

Het meten van hoeveelheid, druk en niveau

1. Inleiding

In dit artikel worden die meetinstrumenten voor het meten van hoeveelheid druk niveau behandeld die voor de regel en stuurtechniek van pompinstallaties, filterinstallaties, reservoirs enz. van groot belang zijn. Er worden meetinstrumenten getoond die naast de aflezing ter plaatse, deel uit kunnen maken van een regelkring en veelal voorzien zijn van de mogelijkheid de meting op afstand over te brengen.

Het aanbod van meetinstrumenten voor de verschillende functies is bijzonder groot, zodat er naast de getoonde, veelal nog di-



ING. J. J. G. WERKHOVEN
Provinciaal Waterleidingbedrijf
van Noord-Holland

verse gelijkwaardige instrumenten in de handel zijn.

Aandacht wordt besteed aan de volgende aspecten:

- het meetprincipe;
- de uitvoeringsvorm van meetgever en volgapparaat;
- het inbouwen;
- het meetgebied;
- de nauwkeurigheid;
- het uitgangssignaal.

2. Hoeveelheid meters (stroommeters)

Gemeten wordt de volumestroom ($\text{m}^3/\text{sec.}$). De toegepaste instrumenten meten de gemiddelde snelheid, hieruit en uit het oppervlak van de doorsnede is dan de volumestroom te bepalen.

De gemiddelde snelheid kan op de volgende wijzen gemeten worden:

- a. dynamisch — d.m.v. een vernauwing in de leiding, de aanwijzing berust op de stromingswetten (meetschijf, venturibuis, rotameter);
- b. kinematisch — gemeten wordt met een roterend mechanisch systeem (de Woltman vleugelradmeter, de turbinemeter);
- c. elektromagnetisch — berustend op de wetten van de elektromagnetische inductie (de elektromagnetische meetbuizen);
- d. acoustisch of ultrasoon — gemeten wordt het verschil in looptijd van geluidsimpulsen die stroom op en afwaarts worden uitgezonden.

2.1. Stroommeting volgens het dynamische principe

2.1.1. Het meten met de meetschijf

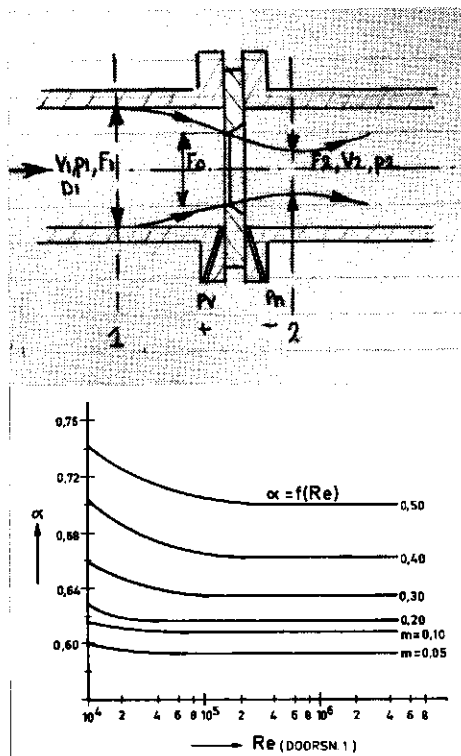


Fig. 1. Meetschijf.

D_1 = inwendige diam. doorsnede 1
 V = gemiddelde snelheid over de doorsnede (m/sec)
 ρ = soortelijke massa (kg/m^3)
 F = oppervlak van de doorsnede (m^2)
 Φ_m = massaastroom (kg/sec)

$$\Phi_v = \text{volumestroom (m}^3/\text{sec)} = \frac{\Phi_m}{\rho}$$

$$p = \text{druk (N/m}^2\text{)}$$

$$\mu = \text{contractie coëfficiënt} = \frac{F_2}{F_0}$$

$$m = \text{openings verhouding} = \frac{F_1}{F_0}$$

$$g = \text{versnelling van de zwaartekr.} = (9,81 \text{ m/sec}^2)$$

$$h = \text{hoogte (t.o.v. horizontaal)}$$

$$\alpha = \text{doorstroomecoëff.}$$

$$c = \text{constante}$$

$$\Delta p = p_v - p_n$$

$$Re = \text{getal van Reynolds} = \frac{\rho V_1 D_1}{\eta}$$

$$\eta = \text{dyn. viscositeit (v. water} = 10^{-3} \text{ Ns/m}^2\text{)}$$

Men laat de vloeistof door een vernauwing in de leiding stromen, zoals in afb. 1 aangegeven.

Men meet de drukken p_v en p_n resp. voor en na de vernauwing. Het verschil tussen beide drukken is nu een maat voor de stroomsterkte.

We kunnen dit verklaren a.h. van afb. 1, waarvoor we voor de doorsneden 1 en 2 de 'wet van behoud van stof' en de 'wet van Bernoulli' kunnen opschrijven.

wet van behoud van stof:

$$\Phi_{m1} = \Phi_{m2};$$

$$\rho \cdot V_1 \cdot F_1 = \rho \cdot V_2 \cdot F_2.$$

wet van Bernoulli:

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

Uit beide vergelijkingen volgt, na enige afleiding, de meetschijf formule:

$$\Phi_m = \alpha \cdot F_0 \sqrt{2\rho (p_v - p_n)} \quad (1)$$

Daar onze interesse meer uitgaat naar de volumestroom Φ_v i.p.v. de massaastroom Φ_m , kunnen we de meetschijfformule ook als volgt schrijven:

$$\Phi_v = \frac{\alpha F_0}{\rho} \sqrt{2\rho (p_v - p_n)} \quad (2)$$

Uit de in afb. 1 aangegeven grafiek $\alpha = f(Re)$ blijkt dat α voor het gebied $Re > 10^5$ een konstante is en dat de grootte van deze konstante door de parameter m wordt bepaald.

We kunnen dus schrijven:

$$\Phi_v = c \sqrt{\Delta p} \quad (3)$$

Meetschijven zijn alleen bruikbaar als de stromingstoestand, ruimschoots turbulent is ($Re > 10^5$). Bij kleine waarde van Re ook kleine m kiezen (zie afb. 1).

De meetschijf is een eenvoudig en hierdoor goedkoop in aanschaf en gemakkelijk te installeren instrument. Het vraagt weinig onderhoud en werkt storingvrij afgezien van evt. afzettingen.

De nauwkeurigheid kan bij een zorgvuldige constructie en bij het op de juiste wijze inbouwen (vereiste rechte buislengten voor en achter de meetschijf) ca. 0,5 % van de gemeten waarde bedragen.

De nauwkeurigheid van het gehele meet-systeem incl. volgapparaat hangt af van de gebruikte apparatuur, waarbij opgemerkt zij dat het uitgangssignaal in het lage meetgebied bijzonder gering is i.v.m. het kwadratische verloop van Δp zie formule (3).

De onnauwkeurigheid gerekend t.o.v. de gemeten waarden zal, t.g.v. hetgeen hierboven reeds vermeld, in het lage meetgebied groter zijn dan in het hoge meetgebied. Als nadelen zijn te noemen:

- a. groot blijvend drukverlies $p_v \cong (1-m)\Delta p$ zodat toepassing in het waterleidingbedrijf veelal ontoelaatbaar is;
- b. kwadratisch uitgangssignaal waardoor zoals boven reeds genoemd, grote onnauwkeurigheid in het lage meetgebied en niet lineaire schalen bij de volgapparaat;
- c. stroming moet turbulent zijn, daar α konstant moet zijn bij verschillende stroom snelheden;
- d. rechte buislengten nodig voor en achter de meetschijf.

Deze lengten zijn afhankelijk van m. Bijvoorbeeld bij m = 0,65 en voor en achter de meetschijf een haakte bocht; vrije lengte voor meetschijf 11 D (D = inw. leidingdiameter); vrije lengte achter meetschijf 5 D. Voor verdere gegevens raadplege men de fabrieksvoorschriften.

2.1.2. Het meten met de venturibuis
In z'n originele vorm (zie afb. 2) bestaat de venturibuis uit een konisch toevoerstuk met een aanloop van 20 - 30° en een uitloop (diffusor) van 5 tot 8°. Bij deze konstruktie is men er zeker van dat de stroming de begrenzing volgt en er geen wervels optreden zoals bij de meetschijf. Men meet de druk p_v vlak voor het begin van de vernauwing en p_n in de kleinste doorsnede (de keel). De meetschijfformule (1) welke we reeds behandeld hebben bij de meetschijf geldt hier eveneens:

$$\Phi m = \alpha \cdot F_0 \cdot \sqrt{2\rho(p_v - p_n)}$$

Uit de grafiek $\alpha = f(Re)$ in afb. 2 blijkt dat bij een stromingstoestand $Re > 10^5$ (ruimschoots turbulent), α alleen afhankelijk is van m, zodat bij konstant blijvende m ook α als een konstante mag worden gezien. De grafiek van afb. 2 toont tevens aan dat bij een laag Re getal we een grote waarde van m moeten kiezen. We kunnen evenals voor de meetschijfformule (3) schrijven

Het voordeel van de venturi boven de meetschijf werd hierboven reeds gememo-reerd, nl. geen wervels en dode zones in de stroming en dientengevolge weinig afzet-tingen en een geringer blijvend drukverlies. Het blijvend drukverlies bedraagt ca. 10 % van Δp bij normale uitloop (klassieke model) en ca. 20 % van Δp bij verkorte uitloop (korte venturibuis). Als nadelen t.o.v. meetschijf kunnen we noemen, de hogere investeringskosten en tengevolge van de langere inbouw lengte een gecompliceer-der installatie. Het aanbrengen van minimum lengten rechte leiding voor en achter de meetbuis evenals bij de meetschijf blijft noodzakelijk.

2.1.2.1. Diverse uitvoeringsvormen van de venturibuis
In plaats van de originele uitvoering van afb. 2 wordt in de praktijk veel gebruik gemaakt van de in afb. 3 getoonde korte venturibuis of de korte venturibuis met dubbele insnoering.

