

EEN MEETOPSTELLING VOOR HET DYNAMISCH METEN  
VAN ENIGE HYDRAULISCHE GROOTHEDEN

G.H. GAASBEEK

NOTA 23

Laboratorium voor Hydraulica en  
Afvoerhydrologie  
Juni 1972.

1986531

## INHOUD

	<u>Pag.</u>
I Inleiding	1
II Drukverschilopnemer	2
a. werking	2
b. gegevens met betrekking tot dynamische eigenschappen	3
c. 1 <sup>e</sup> orde systeem	4
d. 2 <sup>e</sup> orde systeem	6
III Meetversterker K W S 3071	8
IV Quadrafilter	10
a. worteltrekker	10
b. laagdoorlaatfilter	12
V Integrator	13
VI Recorder	15
VII Enkele bedieningsaanwijzingen	16
a. waarschuwingen	16
b. aansluiten en inschakelen	16
c. instellen (volledige procedure)	16
d. nulstellen (korte procedure)	17
e. bediening integrator	17
VIII Literatuurverwijzing.	18

## I. Inleiding

Voor het meten van veranderende drukverschillen is door enkele fabrikanten zeer verfijnde meetapparatuur op de markt gebracht. Men heeft kans gezien een opnemer (omvormer) te fabriceren, waarmee met redelijke nauwkeurigheid, stabiliteit en lineariteit een drukverschil in een vloeistof of gas kan worden omgezet in een elektrische spanning. Het meten en registreren van snel veranderende elektrische verschijnselen biedt geen technische problemen. Dit wil echter niet zeggen dat het zonder meer mogelijk is een registratieapparaat aan te sluiten op de uitgang van het opnemergedeelte. Voor elk deel van het meetsysteem geldt dat bij het kiezen ervan moet worden afgewogen of dat deel, zowel uit oogpunt van gevoeligheid als reactiesnelheid voldoet aan hetgeen men zich als meetdoel heeft gesteld.

De meetopstelling in het hydraulica laboratorium bevat een drukverschilopnemer met bijbehorende draaggolfmeetversterker, beide van het fabrikaat Hottinger-Baldwin. Hierna volgt een unit (Quadrafilter) dat, óf lineair, óf niet lineair volgens  $Y = \frac{X}{|X|} \sqrt{|X|}$  reageert ( $Y = \text{output}$ ,  $X = \text{input}$ ). Bovendien is de reactiesnelheid hiervan in stappen instelbaar om hinderlijke verstoringen te kunnen uitfilteren. Deze unit heeft een recorderuitgang en is tevens aan te sluiten op een integrator. De integrator biedt in drie decimalen een gemiddelde van de meetwaarde over een periode van 10 sec. of 100 sec. Het Quadrafilter en de integrator zijn ontworpen en gebouwd bij de afdeling Hydraulica en Afvoerhydrologie.

Met het Quadrafilter, geschakeld in de lineaire overdrachtsvorm, kan men rechtstreeks drukverschil, verval e.d. meten. Ook kan men hydraulische grootheden meten via opnemers welke een drukverschil als uitgangsverschijnsel leveren, zoals pitotbuizen, meetflenzen e.d. Voor een aantal metingen van deze soort is de niet lineaire overdrachtsvorm ingebouwd, teneinde op deze manier het verband tussen aanwijzing en de te meten grootheid indien nodig te lineariseren (bijvoorbeeld snelheids- en debietmetingen). De gegarandeerde maximale "overall" onnauwkeurigheid van de drukverschilmeter bedraagt ca. 2% van het gekozen meetbereik.

De reproduceerbaarheid is echter beter, zodat door ijken een ca. 4 x kleinere onnauwkeurigheid mogelijk is. Afhankelijk van de meetopstelling, gekozen filterfrequentie en de schrijfsnelheid van de recorder, kunnen verschijnselen met snelle of minder snelle veranderingen worden gemeten.

## II. Drukverschilopnemer

### a. Werking

Het laboratorium beschikt over drie drukverschilopnemers van het fabriekaat Hottinger-Baldwin Messtechnik, namelijk de typen PD 1/0,01 (2 stuks) en PD 1/0,1. De PD 1/0,01 heeft een nominaal bereik van 10 cm Wk ( $10^3 \text{ N/m}^2$ ), de PD 1/0,1 van 1 m Wk ( $10^4 \text{ N/m}^2$ ).

De opnemer bestaat uit twee kamers I en II, welke door een membraan M (zie fig. 1) zijn gescheiden. Een drukverschil tussen de twee kamers veroorzaakt een vervorming van het membraan.

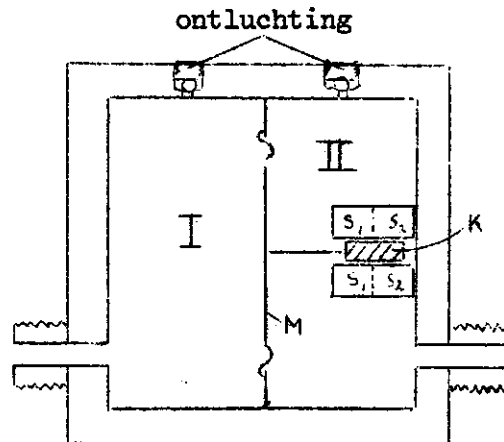


Fig. 1: Schets van de doorsnede van een inductieve drukverschilopnemer.

Zolang de vervorming niet een zekere elasticiteitsgrens van het materiaal overschrijdt, is de mate van vervorming een maat voor de grootte van het drukverschil tussen de kamers. Een geringere stijfheid veroorzaakt een grotere vervorming van het membraan bij eenzelfde drukverschil, dus een grotere gevoeligheid. De verplaatsing van het membraan wordt overgebracht op een ferro-magnetische kern K, die vrij beweeglijk is opgesteld in de "as" van de spoel S.

De spoel S bestaat uit twee gelijke delen  $S_1$  en  $S_2$  (zie fig. 2).

