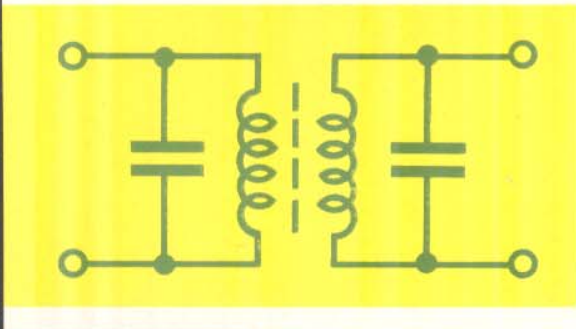


# TELEFUNKEN



## RÖHREN- UND HALBLEITERMITTEILUNGEN

Diagramme zur einfachen Berechnung von  
Zweikreis-Bandfiltern mit beliebiger Kopplung



$$|G| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{p^4}{D^2 + 3 - 2\sqrt{D^2 + 2}} \cdot \frac{p^2(D^2 + 2 - 2\sqrt{D^2 + 2})}{D^2 + 3 - 2\sqrt{D^2 + 2}}}}$$

$D=0,1$

$D=1/2$

$D=1$

Übersicht über die bisher herausgegebenen Telefunken-Röhrenmitteilungen für die Industrie gibt Ihnen das regelmäßig zum Ende eines jeden Vierteljahres erscheinende Inhaltsverzeichnis. Alle darin genannten Mitteilungen können jederzeit vom technischen Kundendienst der TELEFUNKEN GmbH., Röhrenvertrieb Ulm-Donau, Söflinger Str. 100, nachgefordert werden.

---

**Diese Mitteilung dient nur zu Ihrer Information. Nachdruck (auch auszugsweise) bedarf unserer Zustimmung. Lizenz- und Schutzrechtsfragen liegen außerhalb dieser techn. Information.**

Druck: Hartmann Ulm-Do. Printed in Western Germany



## Diagramme zur einfachen Berechnung von Zweikreis-Bandfiltern mit beliebiger Kopplung

### ZUSAMMENFASSUNG

Diese RMI enthält Diagramme zur Berechnung von Zweikreis-Bandfiltern mit beliebiger Kopplung. Die Berechnung erfolgt aus Betriebsgrößen des Bandfilters, die in der Schaltung direkt meßbar sind. Diese Größen sind: Gesamtbandbreite des Bandfilters sowie Betriebsbandbreiten und Resonanzwiderstände der Einzelkreise.

Die Diagramme ergeben sich durch Umformung und Normierung der bekannten allgemeinen Berechnungsgrundlagen.

Besonders herausgestellt sind die Sonderfälle der transitionalen und der optimalen Kopplung. Als Anwendungsbeispiele werden berechnet:

- Je ein Zweikreis-Bandfilter mit
- überkritischer Kopplung
  - transitionaler Kopplung
  - optimaler Kopplung

### INLEITUNG

In selektiven Verstärkern für hohe Frequenzen werden in den meisten Fällen Zweikreis-Bandfilter verwendet. Die Dimensionierung solcher Filter nach den bekannten Berechnungsgrundlagen erfordert die Kenntnisse der Grundgrößen des Filters:

- des Kopplungsfaktors,
- der Kreisgüten,
- der Kreisinduktivitäten, bzw. der Kreiskapazitäten.

Diese Größen lassen sich bei Bandfiltern für hohe Frequenzen z. T. nicht unmittelbar in der Schaltung messen, sondern können nur durch mittelbare Messungen bestimmt werden.

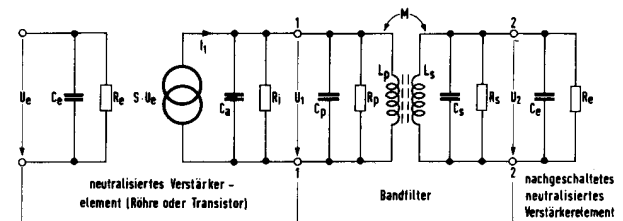
Meßgrößen des Bandfilters, die unmittelbar in der Schaltung gemessen werden können, sind:

- die Gesamtbandbreite des Bandfilters,
- die Bandbreiten der Einzelkreise,
- die Resonanzwiderstände der Einzelkreise.

In dieser RMI werden die bekannten Berechnungsgrundlagen für das Zweikreis-Bandfilter so umgeformt, daß sie nur diese Größen enthalten.

### 1. DIE ALLGEMEINEN GLEICHUNGEN FÜR DAS ZWEIKREIS-BANDFILTER

Bandfilter sind im allgemeinen als Kopplungsglieder zwischen Verstärkerelemente geschaltet. Es ist deshalb sinnvoll, die Wirkungsweise des Bandfilters zusammen mit diesen Verstärkerelementen zu betrachten. Schaltet man durch geeignete Neutralisationsmaßnahmen die Rückwirkung des Verstärkerelementes aus, so erhält man die Zusammenschaltung, die Bild 1 zeigt.