Beide exemplaren hebben een erg korte in-bouw lengte (gelijk aan de leidingdiameter) hetgeen een groot voordeel is t.o.v. het klassieke model.

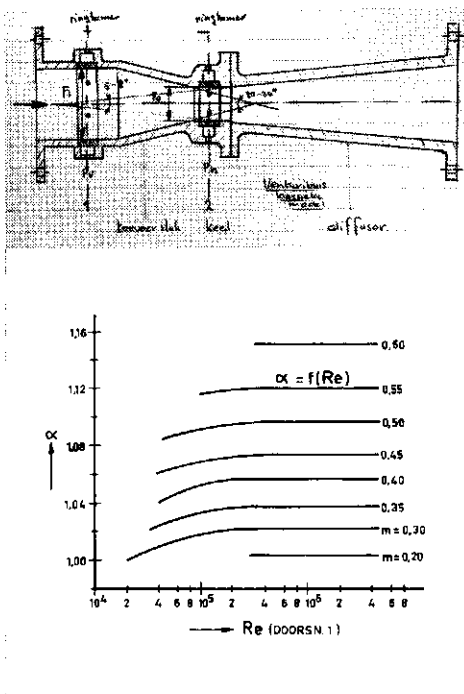
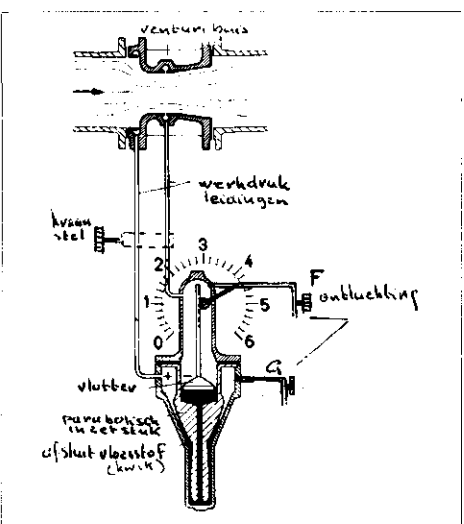
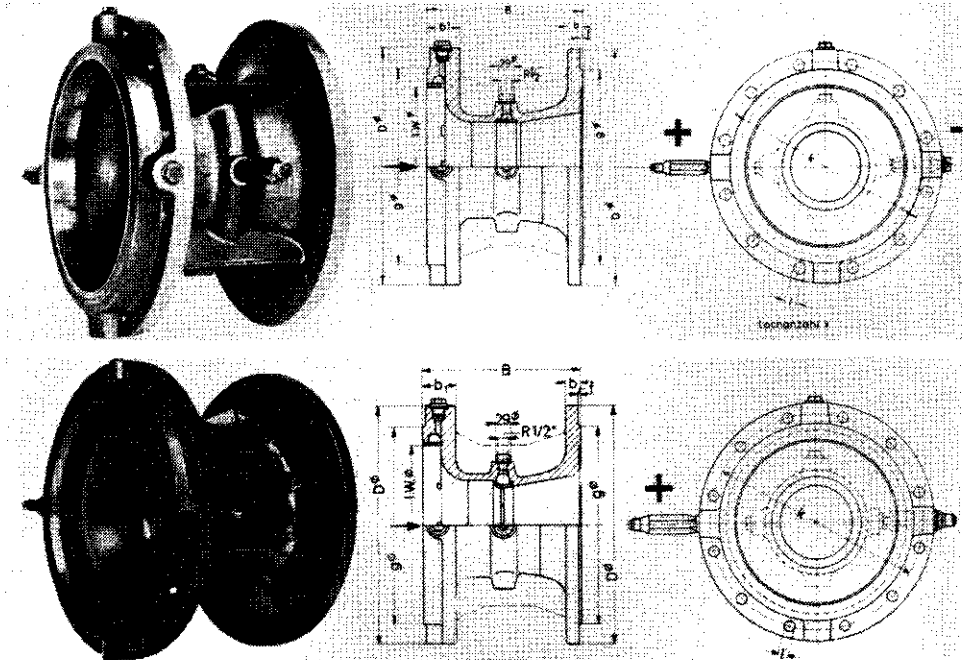


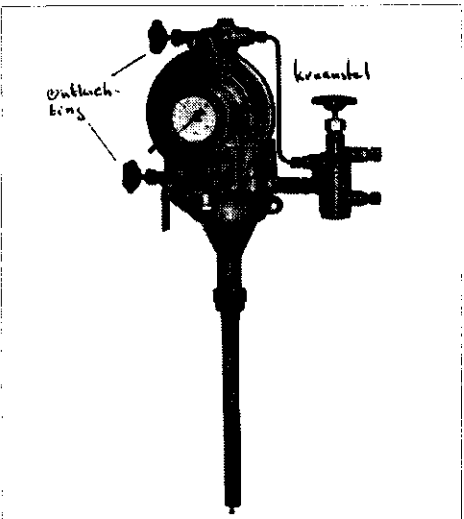
Fig. 2. Venturibuis.

Beide exemplaren zijn voorzien van ring-kamers t.b.v. de drukafname punten, zodat op de meetpunten minder wervelingen ontstaan. De ringkamers worden voorzien van mes-sing of bronzen ringen waarin een aantal gaatjes zijn aangebracht. Als materiaal voor de meetbuizen wordt veelal aan de binnenzijde geasfalteerd giet-ijzer gebruikt. De venturibuis met dubbele insnoering is voorzien van een in de keel aangebrachte 2e vernauwing.

Afb. 3 - Enkele uitvoeringen van de meetgever



Afb. 4 - Ubuïs meetgever met vlotter (doorsnede).



Afb. 5 - Ubuïs meetgever met vlotter (frontaanzicht).

Deze buis veroorzaakt een 50 % tot 60 % kleiner blijvend drukverlies dan de korte venturibuis.

2.1.3. Uitvoeringsvormen van de volg-apparaat

Het meetinstrument dat het over de vernauwing ontstane drukverschil bij meetflens of venturibuis moet meten en omzet in een elektrisch of pneumatisch signaal kan werken als volgt:

- a. U-buis meetgever met vlotter, voorzien van een potentiometer of elektronische zender;
- b. elektronische of pneumatische drukverschilzender.

Ad. a. Dit instrument is in de afb. 4 en 5 aangegeven.

In de U-buis bevindt zich een parabolisch gevormd inzetstuk zodat de vertikale verplaatsing van de vlotter, op ca. 5 % van het begin van de schaal na, lineair is met de stroomsterkte.

Een speciaal kraanstel is aangebracht voor 0-punts bepaling en gelijk op druk brengen van de + en – kamer. Het instrument bevat kwik als afsluitvloeistof.

De vertikale verplaatsing van de vlotter wordt in een draaiende beweging omgezet waarmee de loper van een potentiometer wordt aangedreven. Deze potentiometer (A) kan een servo-gestuurd schakel- en aanwijs-apparaat bedienen zoals afb. 6 en 7 aangeven.

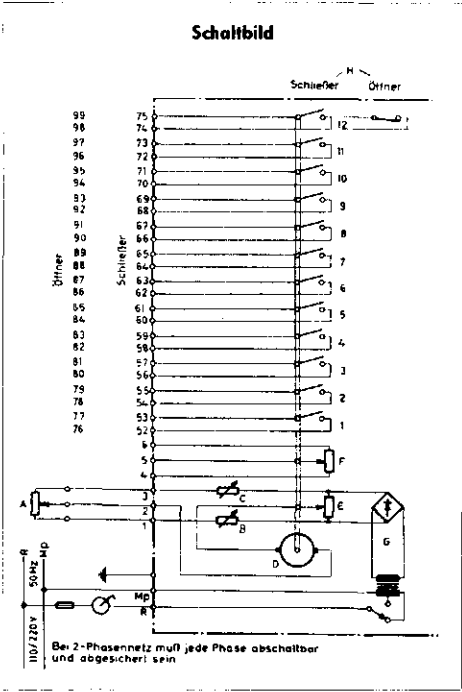
Ook kan de potentiometer een in de meetgever ondergebrachte elektronische compensatieversterker, welke geheel in giethars is ingegoten sturen. Deze compensatieversterker geeft een lineair signaal van 0 - 5 mA of 0 - 20 mA af, waarmee we eveneens een servo-gestuurd aanwijs- en schakelapparaat kunnen bedienen. *Gunstig* is het lineair uitgangssignaal dat de U-buismeetgever afgeeft.

Ongunstig de onnauwkeurigheid in het lage meetgebied daar het oorspronkelijk signaal en kwadratisch verloop heeft. Ook aan de vulling met kwik kleven bezwaren o.a. moet het vullen bijzonder voorzichtig gebeuren, daar het kwik een zwaar vergif is.

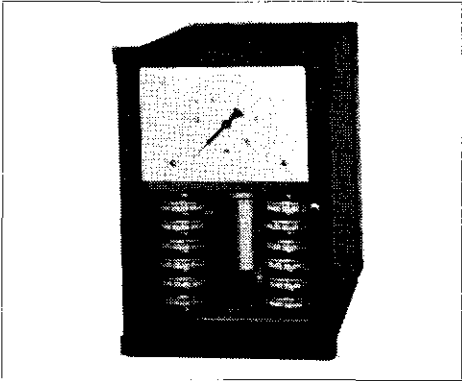
Ad b. Om bovengenoemde nadelen te voorkomen kan men de in hoofdstukken 3.2.2.2, 3.2.3.1 en 3.2.3.2 te behandelen elektronische of pneumatische drukverschilzenders toepassen.

