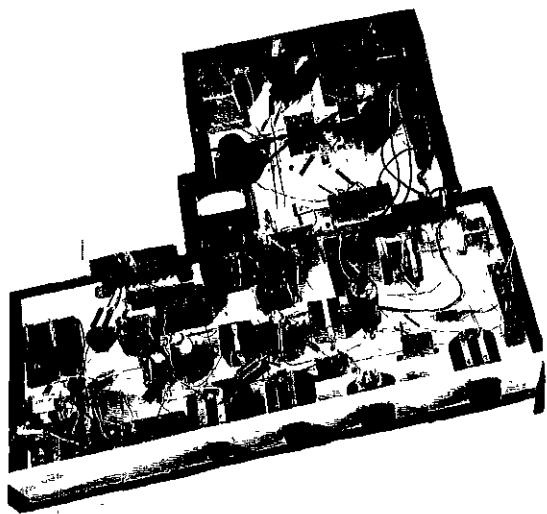


foto 1.

1000- en 2000 Hrz. generatoren.

Op het horizontale plankje achter dit paneel zijn de verschillende onderdelen gemonteerd, welke nodig waren voor de elektrische realisatie van de rivier de Lek.

Op het voorpaneel zijn U-links gemonteerd, welke corresponderen met de meetplaatsen van bijlage 9a, aangegeven met de cijfer 1-2 t/m 49-50. Zie ook foto 2.

Zoals reeds in het voorafgaande werd opgemerkt, zal de bij Wijk bij Duurstede opgedrukte 0,92 V. zich, behoudens de spanningsverliezen tengevolge van de Ohmse weerstanden der spoelen, handhaven.

In de waterbeweging stemt hiermee overeen de bovenafvoer van 920 m/sec welke zich in een onvertakte rivier handhaaft behoudens aftappingsen kwel en lek verliezen. De bij deze 0,92 Volt behorende gelijkstroom correspondeert met de middenstanden op de rivier. De gelijkstroom en

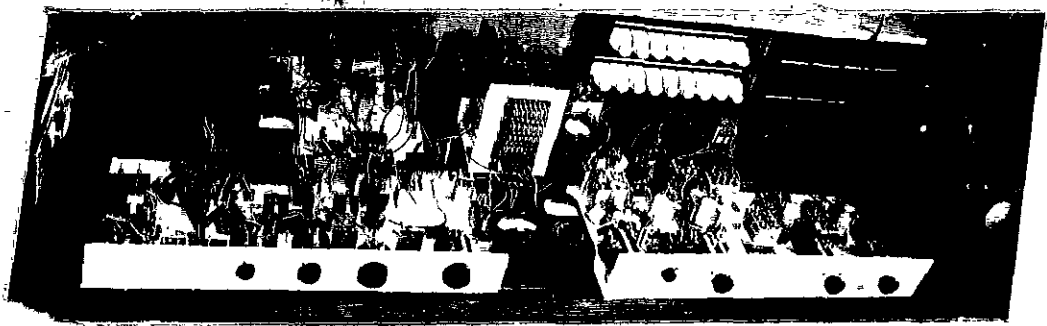


foto 2. Opstelling 4e proef.

werden ter plaatse, waar men de gelijkstroom wenst te weten, gemeten via een normaal weerstand van 1Ω en via de spanning over deze weerstand met behulp van een hoog-ohmige millivoltmeter. Daar $E = IR$ en $R = 1$ kan de stroom onmiddellijk van de millivoltmeter afgelezen worden. De gelijkspanning wordt gemeten met een hoog-ohmige voltmeter, welke geschakeld wordt tussen aarde en het gewenste meetpunt. De voltmeter zal dan direct aanwijzen de ter plaatse heersende gelijkspanning ($0,92 \text{ V.}$), voorstellende opperwaterafvoer van de rivier.

Een overeenkomstige meetmethode is voor de wisselstromen resp. wisselspanningen niet mogelijk en wel om de volgende redent:

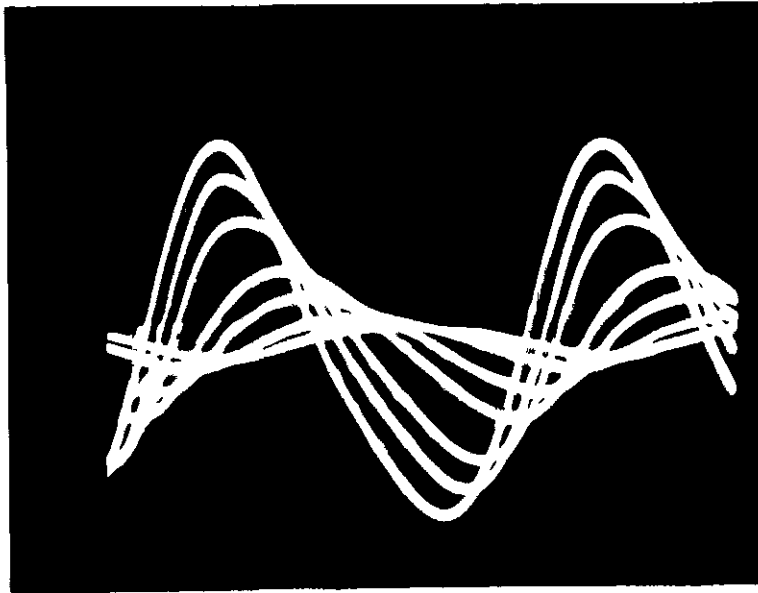
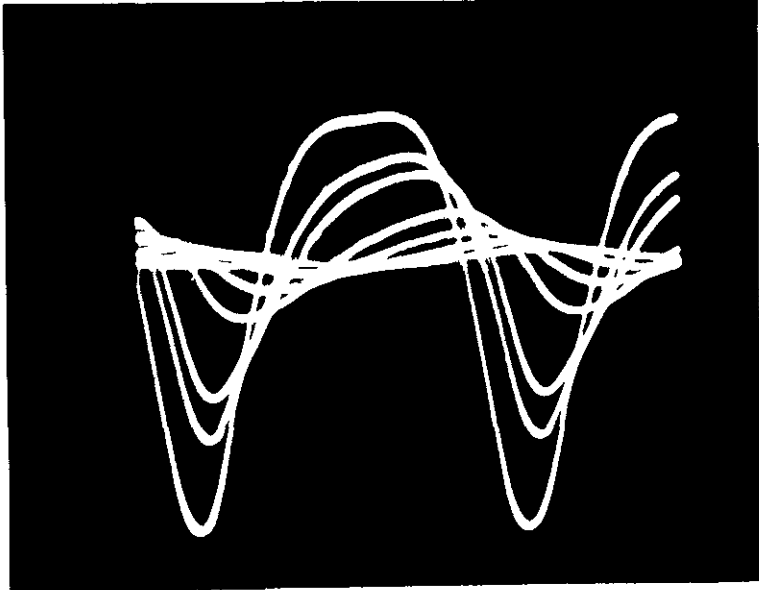
- a. De wisselspanningen resp. wisselstromen zijn niet sinnavormig,
- b. behalve de amplituden moeten ook de fasen gemeten worden t.o.v. de bij Krimpen a/d Lek in het duale schema opgedrukte stroom, welke bestaat uit een grondharmonische (M_2) + bovenharmonische (M_4).

Bij bovengenoemde metingen werd uitgegaan van de compensatiemethode. Deze methode berust op de eigenschap dat 2 spanningsbronnen met gelijke frequenties, amplitudes en fasen tesamen een spanning gelijk aan nul moeten opleveren. Een verbinding tussen deze twee spanningsbronnen zal stroomloos blijven, zodat een in deze tak opgenomen koptelefoon, eventueel met versterker, onder deze omstandigheden stroomloos is. Van de twee spanningen is de ene afgeleid van de te meten spanning e_m en de tweede van een bekende normaalspanning e_n . Voor een verdere uitvoering van deze compensatiemethode wordt verwezen naar het "Aanhangsel", waarin deze methode uitvoerig wordt beschreven. De spanningen en stromen werden bovendien zichtbaar gemaakt op een kathodestraalbuis. Op foto 3 komen de afvoerkrommen voor ter plaatse van de peilschaalstations langs de rivier de Lek, zoals deze op de kathodestraalbuis zichtbaar werden. De dempingen en fase verschuivingen komen hierin duidelijk tot uiting en stemmen overeen met wat in werkelijkheid op de rivier de Lek wordt waargenomen.

Daar de stromen in de hydrodynamica overeenstemmen met de spanningen in het elektrische duale schema, slingeren de wisselspanningen om een gelijkspanning van $0,92 \text{ Volt}$. Op foto 4 zijn de waterstanden op de Lek zichtbaar gemaakt.

Deze waterstanden stemmen in het duale schema overeen met de stromen. Voor ieder meetpunt van het duale elektrische schema veranderen de gelijkstromen (de middenstanden veranderen immers van punt tot punt). Deze kunnen echter niet zichtbaar gemaakt worden op de kathodestraalbuis, zodat op de foto 4 de wisselstromen corresponderen met de wisselende waterstanden op de rivier de Lek; allen slingeren om een bepaalde nullijn. In werkelijkheid zullen de sinusoidale krommen, gerekend vanaf Krimpen a/d Lek verticaal verschoven moeten worden. Ook het beeld van deze foto stemt overeen met wat de waarnemingen in de natuur en de getijtheorie ons leren.

Men ziet dat de wisselstromen en wisselspanningen tegelijk tot nul naderen. De zichtbaarmaking van het verloop van de wisselstromen en wisselspanningen had echter slechts een demonstratief karakter, daar de beelden te onnauwkeurig zijn. Wel kunnen onjuistheden in de schakelingen gemakkelijk met behulp van oscillograaf opgespoord worden, waartoe hij dan ook belangrijke diensten heeft bewezen. De uitkomsten van deze metingen met behulp van de reeds besproken meetmethoden zijn in tabel .5. verzameld.



Wisselstromen * Verticaalgetij.

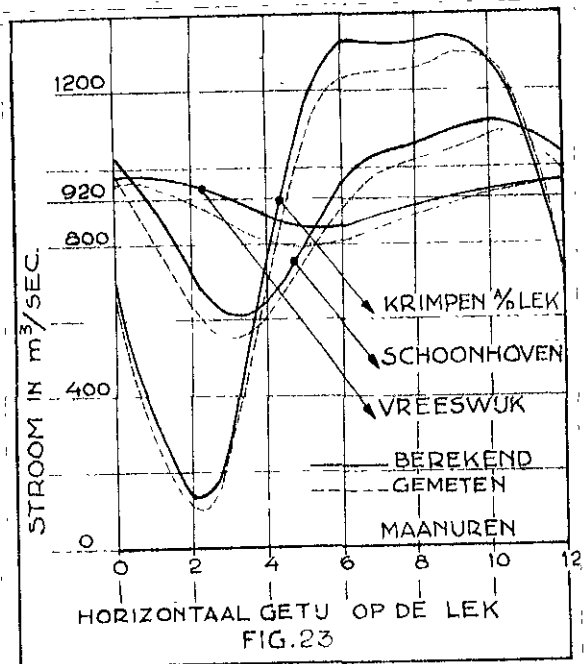
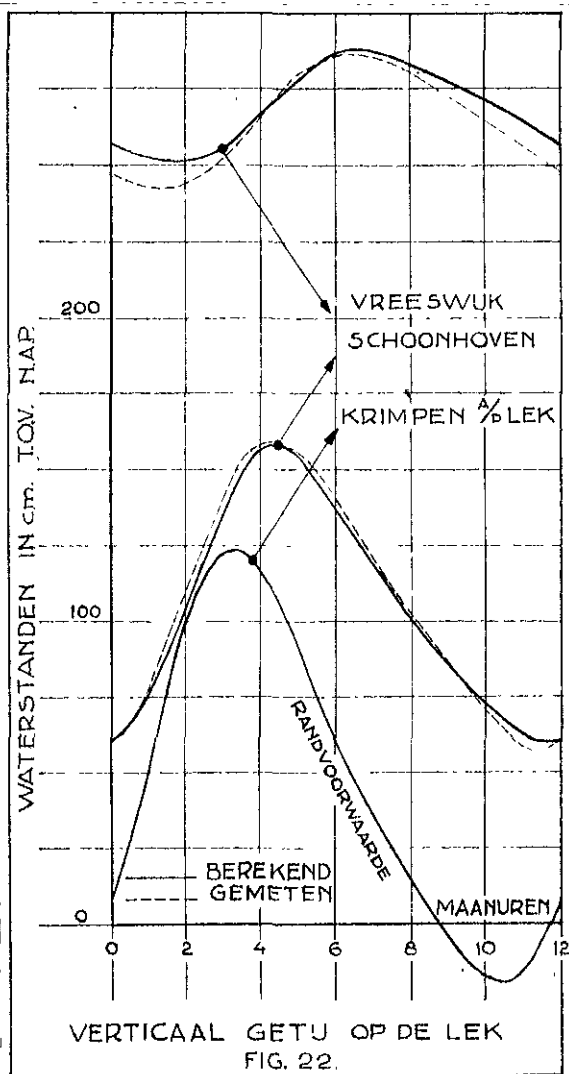
Meetpunt.	1000 Hz. * M2 getij.					2000 Hz. * M4 getij.					Gelijkstr. * Midd.		
	Ampl. in mA.	Ampl. in cm.	ber. Ampl. in cm.	fase geme-ten	fase bere-kend	Ampl. in mA.	Ampl. in cm.	Ampl. in cm. ber.	fase geme-ten	fase bere-kend	gelijk stroom in mA.	middenst. in cm. gem.	ber.
1-2 Kr. a/d Lek	6,81	68,1	68,1	112	112	1,3	13	13	162	162	4,7	47	47
5-6 Streefkerk	6,07	60,7	58,8	126,6	128	1,13	11,3	12,3	186	192	7,1	71	69
9-10 Schoonhoven	4,85	48,5	46,3	145	148	0,804	8,04	9,6	213	229	107	107	105
17-18 Jaarsveld	3,30	33,0	29,0	176	183	0,409	4,09	5,3	257	286	179	179	180
25-26 Vreeswijk	2,13	21,3	18,0	207	217	0,271	2,71	2,75	305	341	265	265	269
37-38 Culemborg	1,20	12,0	9,0	247	260	0,114	1,14	1,08	4	47	390	390	399
49-50 Wijk bij D.	0,64	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-	528	528	-

Wisselspanningen * Horizontaal getij.

Meet punt.	1000 Hz. * M2 getij.					2000 Hz. * M4 getij.					Gelijksp. * Bovenafv.		
	Ampl. in mV.	Ampl. in m/sec	ber. Ampl. m/sec	fase geme-ten.	fase bere-kend.	Ampl. in mV.	Ampl. in m/sec	Ampl. ber. in m/sec	fase geme-ten	fase bere-kend	gelijk- sp. in mV.	Bovenafv. in m/sec	Fase-voor
1-2 Kr. a/d Lek	579	579	586	243	239	191	191	189	298	304	870	870	920
5-6 Streefkerk	383	383	371	261	259	117	117	117	324	336	870	870	920
9-10 Schoonhoven	254	254	239	282	283	69	69	70	354	12	870	870	920
17-18 Jaarsveld	142	142	123	313	317	33	33	40	41	77	880	880	920
25-26 Vreeswijk	80	80	65	345	353	15	15	14	88	121	880	880	920
37-38 Culemborg	41	41	31	22	37	6	6	5	144	186	900	900	920
49-50 Wijk bij D.	19	19	-	-	-	2	2	-	-	-	920	920	920

r = randvoorwaarden.

Vergelijkt men de meetuitkomsten met de berekende waarden, dan ziet men dat het resultaat vrij bevredigend is. Over het algemeen zijn de amplitudes der gemeten harmonischen van horizontaal- en verticaal getij beter in overeenstemming met de overeenkomstige berekende waarden van de fasen. Uit onderlinge vergelijking van de fasen blijkt dat rivieropwaarts het verschil tussen de gemeten- en berekende fasen toeneemt. In hoofdzaak zijn de verschillende afwijkingen te danken aan de onvolmaaktheid van de gebruikte gelijkrichters. Echter als de demonstratie van het weergeven van de kwadratische weerstandsterm door middel van metaalgelijkrichters mag de 4e proef geslaagd genoemd worden. Tenslotte zijn in de fig. 22-23, de berekende- en gemeten horizontale en verticale getijkrommen te Krimpen a/d Lek, Schoonhoven en Vreeswijk grafisch voorgesteld. Deze figuren geven een vrij goed beeld van de nauwkeurigheid van de 4e proef.



§ 10. Samenvatting en conclusies.

In § 2 werden de formules van de exacte methode (Zie de " Ingenieur " van 5 Dec. 1947, no. 49) met behulp van Π en T netwerken afgeleid. Practisch wil dit zeggen, dat men bij beschikking over kwadratische weerstandselementen, met behulp van Π en T netwerken even grote nauwkeurigheid zal bereiken als bij de exacte methode het geval is. Zo zal evenals bij de exacte methode de lengte van de na te bootsen homogene riviersectie een belangrijke rol spelen in de te bereiken nauwkeurigheid. De in § 3 gegeven methode voert tot sectielengten, welke zeer goed overeenkomen met die welke bij de exacte methode in de loop der jaren de beste resultaten gaven.

Bij de 4e proef zijn de veranderingen van de diepten en konbergingsbreedten tijdens de getijbeweging verwaarloosd. Ook de Bernoulli-invloed werd verwaarloosd, hoewel dit niet noodzakelijk is (zie § 4).

Door toepassing van het dualiteitsprincipe is het mogelijk de kwadratische weerstandsterm door middel van metaalgelijkrichters te realiseren. Echter kan alleen dan een duaalschema geconstrueerd worden indien het plansir is d.w.z. in het oorspronkelijke schema mogen geen kruisende lijnen voorkomen.

Op bijlage ... zijn het oorspronkelijke en het duale schema getekend voor het stelsel van benedenrivieren. Nu kreeg men ook hier kruisende lijnen. Dit kan echter ondervangen worden door twee identieke stroombronnen, resp. spanningsbronnen in te voeren. De technische uitvoering zal echter wel moeilijkheden met zich medebrengen, maar het belangrijkste is, dat het in principe mogelijk is.

Zoals we reeds zagen, wordt de kwadratische weerstandswet gerealiseerd door middel van tegengestelde geschakelde metaalgelijkrichters. De metaalgelijkrichters zijn dus fundamenteel voor het electrisch realiseren van de waterbeweging, zoals deze in de natuur voorkomt.

In de handel zijn tientallen soorten van gelijkrichters verkrijgbaar, enkele hebben echter maar een kwadratische karakteristiek. Bovendien zijn de meesten niet capaciteitsvrij en zijn ze gevoelig voor temperatuurschommelingen. De in de 4e proef gebruikte Westinghouse J. cellen hadden een vrij grote capaciteit en waren zeer temperatuurgevoelig. Vooral dit laatste was zeer hinderlijk en er moest dan ook gezorgd worden voor een constante kamertemperatuur. In de laatste tijd zijn echter Amerikaanse gelijkrichters in de handel gebracht, welke nagenoeg capaciteitloos zijn en lang niet die temperatuurgevoeligheid bezitten als de bij de 4e proef gebruikte Westinghouse J. cellen.

De afwijkingen welke dan ook gevonden worden tussen de gemeten en berekende waarden komen in hoofdzaak voor rekening van de onvolmaaktheid der gebruikte metaalgelijkrichters. Deels zijn de afwijkingen tussen de gemeten en berekende horizontale- en verticale getijkrommen hierdoor te verklaren. Bovendien bezitten de inductiespoelen altijd nog een kleine Ohmse weerstand, welke nooit geheel weggewerkt kan worden. Een gevolg van dit laatste euvel is, dat de bovenafvoer van 920 m/sec. benedenwaarts geleidelijk afneemt en tot gevolg heeft, dat de afvoerkrommen van fig. 23 naar beneden worden verschoven. Theoretisch komen deze Ohmse weerstanden van de spoelen in het duale schema overeen met lek en kwel verliezen. In de natuur zullen ook dergelijke lekverliezen kunnen optreden, ten gevolge van kwel door dijken en ook tengevolge van aftappingen, verdamptingen enz.

De uitkomsten van de 4e proef, welke vermeld zijn in tabel .5. van § 9. en grafisch voorgesteld zijn in de fig. 22-23 met inachtneming van de onvolmaaktheid van de gebruikte gelijkrichters, spoelen en meetapparatuur, dan ook zeer hoopvol voor de toekomst genoemd kan worden.

Het ligt in het voornemen een 5e proef op te zetten, waarin gebruik zal worden gemaakt van de reeds genoemde Amerikaanse gelijkrichters. Bovendien zullen bij de 5e proef de kombergingsbreedte en de diepte veranderlijk worden ingevoerd. Inplaats van de rivier de Lek, zal nu de Amer-Bergsche Maas - Maas electrisch gerealiseerd worden. De afgedamde Maas zal in de schakeling worden opgenomen.

De stuw te Lith en de sluis te Andel zullen electrisch worden gerealiseerd.

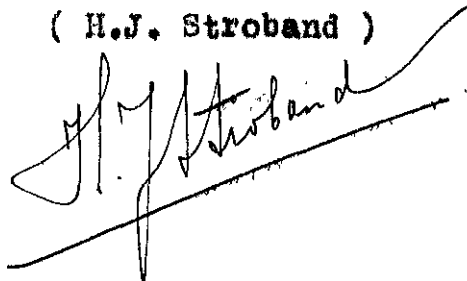
De belangrijkste conclusies welke uit deze nota volgen zijn:

- 1e. De waterbeweging kan met inachtneming van de kwadratische weerstandswet, electrisch gerealiseerd worden.
- 2e. De bestudering van electrische kwadratische vervangingschema's voeren tot een zeer simplistische afleiding van de formules der exacte methode.
- 3e. Voor de benedenrivieren is het ten allen tijde mogelijk een duaal schema te tekenen.
- 4e. De uitkomsten van de 4e proef wettigen een optimisme aangaande de electrische nabootsing van getijden.

Den Haag, 1 December 1947.

De assistent van de Studiedienst
der Directie Ben. Rivieren,

(H.J. Strobant)



1	1	M2	Berekening der coëfficiënten van de karakteris- tieke vergelijkingen	A2	5822
1	2	M2	Berekening en controle der vakcoëfficiënten	A2	5823
1	3	M2	" " " " " "	A2	5824
1	4	M2	Aaneenschakeling der vakken.	A3	5816
1	5	M2	" " " "	A3	5817
1	6	M2	" " " "	A3	5818
1	7	M4	Berekening der coëfficiënten van de karakteris- tieke vergelijkingen.	A2	5825
1	8	M4	Berekening en controle der vakcoëfficiënten	A2	5826
1	9	M4	" " " " " "	A2	5827
1	10	M4	Aaneenschakeling der vakken.	A3	5819
1	11	M4	" " " "	A3	5820
1	12	M4	" " " "	A3	5821
1	13	M6	Berekening der coëfficiënten van de karakteris- tieke vergelijkingen.	A2	5832
1	14	M6	Berekening en controle der vakcoëfficiënten.	A2	5801
1	15	M6	" " " " " "	M2	5802
1	16	M6	Aaneenschakeling der vakken.	A3	5806
1	17	M6	" " " "	A3	5807
1	18	M6	" " " "	A3	5808
1	19	M6	M6 opgewekt door M2 + M4.	A2	5805
1	20	M6	" " " " " "	A2	5815
1	21	M6	Aaneenschakeling der vakken. M6 opgew. door M2 + M4.	A3	5809
1	22	M6	" " " " " " " " " " " "	A3	5810
1	23	M6	" " " " " " " " " " " "	A3	5811
1	24	M4	Berekening der coëfficiënten van de karakteris- tieke vergelijkingen. M4 opgewekt door M2.	A2	5803
1	25	M4	" " " " " " " " " " " "	A2	5804
1	26	M4	Aaneenschakeling der vakken. M4 opgew. door M2.	A3	5812
1	27	M4	" " " " " " " " " " " "	A3	5813
1	28	M4	" " " " " " " " " " " "	A3	5814
1	29		Berekening van het middenstandsverval.	A1	5797
1	30		" " " " " " " " " " " "	A1	5798
1	31		" " " " " " " " " " " "	A1	5799
2			Electr. schema ben.rivieren. Oorspronkelijk en dual schema.	A2	5435
3			Rivier de Lek. Electr. vervangingschema. 4e proef	A5	4111
4			De gewenste stroom-spanning karakteristieken. 4e proef.	A1	4483
5			Randvoorwaarde te Kr. a/d Lek behorende bij de 4e proef.	A2	4484
6			Ben. mond Lek. Stroomkromme. 4e proef.	A1	4688
7			Rivier de Lek. Berekende getijlijnen. 4e proef.	B2	4690
8			Rivier de Lek. Berekende stroomkromme. 4e proef.	A2	4689
9A			Schema rivier de Lek.	A5	5741
9B			Staat v. onderdelen, behorende bij schema riv. Lek.	A1	5734
9C			Aansluitpaneel rivierschakeling.	A1	5733
10A			Opstelling 4e proef.	A1	5700
11A			Voedingsschema - 1000 Hz. generator.	A1	5701
11B			Staat v. onderdelen, behorende bij schema II.	A1	5738
12A			Voedingsschema - 2000 Hz. generator.	A1	5702
12B			Staat v. onderdelen, behorende bij schema III.	A1	5739
13A			Wisselspannings-compensator	A3	5703
13B			Staat v. onderdelen, behorende bij schema IV.	A1	5740
14A			Bandfilters (1000 en 2000 Hz. (745 Ω)	A1	5735
15A			Transformatoren, behorende bij schema II, III en IV.	A1	5736
15B			Transformator, behorende bij compensator.	A1	5737

Gebezigde symbolen en hun betekenis in de hydrodynamica en electro-techniek voor zover ze niet uit de tekst volgen.

A.	geleidbaarheid.	n.	natuurlijk getal.
B ₀	kombergingsbreedte.	p.	exponent.
b.	stroomvoerende breedte.	r.	resistantie (+ j)
	capaciteit.		complexe vervormingscoëfficiënt
C.	compensator constante.	R ₁	complexe langs impedantie
	constante van Bijtelwein.	R ₂	complexe dwars impedantie
C ₁ , C ₂	integratie constanten.	R.	hydraulische straal.
D.	demper.	s.	stroom/sec.
E.	afspanning (Volts)	S.	stationaire stroom/sec.
e.	" "	t.	tijd.
f.	opp. dwarsprofiel.	T.	transformator.
g.	versnelling zwaartekracht.	u.	tegenkoppeling.
g.	rooster; versterkingsfactor	u.	uitwendig.
h.	waterdiepte t.o.v. verg.vlak	v.	snelheid van het water.
I.	stroom (Ampère)	vg.	gem. snelheid van het water in dwarsprofiel.
i.		V.	Potentiaal; versterking.
j.	V-1	w.	aantal windingen.
Kr.	Kracht	x.	afstand
K.	fase, verticaal getij.	x.	differentie x.
l.	lengte - afstand.	x.	Reactantie.
L.	zelfinductie.	z.	Impedantie.

2,71828

verheffing van de waterspiegel t.o.v. middenstand.

fasehoek van het verticaal getij.

dempingscoëfficiënt.

vertragingcoëfficiënt.

3,1416.

dichtheid.

getijstroom.

fasehoek van de getijstroom.

amplitude demping.

Electrische éénheden.

Ampère	A
milli-ampère	mA
megohm	M-
ohm	
Kilo volt	kV
volt	V
Kilo watt	kW
watt	W
joule	J
coulomb	C
farad	F
mikrofarad	μF
nanofarad	nF
picoofarad	pF
henry	H

Voor voegsels.

tera	10 ¹²	T
giga	10 ⁹	G
mega	10 ⁶	M
kilo	10 ³	k
mille	10 ³	m
mikro	10 ⁻⁶	μ
nano	10 ⁻⁹	n
pico	10 ⁻¹²	p

Literatuurlijst.

Verslag van de Staatscommissie Zuiderzee 1918 - 1926.

Een getijberekening voor benedenrivieren door Dr. J.J. Dronkers,
" De Ingenieur " no. 34 1935.

Getijstroomberekeningen met behulp van wetten analoog aan die van Ohm en Kirchhoff, door Dr. Ir. Joh. van Veen. " De ingenieur " no. 19 1937.

De berekening van getijden en stormvloeden op benedenrivieren.
Proefschrift van Ir. J.P. Mazure, 1937.

Electrische nabootsing van getijden door Dr. Ir. Joh. van Veen.
" De Ingenieur " no. 3 1946.

Electrische nabootsing van getijden door Dr. Ir. Joh. van Veen.
Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig genootschap
Deel LKIII,4 1946.

Een bijdrage tot de kennis van de getijberekening op benedenrivieren
door H.J. Strobant. " De Ingenieur " no. 36 1947.

Methoden van getijberekening door Dr. J.J. Dronkers.
" De Ingenieur " no. 49 1947.

Electrische- mechanische overeenkomsten. Radio Express.
Tijdschrift voor Radiotechniek
no. 19 1947.

Meetkundige configuraties en dualiteit van electrische Netwerken door
Ir. B.D.H. Tellegen. Tijdschrift van het Nederlandse
Radiogenootschap 9, 37-60,
Juni 1941.

Electrische Trillingen en Golven, door H. den Hartog.
N.V. Servire, Den Haag 1944.

Theorie der wisselstromen, door Jhr. Dr. G.J. Elias.
P.Noordhoff N.V. 1943.

Verslag
betreffende de uitvoering van de
4e proef.
Rivierschakeling, voorstellende de rivier de Lek
tussen Krimpen a/d Lek en Wijk bij Duurstede.

Bij de praktische uitvoering van de 4e proef is uitgegaan van de gegevens, ontwikkeld in het verslag van de Heer H.J. Stroband, te weten:

- 1e. de samenstelling van de rivierschakeling met de waarden van de verschillende hierbij gebezigde onderdelen.
- 2e. de randvoorwaarden, d.z. de stroomtoestand aan het begin van de schakeling (Krimpen a/d Lek) en de spanningstoestand aan het einde (Wijk bij Duurstede).

Voor de berekening van deze gegevens, alsmede de beoordeling van de bij de proef gevonden resultaten zij naar bovengenoemd verslag verwezen.

Het praktische probleem kan worden verdeeld in drie hoofd-afdelingen:

- I. Bouw van de rivierschakeling.
- II. Het opleggen der randvoorwaarden.
- III. Het meten.

I. Bouw van de rivierschakeling.

Voor het schema, zie bijlage 9A-B

De schakeling is gemonteerd op een houten plankje met opstaand voorpaneel, waarin zes contact-blokken, welke getekend zijn op bijlage 9A. Ieder blok heeft 14 onderling geïsoleerde contact-bussen, twee aan twee geplaatst.

De meetpunten 1-2, 3-4, enz. zijn telkens op een stel contact-bussen aangesloten en kortgesloten met behulp van z.g. U-links, dit zijn U-vormig omgebogen koperen staafjes, met verende contactpennen aan de uiteinden. Wordt een U-link getrokken, dan is de rivierschakeling op het betreffende meetpunt onderbroken, zodat de stroom ter plaatse kan worden gemeten. De overige meetpunten moeten dan alle kortgesloten blijven. Er moet op worden gelet, dat de weerstand van de toevoerdraden van onderdelen naar paneel zo laag mogelijk is (korte en dikke draden), evenals de overgangsweerstand der U-links (vertinde contactpennen) en de serie-weerstand van het meetapparaat. De som van deze twee weerstanden, waarbij nog die van de spoelen moet worden opgeteld, is n.l. niet in het ontwerp van de schakeling opgenomen. Bij de gelijkspanningsmeting wordt hierop teruggekomen.

Verschillende punten kunnen direct achter het paneel met elkaar verbonden worden, aangegeven door de stippellijnen (bijlage 9C.) en de niet overeenkomende letters gemerkte punten, welke eveneens met elkaar verbonden zijn.

De onderste twee contact-blokken zijn gereserveerd voor resp. de hoofd-metpunten voor spanningsmeting (a t/m n) en voor extra aansluitpunten voor het voedingsgedeelte.

De spanningsmeetpunten bevinden zich tussen iedere π sectie van de schakeling, terwijl het aantal stroommeetpunten zodanig is gekozen, dat de stroom door iedere gelijkricht-cel kan worden gemeten, teneinde controle van de cellen in de schakeling mogelijk te maken.

Op het horizontale plankje achter het paneel zijn de verschillende onderdelen gemonteerd, n.l. (in volgorde) de spoelen in twee rijen, de cuprox-cellen in celhouders op één rij daarachter en tenslotte op een klemmenstrook de condensatoren. De opstelling is zó gekozen, dat de onderdelen gemakkelijk te plaatsen en te vervangen zijn. De op de foto (blz. 32) voorkomende opstelling is anders uitgevoerd. Hij werd later evenwel opnieuw gemonteerd op de hier beschreven wijze, welke beter voldoet met het oog op de weerstand der verbindingsdraden.

Uitvoering der onderdelen.

1. De spoelen.

Deze zijn gewikkeld op Philips bandkernen (ringkernen voor Pupin-spoelen), vervaardigd van gelamelleerd speciaalstaal, teneinde de wervelstroom en hysteresis-verliezen zo laag mogelijk te houden. De draaddiameter is zo groot mogelijk gekozen, om de gelijkstroom-weerstand eveneens zo laag mogelijk te doen uitkomen. De grens wordt hier gesteld door het aantal windingen en de beschikbare wikkelruimte.

Van de spoelen zijn sommige gewikkeld met enkel Cu-montagedraad van 1,2 mm. diameter en isolatie van omspinning + celluloid en andere met 4-draads litze ($4 \times 0,6 \text{ mm. } \varnothing$), geïsoleerd met email + omspinning. Wat betreft de kwaliteitsfactor van de spoel leverde dit praktisch geen verschil op; het litzedraad gedraagt zich soepeler tijdens het wikkelen.

In onderstaande tabel zijn verschillende grootheden, de spoelen betreffende, opgenomen, n.l. de zelfinductie L in mH. (gegeven), de gelijkstroom-weerstand R in Ω , de resistentie r in Ω (bij 1000 Hz.), de kwaliteitsfactor q , gedefinieerd als $\frac{r}{L}$, het aantal windingen W en de benodigde draadlengte l in meters. Van gelijke spoelen zijn gemiddelde waarden opgenomen.

Spoel No.	L mH.	R Ω	r Ω	$q = \frac{r}{L}$	W	l m.
1	6,88	0,40	0,48	69,9	-	-
2	5,49	0,31	0,38	69,3	186	13,80
3-4	3,36	0,18	0,22	65,3	140	10,55
5-6	2,88	0,16	0,19	65,9	136	10,50
7-8-9	2,00	0,14	0,16	80,0	113	8,45
10-11-12	2,12	0,14	0,17	80,2	119	8,90

De spoelen zijn gewikkeld in twee helften, waardoor de bij iedere winding door te steken draadlengte kleiner wordt. Gedeelde kernen zijn, met het oog op de hierbij onvermijdelijke luchtpleet, niet te verkiezen.

Een benaderde waarde voor het aantal windingen kan aan de hand van een nomogram worden bepaald, waarna de juiste waarde empirisch wordt gevonden door meting op een zelf-inductie-meetbrug.

Aangezien de spoelen in de schakeling een gelijkstroom moeten voeren (maximaal I_{12} met ongeveer 50 mA), dient de invloed hiervan op de zelfinductie te worden nagegaan.

In verband hiermede is voor de meting van de spoelen gekozen de brugschakeling van Hay.

