

Blok 10

Optimaliseren van regelkringen

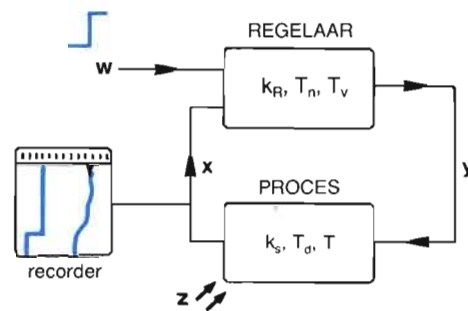


Fig. 10.1 Blokschema gesloten regelkring

De regelaar moet in alle omstandigheden de proceswaarde x gelijk houden aan de wenswaarde w . Storingen kunnen echter x doen afwijken van w . De regelaar moet nu zo worden ingesteld, dat x zo snel mogelijk en met zo weinig mogelijk schommelingen teruggebracht wordt naar de wenswaarde w .

Om de kwaliteit van het uitregelen te beoordelen, is het nodig

- een verandering aan te brengen in de regelkring,
- daarna het uitregelen te registreren op een recorder,
- tenslotte volgt de beoordeling.

De verandering in het proces verkrijgt men het gemakkelijkst door een kleine verstelling van de wenswaarde of set-point, waarna de regelaar tracht de nieuwe w -waarde in te stellen.

Wat men als optimaal uitregelen beschouwt, is afhankelijk van de eisen die men aan de producten stelt die in het proces gemaakt worden.

In ieder geval zijn de in te stellen parameters van de regelaar k_R , T_n en T_v afhankelijk van deze van het proces k_s , T_d en T . De parameters van de regelaar moeten dus aangepast worden aan deze van het proces.

Bovendien is het ook zo dat de keuze van het type regelaar afhankelijk is van het soort proces. Bepaalde regelaars (P, PI, PD, PID) zijn voor bepaalde soort processen (verschillende orden, zelf- en niet-zelfregelend) geschikt, andere weer niet.

Men kan deze geschiktheid van regelaar-proces uittesten door het proces te simuleren met elektronische netwerken. In een gestandaardiseerd systeem is dit gemakkelijk te doen (zie ook Practicumboek 1). Tegenwoordig wordt veel gewerkt met simulaties op de computer.

Inhoud:

1. Oscilleren van regelaar en proces
2. Optimaal uitregelen.
3. Relatie soort regelaar en type proces.
4. Criteria voor de kwaliteit van het uitregelen.
5. Instelparameters van regelaar en proces.
6. Ontleding van opgenomen stapantwoorden.
7. Instelwaarden en stapantwoorden op een storing.
8. Opdrachten.

1. Oscilleren van regelaar en proces

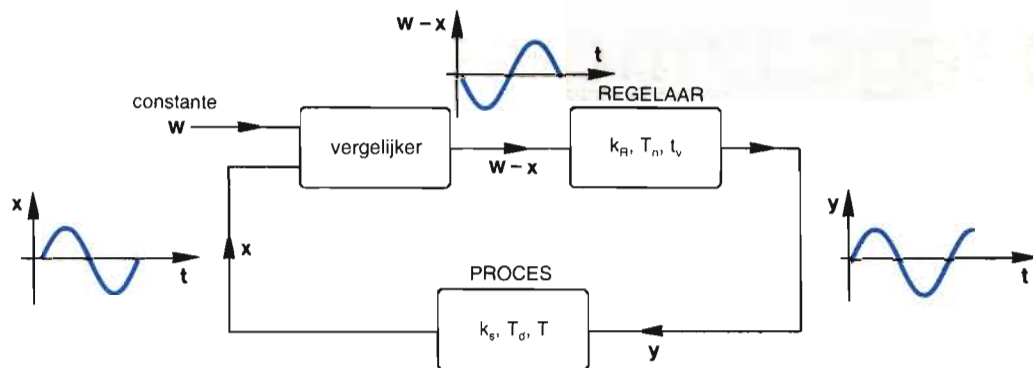


Fig. 10.2 Positieve terugkoppeling wekt oscillaties op

Bij de bespreking van de gesloten regelkring werd reeds aangehaald dat bij te krachtig ingestelde regelaars, door de vertraging en dode tijd in het proces een oscillerende tendens ontstaat, na storing of na verstelling van de gewenste waarde.

Er kunnen nu omstandigheden optreden waarbij in de gesloten kring deze oscillerende tendens zichzelf in stand houdt. De regelkring oscilleert net op dezelfde manier als een oscillator in een elektronische schakeling. De regelkring is instabiel.

Dit oscilleren ontstaat als gelijktijdig aan twee voorwaarden voldaan is:

- De rondgaande verschuiving van de fase moet 360° bedragen.
In dat geval zal een beweging van x , via vergelijker, regelaar, proces terug aan de uitgang van het proces verschijnen met dezelfde bewegingsrichting. Er ontstaat dus geen negatieve terugkoppeling, maar een positieve terugkoppeling.
De sinusvormige beweging van x , wordt door de vergelijker omgekeerd. In de regelaar en proces kunnen echter verschuivingen ontstaan zodat de sinusbeweging terug aan de uitgang verschijnt in dezelfde fase als het startsignaal.
- De rondgaande versterking $k_S \cdot k_R$ moet tenminste gelijk aan 1 of groter zijn. Het signaal zal dan in zijn rondgaande beweging nooit verzwakt worden. Dit kan dus gebeuren als k_R te groot wordt ingesteld.
- Beide voorwaarden zijn dan slechts voor één frequentie vervuld. Op die frequentie oscilleert de kring.

