

Regeltechniek



Bertil Thomas

2^e editie

Regeltechniek

Bertil Thomas

Tweede editie

Noordhoff Uitgevers Groningen /Utrecht

Ontwerp omslag: G2K (Groningen-Amsterdam)

Omslagillustratie: G2K (Groningen-Amsterdam)

Vertaling: Svin, Scandinavisch Vertaal- en Informatiebureau Nederland, Groningen

Eventuele op- en aanmerkingen over deze of andere uitgaven kunt u richten aan: Noordhoff Uitgevers bv, Afdeling Hoger Onderwijs, Antwoordnummer 13, 9700 VB Groningen of via het contactformulier op www.mijnnoordhoff.nl.

De informatie in deze uitgave is uitsluitend bedoeld als algemene informatie. Aan deze informatie kunt u geen rechten of aansprakelijkheid van de auteur(s), redactie of uitgever ontleen.

Met betrekking tot sommige teksten en/of illustratiemateriaal is het de uitgever, ondanks zorgvuldige inspanningen daartoe, niet gelukt eventuele rechthebbende(n) te achterhalen. Mocht u van mening zijn (auteurs)rechten te kunnen doen gelden op teksten en/of illustratiemateriaal in deze uitgave dan verzoeken wij u contact op te nemen met de uitgever.



0 / 24

© 2024 Noordhoff Uitgevers bv, Groningen/Utrecht, Nederland.

Deze uitgave is beschermd op grond van het auteursrecht. Wanneer u (her)gebruik wilt maken van de informatie in deze uitgave, dient u vooraf schriftelijke toestemming te verkrijgen van Noordhoff Uitgevers. Meer informatie over collectieve regelingen voor het onderwijs is te vinden op www.onderwijsauteursrecht.nl.

This publication is protected by copyright. Prior written permission of Noordhoff Uitgevers is required to (re)use the information in this publication.

ISBN(ebook) 978-90-01-03845-8

ISBN 978-90-01-03844-1

NUR 173

Woord vooraf

Noordhoff wil graag een volwaardige partner zijn in leermiddelen voor de technische hbo-opleidingen in Nederland. Een boek op het gebied van regeltechniek ontbrak en we hebben gekozen om bij onze zusteruitgeverij Liber in Zweden een zeer succesvol en toegankelijk boek over dit onderwerp te vertalen. Zweden is een 'maakland' met een rijke traditie en we zijn heel blij dat we van deze mogelijkheid gebruik konden maken.

Regeltechniek gebruikt heel veel voorbeelden en leidt het onderwerp uitgebreid in zodat het voor de student duidelijk is waarom dit zo'n belangrijk vakgebied is. Bij ingewikkelde vakken als regeltechniek is het altijd belangrijk om het abstracte duidelijk te kunnen maken. Wij denken dat telkens een terugkoppeling naar de praktijk en duidelijk tekenwerk hierin heel behulpzaam zijn voor de student. Daar is in dit boek extra aandacht aan besteed en we hebben de tekeningen uit het oorspronkelijke boek in een meer toegankelijke stijl overgetekend.

We hebben een keuze gemaakt in de onderwerpen, aangezien het oorspronkelijke boek veel meer thema's bevat. We hebben geprobeerd hieruit een optimale keuze te maken voor de Nederlandse onderwijssituatie.

In deze tweede editie is de opzet en structuur op verzoek van gebruikers ongewijzigd gebleven. Wel zijn in de verschillende hoofdstukken verbeteringen aangebracht en zijn de fouten aangepast. Met dank aan diverse docenten van verschillende hogescholen zijn al hun suggesties voor verbetering verwerkt in deze nieuwe editie.



De antwoorden op de opgaven in dit boek zijn te vinden op de website www.studiemeister.noordhoff.nl

We wensen u veel plezier met het geven van lessen uit dit boek of met het ontvangen van lessen die gebaseerd zijn op dit werk.

De uitgever
Groningen, voorjaar 2024

Inhoud

- 1 Wat is regeltechniek? 9**
 - 1.1 Wat is regeltechniek? 10
 - 1.2 Onderdelen en definities 14
 - 1.3 Blokschema 17
 - Opgaven 20

- 2 Een aantal toepassingsgebieden voor regeltechniek 23**
 - 2.1 Procesindustrie 24
 - 2.2 Werktuigbouw 26
 - 2.3 Schepen en vliegtuigen 27
 - 2.4 Auto's en bussen 29
 - 2.5 Consumentenproducten 31
 - 2.6 Het menselijk lichaam 32
 - 2.7 Toekomstige toepassingen 34
 - 2.8 Voor- en nadelen van terugkoppeling 37
 - Opgaven 40

- 3 Eigenschappen van processen en regelsystemen 43**
 - 3.1 Statische en dynamische eigenschappen 44
 - 3.2 Procestypen en stapresponsie 46
 - 3.3 Eigenschappen van terugkoppelingssystemen 53
 - 3.4 Het begrip typecijfer 60
 - Opgaven 62

- 4 Klassieke regelprincipes 67**
 - 4.1 Inleiding 68
 - 4.2 Aan-uitregeling 69
 - 4.3 Meerstandenregeling 72
 - 4.4 Proportionele regeling 73
 - 4.5 Integreernde regeling 78
 - 4.6 PI-regeling 83
 - 4.7 Differentiërende werking en PID-regeling 84
 - 4.8 PD-regeling 87
 - 4.9 Samenvatting 88
 - Opgaven 90

