

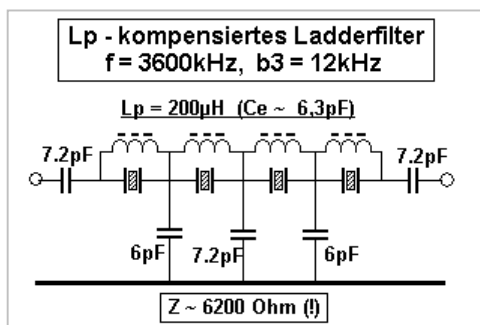
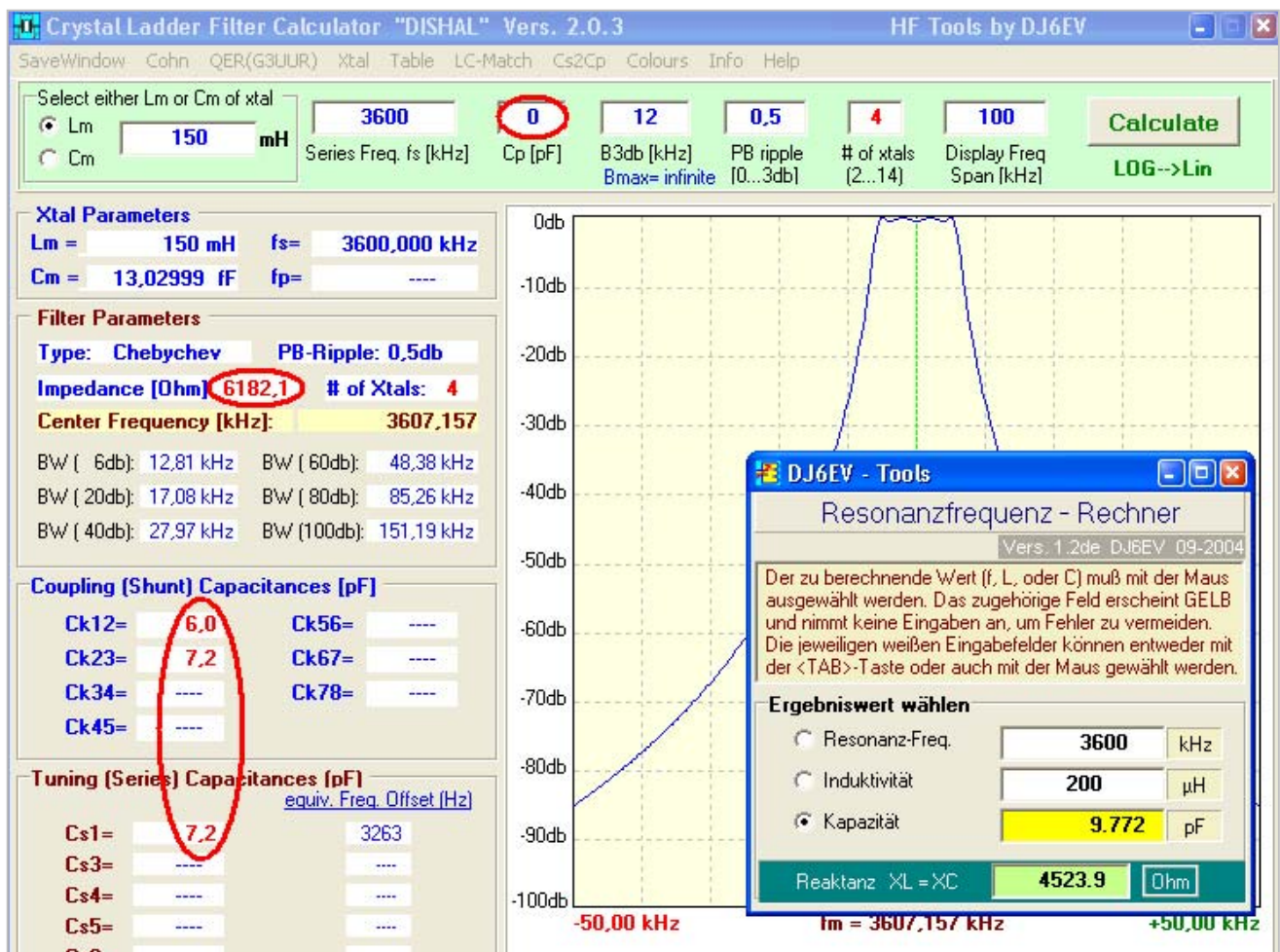
Untersuchung eines überbreiten 3,6MHz Ladderfilters (Simulation).

