

# Blok 3

## Technologie in regelkringen

### Doelstellingen:

- Een algemeen idee verwerven van de technieken waarmee gesloten regelkringen worden opgebouwd.
- De principes en eigenschappen van de verschillende technologievormen van regelaar leren kennen.
- De functies in de gesloten regelkring kunnen klasseren in blokken.
- Overzicht kunnen geven van de meet- en registratiesystemen
- Overzicht kunnen geven van de corrigerende aandrijvingen.
- De constructie en werking van een regelklep kunnen verklaren.
- Een overzicht van de corrigerende organen kunnen opstellen.

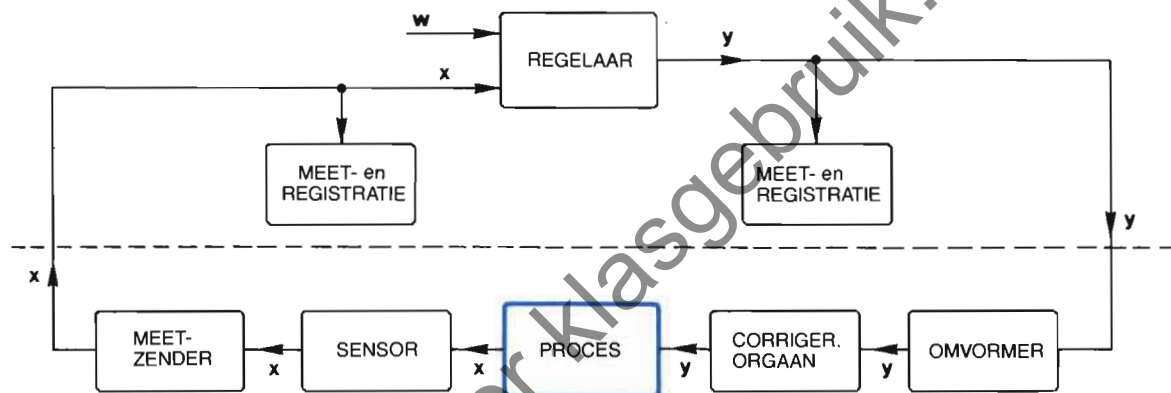


Fig. 3.1 Instrumenten in de gesloten kring.

Memoriseer nogmaals het blokschema van een gesloten regelkring zoals voorgesteld in fig. 3.1. Als men een idee heeft over de technologie van die verschillende blokken en hun functie in de kring is het achteraf gemakkelijker om de uitleg over de bewegingen van de signalen  $x$  en  $y$  te aanvaarden.

Daarom is het nu de bedoeling de praktische uitvoering van deze blokken bondig te behandelen.

Het zijn meestal elektronische, pneumatische en soms hydraulische systemen. Vanaf blok 5 zal over die technologie niet meer gesproken worden. De verdere eigenschappen van de gesloten kring worden dan behandeld door te redeneren op de variabelen  $x$  en  $y$ , los van de gebruikte technologie.

### Inhoud:

1. Standaardsignalen
2. Soorten standaardwaarden
3. Pneumatische regelaar
4. Hydraulische regelaar
5. Elektronische regelaars
6. Meet- en registratiesystemen
7. Signaalomvormers
8. Regelklep
9. Corrigerend orgaan
10. Klepaandrijvingen
11. Soorten kleppen
12. Overzicht corrigerende organen
13. Opdrachten

# 1. Standaardsignalen

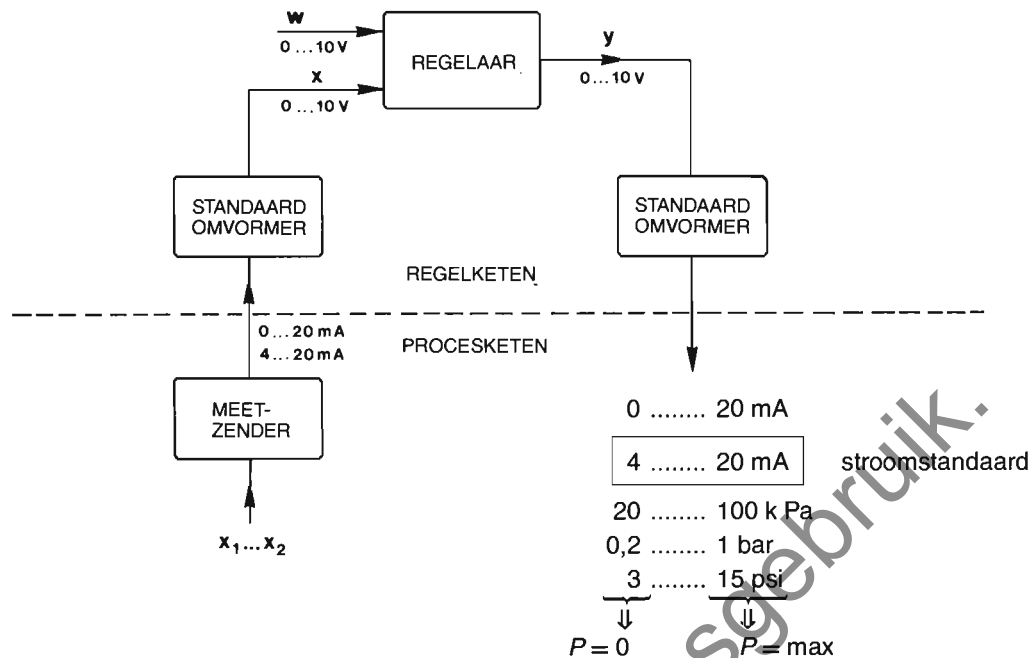


Fig. 3.2 Standaardsignalen

Om een industriële regelaar in alle mogelijke processen, voor gelijk welke fysische grootheden te kunnen inzetten, wordt hij gemaakt voor een bepaalde standaardspanning, bijvoorbeeld 0-10 volt. Hierbij worden dan de volgende afspraken gemaakt:

1. Als de uitgangsspanning van de regelaar gelijk is aan 0 volt, dan moet aan de ingang van het proces gezorgd worden voor een vermogentoevoer gelijk aan nul. Is de uitgang van de regelaar 10 volt, dan moet maximum vermogen naar het proces gaan. De regelaar zelf kan dit vermogen niet leveren. Daarom moet een omvormer het signaal naar een andere aangepaste standaard omzetten, zodat het corrigerend orgaan evenredig hiermee gestuurd kan worden.
2. De ingangsspanning  $x$  van de regelaar wordt vergeleken met de wenswaarde  $w$ , een spanning van 0-10 volt. De meetzender zorgt ervoor dat een bereik  $x_1 - x_2$  van de proceswaarde omgezet wordt naar 0-10 volt. In het standaardproces van fig. 3.2 komt  $x_1$  overeen met een vermogentoevoer nul;  $x_2$  komt overeen met maximum vermogentoevoer.

De signalen  $x$  en  $y$  moeten soms een lange weg afleggen van regelaar naar omvormer, en van meetzender naar regelaar. Storingen, vooral onder de vorm van elektromagnetische golven, kunnen zich mengen met het signaal waardoor valse informatie doorgegeven wordt. Om de invloed van deze storingen zo klein mogelijk te houden en om zich aan te passen aan de gebruikte technologievormen, zijn verschillende standaardsignalen in gebruik geraakt. Met omvormers kan men steeds overgaan van het ene standaardsignaal naar een ander.

## Opmerking

Dikwijls is het juist afbakenen waar de regelaar eindigt en waar de omvormer begint een kwestie van interpretatie, vooral als het gaat over regelkringen die niet gestandaardiseerd zijn.

## 2. Soorten standaardwaarden

### 2.1 Elektrisch-elektronisch

#### a Analooq

- 0-10 volt: vooral gebruikt op printniveau en voor het overbruggen van korte afstanden.
- 0-20 mA: voor het doorzenden van het signaal via kabels over grotere afstanden. Laagohmige meettoestellen kunnen gewoon in serie in de lijn worden opgenomen zonder de stroomwaarde te veranderen. Elektromagnetische golven hebben op deze laagohmige stroomlijnen minder invloed.
- 4-20 mA: een daling van de stroom van 4 mA naar 0 mA dient nu om een stroomuitval te melden. Zowel aan de uitgang als aan de ingang van de regelaar is meestal een omvorming voorzien tussen 0-10 V en de stroomstandaard 4-20 mA, zodat beide kunnen gebruikt worden. Zie fig. 3.2.

#### b Digitaal

Als het signaal verwerkt moet worden door digitale schakelingen en door computerapparatuur, dan wordt het analoog signaal met een analoog/digitaal omvormer vertaald naar een patroon van 8, 16 of 32 bits.

#### c Andere elektronische signaaltvormen

Om storingsinvloeden bij transport van de signalen over grotere afstanden nog kleiner te maken, hebben bepaalde fabrikanten zich gespecialiseerd in het maken van bijzondere elektronische signalen.

Voorbeelden hiervan zijn:

- omzetten van het analoog standaardsignaal naar een evenredige frequentie.
- omzetten naar een tijd tussen twee pulsen.
- omzetten naar de helling van een zaagtandspanning.

### 2.2 Pneumatisch

Het standaardsignaal wordt omgezet naar een luchtdruk. Deze standaard kan de voorkeur krijgen op die plaatsen waar men explosiegevaar vreest. In dat geval tracht men zoveel mogelijk elektrische leidingen te vermijden. Ook als de corrigerende organen zoals kleppen, die met luchtdruk gestuurd worden, is het nodig het standaardsignaal om te zetten naar een luchtdruksignaal. Elektromagnetische golven hebben dan natuurlijk geen storende invloed.

Gebruikte waarden voor luchtdruk zijn:

- 0,2 - 1 bar (1 bar =  $10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}$ )
- 3 - 15 psi (pound/square inch;  
1 psi  $\approx 0,0689 \text{ bar} \approx 6,9 \text{ kPa}$ )

### 2.3 Hydraulisch

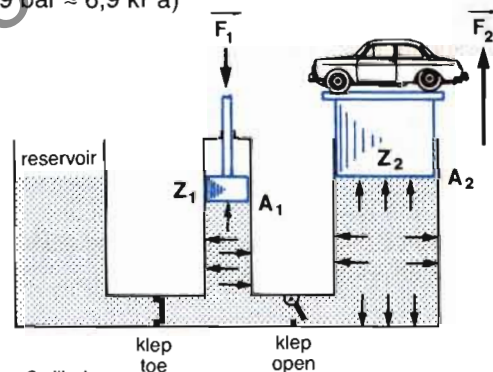


Fig. 3.3 Wet van Pascal toegepast op 2 cilinders

Het standaardsignaal wordt omgezet naar een oliedruk. Dit principe wordt vooral gebruikt als er via zuigers grote krachten moeten worden uitgeoefend. Volgens de wet van Pascal breidt de druk, uitgeoefend op een gas of vloeistof, zich uit met dezelfde grootte en in alle richtingen. Als in fig. 3.3 zuiger  $Z_1$  een oppervlak  $A_1$  en zuiger  $Z_2$  een oppervlak  $A_2$  bezit dan is de druk in beide cilinders dezelfde.

$$\text{Vandaar: } P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$\text{Zodat: } F_2 = \frac{A_2}{A_1} \cdot F_1$$

Omdat  $A_2 \gg A_1$  kan met een kleine kracht  $\vec{F}_1$  een grote kracht  $\vec{F}_2$  ontwikkeld worden.