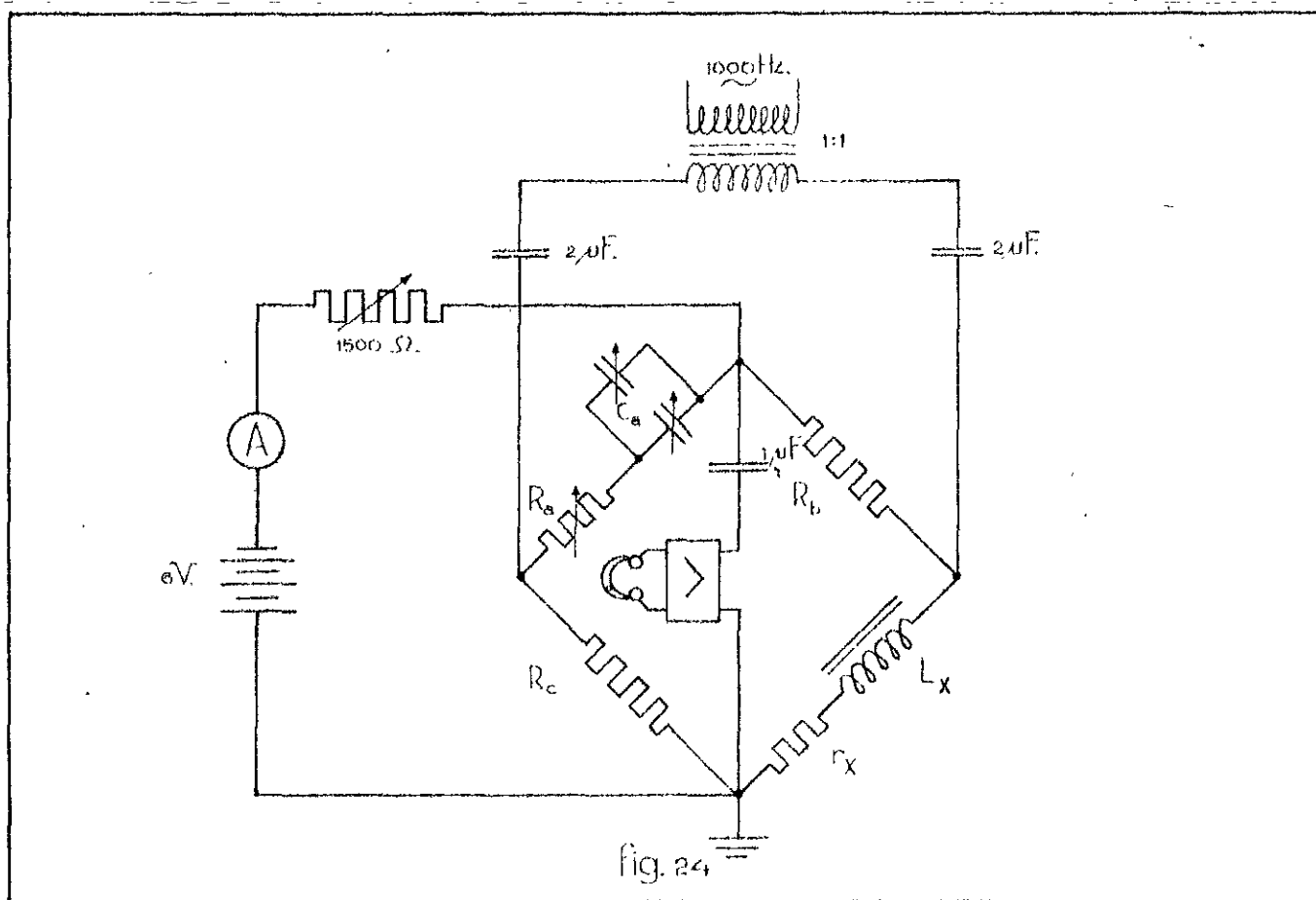


fig. 24

Bij evenwicht (telefoon geluidloos) geldt:

$$L_x = \frac{R_b R_c C_a}{1 + (R_a \omega C_a)^2}$$

$$r_x = \frac{R_a R_b R_c (\omega C_a)^2}{1 + (R_a \omega C_a)^2}$$

C_a bestaat uit een condensator-bank van max. 1,11 μF , met stappen van 1000 pF. Hieraan parallel is een geijkte draaicondensator geschakeld van 50 tot 1500 pF continu, ter overbrugging van de kleine stappen van de condensatorbank.

Voor R_b en R_c is 100 Ω gekozen (normaalweerstand nauwkeurigheid 1 %). Bijzondere zorg moet worden besteed aan de symmetrie van de brugvoeding.

Gebleken is, dat de term $(R_a \omega C_a)^2$ klein is ten opzichte van 1, zodat, na verwaarlozing van de noemer, de uitdrukkingen voor L_x en r_x overgaan in:

$$L_x = R_b \cdot R_c \cdot C_a \text{ Henry.}$$

$$r_x = R_a \cdot R_b \cdot R_c (\omega C_a)^2 \text{ ohm.}$$

Het voordeel van deze brugschakeling is de serie-condensator in de a-tak, waardoor de gelijkstroom door de linkerhelft van de brug is afgesneden.

De gelijkstroom bleek niet op noemenswaardige wijze van invloed te zijn op de zelf-inductie van de spoelen. Ware dit wel het geval geweest dan zouden spoelen met luchtspleet moeten worden ontworpen, die uiteraard veel groter en zwaarder uitvallen.

De spoelen zijn geplaatst in koperen bussen met pertinax deksel, waarop 2 connecties als aansluitklemmen. De bussen worden in de schakeling geaard. Bij montage op metalen chassis geschiedt dit automatisch.

2. De quadratische weerstands-elementen.

Bij deze proef zijn hiervoor gekozen Westinghouse cuprox-cellen, type J, maximum belasting 2,5 mA per cel, zij moeten voldoen aan de vergelijking:

$$I = A \cdot E \cdot p$$

Hierin is A bij definitie = de conductantie van de cel bij een gelijkspanning in doorlaatrichting van 1 volt ($E = 1$).

Verder moet $p = 2$ zijn (quadratische karakteristiek).

In het schema (bijlagengAB) zijn de vereiste waarden voor A opgenomen.

Gebleken is, dat de benodigde cellen moeten worden gevonden, door uit een groot aantal $2 \times$ te selecteren.

a. Cellen, welke voldoen aan de voorwaarde $p \neq 2$.

Van 375 cellen bleek 5 % aan deze voorwaarde te voldoen.

Door de eis ruimer te stellen, n.l. $p = 1,9$ tot $2,1$ steeg dit aantal tot 15 %. Bovendien kon bij cellen $p > 2$ door voorzichtig schuren, eveneens $p = 2$ worden gemaakt, zodat tenslotte ruim 22 % of 85 cellen bruikbaar waren.

b. Uit de hierboven genoemde 85 cellen konden die cellen worden geselecteerd, welke voldeden aan de in het schema opgegeven A -waarden.

In het rivierschema is aan iedere gelijkrichtoel een condensator parallel geschakeld. Aangezien de cuprox-cellen een grote eigen-capaciteit bezitten (10.000 tot 150.000 pF), dient deze eveneens te worden gemeten en daarna van de parallel-capaciteit te worden afgetrokken.

De eigen-capaciteit blijkt nog sterk afhankelijk te zijn van de door de cel lopende gelijkstroom, zodat de capaciteitsmeting dient te geschieden bij de stroom, welke in de schakeling door de cel gaat.

Het verdient aanbeveling de meetschakeling voor cuprox-cellen zodanig in te richten, dat hiermee waarden voor p , A en de eigen-capaciteit alle kunnen worden bepaald. Onderstaande brugschakeling voldoet aan deze eis.

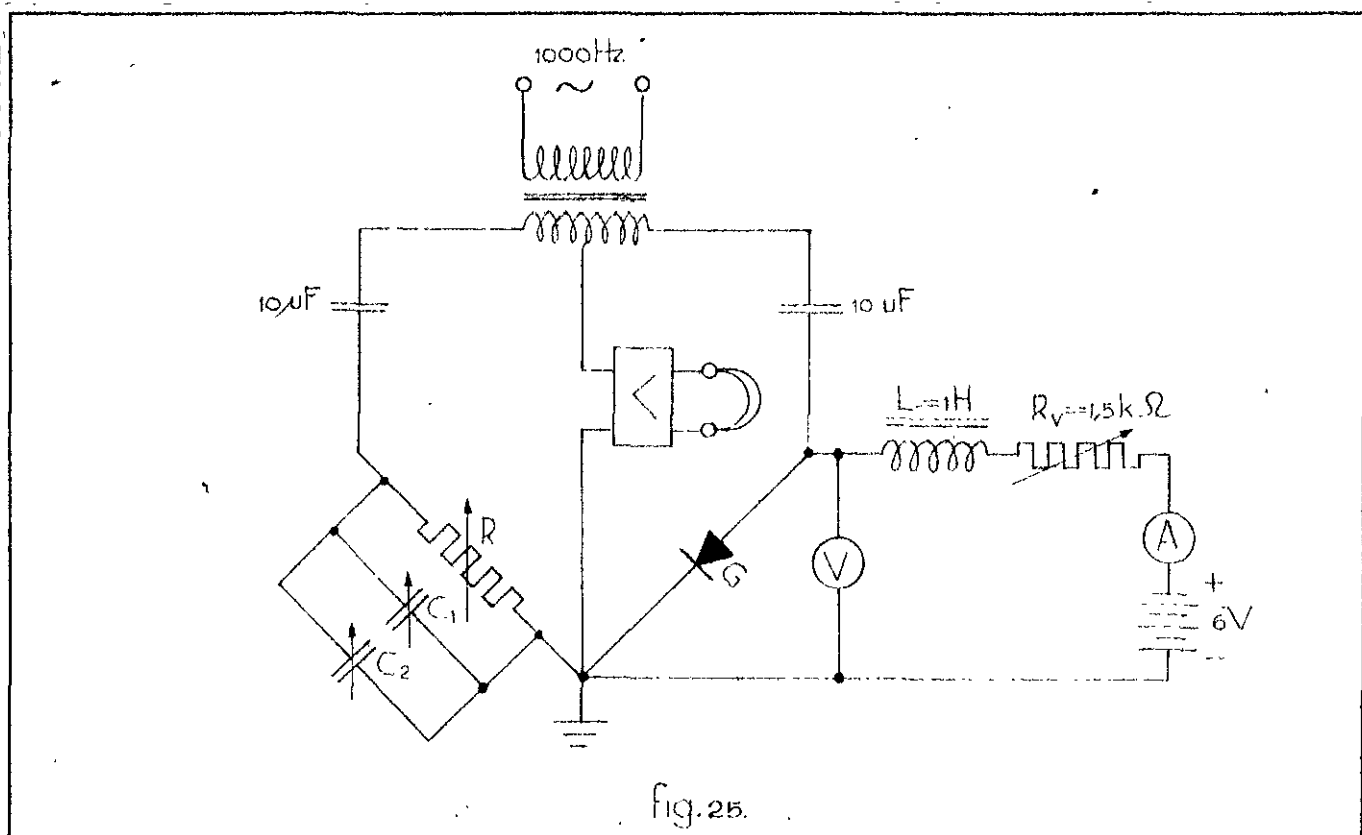


Fig. 25.

(*) Bij de oorsprong (ong. tot 0,4 V.) is $p = 3$.

De cel kan worden voorgesteld door een weerstand met daaraan parallel een condensator. In de ondertak van de brug bevindt zich rechts de gelijkrichttoel en links de uitbeelding hiervan, bestaande uit de weerstandsbank R ($1.000 / 0,1 \Omega$), de condensatorbank C_1 ($1 / 10^{-2} \mu F$) en de geijkte draaicondensator C_2 ($1100 pF$) ter overbrugging van de laagste trappen van C_1 .

De boventak van de brug bestaat uit 2 condensatoren van $10 \mu F$. Deze zijn groot gekozen, waardoor hun reactantie laag is (15Ω). Een kleine ongelijkheid tussen deze condensatoren is dan wel toelaatbaar. Op juiste symmetrie van de brugvoeding moet echter wel worden gelet.

Bij evenwicht van de brug (telefoon geluidloos) is de weerstand van de cel $= R$, de capaciteit $= C_1 + C_2$. Dit kan intussen alleen gemeten worden, indien de cel een gelijkstroom voert. Deze wordt opgedrukt door middel van de 6 V.-accu, regelweerstand R_v en de smoorspoel L . De laatste dient om de impedantie van de gelijkstroom-voedingstak hoog te maken, opdat de impedantie van de cel hierdoor niet wordt beïnvloed. Deze tak staat n.l. parallel aan de cel. Dit geldt ook voor de voltmeter V , die dus ook een zeer hoge weerstand moet hebben. Op V kan de gelijkspanning aan de cel worden afgelezen, terwijl de mA-meter A de gelijkstroom door de cel aanwijst.

Met het gelijkstroom-gedeelte van de brug kunnen nu de karakteristiek en de A -waarde van de cel worden bepaald, met het wisselstroom-gedeelte de capaciteit.

We kunnen deze laatste direct meten bij een gelijkspanning $E_0 =$ die, welke in de schakeling op de cel komt te staan.

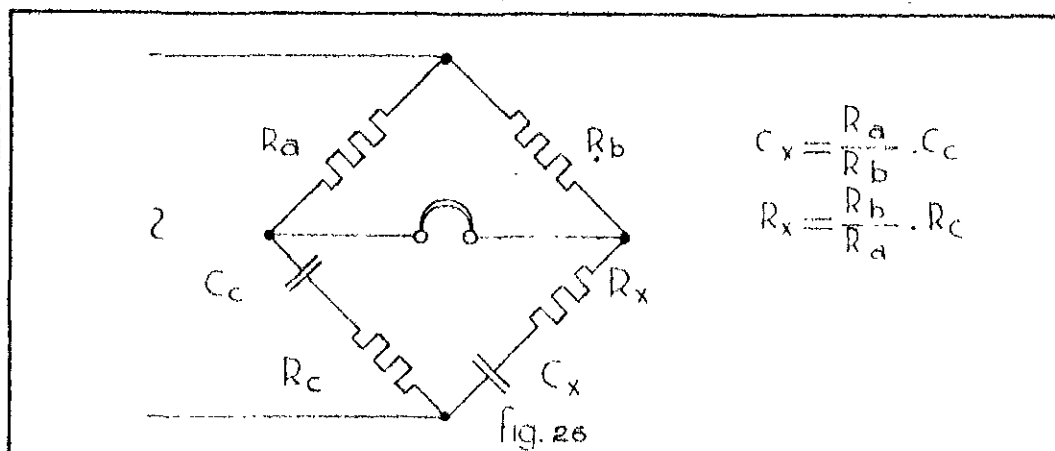
Tenslotte zij nog opgemerkt, dat het nodig bleek de cuprox-cellen afzonderlijk op te stellen in een thermostaat, als gevolg van hun sterke temperatuur-afhankelijkheid. De temperatuur heeft geen invloed op de exponent van de stroom-spanningskarakteristiek, maar wel op de A -waarde en de capaciteit. Dit is een groot nadeel van de cuprox-cellen.

3. De condensatoren.

Hiervan wordt de juiste waarden gevonden, door van iedere in het schema gegeven condensator de capaciteitswaarde van de hieraan parallel geschakelde gelijkrichttoel af te trekken. Is de laatste waarde $>$ de parallelcondensator, dan wordt deze geheel weggelaten.

De nu gevonden condensatoren worden verkregen door meting van een aantal met behulp van een condensator-meetbrug en ze daarna tot de gewenste waarden te combineren.

In het P.T.T.-laboratorium was een condensator-meetbrug aanwezig waarmede de genoemde meting kon worden verricht. Volledigheidshalve wordt hieronder het principe schema van deze brug gegeven (Brug van Wien).



II. Het opleggen der randvoorwaarden.

Bij dit probleem wordt uitgegaan van de randvoorwaarden, welke met de rivierschakeling zijn gegeven, n.l. de stroom bij Krimpen a/d Lek en de spanning bij Wijk bij Duurstede.

Zie onderstaande tabel, waarin tevens nog eens de overeenkomst tussen de elotrische en hydraulische begrippen is opgenomen.

Waterloopkundig begrip.	Electrische voorstelling.	Aan- duiding.	Gegeven randvoorwaarden.	
			Waarde bij Kr. a/d Lek.	Waarde bij Wijk bij D.
Hor. getij le harm.	Wisselssp. 1000 Hz.	e_1	6,81 mA ampl.	
Vert. " " "	Wisselstr. " "	i_1		
Hor. " 2e "	Wisselssp. 2000 "	e_2	1,30 mA ampl.	
Vert. " " "	Wisselstr. " "	i_2		
Gem. niveau Opperwater	Gelijkstroom Gelijkspanning	I_0 E_0	-4,70 mA	+ 0,92 volt

Voorts is nog gegeven de fasehoek tussen i_2 en i_1 op een bepaald ogenblik.

De opstelling der gehele proef is getekend op schema I, bijlage 10A, als z.g. blokschema. We zien hierop de rivierschakeling, waarop aangesloten de meetinstrumenten voor het verrichten van de meting, n.l. de oscillograaf en de compensator, welke het gehele onderste deel van het schema in beslag neemt.

De overige apparatuur dient voor het realiseren der randvoorwaarden, welke ieder door een meter worden aangewezen. (A_1 , A_2 , A_3 en V_1).

We zien, dat bij Krimpen a/d Lek 3 randvoorwaarden gelijktijdig moeten worden opgelegd. Beschouwen we nu b.v. I_0 , dan zal het duidelijk zijn, dat de inwendige gelijkstroomweerstand der wisselstroomgeneratoren veel groter moet zijn dan die van de rivier, daar I_0 immers door deze laatste moet gaan. Aan deze voorwaarde wordt voldaan, doordat i_1 en i_2 op de rivierschakeling worden gebracht, doormiddel van serie-condensatoren, die de gelijkstroomweg door de generatoren afsnijden.

Noemen we de impedantie van de rivierschakeling Z_r , dan moeten de inwendige impedanties van de voedingsbronnen bij Krimpen a/d Lek om bovenstaande reden aan de volgende voorwaarden voldoen:

$$Z_1 \text{ 1000 Hz. generator} \gg Z_r \text{ voor } f. = 2000 \text{ en } f. = 0. \text{ Hz.}$$

$$Z_1 \text{ 2000 Hz. generator} \gg Z_r \text{ voor } f. = 1000 \text{ en } f. = 0. \text{ Hz.}$$

$$Z_1 \text{ gelijkstr. generator} \gg Z_r \text{ voor } f. = 1000 \text{ en } 2000 \text{ Hz.}$$

$$(Z_r \approx 100 \Omega)$$

Deze eisen worden dus geheel gesteld door praktische overwegingen. Voor een opmerking over de theoretische betekenis der inwendige impedanties van de voedingsbronnen,

A. De randvoorwaarden i_1 en i_2 (wisselstroom).

Hiervoor staat ter beschikking een laagfrequentoscillator, welke sinusvormige wisselspanningen kan leveren van 0 tot 6 Volt, van de gewenste frequentie. Het afgegeven vermogen is zeer gering.

Teneinde de zuivere sinusvorm van het uitgangssignaal niet te bederven, is het nodig, de oscillator te belasten met de opgegeven impedantie (= de inwendige impedantie van de oscillator), welke constant moet zijn.

Verder moet tussen de eerste en tweede harmonische een exacte verhouding 1 : 2 bestaan (synchronisatie), terwijl bovendien i_2 in fase moet kunnen worden geregeld t.o.v. i_1 . Dit heeft tot gevolg, dat i_1 en i_2 van één en dezelfde wisselspanningsbron moeten worden betrokken.

In verband met bovenvermelde eisen komen we tot het volgende werkschema voor de wisselstroomvoeding:

Als "sturend" element dient een oscillator, welke een sinv. wisselspanning levert van 1000 Hz., 0-6 Volt inwendige impedantie 300Ω .

Als energie-leverende elementen dienen:

1e. Een 1000 Hz. generator.

Dit is in wezen een energie-versterker, waarvan de ingangs-impedantie constant is en aangepast aan de oscillator, terwijl de uitgangs-impedantie hoog moet zijn. Amplitude-regeling d.m.v. regelbare versterkingsgraad.

2e. Een 2000 Hz. generator.

Eveneens een energie-versterker, met dezelfde eisen voor in- en uitgangs-impedantie. Verder zijn hierin opgenomen een element voor frequentieverdubbeling, een fase-regeling en amplitude-regeling.

Het aantal generatoren kan willekeurig worden uitgebreid naar gelang van het aantal harmonischen dat men aan de rivierschakeling wenst toe te voeren. Gezien de bijzondere eisen, zijn ze voor dit doel speciaal ontworpen.

1. 1000 Hz. generator.

Zie schema II, bijlage 11A.-B

Geheel links van het schema is de oscillator getekend, dezelfde als die in schema I. De signaalspanning (1000 Hz.) wordt aangenomen op 1,7 Volt.

Als ingang van de generator dient de demper D_1 , demping $1\frac{1}{2}$ Neper, karakteristieke weerstand 600Ω . Het doel van deze demper is:

a. Aanpassing aan de oscillator.

De inwendige impedantie van een oscillator bedraagt 300Ω .

De totale belasting hierop moet dus eveneens 300Ω bedragen

(~~zie~~). Deze belasting bestaat uit de ingang van de 1000 Hz. generator + de ingang van de 2000 Hz. generator daaraan parallel geschakeld. Beide ingangen moeten dus ieder 600Ω bedragen, om de totale belastingsweerstand van 300Ω op te leveren.

b. Ontkoppeling van de oscillator.

Hiermede wordt bedoeld, dat het aangekoppelde circuit geen invloed op de oscillator zelf mag uitoefenen. Een eventueel gereflecteerde golf wordt door D_1 gedempt, alvorens hij de oscillator bereikt.

De ingangs-impedantie van de demper is intussen slechts dan = 600Ω , wanneer hij met zijn karakteristieke impedantie (600Ω) is afgesloten. Deze afsluit-impedantie wordt gevormd door de hierna volgende schakel-elementen. Deze zijn:

De symmetreer-transformator T_1 (1:1) en een lowpass-filter van 600Ω , demping ongeveer 0,4 Neper. ~~T_1 dient voor overgang van symmetrisch naar a-symmetrisch systeem;~~ het l.p.-filter snijdt alle frequenties af, welke boven 1000 Hz. zijn gelegen. Dit geeft ons de zekerheid, dat het signaal geen hogere harmonischen meer bevat. Het filter is met zijn karakteristieke weerstand $R_1 = 600\Omega$ afgesloten.

Hierna volgt de eigenlijke versterkerschakeling, waarvoor is gekozen de laag-frequent-penthode 6L3, geschakeld als smoorspoel-versterker met stroomtegenkoppeling.

Deze buis is in staat 25 mA te sturen door een belastingsweerstand van 7000Ω , hetgeen voor ons doel ruimschoots voldoende is.

In de betreffende handboeken zijn de gegevens der radio-buizen te vinden, e.w.:

De 3 buisgrootheden g , s en r_i (de versterkingsfactor, steilheid en inwendige weerstand, zie) de spanningen, welke aan de verschillende electroden moeten worden gelegd, de anode-gelijkstroom I_a en de schermroostergelijkstroom I_{g2} , benevens de gunstigste belastingsweerstand r_u , welke in ons geval 7000Ω bedraagt.

We splitsen r_u in twee parallelle takken van 14.000Ω ieder. De ene tak bestaat uit de koppelcondensator C_2 , de voorschakelweerstand R_6 ($14\text{ k}\Omega$), de mA-meter A_1 en de rivierschakeling, terwijl de tweede tak bestaat uit C_3 , enz. naar aarde. Deze laatste tak is aangebracht om een spanning te leveren (normaalspanning) welke nodig zal zijn voor het meten. Zie ter plaatse. (blz 62)

De overige onderdelen der schakeling worden nu bepaald door de gegeven buisgrootheden en de gewenste versterking. Deze laatste is a.v. te bepalen:

Willen we de randvoorwaarde i_1 bij Krimpen a/d Lek kunnen regelen tussen 1 en 10 mA effectief, dan moet de maximale uitgangsspanning bedragen $10 \times 10^{-3} \times 14.000 = 140$ Volt. De ingangsspanning van de buis = aan de oscillatorspanning + de totale demping, veroorzaakt door D_1 , het l.p.-filter en de ingangs-transformator van de versterkerschakeling T_2 . Van deze laatste bedraagt de " demping " 1:20 of $\frac{1}{20}$ Neper. De totale demping van oscillator tot rooster 6L3 wordt nu:

$$\begin{array}{rcl} D_1 & + & 1,5 \text{ Neper} \\ \text{l.p.-filter} & + & 0,4 \text{ " } \\ T_2 & - & 3,0 \text{ " } \\ \hline \text{totaal} & - & 1,1 \text{ Neper, d.i. een factor } 1:3. \end{array}$$

De wisselspanning tussen rooster en aarde wordt nu $3 \times 1,7 = 5$ Volt.

De max. versterking wordt dan $\frac{140}{5} = 28 \times$

De minimale outputspanning moet bedragen

$$1 \times 10^{-2} \times 14.000 = 14 \text{ Volt. } \frac{14}{5}$$

Dit betekent een versterking van $\frac{14}{5} = 2,8 \times$

De versterking wordt bij deze schakeling (stroomtegenkoppeling) uitgedrukt door de benaderingsformule

$$V = \frac{E_u}{r_t}$$

Hierin is r_t de tegenkoppelweerstand R_4 + de kathode weerstand R_3 , r_t moet dus regelbaar zijn tussen de volgende grenzen:

$$r_t \text{ min.} = \frac{7000}{28} = 250\Omega.$$

$$r_t \text{ max.} = \frac{7000}{2,8} = 2500\Omega.$$

De plaatsspanning V_a moet + 250 V bedragen. Deze spanning wordt geleverd door een afzonderlijk p(laat) s(panning) a(pparaat) van + 250 V en op de anode gebracht via de smoorspoel L_1 , waarin de plaatgelijkstroom zeer weinig weerstand ondervindt. De wisselstroomweerstand van L_1 ($= \omega L_1$) is echter zeer hoog (ong. $40\text{ k}\Omega$), zodat de buis als wisselstroom-bron slechts de hierboven besproken belastingsweerstand van 7000Ω ziet.

De schermroosterspanning V_{g2} moet eveneens + 250 V gelijksp. bedragen. Dit zou kunnen worden verwezenlijkt door het schermrooster eveneens direct met het p.s.a. te verbinden. We doen dit echter via de weerstand R_5 (5.000Ω). Het schermrooster is n.l. door middel

van de condensator C_4 met de kathode verbonden, hetgeen nodig is, teneinde dit rooster een constante potentiaal t.o.v. de kathode te geven. Zouden we nu g_2 direct met + p.s.a. verbinden, dan zouden voor wisselstroom de weerstanden $R_3 + R_4$ praktisch zijn kortgesloten, waardoor de tegenkoppeling zou verdwijnen, + en - p.s.a. kunnen n.l. in wisselstroom-opzicht kortgesloten worden gedacht.

We kiezen daarom $R_5 > R_3 + R_4$ ~~practisch zijn kortgesloten, maar~~ ~~aanxxtaxxagankoppeling~~ doch zo klein mogelijk, om niet te veel spanningsverlies op het schermrooster te veroorzaken. De schermroosterstroom bedraagt vlg. opgave 4 mA, zodat dit spanningsverlies wordt, indien we $R_5 = 5.000 \Omega$ kiezen.

$$4 \times 10^{-3} \times 5.000 = 20 \text{ Volt.} \quad V_{g2} = 250 - 20 = 230 \text{ Volt.}$$

Tenslotte nog de stuurroosterspanning V_{g1} . Deze moet worden ingesteld op -6 Volt gelijkspanning t.o.v. de kathode, hetgeen wordt bereikt m.b.v. de kathode-weerstand R_3 . Deze is enerzijds met de kathode, anderzijds via R_2 met het stuurrooster verbonden terwijl door R_3 de anode gelijkstroom I_a loopt en wel van boven naar beneden. Hieruit volgt, dat het rooster nu automatisch een lagere potentiaal dan de kathode zal bezitten (automatische neg. rooster-spanning). Daar I_a 36 mA bedraagt, moet R_3 nu worden:

$$6 = 36 \times 10^{-3} \times R_3. \quad R_3 = \frac{6 \times 10^{-3}}{36} = 166 \Omega.$$

Teneinde V_{g1} niet over de secundaire van de trafo T_2 kort te sluiten, is de koppelcondensator C_1 tussengevoegd.

De schakelaar S_1 maakt het mogelijk, de stroom i_1 uit te schakelen. Dit moet echter kunnen geschieden, zonder de in- of uitgangsimpedantie van de 1000 Hz. generator te beïnvloeden. Door S_1 op de aangegeven plaats aan te brengen, wordt aan deze voorwaarde voldaan.

2. 2000 Hz. generator.

Schema III, bijlage 12A, B

Ook deze generator wordt weer gevoed door de 1000 Hz.-oscillator, dezelfde dus, welke op schema I en II voorkomt. De ingang van de generator wordt gevormd door een demper met karakteristieke impedantie van 600Ω , evenals bij de 1000 Hz. generator. De demping bedraagt 1 Neper.

Teneinde de frequentie te verdubbelen wordt gebruik gemaakt van een dubbelfasige gelijkrichter, bestaande uit 4 gelijkrichtoellen in Grätz-schakeling. Aangezien de demper moet zijn afgesloten met 600Ω , zijn de weerstanden R_9 en R_{10} aangebracht. Het zal duidelijk zijn, dat het dubbelfasig gelijkgerichte signaal een sterke 2e harmonische (2000 Hz.) zal bezitten, doch hiernaast ook vele andere harmonischen. Door het 2000 Hz.-bandfilter worden nu alle harmonischen afgesneden, doch alleen de frequentie 2000 Hz. doorgelaten. Het bandfilter is met zijn kar. weerstand $R_{11} = 750 \Omega$ afgesloten. De transformator T_4 is een symmetreer-trafo; met de omschakelaar S_2 kan het signaal 180° in fase worden verschoven, als aanvulling van de fase-regeling. Met deze laatste kan het signaal n.l. ruim 180° in fase worden verschoven (continu), teneinde regeling over de volle 360° mogelijk te maken, is S_2 aangebracht.

De continu-regeling der fase-verschuiving berust op een c-r combinatie en wel a.v.: (fig. 27)

Een wisselspanning e_1 voedt een brug, waarvan de ene tak bestaat uit een condensator c in serie met een weerstand r , de 2e tak bestaat uit 2 gelijke impedanties Z in serie. De spanning welke aan de brugtak optreedt = e_u .

Stellen we de brugweerstand oneindig, dan zal i in c en r even groot zijn.

We tekenen het vector-diagram, uitgaande van deze stroom door de c-r tak, waaruit volgt e_1 . (fig. 28)

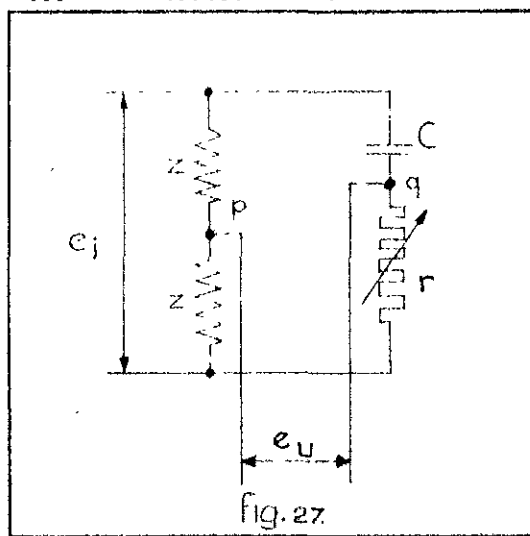


fig. 27

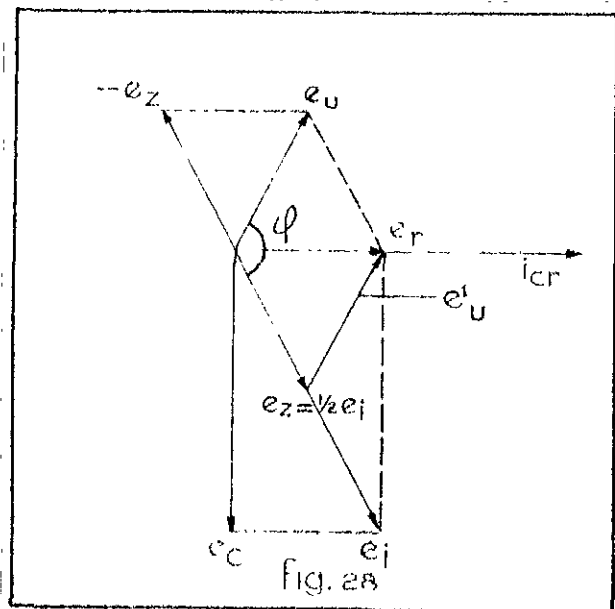


fig. 28

e_z is nu $\frac{1}{2} e_i$.

De brugspanning $e_u = V_p - V_q = \overline{e_r} - \overline{e_z}$.

e_u en e_i hebben een faseverschil φ .

Verschuiven we e_u evenwijdig naar beneden tot e_u' , dan blijkt $e_u' = e_u$ juist te zijn de swaartelij n op de hypotenusa in een rechthoekige driehoek. Variëren we nu r (en/of C), dan zal e_r (en/of e_c) hiermede veranderen, maar de driehoek blijft rechthoekig. Derhalve is $e_u' = e_u$ de straal van een halve cirkel = $e_z = \frac{1}{2} e_i$. Zorgen we nu voor e_i constant, dan is ook e_u constant.

Uit het vektor-diagram volgt:

$$\operatorname{tg} \varphi / 2 = \frac{e_c}{e_r} = \frac{i_{cr} \times X_C}{i_{cr} \times r} = \frac{X_C}{r} = \frac{1}{\omega r C}$$

Doorgaans kiest men de uitdrukking voor de supplementaire hoek. Dan wordt: $\operatorname{tg} \varphi / 2 = \omega r C$.

Bij de praktische uitvoering van de fase-regelaar moeten we, gezien het voorgaande, aan de volgende voorwaarden voldoen:

- a) Brug weerstand oneindig, d.w.z. in het punt q mag geen stroom worden afgenomen. Dit wordt bereikt, door de brugspanning te brengen op het stuurrooster van een buis.
- b) φ regelbaar van 0° bij $e_r = \infty$ tot 180° bij $e_r = 0$. We regelen alleen r en houden C constant, zodat we krijgen:

$$\varphi = 0^\circ \text{ bij } r = \infty \quad \varphi = 180^\circ \text{ bij } r = 0.$$

Dit is praktisch onuitvoerbaar, reden waarom we 2 fase-draaiers, elk van ruim 90° nemen. Deze geven samen een regelgebied over ruim 180° , terwijl verder met de omschakelaar S_2 regeling over 360° mogelijk wordt.

c) e_i constant.

Teneinde hieraan te kunnen voldoen, zal de regling van de weerstand r een zo gering mogelijke invloed moeten hebben op de substitutie-impedantie van de 2 parallelle takken, d.i. op de belasting van de spanningsbron e_i . Voorts zal de inwendige weerstand van deze spanningsbron zo klein mogelijk moeten zijn.

De fase-draaiers zullen dus een amplitude-fout vertonen, welke kleiner zal zijn, naarmate meer aan bovenstaande eisen zal zijn voldaan, doch nooit = 0 zal worden. In dit geval is nog wel een ampl.-fout toelaatbaar, aangezien de amplitude na de instelling van de juiste fasehoek kan worden bijgesteld.

Bezien we wederom schema III, dan zien we als eerste fasedraaier de c.r. combinatie $C_6 - R_{12}$. Van de transformator T_5 , die tevens als symmetreer-transformator dienst doet, is de overzetverhouding 2:1 gekozen, teneinde de zend-impedantie te verlagen (zie onder γ)
Deze wordt:

$$\frac{750}{2} = 188 \Omega$$

De fase-regelaar moet worden ontworpen voor ruim 90° .

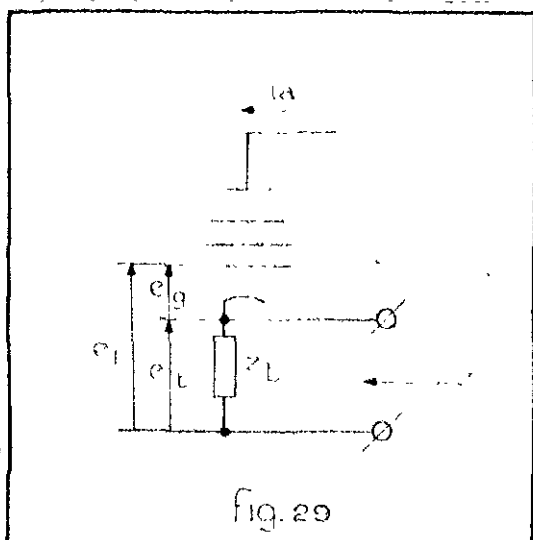
Voor $\varphi = 0^\circ$ wordt $\text{tg. } \varphi/2 = 0 = \omega r$, zodat $r = 0$.

Voor $\varphi = 90^\circ$ wordt $\text{tg. } \varphi/2 = 1$. Kiezen we in deze stand $r = 10.000 \Omega$, dan wordt c :

$$c = \frac{1}{\omega r} = \frac{1}{2\pi \times 2.000 \times 10.000} = 8.000 \text{ pF.}$$

We kiezen voor R_{12} een General Radio draaiweerstand met logarithmisch verloop. Dit laatste om de φ -draaiing meer evenredig te doen zijn met de draaiing van de bedieningsknop van de weerstand (linearisatie van de hoekchaal).

