

Meet- en regeltechniek: 'Feedforward control'

In een serie van vijf artikelen wordt ingegaan op de theoretische achtergrond van meet- en regeltechniek, toegepast op het operationele beheer van de waterlopen in Nederland. In dit artikel wordt de tweede, na 'Feedback control', meest toegepaste regelmethode beschreven: 'Feedforward control'.

'Feedforward control' baseert zijn regelacties niet direct op het regeldoel, maar op de mate waarin meetbare verstoringen het regeldoel verstoren. Belangrijkste eigenschap van 'Feedforward control' is dan ook dat de ingang van deze regelaar een meting van een verstoring is. Dit in tegenstelling tot de 'feedback'-regelaar, waarbij de afwijking van het regeldoel de ingang is. Om de uitwerking van de verstoring op het regeldoel te bepalen, maakt de 'feedback'-regelaar altijd gebruik van een model. Dit kan een tabel, formule of een volledig dynamisch model zijn. De werking van 'Feedforward control' wordt getoond in het schema van de regeling van een waterlichaam, zoals een meer, dat kan worden geschematiseerd als een reservoir.

Het dynamische gedrag van het reservoir is:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{Q_d(t) - Q_c(t)}{A_s}$$

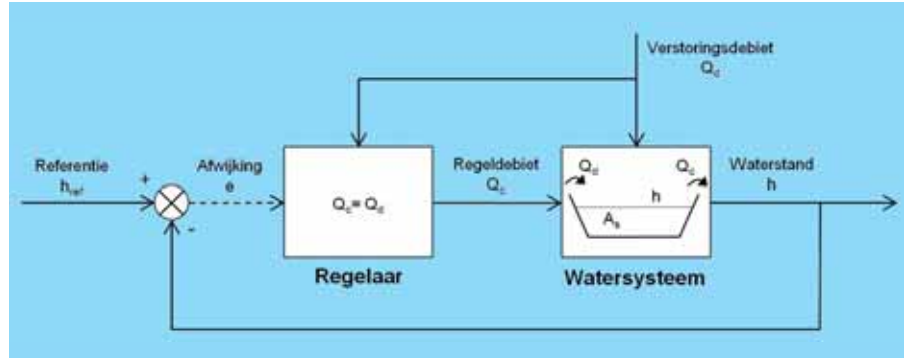
waarbij h de waterstand is, Q_c het regeldebiet, Q_d het verstoringdebiet en A_s het bergend oppervlak representeert. Aangenomen wordt dat de verandering van de waterstand klein genoeg is om het zijtalud te verwaarlozen. Om de waterstand niet van het streefpeil te laten afwijken, wordt de afgeleide van de waterstand op nul gesteld. Hieruit volgt dat het regeldebiet gelijk moet zijn aan het verstoringdebiet:

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{Q_d(t) - Q_c(t)}{A_s} = 0 \quad \text{fi} \quad Q_c(t) = Q_d(t)$$

De resulterende 'feedforward'-regelaar heeft dan een zeer eenvoudige overdrachtsfunctie met de waarde 1. Toepassing van deze triviale regelaar levert echter problemen op. De meting van de instroom in het meer, het verstoringdebiet, is niet nauwkeurig uit te voeren. In het geval van een instromende rivier is de meting van het debiet al moeilijk. Debietmetingen zijn over een langere periode moeilijk onder een nauwkeurigheidsmarge van tien procent te krijgen. Daarbij moet dan nog de niet meetbare inloop of onttrekking ten gevolge van neerslag, verdamping, kwel, etc. worden opgeteld. Deze moeten worden geschat uit meteorologische variabelen en grondwaterstanden. Een rekenvoorbeeld leert dat een fout van 15 procent in het constante instroomdebiet van één kubieke meter per seconde op een meertje van 100.000 m² (1.000 bij 100 meter) en toepassing van de 'feedback'-regelaar na 24 uur leidt tot een waterstandafwijking van:

$$\Delta h = \frac{Q_d - Q_c}{A_s} \Delta T = \frac{1,15 - 1,0}{100000} \cdot 86400 = 0,13 \text{ m}$$

zonder dat daarop een corrigerend mechanisme reageert. Hetzelfde geldt



overigens bij het uitvoeren van de regelacties. Als in tabellen van de leverancier of in inkingstabellen een bepaalde stand van een stuw bij een bepaalde bovenstroomse waterstand een bepaald debiet oplevert, betekent dit nog niet dat dit debiet in de werkelijkheid ook zo nauwkeurig optreedt. Door de jaren heen kan de elektromotor minder krachtig zijn geworden, speling zijn ontstaan in de mechanische overbrenging, kroos de stroming over deze stuw belemmeren, etc. Het moge duidelijk zijn dat 'Feedforward control' een krachtige regelmethode is die direct reageert op een verstoring, maar zeker geen nauwkeurige methode is. De oplossing hiervoor ligt in de combinatie met 'Feedback control'. In het voorbeeld levert deze combinatie het volgende algoritme op:

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

Hierbij is e de afwijking tussen referentie en waterstandmeting, Σe de sommatie van deze afwijking, k de tijdstapindex, K_p de proportionele versterkingsfactor en stelt K_i de integrerende versterkingsfactor voor. Met het 'Feedforward'-gedeelte wordt een snelle reactie verkregen, terwijl de 'feedback'-term ervoor zorgt dat het geheel op lange termijn niet weglooft van het streefpeil.

Een 'feedforward'-regelaar die veel in irrigatiesystemen wordt toegepast, is 'Flow routing'. Dit is het door het kanalsysteem leiden van veranderingen in waterstroom door op de juiste momenten de kunstwerken te verstellen. De benodigde waterstroomveranderingen worden bepaald uit een watervraagschema. Dit schema wordt iedere dag opgesteld aan de hand van vooraf doorgegeven bestellingen van watergebruikers, bijvoorbeeld landbouwers. Als de looptijden van boven- tot benedenstrooms van iedere waterloop bekend zijn, kan een schema worden opgesteld van alle vereiste kunstwerkverstellingen in de tijd. Als voorbeeld wordt een lang kanaal met een

gemiddelde looptijd van één uur genomen. Als een landbouwer gedurende 45 minuten wil irrigeren, te beginnen om 13:00 uur, dan wordt dit water om 12:00 uur losgelaten bij het bovenstroomse kunstwerk. Onder gemiddelde omstandigheden functioneert dit goed. De looptijd van het kanaal is echter afhankelijk van vele factoren, die variëren gedurende het jaar. De belangrijkste parameter, de bodemwrijving, neemt door begroeiing van waterplanten in de zomer toe, hetgeen tot langere looptijden leidt. Ook verandert de looptijd met het debiet dat door het kanaal wordt getransporteerd. Stel dat de looptijd op een bepaald moment 45 minuten is in plaats van een uur: om 12:45 uur bereikt het water de locatie van de inlaat van de watergebruiker en gedurende 15 minuten stroomt het water ongebruikt door richting een spijkunstwerk. De landbouwer kan van 13:00 tot 13:30 uur gebruik maken van zijn bestelde water. In dit voorbeeld reduceert de efficiëntie van de waterlevering naar:

$$\frac{V_{geleverd}}{V_{besteld}} = \frac{Q_{inlaat} \cdot 1800}{Q_{inlaat} \cdot 2700} = 67\%$$

Het is wederom duidelijk dat 'Feedforward control' alleen nauwkeurig is, wanneer het gebruikte model (in dit geval de looptijden) perfect is. Aangezien dit in werkelijkheid niet mogelijk is, is het gebruik van 'Feedback control' noodzakelijk. Andersom is het wel mogelijk om een wateraanvoersysteem te ontwerpen dat volledig op 'Downstream feedback control' is gebaseerd.

Peter-Jules van Overloop
(TU Delft afdeling Watermanagement)