5 Differentiaalvergelijkingen 97

- 5.1 Classificatie van differentiaalvergelijkingen 98
- 5.2 Scheiden van variabelen 98
- 5.3 Lineaire differentiaalvergelijkingen van de eerste orde 100
- 5.4 Homogene lineaire differentiaalvergelijkingen met constante coëfficiënten 101
Opgaven 104

6 Laplacetransformatie 107

- 6.1 Inleiding, definitie, notatie en tabel met standaard-getransformeerden 108
- 6.2 Eigenschappen van de Laplacetransformatie 111
- 6.3 De inverse Laplacetransformatie 129
- 6.4 De overdrachtsfunctie 138
- 6.5 MATLAB en WolframAlpha 146
Opgaven 150

7 Modelling en identificatie 155

- 7.1 Inleiding 156
- 7.2 Mechanische systemen 157
- 7.3 Elektrische systemen 160
- 7.4 Temperatuurregeling 163
- 7.5 Concentratie- en niveauregeling 167
- 7.6 Stapresponsie-identificatie 170
- 7.7 Linearisering van onlineaire processen 175
Opgaven 179

8 Blokschemareductie 191

- 8.1 Regels voor blokschemareductie 192
- 8.2 De vergelijkingsmethode 197
Opgaven 200

9 Frequentieanalyse 205

- 9.1 Sinusvormige signalen in lineaire systemen 206
- 9.2 Bodediagram - inleiding 210
- 9.3 De asymptoten van het Bodediagram 214
- 9.4 Nyquistdiagram 225
- 9.5 Minimumfasesystemen 229
Opgaven 231

10 Berekening van de eigenschappen van regelsystemen 235

- 10.1 Stabiliteit 236
- 10.2 Statische nauwkeurigheid 246
- 10.3 Snelheid 252
- 10.4 Storingsonderdrukking 253
- 10.5 Activiteit stuursignaal 259
- 10.6 Robuustheid en gevoeligheid 260
- 10.7 Iets over theoretische beperkingen 264
- 10.8 De frequentie-eigenschappen van het gesloten systeem 265
- 10.9 Samenvatting 266
- Opgaven 269

11 Ontwerpen van analoge regelsystemen 277

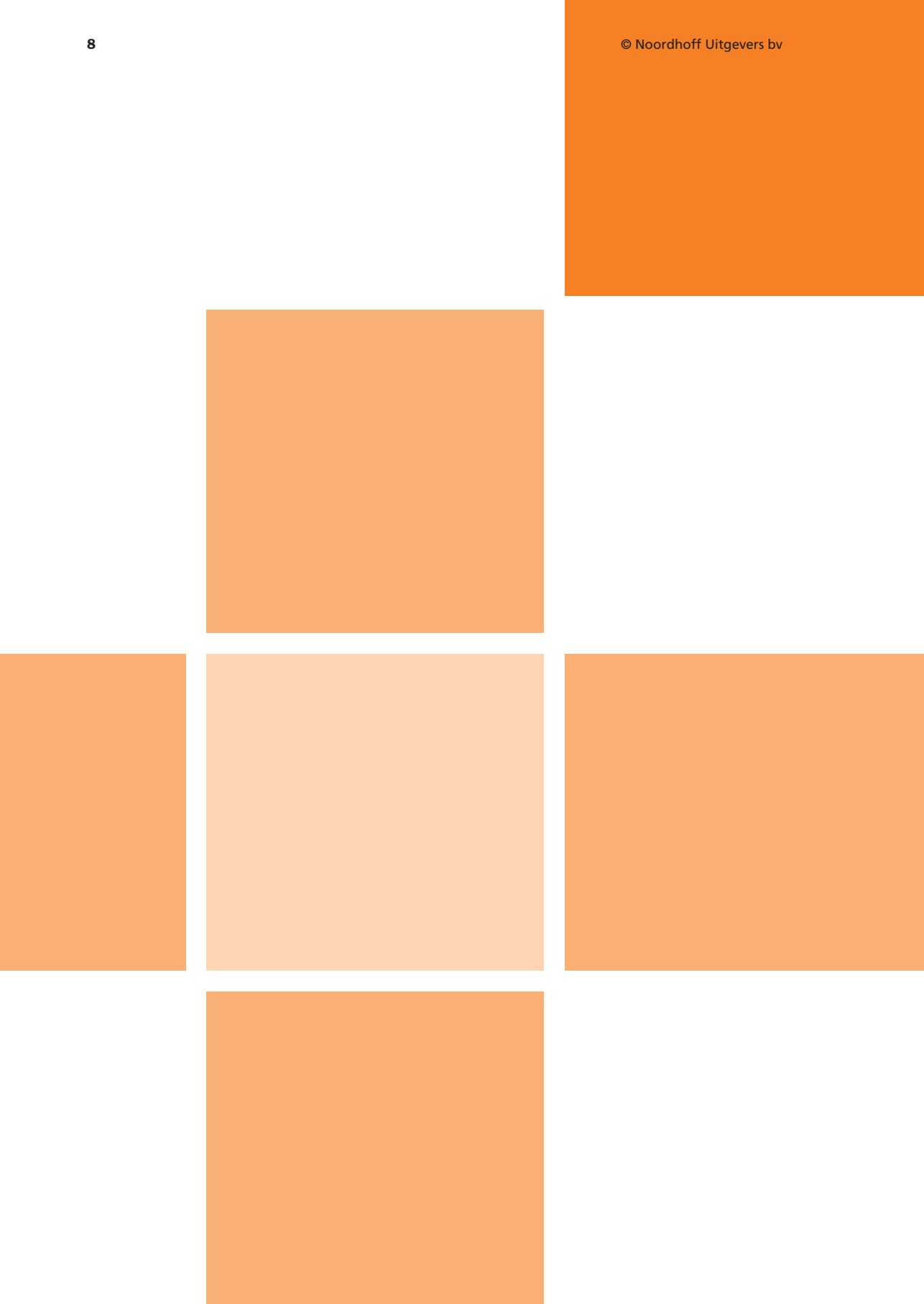
- 11.1 Inleiding 278
- 11.2 Vuistregelmethoden 280
- 11.3 Ontwerpen met behulp van Bodediagrammen 286
- 11.4 Compensatiefilter 301
- Opgaven 307