**Bild 1**

Prinzipschaltung einer neutralisierten Verstärkerstufe

In Bild 1 sind:

$R_p$  und  $R_s$  die Resonanzwiderstände von Primär- und Sekundärkreis (ohne Belastung durch die Verstärkerelemente)

$C_p$  und  $C_s$  die Primär- und Sekundär-Kreiskapazitäten (einschließlich Spulenkapazitäten) ohne Ausgangs- und Eingangskapazitäten der Verstärkerelemente

$L_p$  und  $L_s$  die Kreisinduktivitäten der Einzelkreise

$C_a$  die Ausgangskapazität

$R_i$  der Innenwiderstand

$C_e$  die Eingangskapazität

$R_e$  der Eingangswiderstand des neutralisierten Verstärkerelementes bzw. bei Anschluß der Verstärkerelemente an Spulenzapfungen oder über kapazitive Spannungsteiler die an die Punkte 1.1 und 2.2 transformierten Größen.

Für die Berechnung der Schaltung nach Bild 1 zieht man die gleichartigen Größen zusammen und erhält so die Ersatzschaltung nach Bild 2 mit:

$Z_1$  Resonanzwiderstand des Primärkreises im Betrieb bei kurzgeschlossenem Sekundärkreis

$$Z_1 = R_i \parallel R_p = \frac{R_i \cdot R_p}{R_i + R_p}$$

$Z_2$  Resonanzwiderstand des Sekundärkreises im Betrieb bei kurzgeschlossenem Primärkreis

$$Z_2 = R_e \parallel R_s = \frac{R_e \cdot R_s}{R_e + R_s}$$

$C_1$  Gesamtkapazität des Primärkreises bei kurzgeschlossenem Sekundärkreis

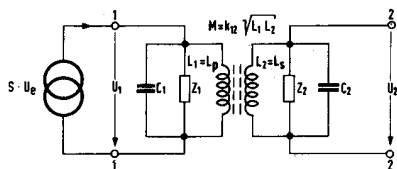
$$C_1 = C_a \parallel C_p = C_a + C_p$$

$C_2$  Gesamtkapazität des Sekundärkreises bei kurzgeschlossenem Primärkreis

$$C_2 = C_e \parallel C_s = C_e + C_s$$

$\omega_0$  Resonanzfrequenz

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$



**Bild 2**

Ersatzschaltung für die Berechnung der Prinzipschaltung von Bild 1

Zur Aufstellung der allgemeinen Gleichungen des Zweikreis-Bandfilters, wie sie in [1] für den allgemeinen Fall angegeben sind, führt man ein:

$$\text{Betriebsgüte des Primärkreises} \quad Q_1 = Z_1 \omega_0 C_1 \quad (1)$$

$$\text{Betriebsgüte des Sekundärkreises} \quad Q_2 = Z_2 \omega_0 C_2 \quad (2)$$

und definiert

**die normierte Kopplung**

$$n = k_{12} \sqrt{Q_1 Q_2} \quad (3)$$

wobei  $k_{12}$  der Kopplungsfaktor ist, Bild 2

**die normierte Verstimmung**

$$\Omega = \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \sqrt{Q_1 Q_2} \quad (4)$$

Die Gleichungen für das Zweikreis-Bandfilter mit beliebiger Kopplung lauten für den allgemeinen Fall [1]:

**Übertragungswiderstand:**

$$Z_{\bar{u}} = \frac{U_2}{I_1}$$

$$Z_{\bar{u}} = -j \frac{n \sqrt{Z_1 Z_2}}{1 + n^2 - \Omega^2 + j \Omega \left( \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}} + \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}} \right)} \quad (5)$$

**Eingangswiderstand:**

$$Z_e = \frac{U_1}{I_1}$$

$$Z_e = \frac{Z_1 \left( 1 + j \Omega \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}} \right)}{1 + n^2 - \Omega^2 + j \Omega \left( \sqrt{\frac{Q_1}{Q_2}} + \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}} \right)} \quad (6)$$

**Selektion:**

$$|\sigma| = \left| \frac{U_2(f)}{U_2(f_0)} \right|$$

$$|\sigma| = \frac{1 + n^2}{\sqrt{(1 + n^2 - \Omega^2)^2 + \Omega^2 \left( \frac{Q_1}{Q_2} + \frac{Q_2}{Q_1} + 2 \right)}} \quad (7)$$

## 2. DIE UMFORMUNG DER ALLGEMEINEN GLEICHUNGEN

Die Umformung der allgemeinen Gleichungen (5), (6), (7) erfolgt so, daß sie nur noch folgende in der Schaltung meßbare Größen des Bandfilters enthalten:

$b_1$  = Betriebsbandbreite des Primärkreises bei kurzgeschlossenem Sekundärkreis

$b_2$  = Betriebsbandbreite des Sekundärkreises bei kurzgeschlossenem Primärkreis

$B$  = Gesamtbandbreite des Bandfilters im Betrieb

$Z_1$  = Resonanzwiderstand des Primärkreises im Betrieb bei kurzgeschlossenem Sekundärkreis

$Z_2$  = Resonanzwiderstand des Sekundärkreises im Betrieb bei kurzgeschlossenem Primärkreis

Als Betriebsbandbreite der Einzelkreise erhält man bei der Resonanzfrequenz  $f_0$  des Bandfilters:

$$b_1 = \frac{f_0}{Q_1} \quad (8)$$

$$b_2 = \frac{f_0}{Q_2} \quad (9)$$



Für die normierte Verstimmung ergibt aus den Gleichungen (4), (8), (9):

$$\Omega = \left( \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \frac{f_0}{\sqrt{b_1 b_2}} \quad (10)$$