De oliedruk wordt niet gebruikt om het signaal over een grotere afstand te verplaatsen. De omvorming geschiedt ter plaatse waar de zuigers bediend worden.

Gebruikte waarden voor oliedruk liggen begrepen tussen:

- 6-100 bar

### 3. Pneumatische regelaar

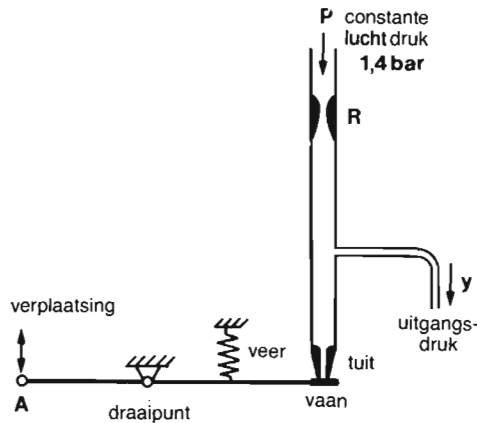


Fig. 3.4 Principe van vaan-tuit systeem

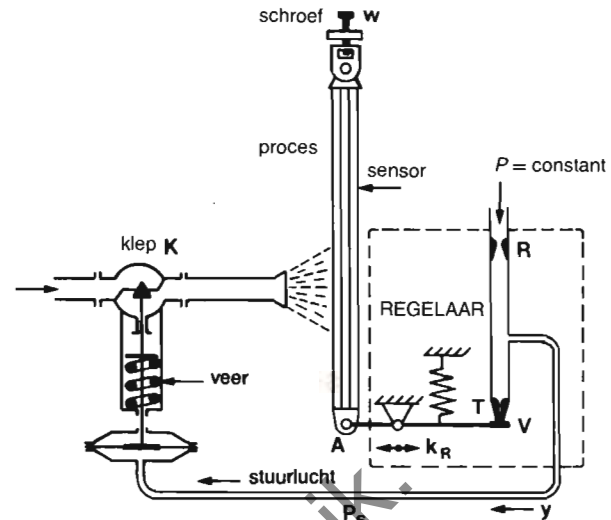


Fig. 3.5 Vochtigheidsregeling met pneumatische regelaar

De pneumatische regelaar wordt gemaakt met het bekende vaan-tuit systeem van fig. 3.4. Een constante luchtdruk van 1,4 bar, wordt via een vernauwing R in een buis gestuurd. De vernauwing R werkt als een weerstand.

Vloeit er een luchtstroom door deze vernauwing, dan ontstaat hierover een drukval, zodat de uitgangsdruk  $y$  kleiner is dan de voedingsdruk  $P$ .

Aan het uiteinde van het buisje kan de lucht naar buiten stromen. Het buisje wordt de tuit (nozzle) genoemd. Het luchtdebiet dat naar buiten kan stromen, hangt af van de afstand tussen een plaatje of vaan (flapper) en het uiteinde van het buisje.

Het vaan-tuit systeem noemt men vaak "flapper-nozzle".

Staat de vaan volledig tegen de opening van de tuit, dan stroomt geen lucht naar buiten en wordt de uitgangsdruk gelijk aan  $P$ . Wordt de opening volledig vrijgelaten dan is het doorstromende debiet groot. De drukval over de vernauwing R is nu groot en de uitgangsdruk  $y$  daalt tot bijna nul.

Door met een geringe kracht de vaan te verplaatsen over enkele tienden millimeters, kan op die manier de uitgangsdruk  $y$  tussen 0,2 en 1 bar veranderd worden.

Om de werking van dit soort regelaar in het geheel van een gesloten kring te zien, bespreken we hier de vochtigheidsregeling van fig. 3.5.

De vochtigheid wordt bepaald door via een sproeikop water in een ruimte te vernevelen. De hoeveelheid water wordt gestuurd door een klep K, die op zijn beurt door de luchtdruk  $y$  van de pneumatische regelaar bediend wordt. Bij een luchtdruk van 1 bar, duwt het membraan tegen de veerkracht de klep volledig dicht. Bij een druk van 0,2 bar staat de klep volledig open. De vochtigheid wordt tenslotte gemeten door opgespannen haren, die zich rekken bij toenemende vochtigheid.

Wordt de vochtigheid bijvoorbeeld groter, dan rekken de haren, punt A gaat naar beneden en via het hefboomeffect, gaat de vaan de opening van de tuit verder afsluiten. Hierdoor verhoogt de uitgangsdruk  $y$  van de regelaar, waardoor de klep K verder gaat sluiten en de watertoevoer in de ruimte vermindert.

Het omgekeerde gebeurt als de vochtigheid kleiner wordt. De versterking  $k_R$  van de regelaar kan veranderd worden door het draaipunt van de hefboom te verplaatsen.

De waarde van de vochtigheid waarbij de gesloten kring in evenwicht komt, wordt beïnvloed door met een schroef de spanning van de haren te veranderen. Hiermee kan dus de gewenste waarde  $w$  worden ingesteld.

## 4. Hydraulische regelaar

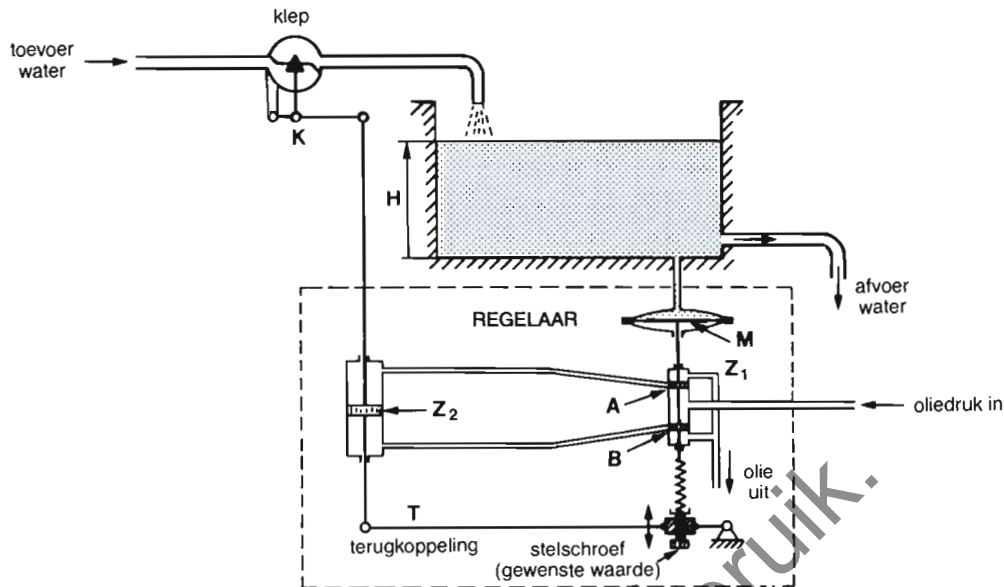


Fig. 3.6 Hydraulische regelaar

Bij grote klepsystemen of zware radar aandrijvingen, moeten grote krachten uitgeoefend worden. Het product oliedruk  $\times$  zuigeroppervlak kan zorgen voor grote krachten.

We beschrijven de werking van de hydraulische regelaar aan de hand van het praktisch voorbeeld van fig. 3.6. Het is de bedoeling het waterniveau in een tank constant te houden.

Veronderstellen we een evenwichtstoestand.

De zuiger  $Z_2$  houdt de klep in een zodanige positie dat de toevoer van het water gelijk is aan de afvoer. De zuigerschuif  $Z_1$  houdt de openingen A en B gesloten. De druk boven en onder de zuiger  $Z_2$  is gelijk, zodat deze stil staat.

Stel dat er een storing optreedt, bijvoorbeeld: de afvoer van het water neemt toe. Hierdoor zal het hoogteniveau  $H$  dalen. Er komt minder waterdruk op het membraan M zodat de zuiger  $Z_1$  door de veerdruk naar boven beweegt. Leiding A wordt geopend en verbonden met de olietoevoer. Leiding B wordt geopend en verbonden met de olieafvoer. Er komt dus oliedruk op de bovenzijde van zuiger  $Z_2$ , zodat deze naar beneden beweegt. Hierdoor wordt de klep verder geopend, zodat er meer water naar het reservoir vloeit.

Indien de zuiger  $Z_2$  naar beneden zou blijven bewegen, dan zou de klep volledig geopend worden. Om dit te beletten is een terugkoppelstang T voorzien. Aan deze stang is een stelschroef met de veer van zuiger  $Z_1$  bevestigd. Beweegt  $Z_2$  naar beneden, dan zal  $Z_1$  langzaam terug naar beneden getrokken worden, zodat iets later A en B terug gesloten worden waardoor  $Z_2$  stil staat. De klep bevindt zich nu in een positie die iets verder geopend is, zodat er meer water in de vergaarbak stroomt en het niveau terug kan stijgen.

Door de terugkoppelstang T, is de correctie veroorzaakt door de klep, steeds evenredig met de afwijking veroorzaakt door de storing. De uitgang van de regelaar is dus proportioneel met de afwijking.

We zullen later spreken van een proportionele regelaar.

Het hoogteniveau zal opnieuw constant blijven als de toevoer opnieuw gelijk geworden is aan de afvoer.

