

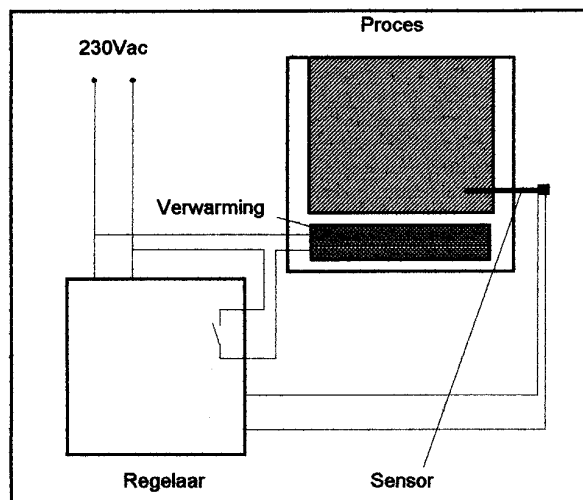
BASISKENNIS TEMPERATUUR- EN PROCESREGELAARS

In een grote verscheidenheid aan bedrijven worden dagelijks vele temperatuurregelaars ingezet om diverse, zeer uiteenlopende productieprocessen in de pas te houden. Vooral bij deze producerende bedrijven, die vaak niet over de gespecialiseerde meet- en regeltechnici beschikken, blijken temperatuurregelaars toch nog vele geheimen te verbergen door een tekort aan (begrijpelijke) theoretische onderbouw. Hierdoor heerst over de regelaars in de praktijk bij de mensen die hiermee om moeten gaan onduidelijkheid. Een goede reden om de fundamentele werking vanaf de basis te behandelen. Ook de PID-regelaars zijn best te doorgronden zonder in uitgebreide regeltechnische- of wiskundige formules te vervallen.

Voor de duidelijkheid beginnen we bij de basis met de simpele AAN/UIT regelaar. Vervolgens zullen we de PID regelaar behandelen en we laten ook zien dat er tegenwoordig veel meer mogelijk is om de temperatuur stabiel te krijgen en strakker geregeld te houden. De gebruiker is daardoor in staat om zelf het gewenste regelgedrag te bepalen, afhankelijk van het budget en de door hem gewenste procesrespons en regelnauwkeurigheid.

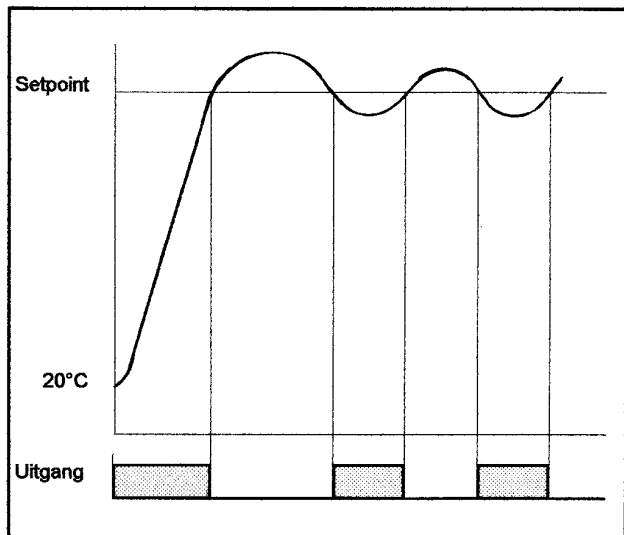
DE AAN/UIT REGELAAR

Het bespreken van de principiële werking van deze regelaar laat zich het beste behandelen aan de hand van een makkelijk voorbeeld. We nemen als praktijkgeval een voorraadtank met water die een bedrijfstemperatuur van 90°C dient te krijgen; deze waarde wordt als setpoint op de regelaar ingesteld. De tank wordt met een elektrisch element verwarmd dat zich onder de tank bevindt. De sensor onderin de tank meet de actuele temperatuur. Deze regeling wordt op onderstaande wijze aangesloten:



