

AKTIVES 9-MHz-QUARZFILTER MIT ± 10 Hz BANDBREITE FUER KOHAERENT-TELEGRAFIE (CCW) von BERND NEUBIG (DK1AG)

1. Optimale ZF-Selektion fuer CCW

In Bild 1 ist dargestellt, wie in einem modernen Empfaenger die Selektionsmittel verteilt sind. Bei CCW-Betrieb wird die benoetigte schmale Bandbreite von ± 10 Hz erst nach Produkt-detektor und NF-Vorverstaerker durch ein NF-Filter erreicht, das als aktives RC-Filter oder als SC-("switched-capacitor") Filter realisiert ist. Alle unerwuenschten Signale und Rauschanteile werden somit bis zum NF-Filter durchgelassen. Die hochverstaerkende ZF-Stufe besitzt eine 25 bis 120-fache der ausgenuetzten Bandbreite, d.h. sie muss 14dB bis 21dB mehr Rauschleistung verkräften. Bis zum 2.Mischer gelangen sogar 24 bis 29dB mehr Rauschleistung. Dazu kommen alle Stoersignale in diesem Frequenzband mit den bekannten Folgen der Desensibilisierung, des Zustopfens und des Herabregelns der ZF-Verstaerkung durch die AGC. Diese Effekte koennen nur verhindert werden, wenn die Endbandbreite von ± 10 Hz moeglichst weit "vorne" erzeugt wird, am optimalsten vor dem ZF-Verstaerker.

Uebliche steilflankige Quarzfilter mit 6 bis 10 Quarzen - normalerweise Tschebyscheff- oder Cauer-Filter (siehe Bild 2) - haben bei Telegrafie-Betrieb den in Bild 3 sichtbaren Nachteil: das Signal am Filterausgang ist stark verzogert und schwingt ueber mehrere Perioden ueber, was die Lesbarkeit erschwert bzw. bei hohen Geschwindigkeiten unmoeglich. Schmalbandfilter sollten daher entweder nicht zu hohe Polzahl und/oder eine laufzeitgeebnete Charakteristik besitzen /1/.

2. Kleinste realisierbare Bandbreite

Zwei wesentliche Parameter bestimmen die kleinstmoegliche Bandbreite eines Quarzfilters: die Quarzguete und der Temperaturgang der Quarzfrequenz. Eine ungenuegend hohe Guete verursacht eine starke Verrundung der Durchlasskurve und Verflachung der Filterflanken sowie ein starkes Ansteigen der Grunddaempfung (Bild 5). Als Faustregel gilt, dass die Relativbandbreite mindestens das 5 bis 10fache des Kehrwerts der Quarzguete sein sollte. Bei einer Frequenz von 9 MHz

haben gute Filterquarze Gueten von 120000 bis 150000, das entspricht einer Mindestbandbreite von 300 bis 600 Hz. Mit speziellem Quarzdesign (Obertonquarzen) kann man die Guete auf ca. 500000 steigern. Allerdings weisen derartige Quarze eine starke Amplitudenabhaengigkeit auf, so dass das Grosssignalverhalten (Intermodulation !) sehr schlecht ist.

Der Temperaturgang normaler Filterquarze betraegt im Temperaturbereich 0...50°C bis ± 10 ppm; bei 9 MHz sind das bis zu ± 90 Hz, um die die Quarze u.U. auch gegeneinander "weglaufen" (siehe Bild 6). Fuer sehr schmale Quarzfilter muss der Temperaturgang bis an die physikalische Grenze getrieben werden, in unserem Fall bis max. ± 1.5 ppm. Am besten bringt man das Filter in einem (evtl. "kalten") Thermostaten unter.

3. Das Quarzfilter mit Q-Multiplier

3.1 Prinzip des Q-Multipliers

Die fuer die gewuenschte Bandbreite von ± 10 Hz erforderliche hohe Guete wird dadurch erreicht, dass die Filterquarze mit einer aktiven Verstaerkerstufe entdaempft werden, wie das schon vor Jahren mit dem sog. Q-Multiplier bei Spulenkreisen praktiziert wurde.

