

## Debiet-regeling voor vonkerosie-machine : mechanisch gedeelte

**Citation for published version (APA):**

Oosterling, J. A. J. (1980). *Debiet-regeling voor vonkerosie-machine : mechanisch gedeelte*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Laboratorium voor mechanische technologie en werkplaatstechniek : WT rapporten; Vol. WT0480). Technische Hogeschool Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1980

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

ARK  
01  
WPA

WT 0480

th e

# Eindhoven University of Technology

Department of Mechanical Engineering

DEBIET-REGELING VOOR VONKEROSIE-MACHINE  
(mechanisch gedeelte)

Door: H. Oosterling

PT-rapport nr. 0480

mei 1980



**Division of Production Technology**

Eindhoven  
Netherlands

## Inhoud.

Inleiding.		1
Hfdst 1	Debiet-regeling van het diëlektricum	2
2	De opbouw van de regelkring	4
3	De praktische uitvoering van de regelkring	6
3.1.	de specificaties van de regelkring	
3.2	het meetorgaan	
3.3	het corrigerend orgaan	
3.4	het regel orgaan	
4	Stabiliteit van de regelkring	14
5	Metingen aan de regelkring	18
6	Drukvariaties in de werkspleet	20
appendix A	Elektromagnetische vloeistofsnelheids-meting	26
B	Ultrasone doppler bloedsnelheids-meting	28
C	Vermogens-dissipatie in de regelkring	30
D	Keuze regelkleppen	31
E	Niet lineaire elementen	39
F	Documentatie en constructie - tekeningen.	44

## Inleiding.

In het kader van mijn studie aan de Technische Hogeschool te Eindhoven bij de afdeling der werktuigbouwkunde, heb ik mijn I<sub>1</sub>- stage gedaan bij de afdeling fysische bewerkingen van de vakgroep Produktie-technologie.

De opdracht luidde: het ontwerpen van een debiet-regeling voor een vonkersiemachine.

Het mechanisch gedeelte hiervan moest door mij volledig uitgewerkt worden. Het elektrisch en elektronisch gedeelte hiervan is door andere mensen uitgezocht, evenals het software-gedeelte ( er is een microcomputer opgenomen in de regeling).

Han Oosterling.

mei 1980.

## Hoofdstuk 1 Debiet-regeling van het diëlektricum.

Door tussen 2 elektroden, die door een diëlektricum gescheiden zijn, vonken te laten overspringen, worden kratertjes geslagen in het oppervlak van de elektroden; op deze manier wordt materiaal verwijderd.

De energie voor dit vonkerosief bewerken wordt in de vorm van elektrische pulsen toegevoerd ( fig 1 )

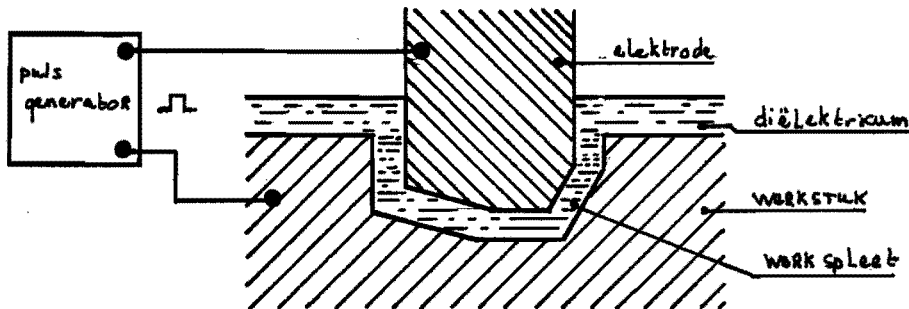


fig 1 principe vonkerosie

Het diëlektricum speelt een belangrijke rol bij het vonkerosieproces.

- De belangrijkste taak is het verwijderen van de metaaldeeltjes uit de spleet tussen werkstuk en elektrode door spoeling. Als dit niet goed gebeurt, treedt vervuiling van de werkspleet op met als gevolg kortsluiting tussen de 2 elektroden.
- Als de vloeistof te snel door de werkspleet stroomt, blaast deze als het ware de vonk uit. De stroomsnelheid mag niet te groot zijn.
- In verband met een goede, constante oppervlakte-kwaliteit en een goede maatvoering van het produkt, is het noodzakelijk, dat de stroomsnelheid van het diëlektricum in de werkspleet constant gehouden wordt, ( fig 2 )  
Omdat aan deze eis moeilijk voldaan kan worden, wordt genoeg genomen met de benadering, dat het vloeistof-debiet constant moet zijn.

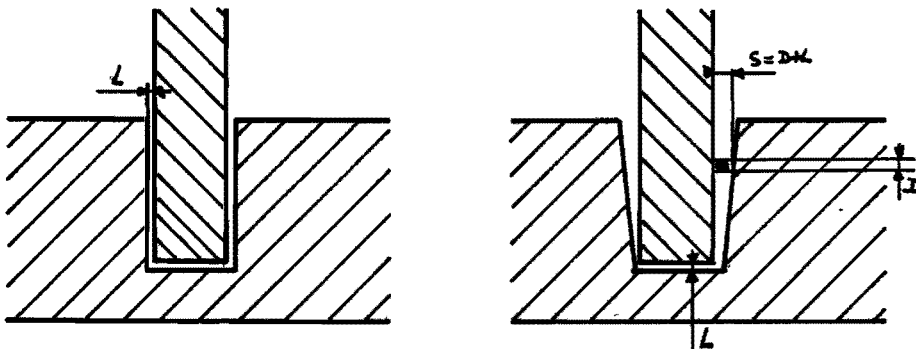


fig 2 vervuiling in de werkspleet: slechtere maatvoering.

Tijdens het vonkerosieproces, zoals in fig 1 geschetst, zinkt het gereedschap langzaam in het werkstuk. De drukval over de werkspleet zal dus toenemen.

Om het vloeistof debiet nu constant te houden, is een automatische regeling nodig, een stabiliserings-regeling.

Het gehele vonkerosieproces wordt door een adaptieve regeling, in dit geval een microcomputer, geregeld.

De debiet regeling moet hier op aan te sluiten zijn.

De andere eisen, die aan de debiet-regeling gesteld worden, worden in de volgende hoofdstukken behandeld.

## Hoofdstuk 2 De opbouw van de regeling.

Een automatische regeling bestaat normaliter tenminste uit de volgende onderdelen ( fig 3 ):

- proces
- meetorgaan
- regelorgaan
- corrigerend orgaan; -bedienend element  
( bijv motor )
- corrigerend element  
( bijv klep )

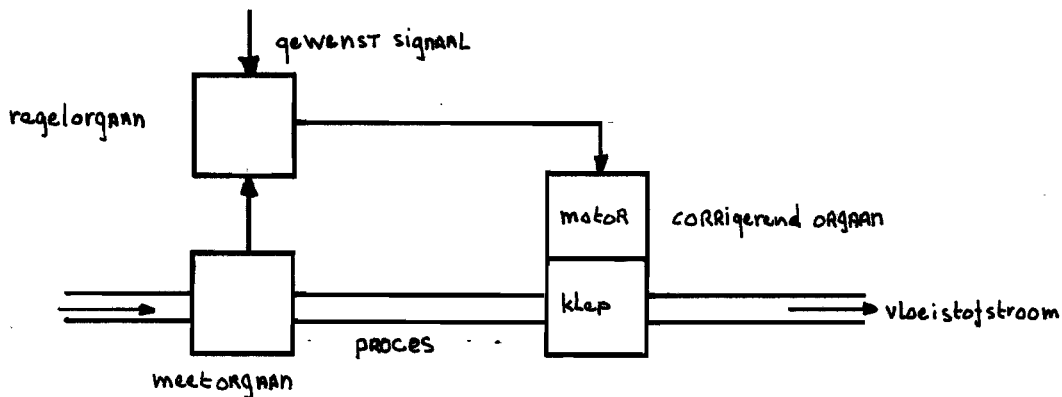
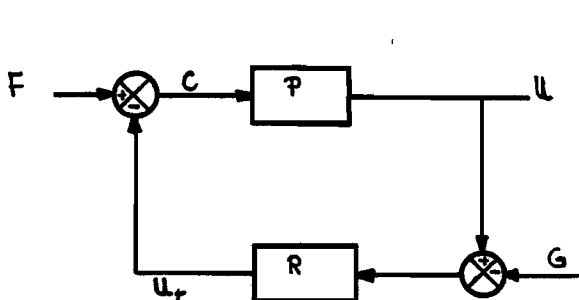


fig 3 automatische regelkring voor debiet regeling.

Iedere regelkring is te herleiden tot een algemeen geldende standaard-regelkring. Het standaardschema van zo'n regelkring vindt u in fig 4.



- F = fout (storing)
- C = corrigerend signaal
- G = gewenst signaal
- P = proces-overdracht-functie
- R = regelaar\* overdrachtsfunctie
- \* regelaar = meetorgaan + regelorgaan + corrigerend orgaan.

fig 4 standaard schema regelkring.

Uit dit schema kan voor sinusvormige variaties  $\bar{F}$ ,  $\bar{U}$  en  $\bar{G}$  in respectievelijk  $F$ ,  $U$  en  $G$  worden afgeleid:

$$\bar{U} = \frac{P}{1+PR} \cdot \bar{F} + \frac{PR}{1+PR} \bar{G} \quad (2.1)$$

Zoals in hfdst 1 reeds gesteld, gaat het hier om een stabilisering- regeling.

Dit houdt in :  $F$  is variabel;  $\bar{F}(t) \neq 0$

$G$  is constant;  $\bar{G}(t) = 0$

Het schema kan nu herleidt worden tot fig 5, waarbij:

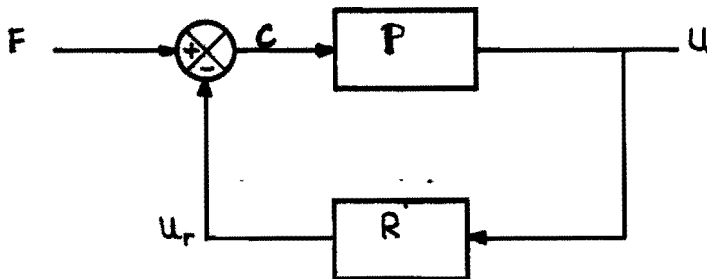


fig 5 stabiliserings regeling

P overdrachts-functie proces : in dit geval een leiding  
 ingangsgrootheid = drukverschil  
 uitgangsgrootheid = flow

R overdrachtsfunctie regelaar

U vloeistof debiet

$U_r$  geregelde flow

$F$  druk in het systeem  $F = F_c + \bar{F}$

met  $\bar{F}$  { drukvariatiies in de aanvoerleiding  
 (drukvariatiies in het vonkerosieproces

Voor de stabiliserings regeling geldt

$$\bar{U} = \frac{P}{1 + PR} \cdot \bar{F} \quad (2.2)$$



### Hoofdstuk 3 De praktische uitvoering van de regelkring.

In dit hoofdstuk wordt eerst een eisenpakket gegeven, waaraan de regeling moet voldoen.

Daarna worden de afzonderlijke delen van de regelkring, te weten meetorgaan, corrigerend orgaan en regelorgaan, behandeld.

#### 3.1. De specificaties van de regelkring.

De regeling moet aan de volgende gegevens beantwoorden:

- de drukval over het vonkerosieproces varieert van 0 tot 7 bar ( $\approx 0,7$  MPa)
- het debiet varieert van  $0,1 \text{ cm}^3/\text{sec}$  tot  $100 \text{ cm}^3/\text{sec}$  met een onnauwkeurigheid van  $\pm 10\% \pm 0,05 \text{ cm}^3/\text{sec}$
- gegevens over het dielektricum:
  - het is een alifaat: een zeer sterk ontvettende koolwaterstof
  - kinematische viscositeit:  $2 \cdot 10^{-6} < \nu < 3 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2/\text{s]}$
  - soortelijke massa:  $0,70 < \rho < 0,8 \text{ [gr/cm}^3]$
  - de aanwezige verontreiniging bestaat uit min of meer bolvormige deeltjes met een diameter van 5 tot  $10 \mu\text{m}$  het materiaal kan zijn staal, koper, koolstof. maximale verontreiniging 1 vol%.

#### 3.2. Het meetorgaan

Om tot een verantwoorde keuze van het meetorgaan te komen zijn 3 verschillende meetmethoden onderzocht:

- de elektromagnetische vloeistofsnelheidsmeting
- Om redenen, beschreven in appendix A, is deze methode niet geschikt voor dit probleem.
- de ultrasone-doppler-vloeistofsnelheidsmeting  
Ook deze meetmethode kan hier niet toegepast worden (appendix B)
- vloeistofdebietmeting d.m.v. drukvalmeting over een restrictie met bekende weerstandswaarde. Deze methode blijkt geschikt te zijn voor de regeling en is dan ook toegepast.

Het principe van debietmeting d.m.v. drukvalmeting is in fig 6 weergegeven.

Het verband tussen het debiet  $q$  en het drukverschil  $\Delta p$  wordt gegeven door formule 3.1.

$$q = C_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \cdot v \quad (3.1)$$

- met  $q$  = debiet door de weerstand  $[\text{L}^3\text{T}^{-1}]$   
 $\Delta p$  = drukval over de weerstand  $[\text{NL}^{-2}]$   
 $\rho$  = soortelijke massa  $[\text{ML}^{-3}]$   
 $v$  = correctie-factor voor de viscositeit van de vloeistof  
 $C_v$  = weerstandswaarde  $[\text{L}^2]$

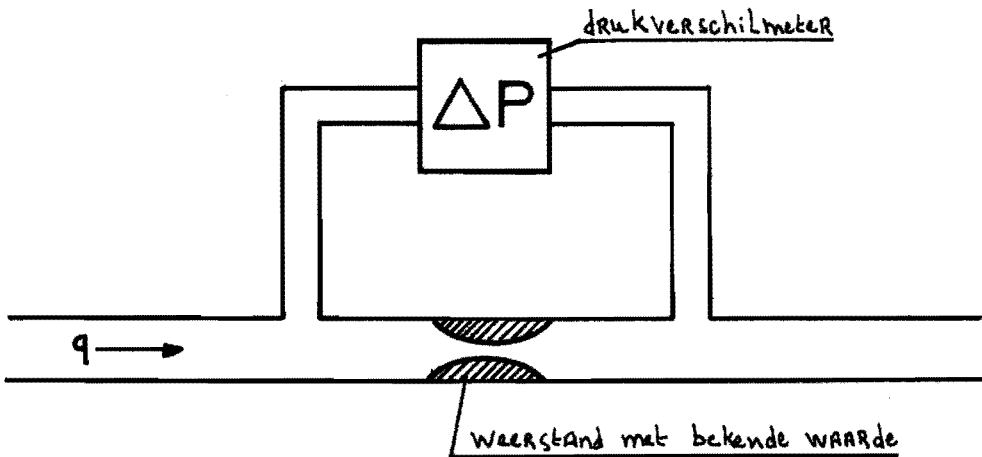


fig 6 flowmeting d.m.v. drukvalmeting.

