

A. Die Grundschaltung

Bei Überlagerungsempfängern, die für Telegrafieempfang oder für den wahlweisen Empfang von Telegrafie und Telefonie vorgesehen sind, muß bei der heutigen engen Besetzung der Frequenzbänder eine extrem hohe Trennschärfe gefordert werden. Eine kleine Bandbreite, nicht größer als zur einwandfreien Übertragung des Signals unbedingt notwendig, ist auch aus Gründen eines möglichst hohen Signal/Rausch-Verhältnisses zu fordern. Eine steile oder stufenweise Veränderung der Bandbreite ist erwünscht.

Mit normalen Kreisen, auch bei Verwendung mehrerer Bandfilter mit loser Kopplung, sind Bandbreiten unter 1 kHz kaum zu erreichen; für Telegrafieempfang sind jedoch Bandbreiten bis unter 100 Hz erwünscht. Wird Rückkopplung angewendet, so sind Trennschärfewerte zu erreichen, die etwa denen eines Kristallfilters entsprechen. Die Rückkopplung bringt jedoch Bedienungsschwierigkeiten und eventuell Unstabilitäten mit sich. Ein Kristallfilter ermöglicht durch die „Antiresonanzstelle“ (Parallelresonanz) die Sperrung einer Störfrequenz dicht neben der gewünschten Durchlaßfrequenz und damit die Möglichkeit zusätzlicher Störfreiebung. Die Sperrresonanzstelle ist einstellbar.

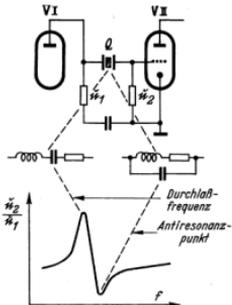


Bild 1. Grundsätzliche Anordnung und Übertragungscharakteristik eines Quarzfilters

Der piezoelektrische Kristall verhält sich wie ein Schwingungskreis sehr hoher Resonanzschärfe und entsprechend geringer prozentualer Bandbreite. Er hat zwei Resonanzstellen: Eine Serienresonanz und eine Parallelresonanz (Ersatzbild u. a. siehe PtA Os 81). Die Serienresonanz ist allein vom Quarz bestimmt. Im Quarzfilter wird der Kristall als Längsverband in den Verstärkungsweg geschaltet, so daß für die Serienresonanz maximale Übertragung stattfindet. Bei der in der Nähe liegenden Parallelresonanz wird die Übertragung fast völlig gesperrt (Antiresonanzpunkt). Die Parallelresonanz und damit die Sperrfrequenz ist nicht mehr vom Quarz allein abhängig und läßt sich durch Änderung äußerer Schaltmittel um einen geringen Betrag um die Serienresonanz herum verschieben. Die prinzipiellen Verhältnisse erläutert Bild 1.

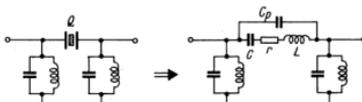


Bild 2. Quarz als Kopplungsglied zwischen zwei Kreisen

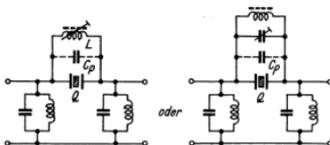


Bild 3. Eliminierung der Quarz-Parallelkapazität durch eine Induktivität oder einen Parallelkreis

In dieser Form ist das Filter nur dann vollwertig, wenn der Quarz eine vernachlässigbar kleine Parallelkapazität hat. Das ist nur der Fall bei Spezialausführungen von Filterquarzen, wie bereits in PtA Os 81 (Bild 19) erwähnt. Bei Quarzen gewöhnlicher Bauart ist diese Parallelkapazität so groß, daß sie eine kapazitive Kopplung bewirkt und somit Frequenzen, die im Sperrbereich des Quarzes liegen, doch übertragen werden.

B. Neutralisation der störenden Parallelkapazität

In praktisch ausgeführten Filtern schaltet man den Quarz als Kopplungs-Längsglied zwischen die beiden Kreise eines Zf-Bandfilters, Grundschaltung Bild 2. C_p führt bereits zu einer kapazitiven Kopplung und ergibt damit die übliche breite Durchlaßkurve für das Filter. Diese kapazitive Kopplung kann durch zwei verschiedene Maßnahmen eliminiert werden:

1. Gemäß Bild 3 durch die Parallelschaltung einer Induktivität zum Quarz, die mit C_p Parallelresonanz ergibt und den Blindleitwert von C_p in der Nachbarschaft der Serienresonanzfrequenz ausgleicht. Zur genauen Abstimmung wird die Induktivität L einstellbar gemacht (Hf-Eisenkern) oder es wird ein Abstimmkreis mit veränderlicher Kapazität parallel geschaltet.

