

Blok 11

Instelregels

De talrijke firma's die regelapparatuur maken, hebben in de loop der jaren een enorme ervaring opgebouwd inzake het optimaal aanpassen van de regelaar aan het proces.

Hieruit zijn regels en procedures gegroeid om zonder veel problemen tot de juiste instelling van de regelparameters te komen. Sommige van deze procedures zijn echte klassiekers geworden, andere zijn minder gekend maar daarom niet minder interessant. Twee elementen hebben het opstellen van veel afregelmethode gunstig beïnvloed: het standaardiseren van de procesketen en de hieruit ontstane mogelijkheid processen te simuleren door eenvoudige elektronische schakelingen met RC-netwerken.

Men kan zonder al te veel technologische rompslomp alle mogelijke instellingen van k_R , T_n en T_v testen in functie van de procesparameters T en T_d .

We zijn gaan grasduinen bij diverse firma's en bij wereldbekende auteurs, en hebben een verzameling van afregelmethode hier samengebracht.

Misschien kan een van deze regels u ooit helpen om een gesloten regelkring optimaal in te stellen.

Inhoud

1. Instelregels als procesparameters gekend zijn.
2. Instelregels als procesparameters niet gekend zijn.
3. Instelregels van niet-zelfregelende processen.
4. Afregelprocedure van Taylor.
5. Probeer- en verfijnmethode.
6. Afregelvoorstellen volgens Leeds & Northrup.
7. Instelvoorschriften van Foxboro.
8. Instelvoorschriften volgens Pressler.
9. Instelvoorschriften volgens Schäfer.
10. Instelvoorschriften voor processen zonder zelfregeling.
11. Instelvoorschriften voor processen van hogere orde.
12. Engelse woordenlijst.
13. Zelf instellende regelaars.
14. Opdrachten.

1. Instelregels als procesparameters gekend zijn

Tabel 11.1: Instelparameters voor een zelfregelend proces van 1- en 2-orde met een dode tijd.

	k_R	$T_n \ T(I)$	$T_v \ (T_D)$
P	$\frac{1}{k_s} \cdot \frac{T}{T_d}$		
PI	$\frac{0,9}{k_s} \cdot \frac{T}{T_d}$	$3,3 \ T_d$	
PID	$\frac{1,2}{k_s} \cdot \frac{T}{T_d}$	$2 \ T_d$	$0,5 \ T_d$
PD H & B	$\frac{1,2}{k_s} \cdot \frac{T}{T_d}$	—	$0,25 \dots 0,5 \ T_d$

k_R = versterking van P-regelaar.
 k_s = versterking van proces.
 T = tijdconstante van proces.
 T_d = dode tijd van proces.
 T_n, T_I = na-insteltijd — reset time
 T_v, T_D = voorinsteltijd — rate time

Bij het doornemen van de instelwaarden in tabel 11.1 horen de volgende beschouwingen:

1. Het criterium dat hier wordt toegepast, steunt op het feit dat met de instelling van de regelaar het uitregelen gebeurt met maximaal drie doorslingeringen in de responsie op een storing.
2. Bij een juist gestandaardiseerd proces is $k_s = 1$.
3. Bij het kiezen van een versterking k_R van de regelaar maken we het volgende onderscheid:
 - a. PI t.o.v. P
 k_R moet kleiner gekozen worden omdat het toevoegen van de I-actie de oscilleerneiging vergroot.
 - b. PID t.o.v. P
 k_R mag groter gekozen worden omdat het toevoegen van de D-actie, de oscilleerneiging toch gedempt wordt.
4. Merk ook op dat de verhouding $T_n/T_v = 4$. Deze orde van grootte van de verhouding T_n/T_v is meestal terug te vinden bij instelvoorschriften van regelaars.
5. Bovenstaande instelvoorschriften moeten als richtwaarden beschouwd worden om een eerste orde van grootte van de instelparameters te kunnen bepalen.
 Men mag zeker niet denken dat men in alle situaties hiermee onmiddellijk een optimaal uitregelen bekomt. De omstandigheden waarin bovenstaande instelregels werden gevonden zullen zelden identiek zijn met deze in het proces waarmee men bezig is.
 Een eindcontrole en eventueel bijstellen van de parameters is dus zeker nodig.
 In die gevallen waar de verhouding $\frac{T}{T_d}$ kleiner wordt dan 3, wordt bij H & B naregelen aanbevolen.
 Inderdaad, de oscilleertendens wordt sterker zodat meestal de damping moet toenemen.
6. Zijn de regelknoppen geijkt in PB % en r (reset rate) dan geldt:

$$PB \% = \frac{100}{k_R \cdot k_s}$$

en

$$r = \frac{1}{T_n}$$

Opmerking:

In de praktijk zijn de procesparameters meestal niet voldoende gekend. Toch is het om didactische redenen zinvol bovenstaande instelmethode te bespreken om een beter inzicht te verwerven in de nu volgende afregelprocedures.

2. Instelregels als procesparameters niet gekend zijn

Als de procesparameters niet gekend zijn, maakt men vaak gebruik van de instelregels van Ziegler-Nichols.

Deze regels zijn internationale bestsellers en zijn bovendien eenvoudig uit te voeren.

Omdat de parameters van het proces niet gekend zijn laat men de regelketen vrijwillig oscilleren. Uit deze oscilleergegevens hebben Ziegler en Nichols een verband gelegd met de regelparameters voor een optimaal uitregelen na een storing. Alles is langs experimentele weg gebeurd.

Tabel 11.2 Instelparameters van Ziegler-Nichols voor processen van 1- en 2-orde met dode tijd.

	k_R	$T_n (T_I)$	$T_v (T_D)$
P	$0,5 \cdot k_0$		
PI	$0,45 \cdot k_0$	$\frac{T_0}{1,2}$	
PID	$0,6 \cdot k_0$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{T_0}{8}$

Werkwijze:

- De regelkring wordt eerst alleen met de P-regelaar gebruikt.
 dus $T_n = \infty$
 $T_v = 0$
- De versterking k_R wordt langzaam vergroot of $PB\%$ wordt verkleind tot de hele regelkring met een constante amplitude oscilleert.
- De versterking om deze oscillatie te veroorzaken, lezen we af op de instelknop en we noemen deze waarde:
 k_0 of de versterking bij het oscilleren.
- Op de penrecorder die de oscillerende waarde x geregistreerd heeft, lezen we de periode van de oscillatie af.
 We noemen deze periode:
 T_0 of periode bij oscilleren.
- In functie van deze twee waarden k_0 en T_0 worden de parameters van de regelaars afgesteld zoals in tabel 11.2 getoond wordt.
- Achteraf is een nacontrole en bijstellen van de parameters nodig.

Opgepast:

In veel gevallen mag om veiligheidsredenen de regelkring niet in de oscilleersituatie gebracht worden.

Proceswaarde en instelwaarde mogen daar niet buiten een bepaalde zone komen.

In die gevallen is deze methode niet te gebruiken.

3. Instelregels voor niet-zelfregelende processen

De instelvoorschriften van H & B voor processen met integratie zijn weergegeven in tabel 11.3.

Tabel 11.3: Instelparameters voor H & B

	k_R	T_n	T_V
P	$0,5 \cdot \frac{1}{k_I \cdot T_d}$		
PD	$0,5 \cdot \frac{1}{k_I \cdot T_d}$		$0,5 \cdot T_d$
PI	$0,42 \cdot \frac{1}{k_I \cdot T_d}$	$5,8 \cdot T_d$	
PID	$0,4 \cdot \frac{1}{k_I \cdot T_d}$	$3,2 T_d$	$0,8 T_d$

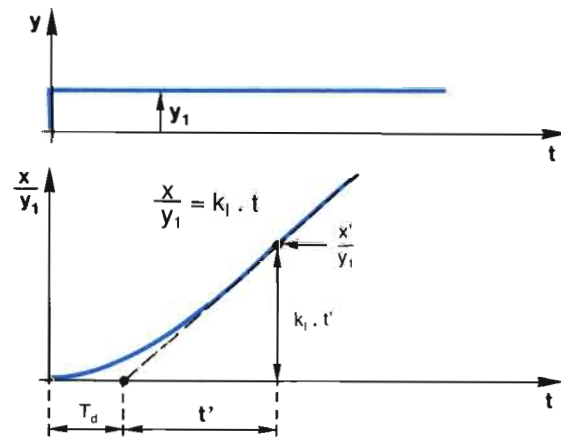


Fig. 11.1 Constructie raaklijn aan stapresponsie.

In de formules van tabel 11.3 zien we een parameter k_I opduiken.

De fabrikant H & B gebruikt deze parameter als karakteristiek gegeven voor het proces. Trekken we een raaklijn aan de grafiek van fig. 11.1 dan kan voor deze raaklijn geschreven worden:

$$\frac{x}{y_1} = k_I \cdot t$$

Hierin stelt k_I de helling van de grafiek voor terwijl we de dode tijd T_d als vertrekpunt nemen.

Werkwijze:

1. Uit het stapantwoord moet eerst deze helling k_I bepaald worden zoals aangeduid in fig. 11.1.

$$k_I = \frac{x' / y_1}{t'}$$

Voorbeeld

We nemen aan dat in fig. 11.1 $y_1 = 10\%$ van de totale verstelling van de instelwaarde (y_h).

Na een tijd $t' = 2$ minuten bereikt x' 30% van het totale meetbereik ($X_m = 100\%$).

