Professur
Allgemeine Nachrichtentechnik
Prof. Dr.-Ing. Udo Zölzer

Helmut Schmidt Universität

Parametrische Shelving-Filter höherer Ordnung

Martin Holters

22.03.2006

Inhalt

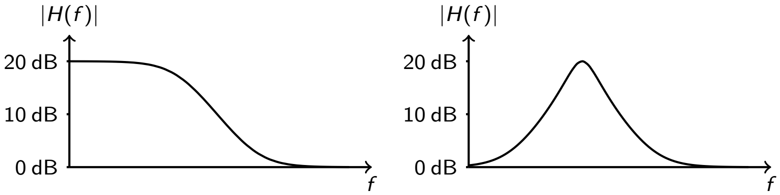
HELMUT SCHMIDT UNIVERSITÄT

- Was sind parametrische Shelving-Filter und wofür werden sie gebraucht?
- Entwurf analoger Tiefen-Shelving-Filter
- Digitale Realisierung
- Übergang zu Band-Shelving-Filtern

Shelving-Filter

- Anhebung/Absenkung in bestimmtem Band
- keine Beeinflussung anderer Frequenzbereiche

Herkömmliche Shelving-Filter 1./2. Ordnung:



Parametrische Shelving-Filter

HELMUT SCHMIDT UNIVERSITÄT

Typische Anwendung von Shelving-Filtern: Audioequalizer

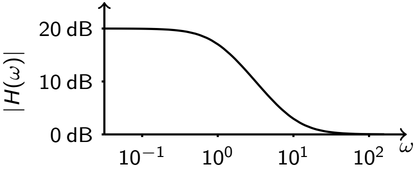
Avalon Design

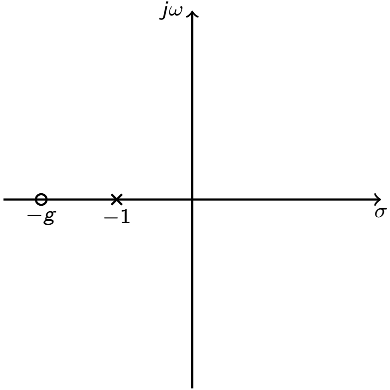
- Kaskade von Shelving-Filtern
- Anhebung, Bandbreite und Mittenfrequenz einstellbar

⇒ Spezielle Struktur nötig, bei der diese Parameter leicht einstellbar sind

Tiefen-Shelving-Filter 1. Ordnung

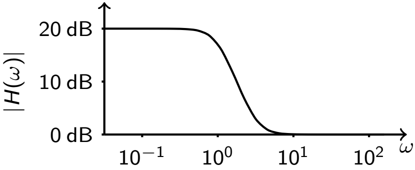
$$H_{TS,1}(s) = \frac{s+g}{s+1}$$

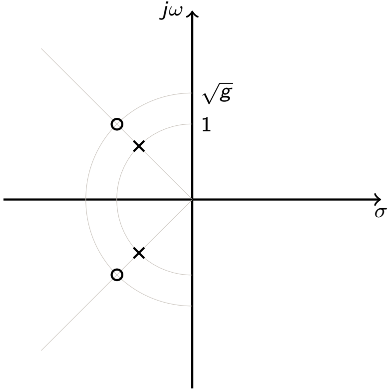




Tiefen-Shelving-Filter 2. Ordnung

$$H_{TS,2}(s) = \frac{s^2 + \sqrt{2g}s + g}{s^2 + \sqrt{2}s + 1}$$



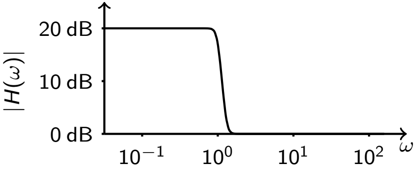


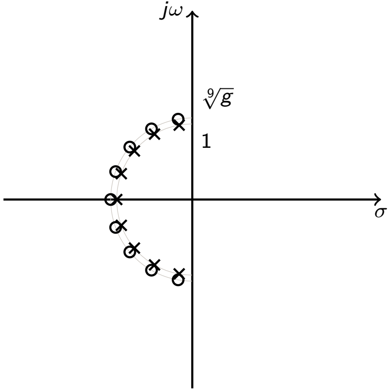
Tiefen-Shelving-Filter M. Ordnung

HELMUT SCHMIDT UNIVERSITÄT

$$H_{TS,M}(s) = \prod_{m=1}^{M} \frac{s + \sqrt[M]{g}\, e^{\alpha_m j}}{s + e^{\alpha_m j}}$$