Die Methode ist ungebräuchlich.

2. Gemäß Bild 4 durch Neutralisation. Die Spannung, die über C_p übertragen wird, kann durch eine gleich große, jedoch gegenphasige Spannung neutralisiert werden (Brückenschaltung). Die gegenphasige Spannung kann entweder über eine Spulenzanzapfung oder eine kapazitive Symmetrierung am Kreis abgenommen werden und wird dem zweiten Kreis über einen kleinen, einstellbaren Kondensator (C_N in Bild 4) zugeführt. Bild 4 zeigt die so entstandene Brückenschaltung. Für Brückengleichgewicht muß sein:

Schaltung A: $\frac{C_N}{C_p} = \frac{W_1^2 - 3}{W_2^2 - 3} = \sqrt{\frac{L_1 - 3}{L_2 - 3}}$ (W = Windungszahl)

Schaltung B: $\frac{C_N}{C_p} = \frac{C_2}{C_1}$

Zur Auswahl, ob C- oder L-Symmetrierung gewählt wird, ist folgendes zu überlegen:

Bei der C-Symmetrierung ist keine Spulenzanzapfung notwendig und das Teilverhältnis C_2/C_1 leicht einstellbar. In der Lebensdauer verändern sich allerdings die C-Werte leichter, so daß bei älteren Empfängern oft der Bereich von C_N nicht mehr ausreicht oder stark verschoben ist. Ferner wird, wenn aus später zu erläuternden Gründen die Kapazität C des ersten Filters veränderlich gemacht werden muß, der Variationsbereich des hierfür vorgesehenen Drehkondensators verkleinert durch die ihm parallel liegende Kombination C_1/C_2 .

Die L-Symmetrierung vermeidet diese Nachteile, die Anzapfung ist jedoch unumstündlich einzustellen.

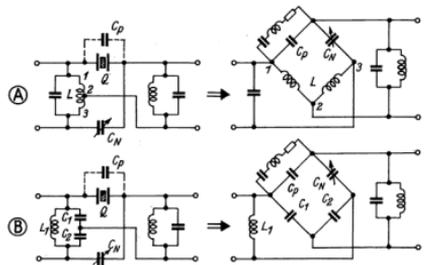


Bild 4. A = Brückenschaltung zur Neutralisation der Parallelkapazität; induktive Symmetrierung. B = Brückenschaltung zur Neutralisation der Parallelkapazität; kapazitive Symmetrierung

$$x \frac{C_N}{C_p} = \frac{L_{1-2}}{L_{2-3}} = \frac{W_{1-2}^2}{W_{2-3}^2}$$

Der „Phasenregler“ C_4 wird in der Praxis durch einen kleinen variablen Kondensator (ca. 10 pF) dargestellt, mit dem die genaue Neutralisation eingestellt wird. Der Abgriff (L_1 - L_2 - s) (C_1 C_2) bleibt fest. C_4 ist zweckmäßig von außen bedienbar. Durch Verstärkung aus dem genauen Neutralisationspunkt heraus wird C_4 mehr oder weniger wirksam, und die entstehende Parallelresonanz ergibt die bereits erwähnte Sperr-Resonanz in der Umgebung der Durchlaßfrequenz („Antiresonanzpunkt-Einstellung“). Der Sperrpunkt läßt sich so zur Unterdrückung von Störern dicht oberhalb und unterhalb der richtigen Zwischenfrequenz verschieben.

C. Die Änderung der Bandbreite beim Quarzfilter

Bild 5. Bandbreitenänderung durch Verstärken des einen Bandfilterkreises: Gebräuchlichste Schaltung

- a) **Größte Bandbreite:** Beide Kreise sind auf die Serienresonanz des Quarzes abgestimmt.
- b) **Kleinste Bandbreite:** Der Primärkreis ist gegen die Quarzfrequenz stark verstimm, die Kreiskapazität beträgt das Doppelte bis Dreifache derjenigen für Resonanz.

