

10,7MHz-Quarz-Ladderfilter für AM und SSB

Für einen MW/KW Einfachsuper werden hier zwei Ladderfilter gezeigt, die mit sehr preiswerten Computerquarzen aufgebaut wurden. Um diese Filter möglichst einfach zu gestalten, wurden als Kompromiss zwischen Aufwand und notwendiger Selektivität (Flankensteilheit) jeweils 6-polige Filter vorgesehen.

Dafür wurde die "Quasi-Equi-Ripple" (QER) Topologie nach G3UUR [1] gewählt, die einen besonders einfachen Aufbau mit nur 5 Koppelkondensatoren gleicher Kapazität erlaubt. Im Gegensatz zur bekannten Cohn-Ausführung zeichnet sich die QER-Version durch eine besonders niedrige Welligkeit aus (statt rund 3db bei Cohn nur etwa 0,3db). Der kleine Mehraufwand von 2 zusätzlichen Quarzen ist vernachlässigbar im Vergleich zu den sehr guten Eigenschaften.

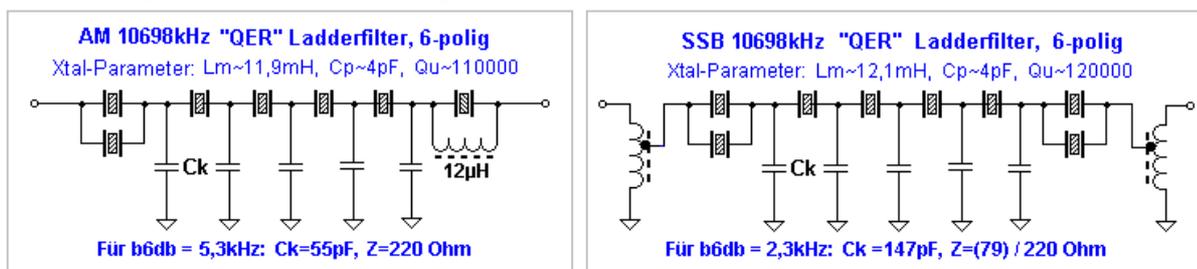
Aus den vorhandenen Quarzen wurden nach deren Ausmessung Exemplare mit den folgenden durchschnittlichen Parametern zusammengestellt:

AM-Filter: $f_s = 10695,89 \text{ kHz}$, $L_m = 11,9 \text{ mH}$, $C_p = 4 \text{ pF}$, $Q_u = 110000$ ($R_m = 7,3 \Omega$)

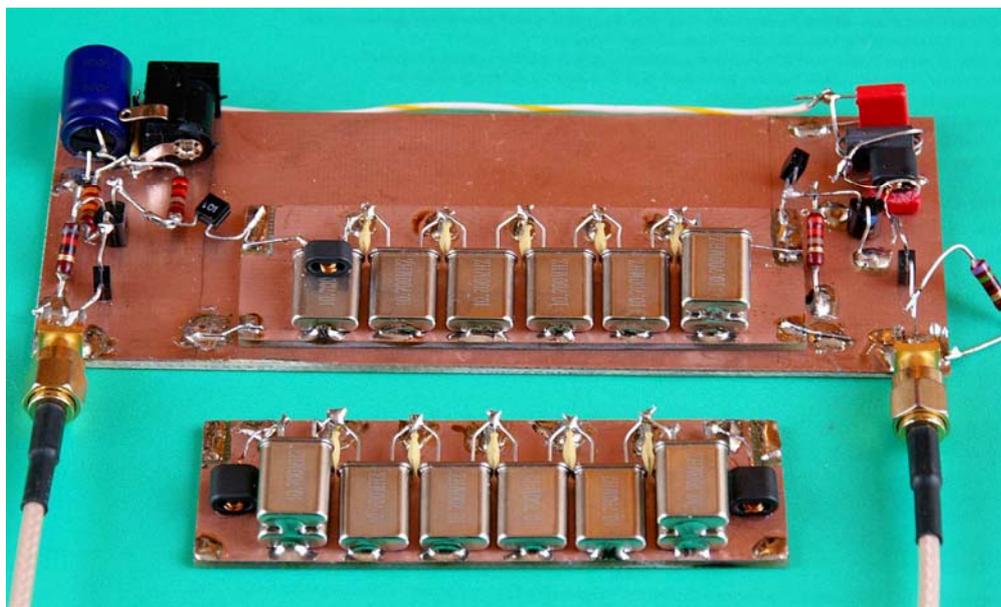
SSB-Filter: $f_s = 10695,97 \text{ kHz}$, $L_m = 12,1 \text{ mH}$, $C_p = 4 \text{ pF}$, $Q_u = 120000$ ($R_m = 6,6 \Omega$)

