# Zf-Bandfilter

### Vorteile gegen Einzelkreis

Als Arbeitswiderstand der Zf-Verstärkerstufe ist das Bandfilter dem Einzelkreis vorzuziehen: Seine Selektionskurve kommt der idealen Rechteckkurve näher als die eines Einzelkreises. Die Vorteile des Bandfilters gegenüber dem Einzelkreis sind somit größere Bandbreite und höhere Flankensteilheit bei gleicher Kreisdämpfung.

### Schaltungen

Das Bandfilter besteht aus wenigstens zwei induktiv oder kapazitiv gekoppelten Schwingkreisen, deren jeder für sich auf dieselbe Resonanzfrequenz abgestimmt ist (Koppelfilter). Die **Bilder 1...4** zeigen zweikreisige Bandfilter mit den wichtigsten Kopplungen: **induktive (magnetische) Kopplung, kapazitive „Kopf"-Kopplung, kapazitive „Fußpunkt"-Kopplung** und **„Serienspulen"-Kopplung.**

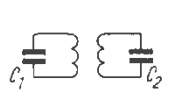



Bild 1

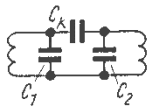



Bild 2

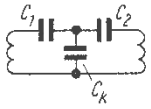



Bild 3




Bild 4

Weitere Möglichkeiten bestehen z. B. darin, daß in den Bildern 2 und 3 die Koppelkapazitäten durch Induktivitäten ersetzt oder gemischte Kopplungen angewendet werden.

Mit kapazitiver Kopplung läßt sich ein bestimmter **Kopplungsfaktor** $k$ besonders leicht herstellen: Er folgt aus dem Verhältnis der Kapazitäten. Für Bild 2 gilt z. B.

$$k = \frac{C_k}{\sqrt{C_1 \cdot C_2}}$$

Doch zieht man für Rundfunk- und Fernsehempfänger im allgemeinen die induktive Kopplung nach Bild 1 wegen des dafür geringen Aufwandes vor. Hier wird der Kopplungsfaktor durch die Ausmaße der Wicklungen und durch ihre gegenseitige Lage bestimmt sowie durch die Kernstellungen beeinflußt. Hierzu gehört mit $M$ als Gegeninduktivität und $L_1$ sowie $L_2$ als Induktivitäten der zwei Schwingkreisspulen:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

### Aufbau und Abgleich

In **Bild 5** sind beide Spulen des zweikreisigen Bandfilters auf einem gemeinsamen Wickelkörper angeordnet. In **Bild 6** stehen die Spulen auf getrennten Wickelkörpern nebeneinander. Der zwischen den Spulen für den gewünschten Kopplungsfaktor erforderliche Abstand wird empirisch ermittelt.

Die Bandfilter-Schwingkreise gleicht man fast ausschließlich an den Spulen ab. Das geschieht durch Eindrehen eines Karbonyleisen- oder Ferritkernes. Als Schwingkreiskapazität dient ein Kunstfolien- oder Keramik-Festkondensator. Die Kerne werden — im Interesse einer hohen Spulengüte — ziemlich weit in die Spule hineingedreht.

Doch soll hierbei eine zum Ausgleich der Induktivitäts- und Kapazitäts-Toleranzen ausreichende Reserve bleiben. Auch darf sich die Kopplung zwischen den Spulen, abhängig von der Kernstellung im Rahmen der erwähnten Toleranzen, nicht zu stark ändern. Dazu ist der Aufbau nach **Bild 6** vorteilhaft.

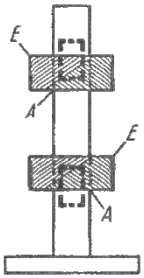



Bild 5

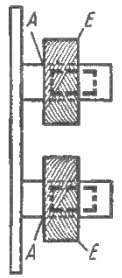



Bild 6

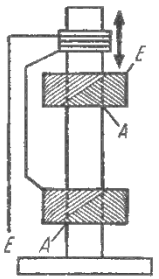



Bild 7

Beim Durchdrehen der Abstimmkerne durch die Spule ergeben sich zwei Resonanzstellen: Der Kern ragt entweder auf der einen oder anderen Seite der Spule aus dieser heraus. Besonders bei Anordnungen nach **Bild 5** bewirken diese zwei Kernstellungen recht unterschiedliche Kopplungen. Daher ist beim Abgleich unbedingt darauf zu achten, daß die jeweils richtige Kernstellung — im allgemeinen die äußere — benutzt wird.

