

De onderstaande tekst is een bewerking van een voorbeeld uit P.A. Lynn. *Inleiding Digitale Signaalbewerking*. 2de ed. ThiemeMeulenhoff bv, 2004. ISBN: 9-789055-744480.

Voorbeeld 6.2

Een ECG-sigitaal, dat de elektrische activiteit van het hart weergeeft, wordt gesampeld met een frequentie van 1,2 kHz. Tijdens het sampelen treedt verontreiniging op door interferentie met de netspanning van 60 Hz¹. Ontwerp een digitaal bandsperfilter dat deze interferentie onderdrukt. De sperband moet tussen de -3 dB punten een breedte van 10 Hz hebben.

Oplossing

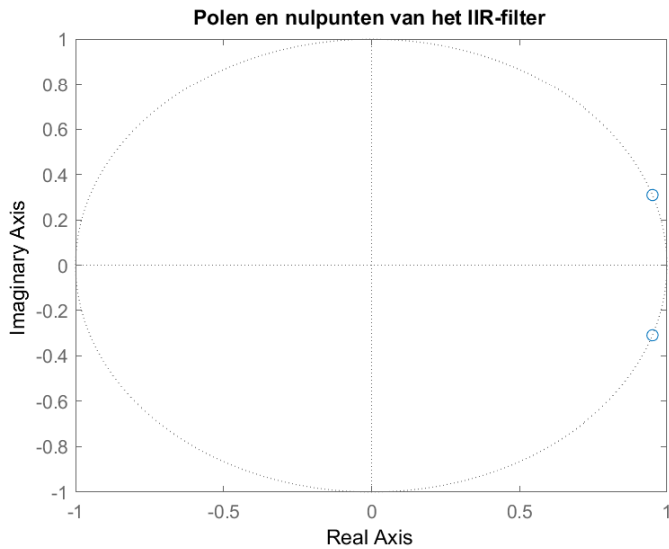
We merken eerst op dat de sample-frequentie van 1,2 kHz volgens het sampling-theorema een ‘adequate’ sampling oplevert van analoge signaalcomponenten tot 600 Hz, corresponderend met $\Omega = \pi$. Hierdoor komt de gewenste centrumfrequentie van 60 Hz overeen met $\Omega_0 = 0.1\pi$.

We willen een bandsperfilter maken dat een smalle band van ongewenste frequenties onderdrukt. Het ligt voor de hand een toegevoegd complex nulpuntpaar op de juiste punten op de eenheidscirkel te plaatsen, zie [figuur 1](#). Hierdoor ontstaat echter geen scherpe ‘inkeping’ (Engels: notch), en signaalcomponenten aan beide zijden van de centrumfrequentie worden sterk beïnvloed, zie [figuur 2](#)

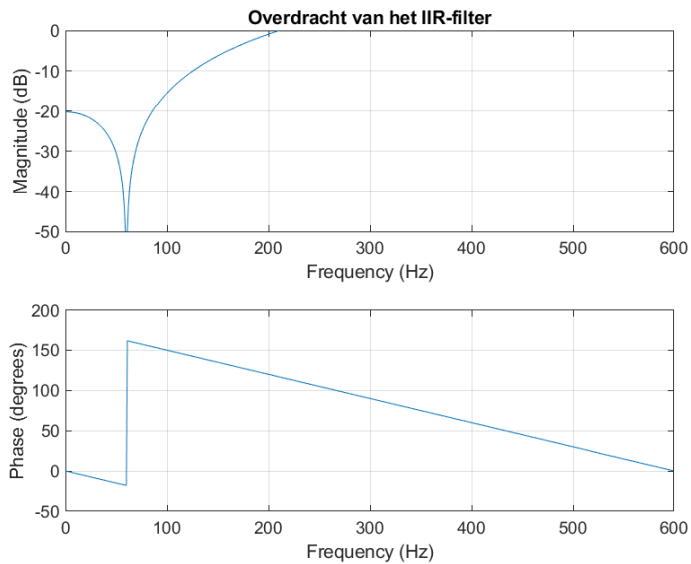
Het is veel beter de polen en nulpunten te plaatsen zoals in [figuur 3](#). In het grootste deel van het frequentiebereik $0 < \Omega < \pi$ zijn de vectoren die van naast elkaar liggende polen en nulpunten naar de eenheidscirkel worden getrokken, vrijwel even lang. Hierdoor is de responsie vrijwel gelijk aan 1. In de onmiddellijke nabijheid van $\Omega = \Omega_0$ wordt de nulpuntvector echter plotseling veel korter dan de poolvector, zodat er een smalle inkeping ontstaat.

