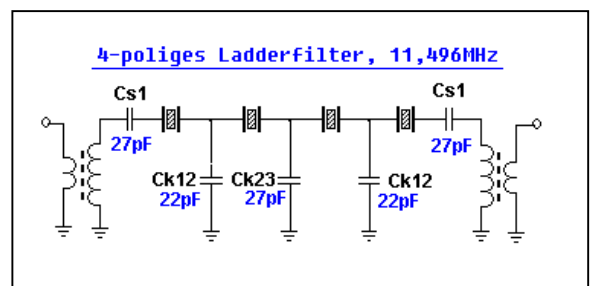
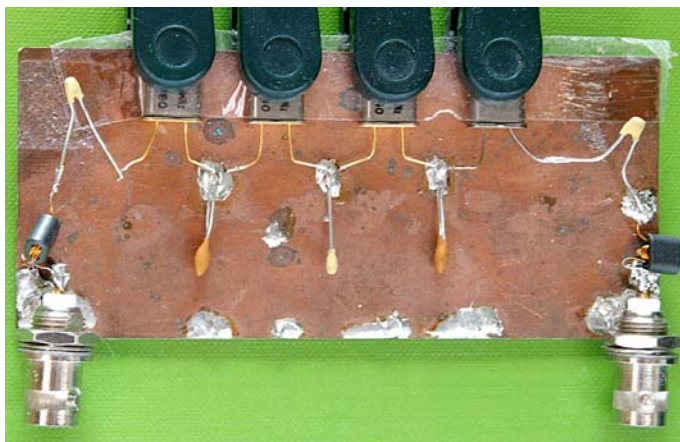


## Teilkompensiertes Ladderfilter – eine Praxisstudie.

Ich möchte vorausschicken, dass ich den Simulator "ARRL-Radio Designer 1.5" seit rund 14 Jahren einsetze und mich inzwischen voll auf dessen Ergebnisse verlasse.

Trotzdem wollte ich hier wieder einmal Simulation und Wirklichkeit durch einen praktischen Aufbau und die entsprechenden Messungen vergleichen. Da die meisten von mir gebauten Filter mittlerweile entweder in Geräten verschwanden oder aber kannibalisiert wurden, habe ich einfach ein noch übriggebliebenes 4-Pol-Filter bei ca. 11,496 MHz dafür herangezogen. Das im "Quarzfilter"-Papier ("QF-pdf") [1] auf Seite 50 (Bild 38) beschriebene Filter ist auch deswegen ein dankbares Objekt für eine solche Untersuchung, weil es mit seiner sehr großen Bandbreite von 10kHz und nur 4 Quarzen einen Extremfall bezüglich der Asymmetrie darstellt. Die Vergleichsmessungen wurden mit dem NWT durchgeführt.

In dieser Studie habe ich untersucht, wie weit sich ein solches Filter mit Hilfe der beiden Methoden einer Kompensierung nur der Endsektionen symmetrieren lässt, nämlich entweder durch eine C-Neutralisierung in Brückenschaltung oder einer Kompensation durch Parallelschaltung einer Induktivität zum jeweiligen Endquarz. Das Bild und die Schaltung des Filters im Originalzustand sind hier zu sehen:

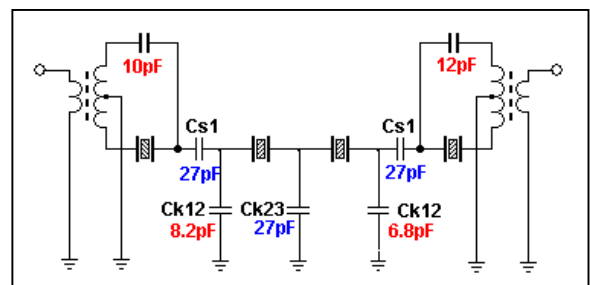
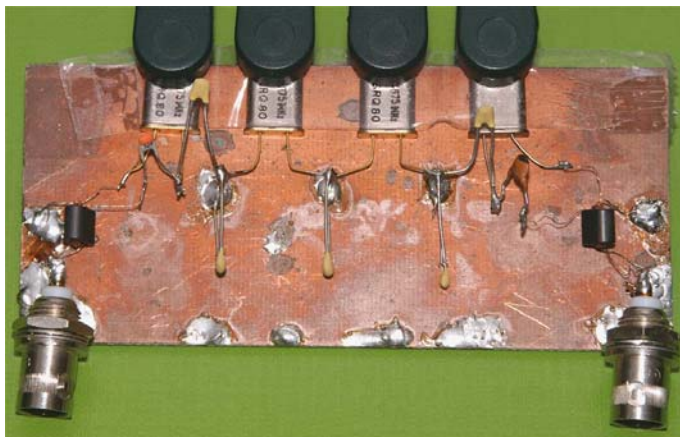


Originalfilter ohne Kompensation. Die Übertrager besitzen ein Windungsverhältnis von 3:10Wdg. Die Impedanz des Filters beträgt 550 Ohm.

### 1) C - Kompensation (Neutralisation)

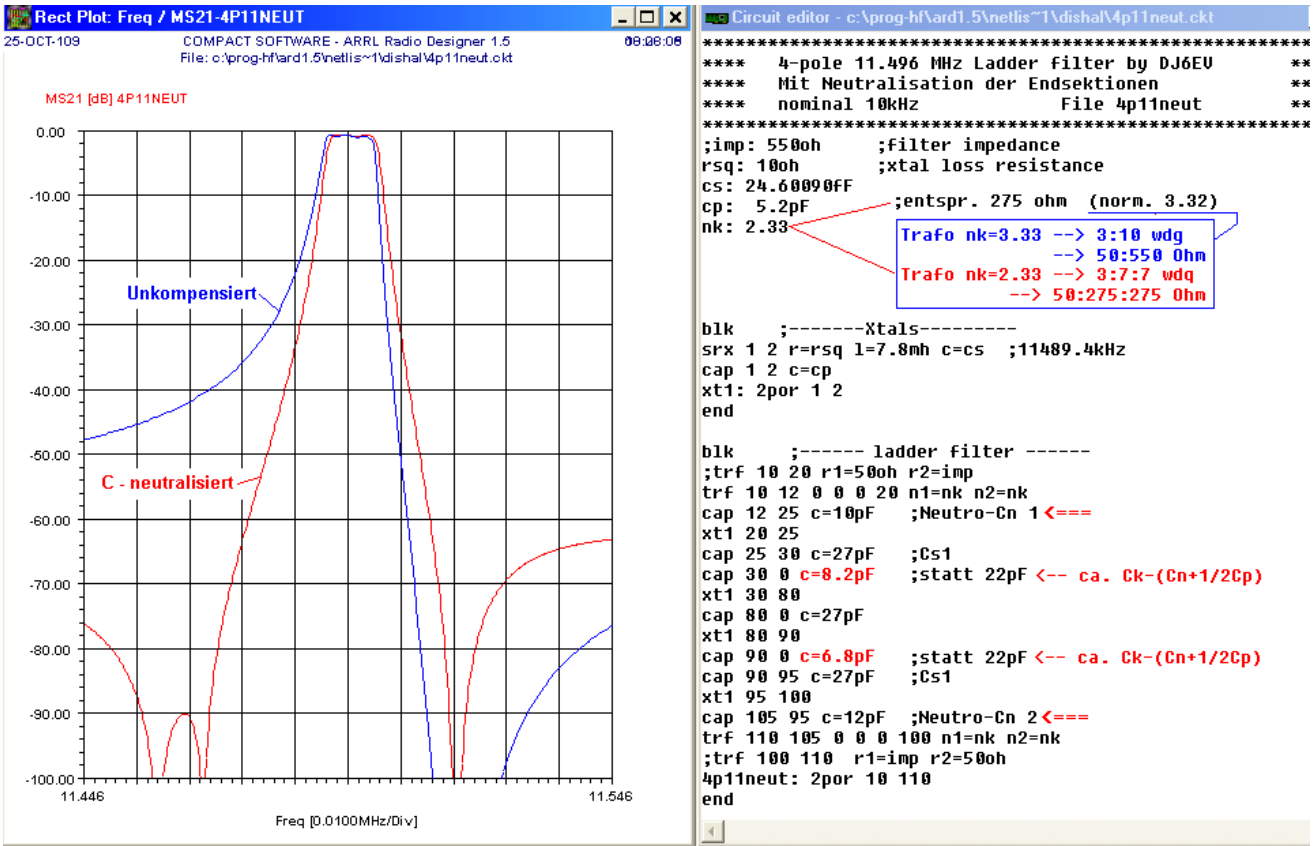
Der erste Ansatz war die Teilkompensation durch die Neutralisierung der Endsektionen mit einer Kapazität in einer Brückenschaltung. Dazu sollten die ohnehin notwendigen Anpassungstrafos dienen, die jetzt eben als Differentialübertrager ausgeführt wurden. Die Schaltung wurde auch so modifiziert, dass die End-Serienkapazitäten Cs1 gegenüber der Originalschaltung den Platz mit dem jeweiligen Quarz tauschen, um eine korrekte Neutralisierung zu ermöglichen. Das Ziel war, die im "QF-pdf" im Anhang 2.2 (Seite 65, Bild 58) in der Simulation gezeigte Filterkurve zu entzerren, um die 10kHz-Bandbreite mit einer akzeptablen Welligkeit zu erreichen.