De AAN/UIT regelaar zal het uitgangrelais inschakelen indien de door de sensor gemeten temperatuur lager is dan de setpointwaarde. Na het inschakelen van de spanning meet de sensor de omgevingstemperatuur, b.v. 20°C; deze waarde is lager dan de setpointtemperatuur waardoor het uitgangrelais wordt ingeschakeld. De verwarming wordt geactiveerd en de temperatuur zal gaan stijgen. De snelheid waarmee de temperatuur stijgt wordt bepaald door de capaciteit van de verwarming (aanbod van energie) en de grootte van het proces dat in temperatuur moet stijgen (vraag naar energie). Doordat de temperatuur van het proces door verwarming blijft stijgen, wordt op een gegeven moment de setpointwaarde overschreden, bij 90°C zal de uitgang worden uitgeschakeld. De temperatuur van het proces zal echter nog verder stijgen daar voor lange tijd het verwarmingselement heeft aangestaan en hierin nog veel energie is opgeslagen. Dit 'doorschieten' over de setpointwaarde noemen we 'overshoot'.

Nadat het element alle warmte heeft afgegeven zal de temperatuur gaan dalen tot onder de setpointwaarde; hierdoor wordt de uitgang van de regelaar weer ingeschakeld. De temperatuur zal echter niet direct gaan stijgen daar het verwarmingselement eerst in temperatuur moet stijgen voordat deze weer warmte aan het proces kan afgeven. De proces temperatuur zal hierna weer gaan stijgen totdat het setpoint wordt overschreden, waardoor de verwarming weer zal worden uitgeschakeld. Dit proces zal zich telkens blijven herhalen en zo 'slingert' de AAN/UIT regelaar constant rond de gewenste setpointtemperatuur; deze slinging wordt 'hunting' genoemd.



Om te voorkomen dat de regelaar op de setpointtemperatuur kan gaan oscilleren is het in- en uitschakelpunt van de regelaar niet hetzelfde. De verwarming schakelt uit op het setpoint, maar het punt waar de verwarming weer inschakelt is iets lager. Het verschil hiertussen noemen we de hysteresis. Deze kan in °C of in % van het volle schaalbereik worden uitgedrukt. Bij low-cost regelaars is dit een vaste (niet instelbare) waarde, b.v. 0,5%. Bij een volle schaalbereik van 100°C is dit dus 0,5°C en komt in het voorbeeld het uitschakelpunt op 90°C en het inschakelpunt op 89,5°C te liggen.

De AAN/UIT regelaar is door het simpele regelprincipe een goedkope regeling waardoor deze vaak wordt toegepast in low-cost applicaties waarbij geen hoge regelnauwkeurigheid vereist is.

Temperatuurbewaking

Door de lage prijs worden deze regelaars ook steeds vaker toegepast als temperatuurbewakingsrelais. Hierbij wordt de regelaar ingezet als een absolute alarmgever die de temperatuur van een proces bewaakt dat door een andere regelaar wordt geregeld. De reden hiervoor is dat indien bij de 'echte' regelaar iets mis is, schade aan personen, installaties of proces kan worden voorkomen.

Regeling van trage processen

Voor zeer trage processen, die b.v. uren nodig hebben om de setpointtemperatuur te bereiken, worden ook regelmatig AAN/UIT regelaars toegepast. Door de traagheid van deze processen wordt de slinging om de setpointtemperatuur immers ook zeer traag, waardoor de afwijking ook niet echt groot kan zijn. Hiervoor zijn echter door de gewenste nauwkeurigheid (van de regelaar zelf) geen low-cost AAN/UIT regelaars toe te passen. Bij deze processen wordt ook vaak een instelbare hysteresis vereist; een kleine hysteresis geeft dan immers ook een geringe schommeling om de gewenste setpointtemperatuur. Om deze reden zijn de universele digitale regelaars niet alleen als PID regelaar maar ook als AAN/UIT regelaar inzetbaar.

De PID regelaar

De PID regelaar laat zich wat moeilijker uitleggen, doch is lang niet

zo complex als zich in diverse vakliteratuur doet voorkomen. Zonder gebruik te maken van de nodige regeltechnische formules is de werking van deze regelaar best stap voor stap uit te leggen.

De PID regelaar bestaat uit drie regelacties die gelijktijdig worden uitgevoerd: de P-, de I- en de D-actie, die gezamenlijk voor een Proportionele, Integreerende en Differentiërende regelactie zorgen. We zullen deze acties voor de duidelijkheid als drie afzonderlijke acties behandelen en na elkaar bespreken.

