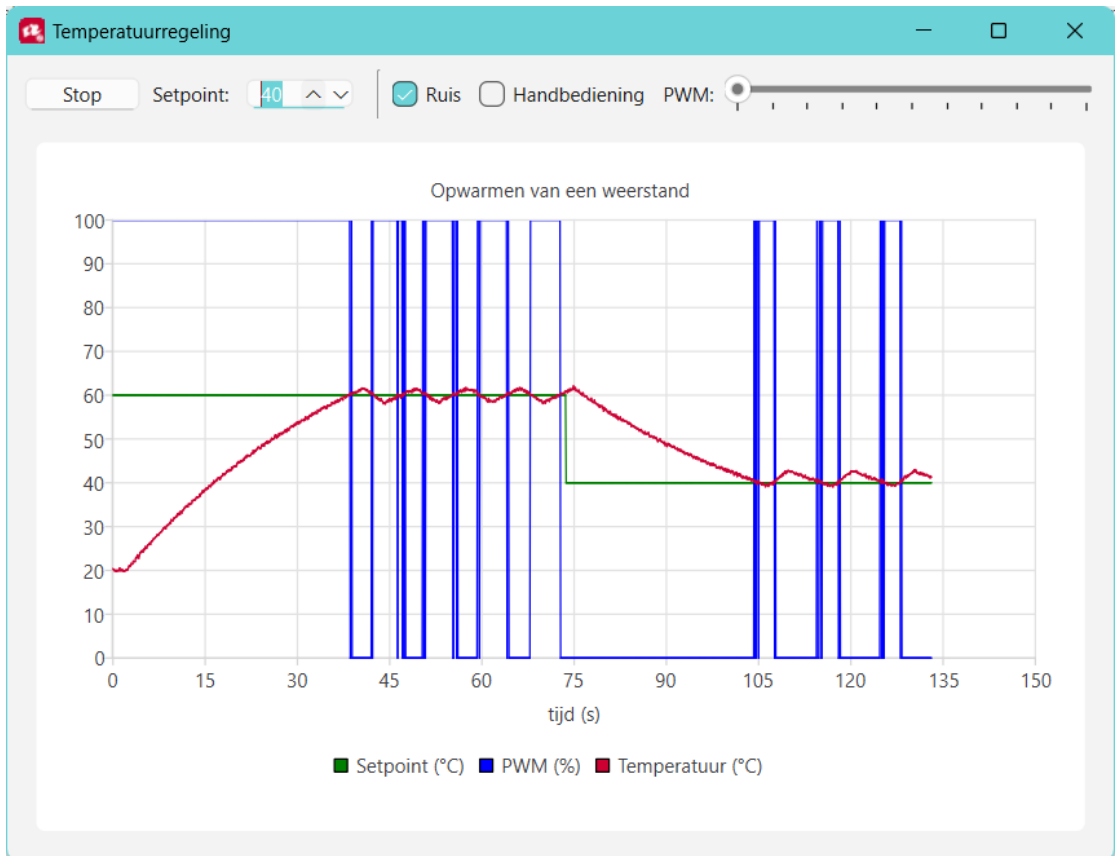


1 Temperatuurregelaar

Bij hardwareopdracht 4 moet een PID-regelaar ontwikkeld worden waarmee het opwarmen van een weerstand moet worden geregeld. Hiervoor is een [simulatieprogramma](#) beschikbaar, zie [figuur 1](#). Dit simulatieprogramma bevat onder andere de volgende features:

- Een start/stop knop waarmee de simulatie gestart en gestopt kan worden.
- Een checkbox waarmee de ruis in de temperatuurmeting uit- en aangezet kan worden.
- Een `init()` functie die in `regelaar.cpp` gedefinieerd moet worden en vanuit de simulator, bij de start van het programma, eenmalig wordt aangeroepen waarin bepaalde zaken geïnitieerd kunnen worden.
- Een `setIntervalTimer()` functie die vanuit de `init()` functie in `regelaar.cpp` aangeroepen kan worden om de sample time van de regelaar in te stellen.



Figuur 1: Het simulatieprogramma voor het opwarmen van een weerstand.

Dit document geeft een aantal tips en tricks die van pas kunnen komen bij het ontwerpen van een PID-regelaar.

2 Bepalen systeemconstanten

Voor het bepalen van de systeemconstanten van het te regelen proces bestaan verschillende methoden:

- Open-loop-methode van Ziegler-Nichols [2], zie [paragraaf 4.2](#) van het dictaat.
- Open-loop-methode 2, zie [paragraaf 4.4](#) van het dictaat.
- Closed-loop-methode van Ziegler-Nichols [2], zie [paragraaf 4.6](#) van het dictaat.