## 5. Elektronische regelaars

### 5.1 Analoge elektronische regelaar

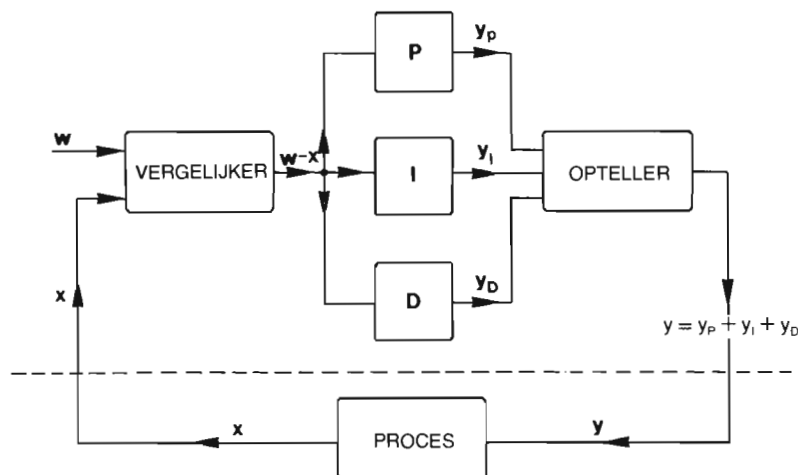


Fig. 3.7 Opbouw van analoge elektronische regelaar

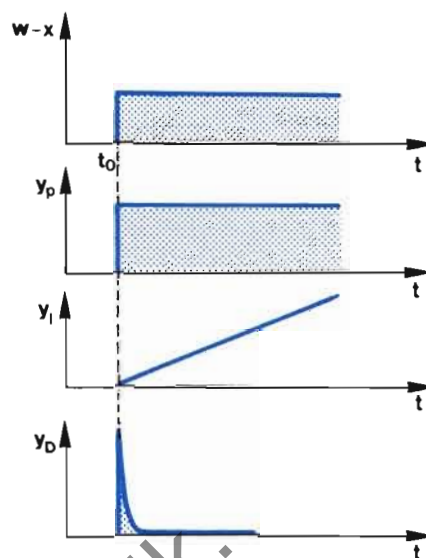


Fig. 3.8 Sprongresponsies van een P-, I- en D-regelaar.

De analoge regelaar is opgebouwd met operationele versterkers. In industriële systemen wordt de regelaar zo gemaakt dat hij met standaardsignalen kan werken. Proceswaarde en gewenste waarde zijn dan spanningen tussen 0 en 10 volt. Komt de proceswaarde als een stroomsignaal van de meetzender, dan wordt aan de ingang van de regelaar de stroomstandaard omgezet naar 0-10 volt. Aan de uitgang kan men zowel de stroomstandaard als de spanningsstandaard kiezen.

Vooruitlopend op de uitvoerige bespreking willen we nu reeds aan de hand van fig. 3.7 de voornaamste functies opsommen in de elektronische regelaar, functies die overigens op mechanische wijze ook gerealiseerd worden in de pneumatische regelaar.

#### a De vergelijker

Deze maakt het verschil tussen de gewenste waarde  $w$  en de proceswaarde  $x$ . De schakeling is dus een verschilversterker. Aan de uitgang verschijnt de spanning  $w - x$ .

#### b De P-regelaar

Deze regelaar levert aan de uitgang een signaal dat evenredig is met de afwijking  $w - x$ . Hoe groter de afwijking, hoe groter dus de uitgang  $y_p$ . Vandaar de benaming: proportionele regelaar of P-regelaar. De kracht van de P-regelaar wordt bepaald door zijn versterking. Men kan dat wiskundig weergeven door de volgende uitdrukking:

$$y_p = (w - x) k_R \quad \text{Hierin is } k_R \text{ de versterking die men kan instellen.}$$

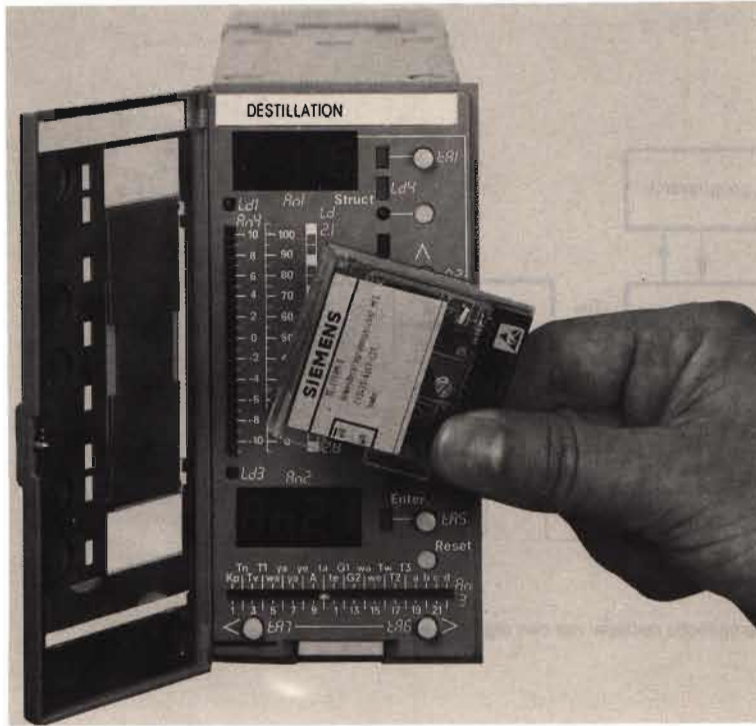
#### c De I-regelaar

De I-regelaar levert aan de uitgang een signaal  $y_i$ , waarvan de grootte evenredig is met de tijd dat de afwijking  $(w - x)$  aanwezig is. De snelheid van  $y_i$  is dan evenredig met de afwijking. Bij een grote afwijking zal de uitgang snel veranderen; bij een kleine afwijking zal de uitgang traag bewegen. Als  $x = w$  dan is  $w - x$  nul en zal  $y_i$  verder constant blijven.

#### d de D-regelaar

De uitgang  $y_d$  van deze regelaar is evenredig met de snelheid waarmee de afwijking verandert. Als  $x$  snel afwijkt van  $w$ , dan zal deze regelaar krachtig reageren. Als  $x$  traag afwijkt, zal dit een zwakke correctie opleveren. Als  $x$  niet verandert dan is  $y_d = 0$ .

Fig. 3.8 laat zien hoe de drie regelaars reageren op een plotse afwijking van  $w - x$ . Men noemt dit de sprongresponsie van een regelaar. Telt men de drie sprongresponsies op dan verkrijgt men de totale sprongresponsie  $y$  van de regelaar. Met behulp van de sprongresponsie kan men zien op welke wijze de regelaar rekening houdt met alle vormen van bewegingen die de proceswaarde kan aannemen, na de invloed van een storing. De regelaar is dan in staat de afwijking op een bevredigende manier terug tot nul te herleiden. Een reeks voorbeelden van moderne elektronische regelaars wordt in fig. 3.9 getoond.



Wilt U meer weten over de elektronische opbouw van de analoge en digitale regelaar dan verwijzen we naar de uitgave "REGELTECHNIEK-PROCESTECHNIEKEN"

De opbouw van de analoge regelaar met de operationele versterker en het simuleren van de gedragingen in open en gesloten kring wordt uitvoerig beschreven in "PRACTICUMBOEK 1"

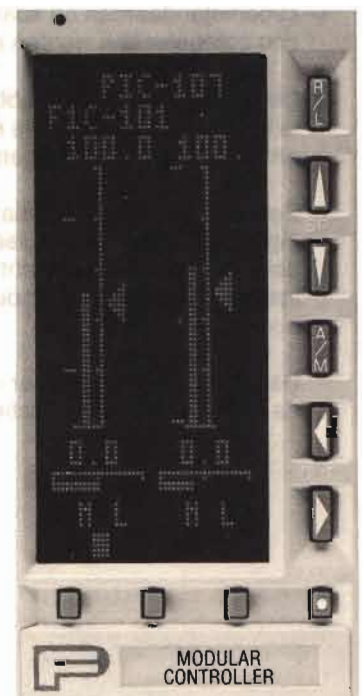


Fig. 3.9 Uitvoering van elektronische regelaars.

## 5.2 Digitale elektronische regelaar

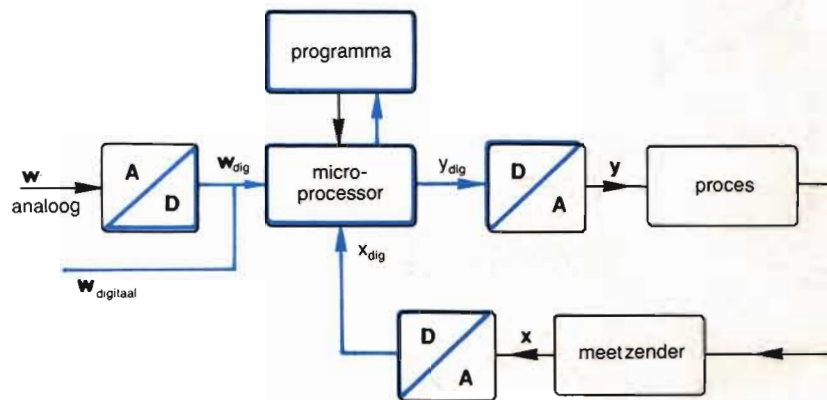


Fig. 3.10 Schematische opbouw van een digitale regelaar

Het invoeren van digitale technieken in de regelaar hebben de nauwkeurigheid, de betrouwbaarheid en de flexibiliteit van de regelaar vergroot. Het analoge signaal  $w$  wordt door de analoog/digitaal omvormer (A/D) omgezet in een digitaal signaal  $w_{dig}$ . Dit wordt vergeleken met de gedigitaliseerde meetwaarde  $x_{dig}$ . De microprocessor kan niet alleen vergelijken en optellen maar ook vermenigvuldigen (P), integreren (I) en differentiëren (D). Aan de uitgang ontstaat een digitaal signaal  $y_{dig}$  dat door een D/A-omvormer in een analoge signaal wordt omgezet waarmee het proces gestuurd wordt. Via de meetzender en een A/D-converter wordt de proceswaarde  $x_{dig}$  naar de processor gevoerd.

De kracht van de P-, de I- en de D-actie zijn nauwkeuriger in te stellen en met een grotere stabiliteit. Ook het instellen van gewenste waarde met vingertip-toetsen brengt een groter comfort mee. Proceswaarde en de uitgang van de regelaar kunnen eveneens door een display worden weergegeven. Zie fig. 3.9.

Hetgeen de regelaar moet doen op de afwijking  $w - x$ , namelijk reageren met een P-, een I- en een D-actie is principieel hetzelfde als voorheen beschreven werd bij de analoge regelaar. Ook zijn de klassieke stroomstandaarden en spanningsstandaarden te gebruiken, maar er zijn ook voorzieningen getroffen waarbij een computer kan worden aangekoppeld om gegevens van het proces te verzamelen.

De digitale technieken hebben de ontwerpers mogelijkheden geboden om ingewikkelde functies in de regelaar te bouwen. Zo zijn er zelfs regelaars waar microprocessoren ingebouwd zijn. Een van de merkwaardige ontwikkelingen bij deze generatie van regelaars is de zogenaamde **“zelf adaptieve”** regelaar.

Zoals bij de analoge regelaar reeds werd opgemerkt, kan de kracht van de P-, de I- en de D-actie afzonderlijk ingesteld worden. We zullen later zien, dat afhankelijk van de eigenschappen van het proces, het zeer belangrijk zal zijn de kracht van elke actie juist te doseren. In de voorgaande regelaars worden deze instellingen gedaan door de instrumentman die hiervoor een aantal spelregels moet volgen, die we later in het boek zullen behandelen.