Die Spulen in Anordnungen nach **Bild 5** und **7** müssen zueinander entgegengesetzten **Wickelsinn** haben. Hierbei addiert sich die nie ganz vermeidbare ungewollte kapazitive Kopplung zu der gewollten induktiven Kopplung. Andernfalls würden beide Kopplungen einander entgegenwirken. Das wäre weniger günstig. Fertigungsstreuungen sind nämlich auf den Kopplungsfaktor von weit geringerem Einfluß, wenn sich induktive und kapazitive Kopplung unterstützen, als dann, wenn sich diese Kopplungen gegenseitig teilweise aufheben.

Damit die störenden kapazitiven Kopplungen im übrigen möglichst schwach ausfallen, sollen die Bandfilterspulen so angeschlossen werden, daß der in der einzelnen Spulenwicklung innen liegende Anfang der Wicklung „heiß" und das außen liegende Ende „kalt" ist.

### Einstellbarkeit der Bandbreite

Hierfür empfiehlt es sich, eine **bewegliche Teilspule** vorzusehen **(Bild 7)**. Durch Verschieben einer ganzen Spule würde die Kopplung zu schroff geändert.

Damit keine unerwünschte zusätzliche kapazitive Kopplung auftritt, ist die aus wenigen Windungen bestehende Teilspule am „kalten" Ende des einen Kreises einzuschalten. Die

Teilspule kann — mit entgegengesetztem Wickelsinn — auch zum Herabsetzen des Kopplungsfaktors dienen. Das wird ausgenutzt, wenn räumliche Gründe für geringen gegenseitigen Abstand beider Spulen des Bandfilters sprechen.

### Übertragungseigenschaften

Maßgebend sind hierfür Dämpfung ($d$) und Kopplung. Erhöht man den Kopplungsfaktor $k$ des zunächst extrem lose gekoppelten Bandfilters, so steigt bis $k = d$ die Spannung am Sekundärkreis an. Mit weiter verstärkter Kopplung nimmt die Sekundärspannung bei Resonanzfrequenz ab (Bild 8). Außerdem bekommt nun die Selektionskurve des Filters rechts und links der Resonanzfrequenz Höcker.

Die Kopplung $k = d$ nennt man kritisch. Losere Kopplung wird unterkritisch, festere Kopplung überkritisch genannt.

Bild 9 zeigt die Resonanzkurven eines zweikreisigen Bandfilters für die „normierte Verstimmung" $v/d$ bei gleicher Dämpfung von Primär- und Sekundärkreis mit dem Parameter $k/d$ („normierte Kopplung") im logarithmischen Spannungsmaßstab. Für die Kurven gilt mit $f_0$ = Resonanzfrequenz und

$$v = \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \qquad \text{und mit}$$

$U_{2opt}$ = Sekundärspannung bei kritischer Kopplung in Bandmitte die Gleichung:

$$\frac{U_2}{U_{2opt}} = \frac{2\,k/d}{\sqrt{[1 + (k/d)^2 - (v/d)^2]^2 + 4\,(v/d)^2}}$$

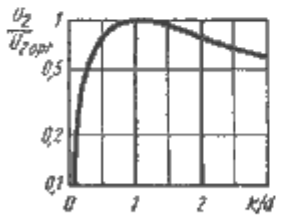



Bild 8

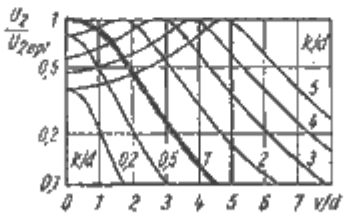



Bild 9

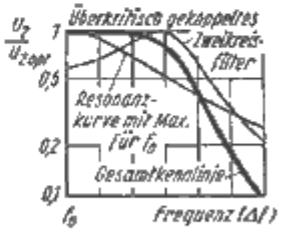



Bild 10

### Dimensionierung des zweikreisigen Bandfilters

Im allgemeinen strebt man für die Zf-Verstärkerstufe — neben ausreichender Verstärkung — große Bandbreite und gute Selektion (d. h. erheblichen Abfall der Verstärkung in einem größerem Abstand von der Resonanzfrequenz) an.

Diese Forderungen bedingen einen Kompromiß. Selektion bei großer Bandbreite bedeutet hohe Flankensteilheit. Diese setzt Schwingkreise geringer Dämpfung voraus.

Bei geringer Dämpfung ist man für größere Bandbreite meist auf überkritische Kopplung angewiesen, wozu Übertragungskurven mit mehr oder weniger starker Einsattelung in der Mitte gehören. Einsattelungen sind jedoch unerwünscht: Der Laie kann einen Empfänger kaum abstimmen, wenn das Magische Auge beim Empfangsoptimum kein Maximum zeigt.