Teneinde nu op de tweede fasedraaier ($C_7 - R_{13}$) te komen, moet de spanning hoog-ohmig worden afgenomen (zie α) terwijl de zend-impedantie van de 2e fasedraaier weer zo laag mogelijk moet zijn. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een penthode, geschakeld als kathode-volger (impedantie-transformator). De ingang-impedantie van deze schakeling is zeer hoog (stuurrooster van de buis), terwijl de uitgang (zend-) impedantie bedraagt $\frac{1}{5}$.



Dit is a.v. eenvoudig in te zien. Voor deze schakeling geldt:

$$e_1 = e_g + e_k$$

Maken we nu e_1 bv. 1 Volt hoger, dan moet, bij $e_1 = \text{constant}$, e_g met 1 Volt afnemen. Hierdoor neemt de door Z_L lopende stroom (de anode-stroom i_a) toe met 5 mA, volgens definitie, zodat de schijnbaar aan de uitgang optredende impedantie $Z = \frac{1}{5} \Omega$.

Als buis is hier gekozen de h.f.-penthode 6X6. De spoel L_5 fungeert als kathode-impedantie Z_k . De zend-impedantie is nu

$$Z = \frac{1}{5} = \frac{1}{1,8 \times 10^{-3}} = 555 \Omega$$

Deze impedantie wordt door T_6 , welke dezelfde functie heeft als T_5 , naar beneden getransformeerd tot $\frac{555}{2} = 139 \Omega$.

De koppelcondensator C_{12} moet groot zijn. Hij snijdt de anode-gelijkstroom af uit de transformator.

De gelijkstroom-weerstand van de spoel L_5 moet zodanig worden gekozen, dat deze tevens dient voor het verkrijgen van de automatische neg. roosterspanning.

Gegeven is: Anode gelijkstroom $I_a = 3 \text{ mA}$.

Neg. roosterspanning $V_{g1} = -2 \text{ V}$.

De kathode weerstand moet dus worden:

$$R_k = \frac{2}{3 \times 10^{-3}} = 666 \Omega.$$

De schermroosterschakeling is analoog aan die, welke bij de 1000 Hz. generator besproken werd. De schermroosterweerstand R_{15} heeft nu 2 functies;

1. R_{15} staat parallel aan L_5 , dus zo groot mogelijk.
2. V_{g2} voor de $EF_6 = 100$ Volt. $I_{g2} = 0,8$ mA.
Spanningsval over R_{15} moet dus zijn $250 V - 100 V = 150 V$.

$$\text{Hieruit volgt: } R_{15} = \frac{150}{0,8 \times 10^{-3}} = 0,18 \text{ M}\Omega.$$

Overwegende, dat de wisselstroomweerstand van L_5 4500Ω bedraagt is hiermede tevens aan de eis onder 1. ($R_{15} \gg X_{L_5}$) voldaan.

De combinatie $C_{11} - L_3$ dient voor ontkoppeling van de buis en de spanningsbron. Het is nl. gewenst, dat de anode wisselstroom niet door de hoogsp.-bron loopt, daar dit de overige buizen, die eveneens op deze spanningsbron zijn aangesloten, zou kunnen beïnvloeden. Deze wisselstroom loopt door C_{11} (groot) en wordt door L_3 buiten de h.sp.bron gehouden. De anode gelijkstroom ondervindt in de smoorspoel L_3 praktisch geen weerstand.

Het signaal, dat we nu hebben overgehouden, is uit de aard der zaak zeer verzwakt, daar bijna ieder onderdeel van het doorlopen circuit een zekere demping vertegenwoordigt. De totale demping zal de volgende orde van grootte hebben:

Demper D_2	ongeveer	1,-	Neper
Gelijkrichter	"	4,2	"
Bandfilter	"	0,4	"
T_5	"	0,7	"
T_6	"	0,7	"
Totale demping ongeveer		7,0	Neper.

Dit komt overeen met een ongeveer 1000-voudige verzwakking.

De spanning aan de uitgang van de generator moet gemiddeld 14 Volt bedragen (1 mA op 14.000 Ω).

Gaan we uit van een oscillator-spanning van 1,7 Volt, dan moet de hierachter te plaatsen versterking bedragen $V = 14 \times \frac{1000}{1,7} =$
ruim 8200 x.

Dit zal in 2 trappen moeten geschieden. Als voortrap kiezen we een EF_6 met regelbare tegenkoppeling, dienende voor de amplitude-regeling. Voor de eindtrap nemen we, in verband met het af te geven vermogen, een EL_3 .

De spanning wordt weer hoog-ohmig van de tweede fase-draaier afgenomen, via de koppelcondensator C_{13} . R_{20} (in serie met R_{21}) vormt weer een weg voor de neg. rooster spanning, die met behulp van R_{18} wordt verkregen. $R_{18} = \frac{V_{g1}}{I_a} = \frac{2}{3 \times 10^{-3}} = 600 \Omega$.

De kathode-condensator C_{20} (groot, $4 \mu F$, $X_c = 20 \Omega$) dient voor de anode-wisselstroom i_a als parallel-weg aan R_{18} , zodat deze niet als tegenkoppel-weerstand kan optreden.

Het R.C filter $R_{21} - C_{17}$ is aangebracht om de invloed van R_{14} op de belasting van de fase-draaier te ontgaan. R_{14} is nu voor de wisselspanning, komende van de fase-draaier, door C_{17} nagenoeg kortgesloten.

Als anode-impedantie is gekozen een afgestemde kring $L_6 - C_{18}$, afgestemd op 2000 Hz., teneinde de versterking zo hoog mogelijk op te voeren. De versterker wordt hierdoor wel selectief, doch bij voldoende stabiliteit van de frequentie is dit geen bezwaar. Beter is echter een lineaire versterker.

Orde van grootte van de anode-impedantie is 2 M Ω . ($\frac{L}{CR}$). Bij 300-voudige versterking voor de eerste trap wordt de tegenkoppelweerstand R_{14} gemiddeld: $R_t = \frac{E_u}{V} = \frac{2 \times 10^6}{300} = 7.000 \Omega$. De tegenkoppelweerstand bestaat uit een vaste weerstand + een regelweerstand van 500 Ω in serie. De vaste weerstand is empirisch zo gekozen, dat het regelgebied valt om de in te stellen waarde (fijnregeling).

Het aan de uitgang van de eerste versterkingstrap optredende signaal zal ongeveer $\frac{1,7}{1000} \times 300 = 0,5$ Volt bedragen.

Door middel van het C-L filter $C_{14} - L_9$ wordt dit op het stuurrooster van de eindbuis gebracht, Hier is een C-L filter gekozen, omdat de buis laag-frequent-generereiging vertoonde.

Afenij-frequentie: $\omega = \omega^2 LC = 0,01$ $L = 4H$ $C = 500 \text{ pF}$.

$$\omega = \frac{1}{10^2 \times 4 \times 500 \times 10^{-12}} = 2220. \quad f = \frac{2220}{2\pi} = 350 \text{ Herz.}$$

De buisschakeling is verder analoog aan die bij de 1000 Hz.-generator, maar nu zonder variabele tegenkoppeling. De kathode-weerstand R_{19} is niet geshunt met een condensator, zodat hierdoor een geringe tegenkoppeling ontstaat, hetgeen de stabiliteit van de versterker ten goede komt.

De versterking van de eindtrap is

$$V = \frac{e_s}{e_i} = \frac{s \cdot R_u}{1 + s \cdot R_t} = \frac{9 \times 10^{-3} \times 7000}{1 + 9 \times 10^{-3} \times 150} = \frac{63}{1 + 1,34} = 27.$$

De outputspanning zal derhalve bedragen $0,5 \times 27 = 14$ Volt, waarmede aan de gestelde eis is voldaan.

B. Gelijktroom.

1e. Krimpen, - 4,70 mA, instelbaar.

Hiervoor staat ter beschikking - 60 V batterijspanning. Aangezien deze voedingstak parallel staat aan de beide hiervoor besproken generatoren, moet de impedantie voor 1000 en 2000 Hz. hoog zijn (zie blz. 47). Daartoe dient een serie-smoorspoel te worden opgenomen (L_9).

De stroom wordt gemeten met de gelijkstroom-mA-meter A_3 .

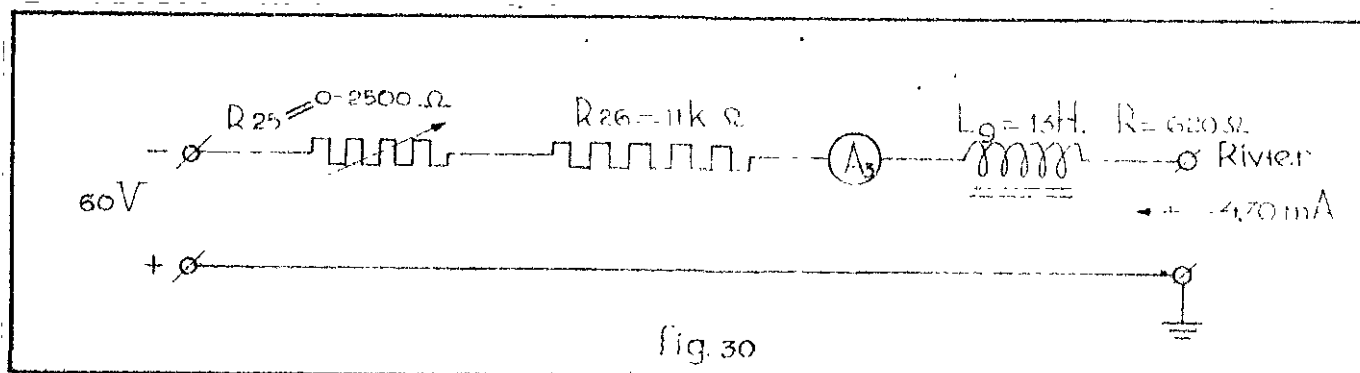


fig. 30

De gelijkspanning, welke bij Krimpen optreedt t.g.v. het oppervater (0,92 Volt in dezelve richting, zie onder 4) kunnen we tegenover 60 V wel verwaarlozen, evenals de rivierweerstand (20Ω) en de weerstand van A_3 (10Ω).

Wensen we 1 mA regelbereik, 4,2 tot 5,2 mA, dan wordt de voor-schakelweerstand:

$$R_v = \frac{60}{4,2 \times 10^{-3}} = 14,3 \text{ k}\Omega \quad \text{resp.} \quad \frac{60}{5,2 \times 10^{-3}} = 11,6 \text{ k}\Omega, \text{ waaruit}$$

Regelweerstand $14,3 - 11,6 = 2,7 \text{ k}\Omega$ met serieweerstand van $11,6 \text{ k}\Omega$.

2e. Wijk bij Duurstede.

Gelijkspanning, + 0,92 V, instelbaar.

Ingeval de wisselstroom, welke bij Krimpen wordt opgedrukt, in de rivierschakeling volledig zou zijn uitgedempt, zou de afsluit-impedantie bij Wijk bij Duurstede onverschillig zijn. Dit is echter niet het geval, waarom we een extra riviersectie, gelijkwaardig aan drie gemiddelde riviersecties hebben aangebracht. We nemen aan, dat aan het einde van deze riviersectie aan bovengenoemde voorwaarde is voldaan.

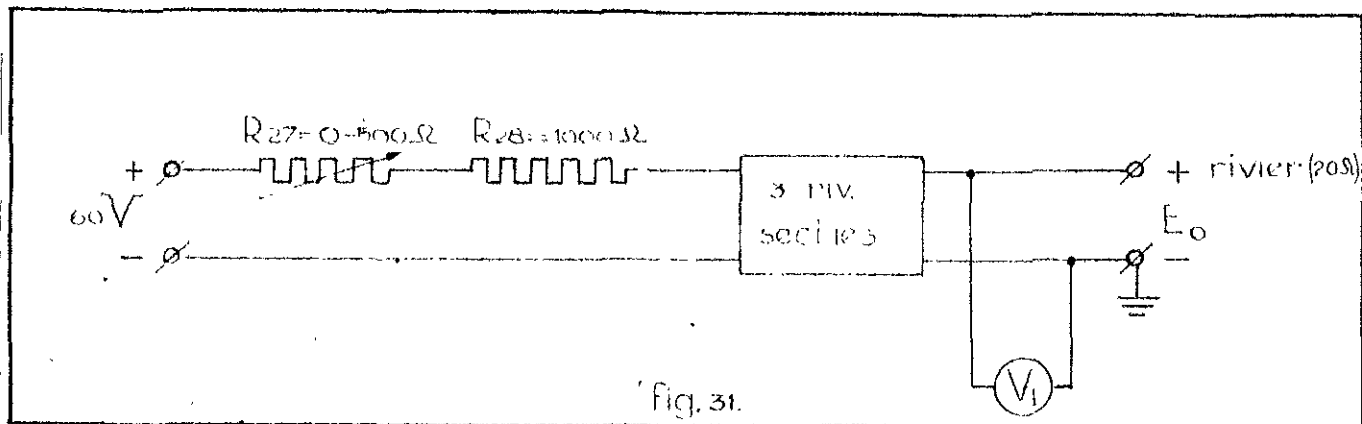


Fig. 31.

Te leveren stroom ongeveer 45 mA ($\frac{0,92V}{20\Omega}$). Gebruiken we de spanningsbron + 60 V, dan wordt de voorschakelweerstand $\frac{60}{45 \times 10^{-3}} = 1300\Omega$.
 Wattverbruik = $I^2 R = 45^2 \times 10^{-6} \times 1300 = 2,6$ watt.

Voorsch. weerstand	Stroom $I = \frac{E}{R}$	$E_0 = I \times R_{riv.} = I \times 20\Omega$.
1500Ω	$\frac{60}{1500} = 40$ mA	$40 \times 10^{-3} \times 20 = 0,8$ V.
1000Ω	$\frac{60}{1000} = 60$ mA	$60 \times 10^{-3} \times 20 = 1,2$ V.

E_0 is dus regelbaar met R_{27} van 0,8 tot 1,2 Volt.

III. Het meten.

De grootheden welke gemeten moeten worden, zijn:

- 1e. Het gem. niveau, overeenkomende met gelijkstr. 4 tot 60mA
 - 2e. Vert. 1e getij, overeenkomende met wisselstr. 1000 Hz. 7mA " 0,1 "
 - " 2e " " " " " 2000 " 1,3 " 0,1 "
 - Hor. 1e " " " " " wisselstr. 1000 " 600mV " 0,1 "
 - " 2e " " " " " 2000 " 200 " " 0,1 "
- alles amplitude.

Om te beginnen worden alle stroom-metingen vervangen door spanningmetingen, door de desbetreffende stroom te leiden door een normaalweerstand van 1,00Ω (nauwkeurigheid 1% en de aan de klemmen hiervan optredende spanning te meten.)

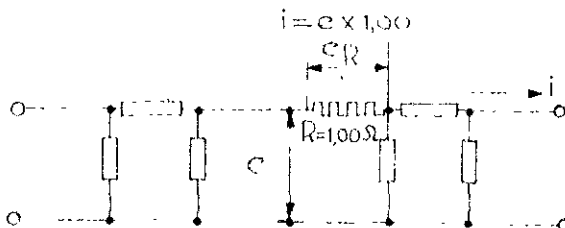


Fig. 32.

1. Gelijkstroombetaling.

Deze meting kan zeer eenvoudig geschieden. We nemen in de rivier-schakeling, ter plaatse waar we de gelijkstroom willen meten, de hierboven genoemde normaalweerstand op (zie fig. 32) en meten nu de spanning aan de uiteinden hiervan direct met een hoog-ohmige milli-voltmeter (meterweerstand $R_V \geq 100\Omega$), welke vóór de proef dient te worden geijkt.

De aanwijzing E van de meter is nu:

$$E = \frac{I}{R} = \frac{I}{1,00} = I. \text{ De te meten stroom kan dus onmiddellijk worden afgelezen.}$$

Ook de gelijkspanning kunnen we met de directe methode in ieder punt van de schakeling meten en wel met een hoog-ohmige voltmeter, welke we schakelen tussen aarde en het gewenste meetpunt. De voltmeter zal dan direct aanwijzen de gelijkspanning ter plaatse (0,92 V), voorstellende de opperwaterafvoer van de rivier.

Hoewel deze spanning theoretisch over de gehele lengte der rivier gelijk zou moeten blijven, zullen we bij nameting hiervan bewerken, dat hij in de richting Wijk bij Duurstede \rightarrow Krimpen afneemt. Oorzaak hiervan is de verlies-weerstand der seriesmoorspoelen, welke bij de opzet van het rivierschema buiten beschouwing was gelaten. Bij zeer zorgvuldige uitvoering der spoelen (Q groot) bedraagt het maximale spanningsverlies ongeveer 5%. Dit spanningsverlies is analoog met het in de werkelijkheid optredende verlies aan opperwater (wegzakken door de bodem, verdamping).

In verband hiermede zal het ook duidelijk zijn, dat de normaalweerstand voor de stroommeting zo klein mogelijk moet worden gehouden.

Een dergelijke eenvoudige meetmethode is voor wisselspanning niet uitvoerbaar, omdat:

- 1e. Het signaal niet sinusvormig is.
- 2e. behalve de amplitude ook de fase-verschuiving t.o.v. de ingangsspanning moet worden gemeten.

2. Wisselstroom-meting.

Hierbij is uitgegaan van de compensatie-methode.

De methode berust op het feit, dat 2 spanningsbronnen van gelijke frequentie, amplitude en fase tesamen een spanning gelijk aan nul opleveren. Een verbinding tussen deze twee spanningsbronnen zal stroomloos blijven, zodat een in deze tak opgenomen hoofdtelefoon, event. met versterker, onder deze omstandigheden geluidloos is.

Wordt aan één der bovengenoemde voorwaarden niet voldaan, dan zal in de telefoon een toon worden gehoord. Bij ongelijke amplitude en/of fase wordt een toon gehoord met frequentie gelijk aan die van de te meten wisselspanning. Het spreekt vanzelf, dat deze frequentie moet vallen in het toon-gebied (30 tot 12.000 Herz). De maximum gevoeligheid van het oor ligt in de buurt van 2000 Herz.

Van de twee spanningen is nu de ene, e_m , afgeleid van de te meten spanning e_m ; de tweede, e_n , afgeleid van een bekende normaalspanning e_n en wel zodanig, dat $e_m = e_n$. Dit hebben we bereikt door e_m en e_n een bekende demping d , resp. fase-verschuiving te geven, waarmede amplitude en fase van e_m t.o.v. een bepaald niveau bekend zijn;

Bij evenwicht is dus:

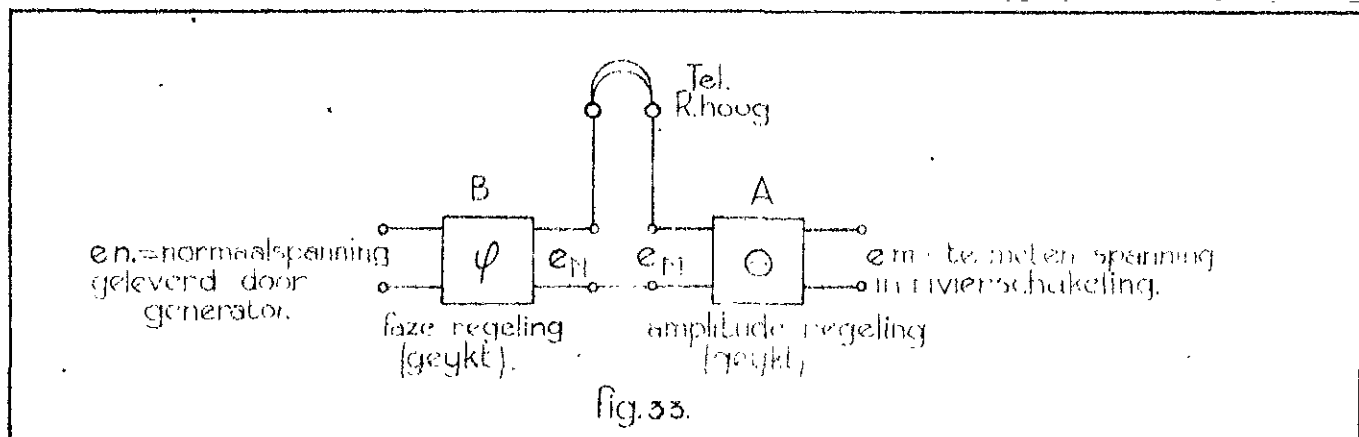
te meten spanning	Ampl. regeling (aflezen)	Normaal- spanning (bekend)	te meten fase-versch.	fase regeling (aflezen)	beginfase (bij Krim- pen)
↓	↓	↓	↓	↓	↓
e_m	=	e	φ_m	=	$\varphi_n \pm \varphi_0$
		×			
		e_n			

De verdeling van de fase- en amplitude-regeling moet nu zo gunstig mogelijk worden gekozen. De normaalspanning kunnen we binnen zekere grenzen zo hoog kiezen als we willen, terwijl daarente- de te meten spanning zeer lage waarden kan aannemen (0,1 mV).

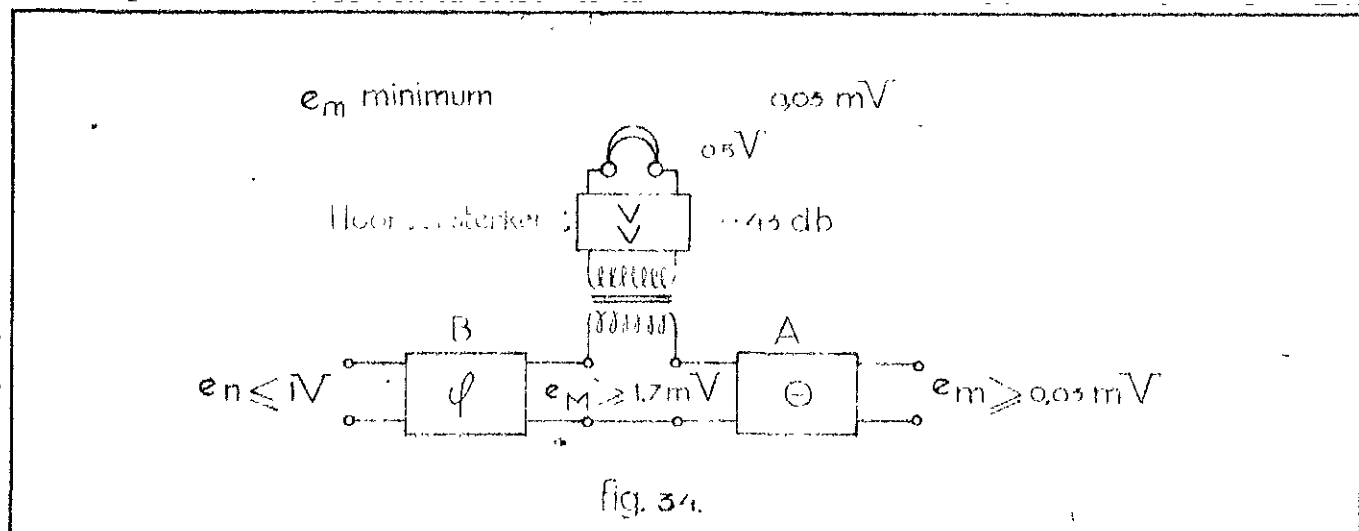
*) of versterking = negatieve demping.

De fase-regling zal uit de aard der zaak een verzwakking veroorzaken. Het ligt dus voor de hand, de amplitude-regeling aan te brengen in de te meten spanning (versterking en verzwakking), de fase-regeling in de normaalspanning. Amplitude- en fase-regeling moeten worden geijkt.

Het eenvoudigst ziet het schema van de compensator er nu a.v. uit



Voor de opzet van de schakeling gaan we uit van de volgende globale berekening en taxatie.



In de verbindingstak nemen we een versterker op van -43 db. (150X). Stellen we als eis voor behoorlijke waarnemenbaarheid $0,5$ V aan de hoofdtelefoon, dan moet de ingangsspanning van de hoorversterker $\frac{0,5}{150} = 3,3$ mV zijn. Doormiddel van de fase-draaiers is deze spanning tot nul terug te brengen, zodat iedere spanningsvector $e_m = e_n = \frac{3,3}{2} \text{ mV} = 1,7$ mV.

Bij een minimale meetspanning van $0,03$ mV is dan de versterking van het gedeelte A $\frac{1,7}{0,03} = 57$ X of 35 db.

Het normaalspanningsgedeelte B heeft als gevolg van de hierin opgenomen fase-draaiers een vaste demping van 24 db. Hieruit volgt voor e_n :

$$e_n = 1,7 \text{ mV} - 24 \text{ db} = 1,7 \times 16 = 27 \text{ mV minimaal.}$$

1 db. = 1 decibel = 0,1 bel.

Bij definitie bedraagt de demping tussen 2 vermogens W_1 en W_2 1 bel wanneer $\log \frac{W_1}{W_2} = 1$.

De Neper- en bel-schaal kunnen doorelkander worden gebruikt. Reden, waarom hier op de bel-schaal is overgegaan is het feit, dat de gebruikte demper (zie verder) in db. was geijkt. 1 Neper = 0,87 bel. 1 bel = 1,15 Neper.

e_m maximum. $\leq 0,5 V.$ (')

De hoorversterker blijft in dit geval instaan, daar het gaat om het waarnemen van het minimum.

We gaan nu uit van de maximale normaalspanning e_n , die we op 1 Volt stellen.

$$e_n \text{ is nu } 1 V + 24 \text{ db} = \frac{1}{16} = 62 \text{ mV.}$$

Het gedeelte A moet nu een damping geven van $\frac{500}{62} = 8 \times$ of 18 db.

Uitvoering van de schakeling. (Zie schema IV, bijlage 13A-B)

Gedeelte A.

Het schema van het gedeelte A moet gelezen worden van rechts (ingang) naar links (uitgang).

De te meten spanning wordt zeer hoog-ohmig van de rivierschakeling afgenomen, teneinde deze laatste niet te beïnvloeden (ont-koppeling). Dit geschiedt op 2 verschillende wijzen:

1e. Spanningsmeting. A-symmetrisch, tussen aarde en meetpunt, schakelaar S_4 in benedenstand. De spanning wordt afgenomen met het punt m, en d.m. van de koppelcondensator C_{25} op het rooster van de EL_3 gebracht. De buis is geschakeld als kathode-volger en dient uitsluitend voor ont-koppeling, zoals besproken is bij de fase draaiers van de 2000 Hz.-generator.

Het rooster ontvangt zijn negatieve voorspanning d.m.v. de roosterlekweerstand R_{37} .

2e. Stroommeting. Symmetrisch, vrij van aarde, schakelaar S_4 in bovenstand.

Zoals reeds besproken, wordt hierbij de spanning gemeten aan een serie-weerstand van $1,00 \Omega$, dus kan niet t.o.v. aarde worden gemeten. Hiertoe is een 2e ingang gemaakt via de symmetreer-transfomator T_{10} . Het rooster ontvangt nu zijn negatieve voorspanning via de secundaire van T_{10} . Door de koppelcondensatoren C_{35} wordt de gelijkstroom buiten de primaire van T_{10} gehouden.

R_{57} = stopweerstand. Deze dient om eventuele h.f.-generering tegen te gaan, waarvoor bij de EL_3 kans bestaat, vanwege de grote steilheid (9 mA/V).

R_{57} vormt met de rooster-kathode-capaciteit een R-C-filter, dat mogelijk aanwezige hoge frequenties afsnijdt.

R_{40} = aanvullingsweerstand. Voor de benodigde neg. roosterspanning moet de kathode-weerstand 150Ω bedragen. De gelijkstroomweerstand van L_{15} is 100Ω , zodat de weerstand $R_{40} = 50 \Omega$ in serie moet worden geschakeld, om de juiste instelling van de buis te verkrijgen.

Na deze ont-koppeling volgt een selectie-bring. We willen nl. of 1000 of 2000 Herz meten.

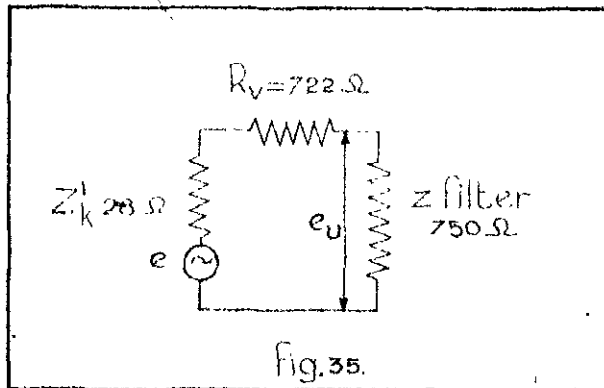
Via de koppelcondensator C_{36} en een aanpassingstraf 2:1 (T_{11}) komt het signaal bij de dubbele schakelaar S_5 , waarmee we de spanning kunnen leiden door een 1000 Hz. filter (band-) (S_5 naar boven) of een 2000 Hz. bandfilter (S_5 naar beneden), naar gelang de frequentie, die we wensen te meten. De middenstand van S_5 geeft de spanning direct door en dient slechts voor controle-doelinden.

De karakteristieke impedantie van de bandfilters is 750Ω , zodat de zend-, resp. afsluit-impedantie eveneens deze waarde moeten hebben. De zend-impedantie = de kathode-impedantie van de voorgaande buis + voorschakelweerstand R_{50} . We willen de kathode-impedantie, die hier als generator optreedt, zo laag mogelijk houden, om de invloed van variaties in de buis-eigenschappen zoveel mogelijk te

('). De uiterste maximum-grens wordt gesteld door de roosterruimte van de ingangsbuis van het gedeelte A. Hieruit volgt voor e_m max. ongeveer 3 V effectief.

reduceren, immers $Z_k = \frac{1}{S}$. Dit is de reden, waarom hier een EL_3 is gekozen met steilheid $S = 9 \text{ mA/V}$.
 Z_k wordt nu $\frac{1}{9} = \frac{1}{9 \times 10^{-3}} = 111 \Omega$. Deze impedantie wordt nog naar beneden getransformeerd door T_{11} tot $\frac{111}{4} = 28 \Omega$. Om nu weer tot 750Ω te komen is de voorschakelweerstand $R_{50} = 722 \Omega$ in serie opgenomen.

Ter verdere verduidelijking kunnen we nog het substitutieschema tekenen:



We kunnen de buis voorsteller als een spanningsbron e met inwendige impedantie van 28Ω . Deze wordt kunstmatig vergroot met behulp van R_V tot 750Ω , waardoor aanpassing is verkregen (uitw. imped. = inw. imp.). Verder zal nu de invloed van de Lampeigenschappen zijn gereduceerd tot het $\frac{28}{722}$ deel, d.i. 4%.

De spanning aan de belasting e_u is nu $\frac{750}{28 + 722 + 750} e = \frac{1}{4} e$, zodat het systeem een demping van 6 db. vertegenwoordigt.

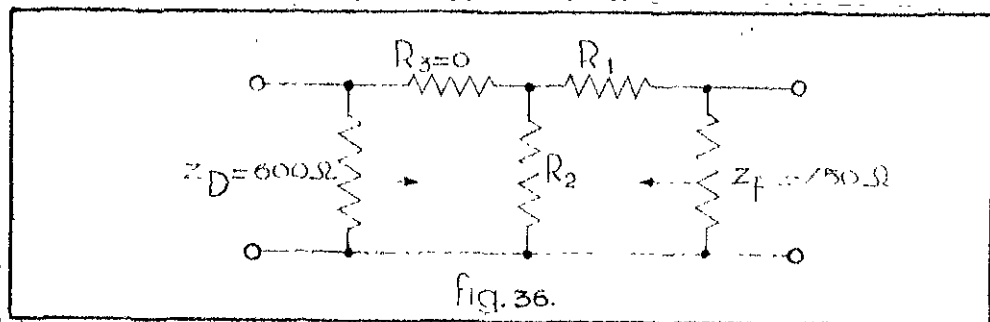
Na de bandfilters volgt de amplitude-regeling. De te meten spanning wordt eerst gedempt met behulp van de regelbare demper D_3 (0-75 db) en daarna door een vrijwel constante versterker omhooggebracht.

Het ingangs-signaal van de versterker kan dus met behulp van de demper steeds beneden de maximaal toelaatbare waarde met het oog op vervorming worden gehouden.

Aanpassing filters-demper.

De demper heeft een karakteristieke weerstand van 600Ω . In- en uitgang moeten worden afgesloten met 600Ω , hetgeen nauwkeurig moet geschieden, daar anders de ijking niet meer zou kloppen.

Tussen bandfilters en demper moet dus een verloopdemping worden aangebracht van 750 op 600Ω , welke gevormd wordt door $R_{51} - R_{52}$



Om de demping zo gering mogelijk te houden, kiezen we $R_3 = 0$. Van Z_f uitgezien moet de substitutie-impedantie van de belasting eveneens 750Ω bedragen.

Hieruit volgt:

$$R_1 + \frac{R_2 \times 600}{R_2 + 600} = 750.$$

Van Z_D uitgezien moet de substitutie-weerstand van de belasting 600Ω bedragen, waaruit volgt:

$$\frac{(R_1 + 750) R_2}{R_1 + 750 + R_2} = 600.$$

Hieruit R_1 en R_2 op te lossen. $R_1 = 335 \Omega$. $R_2 = 1342 \Omega$.

Damping: Beschouw de schakeling als potentiometer, waarvan de spanning is afgenomen op de parallel-schakeling van R_2 en Z_d .

$$B = \frac{\frac{600 \times R_2}{600 + R_2}}{\frac{600 \times R_2}{600 + R_2} + R_1} = \frac{1}{1 + \frac{R_1(600 + R_2)}{600 R_2}} = \frac{1}{1 + \frac{335(600 + 1342)}{600 \times 1342}} =$$

$$B = \frac{1}{1,814} = 5,2 \text{ db.}$$

De demper is verder afgesloten met $R_{d3} = 600 \Omega$ (precies!).
De damping van het besproken circuit bedraagt nu:

T11	6 db.
T11 → bandfilter	6 "
Bandfilter	3,4"
Verlooptdamping	5,2"

Voorts hebben we aan de uitgang van de schakeling nog een omschakelaar (S_6) aangebracht, teneinde de fase 180° te kunnen omkeren (zie bij ged. B), waardoor nog een damping $1:2 = 6$ db. ontstaat. Het gedeelte A heeft dus, als gevolg van de gekozen schakel-elementen een " vaste " damping van $6 + 6 + 3,4 + 5,2 + 6 = 26,6$ db.

Op blz. 57 zagen we, dat de totale versterking van het gedeelte A bij de kleinste te meten spanning 35 db. moet bedragen. We moeten dus een versterking toevoegen ten bedrage van $35 + 26,6 = 61,6$ db. of $1200 \times$.

Aangezien deze versterker aan speciale eisen moet voldoen, is hij voor dit doel speciaal ontworpen en in de compensator ingebouwd. Wat betreft de hierbij behorende theorie wordt hier volstaan met het noemen der formules, welke voor de berekening noodzakelijk zijn. Voor de afleiding dezer formules zij verwezen naar de literatuur.

Een versterking van $1200 \times$ zou in principe kunnen worden verwezenlijkt met één EF6 (de versterker behoeft geen energie af te leveren), met anode-impedantie

$$r_u = \frac{V}{I} = \frac{1200}{1,8 \times 10^{-3}} = 670.000 \Omega.$$

We kiezen echter een andere schakeling en wel om de volgende redenen:

1. De versterker moet recht zijn, d.w.z. de frequenties 1000 en 2000 Hz. moeten met dezelfde versterkingsgraad worden doorgegeven. Dus, weerstands-versterking. Als gevolg hiervan zullen we moeten versterken in 2 trappen, aangezien de anode-weerstand, met het oog op een goede werking niet meer dan 50.000Ω mag bedragen, i.v.m. het optredende plaatspanningsverlies.

2. Iedere buis werkt stoorspanningen op in de vorm van harmonischen bronspanningen e.d.. Deze worden door de hoor-versterker mee-versterkt, hetgeen het bepalen van het minimum bemoeilijkt. Om deze reden kiezen we een schakeling, welke de eigenschap bezit deze stoorspanningen te onderdrukken. Aan deze eis voldoet de serie-tegenkoppeling, waarbij de stoorspanningen met een factor $\frac{1}{1 + s r_t}$ gereduceerd worden.

(s = substitutie-steilheid van de schakeling, r_t = tegenkoppelweerstand = R_{d3})

3. Daar de versterker dient voor meetdoeleinden, is een grote stabiliteit van de versterkingsgraad vereist. Hieraan voldoet eveneens de serie-tegenkoppeling. De invloed van de lamp-eigenschappen wordt hierbij wederom met de terugkoppelfactor gereduceerd.