De zelf adaptieve regelaar is in staat om zelf de eigenschappen van het proces te meten en in functie daarvan, de kracht van zijn regelacties zelf in te stellen.

### 5.3 Multifunctionele regelaar en computergesteund regelen

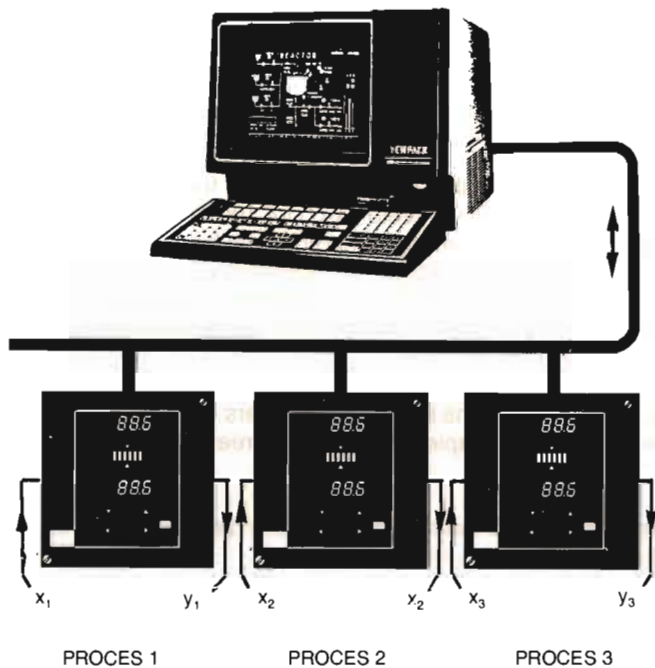


Fig. 3.11 Computer als informatieverwerker.

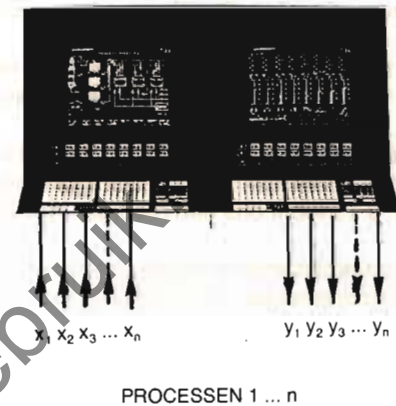


Fig. 3.12 Computer als informatieverwerker en als regelaar.

In deze generatie digitale regelaars, wordt de interne structuur van het toestel opgebouwd uit losse blokken. Via een computerprogramma kan men op het scherm van de computer de schakeling die men wenst zelf opbouwen. De computer zorgt er dan voor dat de schakeling in het toestel gerealiseerd wordt, zoals het op het scherm getekend werd. Zie fig. 3.11.

De computer kan tijdens het werken van de regelaar in de gesloten kring een begeleidende taak vervullen. Allerhande gegevens van het proces kunnen samengebracht worden op het scherm. Ook kan een tekening van de volledige gesloten regelkring op het scherm gerealiseerd worden in blokschema en met de standaardsymbolen die in regelkringen gebruikt worden. Op deze wijze heeft men steeds een globaal overzicht van de regelkring en hetgeen erin gebeurt.

Omdat de computer de gegevens van meerdere regelkringen kan opvragen en bijhouden is men ook in staat de structuur van een ganse productie-eenheid met talrijke regelkringen in een tekening op het scherm voor te stellen. Alle fysische gegevens worden bijgehouden en grafieken kunnen worden opgevraagd. Het constant houden van de fysische grootheden in het proces wordt echter door de regelaar uitgevoerd. De computer wordt enkel gebruikt om gegevens te verzamelen, op te slaan, gegevens op het scherm weer te geven enz...

De volgende stap is natuurlijk de functies van alle regelaars door de computer zelf te laten uitvoeren. In dat geval spreekt men van een procesgekoppelde computer, hetgeen de basis vormt van de CIM of Computer Integrated Manufacturing. Alle informatie van alle processen in een bepaalde productie worden verzameld door de computer, die een voor een de nodige correcties beveelt om de proceswaarden constant te houden. Zie fig. 3.12.

De computer kan echter slechts één proceswaarde gelijktijdig behandelen. Een proceswaarde  $x_1$  wordt geselecteerd, omgezet naar een digitale waarde met een A/D omvormer. Daarna wordt deze waarde in het programma van de computer vergeleken met de gewenste waarde. De uitgang  $y$  wordt berekend volgens de P-, I- en D-eigenschappen; omgezet naar een analoge standaardwaarde met een D/A omvormer en naar het proces gestuurd. Daarna wordt proceswaarde  $x_2$  geselecteerd... Elke behandeling kost tijd. Een snel proces wordt daarom bij voorkeur nog met een afzonderlijke standaardregelaar geregeld.

In de uitgave "REGELTECHNIEK-PROCESTECHNIEKEN" vind je uitgebreid informatie over deze thema's.

## 6. Meet- en registratiesystemen

Het is belangrijk de bewegingen van de proceswaarde  $x$  en de instelwaarde  $y$  gedurende een zekere tijd te volgen. Vooral de beweging van de proceswaarde  $x$  na een storing vertelt ons of de regelaar in staat was op bevredigende wijze  $x$  terug naar de gewenste waarde te regelen. Het is dus nodig  $x$  en  $y$  steeds te meten en eventueel te registreren.

### 6.1 Penrecorder

De meeste standaardregelaars zijn voorzien van een analoog of digitaal meetsysteem op het frontpaneel. De proceswaarde  $x$  en de instelwaarde  $y$  zijn af te lezen op een schaal verdeeld van 0 tot 100% zoals het frontpaneel van fig. 3.13 toont. Veel regelaars hebben nog een ingebouwde penrecorder, die bereikt kan worden door het chassis van de recorder uit het rek te trekken zoals in fig. 3.14 is afgebeeld.

De recorder bestaat uit een schijf die langzaam rond draait. Een pen schrijft ondertussen de proceswaarde  $x$ . De waarde wordt afgelezen als de afstand vanaf het centerpunt van de schijf.

Naast de penrecorder die ingebouwd is in de regelaar, kunnen eveneens losse penrecorders gebruikt worden. Met een recorder kunnen ook meerdere proceswaarden op dezelfde papierstrook geregistreerd worden. Fig. 3.15 toont ons een recorder met vier kanalen.

Naast recorders die geijkt zijn met een standaardschaal van 0-100% bestaan er eveneens die geijkt zijn in de fysische grootte zelf. In fig. 3.16 zien we een druk- en een temperatuurschaal.

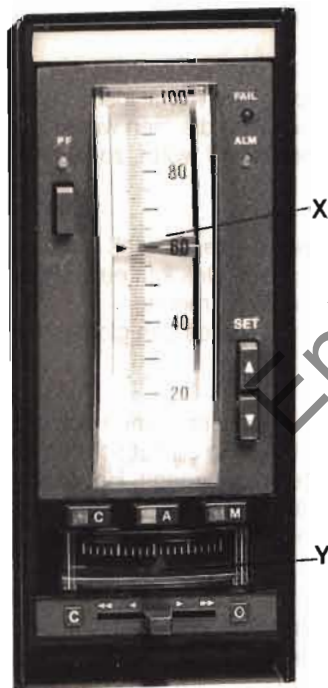


Fig. 3.13 Frontpaneel met  $x$  en  $y$  aanduiding

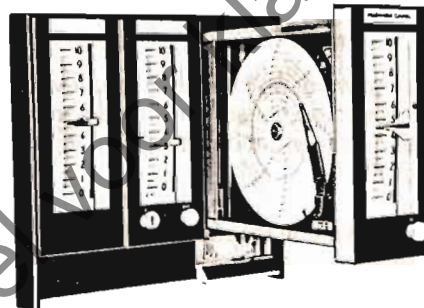


Fig. 3.14 Regelaar met penrecorder

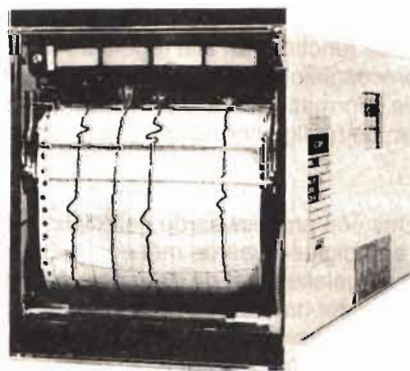


Fig. 3.15 Penrecorder met 4 kanalen

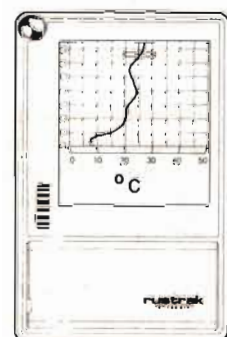
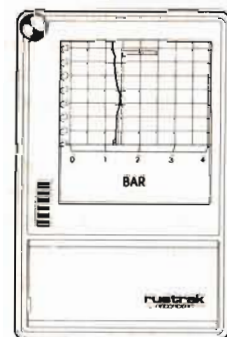


Fig. 3.16 Schaal geijkt in de fysische grootte

## 6.2 Elektronische registratie

Een moderne manier om procesgegevens te registreren is gebruik te maken van digitale geheugens. Een of meerdere proceswaarden kunnen in een geheugen bewaard worden. Deze gegevens kunnen dan achteraf met een computer opgevraagd en op een schijf geladen worden. Het verloop van de proceswaarden in functie van de tijd, kan dan ontleed worden op het scherm van de computer. De grafiek kan met een klassieke printer uitgeprint worden zoals in fig. 3.17 is weergegeven.

Bij de fabrikant van het hieronderstaand systeem vinden we nog de volgende gegevens:  
Het is een vierkanaal data recorder, die vier verschillende signalen gelijktijdig kan registreren gedurende een vooraf te programmeren tijd. Deze tijd is in te stellen tussen 5 minuten en 100 dagen.

