

Procescontrole en -sturing van een Waterzuiveringsstation

(met bijzondere aandacht voor respirometrie)

Peter A. Vanrolleghem

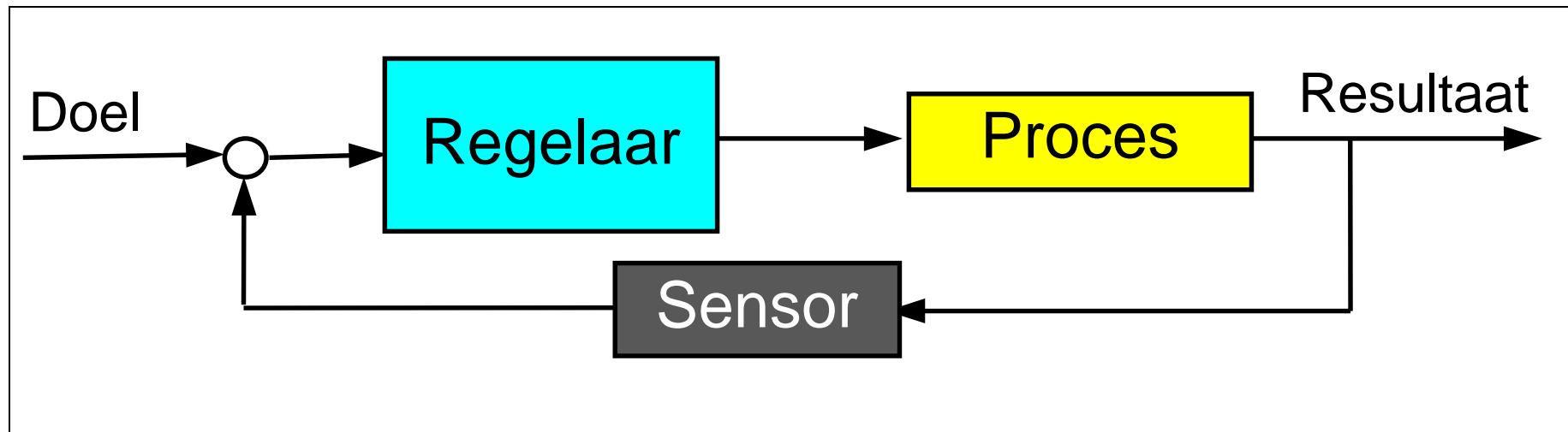
BIOMATH
Universiteit Gent



Doelstellingen van regelaars (I)

Regeling: Garanderen van stabiliteit van resultaten

Sturing: Optimalisering van de procesvoering



Doelstellingen van Regelaars (II)

bij regelen: Storingsonderdrukking

= Disturbance Rejection

bij sturen: Volgen van de wijzigende
optimale werkingsvoorwaarden

= Setpoint tracking



Doelstellingen van Regelaars (III)

1) Efficiënter gebruik van bestaande capaciteit

- Effluent-kwaliteit maximaliseren
- Uitbatingskosten minimaliseren

2) Mogelijk maken om investeringen te drukken

- Nieuwbouw: Kleinere installaties -> zelfde resultaten
- Upgrade: Zelfde installatie -> betere resultaten



Klassieke regelingen in WZI's

- Zuurstofconc.: DO-meter -> Beluchting
- Slibleeftijd: Biomassaconc. -> Slibspui
- Biomassaconc. : Influentdebiet -> Slibretour
- Nitraatconc.: Nitraatconc. -> Interne retour
-> Externe COD
- Fosfaatconc.: Fosfaatconc. -> FeCl₃-dosering
- Slibbezinking: SVI -> Polymeer-dosering
- Toxiciteit: %Inhibitie -> Bufferen
- Slibbelasting: Debiet/COD -> Bufferen
- Zuurtegraad: pH -> Zuur/base additie