Voor de bouw van de schakeling, zie schema IV. (BYLAGE 13A).

De uitgangsimpedantie R_{u2} bedraagt, van de versterker uitgezien, 120.000Ω (zie verder), d.i. de gunstigste belastingsimpedantie voor de BF6.

Voor deze schakeling geldt nu voor de versterking:

$$V = \frac{E_{u2}}{r_t}. \text{ Hieruit volgt voor } r_t: \quad r_t = \frac{E_{u2}}{V} = \frac{120.000}{1200} = 100 \Omega.$$

De substitutie-stellheid $s = s_1 s_2 r_{u1} = 1,8 \times 10^{-3} \times 1,8 \times 10^{-3} \times 50.000 = 3,25 \times 50 \times 10^{-3} \times 50.000 = 162,5 \text{ mA/V.}$

$$\text{Terugkoppelfactor } \frac{1}{1 + s r_t} = \frac{1}{1 + 162,5 \times 10^{-3} \times 100} = \frac{1}{17,25}.$$

Dit betekent, dat van de in de versterker opgewekte stoorspanningen in de uitgangsspanning slechts 6 % voorkomt van die, welke hierin zouden voorkomen indien geen terugkoppeling werd toegepast.

De uitgangsimpedantie van de versterker (van buitensaf gezien) is laag gehouden, om de invloed van parasitaire capaciteiten, overspreken (hand-effect) e.d. zoveel mogelijk te verkleinen. De uiteindelijk belasting (hoofdtelefoon of hoorversterker + hoofdtelefoon moet hoog-ohmig zijn. Vergelijk hiermede ook de overwegingen bij T11 (blz. . .). Van links-af gezien is nu de uitgangsimpedantie = de getransformeerde weerstand $R_{54} = \frac{240.000}{20} = 600 \Omega$, parallel aan $R_{55} = 600 \Omega$, hetgeen oplevert $\frac{600}{2} = 300 \Omega$. Hiervoor wordt door de omschakelaar S_6 nog de helft genomen, zodat de uitgangsimpedantie van links gezien in totaal 150Ω bedraagt.

Van de versterker uit gezien is de uitgangsimpedantie = de getransformeerde weerstand $R_{55} = 600 \times 20 = 240.000 \Omega$, parallel aan $R_{54} = 240.000 \Omega$, hetgeen oplevert $\frac{240.000}{2} = 120.000 \Omega$ totaal.

De ingangstransformator T12 is in de eerste plaats nodig als scheidingstrafo, om de terugkoppelspanning op het stuurrooster van de eerste buis te kunnen brengen. De overzet verhouding 1:20 compenseert juist die van de uitgangstransformator.

Belastingscontrôle.

Bij de maximale belasting van de versterker zal e_{g2} (= roosterwisselspanning aan 2e buis) ong. 0,5 V. eff. bedragen. Dit in verband met de roosterruimte van de BF6 ($\frac{2 - 1,3}{\sqrt{2}}$).

$$e_{g2} = 0,5 \text{ V} = e_{g1} \times s_1 r_{u1}.$$

$$e_{g1} = \frac{0,5}{s_1 r_{u1}} = \frac{0,5}{1,8 \times 10^{-3} \times 50.000} = 5,56 \text{ mV.}$$

$$e_1 = e_{g1} (1 + s r_t) = 5,56 \times 17,25 = 96 \text{ mV.}$$

$$\text{Vóór T12 wordt dit } \frac{96}{20} = 4,8 \text{ mV.}$$

Bij een te meten spanning van	→	½ volt		3 volt
moet dus van de ingang van A tot T12 de damping bedragen	→	$\frac{500}{4,8} = 104 = 40,3 \text{ db.}$		$\frac{3000}{4,8} = 625 = 55,9 \text{ db.}$
Om nog juist geen vervorming te doen optreden moet de demper dan instaan op	→	$40,3 - 20,6 = 20 \text{ db.}$		$55,9 - 20,6 = 35 \text{ db.}$

Uit deze beschouwing blijkt tevens, dat het uitgangssignaal (bij S_6) zonder vervorming hoogstens kan bedragen

$$\frac{V \times e_1}{2 \times 20} = \frac{1200 \times 96}{2 \times 20} = 2,88 \text{ Volt.}$$

De R-C-filters R48 - C44 en R49 - C45 dienen voor ontkoppeling van de buizen. In geen geval mogen ontkoppelspoelen worden gebezigt daer deze genereeroneiging zouden veroorzaken.

Tenslotte is in de versterker nog een kleine regeling aangebracht met behulp van de variabele extra-terugkoppelweerstand R44.

De vóór de versterker geplaatste demper is nl. regelbaar in stappen van 0,5 db., terwijl we continu-regeling willen hebben op 0,05 db. nauwkeurig ($\frac{1}{2}\%$). Maken we deze regeling 0,8 db. continu ("overlappend"), dan wordt de versterking bij R44 maximaal $61,6 - 0,8 = 60,8$ db., overeenkomende met een factor 1096. De tegenkoppelweerstand wordt nu:

$$R_t = \frac{E_{t2}}{V} = \frac{120.000}{1096} = 110 = R_{43} + R_{44}.$$

$R_{43} = 100 \Omega$, zodat $R_{44} 10 \Omega$ moet bedragen.

Gedeelte B.

Dit is het normaalspanningsgedeelte waarin tevens de fase-regeling is opgenomen.

De normaalspanning wordt geleverd door de generatoren. Hiertoe is parallel aan de belasting een tak van ongeveer gelijke impedantie geschakeld, zodat hierdoor dezelfde stroom zal vloeien als door de rivierschakeling. Bij de 1000 Hz.-generator (zie schema I) bestaat deze parallel-tak uit de koppelcondensator C_3 , waarmee in serie de sperkring $L_2 - C_5$, R_7 en R_8 . De sperkring dient om de eventueel nog uit de rivier komende 2e harmonische (2000 Hz.) buiten de stroombaan te houden. Nemen we L_2 370 mH., dan wordt bij afstemming op 2000 Hz.:

$$2000 = \frac{1}{2\pi V L_2 C_5}, \text{ waaruit volgt: } C_5 = 17.100 \text{ pF.}$$

R_7 en R_8 maken we $\approx R_6 + Z$ rivier. Door de parallel-tak zal nu 4,8 mA vloeien. R_8 is een potentio-meter, waarvan we de normaalspanning af kunnen nemen. We hadden hiervoor aangenomen max. 1 Volt, zodat $R_8 \geq \frac{1}{4,8 \times 10^{-3}} \geq 208 \Omega$ genomen 300 Ω .

R_7 wordt dan 14.000 Ω / 0,35 watt.

Op de uitgang van de 2000 Hz.-generator is een soortgelijke parallel-tak aangebracht, waarvan een normaalspanning van 2000 Hz. kan worden betrokken voor het meten van de 2e harmonische. De sperkring dient nu voor het buiten de stroombaan houden van de event. uit de rivier komende 1e harmonische, dus afstemming op 1000 Hz. Voor $L_7 = 370$ mH wordt:

$$1000 = \frac{1}{2\pi V L_7 C_{19}}, \text{ waaruit volgt } C_{19} = 68.900 \text{ pF.}$$

De stroom door de par.-tak bedraagt ong. 1 mA, zodat de potmeter R_{24} voor $e_n \geq 1$ Volt moet worden:

$$R_{24} \geq \frac{1}{10^{-3}} \geq 1000 \Omega. \quad \text{genomen } 2500 \Omega.$$

Op blz. 57, 58 vonden we, dat de normaalspanning moet liggen tussen 27 mV en 1 V, resp. voor de laagste en de hoogste te meten spanning. We moeten dus e_n tussen deze grenzen kunnen instellen, hetgeen in principe met de potmeters R_8 en R_{24} zou kunnen geschieden. Daar echter de normaalspanning met een volt-meter moet worden gemeten, hetgeen beneden 0,5 Volt bezwaarlijk nauwkeurig kan geschieden, schakelen we tussen het punt N en aarde een hoog-ohmige ~~maximaal~~ potentiometer in de vorm van een weerstandsbank van 10.000 Ω . De spanning van N houden we nu constant = 1 Volt, gemeten met de hoog-ohmige voltmeter V_2 (20.000 Ω/V). We kunnen nu e_n van de weerstandsbank afnemen, waarbij $e_n = \frac{W_2}{W_1 + W_2} \times 1$ Volt.

Het spreekt vanzelf, dat de aflezing van V_2 , benevens de weerstandsbank een hoge graad van nauwkeurigheid moeten bezitten, daar alle amplitude-metingen op e_n worden teruggebracht.

van de hoogspanningsbron ontkoppeld met de

N.B. In wezen hebben we hier een tweede amplitude-regeling verkregen, overeenkomstig die, welke bij proef 3 werd toegepast. Bij deze proef ontbrak dus de amplitude-regeling uit A (demper + versterker). De hier besproken compensator moet worden beschouwd als een verdere ontwikkeling van die, welke bij de derde proef werd gebruikt. W treedt hier op als " keuze van de schaalwaarde ".

De normaalspanning e_n wordt nu geleid door 2 fasedraaiers op principieel geheel dezelfde wijze als besproken bij de 2000-Hz.-generator. Was bij deze laatste een amplitude-fout toelaatbaar, in dit geval moet deze fout zo klein mogelijk worden gehouden. Voor ontkoppeling gebruiken we daarom, evenals bij de ingang van het gedeelte A, de eindpenthode EL_3 , geschakeld als kathode-volger. De overzet-verhouding van de trafo's T7 en T8 maken we weer 2:1, de regelweerstand R_{32} en R_{33} 10.000 Ω logarithmisch. De condensatoren worden dan:

C 8.000 pF. voor 2000 Hz.

C 16.000 pF. voor 1000 Hz.

We nemen respectievelijk 11.000 en 22.000 pF.. Dit wordt verwezenlijkt met de schakelaar S_3 , die in open stand alleen de condensatoren C_{32} en C_{34} doet instaan, in gesloten stand de condensatoren $C_{31/32}$ en $C_{33/34}$ onderling gelijk zijn binnen 1 % nauwkeurig, dan zullen de hoekschaal voor 1000 en 2000 Hz. op elkaar vallen, zodat we met één schaal en één ijking kunnen volstaan.

De buizen zijn/ontkoppelfilters $L_9 - C_{28}$, $L_{10} - C_{29}$, $L_{11} - C_{30}$. De stopweerstand $R_{26/27/28}$ hebben dezelfde functie als R_{57} , bij de EL_3 van gedeelte A. Zo komen ook de aanvullingweerstand $R_{34/35/36}$ overeen met R_{40} .

De demping van het circuit, van het punt e_n tot de uitgang wordt:

T7 overzet-verhouding 2:1	— — — — —	6 db.
Van de secundaire spanning wordt de helft genomen	— — — — —	6 db.
Hetzelfde bij T8	— — — — —	12 db.
		<u>24 db.</u>

De uitgangsimpedantie van de laatste buis = $\frac{1}{S} = \frac{1}{9} \times 10^{-3} = 111\Omega$, dus laag, evenals de uitgangsimpedantie van het gedeelte A.

Ijking van de hoekschaal.

De beide regelweerstand van de fasedraaiers kunnen van een geijkte schaal worden voorzien. Dit heeft het grote voordeel, dat tijdens de meting de fasehoek onmiddellijk kan worden afgelezen.

In principe kan deze ijking teruggebracht worden tot een serie-weerstandsmetingen. $\tan \varphi/2 = \omega r$. We houden ω constant, zodat, wanneer we φ steeds 1° laten opschuiven, de bijbehorende waarde van r kan worden berekend en daarna gemeten met de brug van Wheatstone.

We hebben echter een andere methode gevolgd, omdat in het laboratorium der P.T.T. een geijkte compensator aanwezig was, zodat deze voor de ijking kon worden gebruikt.

Het principe-schema van de ijk-schakeling is nu als volgt:

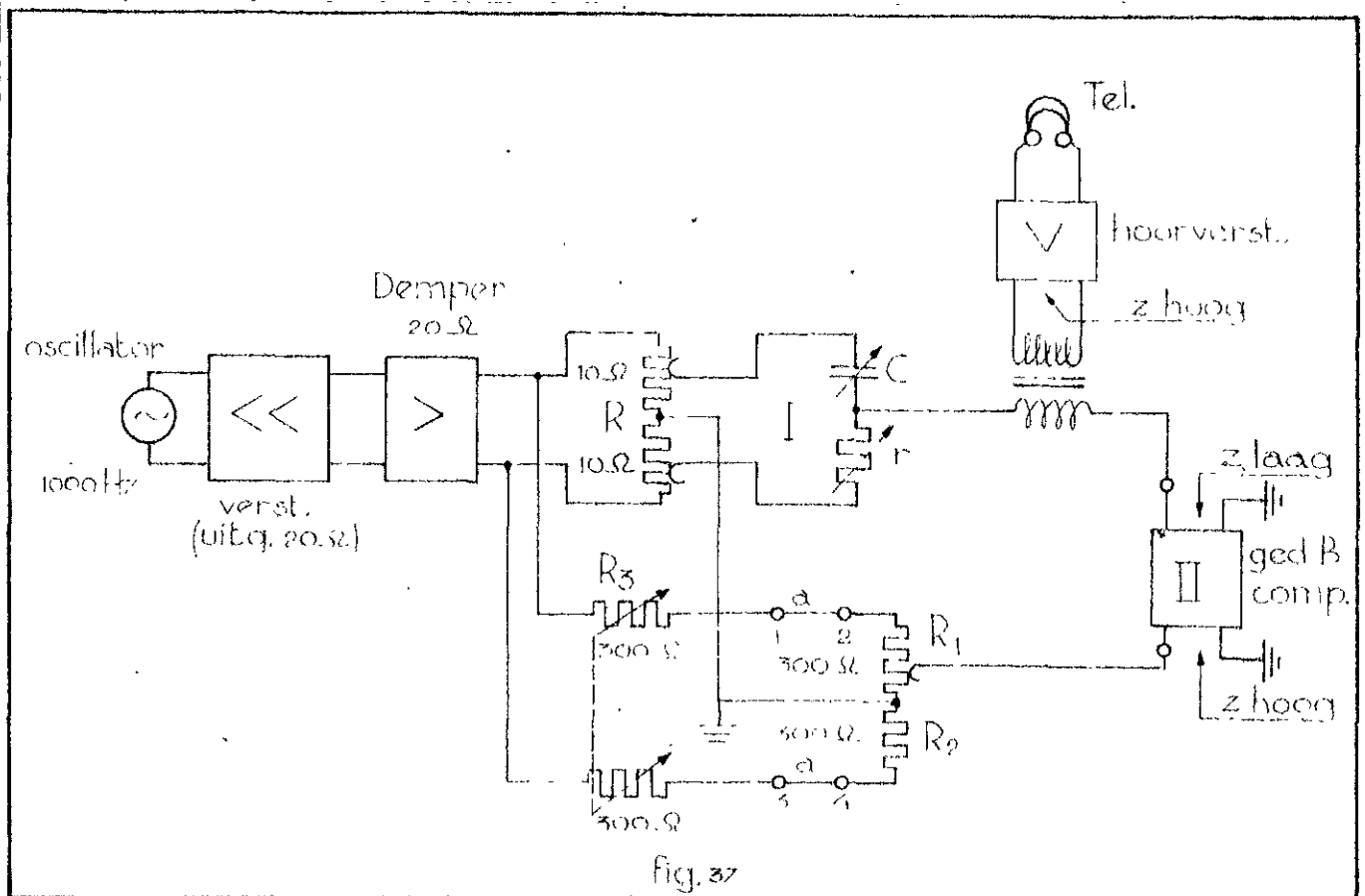


fig. 37

We hebben hier 2 fasedraaiers:

1. De gelijke, bestaande uit de laag-ohmige tak $R = 2 \times 10 \Omega$ en de hoog-ohmige tak met de weerstandsbank r ($10 \times 1000 \Omega$; $10 \times 10.000 \Omega$) en de condensatorbank C ($0 - 1,111 \mu F$ continu).
- II. De te ijken fasedraaiers van het gedeelte B. Deze worden gevoed via de onderste parallel-tak. De weerstand R_1 is speciaal uitgevoerd met een dubbele parallel-weerstandsbank en daardoor in zeer kleine stappen regelbaar. Hiermede is het mogelijk - in combinatie met aftakkingen op R - om amplitude compensatie te verkrijgen.

De ijking verloopt nu a.v.:

We kiezen het nulpunt op de schaal van de fasedraaiers van B. en maken evenwicht met behulp van R , R_1 (amplitude-compensatie) en C en r (fase-compensatie).

Indien de fasedraaiers van B geen amplitude-fout hadden, zou de amplitude-regeling verder achterwege kunnen blijven. Het blijkt echter, dat gedurende de ijking R_1 moet worden geregeld, waaruit de grootte van de amplitude-fout kan worden gevonden.

Bij instelling van r op 1000Ω vinden we nu voor C (bv.) 72.166 pF . Uitgaande van de formule $\text{tg } \varphi/2 = \omega cr$ vinden we nu bij $f = 1000 \text{ Hz}$.

$$\text{tg } \varphi/2 = \omega cr = 2\pi \cdot f \cdot c \cdot r = 2\pi \cdot 10^3 \times 72.166 \times 10^{-12} \cdot 10^{-3} = 0,45327$$

Hieruit volgt voor φ (tangens-tabel) $48^\circ 46'$.

We zien dus, dat het nulpunt van de te ijken schaal op II overeenkomt met $48^\circ 46'$ van I, dit als gevolg van de volmaakte willekeurige nulpuntskeuze. Willen we nu het punt $10^\circ 0'$ op de schaal uitzetten, dan stellen we fasedraaiers I in op $49^\circ 46'$, a.v.:

We houden r constant = 1000Ω .

$$\text{tg } \frac{49^\circ 46'}{2} = 0,46383 \text{ (tabel)} = \omega cr.$$

$$C = \frac{0,46383}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}} = 73.842 \text{ pF.}$$

Deze waarde wordt ingesteld, waarna we één der beide fasedraaiers van II verder draaien, tot de telefoon geluidloos is. Het nu gevonden punt op de schaal wordt aangetekend als het punt 1°.

Op deze wijze wordt van één der beide fasedraaiers van II de schaal geheel getekend. De andere fasedraaier van II blijft hierbij steeds op het nulpunt staan.

De iking is a.v. tabellarisch uitgevoerd:

Comp. II Graad- verdeling één fasedr.	Compensator I				
	Fase-compensatie			Ampl.-compens.	
	φ	$\operatorname{tg} \varphi / 2 = \frac{\omega C R}{1 - \omega^2 C R^2}$	C pF (r=1000Ω) C = $\operatorname{tg} \varphi / 2 \times 1,592$	R ₁ (R=4Neper)	
Ω				Neper(d ₁)	
0	48.46	0,45327	72.166	363,6	
1	49.46	0,46383	73.842	363,6	
2	50.46	0,47448	75.537	363,7	
3	51.46	0,48521	77.245	363,7	

Het spreekt wel vanzelf, dat de tangenten, alsmede de condensatorwaarden, zeer nauwkeurig moeten worden bepaald.

Teneinde de demping van II te vinden, zoeken we in een bij compensator I behorende ijk-tabel op de dempingswaarde d₁ Neper, behorende bij de instelling van R₁. Het signaal bereikt nu de telefoon langs twee wegen, n.l. via de onderste tak, welke een demping heeft van (d₁ + d_{II}) Neper; verder langs de boventak, waarvan de demping d₁ kan worden ingesteld met behulp van R, die in ons geval gedurende de gehele meting 4 Neper bedraagt. Bij amplitude-compensatie is: d_{II} = d₁ - d₁.

Hieruit volgt voor de demping van compensator II:

$$d_{II} = d_1 - d_1.$$

Bij de iking werd gevonden:

x	R ₁ Ω	d ₁ Neper	d _{II} = d ₁ - d ₁	Lineaire dempingsverh.
nul.	362,6	1,119	2,881	17,74
max.	365,1	1,110	2,890	17,99

De amplitude-variatie is dus van 17,99 A tot 17,74 A, d.i.
 $\frac{(17,99 - 17,74)A}{17,74 A} \times 100 \% = 1,4 \%$.

Dit bedrag is nog zeer groot. Bij twee fasedraaiers achter elkaar zou de totale amplitude-fout 2,8 % worden. Verschillende controle-metingen hebben echter andere waarden opgeleverd, zelfs tot kleiner dan 1 % (bij grotere R₁). Het is n.l. niet zeker, of compensator I zelf geen ampl.-fout heeft. Men en ander vergt een nader onderzoek.

Hebben we nu één der fasedraaiers van II van een schaal voorzien dan kan de 2e fasedraaier gemakkelijk met behulp van deze schaal worden geïkt. We zetten daartoe beide in de middenstand en compenseren I tegen II. Draaien we nu de reeds geïkte fasedraaier 1° terug, dan moeten we de tweede 1° verder draaien, om het evenwicht te herstellen enz.

Aldus ontworpen een meetinstrument voor het meten van wisselspanningen van 1000 en 2000 Hz. naar grootte en fase in een meetgebied van 0,1 mV tot 3 V.

Uitvoering van de meting.

1. Instellen randvoorwaarden.

De randvoorwaarden worden ingesteld en gecontroleerd met de meters A_1 , A_2 , A_3 en V_1 (zie schema I/), De oscillograaf toont de spanningskromme bij het punt Krimpen en blijft evenals de meters gedurende de gehele meting instaan. Hij dient:

1e. Voor het instellen van de faseverschuiving tussen de eerste en tweede harmonische, waarmede bij het ontwerp der generatoren nog geen rekening was gehouden. Dit geschiedt door vergelijking van de spanningskromme met de op de rivier zelf opgenomen kromme voor het horizontale getij.

2e. Voor controle. Iedere tijdens de meting eventueel optredende storing zal onmiddellijk worden waargenomen door verandering van het beeld op de oscillograaf.

Het is noodzakelijk de frequentie van de oscillator vóór de proef te ijken, door vergelijking met een standaard frequentie, of met een stemvork.

De meters V_1 , V_2 en A_3 dienen eveneens vooraf te worden gecontroleerd door vergelijking met precisie meters. Slechts de aan te wijzen punten van de schaal behoeven te worden geijkt. Bij de mA-meter A_1 en A_2 is dit niet nodig, daar de juiste instelling van de hierdoor aangewezen grootheden (i_1 en i_2) later m.b.v. de compensator geschiedt.

2. Bepalen compensator-constanten.

Alvorens te kunnen meten, moeten de compensator-constanten worden bepaald (nulpunts-correctie), waarmede de in de compensator zelf, als gevolg van de gebruikte schakelelementen optredende demping en fase-verschuiving worden geëlimineerd. Dit dient vóór iedere waarnemingsreeks te geschieden; het nulpunt is vrij sterk aan verandering onderhevig.

We verbinden hiertoe de ingang van gedeelte A (punten m^1 of punt m) met de ingang van B. (punt n), zodat beide vanuit hetzelfde punt van W gevoed worden. De aanwijzing van V_2 doet hier niet ter zake, daar het erom gaat, dat de beide helften van de compensator dezelfde spanning toegevoerd krijgen.

Maken we nu evenwicht, dan zullen demping en fase draaif van de beide delen A en B van de compensator onderling gelijk zijn. Het nulpunt van de hoekschaal hadden we oorspronkelijk op het hier gevonden punt aangenomen, doch t.g.v. latere wijzigingen van de schakeling is dit nulpunt inmiddels verplaatst. Dit is intussen van geen betekenis.

Wat het amplitude-nulpunt betreft, wil compensatie der beide helften tegen elkaar zeggen: de demping van gedeelte A = de demping van gedeelte B = ruim 24 db. De "vaste demping" van gedeelte A is 26,6 db., de "vaste" versterking = 61,6 db. (zie blz. 60.), zodat

$$26,6 - 61,6 + 0 = 24.$$

De instelling 0 van de demper D_3 van het gedeelte A moet dus ongeveer bedragen:

$$0 = 61,6 + 24 - 26,6 = 59 \text{ db.}$$

We noteren de compensator-constanten in de voor de meting opgestelde tabel, zie bijlage 16.

Zij zijn te vinden ter weerszijden van de aanduidingen 1000 en 2000 Hz. De constanten zijn de gemiddelden van waarnemingen vóór en na iedere reeks metingen. De onderlinge verschillen vinden hun oorzaak in de wijze van schakeling bij stroom- of spanningskeuze (ingang van A), alsmede in de verschillende frequenties 1000 en 2000 Hz.

3. Voorbeeld van een meting.

De schakeling van de compensator op schema I is aangegeven voor het geval, dat op een meetpunt op de rivier de stroom wordt gemeten en wel de 2e harmonische. We zullen dit geval als voorbeeld behandelen.

De weerstandsbank W wordt aangesloten op de uitgang N van de 2000 Hz.-generator, waarna op de onder 2 beschreven wijze de compensator-constanten worden bepaald. In dit geval is dus:

$$\varphi = -3^{\circ} 30'; \quad \sigma = 57,47 \text{ db.}$$

We stellen nu met behulp van de potmeter R_{24} en in op 1 Volt, aangewezen door V_2 , e.w. 1 Volt effectief of 1 Volt amplitude, naar gelang we effectieve waarden of amplituden willen meten. In ons geval verlangen we de uitkomsten in mV amplitude, dus wordt V_2 ingesteld op $\frac{1}{\sqrt{2}}$ volt. Hierdoor vermijden we de omrekenfactor $\sqrt{2}$.

De normaalspanning e_n kunnen we nu kiezen tussen 0 en 1 Volt ampl., afh. van het aftakpunt op W. Het gunstigst blijkt in dit geval te zijn: $e_n = 100 \text{ mV ampl.}$, zodat we nemen:

$$e_n = \frac{W_1}{W_1 + W_2} \times e_n = 0,1. \quad W_1 + W_2 = 10.000\Omega, \text{ dus } W_1 = 1000\Omega.$$

We verbinden nu de punten m^1 met het meetpunt Krimpen.

Was de te meten spanning 100 mV (= 100 mA door 1Ω), dan zou bij ampl.-compensatie de demper D_3 moeten instaan op 57,47 db. = 0, gelijk hierboven werd bepaald. We moeten echter vinden 1,30 mV (randvoorwaarde. Zie bijlage 16, kolom 13; de randvoorwaarden zijn onderstreept). Dit betekent, dat met D_3 minder damping moet worden ingezet en wel:

$$e_n/1_2 = 100/1,30 \times \text{minder (kolom 12)} \\ = 37,72 \text{ db.} \quad \text{" (kolom 11)}$$

D_3 moeten we dus instellen op $57,47 - 37,72 = 19,75 \text{ db.}$

Hierna kunnen we met behulp van de fase-regelaars gemakkelijk het geluidminimum in de telefoon vinden. De telefoon zal nu niet geheel stil zijn, als gevolg van de minder nauwkeurige aanwijzing van A_2 , die dezelfde randvoorwaarde aanwijst.

We manoeuvreren nu met R_{14} , R_{24} en de fase-regelaars zolang, tot de telefoon absoluut geluidloos is, waarbij $D_3 = 19,75 \text{ db.}$ en de aanwijzing van $V_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$ volt moeten ~~maxima~~ blijven.

Aldus met de compensator de randvoorwaarde $i_2 = 1,30 \text{ mA}$ bij Krimpen nauwkeurig ingesteld. De nu gecorrigeerde aanwijzing van A_2 wordt genoteerd ter latere controle.

De door de compensator aangegeven hoek is te vinden in kolom 8 (+ $1^{\circ} 30'$).

Willen we nu de stroom i_2 in het punt Streefkerk meten, dan verbinden we m^1 met dit punt en regelen de fasedraaiers en de demper D_3 zodanig bij, dat de telefoon wederom geluidloos wordt. De hoek wordt direct afgelezen en in kolom 8 genoteerd ($25^{\circ} 36'$); het gevonden aantal db. plaatsen we weer in kolom 10 ($18,53 \text{ db.}$). De amplitude kan nu worden berekend door op omgekeerde wijze te redeneren als in het vorig geval.

$18,53 \text{ db.}$ is $38,94 \text{ db.}$ minder dan $57,47 \text{ db.}$ (kolom 11) overeenkomend met het verhoudingsgetal $88,52$ (kolom 12).

De gezochte waarde is dus:

$$\frac{100}{88,52} = 1,13 \text{ mA amplitude (kolom 13)}$$

In de verschillende kolommen staat derhalve het volgende genoteerd:

Kolom 13(7,19,25): te meten grootheid in mV(mA) amplitude.

" 12(6,18,24): lineaire dempingsverhouding tussen te meten grootheid en normaalspanning,

Kolom 11 (5,17,23): logarithmische dempingsverhouding tussen te meten grootheid en normaalspanning.

" 10 (4,16,22): idem, t.o.v. 0 = nulpunt compensator.

" 9 (3,15,21): Faseverschuiving t.o.v. punt Krimpen.

" 8 (2,14,20): idem t.o.v. nulpunt compensator.

Tijdens de meting worden de kolommen 8 (2,14,20) en 10 (4,16,22) ingevuld, uitgezonderd bij de randvoorwaarden; de overige worden na de proef berekend.

De meting van gelijkstroom en gelijkspanning werd reeds behandeld; de resultaten hiervan zijn in de kolommen 26 en 27 genoteerd.

Ter bepaling van de fase-verschuiving tussen stroom en spanning behoeven we slechts de overeenkomstige fase-hoeken t.o.v. het nulpunt van de compensator te bepalen en daarna af te trekken.

Bij de bepaling van het hoek-nulpunt bij de (symmetrische) stroommeting kan een fase-verschuiving van $\pm 180^\circ$ optreden. Op dit feit moet bij het bovenstaande nauwkeurig worden gelet.

Den Haag, 1 December 1947.

M. D. de Kater

BEHOORT BIJ rapport Electr. Meting Niet veranderdiepte		RIVIER: Iek		BEREKENING DER COEFFICIENTEN VAN DE							FORMULIER I	
		OPPERWATERAFVOER: 920 m ³ /sec.		KARAKTERISTIEKE VERGELIJINGEN							BEREKENING : 12	
		VAK 1-2	VAK 3-4	VAK 5-6	VAK 7-8	VAK 9-10-11	VAK 12-13-14	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10	
0	diepte t.o.v. N.A.P.											
1	bodemdiepte H	6.35	5.80	5.45	5.65	5.75	5.55					
2	profielsinhoud f _m	1.71450	1.30500	1.05730	0.92660	0.78775	0.76755					
3	hydraulische straal R _m	5.78	5.24	4.85	4.95	4.88	4.99					
4	waterspiegelbreedte b _w	0.270	0.225	0.194	0.164	0.137	0.129					
5	bergende breedte B	0.345	0.300	0.275	0.250	0.250	0.240					
6	Lengte L totaal	0.8900	0.8150	1.090	1.025	1.070	1.180	Voor berekening der formulieren				
7	geschatte stroom ampl. σ_0	0.446	0.275	0.188	0.090	0.043	0.017	A-2 2826 en 43 2827 zijn de vakken				
8	$C^2 f_m^2 R_m$	3.91458	2.05606	1.24917	0.97920	0.69772	0.67732	1, 2, 3 en 4 in tweeën en vak 5 en 6				
9	$x = 3/H$	0	0	0	0	0	0	in drieën gesplitst.				
10	$j^* = S^2/(8)$	0.21622	0.41166	0.67757	0.86438	1.21309	1.24963					
11	$V = S/f_m$											
12	σ_0/S , resp. S/σ_0	0,48478	0.29891	0.18261	0.09783	0.04674	0.01848					
13	m_0											
14	m_1	0.93956	0.59782	0.36522	0.19566	0.09348	0.03696					
15	m_2											
16	$m_0 - \frac{1}{2}m_2$											
17	$g f_m$	16.82267	12.80466	10.37423	9.09180	7.72910	7.53120					
18	$V^2 b_w$											
19	$1 - (18)/(17)$	1,-	1,-	1,-	1,-	1,-	1,-					
17	(17)											
21	$B + b_w$											
22	$-x m_2 n_0 \cos(K - \varphi)$											
23	(14) + (22)	0.56956	0.59782	0.36522	0.19566	0.09348	0.03696					
24	$2S/(8)$	0.47004	0.89490	1.47299	1.87916	2.63720	2.71684					
25	$-1/f_1^2 + 1/f_2^2$											
26	(25) x S/gI											
27	(24) + (26)	0.47004	0.89490	1.47299	1.87916	2.63720	2.71684					
28	(9) x (16) x (10)/(19)	0	0	0	0	0	0					
29	(11) x (21) x n/(20)	0	0	0	0	0	0					
30	$B n^2/(17)$	0.04048	0.04625	0.05233	0.05428	0.06385	0.06291					
31	$B n(27)/(19)$	0.22704	0.37720	0.56913	0.66005	0.92632	0.91612					

BEHOORT BU Electr. Neting. Niet verand. Dinsbe	RIVIER: Lek OPPERWATERAFVOER: 920m ³ /sec DATUM: Periode I Geen Bernouilly	BEREKENING EN CONTROLE DER VAKCOEFFICIENTEN				FORMULIER II BEREKENING: 102
	VAK 1-2	VAK 3-4	VAK 5-6	VAK 7-8	VAK 9-10-11	
$\eta + \eta_2$	0	0	0	0	0	
$\eta \eta_2$	0.04040-0.22724	0.04625-0.37720	0.05233-0.56913	0.05428-0.66005	0.06305-0.92032	
η	0.30890+0.36871	0.40852+0.46167	0.50951+0.55851	0.55136+0.59857	0.65752+0.70441	
η_2	-0.30890-0.36871	-0.40852-0.46167	-0.50951-0.55851	-0.55136-0.59857	-0.65752-0.70441	
$\eta - \eta_2$	0.61780+0.73742	0.81704+0.92334	1.01902+1.11702	1.10272+1.19714	1.31504+1.40882	
$1/(\eta - \eta_2)$	0.66059-0.79665	0.53719-0.60742	0.44574-0.48861	0.41627-0.45190	0.35107-0.37932	
η^1	0.13750+0.16108	0.16647+0.18813	0.27768+0.30439	0.28257+0.30677	0.23454+0.25126	
η_2^1	-0.13750-0.16108	-0.16647-0.18813	-0.27768-0.30439	-0.28257-0.30677	-0.23454-0.25126	
$(\eta + \eta_2)^1$	0	0	0	0	0	
$e\eta^1$	1.13200+0.18743	1.16029+0.22089	1.25939+0.39564	1.26462+0.40059	1.22462+0.31434	
$e\eta_2^1$	0.85903-0.14236	0.83172-0.15834	0.72271-0.22704	0.71865-0.22764	0.76609-0.19664	
$e(\eta + \eta_2)^1$	1	1	1	1	1	
$e\eta^1 - e\eta_2^1$	0.27297+0.32979	0.32857+0.37923	0.53668+0.62268	0.54597+0.62823	0.45853+0.51098	
id./ $(\eta - \eta_2)$ (a)	0.40112+0.00304	0.40695+0.00425	0.57347+0.01533	0.51117+0.01179	0.25618+0.00639	
(a) $\eta \eta_2$ (b)	0.01671-0.10112	0.02042-0.15130	0.03716-0.30050	0.02751-0.23659	0.02922-0.32949	
$\eta e\eta^1$						
$\eta_2 e\eta_2^1$						
verschil (c)	0.59902+0.74231	0.72489+0.94520	0.91573+1.19292	0.98997+1.20248	1.22603+1.47966	
$\eta e\eta_2^1$						
$\eta_2 e\eta^1$						
verschil (d)	0.59902+0.74231	0.72489+0.94520	0.91573+1.19292	0.98997+1.20248	1.22603+1.47966	
B_{η^1}	0.40172	0.42150	0.30638	0.35125	0.35125	
$L = (c)/(\eta - \eta_2)$	0.57502+0.02253	0.99600+0.03128	0.99105+0.03429	0.99165+0.08649	0.99537+0.05005	
$M = (b)/B_{\eta^1}$	-0.20261-0.03065	-0.36370-0.04045	-0.70044-0.00617	-0.95026-0.10675	-0.91205-0.00319	
$N = -B_{\eta^1}(a)$	-0.07162-0.21573	+0.00179-0.17153	+0.00592-0.20999	+0.00510-0.17955	+0.00246-0.12511	
$O = d/(\eta - \eta_2)$	0.00502+0.02253	0.00600+0.03128	0.00910+0.02429	0.00965+0.08649	0.00537+0.05885	
LO						
MN						
$LO - MN = e^{(\eta + \eta_2)^1}$	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	

BEHOORT BU
Bonnort
Electr.
Vetins
Niet verand.
stepte

RIVIER: Lek
OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec
DATUM: Periode I.
Oean-Barracully