Deze regelaar kunnen we het beste behandelen aan de hand van hetzelfde praktische voorbeeld dat we hiervoor gebruikt hebben.

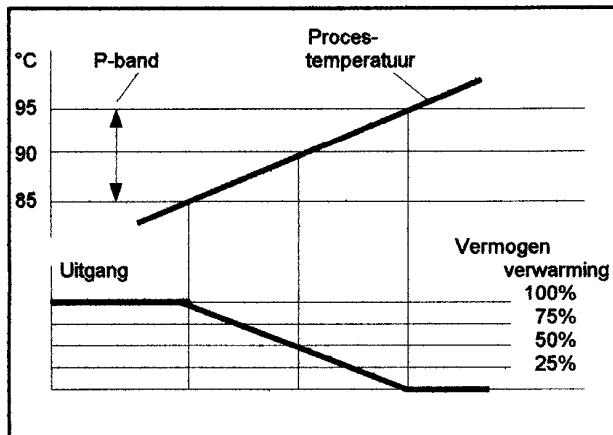
De Proportionele actie

Voor de proportionele regeling wordt naast de setpointtemperatuur een proportionele band gemaakt; we nemen in dit voorbeeld een totale bandbreedte van 10°C. De onderste grens van de P-band ligt dan op 85°C en de bovengrens op 95°C.

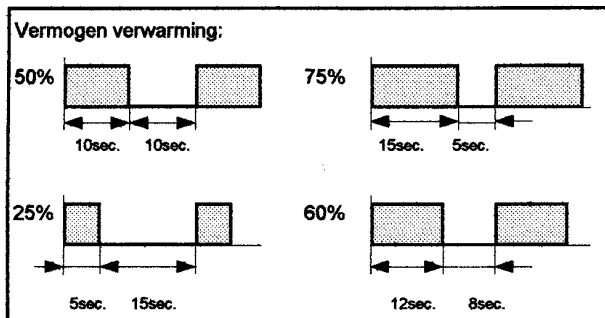
Tot de onderste grens van de P-band zal de uitgang van de regelaar AAN zijn, waardoor maximaal verwarmd wordt.

De proportionele regeling moet het vermogen van de verwarming over de gehele breedte van de P-band terugregelen van 100% naar 0%. Aan de ondergrens van de P-band wordt voor 100% verwarmd en aan de bovenzijde voor 0%.

Op de setpointtemperatuur wordt voor 50% verwarmd; deze ligt immers precies halverwege de P-band. Binnen de proportionele band is het vermogen van de verwarming volledig afhankelijk van de positie in de P-band (bij 92,5°C moet dus voor 25% worden verwarmd en bij 87,5°C voor 75%).



Het proportioneel regelen met een relaiscontact is echter niet zonder meer mogelijk. Indien het contact gesloten is wordt wel voor 100% energie toegevoegd en bij geopend contact voor 0%, dat is geen probleem, doch het 'half openen' van het contact leidt niet tot 50% verwarmen maar tot een verbrand contact! Om dit toch op te lossen hoeven we echter niet naar een kostbare analog gestuurde vermogensregeling over te schakelen. Dit probleem is door de relaisuitgang 'tijdproportioneel' te sturen ook op te lossen. Indien we de verwarming periodiek voor 10 sec. aanzetten en weer 10 sec. uit, etc., wordt er ook voor 50% verwarmd. Op deze wijze kunnen we door gebruik te maken van een 'variabele aan-tijd in een vaste tijdsperiode' ook van 0 tot 100% verwarmen.