Men kan aantonen dat de oscillatieperiode sterk verbonden is met de dode tijd van het proces.

Afhankelijk van de gebruikte regelaar en de aard van het proces oscilleert de kring met een periode rond $2 T_d \dots 4 T_d$.

De oscillatie, veroorzaakt door de I-actie, heeft een grotere periode dan deze veroorzaakt door de P-actie.

We hebben vroeger reeds aangehaald dat een te krachtig ingestelde P-regelaar, een neiging tot oscilleren kan veroorzaken. Zo zal ook een PI-regelaar, bij een te sterke I-actie, of een te sterke P-actie, of als beide te sterk ingesteld staan, een oscilleertendens veroorzaken. Bij de PID-regelaar zal de stabiliteit verbeteren bij een krachtiger D-actie, dit binnen zekere grenzen.

Uit bovenstaande volgt ook dat de oscillerende uitregeling met een kleine periode op een te krachtige P-actie wijst; de oscillerende uitregeling met een grote periode wijst op een te krachtige I-actie.

Is echter de oscilleerperiode kleiner dan deze veroorzaakt door een P-regelaar, dan wijst dit op een te krachtig ingestelde D-actie.

In sommige moeilijke regelkringen is een te krachtig ingestelde D-actie dikwijls een hinderlijke oscilleeroorzaak. Ook als er veel ruis op de proceswaarde x zit, reageert de D-actie daar te hevig op. In al die gevallen is de D-actie een bron van ergernis en wordt dan ook weggelaten.

2. Optimaal uitregelen

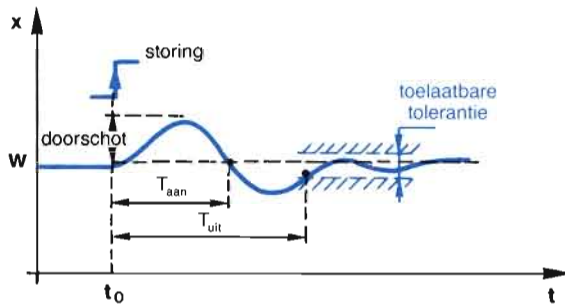
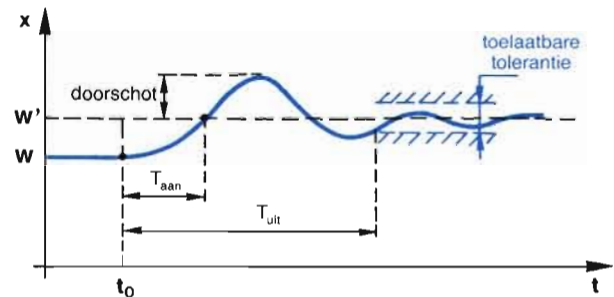


Fig. 10.3 Antwoord op een storing

Fig. 10.4 Antwoord na verstellen van w naar w'

De manier waarop de regelaar in het proces, na een storing of na verstellen van de gewenste waarde, x terug naar w brengt, bepaalt de kwaliteit van het uitregelen. In fig. 10.3 volgt het antwoord na een sprongvormige storing.

Maatgevend voor de kwaliteit zijn:

- het doorschot;
- de aanregeltijd, T_{aan} is de tijd vanaf t_0 tot de proceswaarde x voor de eerste keer de wenswaarde w snijdt;
- de uitregeltijd T_{uit} is de tijd nadat de proceswaarde x , de toelaatbare tolerantieband binnendringt zonder deze verder te verlaten.

Uit de fig. 10.3 en 10.4 blijkt dat de kwaliteit van het uitregelen hoger is naarmate:

- het doorschot kleiner is;
- de aan- en uitregeltijden kleiner zijn.

Het is echter niet mogelijk gelijktijdig het doorschot te verkleinen en de aan- en uitregeltijd te verkleinen. Wordt het doorschot kleiner gemaakt, d.m.v. een grotere demping dan zullen T_{aan} en T_{uit} vergroten. Wordt een groter doorschot toegelaten, dan worden de aan- en uitregeltijden kleiner. Het komt er dus op aan een compromis te vinden tussen een aanvaardbaar doorschot, en een aanvaardbare waarde voor T_{aan} en T_{uit} .

De keuze van dit compromis zal sterk afhankelijk zijn van de aard van het proces. In bepaalde processen, zoals temperatuurregelingen in de chemische nijverheid hecht men belang aan een klein doorschot; in andere processen zijn korte uitregeltijden belangrijker.

Men moet ook rekening houden met het feit dat een goede uitregeling na een storing daarom nog geen goede uitregeling oplevert na verstellen van de gewenste waarde, en omgekeerd. In die regelkringen, waar bijvoorbeeld de gewenste waarde veel verandert, hecht men daarom meer belang aan de responsie na het verstellen van de gewenste waarde.

De plaats waar de storing op het proces ingrijpt en het tijdsverloop van de storing, komen meestal niet overeen met de storingsinput die men zelf in het proces geeft tijdens het uittesten.

We zien dus dat een criterium aanleggen voor "optimaal uitregelen", een heel relatieve aangelegenheid is, en voor elk proces afzonderlijk kritisch moet bekeken worden.

Om een eerste houvast te hebben, worden toch enkele algemene criteria opgesteld, die we op de volgende bladzijden zullen samenvatten.