12 Meer over het ontwerpen van analoge regelaars 311

- 12.1 Inleiding 312
- 12.2 Verschillende PID-structuren 312
- 12.3 Processen waarvoor de PID-regelaar minder geschikt is 317
- 12.4 Modelgebaseerd ontwerpen 320
- 12.5 Regelprincipes met meer dan één sensor 327
- Opgaven 333

Illustratieverantwoording 336

Register 337



1

Wat is regeltechniek?

- 1.1 Wat is regeltechniek?**
- 1.2 Onderdelen en definities**
- 1.3 Blokschema**

In dit hoofdstuk geven we een korte inleiding op de regeltechniek. We behandelen een paar voorbeelden van technische systemen waarbinnen regeltechniek wordt gebruikt. Ook laten we zien hoe de verschillende controlesystemen kunnen worden beschreven met schematische blokschema's.

1.1 Wat is regeltechniek?

Regeltechniek (of meet- en regeltechniek) wordt gedefinieerd als de automatisering van een systeem waarbij een gemeten waarde wordt vergeleken met de ingestelde waarde en hierop volgens een vast patroon wordt gehandeld. Een systeem is automatisch als het functioneert zonder menselijke controle. Regeltechniek is een multidisciplinair onderwerp in de technologie. De multidisciplinaire aanpak betekent dat verschillende branches gebruikmaken van regeltechniek, zoals robotica, chemische technologie, energietechniek, elektronica, elektrische technologie en automatisering. Het betekent ook dat besturingstechniek een onderwerp is in de meeste engineeringprogramma's, bijvoorbeeld in de elektrotechniek, de mechatronica, de chemie, de werktuigbouwkunde en de technische natuurkunde. De theorieën over regeltechniek kunnen ook worden gebruikt voor het analyseren van systemen op veel andere gebieden, zoals de biologie, de economie en de ecologie.

Voorbeelden van regelsystemen

De meeste toepassingen binnen de regeltechniek hebben te maken met het construeren van systemen waarbinnen verschillende variabele fysische grootheden automatisch gehandhaafd moeten worden. Voorbeelden van fysische grootheden die automatisch moet worden gecontroleerd, zijn snelheid, positie, temperatuur, druk, stroomsnelheid, niveau en concentratie. Om een beter inzicht te krijgen in de manieren waarop controlesystemen kunnen worden ontworpen, volgen drie typische voorbeelden:

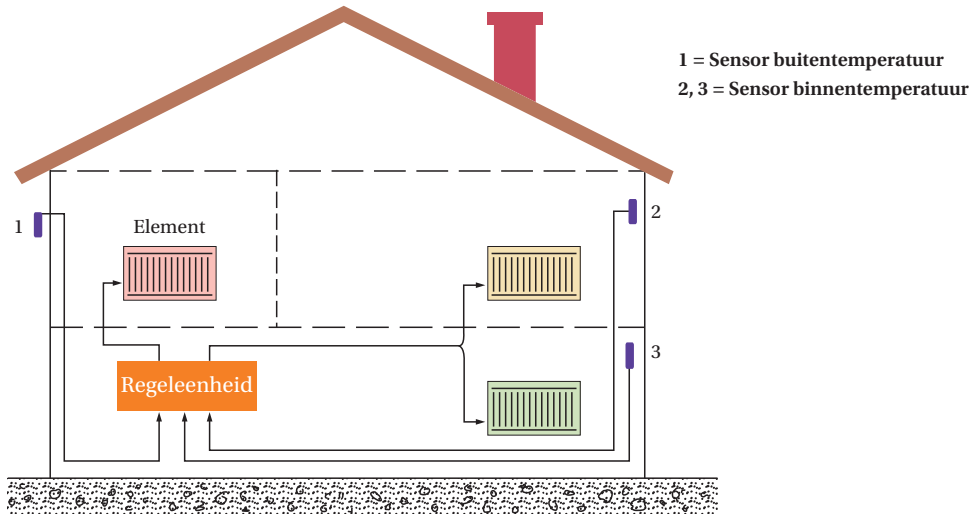
VOORBEELD 1.1

Temperatuur in een gebouw

De meeste moderne huizen zijn uitgerust met een systeem voor temperatuurregeling. Het doel van deze systemen is om de binnentemperatuur zo constant mogelijk te houden, ondanks de variabele buitentemperatuur. Het systeem voor het regelen van de temperatuur kan op vele manieren worden ingericht. Alle regelsystemen hebben gemeenschappelijk dat ze een regeleenheid bevatten die het verwarmingsvermogen van het verwarmingselement in het huis kan verhogen en verlagen. Zie figuur 1.1.