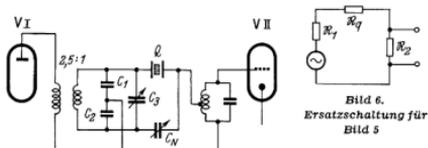


Bild 5. Quarzfilter veränderlicher Bandbreite. Bandbreitenänderung durch Verstärken des Primärkreises

Erläuterung der Wirkungsweise (Bild 6):

\mathcal{N}_1 Scheinwiderstand des Primärkreises; hat bei Resonanz reellen, maximalen Wert (bis einige 100 k Ω) und sinkt bei großer Verstärkung stark ab.

\mathcal{N}_q Scheinwiderstand des Quarzes; ist bei Resonanz niederohmig (einige 100 Ω bis einige k Ω) und steigt außerhalb der Resonanz schnell auf sehr hohe Werte.

\mathcal{N}_2 Transformierter Resonanzwiderstand des Sekundärkreises (einige k Ω).

a) **Größte Bandbreite:** Der Primärkreis ist auf Resonanz abgestimmt, \mathcal{N}_1 ist hochohmig. Da \mathcal{N}_q und \mathcal{N}_2 niederohmig sind, ist der Strom durch \mathcal{N}_q und \mathcal{N}_2 und somit die Spannung an \mathcal{N}_2 (Ausgangsspannung des Filters) im wesentlichen durch \mathcal{N}_1 bestimmt. Bei Frequenzänderung wächst \mathcal{N}_q an (bis über den Wert von \mathcal{N}_1). Da jedoch durch \mathcal{N}_1 der ganze Stromkreis schon hochohmig war, geht der Abfall des Stromes in Abhängigkeit von einer Frequenzänderung nur langsam vor sich, d. h. die Bandbreite des Filters ist groß (ca. 2 bis 3 kHz).

b) **Kleinste Bandbreite:** Bei großer Verstärkung ist \mathcal{N}_1 klein und damit die ganze Schaltung niederohmig. Steigt jetzt der Quarzwiderstand \mathcal{N}_q bei Frequenzveränderung rasch an, so sinkt der Strom ebenso rasch und damit die Ausgangsspannung am Filter. Es ergibt sich also ziemlich naturgetreue die Resonanzkurve des Quarzes allein. Bandbreiten unter 100 Hz sind erreichbar.

Die Gesamtverstärkung unterscheidet sich in beiden Fällen a) und b) nicht wesentlich voneinander. Im Falle a) müßte zwar der Strom durch den Quarz geringer sein (infolge hohem \mathcal{N}_1), dafür ist die Verstärkung der Röhre durch die bessere Anpassung des hochohmigen Kreises an die Pentode besser. Im Fall b) müßte (infolge kleinem \mathcal{N}_1) der Quarzstrom größer sein, in diesem Falle ist jedoch die Verstärkung der Röhre infolge Fehlanpassung des verstimmen (niederohmigen) Kreises geringer. Um die Verstärkung nicht zu gering werden zu lassen, transformiert man diesen Widerstand etwa 1 : 2,5 zur Röhre herauf.

Bild 7. Bandbreitenänderung durch Verschlechtern der Kreisgüte des Sekundärkreises: Weniger gebräuchliches Verfahren

Durch einen Serienwiderstand R wird die Dämpfung des Sekundärkreises verändert. Es gilt grundsätzlich das gleiche Ersatzschaltbild Bild 6; \mathcal{N}_1 ist in diesem Falle hochohmig, \mathcal{N}_q bei Resonanz niederohmig und \mathcal{N}_2 veränderlich. Die Größe von \mathcal{N}_2 bestimmt, ob der Abfall der Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Frequenz mehr oder weniger stark erfolgt.

a) **Große Bandbreite:** \mathcal{N}_2 muß groß, die Dämpfung vom Sekundärkreis also gering sein (R Null). Die Gesamtschaltung wird hochohmig gemacht durch hohen Resonanzwiderstand von \mathcal{N}_q , so daß

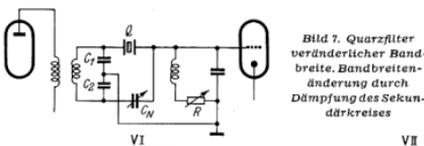


Bild 7. Quarzfilter veränderlicher Bandbreite. Bandbreitenänderung durch Dämpfung des Sekundärkreises

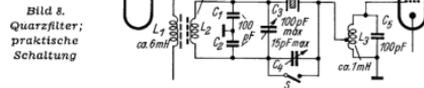


Bild 8. Quarzfilter; praktische Schaltung

der Strom durch den Quarz bei der Resonanzfrequenz im wesentlichen durch \mathcal{N}_2 und \mathcal{N}_1 bestimmt ist. Je hochohmiger \mathcal{N}_2 ist, um so hochohmiger muß der Quarz werden, um den Quarzstrom und damit die Ausgangsspannung zu beeinflussen, um so stärker muß also die Frequenz von der Quarzresonanzfrequenz abweichen (größte Bandbreite).

