

Einfaches 50-Hz-Sperrfilter

Bei der Verarbeitung kleiner Spannungen oder Ströme können sich Einkopplungen der 50-Hz-Netzfrequenz störend bemerkbar machen. Kann auf die Frequenzanteile um 50 Hz verzichtet werden, stellt die selektive Unterdrückung dieser Frequenzanteile eine wirksame Kompensationsmaßnahme dar. Wird zur Siebung ein einfacher Serienresonanzkreis verwendet, ist eine ausreichende Unterdrückung der Störfrequenz erreichbar.

Bild 1 zeigt eine einfache Bandsperre auf der Grundlage des LC-Schwingkreises. Unter der Annahme idealer Schaltelemente (verlustfreie Kapazität und Induktivität) lautet die Übertragungsfunktion im Frequenzbereich

$$T(p) = \frac{p^2 + \frac{1}{LC}}{p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{1}{LC}} \quad (1)$$

In Gl. (1) bezeichnet p die komplexe Frequenz ($p = \sigma + j\omega$). Führt man die Begriffe Resonanzfrequenz ω_0 und Güte Q in Gl. (1) ein, folgt eine allgemeine Darstellung für die Übertragungsfunktion $T(p)$ [1].

$$\omega_0 = |p| = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2)$$

$$Q = -\frac{1}{2} \frac{|p|}{\sigma} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3)$$

$$T(p) = \frac{p^2 + \omega_0^2}{p^2 + \frac{\omega_0}{Q}p + \omega_0^2} \quad (4)$$

Aus Gl. (4) kann durch Betragsbildung der Frequenzgang berechnet werden.

Eine wesentliche Rechenvereinfachung ergibt sich bei Verwendung des in [2] beschriebenen Rechenprogrammes, das für den Tischrechner robotron K 1002 erarbeitet wurde. Bild 2 zeigt den berechneten Frequenzgang der Bandsperre mit einer Resonanzfrequenz von $\omega_0 = 2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1}$ und der Güte Q als Parameter. Bei der Resonanzfrequenz ω_0 liegt eine Übertragungsnullstelle, d. h., die Frequenz ω_0 wird theoretisch absolut unterdrückt. Die Güte Q bestimmt die selektiven Eigenschaften der Bandsperre.

Eine weitere wichtige Kenngröße ist das Einschwingverhalten der Ausgangsspannung der Bandsperre bei Änderungen der Eingangsspannung. Die Änderung der Eingangsspannung soll sprungförmig angenommen werden. Zielstellung muß dann sein, daß nach möglichst kurzer Zeit die Ausgangsspannung ihren stationären Wert einnimmt.

Im Bildbereich der Laplacetransformation gilt für die Ein-

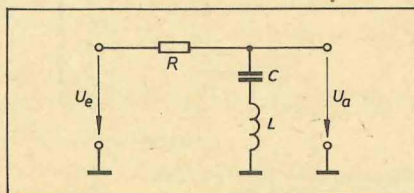


Bild 1: Einfache RLC-Bandsperre

heitssprungfunktion $U_E = 1/p$. Für die Ausgangsspannung gilt dann

$$H(p) = \frac{1}{p} T(p) = \frac{p^2 + \omega_0^2}{(p - p_1)(p - p_2)p} \quad (5)$$

mit

$$p_{1,2} = -\frac{\omega_0}{2Q} \pm j \frac{\omega_0}{2Q} \sqrt{4Q^2 - 1} \quad (6)$$

Um das Verhalten der Ausgangsspannung $u_a(t)$ im Zeitbereich zu bestimmen, ist Gl. (5) einer Laplace-Rücktransformation zu unterziehen. Vorteilhaft arbeitet man hier mit tabellierten Korrespondenzen [3] und erhält

$$h(t) = 1 - \frac{2}{\sqrt{4Q^2 - 1}} \sin \frac{\sqrt{4Q^2 - 1}}{2} \omega_0 t \exp - \frac{\omega_0}{2Q} t \quad (7)$$

Die Auswertung von Gl. (7) ist im Bild 3 dargestellt. Wieder dient die Güte Q als Parameter. Um den Nenner $(4Q^2 - 1)$ nicht gleich Null werden zu lassen, wurde mit einem Wert wenig größer als 0,5 gerechnet. Deutlich ist im Bild 3 das mit steigender Güte zunehmende periodische Einschwingen der