3. Relatie soort regelaar en type proces

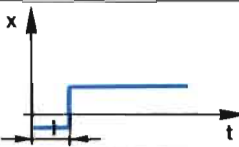
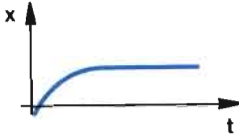
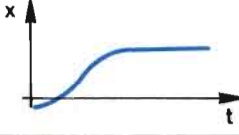
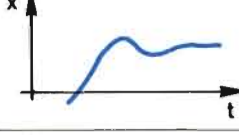
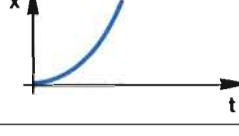
Stapresponsie proces	Procestype	Orde van het proces	Gunstige regelaar
	transportband menging	nulde orde	PI, I
	debiet spanningsregeling	nulde orde nulde orde	PI, I
	druk toerental	eerste orde eerste orde	P, PI PID met dode tijd
	temperatuur	tweede orde	PID, PI, P
	Moeilijke processen met grote dode tijden en oscillerend gedrag stellen hoge eisen aan de regelkwaliteit		PID met feedforward sturing cascade (zie later)
	niveau servosystemen		P, PI, PD
	neutronenflux koersregelingen		P, PD, PID

Fig. 10.5 Overzicht van belangrijke procestypes en hun stapresponsies

Welke regelaar bij welk proces hoort voor optimaal uitregelen is een besluit dat het resultaat is van verschillende factoren:

- 1) de tientallen jaren ervaring in het omgaan met regelkringen;
- 2) de mogelijkheid processen te simuleren met elektronische schakelingen. Hiermee kunnen alle soorten regelaars uitgetest worden;
- 3) simuleren van gesloten kringen op de computer.

Dergelijke tabellen zoals hierboven voorgesteld, worden in vele boeken over regeltechniek afgedrukt.

Hierbij moet worden opgemerkt dat deze tabel enkel als algemene richtlijn bedoeld is. Door bijzondere omstandigheden in het proces kunnen specifieke eisen gesteld worden aan de uitregelkwaliteit en zal men afwijkingen vinden op de hierboven staande voorstellen.

4. Criteria voor de kwaliteit van het uitregelen

Vooral met gesimuleerde processen kan men uittesten hoe de regelaar moet worden ingesteld om een van de onderstaande regelkwaliteiten te verkrijgen, na het verstellen van de gewenste waarde.

Alle criteria steunen op wiskundige afleidingen en definities die buiten de doelstelling van dit boek vallen. In de praktijk zal men niet noodzakelijk een van deze criteria trachten in te stellen. De gewenste wijze van uitregelen, wordt dikwijls bepaald door de aard en de eisen van producten in het proces.

4.1 Criterium van het lineaire regeloppervlak

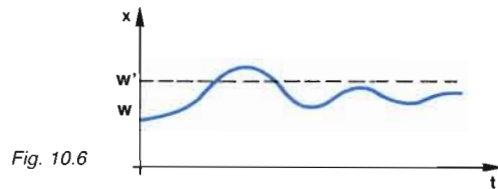


Fig. 10.6

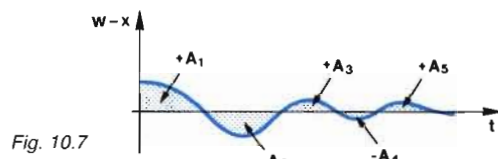


Fig. 10.7

Veronderstel dat de gewenste waarde w sprongvormig toeneemt tot het niveau w' . Het antwoord is een gedempte trilling zoals in fig. 10.6 is afgebeeld.

Volgens het criterium van het lineaire regeloppervlak geldt: de som van positieve en negatieve oppervlakken van de afwijking $w - x$ in fig. 10.7 moet een minimum vertonen.

Vandaar:

$$A_{\text{tot}} = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 \Rightarrow \text{minimum}$$

Voor de wiskundigen:

$$A_{\text{tot}} = \int (w - x) dt \Rightarrow \text{minimum}$$

4.2 Criterium van het absolute regeloppervlak

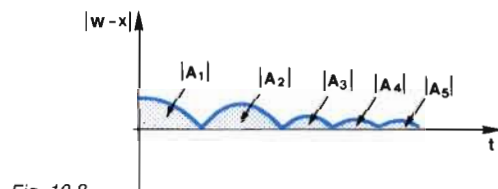


Fig. 10.8

De absolute waarden van de oppervlakken in fig. 10.8 worden opgeteld en deze optelling moet een minimum vertonen.

Vandaar:

$$|A_1| + |A_2| + |A_3| + |A_4| + \dots \Rightarrow \text{minimum}$$

Voor de wiskundigen:

$$\int_0^{\infty} |w - x| dt \Rightarrow \text{minimum}$$

Met dit criterium wordt reeds een betere damping verkregen.

4.3 Criterium van het kwadratisch regeloppervlak

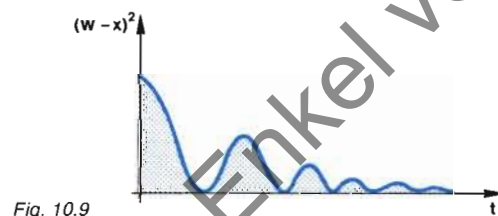


Fig. 10.9

Door het kwadrateren van elk oppervlak, zullen vooral de afwijkingen in het begin de doorslag geven voor het bepalen van de minimum voorwaarde. Zie fig. 10.9

Vandaar:

$$|A_1|^2 + |A_2|^2 + |A_3|^2 + |A_4|^2 + \dots \Rightarrow \text{minimum}$$

Dit criterium wordt gebruikt als men in het begin van het uitregelen een kleine amplitude wenst.

Voor de wiskundigen:

$$\int_0^{\infty} (w - x)^2 dt \Rightarrow \text{minimum}$$

4.4 ITAE-criterium

Wiskundig: $\int_0^{\infty} (w - x) \cdot t \cdot dt \Rightarrow \text{minimum}$

ITAE is de afkorting van Integral of Time multiplied by Absolute value of Error.