b) **Kleine Bandbreite:** \mathcal{N}_2 wird durch Dämpfung mit R niederohmig gemacht; bei Frequenzänderung und ansteigendem \mathcal{N}_q wird die Spannung an \mathcal{N}_2 schnell kleiner (das Spannungsstellerverhältnis steigt schnell an, die Bandbreite ist daher klein). Nachteil der Anordnung: bei schmaler Bandbreite erheblicher Verstärkungsverlust (\mathcal{N}_2 klein). Abhilfe durch eine weitere ZF-Röhre, deren Verstärkung automatisch nachgeregelt wird.

D. Abgleich und Einstellung des Quarzfilters

Bild 8 zeigt eine praktisch ausgeführte Schaltung eines Quarzfilters für ca. 470 kHz.

Primärkreis und Sekundärkreis sind gut voneinander abzuschirmen, damit das Quarzfilter nicht kapazitiv umgangen wird. L_1 hat etwa 6 mH und L_2 sowie L_3 etwa 1 mH für die übliche Zwischenfrequenz. L_1 und L_2 auf getrennte Eisenkerne (Häselkerne) wickeln, die aufeinandergeklebt werden. Bei dem hohen L-Wert der Ankopplungsspule ist darauf zu achten, daß die Ankopplung periodisch bleibt (Röhren-, Schalt- und Spulenkapazität!), da sich sonst unerwünschte Verformungen der Durchlaßkurve ergeben.

Die Anzapfung des Sekundärkreises liegt bei $1/2$ bis $1/3$ der Windungszahl, vom kalten Ende her gerechnet. An Stelle des Schalters S kann der Drehkondensator C_4 (C_{max} 15 pF, Phasenregler) so eingerichtet werden, daß bei ganz hereingedrehten Platten Kurzschluß besteht. C_1 , C_2 , $C_5 = 100$ pF, C_3 (Bandbreitenregler) = C_{max} 100 pF.

Abgleich: Prüfen, ob das Filter nicht umgangen wird. Dazu den Abgriff von L_3 (Bild 8) ablöten und auf Masse legen. Der ZF-Verstärker darf dann praktisch keinen Durchgang haben. C_4 auf $1/2$ bis $1/3$ hereindrehen, Bandbreite groß machen (C_3 ganz herausdrehen) und dann Primärkreis und Sekundärkreis sowie auf die auf die Röhre VII folgenden Kreise auf die Zwischenfrequenz trimmen. Darauf Bandbreite auf „schmal“ stellen (C_3 ganz hereindrehen) und die Kreise fein nachtrimmen auf die genaue Quarzfrequenz.

Begründung: Die Abstimmung des Primärkreises auf die ZF (für große Bandbreite) erfolgt bei herausgedrehtem C_3 durch den Spulenkern bzw. einen hierfür vorgesehenen Extratrimmer. Will man das Filter auf schmal stellen, so ist der Primärkreis durch Hereindrehen von C_3 zu verstimmen. Nach diesem Abgleich ist also bei ganz herausgedrehtem C_3 der Primärkreis immer abgestimmt, was große Bandbreite bewirkt und das Hereindrehen von C_3 ermöglicht eine stetige Verkleinerung der Bandbreite.

Bedienung: Gewünschten Sender bei großer Bandbreite auf maximale Lautstärke stellen, dann Bandbreite klein machen (Z. Oszillator einschalten und um die gewünschte NF-Tonhöhe gegen die ZF verstimm). Ist noch ein Störsender mit abweichender Tonhöhe stark hörbar, dann C_4 durchdrehen, bis der Störsender stark geschwächt ist.

Bei stark gestörter Telefonie bringt die Einschaltung des Quarzfilters ebenfalls Verbesserung (auf „breit“ stellen). Mit dem Phasenregler läßt sich oft ein störender Interferenzen beseitigen.

Schrifttum

- H. Pitsch: Lehrbuch der Funkempfangstechnik, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig 1948
- A. Konrad: Vorausberechnung eines Zwischenfrequenzfilters mit Quarzkopplung. FTV Heft 19/1942, Seite 292-296
- Quarzfilter und Filterquarze. Auslese der Funktechnik, Heft 5, Dez. 1939

Nachdruck verboten!