Vandaar:
$$\frac{x'}{y_1} = \frac{30}{10} = 3$$

Hieruit volgt:
$$k_I = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ per minuut.}$$

2. Let ook hier op de verhouding $T_n / T_V = 4$ bij de PID regelaar.

Blijkbaar wordt dus met deze verhouding een optimaal resultaat behaald.

3. Ook hier zijn de aangehaalde waarden richtinggevend.

Nacontrole en bijstellen blijft dus noodzakelijk.

4. Afregelprocedure van TAYLOR

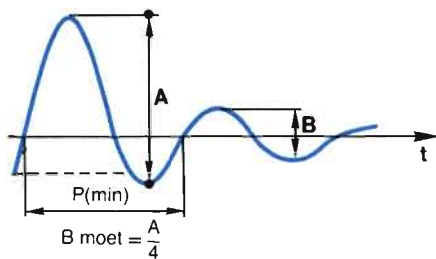


Fig. 11.2 Afregelen volgens een damping 4/1

De afregelprocedure van deze firma laten we vrijwillig staan in de originele Engelse tekst. Dit om u vertrouwd te maken met de Engelse terminologie in de regeltechniek. We zullen vlug ervaren dat we in staat zijn teksten van firma's te begrijpen met de technische achtergrond die we nu verworven hebben. (woordenlijst: blz. 201)

4.1 Only P-controller (P-regelaar met voorinstelling)

1. Put process on manual control as described...
2. Bring process up to desired value by means of manual control.
3. Pull controller slide out to make response adjustments, make following setting:
 - a. Reset at lowest setting ($T_n = \infty$) ($r = 0$)
 - b. Pre-act at "off" ($T_v = 0$)
 - c. Gain at 1.0
4. Adjust set-point for same value as process. Deviation meter pointer should read zero deviation.
5. Put Auto-manual switch in AUTO position.
6. Move set-point approximately one small division either up or down.
7. The recorder oscillation (as a result of the set-point change) should be similar to that shown in the fig. 11.2, with cycle B about one-quarter of cycle A .
 - a. If cycle B is less than one-quarter of cycle A , the gain is too low. Increase gain setting by one step and move set-pointer back to its original position.
 - b. If cycle B is more than one-quarter of cycle A , gain is too high. Decrease gain setting by one step and move set pointer back to its original position.
 - c. Continue adjusting gain and moving set-pointer until the cycles look like shown in the fig. 11.2.

4.2 If controller has two responses, reset and gain (P- en I-actie)

1. Set reset at a value equal to: 1.0 divided by period (P) in minutes.

$$reset = \frac{1}{P(\text{min})} \text{ (see figure) } (T_n = P_{(\text{min})})$$

2. repeat steps 6 and 7 to get optimum gain.

4.3 If controller has three responses: reset, gain, pre-act (PID)

1. Set reset at: $reset = \frac{1,5}{P_{(\text{min})}}$
2. Set pre-act at: $pre-act = \frac{P_{(\text{min})}}{6}$
3. Repeat steps 6 and 7 to get optimum gain.

Algemeen besluit:

Eigenlijk is dit een kleine variatie van de oscilleermethode van Ziegler-Nichols.

Het verschil ligt hierin: men laat hier de oscillerende beweging uitsterven. Vooral in die gevallen waar een blijvende oscillatie niet toelaatbaar is, kan deze methode een oplossing zijn.

5. Probeer- en verfijnmethode

Deze procedure is beter gekend onder haar Engelse benamingen: trial and error; seath-of-the pants; knob twiddling.

Door aan de juiste knop een opeenvolging van standen te geven ondergaat de penrecorder een reeks uitwijkingen. Hieruit kan men oordelen of de regelactie te groot of te klein is. Men herneemt deze methode tot men de gewenste uitregeling verkrijgt.

Wordt de kring voor de eerste keer ingeschakeld, zet de regelaar op MAN en zorg met y dat x gelijk wordt aan w.

5.1 Probeer- en verfijnmethode voor de P-actie

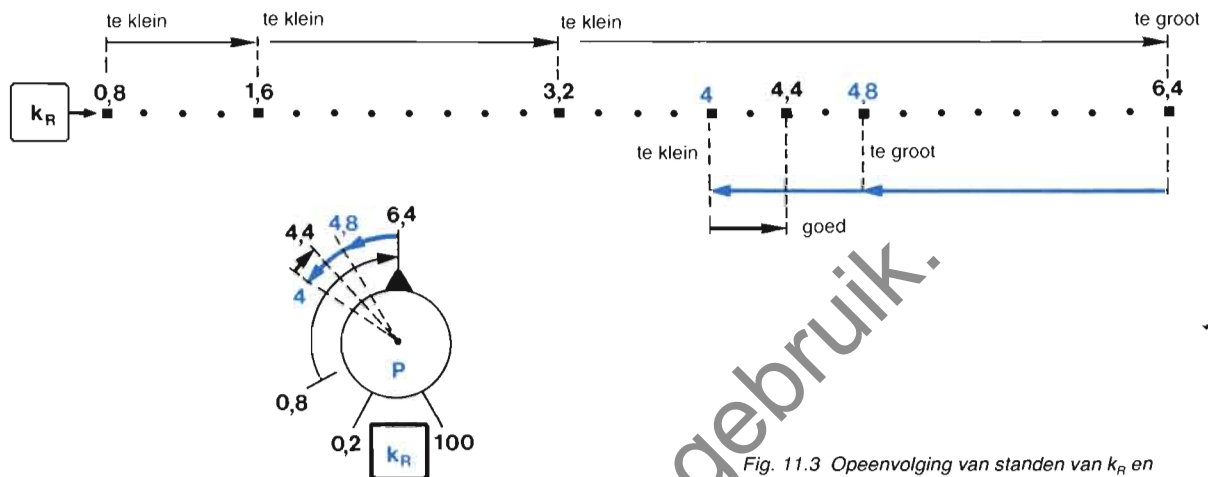


Fig. 11.3 Opeenvolging van standen van k_R en uitwijking van penrecorder.

In fig. 11.3 zien we een voorbeeld van een opeenvolging van standen van k_R bij een P-regelaar. Op de penrecorder wordt beoordeeld of de "gain" te groot of te klein is.

We trachten de kracht van de P-regelaar zo in te stellen dat de reactie van de proceswaarde op een verandering van de set-point, verloopt volgens een gedempte oscillerende beweging met een demping 4:1 of volgens een demping naar eigen wens of behoefte.

Werkwijze:

- Plaats de P-actie op bijna minimale kracht terwijl I- en D-actie uit staan ($T_n = \infty$, $T_v = 0$)
 k_R zeer laag, bijvoorbeeld rond 1 (in de figuur b.v. $k_R = 0,8$)
 PB zeer hoog, bijvoorbeeld rond 100 %.
 - Plaats de regelaar in de stand AUT, laat x tot rust komen.
 - Veroorzaak een kleine verandering in de set-point waarde (lager dan 10 %) en observeer de beweging van de proceswaarde op de penrecorder. (de toelaatbare stap in % moet afgesproken worden met de verantwoordelijke in de productie).
 - Normaal zal de beweging naar de nieuwe set-point te gedempt verlopen.
De versterking is te klein of de PB te groot. Verdubbel de versterking. Herstel de oorspronkelijke set-point, laat het proces tot rust komen en veroorzaak een nieuwe sprong van de setpoint. Observeer opnieuw de beweging op de recorder. ($k_R = 1,6$)
 - Is de versterking nog te klein, verdubbel weer en herneem de procedure ($k_R = 3,2$).
 - Doe zo verder tot de versterking te groot is. De proceswaarde verloopt dan volgens een te sterke oscillatie. (b.v.: $k_R = 6,4$).
 - Plaats de versterking nu in het midden tussen de twee laatste waarden.
Herneem de procedure. ($k_R = 4,8$)
 - is de versterking nog te groot: verklein k_R (b.v.: $k_R = 4$)
 - is de versterking te klein: verhoog k_R (b.v.: $k_R = 5,6$)
- Zorg er steeds voor niet in een voorgaande instelling te komen.
- Doe zo voort tot de gewenste uitregeling bekomen wordt.

Opmerking:

Als in stap 4, k_R reeds te groot is: zet k_R op de helft en vervolg de procedure.

5.2 Probeer- en verfijnmethode voor de D-actie

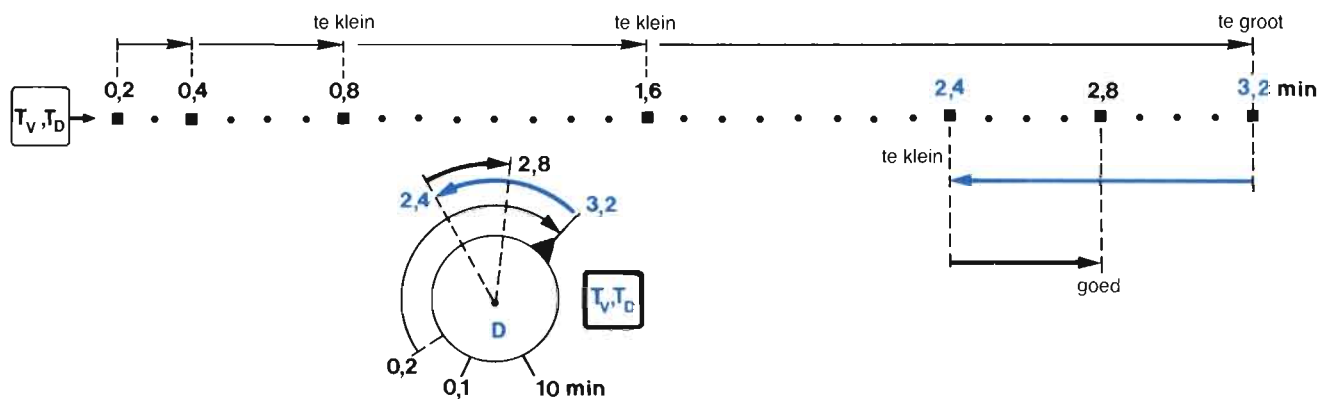


Fig. 11.4 Opeenvolgende stappen voor het afstellen van de D-regelaar.