Um die notwendige Bandbreite ohne Einsattelung zu erzielen, stehen zwei Möglichkeiten offen: Man vermeidet die Einsattelung, indem man die Bandfilterkreise stärker bedämpft oder man gleicht die Einsattelung damit aus, daß man dem überkritisch gekoppelten Bandfilter eine zweite Zf-Verstärkerstufe folgen läßt, deren Selektionskurve keine Einsattelung, sondern für Resonanzfrequenz ein ausgeprägtes Maximum aufweist (Bild 10). Eine solche Kurve erreicht man mit nur einem Einzelkreis oder mit einem unterkritisch gekoppelten Bandfilter stärkerer Dämpfung (Beispiel: Diodenfilter) oder auch mit einem dreikreisigen Bandfilter, das in Bandmitte den Spannungshöchstwert ergibt.

Siehe hierzu auch Seite 158: Werte der Kreise und Bandfilter für Rundfunk- und Fernsehempfänger.

### Bewährte Diagramme

Die in Bild 9 gezeigten Selektionskurven des zweikreisigen Bandfilters sind für die Praxis mit ihrer normierten Verstimmung und ihrer normierten Kopplung etwas unbequem. Ein besseres Anpassen an die Bedürfnisse der Praxis ist auf Grund folgender Tatsachen möglich:

Die Zwischenfrequenzen sind heute einheitlich auf etwa 460 kHz für den AM-Bereich und auf 10,7 MHz für den FM-Bereich festgelegt.

Der Frequenzabstand, für den die Selektion des Bandfilters interessiert, ist der gegenseitige Abstand der Trägerfrequenzen, also der Kanalabstand. Dieser beträgt für AM 9 kHz und für FM 300 kHz.

Die Bandbreite der Selektionskurve wird durch den gegenseitigen Abstand der beiden Frequenzen festgelegt, bei denen die Sekundärspannung

für Kopplungen bis zur kritischen Kopplung gegen das Maximum in Bandmitte bzw.
für überkritische Kopplung gegen die Höcker

auf den Wert $1/\sqrt{2} \approx 0{,}707$ abgefallen ist.

Wenn man dies ausnutzt, um von den normierten Werten abzugehen und mit absoluten Frequenzen zu rechnen, muß man sowohl den Dämpfungsfaktor $d$ wie auch Kopplungsfaktor $k$ (beide in Prozenten gemessen) wieder einführen.

So sind — auf Grundlage des Bildes 9 — die in den Bildern 11 und 12 gezeigten Kurvenscharen errechnet. Diese haben sich für Entwurf und Beurteilung zweikreisiger Bandfilter besser bewährt als die normierten Kurven. Die Kurven zeigen den Abfall der Sekundärspannung $U_2/U_{2\,opt}$ in 9 bzw. 300 kHz Abstand von der Resonanzfrequenz

**(reziproke Selektion)** abhängig von der Bandbreite. Den Kurvenscharen liegen der **Dämpfungsfaktor** $d$ und der **Kopplungsfaktor** $k$ als Parameter zugrunde. Die Punkte $k = d$ **(kritische Kopplung)** sind durch eine dicke Linie verbunden. Über dieser Linie befindet sich das Gebiet der **unterkritischen Kopplung** ($k/d < 1$), unter ihr das der **überkritischen Kopplung** ($k/d > 1$). Die Kurven zu konstanter Dämpfung verlaufen flacher als die zu konstantem Kopplungsfaktor. Somit bestimmt vorwiegend der Kopplungsfaktor die Bandbreite, während die Selektion der Bandfilterkurve in erster Linie von der Schwingkreisdämpfung abhängt.

Mit den Bildern 11 und 12 können wir aus gemessenen Selektionskurven Kopplungsfaktor und Dämpfungsfaktor ermitteln.