Eenvoudig uitgedrukt: elk oppervlak wordt nog eens met de daarbijhorende tijd vermenigvuldigd. Dit criterium houdt meer rekening met de afwijkingen op het einde van de uitregeling. De damping is daardoor iets sterker.

4.5 De 1/4 methode

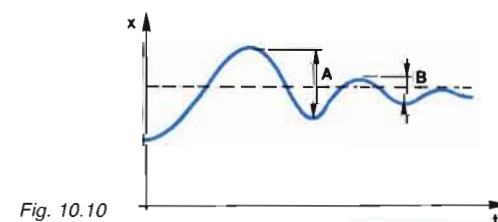


Fig. 10.10

Met deze methode zoekt men de instelwaarden van de regelaar opdat de uitregelgrafiek een damping van 4 op 1 zou bevatten. Zo is in fig. 10.10 de waarde $B = A/4$.

Dit betekent dat de volgende amplitude B gelijk of kleiner dan 1/4 moet zijn van de vorige amplitude A .

Voor veel toepassingen is het uitregelen volgens dit criterium nog te oscillerend.

5. Instelparameters van regelaar en proces

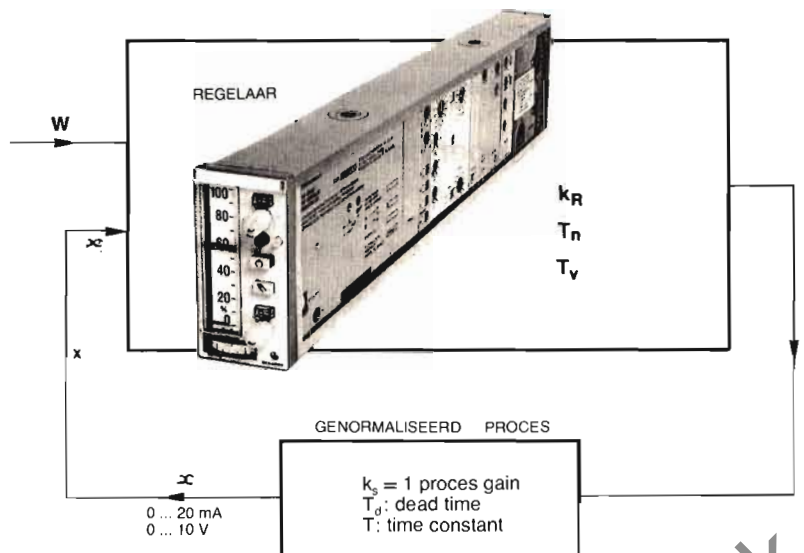


Fig. 10.11

We herhalen nog eens welke afregelparameters bij de regelaar moeten gekend zijn en welke bij het proces. De afregelparameters van de regelaar moeten immers aangepast worden aan die van het proces. Zie het blokschema van fig. 10.11.

a. Deze regelaars of controllers worden zo gemaakt dat ze in gestandaardiseerde processen universeel te gebruiken zijn.

Bij $k_r = 1x$, wordt een uitgangsspanning van 10 volt geleverd of een stroom van 20mA als $w - x$ gelijk is aan 10 volt of 20 mA.

Met slechts drie knoppen worden k_R ($X_p\%$), T_n (r) en T_v van de regelaar ingesteld. Dit gebeurt over een groot bereik zodat de regelaar universeel te gebruiken is.

Zo kunnen bijvoorbeeld de volgende aanduidingen voorkomen:

$$\begin{array}{ll}
 X_p(\%) = 1 \dots 500\% & \text{of } k_R = 100 \dots 0,2 \\
 \text{(proportional band)} & \text{(gain)} \\
 T_n = 2 \dots 150 \text{ sec en } 0,5 \dots 30 \text{ min} & \text{of } r = 30 \dots 0,03 \text{ repeats per minute} \\
 \text{(reset time)} & \text{(reset rate)} \\
 T_v = 0,5 \dots 30 \text{ sec en } 0,1 \dots 5 \text{ min,} & \text{(rate time, derivative time)}
 \end{array}$$

b. Het gedrag van een proces wordt bepaald door:

- de versterkingsfactor k_s (proces gain)
- de dode tijd T_d (dead time)
- de tijdconstante T (time constant)

De toename van y bij een stapresponsie is eveneens afhankelijk van het feit of we te maken hebben met een eerste-ordeproces of tweede-ordeproces.

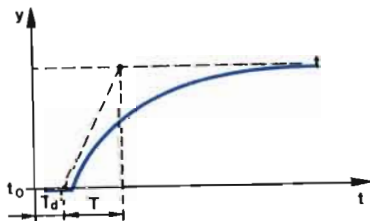


Fig. 10.12 Stapresponsie van een eerste-ordeproces

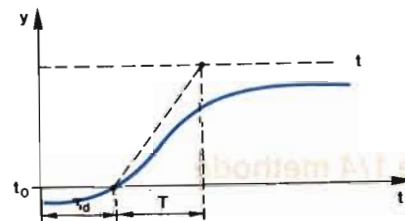


Fig. 10.13 Stapresponsie van een tweede-ordeproces

Fig 10.12 stelt het typisch verloop voor van het stapantwoord van een eerste-ordeproces terwijl in fig. 10.13 het S-vormig verloop van de stapresponsie van een tweede-ordeproces weergeeft. Let ook de invloed van de dode tijd T_d in beide figuren.

