

Blok 12

Meervoudige regelkringen

Doelstellingen:

- Kennismaken met de instrumentensymbolen in de regeltechniek.
- Meervoudige regelkringen kunnen lezen met de instrumentatie-symbolen.
De bedoelingen van deze meervoudige kringen inzien.
- Uit het schema, getekend met de instrumentiesymbolen, het blokschema kunnen afleiden en verklaren.
- Bewegingen van de variabelen in het schema kunnen volgen.

Indien voor het regelen van een bepaalde fysische grootte slechts één meetzender, regelaar en corrigerend orgaan voorzien is, spreekt men van een "enkelvoudige regelkring".

In moeilijke processen, of daar waar strengere eisen gesteld worden kan de regelkwaliteit verbeterd worden door meerdere regelkringen met mekaar te combineren. In dat geval spreken we over meervoudige regelkringen. De cascade- en de verhoudings-regeling zijn twee typische standaardvoorbeelden.

We bespreken deze kringen door gebruik te maken van de instrumentatiesymbolen van de regeltechniek.

Inhoud:

1. Instrumentatieschema
2. Stroomopwaarts- en stroomafwaarts regelen
3. Split range-regeling
4. Cascaderegelingen
5. Verhoudingsregeling of ratio control
6. Voorwaartskoppelende regeling
7. Feedforward met feedback
8. Opdrachten

1. Instrumentatieschema

Een instrumentatieschema stelt een installatie voor met behulp van genormaliseerde symbolen, die meestal niets meer te maken hebben met de werkelijke uitvoering van wat ze voorstellen. Het doel is echter de werking van het geheel en de typische functies van de gebruikte meet- en regelapparatuur duidelijk te maken.

1.1 Lettercode

Alle toestellen die een meet- of regelfunctie vervullen worden voorgesteld door een cirkel met een diameter van 10 mm. In de cirkel plaatst men enkele hoofdletters die de functies aangeven. Veelal zijn deze letters de eerste letter van de Engelse benaming.

Eerste letter : meetfunctie	Tweede en volgende letter : omzetsfunctie
T (Temperature) : temperatuur	I (indicating) : aanwijzer
L (level) : niveau	R (recording) : schrijver
P (pressure) : druk	C (controlling) : regelaar
F (flow) : debiet	T (transmitting) : zender
S (speed) : snelheid	S (summation) : teller
R (radiation) : straling	A (alarming) : alarm
X : overige functies	X : overige functies

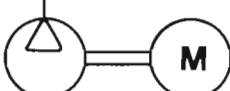
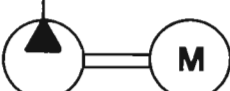
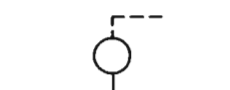
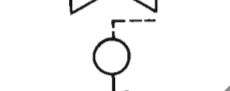
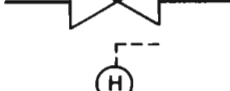
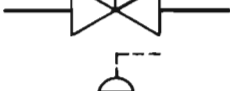
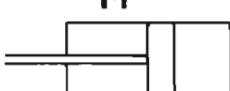
Soms laat men de eerste letter volgen door een kleine letter die dan een aanvullende functie geeft.

d (differential)	verschil van twee grootheden
q	integratiemeting
r (ratio)	verhoudingsmeting.

Voorbeelden

TT	: (temperature transmitting): temperatuurmeezender; een zender die de gemeten temperatuur omzet in een signaal en dat signaal uitzendt.
TC	: (temperature controlling): temperatuurregelaar.
TIC	: (temperature indicating and controlling): temperatuurregelaar met aanwijzer.
LIC	: niveauregelaar met aanwijzer.
FrC	: verhoudings-debietregelaar.
PTA	: drukmeezender met alarm.
FRCA	: debietregelaar die schrijft en voorzien is van alarmmelder

1.2 Symbolen voor regeltechniek

	proceslijn; dikke volle lijn
	meetlijn; dunne volle lijn
	stuurlijn; dunne streeplijn
	pijl op stuurlijn geeft richting aan waarin signaal zich beweegt
	meet- of regelinstrument; cirkel met diameter van ca. 10 mm
	meetinstrument bevindt zich in de controlezaal of op paneel
	elektromotor
	compressor en elektromotor
	pomp, elektromotor en reservoir (hydro-aggregeaat)
	klep met hulpenergie
	klep neemt minimale stand (dicht) bij wegvallen van hulpenergie
	klep met maximale stand (open) bij wegvallen van hulpenergie
	klep met toegevoegde handbediening
	pneumatisch gestuurde klep
	meetflens in proceslijn
	dubbelwerkende cilinder met zuigerstand aan 1 zijde

2. Stroomopwaarts en stroomafwaarts regelen

2.1 Stroomopwaarts regelen

Hiermee bedoelt men dat het meetpunt of opnemer van de regelkring zich “stroomopwaarts” van de regelklep bevindt.

Beweegt men zich mee met de mediumstroming, dan ontmoet men in fig. 12.1 eerst de opnemer en daarna de regelklep.

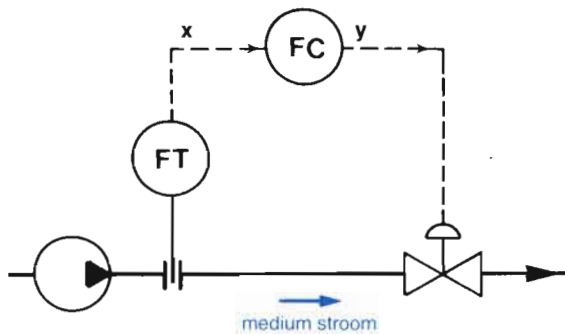


Fig. 12.1 Stroomopwaarts regelen

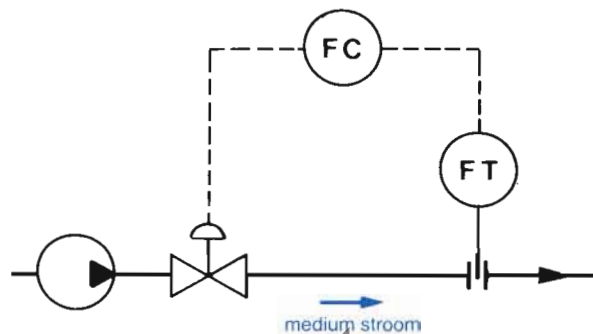


Fig. 12.2 Stroomafwaarts regelen

Deze regeling verzorgt niet alleen de geregelde procesgrootte, maar tevens de “belasting” van de productie-eenheid.

Inderdaad er wordt gemeten langs de aanvoerszijde; het is dus de productie die bepaalt wat de afnemer of de afvoerszijde ontvangt. Daarom noemt men deze regeling wel eens de “producentbepalende regeling”.

Het is dus de producent die met behulp van het instelpunt van de regelaar de productie bepaalt.