In verband met het grote regelbereik (  $1 \div 1000$  ) en het feit, dat de regeling door een microcomputer geregeld wordt, is gekozen voor een systeem van 10 parallel geschakelde weerstanden, die ieder afzonderlijk in te schakelen zijn m.b.v. een elektrisch gestuurde klep ( fig 7 ). De weerstandswaarde is zo gekozen, dat bij gelijkblijvende drukval  $\Delta p$ , de flow door een weerstand steeds het dubbele is van de flow door de vorige weerstand ( tabel 3.1. ), te beginnen bij  $0,1 \text{ cm}^3/\text{sec}$  bij  $\Delta p = 0,8 \text{ bar}$ .

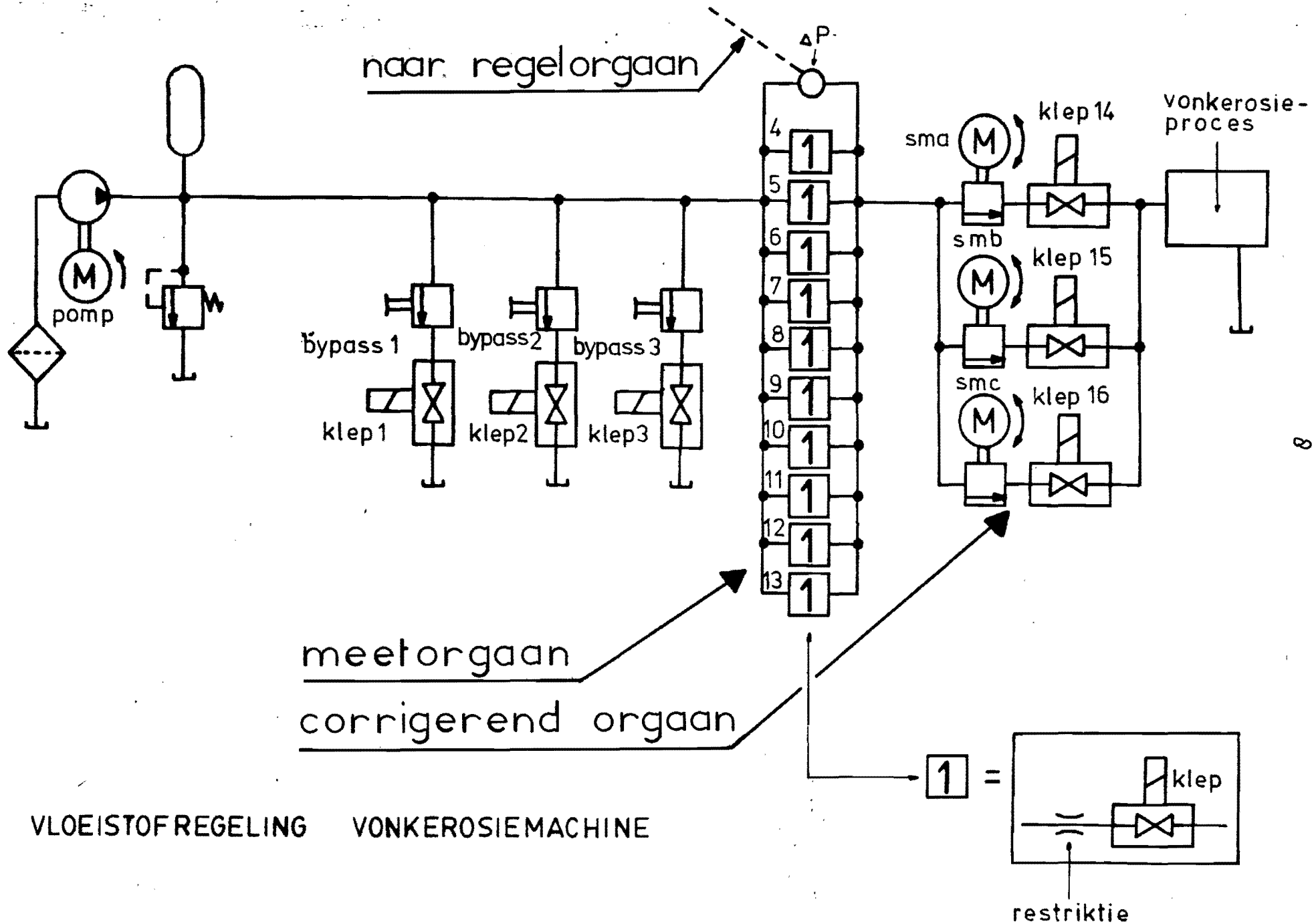


fig.7. VLOEISTOFREGELING VONKEROSIEMACHINE

codenummer van de weerstand	weerstandswaarde ( lohms )	debiet (cm <sup>3</sup> /sec	gewenst (cm <sup>3</sup> /sec	afwijking ( %)
VDCA 4325 460H	46000	0,103	0,1	+ 3
VDCA 1835 240H	24000	0,198	0,2	- 1
VDCA 6815 124H	12400	0,384	0,4	- 4
jeta 1875 6000	6000	0,794	0,8	- 1
jeta 1875 3000	3000	1,589	1,6	- 1
jeta 1875 1500	1500	3,178	3,2	- 1
jeha 1875 750L	750	6,356	6,4	- 1
jeha 1875 375L	375	12,88	12,8	+ 1
jeha 1875 200L	200	23,83	25,6	- 6
	100	47,67	51,2	- 6

tabel 3.1. : flow door de weerstanden bij een drukval  $\Delta p = 0,8$  bar over de weerstanden. ( de weerstanden zijn geleverd door de firma LEE )

de gebruikte formule luidt:

$$q = \frac{4767}{L} \cdot v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (3.2)$$

- q = vloeistof debiet in cm<sup>3</sup>/sec
- p = drukval in bar
- p = soortelijke massa in gr/ cm<sup>3</sup>
- v = correctiefactor voor de viscositeit
- 4767 = omrekenfactor i.v.m. de gekozen eenheden
- L = weerstandswaarde in lohms
- lohms = een door de fabricant van deze weerstanden ingevoerde grootte ( zie LEE : technical hydraulic handboek blz 267 )

In dit geval geldt:  $0,1 < q < 100$  cm<sup>3</sup>/sec  
 $\Delta p = 0,8$  bar  
 $\rho = 0,8$  gr/cm<sup>3</sup>  
 $v = 1$

waaruit volgt:

$$q = \frac{4767}{L} \quad \text{cm}^3/\text{sec}$$

De meeste vloeistof-restricties zijn uitgevoerd als een pijp met een boring van een bepaalde diameter ( fig 8 ). Naarmate de weerstandswaarde groter wordt, wordt de doorstroomopening kleiner en de kans op verstopping groter.

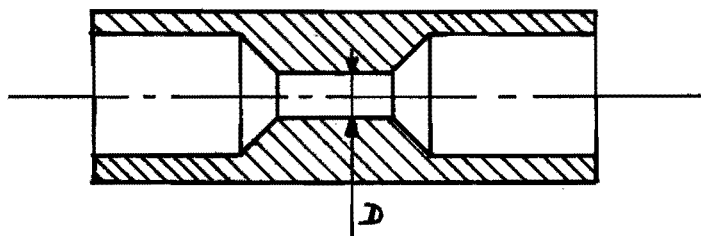


fig 8 vloeistofweerstand met 1 doorstroomopening.  
 $\varnothing D$  is bepalend voor de weerstandswaarde.

Omdat we hier met een verontreinigde vloeistof te maken hebben, is voor de hoge weerstandswaarden een ander type restrictie toegepast ( fig 9 ). De weerstand wordt hier opgebouwd door de vloeistof steeds van draairichting te veranderen.

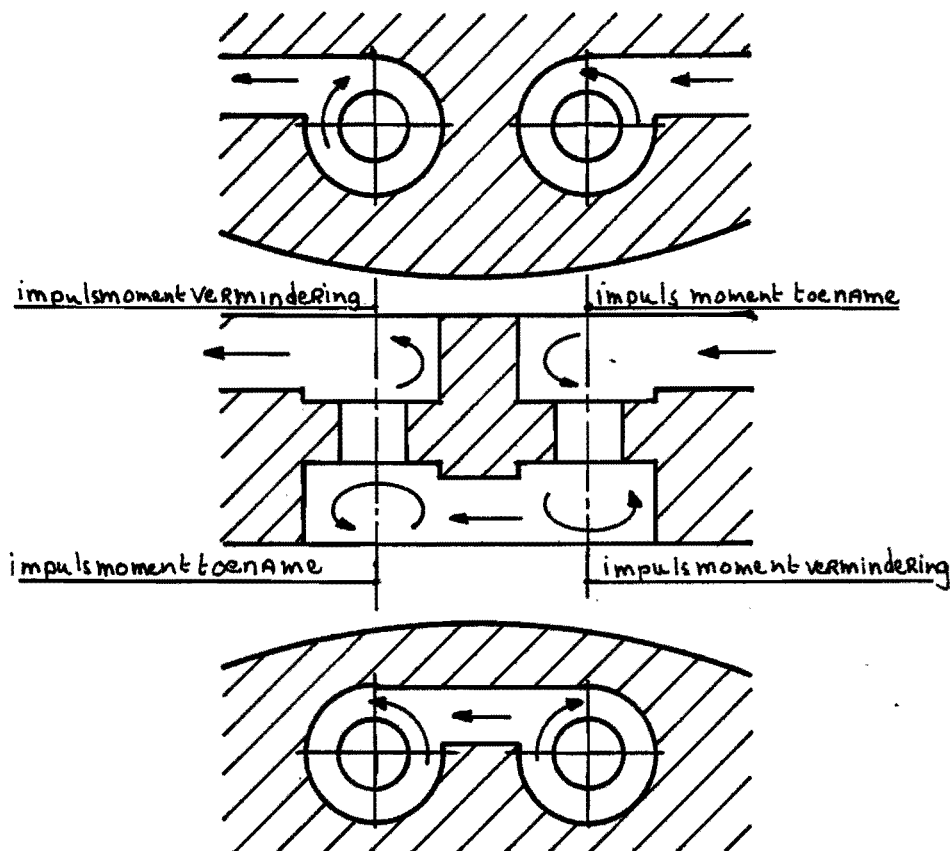


fig 9. het principe van een viscojet weerstand met labijrintkanaal.

De waarde van de drukval over de weerstand is niet willekeurig gekozen. Een drukval van 10 bar zou te veel vervorming van de vloeistof opleveren en een drukval van 0,1 bar zou te veel ruis in het meetsignaal geven, om nog van een betrouwbare meting te kunnen spreken. Ook in verband met de beschikbare weerstandwaarden is een drukval van 0,8 bar gekozen. De weerstanden, zoals hier toegepast, worden geleverd door de firma Lee.

In appendix C wordt wat gerekend aan de vermogendissipatie in de regeling.

De drukverschilopnemer is met rekstrookjes uitgevoerd. Een inductieve opnemer pikt te veel stoorsignalen op uit het vonkerosieproces.

De kleppen om de restricties in of uit te schakelen zijn kleppen, die ook toegepast worden in wasmachines. Door hun werking zijn ze wat traag, maar dat heeft geen nadelige invloed op de regelkring, omdat bij het constant houden van een bepaalde vloeistofstroom, de klepstanden van de restrictiekleppen en andere kleppen niet veranderd worden ( fig 10 ). Alleen het veranderen van het te leveren debiet gaat hierdoor langzamer.

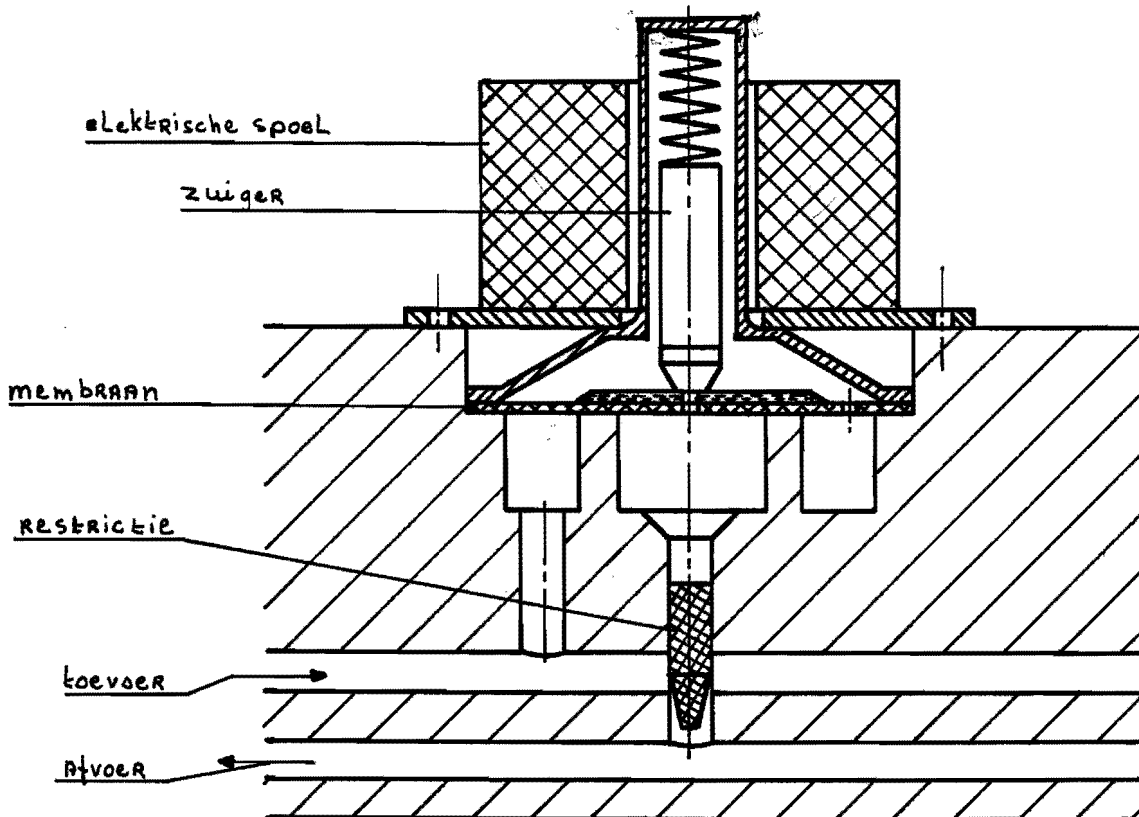


fig 10 doorsnede van een klep + weerstand

### 3.3. Het corrigerend orgaan.

Zoals reeds gesteld in het vorige hoofdstuk, is een corrigerend orgaan opgebouwd uit een bedienend en een corrigerend element. In dit geval is het bedienend element een elektrische stappenmotor en het corrigerend element een regelventiel.