Om de regeleenheid te laten weten of het verwarmingsvermogen moet worden verhoogd of verlaagd, moet voortdurend informatie over de huidige status worden verzonden. Het systeem bevat daarom ook één of meer temperatuursensoren, die zich binnenshuis en buitenshuis bevinden. Deze sensoren versturen continu gegevens aan de regeleenheid. Als het regelsysteem werkt, ontstaan binnen geen grote schommelingen in de temperatuur, zelfs niet als de temperatuur buiten aanzienlijk varieert. Controlesystemen voor klimaatregeling in bijvoorbeeld grote ziekenhuizen kunnen heel ingewikkeld zijn en vereisen soms wel honderden sensoren.

FIGUUR 1.1 Temperatuurregeling in huis



VOORBEELD 1.2

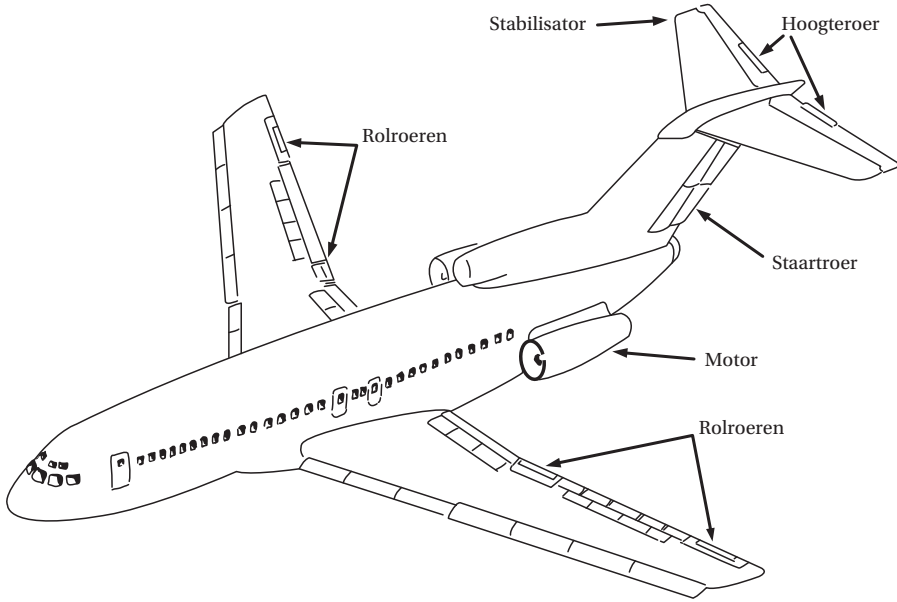
Automatische piloot van een vliegtuig

Modernere vliegtuigen bevatten vrijwel altijd een automatisch systeem voor regulering van de vlieghoogte, de vluchtrichting, de vlieghellingshoek en de vliegsnelheid. Een gemeenschappelijke naam voor deze systemen is 'automatische piloot'. Net als in het geval van de temperatuurregeling is hiervoor een constante informatiestroom vanaf een regeleenheid nodig. Deze stuurt de hoeken op de vliegtuigroeren (rolroer, hoogteroer, richtingsroer) en het toerental van de vliegtuigmotoren aan.

Automatische piloten doen dus ongeveer hetzelfde werk als een menselijke piloot zou hebben gedaan. De regeleenheid in een automatische piloot beschikt over alle informatie van de verschillende sensoren van het vliegtuig, zoals vlieghoogte, kompasrichting, helling en acceleratie. De gebruikelijke automatische piloot in een vliegtuig wordt gebruikt voor de besturing tijdens de vlucht en om het vliegtuig op de gewenste vlieghoogte te houden. Daarnaast zijn er vaak bijzondere regelsystemen voor starten en landen.

Bij een volledig automatische landing krijgt het vliegtuig informatie over zijn actuele positie van radiozenders die langs de aanvliegroute liggen. Het vliegtuig moet een lijn volgen van 2,5 tot 3 graden met het horizontale vlak. Als het vliegtuig uit koers vliegt, worden het hoogteroer, het rolroer en het staartroer automatisch ingeschakeld om de vliegrichting aan te passen. Zie figuur 1.2.

FIGUUR 1.2 Enkele onderdelen van het vliegtuig

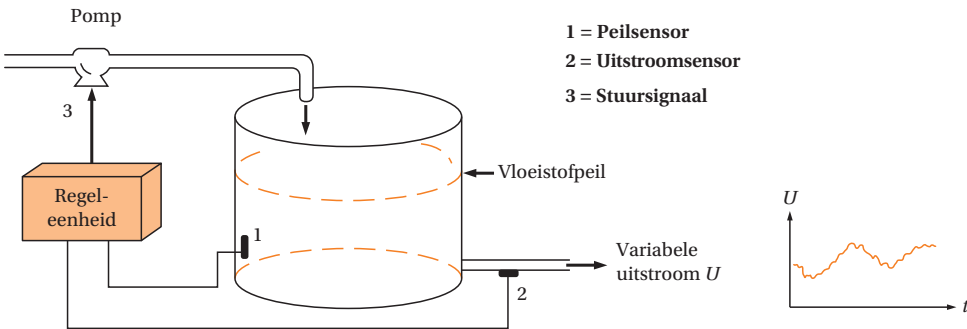


VOORBEELD 1.3

Vloeistofpeilregulatie in containers

Een iets eenvoudiger regelsysteem is het systeem voor de controle van het vloeistofpeil in een opvangbak. Het doel is het constant houden van het vloeistofpeil in een container, ondanks variatie in vloeistofverbruik. In onder meer watertorens, containers in de chemische industrie en cv-ketels heeft dit systeem de taak om vast te stellen hoe groot de instroom naar het reservoir moet worden. Het systeem kan een pomp of een klep naar het reservoir bedienen en zo het vloeistofpeil reguleren. Om het systeem te laten functioneren zijn één of meer sensoren nodig die het vloeistofpeil monitoren. Zie figuur 1.3.