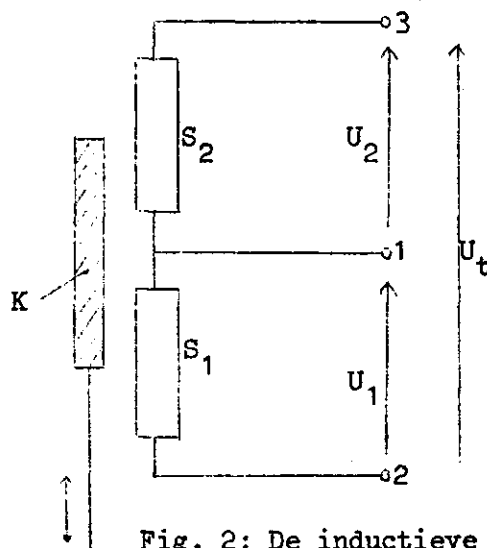


Fig. 2: De inductieve ver-  
plaatsingsopnemer.

Indien geen drukverschil aanwezig is, valt het magnetische midden van de kern samen met het elektromagnetisch midden van de spoel. Beide spoelen  $S_1$  en  $S_2$  hebben dan een gelijke zelfinductie, zodat de spanningen  $U_1$  en  $U_2$  even groot zijn en gelijk zijn aan de helft van de aangelegde spanning  $U_t$ . Een verplaatsing van de kern resulteert in een ongelijke zelfinductie en een daaruit voortvloeiende ongelijke spanningsverdeling. De inbouwruimte in een drukverschilopnemer is beperkt, zodat de kern en de spoel geen grote afmetingen hebben. Om een lineair verband tussen de spanningsongelijkheid  $U_2 - U_1$  en de verplaatsing te behouden dient deze verplaatsing relatief klein te zijn ten opzichte van de spoelafmetingen. Evenzo is het ook gewenst de membraanvervorming te beperken, om niet lineaire en hysteresse verschijnselen tussen drukverschil en verplaatsing zo gering mogelijk te houden. Bij de hier besproken opnemers is de verplaatsing van het membraan, bij een drukverschil gelijk aan het nominale meetbereik, ca. 0,1 mm. Met enig verlies aan nauwkeurigheid ten gevolge van niet lineariteit bij enige oversturing, mogen de opnemers tot 1,4 maal het nominale meetbereik worden gebruikt. Bij nog groter drukverschil wordt de verplaatsing van het membraan mechanisch begrensd. Hierbij ontstaat echter een kans op blijvende vervorming, zodat voorzichtigheid geboden is.

#### b. Gegevens met betrekking tot dynamische eigenschappen

Een belangrijke vraag bij dynamisch meten is, of de reactiesnelheid van het meetsysteem groot genoeg is om de verandering van de te meten grootte voldoende nauwkeurig te kunnen volgen.

Voor het gebruikte type opnemer blijkt dit voornamelijk afhankelijk te zijn van:

- 1<sup>e</sup> de manier waarop de opnemer met het meetobject is verbonden en
- 2<sup>e</sup> de eigenschappen van de vloeistof of het gas waarmee de opnemer is gevuld.

De gegevens welke betrekking hebben op de reactiesnelheid kunnen daarom van fabriekswege niet volledig zijn.

Gegeven zijn:

- 1<sup>e</sup>: Volume der kamers (ca.  $5 \text{ cm}^3$ ), een gegeven dat bij samendrukbare vullingen van belang is.
- 2<sup>e</sup>: Verplaatsing van het membraan (ca. 0,1 mm) bij een drukverschil gelijk aan het nominale meetgebied. Indien het beweeglijke oppervlak van het membraan gegeven zou zijn, kon men hieruit de volumeverandering bepalen welke mede de dynamische eigenschappen van de meetopstelling bepaalt. Uit proefnemingen is vastgesteld dat het werkzame oppervlak ca.  $10 \text{ cm}^2$  bedraagt.
- 3<sup>e</sup>: Eigen-frequentie, of frequentie waarmee het membraan zou blijven trillen, na, in ongedempte toestand, te zijn aangestoten (ca. 450 Hz voor PD 1/0,01 en 850 Hz voor PD 1/0,1). De eigen-frequentie wordt vaak aangegeven met  $f_0$ . De demping, meestal  $\beta$  genoemd, is echter afhankelijk van de meetopstelling, zodat met  $f_0$  weinig over de dynamische eigenschappen bekend is.
- 4<sup>e</sup>: Verdere gegevens bieden gevoeligheidscijfers, meetbereik, toelaatbare druk in het meetsysteem, afmetingen en dergelijke.

### c. 1<sup>e</sup> orde systeem

De opnemer is meestal via een buisleiding met het meetobject verbonden. Een vloeistofverplaatsing in die leiding, nodig om een volumeverandering in de meetkamers te bewerkstelligen, kan alleen onder invloed van een drukgradiënt in de leiding plaatsvinden. Naarmate het drukverschil na een verandering van de nieuwe stabiele toestand meer benaderd wordt, wordt de drukgradiënt in de leiding kleiner, waardoor de toevvoer kleiner wordt. Omdat dit verschijnsel met een 1<sup>e</sup> orde differentiaalvergelijking kan worden beschreven noemt men dit een 1<sup>e</sup> orde verschijnsel.

Cool, Schijff en Viersma)<sup>4</sup> (pag. 70-79, 157-164) beschrijven de reacties van een 1<sup>e</sup> orde systeem op een aantal standaard ingangsverschijnselen als impuls-, stap-, talud- en sinusfuncties. In al deze responsies blijkt de tijdconstante  $\tau$  de steeds weerkerende konstante te zijn die karakteristieke momenten uit het dynamisch gedrag helpt vastleggen. Bijvoorbeeld:  $\omega = \frac{1}{\tau}$  is bij sinusresponsie de hoekfrequentie die ligt tussen het gebied waar de overdracht vrijwel frequentie onafhankelijk is en het gebied waar de output in amplitude omgekeerd evenredig afneemt met de hoekfrequentie (fig. 3).