Het gebruik van een stappenmotor-gestuurd regelventiel impliceert, dat de regeling niet geschikt is voor het stabiliseren van snelle veranderingen ( $f > 1 \text{ Hz}$ ), maar slechts langzaam veranderde drukken kan regelen, zoals de druktoename over de werkspleet tijdens het zinken van het gereedschap ( $f < 0,01 \text{ Hz}$ ).

In verband met het grote regelbereik ( $0,1 \div 100 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ) is het regelgebied verdeeld in 3 stukken:

$0,1 \div 1$	$\text{cm}^3/\text{sec}$
$1 \div 10$	"
$10 \div 100$	"

Voor ieder gebied is er een regelventiel met magneetklep en stappenmotor. De drie combinaties regelventiel - klep staan parallel (fig 7)

De eisen die aan de regelventielen gesteld worden zijn hieronder opgesomd.

- de weerstandswaarde moet zo in te stellen zijn, dat bij een drukval over het ventiel, variërend van 1 tot 11 bar het volledige regelgebied nog te halen is.  
De eis van 11 bar komt voort uit de 7 bar procesdrukval en de oorspronkelijk geplande 4 bar drukval over de restricties.
- In verband met de eigenschappen van de vloeistof zijn vitonafdichtingen noodzakelijk.
- Een probleem dat bij het kleinste regelventiel optreedt, is dat de doorgang niet te klein mag zijn in verband met de verontreiniging in de vloeistof
- De sterk ontvettende eigenschappen en ook de harde metaaldeeltjes in de vloeistof maken het noodzakelijk, dat de afdichting tussen de vloeistof en de schroefdraad van de naald is geplaatst en niet achter de schroefdraad.  
Zou dit wel het geval zijn, dan zou het regelventiel steeds zwaarder gaan lopen en het voor de bediening benodigde koppel groter worden dan het atarkoppel van de stappenmotor.

Dit pakket van eisen heeft geresulteerd in de keuze van de volgende regelkleppen: ( zie appendix D ).

- 0,1 - 1 cm<sup>3</sup>/ sec fine metering valve 55-6 SG (MM) Nupro  
 in 10 slagen open  
 Max flow bij 1 bar : 1,1 cm<sup>3</sup>/sec  
 Min flow bij 11 bar: <0,05 cm<sup>3</sup>/sec  
 Max grootte verontreiniging ; 15 µm diameter
- 1 - 10 cm<sup>3</sup>/ sec fine metering valve 55 - 4 MG / 6 MM Nupro  
 in 10 slagen open  
 Max flow bij 1 bar ; 11 cm<sup>3</sup>/sec  
 Min flow bij 11 bar : <0,5 cm<sup>3</sup>/sec
- 10 - 100cm<sup>3</sup>/ sec screwed bonnet regulation valve SS-3 NTRF4  
 Whitey in 9 slagen open  
 Max flow bij 1 bar : 92 cm<sup>3</sup>/sec  
 Min flow bij 11 bar : 0 cm<sup>3</sup>/sec

De enige eis, die aan de stappenmotor wordt gesteld, is dat het startkoppel voldoende groot is om het regelventiel te bedienen.

Gegevens over de stappenmotor, die hier is toegepast:

stappenmotor ID 27 9904 112 27001

stap angle 7° 30'

max frequentie = 100 Hz ; dus maximaal 100 stappen per seconde.

#### 3.4. Het regelorgaan.

Het regelorgaan is hier een microcomputer.

Het programma voor deze regeling is geschreven door P. van Aerle.  
 PT-rapport nummer WPT 0474.

In grote lijnen gebeurt het volgende:

De hoofdmicrocomputer geeft opdracht tot het instellen van een bepaalde flow. De microcomputer van deze regeling opent de bij deze flow behoorde kleppen van de restricties en het regelventiel. Ook geeft de computer signalen aan de moter van de pomp om met een van te voren ingesteld vast toerental te draaien. Indien noodzakelijk kunnen nog bijpassen geopend worden. ( of dit noodzakelijk is moet nog onderzocht worden).

Nu geeft de computer signalen aan de stappenmotor, zodanig dat de drukval over de restricties, binnen de tolerantie-grenzen, op een vooraf ingestelde vaste waarde wordt gehouden. ( voorlopig 0,8 bar )



#### Hoofdstuk 4 De Stabiliteit van de regelkring.

Het proces dat geregeld wordt ( fig 4 ) is een proces met een dominante looptijd. We hebben voornamelijk te maken met een leiding, waar aan de ene kant iets ingaat en een tijdje later aan de andere kant er weer uit komt.

Voor het proces van de vonkerosiemachine geldt:

$$\text{looptijd } \delta = \frac{L}{V} = \frac{0,1}{1000} = 0,1 \mu\text{sec} \quad (4.1)$$

met  $L$  = lengte leiding ( m )

$V$  = voortplantingssnelheid van drukgolven in het diëlektricum ( m/s )

De overdrachtsfunctie van het proces is  $H(s) = e^{-s\delta}$  (4.2) ..

ook te schrijven als  $H(s) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{1 + s \frac{\delta}{n}} \right)^n$  (4.3)

Een looptijd kan dus gezien worden als een serie schakeling van 1<sup>o</sup> orde - systemen.

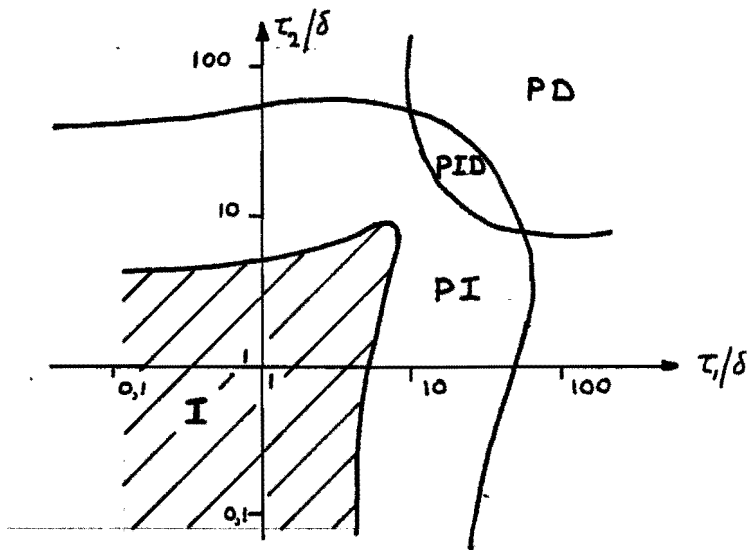


fig 11 : benodigde type regelaar bij een proces met overdrachts-functie:

$$H_p = \frac{k \cdot e^{-\tau_v \cdot s}}{(1 + \tau_1 s)(1 + \tau_2 s)}$$

De algemene uitdrukking voor een overdrachtsfunctie  $H(s)$

$$H(s) = \frac{e^{-s\delta}}{(1+\tau_1 s)(1+\tau_2 s)\dots(1+\tau_n s)} \quad (4.4)$$

met  $\tau_1 \gg \tau_2 \gg \tau_3 \dots \gg \tau_n$

kan goed benaderd worden door

$$H_p = \frac{e^{-\tau_v s}}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)} \quad (4.5) \quad \text{met } \tau_v = \delta + \sum_{i=3}^n \tau_i$$

Bij het proces van de vonkersiemachine met een dominante looptijd geldt:

$$\frac{\tau_1}{\tau_v} < 1 \quad ; \quad \frac{\tau_2}{\tau_v} < 1$$

In fig 11 zitten we dus in het gearceerde gebied. Dit is het gebied waar integrerende regelaars worden toegepast. Dit is ook nog op een andere manier te zien, door naar de nyquist-diagrammen van het proces en de regelaars te kijken (fig 12)

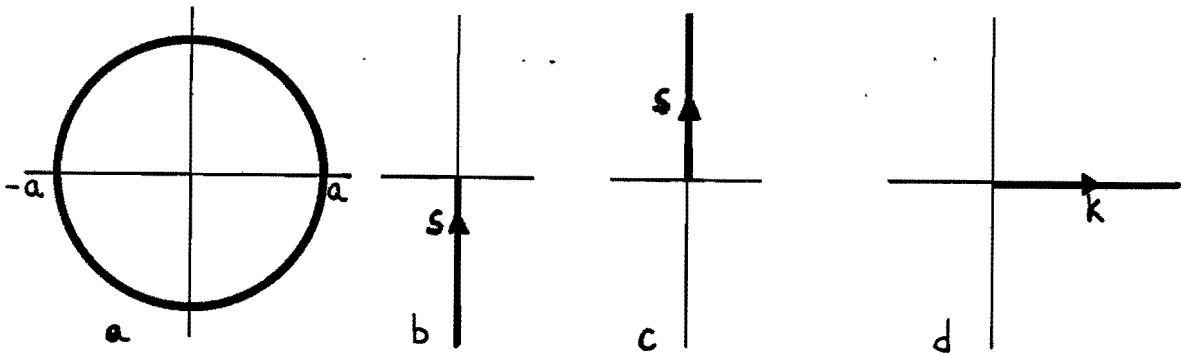


fig 12 a : polair diagram van zuivere looptijd  $H(s) = a e^{-s\delta}$   
 b : I- regelaar  $H(s) = \frac{a}{s}$   
 c : D- regelaar  $H(s) = a \cdot s$   
 d : P- regelaar  $H(s) = K$

Het polaire diagram van de rondgaande versterking van de regelaar met de verschillende regelaars is in fig 13 weergegeven.

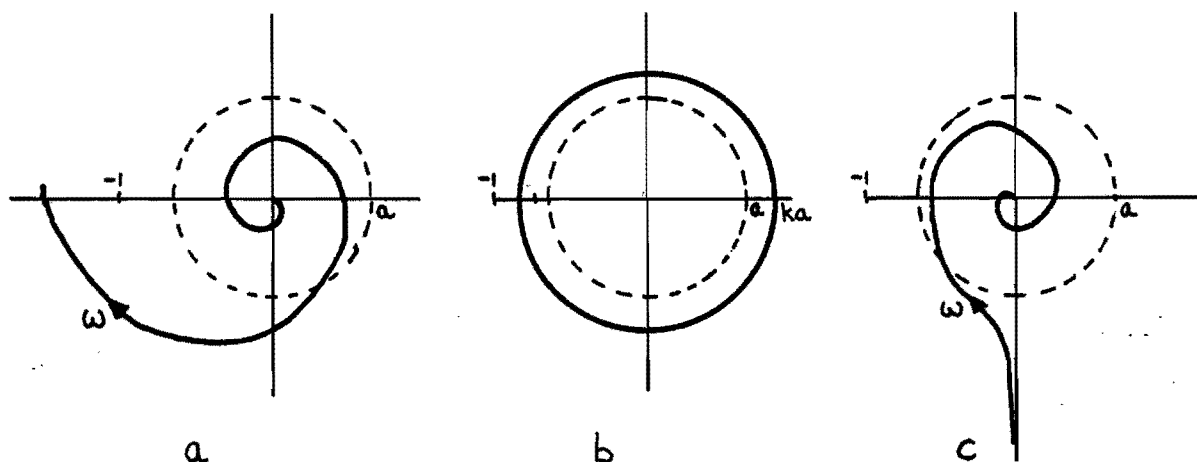


fig 13 a : rondgaande versterking van proces met D-actie  
 b : P-actie  
 c : I-actie

Alleen I regeling, eventueel gecombineerd met wat zwakke P actie, geeft het gewenste resultaat.

Bekijken we de afwijkingsverhouding AV van dit looptijdproces met I regelaar ( fig 14 ), dan zien we, dat alleen voor de lage frequenties de regelaar goed werkt: bij de hoge frequenties heeft de I actie bijna geen invloed meer.

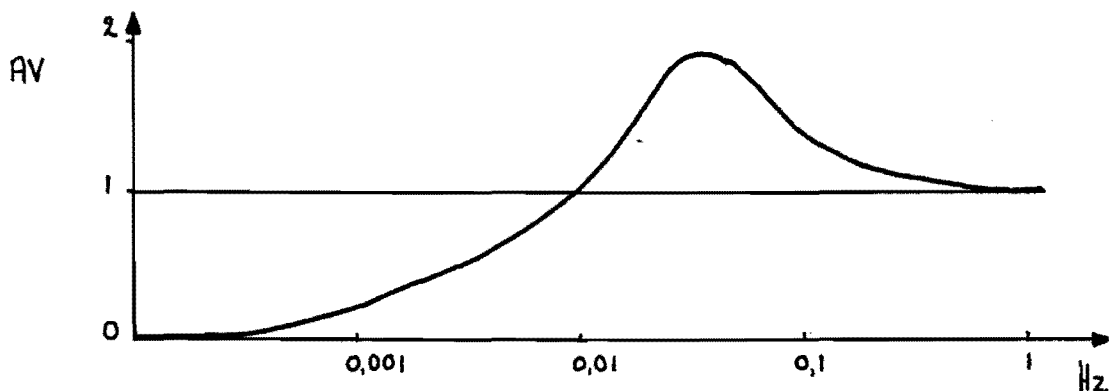


fig 14 AV - diagram van een proces met looptijd met I regelaar:

$$AV = \frac{1}{|1 + H_p|}$$

Zoals reeds gezegd, is deze debiet-regeling voor de vonkerosie-machine ook ontworpen om de invloed van de langzaam in de tijd variërende drukval over de werpspleet te onderdrukken. Het is duidelijk, dat langzame veranderingen in de toevoerdruk op dezelfde manier gecompenseerd worden.

In appendix E worden de niet-lineaire elementen in de regelkring nog nader geanalyseerd.

## Hoofdstuk 5 Metingen aan de regelkring.

Aan een deel van de regelkring, dat afgebouwd en bedrijfsklaar is, zijn ijkmetingen verricht. Dit deel bevat de restricties met bijbehorende afsluitkleppen, de  $\Delta p$  - meter en de kast met bediening-, en uitleesapparatuur. ( fig 15 ).