In fig. 11.4 is een voorbeeld gegeven van een opeenvolging van standen van T_v . Op de penrecorder wordt beoordeeld of de D-actie te groot of te klein is.

Werkwijze:

1. Regel de kring eerst juist af met de P-regelaar. De I- en D-actie zijn uitgeschakeld.
 2. Plaats de D-actie op iets hoger dan de minimum kracht, b.v. $T_v = 0,2$ min, zoals in fig. 11.4 is weergegeven.
 3. Zet de regelaar in de stand AUT.
 4. Verander de set-point met een stap. Observeer het procesantwoord op de penrecorders.
 5. Normaal zal nu de invloed van de D-actie te klein zijn. Het antwoord zal weinig of niet verschillen van het antwoord bereikt met de P-regelaar. De damping is te klein.
 6. Verdubbel de kracht van de D-actie (b.v. 0,4). Herhaal de procedure tot een punt bereikt wordt (b.v. $T_v = 3,2$ min.) waarbij de damping te sterk wordt. (T_v is te groot)
 7. Verminder nu T_v en plaats deze in het midden tussen de twee laatste instellingen. Herneem de procedure.
 - a. Is T_v te groot, maak T_v iets kleiner.
 - b. Is T_v te klein, maak T_v iets groter.
- Zorg er steeds voor niet in een voorgaande instelling te komen.

8. Doe zo voort tot de gewenste uitregeling bekomen wordt. Het procesantwoord moet nu een kleinere uitregeltijd hebben en een kleiner doorschot voor de eerste uitwijking.

Opmerking:

- Als in 5, de D-actie reeds te groot is, plaats T_v op de helft en vervolg de procedure.
- Bij een te krachtig ingestelde D-actie kan met specifiek moeilijke processen de kring ook gaan oscilleren. Dit is te herkennen aan de kleinere periode of hogere frequentie.

9. Omdat we weten dat het toevoegen van de D-actie de oscilleertendens dempt kunnen we teruggaan naar de P-actie, deze iets sterker instellen (10,... 20 %) en opnieuw de procedure van de D-afregeling hernemen.
10. Als de toevoeging van de D-actie de kring onmiddellijk onrustig maakt of op een hogere frequentie doet oscilleren, laat dan de D-actie weg.

5.3 Probeer- en verfijnmethode voor de I-actie

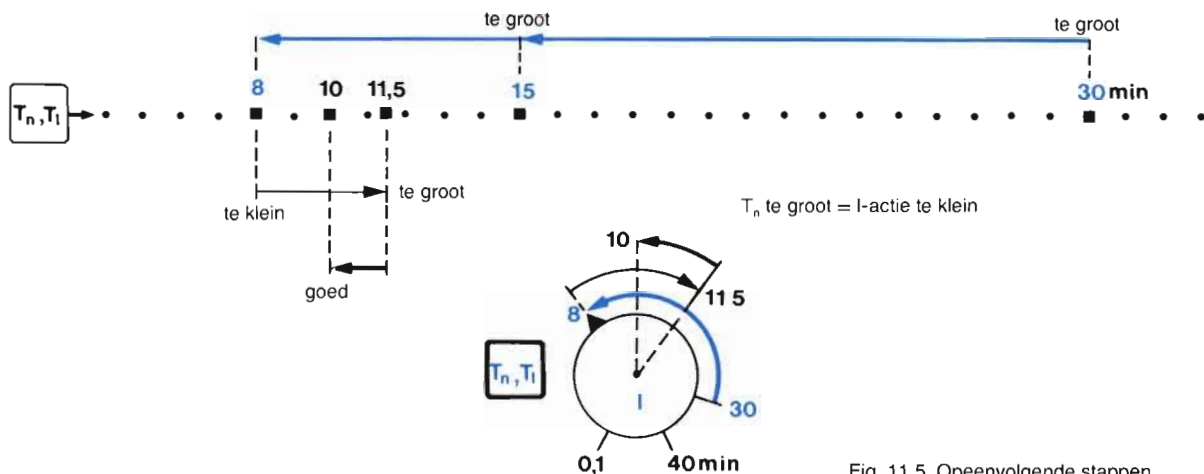


Fig. 11.5 Opeenvolgende stappen voor het afstellen van de I-regelaar.

In fig. 11.5 is een voorbeeld gegeven van een opeenvolging van standen van T_n . Op de penrecorder wordt beoordeeld of de I-actie te groot of te klein is.

Werkwijze:

1. Regel eerst de P- en eventueel de D-actie juist af.
 2. Plaats de I-actie op iets hoger dan minimum kracht (T_n groot) (b.v.: $T_n = 30$ min).
 3. Plaats de regelaar op AUT.
 4. Verander de set-point met een stap. Observeer het procesantwoord op de penrecorder.
 5. Normaal zal de invloed van de I-actie te klein zijn. De blijvende afwijking (off-set) zal te langzaam tot nul herleid worden.
 6. Verminder T_n met de helft. Herhaal de procedure tot een instelling bereikt wordt waarbij T_n te klein is. De I-actie is te groot. Dit kan herkend worden aan een sterkere oscillerende tendens, met een grotere periode of lagere frequentie. (b.v.: $T_n = 8$ min.)
 7. Maak T_n groter en plaats de knop in het midden tussen de twee laatste standen. Herneem de procedure.
 - a. Is T_n te klein, vergroot T_n .
 - b. Is T_n te groot, verklein T_n .
- Zorg er steeds voor niet in een voorgaande instelling te komen.
8. Het toevoegen van de I-actie doet wel de blijvende afwijking verdwijnen, maar verhoogt de oscilleerneiging. We kunnen daarom teruggaan naar de P-actie, deze enkele % terugstellen, de D-actie enkele % sterker instellen en de instelling van de I-actie hernemen.

Opmerkingen:

- Als in 5 de I-actie reeds te groot is, dus T_n te klein, vergroot T_n en vervolg de procedure.
- De praktijk heeft uitgewezen dat bij een PID-regelaar een gunstige instelling bekomen wordt als $T_n \approx 4 \cdot T_v$

Algemeen besluit:

Deze afregelmethode is omslachtig en duurt veel te lang als we te maken hebben met processen met tijdsconstanten van tientallen minuten.

6. Afregelvoorstellen volgens LEEDS & NORTHRUP

Bij deze firma vinden we een merkwaardige maar toch praktische en leerzame werkwijze. Over het criterium van uitregelen wordt niet gesproken. De firma laat dit over aan de beoordeling van de lezer zelf, afhankelijk van de eisen gesteld in het proces. We geven hier een beknopte vertaling van deze afregelprocedure.

6.1 Procedure voor de P-actie

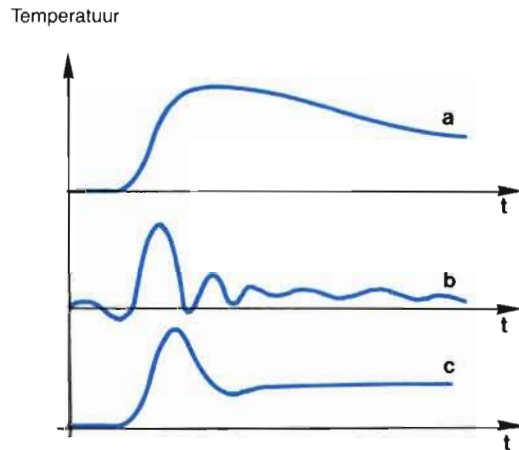


Fig. 11.6 Stapresponsies bij belastingsverandering.

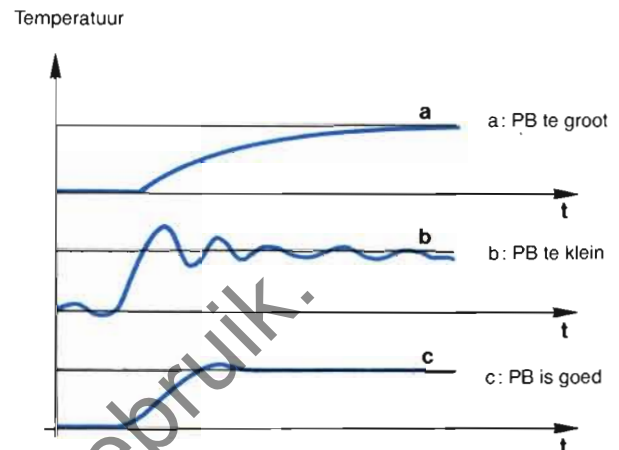


Fig. 11.7 Stapresponsies bij verandering van gewenste waarde.

Bovenstaande figuren stellen de stapresponsies voor van een temperatuurregeling voor de beoordeling van de P-regelaar.

In fig. 11.6 zijn de stapresponsies weergegeven bij een plotse verandering van het verbruik. Deze belastingsverandering komt in feite neer op een storingsgedrag.

In fig. 11.7 zijn de stapresponsies weergegeven op een verandering van de gewenste waarde.