BEREKENING EN CONTROLE DER
VAKCOEFFICIENTEN

FORMULIER II

BEREKENING : 102

VAK 12-13-14

VAK 2

VAK 3

VAK 4

VAK 5

$\eta + \eta_2$	0			
$\eta \eta_2$	0.06291-0.916121			
η	0.65398+0.700421			
η_2	-0.65398-0.700421			
$\eta - \eta_2$	1.30796+1.400841			
$1/(\eta - \eta_2)$	0.35609-0.381381			
η^1	0.25701+0.275271			
η_2^1	-0.25701-0.275271			
$(\eta + \eta_2)^1$	0			
e^{η^1}	1.25051+0.329011			
$e^{\eta_2^1}$	0.74791-0.196771			
$e^{(\eta + \eta_2)^1}$	1			
$e^{\eta^1} - e^{\eta_2^1}$	0.50260+0.525781			
$id. / (\eta - \eta_2)$ (a)	0.37949-0.004461			
(a) $\eta \eta_2$ (b)	0.01979-0.347941			
ηe^{η^1}				
$\eta_2 e^{\eta_2^1}$				
verschil (c)	1.21430+1.486221			
$\eta e^{\eta_2^1}$				
$\eta_2 e^{\eta^1}$				
verschil (d)	1.21430+1.486221			
$B\eta^1$	0.337201			
$L = (c) / (\eta - \eta_2)$	0.99921+0.066121			
$M = (b) / B\eta^1$	-1.03185-0.058691			
$N = -B\eta^1 (a)$	-0.00150-0.127961			
$O = d / (\eta - \eta_2)$	0.99921+0.066121			
LO				
MN				
$LO - MN e^{(\eta + \eta_2)^1}$	1.00001 + 0.000011			

BEHOORT BU: ng 1.	RIVIER: Lek OPPERWATERAFVOER DATUM: Periode I Geen Bernouilly	AANEENSCHAKELING DER VAKKEN					FORMULIER III
		Korte vskken					BEREKENING: 12
		VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5	
$L \times \eta_a$		-11.50602+2.12726i	-10.45570+3.35222i	-8.50025+4.50082i	-6.80471+5.22321i	-4.14439+5.32965i	
$M \times \sigma_a$		-1.16069-1.47559i	-1.19343-0.88642i	-1.83668-0.92778i	-1.57019-0.40039i	-2.60627+0.12654i	
η		-12.75471+0.65167i	-11.57012+2.29780i	-10.1693+3.60267i	-8.16352+4.81382i	-6.55066+5.15619i	
$N \times \eta_a$		+0.49262+2.40875i	+0.75924+2.21906i	0.01056+1.46037i	0.92332+1.16771i	1.17313+0.81618i	
$O \times \sigma_a$		+6.52537+5.96092i	+5.92107+2.50411i	5.21625+2.00203i	4.37178+0.67605i	3.21501-0.26927i	
σ		7.02310+8.45029i	+6.68401+5.83407i	6.02731+3.46240i	5.20560+1.84376i	4.38931+0.51191i	
η_{Ba}		0.601	0.62111-0.09619i	0.50151-0.36151i	0.46377-0.23322i	0.37431-0.27210i	
Amplitude		0.601	0.6305	0.5877	0.5192	0.4628	
Fase		0°	9°	16°	27°	38°	
σ		-0.35097-0.46956i	-0.24005-0.32984i	-0.31153-0.20076i	-0.27697-0.11250i	-0.21520-0.04071i	
Amplitude		0.58623	0.4731	0.3706	0.2990	0.2306	
Fase		126°	121°	116°	113°	111°	
Gem. η		0.65575	0.60310	0.55315	0.49100	0.41195	
Gem. σ		0.52967	0.40135	0.33180	0.26860	0.20580	
(K- ϕ)		127°	121°	111°	111°	115°	
Gem.(K- ϕ)		127°	121°	111°	113°	113°	

BEHOORT BU: Rapport Electr. Meting. Niet verantwoord. Dienst	RIVIER: OPPERWATERAFVOER DATUM: Periode I Benschilly	AANEENSCHAKELING DER VAKKEN				FORMULIER III
		Korte vallen en				BEREKENING: 12
	VAK	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10	
L x η_a	-1.96304+5.02667i	0.26769+1.10311i	+0.72092+3.22405i	1.26121+2.30625i	1.42736+1.52856i	
M x σ_a	-1.73461+0.66511i	-1.27055+1.01961i	-0.82766+0.98619i	-0.25829+0.89748i	-0.02018+0.70569i	
η	-1.69768+5.69223i	-1.53824+5.20310i	+0.09726+4.21024i	1.00292+3.16373i	+1.39918+2.23425i	
N x η_a	1.08349+0.35382i	+0.75615+0.00439i	-0.57325-0.16365i	0.28297-0.16955i	0.18463-0.18651i	
O x σ_a	2.11522-0.82753i	-1.20612-1.00379i	0.61025-1.03327i	0.24659-0.91841i	0.00787-0.74773i	
σ	3.19871-0.54376i	+2.04252-1.07940i	1.19251-1.19692i	0.52956-1.08816i	0.19250-0.93427i	
η	0.21238-0.29205i	0.09606-0.27289i	0.06627-0.22446i	-0.04479-0.17120i	-0.006843-0.12278i	
Amplitude	0.3611	0.2693	0.2245	0.1770	0.1406	
Fase	4°	71°	90°	105°	119°	
σ	-0.17151+0.02026i	-0.11172+0.05192i	-0.06676+0.06050i	-0.03116+0.05650i	-0.01279+0.04923i	
Amplitude	0.1730	0.1232	0.09010	0.06452	0.05087	
Fase	186°	205°	232°	241°	255°	
Gem. η	0.32520	0.25630	0.20075	0.15380	0.12620	
Gem. σ	0.14810	0.10665	0.07731	0.05770	0.04543	
(K- ϕ)	132°	134°	132°	136°	136°	
Gem.(K- ϕ)	133°	133°	134°	136°	136°	

BEHOORT BIJ Electr. Meting Niet veranderd. Diepte		RIVIER: Lek OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec. DATUM Periode I Geen Bernouilly			BEREKENING DER COEFFICIENTEN VAN DE KARAKTERISTIEKE VERGELUKINGEN						FORMULIER I BEREKENING : 4	
		VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5	VAK 6	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10	
0	diepte t.o.v. N.A.P.											
1	bodemdiepte H	6.35	5.80	5.45	5.65	5.75	5.95					
2	profielinhoud f _m	1.71450	1.30500	1.05730	0.92660	0.78775	0.76755					
3	hydraulische straal R _m	5.78	5.24	4.85	4.95	4.88	4.99					
4	waterspiegelbreedte b _w	0.270	0.225	0.194	0.164	0.137	0.129					
5	bergende breedte B	0.345	0.300	0.275	0.250	0.250	0.240					
6	Lengte L	0.8900	0.8150	1.090	1.025	1.070	1.180					
7	geschatte stroom ampl. α ₀	0.137	0.078	0.040	0.018	0.008	0.002					
8	C ² R _m ³	391458	2.05606	1.24917	0.97920	0.69772	0.67732					
9	x = S/H	0	0	0	0	0	0					
10	f ² = S ₀ ² /g	0.21622	0.41166	0.67757	0.86438	1.21309	1.24963					
11	V = S/f _m											
12	α ₀ /S, resp. S/α ₀	0.14891	0.08478	0.04348	0.01957	0.00870	0.00217					
13	m ₀											
14	m ₁	0.29782	0.16956	0.08696	0.03914	0.01740	0.00434					
15	m ₂											
16	m ₀ - 1/2 m ₂											
17	g f _m	16.82267	12.80466	10.37423	9.09180	7.72940	7.53120					
18	V ² b _w											
19	1 - (18)/(17)	1	1	1	1	1	1					
20	(17) - (18)	16.82267	12.80466	10.37423	9.09180	7.72940	7.53120					
21	B + b _w											
22	-x m ₂ n ₀ cos(K - φ)											
23	(14) + (22)	0.29782	0.16956	0.08696	0.03914	0.01740	0.00434					
24	(23) x (10)/(7)	0.47004	0.89490	1.47299	1.87916	2.63720	2.71684					
25	-1/f ₁ ² + 1/f ₂ ²											
26	(25) x S/g											
27	(24) + (26)	0.47004	0.89490	1.47299	1.87916	2.63720	2.71687					
28	(9) x (16) x (10)/(19)	0	0	0	0	0	0					
29	(11) x (21) x n/(20)	0	0	0	0	0	0					
30	B n ² /(20)	0.16193	0.13500	0.20931	0.21712	0.25539	0.25163					
31	B n(27)/(19)	0.45568	0.75440	1.13825	1.32012	1.85293	1.83226					

BEHOORT BU No. 1 sting Met Toestand. Siepte	RIVIER: Ise OPPERWATERAFVOER: 920 m ³ /sec DATUM: Periode I Sec n. Bredouilly	BEREKENING EN CONTROLE DER VAKCOEFFICIENTEN				FORMULIER II BEREKENING : 14
	VAK 1-2	VAK 3-4	VAK 5-6	VAK 7-8	VAK 9-10-11	
$\eta + \eta_2$	0	0				
$\eta \eta_2$	0.16322 - 0.45568 i	0.18503 - 0.75440 i	0.20931 - 1.13825 i	0.21712 - 1.32012 i	0.25539 - 1.05293 i	
η	0.40104 + 0.56613 i	0.54395 + 0.69345 i	0.68848 + 0.82664 i	0.74858 + 0.88175 i	0.89862 + 1.03098 i	
η_2	-0.40104 - 0.56613 i	-0.54395 - 0.69345 i	-0.68848 - 0.82664 i	-0.74858 - 0.88175 i	-0.89862 - 1.03098 i	
$\eta - \eta_2$	0.80208 + 1.13225 i	1.08789 + 1.38690 i	1.37696 + 1.65328 i	1.49716 + 1.76350 i	1.79725 + 2.06196 i	
$1/(\eta - \eta_2)$	0.47464 - 0.50739 i	0.35014 - 0.44632 i	0.29744 - 0.35713 i	0.27977 - 0.32954 i	0.24022 - 0.27560 i	
η^1	0.17846 + 0.25282 i	0.22166 + 0.28258 i	0.37522 + 0.45052 i	0.38365 + 0.45190 i	0.32051 + 0.36772 i	
η_2^1	-0.17846 - 0.25282 i	-0.22166 - 0.28258 i	-0.37522 - 0.45052 i	-0.38365 - 0.45190 i	-0.32051 - 0.36772 i	
$(\eta + \eta_2)^1$	0	0	0	0	0	
e^{η^1}	1.15739 + 0.29907 i	1.19865 + 0.34803 i	1.31011 + 0.63370 i	1.32030 + 0.64089 i	1.28572 + 0.49532 i	
$e^{\eta_2^1}$	0.80996 - 0.20925 i	0.76941 - 0.22340 i	0.61852 - 0.29921 i	0.61297 - 0.29774 i	0.67725 - 0.26091 i	
$e^{(\eta + \eta_2)^1}$	1	1	1	1	1	
$e^{\eta^1} - e^{\eta_2^1}$	0.34743 + 0.50826 i	0.42924 + 0.57143 i	0.69153 + 0.93291 i	0.70733 + 0.93863 i	0.60847 + 0.75623 i	
id./ $(\eta - \eta_2)$ (a)	0.41261 + 0.00667 i	0.40537 + 0.00248 i	0.53286 + 0.03051 i	0.50714 + 0.02945 i	0.35158 + 0.01397 i	
(a) $\eta \eta_2$ (b)	0.07471 - 0.20061 i	0.08139 - 0.30424 i	0.14752 - 0.60697 i	0.14899 - 0.66309 i	0.11044 - 0.65344 i	
ηe^{η^1}						
$\eta_2 e^{\eta_2^1}$						
verschil (c)	0.73799 + 1.15370 i	0.98411 + 1.43254 i	1.05136 + 1.82462 i	1.14447 + 1.96169 i	1.52228 + 2.23442 i	
ηe^{η^1}						
$\eta_2 e^{\eta_2^1}$						
verschil (d)	0.73799 + 1.15370 i	0.98411 + 1.43254 i	1.05136 + 1.82462 i	1.14447 + 1.96169 i	1.52228 + 2.23442 i	
Bni	0.96045 i	0.84300 i	0.77275 i	0.70250 i	0.70250 i	
$L = (c)/(\eta - \eta_2)$	0.98367 + 0.24188 i	0.98403 + 0.06230 i	0.96434 + 0.16724 i	0.96604 + 0.17167 i	0.98149 + 0.11721 i	
$M = (b)/Bni$	-0.20693 - 0.07206 i	-0.36090 - 0.09655 i	-0.78547 - 0.19090 i	-0.94390 - 0.21208 i	-0.93016 - 0.16575 i	
$N = -Bni(a)$	+0.00046 - 0.42900 i	+0.00715 - 0.34173 i	+0.02358 - 0.41610 i	+0.02069 - 0.35627 i	+0.00981 - 0.24909 i	
$O = d/(\eta - \eta_2)$	0.98367 + 0.04481 i	0.98403 + 0.06230 i	0.96434 + 0.16724 i	0.96604 + 0.17167 i	0.98149 + 0.11721 i	
LO						
MN						
$LO - MN \cdot e^{(\eta + \eta_2)^1}$	0.99999 + 0	1.00001 - 0.00007 i	0.99999 - 0.00002	1.00001 + 0	1 + 0.00001 i	

BEHOORT BU Blaas. met vooraf. Diepte	RIVIER: Lek. OPPERWATERAFVOER: 920 m ³ /sec DATUM: Periode I Geen Bernouilly	BEREKENING EN CONTROLE DER VAKCOEFFICIENTEN				FORMULIER II
		VAK 12-13-14	VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5
$\eta + \eta_2$	0					
$\eta \eta_2$	0.25163 - 1.83226 i					
η	0.89382 + 1.02496 i					
η_2	-0.89382 - 1.02496 i					
$\eta - \eta_2$	1.78764 + 2.04992 i					
$1/(\eta - \eta_2)$	0.24164 - 0.27710 i					
η^2	0.35157 + 0.40315 i					
η_2^2	-0.35157 - 0.40315 i					
$(\eta + \eta_2)^2$	0					
e^{η^2}	1.30735 + 0.55260 i					
$e^{\eta_2^2}$	0.68717 - 0.27603 i					
$e^{(\eta + \eta_2)^2}$	1					
$e^{\eta^2} - e^{\eta_2^2}$	0.66018 + 0.83363 i					
id. / $(\eta - \eta_2)$ (a)	0.39052 + 0.01850 i					
(a) $\eta \eta_2$ (b)	0.13216 - 1.71088 i					
ηe^{η^2}	:					
$\eta_2 e^{\eta_2^2}$:					
verschil (c)	1.15240 + 2.25197 i					
$\eta e^{\eta_2^2}$						
$\eta_2 e^{\eta^2}$						
verschil (d)	1.15240 + 2.25197 i					
$B \eta_1$	0.571401					
$L = (c) / (\eta - \eta_2)$	0.97726 + 0.14077 i					
$M = (b) / B \eta_1$	-1.05409 - 0.19562 i					
$N = -B \eta_1 (a)$	0.01248 - 0.26337 i					
$O = d / (\eta - \eta_2)$	0.97726 + 0.14077 i					
LO						
MN						
$LO - MN e^{(\eta + \eta_2)^2}$	0.99999 + 0.00003 i					

BEHOORT BU: Electr. Meting Niet veranderd. Diente	RIVIER: Lek OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec. DATUM: Periode I Geen Bernouilly		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN					FORMULIER III
	Korte vakken		VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5	BEREKENING: M4
L x η_a	$(-6.25420 - 28.68458 i) \eta_a$		$(-11.23776 - 24.99500 i) \eta_a$	$(-14.71614 - 17.77392 i) \eta_a$	$(-15.93752 - 11.59146 i) \eta_a$	$(-13.27483 - 3.64808 i) \eta_a$		
M x η_a	$(+6.30292 - 4.53950 i) \eta_a$		$(+3.53324 - 4.51730 i) \eta_a$	$(+2.15863 - 7.06309 i) \eta_a$	$(-0.09673 - 5.45577 i) \eta_a$	$(-3.59049 - 7.06317 i) \eta_a$		
η	$(+0.04872 - 33.22408 i) \eta_a$		$(-7.70452 - 29.51230 i) \eta_a$	$(-12.55751 - 24.83701 i) \eta_a$	$(-16.03425 - 17.04723 i) \eta_a$	$(-16.87432 - 10.71125 i) \eta_a$		
N x η_a	$(-12.71320 + 3.11528 i) \eta_a$		$(-10.73843 + 5.22785 i) \eta_a$	$(-5.94019 + 5.35749 i) \eta_a$	$(-3.78121 + 5.68987 i) \eta_a$	$(-0.89433 + 5.79794 i) \eta_a$		
O x η_a	$(-20.56614 + 27.87266 i) \eta_a$		$(-8.83670 + 23.99925 i) \eta_a$	$(-1.91555 + 19.39803 i) \eta_a$	$(+3.08525 + 14.06703 i) \eta_a$	$(+4.91858 + 8.24261 i) \eta_a$		
σ	$(-33.27834 + 30.98704 i) \eta_a$		$(-19.57513 + 29.22710 i) \eta_a$	$(-7.85569 + 24.75552 i) \eta_a$	$(-0.69576 + 19.75690 i) \eta_a$	$(+4.02425 + 14.04055 i) \eta_a$		
	$\eta_{B1} = 0.13 \cos(\alpha t - 50^\circ) = (0.08356 - 0.09959 i)$ $\eta_{Ba} = (0.08356 - 0.09956 i) / (-0.04872 - 33.22408 i) = 0.00300 + 0.00271 i$ x) M4 ongewekt door M2 x)							
η	x) $0.08356 - 0.09955 i$ x)	x) $-0.00263 - 0.01168 i$ x)	x) $-0.00632 - 0.01586 i$ x)	x) $-0.01457 - 0.01493 i$ x)	x) $-0.01911 - 0.01131 i$ x)			
totaal η	$0.08356 - 0.09955 i$	$0.04834 - 0.11956 i$	$0.01835 - 0.12189 i$	$-0.00531 - 0.09139 i$	$-0.02373 - 0.07448 i$			
Amplitude en Fase	0.13 50°	0.1290 68°	0.1233 80°	0.1081 100°	0.09589 117°			
σ	x) $-0.00748 + 0.02934 i$ x)	x) $-0.00466 + 0.02859 i$ x)	x) $0.00129 + 0.02638 i$ x)	x) $0.00668 + 0.02255 i$ x)	x) $0.01125 + 0.01670 i$ x)			
totaal σ	$-0.17762 + 0.00943 i$	$-0.13209 + 0.03855 i$	$-0.08571 + 0.05455 i$	$-0.05168 + 0.05752 i$	$-0.02317 + 0.05222 i$			
Amplitude en Fase	0.1891 192°	0.1523 206°	0.1170 224°	0.09185 240°	0.06994 260°			
Gem η								
Gem σ	0.17070	0.13465	0.10443	0.08090	0.05932			
Gem φ	199°	215°	232°	250°	274°			
Gem (K- φ)								

BEHOORT BU: Electr. Meting Niet veranderl. Diepte	PIVIER: Iek OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec. DATUM: Periode I Geen Bernouilly	AANEENSCHAKELING DER VAKKEN				FORMULIER III
		Korte Vakken				BEREKENING: M 4
	VAK 6	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10	
L x η_a	(- 9.90153 + 1.67507 i) η_a	(- 5.69410 + 4.15129 i) η_a	(- 2.49572 + 4.43627 i) η_a	(- 0.31649 + 2.71248 i) η_a	(0.76291 + 2.61309 i) η_a	
M x σ_a	(- 4.09916 + 3.02999 i) η_a	(- 3.98134 - 0.73932 i) η_a	(- 2.47438 + 0.74414 i) η_a	(- 1.39629 + 1.19007 i) η_a	(-0.63536 + 1.15519 i) η_a	
η	(-13.09069 - 1.37492 i) η_a	(- 9.67544 + 3.41197 i) η_a	(- 4.97060 + 5.18041 i) η_a	(- 1.71278 + 4.89335 i) η_a	(0.12755 + 3.76828 i) η_a	
N x η_a	(1.19304 + 4.10932 i) η_a	(+ 1.74228 + 1.97806 i) η_a	(+ 1.70799 + 0.71146 i) η_a	(0.93989 + 0.00520 i) η_a	(0.04164 - 0.24413 i) η_a	
O x σ_a	(5.19675 + 3.32976 i) η_a	(+ 4.07013 + 0.56673 i) η_a	(+ 2.47281 - 0.86801 i) η_a	(1.39745 - 1.31648 i) η_a	(0.50418 - 1.24476 i) η_a	
σ	(6.39059 + 7.43913 i) η_a	(+ 5.81291 + 2.44479 i) η_a	(+ 4.18280 - 0.15655 i) η_a	(2.32734 - 1.31128 i) η_a	(1.23502 - 1.48889 i) η_a	
x) M ₄ opgewekt door M ₂ x)						
η	x) -0.02007 + 0.00051 i x) -0.03272 - 0.03920 i	x) -0.01494 + 0.00831 i x) -0.03760 - 0.01405 i	x) -0.00688 + 0.01147 i x) -0.02791 + 0.00306 i	x) -0.00067 + 0.01026 i x) -0.01742 + 0.01038 i	x) 0.00262 + 0.00737 i x) -0.00908 + 0.01162 i	
totaal η	+ -0.05879 - 0.03869 i	+ -0.05254 - 0.00574 i	+ -0.03479 + 0.01453 i	+ -0.01809 + 0.02064 i	+ -0.00646 + 0.01899 i	
Amplitude en Fase	0.07038 11.7°	0.05285 17.1°	0.03770 203°	0.02715 229°	0.02006 251°	
σ	x) 0.01326 + 0.00824 i x) +0.00050 + 0.03836 i	x) 0.02116 + 0.00099 i x) 0.01130 + 0.02192 i	x) 0.00747 - 0.00254 i x) 0.01294 + 0.01003 i	x) 0.00349 - 0.00468 i x) 0.01027 + 0.00191 i	x) 0.00130 - 0.00380 i x) 0.00745 - 0.00137 i	
totaal σ	+ 0.01376 + 0.04670 i	+ 0.03246 + 0.02291 i	+ 0.02041 + 0.00719 i	+ 0.01376 - 0.00217 i	+ 0.00875 - 0.00517 i	
Amplitude en Fase	0.04869 287°	0.03973 325°	0.02174 241°	0.01393 369°	0.01016 390°	
Gem. η						
Gem. σ	0.04421	0.03069	0.01779	0.01205	0.00875	
Gem. φ'	306°	333°	355°	380°	401°	
Gem. (K- φ)						

BEHOORT BU: Electr. Meting Niet verand. Dfente	RIVIER: Lek OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec. DATUM: Periode I Geen Bernouilly		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN				
	Korte Vakken		VAK 12	VAK 13	VAK 4	VAK 5	
	VAK 11	VAK 12	VAK 13	VAK 4	VAK 5		
L x η_a	(1.20153 + 1.59479 i) η_a	(+ 1.19914 + 0.72893 i) η_a	(0.97726 + 0.14077 i) η_a				
M x σ_a	(-0.12169 + 0.93862 i) η_a	(+ 0.19915 + 0.72896 i) η_a	(0.33010 + 0.41680 i) η_a				
η	(1.07984 + 2.53341 i) η_a	(+ 1.39829 + 1.45789 i) η_a	(1.30736 + 0.55757 i) η_a	η_a			
N x η_a	(0.37687 - 0.33400 i) η_a	(+ 0.16311 - 0.33736 i) η_a	(- 0.01248 - 0.26337 i) η_a				
O x σ_a	(0.07068 - 0.98768 i) η_a	(- 0.21059 - 0.66327 i) η_a	(-0.31927 - 0.37113 i) η_a				
σ	(0.44255 - 1.32168 i) η_a	(-0.04748 - 1.00063 i) η_a	(- 0.30689 - 0.63450 i) η_a	(-0.37375 - 0.32593 i) η_a			
$\sigma_{Ba} = -B.N.1/r \cdot i + -0.240 \cdot 2.81 i / (0.89382 + 1.02496 i) = (-0.37375 - 0.32593 i) \eta_{Ba}$							
*) M_4 opgewekt door M_2 *)							
η	x) 0.00395 + 0.00434 i -0.00312 + 0.01031 i	x) 0.00393 + 0.00190 i 0.00053 + 0.00758 i	x) 0.00307 + 0.00008 i 0.00252 + 0.00495 i	x) 0.00200 - 0.00085 i 0.00300 + 0.00251 i			
totaal η	0.00083 + 0.01465 i	0.00446 + 0.00978 i	0.00559 + 0.00503 i	0.00500 + 0.00166 i			
Amplitude en Fase	0.01467 271°	0.01075 295°	0.00752 318°	0.00527 342°			
σ	x) -0.00015 - 0.00294 i 0.00466 - 0.00285 i	x) -0.00091 - 0.00194 i 0.00237 - 0.00312 i	x) -0.00115 - 0.00101 i 0.00067 - 0.00267 i	x) -0.00103 - 0.00033 i -0.00030 - 0.00192 i			
totaal σ	0.00451 - 0.00579 i	0.00146 - 0.00586 i	-0.00048 - 0.00368 i	-0.00070 - 0.00225 i			
Amplitude en Fase	0.00734 412°	0.00527 434°	0.00371 457°	0.00236 468°			
Gem η							
Gem σ	0.00631	0.00449	0.00304	0.00118			
Gem ϕ	423°	446°	463°	480°			
Gem (K- ω)							

BEHOORT BIJ 4e proef. Electr. Meting Constante Diepte.		RIVIER: Lek. OPPERWATERAFVOER: 920 m ³ /sec. DATUM: Periode I. Geen Bernoulli.		BEREKENING DER COEFFICIENTEN VAN DE KARAKTERISTIEKE VERGELUKINGEN							FORMULIER I	
				N = 4,215		G = 0,48				BEREKENING: M6		
		VAK 1 2	VAK 3 4	VAK 5 6	VAK 7 8	VAK 9 10 11	VAK 12 13 14	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10	
0	diepte t.o.v. N.A.P.											
1	bodemdiepte H	6,35	5,80	5,45	5,65	5,75	5,95					
2	profiëlsinhoud f _m	1,71450	1,30500	1,05730	0,92660	0,78775	0,76755					
3	hydraulische straal R _m	5,78	5,24	4,85	4,95	4,88	4,99					
4	waterspiegelbreedte b _w	0,270	0,225	0,194	0,164	0,137	0,129					
5	bergende breedte B	0,345	0,300	0,275	0,250	0,250	0,240					
6	Lengte L totaal	0,8900	0,8150	1,090	1,025	1,070	1,180	Voor berekening der formulieren				
7	geschatte stroom ampl. α	0,446	0,275	0,168	0,090	0,043	0,017	A 2 2826 en A 3 2827 zijn de vakken				
8	C ² f _m ³ R _m	3,91458	2,05606	1,24917	0,97920	0,69772	0,67732	1, 2, 3 en 4 in tweeën en vak 5 en 6				
9	x = 3/H	0	0	0	0	0	0	in drieën gesplitst.				
10	j* = ε _s ² /R _m	0,21622	0,41166	0,67757	0,86438	1,21309	1,24963					
11	V = S/f _m											
12	α ₀ /S, resp. S/α ₀	0,48478	0,29891	0,18261	0,09783	0,04674	0,01848					
13	m ₀											
14	m ₁	0,96956	0,59782	0,36522	0,19566	0,09348	0,03696					
15	m ₂											
16	m ₀ - 1/2 m ₂											
17	g f _m	16,82267	12,80466	10,37423	9,09180	7,72940	7,53120					
18	V ² b _w											
19	1 - (18)/(17)	1,-	1,-	1,-	1,-	1,-	1,-					
20	(17) - (18)											
21	B - b _w											
22	-x m ₂ n ₀ cos(K - φ)											
23	(14) + (22)	0,96956	0,59782	0,36522	0,19566	0,09348	0,03696					
24	2 S/(α)	0,47004	0,89490	1,47299	1,87916	2,63720	2,71684					
25	-1/p ² + 1/p ₀ ²											
26	(25) x S/g											
27	(24) - (26)	0,47004	0,89490	1,47299	1,87916	2,63720	2,71684					
28	(9) x (16) x (10)/(19)	0	0	0	0	0	0					
29	(19) x (21) x n ² (20)	0	0	0	0	0	0					
30	B n ² /(20)	0,36435	0,41625	0,47095	0,48852	0,57463	0,56617					
31	B n(27)/(19)	0,68352	1,13160	1,70738	1,98018	2,77940	2,74839					

BEHOORT BU 4e proef Electr. Meting Niet Verand. Diepte.	RIVIER: Lek. OPPERWATERAFVOER: 920 m ³ /sec DATUM: Periode I. Geen Bernoulli		BEREKENING EN CONTROLE DER VAKCOEFFICIENTEN				FORMULIER II
							BEREKENING: M6
	VAK 1-2	VAK x 3-4	VAK x 5-6	VAK x 7-8	VAK x 9-10-11		
$r_1 + r_2$	0	0	0	0	0		
$r_1 r_2$	0.36435 - 0.68352 i	0.41625 - 1.13160 i	0.47095 - 1.70738 i	0.48852 + 1.98018 i	0.57463 - 2.77940 i		
r_1	0.45289 + 0.75462 i	0.62829 + 0.90055 i	0.80629 + 1.05879 i	0.88063 + 1.12430 i	1.06385 + 1.30630 i		
r_2	- 0.45289 - 0.75462 i	- 0.62829 - 0.90055 i	- 0.80629 - 1.05879 i	- 0.88063 - 1.12430 i	- 1.06385 - 1.30630 i		
$r_1 - r_2$	0.90577 + 1.50925 i	1.25657 + 1.80110 i	1.61257 + 2.11759 i	1.76126 + 2.24859 i	2.12770 + 2.61259 i		
$1/(r_1 - r_2)$	0.29235 - 0.48713 i	0.26054 - 0.37345 i	0.22762 - 0.29890 i	0.21589 - 0.27562 i	0.18742 - 0.23013 i		
r_1	0.20154 + 0.33581 i	0.25603 + 0.36697 i	0.40677 + 0.53416 i	0.45132 + 0.57620 i	0.56916 + 0.69887 i		
r_2	- 0.20154 - 0.33581 i	- 0.25603 - 0.36697 i	- 0.40677 - 0.53416 i	- 0.45132 - 0.57620 i	- 0.56916 - 0.69887 i		
$(r_1 + r_2) i$	0	0	0	0	0		
e^{r_1}	1.15496 + 0.40311 i	1.20578 + 0.46347 i	1.29274 + 0.76468 i	1.31683 + 0.85555 i	1.35274 + 1.13681 i		
e^{r_2}	0.77181 - 0.26938 i	0.72258 - 0.27774 i	0.57304 - 0.33898 i	0.53398 - 0.34693 i	0.43331 - 0.36414 i		
$e^{(r_1 + r_2) i}$	1	1	1	1	1		
$e^{r_1} - e^{r_2}$	0.38315 + 0.67249 i	0.48320 + 0.74121 i	0.71970 + 1.10366 i	0.78285 + 1.20248 i	0.91943 + 1.50095 i		
$id_1 / (r_1 - r_2)$ (a)	0.43960 + 0.00996 i	0.40270 + 0.01266 i	0.49370 + 0.03610 i	0.50044 + 0.04383 i	0.51773 + 0.06972 i		
(a) r_2 (b)	0.16698 - 0.29685 i	0.18194 - 0.45043 i	0.29414 - 0.82593 i	0.33127 - 0.96955 i	0.49128 - 1.39892 i		
$r_1 e^{r_1}$							
$r_2 e^{r_2}$							
verschil (c)	0.77171 + 1.51454 i	1.04431 + 1.85328 i	1.05363 + 2.31870 i	1.05804 + 2.52876 i	0.89072 + 3.15510 i		
$r_1 e^{r_1}$							
$r_2 e^{r_2}$							
verschil (d)	0.77171 + 1.51454 i	1.04431 + 1.85328 i	1.05363 + 2.31870 i	1.05804 + 2.52876 i	0.89072 + 3.15510 i		
B_{n1}	1.45418 i	1.26450 i	1.15913 i	1.05375 i	1.05375 i		
$L = (c) / (r_1 - r_2)$	0.96339 + 0.06685 i	0.96419 + 0.09286 i	0.93289 + 0.21285 i	0.92540 + 0.25432 i	0.89302 + 0.38635 i		
$M = (a) / B_{n1}$	- 0.20414 - 0.11483 i	- 0.35621 - 0.14388 i	- 0.71254 - 0.25376 i	- 0.92009 - 0.31437 i	- 1.32756 - 0.46622 i		
$N = -B_{n1} (a)$	+ 0.01448 - 0.63926 i	+ 0.01601 - 0.50921 i	+ 0.04184 - 0.57226 i	+ 0.04619 - 0.52734 i	+ 0.07347 - 0.54556 i		
$O = d / (r_1 - r_2)$	0.96339 + 0.06685 i	0.96419 + 0.09286 i	0.93289 + 0.21285 i	0.92540 + 0.25432 i	0.89302 + 0.38635 i		
$L O$							
$M N$							
$L O - M N = e^{(r_1 + r_2) i}$	1.00001 - 0.00003	1.00001 - 0.00001	1.00001 + 0	0.99997 + 0.00002	1.00010 + 0.00003		

BEHOORT BU
4e proef.
Electr. Meting
Niet Verand.
Diepte.

RIVIER: Lek.
OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec.
DATUM: Periode I.
Geen Bernoulli.

BEREKENING EN CONTROLE DER
VAKCOEFFICIENTEN

FORMULIER II

BEREKENING: M6.

