

# Praktische regeltechniek voor de procesindustrie



# Praktische regeltechniek voor de procesindustrie

M.M.H. Starmans

Schrijver: M.M.H. Starmans  
Coverontwerp: M.M.H. Starmans  
ISBN: 9789402162196  
© M.M.H. Starmans

## Voorwoord

Dit is het vijfde deel, regeltechniek, in de reeks die in de komende jaren zal verschijnen. Deze keer heb ik het boek in samenwerking met G.J. Siemons geschreven. T.Kuphaldt ben ik weer zeer erkentelijk voor het beschikbaar stellen van alle afbeeldingen. Ook nu zal ik niet beweren dat ik volledig ben geweest, maar ik heb in ieder geval geprobeerd zo volledig mogelijk te zijn. Regeltechniek behandelt de regelkring zoals die in de procestechneik voorkomt. Hierbij heb ik geprobeerd de geavanceerde wiskunde zo veel mogelijk te beperken. Laplacetransformaties komen in dit boek niet voor en waar ik niet om differentiëren en integreren heen kon, heb ik dit zo eenvoudig mogelijk grafisch proberen op te lossen. Het belangrijkste gedachte is altijd geweest om een praktijk gericht boek te schrijven. De nadruk ligt dus met name op (blok)schema's, processen, regelaars en het tunen van regelkringen. Transmitters zijn in de eerste vier delen al aan de orde geweest en corrigerende organen, zoals regelkleppen komen uitgebreid in een apart boek ter sprake. Bij vrijwel elk hoofdstuk is er een paragraaf met vragen, zodat dit boek ook als lesmateriaal kan worden gebruikt. Verder is dit boek bestemd voor iedereen die te maken heeft met regeltechniek of wie er meer over wil komen te weten.

Mei 2017

M.M.H. Starmans



## Inhoud

Voorwoord	5
Inleiding	11
1. Introductie	12
2. Schema's	15
2.1 Proces Flow Diagram	15
2.2 Proces & Instrumentation Diagram	16
2.3 Blokschema's	17
3. Blokschema's nader bekeken	19
3.1 Normalisatie	19
3.1.1 Blokken	19
3.1.2 Signaallijnen	20
3.1.3 Aftakpunten	21
3.1.4 Aftrekpunten en optelpunten	21
3.2 Schakelingen	23
3.2.1 Serieschakeling	23
3.2.2 Parallelschakeling	24
3.2.3 Terugkoppeling	25
3.3 Opgaven	31
4. Transmitters	34
4.1 Elektronische transmitters	34
4.2 Pneumatische transmitters	34
4.3 Elektrische transmitters	34
4.4 Omvormers	34
4.5 Overdrachtsverhouding	35
4.6 Opgaven	37
5. Proceseigenschappen	38
5.1 Soorten processen	38
5.1.1 Zelfregelende processen	38
5.1.2 integrerende processen	41
5.1.3 Runaways	42
5.2 Procesversterking	44

5.3	Traagheid; eerste orde proces	46
5.3.1	De warmtewetten van Newton	47
5.3.2	Eerste orde processen	48
5.3.3	Eigenschappen van eerste orde processen	50
5.4	Dode tijd	51
5.5	Hogere orde processen	52
5.5.1	Raaklijnmethode van Ziegler en Nichols	54
5.5.2	twee punten methode van King	55
6.	Regelkleppen	56
6.1	Linearisatie	56
6.2	Hysterese	56
6.3	Werkingsrichting van klep en regelaar	57
6.4	Opgaven	58
7.	De Regelaar	59
7.1	De P-regelaar	59
7.1.1	De werkingsrichting	60
7.1.2	De regelaarkarakteristiek	61
7.1.3	Regelgedrag	66
7.2	De PI-regelaar	70
7.2.1	Werkingsrichting	71
7.2.2	Regelgedrag	72
7.2.3	Integratietijd	74
7.3	De PD-regelaar	75
7.3.1	Werkingsrichting	76
7.3.2	Regelgedrag	77
7.3.3	Differentiatietijd	78
7.4	De PID-regelaar	79
7.4.1	De PID-regelaar on error	79
7.4.2	De D-actie on PV	80
7.4.3	De PID-regelaar on PV	81
7.4.4	Tamme D-actie	81
7.4.5	Anti Reset Windup	82
7.5	Velocity Algorithms	82



7.6	Opgaven	84
8.	Het geregelde proces	87
8.1	Het P-geregeld proces	87
8.2	Het PI-geregeld proces	92
8.3	Het PID-geregeld proces	93
8.4	Keuze van de regelaar	93
8.5	Opgaven	94
9.	Tuning	97
9.1	Het bepalen van het type regelaar	97
9.2	Instelregels	98
9.2.1	Instelregels van Ziegler en Nichols	98
9.2.2	Bumptest	98
9.3	Ervaringsgetallen	99
9.4	Tuning voor setpoint veranderingen of loadchanges	99
9.5	Auto-tuning	100
9.5.1	Zelf-instellende regelaar	100
9.5.2	Adapterende PID-regelaar	100
9.6	Praktische handvaten	100
10.	Regelstrategieën	102
10.1	SISO	102
10.1.1	De feedback regeling	102
10.1.2	De feedforward regeling	103
10.1.3	Splitrange regeling	104
10.2	MISO	104
10.2.1	De storingscompensatie regeling	105
10.2.2	Cascade regeling	105
10.2.3	Verhoudingsregeling	106
10.3	MIMO	107
10.4	Opgaven	108
11.	Fuzzy Logic	109
11.1	Achtergrond	109
11.2	Fuzzy logic toepassen	110
11.2.1	Fuzzificatie	110