Betrachten wir einen ueblichen Quarzoszillator in der Colpittsschaltung nach Bild 7 /3/. Die Schwingungserzeugung kann man sich entweder mit dem bekannten Rueckkopplungsprinzip oder mit dem sog. "Negativ-Leitwert-Modell" erklaren: Der verlustbehaftete Zweipol "Quarz" ist mit den Punkten A und A' an den aktiven Zweipol aus T und CA, CB und R3 angeschlossen. Eine anhaltende Schwingung entsteht, wenn die Quarzverluste durch einen gleich grossen negativen Eingangswiderstand der Transistorstufe gerade ausgeglichen werden. Man kann zeigen, dass die Schaltung in Bild 7 mit dem kapazitiven Spannungsteiler einen negativen Eingangswiderstand dem Quarz anbietet.

Veraendert man die Schaltung so, dass der ohmsche Eingangswiderstand nicht mehr ausreicht, um die Quarzverluste auszugleichen, dann reisst die Schwingung ab und der Quarz wird nur teilweise entdaempft. Dies kann man erreichen, indem man CB sehr gross waehlt oder indem man die Wechselstromverstaerkung des Transistors herabregelt.

3.2 Entdaempfung eines Quarzfilters mit dem Q-Multiplier

Diskrete Quarzfilter sind meist aus einzelnen Differentialbruecken-Stufen ("half-lattice") zusammengesetzt. Bild 9a zeigt eine einquarzige, Bild 9b eine zweiquarzige Ausfuehrung. Der symmetrisch gewickelte Differentialuebertrager T wird durch eine Parallelkapazitaet abgestimmt. Mit CK kann eine symmetrische Daempfungskurve (oder ein Pol) eingestellt werden. CE und CA sind fuer die Bandbreite bestimmend. Um unsere Entdaempfungsschaltung einsetzen zu koennen, benutzen wir die Tatsache, dass der Massepunkt in einer HF-Schaltung beliebig gelegt werden kann und zeichnen die Schaltung (a) so um, wie in Bild 9c gezeigt.

Im Bild 10 ist dargestellt, wie die Grundschialtung unseres Q-Multiplier-Filters mit einem Quarz aussieht: die Basisvorspannung wird ueber den Uebertrager zugefuehrt, mit CT wird die Mittenfrequenz, mit CK die Kurvensymmetrie eingestellt. RF dient dazu, die Stromverstaerkung durch Absenken der Basis-Emitter-Spannung unterhalb des Schwingungseinsatzes zu justieren. CE ist in C1 beruecksichtigt. In Bild 11 wird schliesslich die zweiquarzige Ausfuehrung des Q-Multiplier-Filters gezeigt, das keine weiteren Besonderheiten enthaelt.

4. Notchfilter mit Q-Multiplier

Eine andere Anwendung sei nur kurz gestreift. Bild 12 stellt dar, wie man die Entdaempfung einfach bei einem Notchfilter anwenden kann, wie es OM Krug (DJ3RV) in den UKW-Berichten vorschlug /4/. Waehrend mit CT die Notchfrequenz variiert werden kann, wird mit RF die Notchtiefe eingestellt.

5. Praktische Ergebnisse mit aktiven Quarzfiltern

Fuer die Versuche wurden spezielle 9-MHz-Filterquarze mit kleinstmoeglichem Temperaturgang (max. 1.5ppm bei 10...40°C), einer Guete von groesser 150000 und einer moeglichst kleinen dynamischen Kapazitaet ($C_1=5\text{fF}$) verwendet (zu beziehen bei Fa. Tele Quarz GmbH Neckarbischofsheim unter der Spezifikation CCW-2).

Die Ergebnisse werden auf der Tagung praesentiert.

250...750
(24...29dB)

25...120
(14...21dB)