6. Ontleding van opgenomen stapantwoorden

De invloed van de instelparameters k_R , T_n en T_v op de gesloten kring moeten goed gekend zijn. Als deze parameters groter of kleiner gemaakt worden, moeten we op voorhand kunnen voorspellen welke invloed dit zal hebben op het dynamisch gedrag van de regelkring. Enkel dan kunnen we de instelregels voor het optimaliseren van de regelkring goed begrijpen. Daarom gaan we een reeks praktisch opgenomen stapantwoorden kritisch analyseren. We leren daarbij eveneens de orde van grootte van de parameters onthouden. De manier waarop men de grafieken getekend heeft, vraagt wel om enige toelichting. De gewenste waarde wordt veranderd volgens een sprong met amplitude Δw . Nu is Δx de afwijking van x t.o.v. de vertrekwaarde, vlak voor de sprong. Op de verticale as is de relatieve verandering $\Delta x / \Delta w$ uitgezet. Als $\Delta x / \Delta w = 0$, dan betekent dit $\Delta x = 0$; of de proceswaarde is nog niet in beweging gekomen en x is gelijk aan de vorige rustwaarde.

Wordt $\Delta x / \Delta w = 1$; dit betekent $\Delta x = \Delta w$; of de verandering van x is gelijk geworden aan de amplitude van de sprong. Men mag zeggen dat x gelijk is geworden aan de nieuwe gewenste waarde.

Het type proces wordt niet vernoemd, maar is een zelfregelend proces van hogere orde waarvan $k_s = 1$.

6.1 Invloed van de P-regelaar

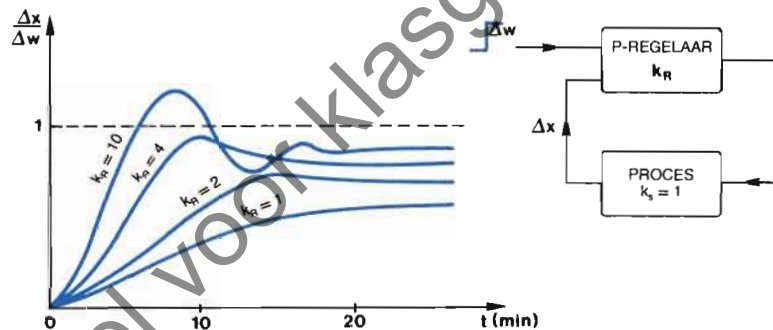


Fig. 10.14 Oscilleerneiging stijgt als k_R toeneemt

Uit de stapresponsie van fig. 10.14 volgt:

- hoe groter k_R (hoe kleiner X_p %) des te sterker is de oscilleerneiging, maar de blijvende afwijking wordt kleiner.
- hoe kleiner k_R (hoe groter X_p %) des te groter is de demping maar ook de blijvende afwijking is veel groter.

6.2 Invloed van de PI-regelaar

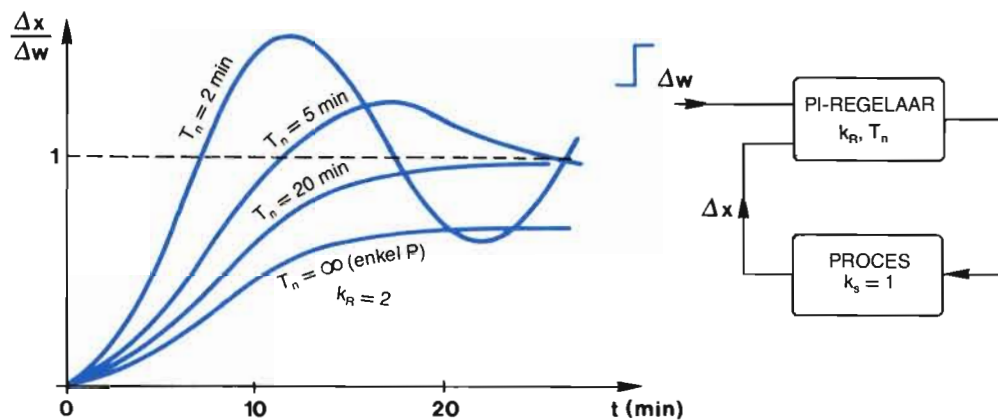


Fig. 10.15 I-actie verhoogt de oscilleerneiging

De versterking van de P-regelaar k_R , wordt constant gehouden op een waarde $k_R = 2$. We gaan na welke invloed het veranderen van T_n heeft.

Uit de stapresponsie van fig. 10.15 volgt:

- Hoe kleiner T_n , des te krachtiger is de I-actie, en des te groter wordt de oscilleerneiging.
- Zonder I-actie, dus met $T_n = \infty$, is er een blijvende afwijking. Met I-actie, loopt de curve naar de waarde 1 of $\Delta x = \Delta w$, dus geen blijvende afwijking.
- De periode van de oscillatie, veroorzaakt door de I-regelaar, is groter dan deze veroorzaakt door de P-regelaar. Vergelijk bovenstaande fig. 10.15 met fig. 10.14.

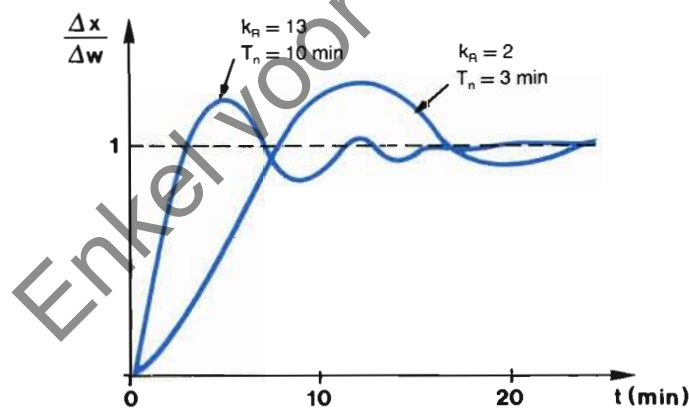


Fig. 10.16 Vergelijking krachtige P- met krachtige I-actie

In fig. 10.16 worden twee krachtige instellingen van de P- en I-actie met elkaar vergeleken.