Bij de open-loop-methode 2 worden de systeemconstanten K_{sys} , τ_{sys} en θ bepaald. In de praktijk blijkt dat vooral de waarde van θ niet altijd goed bruikbaar is om de PID-parameters mee te bepalen. In dat geval kan beter de tijd die nodig is om tien procent van de eindwaarde te bereiken, na het aanbrengen van een stap op de input, als dode tijd (θ) worden gekozen.

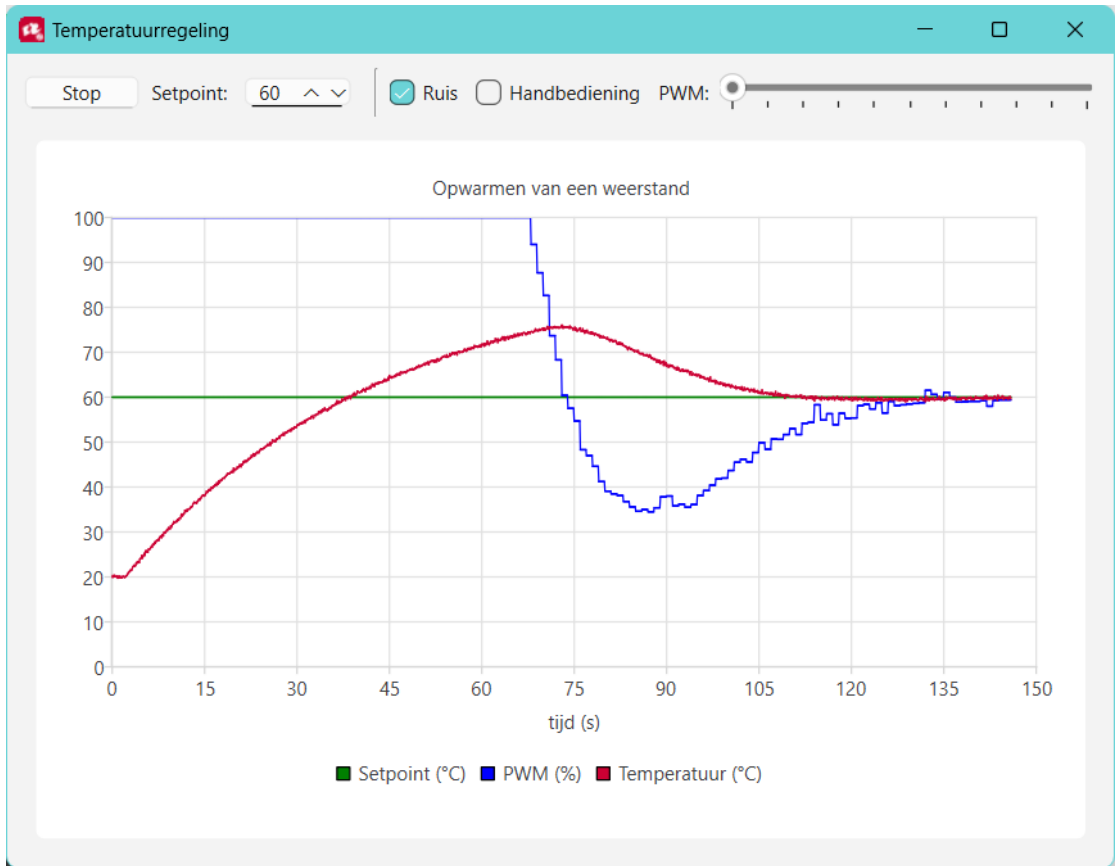
3 Bepalen sample frequentie

Het kiezen van de juiste sample frequentie blijkt van groot belang om een goed functionerende regelaar te ontwerpen. Als de sample frequentie te laag is, dan reageert de regelaar te traag op veranderingen. Als de sample frequentie te hoog is, dan reageert de regelaar te snel op kleine veranderingen in het errorsignaal (zoals ruis).

Bobál et al [1, pagina 71] adviseren om een sample time te kiezen die voldoet aan de volgende voorwaarde: $\frac{1}{8}\theta < T_s < \frac{1}{4}\theta$.