Mit den Gleichungen (8) und (9) lauten die allgemeinen Gleichungen (5), (6), (7):

$$\underline{Z}_v = -j \frac{n \sqrt{Z_1 Z_2}}{1 + n^2 - \Omega^2 + j \Omega \left( \sqrt{\frac{b_2}{b_1}} + \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} \right)} \quad (11)$$

$$\underline{Z}_e = \frac{Z_1 \left( 1 + j \Omega \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} \right)}{1 + n^2 - \Omega^2 + j \Omega \left( \sqrt{\frac{b_2}{b_1}} + \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} \right)} \quad (12)$$

$$|\sigma| = \frac{1 + n^2}{\sqrt{(1 + n^2 - \Omega^2)^2 + \Omega^2 \left( \frac{b_2}{b_1} + \frac{b_1}{b_2} + 2 \right)}} \quad (13)$$

Die Gleichungen (11), (12), (13) enthalten noch die normierte Kopplung  $n$  mit dem Kopplungsfaktor  $k_{12}$ , Gleichung (3). Zur Darstellung von  $k_{12}$  durch die Meßgrößen des Bandfilters gehen wir von der Selektion  $|\sigma|$ , Gleichung (13), aus. Die darin enthaltene normierte Verstimmung  $\Omega$  enthält nach Gleichung (10) die Verstimmung  $\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}$ . Für Frequenzen in der Nähe der

Resonanzfrequenz  $f_0$  gilt folgende Beziehung:

$$\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \approx \frac{2\Delta f}{f_0} \quad (14)$$

Über die Gleichung (13) wird die Gesamtbandbreite  $B$  eines Bandfilters als die Frequenzdifferenz, die zu  $|\sigma| = \frac{1}{\sqrt{2}}$  gehört, definiert. Für  $|\sigma| = \frac{1}{\sqrt{2}}$  ist

$$2\Delta f \left( \left| \sigma \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = B \quad (15)$$

Mit diesen Bedingungen, Gleichungen (14) und (15), ergibt sich aus Gleichung (13) für die normierte Kopplung:

$$n = \sqrt{\frac{B^2}{b_1 b_2} \left( \sqrt{2 + \frac{(b_1 + b_2)^2}{B^2}} - 1 \right) - 1} \quad (16)$$

Die Gesamtkapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  des Primär- und des Sekundärkreises erhält man aus den Gleichungen (1) und (2) mit den Gleichungen (8) und (9).

$$C_1 = \frac{1}{2\pi b_1 Z_1} \quad (17)$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi b_2 Z_2} \quad (18)$$

Die Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$  des Primär- und Sekundärkreises sind

$$L_1 = \frac{1}{\omega_0^2 C_1} \quad (19)$$

$$L_2 = \frac{1}{\omega_0^2 C_2} \quad (20)$$

### 3. DARSTELLUNG DER ALLGEMEINEN GLEICHUNGEN IN DIAGRAMMEN

In der Praxis interessieren vor allem:

- Die Selektionskurve des Bandfilters
- Der Übertragungswiderstand  $Z_{ü0}$  bei der Resonanzfrequenz  $f_0$
- Der Eingangswiderstand  $Z_{e0}$  bei der Resonanzfrequenz  $f_0$
- Der Ausgangswiderstand  $Z_{a0}$  bei der Resonanzfrequenz  $f_0$

Um bei der praktischen Anwendung langwierige Rechenoperationen zu vermeiden, werden die allgemeinen Gleichungen (11), (12), (13) normiert und in Diagrammen dargestellt.

#### Die normierten Größen $a$ , $D$ , $p$ :

$$\frac{b_2}{b_1} = a \quad (21)$$

$$\frac{b_1(1+a)}{B} = \frac{b_1 + b_2}{B} = D \quad (22)$$

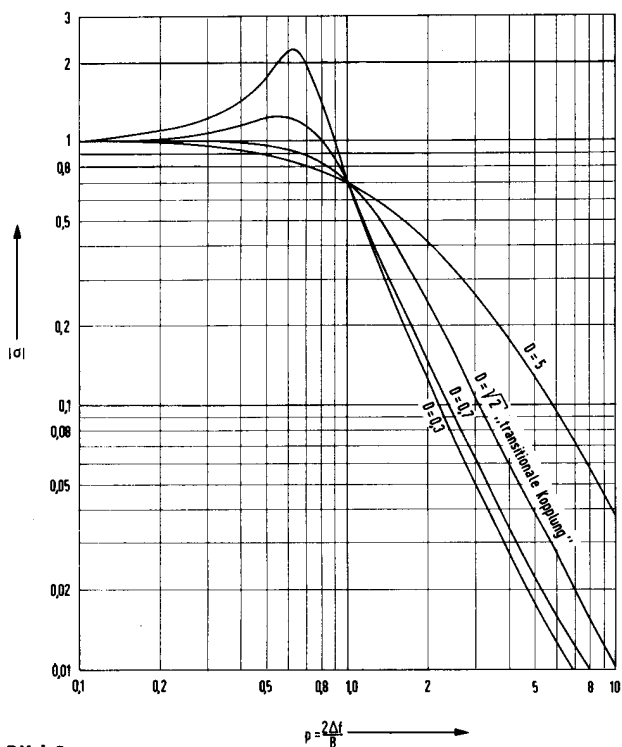
Die Verstimmung  $\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \approx \frac{2\Delta f}{f_0}$ , Gleichung (14),

wird durch ein Vielfaches  $p$  der Gesamtbandbreite  $B$  ausgedrückt:

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{pB}{f_0}$$

$$\frac{2\Delta f}{B} = p \quad (23)$$

Die Gleichungen (21), (22), (23) sind die Definitionsgleichungen für die normierten Größen.