Een sterke P-actie ($k_R = 13$) gecombineerd met een zwakke I-actie ($T_n = 10$ min) verwekt een oscillerend uitregelen met een kleine periode.

Een zwakke P-actie ($k_R = 2$) en een sterke I-actie ($T_n = 3$ min) veroorzaakt een oscillerende uitregeling met een lange periode.

Door de traagheid van de I-regelaar is zijn oscillatie gekenmerkt door een periode die langer is dan deze van de P-regelaar.

We zien in fig. 10.16 dat het er op aan komt een zodanige combinatie te zoeken van k_R en T_n , dat de nieuwe instelling voldoende snel wordt ingenomen met zo weinig mogelijk oscillaties.

6.3 Invloed van de PD-regelaar

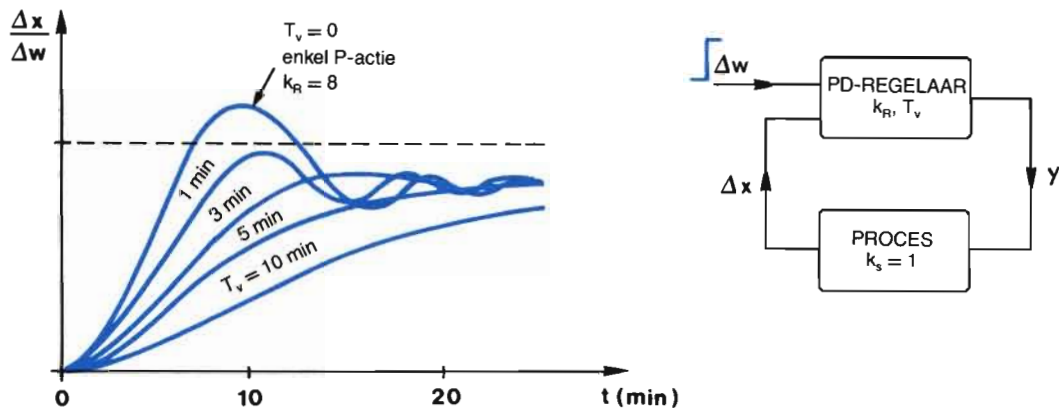


Fig. 10.17 Invloed van T_v op de demping

De versterking van de P-regelaar in fig. 10.17 wordt constant gehouden en op een relatief hoge waarde ingesteld ($k_R = 8$).

We besluiten:

- Naarmate de D-actie verzwakt (bij kleiner worden van T_v) wordt de uitregeling meer oscillerend.
- Het toevoegen van een D-actie aan een P-regelaar waarvan de versterking relatief hoog staat, veroorzaakt dus een dempend effect op de uitregeling. Dit is duidelijk weergegeven in de stapresponsie van fig. 10.17.

6.4 Invloed van de PID-regelaar

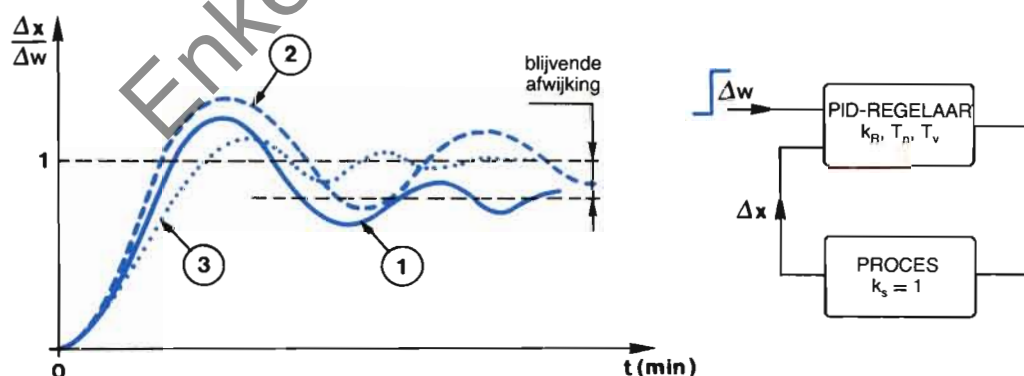


Fig. 10.18 Rol van I- en D-actie

- In curve 1 van fig. 10.18 is de I- en D-actie uitgeschakeld ($T_n = \infty$, $T_v = 0$) terwijl k_R relatief sterk genomen werd, zodat een oscillerende uitregeling werd bereikt, met blijvende afwijking.
- In curve 2 werd de I-actie toegevoegd met $T_n = 5$ min. Resultaat was een uitregeling zonder blijvende afwijking, maar met een sterkere oscillatie waarvan de periode groter geworden was
- Toevoegen van de D-actie (met $T_v = 1$ min) dempt de oscillerende tendens van curve 2, zodat curve 3 ontstaat.

7. Instelwaarden en stapantwoorden op een storing

In alle voorgaande ontleding werd het dynamisch antwoord bekomen door de gewenste waarde w met een stapje te veranderen. Dit is meestal de gemakkelijkste manier om te werken. De realiteit is echter anders. Het uitregelen geschiedt daar meestal op een storing zoals fig. 10.19 weergeeft. Omdat de aangrijpingspunten van storingen in een proces meestal op een andere plaats liggen dan deze van de set-point, is de dynamische responsie doorgaans ook niet helemaal hetzelfde. Vandaar dat in documentatie en boeken responsiecurven getoond worden in functie van een storing als stapinput.