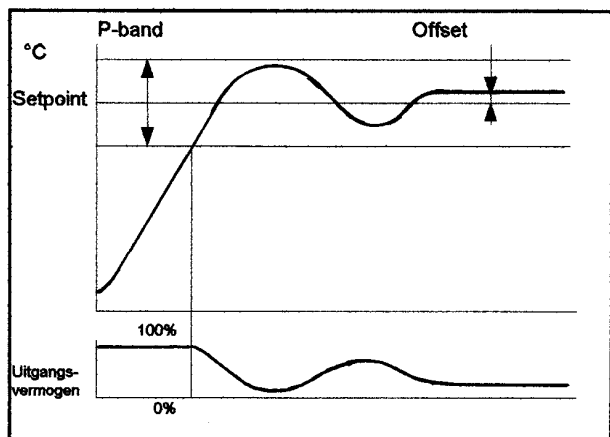


Zo is het hele uitgangsvermogen regelbaar van 0 tot 100%; deze

manier van sturen noemen we 'tijd-proportioneel' regelen. De vaste totaaltijd waarbinnen de aan- en uittijd wordt geregeld noemen we de proportionele cyclustijd. Het gegeven voorbeeld van 20 sec. is een waarde die veel wordt toegepast bij gebruik van een relaisuitgang. Bij toepassing van een uitgang om een extern SSR te sturen wordt vaak een cyclustijd gebruikt van 2 sec.

Binnen de proportionele band zal het aanbod van energie afhankelijk zijn van de temperatuur van het proces. Indien de temperatuur stijgt zal de aangeboden energie dalen en bij een dalende temperatuur zal de energie weer worden opgevoerd. Het aanbod van energie is dus afhankelijk van de vraag van het proces (omgekeerd evenredig); hierdoor zal binnen de P-band de temperatuur van het proces uitstabiliseren. Gewoonlijk schiet de temperatuur één maal over het setpoint, gevolgd door een geringe undershoot waarna het proces zich stabiliseert, doordat vraag en aanbod met elkaar in balans zijn gekomen. Bij snelle processen met alleen een P-regeling kunnen meerdere slingeringen voorkomen voordat de temperatuur zich stabiliseert.

Waar de temperatuur zich zal stabiliseren is alleen met complexe formules (bij benadering) te berekenen, maar de temperatuur moet zich uiteraard binnen de P-band stabiliseren! (bij een juiste breedte van de P-band).

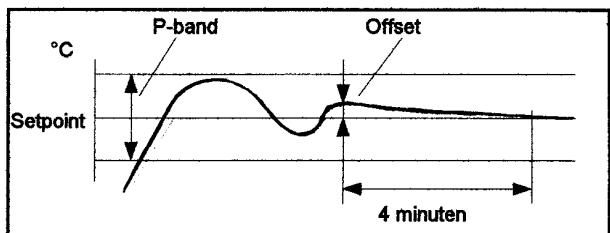


Nadat de temperatuur is gestabiliseerd heeft deze een vaste stabiele afwijking van het setpoint; deze afwijking wordt de 'offset' genoemd (het is eventueel mogelijk dat de regeling zich bij toeval op de setpointtemperatuur stabiliseert). Met de proportionele regeling krijgt het proces al een stabielere temperatuur; het 'jagen' (hunting) om de setpointtemperatuur zoals bij de AAN/UIT regelaar komt hierbij niet meer voor.

Indien de P-band te groot wordt gemaakt zal de temperatuur niet tot de setpointwaarde kunnen komen en bij een te kleine P-band gaat de regelaar zich als een AAN/UIT regelaar gedragen.

De Integreerende actie

De proportionele regeling heeft al een veel stabielere regeling dan de AAN/UIT regeling, maar de temperatuur heeft een afwijking van het gewenste setpoint. Deze offset kan door de integreerende regelactie worden weggeregeld. De I-actie integreert het verschil tussen de actuele- en de setpointtemperatuur en regelt het uitgangsvermogen (= AAN-tijd van de uitgang) net zolang bij totdat het verschil tussen beide waarden gelijk is aan nul. Hierdoor zorgt de I-actie ervoor dat de afwijking in de integratietijd wordt weggeregeld.

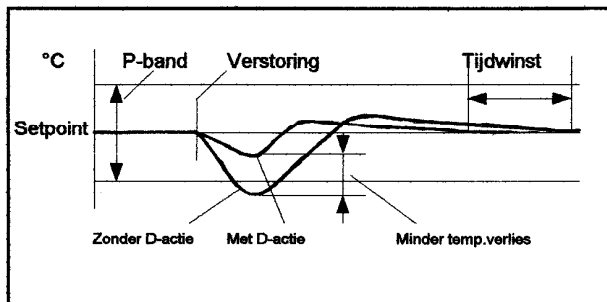


Bij een integratietijd van b.v. 4 minuten wordt de offset dus in 4 minuten weggeregeld. Te lang maken van de I-tijd maakt het

proces onnodig traag, te kort maken leidt echter tot instabiliteit, waardoor de procestemperatuur kan gaan oscilleren (hunting). In voorgaande afbeelding wordt voorgesteld dat de I-actie pas geactiveerd wordt na stabilisatie. Doordat echter constant geïntegreerd wordt zal ook de over- en undershoot door de I-actie gedempt worden, waardoor weer sneller gestabiliseerd wordt.