Problemen bij de procesregeling van WZI's

Voortspruitend uit het *Biologisch* karakter van het proces

1) Tijdsvariant proces

Gedrag op tijdstip 1 \neq Gedrag op tijdstip 2

\Rightarrow *Robuuste of adaptieve regelaar nodig*

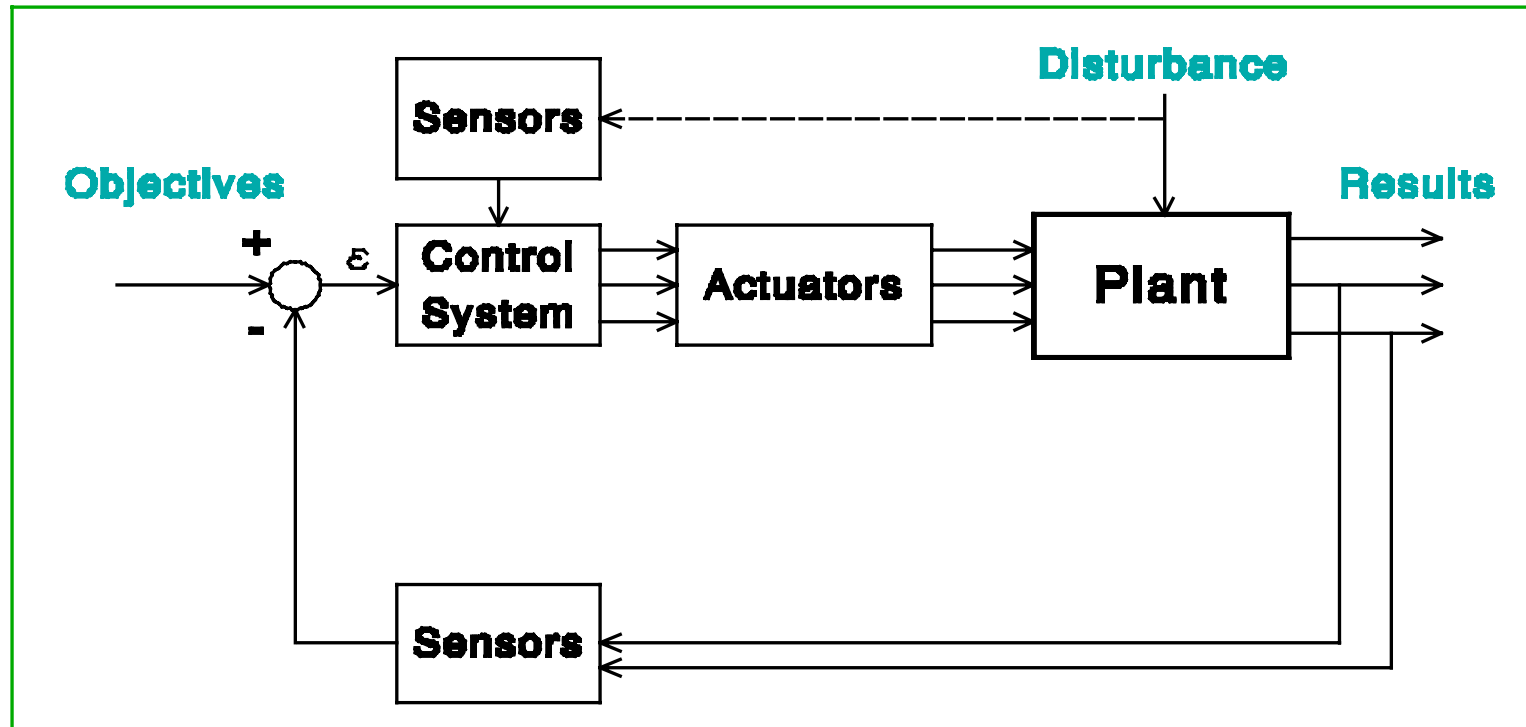
2) Niet-lineair proces

Gedrag onder vw. 1 \neq Gedrag onder vw. 2

\Rightarrow *Onvoldoende theoretische onderbouw
Regelaarontwerp vooral via simulatie*