$$= \frac{\text{Bandbreite}}{\text{Nutzbandbreite}}$$

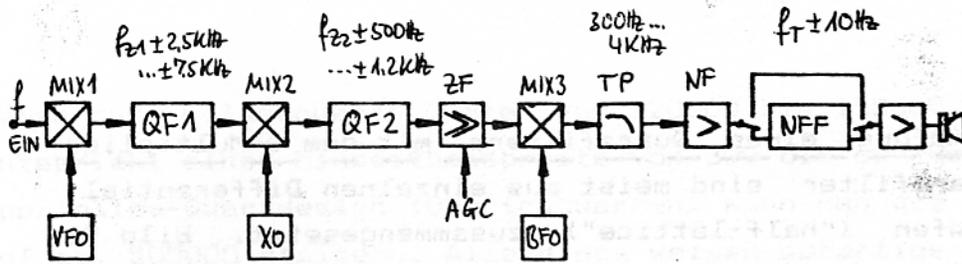


Bild 1: Selektionsverteilung in einem modernen Empfänger

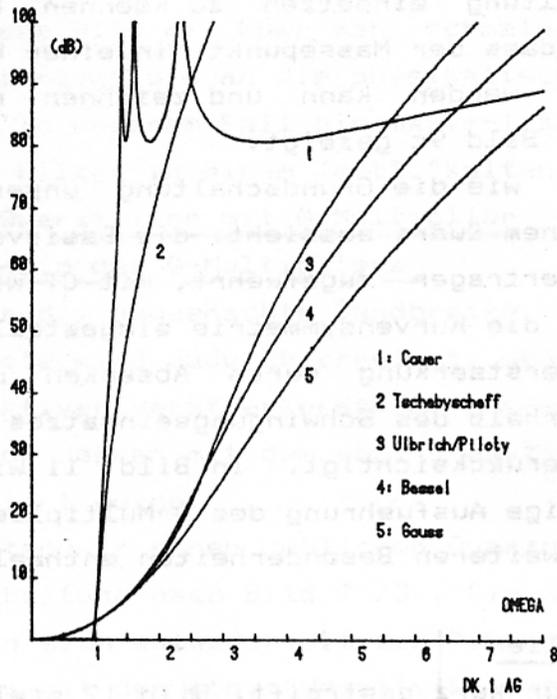


Bild 2
Vergleich der Dämpfungs-
kurven von 5 gebräuchlichen
Filtercharakteristiken

- 1: Cauer
- 2: Tchebyscheff
- 3: Ulbrich/Piloty
- 4: Bessel
- 5: Gauss

DK 1 AG

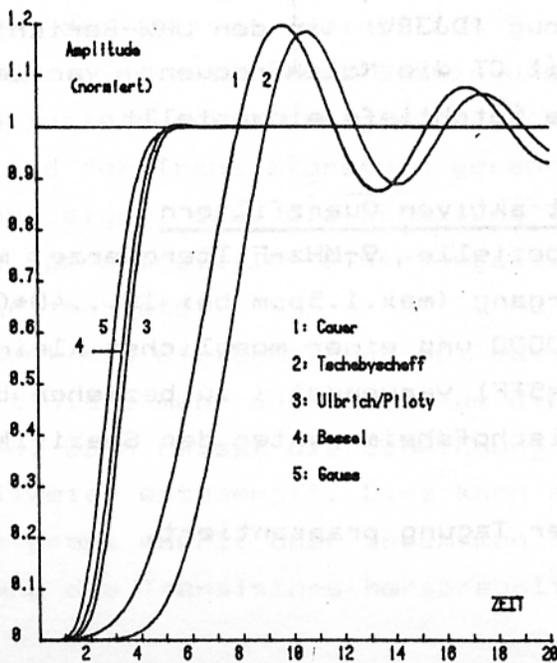


Bild 3
Vergleich der Sprung-
Antworten der
erwähnten 5 Filtertypen

- 1: Cauer
- 2: Tchebyscheff
- 3: Ulbrich/Piloty
- 4: Bessel
- 5: Gauss

DK 1 AG

Filtertyp Eigenschaften	Cauer C0815b-45°	Tschebyscheff C0815b-T	Gauß 8 Pol	Bessel 8 Pol	Ulbrich/Piloty d = 0,01/8 Pol
Selektion:					
Ω (20 dB)	1,085	1,136	2,60	2,35	2,40
Ω (40 dB)	1,201	1,362	3,90	3,34	3,17
Ω (60 dB)	1,314	1,700	5,38	4,53	4,07
Ω (80 dB)	1,380	1,884	7,28	6,08	5,30
Sprungantwort:					
Überschwingen	19,82 %	18,49 %	0	0,45 %	0,44 %
T (50 %)	5,9	7,1	2,67	3,04	3,26
T (90 %)	7,4	8,5	3,83	4,16	4,36