Werkwijze:

1. Plaats de D-actie en I-actie op minimum kracht. (Rate dial to zero, reset dial to 0.03 rep/min), auto-manual switch op AUTO.
2. Begin met een relatief hoge waarde voor *PB* (50% voor temperatuurregelingen).
3. Verminder de proportionele band tot de proceswaarde oscilleert.
Het is aan te bevelen de gewenste waarde met kleine sprongen te veranderen met de bedoeling de tendens tot oscilleren te starten.
4. Zodra een oscillatie volstaat, noteert men dadelijk de periode of frequentie van de oscillatie.
5. Verbreed langzaam de *PB* door het verzwakken van de P-actie tot het oscilleren ophoudt.
Het effect van verschillende waarden van de *PB* zien we in bovenstaande figuren.

Opmerking:

Als men in stand AUT de *PB* verandert dan moet men zich goed realiseren dat hierdoor de uitgang van de regelaar met een sprong verandert, dus ook de procesinput zodat ook de proceswaarde op de penrecorder hierop reageert. Als men achteraf de recordaantekeningen leest, moet men goed onderscheid maken tussen de reacties veroorzaakt door het veranderen van de *PB*, en deze (die ons eigenlijk aanbelangt) veroorzaakt door veranderen van de set-pointwaarde.

Vergissingen kan men vermijden door het volgende te doen:

- a. na het veranderen van de *PB* wacht men voldoende lang tot de proceswaarde tot rust gekomen is.
- b. Men kan ook overgaan op manueel, dan de *PB* veranderen en terug overgaan op AUT. In moderne regelaars is de omschakeling AUT → MAN en MAN → AUT "stootvrij" (bumpless). Bij omschakelen wordt y_{MAN} steeds gelijk gehouden aan y_{AUT} .

6.2 Procedure voor de D-actie in PD-regelaar

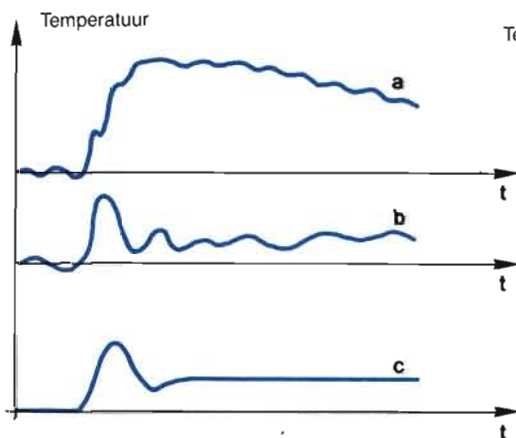


Fig. 11.8 Stapresponsies bij belastingsverandering.

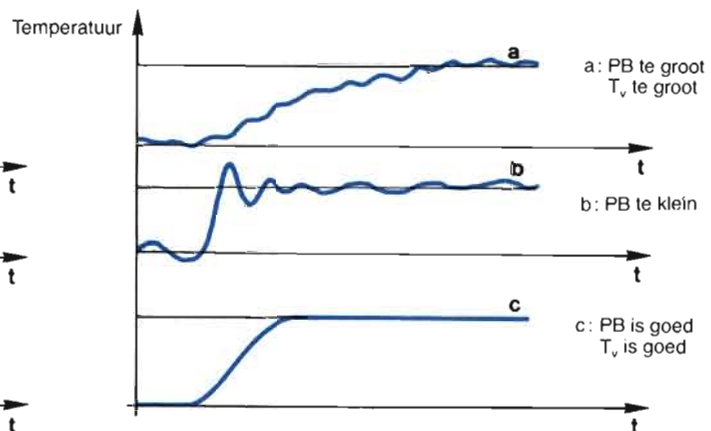


Fig. 11.9 Stapresponsies bij verandering van de gewenste waarde.

In bovenstaande figuren zijn de stapresponsies van een temperatuurregeling weergegeven voor de beoordeling van de D-actie in de PD-regelaar. Fig. 11.8 geeft de responsies bij een belastingsverandering terwijl 11.9 de responsies voorstelt bij een verandering van de gewenste waarde.

Werkwijze:

1. Stel de D-actie in op minimumkracht. Bijvoorbeeld op 0,01 (min.). Om het effect van deze instelling na te gaan, veroorzaakt men kleine stapsprongen met de set-pointwaarde. Als nu reeds oscillerende reacties optreden die een hogere frequentie hebben dan deze veroorzaakt door de P-regelaar met een te smalle band, dan is het proces niet geschikt voor een D-actie. Zet de knop op zero en ga verder met de I-actie. Vergewijs u ook of er andere regelingen in hetzelfde proces voorkomen. Een D-actie kan krachtige veranderingen veroorzaken op de inputwaarde van het proces (y). Het kan zijn dat die andere regelingen hierdoor ernstig gestoord worden. Ook in dat geval mag geen D-actie gebruikt worden.
 2. Zijn de hierboven aangehaalde bezwaren niet aanwezig, verhoog dan progressief de voorinsteltijd (of rate time) T_v . Veroorzaak kleine sprongen in het proces om telkens het resultaat van deze instellingen te zien.
 3. Normaal veroorzaakt het toevoegen van de D-actie een demping op de beweging van de proceswaarde, zodat de PB iets kleiner mag worden ingesteld. (P-actie iets krachtiger).
 4. Observeer nauwkeurig de bewegingen op de penrecorder. Noteer de frequentie of periode van elke eventueel optredende oscillatie. Een oscillatie met ongeveer dezelfde frequentie als deze die optreedt bij een afregeling van de P-regelaar, wijst op een te kleine PB , zodat deze verhoogd moet worden. Een oscillatie die duidelijk sneller is, wijst op een te krachtige D-actie, de voorinsteltijd is te groot en moet dus verkleind worden.
- Nogmaals: normaal zal een te krachtige D-actie te sterk dempen. Maar in de processen waar hierdoor oscilleren ontstaat, moet de D-actie afgezwakt worden, of eventueel weggelaten worden.

De bovenstaande figuren tonen enkele reactiecurven bij enkele uiterste waarden van PB en T_v .

6.3. Procedure voor de I-actie in PI- en PID-regelaar

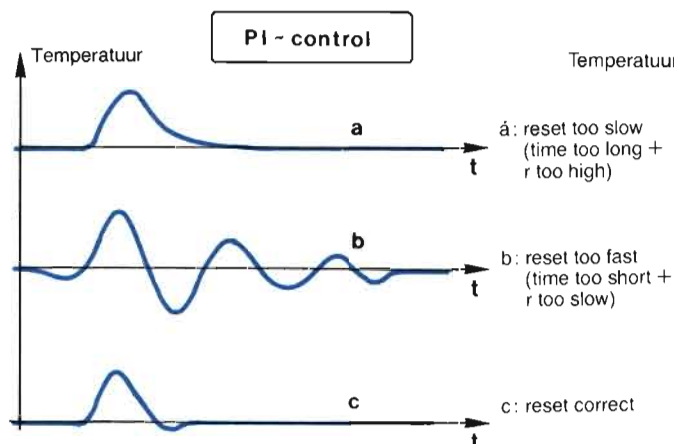


Fig. 11.10 Stapresponsies van de PI-regelaar.

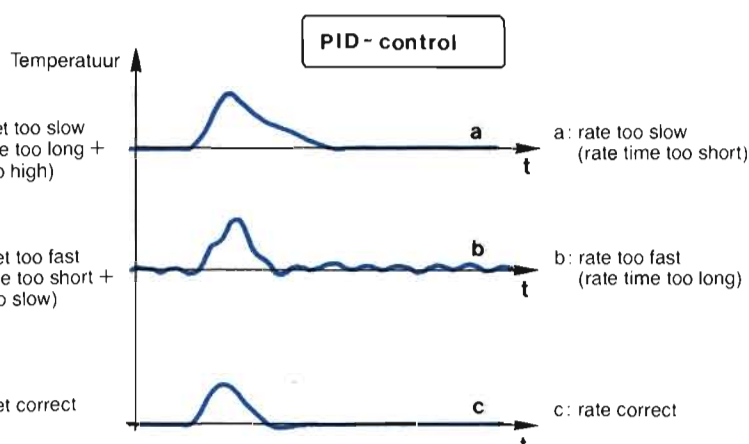


Fig. 11.11 Stapresponsies van een PID-regelaar.

Bovenstaande figuren zijn de stapresponsies van een temperatuurregeling bij een belastingsverandering.

Fig. 11.10 toont de stapresponsies voor de beoordeling van de I-actie in de PI-regelaar.

Fig. 11.11 toont de stapresponsies voor de beoordeling van de D-actie in de PID-regelaar.

Werkwijze:

1. Nadat PB en de voorinsteltijd (rate time) zijn ingesteld, moet de automatische reset (automatisch herleiden van de blijvende afwijking naar nul – I-actie) in de regeling ingevoerd worden.
2. Men wenst een instelling van de reset rate ($r = \frac{1}{T_r}$ repeats per minute) die zo groot is dat het proces nog net niet instabiel wordt, maar zo snel mogelijk naar de gewenste waarde gaat na een stapspiong.
3. Wees er van bewust dat als de reset rate (r) verhoogd wordt (krachtiger I-actie) de stabiliteit van de regelkring vermindert.
4. In het algemeen zou het product reset rate \times rate time de waarde 1 niet mogen overschrijden dus:

$$r \cdot T_v < 1 \text{ (of } \frac{T_v}{T_n} < 1 \text{ of } \frac{T_n}{T_v} > 1)$$

Opmerking: In voorgaande instelvoorschriften wordt een goede instelling voorspeld als $T_n \approx 4 T_v$

5. Wordt de reset rate (r) verhoogd, (I-actie sterker), observeer nauwkeurig het procesantwoord na een stapspiong. Het optreden van een oscillerende tendens met een periode die groter is dan deze veroorzaakt door een te smalle PB , wijst op een te sterk ingestelde I-actie. Deze moet dan verminderd worden.