FIGUUR 1.3 Systeem voor vloeistofpeilregulatie



Het terugkoppelingssysteem

Kenmerkend voor de meeste besturingssystemen is dat één of meer fysieke grootheden in een systeem worden vergeleken met een ingestelde waarde, zoals blijkt uit de voorgaande voorbeelden. Wat gecontroleerd moet worden, verschilt van geval tot geval. In voorbeeld 1.1 is de temperatuur van een woning de gecontroleerde variabele. In voorbeeld 1.2 zijn de vlieghoogte en de kompasrichting van het vliegtuig de gecontroleerde variabelen.

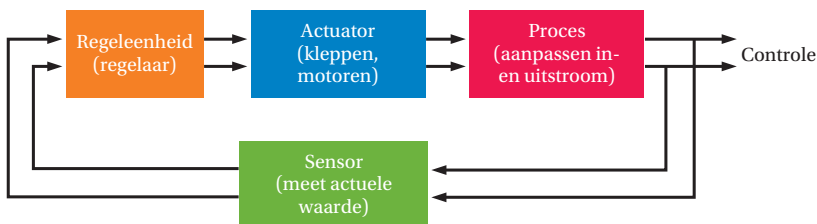
In het algemeen kan een regelsysteem worden omschreven als een informatiebehandelend systeem. Dit wordt geïllustreerd in figuur 1.4. Door het gebruik van sensoren wordt een gemeten variabele teruggekoppeld aan een ingestelde waarde, om het proces in de gewenste richting te sturen.

FIGUUR 1.4 Schematische weergave van een regelsysteem



Een terugkoppelingssysteem is een systeem waarbij een sensor nauwkeurig de variabelen meet die gereguleerd moeten worden en deze informatie terugkoppelt naar de regeleenheid. De peilregulatie in de container in voorbeeld 1.3 is een terugkoppelingssysteem, waarbij het vloeistofpeil (de gecontroleerde variabele) wordt gereguleerd door de snelheid van de in- en uitstroom van de vloeistof aan te passen. Een schematische weergave van de werking van een terugkoppelingssysteem zie je in figuur 1.5.

FIGUUR 1.5 Schematische weergave van een terugkoppelingssysteem



De regeleenheid is het brein van het regelsysteem. Deze bevat vaak een ingebouwde microcomputer. De microprocessor meet soms wel vijf keer per seconde, waarbij geprogrammeerde algoritmen de juiste waarden berekenen van het actuele signaal. Bij de digitalisering van een regeleenheid gebruiken we vaak microcomputers. De signalen worden via een Analoog-Digitaal-Converter (ADC) of een Digitaal-Analoog-Converter (DAC) doorgestuurd naar de regeleenheid die het proces kan beïnvloeden. AD- en DA-convertoren zijn nodig omdat computers intern werken met binaire signalen (nullen en enen), terwijl de sensor en het bedieningsmechanisme werken met analoge signalen (bijvoorbeeld elektrische spanning of stroomsignalen). De regeleenheid kan worden uitgerust met elektronische componenten (versterkers, weerstanden en condensatoren) of pneumatische

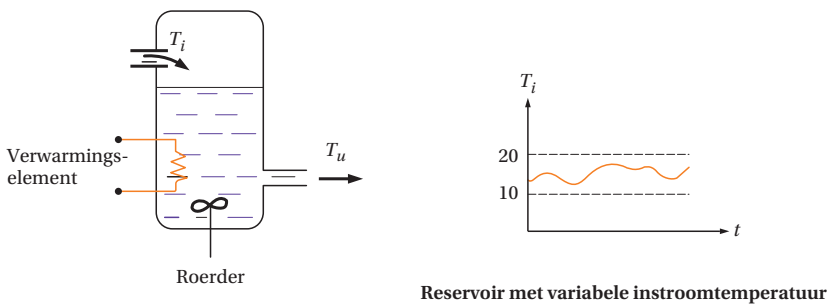
componenten. Oudere regelsystemen, die in de industrie nog altijd gebruikt worden, werken vaak met elektrische componenten.

1.2 Onderdelen en definities

Om meer inzicht te krijgen in klassieke regelsystemen bestuderen we een eenvoudig systeem voor temperatuurregulatie. Het proces dat we moeten reguleren, bestaat uit een waterreservoir met een gelijke in- en uitstroom. De temperatuur van het binnenstromende water varieert tussen 10 en 20 °C. Het water in het reservoir wordt verwarmd door een verwarmingselement. Een roerder zorgt dat het binnenstromende water direct mengt met het in het reservoir aanwezige water. Figuur 1.6 toont het proces zonder regelsysteem.

In het regelsysteem moet de watertemperatuur zo constant mogelijk zijn. De gewenste temperatuur is 40 °C. Omdat de temperatuur van het instromende water varieert, moeten we via een thermische spoel de watertemperatuur automatisch kunnen verlagen of verhogen.