In de figuren 10.20 en 10.21 komt het erop aan de grafieken te kunnen interpreteren. Ook moet men een relatie kunnen leggen tussen de instelwaarden in de tabel en de bekomen grafiek. Op die manier is men in staat illustraties in boeken en tijdschriften begrijpend te lezen.

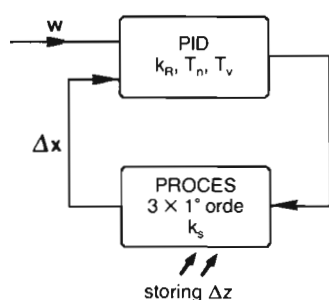
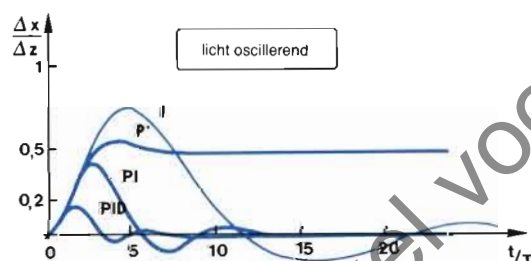


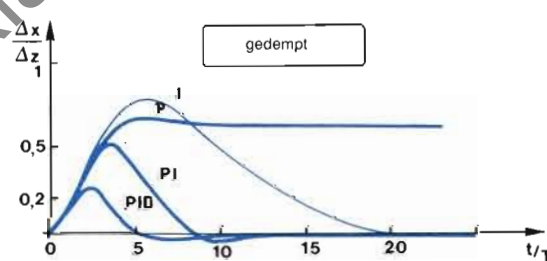
Fig. 10.19 Storing als stapinput

In deze testen werd een storing Δz in het proces ingevoerd. De hierdoor ontstane verandering Δx werd relatief t.o.v. Δz uitgezet in functie van t/T . Hierin stelt T de tijdconstante voor van elk blok in het proces. Er werden twee instellingen gerealiseerd, een licht oscillerende (A) en een gedempte (B) in onderstaande figuren.



	P	PI	PID
$k_s \cdot k_R$	1,0	1,7	3,2
T_n/T	—	2,1	1,9
T_v/T	—	—	0,48

Fig. 10.20 Responsiecurven bij een storing als stapinput; licht oscillerend



	P	PI	PID
$k_s \cdot k_R$	0,5	0,75	3,1
T_n/T	—	1,9	2,2
T_v/T	—	—	0,55

Fig. 10.21 Responsiecurven bij een storing als stapinput bij een gedempte instelling

Vergelijken we fig. 10.20 en 10.21 dan zien we bij de gedempte instellingen een kleinere waarde voor k_R en T_n en een grotere waarde voor T_v .

- Vergelijken we de P-instelling met de PI-instelling dan zien we een grotere waarde voor k_R in de PI-regelaar. In de grafiek zien we de blijvende afwijking verdwijnen, maar de uitregeling is meer oscillerend.
- Bij de PID-instelling zien we een grotere versterking, maar dat kan omdat de toevoeging van de D-actie de oscilleertendens (door een te grote k_R) zal dempen, hetgeen in de grafiek duidelijk merkbaar is.
- Ter illustratie wordt de responsie ook getekend met enkel de I-actie. Merk op dat de periode groot is en het uitregeling traag verloopt.

9. Opdrachten

1. Een gesloten regelkring kan gaan oscilleren als aan twee voorwaarden voldaan is, welke?
 - a.
 - b.
2. Aan welke parameter van het proces is de oscillatieperiode sterk gebonden?

.....
3. Met welke periode oscilleert een regelkring met P-regelaar:
 en met welke periode oscilleert een regelkring met I-regelaar:
4. Oscilleren kan optreden als de P-regelaar te is ingesteld, en (of) als de I-regelaar te is ingesteld. Een te krachtig ingestelde D-regelaar veroorzaakt normaal een maar kan ook overslaan naar oscilleren.
5. Vul het juiste woord in.
 - a. De oscilleerperiode bij een te sterke I-actie is (groot/klein)
 - b. De oscilleerperiode bij een te sterke P-actie is (groter/kleiner) dan deze van de I-actie.
 - c. De oscilleerperiode bij een te sterke D-actie is (groter/kleiner) dan deze van de P-actie.
6. Welke parameters worden gebruikt om de regelkwaliteit aan te duiden als het uitregelen gebeurt volgens een gedempte trilling. Teken deze trilling en duid de parameters aan. Hoe moeten deze parameters zijn, (groot, klein) voor een goede regelkwaliteit.
7. Definieer de volgende criteria voor de kwaliteit van het uitregelen:
 - a. criterium van het absolute regeloppervlak;
 - b. ITAE-criterium;
 - c. 1/4 methode.
8. Vermeld alle vormen waarin de parameters van de regelaar kunnen voorkomen. Geef hun lettervoorstelling, de Engelse benamingen, de eenheden, en de orde van grootte van het schaalbereik. Geef de parameters van het proces, geef de lettervoorstelling, de eenheden en de Engelse benamingen.
9. De hieronder getekende stapantwoorden van fig. 10.22 van een gesloten kring, (antwoord op verstellen van de gewenste waarde) werden geregistreerd met een P-, een I-, een PI- en een PID-regelaar. Vermeld bij de curve de gebruikte regelaar.