Bovenstaande responsies ontstaan bij extreem ingestelde waarden voor de I- en de D-actie.

Algemeen besluit:

De instelprocedure van de firma LEEDS & NORTHRUP is zeer algemeen gehouden en is dus geen stap-voor-stap afregelprocedure.

De beoordeling van de uitregelkwaliteit laat de auteur over aan de lezer. Wel wordt verondersteld dat de invloed van de instelknoppen (X_p , r , T_v) in de gesloten kring goed gekend is.

Specifiek voor deze firma is de bemerking $r \cdot T_v < 1$.

7. Instelvoorschriften van FOXBORO

We nemen deze voorschriften letterlijk over. Zo bekomen we een goed inzicht hoe deze firma haar klanten voorlichting geeft inzake afregelen. (woordenlijst: blz. 201)

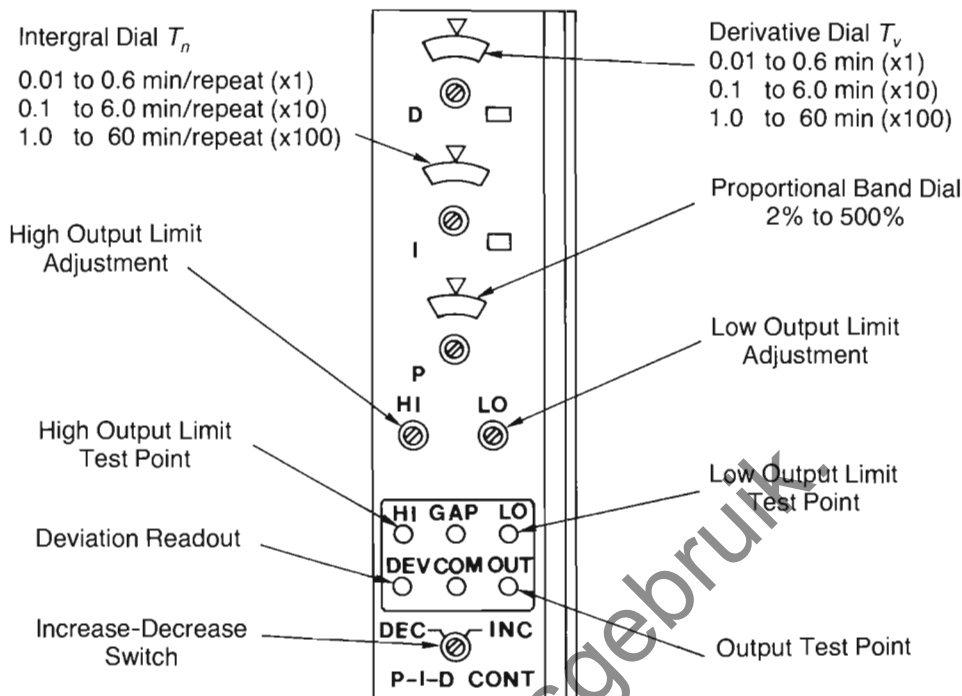


Fig. 11.12 Als men de slede van de regelaar uittrekt, vindt men de afregelpunten (FOXBORO)

Measurement : 0 to 10 volt dc

Set point : 0 to 10 volt dc

Output : 0 to 10 volt dc

(zie woordenlijst blz. 201)

Proportional Plus Integral Controller

1. With transfer switch in MANUAL, set Proportional Band dial to maximum or to a safe high value. Turn Integral dial to maximum clockwise position.
2. Adjust set point to equal measurement. Move transfer switch to AUTO.
3. Make a small step change (approximately 5%) in set point, upscale or downscale. Observe measurement on measurement indicator or an external recorder.
4. If cycling does not occur, adjust Proportional Band to half of previous value.
5. Repeat Steps 3 and 4 until cycling is observed. Increase Proportional Band to twice its last value.
6. With transfer in AUTO adjust the Integral dial to half of previous value.
7. Make a small step change (approximately 5%) in set point, upscale or downscale. Observe measurement on measurement indicator or an external recorder.
8. If cycling does not occur, repeat Steps 6 and 7 until cycling is observed. Adjust the Integral dial to twice its last value.

Proportional Plus Integral Plus Derivative Controller

1. With transfer switch in MANUAL, set Proportional Band dial to maximum or to a safe high value. Turn Integral dial to maximum clockwise position.
2. Turn Derivative to safe low value.
3. Adjust set point to equal measurement. Move transfer switch to AUTO.
4. Make a small step change (approximately 5%) in set point, upscale or downscale. Observe measurement on measurement indicator or an external recorder.
5. If cycling does not occur, adjust Proportional. Increase Proportional Band to twice its value.
6. Repeat Steps 4 and 5 until cycling is observed. Increase Proportional Band to twice its value.
7. With transfer switch in AUTO, adjust the Derivative dial to twice its value.
8. Make a small step change (approximately 5%) in set point, upscale or downscale. Observe measurement on measurement indicator or an external recorder.
9. If cycling does not occur, repeat Steps 7 and 8 until cycling is observed. Adjust the Derivative dial to half the last value.
10. Adjust Integral dial to a setting equal to the Derivative dial.

Opmerking: Met regel 10 van de PID-afstelling hebben we wel even moeite. Bij alle andere tot nu toe behandelde voorstellen vinden we $T_n \approx 4 T_v$. Wel zegt LEEDS & NORTHRUP dat $T_n / T_v > 1$.

8. Instelvoorschriften volgens Pressler

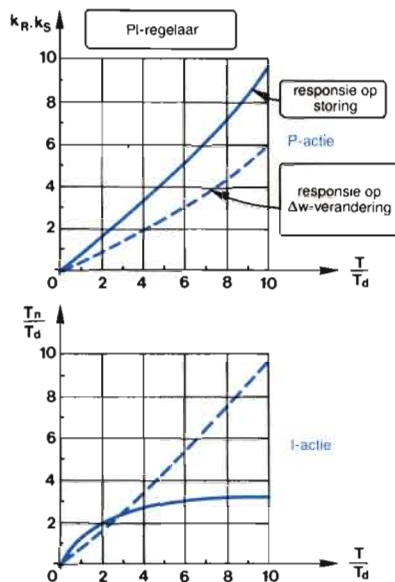


Fig. 11.13 Grafisch verband tussen regel- en procesparameters bij PI-regelaar volgens PRESSLER

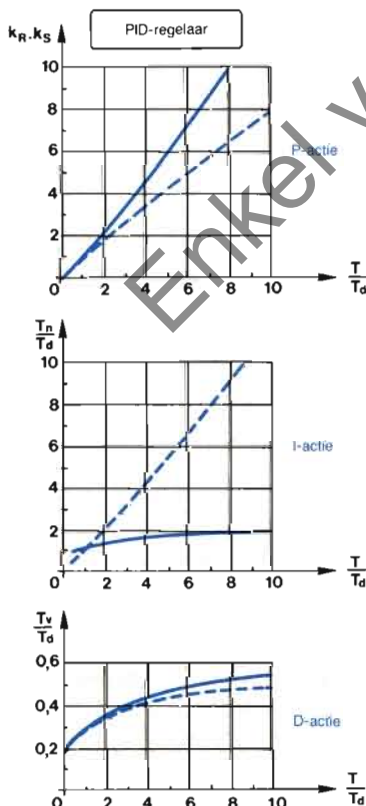


Fig. 11.14 Grafisch verband tussen regel- en procesparameters bij de PID-regelaar volgens PRESSLER

Gerard Pressler heeft samen met nog andere medewerkers van de firma H & B rond de jaren '60 uitgebreide studies verricht i.v.m. optimaal instellen van regelaars. Een typische eigenheid van zijn studies is de manier waarop hij de afhankelijkheid van de regelparameters en deze van het proces heeft voorgesteld in grafieken. Als men ermee kan werken, zijn ze erg handig.

Bij het interpreteren van de grafieken in fig. 11.13 en 11.14 maken we vooraf de volgende beschouwingen.

- De regelaar wordt afgesteld volgens het criterium van het absolute regeloppervlak.
- De auteur maakt bovendien onderscheid tussen het gedrag bij verstellen van de gewenste waarde, en het gedrag bij een storing.
- De volle lijnen geven in de grafieken de goede instelling op een storing; de streeplijnen zijn de juiste instellingen voor het verstellen van de gewenste waarde.
- Een gunstige instelling voor het ene is dus niet noodzakelijk een gunstige instelling voor het andere antwoord.
- De versterking voor een gunstig storingsgedrag moet hoger worden ingesteld dan bij het antwoord op verstellen van de gewenste waarde. Hierbij moeten we toch de opmerking maken dat in de praktijk de storing zich op diverse plaatsen in het proces kan manifesteren, waardoor de reactie van het ene proces vergeleken met een ander nogal verschillend kan zijn. Het storingsgedrag laat zich dus moeilijk via een simulatie veralgemenen, zodat na deze instelvoorschriften het toch nog aangewezen blijft manueel bij te regelen.
- Opvallend is het verschil van de instelling van de I-regelaar bij storingsgedrag en het verstellen van de gewenste waarde.
- Voor de instelling van de D-regelaar blijkt er dan weer weinig verschil te bestaan voor beide sprongantwoorden.