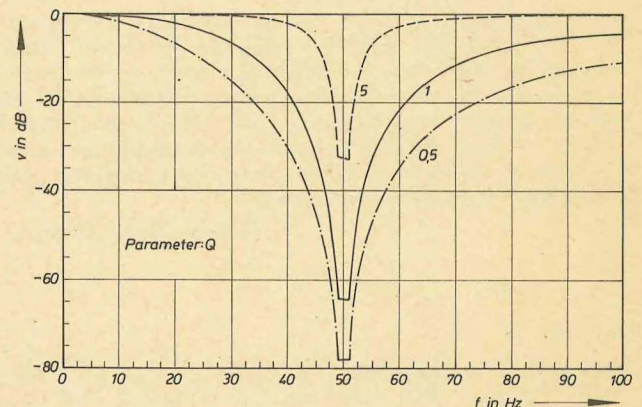


Bild 2: Frequenzgang der Bandsperre

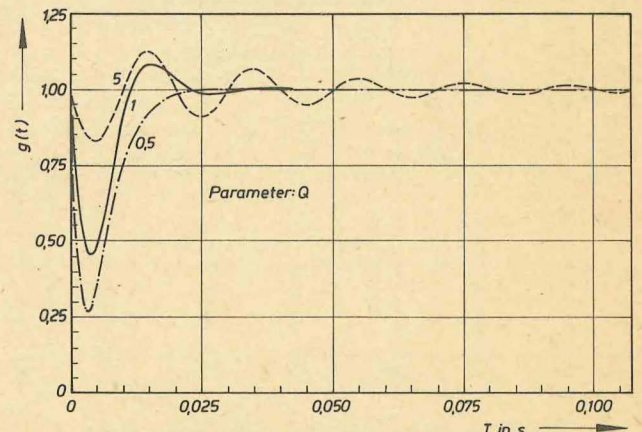


Bild 3: Reaktion der Bandsperre auf Einheitssprungfunktion

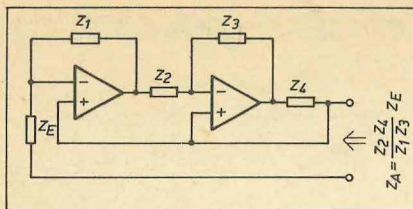


Bild 4:
Verallgemeinerter
PIK (Prinzipschaltbild)

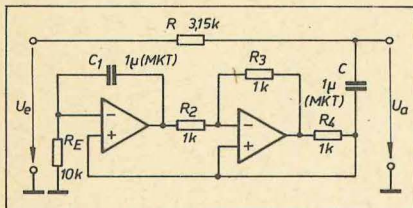


Bild 5: Aktive
Bandsperre
($\omega_0 = 2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1}$,
 $Q = 1$)

Ausgangsspannung zu entnehmen. Aus den Bildern 2 und 3 entnimmt man, daß eine Güte $Q \approx 1$ sicherlich einen günstigen Kompromiß hinsichtlich Selektivität und Einschwingverhalten darstellt.

Praktische Realisierung

Geht man von einer bauelementemäßig günstigen Kapazität von $C = 1 \mu\text{F}$ aus, so wird der einer Resonanzfrequenz $\omega_0 = 2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1}$ entsprechende Induktivitätswert $L \approx 10 \text{ H}$. Ein Induktivitätswert dieser Größenordnung ist jedoch in herkömmlicher Technik kaum vernünftig realisierbar. In aktiver Technik bereitet die Realisierung einer Induktivität auf der Grundlage verallgemeinerter Positivimittanzkonverter (PIK) jedoch keine Schwierigkeiten. Das Prinzipschaltbild des verallgemeinerten PIK und die Beziehung zwischen den Schalt-

elementen Z_i sind im Bild 4 angegeben [1]. Im Bild 5 ist die Anwendung des PIK im Resonanzkreis nach Bild 1 gezeigt. Die Dimensionierung wurde für eine Güte $Q = 1$ vorgenommen.

Erprobt wurde die Schaltung nach Bild 5 mit dem Doppel-Operationsverstärker ICL 8022 (Intersil). Die Meßergebnisse bestätigen das in den Bildern 2 und 3 angegebene Verhalten. Bei Einsatz der Doppel-Operationsverstärker B 2761 oder B 083 aus der DDR-Produktion sind die gleichen Resultate zu erwarten.

Gegenüber der in [4] vorgestellten Schaltungsvariante zeichnet sich die beschriebene Schaltung durch den Verzicht auf engtolerierte Bauelemente aus. Der Kaufpreis ist der erhöhte Aufwand an aktiven Elementen (Operationsverstärkern), der aber bei der Verwendung von Doppel-Operationsverstärkern nicht mehr ins Gewicht fällt.

Ein weiterer Vorteil ist in der Abstimbarkeit der Resonanzfrequenz durch einen massebezogenen Widerstand zu sehen. Nach Gl. (3) wird dadurch jedoch gleichzeitig die Güte Q verändert.

Claus Kühnel

Zentralinstitut des Sportmedizinischen Dienstes

Literatur

- [1] Schindler, D.: Grundlagen linearer aktiver Netzwerke. Berlin: VEB Verlag Technik 1978
- [2] Kühnel, C.: Berechnung des Frequenzganges von elektrischen Netzwerken. radio fernsehen elektronik, Berlin 30 (1981) 1, S. 21–23
- [3] Bronstein, I. N.; Semendjajew, K. A.: Taschenbuch der Mathematik. Leipzig: B.G. Teubner Verlagsges.; Moskau Verlag Nauka 1979
- [4] Skribanowitz, G.: 50-Hz-Sperrfilter mit geringem Aufwand (rfe-Schaltungskatalog 13). radio fernsehen elektronik, Berlin 32 (1983) 2, S. 96