$$\alpha_m = \left(\frac{1}{2} - \frac{2m-1}{2M}\right)\pi$$

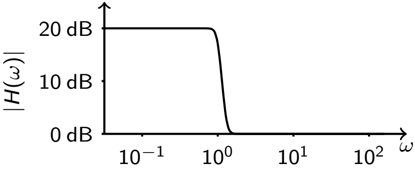


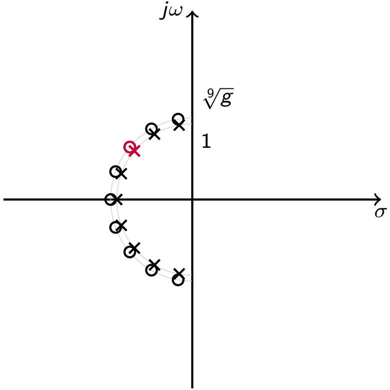


Tiefen-Shelving-Filter M. Ordnung

$$H_{TS,M}(s) = \prod_{m=1}^{M} \underbrace{\frac{s + \sqrt[M]{g}\, e^{\alpha_m j}}{s + e^{\alpha_m j}}}_{H_{TS,M}^{(m)}(s)}$$

$$\alpha_m = \left(\frac{1}{2} - \frac{2m-1}{2M}\right)\pi$$

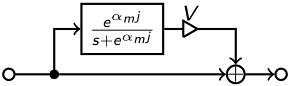




Parametrische Darstellung eines (komplexwertigen) Teilfilters

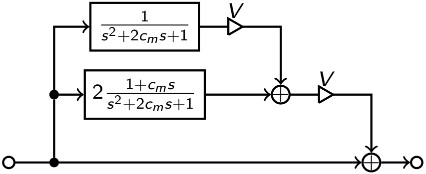
$$H_{TS,M}^{(m)}(s) = \frac{s + \sqrt[M]{g}\, e^{\alpha_m j}}{s + e^{\alpha_m j}}$$

$$= 1 + \underbrace{\left(\sqrt[M]{g} - 1\right)}_{V} \frac{e^{\alpha_m j}}{s + e^{\alpha_m j}}$$



Bildung eines parametrischen, reellwertigen Teilfilters

$$
\begin{aligned}
\bar{H}^{(m)}_{TS,M}(s) &= H^{(m)}_{TS,M}(s) \cdot H^{(M+1-m)}_{TS,M}(s) \\
&= 1 + 2V\frac{1 + c_m s}{s^2 + 2c_m s + 1} + V^2\frac{1}{s^2 + 2c_m s + 1}, \; c_m = \cos(\alpha_m)
\end{aligned}
$$



Bilineare Transformation und Entnormierung

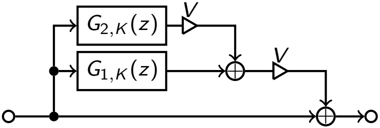
$$s = \frac{1}{K}\frac{z-1}{z+1}, \quad K = \tan\left(\pi \frac{f_c}{f_S}\right)$$

$$\bar{H}^{(m)}_{TS,M}(z) = 1 + V \cdot G_{1,K}(z) + V^2 \cdot G_{2,K}(z)$$

$$G_{1,K}(z) = 2K \frac{K+c_m+2Kz^{-1}+(K-c_m)z^{-2}}{1+2Kc_m+K^2+(2K^2-2)z^{-1}+(1-2Kc_m+K^2)z^{-2}}$$
$$G_{2,K}(z) = K^2 \frac{1+2z^{-1}+z^{-2}}{1+2Kc_m+K^2+(2K^2-2)z^{-1}+(1-2Kc_m+K^2)z^{-2}}$$