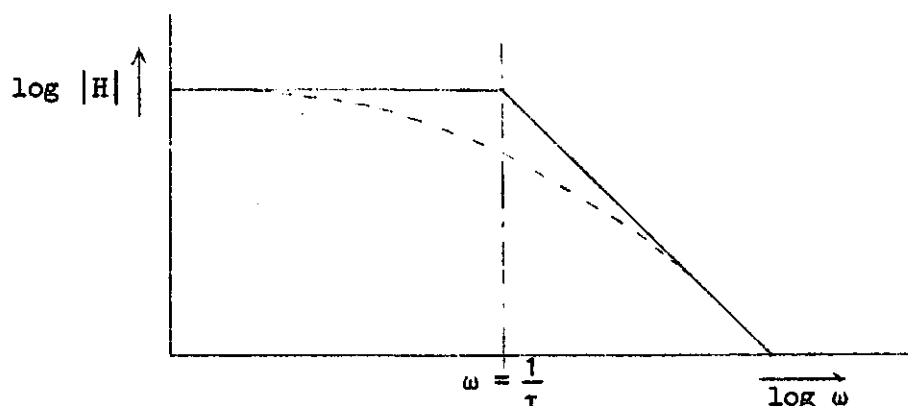


Fig. 3: Overdracht  $|H|$  als  $f(\omega)$  voor 1<sup>e</sup> orde systeem.

In de meetopstelling wordt  $\tau$  bepaald uit het produkt van leidingweerstand en membraanoppervlakte. In het Collegedictaat Hydraulica)<sup>1</sup> wordt aangetoond dat voor laminaire stromingen geldt dat:

$$\Delta H = - \frac{L}{D} \lambda \frac{\bar{v}^2}{2g}$$

$$\lambda = \frac{64}{R_e}$$

waarin:  $\Delta H$  = drukverlies in de leiding, uitgedrukt in vloeistofkolomhoogte

$L$  = leiding lengte

$D$  = leiding diameter

$R_e$  = Reynoldsgetal =  $\frac{\bar{v}D}{\nu}$

$\nu$  = kinematische viscositeit ( $l^2 t^{-1}$ )

$\bar{v}$  = gemiddelde stroomsnelheid in de leiding.

Noemt men  $R = \frac{-\Delta H}{Q}$ , de leidingweerstand, dan is met:  $Q = \bar{v}_1 \pi D^2$ ,  
 $\tau = RA$  en  $A =$  oppervlakte membraan,

$$\tau = \frac{128LvA}{\pi g D^4} \quad \left( \frac{11^2 t^{-1} 1^2}{1 t^{-2} 1^4} = t \right)$$

Opvallend is de grote invloed van  $D$ . Een halvering van  $D$  geeft een zestienvoudige toename van  $\tau$ . Om een idee van de grootte orde van  $\tau$  te krijgen is hier een speciaal geval berekend. Met  $L = 1m$ ,  $D = 6 \text{ mm}$ ,  $v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec.}$ ,  $A = 10 \text{ cm}^2$ , is

$$\tau = \frac{128 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 10 \cdot 6^4 \cdot 10^{-12}} = \frac{128 \cdot 10^{-9}}{6^4 \pi} \approx 3,1 \text{ sec.}$$

Bij opstellingen waarin hoge frequenties moeten worden gemeten dient  $D$  zo groot, en  $L$  zo klein mogelijk te zijn. Als uiterste hiervan wordt een opnemer in de handel gebracht, waarvan het membraan zich aan de buitenzijde van de opnemer bevindt. Deze opnemer kan zonder meetleiding rechtstreeks op de meetplaats worden bevestigd, zodat  $L$  minimaal is en  $D = A$ .

#### d. 2<sup>e</sup> orde systeem

Hoewel het moeilijk is in de meetopstelling de systemen te scheiden, zijn er in de opstelling ook eigenschappen van een 2<sup>e</sup> orde systeem te herkennen. Het membraan met de daaraan gekoppelde beweeglijke kern vormen namelijk een tweede orde systeem en reageren dan ook als zodanig op een verstoring. De demping is bij deze reactie een belangrijk gegeven en hangt af van eigenschappen als viscositeit en samendrukbaarheid van de vulling van de opnemer en van de weerstand van de leiding, waardoor deze vulling in en uit de opnemer kan stromen.

Van het 2<sup>e</sup> orde systeem worden ook door Cool, Schijff en Viersma)<sup>4</sup> (pag. 105-112, 169-173) de responsies op de standaard signalen beschreven. Aangetoond wordt dat de dempingsconstante  $\beta$ , zoals deze voorkomt in de genormaliseerde schrijfwijze,

$$U_o = k \text{ Pi } \frac{1}{\frac{\omega_o^2}{\omega_o^2} + 2\beta \frac{\omega}{\omega_o} + 1}$$



met  $U_0$  = Laplace getransformeerde uitgangsspanning van de opnemer  
 $P_i$  = Laplace getransformeerde ingangsdruk  
 $K$  = overdrachtsverhouding (dimensie omzetter)  
 $S$  = differentiaal operator (is eigenlijk complexe frequentie  $j\omega$ , hiervoor wordt in de regeltechniek  $S$  gebruikt)  
 $\omega_0$  = eigen frequentie

maatgevend is voor resonantie en opslinging. Dit blijkt bijvoorbeeld uit:

$$\text{resonantie (hoek)frequentie} = \omega_r = \sqrt{1 - 2\beta^2} \cdot \omega_0$$

$$\text{opslinging} = \alpha = \frac{1}{2\beta \sqrt{1 - \beta^2}}$$

Is  $\beta > \frac{1}{2}\sqrt{2}$  dan treedt geen opslinging meer op; het al of niet optreden aan overshoot bij de stapresponsie is afhankelijk van de voorwaarde  $\beta < 1$  resp.  $\beta > 1$ .

De ervaring heeft geleerd dat situaties met  $\beta < \frac{1}{2}\sqrt{2}$  zich in het algemeen niet voordoen indien aan een zijde van het membraan de ruimte met water is gevuld. Omdat het moeilijk is de grootte van  $\beta$  in een bepaalde opstelling vooruit te bepalen, is het zinvol de sinusresponsie van een 2<sup>e</sup> orde systeem nader te beschouwen. Overeenkomstig Cool, Schijff en Viersma)<sup>4</sup> is in figuur 4 een bundel grafieken weergegeven, waarin de relatieve gevoeligheid van een 2<sup>e</sup> orde systeem voor sinusvormige functies en de relatieve hoek frequentie logaritmisch tegen elkaar worden uitgezet, met  $\beta$  als parameter.