2.1.4. De rotameter

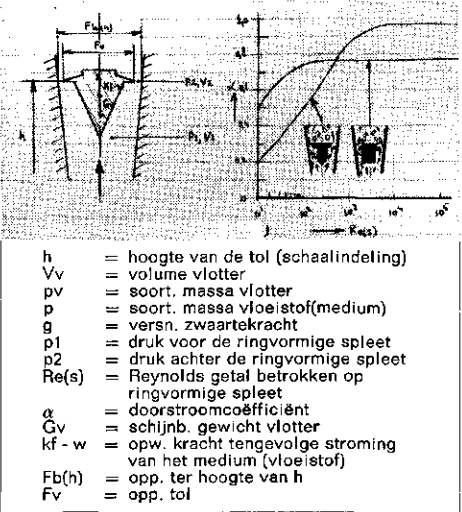
De rotameter ontstaat uit een vertikale zich naar boven iets verwijdende konische buis (meestal van glas) waarin zich een vlotter op en neer kan bewegen. In afb. 8 is links de doorsnede aangegeven. Hoe groter de stroom des te hoger is de



Afb. 6 - Servogestuurd schakel en aanwijsapparaat (principe schema).



Afb. 7 - Servogestuurd schakel en aanwijsapparaat (frontaanzicht).



Afb. 8 - Rotameter.

plaats waar de vlotter blijft zweven. De hoogte h is dus een maat voor de stroom.

Hetgeen hierboven wordt beweerd kan als volgt worden afgeleid. Bij het in rust zijn van de vlotter, bij een stationaire stroming, kunnen we aannemen dat het schijnbaar gewicht (G_v) van de vlotter en de opwaartse kracht ($K_f - w$) gelijk zijn

$$G_v = V_v (\rho_v - \rho) g \text{ zwevend in het medium}$$
$$K_f - w = F_v (p_1 - p_2)$$

Tevens wordt de meetschijf formule (1) uit hoofdstuk 2.1.1 gebruikt daar ook hier sprake is van een stroming door een vernauwing in de leiding. We komen dan tot de rotameterformule:

$$\Phi_m = \alpha (F_b - F_v) \sqrt{\frac{2 \rho V_v (\rho_v - \rho) g}{F_v}} \quad (4)$$

Bij een voldoende grote waarde van $Re(s)$ betrokken op de ringvormige spleet heeft de coëfficiënt α een konstante waarde die alleen nog van de vorm van de vlotter afhankelijk is (afb. 4 grafiek), zodat we kunnen schrijven

$$\Phi_v = c (F_b - F_v)$$

Daar $F_b - F_v$ lineair van de hoogte afhangt geldt dus

$$\Phi_v = c \cdot h \quad (5)$$

Opmerkingen:

- a. de ijk-grafiek $h = f(\Phi_v)$ is pas lineair als α onafhankelijk is van $Re(s)$;
- b. tol 1 (vlotter 1) geeft weinig turbulentie dus pas bij $Re(s) > 10^3$ bruikbaar;
- c. tol 2 geeft veel turbulentie dus α eerder onafhankelijk van $Re(s)$ al bij $Re(s) = 10^2$;
- d. meetbereik te wijzigen door gebruik van vlotters met variërende soort-massa;
- e. rotameter kan worden opgevat als meetschijf met konstant drukverschil ($p_1 - p_2$) en variabele doorlaat;
- f. voordelen: lineaire schaal, kleine drukval, kleine stukken rechte pijp nodig voor en achter het instrument, het is mogelijk zeer kleine hoeveelheden te meten zgn. purging air;
- g. nadelen: vloeistoffen mogen geen vaste delen bevatten, de grootste afmetingen van het meetinstrument zijn maar $\Phi = \pm 150 \text{ mm}$.

2.2. Stroommeting volgens het kinematische principe

2.2.1. Vleugelradmeter

Dit instrument is in afb. 9 (meetgever) en afb. 10 (principe schema en volgapparaat) aangegeven.

Afb. 9 toont de zgn. Polypulsgever welke in de leiding wordt gemonteerd. De Polypulsgever is een Woltman meter waarvan het meetorgaan (vleugelrad) een oscillator beïnvloed.

Hierin is:

E = opgewekte spanning EMK

B = magnetische inductie

D = lengte geleider (elektroden afstand)

V = stroomsnelheid van de vloeistof

Er zijn twee belangrijke storingsbronnen.

1e. Door de inwendige weerstand van de spanningsbron en de signaalkabelcapaciteit ontstaat een kwadratuurspanning die een meetfout kan introduceren, vandaar dat deze in de meetversterker wordt onderdrukt.

2e. Bij netspannings variaties zal de inductie B variëren, hiermede wordt eveneens een meetfout geïntroduceerd.

Men gaat een referentiespanning E_r invoeren die gekoppeld is aan de spanning over de magneetspoelen en dus geldt E_r evenredig met B .

De formule kan nu omgezet worden in

$$E = E_r \cdot C \cdot D \cdot V$$

waarbij C een constante is en B door E_r is vervangen.

Ook geldt:

$$\frac{E}{E_r} = C \cdot D \cdot V$$

Er

Het blijkt dus dat de verhouding $\frac{E}{E_r}$

evenredig is met de stroomsnelheid van de vloeistof en dat schommelingen in de netspanning (binnen bepaalde grenzen) geen invloed hebben op de meetwaarde, als we

het quotient $\frac{E}{E_r}$ gebruiken als meetsignaal.

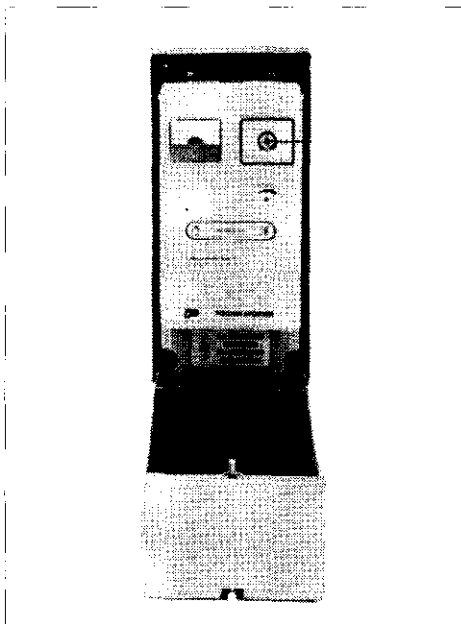
Opmerkingen:

1. Een aantal jaren geleden werd nog gesteld dat een homogeen elektromagnetisch veld (dus een gelijke veldsterkte over de gehele radiale doorsnede) noodzakelijk was.

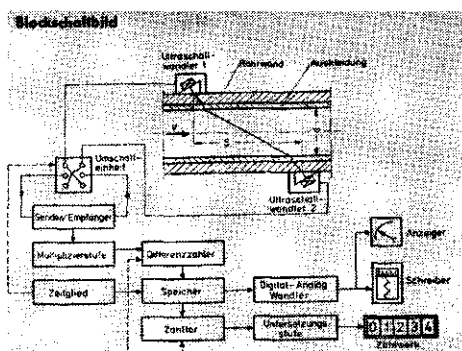
2. Tevens werd een meetbuis gebruikt met een axiaal vrij lang veld teneinde een flink uitgangssignaal te verkrijgen.

3. Verder werd verondersteld dat het stromingsprofiel in de meetbuis een rotatie symmetrisch profiel moest bezitten (laminair of turbulent niet belangrijk, echter wel rotatie symmetrisch t.o.v. de as van de meetbuis). Een aantal proeven hebben uitgewezen dat het toepassen van een veld met een zodanige configuratie, dat de inductie op bepaalde plaatsen van de doorsnede een bepaalde waarde heeft, de meter ongevoelig is voor storingsprofielen in het stromingsprofiel. Men noemt zo'n veld *inhomogeen*.

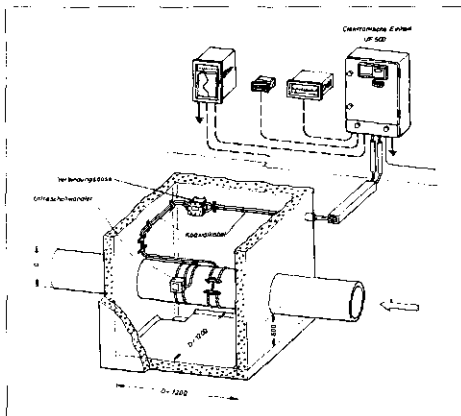
Het stromingsprofiel hoeft dan niet meer rotatiesymmetrisch te zijn, zodat allerlei storingsinvloeden in het stromingsbeeld tot vlak voor de meetbuis toegelaten zijn. Verder werd aangetoond dat het belangrijkste deel van de signaalopbouw plaatsvindt binnen ca. een leidingdiameter lengte



Afb. 15 - Meetversterker t.b.v. elektr. magn. meetbuis.



Afb. 16 - Blokschema van de ultrasonische meetinstallatie.



Afb. 17 - Overzicht installatie van de ultrasonische meting.

gelijkelijk verdeeld ter weerszijden van het elektroden vlak.

Dit leidde tot de conclusie dat het magnetisch veld over een veel korter deel van de meetbuis kon worden samengetrokken, d.w.z. kortere meetbuizen. Afb. 13 geeft een dergelijke uitvoering weer.

Uitvoering

In afb. 13 is de meetbuis getoond, terwijl afb. 15 de meetversterker aangeeft. In deze meetversterker wordt het zwakke signaal uit de meetbuis (ca. 1 mv eff. per 1 m/sec. stroomsnelheid) omgezet in een signaal (bv 0 - 20 mA) wat geschikt is voor het meetinstrumenten, schrijvers e.d.

Verder dient de vloeistof een zekere geleidbaarheid te bezitten $\geq 20 \mu S/cm$, voor drinkwater ligt dit in het algemeen tussen 200 en 800 $\mu S/cm$.

Zolang de elektroden nog door het medium verbonden zijn geven ze, als er stroming is, een signaal af.

Omdat het systeem gekijkt is door de meting van de stroomsnelheid te vermenigvuldigen met het oppervlak zodat de volume stroom bijv. $m^3/sec.$ op de instrumenten wordt aangegeven, treedt er een meetfout op indien de leiding niet geheel gevuld is.

Voordelen

Als voordelen van deze meetinstallatie kunnen we noemen:

1. geen drukverlies in de leiding;
2. lineair uitgangssignaal;
3. zeer korte rechte buislengte nodig vóór de meetbuis $\pm 1 D$ (1x diameter);
4. nauwkeurigheid ca. 0,5 % van de volle schaal bij een stroomsnelheid van 1 - 10 m/sec. en ca. 1 % van de volle schaal bij een stroomsnelheid van 0,5 - 1 m/sec.;
5. zeer korte inbouw lengte;
6. meetgebied gemakkelijk omschakelbaar zowel continu als 1 op 2;
7. geen volgapparatuur met kwikvulling;
8. in beide stromingsrichtingen te meten.