De breedte van de inkeping is afhankelijk van de straal r van het complexe poolpaar. De redenering hierachter is in wezen hetzelfde als die bij het banddoorlaatfilter dat in de [eerste les van week 6](#) is besproken. Naarmate we $\Omega = \Omega_0$ dichter benaderen, neemt de lengte van de nulpuntvector sneller af dan die van de dichtbij gelegen poolvector. Bij een afstand $(1-r)$ langs de eenheidscirkel vanaf de centrumfrequentie is de verhouding tussen de lengten van deze vectoren ongeveer $\frac{1}{\sqrt{2}}$. De -3 dB punten liggen dus ongeveer $2(1-r)$ radialen uit elkaar. In dit geval komen π radialen overeen met 600 Hz. Voor een inkeping met een breedte van

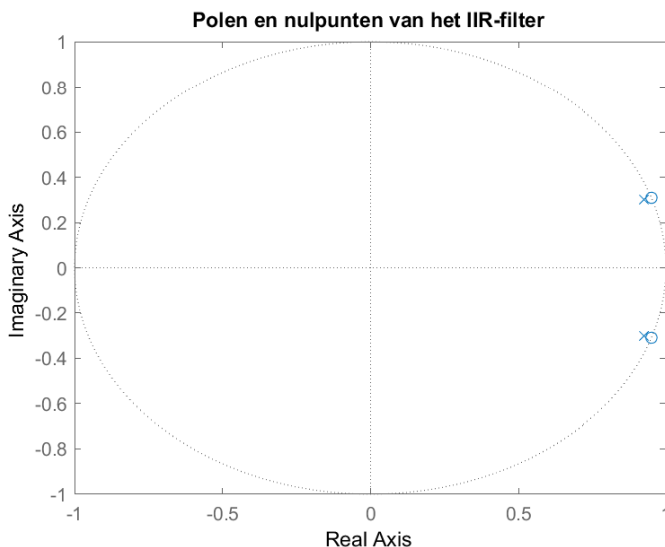
¹ De netspanning in de Verenigde Staten is 60 Hz.



Figuur 1: Een filter met twee nulpunten bij $e^{j0.1\pi}$ en $e^{-j0.1\pi}$.



Figuur 2: Overdracht van een filter met twee nulpunten bij $e^{j0.1\pi}$ en $e^{-j0.1\pi}$.

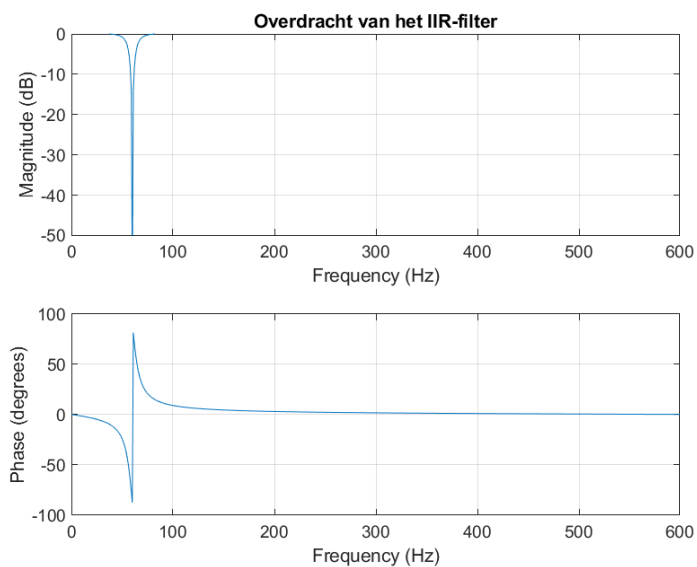


Figuur 3: Een filter met twee nulpunten bij $e^{j0.1\pi}$ en $e^{-j0.1\pi}$ en twee polen bij $r \cdot e^{j0.1\pi}$ en $r \cdot e^{-j0.1\pi}$.

10 Hz moeten we dus eisen dat:

$$\frac{2(1-r)}{\pi} = \frac{10}{600}, \text{ zodat } r = 1 - \frac{\pi}{120} = 0,97382$$

De overdracht van het filter is te zien in [figuur 4](#).



Figuur 4: Overdracht van een filter met twee nulpunten bij $e^{j0.1\pi}$ en $e^{-j0.1\pi}$ en twee polen bij $0.97382e^{j0.1\pi}$ en $0.97382e^{-j0.1\pi}$.