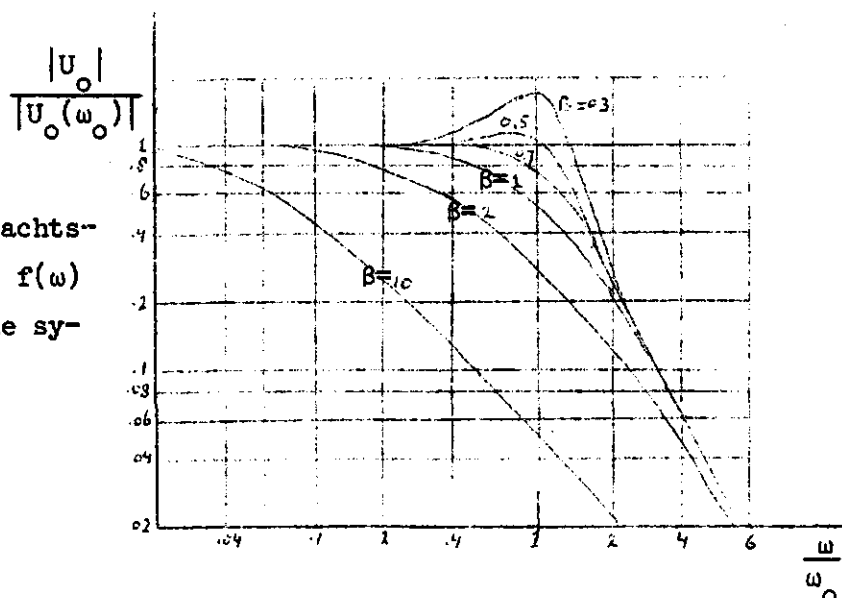


Fig. 4: Overdrachtsverhouding als  $f(\omega)$  van een 2<sup>e</sup> orde systeem.

Indien  $\beta = 10$  blijkt voor  $\frac{\omega}{\omega_0} = \frac{1}{10}$  de relatieve gevoeligheid reeds  $\frac{1}{\sqrt{5}}$  te zijn. Het is eenvoudig te berekenen dat voor  $\frac{\omega}{\omega_0} = 0,01$  de relatieve gevoeligheid ca. 0,8 is. Verschijnselen met een nog lagere frequentie worden in dat geval dus vrijwel onverzwakt weergegeven. Bekend is dat  $\omega_0 = 2800$  (PD 1/0,01). Hieruit blijkt dat, als zowel het eerste als het tweede orde systeem gelijktijdig in de opstelling aanwezig zijn, de (frequentie) bandbreedte van de meetopstelling door het 1<sup>e</sup> orde gedeelte (dus de aansluitleidingen) is beperkt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij niveau metingen waarbij één meetkamer met de atmosferische druk is verbonden.

### III. Meetversterker

Met behulp van de meetversterker (Hottinger Baldwin Messtechnik type KWS 3071) wordt de informatie, verkregen uit de differentiaaltransformator in de opnemer, omgezet in een meetbare elektrische spanning. Om dit te kunnen verwezenlijken heeft men een aantal functies in één unit ondergebracht, als aangegeven in figuur 5. De ingang bestaat uit een spanningsdeler met stabiele weerstanden.

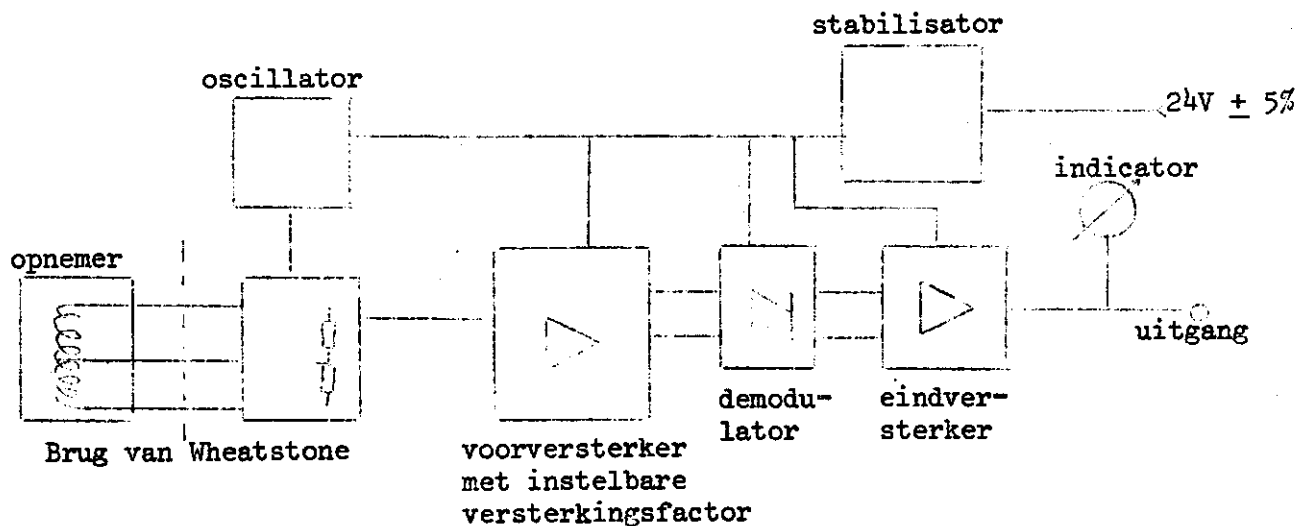


Fig. 5: Blokschema KWS 3071

Deze vormen met de twee spoelhelften in de opnemer een complete brug van Wheatstone. Het ingangsdrukverschil waarbij de uitgangsspanning van de brug nul is, hoeft niet beslist nul te zijn, doch is instelbaar. Daartoe zijn de weerstanden instelbaar vanaf het frontpaneel.

De bedieningsorganen daartoe zijn gemerkt met "R-Abgleich" en "C-Abgleich". Men kan een reproduceerbare situatie als nulpunt aannemen en in die situatie de brug in evenwicht brengen. De juiste bedieningswijze is aangegeven in de gebruiksaanwijzing van de versterker.