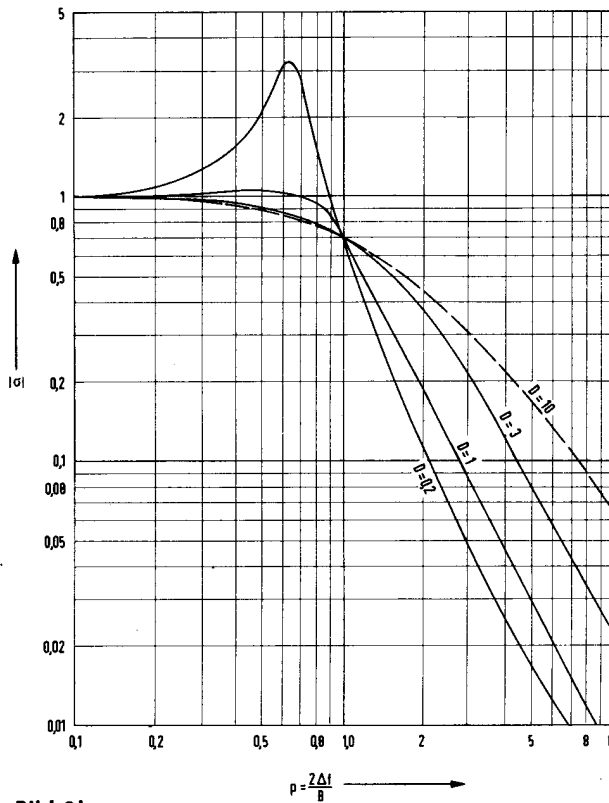
**Bild 3a**

Normierte Selektion  $|\sigma| = \left| \frac{U_2(f)}{U_2(f_0)} \right|$

$$= \left[ 1 + \frac{p^4 + p^2 (D^2 + 2 - 2\sqrt{D^2 + 2})}{D^2 + 3 - 2\sqrt{D^2 + 2}} \right]^{-1/2}$$

Gl. (24), für  $D = 0,3 - 0,7 - 2 - 5$

$D = 0,2 - 1 - 3 - 10 \rightarrow$  Bild 3 b  
 $D = 0,1 - 0,5 - 2 - 7 \rightarrow$  Bild 3 c



**Bild 3b**

Normierte Selektion  $|\sigma| = \left| \frac{U_2(f)}{U_2(f_0)} \right|$

$$= \left[ 1 + \frac{p^4 + p^2 (D^2 + 2 - 2\sqrt{D^2 + 2})}{D^2 + 3 - 2\sqrt{D^2 + 2}} \right]^{-1/2}$$

Gl. (24), für  $D = 0,2 - 1 - 3 - 10$

$D = 0,3 - 0,7 - 2 - 5 \rightarrow$  Bild 3 a  
 $D = 0,1 - 0,5 - 2 = 7 \rightarrow$  Bild 3 c

Die Selektion  $|\sigma|$ , Gleichung (13), geht dann über in:

$$|\sigma| = \left[ 1 + \frac{p^4 + p^2 (D^2 + 2 - 2\sqrt{D^2 + 2})}{D^2 + 3 - 2\sqrt{D^2 + 2}} \right]^{-1/2} \quad (24)$$

Die graphische Darstellung  $|\sigma| = f(p, D)$  zeigt Bild 3a, 3b, 3c.

Die Selektionskurven haben für  $D < \sqrt{2}$  Höcker.

Der Abstand der Höcker  $\Delta f_H$  von der Resonanzfrequenz  $f_0$  ergibt sich aus

$$\frac{d|\sigma|}{d\Delta f} = 0$$

zu

$$\Delta f_H = \pm \frac{B}{2} \sqrt{\sqrt{D^2 + 2} - \left(\frac{D^2 + 1}{2}\right)} \quad (25)$$

Die Funktion  $\sqrt{\sqrt{D^2 + 2} - \left(\frac{D^2 + 1}{2}\right)} = f(D)$

ist in Bild 4 dargestellt.

