

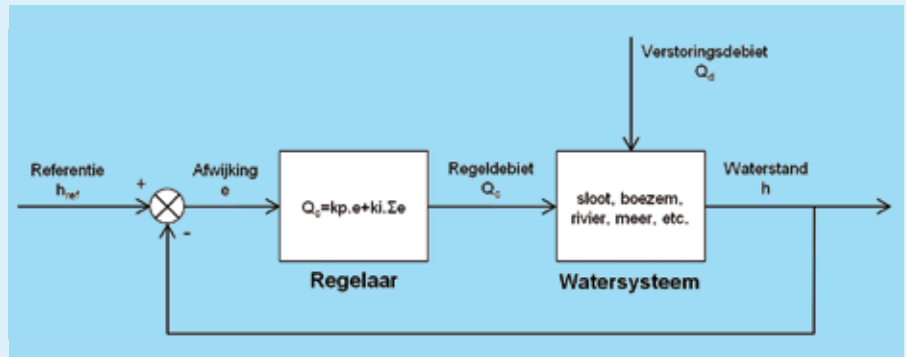
Meet- en regeltechniek: 'Feedback control'

In deze reeks van vijf artikelen wordt ingegaan op de theoretische achtergrond van meet- en regeltechniek, toegepast op het operationele beheer van de waterlopen in Nederland. Dit artikel beschrijft de toepassing van 'Feedback control' in het waterbeheer.

'Feedback control' is veruit de belangrijkste regelmethodiek in alle werkvelden ter wereld. De reden daarvoor is dat de regelacties direct gebaseerd zijn op het regeldoel dat met het geregelde systeem moet worden bereikt. Dit kan worden gezien in het blokschema van deze regeling (in het watersysteemblok zijn het dynamische gedrag van het kunstwerk, de waterloop en de sensor samengevoegd). In het schema is te zien dat de ingang van het blokschema de referentie is; in dit geval het streefpeil dat moet worden gehandhaafd in de waterloop. De regelaar gebruikt de afwijking van het streefpeil, berekend uit de vergelijking tussen het streefpeil en de gemeten waterstand, om te bepalen hoe de waterstroom moet worden aangepast. De waterstroom heeft in het watersysteem weer een gevolg voor de waterstand, die weer wordt gemeten en vergeleken met het streefpeil, etc. Deze regelkring wordt herhaald met een vaste regeltijdstep en maakt de gemeten waterstand gelijk aan het streefpeil.

Wanneer de waterstand gelijk is aan het streefpeil, kunnen twee typen verstoring optreden die weer een afwijking veroorzaken: het streefpeil kan worden veranderd of het verstoringdebiet neemt toe of af. In het eerste geval zorgt de regelaar ervoor dat de afwijking weer nul wordt door de werkelijke waterstand stapsgewijs gelijk te maken aan het nieuwe streefpeil. Deze regelacties worden getypeerd met de term 'reference tracking'. In het Nederlandse waterbeheer wordt (nog) niet veel gebruik gemaakt van deze mogelijkheid van 'Feedback control'. Een eenvoudig voorbeeld van 'reference tracking' is het zomer- en winterpeil in polders. Op een veel dynamischere schaal kan worden gedacht aan dag- en nachtcycli om elektriciteit te besparen (overdag het peil op laten komen en gedurende de nacht de pompen, met goedkopere stroom, het peil weer laten verlagen). Ook extra waterberging als buffer voor droge perioden in grote waterlichamen als het IJsselmeer kan worden gerealiseerd met 'reference tracking'. Het andere type 'Feedback control', 'Disturbance rejection', is in iedere regelkring continu aan de orde. Iedere verandering van de inloop bij regen of van onttrekkingen bij droogte maakt dat het regeldebiet moet worden bijgesteld om de waterstand te handhaven op streefpeil.

De locatie van de waterstandmeting ten opzichte van het kunstwerk bepaalt of sprake is van waterafvoer of -aanvoer. Bij de meetlocatie bovenstrooms van het kunstwerk stijgt de waterstand bij toename van de inloop en zal de regelaar een stuw



strijken, een onderspuier openen of een pomp starten om de waterstand weer gelijk te maken aan het streefpeil. Dit type 'feedback'-regelaar betreft 'Upstream control' en is bij uitstek geschikt voor drainage-systemen. Het tegenovergestelde type is 'Downstream control', waarbij de meetlocatie benedenstrooms van het kunstwerk is geplaatst. Deze manier van regelen vindt zijn toepassing in irrigatiesystemen. Wanneer een watergebruiker meer water onttrekt uit een waterloop, daalt de waterstand en zal de regelaar de stuw strijken, de onderspuier openen of de pomp starten om meer water aan te voeren. Nederlandse polderboezem-systemen gebruiken hun poldergemalen het hele jaar door als 'Upstream feedback control' en in droge perioden worden de inlaatschuilven als 'Downstream feedback control' toegepast. Veruit de meest toegepaste 'feedback'-regelaar in de wereld is de 'Proportional Integrating Derivative controller' (PID). Meer dan 80 procent van alle regelaars maakt gebruik van dit elegante algoritme, dat in het schema de volgende vorm heeft:

$$Q_c(k) = K_p \cdot e(k) + K_i \cdot \sum_{l=0}^k e(l) + K_d \cdot (e(k) - e(k-1))$$

waarbij Q_c het regeldebiet is, e de afwijking, k de tijdstapindex en K_p , K_i en K_d de versterkingsfactoren van de proportioneel en de integrerende en differentiërende term voorstellen. Oftewel het regeldebiet is een functie van de afwijking, de integraal van de afwijking en de afgeleide van de afwijking.

De proportionele term ligt voor de hand. Als een afwijking optreedt, wordt het regeldebiet veranderd met een factor K_p . Wordt de afwijking groter, dan wordt ook het corrigerende regeldebiet groter. De integrerende term zorgt ervoor dat de afwijking uiteindelijk nul wordt. Alleen een proportionele term is daarvoor niet voldoende, aangezien een afwijking nodig is om überhaupt een regeldebiet te verkrijgen uit het algoritme. De sommatie van de afwijking in de integrale term moet overigens niet worden uitgevoerd als het kunstwerk zijn

maximale capaciteit heeft bereikt. De differentiërende term wordt in watersystemen niet gebruikt. De reden hiervoor is dat veel golven optreden in watersystemen. Wanneer een (sinus) golf $A \cdot \sin(\omega \cdot t)$ wordt gedifferentieerd, komt de frequentie van de golf bij de amplitude terecht: $A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$. Dit heeft tot gevolg dat de regelaar sterk reageert op hoogfrequente golven. Deze golven zijn echter ten gevolge van wind of scheepvaart juist oninteressant in het geregelde systeem.

Standaardwaarden voor K_p en K_i zijn niet te geven. Allerlei karakteristieken als looptijd, bergend oppervlak, regeltijdstep en de mate waarin lange golven reflecteren in de waterloop, hebben invloed op deze waarden. Te lage waarden hebben een lage performance tot gevolg (langzame reactie op streefpeilwijzigingen en het wegregelen van verstoringen). Te hoge waarden zijn echter veel problematischer. Deze kunnen instabiliteit veroorzaken, waarbij opslingerende waterstanden kunnen optreden en continu pendelende kunstwerkinstellingen. Een praktische manier om de waarden te vinden is om een experiment uit te voeren op de waterloop of, in verband met de veiligheid, met een (nauwkeurig) hydrodynamisch model van de waterloop. In het experiment wordt in eerste instantie K_i op nul gesteld en K_p opgevoerd totdat instabiliteit optreedt. Vervolgens wordt K_p ingesteld op de helft van de waarde waarbij instabiliteit optrad en wordt het experiment herhaald met K_i . De uiteindelijke waarden voor K_p en K_i hebben een redelijke 'performance' en zijn ver genoeg verwijderd van het instabiliteitspunt.

Een belangrijke parameter voor de instelling van de 'feedback'-regelaar is tot slot nog de regeltijdstep, waarmee de regelkring wordt herhaald. Hiervoor geldt, hoe kleiner deze tijdstap wordt genomen, des te beter het geregelde systeem functioneert, ook als er lange looptijden aanwezig zijn in het systeem. Een voorbeeld hiervan is de ('Disturbance rejection')-regeling van het debiet over de IJssel met de stuw te Driel.

Het duurt ongeveer twee uur voordat wijzigingen van de stuwinstelling effect hebben op dit debiet. Toch is het belangrijk om de regeltijdstap laag te nemen, bijvoorbeeld iedere tien minuten. Wanneer namelijk een verandering (verstoring) optreedt in het debiet van de Rijn, is de reactie daarop maximaal twee uur plus tien minuten te laat. In het geval van grotere tijdstappen, bijvoorbeeld twee uur, kan deze corrigerende actie verlaat zijn met maximaal twee plus twee oftewel vier uur, waardoor het debiet al te ver van streefdebiet is weggelopen. Natuurlijk kan de tijdstap niet oneindig klein worden genomen als gevolg van fysische of operationele limiteringen, zoals datatransmissiesnelheid (bijvoorbeeld bij toepassing van een modem) of de snelheid waarmee kunstwerkinstellingen mogen veranderen ter vermijding van teveel slijtage.

Peter-Jules van Overloop
(TU Delft, afdeling Watermanagement)