Da bei dieser hohen Frequenz die relativen Bandbreiten schon recht klein und die Güten im Gegensatz zu Quarzen im 5MHz-Bereich deutlich geringer sind, ist eine etwas stärkere Verrundung der Filterschultern unvermeidbar. Auch ist die Durchlassdämpfung beim SSB-Filter aufgrund der schmalen Bandbreite höher als beim AM-Filter (2,3db + 0,7db der Trafos). Die Filterkurven können sich trotzdem durchaus sehen lassen.

Die Schaltungen der Filter sehen wie folgt aus:



Bei beiden Filtern wurden Normgrößen der Kapazitäten genommen: 56pF beim AM-Filter (ausgemessen 55pF) und 150pF beim SSB-Filter (ausgemessen 147pF). Auch hier ist es wie bei den Quarzen wichtig, alle Kondensatoren auf gleiche Werte auszumessen.

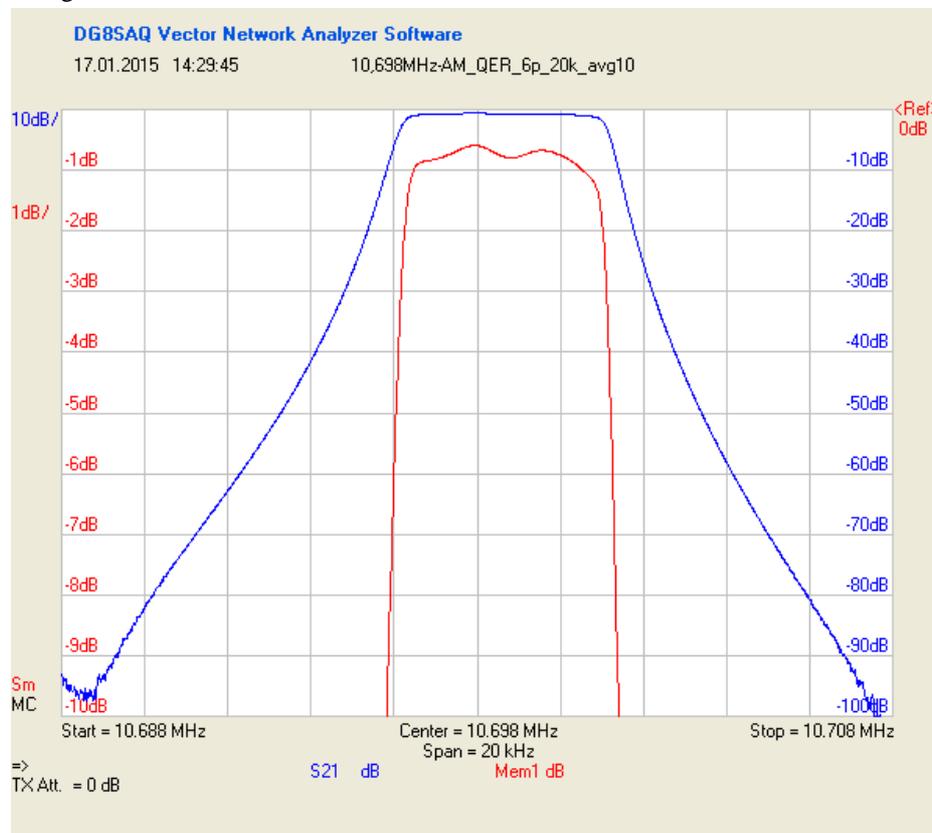


Hier ein Bild der beiden Filter auf ihren Platinen (Abmessung 82 x 26mm), wobei sich das AM-Filter noch auf dem Messadapter befindet. Dessen Schaltung ist ähnlich aufgebaut wie der weiter unten vorgestellte Vorschlag für den impedanzrichtigen Einbau der Filter in einem Empfänger.