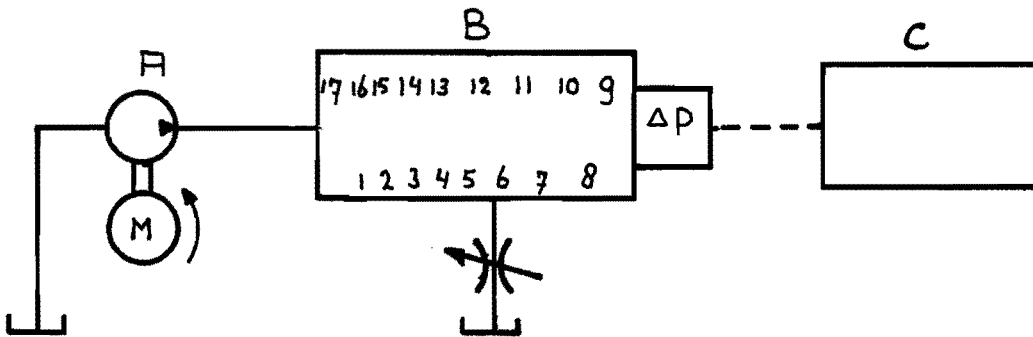


fig 15 meetopstelling voor ijkmeting van de vloeistofweerstand  
 a pomp met motor  
 b blok met - bijpasses ( 1 t/m 3 )  
           - restricties + kleppen ( 4 t/m 13 )  
           - kleppen voor de regelventielen ( 14 t/m 16 )  
           - proces-drukmeter ( 17 )  
           - verschildrukmeter  $\Delta p$   
 c bedienings-, en uitleesapparatuur.

Bij de meting is de drukval over de te ijken weerstand constant gehouden op 0,8 bar en de flow gemeten m.b.v. stopwatches en maatbekers.

Uit deze metingen is voor iedere weerstand de factor V bepaald. In het ideale geval heeft deze factor V voor iedere weerstand de waarde 1.

Uit formule ( 3.2. ) volgt 
$$V = \frac{q \cdot L}{\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \cdot 4767} \quad (5.1)$$

Uit de metingen van tabel ( 5.1 ) blijkt het volgende :

- De weerstanden van het type viscojet ( 4,5,6 ) hebben een V factor van 1,07 . Dit zijn de weerstanden met het labijrintkanaal ( fig 9 ) Bij andere weerstanden, met een enkel kanaal is  $V = 0,83$ . Deze systematische afwijking is software te compenseren.
- Tijdens de metingen is de opbrengst van weerstand 7 steeds kleiner geworden. Dit is waarschijnlijk te wijten aan een verstopping.
- Het is aan te bevelen om vóór de ingebruikname van deze weerstandbank de unit te demónteren, om allerlei verontreinigingen te verwijderen.

nummer van de weerstand	procesdruk bar	drukval restrictie p bar	tijd sec	volume cm <sup>3</sup>	debiet Q <sub>3</sub> cm <sup>3</sup> /sec	weerstandwaarde lohm	V factor	type weerstand
13	4,20	0,8	36,7	1500	40,5	100	0,850	jeha
12	4,26	0,8	49	1000	20,4	200	0,855	jeha
11	4,01	0,8	46,5	500	10,8	370	0,840	jeha
10	3,98	0,8	46	250	5,4	780	0,850	jeta
9	3,47	0,8	40	100	2,5	1500	0,790	jeta
8	3,47	0,8	40	50	1,25	3000	0,790	jeta
7	3,46	0,8	78	50	0,63	6000	0,790	jeta
6	3,45	0,8	61	25	0,42	12400	1,09	visco
5	3,45	0,8	116	25	0,21	24000	1,06	visco
4	3,45	0,8	85	10	0,11	46000	1,06	visco

Label 5.1 : ijkmetingen van de vloeistofrestricties

## Hoofdstuk 6 Drukvariaties in de werkspleet.

Drukvariaties in de werkspleet worden veroorzaakt door:

- het langzaam toenemen van de lengte van de spleet.  
dit is een zeer langzame drukverandering.
- de bewegingen van de elektrode: het naar het werkstuk toegaan,  
het snel terugtrekken bij kortsluiting en het weer naderen.  
Dit zijn snelle veranderingen. ( $f = 20 \div 60 \text{ Hz}$ )

Om een indruk van de grootte van deze laatste drukvariaties te krijgen, zijn metingen verricht. ( meetopstelling fig 16 )

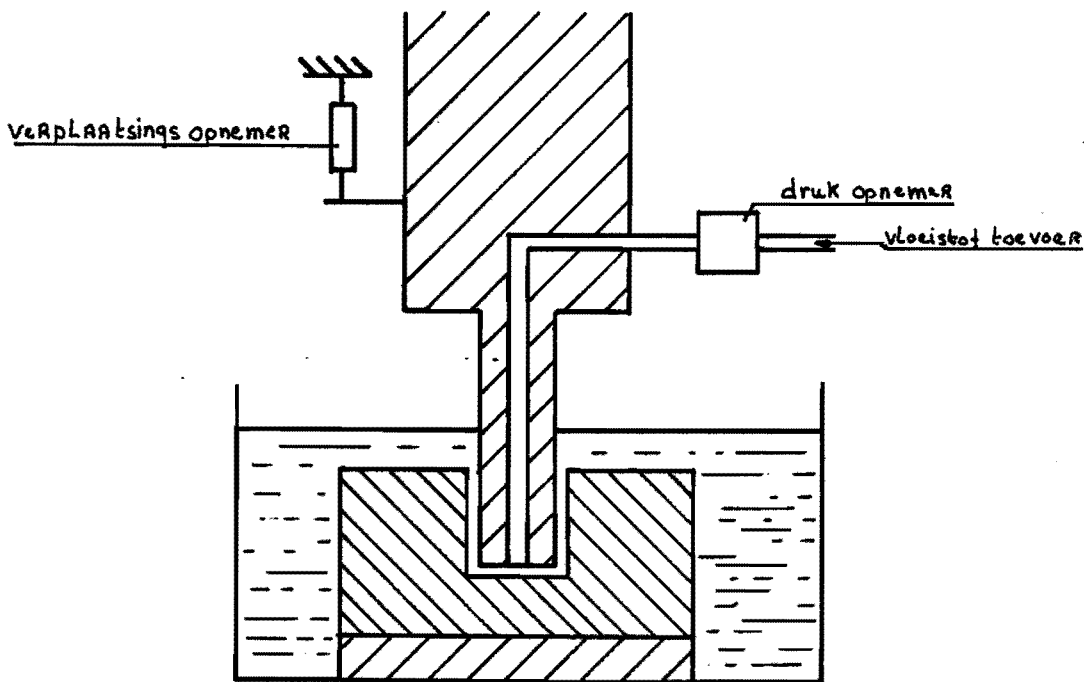


fig 16 drukvariatie - meting in de werkspleet.

Bij de meting is gebruik gemaakt van :

- een drukopnemer PK 20
- een verplaatsingsopnemer W1
- een schrijver

I ( Amp )	t <sub>i</sub> (us)	t <sub>o</sub> (us)	$\Delta p$ (bar)	r (um)	P <sub>absoluut</sub> (bar)
40	100	30	0,11	30	1
25	1000	200	0,06	50	1
25	100	100	0,2	20	2
25	10	100	0,2	20	2

tabel 6.1 metingen van drukvariatiies in de werkspleet t.g.v. snelle bewegingen van de elektrode.

Uit de metingen volgt dat de drukvariatiies max 10% bedragen. De variaties in het vloeistofdebiet zijn dus maximaal 5%. Uit deze metingen volgt dus dat verwaarlozing van de drukvariatiies t.g.v. snelle beweging van de elektrode toegestaan is. De regeling is ook afgestemd op de langzame drukveranderingen t.g.v. de toename van de lengte van de werkspleet.

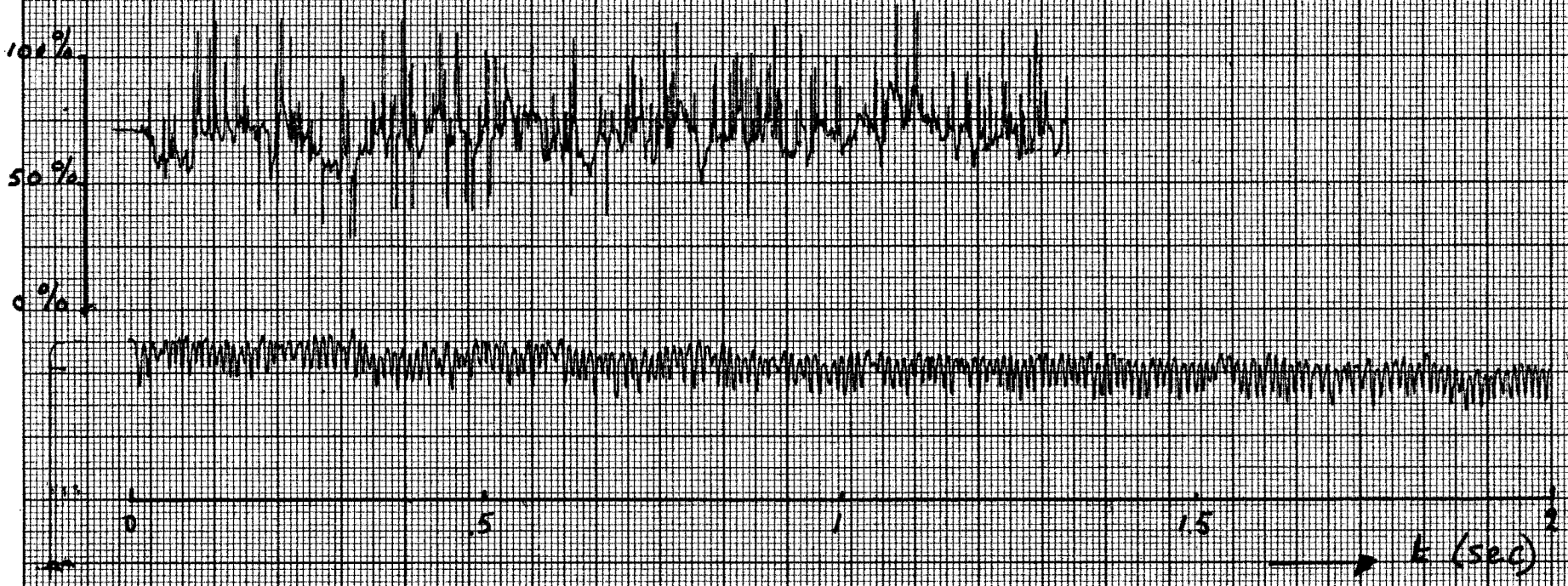
In de grafiek 6.1. t/m 6.4. zijn de meetresultaten weergegeven.



$L_1 = 100 \mu s$   
 $L_0 = 30 \mu s$   
 $T_0 = 40 \mu s$   
 $P = 1 \text{ bar}$

druck gemessen PK-20: 100% = 0,21 bar  
temp gemessen W 1 100% = 200  $\mu m$

grafiek 6.1



23

$t_i = 1000 \mu s$   
 $t_o = 200 \mu s$   
 $I = 25 \text{ Amp}$   
 $p = 1 \text{ bar}$

drukspanner PK-20: 100% = 0,43 bar  
repl spanner W1: 100% = 500  $\mu m$

grafick 6.2



$t_i = 100 \mu s$   
 $t_o = 100 \mu s$   
 $I = 25 \text{ Amp}$   
 $p = 0 \text{ bar}$

drukopnener: PK-20 : 100% = 1,00 bar  
repl opnener W1 : 100% = 100  $\mu m$

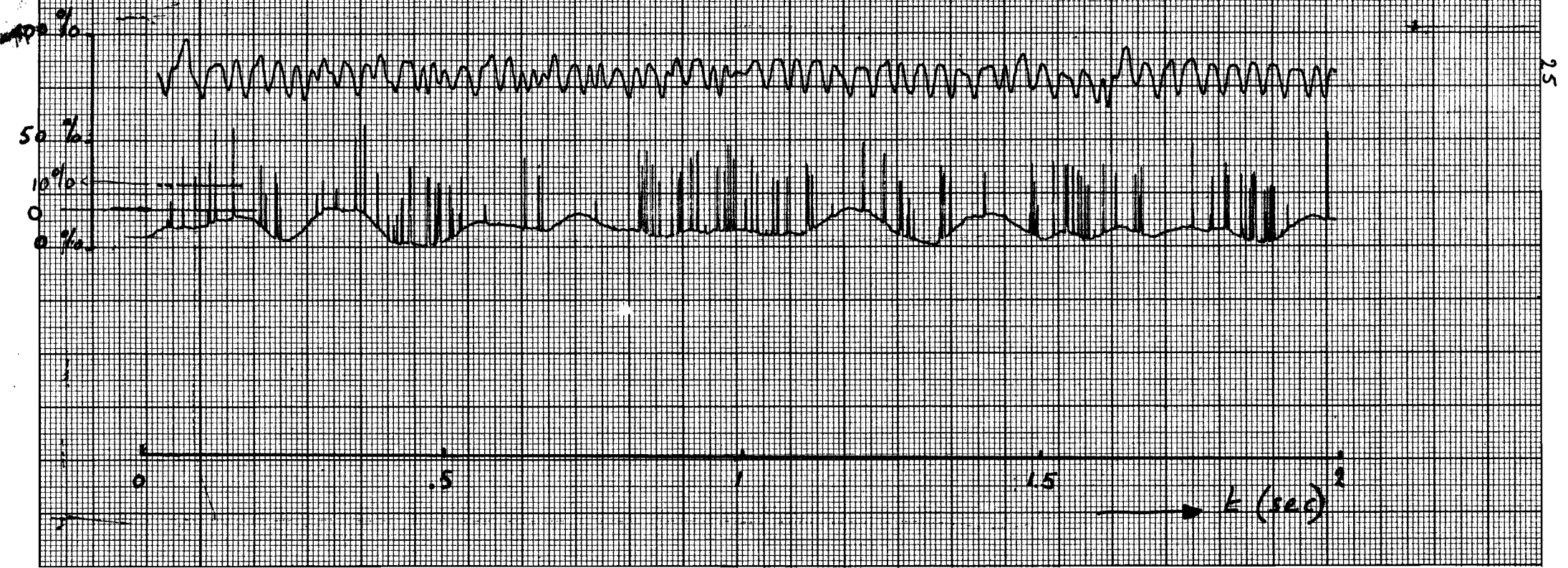
grafiek 6.3



$k_1 = 10 \mu s$   
 $k_2 = 100 \mu s$   
 $I = 25 A_{mp}$   
 $p = 2 \text{ bar}$

drucknehmer PK-20: 100% = 1,02 bar  
wehlnehmer W1: 100% = 100  $\mu m$

grafiek 6.4



Appendix A Elektromagnetische vloeistofsnelheids meting.

Het principe van de methode is in figuur al getekend.

Een geleider ( specifieke geleidbaarheid  $\sigma$ ; weerstand  $R$ ; lengte  $l$  ) beweegt met een snelheid  $\vec{v}$  door een homogeen magnetisch veld  $\vec{B}$ , dat constant is in de tijd.

Ten gevolge van de beweging van de ladingdragers in de geleider wordt er een Lorentz-kracht  $\vec{v} \times \vec{B}$  uitgeoefend op de positieve ladingdragers in de geleider.

Er ontstaat een spanningsverschil  $V = B \cdot v \cdot l$

$V$  is dus evenredig met de snelheid.