Ich muss sagen, dass sich die Filtermodifikation ohne eine vorherige Simulation sehr viel komplizierter und zeitraubender gestaltet hätte (z.B. die Windungszahlen für die Übertrager). Nur so konnte ich recht schnell die veränderten Werte ermitteln. Das Foto und die neue Schaltung sind hier gezeigt:

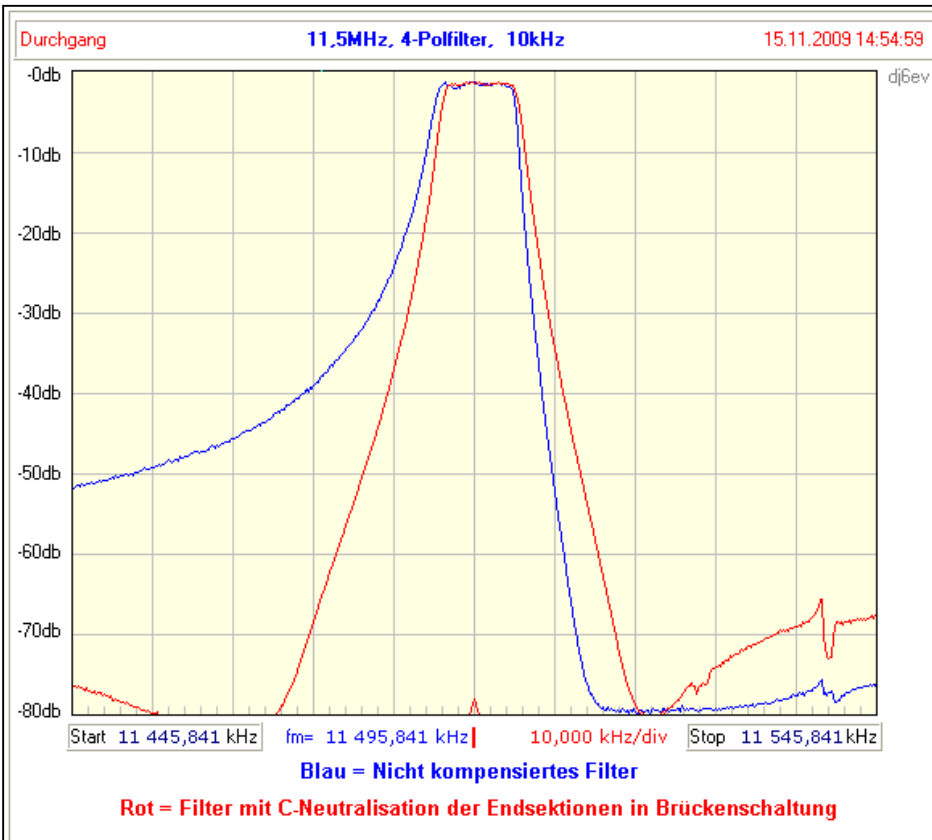


Die Übertrager besitzen ein Windungsverhältnis von 3:7:7. Das ergibt eine Impedanz von rund 275 Ohm. Die Größe der Neutralisations-Cs (10pF und 12pF) ist etwa doppelt so hoch wie das Quarz-Cp von ca. 5pF (Überkompensation).