Die Abschlussimpedanz von 220Ω des AM-Filters wird durch entsprechende 220Ω Widerstände an Ein- und Ausgang des Messaufbaus sichergestellt.

AM-Filter

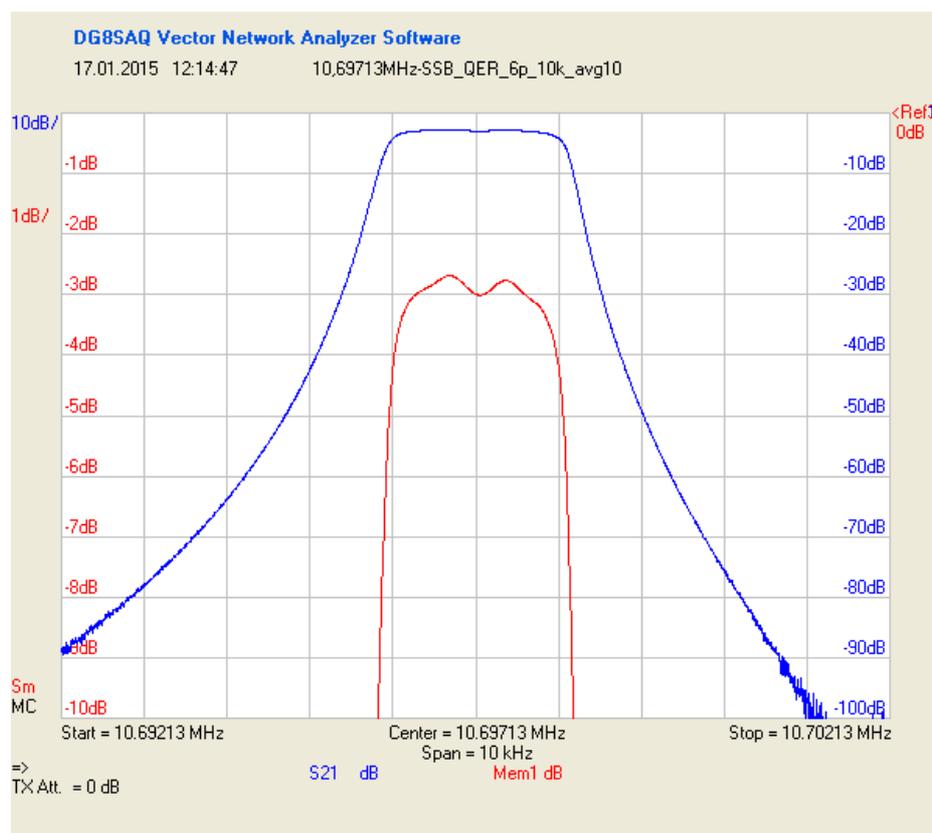
Da das normale Ladderfilter aufgrund seiner größeren Bandbreite von rund 5,3kHz selbst bei 10,7MHz noch eine deutlich sichtbare asymmetrische Durchlasskurve aufweist, wurde hier einer der Parallelquarze durch eine Induktivität von ca. 12 μ H ersetzt. Damit wird die Kurve durch eine Teilkompensation von Cp des Endquarzes symmetriert. Die errechnete Impedanz von rund 220 Ohm wird als Standard für eine später noch beschriebene Schaltung zur Anpassung in einem Empfänger genommen. Daher ist hier kein Anpassnetzwerk (L/C oder Trafo) vorgesehen. Dadurch bleibt die Durchlassdämpfung von weniger als 1db erhalten.



Die gemessene **6db**-Bandbreite ist **5,3kHz**. Bei 60db Dämpfung liegt sie bei **12kHz**. Das ergibt einen Formfaktor von knapp **2,3**, nicht schlecht für ein 6-Polfilter.