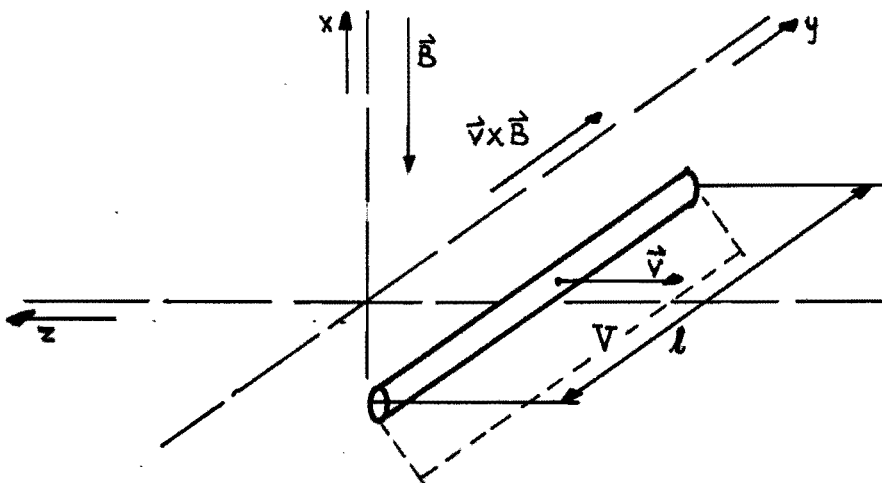


fig a1 inductie in een bewegende geleider

Om dit meetprincipe op een vloeistofstroom toe te kunnen passen ( fig a 2 ), moet aan een aantal voorwaarden voldaan zijn.

- 1- het magnetisch veld moet homogeen zijn en constant in de tijd.
- 2- de vloeistofstroom moet laminair zijn.
- 3- de vloeistof moet geleidend zijn en mag het magnetisch veld niet verstoren.

Als bovendien nog geldt:

- 4- het stromingsprofiel is rotatiesymmetrisch
- 5- de buis is niet geleidend

kan men uitrekenen dat:

- het potentiaalverschil  $V$  evenredig is met de gemiddelde vloeistofstroom
- het potentiaalverschil  $V$  afhankelijk is van de geleidbaarheid van de vloeistof.

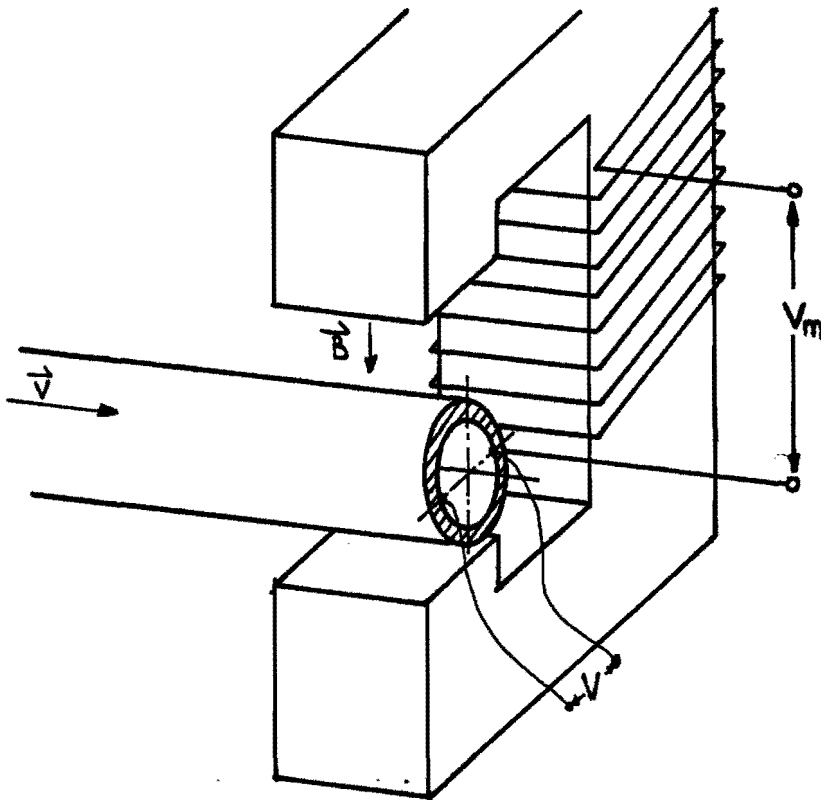


fig a2 elektromagnetische snelheidsmeting

Voorwaarde 3 levert problemen op. De vloeistof is wel geleidend maar verstoort ook het magneetveld. De verontreiniging in de vloeistof kan uit ferro-magnetisch materiaal bestaan.

De conclusie is dan ook, dat dit geen geschikte methode is voor het bepalen van de vloeistofstroom.

literatuur.

- Metingen in de geneeskunde 2 hfdst 7
- collegediktaat THE 5557
- vakgroep meten en regelen.

Appendix B Doppler vloeistofsnelheids meting.

De eerste eis, waaraan voldaan moet worden om deze meetmethode toe te kunnen passen, is dat er verontreiniging in de vloeistof aanwezig moet zijn.

Waarom dat zo is, zal duidelijk worden als we het principe van de methode bekijken ( fig bl ).

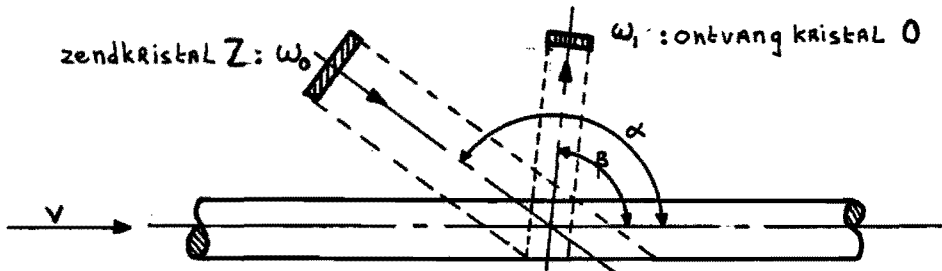


fig bl ultrasone geluidsmeting, schematische schets.

Door een piëzo - elektrisch element ( Z ) wordt een ultrasoon geluid met frequentie  $\omega_0$  uitgezonden.

De golflengte van dit geluid moet groot zijn t.o.v. de afmetingen van de deeltjes in de vloeistof. De deeltjes verspreiden het geluid en een deel valt op het ontvangkristal ( O ) .

Door het doppler - effect is de frequentie van dit signaal veranderd met  $\omega$ .

$$\omega_1 = \omega_0 + \omega$$

$$\omega = \frac{v}{c} (\omega_0 \cos \alpha + \cos \beta)$$

$v$  = stroomsnelheid van de deeltjes

$c$  = voortplantingssnelheid van geluid in de vloeistof.

Het terug-gezonden signaal zal een bepaalde bandbreedte hebben vanwege het snelheidsprofiel in de buis-doorsnede. Uitgaande van het vermogens-spectrum van dit signaal kan men de gemiddelde snelheid en als de doorsnede bekend is ook het debiet bepalen.

Nadelen van deze methode m.b.t. het vonkerosieproces.

- Omdat het dielektricum bij de vonkerosiemachine na verloop van tijd vervangen wordt door een schone vloeistof ( geen verontreiniging ) levert deze meetmethode problemen op.
- Het langzaam toenemen van de vervuilingsgraad ( stijgende deeltjes concentratie ) heeft een negatieve invloed op de betrouwbaarheid van de meting.
- Deze meting levert het beste resultaat bij hele dunne buiswanden ( bijv. bloedvaten). Bij de bij het vonkerosieproces gewenste drukken, is relatief dikke buis nodig, wat zeer nadelig werkt op het resultaat van de meting.

De conclusie is dan ook, dat deze meetmethode niet bruikbaar is voor dit vonkerosieproces.

literatuur

- Metingen in de geneeskunde 2 hfdst 7  
College diktaat THE 5557  
Vakgroep meten en regelen.



Appendix C Vermogendissipatie in de debietregeling.

Als het dielektricum, dat voor de spoeling gebruikt wordt, tijdens het proces sterke temperatuursveranderingen ondergaat, heeft dit een toename van de bewerkingsnauwkeurigheid tot gevolg. Bij temperatuurverhoging zet het gereedschap uit en de afmetingen van het werkstuk worden daardoor ook groter. Indien het zo is, dat de vloeistoftemperatuur iets toeneemt (bijv  $10^{\circ}\text{C}$ ) en daarna tijdens het bewerkingsproces constant blijft, zal de invloed op de bewerkings nauwkeurigheid niet van betekenis zijn.

Het vermogensverlies  $P$  bij drukval  $\Delta P$  :

$$P = \Delta p \cdot q \quad \text{met} \quad \begin{array}{l} P \text{ ( J/sec ) } \quad ( \text{ cl } ) \\ \Delta p \text{ drukval ( N/m}^2 \text{ ) } \\ q \text{ debiet ( m}^3\text{/sec )} \end{array}$$

Indien al het vermogen  $P$  in de vorm van warmte aan de vloeistof wordt toegevoerd geldt:

$$\begin{array}{l} P = \Delta T \cdot c \cdot M = T \cdot c \cdot P \cdot q \quad ( \text{ C.2 } ) \\ \Delta T = \text{temperatuursverhoging ( }^{\circ}\text{C )} \\ c = \text{soortelijke warmte ( J/kg }^{\circ}\text{C )} \\ \rho = \text{soortelijke massa ( kg/m}^3 \text{ )} \\ M = \text{massastroom ( kg/sec )} \end{array}$$

Uit C1) en C2) volgt  $\Delta T = \frac{\Delta P}{c \cdot \rho}$

De dimensies van deze formule kloppen  $[e] = \left[ \frac{ML}{T^2 L^2} \cdot \frac{T^2}{ML^2} \cdot M \theta \cdot \frac{L^3}{M} \right]$

Bij deze regeling geldt:

$$\begin{array}{l} P \text{ max} = 10 \text{ bar} = 10^6 \text{ N/m}^2 \\ c \text{ max} = 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} = 4200 \text{ J / kg}^{\circ}\text{C} \\ \rho = 0,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \end{array}$$

$$\text{dus } \Delta T \text{ max} = \frac{10^6}{4200 \cdot 0,8 \cdot 10^3} = 0,3^{\circ}\text{C}$$

In werkelijkheid zal de temperatuurstijging t.g.v. drukverlies minder zijn, omdat een deel van de warmte aan de omgeving wordt afgestaan.

Het is duidelijk, dat temperatuurstijging van het dielektricum t.g.v. drukverlies een te verwaarlozen invloed op de bewerkingsnauwkeurigheid heeft.

Appendix D Regelklep keuze.

Zoals reeds gesteld in hfdst 3 wordt het hele regelgebied in 3 stukken verdeeld en voor ieder stuk is een regelventiel nodig.

De maximaal vereiste flow bij minimale drukval over de regelklep levert de minimaal vereiste weerstandwaarde  $C_v$  min van het regelventiel op

$$0,1-1 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

$$\rho = 0,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$q = 1 \text{ cm}^3/\text{sec} = 60 \cdot 2,642 \cdot 10^{-4} \text{ gpm}$$

$$\Delta p = 1 \text{ bar} = 14,22 \text{ psi}$$

$$c_{vmin} = q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} = 3,76 \cdot 10^{-3}$$

Minimale flow bij maximale drukval levert de maximale weerstandswaarde  $c_{vmax}$  op.

$$c_{vmax} = 0,1 \cdot 60 \cdot 2,642 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{0,8}{14,22}} = 1,13 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{als geldt } \Delta p = 11 \text{ bar}$$

$$q = 0,1 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

$$1-10 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

$$c_{vmin} = 3,76 \cdot 10^{-2}$$

$$c_{vmax} = 1,13 \cdot 10^{-3}$$

$$10-100 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

$$c_{vmin} = 3,76 \cdot 10^{-1}$$

$$c_{vmax} = 1,13 \cdot 10^{-2}$$

Nu de minimale en maximale  $C_V$  - waarden per regelventiel bekend zijn, kunnen bijpassende regelventielen gezocht worden, rekening houdend met de eisen zoals beschreven in Hfdst. 3. ( eisen i.v.m. verontreiniging en ontvettende eigenschappen van de vloeistof)

Verder is er naar gestreefd om het verband tussen aantal slagen opendraaien en de weerstandswaarde  $C_V$  lineair te laten zijn.

Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in de keuze van de volgende kleppen:

0,1	- 1	cm <sup>3</sup> /sec	SS - 6	SG ( NM )	Nupro
1	- 10	cm <sup>3</sup> /sec	SS - 4	MG / 6MM	Nupro
10	- 100	cm <sup>3</sup> /sec	SS - 3	NTR F 4	Whitey

In de grafieken D1, D3, D5 is de  $C_V$ - waarde uitgezet tegen het aantal slagen dat het ventiel opengedraaid is. Bij grafiek D3 is slechts een deel van het regelgebied getekend: ook deze kraan opend in 10 slagen.

In de grafieken D2, D4, D6 is de drukval over het ventiel uitgezet tegen het aantal slagen, dat de kraan opengedraaid is, met als parameter de flow door het ventiel. Het linkergedeelte van de grafiek geeft de procesdruk aan en de  $\Delta P$  - waarden van 1, 2, 3 en 4 bar zijn de drukvallen over de restricties.

Er is bij het samenstellen van deze grafieken uitgegaan van een druk in de aanvoerleiding van 11 bar.

Uit deze grafieken volgt, dat voor kleine volumestromen door een ventiel, de drukval over het ventiel sterk veranderd bij een kleine verandering van de klepstand.

Het meest gunstige is het nog als de drukval over het ventiel laag is ( $< 4$  bar).

Men moet er dus naar streven de druk in de aanvoerleiding slechts weinig hoger te laten zijn dan de som van de drukvallen over proces en restricties.

Werken met een toevoerdruk van 11 bar is onverstandig.