De uitgangsspanning van de brug wordt via een voorversterker versterkt tot een signaal dat voor gelijkrichten geschikt is. De versterkingsfactor is instelbaar, zowel in stappen (door middel van 8-standenschakelaar) als continu (met een 10-slagen potentiometer). De standen van de schakelaar, waarmee de versterking grof wordt ingesteld, zijn gemarkeerd met gevoeligheidscijfers. Deze cijfers geven weer hoe groot de ingangsspanning mag zijn, omdat bij die waarde de uitgangsspanning van de meetversterker de grootste toegestane waarde heeft (volledig uitgestuurd is). Omdat de ingangsschakeling een brugschakeling is, is dit werkgebied opgegeven in mV per volt excitatiespanning van de brug. De opgegeven getallen gelden, indien de knop voor fijnregeling van de versterker gemerkt "Messbereich fein" uiterst rechtsom staat (aflezing 10,0). Op de opnemer is eveneens de gevoeligheid vermeld, namelijk 8 mV/V. Dat wil zeggen dat bij een ingangsdrukverschil gelijk aan het nominale meetbereik het spanningsverschil 8 mV is per volt excitatiespanning. Het werkgebied van de versterker dat hier het meest nabij komt, is 5 mV/V. Door instellen van de fijnregelknop van de meetversterker kan de versterking zodanig worden ingesteld dat het werkgebied hiervan ook 8 mV/V wordt. Men heeft dan bereikt dat de grootte van het werkgebied van de versterker overeenkomt met het werkgebied van de opnemer. De output van de meetversterker doorloopt nu alle waarden van -2V tot +2V, als het drukverschil in de opnemer het hele nominale traject doorloopt (fig. 6).

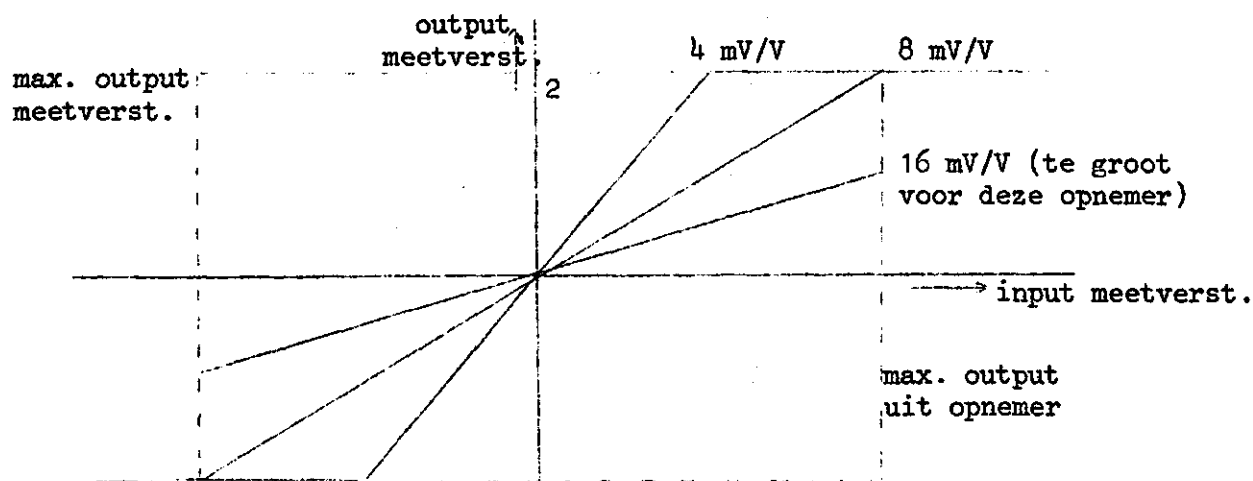


Fig. 6: relatie input-output, met werkgebiedsaanduiding als parameter.

Wordt nu de versterkingsfactor veranderd, bijvoorbeeld naar de gevoeligste stand 0,2 mV/V, terwijl de stand van de fijnregelknop gehandhaafd blijft, dan wil dat zeggen dat het meetgebied met een factor 25 is afgenomen. Met de opnemer PD 1/0,01 kan op deze manier een drukverschil van  $\frac{10}{25}$  cm Wk = 4 mm Wk een output van 2 Volt veroorzaken.

Voor de excitatie van de brug is een oscillator ingebouwd. Deze oscillator levert een uitgangsspanning van 5 V.

Een demodulator zet de wisselspanning uit de voorversterker om in een gelijkspanning, die via een eindversterker aan de uitgangsklemmen beschikbaar is.

Een indicator op het frontpaneel geeft aan, of de versterker niet is "overstuurd". De uitslag van de indicator is naar rechts, onafhankelijk van de "richting" van het drukverschil.

De dynamische eigenschappen van de meetversterker liggen zeer ruim boven de mogelijkheden van de drukverschilopnemers. Het is dientengevolge niet nodig enige aandacht aan deze eigenschappen te wijden.

#### IV. Quadrafilter

##### a. Worteltrekker

De derde schakel in de meetopstelling is het Quadrafilter, een instrument dat in het Laboratorium voor Hydraulica en Afvoerhydrologie is ontwikkeld. De naam is ontstaan uit die van twee belangrijke samenstellende delen, namelijk het Quadraton en een actief filter.

Voor het meten van stroomsnelheden en debieten wordt soms gebruik gemaakt van Pitot buizen, meetflenzen en dergelijke. In deze instrumenten wordt kinetische energie van het stromende medium omgezet in een drukverschil. Kinetische energie neemt kwadratisch toe met de snelheid en daardoor is het drukverschil in principe eveneens een 2<sup>e</sup> graadsfunctie van de snelheid of debiet. Een niet lineaire meetopstelling als deze is te lineariseren door in de keten een "worteltrekker" op te nemen. De kern van deze "worteltrekker" is het Quadraton<sup>1)</sup>. In dit niet lineaire element neemt de stroom I kwadratisch toe met de spanning (fig. 7 a,b).

<sup>1)</sup> Handelsmerk van Bourns Inc. voor een niet lineaire weerstand; wegens gebrek aan belangstelling is de productie gestaakt.