VAK x 12-13-14

VAK 2

VAK 3

VAK 4

VAK 5

$\eta + \eta_2$	0			
$\eta_1 \eta_2$	0.56617 - 2.74839 i			
η	1.05828 + 1.29852 i			
η_2	- 1.05828 - 1.29852 i			
$\eta - \eta_2$	2.11656 + 2.59703 i			
$1/(\eta - \eta_2)$	0.18857 - 0.23137 i			
η^2	0.62439 + 0.76613 i			
η_2^2	- 0.62439 - 0.76613 i			
$(\eta + \eta_2)^2$	0			
e^{η^2}	1.34544 + 1.29456 i			
$e^{\eta_2^2}$	0.38595 - 0.37135 i			
$e^{(\eta + \eta_2)^2}$	1			
$e^{\eta^2} - e^{\eta_2^2}$	0.95949 + 1.66591 i			
$d / (\eta - \eta_2)$ (a)	0.56637 + 0.09214 i			
(a) $\eta \eta_2$ (b)	0.57390 - 1.50444 i			
ηe^{η^2}				
$\eta_2 e^{\eta_2^2}$				
verschil (c)	0.63349 + 3.22526 i			
$\eta e^{\eta_2^2}$				
$\eta_2 e^{\eta^2}$				
verschil (d)	0.63349 + 3.22526 i			
$B \eta^2$	1.01160 i			
$L = (c) / (\eta - \eta_2)$	0.86569 + 0.46162 i			
$M = (b) / B \eta^2$	- 1.48719 - 0.56732 i			
$N = - B \eta^2 (a)$	+ 0.09321 - 0.57294 i			
$O = d / (\eta - \eta_2)$	0.86569 + 0.46162 i			
LO				
MN				
$LO - MN = e^{(\eta + \eta_2)^2}$	0.99999 + 0.00005 i			

BEHOORT BU: 4e prof. Electr. Meting Constante Diepte.	PIVIER: Lek. 920 m ³ /sec. OPPERWATERAFVOER D.A.T.U.M.: Periode I. Geen Bernoulli.	AANEENSCHAKELING DER VAKKEN				FORMULIER III BEREKENING: M6
	VAK x 6	VAK x 7	VAK x 8	VAK x 9	VAK x 10	
L x η _a	(+ 11.78096 - 39.04562 i) η _a	(- 6.88109 - 25.69106 i) η _a	(- 13.19111 - 12.44348 i) η _a	(- 10.19047 - 2.02719 i) η _a	(- 5.15262 + 2.86512 i) η _a	
M x η _a	(+ 21.56086 - 11.15352 i) η _a	(+ 9.80760 - 16.83112 i) η _a	(- 0.81638 - 11.46908 i) η _a	(- 6.49894 - 6.83279 i) η _a	(- 5.28676 - 0.61874 i) η _a	
η	(+ 33.34182 - 50.19914 i) η _a	(+ 2.92651 - 42.52218 i) η _a	(- 14.00749 - 23.91256 i) η _a	(- 16.68941 - 8.85998 i) η _a	(- 10.43938 + 2.24638 i) η _a	
N x η _a	(- 24.21129 - 3.45385 i) η _a	(- 13.25706 + 6.28219 i) η _a	(- 5.44310 + 8.39175 i) η _a	(0.45856 + 5.86035 i) η _a	(2.35034 + 2.36670 i) η _a	
O x η _a	(- 25.42835 + 17.21794 i) η _a	(- 8.64907 + 17.17252 i) η _a	(+ 1.49483 + 11.25018 i) η _a	(4.14976 + 5.03028 i) η _a	(3.61666 + 0.68466 i) η _a	
σ	(- 49.63964 + 13.76409 i) η _a	(- 21.90613 + 23.45471 i) η _a	(- 3.94827 + 19.64193 i) η _a	(4.60832 + 10.89063 i) η _a	(5.96700 + 3.05136 i) η _a	

BEHOORT BI: 4e proef. Electr. Meting Constante Diepte.	RIVIER: Lek. OPPERWATERAFVOER 920 m/sec. DATUM: Periode I. Geen Bernoulli.		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN				FORMULIER III
							BEREKENING: 126.
	VAK x 11	VAK x 12	VAK x 13	VAK x 14	VAK x		
L x η_a	(- 1.22597 + 3.16269 i) η_a	(0.56711 + 1.74177 i) η_a	(0.86569 + 0.46162 i) η_a				
M x σ_a	(- 2.46502 + 1.64250 i) η_a	(- 0.43287 + 1.74172 i) η_a	(0.47972 + 0.83295 i) η_a				
η	(- 3.69099 + 4.80519 i) η_a	(0.13424 + 3.48349 i) η_a	(1.34541 + 1.29457 i) η_a				
N x η_a	(1.91031 + 0.18269 i) η_a	(+ 0.86712 - 0.65017 i) η_a	(0.09321 - 0.57294 i) η_a				
O x σ_a	(1.78049 - 1.01277 i) η_a	(+ 0.39903 - 1.03171 i) η_a	(- 0.22913 - 0.54636 i) η_a				
σ	(+ 3.69080 - 0.83008 i) η_a	(+ 1.26615 - 1.68188 i) η_a	(- 0.13592 - 1.11930 i) η_a	(- 0.46811 - 0.38151 i) η_a			
$\sqrt{B_a}'' = -B_{ni}/r = -1.01160 i / (1.05828 + 1.29852 i) = (-0.46811 - 0.38151 i) \eta_{B_a}$							

BEHOORT BIJ 4e proef. Electr. Meting Niet Verand. Diepte.		RIVIER: Lek.		BEREKENING DER COEFFICIENTEN VAN DE									FORMULIER I	
		OPPERWATERAFVOER: 920 m ³ /sec.		KARAKTERISTIEKE VERGELUKINGEN									BEREKENING :	
		VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5	VAK 6	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10	vak		
0	lengte l.	0.4450	0.4450	0.4075	0.4075	0.5450	0.5450	0.5125	0.5125	0.3567	0.3567	0.3567		
1	c ² F ² R	3.91458	3.91458	2.05606	2.05606	1.24917	1.24917	0.97920	0.97920	0.69772	0.69772	0.69772		
2	gem. \bar{v}_0	0.530	0.420	0.335	0.268	0.205	0.148	0.107	0.075	0.055	0.041	0.030		
3	gem. \bar{v}'_0	0.171	0.135	0.104	0.081	0.059	0.044	0.031	0.018	0.012	0.009	0.006		
4	gem. ϕ	228°	218°	207°	195°	181°	164°	146°	128°	112°	97°	82°		
5	gem. ϕ'	161°	145°	128°	110°	86°	54°	27°	5°	- 20°	- 41°	- 63°		
6	gem. ($\phi + \phi'$)	389°	363°	335°	305°	267°	218°	173°	133°	92°	56°	19°		
7	$l \bar{v}_0 \bar{v}'_0 / c^2 F^2 R$	0.01030	0.00645	0.00690	0.00430	0.00528	0.00284	0.00174	0.00070	0.00034	0.00019	0.00009		
8	cos($\phi + \phi'$)	0.87462	0.99863	0.90631	0.57358	- 0.05234	- 0.78801	- 0.99255	- 0.68200	- 0.03490	0.55919	0.94552		
9	i sin($\phi + \phi'$)	0.48481 i	0.05234 i	- 0.42262 i	- 0.81915 i	- 0.99863 i	- 0.61566 i	0.12187 i	0.73135 i	+ 0.99939 i	0.82904 i	0.32557 i		
10	(7)(8)	0.00901	0.00644	0.00625	0.00247	- 0.00028	- 0.00224	- 0.00173	- 0.00048	- 0.00001	0.00011	0.00009		
11	(7)(9)	0.00499 i	0.00034	0.00292	- 0.00352	- 0.00527	- 0.00175	0.00021	0.00051	0.00034	0.00016	0.00003		
12	B ₀	0.345	0.345	0.300	0.300	0.275	0.275	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250		
13	$3n l^2 B_0 \bar{v}_0 \bar{v}'_0 / 2(l)$	0.00333	0.00208	0.00178	0.00111	0.00166	0.00090	0.00047	0.00019	0.00007	0.00004	0.00002		
14	cos($\phi + \phi' - 90^\circ$)	0.48481	0.05234	- 0.42262	- 0.81915	- 0.99863	- 0.61566	+ 0.12187	+ 0.73135	+ 0.99939	+ 0.82904	+ 0.32557		
15	i sin($\phi + \phi' - 90^\circ$)	- 0.87462 i	- 0.99863 i	- 0.90631 i	- 0.57358 i	+ 0.05234 i	+ 0.78801 i	+ 0.99255 i	+ 0.68200 i	+ 0.03490 i	- 0.55919 i	- 0.94552 i		
16	(13)(14)	0.00161	0.00011	0.00075	0.00091	0.00166	0.00055	0.00006	0.00014	0.00007	0.00003	0.00001		
17	(13)(15)	0.00291	- 0.00208	- 0.00161	- 0.00064	+ 0.00000	0.00071	0.00047	0.00013	0	- 0.00002	- 0.00002		
18														
19														
20					M6 OPBEWERT DOOR M2 + M4.									
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														

BEHOORT BIJ
4e proef.
Electr. Meting
Niet Verand.
Diepte.

RIVIER: Lek.
OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec.
DATUM: Periode I.
Geen Bernoulli.

**BEREKENING DER COEFFICIENTEN VAN DE
KARAKTERISTIEKE VERGELIJINGEN**

FORMULIER I

BEREKENING :

		VAK x 12	VAK x 13	VAK x 14	VAK	VAK	VAK	VAK	VAK	VAK	VAK
0	lengte l.	0.3933	0.3933	0.3933							
1	c ² f ² R.	0.67732	0.67732	0.67732							
2	gem. \bar{v}_0	0.022	0.015	0.006							
3	gem. \bar{v}_0'	0.004	0.003	0.001							
4	gem. ϕ	68°	53°	37°							
5	gem. ϕ'	- 86°	- 103°	- 120°							
6	gem. ($\phi + \phi'$)	- 18°	- 50°	- 83°							
7	$l \cdot \bar{v}_0 \bar{v}_0' / c^2 f^2 R$	0.00005	0.00003	0							
8	cos($\phi + \phi'$)	0.95106	0.64279	0.12187							
9	i sin($\phi + \phi'$)	- 0.30902	- 0.76604	- 0.99255							
10	(7)+(8).	0.00005	0.00002	0							
11	(7)+(9).	- 0.00002	- 0.00002	0							
12	B ₀	0.240	0.240	0.240							
13	3.n.l.B ₀ (7)/2.	0.00001	0.00001	0							
14	cos($\phi + \phi' - 90^\circ$)	- 0.30902	- 0.76604	- 0.99255							
15	i sin($\phi + \phi' - 90^\circ$)	- 0.95106	- 0.64279	- 0.12187							
16	(13)(14)	0	- 0.00001	0							
17	(13)(15)	- 0.00001	- 0.00001	0							
18											
19											
20					M6 OPGEWEKT DOOR M2 + M4.						
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											

BEHOORT BIJ: 4e proef. Electr. Meting, Constante Diepte.	RIVIER: Lek. OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec DATUM: Periode I. Geen Bernoulli.		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN M6 OPGEWEKT DOOR M2 en M4.			FORMULIER III
	VAK 1		VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5
$L \times \eta_a$	0.02067 - 0.00524 i	0.01213 - 0.00853 i	0.00355 - 0.01194 i	- 0.00086 - 0.00768 i	- 0.00202 - 0.00080 i	
$M \times \sigma_a$	0.00231 + 0.00414 i	0.00241 + 0.00134 i	0.00212 - 0.00066 i	0.00023 - 0.00142 i	0.00065 - 0.00174 i	
η	0.00901 + 0.00499 i	0.00644 + 0.00034 i	0.00625 + 0.00292 i	0.00247 - 0.00352 i	- 0.00028 - 0.00527 i	
	0.03199 + 0.00389 i	0.02098 - 0.00689 i	0.01192 - 0.00968 i	0.00184 - 0.01262 i	- 0.00165 - 0.00781 i	
$N \times \eta_a$	- 0.00410 - 0.01351 i	- 0.00602 - 0.00776 i	- 0.00639 - 0.00146 i	- 0.00401 + 0.00071 i	- 0.00028 + 0.00127 i	
$O \times \sigma_a$	- 0.01593 - 0.01135 i	- 0.01136 - 0.00075 i	- 0.00465 + 0.00311 i	0.00045 + 0.00359 i	- 0.00056 + 0.00228 i	
	0.00161 + 0.00291 i	0.00011 - 0.00208 i	- 0.00075 - 0.00161 i	- 0.00091 - 0.00064 i	0.00166 + 0.00009 i	
σ	- 0.01842 - 0.02195 i	- 0.01727 - 0.01059 i	- 0.01179 + 0.00004 i	- 0.00447 + 0.00366 i	0.00082 + 0.00364 i	
$\eta_{Ba} = (-0.03199 - 0.00389 i) / (96.76911 + 132.03635 i) = 0.00013468 + 0.00014357 i$						
η	0	- 0.00664 - 0.00022 i	- 0.01019 + 0.00337 i	- 0.01091 + 0.00396 i	- 0.00721 + 0.00874 i	
Amplitude		0.00664	0.01073	0.01161	0.01133	
Fase		182°	198°	200°	230°	
σ	0.01881 + 0.01862 i	0.01884 + 0.01059 i	0.01771 + 0.00511 i	0.01709 - 0.00018 i	0.01385 - 0.00481 i	
Amplitude	0.02647	0.02116	0.01840	0.01710	0.01470	
Fase	315°	331°	344°	1°	19°	

BEHOORT BU: 4e proef. Electr. Meting. Constante Diepte.	RIVIER: Lek. 920 m ³ /sec. OPPERWATERAFVOER DATUM: Periode I Geen Bernoulli.		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN M6 OPGEWEKT DOOR M2 en M4.			FORMULIER III
						BEREKENING:
	VAK x 6	VAK x 7	VAK x 8	VAK x 9	VAK x 10	
L x η_a	- 0.00261 + 0.00162 i	- 0.00100 + 0.00168 i	- 0.00023 + 0.00108 i	- 0.00002 + 0.00048 i	0.00012 + 0.00017 i	
M x σ_a	+ 0.00056 - 0.00021 i	0.00045 + 0.00037 i	0.00017 + 0.00038 i	0.00009 + 0.00033 i	- 0.00005 + 0.00013 i	
η	- 0.00224 - 0.00175 i	- 0.00173 + 0.00021 i	- 0.00048 + 0.00051 i	- 0.00001 + 0.00034 i	0.00011 + 0.00016 i	
	- 0.00429 - 0.00034 i	- 0.00228 + 0.00226 i	- 0.00054 + 0.00197 i	0.00006 + 0.00115 i	0.00018 + 0.00046 i	
N x η_a	0.00119 + 0.00139 i	0.00102 + 0.00037 i	0.00061 + 0.00002 i	0.00026 - 0.00007 i	0.00006 - 0.00009 i	
O x σ_a	- 0.00068 + 0.00035 i	- 0.00047 - 0.00033 i	- 0.00019 - 0.00036 i	- 0.00004 - 0.00024 i	0.00004 - 0.00009 i	
	- 0.00055 + 0.00071 i	0.00006 + 0.00047 i	0.00014 + 0.00013 i	0.00007 + 0	0.00003 - 0.00002 i	
σ	- 0.00004 + 0.00245 i	0.00061 + 0.00051 i	0.00056 - 0.00021 i	0.00029 - 0.00031 i	0.00013 - 0.00020 i	
η	- 0.00157 + 0.01121 i	0.00343 + 0.00841 i	0.00478 + 0.00318 i	0.00358 - 0.00086 i	0.00126 - 0.00134 i	
Amplitude	0.01132	0.00908	0.00574	0.00368	0.00184	
Fase	262°	292°	326°	14°	47°	
σ	0.00467 - 0.00653 i	0.00019 - 0.00579 i	- 0.00173 - 0.00342 i	- 0.00189 + 0.00021 i	- 0.00111 + 0.00025 i	
Amplitude	0.00803	0.00579	0.00383	0.00190	0.00114	
Fase	54°	90°	117°	186°	193°	

BEHOORT BU: 4e proef. Electr. Meting, Constante Diepte.	RIVER: Lek. OPPERWATERAFVOER 920 m/sec. DATUM: Periode I. Geen Bernoulli.		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN M6 OPGEWIKT DOOR M2 en M4.			FORMULIER III
						BEREKENING:
	VAK x 11	VAK x 12	VAK x 13	VAK x 14	VAK x 15	
L x σ_a	0.00007 + 0.00002 i	0.00003 - 0.00001 i				
M x σ_a	0.00002 + 0.00005 i	0 + 0.00002 i				
η	0.00009 + 0.00003 i	0.00005 - 0.00002 i	0.00002 - 0.00002 i	0		
	0.00018 + 0.00010 i	0.00008 - 0.00001 i	0.00002 - 0.00002 i	0		
N x σ_a	0 - 0.00004 i	- 0.00001 - 0.00001 i				
O x σ_a	- 0.00001 - 0.00004 i	- 0.00001 - 0.00001 i				
	0.00001 - 0.00002 i	0 - 0.00001 i				
σ	0 - 0.00010 i	- 0.00002 - 0.00003 i	- 0.00001 - 0.00001 i	0		

η	- 0.00001 - 0.00108 i	- 0.00044 - 0.00046 i	- 0.00035 + 0	- 0.00013468 + 0.00014357 i		
Amplitude	0.00108	0.00064	0.00035	0.000196		
Phase	90°	134°	180°	227°		
σ	- 0.00038 + 0.00054 i	0.00005 + 0.00038 i	0.00017 + 0.00012 i	0.00012 - 0.00002 i		
Amplitude	0.00066	0.00038	0.00021	0.00012		
Phase	235°	270°	325°	10°		

BEHOORT BU
4e proef
Electr. Meting
Niet Verand.
Diepte.

RIVIER: Lek.
OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec.
DATUM: Periode I.
Geen Bernoulli.

BEREKENING DER COEFFICIENTEN VAN DE
KARAKTERISTIEKE VERGELUKINGEN

FORMULIER I

BEREKENING :

		VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5	VAK 6	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10	VAK 11
0	lengte. l .	0.44500	0.44500	0.40750	0.40750	0.54500	0.54500	0.51250	0.51250	0.35667	0.35667	0.35667
1	$c^2 f m^2 R m$.	3.91458	3.91458	2.05606	2.05606	1.24917	1.24917	0.97920	0.97920	0.69772	0.69772	0.69772
2	gem. \bar{v}_0	0.530	0.420	0.335	0.268	0.203	0.148	0.107	0.075	0.055	0.041	0.030
3	gem. $z \phi$	- 264°	- 282°	- 304°	- 328°	- 356°	- 42°	- 64°	- 102°	- 136°	- 162°	- 192°
4	cos. $z \phi$	- 0.10453	+ 0.20791	+ 0.55919	+ 0.84805	+ 0.99756	+ 0.74314	+ 0.43837	- 0.20791	- 0.71934	- 0.95106	- 0.97815
5	$i \sin. z \phi$	+ 0.99452	+ 0.97815	+ 0.82904	+ 0.52992	+ 0.06976	- 0.66319	- 0.89879	- 0.97819	- 0.69466	- 0.30902	+ 0.20791
6	$l \bar{v}_0^2 / 2 c^2 f^2 R$	0.01597	0.01003	0.01112	0.00712	0.00917	0.00578	0.00300	0.00147	0.00077	0.00043	0.00023
7	(6)(4)	- 0.00167	+ 0.00209	+ 0.00622	+ 0.00604	+ 0.00915	+ 0.00430	+ 0.00132	- 0.00031	- 0.00055	- 0.00041	- 0.00022
8	(6)(5)	+ 0.01588	+ 0.00981	+ 0.00922	+ 0.00377	+ 0.00064	- 0.00210	- 0.00270	- 0.00144	- 0.00053	- 0.00013	+ 0.00006
9	B_0	0.345	0.345	0.300	0.300	0.275	0.275	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
10	(9)(6)(n)(1)	0.00344	0.00216	0.00191	0.00123	0.00194	0.00121	0.00059	0.00027	0.00010	0.00005	0.00003
11	cos.($2\phi - 90^\circ$)	+ 0.99452	+ 0.97815	+ 0.82904	+ 0.52992	+ 0.06976	- 0.66319	- 0.89879	- 0.97815	- 0.69466	- 0.30902	+ 0.20791
12	$i \sin.(2\phi - 90^\circ)$	+ 0.10453	- 0.20791	- 0.55919	- 0.84805	- 0.99756	- 0.74314	- 0.43837	+ 0.20791	+ 0.71934	+ 0.95106	+ 0.97815
13	(10)(11)	+ 0.00342	+ 0.00211	+ 0.00158	+ 0.00065	+ 0.00013	- 0.00044	- 0.00049	- 0.00026	- 0.00007	- 0.00002	+ 0.00001
14	(10)(12)	+ 0.00036	- 0.00045	- 0.00107	- 0.00104	- 0.00193	- 0.00090	- 0.00024	+ 0.00006	+ 0.00007	+ 0.00005	+ 0.00003
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

M4 OPGEHEKT DOOR M2.

BEHOORT BIJ
4e proef.
Electr. Meting
Niet Verand.
Diepte.

RIVIER: Lek.
OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec.
DATUM: Periode I.
Geen Bernoulli.

BEREKENING DER COEFFICIENTEN VAN DE
KARAKTERISTIEKE VERGELUKINGEN

FORMULIER I

BEREKENING :

		VAK X 12	VAK X 13	VAK X 14	VAK	VAK	VAK	VAK	VAK	VAK	VAK	
0	lengte l.	0.3933	0.3933	0.3933								
1	c ² f.m ² RM.	0.67732	0.67732	0.67732								
2	gem. V ₀	0.022	0.015	0.006								
3	gem. 2 φ	- 224°	- 252°	- 280°								
4	cos. 2 φ	- 0.71934	- 0.30902	+ 0.17365								
5	l sin 2 φ	+ 0.69466	+ 0.95106	+ 0.98481								
6	l V ₀ ² / 2c ² f ² R.	0.00014	0.00007	0.00001								
7	(6)(4)	- 0.00010	- 0.00002	0								
8	(6)(5)	0.00010 1	0.00007 1	0.00001 1								
9	B ₀	0.240	0.240	0.240								
10	(9)(6)n.l.	0.00002	0.00001	0								
11	cos.(2 φ - 90°)	+ 0.69466	+ 0.95106	+ 0.98481								
12	l sin.(2 φ - 90°)	+ 0.71439	+ 0.30902	- 0.17365								
13	(10)(11)	+ 0.00001	+ 0.00001	0								
14	(10)(12)	+ 0.00001	0	0								
15												
16												
17					M4 OPGEWEXT DOOR M2.							
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												

BEHOORT BIJ: 4e proef Electr. Meting Niet Verand. Diepte.	RIVIER: Lek OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec. DATUM: Periode I. Geen Bernoulli.		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN M4 OPGEWOKT DOOR M2.			FORMULIER III
	BEREKENING:		VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4
$L \times \eta_a$	0.03571 + 0.04176 i	0.03748 + 0.02439 i	0.03142 + 0.00659 i	0.02374 - 0.00284 i	0.01025 - 0.00699 i	
$M \times \sigma_a$	- 0.00553 + 0.00894 i	- 0.00141 + 0.00651 i	0.00151 + 0.00720 i	0.00244 + 0.00372 i	0.00445 + 0.00195 i	
η	- 0.00167 + 0.01588 i	0.00209 + 0.00981 i	0.00612 + 0.00922 i	0.00604 + 0.00377 i	0.00915 + 0.00064 i	
	0.02851 + 0.06658 i	0.03816 + 0.04071 i	0.03915 + 0.04301 i	0.03222 + 0.00465 i	0.02385 - 0.00440 i	
$N \times \eta_a$	0.01772 - 0.01611 i	0.01012 - 0.01665 i	0.00182 - 0.01098 i	- 0.00133 - 0.00818 i	- 0.00346 - 0.00400 i	
$O \times \sigma_a$	0.01129 - 0.04551 i	- 0.00288 - 0.02959 i	- 0.00769 - 0.01784 i	- 0.00824 - 0.00834 i	- 0.00554 - 0.00199 i	
	0.00342 + 0.00036 i	0.00211 - 0.00045 i	+ 0.00158 - 0.00107 i	+ 0.00065 - 0.00104 i	+ 0.00013 - 0.00193 i	
σ	0.03243 - 0.06126 i	0.00935 - 0.04669 i	- 0.00429 - 0.02989 i	- 0.00892 - 0.01756 i	- 0.00887 - 0.00792 i	
$\eta_{B_1} = 0 = (0.04872 - 33.22408 i) \eta_{B_a} + (0.02851 + 0.06658 i)$ $\eta_{B_a} = (-0.0285 - 0.06658 i) / (0.04872 - 33.22408 i) = 0.00200 - 0.00086 i$						
η	0	- 0.00263 - 0.01168 i	- 0.00632 - 0.01586 i	- 0.01451 - 0.01493 i	- 0.01911 - 0.01131 i	
Amplitude						
Fase						
σ	- 0.00748 + 0.02934 i	- 0.00466 + 0.02859 i	0.00129 + 0.02638 i	0.00668 + 0.02255 i	0.01125 - 0.01445 i	

BEHOORT BIJ: 4e proef. Electr. Metin Niet verand. Diepte.	RIVIER: Lek. OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec. DATUM: Periode I. Geen Bernoulli.		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN M4 OPGEWEKT DOOR M2.			FORMULIER III
	VAK 6		VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10
L x η_a	0.00256 - 0.00635 i	- 0.00081 - 0.00329 i	- 0.00123 - 0.00122 i	- 0.00084 - 0.00023 i	- 0.00040 + 0.00015 i	
M x σ_a	0.00223 - 0.00037 i	+ 0.00096 - 0.00085 i	+ 0.00014 - 0.00050 i	- 0.00006 - 0.00024 i	- 0.00007 - 0.00008 i	
7	0.00430 - 0.00210 i	+ 0.00132 - 0.00270 i	- 0.00031 - 0.00144 i	- 0.00055 - 0.00053 i	- 0.00041 - 0.00013 i	
	0.00909 - 0.00682 i	+ 0.00147 - 0.00684 i	- 0.00140 - 0.00316 i	- 0.00145 - 0.00100 i	- 0.00088 - 0.00006 i	
N x η_a	- 0.00282 - 0.00077 i	- 0.00116 + 0.00044 i	- 0.00039 + 0.00050 i	- 0.00004 + 0.00022 i	+ 0.00005 + 0.00010 i	
O x σ_a	- 0.00266 + 0.00063 i	- 0.00049 - 0.00024 i	- 0.00012 + 0.00051 i	+ 0.00008 + 0.00025 i	+ 0.00008 + 0.00009 i	
	- 0.00044 - 0.00090 i	- 0.00049 - 0.00024 i	- 0.00026 + 0.00006 i	- 0.00007 + 0.00007 i	- 0.00002 + 0.00005 i	
σ	- 0.00592 - 0.00104 i	- 0.00257 + 0.00110 i	- 0.00077 + 0.00107 i	- 0.00003 + 0.00054 i	+ 0.00011 + 0.00024 i	

η	- 0.02007 + 0.00051 i	- 0.01494 + 0.00831 i	- 0.00688 + 0.01147 i	- 0.00067 + 0.01026 i	0.00262 + 0.00737 i	
Amplitude						
Face						
σ	0.01326 + 0.00834 i	0.02116 + 0.00099 i	0.00747 + 0.00284 i	0.00349 - 0.00408 i	0.00130 - 0.00380 i	

BEHOORT BIJ: 4e proof Electr. Meting Niet Verand. Diepte.	DIVIEP Lek. OPPERWATERAFVOER 920 m ³ /sec. DATUM: Periode I. Geen Bernoulli.		AANEENSCHAKELING DER VAKKEN M4 OPGEWerkt DOOR M2.				FORMULIER III
	VAK 11		VAK 12		VAK 13		VAK 14
L x τ_a	- 0.00014 + 0.00017 i		- 0.00001 + 0.00003 i		0 + 0.00001 i		
M x σ_a	- 0.00003 - 0.00003 i		- 0.00001 + 0 i				
η	- 0.00022 + 0.00006 i		- 0.00010 + 0.00010 i		- 0.00002 + 0.00007 i		$\eta_a + (0 + 0.00001 i)$
	- 0.00039 + 0.00020 i		- 0.00012 + 0.00013 i				
N x η_a	+ 0.00004 + 0.00003 i		+ 0.00002 + 0.00001 i		0		
O x σ_a	+ 0.00004 + 0.00002 i		+ 0.00001 + 0 i		0		
	+ 0.00001 + 0.00003 i		+ 0.00001 + 0.00001 i		0.00001 + 0 i		
σ	+ 0.00009 + 0.00008 i		+ 0.00004 + 0.00002 i		0.00001 + 0 i		$\sigma_a (0 0)$

η	0.00375 + 0.00434 i		0.00393 + 0.00190 i		0.00307 + 0.00008 i		0.00200 - 0.00085 i
Amplitude							
Fase							
σ	- 0.00015 - 0.00294 i		- 0.00091 - 0.00194 i		- 0.00115 + 0.00137 i		- 0.00103 - 0.00033 i

BEHOORT BIJ 4e proef
 Electr. Meting
 Geen Bernoulli
 Niet Verand.
 Diepte.

RIVIER: Lek.
 DATUM: Periode I

BEREKENING VAN HET MIDDENSTANDSVERVAL

OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec.

		BEGIN 1 ^e VAK	BEGIN 2 ^e VAK	BEGIN 3 ^e VAK	BEGIN 4 ^e VAK	BEGIN 5 ^e VAK
		VAK 1	VAK 2	VAK 3	VAK 4	VAK 5
1	$5 \frac{1}{2} \sigma^2$					
2	$(1)/2g\sigma^2$					
3	$\frac{6}{\sigma_1}$	0.52967 0.17070	0.42105 0.13465	0.33480 0.10443	0.26880 0.08090	0.20530 0.05932
4	$J^* = \frac{5_0^2}{C_m^2 R_m}$	0.21622	0.21622	0.41166	0.41166	0.67756
5	σ_0/S resp. S/σ_0					
6	$m_0 = \frac{G_0^2 + G_1^2}{2S_0^2}$	1.18294	1.11584	1.07266	1.04655	1.02710
7	m_1					
8	η_0					
9	$K - \varphi$					
10	$J^* \cdot 1$	0.09622	0.09622	0.16775	0.16775	0.31027
11	$m_1/2m_0$					
12	$\lambda \eta_0$					
13	$-\cos(K - \varphi)$					
14	$(11) \times (12) \times (13)$					
15	$(6) \times (10)$	0.11382	0.10737	0.17994	0.17556	0.37927
16	$(10) \times (14)$					
17	BERNOULLI-invloed					
18	Totaal verval (15)+(16)-(17)	0.11382	0.10737	0.17994	0.17556	0.37927
19	Middenstand 0.470	0.584	0.691	0.871	1.047	1.426

BULAGE 129

BEHOORT BIJ: 4e proef
 Electr. Meeting
 Geen Bernoulli
 Niet Verand.
 Diepte:

RIVIER: Lek.
 DATUM: Periode I

BEREKENING VAN HET MIDDENSTANDSVERVAL

OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec.

		BEGIN 1 ^e VAK	BEGIN 2 ^e VAK	BEGIN 3 ^e VAK	BEGIN 4 ^e VAK	BEGIN 5 ^e VAK
1	$S^2 + \frac{1}{2} \alpha^2$					
2	$(1)/2gf^2$					
		VAK 6	VAK 7	VAK 8	VAK 9	VAK 10
3	$\frac{G_0}{G_1}$	0.14810 0.04421	0.07731 0.01779	0.07731 0.01779	0.05770 0.01205	0.04543 0.00875
4	$J^* = s_0^2 / C^2 f_m^2 R_m$	0.67755	0.86438	0.86438	1.21309	1.21309
5	α_0 / S resp. S / α_0					
6	$m_0 = 1 + \frac{G_0^2 + G_1^2}{2S^2}$	1.01411	1.00727	1.00372	1.00205	1.00126
7	m_1					
8	η_0					
9	$K - \varphi$					
10	$J^* $	0.36927	0.44295	0.44299	0.43267	0.43267
11	$m_1 / 2m_0$					
12	$\lambda \eta_0$					
13	$-\cos(K - \varphi)$					
14	(11)x(12)x(13)					
15	(6)x(10)	0.37448	0.44621	0.44464	0.43356	0.43322
16	(10)x(14)					
17	BERNOULLI-invloed					
18	Totaal verval (15)+(16)-(17)	0.37448	0.44621	0.44464	0.43356	0.43322
19	Middenstand	1.800	2.247	2.691	3.125	3.558

BEHOORT BIJ 4e Proef
 Electr. Meting
 Geen Bernoulli
 Niet Veranderd.
 Slechte.

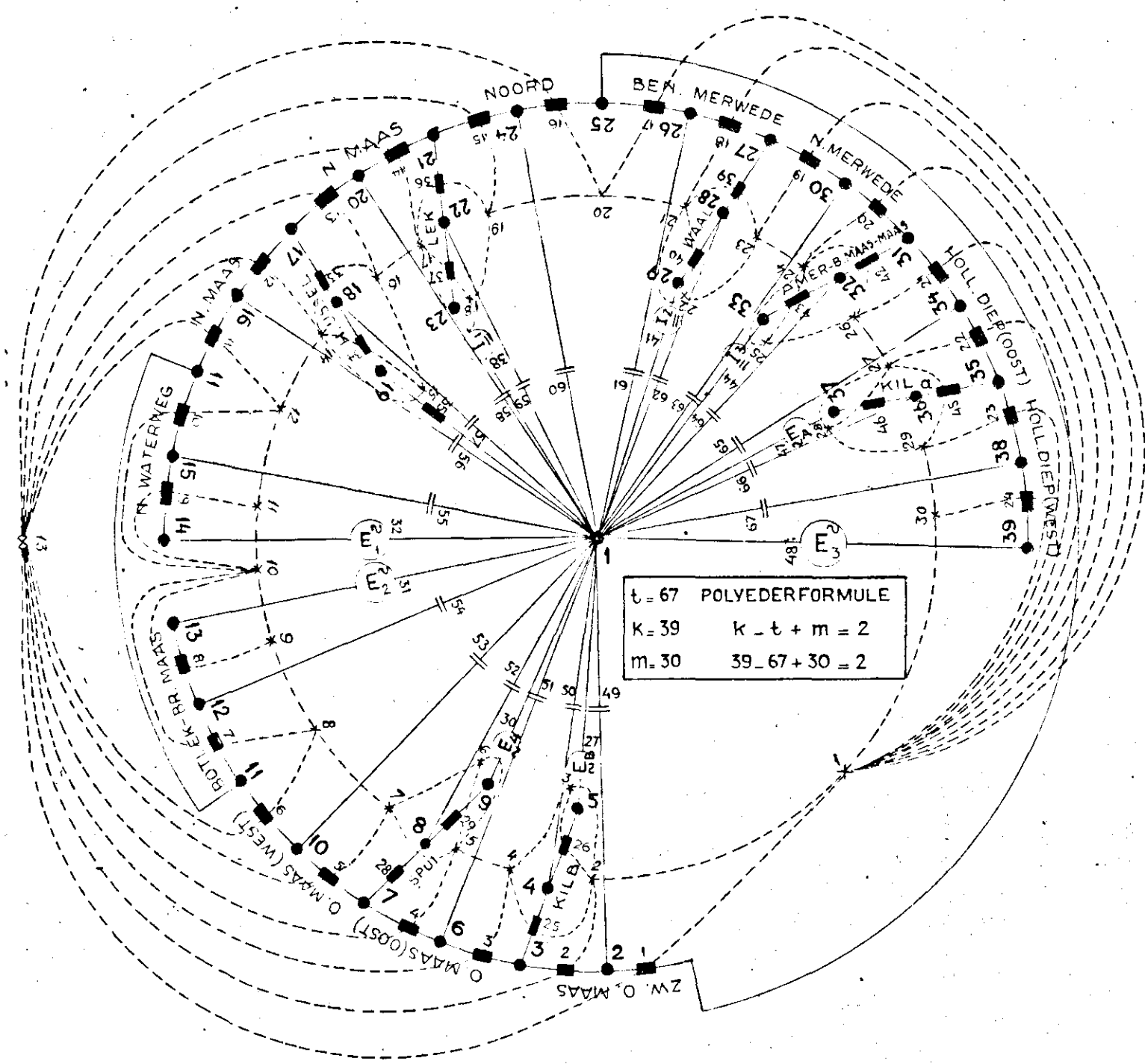
RIVIER: Lek
 DATUM: Periode I

BEREKENING VAN HET MIDDENSTANDSVERVAL

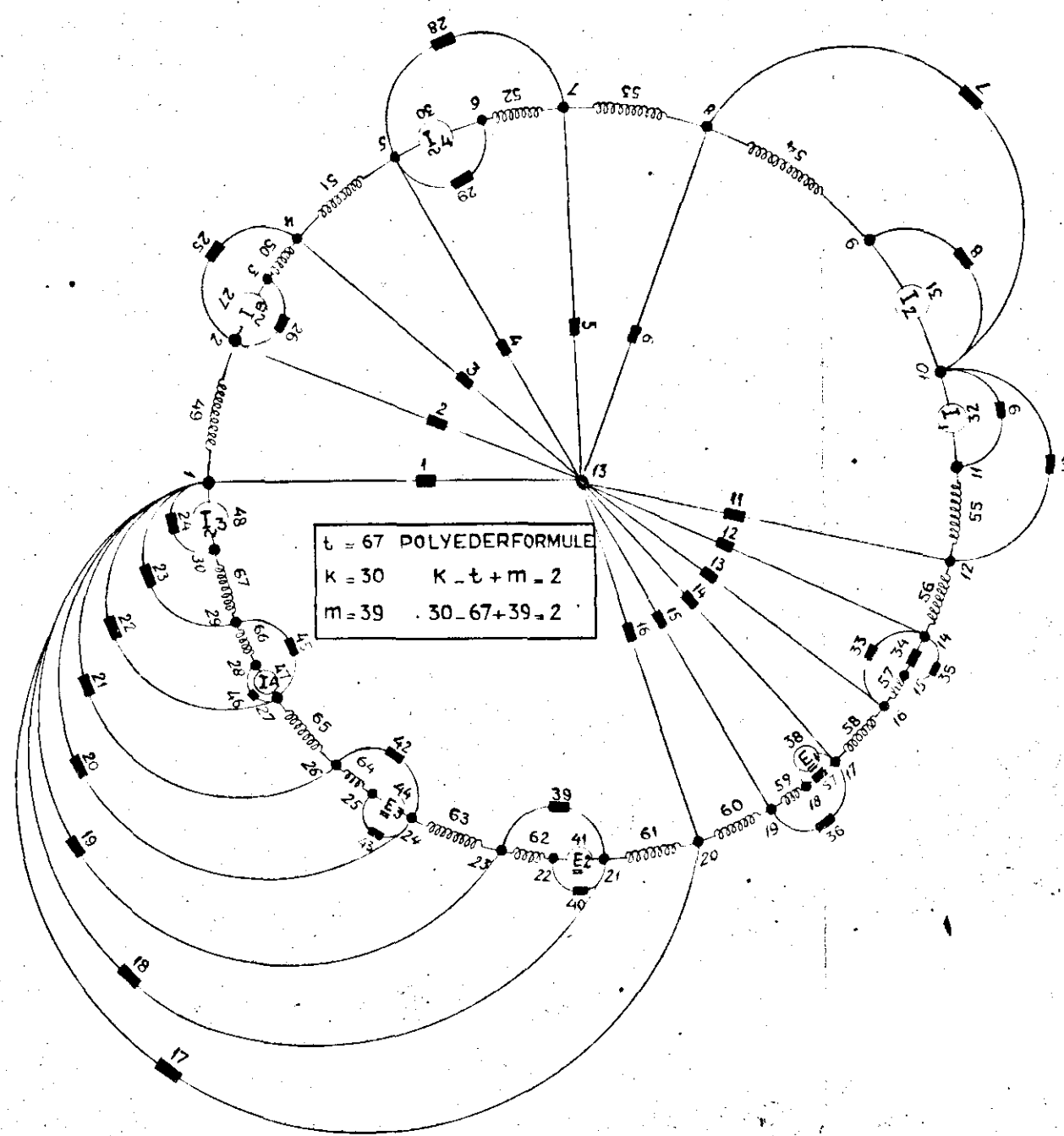
OPPERWATERAFVOER: 920 m³/sec.