Mapra : fine metering Valve

1. SG, MS, MG, MD series :  $C_p$  discharge van number kawat gran

$$C_p = \phi \sqrt{\frac{SG}{\Delta\rho}}$$

$\phi$  [GPM]  
 $\Delta\rho$  [PSI]  
 $SG$  [SG/10.5]

number  
kawat 5 gran

type SS 6SG (MM)



grafik 201

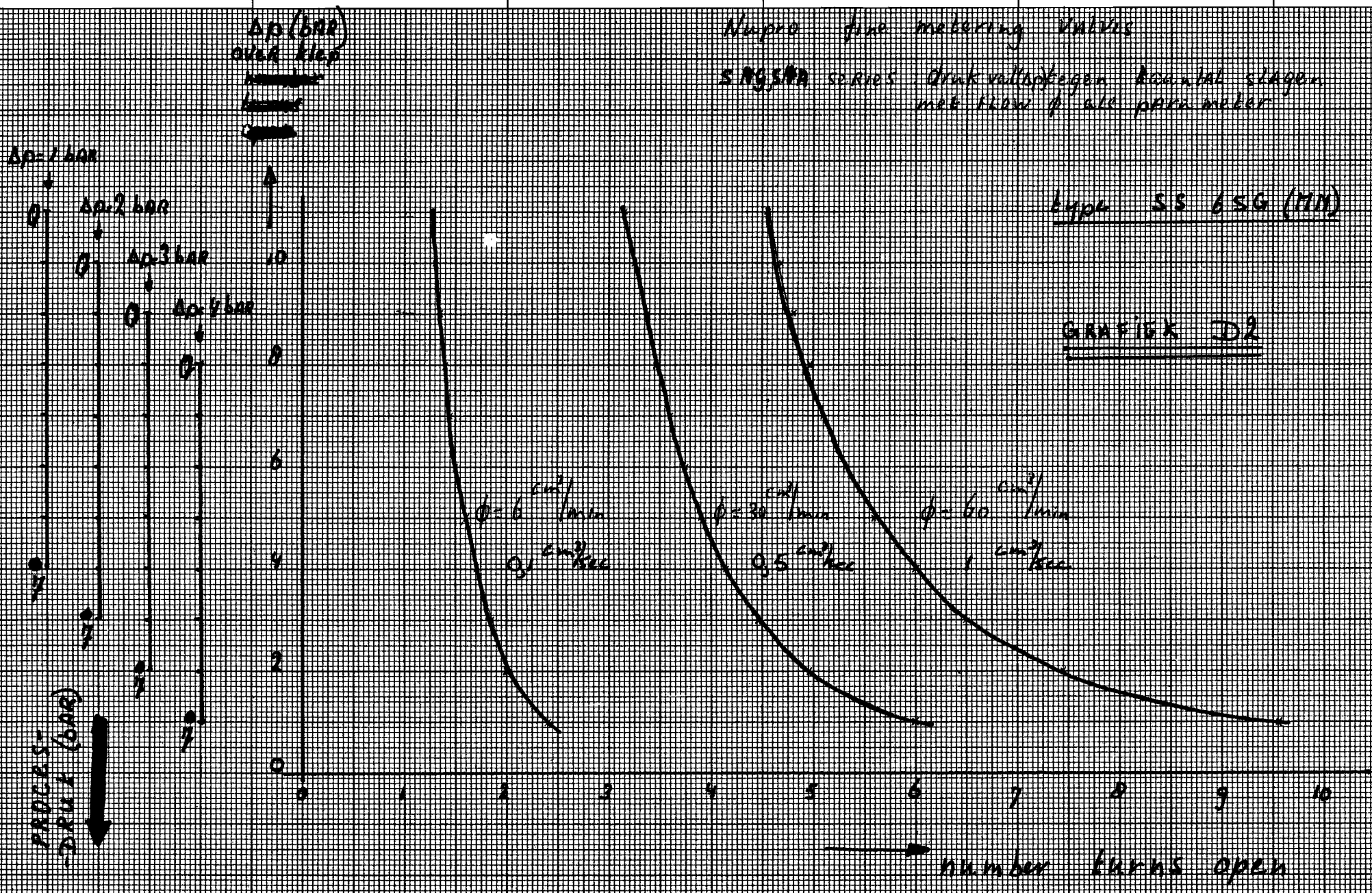
→  $C_p [x 10^{-3}]$

Nupro fine metering valves

579500 series drukvallen tegen aantal slagen met know of alle piken meter

type SS 65G (MM)

GRAFIEK D2



$\Delta p = 1 \text{ bar}$

$\Delta p = 2 \text{ bar}$

$\Delta p = 3 \text{ bar}$

$\Delta p = 4 \text{ bar}$

$\Delta p \text{ (BAR)}$   
over klep

10

8

6

4

2

0

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

PROCES-  
DRUK (BAR)

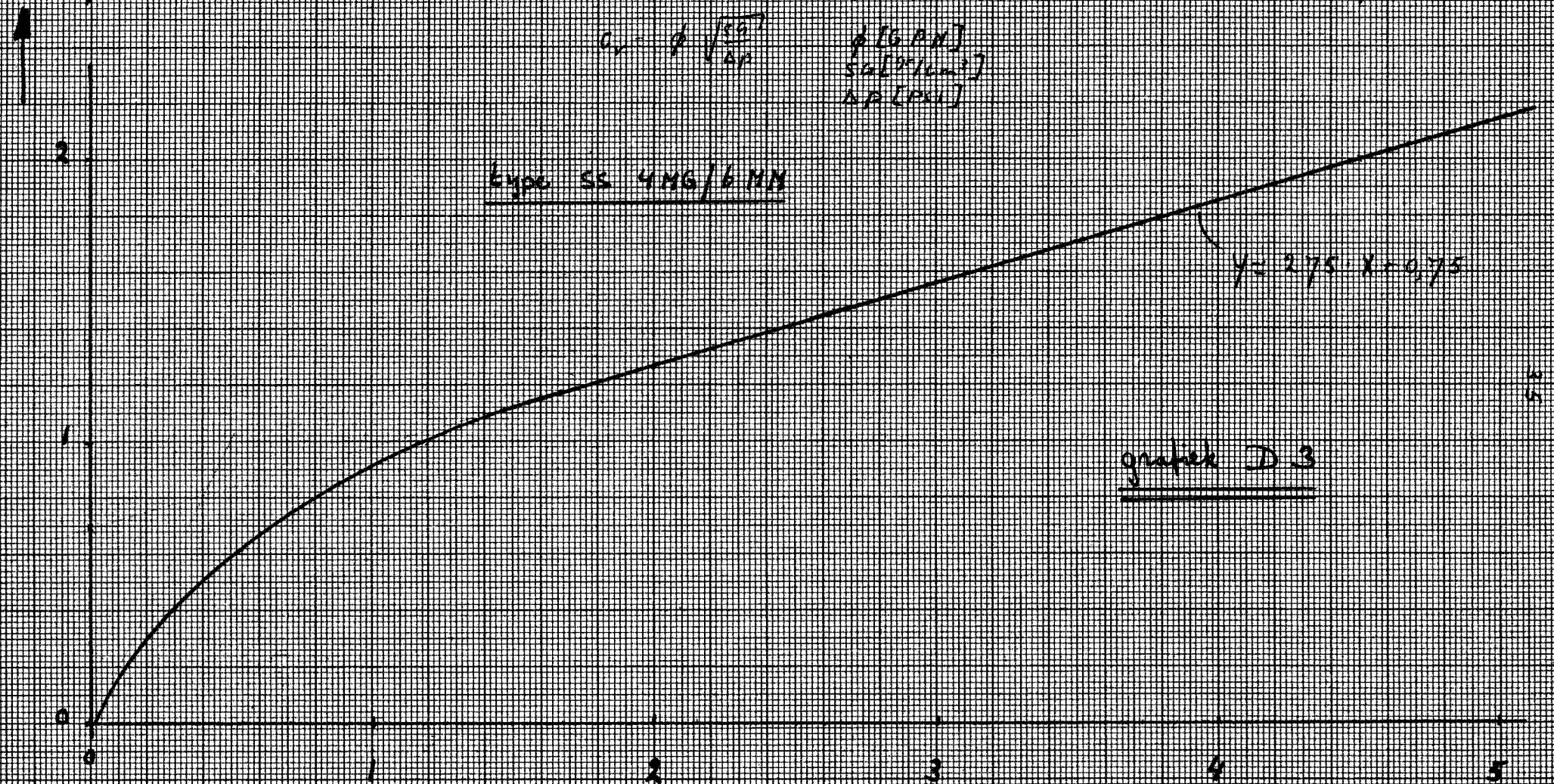
number turns open

Nupro: fine making Valve

NG, HA, MX series;  $C_v$  als functie van number turns open

$$C_v = \frac{Q \sqrt{SG}}{\Delta P} \quad \begin{matrix} Q [GPM] \\ SG [\text{kg/m}^3] \\ \Delta P [PSI] \end{matrix}$$

number  
turns open



Type SS 4MG/6MM

$$y = 275 x + 0,75$$

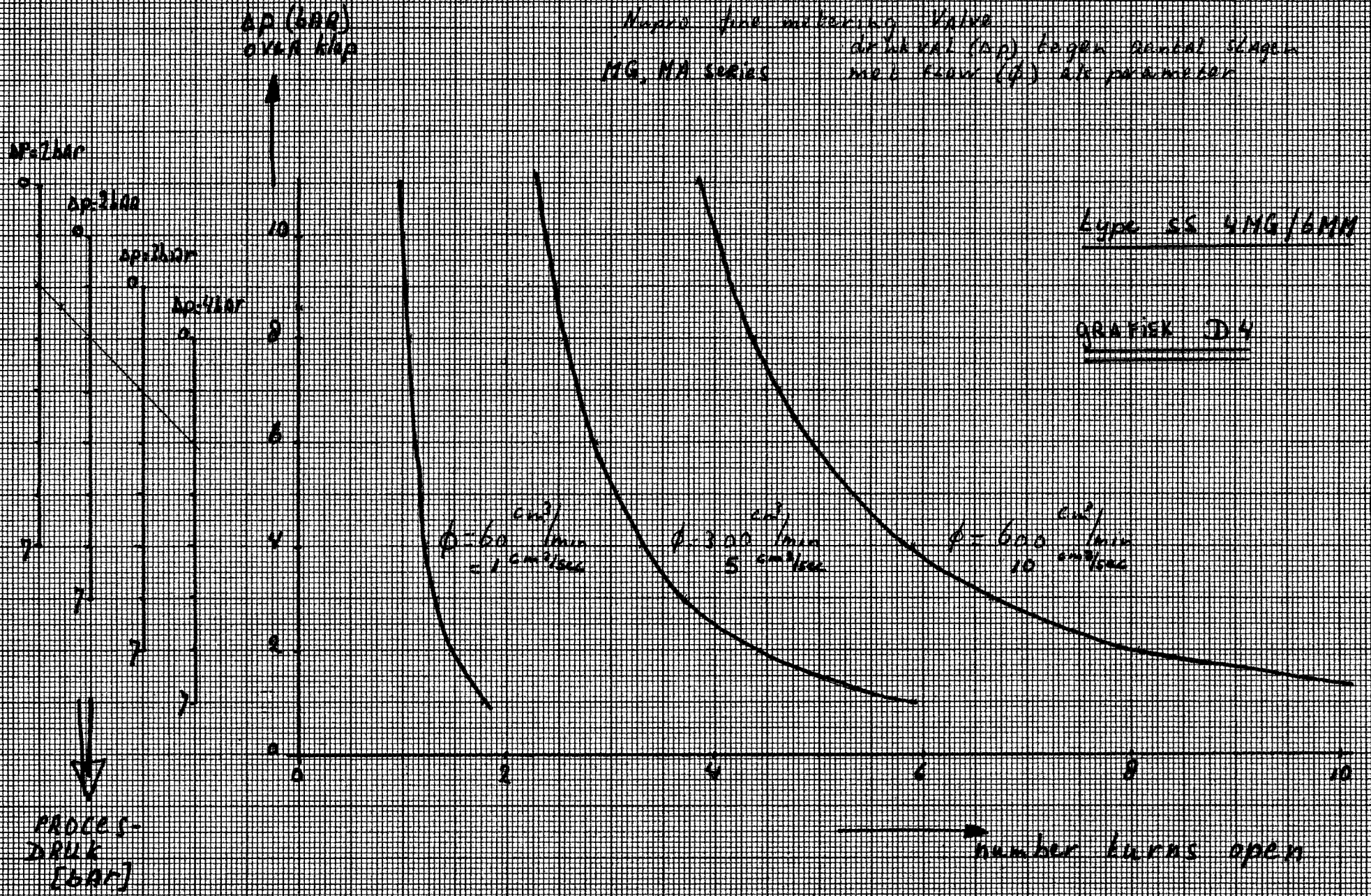
grafiek D.3

—  $C_v [x 10^{-3}]$

Napra fire metering Valve  
 dihidrat (N.P) kagen normal slagen  
 MG, MA series met kover ( $\phi$ ) als parameter