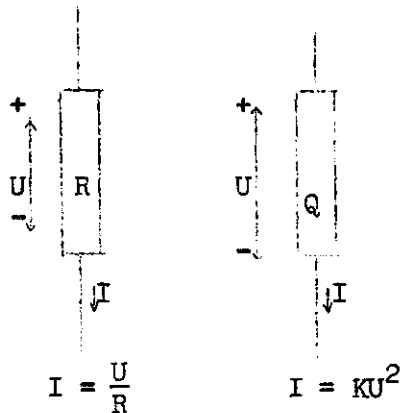


Fig. 7a: lineaire weerstand    Fig. 7b: Quadraton

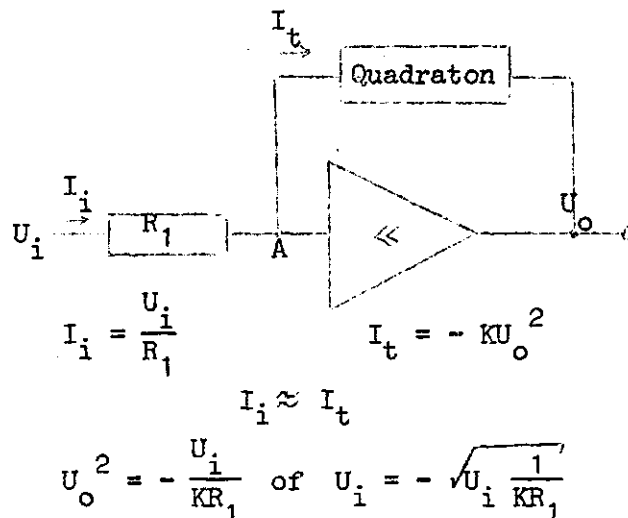


Fig. 7c: "Worteltrekker"

Het Quadraton is opgenomen in de tegenkoppeling van een versterker met een grote versterkingsfactor (fig. 7c). In de literatuur over dit soort schakelingen met reken- of operationele versterkers is te vinden, dat de spanning bij de versterkeringang A in vergelijking met andere punten in de schakeling als virtueel nulpunt wordt aangenomen. Het punt A is als het ware het scharnierpunt van een wip. Er gaat dan ook geen stroom de versterker in, waardoor  $i_i = i_t$ , en daardoor

$$U_o = -\sqrt{\frac{U_i}{KR_i}}$$

Deze vergelijking geldt zolang  $U_i > 0$  is. De schakeling functioneert wel met  $U_i < 0$ , zij het dat  $U_o$  dan eveneens van teken omkeert. Meer algemeen is daarom de schrijfwijze:

$$U_o = -\sqrt{\frac{|U_i|}{KR_i}} \cdot \frac{U_i}{|U_i|}$$

Omdat het Quadraton is opgebouwd uit lineaire en niet lineaire weerstanden, is de benadering van het kwadratisch verloop aan zekere onnauwkeurigheden onderhevig. De grootte van de afwijking is opgegeven als maximaal 0,4% van 10 V, dus 40 mV. Om deze fout een zo gering mogelijke invloed op de metingen te laten uitoefenen, is de schakeling zo gedimensioneerd dat bij  $U_i = 2$  V,  $U_o = -10$  V wordt bereikt.

De totale overdracht wordt daarmee

$$U_o = - \frac{U_i}{|U_i|} \sqrt{50|U_i|}$$

Om deze 10 V uitgangsspanning ook te verkrijgen als een lineaire overdracht gewenst is, kan worden overgeschakeld op een 5x lineaire versterkingsfactor. In dat geval is  $U_o = -5 U_i$ . Vanuit het standpunt der elektronika bezien, is het Quadraton niet snel. Volgens de fabrieksopgave zijn fasefouten bij 50 Hz te verwachten, merkbare amplitudedefouten zullen boven 75 Hz optreden ( $\omega \approx 470$  rad/sec). Bij de tot nu toe uitgevoerde metingen is men ver beneden deze grens gebleven. Het is zelfs wenselijk gebleken het hierna te beschrijven laag doorlatend filter met instelbare (frequentie-) bandbreedte in de meetopstelling op te nemen, om hinderlijke ruis op het te meten signaal te kunnen onderdrukken.

#### b. Laagdoorlaatfilter

Een "ideaal" laagdoorlaatfilter laat harmonische trillingen tot een zekere grensfrequentie ongehinderd passeren. Verschijnselen met hogere frequentie worden niet doorgelaten. In het Quadrafilter is een actief filter opgenomen dat deze wensen redelijk benadert. Een versterker maakt deel uit van het filter (vandaar de naam actief filter) en dit geeft tevens de mogelijkheid volgapparatuur op het filter aan te sluiten, zonder de filter eigenschappen te beïnvloeden. De gekozen schakeling is een 2<sup>e</sup> orde filter en bevat 2 functionele enkelvoudige weerstand-condensator-netwerken, gegroepeerd rond een versterker (fig. 8).

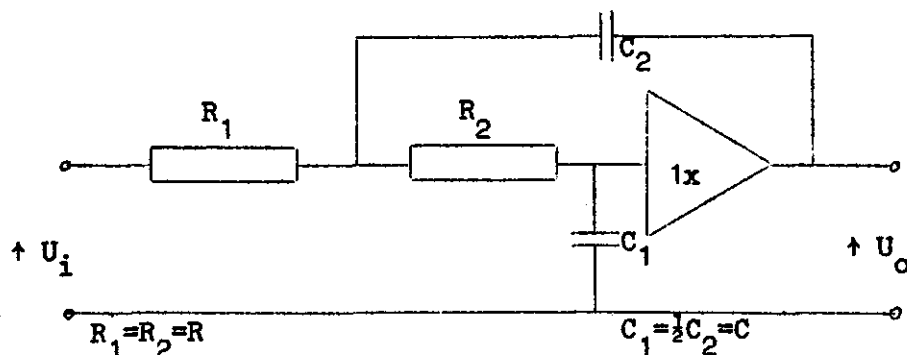


Fig. 8: actief filter.

Voor stationaire verschijnselen is  $U_o = U_i$ , voor harmonische verschijnselen geldt een amplitude overdracht die op dezelfde manier is te omschrijven als is gedaan op blz. 7 over het 2<sup>e</sup> orde systeem in de opnemer. Een verschil is echter dat nu de dempingsfactor niet variabel is maar konstant en ter grootte  $\sqrt{2}$ . Ook is via rekenregels uit de elektronika aan te tonen dat  $\omega_o = \frac{1}{R C \sqrt{2}}$ . In fig. 4 is te zien dat voor  $\beta = 0,7$  geen opslingering ontstaat en dat het frequentiebereik waarin de amplitude-overdracht konstant is, maximaal is.