Die Welligkeit von nur 0.3db ist nur in der gedehnten Darstellung mit 1db/div (rote Kurve) zu sehen.

Die Sperrdämpfung ist größer als **90db**.



Hier ist die Durchlasskurve des **SSB-Filters** zu sehen, wobei die Wobbelbreite nur die Hälfte, also 10kHz beträgt.

Die Dämpfung ist durch die kleinere Bandbreite von **2,31kHz** bei 6db deutlich höher. Das wird nicht nur durch das Filter selbst, sondern auch durch die Verluste der Übertrager (ca. 0,7db) bedingt, die die Filterimpedanz von knapp 80 Ω auf 220 Ω transformieren.

Die Bandbreite bei 60db beträgt **5,45kHz**, was einen Formfaktor von knapp **2,4** ergibt.

Die Sperrdämpfung beträgt **>95db**

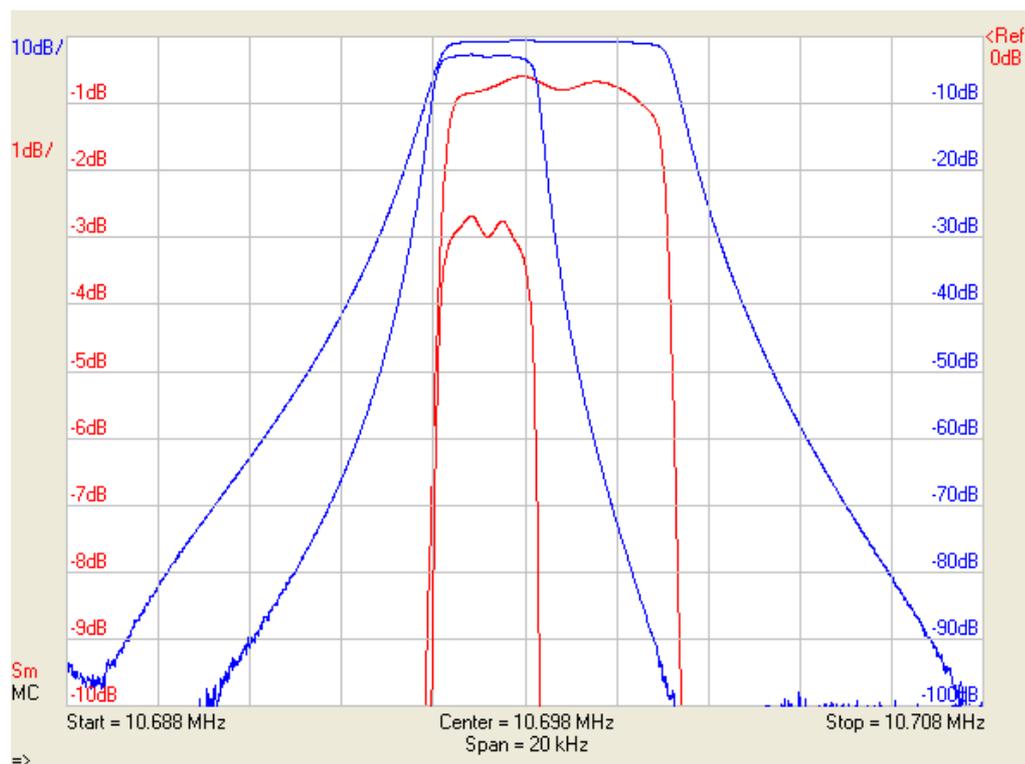
Hinweis:

Die sehr hohen Sperrdämpfungen können nur erreicht werden, wenn die Massefläche der Filterplatinen an möglichst vielen Punkten mit der Masse des Empfängers verbunden werden.