FIGUUR 1.6 Reservoir met variabele instroomtemperatuur



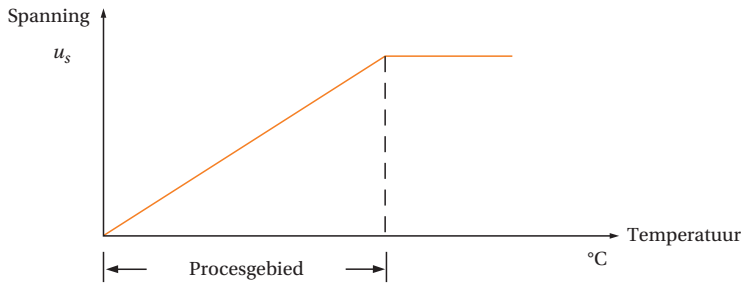
Om het regelsysteem te bouwen hebben wij de volgende onderdelen nodig:

- een temperatuursensor
- een instelwaardesensor
- een comparator
- een regelaar.

Temperatuursensor

De taak van de temperatuursensor is het verzamelen en doorgeven van informatie over de omgevingstemperatuur waarop het regelsysteem handelt. In een elektrisch regelsysteem is de sensor van het elektrische type, wat betekent dat hij fysische grootheden transformeert naar een elektrisch signaal. In ons geval kunnen we aannemen dat de temperatuursensor een spanning levert binnen een bepaald gebied dat evenredig is met de temperatuur. Hoe hoger de watertemperatuur, des te hoger de spanning die de sensor doorgeeft; zie afbeelding 1.7.

FIGUUR 1.7



Instelwaardesensor

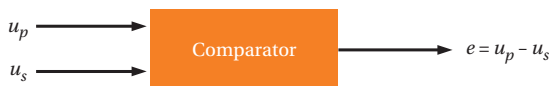
Een instelwaardesensor is een apparaat waarmee we de waarde van de variabele kunnen reguleren (het zogenoemde *setpoint*), in dit geval de gewenste temperatuur. De instelwaarde kan worden ingesteld met een draaiknop of met knoppen. In dit geval is de instelwaarde 40°C. De instelwaarde van een sensor kunnen we verkrijgen op veel verschillende manieren. In het eenvoudigste geval volstaat een potentiometer. Het instellen van de sensor creëert een elektrisch signaal (elektrische spanning) die evenredig is met de gewenste temperatuur. De temperatuur en de elektrische spanning van de sensor moeten natuurlijk hetzelfde nulpunt en dezelfde schaal hebben om ze te kunnen vergelijken.

De comparator

Met een comparator wordt een component bedoeld die het verschil kan bepalen tussen twee grootheden van eenzelfde type, bijvoorbeeld twee inkomende elektrische spanningen. In ons geval is een apparaat nodig om het verschil te vinden tussen de spanning van de potentiometer u_p en de spanning u_g van de sensor. Een dergelijk apparaat kun je bouwen met behulp van een versterker en een weerstand.

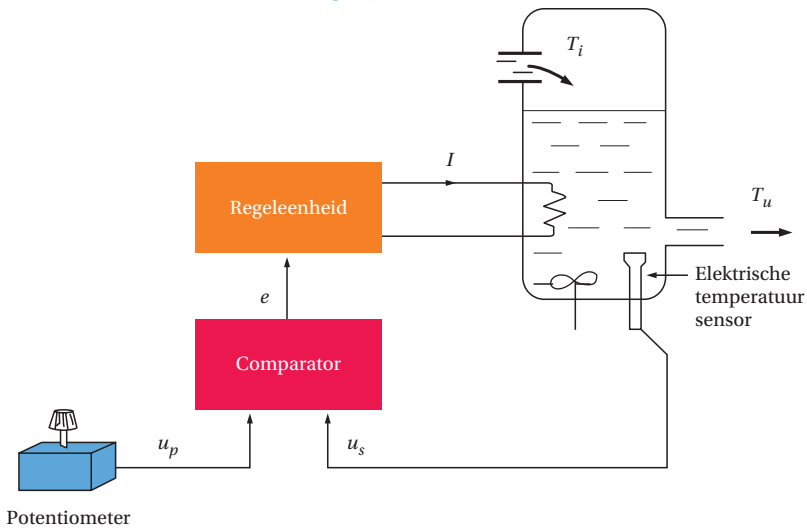
Aan de uitgang van de comparator krijg je een spanning waarvan de grootte afhangt van het verschil tussen de gewenste temperatuur en de werkelijke temperatuur. Het verschil is de systeemfout; dit wordt aangegeven met de letter e . Dit wordt geïllustreerd in figuur 1.8.

FIGUUR 1.8



De regelaar

Een essentieel onderdeel van een regelsysteem is de regeleenheid of regelaar. Indien nodig zal de regeleenheid de elektrische voeding naar de verwarmingsspiraal automatisch verhogen of verlagen, zodat de temperatuur (T) ongeveer 40 °C blijft. Er zijn allerlei verschillende regeleenheden, die elk op hun eigen manier werken. In latere hoofdstukken kijken we naar de exacte werking van deze regeleenheden. Figuur 1.9 toont hoe de verschillende componenten zijn verbonden met een regeleenheid.

FIGUUR 1.9 Waterreservoir met regelsysteem¹

Belangrijke begrippen

Het volgende overzicht vermeldt een aantal belangrijke begrippen die vaak worden gebruikt in de regeltechnologie.