Afregelprocedure:

1. Stapantwoord opnemen van het proces, in open kring.
2. Bepaal op de grafiek de procesparameters.
 1. k_s . (bij een standaardproces: $k_s = 1$)
 2. T tijdconstante
 3. T_d dode tijd.
3. Bepaal de verhouding $\frac{T}{T_d}$
4. Lees op de karakteristieken de volgende waarden af:
$$\begin{aligned} k_R \cdot k_S &\Rightarrow \text{waaruit } k_R \\ \frac{T_n}{T_d} &\Rightarrow \text{waaruit } T_n \\ \frac{T_v}{T_d} &\Rightarrow \text{waaruit } T_v \end{aligned}$$

9. Instelvoorschriften volgens Schäfer

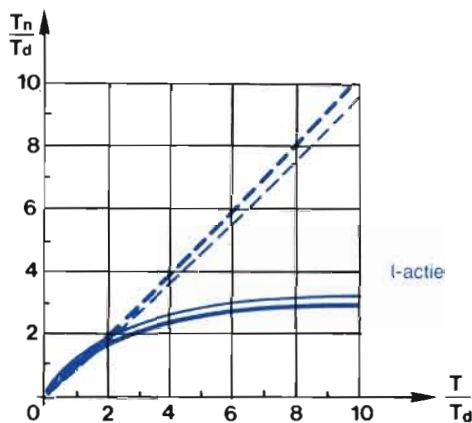
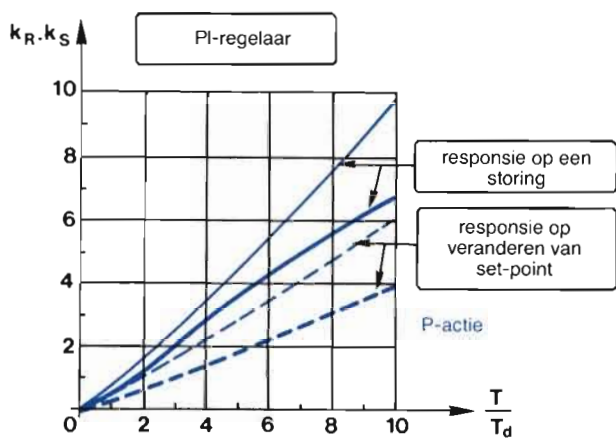


Fig. 11.15 Grafisch verband tussen regelparameters en procesparameters bij PI-regelaar volgens Schäfer

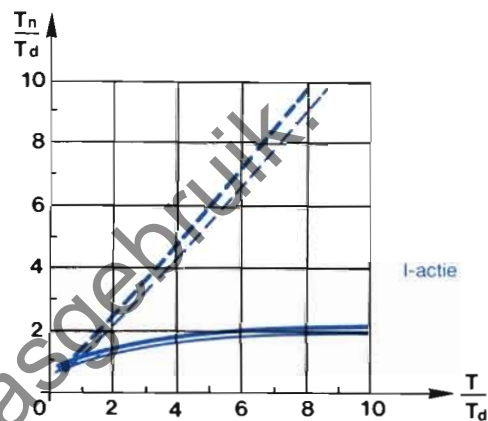
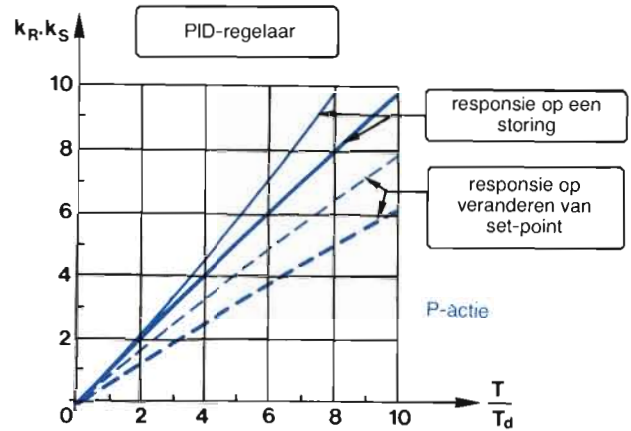
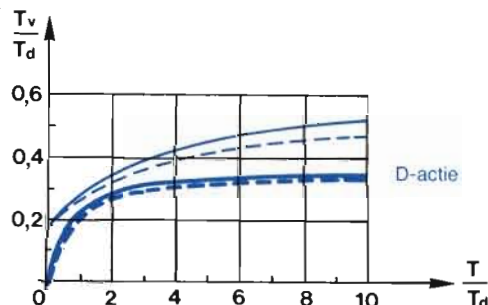


Fig. 11.16 Grafisch verband tussen regelparameters en procesparameters bij PID-regelaar volgens Schäfer



Op analoge wijze als Pressler hebben Chien, Rhones en Reswick experimenten uitgevoerd op gesimuleerde processen. Ze zijn achteraf door Schäfer hernomen en aangepast. Zijn besluiten zijn grafisch weergegeven in bovenstaande figuren 11.15 en 11.16.

- De volle lijnen zijn de instellingen van een goede responsie op een storing. De streepjeslijnen zijn de instellingen voor een goede responsie op het verstellen van de gewenste waarde.
- Ook hier is een gunstige instelling voor een storingsantwoord verschillend van de instelling bij het verstellen van de gewenste waarde.
- De dikke lijnen stellen de instelvoorschriften voor van Schäfer om een sterker gedempt uitregelen te bekomen met minimaal doorschot. De dunne lijnen zijn de voorschriften volgens de voorgaande methode van Pressler met het criterium van het absolute regeloppervlak. Zo kunnen we een vergelijking maken tussen beide instelvoorstellen.
- Het is natuurlijk duidelijk dat om een grotere damping in het uitregelen te bekomen, hetgeen de bedoeling was van Schäfer, de versterking van de P-regelaar kleiner moet gekozen worden. Schäfer heeft T_n iets groter ingesteld (zwakkere I-actie) terwijl T_v eigenaardig genoeg kleiner gekozen is. De grotere damping werd dus hoofdzakelijk gerealiseerd door een kleinere k_R en een grotere T_n .

Afregelprocedure:

Voor de afregelprocedure kan dezelfde volgorde gebruikt worden als deze beschreven op de vorige bladzijde.

10. Instelvoorschriften voor processen zonder zelfregeling

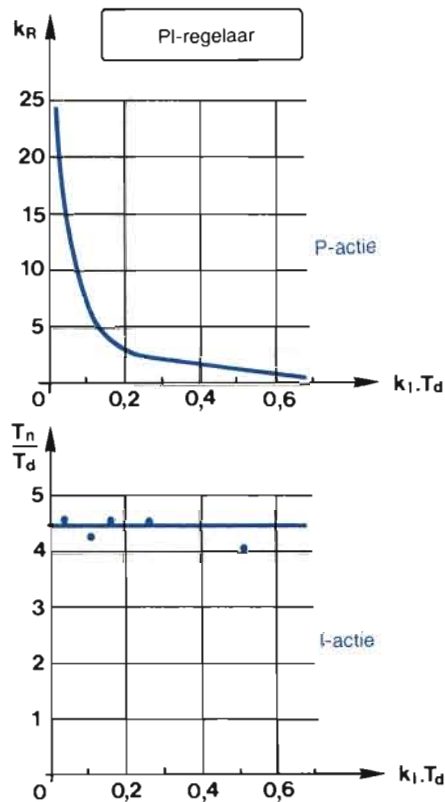
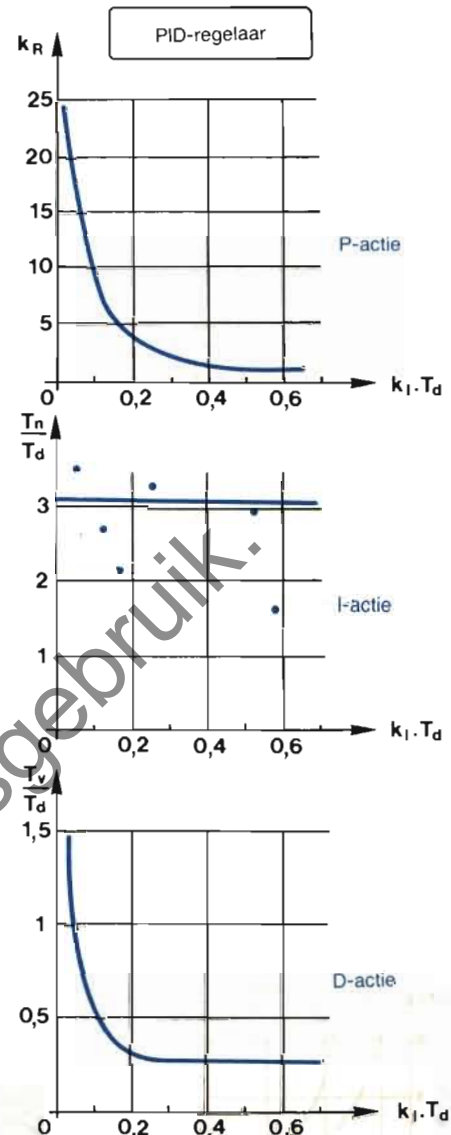


Fig. 11.17 Instelvoorschriften tussen regelparameters bij PI-regelaars zonder zelfregeling.