Onderdelen van een regelkring



Terminologie

- Gemeten variabele
- Niet-gemeten variabele

- Verstoring
- Gemanipuleerde variabele

- Output
- Geregelde of gecontroleerde variabele



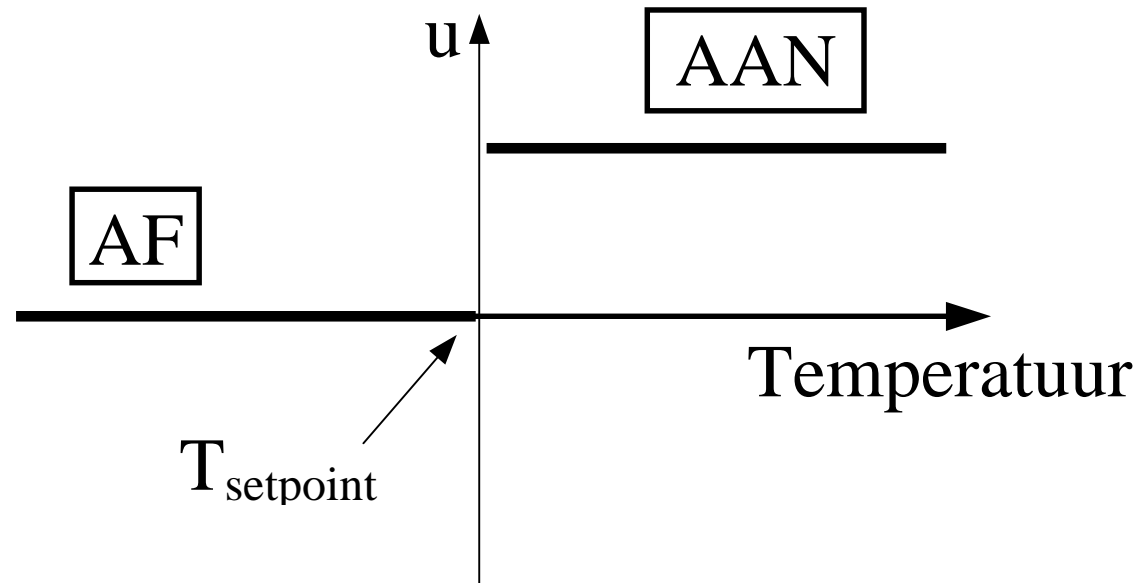
Regelalgoritmen

- On/off regelaar
- PID (Proportional/Integral/Derivative) regelaar
- Voorwaartse regeling
- Ratio control
- Cascade regelaar
- Optimale regelaar
- Adaptieve regelaar
- Niet-lineaire regelaars
- Modelgebaseerde voorspellende regelaar



On/off regelaar

“thermostaat”



“level switches” voor volumeregeling (bv. Influent-put)
alarm acties (bv. Toxisch afvalwater naar calamiteitsbekken)



PID-regelaar, “Werkpaard van de controle-ingenieur”

Basisvergelijking:

$$u = u_0 + K_p \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) dt + \tau_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right]$$

PI-regelaar: $\tau_D = 0$

P-regelaar: $\tau_D = 0$; $\tau_I = \infty$



Afstellen P-regelaar

Het “off-set” probleem:



Afstellen PI(D)-regelaar

Toevoegen van I-actie kan destabiliserend werken !

Algemeen overzicht:



Voorwaartskoppelende regeling

Op basis van kennis van verstoringen (uit meting of model) actie uitvoeren die het effect van die verstoring compenseert

Vandaar ook “compensatieregeling” genoemd

Voordeel: Effect wordt voorkomen
(bij feedback regeling is eerst afwijking nodig !)

Nadeel: Berekening van actie vereist perfect model

*CONCLUSIE: Combinatie Feedforward/Feedback
geeft optimale performantie*



Ratio control

Actie is proportioneel met een gemeten veranderlijke

Klassieker:

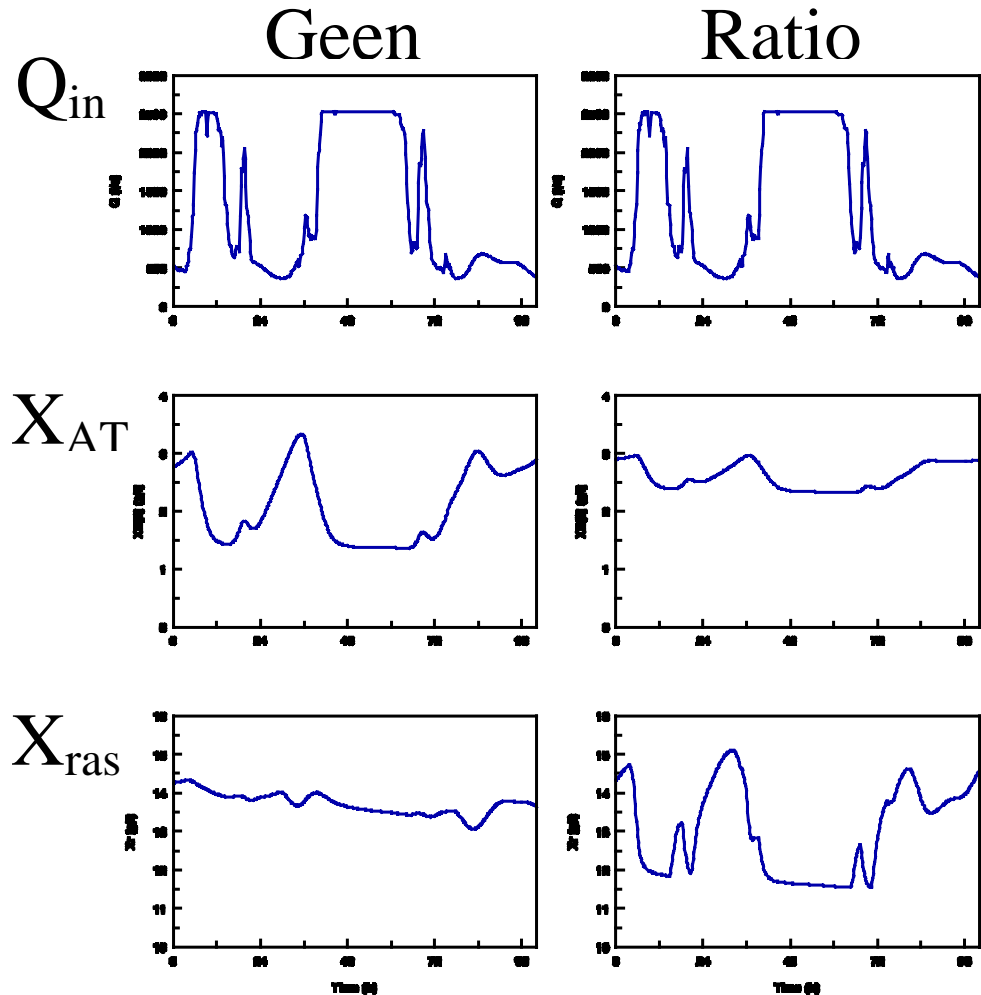
retourslibregeling

$$Q_{\text{ras}} = \alpha Q_{\text{in}}$$

Andere:

Dosering FeCl_3
evenredig met P-gehalte

Polymeerdosering
evenredig met slibconc.



Cascade regelaar

“in serie geschakelde regelaars”

Snelle regelaar is “slaaf” van een trage regelaar



Cascade regelaar: een voorbeeld

Zuurstofregeling met luchtdebietsregeling in cascade



Optimale Regelaar

Ontwerp de regelaar op zulke wijze dat de doelfunctie:

$$J = \int_0^t \varepsilon^2(t) + u^2(t) dt$$

geminimaliseerd wordt. Afweging performantie/kost

Voor lineaire systemen



Analytische oplossing

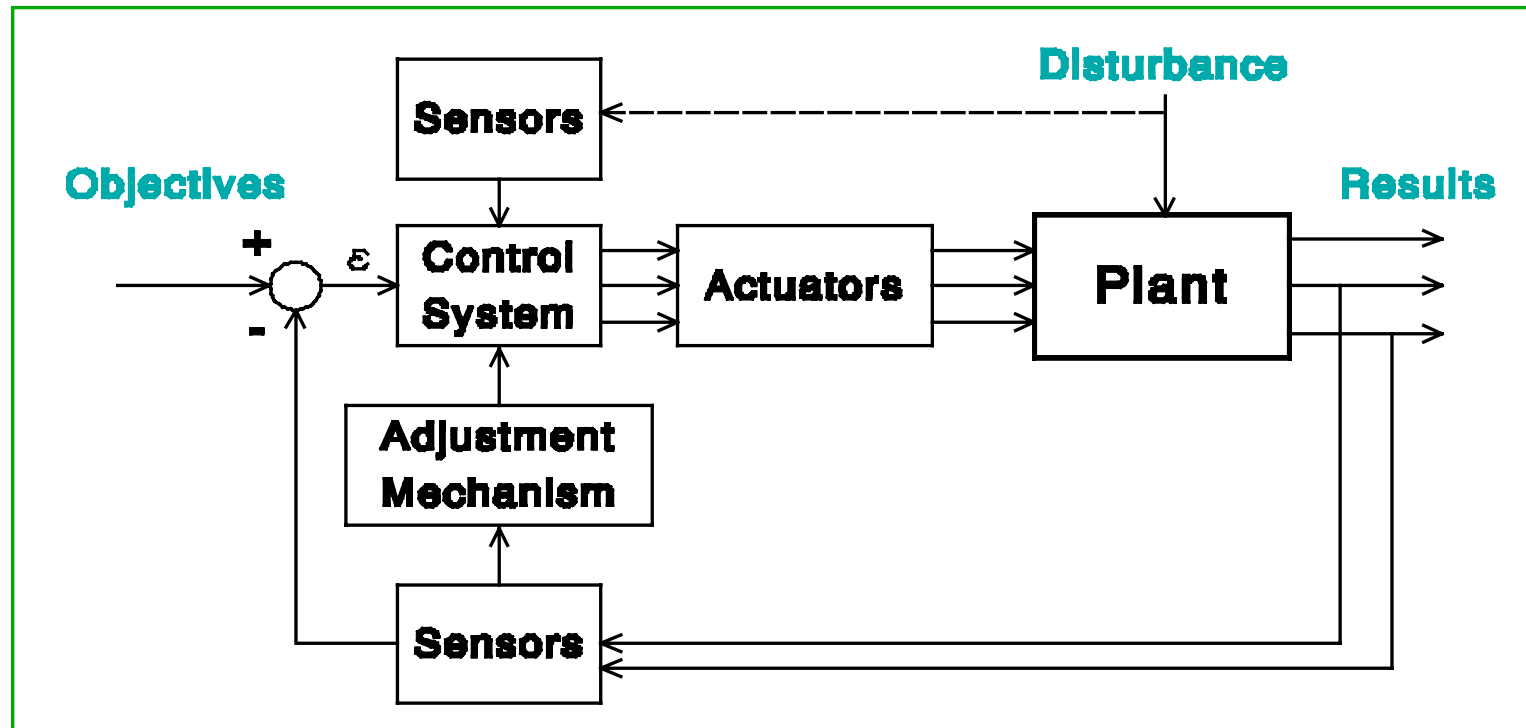
Voor niet-lineaire systemen



Alleen via simulatie



Adaptieve Regelaar



*Metingen hebben dubbele taak -> Afwijking t.o.v. doel
-> Regelaar aanpassen*



Niet-lineaire regelaars

Heel eenvoudig (bv. On/off) tot heel complex

Lineair proces + niet-lin. regelaar = niet-lin. geregeld proces

Niet-lin. proces + lineaire regelaar = niet-lin. geregeld proces

Niet-lin. proces + niet-lin. regelaar =? lineair geregeld proces

Analyse van de eigenschappen van het geregeld proces is moeilijk zonet onmogelijk \Rightarrow Simulatie is de enige mogelijkheid