		BEGIN 1 ^e VAK	BEGIN 2 ^e VAK	BEGIN 3 ^e VAK	BEGIN 4 ^e VAK	BEGIN 5 ^e VAK
1	$S^2 \cdot 10^2$					
2	$(1)/2gf^2$					
		VAK 11	VAK 12	VAK 13	VAK 14	VAK 5
3	σ_0 σ_1	0.03588 0.00031	0.02782 0.00449	0.02152 0.00304	0.00939 0.00118	
4	$j^* = s_0^2 / C_{mP}^2$	1.21309	1.24963	1.24963	1.24963	
5	σ_0/S resp. S/σ_0					
6	$m_0 = \frac{\sigma_0^2 + S^2}{2S\sigma_0}$	1.00078	1.00047	1.00029	1.00005	
7	m_1					
8	η_0					
9	$K - \varphi$					
10	$j^* $	0.43287	0.49152	0.49152	0.49152	
11	$m_1 / 2m_0$					
12	$K \eta_0$					
13	$-\cos(K - \varphi)$					
14	$(11) \times (12) \times (13)$					
15	$(6) \times (10)$	0.43301	0.49175	0.49166	0.49154	
16	$(10) \times (14)$					
17	BERNOULLI-invloed					
18	Totaal verval (15) + (16) - (17)	0.43301	0.49175	0.49166	0.49154	
19	Middenstand	3.991	4.483	4.978	5.466	

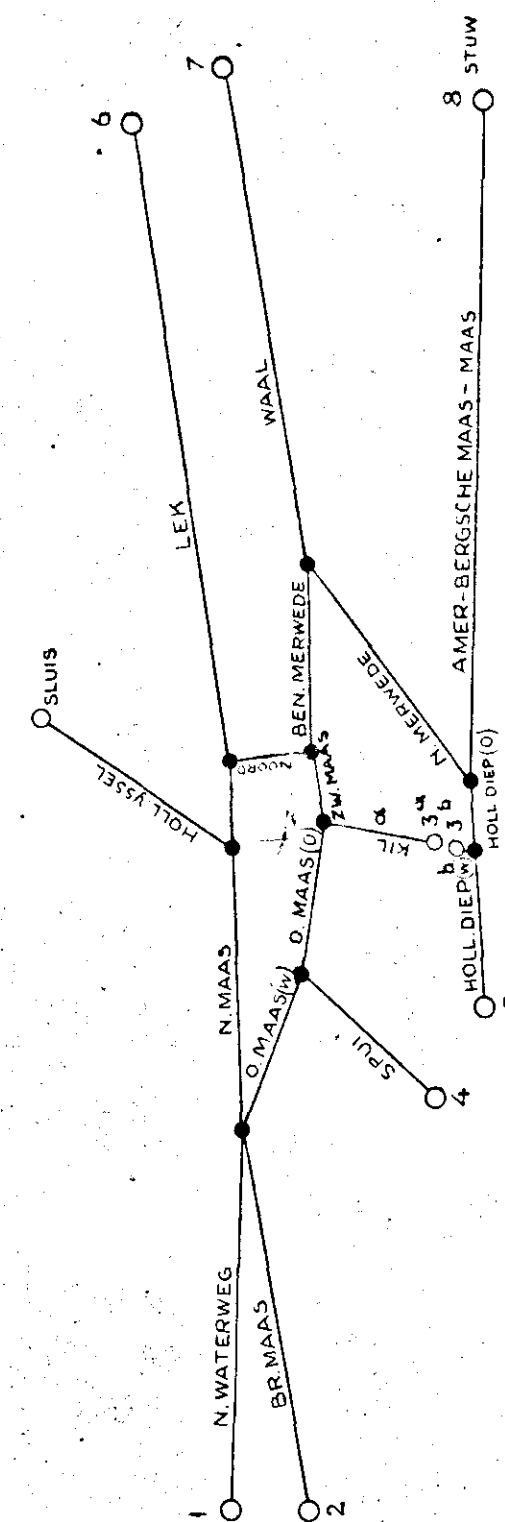
BULAGE I 31



VERVANGINGSSCHEMA VAN DE BEN. RIVIEREN



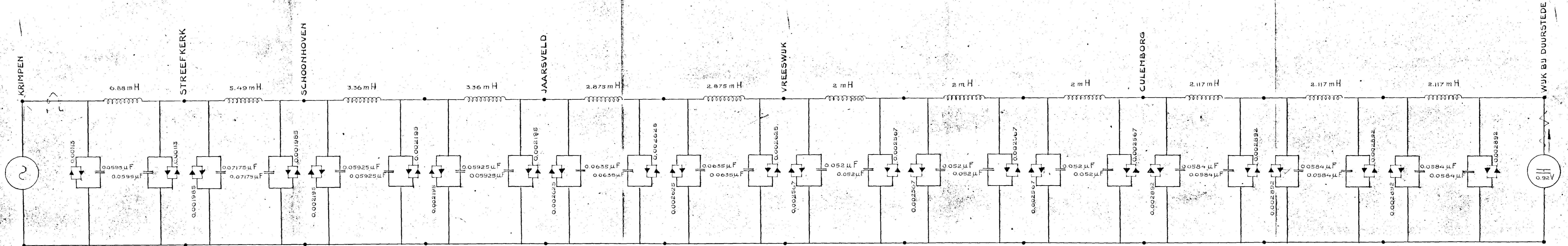
DUAAL VERVANGINGSSCHEMA VAN DE BEN. RIVIEREN



RIVIER DE LEK

OPPERWATERAFVOER 920 m³

1^o PROEF



KRIMPEN

STREEFKERK

SCHOONHOVEN

JAARSVELD

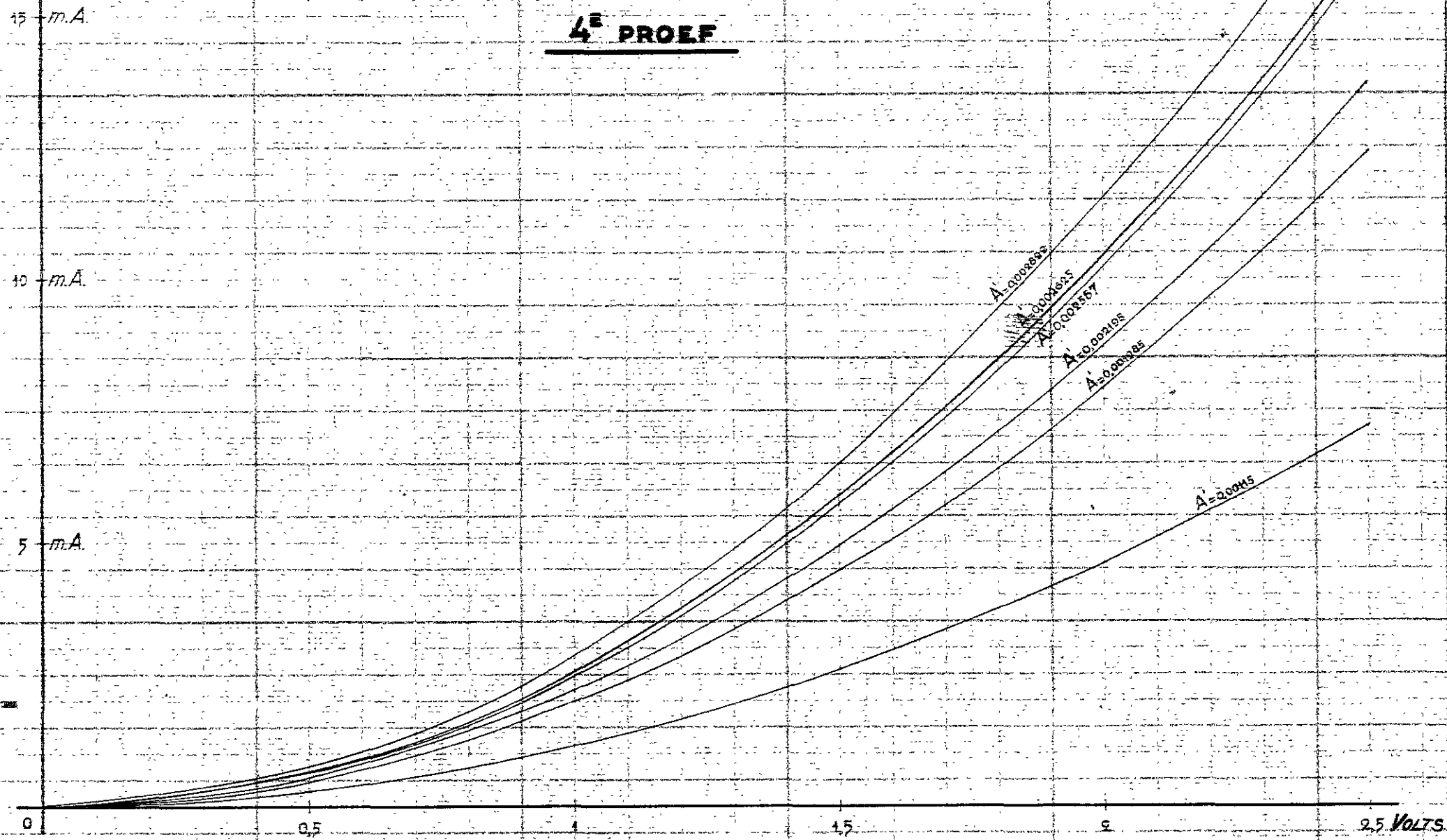
VREESWIJK

CULEMBORG

WIJK BIJ DUURSTEDE

GEWENSCHTE STROOM ~ SPANNINGSKARAKTERISTIEKEN

4^E PROEF



4483 A1

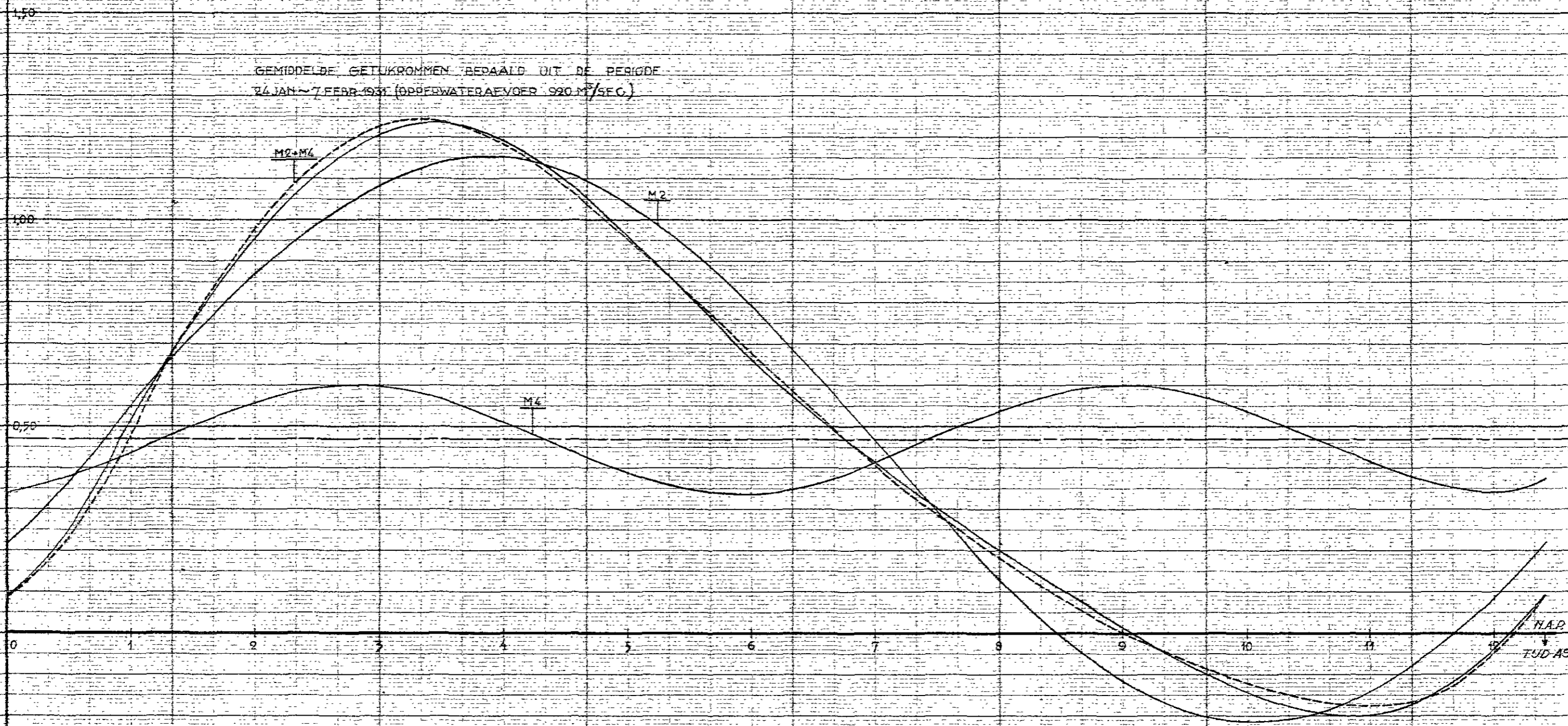
BULAGE 4.

RANDVOORWAARDEN TE KRIMPEN $\frac{1}{D}$ LEK, BEHOORENDE BIJ DE 4^E PROEF. (ELECTRISCHE METINGEN)

$$h = 0.47 - 0.681 \cos(\pi t - 92^\circ) + 0.15 \cos(2\pi t - 162^\circ)$$

GEMIDDELTE GETUKROMMEN BEDAAFD UIT DE PERIODE
24 JAN ~ 7 FEBR 1931 (OPPERWATERAFVOER 920 M³/SEC.)

WATERSTANDEN IN C.M. TOV. N.A.P.



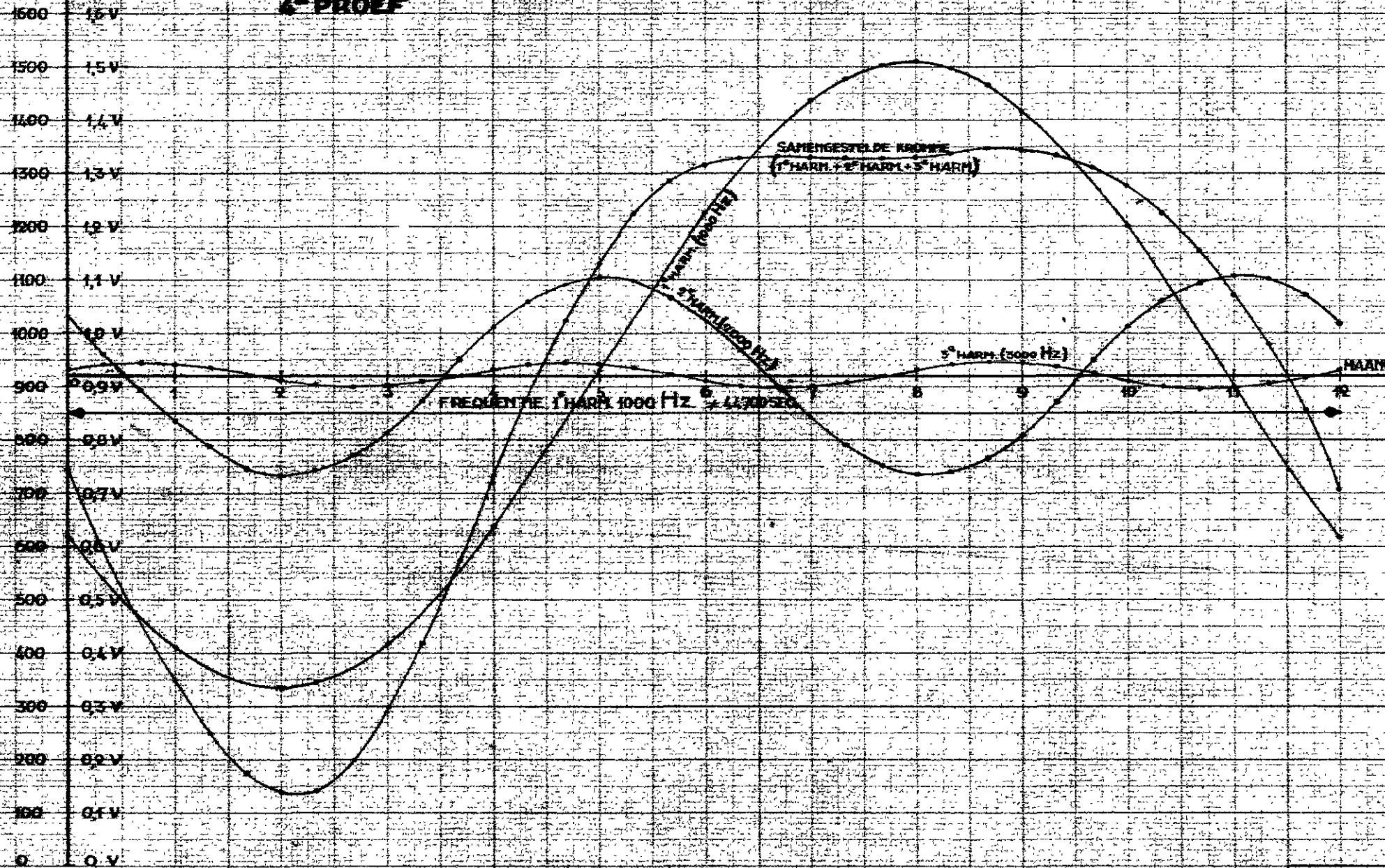
N.A.P.
TUD AS

1000 $\frac{m}{SEC}$ DUAAL NETWORK

1000 $\frac{m}{SEC}$ $\frac{1}{SEC}$ $\pm 1V$

BENEDEN MOND LEA BEREKENDE STROOKKROMME 4^E PROEF

920 $\frac{m}{SEC}$ OPPERWATERAFVOER

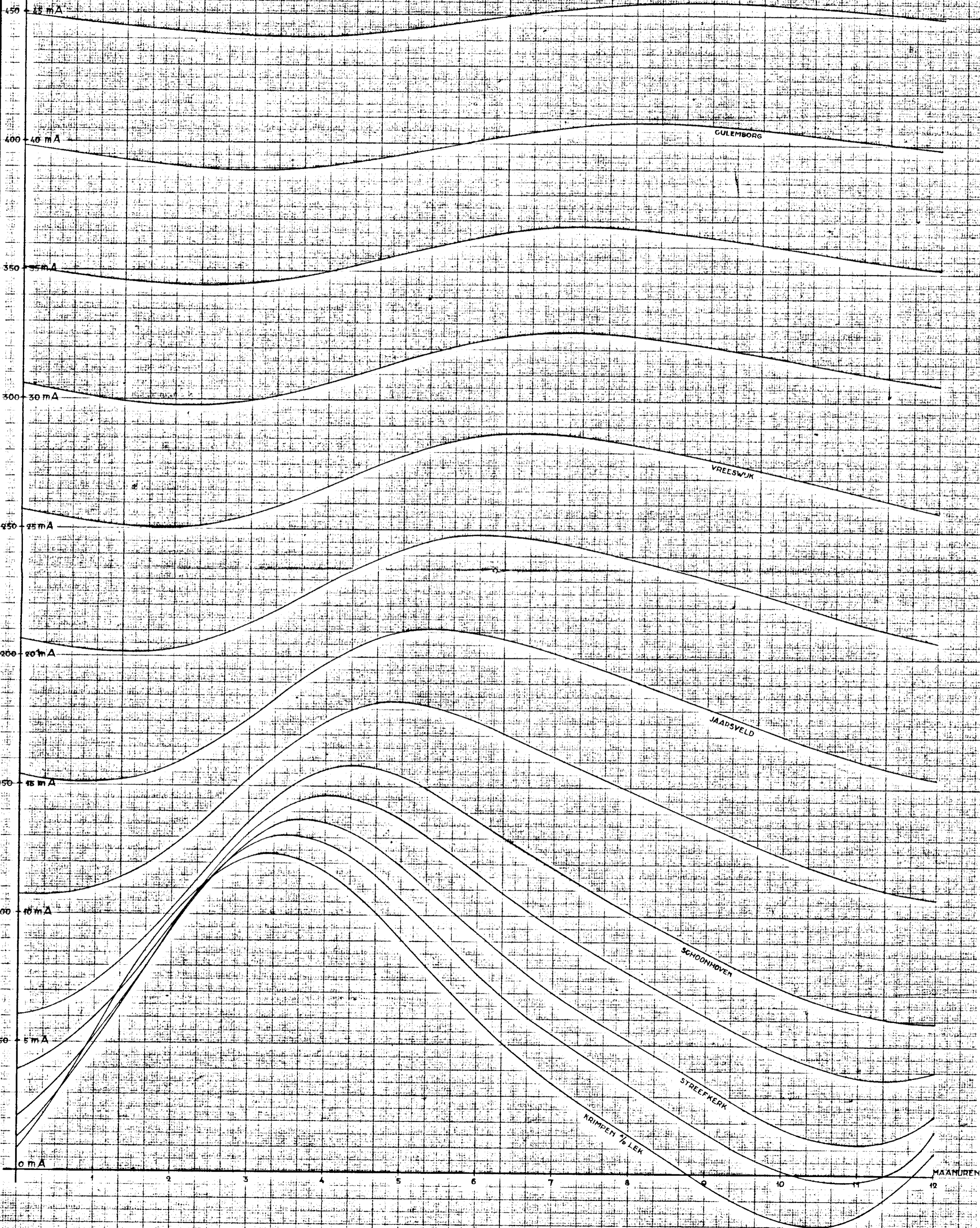


WATERSTANDEN IN CM

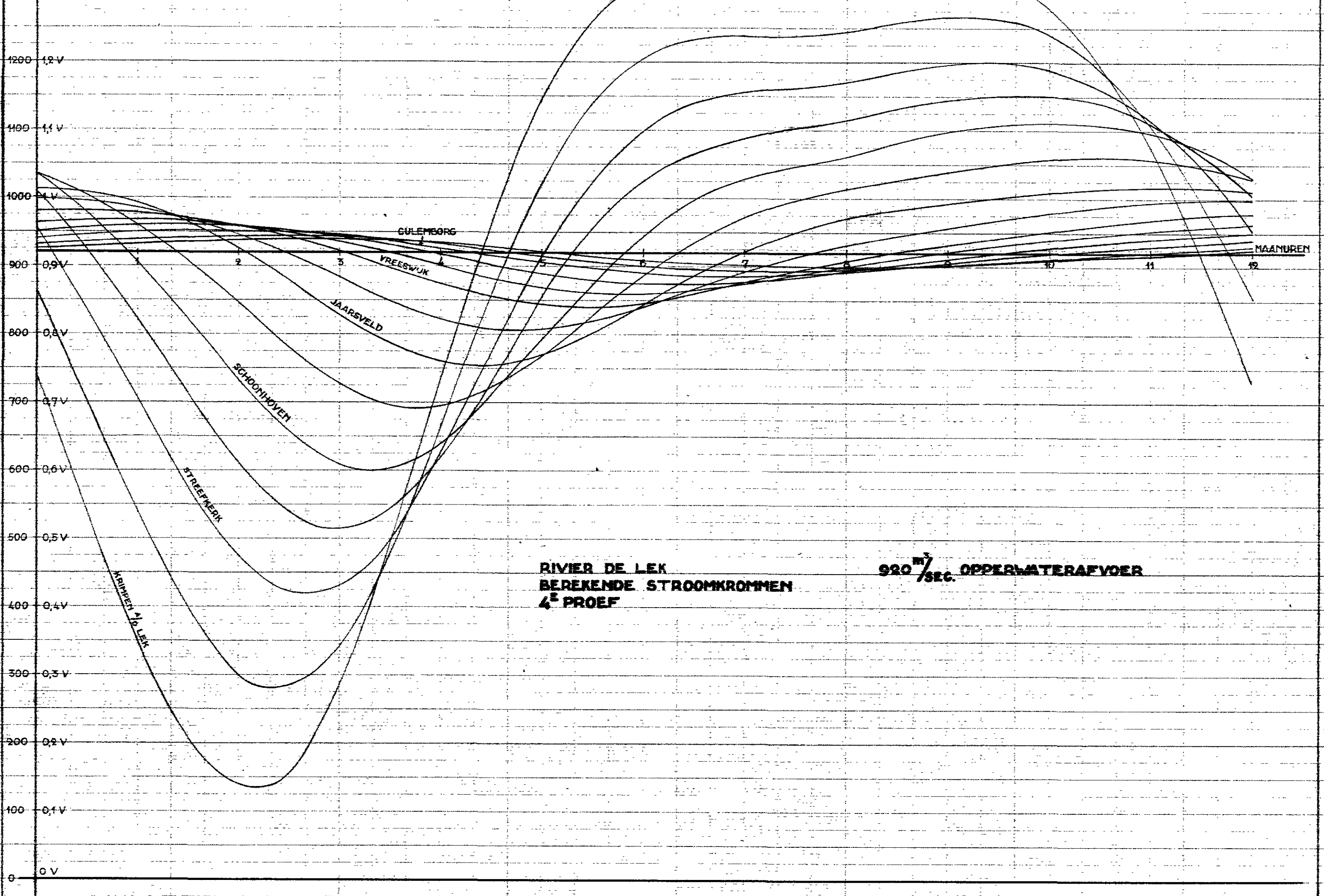
RIVIER DE LEK
BEREKENDE GETIJLJNEN
4^E PROEF

920 m³/SEC OPPERWATERAFVOER

DUAAL NETWERK
1 mA = 10 CM



m³/SEC DUAAL NETWORK
1500 1,3 V 1000 m³/SEC = 1 V



RIVIER DE LEK
BEREKENDE STROOMKROMMEN
4^E PROEF

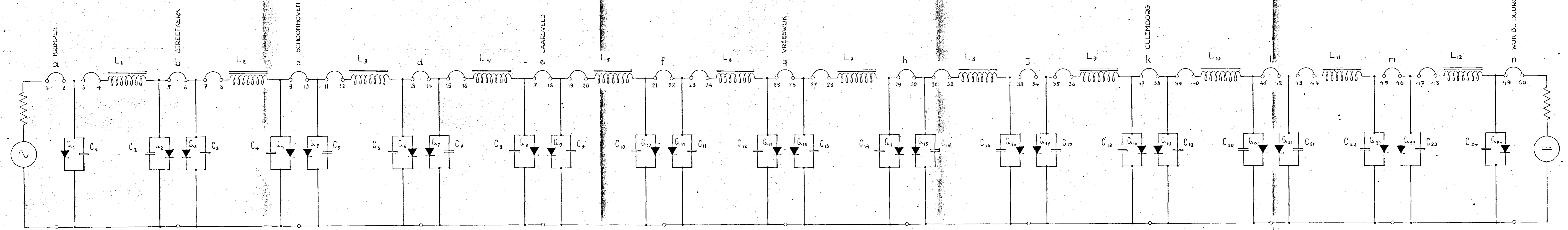
920 m³/SEC. OPPERWATERAFVOER

RIVIER DE LEK

OPPERWATER AFVOER 920m³/sec.

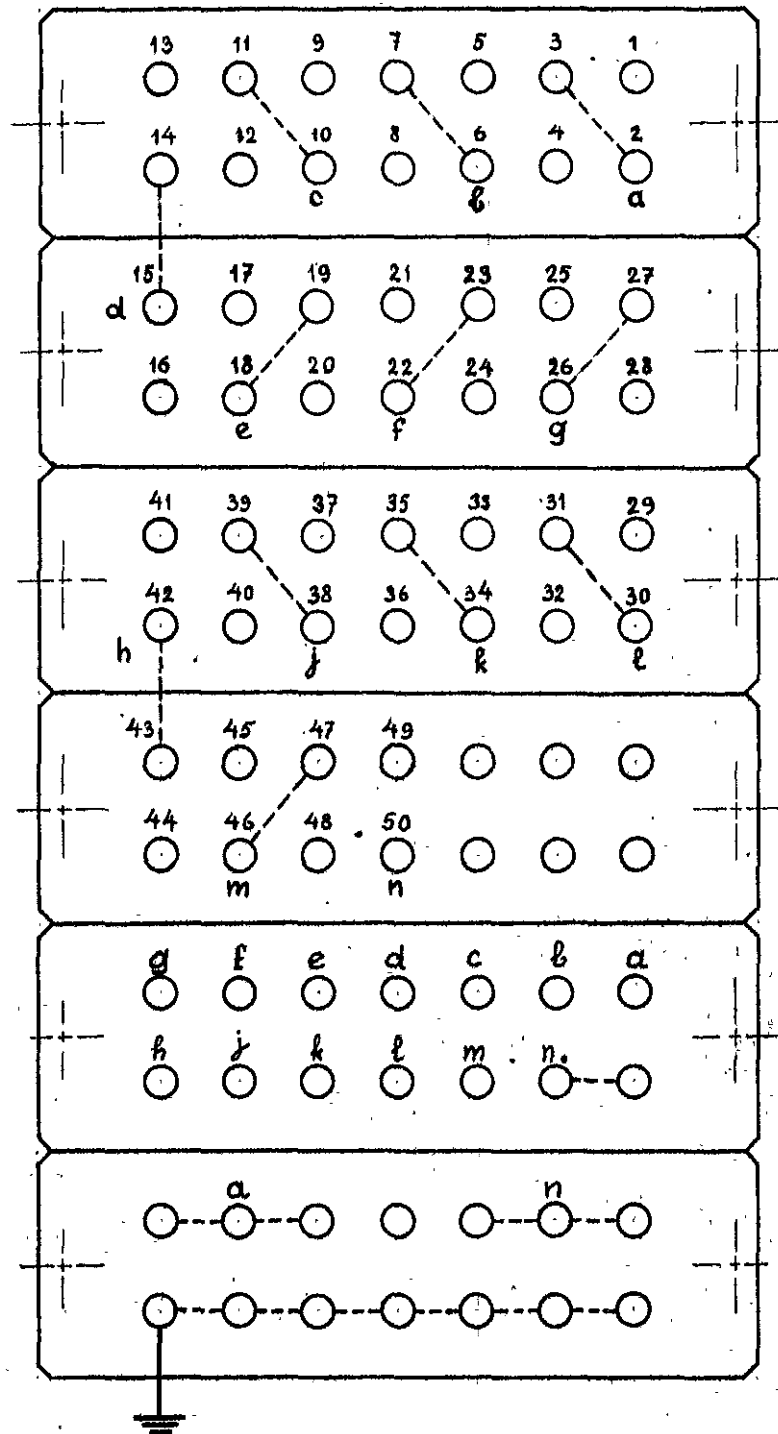
PROEF 4

$Z \approx 100 \Omega$



STAAT VAN ONDERDELEN BEHORENDE BIJ SCHEMA - RIVIER DE LEK. PROEF 4.

VAK	GELIJKRICHTCELLEN	GELEIDBAARHEID IN SIEMENS/ \sqrt{v}
		(A-waarde)
I	G-1-2	0,001130
II	G-3-4	0,001985
III	G-5-6-7-8	0,002195
IV	G-9-10-11-12	0,002625
V	G-13-14-15-16-17-18	0,002567
VI	G-19-20-21-22-23-24	0,002892
VAK	CONDENSATOREN	CAPACITEIT IN pF
I	C-1-2	59.500
II	C-3-4	71.750
III	C-5-6-7-8	59.250
IV	C-9-10-11-12	63.500
V	C-13-14-15-16-17-18	52.000
VI	C-19-20-21-22-23-24	58.400
VAK	SPOELEN	ZELF-INDUCTIE IN mH
I	L-1	6,88
II	L-2	5,49
III	L-3-4	3,36
IV	L-5-6	2,88
V	L-7-8-9	2,00
VI	L-10-11-12	2,12

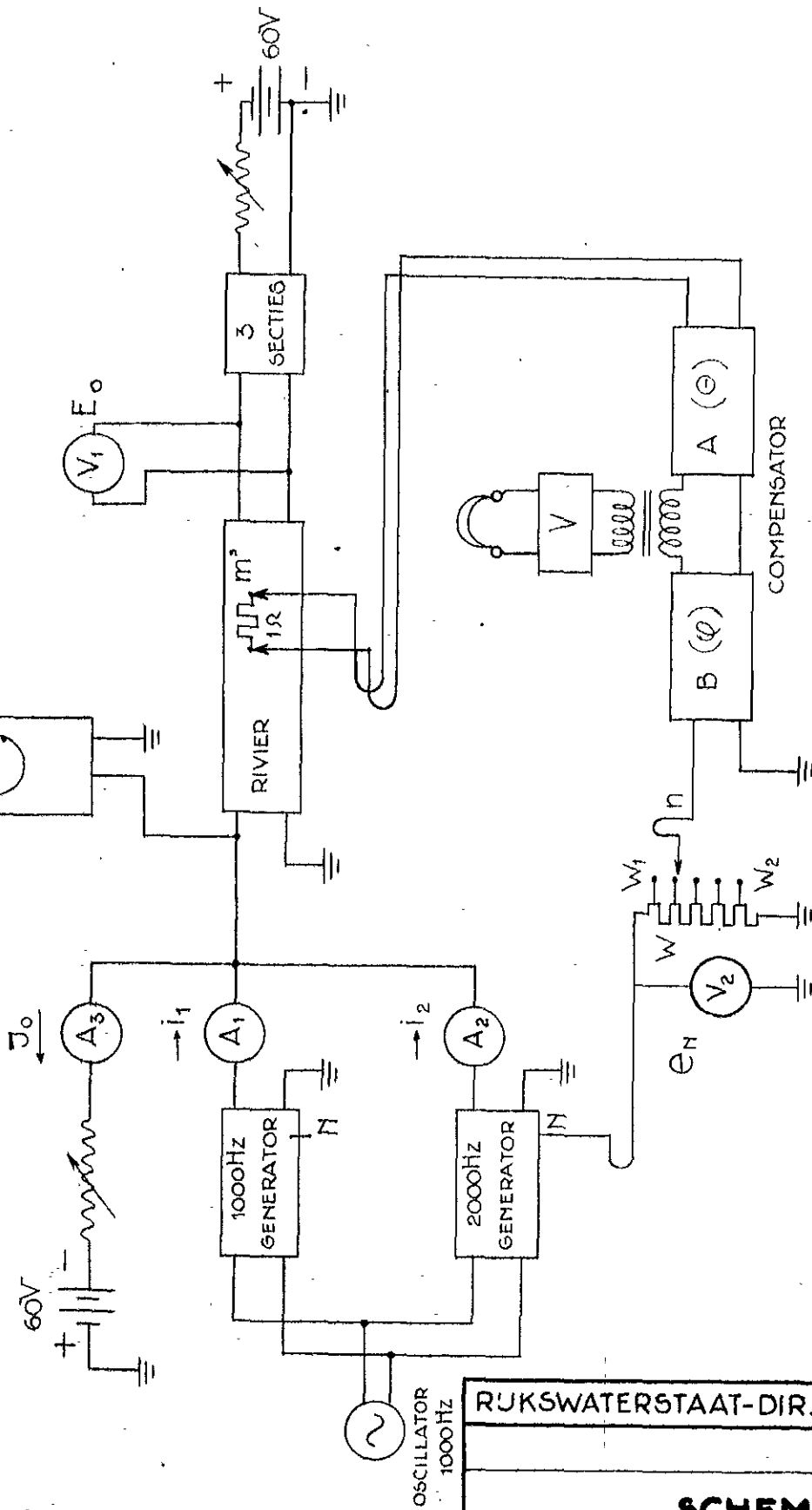


AANSLUITPANEEL RIVIERSCHAKELING.
RIVIER DE LEK ----- PROEF 4.

