

CW-Filter mit 200 Hz Bandbreite

E. KANTZ

Einleitung

In einem Kurzwellen-Empfänger mit mechanischem Bandfilter MF 200+E-0310 ($B = 3,1 \text{ kHz}$) ist die Selektion bei Empfang von CW-Signalen sehr unbefriedigend. Eine Verbesserung durch ein zweites mechanisches Bandfilter mit geringerer Bandbreite stößt meistens auf Schwierigkeiten bei der Beschaffung.

In dieser Situation bringt die Verwendung eines aus separaten LC-Bauteilen aufgebauten Filters eine beträchtliche Verbesserung der Selektion. Der gehörmäßige Effekt ist mit dem Einsatz eines Filters MF 200-0015 ($B = 150 \text{ Hz}$) vergleichbar. Die Bandbreite des CW-Filters von 200 Hz könnte durch andere Dimensionierung ohne Schwierigkeiten auf 150 Hz oder gar 100 Hz herabgesetzt werden. Das erscheint jedoch nicht sinnvoll, da bei Verringerung der Bandbreite die Zeiten für den Ein- und Ausschwingvorgang bei getastetem Sinussignal immer größere Werte annehmen. Bei hohem CW-Tempo würden die Zeichenelemente nicht mehr deutlich voneinander unterscheidbar sein. Die 200 Hz Bandbreite stellen einen guten Kompromiß zwischen diesem unangenehmen „Klingeln“ des Filters und einer möglichst geringen Bandbreite dar.

Schaltungskonzeption

Das CW-Filter wurde als kompakter Baustein entworfen, der sich schaltungstechnisch mühelos in einen vorhandenen Empfänger einfügen läßt. Am Eingang befindet sich eine Kollektorstufe, die die exakte eingangsseitige Anpassung des Filters und eine ausreichend hohe Eingangsimpedanz der Baugruppe zu gewährleisten hat. Gleichzeitig besitzt der Baustein dadurch einen hohen Eingangswiderstand. Nach der Kollektorstufe folgen die vier Resonanzkreise des eigentlichen CW-Filters, das beiderseitig mit 500 Ω abgeschlossen ist.

Die Abschlußwiderstände gehören mit zur Filterschaltung und haben einen dementsprechend großen Einfluß auf die Filterdurchlaßkurve! Sie sollten deshalb nicht mehr als 10% Toleranz haben.

An die Filterschaltung schließt sich ein NF-Verstärker an, der einen hohen Eingangswiderstand besitzt und dadurch die Lastimpedanz des Filters nicht weiter verfälscht. Dieser Verstärker hat eine Verstärkung von 40 dB. Wenn man die minimale Signaldämpfung im Filter von 6 dB zuzüglich 1 bis 5 dB Verluste im Filter berücksichtigt, dann ergibt sich im Durchlaßbereich eine Gesamtverstärkung des Bausteins von etwa 30 dB. Das bedeutet eine kräftige Verstärkungsreserve für

schwache CW-Signale, die durch die guten Selektionseigenschaften des vorgeschalteten LC-Filters auch voll ausgenutzt werden kann. Der Ausgang des CW-Filterbausteins ist für den Anschluß eines Potentiometers 10 k Ω /log. ausgelegt, das als Lautstärkereger geschaltet wird.

Die Stromaufnahme der Schaltung bei 1 V Betriebsspannung ist sehr gering und beträgt lediglich 2 mA.

Beim Nachbau der Schaltung sind keinerlei gleichstrommäßigen Abgleicharbeiten erforderlich. Die richtigen Arbeitspunkte der Transistoren stellen sich von selbst ein. Voraussetzung ist jedoch, daß die Transistoren Stromverstärkungsfaktoren von mindestens 50 besitzen. Nach oben besteht keine Begrenzung, da die Verstärkung der Schaltung durch eine Gegenkopplung auf den Wert von 40 dB festgelegt ist. Für T2 ist ein rauscharmer Typ einzusetzen, z. B. SC 239.