Das folgende Bild mit den überlagerten Kurven beider Filter zeigt die gegenseitige Frequenzlage – eine typische Eigenschaft der Ladderfilter bei unterschiedlichen Bandbreiten. Die Mittenfrequenzen betragen etwa:

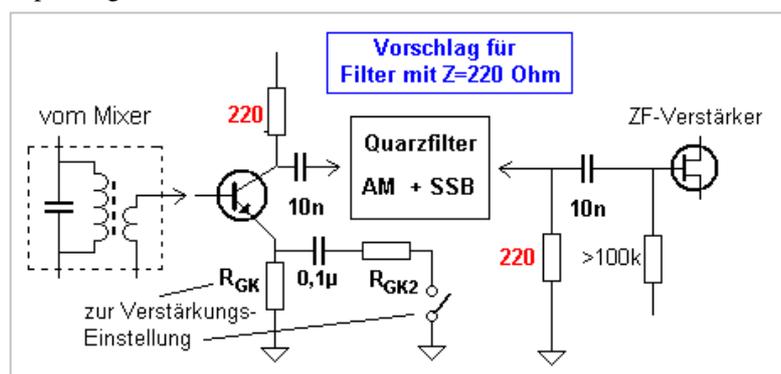
AM-Filter: $f_m = 10698,60 \text{ kHz}$

SSB-Filter: $f_m = 10697,13 \text{ kHz}$



Vorschlag für eine Filteranpassung

Da die Filter ohnehin wegen ihrer starken Impedanzschwankungen im Sperrbereich vom Empfängermischer isoliert werden sollten, wird hier das Prinzip einer einfachen Schaltung gezeigt, die eine Entkopplung und gleichzeitig eine saubere Filteranpassung bewirkt.



Die Verstärkung des Transistors wird durch das Verhältnis des 220Ω Kollektorwiderstandes zum Wert des Gegenkopplungswiderstand R_{GK} bestimmt. Sie sollte recht klein sein und die Durchgangsdämpfung der Filter nur kompensieren oder um wenige dB übersteigen. Wie gezeigt, kann man die unterschiedliche Filterdämpfung durch Zuschaltung weiterer Widerstände R_{GK2} ausgeglichen werden.

Die Basisvorspannung sollte so gewählt werden, dass ein Kollektorstrom von 12 bis 15mA fließen kann. Das erhöht die Linearität und damit die Großsignalfestigkeit dieser Stufe.

So, das war's. Hat mal wieder Spaß gemacht, mit dem Lötkolben zu spielen.