Nadelen

Als nadelen zijn te nemen:

1. hoge investeringskosten: voor een diameter van bijv. 500 mm, meetbuis incl. versterker ca. 2 x t.o.v. venturibuis incl. gever. Bij grotere doorsneden stijgt de prijs vrij sterk, daarom wordt de meetbuis wel van kleinere diam. gekozen dan de leiding, dit geeft ook een grotere stromingssnelheid dus een nauwkeuriger meting, echter wel enig drukverlies.
2. continu stroomverbruik van het magnetisch veld ca. 2000 VA - 200 W bij 220 V $\approx$ voor een meetbuis met een diam. van 500 mm.
3. medium moet voor en achter de meetbuis met het gestel van de meetbuis verbonden worden, zie litzeverbinding aangegeven op afb. 13.
4. de verbinding kabel tussen meetbuis en versterker zo kort mogelijk houden en zo mogelijk afschermen (stalen pijp), daar deze kabel i.v.m. het kleine signaal, bijzonder gevoelig is voor uitwendige elektromagnetische velden.

2.4. Akoestische of ultrasone meting

De meetinstallatie bestaat uit 2 ultrasone omzetters (ultraschall wandlers) gemonteerd op de leiding en een elektronische eenheid. Afb. 17 geeft een overzicht van een installatie waarbij de ultrasone omzetters in een meetput zijn aangebracht en de elektronische eenheid in een zich in de nabijheid bevindende ruimte is opgesteld.

De ultrasone omzetter

Deze bestaat uit een oscillator die zodanig op een kunststof schoen is gemonteerd (zie afb. 16 en 20) dat een juiste invalshoek van de ultrasone impulsen (geluids-impulsen) ontstaan.

De eigen frequentie van de oscillator bedraagt 0,4 MHz of 1 MHz.

De oscillator wordt aangestuurd door een elektrisch signaal dat afkomstig is van de elektronische eenheid.

Ontvangt de omzetter echter een ultrasoon signaal dan zet hij dat weer om in een elektrisch signaal.

De omzetters zijn voorzien van een 5 m lange koaxiaal kabel en worden d.m.v. staaldraad en knevels op de leiding bevestigd, zie afb. 19. Er zijn 2 methoden om de omzetters te monteren, nl. de Z methode (doordringingsmethode) zie afb. 16 en 17 en de V methode (reflexie methode) afb. 19. De V methode wordt het meest toegepast daar hiermede radiale snelheidscomponenten kunnen worden gecompenseerd.

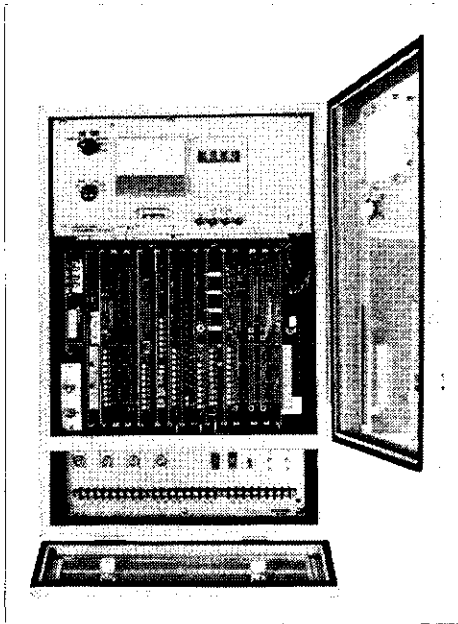
De elektronische eenheid UF 500

Deze eenheid bestaat zoals afb. 18 aangeeft uit een kast met elektronische apparatuur. De eenheid dient om het signaal dat via de ultrasone omzetters wordt gevormd, om te zetten in een uitgangssignaal van bijv. 0 - 20 mA, overeenkomstig een bepaalde volumestroom. De eenheid zelf is voorzien van controle systemen teneinde de functies te controleren, tevens kan op de eenheid de volumestroom zowel analoog als digitaal worden afgelezen. Verder is het mogelijk een keuze te maken uit 2 meetbereiken en te meten in 2 richtingen.

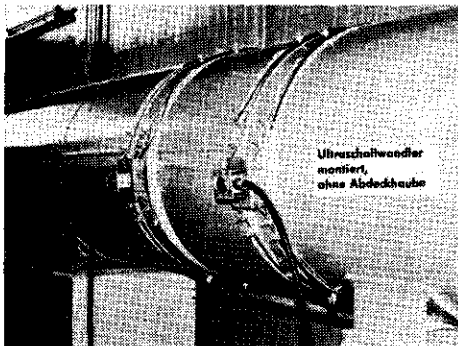
Meetprincipe

Wordt een geluidsuprasone-impuls van hoge frequentie (0,4 MHz) van omzetter 1 in stroomrichting afgegeven (zie afb. 16), dan ontvangt omzetter 2 dit signaal na de tijd t₁ sec. Omzetter 2 zet dit signaal om in een elektronische impuls, welke wordt versterkt in de elektronische eenheid en weer aan omzetter 1 wordt afgegeven. Zodra omzetter 1 deze elektrische impuls ontvangt, zal deze weer een geluids (ultrasone)puls afgeven. Er wordt op deze wijze een gesloten kringloop gevormd.

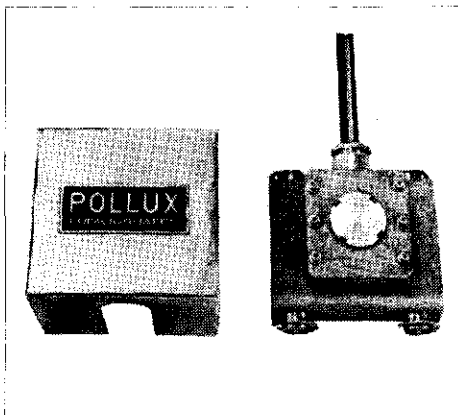
De tijd t₁ sec. die het signaal voor één omloop nodig heeft, wordt een sing around periode genoemd, de reciproke waarde hier-



Afb. 18. Electronische eenheid van de ultrasone meetinstallatie.



Afb. 19 - Bevestiging ultrasone omzetters op leiding.



Afb. 20 - Utrasone omzetter deksel afgenomen.

van noemt men de sing around frequentie.

In formule vorm $f_1 = \frac{1}{t_1}$.

De sing around frequentie hangt praktisch alleen van de voortplantingssnelheid van de ultrasone impuls in de vloeistof af.

Wordt nu een impuls van omzetter 2 afgegeven (dus tegen de stroom in) dan ontvangt omzetter 1 dit signaal na t₂ sec. Op deze wijze ontstaat de sing around frequentie f₂, gezien tegen de stroomrichting.

Een meetperiode duurt 4,8 sec (2 sec. stroomafwaarts, 0,4 sec. pauze, 2 sec. stroomopwaarts, 0,4 sec. pauze). Het verschil van beide frequenties, $\Delta f = f_1 - f_2$ is evenredig met de stroomsnelheid (afleiding zou hier te ver voeren), zodat Δf omgezet wordt in een analoog en digitaal uitgangssignaal. Daar Δf minimaal kan zijn ca. 1HZ bij grote diameters, wordt een frequentie-vermenigvuldiger toegepast (zie blokschema afb. 16) waarmee de nauwkeurigheid wordt verhoogd.

Eigenschappen ten voordele:

1. geen drukverlies in de leiding waarin we willen meten;
2. de installatie kan bij in bedrijf genomen leidingen gemonteerd worden;
3. lineair uitgangssignaal;
4. ook bij zeer geringe stroomsterkten kan nog gemeten worden;
5. doorsnede te meten leiding naar boven niet begrensd naar onder min. 300 mm;
6. temperatuur, druk en troebelheidsveranderingen hebben op meting geen invloed;
7. geleidbaarheid van de vloeistof is niet van invloed;
8. de vloeistof behoeft niet met het gestel van de meetinstallatie verbonden te worden;
9. voor controle van het elektronische systeem zijn een aantal mogelijkheden ingebouwd, o.a. de nulpuntscontrole kan geschieden zonder de stroming te onderbreken;
10. gemeten aan een bestaande installatie waarbij de telling wordt afgelezen op de telbuizen en de stroomsterkte op de analoge schaal, beide dus op de elektronische eenheid;

% van max. kap.	telling (telbuizen)		stroomsterkte (analoge schaal)	
	fout in % van gemeten waarde	fout in % van gemeten waarde	fout in % van gemeten waarde	fout in % van gemeten waarde
	1e meting	2e meting	1e meting	2e meting
± 5 %	— 23 %		— 10 %	
± 30 %	+ 1,3 %	— 5 %	0 %	+ 1 %
± 60 %	+ 3 %		0 %	

11. geen onderhoud nodig.

Eigenschappen ten nadele:

1. voldaan moet worden aan een ongestoord stromingsprofiel, d.w.z. voldoende lange rechte einden zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts van de meetplaats;

- bijv. bij haakse bocht: 10 D voor meet-plaats en 5 D achter meetplaats;
2. diverse eisen worden gesteld aan de montage van de omzetters op de leiding:
- a. geen lasnaden in de geluidsweg,
 - b. zo weinig mogelijk verf tussen meet-omvormer en leidingwand,
 - c. de omvormers moeten in een horizon-taal vlak liggen dat door de hartlijn van de leiding gaat;
3. de koax kabels tussen omzetters en elektronische eenheid niet langer dan 300 m en niet bij andere kabels in één kabelgoot;
4. zeer hoge investeringskosten ca. 2,5 x elektromagnetische meting bij leidingdia-meter van 500 mm. Bij grotere doorsneden wordt dit gunstiger omdat de prijs van een ultrasone meetinstallatie niet van de dia-meter van de leiding afhankelijk is;
5. in de omgeving van de elektronische eenheid mogen geen elektrische storings-velden aanwezig zijn.