Filterabgleich

Viele Amateure scheuen den Aufbau von LC-Filterschaltungen, weil keine RLC-Meßbrücke für deren Abgleich zur Verfügung steht. Diese Schwierigkeit soll beim hier beschriebenen CW-Filterbaustein durch eine andere Abgleichmethode umgangen werden, um einen sicheren Nachbau unter amateurmäßigen Bedingungen zu ermöglichen. Es wird davon ausgegangen, daß für die Durchführung der Abgleicharbeiten ein NF-Generator und ein hochohmiges Wechselspannungsmeßinstrument (z. B. UNI 7) zur Verfügung stehen.

An die Toleranz der Kondensatoren werden nur geringe Ansprüche gestellt. Sie können ohne Bedenken $\pm 10\%$ Abweichung vom angegebenen Wert besitzen. Die Auswirkungen solcher Toleranzen auf die Selektionskurve beschränken sich im Endeffekt darauf, daß die Bandbreite des Filters einige Hertz breiter oder schmaler wird und die Dämpfungspole oberhalb und unterhalb des Durchlaßbereiches sich etwas ver-

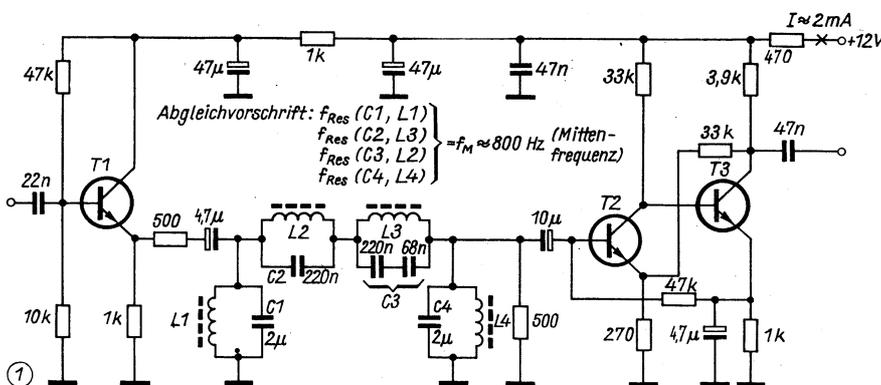


Bild 1: Stromlaufplan des CW-Filterbausteins

schieben. Gehörmäßig werden keine Unterschiede zu einem ganz exakt bemessenen Filter feststellbar sein.

Der eigentliche Abgleich des Filters wird dadurch erreicht, daß vier Schwingkreise auf der gewünschten Filtermittelfrequenz f_M in Resonanz gebracht werden. Dieses sind erstens die Originalschwingkreise L_1/C_1 und L_4/C_4 sowie zweitens die Schwingkreise L_2/C_3 und L_3/C_2 , die durch Vertauschen der Kondensatoren C_2 und C_3 entstehen. Nach dem Abgleich aller vier Kreise sind die letztgenannten Kondensatoren wieder zurückzutauschen. Es ergeben sich dann automatisch für L_2/C_2 eine Resonanzfrequenz von etwa 350 Hz und für L_3/C_3 eine von etwa 1,6 kHz. Aus dem Stromlaufplan von Bild 1 und der Durchlaßkurve (Bild 2) ist ersichtlich, daß diese Frequenzen Dämpfungspole des Filters oberhalb und unterhalb des Durchlaßbereichs darstellen.