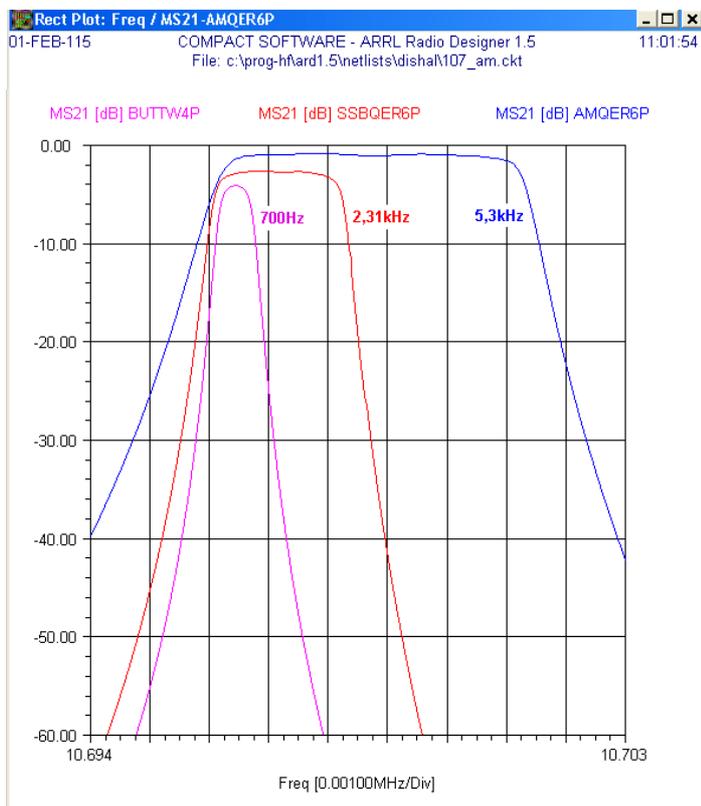
Horst

[1] ARRL-Handbook 2010/2011, pages 11.32 - 11.34

CW – Filter

Anmerkungen

Hier die Beschreibung des CW-Filters (das ich nur simuliert und nicht mehr aufgebaut habe). Da bei 10,7MHz selbst Quarze mit Güten von 120k schon bei Bandbreiten unter 1kHz eine recht hohe Dämpfung aufweisen, habe ich mich für einen Kompromiss zwischen Bandbreite, Zahl der Quarze und einer noch tolerablen Dämpfung entschieden. Daher werden hier nur 4 Quarze und eine Bandbreite von 700Hz gewählt, um die Dämpfung nicht über 4,5db ansteigen zu lassen. Es wurden Quarze mit einer höheren Serienresonanz von $f_s=10696,06\text{kHz}$ ausgesucht, damit die resultierende Kurve noch innerhalb der beiden anderen Filter liegt.



Die folgende Simulation zeigt die Lage der drei Filter zueinander (sie stimmt mit den Messungen der beiden realen Filter sehr gut überein).

Ich würde vorschlagen, das Filter ähnlich wie die beiden anderen aufzubauen. Die Koppelkondensatoren (390pF und 560pF) sollten auf möglichst jeweils gleiche Werte ausgemessen werden. Bei den Keramikcondensatoren sollte man unbedingt auf das richtige Material, nämlich **NP0** oder **C0G** achten, nicht etwa so etwas wie X7R usw. nehmen.

Das Filter ist als sogenanntes Butterworth-Design berechnet, das bei dieser Bandbreite nicht "klingelt" und aufgrund der relativ "hohen" Impedanz (!) von 55 Ohm noch eine erträgliche Dämpfung aufweist.

Man braucht bei den richtigen Teilen und Aufbau keinen Abgleich. Die Trafos können aufgrund des Transformationsverhältnisses von 1:4 (55:220 Ohm) bifilar ausgeführt werden.

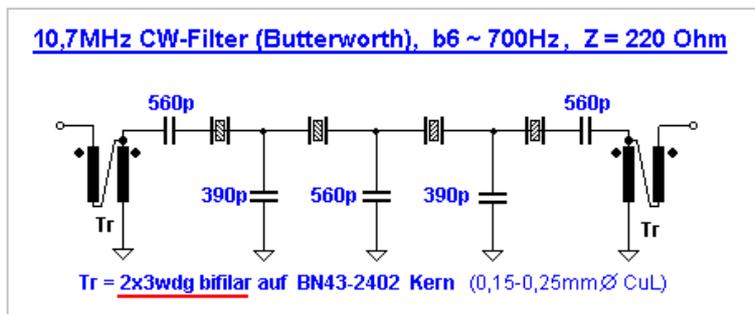
Die Mittenfrequenz des CW-Filters liegt bei ca. 10696,45kHz. Wenn die Bandbreite nicht schmal genug erscheint, könnte man noch ein schmaleres NF-Filter im RX nachschalten.

Ich habe schon oben erwähnt, dass für eine sehr hohe Sperrdämpfung (>90db) die Filterplatinen an mehreren Punkten mit einer möglichst breitflächigen Groundplane der Mutterplatine verbunden sein sollten. Hier ein Vorschlag, um die vorhandenen Lötstellen nicht zu beeinflussen (Verbindung an den Lötstellen der Quarzgehäuse vermeiden):



Allerdings reichen auch zwei oder drei Punkte für ca. 80db Sperrdämpfung aus.

Die Schaltung des CW-Filters:

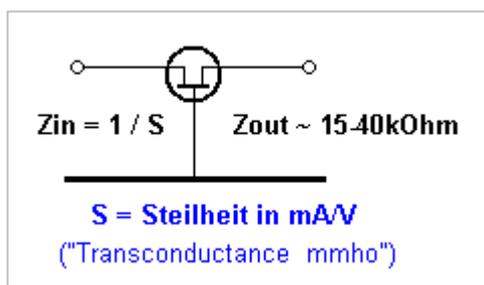


Die Reihenfolge der Quarze im Filter spielt keine Rolle, da sie auf weitgehende Gleichheit ihrer Parameter ausgemessen wurden

Die FET-Gate-Schaltung und Anpassung

Ich hänge gleich auch eine vereinfachte Darstellung der Funktionsweise einer Gate-Schaltung dran. Ich lasse die genauere theoretische Behandlung weg, die ja in den entsprechenden Büchern oder im Internet zu finden ist. Sie entspricht im Prinzip der Gitterbasisschaltung in der Röhrentechnik.