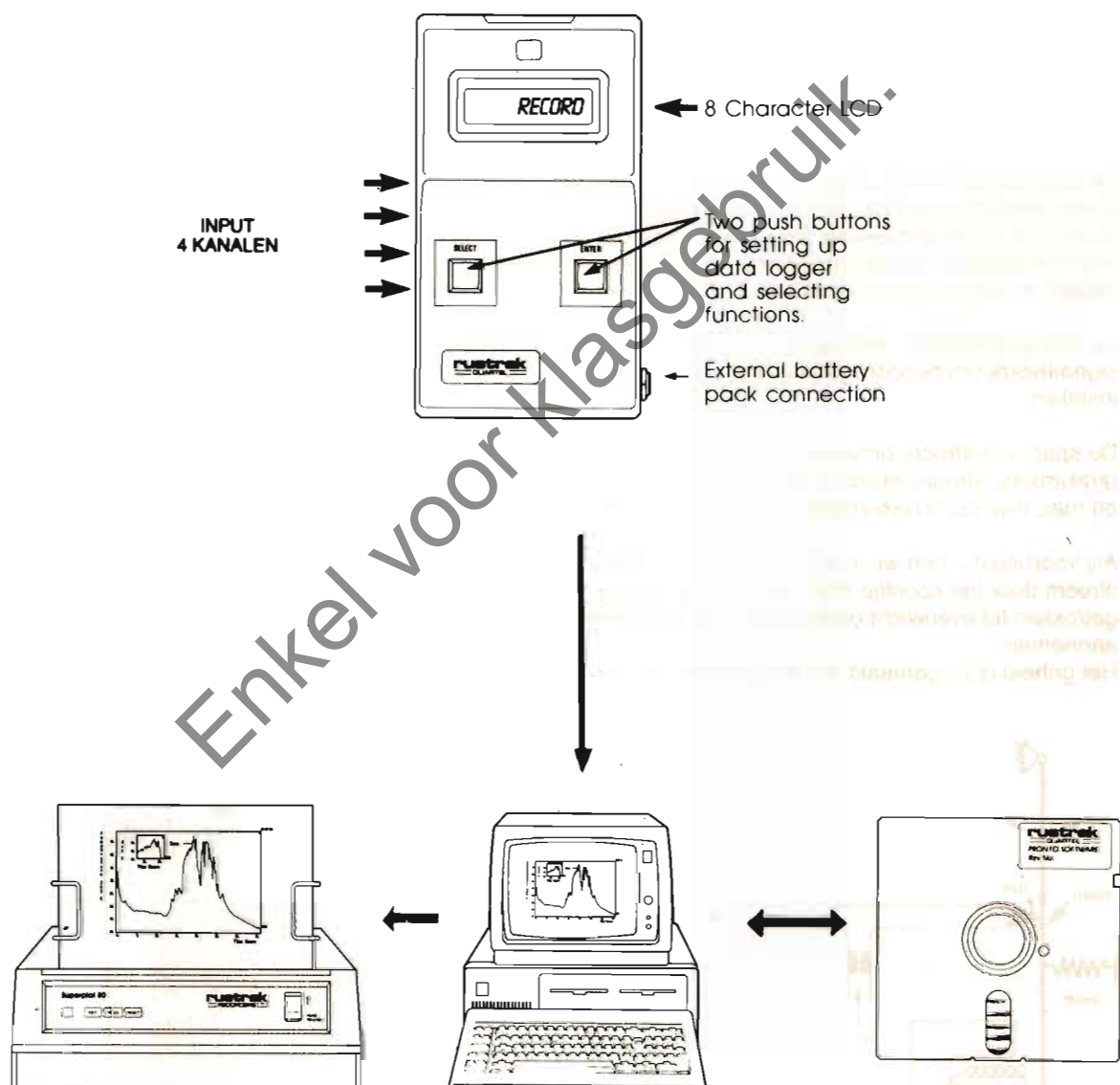


Fig. 3.17 Elektronische registratie van proceswaarden met computer verwerking

## 7. Signaalomvormers

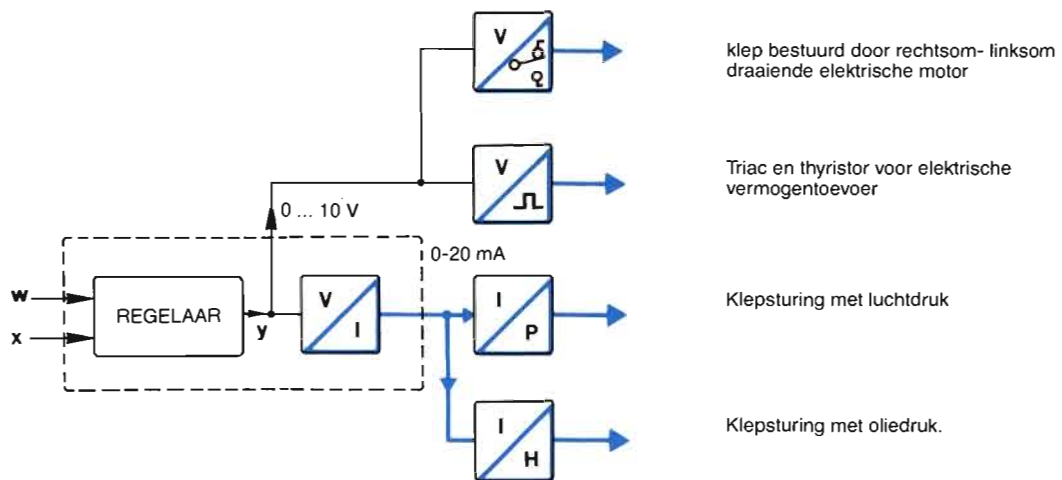


Fig. 3.18 Overzicht van verschillende mogelijke signaalomvormers

De uitgangsspanning van de elektronische standaardregelaar kan veranderen tussen 0 en 10 volt. Hierbij moet 0 volt overeenkomen met een vermogentoevoer in het proces gelijk aan nul, 10 volt moet zorgen voor een maximum vermogentoevoer. De regelaar zelf kan dit vermogen niet leveren. Daarom kan de uitgang van de regelaar gebruikt worden als stuurspanning voor een instelorgaan. Volgens de constructie van het corrigerend orgaan is een bepaalde signaalvorm nodig, elektrisch, pneumatisch of hydraulisch.

De signaalomvormer zorgt er nu voor dat de uitgang van de regelaar omgezet wordt naar een aangepaste signaalvorm om het corrigerend orgaan in alle mogelijke posities tussen gesloten en maximum open te kunnen instellen.

De spanning-stroom omvormer bevindt zich meestal reeds in de regelaar. Daarnaast bestaan stroom-luchtdruk omvormers, stroom-oliedruk omvormers en elektronische omvormers voor het sturen van elektrische motoren en triac-thyristorschakelingen. Fig. 3.18 toont ons een overzicht van mogelijke overgangen.

Als voorbeeld tonen we in fig. 3.19 het principe van een stroom-luchtdruk omvormer van Siemens. Als de stroom door het spoeltje stijgt, wordt de uitgeoefende Lorentzkracht op de vaan groter. Deze wordt naar de tuit getrokken tot evenwicht ontstaat met de veer. Hierdoor gaat de uitgangsdruk  $P_{uit}$  een hogere waarde aannemen.

Het geheel is zo gemaakt dat een stroom  $I$  van 0-20 mA de luchtdruk  $P$  van 0,2 naar 1 bar doet veranderen.

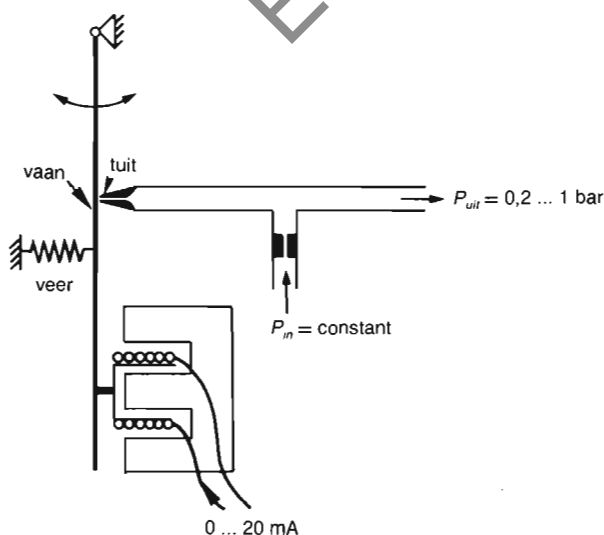


Fig. 3.19 Principe en uitzicht van een stroom-luchtdruk omvormer (Siemens)

## 8. Regelklep

Alvorens een overzicht te geven van de verschillende soorten corrigerende organen en hun aandrijvingen, vestigen we eerst de aandacht op het voornaamste type: de regelklep.

Kleppen worden gebruikt om het debiet van vloeistoffen en gassen naar een proces te doseren en evenredig te houden met het uitgangssignaal van de regelaar. Dit kan gebruikt worden om het debiet zelf achter de klep constant te houden. We hebben dan te maken met een debietregeling. Wordt de vloeistof of het gas als een energiedrager gebruikt, dan kan via een warmtewisselaar het vermogen in een proces veranderd worden. Dit wordt toegepast in temperatuurregelingen. Ook kan de druk van een gas in een tank geregeld worden. De regelklep kan ook aangewend worden om het niveau in een opslagtank te regelen.

De vier belangrijkste toepassingen van de klep zijn:

- debietregelingen;
- temperatuurregelingen;
- drukregelingen;
- niveauregelingen.

### 8.1 Constructie van regelklep

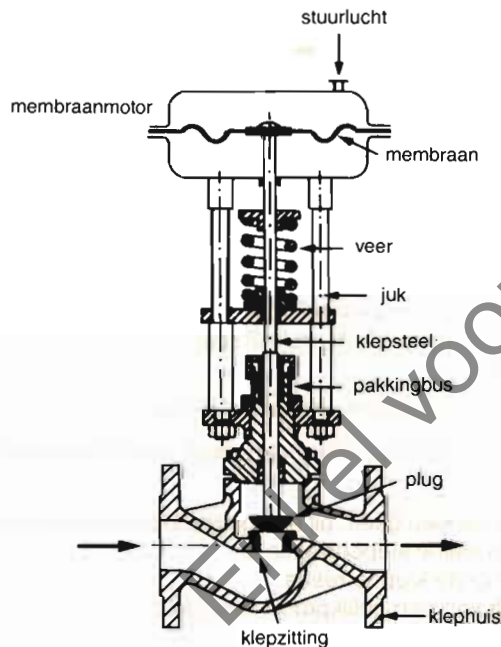


Fig. 3.20 Constructie van een klep



Fig. 3.21 Uitvoering van een regelklep met klepsteller

In fig. 3.20 is een vereenvoudigde voorstelling van een pneumatisch gestuurde regelklep afgebeeld. De plug is verbonden aan de klepsteel die op zijn beurt bevestigd is aan een membraan. Als de luchtdruk van de stuurlucht toeneemt dan wordt de plug dichter bij de klepzitting gebracht en wordt de klep meer gesloten. De verplaatsing van het membraan is zodanig dat er evenwicht optreedt tussen de luchtdruk en de sterkte van de spanveer.

Een regelklep bestaat uit drie hoofd delen:

- de klepmotor of instelaandrijving;
- het klepsteelgedeelte;
- de klep als corrigerend gedeelte.

In de uitvoering van fig. 3.21 zien we ook nog een klepsteller.

De standaarduitgang van de regelaar ( $y$ ) 4 ... 20mA wordt omgezet naar een evenredige luchtdruk 0,2 ... 1 bar. Deze stuurt de klepsteller die ervoor zorgt dat de klep op een evenredige positie ingesteld wordt tussen de open en gesloten toestand.