TELEFUNKEN  
RÖHREN- UND HALBLEITERMITTEILUNGEN



BLATT 4

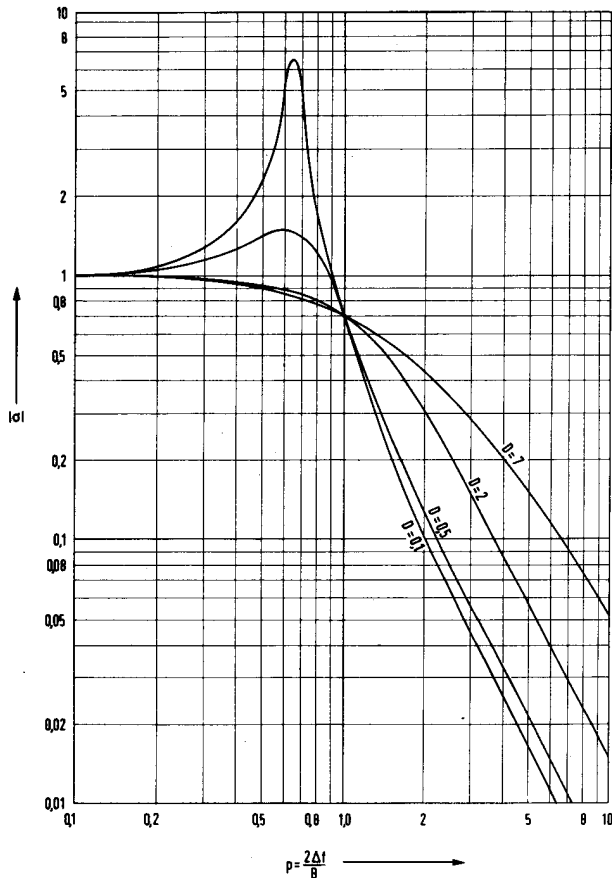


Bild 3c

Normierte Selektion  $|\sigma| = \left| \frac{U_2(f)}{U_2(f_0)} \right|$

$$= \left[ 1 + \frac{p^4 + p^2 (D^2 + 2 - 2\sqrt{D^2 + 2})}{D^2 + 3 - 2\sqrt{D^2 + 2}} \right]^{-1/2}$$

Gl. (24), für  $D = 0,1 - 0,5 - 2 - 7$

$D = 0,3 - 0,7 - 2 - 5 \rightarrow$  Bild 3 a  
 $D = 0,2 - 1 - 3 - 10 \rightarrow$  Bild 3 b

Die normierte Kopplung  $n$ , Gleichung (16), errechnet sich mit den Gleichungen (21) und (22) zu:

$$n = \sqrt{\frac{(1+a)^2}{a D^2} (\sqrt{D^2 + 2} - 1) - 1} \quad (26)$$

Die graphische Darstellung von  $n = f(\alpha, D)$  zeigt Bild 5.

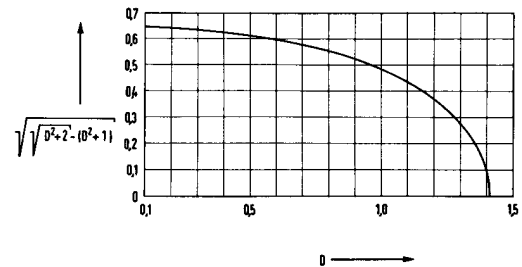


Bild 4

$\sqrt{D^2 + 2} - (\frac{D^2}{2} + 1) = f(D)$ . Der Abstand der Höcker der normierten Selektionskurve von der Resonanzfrequenz  $f_0$  ist

$$\Delta f_H = \pm \frac{B}{2} \sqrt{D^2 + 2 - (\frac{D^2}{2} + 1)}, \text{ Gl. (25)}$$

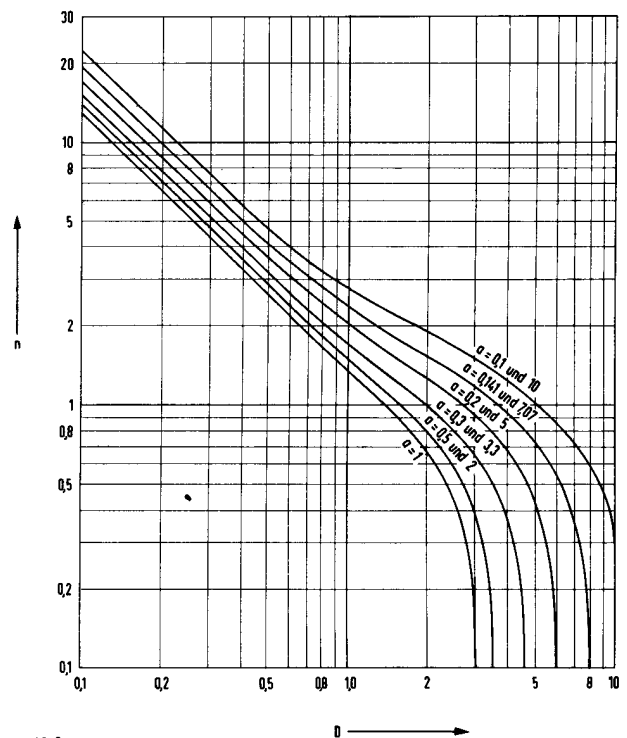


Bild 5

Normierte Kopplung

$$n = \sqrt{\frac{(1+a)^2}{a D^2} (\sqrt{D^2 + 2} - 1) - 1}, \text{ Gl. (26)}$$

Der **Übertragungswiderstand**  $Z_{\bar{u}o}$  für die Resonanzfrequenz ergibt sich nach Gleichung (11) für  $f = f_o$  aus  $|Z_{\bar{u}}|$ :

$$Z_{\bar{u}o} = \frac{n}{1+n^2} \sqrt{Z_1 Z_2} \quad (27)$$

Die Zahlenwerte für  $\frac{n}{1+n^2}$  in Abhängigkeit von  $n$  zeigt

Bild 6.