De Differentiërende actie

De P- en I-actie samen (een PI-regelaar) zorgen al voor een redelijke regeling, maar indien een afwijking optreedt van de setpointtemperatuur reageert de PI-regelaar behoorlijk traag. De verwarming zal immers pas voor 100% worden ingeschakeld indien de temperatuur onder de 85°C komt (ondergrens P-band). De D-actie zorgt ervoor dat de uitgang volledig wordt geactiveerd bij een snelle afwijking van het setpoint. Bij het snel dalen van de temperatuur zal de uitgang van de regelaar onmiddellijk gedurende een vaste tijd (de D-tijd) voor 100% worden aangezet.

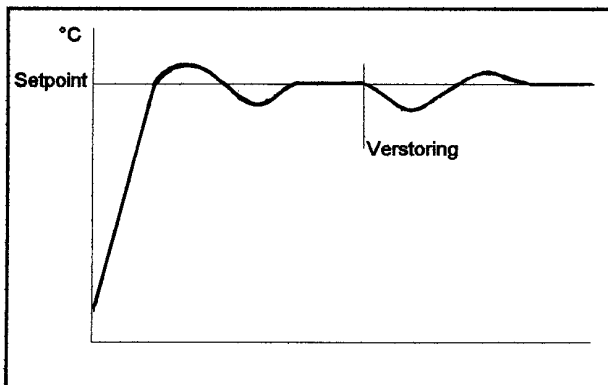


Door de D-actie wordt kortstondig de maximale hoeveelheid energie aan het proces afgegeven. Door deze 'injectie' van energie zal de procestemperatuur zich sneller kunnen herstellen op de gewenste setpointtemperatuur. Een differentiatietijd van b.v. 1 minuut stuurt bij een grote verstoring de uitgang voor 1 minuut volledig aan. Te groot maken van de D-waarde kan echter tot overshoot leiden, te klein maken elimineert het effect van de D-actie.

Bij geringe afwijkingen van het setpoint zal de D-actie de uitgang niet voor 100% aansturen, maar de AAN-tijd in de proportionele cyclus verlengen, om zo de afwijking snel te corrigeren.

De P-, I- en D-actie samen

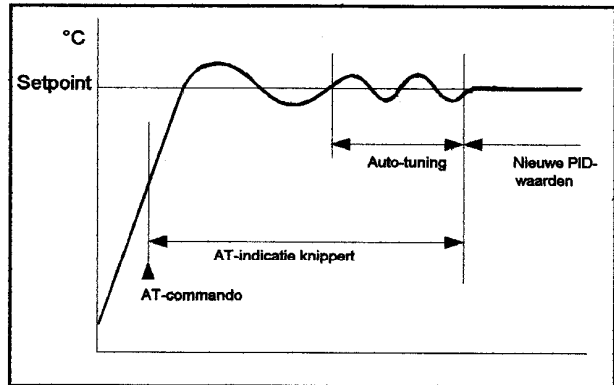
De drie besproken acties samen leiden tot de PID regelaar waarmee al een veel beter regelgedrag is te realiseren dan met de eerder besproken AAN/UIT regelaar.



Uit de besproken regelacties moet de conclusie worden getrokken dat het vinden van de juiste P-, I- en D-waarden beslist geen makkelijke opgave is. Bij de vroegere analoge PID regelaars moest de gebruiker zelf de juiste PID-waarden maar zien te vinden en deze op de regelaar instellen. Hiervoor is echter wel een behoorlijke dosis proceservaring, of de kennis van de benodigde regelformules noodzakelijk. Omdat de moderne digitale PID regelaars van een microprocessor met uitgebreide regelkennis voorzien zijn, kan de regelaar zelf de benodigde waarden voor de gebruiker berekenen. Dankzij deze 'auto-tuning' van de PID-parameters is de PID regeling nu niet alleen meer het domein van

de procesregeltechnici; ook de 'niet-regeltechnici' kunnen nu met het grootste gemak een PID regeling correct instellen.