## 8.2 Klepkaracteristieken

Om de regelklep aan te passen aan het regelproces geeft men aan de plug een aangepaste vorm. Hierdoor ontstaat er een bepaald verband tussen de verplaatsing van de plug of de klepheffing  $H$  en de doorgelaten hoeveelheid of het debiet  $q$  van vloeistof of gas.

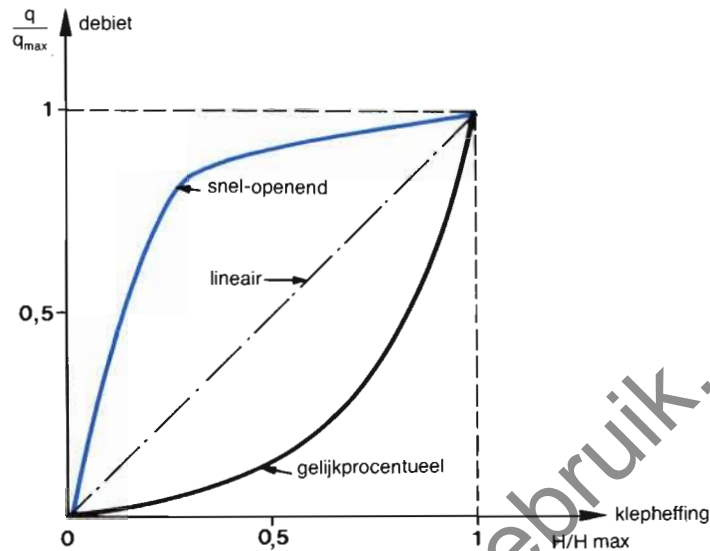


Fig. 3.22 Karakteristieken van regelkleppen

De klepkarakteristiek geeft het grafisch verband weer voor het doorgelaten debiet in % in functie van de klepheffing in %. De karakteristieken van fig. 3.22 gelden voor een constant drukverschil over de klep. Volgens de vorm van de klepkarakteristiek onderscheiden we:

- de snel-openende klep: deze klep geeft reeds bij een kleine klepheffing een groot debiet;
- de lineaire klep: deze geeft voor dezelfde verandering van de klepheffing eenzelfde verandering van het debiet;
- de langzaam-openende klep: deze logaritmisch openende klep geeft, bij een gelijke klepstandverandering,
  - kleine debieten bij een kleine klepcorrectie en
  - grote debieten bij een grote klepcorrectie.
 Daarom spreekt men ook van een gelijkprocentuele klep.

### Opmerking:

In het laagste deel van het bereik is er geen regelwerking meer aanwezig. Hierdoor kan een regelklep niet als afsluiter gebruikt worden omdat ze nooit volledig dicht zijn in sluitstand. Daarom worden regelkleppen voorafgegaan en gevolgd door een handafsluiter.

## 9. Corrigerend orgaan

Het corrigerend orgaan is de laatste schakel die in het proces ingrijpt om een bepaald vermogen in het proces te sturen.

Wordt het vermogen gedragen door een vloeistof of gas dan vormt de regelklep het corrigerend orgaan.

Wordt het vermogen gedragen door een elektrische stroom dan vormen de transistor, thyristor of TRIAC het corrigerend orgaan.

Het corrigerend orgaan vervult hierbij dezelfde rol als een warmwaterkraan tijdens het nemen van een douche. We onderscheiden een pneumatische en een elektrische vermogensturing.

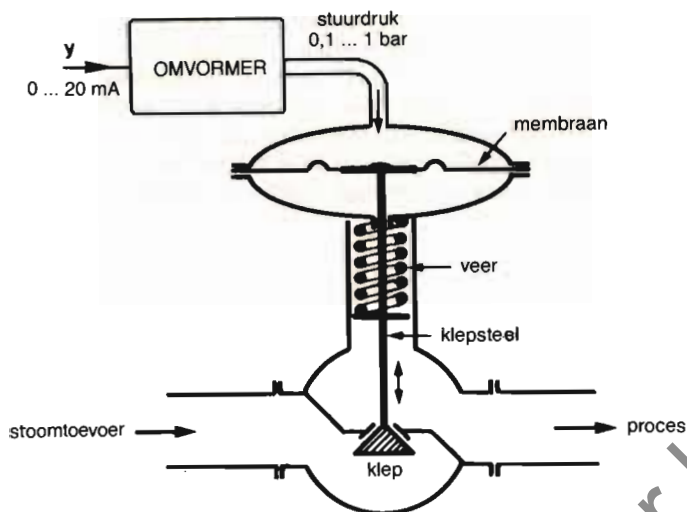


Fig. 3.23 Pneumatisch gestuurde klep als corrigerend orgaan

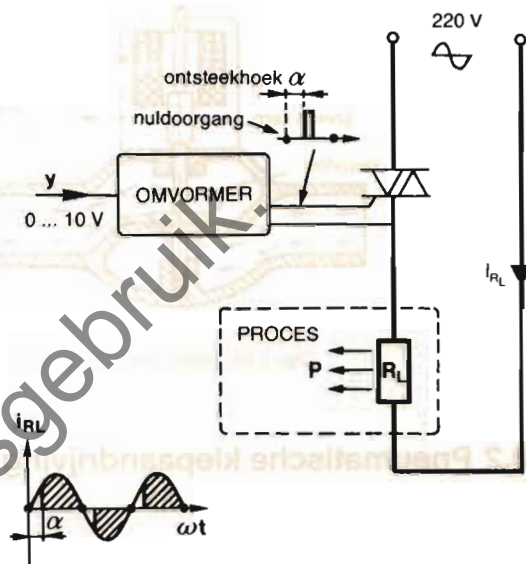


Fig. 3.24 Triac als corrigerend orgaan voor elektrische vermogensturing

### 9.1 Pneumatische vermogensturing

In fig. 3.23 wordt het  $y$ -signaal ( $0 \dots 20$  mA) uit de regelaar door de omvormer naar een luchtdruk vertaald tussen 0,2 en 1 bar. Deze druk duwt het membraan over een zodanige afstand naar beneden, dat de tegenwerking van de veer gelijk is aan de kracht op het membraan. De opening van de klep wordt op deze wijze evenredig gehouden met het signaal uit de regelaar. Hier kunnen we de constructie membraan-veer-klepsteel als de instelaandrijving beschouwen. We zien dat deze constructie eigenlijk een geheel vormt met de klep als corrigerend orgaan.

### 9.2 Elektrische vermogensturing

Het signaal  $y = 0 \dots 10$  V uit de regelaar wordt door de omvormer in fig. 3.24 vertaald naar de ontsteekhoek  $\alpha$  van de stuurpuls, gemeten vanaf de voorgaande nuldoorgang van de netspanning. Hierdoor wordt via de triac de sinusstroom naar de belasting aangesneden. Als  $y$  gelijk is aan 0 volt, dan is de ontsteekhoek  $180^\circ$  en er vloeit geen stroom door de belasting  $R_L$ . Als  $y$  gelijk is aan 10 volt dan is de ontsteekhoek  $0^\circ$  en vloeit volle stroom door de verwarmingsweerstand. De ontsteekhoek en dus ook de effectieve stroom en het vermogen in de belasting zijn dus evenredig met het uitgangssignaal van de regelaar. De triac vervult hier de rol van corrigerend orgaan terwijl de omvormer als de instelaandrijving te beschouwen is. Beide bouwstenen zijn dus duidelijk van elkaar te onderscheiden. Soms is het afbakenen van regelaar, omvormer en aandrijving van het corrigerend orgaan verschillend te interpreteren.

# 10. Klepaandrijvingen

De klepaandrijving regelt de beweging en de plaats van de klepsteel, dus ook de opening van de klep. We onderscheiden de volgende klepaandrijvingen:

- elektro-magnetisch;
- pneumatisch;
- elektromotor.

## 10.1 Elektro-magnetische klepaandrijving

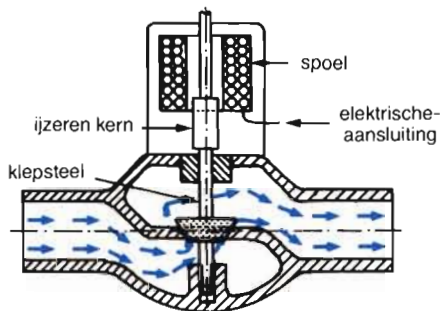


Fig. 3.25 Elektro-magnetische klep

Bovenaan in fig. 3.25 bevindt zich een elektromagneet. De spoel is opgenomen in een kunststofbehuizing waaruit twee aansluitlippen steken. De ijzeren kern is verbonden aan de klepsteel. De klepsteel wordt in het magnetisch veld van de spoel getrokken zodra er voldoende stroom door de spoel vloeit. Op deze wijze wordt de klep zelf geopend of eventueel gesloten. In aan/uit-regelkringen kan deze manier van aandrijven van een klep goed gebruikt worden.

## 10.2 Pneumatische klepaandrijving

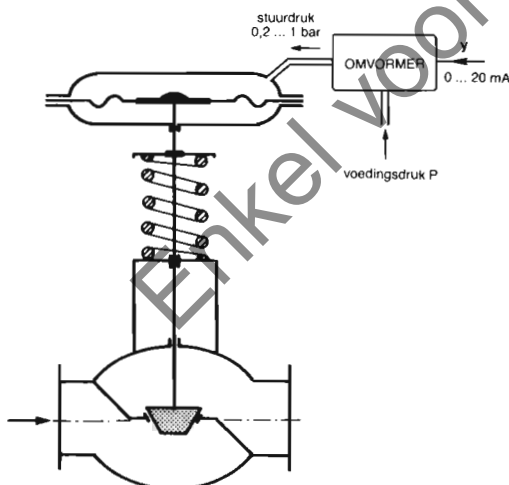


Fig. 3.26 Sluitende klep bij drukstijging

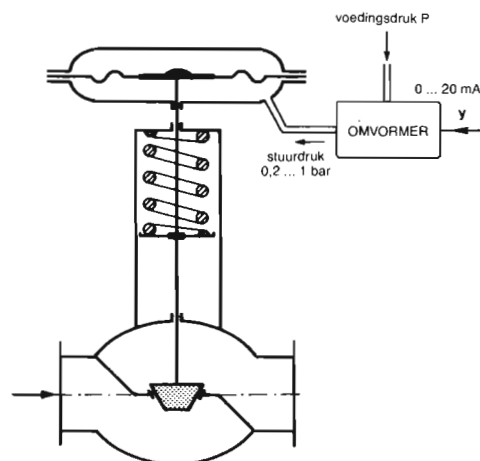


Fig. 3.27 Openende klep bij drukstijging

In de eenvoudigste uitvoering wordt de stuurdruk van de omvormer direct op het membraan van de klepsturing gebracht. De stuurdruk maakt telkens evenwicht met de veer aan de andere zijde van het membraan. Wordt de druk groter dan gaat in fig. 3.26 het membraan naar beneden, de veer wordt ingedrukt tot de kracht van de veer weer evenwicht maakt met de kracht uitgeoefend door de luchtdruk. De stand van de klepsteel en dus ook de stand van de klep, is steeds evenredig met de luchtdruk die afkomstig is van de omvormer. De omvormer zorgt voor een stuurdruk van 0,2 ... 1 bar overeenkomstig de grootte van het y-sigitaal (0-20 mA).