Regelsysteem	Het proces of systeem dat wordt gereguleerd.
Gecontroleerde grootheid	De grootheid (variabele) die wordt geregeld in een systeem.
Instelwaarde	De gewenste waarde van de gecontroleerde grootheid.
Actuele waarde	De werkelijke waarde van de gecontroleerde grootheid.
Storing	Een hoeveelheid ongewenst signaal die een invloed heeft op de gecontroleerde grootheid van een regelsysteem.
Stuursignaal	De grootheid die wordt gebruikt om het proces te beïnvloeden.
Open systeem	Een systeem waarin het uitgangssignaal is veranderd, waardoor het proces is verstoord. De verandering in het signaal kan het proces niet beïnvloeden.
Gesloten systeem	Een systeem waarbij het uitgangssignaal wordt vergeleken met een berekende waarde, dat zo nodig het uitgangssignaal kan aanpassen. Dit heet terugkoppeling.

1 In veel gevallen zijn de regelaar, de comparator en de sensor gecombineerd in één apparaat.

Actuator	Het onderdeel in een regelsysteem dat invloed uitoefent op de omgeving. In het voorbeeld van deze paragraaf is de actuator het verwarmingselement. In andere gevallen is de actuator een regelklep, een servomotor, een ventilator of iets anders.
Regelfout	Het verschil tussen de berekende waarde en de werkelijke waarde.

Twee extra begrippen die we vaak gebruiken, zijn de volgende:

Eenvoudig variabel regelsysteem	Een regelsysteem met één gecontroleerde grootte en één regelsignaal. Voorbeelden: vloeistofpeilregulatie en temperatuurregulatie.
Multivariabel regelsysteem	Een regelsysteem met meerdere variabele grootheden en controlesignalen die gelijktijdig gereguleerd worden. Een voorbeeld van een multivariabel regelsysteem is de automatische piloot, zoals we zagen in voorbeeld 1.2.

In dit boek behandelen wij vooral eenvoudige regelsystemen.

1.3 Blokschema

In paragraaf 1.2 zagen we hoe een controlesysteem voor het regelen van de temperatuur kan worden gebouwd. In het volgende hoofdstuk zullen we zien dat de meeste regelsystemen een vergelijkbare structuur hebben, met standaardcomponenten zoals een sensor, een comparator en een regeleenheid. In deze paragraaf kijken we naar een methode om regelsystemen schematisch in kaart te brengen door middel van een blokschema. Een blokschema laat zien hoe verschillende variabelen in regelsysteem elkaar beïnvloeden zonder precies elk onderdeel van het systeem te kennen. In een blokschema gebruiken we slechts drie verschillende symbolen, namelijk blokken, signaalbanen en optel- of aftrekpunten.

Blokken

Blokken worden gebruikt voor het beschrijven van de componenten in een controlesysteem. Een blok kan bijvoorbeeld overeenkomen met een proces, een opname-element of een regelaar. Het blok is weergegeven als een rechthoek.

Signalen

De signalen geven we weer als getrokken lijnen met pijlen om de signaalrichting aan te geven. De signaalbanen komen overeen met verschillende fysische variabelen in een systeem, zoals temperatuur, elektrische spanning en snelheid. Zie figuur 1.10.

FIGUUR 1.10



Het ingangssignaal of de ingangssignalen naar een blok zijn variabelen die van invloed zijn op het uitgangssignaal of de uitgangssignalen. Er is dus altijd een koppeling tussen de ingangssignalen en de uitgangssignalen van een blok. Voor het waterreservoir in paragraaf 1.2 wordt de temperatuur (T) bepaald door twee variabelen: aan de ene kant de temperatuur van het instromende water (T_i) en aan de ander kant de verwarmingspoel (P). Dit kunnen we schematisch beschrijven met het blokschema dat is weergegeven in figuur 1.11.

FIGUUR 1.11

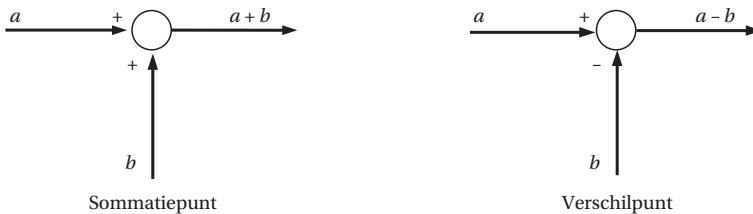


Later zullen we de relatie tussen de in- en uitgangssignalen van de verschillende blokken op een wiskundige manier beschouwen.

Optel- en aftrekpunten

Zowel het optelpunt als het aftrekpunt is vertegenwoordigd door een ring. Deze opstelling telt meestal twee ingangssignalen, maar slechts één uitgangssignaal. Het gesegmenteerde cirkeltje geeft een optel- of aftrekpunt aan. De plus- en minsymbolen geven aan of het gaat om optellen of aftrekken. Zie figuur 1.12.

FIGUUR 1.12

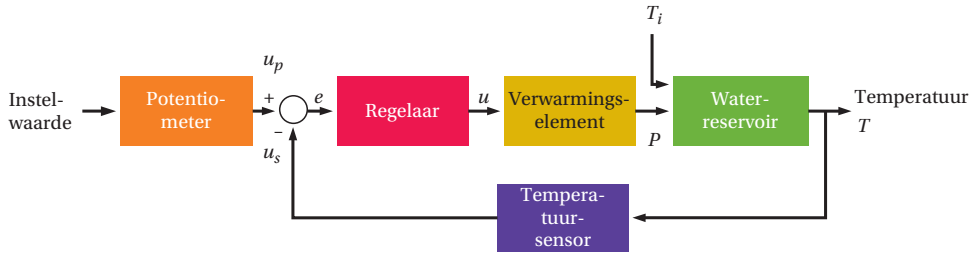


Een comparator wordt weergegeven als een gesegmenteerd cirkeltje. Hierin worden één of meerdere signalen met elkaar vergeleken.