Fig. 11.18 Instelvoorschriften bij PID-regelaars zonder zelfregeling.



Pressler onderzocht eveneens regelkringen waarin processen met integrerend karakter, of niet zelfregelende processen voorkomen. De kenmerkende eigenschappen worden vastgelegd in de dode tijd T_d , en de snelheid k_i waarmee de proceswaarde verandert nadat y met een stap veranderd wordt.

In fig. 11.17 zijn de instelvoorschriften weergegeven voor een PI-regelaar zonder zelfregeling en in fig. 11.18 voor een PID-regelaar.

Uit het stapantwoord van het proces moet dus eerst de helling van de grafiek bepaald worden en de dode tijd. Zie hiervoor par. 3 en fig. 11.1 om de parameters k_i en T_d te bepalen.

De instelvoorschriften steunen op het ITAE-criterium dat beschreven is op blz. 177.

Afregelprocedure:

1. Stapantwoord opnemen van het proces.
2. Bepaal de dode tijd T_d
3. Bepaal de helling k_i
4. Bepaal het product $k_i \cdot T_d$
5. Lees af uit de grafieken:

 k_R
 $T_n / T_d \Rightarrow$ waaruit T_n
 $T_v / T_d \Rightarrow$ waaruit T_v

11. Instelvoorschriften voor processen van hogere orde

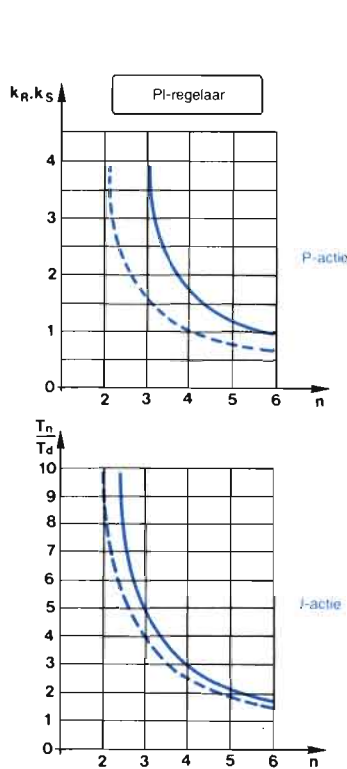


Fig. 11.20 Instelvoorschriften voor PI-regelaar in functie van orde van proces

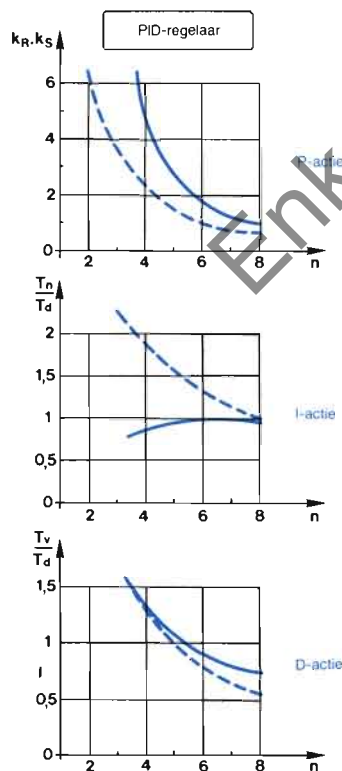


Fig. 11.21 Instelvoorschriften PID-regelaar in functie van orde van proces

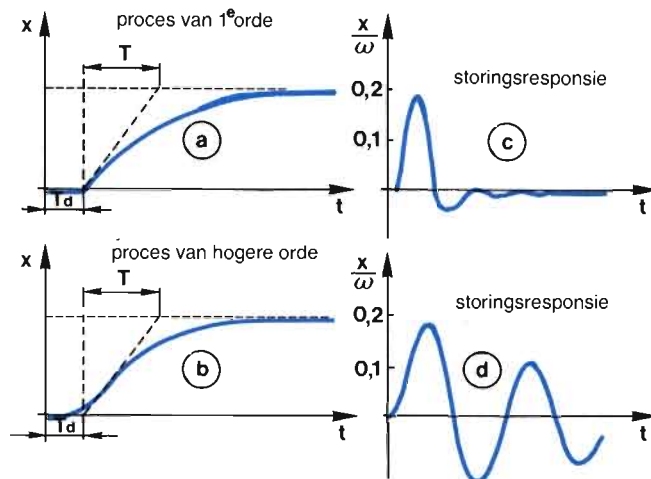


Fig. 11.19 Zelfde parameters bij een proces van eerste orde en van hogere orde

In alle voorgaande voorschriften zijn de procesparameters van processen van hogere orde afgeleid uit een benaderingsvoorstelling van het eigenlijke procesantwoord door de constructie van de raakklijn in het buigpunt. Zoals in fig. 11.19 is weergegeven.

Zo kan bijvoorbeeld een proces van hogere orde een zelfde tijdconstante en dode tijd opleveren als een proces van eerste orde. De werkelijke karakteristieke verschillen echter aanzienlijk. Vergelijk de dode tijd van een proces van eerste orde met die van een hogere orde in fig. 11.19 a en b.

Als we dan in beide processen de regelaar met dezelfde regelparameters instellen om een bepaald regelcriterium te bekomen, moet het ons niet verwonderen, dat we voor het proces van hogere orde een ongunstiger uitregelverloop kunnen krijgen. Daarom is de storingsresponsie in fig. 11.19 c veel gunstiger dan in fig. 11.19 d.

In het werk van STREJC wordt aangetoond dat met voldoende nauwkeurigheid de volgende betrekking kan opgesteld worden tussen de verhouding van tijdconstante T en dode tijd T_d en de orde n van het proces:

$$n = \frac{T_d}{T} \cdot 10 + 1$$

In de grafieken van fig. 11.20 en 11.21 zijn de instelparameters van de regelaars gegeven in functie van de orde van het proces. Dit levert voor hogere orden een juistere instelling op. Bij het lezen van de grafieken geeft de volle lijn de instellingen voor een goede responsie op een storing terwijl de streeplijn de instellingen voor een goede responsie op het verstellen van de gewenste waarde w weergeeft.

Afregelpprocedure:

1. proces antwoord eerst optekenen
2. Bepaal k_s , T_n , T_d
3. Bepaal de orde T_d/T .
4. Bepaal de orde n .
5. Lees op de grafieken af: $k_s \cdot k_R \Rightarrow$ waaruit k_R
 $T_n/T_d \Rightarrow$ waaruit T_n
 $T_v/T_d \Rightarrow$ waaruit T_v

12. Engelse woordenlijst

Procedure van TAYLOR

controller slide	: slede, chassis van de regelaar
reset	: I-actie
pre act	: D-actie
deviation meter pointer	: wijzer van de meter die de afwijking $w - x$ meet
cycle	: een volledige cyclus, dus pos. + neg. alternantie
gain	: versterking van de P-regelaar
increase	: verhogen
decrease	: verlagen
set pointer	: aanduiding van de gewenste waarde w

Instelvoorschriften van FOXBORO

Integral dial	: schaal voor de I-actie
Derivative dial	: schaal voor de D-actie
set point	: gewenste waarde
upscale	: omhoog op de schaal
down scale	: omlaag op de schaal
cycling	: oscilleren.
previous value	: voorgaande waarde
Integral controller	: I-regelaar
Derivative controller	: D-regelaar
Proportional controller	: P-regelaar
small step change	: kleine stap verandering
transfer switch	: omschakelaar
measurement (value)	: gemeten waarde, proceswaarde (x)
output	: uitgang van de regelaar (y)
safe low value	: veilige lage waarde.

**Stad Antwerpen
Stedelijk Lyceum**

Hoofdstelling :

Paardenmarkt 94

2000 ANTWERPEN

Tel. 03/470.25.30 - Fax 03/470.25.31

13. Zelf instellende regelaars

De evolutie van de elektronica in de ontwikkeling van de regelaars heeft het mogelijk gemaakt dat regelaars zelf de parameterwaarden kunnen instellen. Veel hedendaagse regelaars beschikken over deze mogelijkheid die men wel of niet gebruiken kan. De volgende concepten worden gebruikt:

1. Self-tuning of easy tune principe.

De uitgang van de regelaar genereert zelf een stapspont in de manual mode om zo de responsiecurve van het proces te bekomen. De microprocessor bepaalt hieruit de procesparameters en de parameters van de regelaar om een uitregeling te bekomen volgens een bepaald regelcriterium. De regelaar past automatisch zijn regelparameters aan, gaat over in AUT en vervolgt de regelwerking.

2. Adaptief regelprincipe

Veel processen beschikken niet over een lineaire statische karakteristiek. Het niveau in een cilindrische ton die horizontaal ligt stijgt niet lineair met het toevoer. Als het niveau op de helft staat is de stijging trager dan in het begin en op het einde. Afhankelijk van het niveau zal dus de versterking van de regelaar aangepast moeten worden, zo ook de andere parameters.

Een identificatieschakeling meet de nodige gegevens in het proces en zorgt er dan voor dat de parameters aangepast worden.

Meer over deze zelfregelende principes vindt je in de nieuwe uitgave :
Regeltechniek-procestechnieken.

