

Filter mit kritischer Dämpfung

Unter Filter mit kritischer Dämpfung n-ter Ordnung versteht man rückwirkungsfrei kaskadierte Filterstufen erster Ordnung (Prinzip: kaskadierte RC-Glieder). Sie weisen bei der normierten Grenzfrequenz $\Omega=1$ eine Dämpfung von $n \cdot 3\text{dB}$ auf. Die asymptotische Flankensteilheit beträgt $n \cdot 20\text{dB/dek}$ fallend für TP und steigend für HP. Daher geht bei diesem Filtertyp für Ordnungen > 1 die -3.01dB -Frequenz nicht mit der normierten $\Omega=1$ einher.

Filter dieser Art werden aufgrund ihrer relativ schlechten Selektionseigenschaften und geforderten Rückwirkungsfreiheit selten direkt eingesetzt. Meist entstehen solche Filtertypen mehr oder weniger zwangsmässig durch Stufenkoppelkondensatoren. Passive Realisation sind mit RC- oder RL-Gliedern möglich. Aktive Realisationen macht wegen der schlechten Selektionseigenschaften keinen Sinn.

Dabei gelten für Tiefpassfilter allgemein die formalen Zusammenhänge (HP analog):

$$G(s) = \frac{1}{(1+s\tau)^n} \quad n=\text{Filterordnung}, \omega_c=\text{Grenzkreisfrequenz}$$

$$f(\omega) = \frac{1}{(1+j\omega\tau)^n} \quad F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1+\omega^2\tau^2)^n}} \quad F(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{(1+\Omega^2)^n}} \quad \Omega = \omega\tau = \frac{\omega}{\omega_c}$$

$$h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{t^i}{\tau^i \cdot i!} \quad \varphi = -n \cdot \text{atan}(\Omega)$$

3 - dB korrigiert:

$$k = \sqrt[3]{2^n - 1} \quad k=\text{Stufendämpfungsfaktor}$$

$$F(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{(1+k^2\Omega^2)^n}} \quad \varphi = -n \cdot \text{atan}(k\Omega)$$

Positive Eigenschaft dieses Filtertyps ist der welligkeitsfreie Amplitudengang und der daraus resultierende sauber monoton verlaufende Phasengang. Negativ ist aber die bereits bei $\Omega=0.1$ bemerkbare Dämpfung im Durchlassbereich zu sehen.

Aufgaben

1. Dimensionieren Sie ein Tiefpassfilter kritischer Dämpfung mit einer Grenzfrequenz von 1kHz mit einer Flankensteilheit von -80dB/dek .
(Wert der Kondensatoren $C=100\text{nF}$ Benutzen Sie zur geforderten Stufenentkopplung x1-Verstärkerblöcke.)
2. Bestimmen Sie die effektive Dämpfung des Filters aus 1.) bei 10kHz und interpretieren das Resultat bezüglich Flankensteilheit.
3. Welchen Wert erreicht rechnerisch die Sprungantwort nach 2τ bei eine TP kritischer Dämpfung 4. Ordnung?
4. Welche Filterordnung n ist für ein Filter kritischer Dämpfung mit Grenzfrequenz von $f_c=1\text{kHz}$ notwendig, um bei 5kHz eine Dämpfung von 30dB mit zu erhalten?
5. Wie gross ist die Dämpfung aus 4.) bei 500Hz?
6. Wie gross ist die Dämpfung und die Phasenverschiebung bei einem TP kritischer Dämpfung 3. Ordnung bei $3f_c$? (f_c ist -3.01dB -Frequenz)
7. Verifizieren Sie die Resultate mit Computersimulationen mit PSpice. Die Stufenentkopplung realisieren Sie zweckmässigerweise mit spannungsgesteuerten Spannungsquellen des Typs E.

Lösungen:

1. Kaskade von 4 entkoppelten RC Gliedern mit $R=692.3\Omega$.
2. $A=-51.972\text{dB}$
3. $h(t=2\text{Tau},n=4)=0.143$
4. $n=4$ (3.91)
5. $A=0.91$
6. $A=-15.71\text{dB}$, $\varphi=-170.47^\circ$