Hier die Simulation, die zu der Bemessung der obigen Schaltung führte. Die Änderungen der Werte für die Koppelkapazitäten Ck21 und der Trafo-Impedanzen sind in roter Farbe im Text der NetList aufgeführt.



Und hier die mit dem NWT durchgeführten Messungen des Filters:



Es wurden einfach die in der Simulation ermittelten Werte der Impedanzen für die Übertrager (Wicklungsverhältnisse 3:7) und die der Kapazitäten mit Normwerten für die Festkondensatoren realisiert.

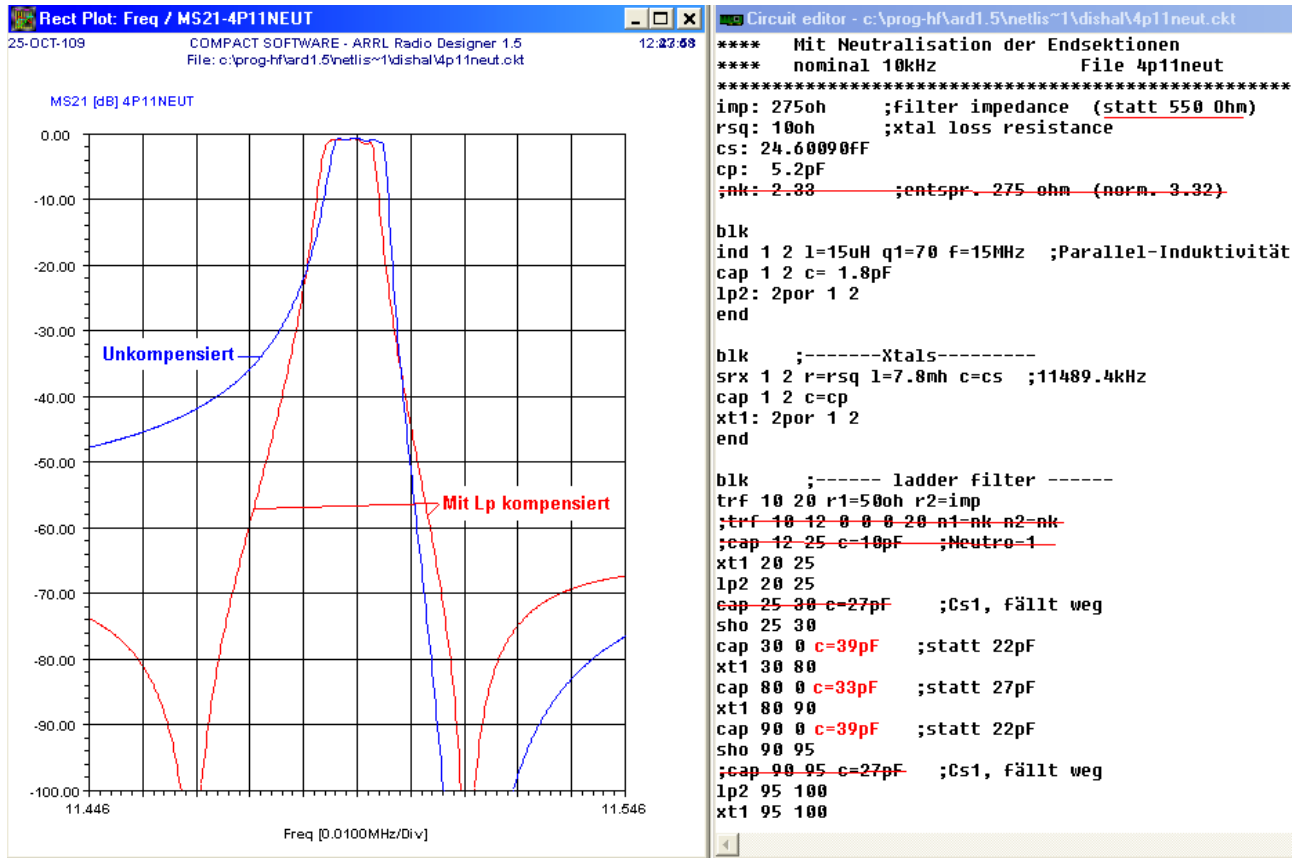
Obwohl keinerlei Trimmer für einen Feinabgleich verwendet wurden, kann die Übereinstimmung mit der Simulation durchaus als sehr gut angesehen werden.