Afhankelijk van de plaats van de veer kan de aandrijving in twee richtingen werken. Zo kan een druktoename de klep doen sluiten of de klep doen openen. Vergelijk fig. 3.26 met fig. 3.27. Omwille van de constructie noemt men de pneumatische klepaandrijving ook membraanmotor. Zie ook fig. 3.32 op pagina 54.

### 10.3 Klepaandrijving met elektrische motor

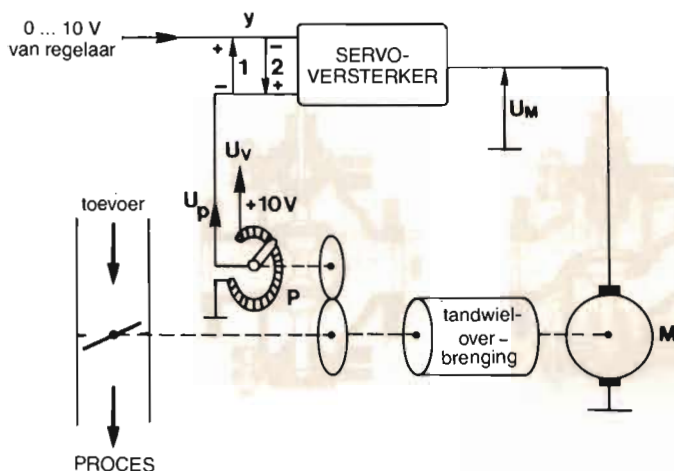


Fig. 3.28 Elektrisch Servosysteem als klepsteller

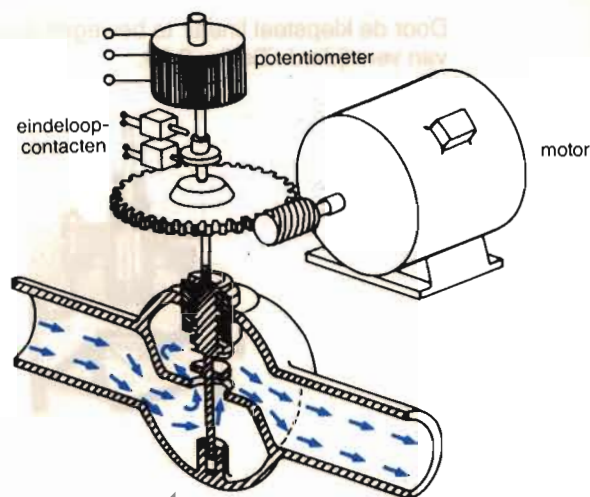


Fig. 3.29 Constructie van een klepaandrijving door een elektromotor

Het servosysteem dat beschreven is in blok 1 kan eveneens gebruikt worden als klepsteller. Het is dus de bedoeling dat de stand van de klep steeds evenredig is met de uitgangsspanning van de regelaar. Bij een sluitende klep moet bij 0 volt de klep dicht zijn, bij 1 volt 10% open, bij 2 volt 20% open ... enz. ..., bij 10 volt 100% open.

De uitgangsspanning  $y$  van de regelaar in fig. 3.28 wordt als gewenste waarde  $w$  gebruikt van het servosysteem. De stand van de as, waarop zich eveneens de klep bevindt, wordt gemeten door de potentiometer  $P$ . Als de spanning  $U_p$  op de looper van de potentiometer gelijk is aan de uitgangsspanning  $y$  van de regelaar, dan is het verschil aan de ingang van de servoversterker nul. De uitgangsspanning  $U_M$  is ook nul en de motor staat stil. Via de tandwieloverbrenging komt ook de klep tot stilstand.

Wordt  $y$  groter dan  $U_p$ , dan heeft de verschilspanning aan de ingang van de servoversterker polariteit 1. Zie fig. 3.28. Wordt bijvoorbeeld  $U_M$  positief, dan draait de motor in een zodanige richting dat, via de overbrenging, de spanning  $U_p$  stijgt. De klep draait verder open. Wordt  $U_p$  weer gelijk aan  $y$  dan valt de motor stil en de klep staat in de nieuwe positie, die overeenkomt met de grotere waarde van  $y$ .

Als de uitgang van de regelaar daalt, dan keert de polariteit van de verschilspanning aan de ingang van de servoversterker om. De uitgang  $U_M$  wordt dan negatief, de motor draait andersom en  $U_p$  daalt. De klep gaat meer sluiten, tot  $U_p$  weer gelijk geworden is aan  $y$ . De klep staat dan weer in een positie die overeenkomt met de lagere waarde van de uitgang  $y$  van de regelaar.

Merk op, dat het servosysteem op zich, eveneens een gesloten regelsysteem is. De klepstand moet de uitgangsspanning van de regelaar volgen.

Door mechanische aanpassingen kan men zowel vlinderkleppen doen draaien en klepstelen op en neer bewegen.

De constructie van een klepaandrijving met een elektro-motor is afgebeeld in fig. 3.29 terwijl fig. 3.31 een praktische realisatie toont.

**Stad Antwerpen  
Stedelijk Lyceum**

**Hoofdstelling :**

**Paardenmarkt 94**

**2000 ANTWERPEN**

**Tel. 03/470.25.30 - Fax 03/470.25.31**

# 11. Soorten kleppen

## 11.1 Zittingklep

Door de klepsteel lineair te bewegen wordt de plug of afsluiter dichter bij de klepzitting gebracht of er verder van verwijderd. Zie fig. 3.29.



Fig. 3.30 Doorsnede van drie zittingkleppen

Deze kleppen noemt men ook zittingkleppen. We onderscheiden in fig. 3.30 drie uitvoeringen:

- klep met enkele zitting;
- klep met enkele zitting waarbij de onderste en bovenste flens kan geopend worden om de klep te reinigen;
- klep met dubbele zitting die gebruikt wordt bij hoge drukverschillen over de klep en een grote materiaalvolumestroom. De klep wordt niet belast door de druk van de vloeistof. De klep kan dus krachteloos verplaatst worden.



Fig. 3.31 Klep met enkele zitting aangedreven door elektromotor



Fig. 3.32 Klep met klepsteller aangedreven door membraanmotor

## 11.2 Klep met draaiende klepsteel

Bij deze uitvoering wordt klep en klepsteel met een rotatiebeweging in positie gebracht. Fig. 3.33 toont de doorsnede van een dergelijke klep.

## 11.3 Vlinderklep

Zoals fig. 3.34 weergeeft, bestaat de vlinderklep uit een ronde schijf die dwars in het klephuis geplaatst is. Door de schijf over 90° te verdraaien, kan de doorstromingsopening van volledig open tot volledig gesloten worden. Vlinderkleppen worden toegepast voor grote doorlaten en betrekkelijk lage werkdrukken. Vooral voor het regelen van verontreinigde vloeistoffen zijn ze zeer geschikt.

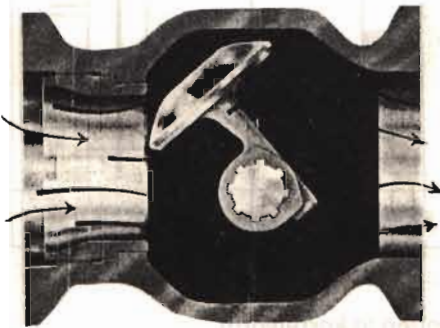


Fig. 3.33 Klep met draaiende klepsteel (Camflex)

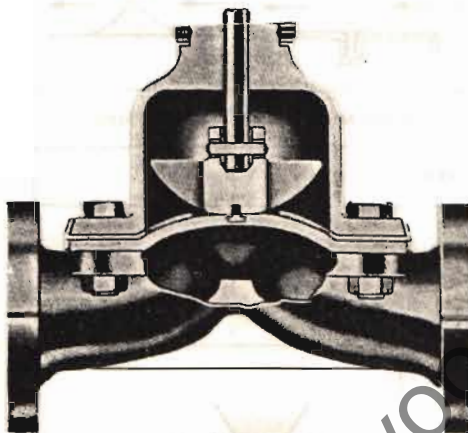


Fig. 3.35 Knijpklep

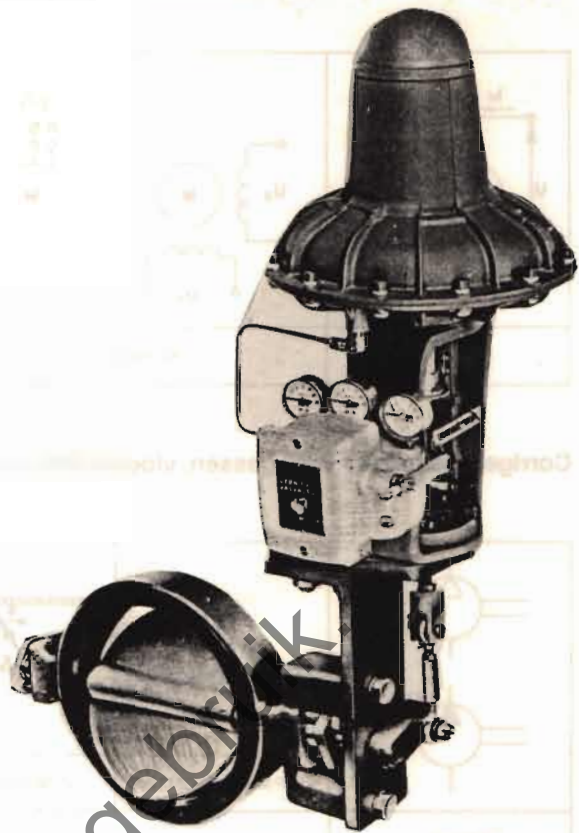


Fig. 3.34 Vlinderklep (Foxboro)

## 11.4 Knijpklep of membraanklep

In de buis wordt een beweeglijk membraan geplaatst dat via een lineaire aandrijving geopend en dichtgeknepen kan worden. Zie fig. 3.35.