Digitale PID regelaars met auto-tunefunctie berekenen de waarden niet aan de hand van de opstartkarakteristiek van het proces (step-response methode volgens Ziegler-Nichols), maar op de gewenste setpointwaarde (limited cycle method). De regelaar regelt het proces naar de setpointtemperatuur en berekent, door een begrenste verstoring te veroorzaken (uitgang met 20% verhogen / verlagen), de meest ideale PID-waarden op de ingestelde bedrijfstemperatuur.



Voordeel van deze methode is de nauwkeurigheid van de op setpointtemperatuur berekende PID-waarden en tevens dat indien opnieuw tunen gewenst is, het proces niet geheel hoeft af te koelen. Dit laatste is natuurlijk wel noodzakelijk indien men weer de opstartkarakteristiek zou moeten testen.

Hierna worden de gevonden waarden ingesteld en opgeslagen in de regelaar. Bij uitschakeling van de installatie blijven de waarden bewaard in het geheugen van de regelaar. Meestal vindt deze data-opslag plaats in een EEPROM, waardoor geen batterijen in de regelaar noodzakelijk zijn.

Dankzij de microprocessor is het ook mogelijk geworden om de regelaars veel universele te maken. Hierdoor kunnen zij b.v. inzetbaar zijn voor verschillende temperatuurbereiken, worden toegepast voor diverse temperatuursensors, voorzien zijn van meerdere soorten alarmfuncties, toepasbaar zijn voor verwarmen of koelen en vaak nog veel meer.

Procesregelaars

PID regelaars zijn ook leverbaar met een analoge ingang i.p.v. een ingang voor een temperatuur sensor, b.v. uitgevoerd met de veel gebruikte ingang van 4 - 20 mA. Zo ontstaat een universele regelaar waarmee het mogelijk is b.v. druk, vochtigheid, flow, niveau, snelheid en dergelijke PID te regelen. Deze regelaars worden procesregelaars genoemd.

PID regelaars met verbeterde regelkarakteristiek

In de industrie worden PID regelaars al heel lang ingezet voor diverse regeldoelinden. Toch is deze regeling nog niet ideaal te noemen. Bij het opstarten van het proces en ook bij temperatuurverstoringen ontstaan een duidelijke over- en undershoot van de procestemperatuur. In het simpele voorbeeld van de 5 liter water op 90°C, zal de benodigde nauwkeurigheid wel niet zo hoog zijn, doch bij veel processen bepaalt de stabiliteit van de bedrijfstemperatuur in hoge mate de kwaliteit van het eindproduct.

Waar vroeger afwijkingen van 10°C acceptabel waren is tegenwoordig bij diverse materialen een stabiliteit binnen 2°C een absolute noodzaak.

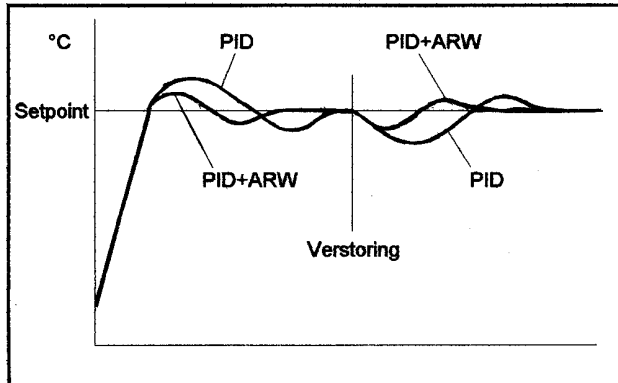
Om deze reden zijn er de laatste jaren PID regelaars met verbeterde regeleigenschappen op de markt gekomen.

PID met ARW correctie

De over- en undershoot van de PID regeling bij opstarten wordt in feite veroorzaakt doordat de regeling voor lange tijd aan het integreren is om op de setpointtemperatuur uit te komen. Zo ontstaat een te grote integratie en 'schie' de temperatuur de setpointwaarde voorbij. Een logische conclusie zou kunnen zijn om de I-tijd kleiner te kiezen, maar dit verergert de over- en

undershoot doordat de temperatuur het setpoint dan nog sneller voorbij schiet. Verkorten kan zelfs leiden tot oscillaties. Het vergroten van de I-tijd biedt ook geen oplossing daar deze de regeling alleen maar onnodig trager maakt.