Die Werte der Neutralisationskapazitäten wurden mit 10pF und 12pF wesentlich größer als die Quarzkapazität Cp mit rund 5pF gewählt.

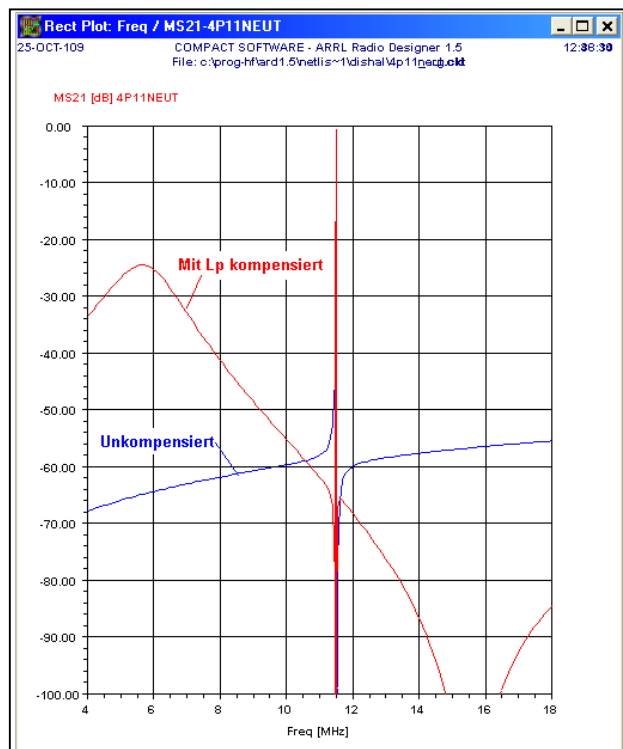
Dadurch liegen die beiden, in der Frequenz etwas gegeneinander versetzten Polstellen auf der niederfrequenten Seite des Filters (Überkompensation).



Auch das Bild der Filterkurve in der breitbandigen Darstellung zeigte einen unbrauchbaren Dämpfungsverlauf. Eigentlich wollte ich das so als gegeben hinnehmen, machte dann aber einen weiteren Versuch mit deutlich anderen (höheren) Werten für die Kopplungskapazitäten, wobei die Größe von  $L_p$  (ca.  $15\mu\text{H}$ ) beibehalten wurde. Auch die Impedanz war jetzt drastisch niedriger als im ersten Anlauf. Diesmal ergab sich ein völlig anderer und sehr guter Verlauf der Durchlasskurve, die der C-neutralisierten Kurve in nichts nachsteht.