Voorbeelden:

- debiet: in fig. 12.1 wordt het debiet door een meetflens voor de regelklep gemeten. Met behulp van de flow controller FC wordt het debiet constant op de ingestelde waarde gehouden.
- druk: regeling van de gasdruk bij hoogovens, cokesovens, chemische reactors, enz. regeling van de persluchtdruk van ventilatoren.
- niveau: afvoer van bodemproduct bij destillatieprocessen.

2.2 Stroomafwaarts regelen

Bij deze methode vindt men het meetpunt of opnemer “stroomafwaarts”, dus voorbij de klep. Meebewegend met de mediumstroming ontmoet men eerst de regelklep en daarna de opnemer zoals in fig. 12.2 is weergegeven. De waarde van de geregelde procesgrootte wordt nu gemeten aan de kant van de afnemer of afvoerszijde en het is dus deze laatste die bepaalt wat de productie zal zijn. Daarom noemt deze regelwijze ook “consument-bepalende regeling”.

Voorbeelden:

- debiet: in fig. 12.2 wordt het debiet na de regelklep gemeten en via die regelaar FC op de gewenste waarde gehouden. Theoretisch maakt het geen verschil uit of men in een leiding het debiet meet vóór of achter de regelklep. Praktisch is er echter wel een verschil omdat de rechte leidinglengte vóór de meetflens veel groter moet zijn dan erachter. Daarom heeft de stroomopwaartse debietregeling, uit installatieoverwegingen, de voorkeur boven de stroomafwaartse.
- druk: drukregeling van de gasproductie voor een verbruikersnet gebeurt stroomafwaarts omdat er geregeld moet worden in functie van het verbruikte gasdebiet.
- niveau: indien men in een tank een constant niveau wil behouden of een constante druk voor de afnemer, dan zal men de regelklep altijd in de aanvoerleiding plaatsen.
- temperatuur: de meeste regelingen op warmtewisselaars gebeuren stroomafwaarts.

3. Split range-regeling

Indien een procesgrootte zowel in negatieve als in positieve zin, moet gecorrigeerd worden, maakt men gebruik van het split range-principe. In de temperatuurregeling van fig. 12.3 zien we één opnemer, één regelaar en twee regelkleppen A en B elk voorzien van een klepsteller.

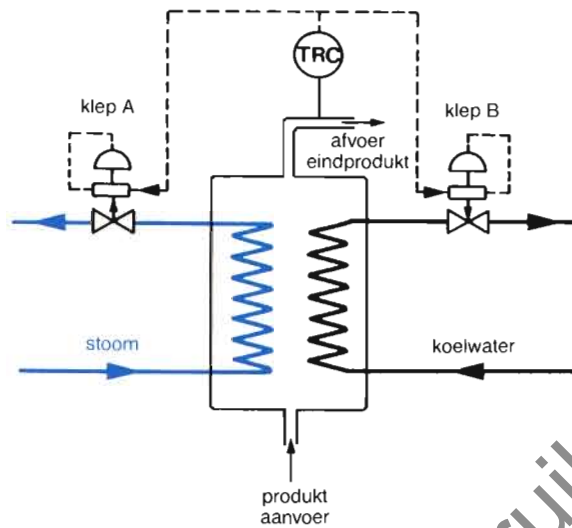


Fig. 12.3 Split range- of duplex-regeling

Bij de temperatuurregeling van bijvoorbeeld een vloeistof kan het gebeuren dat men de vloeistof aanvoert op een te hoge temperatuur zodat men moet koelen. Heeft de vloeistof een te lage temperatuur dan moet men bijverwarmen.

De regelaar TRC meet de uiteindelijke temperatuur van het afgevoerde product. Hij wordt zó ingesteld dat bij de gewenste vloeistoftemperatuur een uitgangssignaal van 50% of 0,6 bar ontstaat. Beide pneumatisch gestuurde kleppen A en B doorlopen nu hun volledige heffing voor de helft van het stuursignaal. Hierbij is klep A druksluitend uitgevoerd en werkt van 0,2 tot 0,6 bar, terwijl klep B drukopenend of veersluitend is uitgevoerd en opent van 0,6 naar 1 bar.

De klepstand van beide kleppen in functie van de stuurdruk is voorgesteld in fig. 12.4.

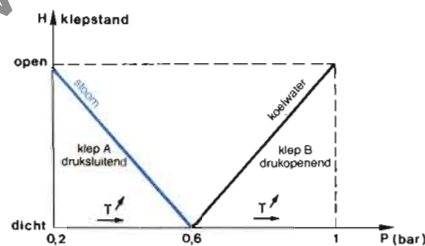


Fig. 12.4 Klepstand in functie van de stuurdruk

De nodige instellingen hiertoe gebeuren op de klepsteller.

Bij de gewenste vloeistoftemperatuur is de stuurdruk 0,6 bar zodat beide kleppen dicht zijn. Daalt de aanvoertemperatuur dan daalt ook het uitgangssignaal van de regelaar en wordt de stuurdruk kleiner dan 0,6 bar. Hierdoor opent klep A, zodat de stoom het product kan opwarmen. In het tegengestelde geval zal klep B openen en wordt het product gekoeld.

Deze regelkring komt veel voor bij de drukregeling van "gaskussens" boven vloeistoffen in tanks, bijvoorbeeld inertgaskussens boven een explosieve vloeistof. Men treft deze regelkring ook aan bij de pH-regeling in neutralisatie-baden van afvalwaters.

Opmerking

Kleppen voor een split range-regeling, soms duplexregeling genoemd, moeten veersluitend dicht zijn boven 0,6 bar en druksluitend onder deze waarde. Hierdoor voorkomt men dat door lek van de kleppen de positieve en negatieve regelactie gelijktijdig optreden, wat een niet te verwaarlozen energieverlies met zich meebrengt.

4. Cascaderegeling

Dit regelprincipe staat ook bekend als “master-slave” of “meester-knecht”-regeling. Hierbij gaat men als volgt te werk: de meesterregelaar meet de te regelen grootte zelf en zijn uitgangssignaal gaat niet rechtstreeks naar de regelklep, maar dient als gewenste waarde of set-point van de knecht-regelaar. Deze laatste meet en grijpt in op de belangrijkste ingangsvariabelen.

Een cascaderегeling wordt toegepast bij trage processen die echter gestoord worden door snelle variaties in de ingangsvariabelen. Met behulp van twee voorbeelden onderzoeken we het gedrag van deze meervoudige regelkringen.