Niet-lineaire regelaars: Voorbeelden

P-regelaar met verzadiging



Niet-lineaire regelaars: Voorbeelden

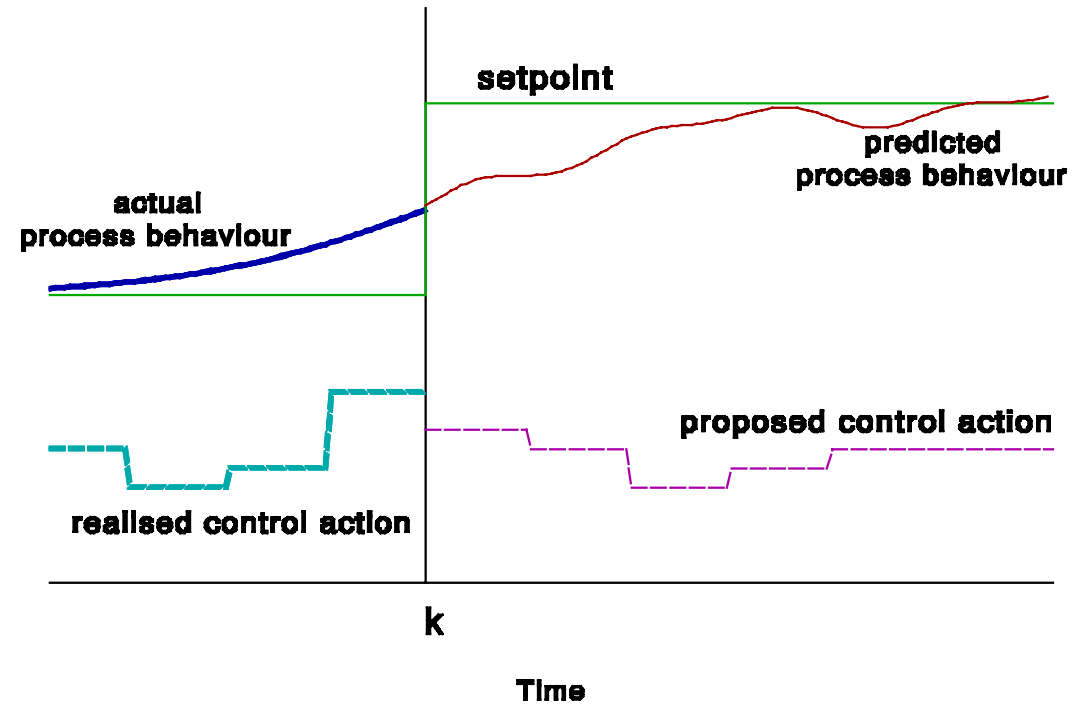
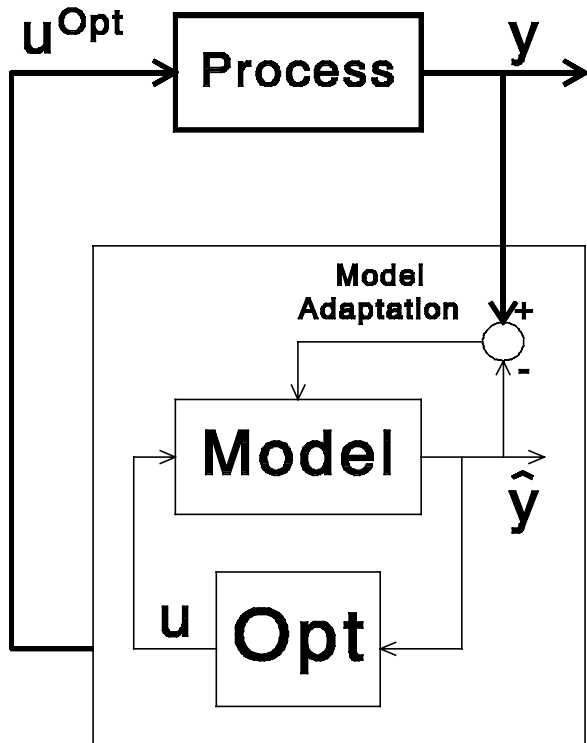
P-regelaar met dode zone

On-off regelaar met dode zone

klassiek vb. pH-sturing



Modelgebaseerde Voorspellende Regelaar



Gebruik van modellen in controlesystemen

- Ondersteuning bij ontwerp van de regelstructuur
(actuatoren, sensoren, algoritme)
- Ondersteuning bij afstellen van de regelaar
(parameters van een PID-algoritme)
- Regelaars met ingebouwd model
- Basis voor software sensoren
(= ruwe data + model)
- Voorspelling van verstoringen bij feedforward control
(dag/nacht variatie)



Modelondersteunde Regeling