Allerdings tritt im breitbandigen Bereich wieder das schon behandelte Tiefpassverhalten unterhalb der Filterfrequenz sehr stark hervor, weil die zwei unkompensierten Quarze kaum einen Beitrag zur genügenden Unterdrückung dieses Verhaltens leisten können (siehe das folgende Bild).



Mit aller Vorsicht bei der Interpretation der Ergebnisse kann man aufgrund dieser beiden Experimente folgende Schlüsse ziehen:

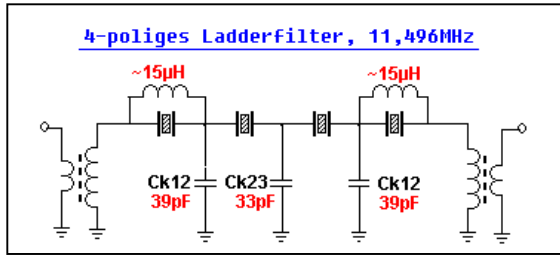
Beide Verfahren sind, schmalbandig betrachtet, im Prinzip gleichwertig.

Bei nur 4 Quarzen und einer Bandbreite in der Nähe der Maximalbandbreite erfordert die Kompensation mit einer Parallelinduktivität allerdings in jedem Fall noch **zusätzliche Selektionsmittel** zur Unterdrückung des Tiefpassverhaltens. (das 11.5MHz-Filter liegt mit  $b_3=10\text{kHz}$  bei knapp 70% der Maximalbandbreite).

Die Neutralisation der Endsektionen mit einer Kapazität in Brückenschaltung ist hier günstiger, weil kein weiterer Aufwand erforderlich ist.

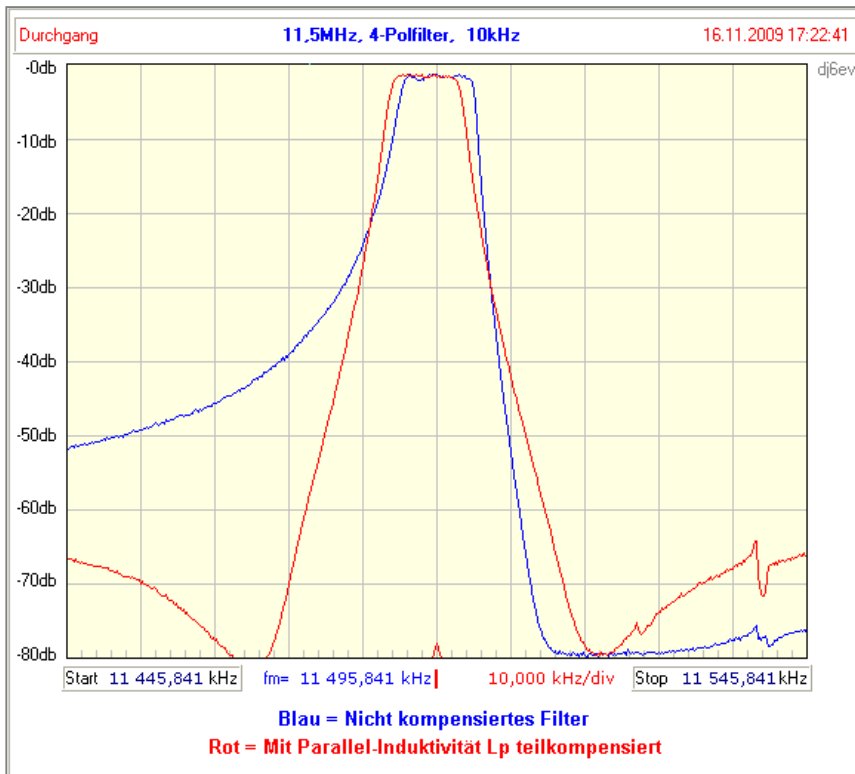
Die  $L_p$ -Kompensation ist bei Filtern mit mindestens 6 Quarzen recht gut anwendbar. Aber auch hier empfiehlt es sich grundsätzlich, eine Breitbandmessung durchzuführen, um das oben erwähnte Tiefpassverhalten zu kontrollieren.