Om het filter enigszins te kunnen aanpassen aan verschillende wensen, zijn zowel de weerstanden als de condensatoren uit het actief filter instelbaar, met behulp van schakelaars. Voor de condensatoren kan worden gekozen uit 4 standen, waarvan de posities zijn aangeduid met de waarden van de grensfrequentie. Deze waarden zijn in volgorde 1, 3, 10 en 30 Hz en dienen met een faktor 0,1 of 1 te worden vermenigvuldigd, afhankelijk van de stand van de weerstand-keuzeschakelaar.

Tijdens het omschakelen van de condensatoren kunnen grote schakel pieken op de recorder zichtbaar worden. Het duurt enkele perioden van  $f_o$ , voordat de schakeling zich heeft hersteld. Bij het veranderen van de weerstand treedt dit verschijnsel niet op.

## V. Integrator

In sommige gevallen is de te meten grootte dermate aan fluctuaties onderhevig, dat met het filter alleen niet een voldoende constante aanwijzing op de recorder wordt verkregen. Men kan dit oplossen door het fluctuerende signaal op de recorder vast te leggen om daarna met planimetreren een gemiddelde waarde te bepalen. Deze verwerkingsmethode vraagt veel tijd. Een veel snellere methode is te vinden in het gebruik van een integrerende digitale voltmeter. Omdat de fluctuaties in het aangeboden signaal een lage herhalingsfrequentie hebben, is een lange integratieperiode nodig om een gemiddelde signaalgrootte te bepalen. Handelsapparatuur heeft meestal een integratieperiode van  $\frac{1}{50}$  sec. en is daardoor niet in staat voor deze meetproblemen een oplossing te bieden. Dit is aanleiding geweest tot het samenstellen van een eenvoudig integrerend systeem in het Hydraulica Laboratorium. Het blokschema is weergegeven in fig. 9.

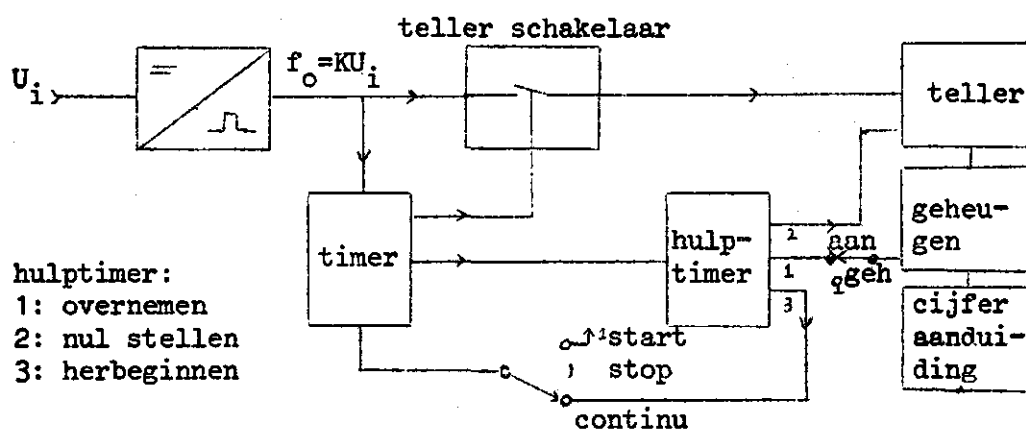


Fig. 9: Blokschema Integrator.

In de spanning-frequentie-omvormer wordt een impuls opgewekt, waarvan de herhalingsfrequentie  $f_0$  evenredig is met de grootte van deingangsspanning  $U_i$ . Via een elektronische schakelaar wordt deze impuls aangeboden aan een digitale teller. Het aantal telpulsen dat door de teller in een periode wordt ontvangen is evenredig met de gemiddelde ingangsspanning over die periode. Door de telperiode konstant en in combinatie met de overzetverhouding  $k$  van de spanning-frequentie-omvormer gunstig te kiezen, kan bereikt worden dat het getal, dat met een cijferindicator wordt aangegeven, direkt de gemiddelde waarde van  $U_i$  weergeeft. De timer geeft een poortsignaal, met een duur van 10 of 100 sec. Kiest men 100 sec. integratieperiode, dan wordt zowel in de teller als in de timer een extra schakeling opgenomen, die telkens na ontvangst van 10 impulsen er 1 doorgeeft. Omdat de onnauwkeurigheid van het omzetten van een drukverschil in een gelijkspanning ca. 1% van het ingestelde meetbereik bedraagt, is aanvankelijk uitgegaan van een integrator waarmee het gemiddelde over 10 sec. of 100 sec. in twee decimalen kan worden verkregen. De spanning-frequentie-omvormer is daarop aangepast en heeft lineariteitsafwijkingen van maximaal ca. 0,3%. Bij het gebruik van de tweecijferige meetwaarden bleek behoefte aan een grotere resolutie. De integrator is daarom gewijzigd en geeft nu de meetwaarde in drie cijfers. De spanning-frequentie-omvormer dient hierop nog te worden aangepast.

Om de onzekerheid van het laatste cijfer te verkleinen, wordt na ontvangst van het startcommando niet ogenblikkelijk de timer in werking gesteld. De aanwezigheid van het startcommando wordt in een geheugen bewaard en aangegeven in de cijferdisplay, tot er een impuls uit de omvormer komt. Aan het einde van deze telpuls wordt de timer gestart en daarmee ook de tellerschakelaar opgezet.



Aan het eind van de telperiode wordt deze schakelaar gesloten en een hulptimer gestart. De hulptimer geeft achtereenvolgens een commando aan het buffergeheugen om de teller uit te lezen en deze waarde op te slaan, de teller op 0000 te stellen en vervolgens een nieuw startcommando af te leveren. Afhankelijk van de stand van de start/stop schakelaar wordt de meetcyclus al dan niet herhaald.

Het buffergeheugen, dat de getelde waarde vasthoudt gedurende een hele telcyclus kan worden uitgeschakeld, waardoor in de display de stand van de teller is te volgen. Het functioneren van de teller is hierdoor te controleren.

De schaalfactor is zo gekozen, dat bij  $U_1 = 10$  V, na 10 sec. of 100 sec. de teller 1000 aangeeft. Het meetresultaat is daarmee in tiende procenten van de volle schaaluitslag gemeten. Welke grootte bij welke grootte volle uitsturing veroorzaakt hangt af van de gehele opstelling. Men dient hierbij wel rekening te houden met het feit dat de resolutie groter is dan de relatieve onnauwkeurigheid van de totale meetopstelling.