11.2.2	Fuzzy functieblokken	111
11.2.3	Defuzzificatie	111
11.3	Het ontwikkelen van een fuzzy logic algoritme	112
11.4	Fuzzy control in een feedback regeling	112
11.4.1	Fuzzy P-regelaar	113
11.4.2	Fuzzy PD-regelaar	113
	Literatuurlijst	114
	Index	115

## Inleiding

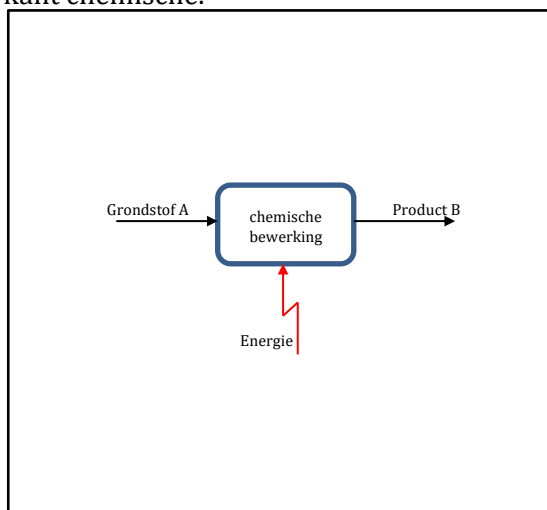
Processen in de industrie zijn vaak complex. Om van een grondstof een eindproduct te maken, worden een aantal eenheidsbewerkingen doorlopen. Hierbij zijn vaak ook nog bepaalde hulpstoffen noodzakelijk. In een ideale situatie verloopt een proces precies zoals van te voren is bedacht. Helaas leven we niet in een ideale situatie en is de praktijk een stuk weerbarstiger. Een proces verloopt dan anders als verwacht en daar kunnen talloze oorzaken ten grondslag aan liggen. In het minst ernstige geval is een proces dat niet verloopt zoals verwacht alleen maar vervelend. In ernstige gevallen voldoet het eindproduct niet aan de eisen of er ontstaan gevaarlijke situaties. Om ervoor te zorgen dat dit niet gebeurt moeten processen worden geregeld. Dit doen we niet manueel maar automatisch. De automatische regelkringen zijn complex van aard, omdat er een interactie bestaat tussen proces en regelaar. Voor verschillende processen bestaan er verschillende regelaars met bijbehorende instelregels.

## 1. Introductie

Voordat we de vraag kunnen beantwoorden wat regeltechniek precies is, moeten we eerst de vraag beantwoorden wat we verstaan onder de term procesindustrie. In de procesindustrie worden van grondstoffen door middel van een proces, waarbij energie wordt benut, eindproducten gemaakt die aan de eisen van de klant voldoen.

Hier rijst natuurlijk de vraag wat een proces is. Een proces is een aaneenschakeling van diverse onderdelen. Onder deze onderdelen verstaan we onder andere pompen, warmtewisselaars, verschillende soorten kolommen, zoals rectificatietorens en absorptiekolommen, reactoren, opslagtanks en nog veel meer. Al deze onderdelen zijn op een logische en systematische manier met elkaar verbonden door leidingwerk.

Elk onderdeel noemen we een eenheidsbewerking of *unit operation*. In een eenheidsbewerking wordt meestal één eigenschap van een stof verandert. We kunnen de eenheidsbewerkingen grofweg in twee groepen delen. Aan de ene kant hebben we fysische bewerkingen en aan de andere kant chemische.

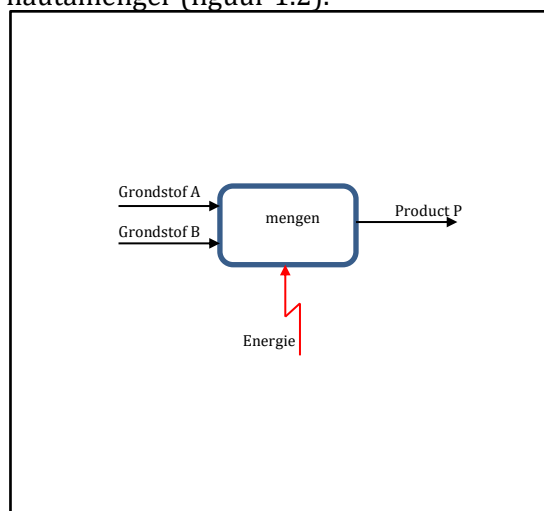


Figuur 1.1: schematische weergave van een chemische eenheidsbewerking

In een chemisch bewerking wordt van één of meer grondstoffen, één of meer producten

gemaakt waarbij de fysische eigenschappen van product en grondstof verschillen (zie figuur 1.1). Voorbeelden van dergelijke processen zijn de polymerisatie van etheen, de productie van ijzer uit erts of het kraken van ruwe olie in kleinere bestanddelen.

Als we kijken naar fysische bewerkingen, kunnen we dit opsplitsen in drie groepen. Ten eerste komen we mengprocessen tegen waarbij twee stromen tot één eindstroom worden gevoegd. Denk bijvoorbeeld aan een nautamenger (figuur 1.2).



Figuur 1.2: schematische weergave van een mengproces

Ten tweede komen we scheidingsprocessen tegen, waarbij één stroom in twee of meer eindstromen wordt gesplitst, zoals bij een rectificatiekolom of filterpers (figuur 1.3).

En tot slot zijn er de bewerkingen waarbij niets wordt gemengd of gescheiden, zoals bij het verpompen van een vloeistof of warmtewisselaar (figuur 1.4).