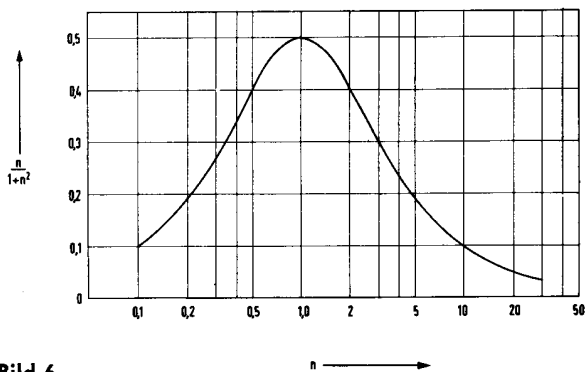


Bild 6

$\frac{n}{1+n^2} = f(n)$ . Der Übertragungswiderstand bei beliebiger

Kopplung ist  $Z_{\bar{u}o} = \frac{n}{1+n^2} \sqrt{Z_1 Z_2}$ , Gl. (27)

Der **Eingangswiderstand**  $Z_{eo}$  für Resonanzfrequenz ist der Absolutwert der Gleichung (12) für  $f = f_o$

$$Z_{eo} = \frac{Z_1}{1+n^2} \quad (28)$$

Der **Ausgangswiderstand**  $Z_{ao}$  für die Resonanzfrequenz folgt aus Gleichung (12) mit  $Z_2$  für  $f = f_o$

$$Z_{ao} = \frac{Z_2}{1+n^2} \quad (29)$$

### 3.1 Sonderfälle

#### 3.1.1 Die „transitionale Kopplung“

Diejenige Kopplung, bei der gerade keine Höcker mehr in der Selektionskurve auftreten, wird als „transitionale Kopplung“ bezeichnet. Diese Kopplungsart wird in selektiven HF-Verstärkern mit mehreren Stufen vorzugsweise verwendet. Hierfür ist nach Bild 3 a:

$$D_T = \sqrt{2}$$

Die **Gesamtbandbreite des Filters** ist nach Gleichung (21) und (22):

$$B_T = \frac{b_1 + b_2}{\sqrt{2}} \quad (30)$$

Der **Übertragungswiderstand**  $Z_{\bar{u}oT}$  ergibt sich aus Gleichung (27) mit Gleichung (26)

$$Z_{\bar{u}oT} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)}}{1 + \frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)} \sqrt{Z_1 Z_2} \quad (31)$$

Der Faktor  $\frac{\sqrt{\frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)}}{1 + \frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)}$  ist als Funktion von

$a = \frac{b_2}{b_1}$  in Bild 7 aufgetragen.

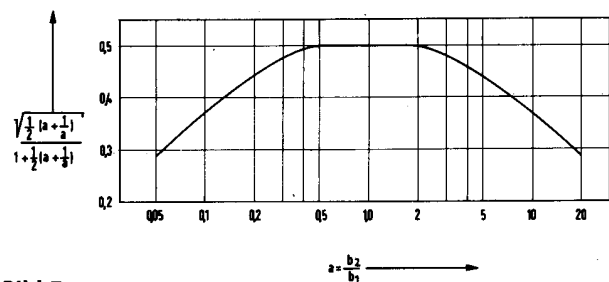


Bild 7

$\frac{\sqrt{\frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)}}{1 + \frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)} = f(a)$ . Der Übertragungswiderstand

bei transistionaler Kopplung ist

$$Z_{\bar{u}oT} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)}}{1 + \frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)} \sqrt{Z_1 Z_2}, \text{ Gl. (31)}$$

Der **Eingangswiderstand**  $Z_{eoT}$  folgt aus Gleichung (28).

$$Z_{eoT} = \frac{Z_1}{1 + \frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)} \quad (32)$$

Den **Ausgangswiderstand**  $Z_{aoT}$  erhält man aus Gleichung (29).

$$Z_{aoT} = \frac{Z_2}{1 + \frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)} \quad (33)$$





## 3.12 Die „optimale Kopplung“

Hierunter wird die Kopplung verstanden, bei der die Spannung  $U_2$  (Bild 2) für die Resonanzfrequenz  $f_0$  den größten Wert hat. Die normierte Kopplung ist dann:

$$n_{\text{opt}} = 1$$

Die **Gesamtbandbreite des Filters** ist nach Gleichung (22)

$$B_{\text{opt}} = \frac{b_1(1+a)}{D_{\text{opt}}} = \frac{b_2\left(1+\frac{1}{a}\right)}{D_{\text{opt}}} = \frac{b_1+b_2}{D_{\text{opt}}} \quad (34)$$

$D_{\text{opt}}$  errechnet sich aus Gleichung (26) mit  $n = 1$  zu:

$$D_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{(1+a)^2}{4a} \left( \frac{(1-a)^2}{2a} + \sqrt{\frac{(1-a)^4}{4a^2} + 4} \right)} \quad (35)$$

$\frac{1+a}{D_{\text{opt}}}$  und  $\frac{1+\frac{1}{a}}{D_{\text{opt}}}$  sind im Bild 8 als Funktion von  $a$  aufgetragen.