4.1 Voorbeeld 1

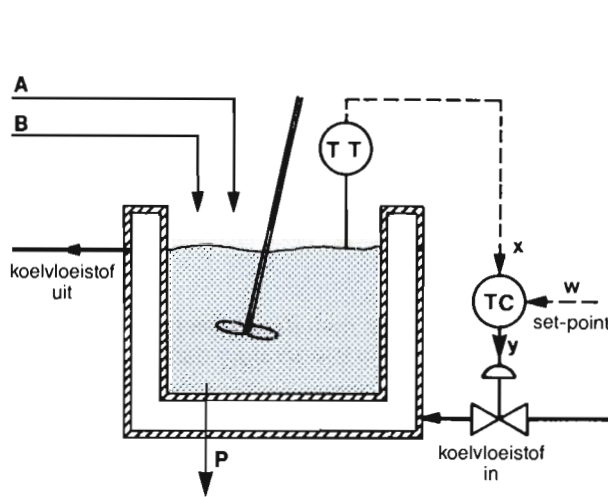


Fig. 12.5 Reactorvat met temperatuurregeling

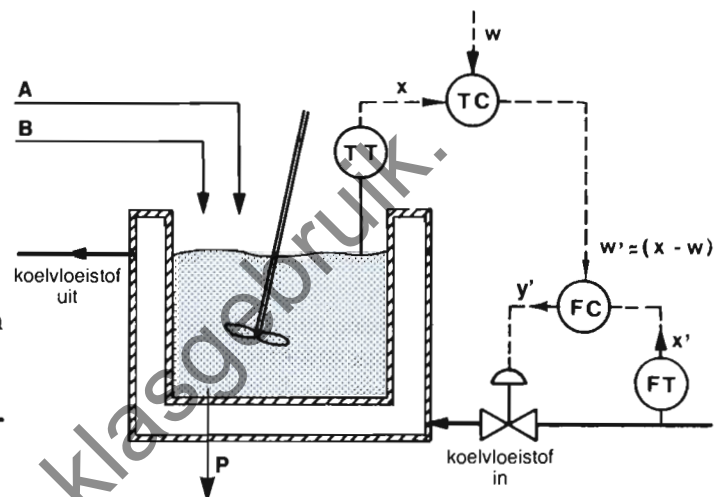


Fig. 12.6 Reactorvat met temperatuur- en debietregeling

We beschouwen in fig. 12.5 een reactor, waarin twee chemische stoffen A en B door reactie een stof P moeten vormen. De reactie is exothermisch zodat gedurende de reactie hitte geproduceerd wordt.

De temperatuur wordt begrensd door een koelvloeistof door de mantel van het reactorvat te sturen.

Om de temperatuur in het vat constant te houden wordt een temperatuurregelkring toegevoegd zoals in fig. 12.5 is weergegeven.

Een sensor meet de temperatuur en zendt de proceswaarde via de transmitter (TT) naar de regelaar (TC). De proceswaarde wordt vergeleken met de set-point w , en afhankelijk van de afwijking wordt de klep verder geopend of gesloten om x gelijk aan w te houden.

Storingen die de waarde van de temperatuur kunnen doen verminderen zijn o.a.:

1. debietveranderingen van de koelvloeistof inlaat;
2. temperatuurveranderingen van de koelvloeistof inlaat.

Kan men deze laatstgenoemde variabelen constant houden, dan zal de temperatuur van het proces minder gestoord worden. In **cascaderegelingen tracht men stoorgrootheden constant te houden**. Men kan nu in het eerste voorbeeld een debietregeling op de voeding van de koelvloeistof toevoegen zoals in fig. 12.6 is voorgesteld.

De set-point w' van de debietregelaar (FC) wordt gevormd door de uitgang van de temperatuurregelaar ($x - w$). Deze uitgang is evenredig met $x - w$ en moet dus stijgen als x stijgt. Dit is mogelijk met een tegengesteld werkende regelaar zoals in blok 2 beschreven is.

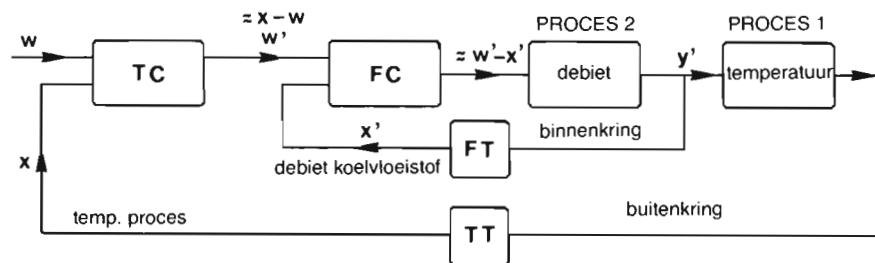


Fig. 12.7 Blokschema cascaderегeling eerste voorbeeld

Wordt de cascaderегeling van fig. 12.6 voorgesteld door een blokschema dan ontstaat fig. 12.7. Hierbij herkennen we twee regelkringen:

1. Een buitenkring die alles overkoepelt. In dit voorbeeld is de temperatuurregelketen van de koelvloeistof de buitenkring.
Men spreekt ook van: uitwendige kring;
primaire kring;
master kring.
2. Een tweede kring die binnen de eerste regelkring ligt. In fig. 12.7 vormt de debietregeling van het koelwater de binnenkring.
Men spreekt ook van: inwendige kring;
secundaire kring;
slave kring.

Men kan ook zeggen dat de primaire regelkring, de secundaire regelkring als een geheel van een proces ziet. We illustreren dit door te veronderstellen dat de temperatuur in het proces stijgt. De uitgang van de temperatuurregelaar TC levert een hoger signaal $w' = x - w$. Hierdoor verhoogt de set-point van de debietregelaar FC. De klep wordt dus verder geopend om een debietwaarde te bekomen gelijk aan de nieuwe set-point. Het debiet van de koelvloeistof verhoogt, waardoor de stijging van de temperatuur wordt tegengewerkt.

Bij het afstellen van cascaderегelaars moet men de volgende punten in acht nemen:

1. De binnenregelaar wordt het eerst afgesteld, daarna de uitwendige regelaar. Hiervoor wordt de uitwendige regelaar op manueel ingesteld. Daarna worden de klassieke afregelprocedures gebruikt, voor het afstellen van de inwendige regelkring. De buitenkring wordt terug op AUT. gesteld. Hierna volgt het afstellen van de totale regelketen.
2. Er kunnen problemen ontstaan als beide kringen even snel zijn. Als vuistregel wordt aangenomen dat de binnenkring tenminste vijf tot tien keer sneller moet zijn dan de buitenkring.
3. Voor de binnenkring is meestal een D-regelaar voldoende. Bij debietregelingen van vloeistoffen wordt de I-actie toegevoegd om hoogfrequente ruisfluctuaties weg te filteren. Voor de buitenkring dient meestal een PI-regelaar.

Als men een cascaderегeling wil invoeren, dan staat men voor de vraag: waar moet de inwendige kring geplaatst worden om zo veel mogelijk voordeel te halen uit het cascade principe. Er zijn meestal verschillende mogelijkheden om de secundaire kring te plaatsen.