Für die Induktivitäten können bei 800 Hz Mittenfrequenz folgende Richtwerte angegeben werden: $L_1 = L_4 = 19,8$ mH; $L_2 = 762$ mH; $L_3 = 180$ mH. Die endgültigen Werte hängen wesentlich von den Kapazitäten der Kondensatoren C_1 bis C_4 ab. Bei der vorgeschlagenen Abgleichmethode sind sie nicht von großem Interesse. Es sei noch bemerkt, daß nach dem Resonanzabgleich der vier Kreise die Kondensatoren mit gleichen aufgedruckten Werten nicht mehr miteinander vertauscht werden dürfen, weil dadurch die Resonanzfrequenzen erheblich verschoben werden könnten. Eine Nummerierung der Kondensatoren vor dem Abgleich ist deshalb sehr zu empfehlen.

Das hier beschriebene Abgleichverfahren ist mathematisch begründbar, was jedoch zu weit führen würde. Für Interessenten sei lediglich angemerkt, daß der Ansatzpunkt in den Formeln zur Transformation eines Tiefpasses in einen Bandpaß zu finden ist. Interessant dürfte sein, daß die Methode des Resonanzabgleichs auf der Mittenfrequenz allgemeinen Charakter hat und z.B. auch bei HF-Bandpässen mit Erfolg angewendet werden könnte.

Der Resonanzabgleich sollte möglichst sorgfältig durchgeführt werden. Davon hängt die endgültige Form der Selektionskurve ab. Jedoch sind überspitzte Genauigkeitsforderungen auch hier für den Amateur fehl am Platze. Wenn die maximale Abweichung der vier Resonanzfrequenzen voneinander nicht mehr als $25 \text{ Hz} = 3\%$ beträgt, so darf dies als ausreichend genauer Abgleich angesehen werden. Die Verbesserungen, welche sich bei noch exakterem Abgleich ergeben, sind nur meßtechnisch nachweisbar. Am NF-Generator reicht somit eine einfache Markierung bei einer angenehmen CW-Tonhöhe, die dann zur Filtermittelfrequenz wird. Ein Frequenzzähler ist überflüssig. Bei den Kondensatoren ist auf eine hohe Güte zu achten.

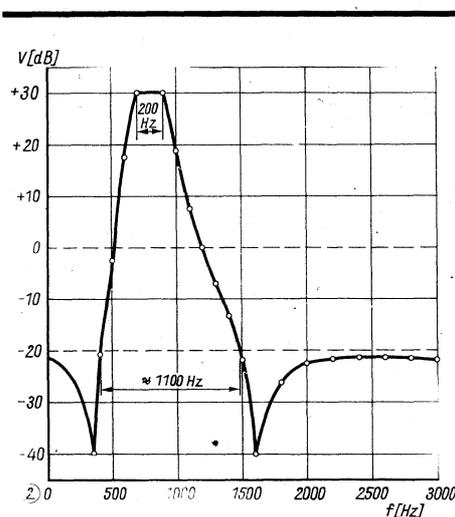


Bild 2: Verstärkungsverlauf des CW-Filterbausteins

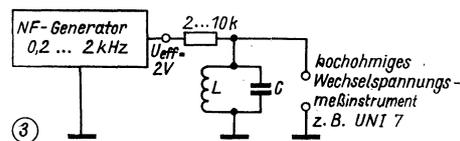


Bild 3: Skizze zum Abgleich der Resonanzkreise

Elkos sind wegen der großen Leckströme für Filterschaltungen unbrauchbar. Auch Epsilon-Kondensatoren eignen sich wegen ihres hohen Temperaturkoeffizienten und ihres relativ hohen Verlustfaktors nicht. Für die Induktivitäten kommt nur die Verwendung von Schalenkernen in Frage. Die nötige Windungszahl ist zunächst grob aus folgender Formel zu berechnen:

$$n = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_M \sqrt{C \cdot A_L}}$$

Dabei sind n – Windungszahl, f_M – Filtermittelfrequenz L – Induktivität und C – Kapazität. Es ist zunächst eine etwas größere Windungszahl zu verwenden und dann durch Abwickeln der entsprechende Resonanzabgleich durchzuführen. Soweit Schalenkerne mit Luftspalt und Abgleichkernen Verwendung finden, kann der Feinabgleich mit den Kernen erfolgen. Günstiger sind im vorliegenden Falle Schalenkerne ohne Luftspalt, weil sie durch ihren höheren A_L -Wert eine geringere Windungszahl erfordern und der ohmsche Wicklungswiderstand dadurch geringer wird. Dadurch können die Verluste im Filter und somit die Durchlaßdämpfung gering gehalten werden.