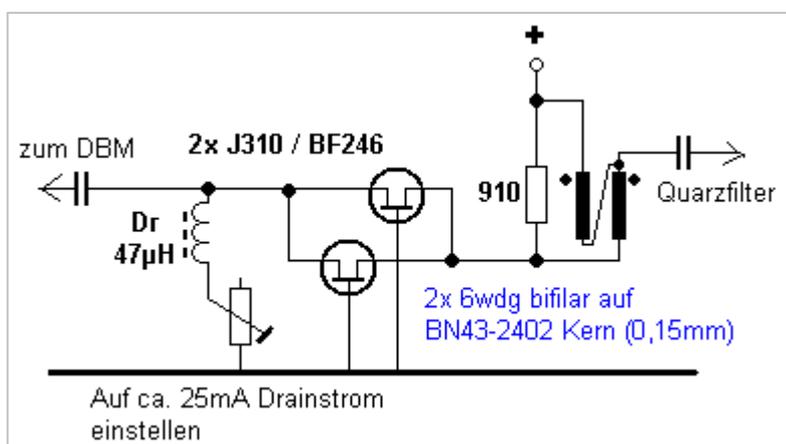
Diese Schaltung wird gerne als Postmischer-Verstärker hinter einem Schaltmischer (Dioden-DBM oder FET-Schalter) verwendet, weil er eine genau definierte, breitbandig niedrige Eingangsimpedanz und eine hohe Isolation zwischen Eingang und Ausgang zeigt. Das ist deswegen so wichtig, weil z.B. die Quarzfilter schon in wenigen kHz Abstand vom Durchlassbereich einen starken und reaktiven Impedanzverlauf aufweisen. Dieses Verhalten setzt die Intermodulationsfestigkeit der Mischer sehr stark herab.



Die Prinzipschaltung zeigt die typischen Ein- und Ausgangsimpedanzen der Gate-Schaltung. Durch die hohe Ausgangsimpedanz ist diese Schaltung weniger für Breitbandanwendungen, aber sehr gut als Postmischer-Amp geeignet.

Wenn der FET durch entsprechende Arbeitspunkteinstellung eine Steilheit von 20mA/V besitzt, beträgt die Eingangsimpedanz $50\ \Omega$. Daher wird in vielen entsprechenden Schaltungen der Leistungs-FET P8000 (bzw. P8002) gezeigt, der bei ca. 30 bis 40mA Drainstrom diese Steilheit aufweist.

Diese FETs werden allerdings schon seit Jahren nicht mehr gefertigt und sind daher extrem teuer. Man kann sie aber durch eine Parallelschaltung von zwei FETs des Typs J310 oder BF246 nachbilden. Diese müssen aber natürlich auf gleiche ID_{SS} -Werte (min. 30mA) ausgesucht werden. Dann kann man bei einem Gesamt-Drainstrom von ca. 25 bis 30mA die Steilheit von 20mA/V erreichen.

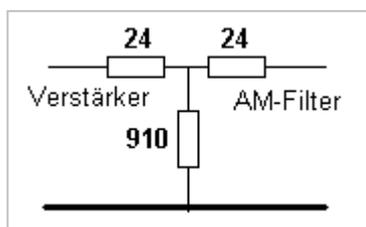


Eine praktische Schaltung hinter einem Standard-DBM in 50-Ohm Technik (z.B: SBL1, TUF1) könnte so aussehen:

Die FET-Ausgangsimpedanz $\parallel 910\ \Omega$ wird auf $220\ \Omega$ für die Quarzfilter transformiert. Bei Belastung mit einem Filter ergibt sich eine ungefähre Spannungsverstärkung von $20\text{mA/V} * 440\ \Omega / 2 \rightarrow \sim 12\text{db}$. Das reicht, um die Mischer- und Filterdämpfung zu kompensieren.