De algemene strategie die men volgt is:

- de buitenkring moet zo veel mogelijk procesvertragingen omsluiten;
- de binnenkring moet zo veel mogelijke storingen opvangen.

Zo zal de hierboven voorgestelde oplossing wel rekening houden met storingen onder de vorm van veranderingen in het debiet van de toegevoerde koelvloeistof, maar niet met veranderingen in de temperatuur.

Daarom kan men ter verbetering de oplossing van voorbeeld 2 kiezen.

4.2 Voorbeeld 2

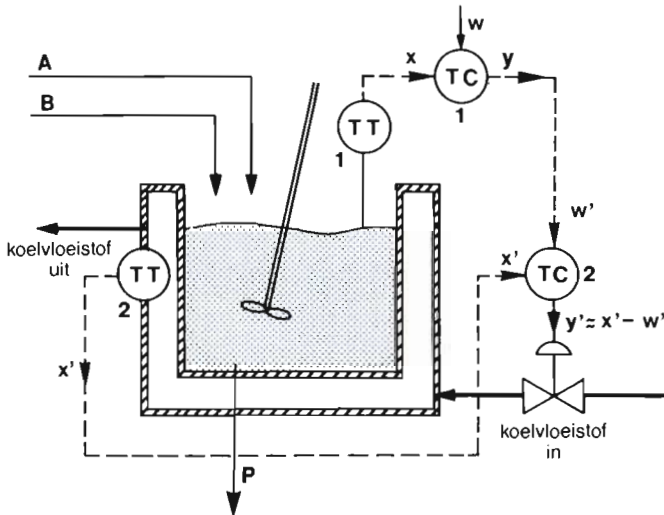


Fig. 12.8 Reactorvat met 2 temperatuurregelingen

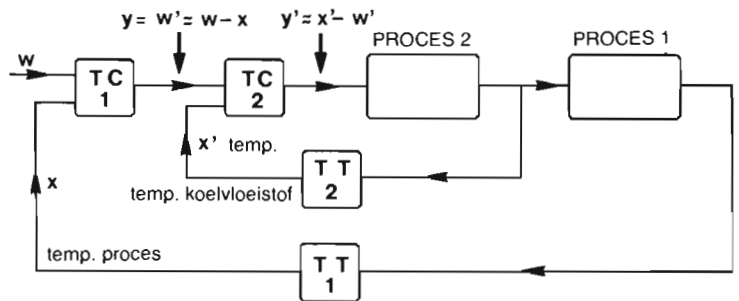


Fig. 12.9 Blokschema van voorbeeld 2

Veranderingen in de temperatuur van de koelvloeistof aan de inlaat zullen in voorbeeld 1 echter wel de proceswaarde kunnen beïnvloeden. Met de stoorgrootheid: "temperatuur van de koelvloeistof", werd in voorbeeld 1 geen rekening gehouden.

In het tweede voorbeeld wordt de stoorgrootheid "temperatuur van de inlaat van de koelvloeistof" constant gehouden, waardoor storingen op de temperatuur van het proces sterk verminderd worden.

Men kan hiertoe een tweede secundaire kring bijplaatsen die de temperatuur van de inlaat van de koelvloeistof constant houdt. Dit zou een complete tweede regelkring vergen. Is het echter niet mogelijk twee vliegen in een klap te slaan?

De secundaire regelkring zou dan zo ontworpen worden dat beide stoorinvloeden, de temperatuur en het debiet van de inlaat van de koelvloeistof, constant gehouden worden.

Beide stoorgrootheden beïnvloeden de temperatuur van de mantel van de reactor en langs deze weg ook het proces.

Daarom wordt in fig. 12.8 een tweede transmitter $(TT)_2$ geplaatst die de temperatuur van de reactormantel meet.

We beschouwen twee verschillende temperatuurvariëaties:

1. Stel dat de temperatuur van de reactormantel stijgt wegens een debietvermindering of een temperatuurverhoging van de inlaat van de koelvloeistof.
Nu zal $x' \uparrow$, $y' = (x' - w') \uparrow$, de klep draait verder open en de manteltemperatuur zal terug dalen.
Opgelet hier is y' evenredig met $(x' - w')$
2. Stel dat de temperatuur van het proces toeneemt.
Nu zal x toenemen en omdat $w' = w - x$ zal w' dalen.
Tevens is $y' = x' - w'$ zodat y' zal stijgen waardoor de klep verder wordt opgedraaid.
De afkoeling vergroot en de procestemperatuur daalt terug.

Het blokschema van voorbeeld 2 is weergegeven in fig. 12.9 en geeft duidelijk de inwendige en uitwendige regelkringen weer.

Zoals in het vorige voorbeeld zijn ook hier twee "feedback loops" in mekaar verwerkt.