Type SS 4MG/6MM

GRAFISK D4

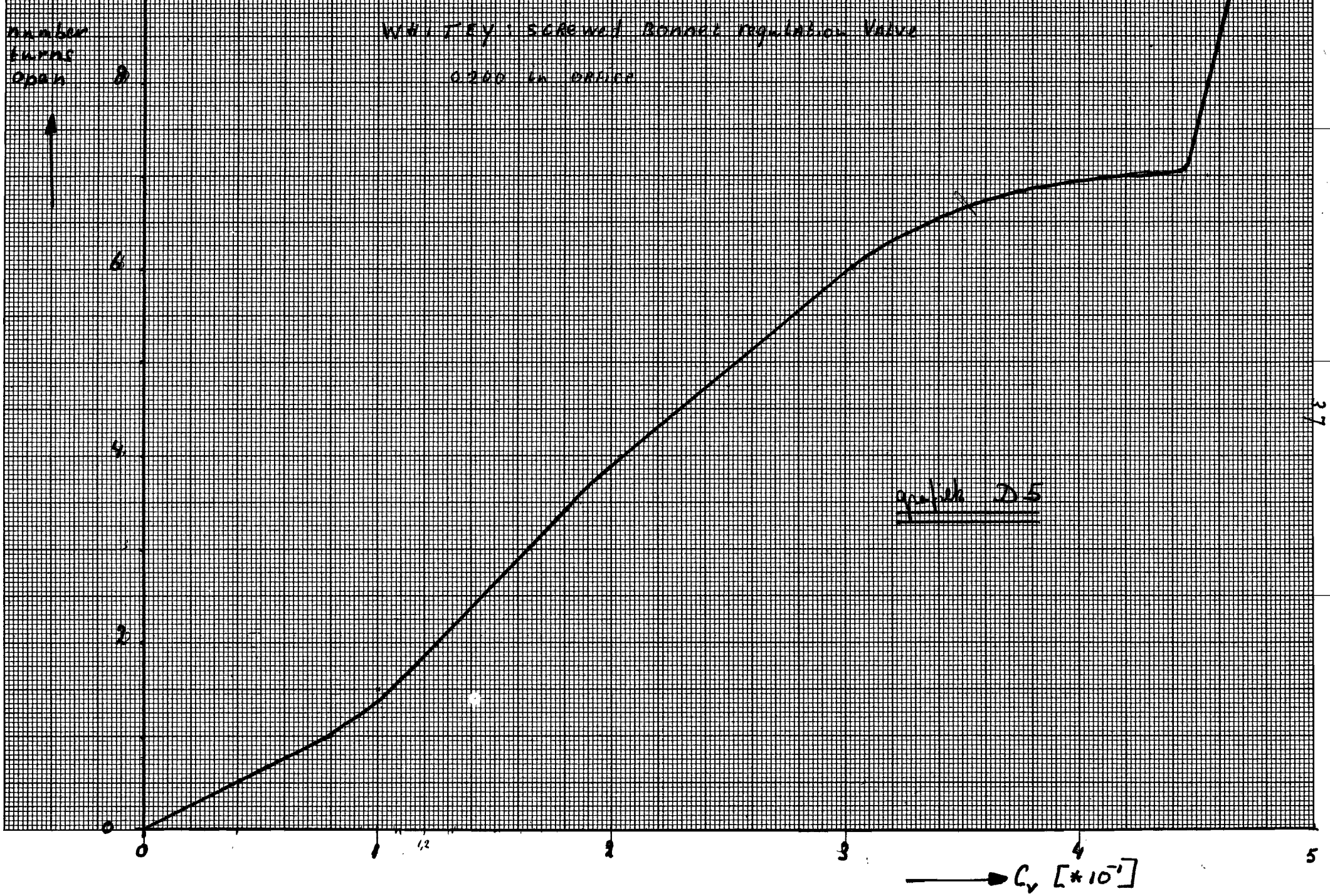


98

number  
turns  
open

WHL. TRY: SCREWED BONNET REGULATION VALVE

0.200 in DRIFT



graph 2.5

→  $C_v \times 10^3$

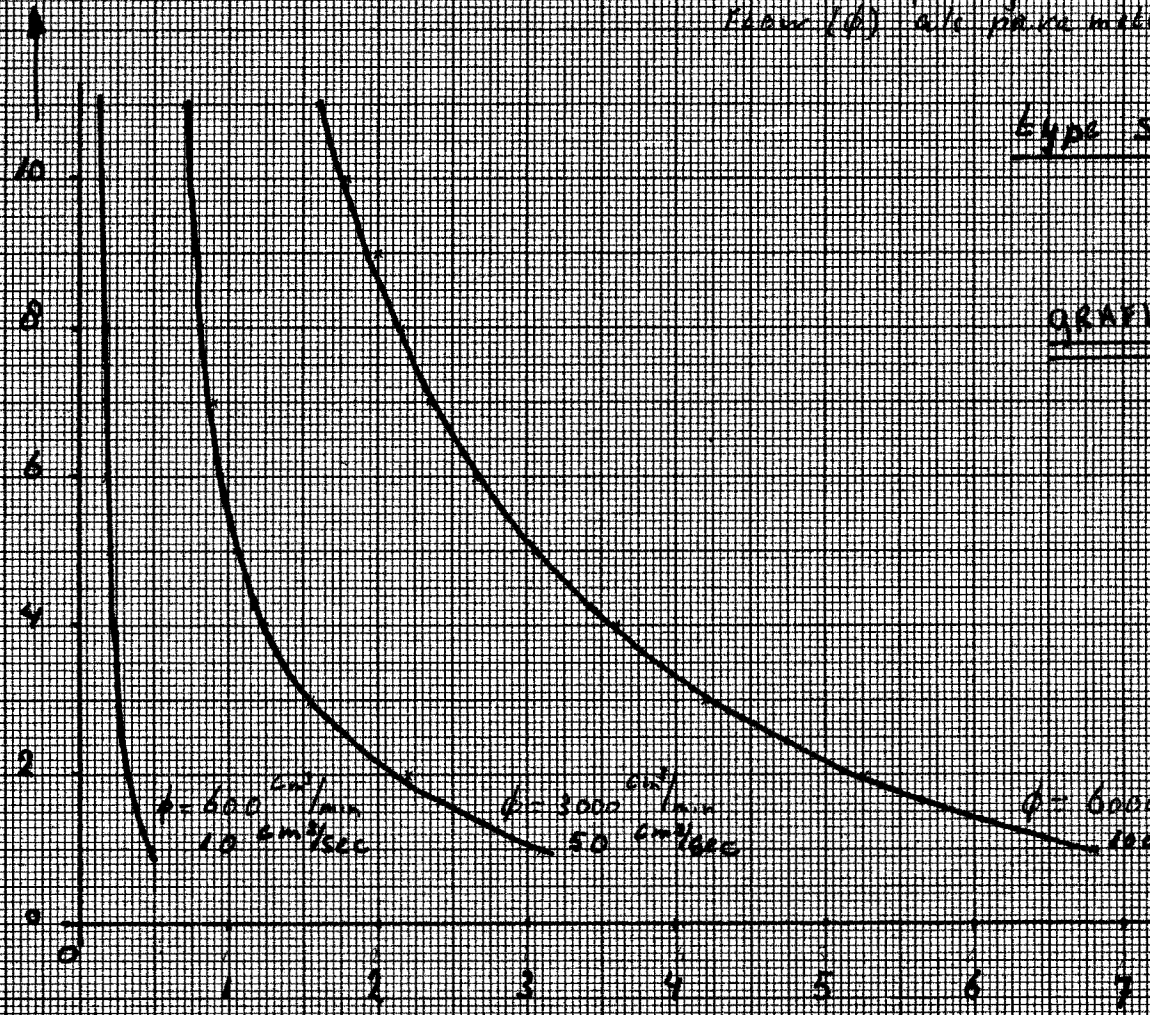
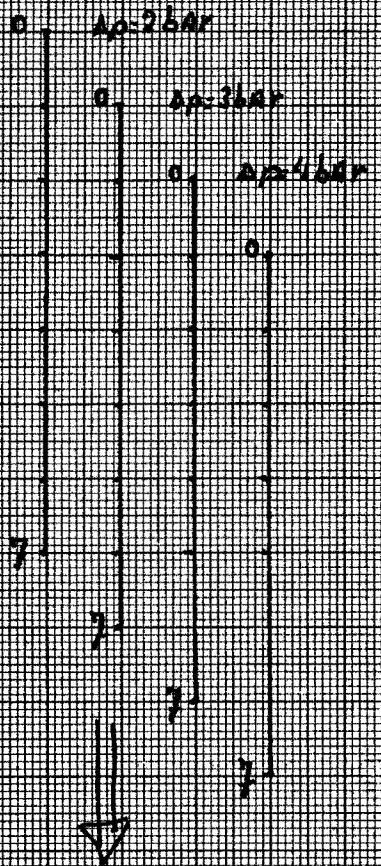


$\Delta p$  [bar]  
over  
klep

WHITELY screened Bunnet regulation Valve  
0.200 in orific

drukval (ap) tegen aantal slagen met  
klep ( $\phi$ ) als parameter

ap [bar]



Type SS-3NTR F4

GRAFIK D6

PROCES-  
druk  
[bar]

number  
turns  
open

38

Appendix E Niet - lineaire elementen.

In deze voor de vonkersiemachine ontworpen regelkring komen een aantal niet - lineaire elementen voor. Twee ervan zullen we hier analyseren, namelijk;

- de stappenmotor
- een stuk van de software van de microcomputer.

- De stappenmotor

Dit is een element met verzadiging, omdat de hoeksnelheid begrensd is ( fig e 1 )

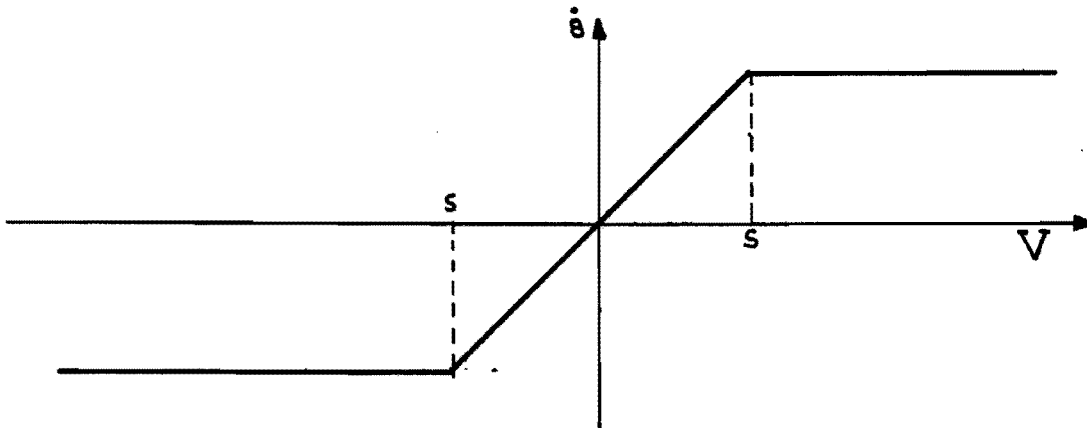


fig e 1 stappenmotor  
de spanning  $V$ , die omgezet wordt in een puls trein met een frequentie evenredig met  $V$ , tegen de hoeksnelheid  $\dot{\theta}$  van de as van de motor.

De maximale puls frequentie = 100 Hz

De maximale hoeksnelheid  $\dot{\theta}_{max} = 0,127 \cdot 100 = 12,7$  rad/sec:  
per puls wordt een stap gemaakt van 0,127 rad.

Met behulp van de beschrijvende - functie - theorie kunnen we wat dieper op dit probleem ingaan.

We splitsen daartoe het element in een lineair en een niet-lineair deel ( fig e2 )

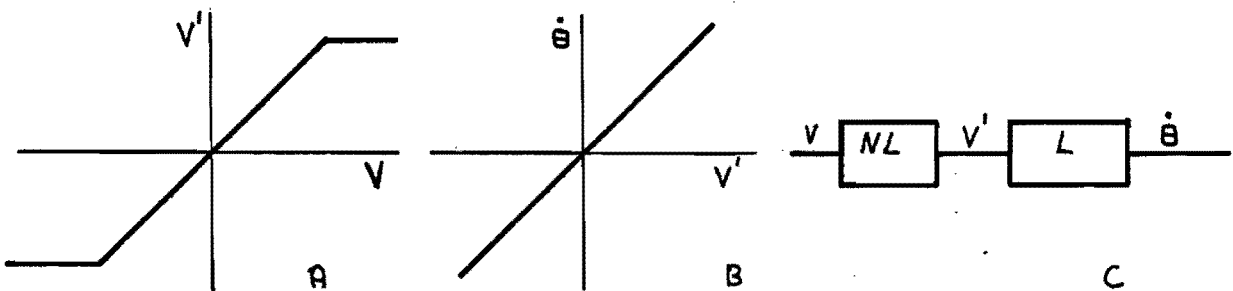


fig e2 a. splitsing in een lineair en niet lineair element.  
b. lineair deel L; zuivere integrator  
c. niet lineair deel NL; element met verzadiging.

Bij de beschrijvende - functie - theorie wordt het niet-lineaire element met een sinus.-vorming ingangssignaal aangestoten. Van het uitgangssignaal wordt alleen de grondharmonische meegenomen om de overdracht te bepalen.

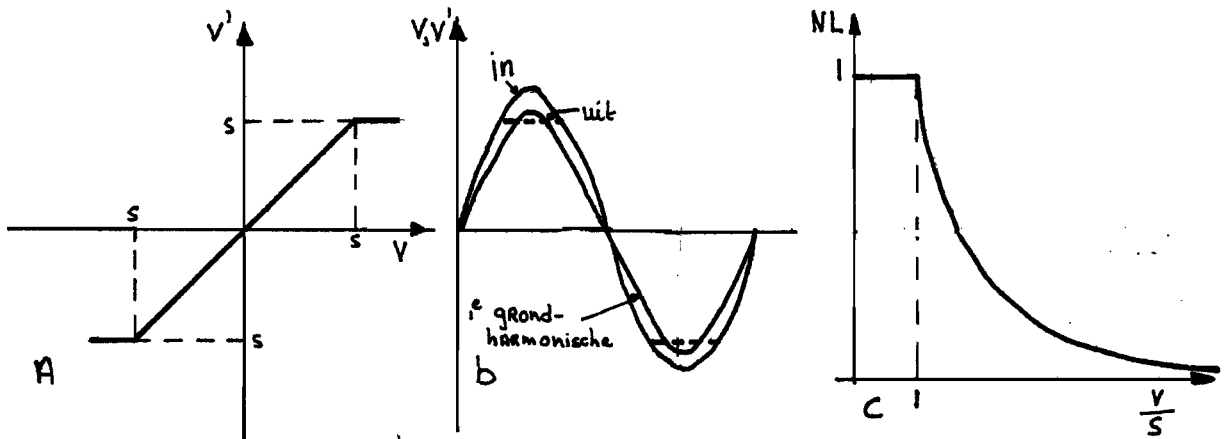


fig e3 a. statische karakteristiek van verzadiging  
 b. verloop in-, en uitgangssignaal  
 c. overdracht : amplitude als functie van het ingangssignaal.

In fig e3 is dit gedaan voor het niet lineaire deel van de motor. Merk op dat de overdracht niet afhankelijk is van de frequentie, maar alleen van de amplitude.

We kunnen de functie  $-\frac{1}{NL}$  in het polair diagram tekenen.

Het systeem bevindt zich op de grens van stabiliteit als geldt:

$$H_1 \cdot H_2 \cdot P \cdot NL \cdot L = -1 \quad (E 3.1)$$

$$H_1 \cdot H_2 \cdot P \cdot L = -\frac{1}{NL} \quad (E 3.2)$$

In dit geval is het snijpunt van de twee krommen een snijpunt met stabiele grenskringloop, de grenskringloop handhaaft zich bij een kleine verstoring.

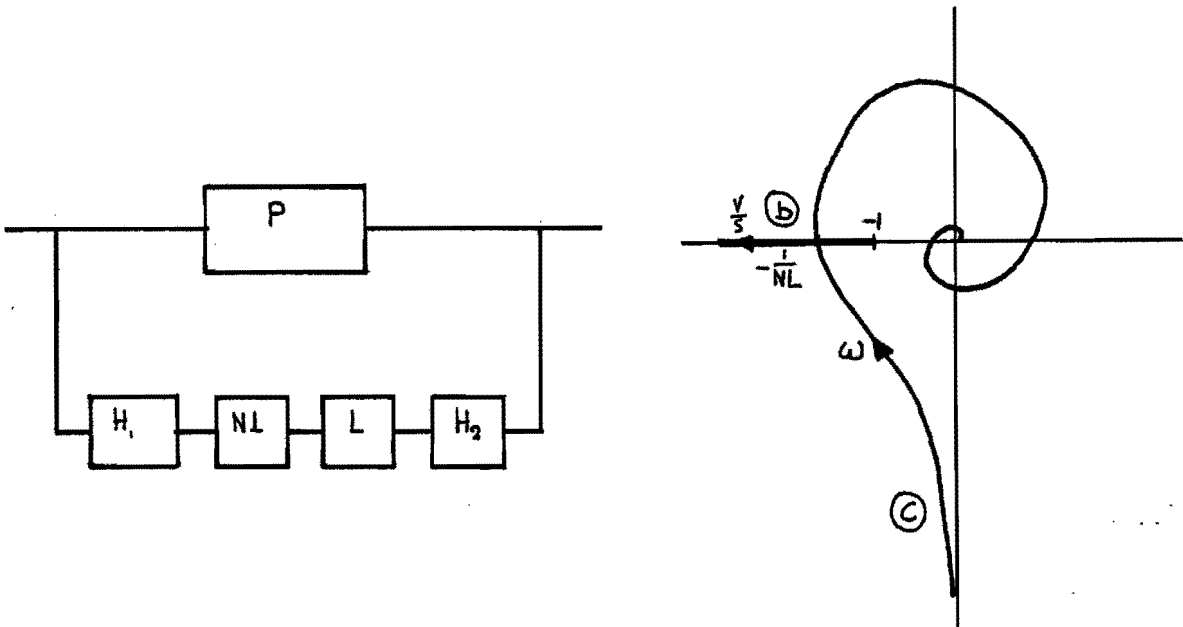


fig e4 a. blokschema regeling  
 b. polair diagram  $-\frac{1}{NL}$   
 c. polair diagram  $H_1 \cdot H_2 \cdot P \cdot L$

Het effect van verzadiging is, dat voorbij het punt  $-1$  de amplitude van het uitgangssignaal niet onbeperkt kan aangroeien.