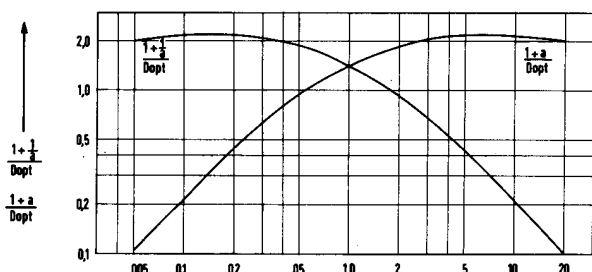


Bild 8

$$\frac{1+\frac{1}{a}}{D_{\text{opt}}} \text{ und } \frac{1+a}{D_{\text{opt}}} = f(a).$$

Die Gesamtbandbreite bei optimaler Kopplung ist

$$B_{\text{opt}} = b_1 \frac{1+a}{D_{\text{opt}}} = b_2 \frac{1+\frac{1}{a}}{D_{\text{opt}}}, \text{ Gl. (34)}$$

Der **Übertragungswiderstand**  $Z_{\text{üo opt}}$  ergibt sich aus Gleichung (27)

$$Z_{\text{üo opt}} = \frac{1}{2} \sqrt{Z_1 Z_2} \quad (36)$$

Der **Eingangswiderstand**  $Z_{\text{eo opt}}$  folgt aus Gleichung (28)

$$Z_{\text{eo opt}} = \frac{Z_1}{2} \quad (37)$$

Den **Ausgangswiderstand**  $Z_{\text{ao opt}}$  erhält man aus Gleichung (29)

$$Z_{\text{ao opt}} = \frac{Z_2}{2} \quad (38)$$

4. ANWENDUNG DER DIAGRAMME  
ZUR BANDFILTERBERECHNUNG:4.1 Berechnung eines Zweikreis-Bandfilters  
mit folgenden Daten:

$$B = 11,4 \text{ MHz}$$

$$b_1 = 2 \text{ MHz, } \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{ (mit angeschaltetem Verstärkerelement)}$$

$$Z_1 = 5 \text{ k}\Omega \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{ (bei Belastung mit dem Eingang des nachgeschalteten Verstärkerelements)}$$

$$b_2 = 6 \text{ MHz, } \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$Z_2 = 2,6 \text{ k}\Omega \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

$$a = \frac{b_2}{b_1} = 3$$

und nach Gleichung (22)

$$D = \frac{b_1 + b_2}{B} = \frac{(2 + 6) \text{ MHz}}{11,4 \text{ MHz}} \approx 0,7$$

Die **Selektionskurve**  $|a|$  dieses Filters entspricht der Kurve für  $D = 0,7$ , Bild 3 a.

Diese Selektionskurve hat Höcker. Der **Abstand der Höcker von der Resonanzfrequenz**  $f_0$  ist nach Gleichung (25)

$$\text{mit } \sqrt{\sqrt{D^2 + 2} - \left(\frac{D^2}{2} + 1\right)} = 0,575 \text{ aus Bild 4 für}$$

$$D = 0,7:$$

$$\Delta f_H = \pm \frac{B \cdot 0,575}{2} = \pm \frac{11,4 \text{ MHz} \cdot 0,575}{2} = \pm 3,28 \text{ MHz}$$

Die Maxima der Höcker liegen mit einem Abstand von  $\pm 3,28 \text{ MHz}$  symmetrisch um die Resonanzfrequenz  $f_0$ .

Die **normierte Kopplung**  $n$  dieses Filters folgt aus Bild 5. Für  $D = 0,7$  und  $a = 3$  ist:

$$n = 2,3$$

Der **Übertragungswiderstand für die Resonanzfrequenz** ergibt sich nach Gleichung (27) mit

$$\frac{n}{1+n^2} = 0,366 \text{ aus Bild 6 für } n = 2,3$$

$$Z_{\bar{u}o} = 0,366 \sqrt{5 \text{ k}\Omega \cdot 2,6 \text{ k}\Omega} = 1,32 \text{ k}\Omega$$

Der **Eingangswiderstand** ist nach Gleichung (28)

$$Z_{eo} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{1+2,3^2} = 0,795 \text{ k}\Omega$$

und der **Ausgangswiderstand** ist nach Gleichung (29)

$$Z_{ao} = \frac{2,6 \text{ k}\Omega}{1+2,3^2} = 0,413 \text{ k}\Omega$$

Die **Gesamtkapazitäten  $C_1$  und  $C_2$  der Einzelkreise** sind nach den Gleichungen (17) und (18)

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 5 \cdot 10^3 \Omega} = 15,9 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 15,9 \text{ pF}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 6 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 2,6 \cdot 10^3 \Omega} = 10,2 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 10,2 \text{ pF}$$

Die **Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$**  errechnen sich aus den Gleichungen (19) und (20).

#### 4.2 Berechnung eines transitional gekoppelten Zweikreis-Bandfilters mit folgenden Daten:

$$B_T = 11,4 \text{ MHz}$$

$$b_1 = 2 \text{ MHz,}$$

$$Z_1 = 5 \text{ k}\Omega$$

Nach Gleichung (30) ist:

$$b_2 = B_T \sqrt{2} - b_1 = 11,4 \text{ MHz} \sqrt{2} - 2 \text{ MHz} = 14,1 \text{ MHz}$$

Die **Selektionskurve  $|o|$**  für dieses Filter entspricht der Kurve für  $D = \sqrt{2}$  aus Bild 3 a.