4.3 Voorbeeld 3

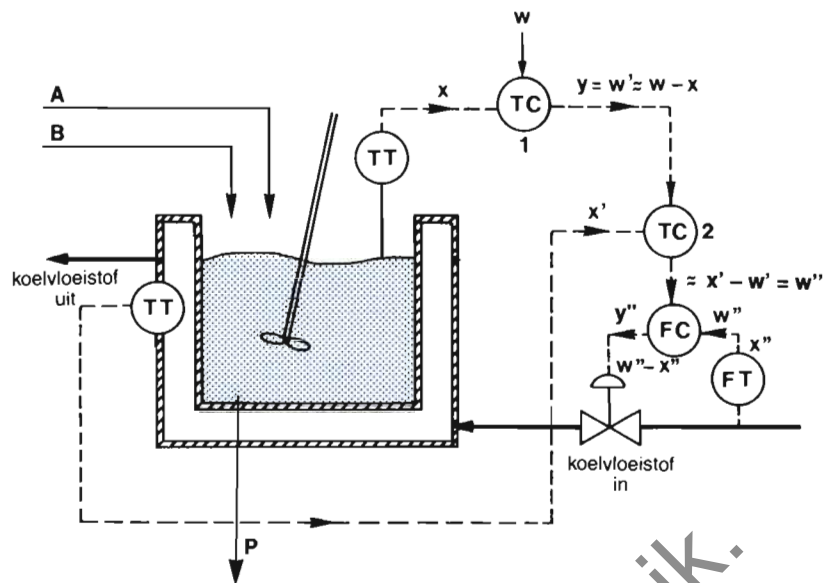


Fig. 12.10 Reactorvat met 3 procesregelingen

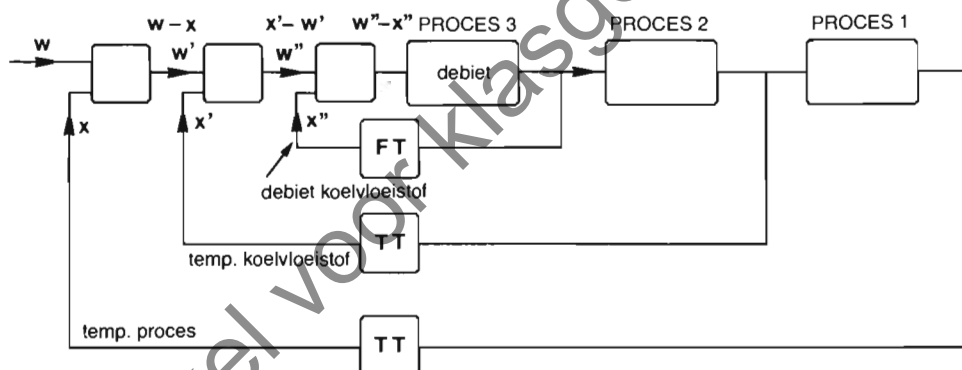


Fig. 12.11 Blokschema van voorbeeld 3

Worden de regelingen van voorbeeld 1 en 2 samengevoegd dan ontstaat een reactorvat met drie procesregelingen zoals in fig. 12.10 is weergegeven. Stelt men hiervan het blokschema op dan ontstaat fig. 12.11 waarin men duidelijk drie in elkaar genestelde feedback-loops kan waarnemen.

De buitenkring regelt de reactortemperatuur en levert de set-point voor de regelaar van de manteltemperatuur, die op zijn beurt de set-point levert voor de debietregelaar.

Elke toevoeging van een regelkring moet natuurlijk verantwoord zijn. Dit gebeurt in functie van de economische belangen en van technische verbeteringen.

De volgende invloeden kunnen gemakkelijk beredeneerd worden:

1. Stijgt door een storing de temperatuur van de koelvloeistof x' dan zal de set-point $w'' = x' - w'$ van de debietregeling stijgen. Het debiet van de koelvloeistof stijgt waardoor de stijging van x' tegengewerkt wordt.
2. Stijgt door een rechtstreekse storing op het proces de procestemperatuur x , dan zal achtereenvolgens:
 $w' = w - x$ dalen
 $w'' = x' - w'$ stijgen
 Hierdoor zal het debiet van de koelvloeistof toenemen en zo wordt de stijging van de procestemperatuur tegengewerkt.

5. Verhoudingsregeling

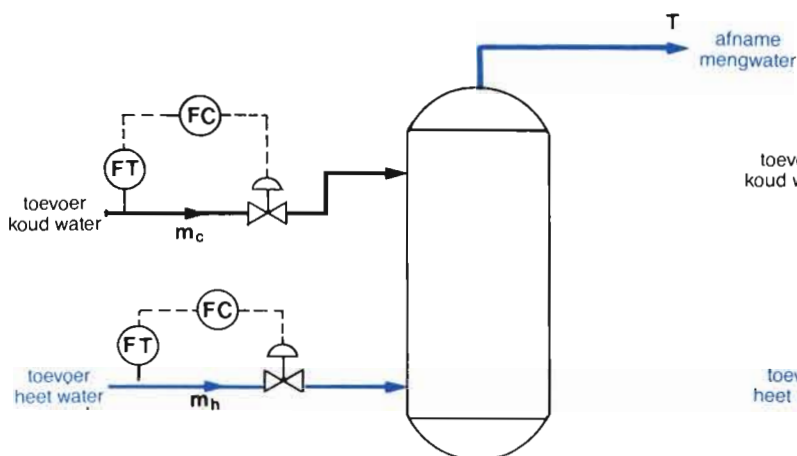


Fig. 12.12 Twee onafhankelijke debietregelingen

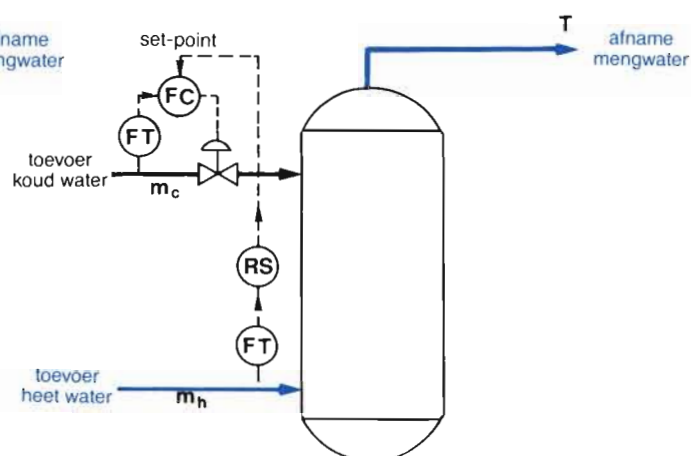


Fig. 12.13 Van elkaar afhankelijke debietwaarden

In veel situaties in de procesindustrie is het nodig het debiet van twee vloeistoffen of gassen in een bepaalde verhouding tot elkaar constant te houden. Dit is bijvoorbeeld belangrijk bij het mengen van twee scheikundige producten in een reactor. Ook het mengen van koud en heet water om een bepaalde eindtemperatuur te bekomen, komt veel voor. Van onze laatste toepassing maken we gebruik om het principe van de verhoudingsregeling of ratiocontrol te verklaren.

Het debiet van heet water stellen we voor door m_h (index h = hot) en het debiet van koud water wordt m_c (index c = cold)

5.1 Twee onafhankelijke debietregelingen

In fig. 12.12 wordt in elke toevoerlijn een debietregeling ingebouwd. Het debiet van het koud water wordt op een constante m_c gehouden, het debiet van het heet water op een constante m_h .

Blijven deze afzonderlijke debietwaarden constant, dan is ook de verhouding m_c/m_h een constante.

De praktijk wijst nu uit, dat een aantal storingen deze constanten kunnen doen fluctueren. Zo kunnen de schommelingen van de totale afname van het gemengde water op beide debietwaarden een verschillende invloed hebben.

Hierdoor kan de constante verhouding m_c/m_h tijdens de overgangsverschuiven niet behouden blijven.

5.2 Van elkaar afhankelijke debietwaarden

In fig. 12.13 wordt de heet waterstroom gemeten, met de transmitter FT en omgezet naar een standaard signaal.

Dit wordt naar een schakeling RS gestuurd die de gemeten waarde vermenigvuldigd met een constante k_{RS} .

De koud waterstroom wordt: $m_c = k_{RS} \cdot m_h$

De constante is dan de verhouding tussen de twee debietwaarden: $k_{RS} = \frac{m_c}{m_h}$

De bekomen waarde m_c wordt dan als set-point gebruikt voor de debietregeling in de koud waterlijn. Wijzigt het debiet in de heet waterlijn, dan zal de set-point voor de koud waterlijn mee veranderen. De verhouding tussen de twee debietwaarden blijft zodoende steeds dezelfde.

De schakeling RS noemt men het verhoudingsstation of "Ratio Station".

Praktisch is de instelbare waarde van de verhouding k_{RS} op een verhoudingsregelaar gelegen tussen: 0,3 tot 3 bij een lineaire debietmeting. Gebeurt de debietmeting met een meetschijf (wortelschaal) dan is de verhouding 0,6 tot 1,7.