Bild 4: Selektion und Impulsverhalten verschiedener Filtercharakteristiken

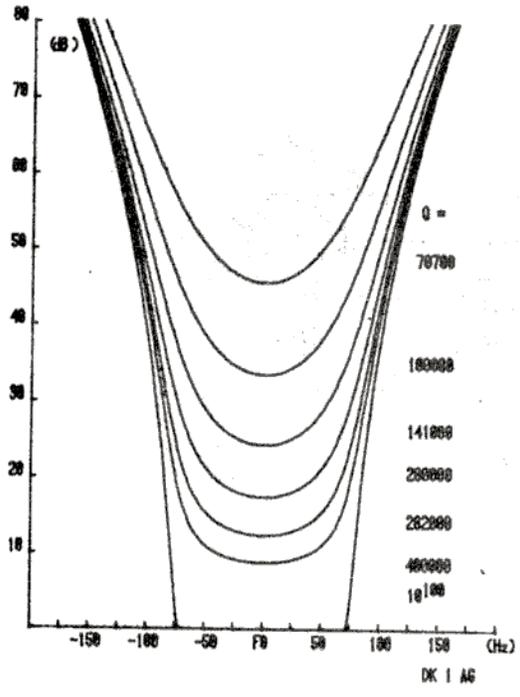


Bild 5
Filterkurven in Abhängigkeit
von der Güte Q der
verwendeten Quarze

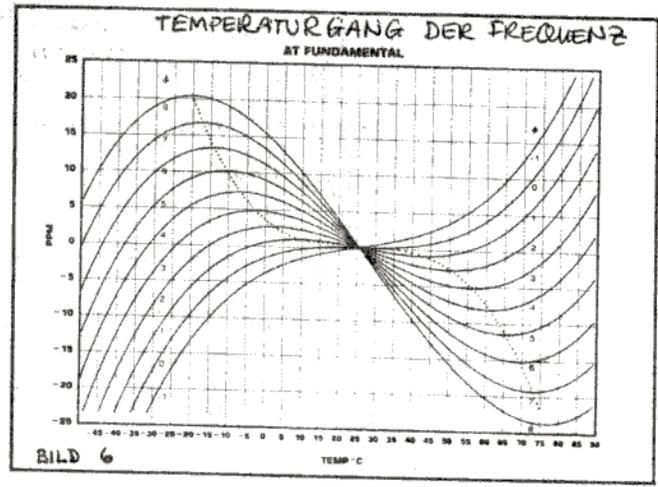


BILD 6

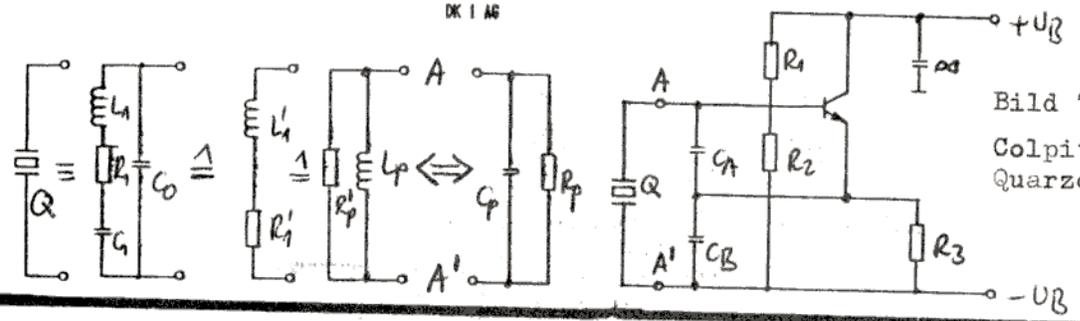


Bild 7:
Colpitts-
Quarzoszillator

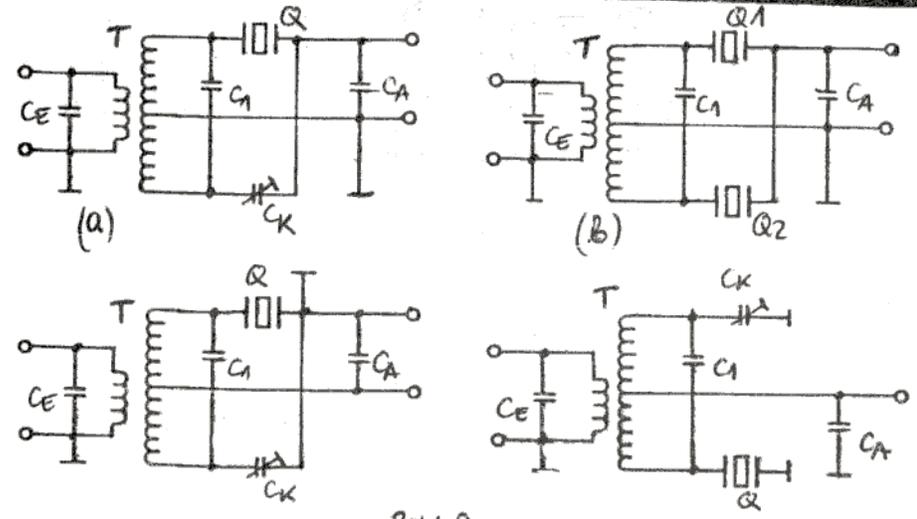


Bild 9:
siehe Text

Bild 9c

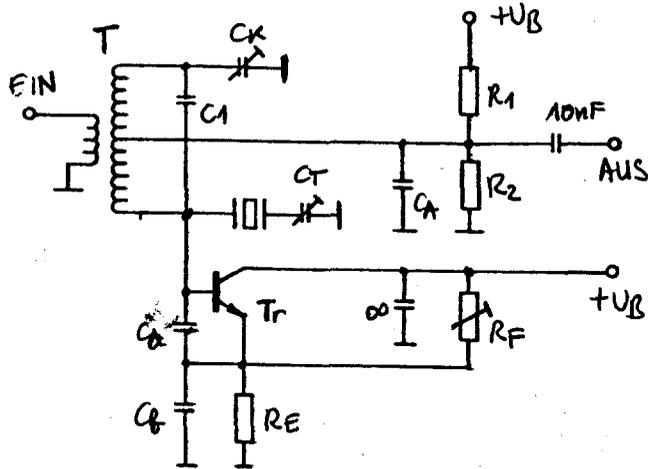


Bild 10:
Q-Multiplier-Quarzfilter
mit 1 Quarz

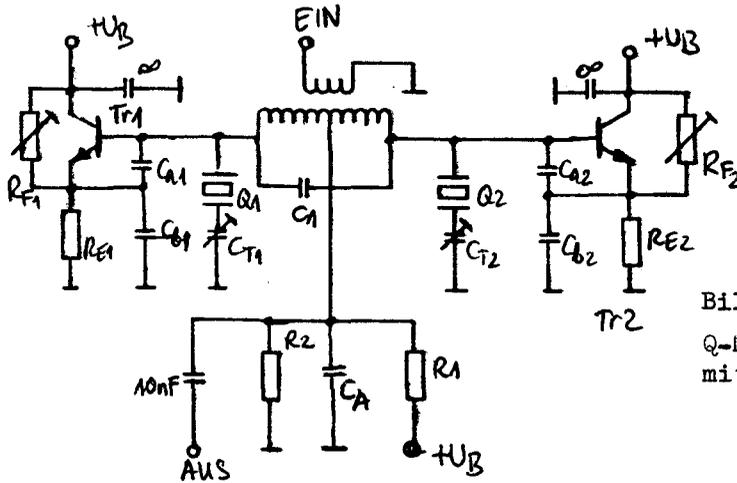