3. Druk en drukverschilmetingen

Onder druk verstaan we het quotiënt van de kracht en het oppervlak waarop die kracht werkzaam is.

In formule vorm:

$$\text{druk} = \frac{\text{kracht}}{\text{oppervlak}}$$
$$p = \frac{F \text{ (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} = \text{Pa (pascal)}.$$

Omdat de pascal een zeer lage druk is, heeft men ook de bar als eenheid van druk ingevoerd: 1 bar = 10⁵ Pa = 1,02 kgf/cm² = 10,2 mwk.

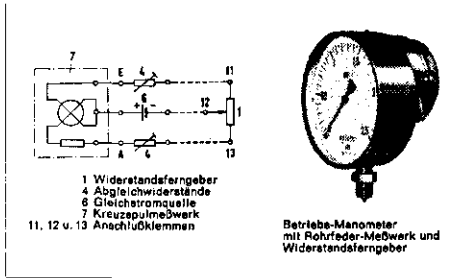
In het waterleidingbedrijf wordt nog veel met de eenheid mwk (meter waterkolom) gewerkt, die in het officiële SI stelsel niet voorkomt en nog t/m 1977 gebruikt mag worden.

Het meten van drukken komt neer op het bepalen van de tegenkracht, die een op het medium (waarvan we de druk willen meten) aangesloten instrument moet opbrengen, om evenwicht te maken met de kracht veroorzaakt door de druk van het medium. Voor het bepalen van deze tegenkracht heeft men instrumenten ontwikkeld welke werken volgens de onderstaande methoden:

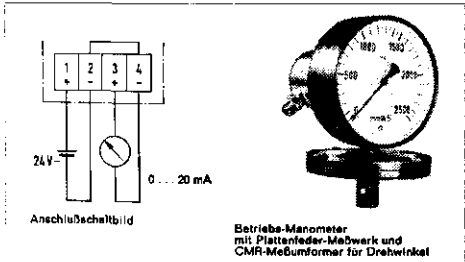
- a. door middel van zwaartekracht-werking, waarbij gebruik wordt gemaakt van een vloeistofkolom;
- b. door middel van elastische vervorming, waarbij men gebruik maakt van de tegenkracht welke bij het vervormen van een verend meetelement ontstaat.

3.1. Drukmeters berustend op de meting van de tegenkracht met behulp van de zwaartekracht

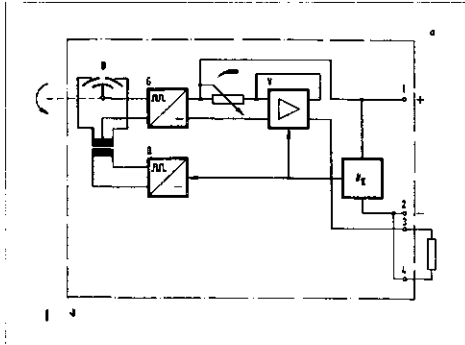
Meters werkend volgens dit principe komen



Afb. 21 - Manometer met aangebouwde potentiometer.



Afb. 22 - Manometer met aangebouwde meetomvormer voor hoekverdraaiing.



Afb. 23 - Principeschema van meetomvormer voor hoekverdraaiing.

in het waterleidingbedrijf in hoofdzaak nog voor als drukverschilmeters in de volgende uitvoeringen: U-buismeter met vlotter en de ringbalans drukverschilmeter.

Beide meters worden gebruikt bij hoeveelheidsmeting ten behoeve van het aangeven van drukverschillen ontstaan over de vernauwing in de leiding, zie hetgeen hiervoor in het hoofdstuk 2.1.3 is vermeld.

In afb. 5 van hoofdstuk 2.1.3 is de U-buis-meter met vlotter afgebeeld.

3.2. Drukmeters berustend op de meting van de tegenkracht die ontstaat bij elastische vervorming van het meetelement

Meters werkend volgens dit principe komen in het waterleidingbedrijf véél meer voor dan die genoemd onder 3.1.

We kunnen de volgende 3 meetsystemen onderscheiden:

Membraandrukmeters;

Balddrukmeters (Bartoncellen, vouwbalgen enz.); Bourdonbuisometers.

In bovengenoemde gevallen wordt de tegenkracht en daarmee de te meten druk bepaald door het meten van de vervorming van het meetelement.

De vervorming kan direct door een wijzer aangegeven worden waardoor een manometer ontstaat, maar kan ook omgezet worden in een elektrisch signaal waardoor een aanwijzende manometer met zender ontstaat.

Als voorbeelden zijn te noemen manometers met de ingebouwde potentiometers of met ingebouwd inductief of capacitief meet-systeem.

Verder zijn te noemen de elektronische meetomvormers voor druk en drukverschilmeting.

Tenslotte de pneumatische en elektronische druk en drukverschilzenders werkend volgens de krachten-balans (force-balans) methode, waarbij met uiterst geringe verplaatsingen van het meetelement en de overige onderdelen een krachtenevenwicht tot stand wordt gebracht.

3.2.1. Aanwijzende manometers met zender

In afb. 21 is een manometer met aangebouwde potentiometer aangegeven. We zien dat het hier om de bourdonbuis-manometer gaat, waaraan aan de achterzijde een potentiometer is aangebracht. De wijzeras van de manometer neemt de loperas van de potentiometer mede.

In afb. 22 is een membraan manometer met zender voorzien van een capacitief systeem aangegeven. Aan de manometer is een zgn. meetvormer voor hoekverdraaiing gebouwd, waarbij de wijzeras van de manometer een draaibare condensator verstelt. In afb. 23 is het principeschema aangegeven

Het voordeel van het capacitieve systeem is dat het wrijvingsloos en dus zonder slijtage werkt, hetgeen van de potentiometer niet gezegd kan worden. De prijs van het capacitieve systeem is bijna 2 x zo hoog als die van het systeem met de pot. meter.

Een voordeel van het capacitieve systeem is verder dat het een standaard signaal van 0 - 20 mA afgeeft waarop meerdere meetinstrumenten in serie kunnen worden aangesloten.

Nadelen van beide systemen: geen instelling mogelijk van het meetgebied (span); geen elevatie mogelijk van het 0-punt. De nauwkeurigheid hangt in belangrijke mate af van de klasse van de manometer, welke in normale gevallen ca. 1 % van het meetgebied is.

3.2.2. Elektronische meetomvormers voor druk en drukverschilmeting

3.2.2.1. De meetomvormer voor drukmeting
De meetomvormer voor *drukmeting* welke tevens bruikbaar is voor het meten van *niveau's* in open reservoirs is in de afb. 24, 25 en 26 aangegeven.

De meetomvormer bestaat uit een bourdonbuis waaraan de ferritkern van een differentiaal transformator bevestigd is. De koppeling tussen de, met 5 KHZ gevoede primaire spoel en de beide secundaire spoelen, is afhankelijk van de plaats van de kern en dus van de te meten druk. De plaats van de kern bepaalt verder het verschil in spanning in de beide secundaire spoelen, dit spanningsverschil wordt gelijkgericht en aan een versterker afgegeven die als uitgang een met de druk proportionale gelijkstroom van 0 - 20 mA afgeeft.

Voordelen:

instelling mogelijk van meetgebied (span) en 0-punts elevatie (zie afb. 25);
aanwijzing op het instrument mogelijk;
nauwkeurigheid 0,5 % van het meetgebied.

Nadeel:

Konstruktie van het meetsysteem vrij kwetsbaar (niet rechtlijnige beweging en eenzijdige bevestiging van de kern van de differentiaal trafo).

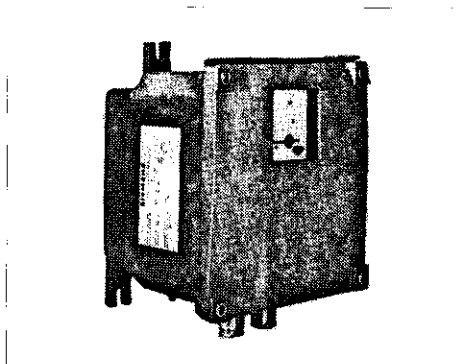
3.2.2.2. De meetvormer voor het meten van drukverschillen

Deze meetvormer is in de afb. 27, 28 en 29 aangegeven. Het meetelement wordt hier gevormd door een systeem met vouwbalgen en binnenliggende differentiaal transformator.

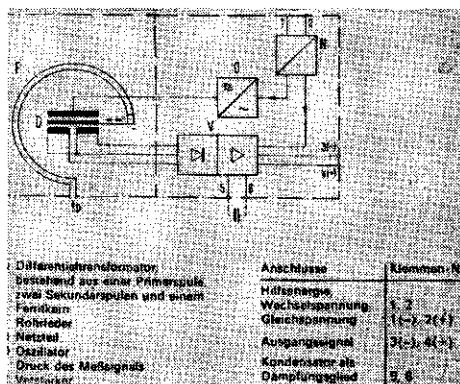
De werking van het elektronische deel is overeenkomstig de in het vorige hoofdstuk behandelde meetomvormer voor drukmeting.