Im Rahmen eines Projektes mit schmalen Vorfiltern für das 80m-Band wurde untersucht, wie weit sich ein Quarz-Ladderfilter bei 3,6MHz und einer Design-Bandbreite von 12kHz realisieren lässt. Für das zu untersuchende Modell mit dem Simulator (ARRL-Radio-Designer 1.5) wurde ein 4-poliges Filter mit folgenden, üblichen Quarzdaten verwendet:

$$f_s = 3600\text{kHz}, \quad L_m = 150\text{mH}, \quad C_p = 3,5\text{pF}, \quad R_m = 34 \Omega \quad (Q = 100000)$$

Die überschlägige Berechnung eines unkompensierten Ladderfilters als Tschebyscheff-Typ mit 0,5db Welligkeit mit dem Dishal-Programm ergibt eine maximale Bandbreite von nur rund 3,6kHz (0,1%), eine extreme Asymmetrie mit einer Sperrdämpfung von 30db, eine Impedanz von $>10\text{k}\Omega$ und Kopplungswerte von nur ca. 4pF. Die gewünschte Bandbreite von 12kHz ist folglich nur mit einer Kompensation der Halterungskapazität C_p aller Quarze mit Parallelinduktivitäten L_p zu erreichen.

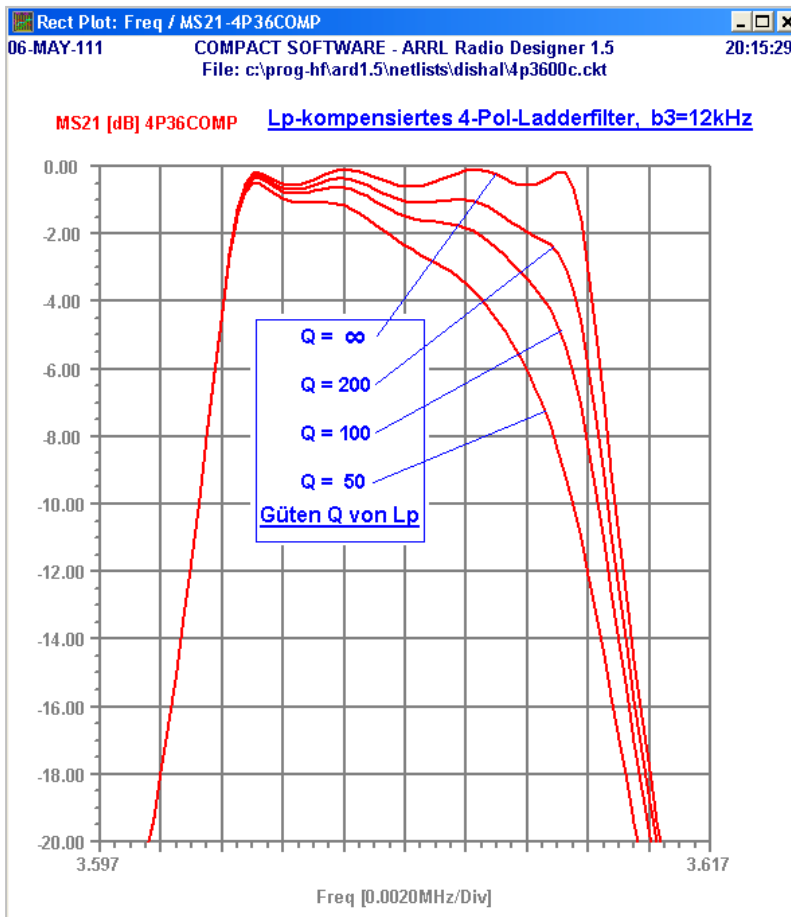
Die Parameter für ein voll kompensiertes Filter (Impedanz, C_k , C_s) wurden ebenfalls mit Dishal errechnet, indem diesmal C_p auf 0pF gesetzt wurde. Das Ergebnis zeigt folgendes Bild.



Die resultierende Impedanz ist mit knapp 6200 Ω immer noch sehr hoch und die Koppelkapazitäten sind sehr klein. Für die Parallelinduktivitäten zur C_p -Kompensation wurde ein Wert von $L_p = 200\mu\text{H}$ mit einer Eigenkapazität von rund 6,3pF als noch machbar angesetzt (das ergibt mit $C_p = 3,5\text{pF}$ die im Bild gezeigte Gesamtkapazität von 9,8pF).

Diese Daten wurden nun in den Simulator übertragen und die resultierenden Durchlasskurven für verschiedene Güten der Induktivitäten L_p von $Q_{Lp} = \text{unendlich}$ bis $Q_{Lp} = 50$ ermittelt.

Um es schon vorab zu sagen - die Ergebnisse waren sehr ernüchternd, wie die folgenden Bilder zeigen.