4 Voorkomen van integrator wind-up

Als de errorwaarde $e[k]$ lange tijd positief is, dan zal het uitgangssignaal van de regelaar $u[k]$ als gevolg van de integrerende werking van de PID-regelaar erg groot worden. Het gevolg is dat de regelaar pas erg laat reageert als de errorwaarde $e[k]$ negatief wordt. Dit verschijnsel wordt integrator wind-up genoemd, zie [paragraaf 3.3](#) van het dictaat. In [figuur 2](#) is dit verschijnsel duidelijk zichtbaar. Hetzelfde effect treedt uiteraard op als de errorwaarde $e[k]$ lange tijd negatief is.

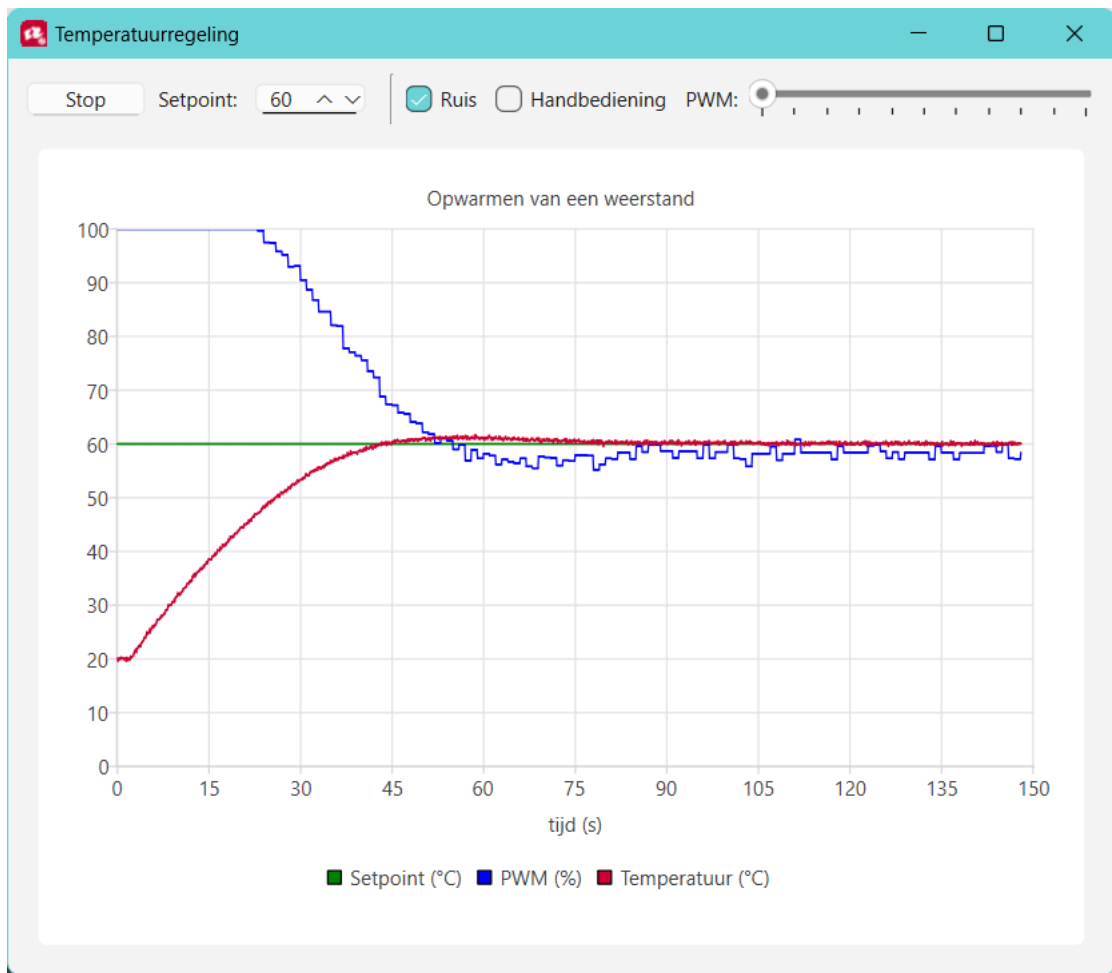


Figuur 2: De regelaar reageert (veel) te laat als gevolg van integrator wind-up.

Een eenvoudige oplossing om integrator wind-up te voorkomen is het begrenzen van het outputsignaal $u[k]$ van de regelaar. In [figuur 3](#) is dezelfde regelaar gegeven als in [figuur 2](#) alleen is nu de waarde van $u[k]$ begrensd.