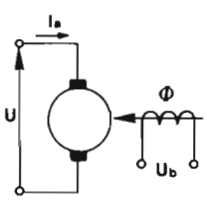
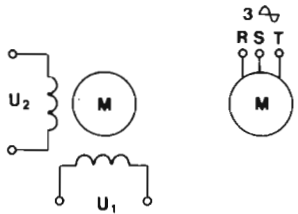
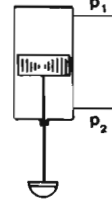
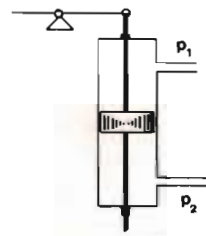
Membraankleppen zijn bijzonder geschikt voor het regelen van verfstoffen, zuren, papierpulp enz. Deze kleppen lekken geen medium, zijn gemakkelijk schoon te maken en verstoppen zelden.

## 11.5 Schuifafsluiter

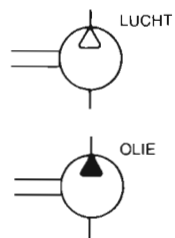
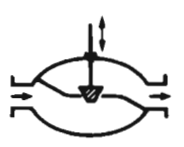
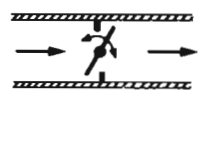
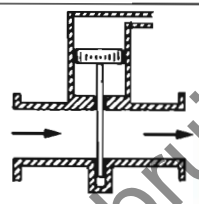
Wanneer men de toevoer van vaste stoffen in korrelvorm wil regelen dan maakt men gebruik van een schuifafsluiter, zoals in fig. 3.36 getoond wordt.

Hier toe wordt de buis onderbroken en in de onderbreking wordt een schuif heen en weer geschoven.

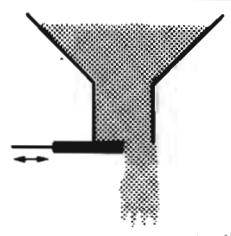
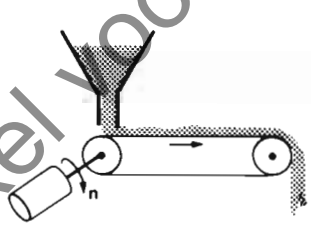
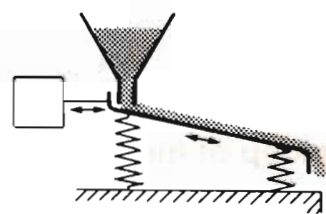
Corrigerend orgaan voor starre assen ; toerental ; hoekstand ; verplaatsing

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |
| DC-motor                                                                          | AC-motor                                                                          | PNEUMATISCH                                                                       | HYDRAULISCH                                                                         |

Corrigerend orgaan voor gassen, vloeistoffen en vaste stoffen in korrelvorm

|                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |
| POMPEN                                                                            | KLEP MET KLEPZITTING                                                              | VLINDERKLEP                                                                       | SCHUIFAFSLUITER                                                                    | KNIJPKLEP                                                                           |
|                                                                                   | KLEPPEN                                                                           |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |

Corrigerend orgaan voor vaste stoffen in korrelvorm

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| SCHUIFAFSLUITER                                                                     | TRANSPORTBAND                                                                       | TRILSCHUIF                                                                           |

Corrigerend orgaan voor elektrisch vermogen

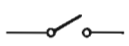
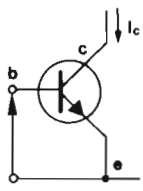
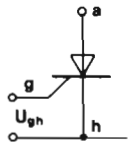
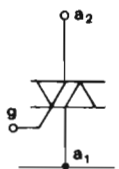
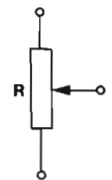
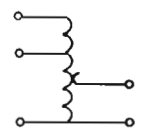
|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |  |  |  |
| SCHAKELAAR                                                                          | TRANSISTOR                                                                          | THYRISTOR                                                                           | TRIAC                                                                               | REGBARE WEERSTAND                                                                    | REGBARE TRANSFO                                                                       |

Fig. 3.36 Overzicht van corrigerende organen

## 12. Overzicht van corrigerende organen

Hoewel de klep een van de belangrijkste corrigerende organen is, worden ook talrijke andere elementen toegepast.

We onderscheiden corrigerende of instelorganen voor het sturen van:

- starre assen ; toerental ; hoekstanden en verplaatsingen ;
- gassen en vloeistoffen ;
- vaste stoffen in korrelvorm ;
- elektrische energiestroom of elektrisch vermogen

In fig. 3.36 onderscheiden we:

### a Elektrische motor

Als instelorgaan voor het regelen van het toerental van draaiende assen en voor positionering kunnen zowel DC- en AC-motoren als stappenmotoren gebruikt worden.

### b Zuiger in een cilinder

Voor het positioneren van zware mechanische toestellen zijn hydraulische instelorganen het meest aangewezen. Denk maar even terug aan de wet van Pascal.

### c Pompen

Pompen kunnen in niveauregelingen gebruikt worden als corrigerend orgaan om het peil van vloeistoffen bij te sturen.

### d Elektrische schakelaar

De elektrische schakelaar is een veel gebruikt instelorgaan voor het aan- en uitschakelen van elektrisch vermogen. De schakelaar kan aangedreven worden door een mechanisch systeem, bijvoorbeeld een bimetaal of elektrisch zoals bij een relais.

### e Elektronische schakelaar

Transistoren, thyristoren en triacs worden veelvuldig gebruikt bij het sturen van elektrisch vermogen. Ook in zuiver elektronica schakelingen vinden we niet-gestandaardiseerde kleine gesloten regelkringen. Hierin worden elektronische grootheden constant gehouden, zoals versterking, spanning en stroom. Transistoren, thyristoren en triacs zijn de corrigerende organen die hiervoor gebruikt worden.

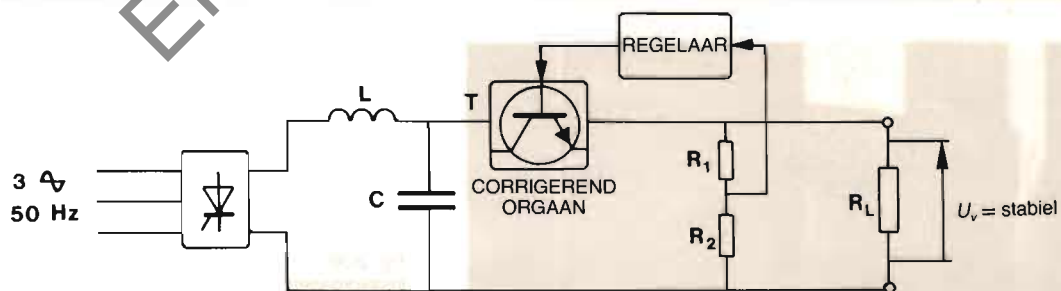


Fig. 3.37 Elektronische voeding met een actief filter

Een typisch voorbeeld is de gestabiliseerde voeding van fig. 3.37 waarmee de uitgangsspanning stabiel gehouden wordt. Na de gestuurde gelijkrichter ontstaat een gelijkspanning waarop een rimpelspanning gesuperponeerd is. Deze rimpelspanning wordt grotendeels door het passief LC-filter afgevlakt. Vervolgens wordt de transistor T als instelorgaan d.m.v. de regelaar zodanig gestuurd dat de restspanning van de rimpelspanning volledig gecompenseerd wordt. We spreken nu van een actief filter waardoor over de belasting  $R_L$  een stabiele en constante gelijkspanning ontstaat. Bij grote belastingstromen treedt er in de transistor een hoog vermogenverlies op zodat men bijzondere aandacht moet schenken aan de koeling van T als instelorgaan.

## 13. Opdrachten

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Naar welke andere standaardsignalen kan de standaard 0-10 volt omgezet worden?                                                                                                                                                                                              |
| 2. Teken het principe van de pneumatische regelaar en leg de werking uit.                                                                                                                                                                                                      |
| 3. Gegeven het schema van de hydraulische regelaar, in de niveauregeling van fig. 3.6. Toon aan hoe de correctie van het corrigerend orgaan of klep evenredig is met de afwijking veroorzaakt door een storing.                                                                |
| 4. Teken het blokschema van de analoge elektronische regelaar. Beschrijf hoe elke regelactie reageert op een afwijking.                                                                                                                                                        |
| 5. a. Teken het blokschema van een digitale regelaar.<br>b. Welke voordelen bezit de digitale regelaar t.o.v. een analoge regelaar?<br>c. Wat verstaat men onder een "zelf adaptieve" regelaar?                                                                                |
| 6. De computer kan op twee manieren in regelkringen ingezet worden:<br>a. de computer als informatieverwerker samen met multifunctionele regelaars;<br>b. de computer als informatieverwerker en als regelaar.<br>Leg het wezenlijk verschil uit tussen deze twee opvattingen. |
| 7. Hoe kunnen de bewegingen van $x$ en $y$ in een regelkring geregistreerd worden?                                                                                                                                                                                             |
| 8. Geef met een blokschema aan op hoeveel manieren het uitgangssignaal $y$ van de regelaar (0 ... 10 V) kan omgevormd worden.                                                                                                                                                  |
| 9. Teken het principe van een stroom naar luchtdruk omvormer en leg de werking ervan uit.                                                                                                                                                                                      |
| 10. Schets de opbouw van een regelklep met membraanmotor en duid de voornaamste onderdelen aan.                                                                                                                                                                                |
| 11. Wat verstaat men onder een klepkarakteristiek en teken de karakteristiek van een voorbeeld van een snel-openende klep.                                                                                                                                                     |
| 12. Maak de vergelijking tussen een pneumatische en een elektrische vermogensturing.                                                                                                                                                                                           |
| 13. Teken het principieschema van een klepaandrijving met elektrische motor en verklaar de werking.                                                                                                                                                                            |
| 14. Geef een overzicht van de verschillende corrigerende organen.                                                                                                                                                                                                              |

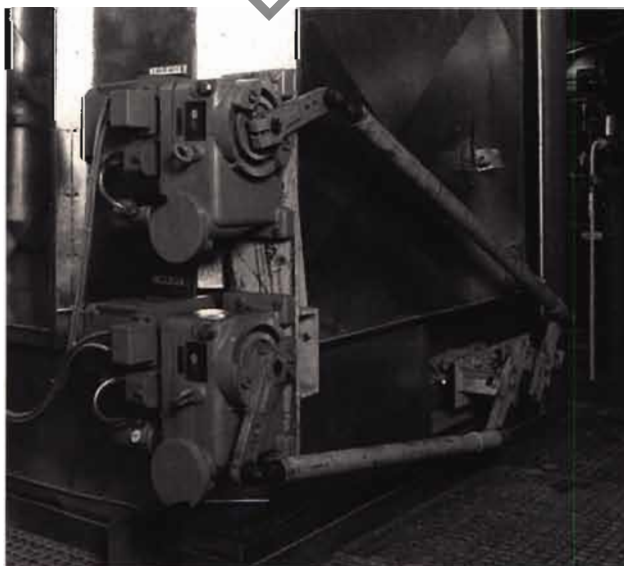


Fig. 3.38  
Instelorganen  
Foto Hartmann & Braun