5.3 Verhoudingsregeling met feedback

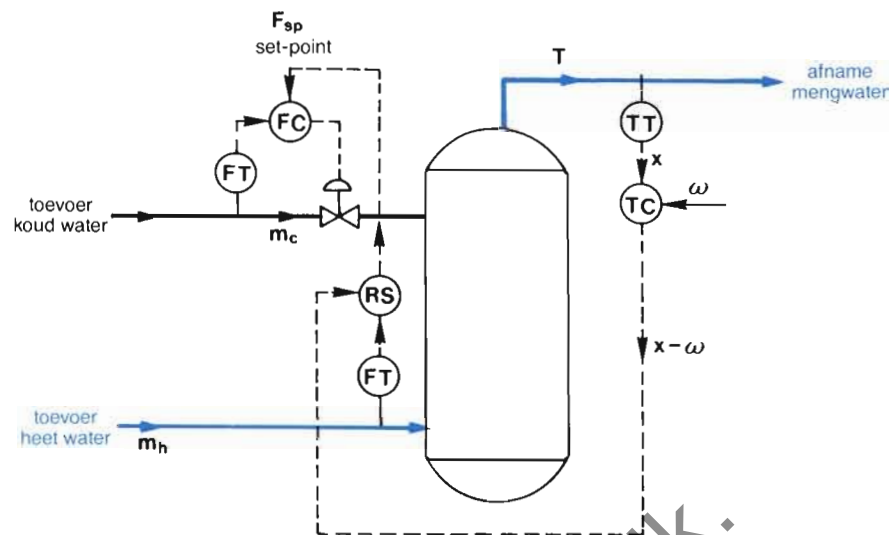


Fig. 12.14 Verhoudingsregeling met terugkoppeling

Hoewel in fig. 12.13 de debietregeling voor de koud waterstroom een feedback regeling is, bevat het hele ontwerp geen feedback. Inderdaad, als het de bedoeling is de temperatuur T aan de uitgang constant te houden dan moet van daaruit een terugkoppelende regeling uitgevoerd worden.

Als de temperatuur van de uitgaande vloeistof verandert dan moet de constante van het "ratio station" gewijzigd worden.

Vertrekkend van de uitgangstemperatuur T , kan een feedback ingebouwd worden, die automatisch de constante k_{RS} beïnvloedt waardoor de set-point van de debietregeling in de koud waterstroom gewijzigd wordt. Dit is weergegeven in fig. 12.14.

Stel dat de uitgangstemperatuur daalt, dan daalt de uitgang van de regelaar $(x - w)$, waardoor de constante k_{RS} kleiner wordt. De set-point voor de debietregeling FC wordt ook kleiner zodat het debiet voor de koude stroom kleiner wordt. De daling van de temperatuur wordt dus tegengewerkt.

Als de uitgangstemperatuur stijgt dan ontstaat er een omgekeerde regelactie.

6. Voorwaartskoppelende regeling

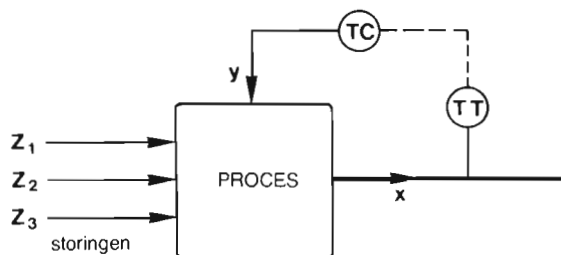


Fig. 12.15 Regeling met terugkoppeling of feedback

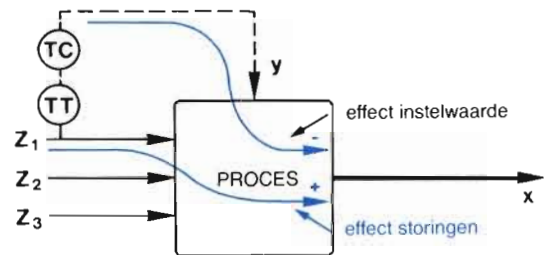


Fig. 12.16 Regeling met feedforward

6.1 Nadeel van feedback

In een feedback systeem moet er een afwijking optreden vooraleer de regelaar tot actie overgaat.

Men zou feedback kunnen vergelijken met het besturen van een auto door uitsluitend in de achteruitkijkspiegel te kijken.

Voor de meeste processen is een feedback controle voldoende. Er zijn echter kritische toepassingen waar het nodig is. "door de voorruit te kijken" en corrigerende acties uit te voeren voordat de storing de kans gekregen heeft een afwijking te veroorzaken. Dit is hetgeen een voorwaartskoppelende regeling of een regeling met "feed forward" doet. Het is dus een vooruitlopende of anticiperende regeling.

6.2 Principe van feedforward

In principe heeft elk proces drie variabelen:

- de proceswaarde x ;
- de instelwaarde y ;
- de storingen $z_1, z_2, z_3 \dots$

Bij de feedback controle van fig. 12.15 wordt bijvoorbeeld de temperatuur x gemeten. Ze wordt vergeleken met de set-point, waarna de instelwaarde veranderd wordt op een zodanig wijze, dat de proceswaarde terugkeert naar de set-point.

Bij de feedforward controle van fig. 12.16 wordt de storing z gemeten. Daarna wordt berekend hoe groot de instelwaarde moet zijn om het effect van de storing te compenseren, zodat een bepaalde gewenste temperatuur behouden blijft.

Het effect van de storing, en het effect van de instelwaarde moeten gelijktijdig hun invloed uitoefenen in het proces en elkaar neutraliseren.

Stel bijvoorbeeld dat in het geval van een temperatuurregeling een storing de temperatuur in het proces met een bedrag ΔT zal doen stijgen.

Dan wordt uitgerekend hoever de klepstand moet veranderen om de temperatuur met eenzelfde bedrag te doen dalen.

Het resultaat zal een constante temperatuur zijn.

Om dit te kunnen doen, is het natuurlijk nodig de exacte relatie te kennen tussen een verstelling van de klep, en de daarmee bereikte temperatuursverandering.

Dezelfde redenering kan toegepast worden voor de andere storingen z_2 en z_3 .