Die auf Seite 3 gezeigte Verstärkungsumschaltung der Anpassung mit Transistor zwischen AM- und SSB-Filter lässt sich bei der Gateschaltung nicht realisieren.

Aber es gibt eine einfachere Methode, die Dämpfung zwischen AM- und SSB-Filter auf 3db anzugleichen. Man schaltet einfach vor das AM-Filter folgendes R-Glied, das zusätzlich 2db Dämpfung bei unveränderter 220Ω-Anpassung erzeugt. Das wurde mit der Filter-Simulation überprüft



Das CW-Filter hat eben leider eine etwas höhere Dämpfung von 4 bis 4,5db. Aber die maximal 1,5db Unterschied dürften absolut nicht zu hören sein.

Die beiden zusätzlichen Quarze sind aufgrund ihrer etwas geringeren Güte (~80k) für Oszillatorzwecke gedacht. Mit einem davon kann man einen VXO als BFO bauen. Die erforderliche Frequenzvariation von max. 4kHz für LSB, USB und CW lässt sich bei dieser Frequenz leicht erzielen.

So, das wär's fürs erste. Sind natürlich nur Empfehlungen, basierend auf den Quarz- und gewählten Filterparametern.

Viel Spaß, Horst

Nur zur Info die Parameterliste der Quarze, die für die Filter ausgesucht wurden. Die Mesungen wurden nach der sogenannten 3db-Methode durchgeführt, die Berechnungen mit dem Dishal-Programm.

xtal#	Zsource+Zload= 25.10 Ohm			Cp = 4pF						
	fres[kHz]	b3db[Hz]	Umax[%]	I.L.[db]	Lm[mH]	Cm[fF]	Rm[Ohm]	Qu		
xt028	10696,067	418,0	78,0	-2,16	12,25	18,07407	7,1	116299	CW	
xt029	10696,061	404,3	79,2	-2,02	12,47	17,75522	6,6	127382		
xt045	10696,060	414,1	79,2	-2,03	12,19	18,16306	6,6	123931		
xt043	10696,031	417,0	78,1	-2,14	12,26	18,05945	7,0	117385		
xt001	10695,999	411,1	80,8	-1,85	12,03	18,40484	6,0	135346	SSB	
xt035	10695,983	412,1	79,8	-1,96	12,14	18,23812	6,3	128584		
xt050	10695,979	412,1	79,8	-1,96	12,15	18,22313	6,4	128401		
xt036	10695,973	415,0	78,6	-2,09	12,24	18,08915	6,8	120616		
xt002	10695,973	424,8	78,9	-2,06	11,93	18,55920	6,7	119067	Parallel-Xtal	
xt008	10695,963	420,9	78,0	-2,16	12,17	18,19323	7,1	115393		
xt014	10695,959	420,9	79,5	-2,00	11,94	18,54370	6,5	123768	Parallel-Xtal	
xt027	10695,958	416,0	79,7	-1,97	12,05	18,37443	6,4	126550		
xt026	10695,930	442,4	76,2	-2,36	11,85	18,68464	7,9	101474	AM	
xt023	10695,897	429,7	78,2	-2,13	11,88	18,63757	7,0	114394		
xt024	10695,895	417,0	80,8	-1,86	11,86	18,66901	6,0	133258		
xt031	10695,889	418,9	79,4	-2,00	12,00	18,45123	6,5	124232		
xt009	10695,882	435,5	77,9	-2,16	11,77	18,81181	7,1	111357	Parallel-Xtal	
xt044	10695,869	435,5	77,0	-2,27	11,91	18,59073	7,5	106750		
xt005	10695,867	439,5	76,6	-2,31	11,86	18,66911	7,7	104094		
xt041	10695,807	476,6	72,4	-2,81	11,58	19,12074	9,6	81257		
xt030	10695,784	474,6	73,9	-2,63	11,39	19,43978	8,9	86380	BFO (VXO)	