5 Filteren van de ruis

Ruis afkomstig van de sensor waarmee de uitgang van het systeem wordt gemeten, kan er voor zorgen dat de regelaar niet goed functioneert. Bobál et al [1, pagina 78] adviseren om het uitgangssignaal van een sensor dat veel ruis bevat, te filteren met een eenvoudig eerste

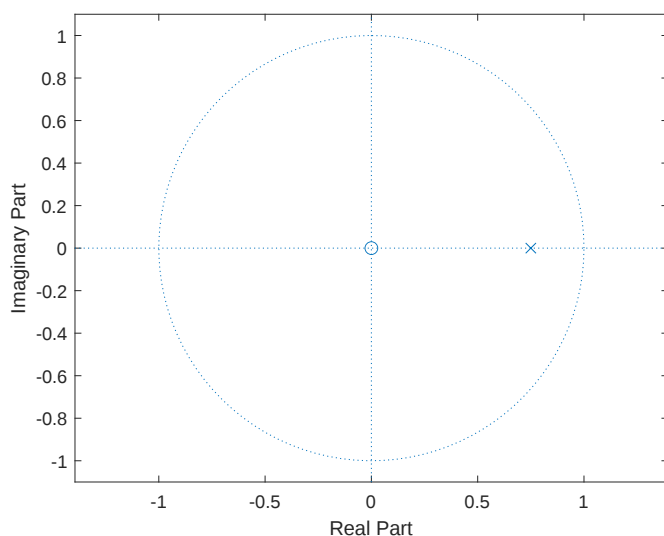


Figuur 3: Dezelfde regelaar als in [figuur 2](#) maar nu met een begrenzing van $u[k]$.

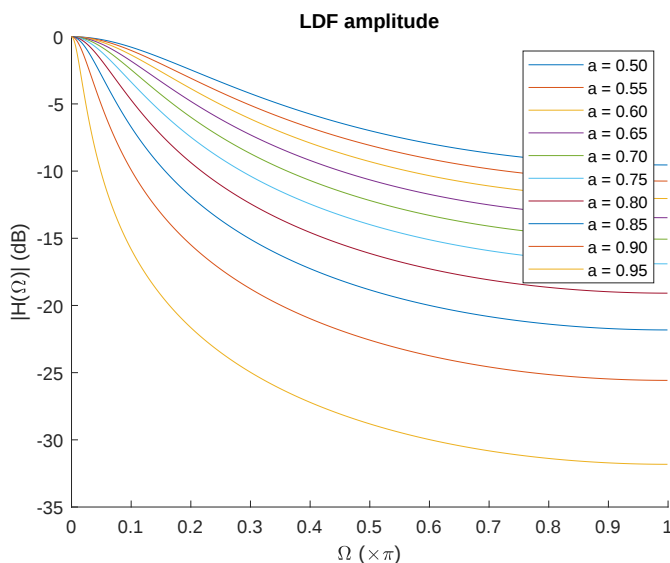
orde IIR-filter met de volgende overdracht:

$$H(z) = \frac{(1-a) \cdot z}{z-a} \quad (1)$$

Dit filter heeft zoals je ziet een reële pool in $z = a$ en een nulpunt in de oorsprong. De overdracht wordt bepaald door de waarde van a . In [figuur 4](#) is het polen-nulpunten-beeld voor $a = 0.75$ gegeven. De overdracht voor verschillende waarden van a is gegeven in [figuur 5](#).



Figuur 4: Het polen-nulpunten-beeld van vergelijking (1) voor $a = 0.75$.



Figuur 5: De overdracht van vergelijking (1) voor verschillende waarden van a .

Een geschikte waarde van a kan proefondervindelijk worden bepaald. In de praktijk dient het signaal afkomstig van de sensor eerst analoog gefilterd te worden met een zogenoemd anti-alias filter om ongewenste aliasing (vouwwervorming) te voorkomen.

6 Finetunen van de regelaar

Bedenk goed dat de instellingen voor een PID-regelaar die je vindt met de in [hoofdstuk 4](#) van het dictaat beschreven methoden slechts een startpunt is voor de instelling van je regelaar. Je kunt vervolgens je regelaar (fine)tunen door de parameters K_c , T_i en T_d te variëren. Bijvoorbeeld door te kijken wat er gebeurt als je één van deze parameters $2 \times$ zo groot of juist $2 \times$ zo klein kiest.

Referenties

- [1] Vladimir Bobàl e.a. *Digital self-tuning controllers: algorithms, implementation and applications*. Springer Science & Business Media, 2006 (geciteerd op pp. [2](#), [3](#)).
- [2] J. G. Ziegler en N. B. Nichols. “Optimum Settings for Automatic Controllers”. In: *Transactions of ASME* 64 (1942), p. 759–768 (geciteerd op p. [2](#)).