De meetomvormer voor het meten van drukverschillen kan o.a. worden gebruikt bij:

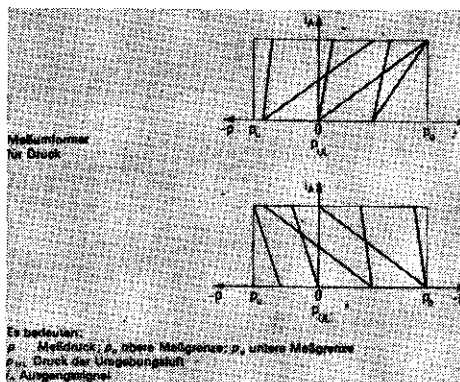
- a. stroommeting met meetschijf of venturibuis (zie hoofdstuk 2.1.3.).
Uit het gemeten drukverschil over de vernauwing in de leiding wordt m.b.v. een ingebouwde elektronische worteltrek-unit het juiste lineaire uitgangssignaal verkregen.
- b. Niveaumetingen van open en gesloten reservoirs (zie ook hoofdstuk 4).
Bij open reservoirs laat men de (—) aansluiting open, bij gesloten reservoirs wordt de (—) aansluiting verbonden met de ruimte boven de te meten vloeistofspiegel. Deze meetomvormer heeft een zeer robuust uitgevoerd meetsysteem (2 zijdigte bevestiging en rechtlijnige beweging van de kern van de differentiaal trafo) en kan daardoor zeer



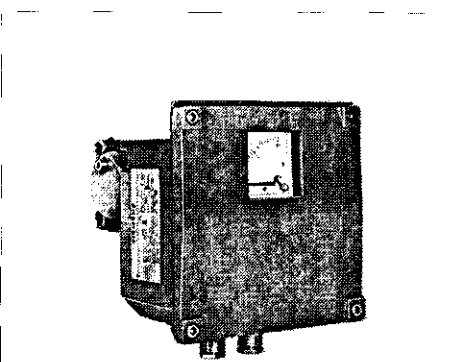
Afb. 24 - Meetomvormer voor drukmeting.



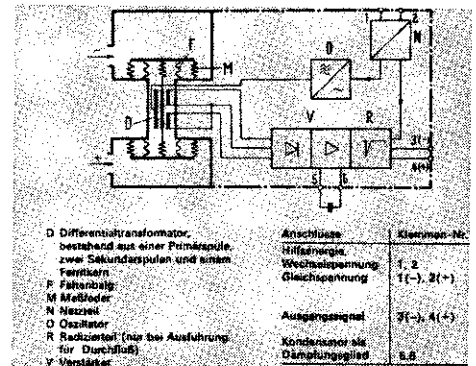
Afb. 25 - Principeschema van de meetomvormer voor drukmeting.



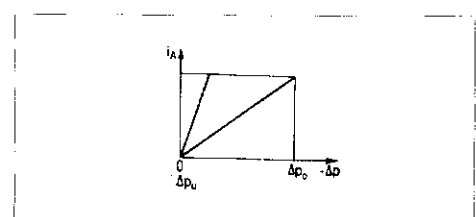
Afb. 26 - Instelmogelijkheden van het meetgebied bij de meetomvormer voor drukmeting.



Afb. 27 Meetomvormer voor drukverschilmeting.



Afb. 28 - Principeschema van de meetomvormer voor drukverschilmeting.



Afb. 29 - Instelmogelijkheden van het meetgebied bij de meetomvormer voor drukverschilmeting.

hoge eenzijdige overdrukken hebben.

Ook kunnen hiermede zeer kleine drukverschillen gemeten worden (kleinste meetgebied = 0,2 mwk).

Verder zijn dezelfde eigenschappen als de meetomvormer voor drukmeting aanwezig. Een nadeel dat deze meetomvormer bijna het dubbele kost van de meetomvormer voor druk behandeld in hoofdstuk 3.2.2.1.

3.2.3. Pneumatische en elektronische druk en drukverschilzenders werkend volgens de krachtenbalans (force balans) methode

3.2.3.1. De pneumatische druk en drukverschil zenders

De pneumatische *drukverschil* zender is in de afb. 30 t/m 32 aangegeven. De werking van de drukzender evenals van de drukverschilzender kan aan de hand van afb. 32 worden verklaard.

Het drukverschil over de membraandoos veroorzaakt een verplaatsing van de balanshefboom die z'n draaipunt heeft, in de vorm van het elgiloy membraan, boven in de hogedrukkamer.

De beweging van de balanshefboom wordt overgebracht op een flapper en nozzle systeem met versterkerrelais. Met het uit het versterkerrelais verkregen uitgangssignaal wordt de terugkoppeling bediend.

Op deze wijze ontstaat een evenwichtssituatie met een uitgangssignaal dat een lineair verband heeft met het drukverschil en waarvan de grootte ingesteld kan worden met het instelbare draaipunt van de instelhefboom, zodat hiermede het meetgebied ingesteld kan worden.

Een nulstelveer wordt gebruikt om bij een

druk-verschil van 0 een uitgangssignaal van 3 psi te krijgen.

Het uitgangssignaal behorend bij het max. drukverschil is 15 psi. Dit signaal wordt, als bovenvermeld, ingesteld met de loopmoer op de instelhefboom.

Voordelen:

- het instrument blijft ook na lange bedrijfstijd zeer betrouwbaar. Het werkt nl. met uiterst geringe bewegingen en volgens een krachten evenwichtssysteem, zodat dit instrument bijzonder geschikt is voor wisselende metingen onder ongunstige omstandigheden;
- instellen elevatie en verschillende meetgebieden is mogelijk;
- nauwkeurigheid tot een meetgebied van ca. $10 \text{ mwk} \pm 0,5 \%$ van het ingestelde meetgebied;
- door gebruik van hoogwaardige materialen huis gietstaal, membranen en balanshefboom roestvrij staal en een uiterst eenvoudige doch zware constructie kunnen grote drukken en drukverschillen worden gemeten. Tevens is de constructie zodanig dat spanningen in meetleidingen en luchtleidingen worden opgevangen, zonder dat het meetsysteem en de krachtenbalanszender hiervan hinder ondervinden;
- de prijs is zeer redelijk ongeveer gelijk aan de meetomvormer voor drukmeting behandeld in hoofdstuk 3.2.2.1.

Nadelen:

- schone en droge instrumenten-lucht nodig i.v.m. uiterst kleine openingen in o.a. de nozzle, het versterkerrelais het smoorbuisje en de op het uitgangssignaal aangesloten instrumenten;
- bij stromingsmeting is het uitgangssignaal kwadratisch.

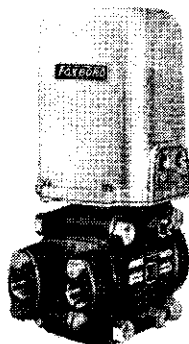
3.2.3.2. De elektronische druk en drukverschilzenders

De elektronische *drukverschil* zender is in de afb. 33 en 34 afgebeeld.

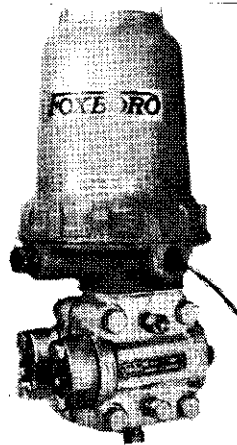
De werking komt ongeveer overeen met de pneumatische uitvoering, nu wordt op elektromagnetische wijze een krachtenbalans met terugkoppeling tot stand gebracht. Het uitgangssignaal bedraagt 4-20 mA of 10-50 mA.

Voordelen:

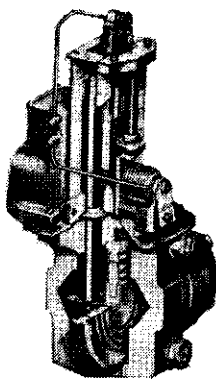
evenals de pneumatische uitvoering echter nu geen instrumentenlucht nodig. Tevens is een elektrisch signaal makkelijker te transporteren en te installeren dan een pneumatisch signaal, we denken hierbij aan controlelessenaars e.d. Met het uitgangssignaal kan men, d.m.v. alarm units, bij verschillende waarden kontakten bedienen (zie afb. 35).



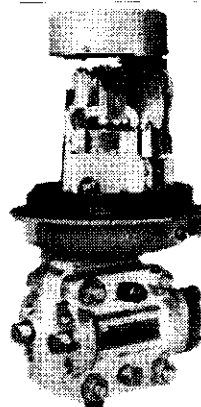
Afb. 30 - Pneumatische drukverschilzender.



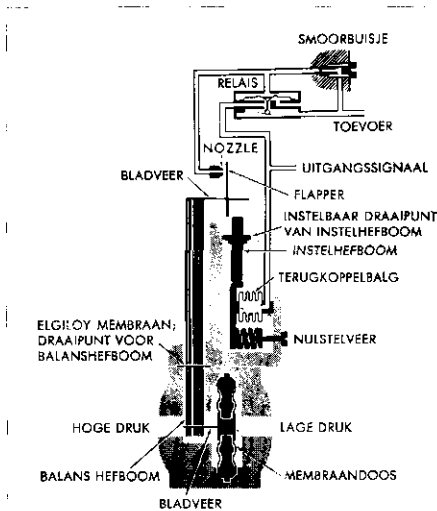
Afb. 33 - Elektronische drukverschilzender.



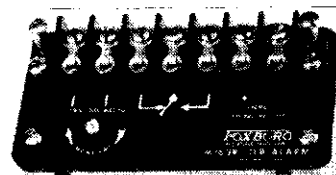
Afb. 31 - Pneumatische drukverschilzender in opengewerkte toestand.



Afb. 34 - Elektronische drukverschilzender open-gewerkt.



Afb. 32 - Overzicht van de werking en componenten van de pneumatische drukverschilzender.



Afb. 35 - Alarmunit.

Een nadeel van de elektronische druk en drukverschilzenders ligt in de prijs die ca. 2 x zo hoog is als die van de pneumatische instrumenten.

4. Niveaumetingen

Onder niveau verstaan we de hoogte waarop zich het oppervlak van een vloeistof bevindt, in een tank, watertoren of kelder. Bij het niveau meten moeten we onderscheid maken tussen metingen in open en gesloten reservoirs, daar in gesloten reservoirs boven het vloeistofniveau nog een druk kan heersen, terwijl in open reservoirs boven de vloeistofspiegel de atmosferische druk heerst. Bij het meten van niveau maakt men in hoofdzaak gebruik van de volgende eigenschappen van de vloeistof:

Bij de pneumatische druk en drukverschilzenders moet men gebruik maken van drukschakelaars. Daar de alarmunits werken volgens een compensatie principe zullen deze op de lange duur nauwkeuriger blijven dan drukschakelaars (repeatability alarmunits is 0,5 % van meetgebied).

- metingen berustend op het principe van de hydrostatische druk;
- metingen berustend op de door de vloeistof uitgeoefende opwaartse kracht;
- elektrische meetmethoden.