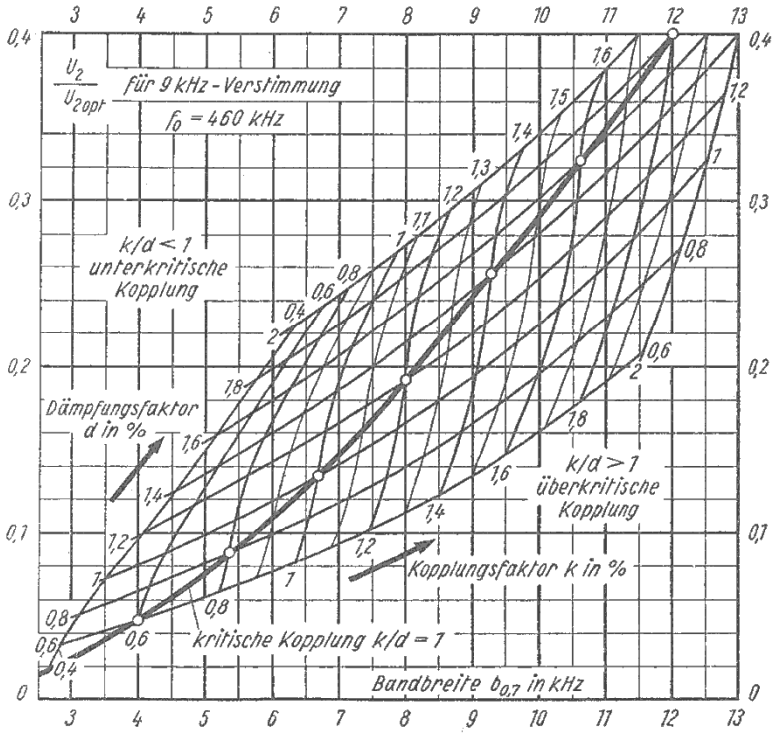



Bild 11

**Zwei Beispiele zum Gebrauch der Bilder 11 und 12**

1. Aus der durch Messen gewonnenen Selektionskurve eines überkritisch gekoppelten Bandfilters (Bild 13) für 460 kHz wird in 0,7 facher Höhe der Höcker eine Bandbreite $b_{0,7} = 7{,}2$ kHz und im Abstand 9 kHz von der mittleren Frequenz $f_0$ ein Abfall der Spannung auf das 0,145 fache gemessen. Wie groß sind mittlere Dämpfung $d$ der beiden Schwingkreise und Kopplungsfaktor $k$? Wir suchen in Bild 11 den Punkt, der beiden aus der Selektionskurve entnommenen Werten entspricht. Zu diesem Punkt gehören etwa $k = 1{,}1\%$ und $d = 1\%$ (Gebiet der überkritischen Kopplung).

2. Für ein 10,7 MHz-Bandfilter stehen Schwingkreise mit einer mittleren Dämpfung von 1,4% zur Verfügung. Welche Bandbreite und welche Selektion sind zu erreichen, wenn die Kopplung unterkritisch bleiben soll (z. B. $k/d = 0{,}85$)? Wie weit muß die Kreisdämpfung erhöht werden, wenn bei gleichem Verhältnis $k/d$ eine Bandbreite von 260 kHz verlangt wird? Zum Schnittpunkt der Kurven für ein $d = 1{,}4\%$ und das zugehörige $k = 0{,}85 \cdot 1{,}4\% \approx 1{,}2\%$ entnehmen wir aus Bild 12 eine Bandbreite von etwa 180 kHz