De ARW correctie zorgt ervoor dat indien de temperatuur de setpointwaarde gaat naderen de integratie begrensd wordt, waardoor er minder wordt geïntegreerd. De term ARW staat voor 'Anti-Reset Windup' (Integreren wordt in het Engels de 'Reset-action' genoemd).



De ARW functie beperkt de over- en undershoot van de temperatuur bij het opstarten van de regeling en tevens bij procesverstoringen, waardoor het totale regelgedrag aanmerkelijk wordt verbeterd. De grootte van de ARW waarde wordt in % uitgedrukt (= invloed van 0 - 100% op de I-actie) en wordt ook bij het auto-tunen van de regelaar door de processor berekend.

Bij de PID+ARW regelaars wordt in het interne geheugen elke procesover- en undershoot opgeslagen. Afhankelijk van de grootte van de geregistreerde over- en undershoot past de regelaar de ARW waarde automatisch aan, indien dit noodzakelijk is.

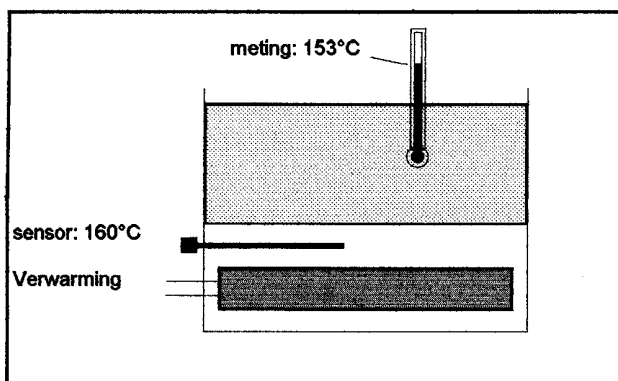
Hierdoor kan het voorkomen dat na installatie van de regelaar deze (na Auto-tuning) bij het opstarten toch nog een redelijke over- en undershoot vertoont. Na de 2e proces opstart zal deze duidelijk kleiner zijn en na de 3e cyclus nog kleiner, totdat de meest ideale ARW waarde in de praktijk is gevonden. Een door de auto-tuning gevonden of met de hand ingestelde ARW waarde wordt dus door de regelaar aangepast indien dit noodzakelijk is.

Communicatie

Moderne regelaars beschikken over de een optionele communicatiemogelijkheid (RS-232/422/485), waardoor de regelaars ook in regelnetwerken kunnen worden opgenomen.

Sensorcorrectie

De nieuwste generaties beschikken over een 'input-shift' mogelijkheid. Met deze functie kan de waarde van de sensor-ingang worden verschoven; hiermee is dus een correctie op de door de sensor gemeten temperatuur te maken. Bij veel toepassingen is de sensor die de temperatuur moet meten niet op de meest ideale positie in het te meten object te plaatsen, waardoor deze een bepaalde hoeveelheid graden te weinig of te veel meet. In onderstaand voorbeeld is de sensor onderin de tank geplaatst, eigenlijk te dicht bij het verwarmingselement.



Dit proces willen we op een setpointtemperatuur van 160°C brengen. Nadat deze waarde is bereikt, blijkt bij nameting in de tank een temperatuur van 153°C te heersen. Door de plaatsing van de sensor meet deze 7°C te veel.

Door de sensor-correctie in de regelaar kan bij instelling een inputwaarde worden toegevoegd aan de sensortemperatuur van b.v. -30 tot +30°C.

Door in dit voorbeeld de waarde -7°C in te geven wordt de gemeten waarde hierna 153°C. Het gevolg is dat de gemiddelde temperatuur in de tank 160°C zal worden en de sensortemperatuur 167°C.

Setpointbegrenzing

Vaak beschikken de regelaars ook over de mogelijkheid om een begrenzing van het setpoint in te stellen. Deze boven- en onderwaarden zijn vrij, maar beveiligd toegankelijk, in te stellen en voorkomen hiermee, dat op een installatie abusievelijk een veel te hoge of te lage setpointtemperatuur kan worden ingesteld.