#### IV. Recorder

Naast de integrator kan ook een recorder worden aangesloten op de uitgang van het Quadrafilter. De eisen die aan de recorder moeten worden gesteld, hangen af van het meetprobleem. Tot nu toe is meestal een flat-bed laboratorium servorecorder gebruikt, een instrument met juist voldoende volgsnelheid voor de meeste in het Hydraulica laboratorium voorkomende meetproblemen. De papierbreedte, ingedeeld in 100 schaaldelen, is ca. 25 cm. Het kost ongeveer een halve seconde deze 100 schaaldelen te doorlopen.

Indien de fluctuaties van het meetsignaal voldoende klein zijn, is de recorder in staat deze te volgen. Is het meetsignaal opgebouwd uit significante componenten met frequenties boven ca. 10 Hz, dan is dit type recorder echter ongeschikt en komen galvanometrische recorders in aanmerking. Andere eisen die aan de recorder moeten worden gesteld zijn:

- Meetgebied 10 V
- Positieve en negatieve polariteit
- Reproduceerbaar en stabiel nulpunt
- Hysterese en onnauwkeurigheid  $< \frac{1}{2}\%$  van de maximale uitslag
- Instelbare papiersnelheid.

De gebruikte flat-bed recorder voldoet hier volledig aan.

## VII. Enkele bedieningsaanwijzingen

### a. Waarschuwingen

1. Maak de meetopstelling zo, dat op eenvoudige wijze het drukverschil tussen de twee meetkamers van de opnemer is op te heffen. Het is meestal niet voldoende beide aansluitingen via een leiding met de kraan door te verbinden. Indien mogelijk moeten tevens deze aansluitingen op de opnemers worden geblokkeerd.
2. Draai niet aan de cijferknop gemerkt "Messbereich fein 1:3" op de KWS 3071 meetversterker. (zie verklaring op pag. 9)
3. Laat de apparatuur voldoende opwarmtijd, vooral de meetversterker is gedurende het eerste half uur na inschakelen weinig stabiel van nulpunt.
4. Controleer het nulpunt regelmatig.

### b. Aansluiten en inschakelen

1. In de achterzijde zijn connectors aangebracht voor het aansluiten van de opnemer, recorder en lichtnet en voor het tot stand brengen van een verbinding tussen meetversterker en Quadrafilter. Alle connectors zijn voorzien van opschriften met functie-aanduiding.
2. Het frontpaneel van het Quadrafilter bevat de lichtnetschakelaar van de combinatie Versterker, Quadrafilter en Integrator. Indien ingeschakeld, moet zowel op de meetversterker als op het Quadrafilter een indicatie lampje oplichten. De integrator kan apart worden uitgeschakeld op het integrator frontpaneel. Is de integrator ook ingeschakeld, dan moeten er cijfers op de display zichtbaar zijn.

### c. Instellen (volledige procedure)

Hierbij altijd achteraan in de meetopstelling beginnen en de apparatuur voldoende laten opwarmen.

1. Integrator uitschakelen (bij nul volt ingangsspanning veroorzaakt deze anders moeilijkheden)
2. Recorder loskoppelen en nulstellen (indien mogelijk op een gevoeliger meetbereik dan het normaal gebruikte).

3. Recorder aansluiten, verbinding tussen Quadrafilter en meetversterker losnemen. Met een schroevendraaijer nulpunt Quadrafilter met recorder juist afregelen, functieschakelaar hierbij op  $\sqrt{\dots}$ .
4. Verbinding tussen meetversterker en Quadrafilter herstellen. Meetbereikschakelaar in de stand demodulator (linksom) en met schroevendraaijer instelling demodulator nulpunt corrigeren.
5. Druk in beide meetkamers gelijk maken, meetbereikschakelaar in de vereiste positie brengen en met de onderste potentiometer de uitslag op nul brengen.

#### d. Nulstellen (korte procedure)

Het Quadrafilter en de demodulator blijken weinig instabiliteit te vertonen. Na voldoende opwarmtijd kan als volgt het nulpunt worden gecontroleerd en gecorrigeerd.

1. Integrator uitschakelen en drukverschil in de opnemer opheffen.
2. Recorder loskoppelen en corrigeren.
3. Recorder aansluiten en nulpunt van de KWS 3071 corrigeren met de onderste potentiometer op het versterker frontpaneel.

#### e. Bediening integrator

1. Integratietijd 10 sec. of 100 sec. stellen door middel van tumbler schakelaar gemerkt "poort".
2. Continue integratie:  
Na het inschakelen rechter tumbler schakelaar naar beneden drukken. De knop veert weer terug naar de middenstand en moet voor het einde van de poorttijd naar boven in de stand "continu" worden gezet. In de display kan steeds de geïntegreerde waarde over de vorige integratie periode worden afgelezen.
3. Eenmalige integratie periode:  
Na starten als hierboven de tumbler in de middenstand laten staan. Indien het halve streepje links in het linker cijferveld is gedoofd, is de integratie periode beëindigd.
4. Buffergeheugen:  
Met de tumbler direkt onder het cijfervenster kan het buffergeheugen worden uitgeschakeld.

VIII. Literatuurverwijzing

1. Anoniem: Bedienungsanweisung induktive Flüssigkeits- und Gasdruckaufnehmer P. Hottinger Baldwin Messtechnik      drukverschilopn.
2. Bedienungsanweisung trägerfrequenz-Messverstärker für induktive Aufnehmer KWS 3071. Hottinger Baldwin Messtechnik      meetversterker
3. Boltjes, Ir. A.J.: Elektronica in de Informatietechniek, Techn. uitg. Stam      rekenversterkers
4. Cool, Ir. J.C.; Schijff, Ir. F.J.; Viersma, Dr.Ir. T.J.: 1<sup>o</sup> en 2<sup>o</sup> orde Regeltechniek, Agon Elsevier 1969      systeem
5. Huelsman, P.P.: Handbook of operational amplifier active RC networks, Burr-Brown      actieve filters
6. Klein, Dr.G.; Zaalberg van Zelst, Prof.Dr. J.J.: Instrumentele Electronica, Philips Techn. Bibl.      tegenkoppeling
7. Kraijenhoff van de Leur, Prof.Ir. D.A.: Collegedictaat Hydraulica, Wageningen      weerst. buisleid.