5733 A1

BULAGE 9^c

OSCILLOGRAAF

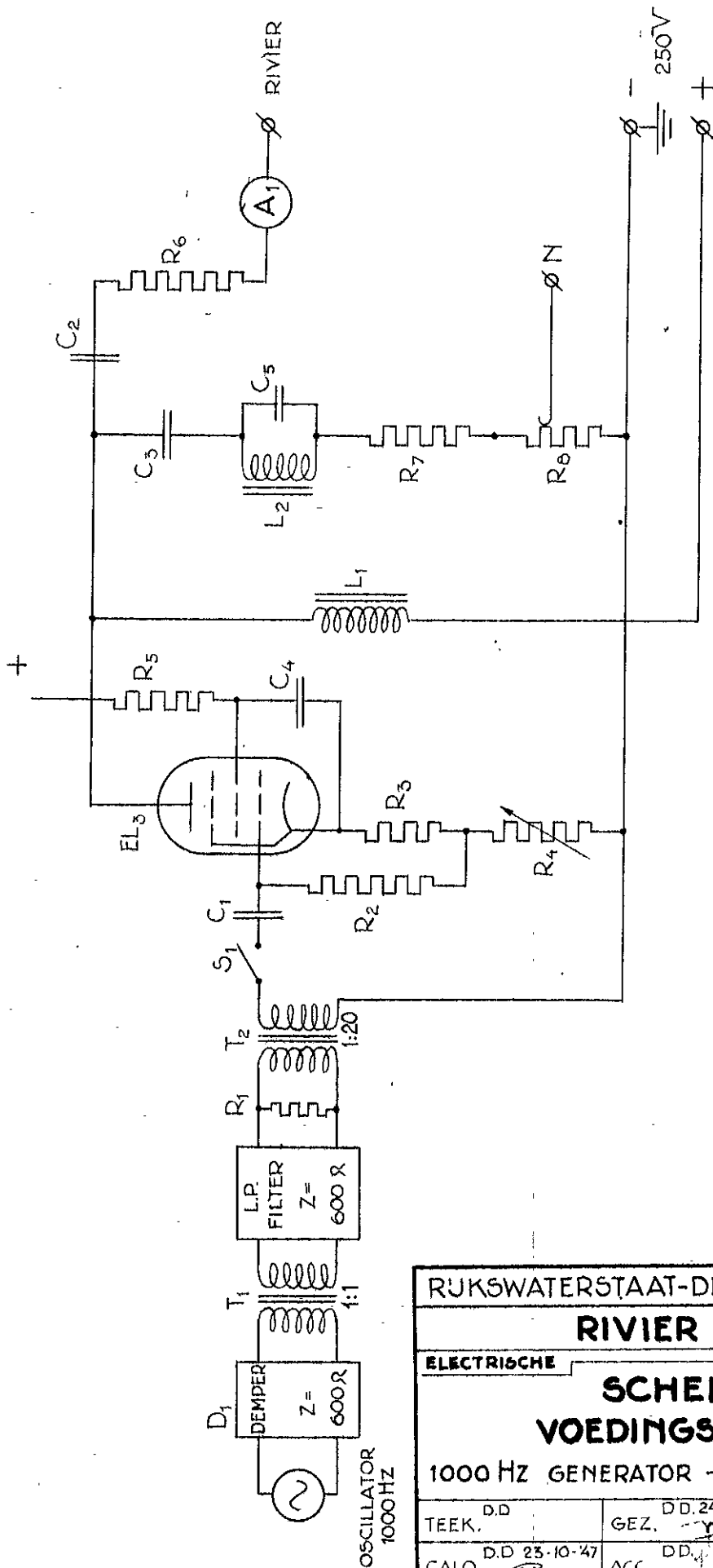


RIJKSWATERSTAAT-DIR. BENEDENRIVIEREN

SCHEMA I
OPSTELLING 48 PROEF
 ELECTRISCHE METINGEN

TEEK. D.D.	GEZ. D.D. 24-10-47	
CALQ. D.D. 18-10-47	ACC. D.D.	
CONTR. D.D. 24-10-47	BLAD IN	Nº BLADEN

5700 A 1



RIJKSWATERSTAAT-DIR. BENEDENRIVIEREN		
RIVIER DE LEK		
ELECTRISCHE		METINGEN
SCHEMA II		
VOEDINGSSCHEMA		
1000 HZ GENERATOR — OPSTELLING 4 ^e PROEF		
TEEK. D.D.	GEZ. D.D. 24-10-47	
CALQ. D.D. 23-10-47	ACC. D.D.	
CONTR. D.D. 24-10-47	BLAD IN	N ^o IN BLADEN
	5701	A 1

STAAT VAN ONDERDELEN BEHORENDE BIJ SCHEMA II -- 1000 Hz GENERATOR PROEF 4

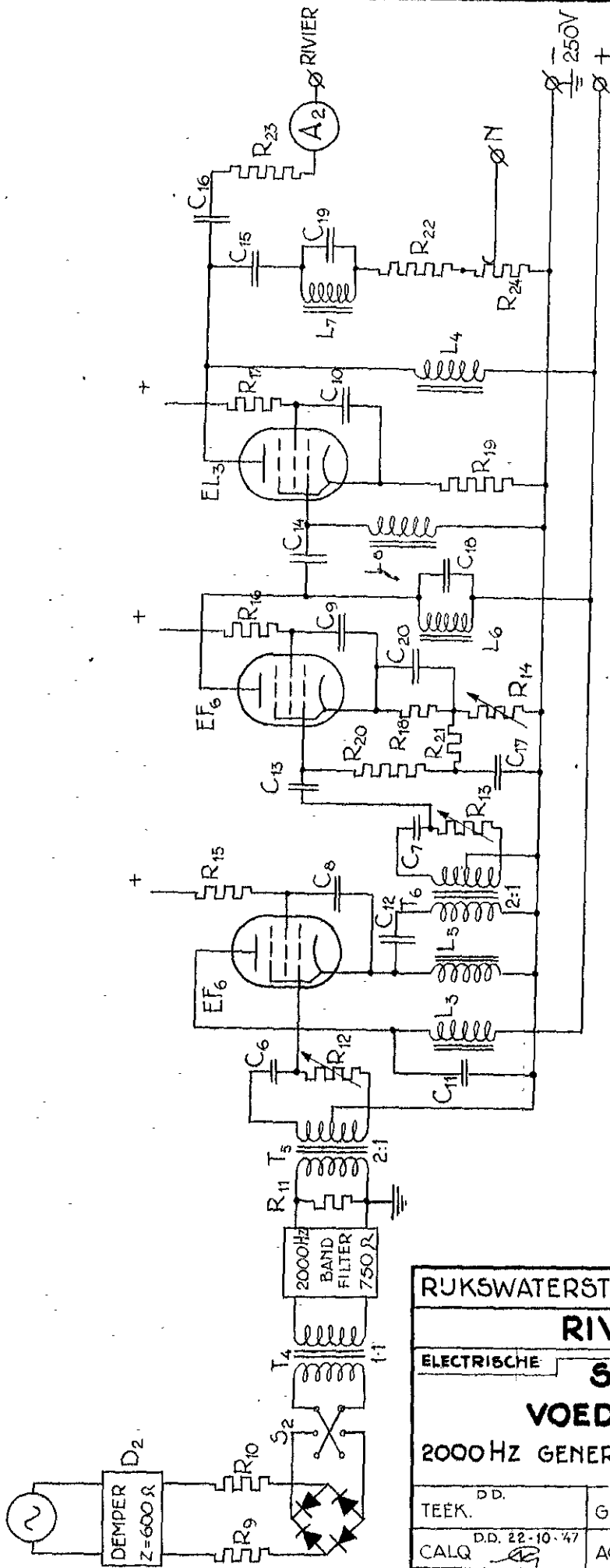
Aanduiding in schema	Benaming	Waarde	Opmerking
R ₁	Afsluit weerstand	600 Ω	3 1/4 Watt
R ₂	Roosterlek "	0,5 MΩ	
R ₃	Kathode "	150 Ω	
R ₄	Terugkoppel "	2,5 KΩ	
R ₅	Schermpooster "	5 KΩ	
R _{6/7}	Voorschakel "	14 KΩ	
R ₈	Potentiometer	300 Ω	
C ₁	Koppel condensator	10.000 pF	
C _{2/3}	" "	4 pF	
C ₄	Schermpooster "	1 pF	
C ₅	Afstem "	16.000 pF	
L ₁	Anode smoorspoel	6,5 H	
L ₂	Afstem "	370 mH	
T ₁	Scheidings transformator	1 : 1	Zie bijlage 4 ^A
T ₂	Ingangs "	1 : 20	
A ₁	Milli-ampère meter	10 mA ~	Multavi

Watt-vermogen van alle
weerstanden $\frac{1}{2}$ Watt.
Bij groter Watt-vermogen
minimale waarde opgegeven.

5758 A1

 BIJLAGE 11^B

OSCILLATOR
1000 HZ



RIJKSWATERSTAAT-DIR. BENEDENRIVIEREN

RIVIER DE LEK

ELECTRISCHE

SCHEMA III

METINGEN

VOEDINGSSHEMA

2000 HZ GENERATOR — OPSTELLING 4^e PROEF

TEEK.

D.D.

GEZ.

D.D. 24-10-47

CALQ.

D.D. 22-10-47

ACC.

P.D.

CONTR.

D.D. 24-10-47

BI. AD

IN

N^o
BLADEN

5702

A 1

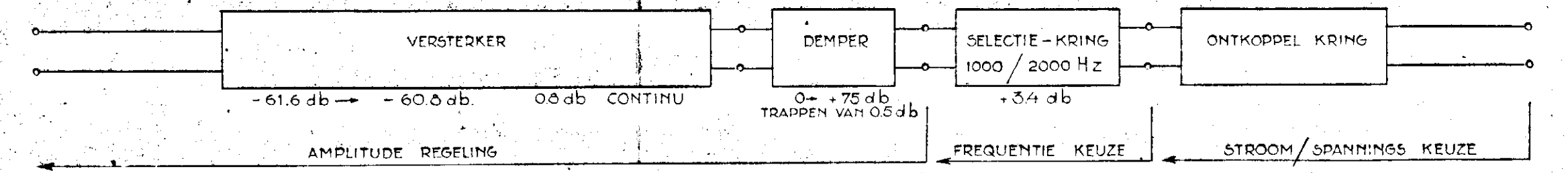
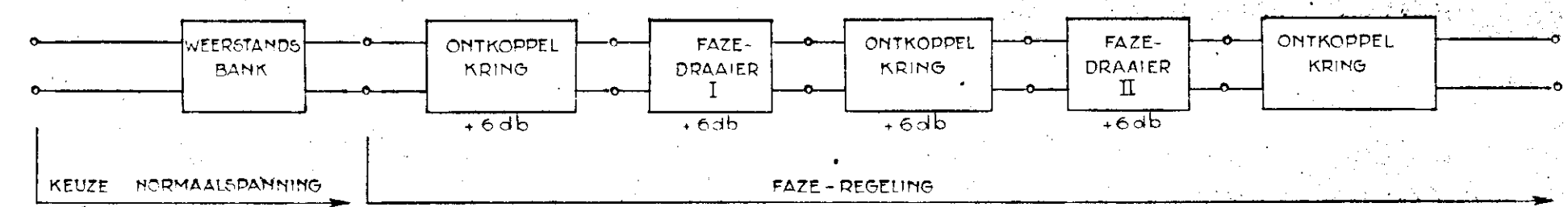
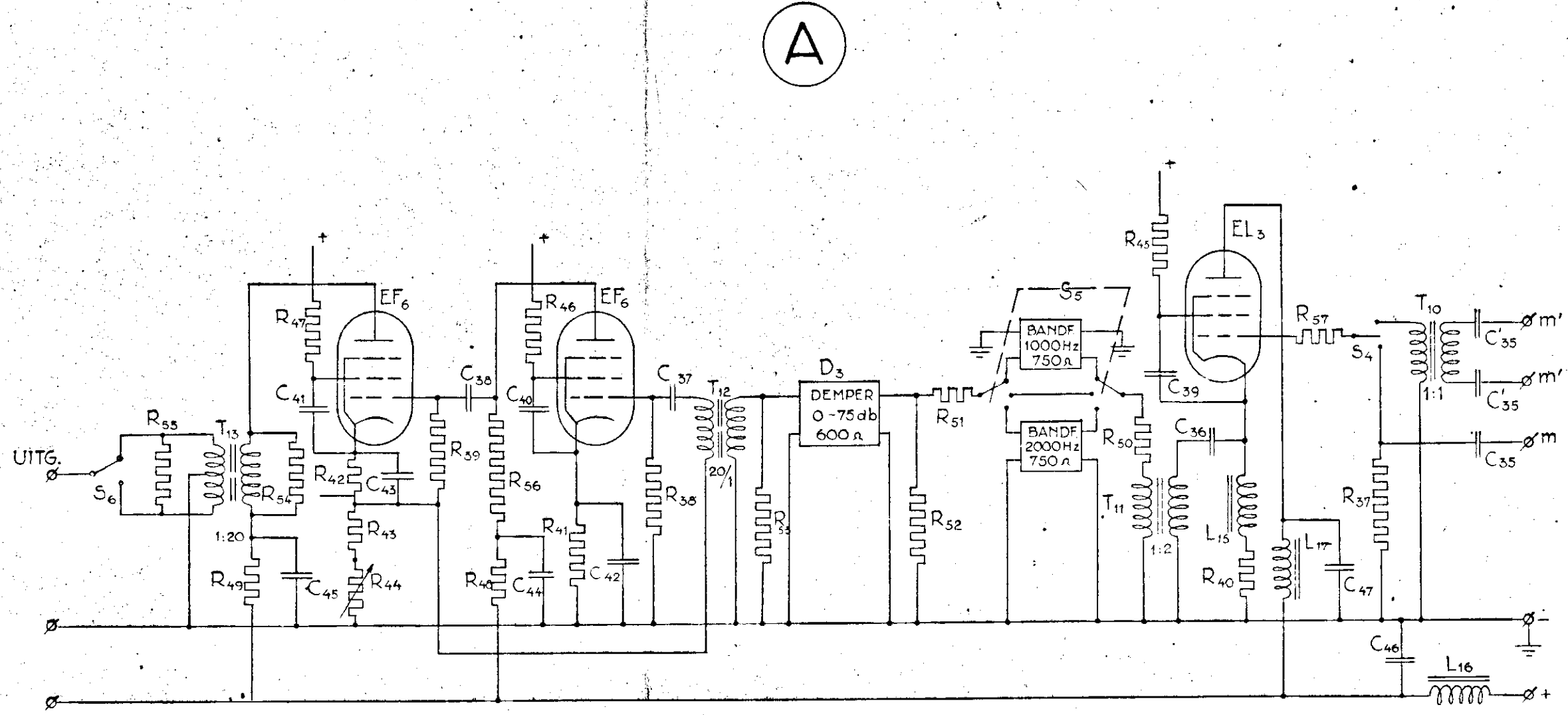
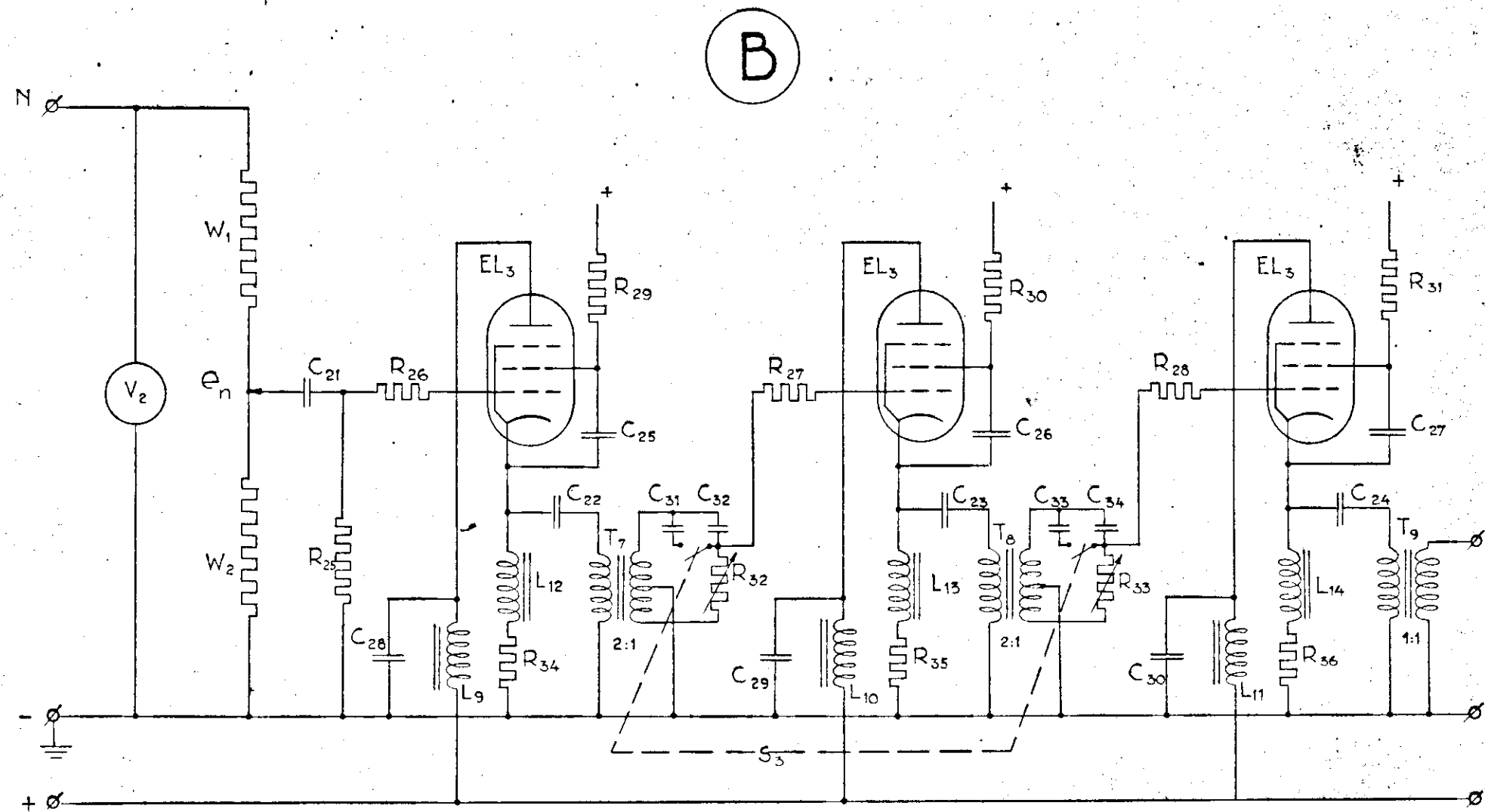
BULAGE: 12^A

STAAT VAN ONDERDELEN BEHORENDE BIJ SCHEMA III -- 2000 Hz GENERATOR PROEF 4

Aanduiding in schema	Benaming	Waarde	Opmerking	
R _{9/10}	Aanpassings weerstand	300 Ω	Logaritmisch Fijnr.met 500Ω seriew.	
R ₁₁	Afsluit "	750 Ω		
R _{12/13}	Variabele "	10 KΩ		
R ₁₄	Tegenkoppel "	7 KΩ		
R _{15/16}	Schermpooster "	0,18 MΩ		
R ₁₇	" "	5 KΩ		
R ₁₈	Kathode "	600 Ω		
R ₁₉	" "	150 Ω		
R ₂₀	Roosterlek "	1 MΩ		
R ₂₁	Filter "	20 KΩ		
R ₂₂	Voorschakel "	12 KΩ		
R ₂₃	" "	14 KΩ		
R ₂₄	Potentiometer	2,5 KΩ		
C _{6/7}	Fazeregel condensator	8000 pF		
C _{8/9/10}	Schermpooster "	1 pF		
C ₁₁	Ontkoppel "	1 pF		
C ₁₂	Koppel "	4 pF		
C ₁₃	" "	10.000 pF		
C ₁₄	" "	500 pF		
C _{15/16}	" "	4 pF		
C ₁₇	Ontkoppel "	1 pF		
C ₁₈	Afstem "	6400 pF		Trimmen
C ₁₉	" "	68.900 pF		
C ₂₀	Kathode "	4 pF		"
L ₃	Ontkoppel smoorspoel	4 H / 160 Ω		
L ₄	Anode "	8,25 H		
L ₅	Kathode "	11,2H/750 Ω		
L ₆	Afstem "	1 H / 60 Ω		
L ₇	" "	370 mH		
L ₈	Rooster "	4 H		
T ₄	Scheidings transformator	1 : 1		Zie bijlage } 15 ^A
T ₅	" "	2 : 1		
A ₂	Milli-ampère meter	3 mA ~	Multavi	

5739 A1

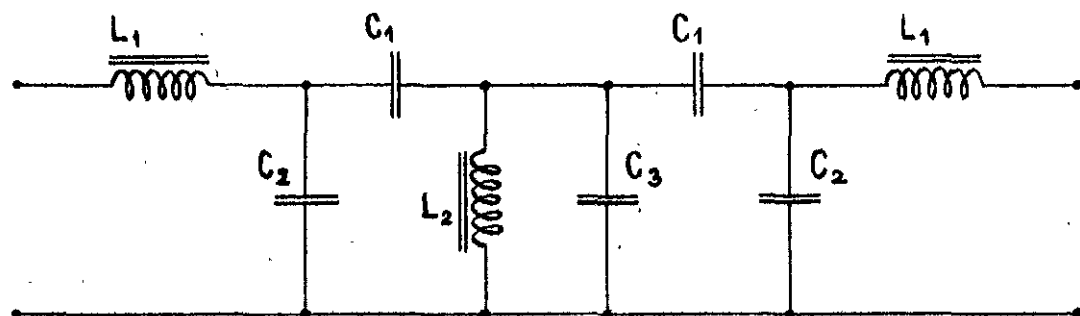
BULAGE 12 B



RIJKSWATERSTAAT-DIR. BENEDENRIVIEREN			
ELECTRISCHE		METINGEN	
SCHEMA IV			
WISSELSpannings — COMPENSATOR OPSTELLING 4 ^e PROEF			
TEEK	D.D.	D.D. 24-10-47	GEZ.
CALQ.	D.D. 17-10-47		ACC.
CONTR.	D.D. 24-10-47	BLAD N ^o	IN BLADEN
		5703	A 3

STAAT VAN ONDERDELEN BEHORENDE BIJ SCHEMA IV -- COMPENSATOR PROEF 4

Aanduiding in schema	Benaming	Waarde	Opmerking	
Gedeelte B				
R ₂₅	Roosterlek weerstand	0,5 MΩ	Chemisch	
R _{26/27/28}	Stop "	175 Ω		
R _{29/30/31}	Schermpooster "	5 KΩ		
R _{32/33}	Fazeregulering "	10 KΩ		
R _{34/35/36}	Aanvullings "	50 Ω		
C ₂₁	Koppel condensator	0,1 μF	Logaritmisch	
C _{22/23/24}	" "	10 μF		
C _{25/26/27}	Schermpooster "	1 μF		
C _{28/29/30}	Ontkoppeling "	4 μF		
C _{31/32}	Fazeregulering "	11.548 pF		
C _{33/34}	" "	11.566 pF		
L _{9/10/11}	Ontkoppeling smoorspoel	2 H / 100 Ω		Gelyk binnen 1 0/00
L _{12/13/14}	Kathode "	2 H / 100 Ω		
T _{7/8}	Scheidings transformator	2 : 1		Zie bijlage 15 ^A
T ₉	Uitgang "	1 : 1		
W _{1/2}	Weerstandsbank	10.000/0,1 Ω	Hoogohmig	
V ₂	Voltmeter	1 V ~		
Gedeelte A				
R _{37/38/39}	Roosterlek weerstand	1 MΩ	Bandfilters : zie bijlage 14 ^A	
R ₄₀	Aanvullings "	50 Ω		
R _{41/42}	Kathode "	600 Ω		
R ₄₃	Tegenkoppeling "	100 Ω		
R ₄₄	Var. tegenk. "	12 Ω		
R ₄₅	Schermpooster "	5 KΩ		
R _{46/47}	" "	0,18 MΩ		
R _{48/49}	Ontkoppeling "	1 KΩ		
R ₅₀	Aanpassings "	720 Ω		
R ₅₁	Verlooptdemping "	335 Ω		
R ₅₂	" "	1342 Ω		
R ₅₃	Afsluit "	600 Ω		
R ₅₄	Aanpassings "	240 KΩ		
R ₅₅	" "	600 Ω		
R ₅₆	Anode "	50 KΩ		
R ₅₇	Stop "	175 Ω		
C ₃₅	Koppel condensator	10.000 pF		
C ₃₅	" "	1 μF		
C ₃₆	" "	10 μF		
C _{37/38}	" "	1.000 pF		
C _{39/40/41}	Schermpooster "	1 μF		
C _{42/43}	Kathode "	2 μF		
C _{44/45}	Ontkoppeling "	1 μF		
C _{46/47}	" "	4 μF		
L ₁₅	Kathode smoorspoel	2 H / 100 Ω	150 mA	
L ₁₆	Ontkoppeling "	10 H / 86 Ω		
L ₁₇	" "	4 H / 160 Ω		
T ₁₀	Symmetrische transformator	1 : 1	Zie bijlage 15 ^B	
T ₁₁	Aanpassings "	1 : 20		
T _{12/13}	" "	1 : 20		
D ₃	Demper	+75/0,5 db	600 Ω 5740 A1	



Frequentie	L1 mH	L2 mH	C1 pF	C2 pF	C3 pF
1000 Hz	370	370	15.600	53.400	43.000
2000 Hz	370	100	3.700	13.300	60.100

Bandbreedte 320 Hz.
 $Z = 745 \Omega$.

Afstemming van het filter wordt verkregen door eerst de delen L_1 + de beide condensatoren C_1 en C_2 parallel af te stemmen op de doorlaat-frequentie, daarna het gehele filter m. b. v. C_3 .

L.F. BANDFILTER BEHORENDE BIJ
 VOEDINGS- EN MEETSCHAKELING
 PROEF 4 -----

5735 A1

BULAGE 14. A

1747

TRANSFORMATOREN BEHORENDE BIJ OPSTELLING PROEF 4.

Aanduiding in schema's II, III en IV:

T 1-4-9 (1:1)

T 5-6-7-8-11 (2:1)

Kern: mantelkern; 100 gram T-156-blikken μ -metaal, zonder luchtspleet.

Spoelvorm: Kokertje van $\frac{1}{2}$ mm pertinax, lang 28 mm, doorsnede inwendig 12 x 12 mm.

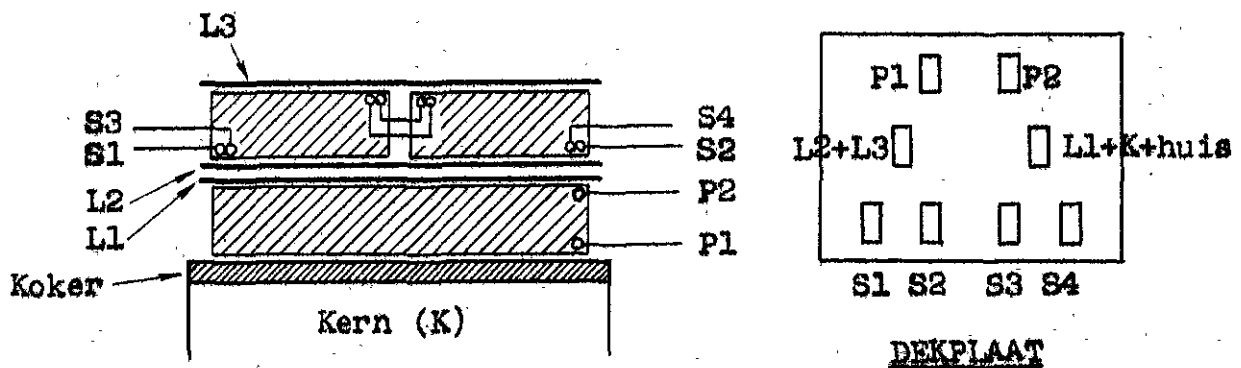
Primair: Op het kokertje komen 400 windingen van 0,20 mm koperdraad 2 x zijde-omsponnen. Tussen iedere laag 1 laag isolatie-papier; daarna twee lagen isolatie-papier en vervolgens eerste roodkoperen scherm (L1). Hierna weer twee lagen isolatie-papier en het tweede roodkoperen scherm (L2), waarop weer twee lagen isolatie-papier.

Secundair: Vervolgens worden bij de transformatoren 1:1 op de ene helft gewikkeld 2 x 100 windingen dubbeldraads (twee draden naast elkaar gelijktijdig wikkelen) van 0,20 mm koperdraad, 2 x zijde-omsponnen. Op de andere helft wordt hetzelfde spiegelbeeldig gewikkeld. Tussen iedere laag 1 laag isolatie-papier. Voor de transformatoren 2:1 geldt hetzelfde, doch met 2 x 50 windingen op iedere helft. De helften worden doorverbonden als op de tekening aangegeven, en geïsoleerd. Hierover 2 lagen isolatie-papier en het derde roodkoperen scherm (L3), waarover tenslotte een beschermlaag.

De dubbeldraads wikkelingen dienen van draad van één en dezelfde klos te worden genomen; tevens dient er op gelet te worden, dat de wikkelingen van beide helften gelijk oplopen.

De roodkoperen schermen (niet kortsluiten!) blijven aan iedere zijde 1 mm binnen de rand van het pertinax kokertje terwijl de wikkelingen $\frac{1}{2}$ mm binnen deze rand blijven. De uiteinden der draden binnen hun schermen vastleggen. De wikkelingen dienen te worden geïmpregneerd.

Monteren in blikken huis met pertinax dekplaat waarop connecties als op tekening aangegeven. Kern geïsoleerd opstellen.



TRANSFORMATOR BEHORENDE BIJ COMPENSATOR --- OPSTELLING PROEF 4.

Aanduiding in schema (schema IV): T 10.

- Kern:** Mantelkern; 100 gram T-156-blikken μ -metaal, zonder luchtspleet.
- Spoelvorm:** Kokertje van $\frac{1}{2}$ mm pertinax, lang 28 mm, doorsnede inwendig 12 x 12 mm.
Op het kokertje komt het eerste roodkoperen scherm (L1), waarop twee lagen isolatie-papier.
- Primair:** Op de spoelvorm komen nu 400 windingen van 0,20 mm koperdraad 2 x zijde-omspinnen. Tussen iedere laag 1 laag isolatie-papier. Hierop 2 lagen isolatie-papier en het tweede roodkoperen scherm (L2); weer twee lagen isolatie-papier. Daarna worden enige trolituul afstandstukjes van $\frac{1}{2}$ mm dikte aangebracht en volgt het derde roodkoperen scherm (L3); vervolgens twee lagen isolatie-papier.

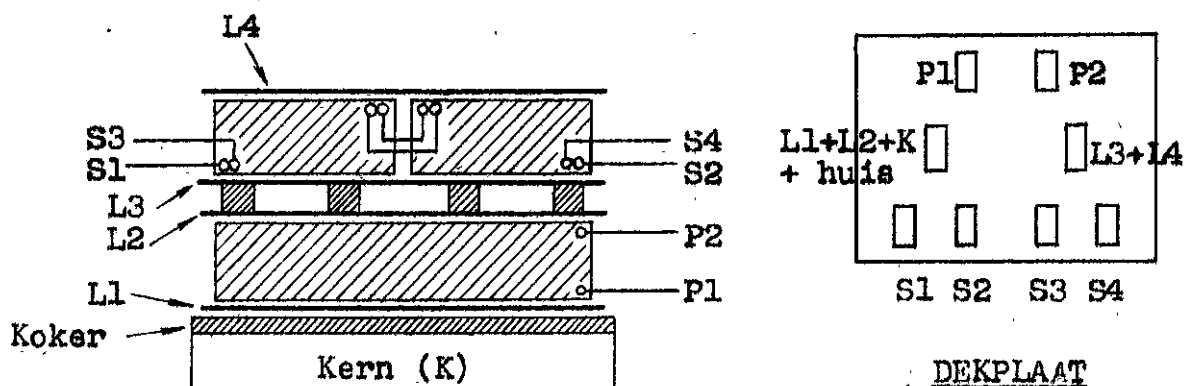
- Secundair:** Hierop wordt op de ene helft 2 x 100 windingen dubbel-draads gewikkeld van 0,20 mm koperdraad 2 x zijde-omspinnen. Op de andere helft wordt hetzelfde spiegelbeeldig gewikkeld. Tussen iedere laag 1 laag isolatie-papier. Daarna worden de helften als op tekening aangegeven doorverbonden en geïsoleerd. Over de secundaire wikkeling komen nu 2 lagen papier en het vierde scherm (L4).

De dubbel-draads-wikkelingen dienen van één en dezelfde draadklos te worden genomen, terwijl er tevens op gelet moet worden, dat de wikkelingen der beide helften gelijk oplopen.

De roodkoperen schermen (niet kortsluiten!) blijven aan iedere zijde 1 mm binnen de rand van de pertinax koker, terwijl de wikkelingen $\frac{1}{2}$ mm binnen de rand blijven. De uiteinden der draden binnen hun schermen vastleggen.

De wikkelingen dienen geïmpregneerd te worden.

Monteren in koperen huis met pertinax dekplaat, waarop connecties als op tekening aangegeven. Kern geïsoleerd opstellen.



MEETPUNT	WISSELSTROOM (VERTICAAL GETUJ) SP. OP 1Ω												WISSELSPANNING (HORIZONTALAAL GETUJ)												GELUK-STROOM (NIVEAU)	GELUK-SPANNING (OPPERW.)
	$\varphi = -8,6^\circ$ 1000 Hz C=58,46db						$\varphi = -3,5^\circ$ 2000 Hz C=57,47db						$\varphi = -9,7^\circ$ 1000 Hz C=59,00db						$\varphi = -4,0^\circ$ 2000 Hz C=57,41 db						J _o mA	E _o volts
	φ°	φ VERSCHIL	D ₃	C-D ₃	e_n/i_1	i_1 mA (AMPL)	φ°	φ VERSCHIL	D ₃	C-D ₃	e_n/i_2	i_2 mA (AMPL)	φ°	φ VERSCHIL	D ₃	C-D ₃	e_n/e_1	e_1 mV (AMPL)	φ°	φ VERSCHIL	D ₃	C-D ₃	e_n/e_2	e_2 mV (AMPL)		
				$e_n = 500mV$						$e_n = 100mV$						$e_n = 1000mV$						$e_n = 500mV$				
1-2 (KRIMPEN)	-24.0	0	21.14	37.32	73.45	6.81	+1.5	0	19.75	37.72	76.92	1.30	107.1	0	54.26	4.74	1.726	579.0	-42.6	0	49.07	8.34	2.613	191.3	4.70	0.87
3-4																										
5-6 (STREEFKERK)	-9.4	14.6	20.14	38.32	82.41	6.07	25.6	24.1	18.53	38.94	88.52	1.13	125.0	17.9	50.67	8.33	2.610	383.1	16.8	25.8	44.77	12.64	4.286	116.5	7.10	0.87
7-8																										
9-10 (SCHOONH.)	+9.0	33.0	18.19	40.27	103.14	4.85	52.3	50.8	16.00	41.47	118.48	0.804	146.0	38.9	47.11	11.89	3.931	254.4	+13.5	56.1	40.19	17.22	7.261	68.9	10.68	0.87
11-12																										
13-14																										
15-16																										
17-18 (JAARVELD)	39.6	63.6	14.85	43.61	151.57	3.30	98.0	96.5	11.38	46.09	201.57	0.409	176.7	69.6	42.02	16.98	7.063	141.6	60.0	102.6	33.68	23.73	15.36	32.3	17.90	0.88
19-20																										
21-22																										
23-24																										
25-26 (VREESWIJK)	70.5	94.5	11.04	47.42	234.94	2.13	144.5	143.0	6.13	51.34	368.98	0.271	208.8	101.7	37.01	21.99	12.58	79.5	107.0	149.6	26.67	30.74	34.54	14.5	26.50	0.88
27-28																										
29-30																										
31-32																										
33-34																										
35-36																										
37-38 (CULEMBORG)	110.8	134.8	6.05	52.41	417.38	1.20	203.7	202.2	4.67	52.80	436.50	0.114	246.5	139.4	31.17	27.83	24.63	4.06	163.8	206.4	18.48	38.93	88.42	5.6	39.00	0.90
39-40																										
41-42																										
43-44																										
45-46																										
47-48																										
49-50 (WIJK BUD.)	148.4	172.8	0.66	57.80	776.20	0.64	—	—	—	—	—	—	295.0	187.9	24.45	34.55	53.45	18.7	238.5	281.1	9.07	48.34	261.26	1.9	52.80	0.92