Die Schaltung und die Messung der Durchlasskurve sind hier dargestellt:



Die Endquarze sind mit den Induktivitäten von  $15\mu\text{H}$  teilkompensiert. Die Serienkapazitäten  $C_{s1}$  sind weggefallen und die Werte der Koppelkapazitäten haben sich erheblich vergrößert. Die Resonanzfrequenz der aus  $L_p$  und  $C_p$  gebildeten Schwingkreise ( $15\mu\text{H}+1,35\text{pF}$  und  $C_p=5,2\text{pF}$ ) liegt bei ca. 16 MHz, nicht bei 11,5 MHz!

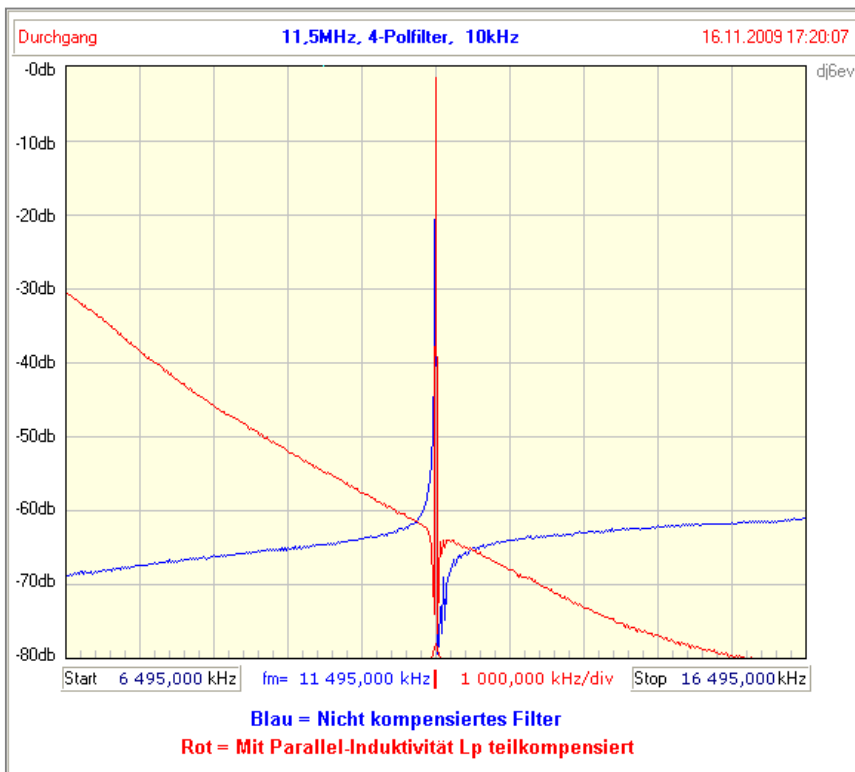
Das Windungszahlverhältnis der Übertrager ist **3:7**, was einer Impedanz von ca.  $275\Omega$  entspricht.



Die symmetrierte Durchlasskurve im Vergleich zur Kurve des unkompensierten Filters. Sie entspricht im Nahbereich ziemlich genau dem Verlauf des C-neutralisierten Filters.