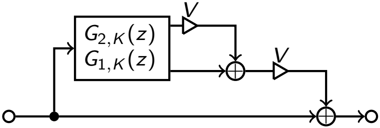
Effizientere Darstellung

- Beide Teilsysteme/Summanden habe den gleichen Nenner



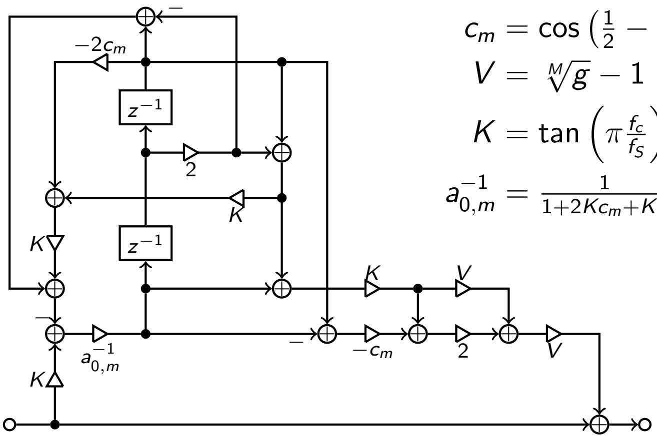
Zwei Teilsysteme zweiter Ordnung

$\Rightarrow$



Ein Teilsystem zweiter Ordnung

Parametrisches Teilfilter 2. Ordnung, optimierte Implementation



$$c_m = \cos\left(\frac{1}{2} - \frac{2m-1}{2M}\pi\right)$$

$$V = \sqrt[M]{g} - 1$$

$$K = \tan\left(\pi\frac{f_c}{f_S}\right)$$

$$a_{0,m}^{-1} = \frac{1}{1+2Kc_m+K^2}$$

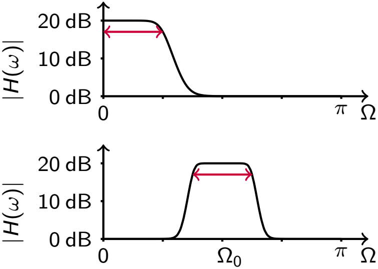
Übergang zu Band-Shelving-Filtern

HELMUT SCHMIDT UNIVERSITÄT

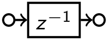
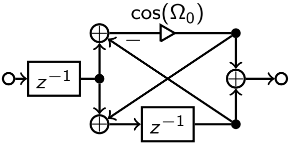
Substitution

$$z^{-1} \leftarrow \frac{\cos(\Omega_0) - z^{-1}}{1 - \cos(\Omega_0) z^{-1}} z^{-1}$$

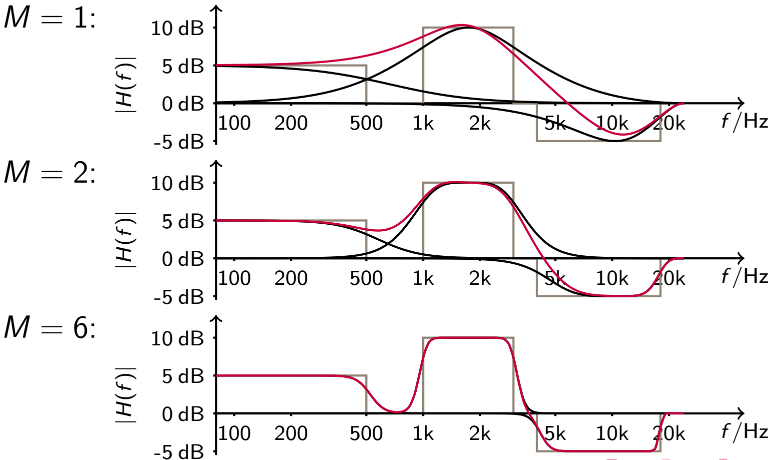
- verschiebt Filter zu Mittenfrequenz Ω_0
- erhält Bandbreite



Realisierung:

Ersetze  durch 

Beispiel eines 3-Band-Systems aus kaskadierten Shelving-Filtern



Zusammenfassung

HELMUT SCHMIDT UNIVERSITÄT

- Entwurf von Shelving-Filtern beliebiger Ordnung
- Digitale Realisierung mit unabhängigen Koeffizienten für
  - Anhebung
  - Mittenfrequenz
  - Bandbreite
- Anwendungsbereiche
  - Digitale Audio-Equalizer
  - Audiocodierung