



# Handout zum Thema Filterentwurf

Patrick Seiler

7. Mai 2009

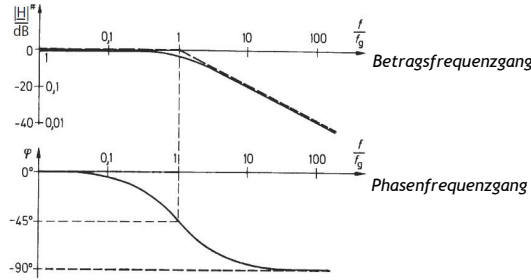


# Frequenzgang



$$\underline{H}(\omega) = |\underline{H}(\omega)| e^{j\varphi(\omega)}$$

Tiefpass erster Ordnung



Grenzfrequenz: Ausgangsgröße 3dB unter Bezugswert  
Steilheit: Ordnung \* 20 dB pro Dekade (→ Trennschärfe)  
Güte: Überschwingen nahe der Grenzfrequenz



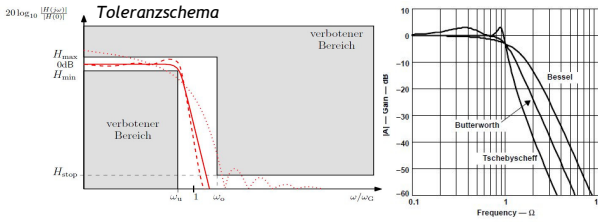
# Anforderungen



- Lineare Filter:
  - pegel- und zeitunabhängig
  - keine Verzerrung
- Nicht-lineare Filter:
  - pegel- und zeitabhängig
  - Verzerrung
- Passive Filter:
  - rein passive Bauelemente
  - keine externe Spannungsversorgung notwendig
- Aktive Filter:
  - mindestens ein aktives Bauelement
  - externe Spannungsversorgung vonnöten
- Ordnung:
  - Filter höherer Ordnung (→ Flankensteilheit) durch Kaskadierung
- Güte:
  - Güte wird abhängig von der Filtertopologie durch Bauelemente oder die gewählte Verstärkung (bei aktiven Filter) beeinflusst



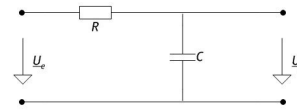
# Optimierung



- Toleranzschema (Abbildung links) visualisiert Filterparameter
- Filtercharakteristik wird berechnet bzw. durch optimierte Frequenzgänge (Abbildung rechts) approximiert, welche verschiedene Eigenschaften mit sich bringen, die Filterparameter betreffend
- Amplitudenverhalten/Welligkeit, Flankensteilheit ...

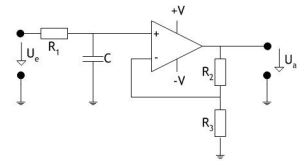


# Filter erster Ordnung



passives RC-Glied eingesetzt als Tiefpass erster Ordnung

$$\underline{H}(\omega) = \frac{U_a(\omega)}{U_e(\omega)} = \frac{Z_c}{Z_R + Z_c} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega CR}$$



RC-Glied mit OPV eingesetzt als aktiver Tiefpass erster Ordnung

$$\underline{H}(\omega) = V \cdot \frac{1}{1 + j\omega CR_1}$$

$$V = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$



# Motivation

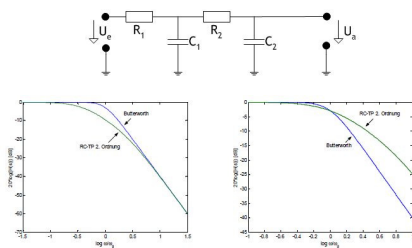


- Probleme aktiver Filter:
- passive Filter sind belastungsanfällig;
    - Änderung der Übertragungsfunktion bei Last
  - ein Filter belastet folglich das vorhergehende Filter;
    - Problem: Kaskadierung
  - mit zunehmender Ordnung passiver Filter werden höhere Bauelementwertigkeiten benötigt (Induktivitäten → Eisenkern);
    - Große, Gewicht, Kosten
  - passive Filter haben keine zusätzliche Spannungsversorgung
    - maximale Verstärkung vom Faktor Eins

- Motivation - Warum aktive Filter?
- Übertragungsfunktion ist unabhängig von der Last (OPV)
  - Kaskadierung folglich unproblematisch
  - keine Induktivitäten notwendig
  - Verstärkung mit einem Faktor größer Eins ist möglich (externe Spannungsquelle)
    - Probleme passiver Filter gelöst
  - weiterer Vorteil: Filterparameter sind elektronisch steuerbar



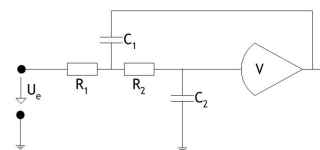
# Filter zweiter Ordnung



- Filterverlauf entweder ausgerichtet an der Flankensteilheit oder an der Grenzfrequenz; optimaler Verlauf nicht möglich
- Verstärkung im Bereich der Grenzfrequenz notwendig
- Sallen-Key - Filter



# Sallen-Key - Filter



RC-Glied mit OPV eingesetzt als aktiver Tiefpass zweiter Ordnung

→ Hochpass kann durch Vertauschen der Elemente mit gleichen Indizes erzeugt werden

$$\underline{H}(\omega) = V \cdot \frac{1}{1 + j\omega(R_2 C_2 + R_1 C_2 + R_1 C_1(1-V)) - \omega^2 R_1 C_1 R_2 C_2}$$

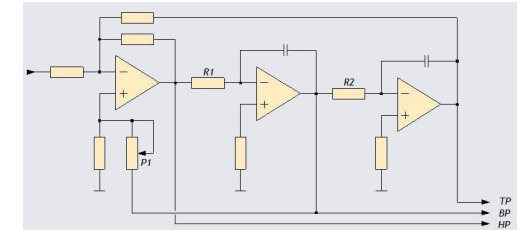
weitere verbreitete Realisierung aktiver Filter:  
Multi Loop Feedback (MLF; insbesondere für Bandpässe geeignet)



# Projekt „Lichtorgel“



Idee: Universalfilter mit Tief-, Band- und Hochpass zweiter Ordnung



- P1 steuert Verstärkung; R1, R2 stellen Filterkoeffizienten ein
- Fragestellungen:
- höhere Ordnung (→ Flankensteilheit → Trennschärfe)
  - weiterer Universalfilter hinter dem Bandpass oder weitere Bandpässe für mehr Kanäle