6.3 Mengregeling met feedforward

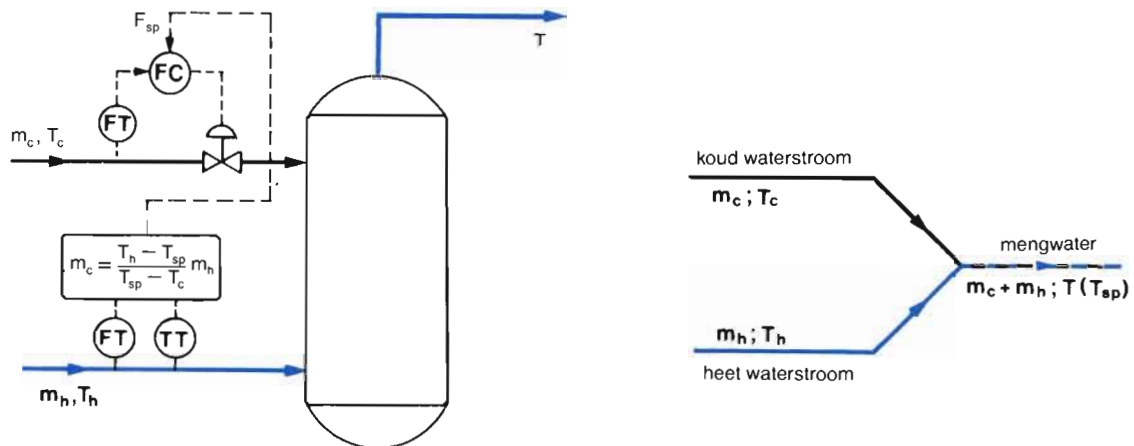


Fig. 12.17 Mengregeling met feedforward

Laat ons het principe van feedforward toepassen op de voorheen besproken mengregeling tussen een hete en koude waterstroom.

Beschouwen we als stoorgrootheden het debiet en de temperatuur van de heet waterstroom.

In functie van beide stoorgrootheden kan berekend worden hoe groot het debiet moet zijn van de koud waterstroom. Deze waarde wordt dan als set-point gebruikt voor de debietregeling in de koud waterstroom. Zie de opstelling van fig. 12.17.

In zekere zin is dit dezelfde strategie die in de ratiocontrole gebruikt wordt. De ratiocontrole is dus ook als een feedforward systeem op te vatten.

Voor het opstellen van de berekening kan men steunen op de volgende redenering:

Het vermogen afgegeven door het heet water, wordt opgenomen door het koud water om de resulterende temperatuur T te bekomen.

$$\text{Vandaar: } m_h \cdot (T_h - T) = m_c \cdot (T - T_c)$$

$$\text{waaruit: } m_c = \frac{T_h - T}{T - T_c} \cdot m_h \quad m_c \text{ dient dan als set-point } (F_{sp}) \text{ voor de debietregeling} \\ (F = \text{flow}) \text{ van de koud waterstroom}$$

Hierin stelt T de gewenste temperatuur voor of de gewenste waarde T_{sp} (set-point).

De volgende invloeden kunnen zich voordoen:

- Stijgt het debiet van de heet waterstroom m_h , dan zou deze de temperatuur T in het proces doen stijgen. Als nu gelijktijdig ook het debiet van de koud waterstroom m_c met het juiste bedrag toeneemt dan wordt het effect van deze storing te niet gedaan.
- Stijgt de temperatuur T_h van de heet waterstroom, dan zou deze in het proces de temperatuur T eveneens doen stijgen. Volgens bovenstaande formule zal dan het debiet m_c van de koud waterstroom met een juist bedrag stijgen zodat het effect van deze storing eveneens geneutraliseerd wordt.

We doen opmerken dat de feedforward controle enkel rekening houdt met de storingen die gemeten worden. Dit type van regeling kan alleen toegepast worden als het aantal storingsbronnen beperkt is. Een feedback systeem houdt echter rekening met alle storingen.

7. Feedforward met feedback

7.1 Statische regeling

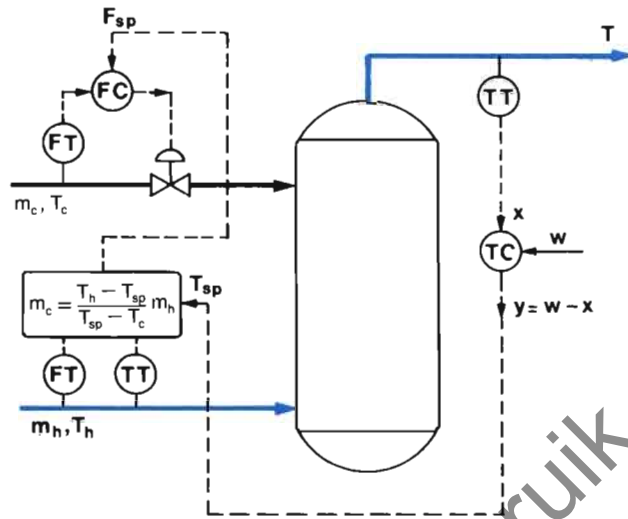


Fig. 12.18 Voorwaartskoppelende regeling met feedback

Laat er ons goed aan denken dat feedforward controle enkel rekening houdt met de storingen die gemeten worden. Er zijn echter nog andere storingen die het proces kunnen beïnvloeden, en waarmee de feedforward controle geen rekening houdt, zoals bijvoorbeeld veranderingen van de omgevingstemperatuur.

Daarom zal samen met feedforward eveneens een feedback systeem gebruikt worden, om de proceswaarde gelijk te houden aan de set-point waarde ondanks veranderingen die de feedforward controle niet meet.

Zo is aan de mengregeling van fig. 11.17 een feedback regeling toegevoegd zodat het schema van fig. 12.18 ontstaat.

De proceswaarde T wordt in TT gemeten en naar de temperatuurregelaar TC gezonden (x). De uitgang y van deze regelaar vormt een bedrag dat equivalent is met de set-point temperatuur T_{sp} in de volgende formule:

$$m_c = \frac{T_h - T_{sp}}{T_{sp} - T_c} m_h$$

Stel dat de proceswaarde $T \triangleq x$ daalt. Nu moet y evenredig met $w - x$ gaan stijgen. Hierdoor stijgt de waarde T_{sp} in de formule, waardoor de setpoint instelling F_{sp} van de debietregeling zal gaan dalen. Het debiet van de koude vloeistof volgt en daalt, waardoor de temperatuur terug zal stijgen.