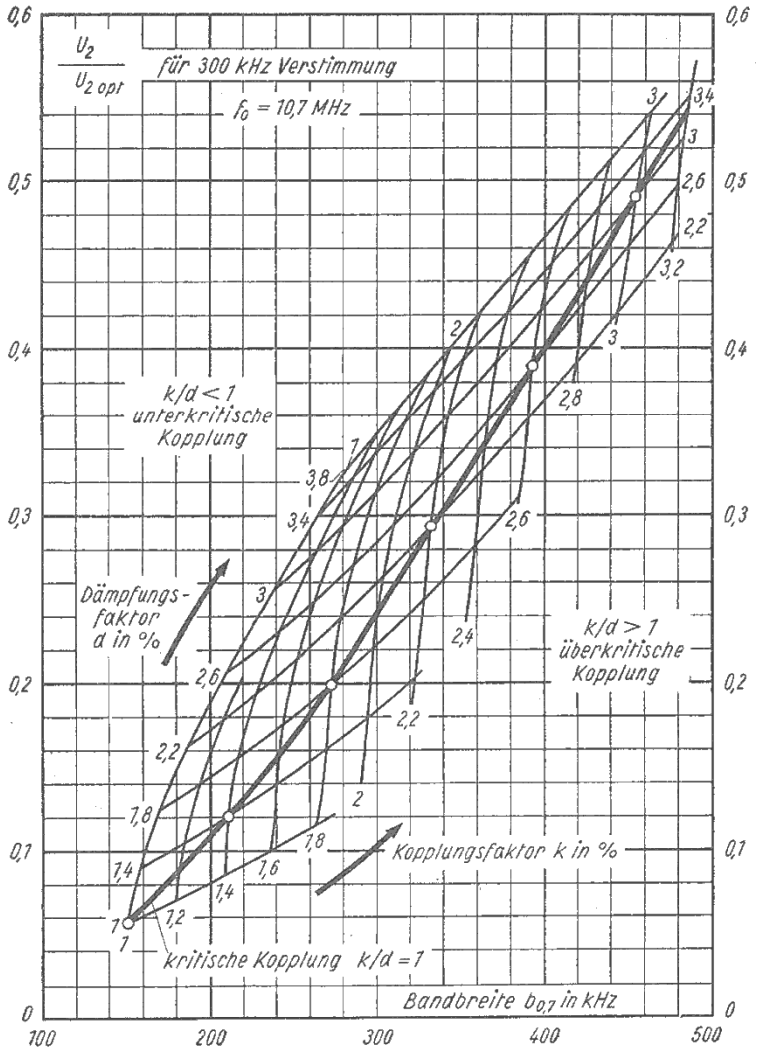



Bild 12

und bei 300 kHz Verstimmung ein Spannungsverhältnis von rund 0,1. Durch den Punkt $d = 1{,}4\%$; $k = 1{,}2\%$ ziehen wir neben der dick ausgezogenen Linie für kritische Kopplung — in etwa gleichbleibendem waagerechten Abstand von ihr — eine Hilfslinie, für die also $k/d = 0{,}85$ gilt. Diese Hilfslinie schneidet für die Bandbreite $b_{0{,}7} = 260$ kHz die Kennlinienscharen etwa bei $k = 1{,}7\%$ und $d = 2\%$. Die geforderte Bandbreite verlangt demgemäß für jeden Schwingkreis eine Zusatzdämpfung von rund $2\% - 1{,}4\% = 0{,}6\%$. Die Selektion für 300 kHz Frequenzabstand beträgt hier nur noch:

$$U_2/U_{2\,opt} \approx \frac{1}{0{,}2} = 5$$

### Abgleich überkritisch gekoppelter Bandfilter

Korrekter Maximumabgleich ist nur bei unterkritischer Kopplung möglich. Sie erzielt man für ein Bandfilter mit ursprünglich überkritischer Kopplung (**Bild 13**) während der Dauer des Abgleichs durch Parallelschalten eines Widerstandes jeweils zu dem Kreis, der gerade nicht abgeglichen wird. Der Wert des Widerstandes muß genügen, um mit Sicherheit unterkritische Kopplung zu erreichen.

### Mehrkreisige Bandfilter

Auch drei- und vierkreisige Bandfilter werden in Rundfunkempfängern gelegentlich verwendet. Doch haben sie dafür bei weitem nicht die Bedeutung der zweikreisigen Bandfilter.

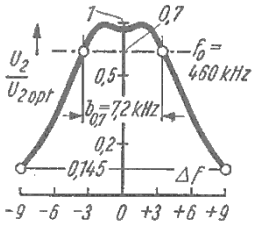



Bild 13

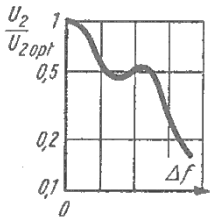



Bild 14

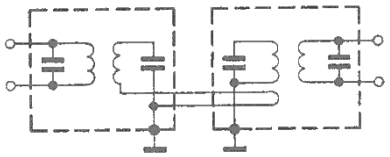


Bild 15

In den Selektionskurven aller Filter treten bei überkritischer Kopplung Höcker auf. Deren Zahl ist immer gleich der der Kreise. **Bild 14** zeigt das an der Selektionskurve eines dreikreisigen überkritisch gekoppelten Bandfilters für den Fall unter sich gleicher Dämpfungs- und Kopplungsfaktoren. Durch unterschiedliches Bemessen dieser Faktoren kann man gleichhohe Höcker erreichen.

Beim Aufbau mehrkreisiger Bandfilter ist zu beachten, daß jeder Kreis nur auf den unmittelbar folgenden Kreis koppelt, daß also keine Kopplung unter Umgehung einzelner Kreise stattfindet. Man erreicht dies z. B., indem man nicht mehr als zwei Kreise in einem gemeinsamen Abschirmtopf unterbringt und die Kopplung zum nächsten Topf über eine Serienspulen-Kopplung (**Bild 15**) oder eine kapazitive (z. B. Fußpunkt-)Kopplung (siehe Bild 3) herstellt.

Aus: Telefunken Laborbuch Band 1, Seiten 151 – 157

Aufbereitet von Eike Grund