Zur Berechnung des Übertragungswiderstandes fehlt noch die Angabe für  $Z_2$  bei der Bandbreite  $b_2 = 14,1 \text{ MHz}$ . Nehmen wir an, daß die Gesamtkapazität des Sekundärkreises  $C_2 = 10,2 \text{ pF}$  sein soll, also genau so groß wie im Beispiel 4.1, so ist der Resonanzwiderstand des Sekundärkreises im Betrieb nach Gleichung (18):

$$Z_2 = \frac{1}{2\pi b_2 C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 14,1 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 10,2 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 1,11 \text{ k}\Omega$$

Nach Gleichung (21) ist:

$$a = \frac{14,1 \text{ MHz}}{2 \text{ MHz}} = 7,05$$

Der **Übertragungswiderstand  $Z_{\bar{u}oT}$**  ergibt sich nach Gleichung (31). Für  $a = 7,05$  erhält man aus Bild 7

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)}}{1 + \frac{1}{2} \left( a + \frac{1}{a} \right)} = 0,41$$

Damit wird

$$Z_{\bar{u}oT} = 0,41 \sqrt{5 \text{ k}\Omega \cdot 1,11 \text{ k}\Omega} = 0,965 \text{ k}\Omega$$

Der **Eingangswiderstand  $Z_{eoT}$**  ist nach Gleichung (32)

$$Z_{eoT} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{1 + \frac{1}{2} \left( 7,05 + \frac{1}{7,05} \right)} = 1,09 \text{ k}\Omega$$

und der **Ausgangswiderstand  $Z_{aoT}$**  ist nach Gl. (33):

$$Z_{aoT} = \frac{1,11 \text{ k}\Omega}{1 + \frac{1}{2} \left( 7,05 + \frac{1}{7,05} \right)} = 0,242 \text{ k}\Omega$$

Die **Gesamtkapazität  $C_1$  des Primärkreises** ist nach Gleichung (17)

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 5 \cdot 10^3 \Omega} = 15,9 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 15,9 \text{ pF}$$

Die **Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$**  errechnen sich aus den Gleichungen (19) und (20)

#### 4.3 Berechnung eines „optimal gekoppelten“ Zweikreis-Bandfilters mit folgenden Daten:

$$B_{opt} = 11,4 \text{ MHz}$$

$$b_2 = 6 \text{ MHz,}$$

$$Z_2 = 2,6 \text{ k}\Omega$$

Nach Gleichung (34) ist

$$\frac{1 + \frac{1}{a}}{D_{opt}} = \frac{B_{opt}}{b_2} = \frac{11,4 \text{ MHz}}{6 \text{ MHz}} \approx 1,9$$

TELEFUNKEN  
RÖHREN- UND HALBLEITERMITTEILUNGEN



## BLATT 6

Aus Bild 8 erhält man für  $\frac{1 + \frac{1}{a}}{D_{\text{opt}}} = 1,9$ :

$$a = 0,48$$

Die Bandbreite des Primärkreises ist nach Gl. (21)

$$b_1 = \frac{b_2}{a} = \frac{6 \text{ MHz}}{0,48} = 12,5 \text{ MHz}$$

Für  $D_{\text{opt}}$  ergibt sich aus Gleichung (34)

$$D_{\text{opt}} = \frac{b_2 + b_1}{B_{\text{opt}}} = \frac{(6 + 12,5) \text{ MHz}}{11,4 \text{ MHz}} = 1,62$$

Die **Selektionskurve**  $|\sigma|$  für dieses Bandfilter liegt zwischen den Kurven für  $D = \sqrt{2}$  und  $D = 2$  (Bild 3 a und 3 c).

Zur Bestimmung des Übertragungswiderstandes  $Z_{\text{ü opt}}$  muß bei der geforderten Bandbreite  $b_1 = 12,5 \text{ MHz}$  der betriebsmäßige Resonanzwiderstand  $Z_1$  des Primärkreises bekannt sein. Diesen erhält man durch Messung in der Schaltung.

Wir wollen hier jedoch die Gesamtkapazität des Primärkreises genauso groß wie in den Beispielen 4.1 und 4.2 mit  $C_1 = 15,9 \text{ pF}$  annehmen. Dann wird nach Gleichung (17):

$$Z_1 = \frac{1}{2\pi b_1 C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 12,5 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 15,9 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = 0,8 \text{ k}\Omega$$

Es ergeben sich:

**Übertragungswiderstand  $Z_{\text{ü opt}}$**  nach Gleichung (36):

$$Z_{\text{ü opt}} = \frac{1}{2} \sqrt{0,8 \text{ k}\Omega \cdot 2,6 \text{ k}\Omega} = 0,72 \text{ k}\Omega$$

**Eingangswiderstand  $Z_{\text{eo opt}}$**  nach Gleichung (37):

$$Z_{\text{eo opt}} = \frac{0,8 \text{ k}\Omega}{2} = 0,4 \text{ k}\Omega$$

**Ausgangswiderstand  $Z_{\text{ao opt}}$**  nach Gleichung (38):

$$Z_{\text{ao opt}} = \frac{2,6 \text{ k}\Omega}{2} = 1,3 \text{ k}\Omega$$

**Die Gesamtkapazität  $C_2$  des Sekundärkreises** nach Gleichung (18):

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 6 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 2,6 \cdot 10^3 \Omega} = 10,2 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 10,2 \text{ pF}$$

**Die Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$**  nach den Gleichungen (19) und (20).

R. Sittner W. Minner

**Literatur:**

- [1] Meinke-Gundlach  
Taschenbuch der Hochfrequenztechnik  
Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956, Abschn. N 7