7.2 Dynamische regeling

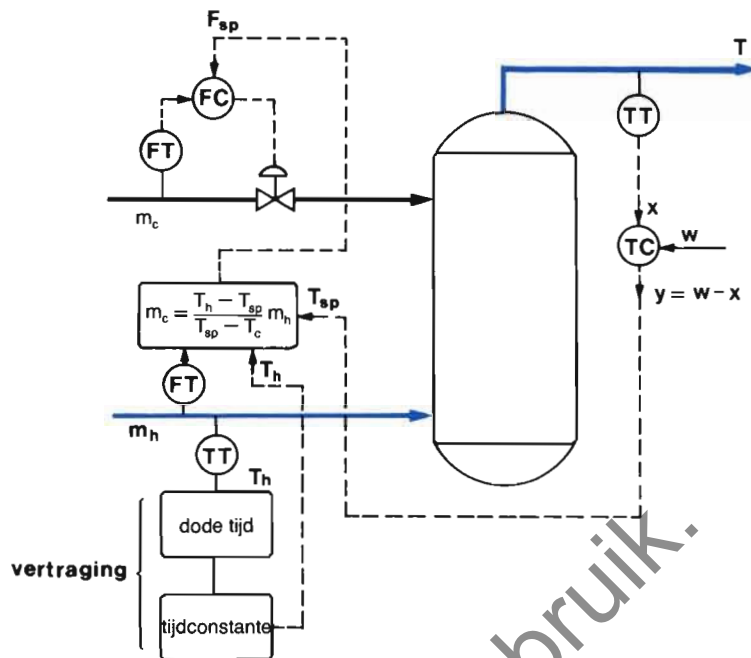


Fig. 12.19 Feedforward en feedback met stijgend of voorijgend netwerk

In het proces “rijden met de auto”, hebben we feedback gelijk gesteld met rijden via de achteruitkijkspiegel. Dit betekent eerst de afwijking toelaten en daarna corrigeren. Feedforward “is rijden via de voorruit”, d.w.z. de aankomende storingen op voorhand detecteren en op tijd corrigeren. Zien we honderd meter voor ons een bocht in de weg, dan hebben we deze storing reeds gedetecteerd. Indien we nu onmiddellijk zouden reageren, door het stuur naar rechts te draaien, dan zou er vrij snel een einde aan de autotocht kunnen komen. Het effect van de storing, doet zich immers iets later voor (na honderd meter). We moeten dus met de correctie gedurende diezelfde vertragingstijd wachten.

Bepaalde storingen hebben dus niet direct een invloed op de proceswaarde. Zo zal de verandering van temperatuur in de heet waterstroom niet direct effect hebben op de proceswaarde. Stel dat hierin een dode tijd zit van 1 minuut en een tijdconstante van 10 minuten. Dan zal, in evenredigheid met deze vertragingstijden, het effect op de proceswaarde uitgesteld worden.

Houden we hiermee geen rekening, dan zou een temperatuursverandering in de heet waterstroom, de set-point van de regelaar van de koud waterstroom dadelijk veranderen. Dit kan men aantonen met de formule van de statische regeling.

Het gevolg is dat de proceswaarde veel te snel wijzigt, voordat het effect van de storing is toegekomen.

In de compenserende lijn van de feedforward regeling moet dus een vertraging worden ingebouwd zoals in fig. 12.19. Deze moet van dezelfde orde van grootte zijn als de vertraging veroorzaakt door de storing op het proces.

Men moet bovendien rekening houden met de vertragingen in de correctie zelf.

Bij die corrigerende vertraging onderscheiden we drie gevallen:

1. De vertraging via de koude stroom is verwaarloosbaar klein.
In dat geval moet de ingebouwde vertraging (lag) in het netwerk in de orde van grootte zijn van de vertraging via de hete stroom.
2. De vertraging via de koude stroom is niet verwaarloosbaar maar is kleiner dan de vertraging via de hete stroom. (Bv. 2 min. voor de koude stroom, 6 min. voor de hete stroom).
De ingebouwde vertraging moet het verschil zijn van beide ; dus in het aangehaalde voorbeeld 4 minuten.
3. De vertraging via de koude stroom is groter dan deze via de hete stroom. In dat geval moet de compenserende reactie via de koude stroom versneld worden. Dit gebeurt via een voorijlend netwerk of een differentiërend netwerk (lead).

8. Opdrachten

1. Wat is het doel van een instrumentatieschema?	
2. Geef de betekenis van de volgende lettercode:	
• TC:	• FrC:
• FT:	• LC:
• PC:	• LIC:
3. Wat verstaan we onder stroomopwaarts regelen?	
4. Teken het blokschema van een cascaderegeling waarbij de temperatuur en het debiet van een reactorvat geregeld worden.	
5. Op welke drie punten moet men letten bij het afstellen van een cascaderegelaar?	
6. Teken het instrumentatieschema van een verhoudingsregeling om water met een bepaalde eindtemperatuur te bekomen. Verklaar de werking van deze regelaar.	
7. Welke voordelen heeft het principe van feedforward t.o.v. feedback?	
8. Waarom past men bij een feedforward regeling ook feedback toe?	
9. Wat is het doel om bij een feedforward regeling een vertraging in te bouwen?	
10. Teken het schema van een spit range-regeling en verklaar de werking.	

Contronic E Process Control System



Fig. 12.20 Instrumentatiesymbolen (DIN-norm) op het scherm van de computer.
Foto Hartmann-Braun.

Terminologie

	Nederlands	Engels	Duits	Frans
A	aan/uit-werking afwijking; fout statische afwijking	on-off action deviation; error offset	Auf-Zu-Verhalten Regelabweichung Bleibende Regel- abweichung	action par/tout ou rien écart écart total permanent
B	blokschema	block diagram	Blockschaltbild	schéma fonctionnel
C	corrigerend orgaan	controlling element	Stellglied	correcteur d'erreur
D	differentiërende regeling differentiatietijd drempelwaarde dode tijd doorschot	derivative control derivative action time threshold value dead time overshoot	Differenzierende Regelung Vorhaltzeit Schwellwert Totzeit Überschwingweite	régulation par dérivation temps de dérivé seuil d'action temps de retard taux de dépassement
G	gemeten afwijking gemeten waarde gewenste waarde (streefwaarde) ingangssignaal	measured deviation measured value desired value input signal	gemessene Regel- abweichung Istwert Sollwert Eingangssignal	signal d'erreur valeur mesurée valeur de consigne signal d'entrée
I	integratietijd integrerende regeling I-regelaar inslingertijd (vestigingstijd)	integral action time integral control I-action settling time	Nachstellzeit Integrale Regelung I-Regler Ausregelzeit	temps d'intégration régulation par intégration I-régulateur délai de réglage
M	meetelement	measuring unit	Messeinrichtung	détecteur d'erreur
O	opnemer (sensor)	detecting element	Fühler	capteur
P	P-regelaar PD-regelaar PID-regelaar proces proportionele band	P-action PD-action PID-action process proportional band	P-Regler PD-Regler PID-Regler Regelstrecke P-Bereich	P-régulateur PD-régulateur PID-régulateur procédé région proportionnelle
R	regelkring regelen responsietijd	control loop to control response time	Regelkreis reglen Einstellzeit	régulation en boucle fermée régler temps de réponse
S	stapresponsie storing	unit-step response disturbance	Einheitssprungantwort Störgrösse	réponse indicielle grandeur perturbatrice
T	terugkoppeling tijdconstante twee-standenwerking	feedback time constant on-off action	Rückkopplung Zeitkonstante Auf-Zu-Verhalten	boucle fermée constante de temps action par tout ou rien
V	versterking verzwakking	gain attenuation	Verstärkung reziproke Verstärkung	amplifier diminuer
Z	zelfregeling	inherent regulation	Selbausgleich	régulation inhérente



Enkel voor klasgebruik.