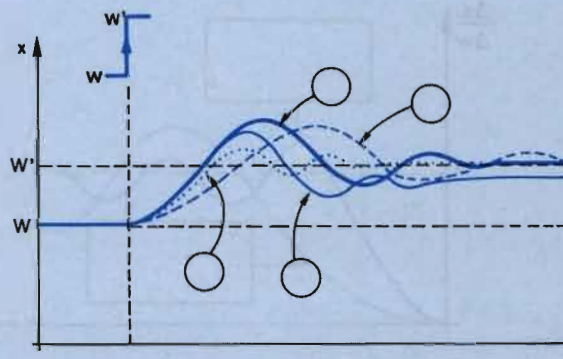


Fig. 10.22

10. Onderstaande procesantwoorden zijn opgenomen bij een en hetzelfde proces. Ze zijn dus onderling vergelijkbaar. Vul de juiste voorstellen in op de juiste plaats.

a. Vul in: k_R groot, k_R klein

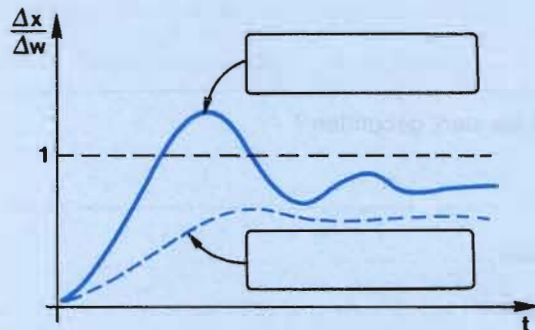


Fig. 10.23 Enkel P-regelaar

b. Vul in: T_n groot, T_n klein

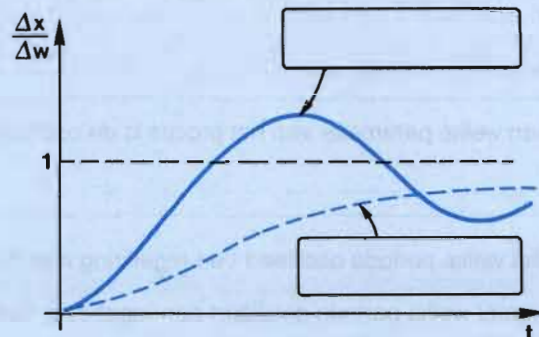


Fig. 10.24 PI-regelaar, $k_R = \text{constant}$

c. Vul in: $\begin{cases} k_R \text{ groot} \\ T_n \text{ groot} \end{cases}$ en $\begin{cases} k_R \text{ klein} \\ T_n \text{ klein} \end{cases}$

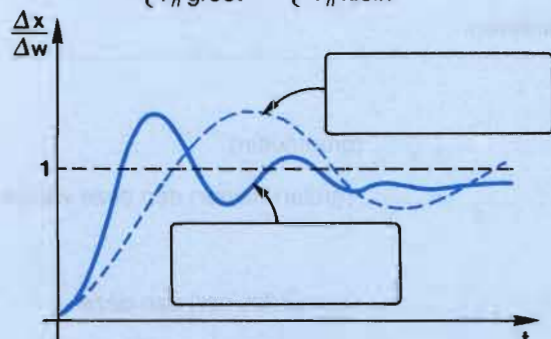


Fig. 10.25 PI-regelaar

d. Vul in: T_v klein, T_v groot



Fig. 10.26 PD-regelaar, $k_R = \text{constant}$

e. Vul in: P, PI, PID

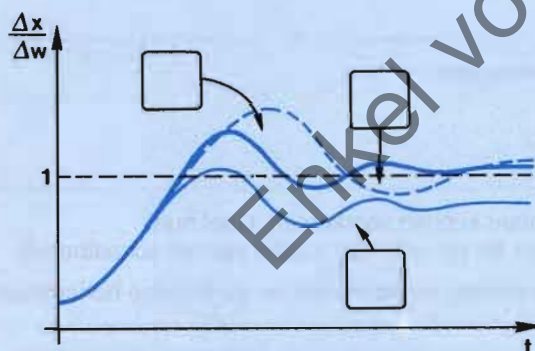


Fig. 10.27 P, PI en PID-regelaar

f. Vul in: P, I, PI, PID (opgepast: storingsantwoord)

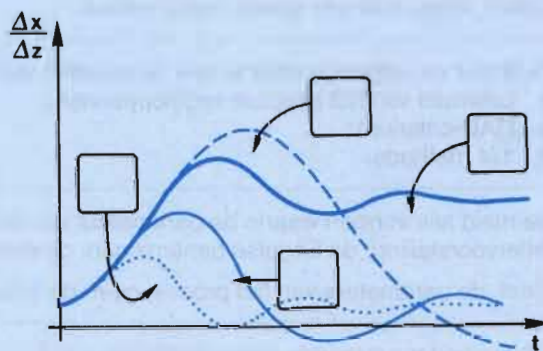


Fig. 10.28 P, I, PI, PID-regelaar

g. Vul in: P-actie te sterk
I-actie te sterk

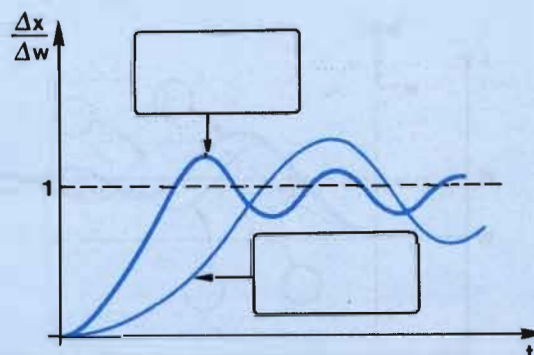


Fig. 10.29 PID-regelaar