4.1. Metingen berustend op het principe van de hydrostatische druk

Onder hydrostatische druk verstaat men de druk die in een horizontaal vlak in een vloeistof heerst ten gevolge van het gewicht van de er boven staande vloeistofkolom.

Het gewicht van een vloeistofkolom is:

$$G = V \cdot \gamma = h \cdot O \cdot g \cdot \rho \quad (\text{N})$$

Het gewicht per oppervlakte eenheid dus de hydrostatische druk is:

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{N/m}^2 = \text{pascal})$$

Hierin is:

G = gewicht in (N);

O = oppervlakte van de doorsnede van de vloeistofkolom (m²);

V = volume (m³);

γ = soort. gewicht in (N/m³);

p = druk (N/m² = pascal);

ρ = soortelijke massa (kg/m³);

g = 9,8 m/sec²

h = hoogte van de vloeistofkolom (m).

We zien dat de hydrostatische druk p recht evenredig is met de hoogte h van de er boven staande vloeistofkolom zodat d.m.v. druk meting het niveau kan worden bepaald.

4.1.1. Niveaumetingen met behulp van druk en drukverschilmeters

Voor eenvoudige metingen bij open vaten kan men volstaan met een normale drukmeter bijv. een wijzmanometer.

We kunnen ook gebruik maken van een wijzer-manometer met zender zoals is behandeld in hoofdstuk 3.2.1.

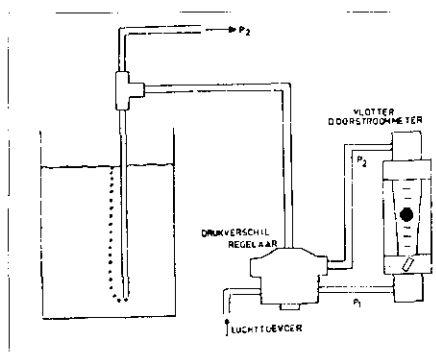
Daar een normale bedrijfsmanometer een nauwkeurigheid heeft van ca. 1 à 2 % van de eindwaarde, men hiermede tevens geen 0-punt elevatie en meetgebied kan instellen, kleven aan het toepassen van dit instrument t.b.v. niveaumeting nog wel wat bezwaren. Bij gesloten vaten kan men dit instrument i.v.m. de druk boven de vloeistof in het geheel niet toepassen.

Vele voordelen biedt het gebruik van de elektronische omvormers voor druk meting (open vaten), of drukverschil meting (gesloten vaten) zoals in hoofdstuk 3.2.2. zijn behandeld.

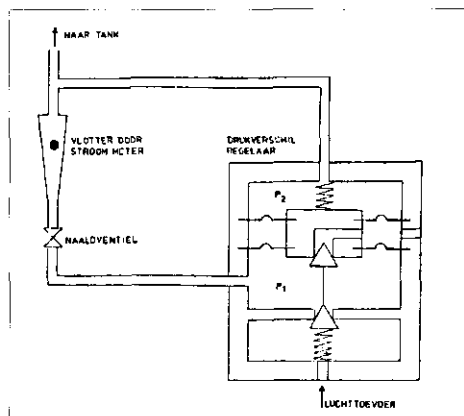
Bovendien worden de pneumatische en elektronische druk in drukverschilzenders werkend volgens de krachtenbalans methode toegepast (zie hoofdstuk 3.2.3.).

Voordelen van deze systemen zijn:

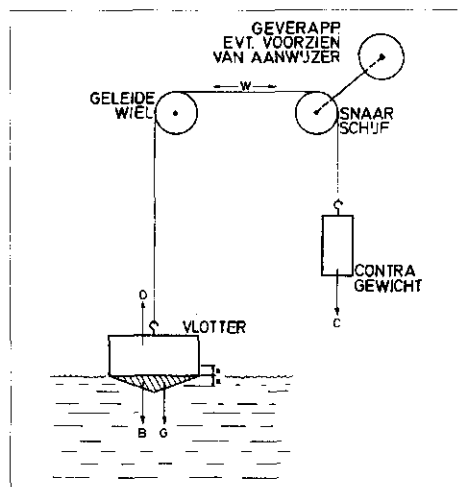
- grote nauwkeurigheid (ca. $\pm 0,5$ %) en goede reproduceerbaarheid;



Afb. 36 - Niveaumeting d.m.v. borrelbuis.



Afb. 37 - Niveaumeting d.m.v. borrelbuis, schema van de werking van de drukverschilregelaar.



Afb. 38 - Vlotterniveau meet-installatie.

- instelbaar 0-punt (elevatie);
- instelbaar meetgebied;
- aanwijziging op afstand door elektrisch of pneumatisch signaal;
- mogelijkheid in het uitgaande signaal opnemen van grenswaarde melders voor stuurfuncties, alarmen enz.

4.1.2. Niveaumetingen volgens de borrelbuis methode

Bij deze methode wordt de hoogte van een vloeistofkolom bepaald door het meten

van de druk die nodig is om een gas (normaal lucht) door deze vloeistofkolom te laten stromen.

In afb. 36 is de meetinstallatie aangegeven. Bij normaal borrelende buis, d.w.z. als de borrelbuis geheel met lucht is gevuld, is de druk p_2 gelijk aan de druk van het water aan de onderzijde van de borrelbuis. Daar $p_2 = \rho gh$ (Pa) is de druk in het systeem een maat voor de hoogte h van de vloeistof.

Op deze druk wordt een drukmeter, regelaar enz. aangesloten waarvan de schaal op het niveau is geijkt.

Daar de luchttoevoer konstant (zo klein mogelijk) moet zijn en bovendien goed ingesteld en gecontroleerd moet kunnen worden, gebruikt men een drukverschilregelaar, een vlotterdoorstroom meter (rotameter) en een naaldventiel e.e.a. is in afb. 37 aangegeven.

Voordelen:

- instrumenten voordelig in prijs;
- nauwkeurigheid binnen ± 1 % van het meetgebied te krijgen.

Nadelen:

- geén standaard uitgangssignaal (3 - 15 psi) zoals bij niveaumeting met drukverschilzenders;
- systeem is vrij kwetsbaar en vraagt veel toezicht.

4.2. Metingen berustend op de door de vloeistof uitgeoefende opwaartse kracht

Hierbij gebruikt men vlotters welke op de vloeistofspiegel drijven.

In afb. 38 is een meetinstallatie aangegeven bestaande uit een vlotter, contragewicht en verbindingdraad die het geveerapparaat via een snaarschijf aandrijft.

Het geveerapparaat kan voorzien zijn van een zender in de vorm van een potentiometer, meet omvormer of dergelijke en eventueel een directe aanwijzing. De vlotter wordt met wat zand gevuld teneinde voldoende ballast te verkrijgen (vergroting stabiliteit).

Noemen we:

O = opwaartse kracht op vlotter

B = ballast

G = gewicht vlotter

C = contra gewicht ($c > w$)

W = wrijving + aandrijfkraft geveer app.

In rust geldt nu:

$$O = G + B - C$$

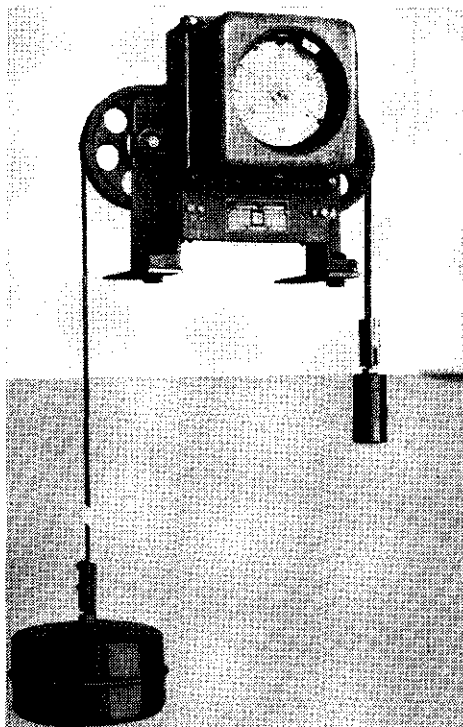
Bij stijgend niveau geldt:

$$O = (G + B - C) + W$$

Bij dalend niveau geldt:

$$O = (G + B - C) - W$$

We zien dat de opwaartse kracht die in de



Afb. 39 - Niveaugever type FFA.

rusttoestand aanwezig is, bij stijgen *groter* en bij dalen *kleiner* moet worden met een bedrag gelijk aan W . Aannemende dat bij stijgen en dalen $W = (\text{wrijving} + \text{aandrijfkracht gever apparaat})$ even groot zijn. Daar de opwaartse kracht gelijk is aan het gewicht van de door de vlotter verplaatste hoeveelheid vloeistof, zal t.o.v. de ruststand gezien bij stijgend niveau de vlotter een stukje dieper gaan liggen en bij dalend niveau een stukje a omhoog komen.

De totale hysteresis in het systeem bedraagt: $2(a + \text{speling in tandwielen} + \text{naijling tussen ontvanger en gever})$.

Teneinde de hysteresis in het systeem te verkleinen, hetgeen vooral belangrijk is bij kleine meetgebieden dient o.a. de afstand a zij klein mogelijk te zijn, hetgeen we bereiken door:

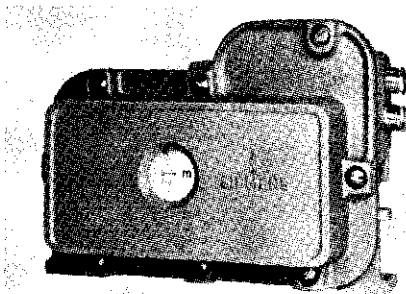
1e. vlotters van redelijk grote diameter, zodat bij een kleine vloeistof stijging of daling de opwaartse kracht voldoende groter resp. kleiner wordt;

2e. $W = \text{wrijving} + \text{aandrijfkracht gever}$ zo klein mogelijk dus lichtlopende systemen grote snaarschijf enz. kiezen.