Technische Parameter

Aus der Darstellung des gemessenen Verstärkungsverlaufs (Bild 2) sind die guten Selektionseigenschaften des Filters ersichtlich. Ein einfaches praktisches Beispiel soll dies unterstreichen. Man möchte eine DX-Station aufnehmen, die mit S4 zu hören ist. In einem Abstand von 600 Hz oberhalb der DX-Station er-

zeugt eine andere Station QRM mit $S9 + 10$ dB. Der Pegelunterschied zwischen beiden Stationen beträgt somit 1:100 (40 dB). Welche Verbesserung bringt das Einschalten des CW-Filterbausteins in den Signalweg des Empfängers? Aus Bild 2 ist ersichtlich, daß bei 600 Hz Abstand bereits die volle Dämpfung des Filters von 50 dB wirksam wird, sobald die Nutzstation an den oberen Rand des Durchlaßbereiches gestellt wird. Folglich würde das QRM damit auf -10 dB gegenüber dem Nutzsignal absinken und eine einwandfreie Aufnahme der DX-Station wäre möglich.

Zur Absicherung einer einwandfreien Funktion darf es vor dem Filter allerdings zu keiner Übersteuerung durch die in der Regel wesentlich stärkeren Störstationen kommen! Beim Verfasser wurde das Filter deshalb direkt an den Ausgang eines Diodenringmischers geschaltet. Dieser arbeitet bei SSB-Empfang mit einem nominellen Pegel von 10 mV und kann bis 200 mV mit vertretbaren Verzerrungen übersteuert werden. Im Ergebnis der 30 dB Eigenverstärkung des Filterbausteins genügt bei CW-Empfang ein Signalpegel von 0,3 mV am Ausgang des Ringmischers. Betrachtet man 200 mV als Aussteuerungsgrenze, so ist eine Übersteuerungsfestigkeit von über 50 dB gegeben und die Filterdämpfung im Sperrbereich von 50 dB kann ohne die Gefahr einer vorherigen Übersteuerung fast vollständig ausgenutzt werden. Das Eigenrauschen des Filterbausteins hängt fast ausschließlich von den Rauscheigenschaften des Transistors T2 ab. Mit einem SC 206 war für ein S/R-Verhältnis von 10 dB ein Eingangssignal von 80 μ V erforderlich. Bei einem nominellen Eingangssignal von 0,3 mV ist somit ein S/R-Abstand von über 20 dB gewährleistet. Zur weiteren Verbesserung des Rauschverhaltens könnte nach dem Diodenringmischer eine Transistorstufe mit 10...15 dB Verstärkung eingefügt werden, die jedoch bis mindestens $U_{eff} = 2$ V verzerrungsfrei aussteuerbar sein muß. Allerdings sollte man auch bei T1 auf geringes Rauschen achten.

Betriebserfahrungen

Die zuvor aufgeführten recht geringen Pegelwerte weisen bereits darauf hin, daß die Schaltung auf niedrigem Pegelniveau arbeitet und deshalb empfindlich auf Störsignalen von außen reagiert, zumal die Schalenkerne gute Aufnehmer für das magnetische Streufeld von Netztransformatoren sind. Beim praktischen Betrieb erwies sich der Baustein tatsächlich als äußerst brummempfindlich und mußte deshalb mit einer Abschirmung aus Eisenblech umgeben werden. Beim Einfügen in ein vorhandenes Gerät sollte für das Filter deshalb besser gleich ein Platz weit entfernt von Netztrafo und Lautsprecher vorgesehen werden.