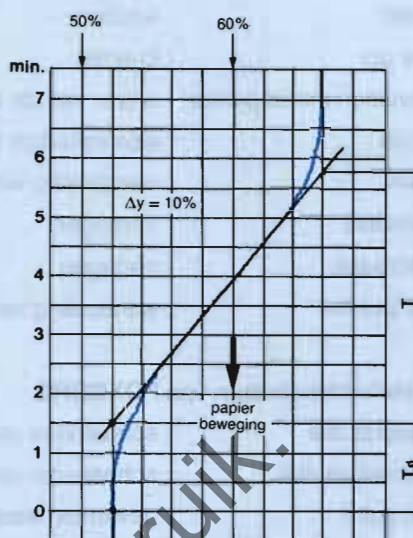
14. Opdrachten

1. Van een bepaald proces werd in open kring het hiernaast getekende stapantwoord geregistreerd. De input van het proces werd met 10% veranderd.

Men wenst een PID-regelaar te gebruiken voor dit proces.

- a. Bepaal de instelparameters volgens de formules als de procesparameters gekend zijn.
- b. Bepaal de parameters volgens de grafieken van Pressler. (criterium van het absoluut regeloppervlak)
- c. Bepaal de parameters volgens de grafieken van Schäfer voor een sterker gedempt uitregelen.
- d. Bepaal de parameters rekening houdend met de orde van het proces, volgens Strejc.

Fig. 11.22 Procesantwoord geregistreerd met een penrecorder

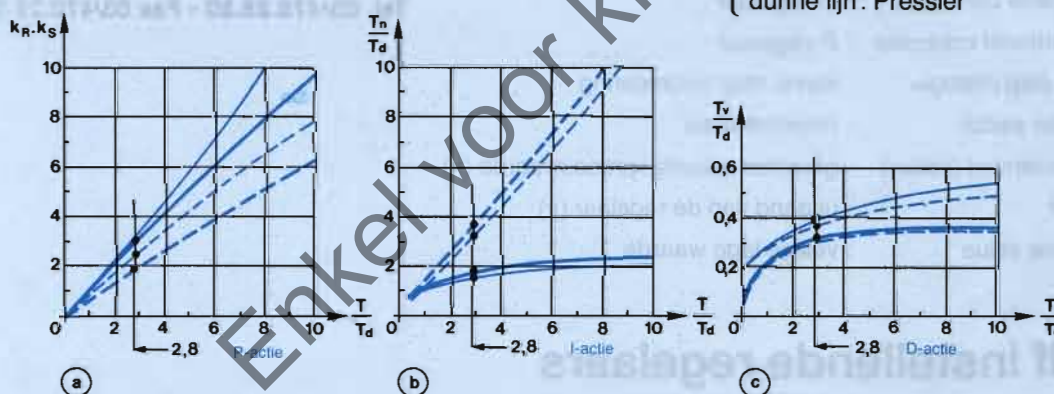


Formules als de procesparameters gekend zijn:

$$k_R = \frac{1,2}{k_s} \cdot \frac{T}{T_d} \quad T_n = 2 \cdot T_d \quad T_v = 0,5 \cdot T_d$$

Gegevens volgens Pressler en Schäfer.

volle lijn: storingsgedrag
streeplijn: set-point verandering
dikke lijn: Schäfer
dunne lijn: Pressler



Gegevens volgens Strejc

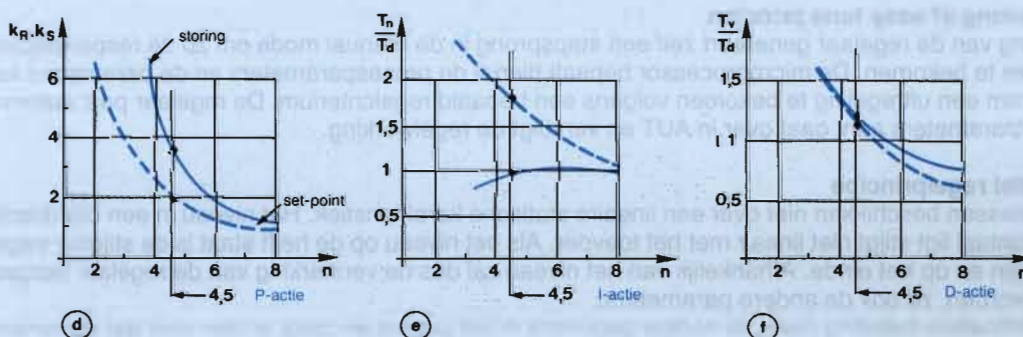


Fig. 11.23 Grafieken voor het oplossen van opdracht 1

Oplossing en bespreking van opdracht 1

Uit het procesantwoord van fig. 11.22 volgt:

$$T = 4,25 \text{ min} \quad T_d = 1,5 \text{ min} \quad k_s = 1,4$$

De verhouding T/T_d wordt:

$$T/T_d = 2,83$$

De procesorde volgens Strejc wordt dus:

$$n = T_d/T \cdot 10 + 1 = \frac{10}{2,83} + 1 = 4,5$$

Uit de grafieken van fig. 11.23 vinden we de volgende resultaten.

Doe zelf de controle.

	k_R		T_n (min)		T_v (min)	
A. Formules met gekende procesparameters	$k_R = 2,42$		$T_n = 3$		$T_v = 0,75$	
	$k_R \cdot k_s$	k_R	T_n/T_d	T_n	T_v/T_d	T_v
Pressler (dunne lijn)						
B. set-point (streeplijn)	2,5	1,8	3	4,5	0,37	0,5
storing (volle lijn)	3,2	2,3	1,5	2,25	0,4	0,6
Schäfer (dikke lijn)						
C. set-point (streeplijn)	1,7	1,2	3,7	5,5	0,33	0,5
storing (volle lijn)	3,2	2,3	1,8	2,7	0,33	0,5
Strejc						
D. set-point (streeplijn)	1,9	1,3	1,75	2,6	1,1	1,6
storing (volle lijn)	3,5	2,5	1	1,5	1,3	1,2

Vergelijken we A met de instellingen van Pressler en Schäfer dan zien we een grotere versterking in A. De I-actie van A ligt tussen de waarden voor het set-point gedrag en het stoorgedrag van Pressler en Schäfer. Daarbij is de D-actie van A iets krachtiger ingesteld.

Opvallend is ook dat ten opzichte van het set-point gedrag, de P, de I en de D-actie bij het storingsgedrag sterker zijn ingesteld. De keuze van de instellingen hangt dus af van het feit of men de voorkeur geeft aan een aanvaardbaar uitregelen voor het set-point gedrag of voor het stoorgedrag.

De instellingen van Schäfer hebben de bedoeling de uitregeling iets meer gedempt te doen verlopen. Dit komt goed tot uiting in de lagere waarde voor de versterking en de hogere waarde voor de na-insteltijd.

Opvallend bij Strejc is de vrij lage waarden van de I-actie, dus een krachtige I-actie, gekoppeld aan de vrij hoge waarden van de D-actie of een krachtige D-actie.

2. Bespreek de procedure die gevolgd moet worden voor het instellen van regelaar en proces volgens Ziegler-Nicholz als de procesparameters niet gekend zijn. (de tabel voor de instellingen wordt niet gevraagd.) Welk bezwaar kan er zijn voor deze methode?

3. Als een blijvende oscillatie in het proces niet toegelaten is, dan kan een variëte van de Ziegler-Nicholz oscillatiemethode toegepast worden, namelijk de tuning procedure volgens een demping van 4 : 1, zoals beschreven door TAYLOR. Geef deze procedure.

4. Bespreek de probeer- en verfijnmethode (trial and error) voor de P-regelaar.



Fig. 11.24. Regelaar van Fischer en Porter.

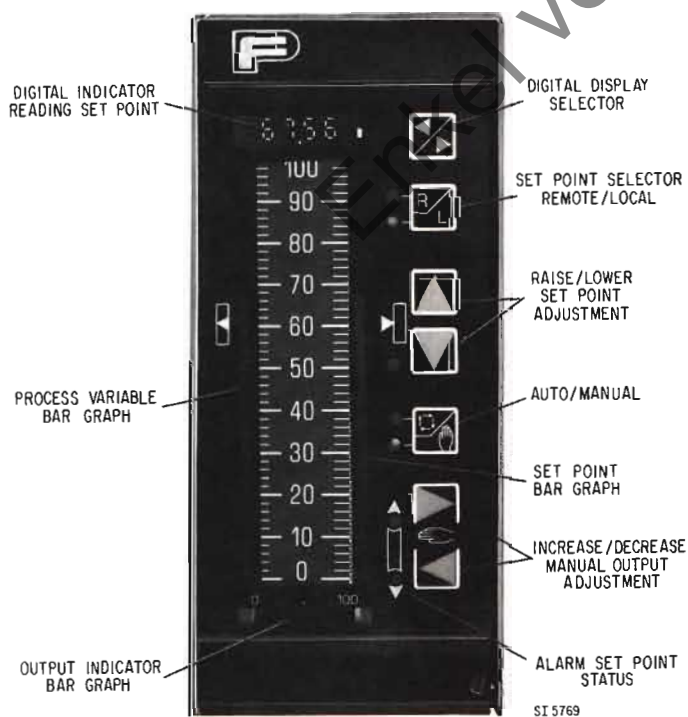


Fig. 11.25 Voorpaneel

In fig. 11.24 zien we een uitgetrokken regelaar van Fischer en Porter.

Aan de zijkant zien we duidelijk de keuzetoetsen voor het instellen van de parameters

PB	procentuele prop.band
T_R	reset time (na-insteltijd T_n)
T_D	diff. time (voor-insteltijd T_v)

Het instellen van de waarde gebeurt met de numerieke toetsen. De display voor de waarde-aanduiding is boven rechts.

In fig. 11.25 is het frontpaneel weergegeven met de voornaamste functies.