#### Een deel van de software van de microcomputer.

De drukverschilopnemer geeft een elektrische spanning af. Deze wordt vergeleken met een vast ingestelde waarde. Als het verschil hiertussen een bepaalde waarde overschrijdt, wordt deze verschilspanning omgezet in een pulstrein. In de beschouwing van de stappenmotor wordt deze verschilspanning aangegeven met de letter  $V$ .

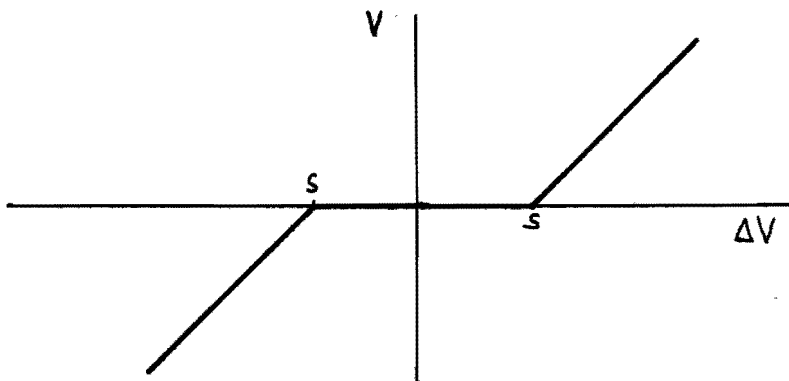


fig e5 overdracht van een gedeelte van het microcomputerprogramma.

$\Delta V = V$  drukverschilopnemer  $- V$  ingestelde waarde

Toepassing van de beschrijvende-functie- theorie, geeft als resultaat de overdracht van het niet - lineaire deel zoals weergegeven in fig e 6.

Zetten we de functie  $-\frac{1}{NL}$  uit in een polair diagram, samen met de rest van de regeling, dan kunnen we hieruit de volgende conclusies halen.  
( fig e 7 )

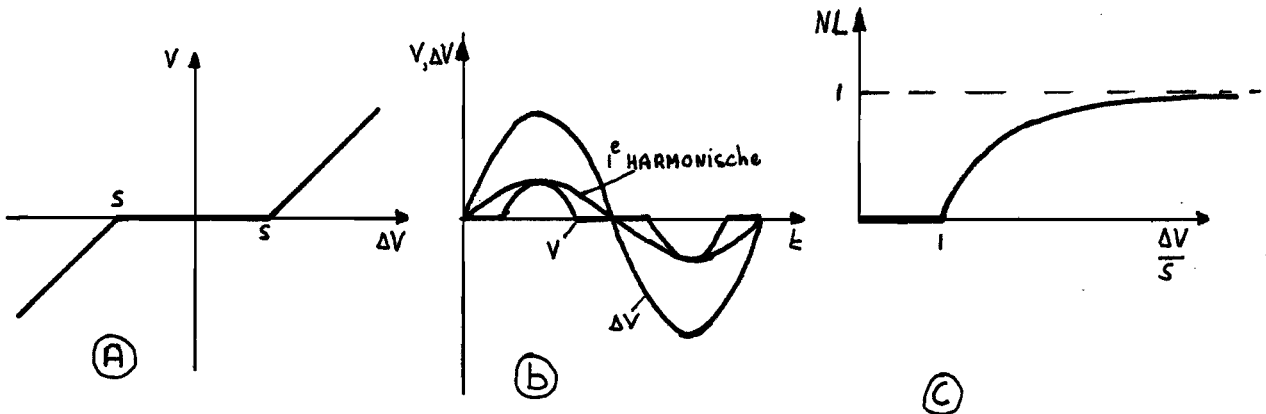


fig e 6 a. statische karakteristiek van dode tijd  
b. verloop van  $i_{in}$ , en uitgangssignaal  
c. overdracht : amplitude als functie van het ingangs signaal

Er is een snijpunt met instabiele grenskringloop.  
De amplitude bij de frequentie  $\omega$ , zal onbeperkt aangroeien als de versterking in de regelkring zo groot is, dat het punt  $-1$  omsloten wordt.

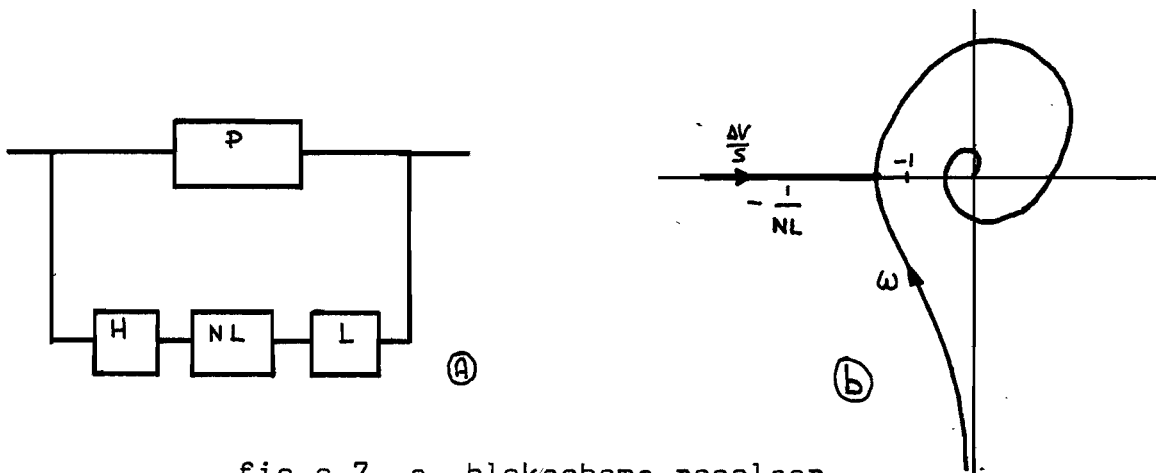


fig e 7 a. blokschema regelaar  
b. polair diagram van lineair en niet lineair deel van de regeling

Het totale effect van deze 2 niet - lineaire stukken in de regeling is niet uit te rekenen, omdat voor niet lineaire systemen het superpositie beginsel niet geldt. Met logisch redeneren kunnen we echter een heel eind komen. Het effect van verzadiging zal een overheersende rol gaan spelen, omdat dit effect later voorkomt in de regeling dan het dode gebied. Dus voorbij het punt - 1 ( fig e 7 ) zal er welliswaar opslingering ontstaan, maar door verzadiging zal de amplitude beperkt blijven.

#### literatuur

- ir J.C. Cool ir F.J. Schijff, Dr. ir. T.J. Viersma  
Regeltechniek  
Agon Elsevier 1972.

Appendix F Documentatie en constructietekeningen.

In deze bijlage is aangegeven waar documentatie over de voor de regeling gebruikte artikelen te vinden is.

regelkleppen	catalogus Amsterdam Valve and Fitting meting valves Nupro blz 3. regulating and shutoff valves Whitey blz 5.
stappenmotoren	Philips data handbook Components and materials april 77 Elektric motors and accesoires
weerstand	Technical Hydraulic handbook Lee Company Restrictor elements
drukvalmeter	documentatie is aan deze bijlage toegevoegd.

Verder is een tekening bijgevoegd van het blok waar de weerstanden, kleppen en drukvalmeter gemonteerd zijn.



**Druck Limited**

Fir Tree Lane Groby  
Leicestershire LE6 0FH England  
Telephone Leicester (0533) 878551  
Telex 341743

**Excellent linearity**  
**Negligible hysteresis**  
**High overload capability**  
**Fast response**  
**Rationalised outputs**  
**Good temperature stability**

The PDCR 120/W/L differential pressure transducers have been produced to complement the Druck PDCR 10 series. The performance characteristics are similar to the PDCR 10/L differential transducer, the essential difference being that the PDCR 120/W/L will accept most fluids on both pressure ports.

**Operating pressure ranges**  
175mbar, 350mbar, 700mbar, 1, 2, 3, 6, 15, 30 bar, differential.

**Maximum line pressure (case pressure)**  
35bar  
*75bar available on request.*

**Overpressure**  
Positive side: 400% (range = 100%) with negligible calibration change.  
Negative side: 150% for ranges up to 6 bar. For 15 and 30 bar ranges the negative pressure can exceed the positive by 10 bar maximum without damage or calibration change.

**Positive Pressure Media:** Fluids compatible with 316 stainless steel.

**Negative Pressure Media:** Fluids compatible with stainless steel and quartz.

**Transduction principle**  
Integrated silicon strain gauge bridge.

5221-6363

**DRUCK PDCR 120/W/L**  
**Differential pressure transducer**



**Excitation**  
10 volt d.c. regulated. Polarity is important.  
*For other supply voltages or a.c. operation, please specify.*

**Current consumption**  
15mA nominal.

**Output**  
25mV for 175mbar range  
50mV for 350mbar range  
100mV for 700mbar range and upwards.  
*Outputs quoted are for standard linearity and overload, much higher outputs are possible, giving proportional improvement in temperature stability.*

**Output impedance**  
Nominal 1000 ohms

**Load impedance**  
Greater than 100K ohms for quoted performance.  
*For lower load impedances, please specify.*

**Resolution**  
Infinite.

**Combined non-linearity and hysteresis**  
 $\pm 0.1\%$  B.S.L. each side considered separately.  
 $\pm 0.06\%$  B.S.L. available on request.  
*Please refer to manufacturer.*



offset  
3mV standard.

**Sensitivity setting**  
± 3mV standard.

*More accurate settings of zero and span are available for applications where interchangeability is important.*

**Operational temperature range**  
-20°C to +80°C.

**Temperature effects**

± 0.5% total error band 0 to 50°C.

± 1.5% total error band -20 to +80°C.

175mbar range ± 0.5% total error band +10 to +40°C.

*For special applications it is possible to give improved temperature compensation over a wider temperature range.*

**Natural frequency**

10 kHz to 200 kHz for ranges of 350mbar to 30 bar respectively.

*For more detailed information contact the manufacturers.*

**Acceleration sensitivity**

0.02% FSO/g for 350mbar decreasing to 0.0005% FSO/g for 30 bar.

**Shock**

1000g for 1 ms in each of three mutually perpendicular axes will not affect calibration.

**Weight**

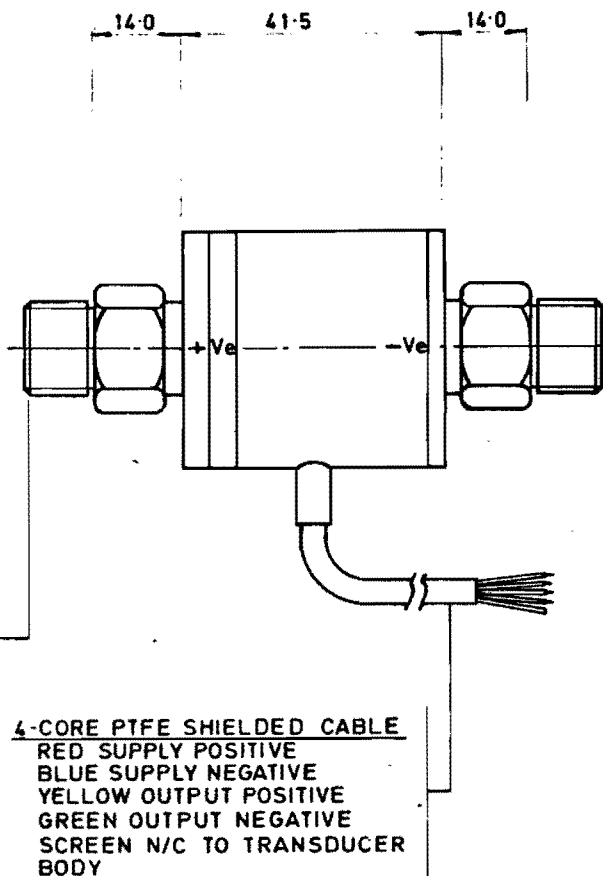
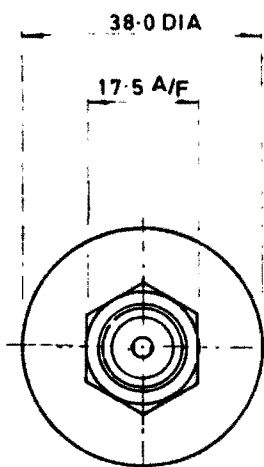
300 gms nominal.

**Ordering information**

Please specify type number, pressure range, compensated temperature range, survival temperature range.

Specify pressure fittings and length of cable required if not the standard 1 metre.

*The manufacturer reserves the right to alter specifications without notice.*



**PRESSURE CONNECTIONS FOR BOTH ENDS**

$\frac{1}{4}$ " BSP | FLAT END  
 $\frac{1}{4}$ " N.P.T.  
 $\frac{1}{4}$ " B.S.P. 60° INTL. CONE  
 $\frac{7}{16}$ " UNF AS MS 33656 4  
 M14 x 15 mm 6 DIN  
 OTHERS AVAILABLE ON REQUEST  
 SEE DRAWING N° 3000 A & B

**4-CORE PTFE SHIELDED CABLE**  
 RED SUPPLY POSITIVE  
 BLUE SUPPLY NEGATIVE  
 YELLOW OUTPUT POSITIVE  
 GREEN OUTPUT NEGATIVE  
 SCREEN N/C TO TRANSDUCER BODY

**Installation**

Dimensions: mm.

**Druck Limited**

Fir Tree Lane, Groby, Leicester LE6 0FH,  
England

Telephone: Leicester (0533) 878551

Telex: 341743

**Agent:**