Bild 11:
Q-Multiplier-Quarzfilter
mit 2 Quarzen

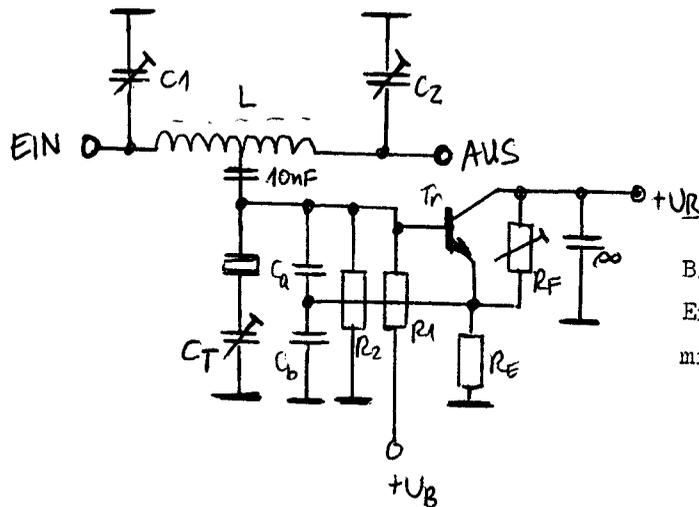


Bild 12:
Einfaches Notchfilter
mit Q-Multiplier

Literaturliste

- /1/ B.Neubig(DK1A6): Optimale ZF-Selektion fuer Kohaerent-Telegrafie(CCW);UKW-Berichte H.1/1982,S.35-43
- /2/ R.Saal: Handbuch zum Filterentwurf;AEG-Telefunken 1979
- /3/ B.Neubig(DK1A6):Entwurf von Quarzoszillatoren; UKW-Berichte H.1 und 2 /1979,S.45-61 und S.110-124
- /4/ F.Krug(DJ3RV):Vielseitig einsetzbares ZF-Teil...Teil 3; UKW-Berichte H.1/1982,S.50-52