Die untere Flanke der Kurve ist etwas steiler als in der Simulation, da die nachträglich gemessene Eigenkapazität der  $15\mu\text{H}$ -Spulen nur  $1,35\text{pF}$  statt der angenommenen  $1,8\text{pF}$  beträgt. Der Dämpfungspol liegt dadurch etwas näher an der Filterflanke.

Auffällig ist die Frequenzverschiebung der Filterkurve nach unten, wie es auch schon in der Simulation zu sehen ist.



Die breitbandige Messung zeigt aber den deutlichen Unterschied des Frequenzgangs beim L-kompensierten Filter im Vergleich zur C-Neutralisierung.

Wie in der Simulation aufgezeigt, verringert sich die Sperrdämpfung zu niedrigeren Frequenzen hin sehr stark.

Das Minimum der Sperrdämpfung liegt mit ca.  $-27\text{dB}$  bei knapp  $6\text{MHz}$  (hier außerhalb des Darstellungsbereichs).

Bei der **C-Neutralisierung** kann man als ersten Ansatz für die Dimensionierung die Werte für die Endsektionen folgendermaßen wählen:

- a) Der Wert für die Koppelkondensatoren **Ck12** wird um annähernd die Summe von **Cn+Cp** (Neutro-C und Quarz-Cp) verringert - ähnlich wie beim klassischen Quarzfilter. Da aber jeweils diese beiden Kapazitäten mit **Cs1** in Serie liegen, muss die rechnerische Summe von Cp+Cn entsprechend etwas verringert werden (daher in der Simulation "ca. Cn+1/2Cp").
- b) Den Startwert für die Impedanz (einer Teilwicklung des Symmetrier-Übertragers) kann man dadurch ermitteln, indem man im Dishal-Programm (nur dafür) **Cp auf 0pF** setzt. Dass sie in diesem Filter in etwa halbiert wird, ergibt sich zufällig aufgrund der gewählten Parameter für die Quarze und das Filter.

Bei der **Kompensation mit Lp** ist - bis auf die ungefähre Reduzierung der Impedanz wie bei der C-Neutralisierung - keine besondere Systematik für die Dimensionierung erkennbar. Das macht die Ermittlung der richtigen Werte etwas umständlicher und kann auch einmal in eine Sackgasse führen, wie oben gezeigt. Falls man in eine solche Situation gerät, ist es gut zu wissen, dass eigentlich immer eine vernünftige, symmetrierte Kurve erzielbar ist. Allerdings ist der oben aufgezeigte Abfall der breitbandigen Sperrdämpfung im unteren Frequenzbereich bei dieser Methode grundsätzlich vorhanden.

Hier sei noch einmal erwähnt, dass die Resonanzfrequenz der aus Lp und Cp gebildeten Schwingkreise für die kompensierten Endsektionen deutlich über der Filterfrequenz liegen müssen, um überhaupt eine Symmetrierung durch den unteren Dämpfungspol zu erzielen!

Bei beiden Methoden ist aus meiner Sicht die Verwendung eines Simulators empfehlenswert, weil er eine Menge Zeit spart. Ich denke aber, dass mit den von mir hier beschriebenen Richtwerten solche Filter auch ohne Simulator gebaut werden können. Es kann nun jeder für sich entscheiden, welche Vorgehensweise für ihn günstiger erscheint.

**Besonders auffällig ist übrigens die Tatsache, dass sich bei der C-Neutralisierung die Mittenfrequenz des Filters nach oben verschiebt, während sie sich bei der L-Kompensation nach unten verändert.**

Zum Schluss möchte ich noch einmal hervorheben, dass der populäre Simulator "**RFSim99**" leider für die Simulation von Brückenschaltungen (C-Neutralisierung) nicht geeignet ist, da dessen Modell des symmetrischen Transformators einen kapitalen Fehler aufweist.

DJ6EV, November 2009

Ref. [1]

Download des "Quarzfilter"-Papiers und der Programme ("Dishal", usw.):

<http://fa-nwt.akadns.de/blogs/blog4.php>