Het complete blokschema

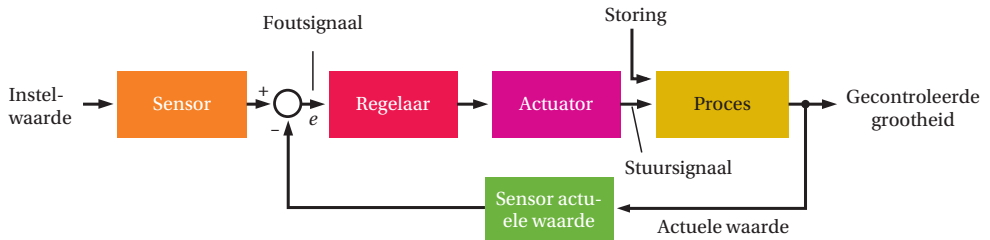
Figuur 1.13 toont het blokschema voor het temperatuurreguleringsysteem uit paragraaf 1.2.

FIGUUR 1.13 Blokschema temperatuurregulering



Een algemeen blokschema van een regelsysteem is te zien in figuur 1.14. De meeste regelsystemen in dit boek kunnen we beschrijven met een dergelijk blokschema. Per situatie verschillen het proces, de sensor en het materiaal. Geavanceerde systemen hebben ingewikkeldere blokschema's. Deze komen aan bod in latere hoofdstukken.

FIGUUR 1.14 Algemeen blokschema



Twee hoofdtaken

Een regelsysteem heeft altijd de volgende twee hoofdtaken, ongeacht de plaats waar we het gebruiken:

- compenseren van storingen
- reageren op wijzigingen in de ingestelde waarde.

Bij een storing moet er snel worden gecompenseerd, zodat de storing geen grote invloed heeft op de gecontroleerde grootte (het uitgangssignaal). De regeleenheid moet snel afwijkingen detecteren tussen de berekende en de gecontroleerde grootte, en indien nodig het regelsignaal aanpassen, zodat het verschil verdwijnt.

Compenseren

Indien de instelwaarde wordt gewijzigd, moet de regeleenheid ervoor zorgen dat het uitgangssignaal zich aanpast aan de nieuwe waarde.

Gewijzigde instelwaarde

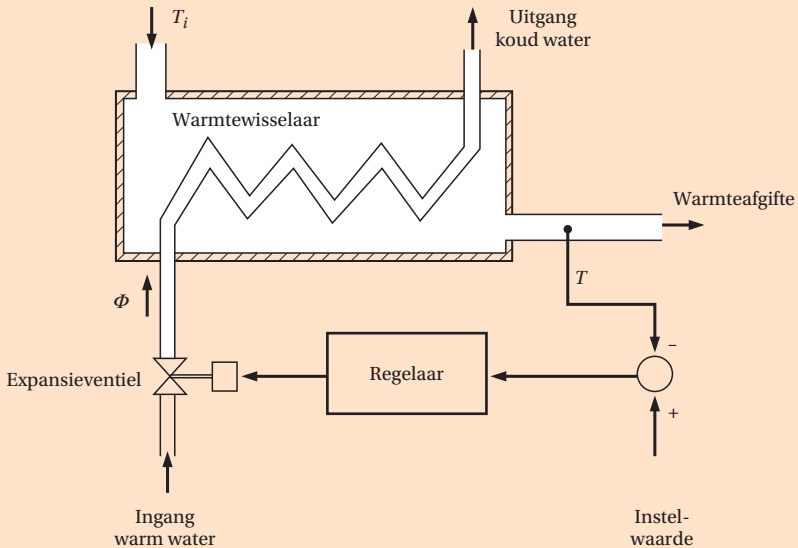
Bij een systeem waarvan de instelwaarde altijd constant is, is compensatie van verstoringen de belangrijkste taak. Er zijn ook gevallen waarin de storing verwaarloosbaar is. Dit betekent dat het handhaven van de instelwaarde de voornaamste taak is. Een dergelijk systeem wordt 'volgsysteem' of 'servosysteem' genoemd. Er zijn ook gevallen waarin terugkoppeling het hoofddoel is. Dit onderwerp komt nader aan de orde in hoofdstuk 2.

Opgaven

1

- 1.1** Figuur 1.15 toont een regelsysteem voor het reguleren van een constante temperatuur met een warmtewisselaar waarbij de watertemperatuur varieert.

FIGUUR 1.15



- a) Leg uit hoe het systeem werkt.
- b) Teken een blokschema van het systeem.
- c) Wat zijn de gecontroleerde variabele, de storing, de actuator en het regelobject in het systeem? Welke sensoren worden gebruikt in het systeem?
- 1.2** Een garage moeten we verwarmen met een elektrisch element. Teken een figuur van de manier waarop het systeem in de volgende twee gevallen kan worden gestructureerd. Teken ook blokschema's voor beide gevallen.

I) Het systeem moet worden gebouwd als een open systeem, er vindt dus geen automatische controle plaats. Het element moet handmatig worden ingesteld met een draipotentiometer.

II) Het systeem moet worden gebouwd als een gesloten systeem met temperatuursensoren, comparators en regelaars. Gebruik de draaipotentiometer om de gewenste temperatuur in te stellen.

1.3 Leg uit wat wordt bedoeld met de volgende definities en concepten:

- terugkoppeling en terugkoppelingssysteem
- enkelvariabel en multivariabel regelsysteem
- instelwaarde en actuele waarde
- storing in het regelsysteem
- comparator, stuursignaal en regeleenheid.