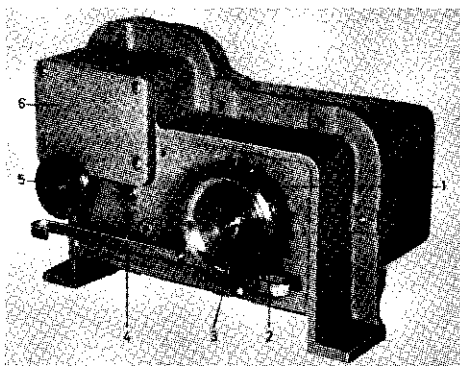
Verder bereiken we een kleine hysteresis voor het kiezen van spelingvrije tandwielen en te zorgen dat naijling van ontvanger t.o.v. gever zo klein mogelijk is.

Hieronder nog een aantal algemene opmerkingen over vlotterniveaumetingen:

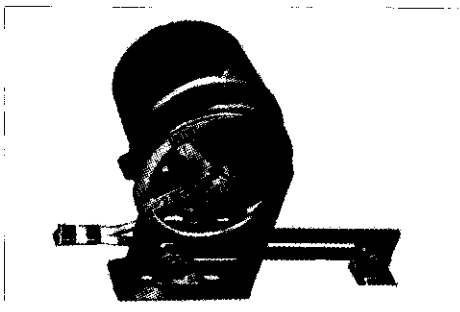
a. Vlottermetingen zijn zeer nauwkeurig en betrouwbaar, mits men bij de konstruktie met bovengenoemde aspecten rekening houdt.



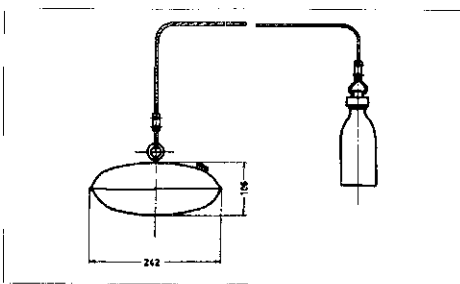
Afb. 40 - Niveaugever type H18 voorzijde.



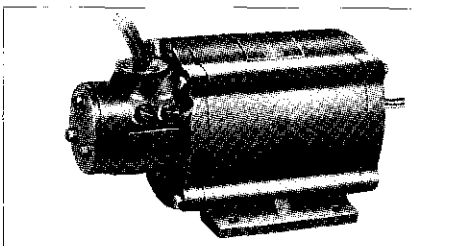
Afb. 41 - Niveaugever type H18 achterzijde.



Afb. 42 - Niveaugever type TFNE met ingebouwde meetvormer voor hoekverdraaiing.



Afb. 43 - Vlotter, vlotterkabel en contra gewicht voor niveaugever TGNE.



Afb. 44 - Selsynunit type S 1406 B.

b. De *directe* aanwijzing op de gever is veelal onafhankelijk van de voedingsbron in de vorm van elektriciteit of instrumenten lucht hetgeen een belangrijk voordeel is. De werking van de ontvangers is wel afhankelijk van de energievoorziening.

c. Voorkomen dient te worden dat de verbindingsdraad gaat slippen, men ziet daarom o.a. uitvoeringen in geperforeerde band of ketting en getande snaarschijf.

d. Bij veel meetgevers is het mogelijk instelbare kontakten aan te brengen, bijv. alarmen e.d.

e. Veel meetgevers bezitten als zender een potentiometer welke op zijn beurt weer metingen op afstand, of servosystemen met kontakten kan besturen, zie bijv. het servo-systeem in afb. 6 en 7 van hoofdstuk 2.1.3. Over potentiometers zijn bijzonder veel opmerkingen te maken, o.a.:

groot aantal windingen zodat je groot oplossingsvermogen hebt (bijv. Multiturn potmeters); draaimoment moet gering zijn (gebruik van kogellagers);

geringe lineariteits fout;

slijtvaste draad vooral als looper veel op zelfde plaats staat (bij konstant niveau); goed kontakt tussen looper en draad, geen oxidatie;

bij spanningsdeling-schakeling denken om het op de juiste wijze aansluiten van de elektrische bedrading;

(niet de + of — op de looper dan ontstaat kortsluiting in een der uiterste standen); denk om toegestane vermogen.

f. In vele gevallen is een buis nodig waarin de vlotter drijft, zodat de vlotter niet afdrijft en zich in een wat rustiger wateroppervlak bevindt.

g. Teneinde corrosie te voorkomen worden de veelal rood koperen vlotters geplastificeerd, terwijl het contra gewicht van rvs wordt gemaakt.

h. Naast de geverapparaten met potentiometer worden ook gevers gebruikt welke een meetvormer voor hoekverdraaiing bezitten zoals in afb. 22 en 23 hoofdstuk 3.2.1. aangegeven een voorbeeld hiervan zal worden getoond.

i. Tenslotte kan het overbrengen van de draaiende beweging van het geverapparaat zeer nauwkeurig geschieden d.m.v. een elektrische as (selsyn), waarbij men aan de ontvangstzijde een zeer nauwkeurige aanwijzing en tevens een flink moment beschikbaar heeft voor bijv. het aandrijven van een kontaktenwals. Ook op dit systeem zullen we nog terugkomen.

4.2.1. Vlotterniveaumetingen met potentiometer

In afb. 39 is het type FFA afgebeeld voor

niveaumetingen in watertorens, reinwaterkelders enz. De vlotter en het contragewicht zijn hier opgehangen aan een geperforeerd roestvrij stalen band die over een getand wiel loopt, waardoor slippen wordt voorkomen. Door toepassen van een potentiometer van grote diameter wordt het oplossingsvermogen vergroot, tevens is het toepassen van dikkere draad mogelijk waardoor de slijtvastheid wordt vergroot. Ook is het mogelijk het instrument te voorzien van een deelmeetbereik naast de totaalmeting waardoor de nauwkeurigheid en de afleesbaarheid worden verbeterd. Prettig is de grote schaal voor aflezing ter plaatse. Materiaal van het huis is lichtmetaal in WD uitvoering. Het instrument haalt een nauwkeurigheid van $\pm 0,25\%$ van het meetgebied.

In afb. 40 en 41 is het type H18 aangegeven. Dit type wordt voor dezelfde doelen gebruikt als het bovenstaande. Dit type werkt m.b.v. een ketting van roestvrijstaal of koperlegering die over een getand wiel loopt. De nauwkeurigheid bedraagt $\pm 1\%$ van het meetgebied. Het is mogelijk het instrument te voorzien van een deelmeetbereik naast de totaalmeting. Materiaal van het huis is gietijzer in WD uitvoering.

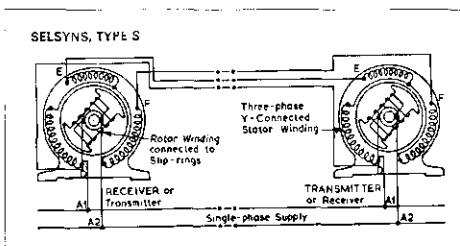
4.2.2. Vlotterniveaumetingen met meet-omvormer voor hoekverdraaiing

In afb. 42 is de niveaugever type TGNE afgebeeld welke voorzien is van een meetvormer voor hoekverdraaiing. Deze systemen zijn reeds in hoofdstuk 3.2.1 t.b.v. aanwijzende manometers behandeld. Het uitgangssignaal is 0 - 20 mA, dus direct bruikbaar voor div. meetinstrumenten.

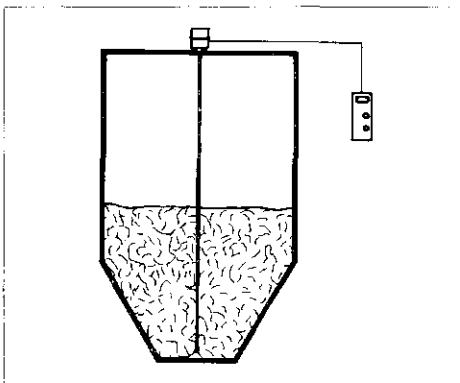
De nauwkeurigheid is $\pm 1\%$ van het meetgebied. Het huis is van lichtmetaal in WD uitvoering. In afb. 43 zijn vlotter, vlotterkabel en contragewicht aangegeven.

4.2.3. Vlotterniveaumetingen met selsyn installatie

In afb. 44 en 45 is dit systeem voor meting en vooral schakeling op afstand van meerdere hulpkontakten, aangegeven. Zender en ontvanger zijn hetzelfde uitgevoerd, de zender wordt echter door de vlotter en het contragewicht aangedreven, terwijl de draaiende beweging op de zender nauwkeurig wordt gevolgd door een draaiende beweging van de ontvanger. Deze ontvanger (max. op enkele honderden m afstand) kan worden voorzien van een aanwijsschaal en een contactenwals. De ontvanger kan een max. koppel leveren van 1,8 kgcm. Van beide machines zowel zender als ontvanger wordt het poolrad gevoed door bijv. 220 V. Deze spanning dient als het systeem meerdere omwentelingen maakt over het gehele meetgebied, veilig te worden gesteld, daar bij netspanningsuitval de zender wel met het niveau mee draait,



Afb. 45 - Principeschema voor aansluiten van zender en ontvanger voor selsyn units type S 1406 B.



Afb. 46 - Capacitieve niveaumeting.

maar de ontvanger niet. Bij maar één omwenteling over het gehele meetgebied komen zender en ontvanger na 0-spanning weer in de pas. Het systeem is bij juiste keuze van onderdelen zeer nauwkeurig te krijgen.

4.3. Elektrische meetmethoden

Afb. 46 geeft een voorbeeld van capacitieve niveaumeting. Een van het vat geïsoleerde elektrode wordt in de vloeistof aangebracht en vormt samen met het vat een condensator.

Het dielectricum wordt gevormd door de vloeistof zodat de capaciteit van de condensator afhankelijk is van de hoogte van de vloeistof.

Door deze condensator in een elektrisch circuit op te nemen, kunnen we de stand van het niveau afleesbaar maken.

Deze meetmethode is in gebruik voor niveaumeting in gesloten vaten, bijv. water-slagketels, vacuumtanks enz.