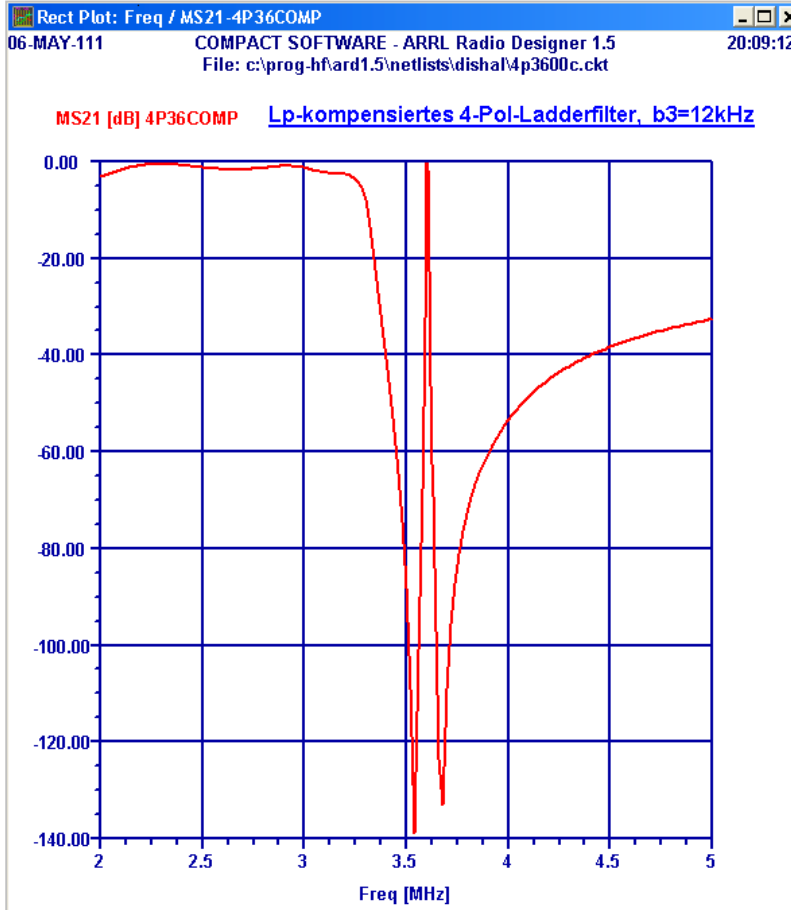


Das nebenstehende Bild zeigt die Durchlasskurven für die verschiedenen Güten der Kompensationsspulen L_p .

Man kann leicht erkennen, dass selbst mit einer bei $200\mu\text{H}$ und $3,6\text{MHz}$ schwer zu realisierenden Güte von 200 die Kurve zur hochfrequenten Seite hin schon um über 3dB abfällt.

Noch katastrophaler ist der Abfall bei einer realistischen Güte von 100.

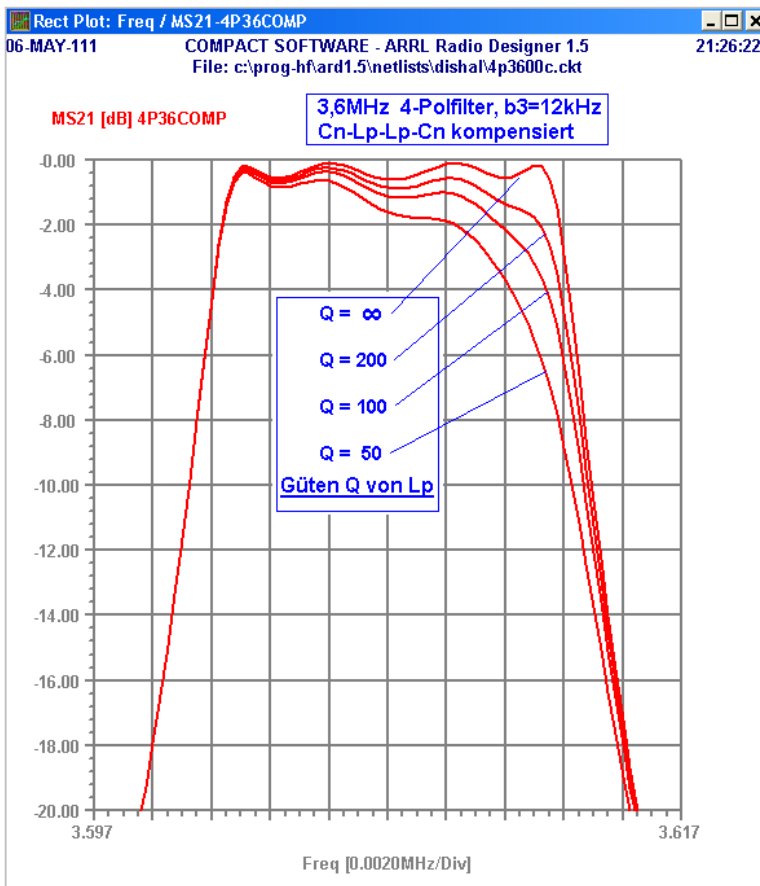
Man kann auch sehen, dass die gerne verwendeten handelsüblichen Festinduktivitäten mit Güten von 30 bis 50 hier absolut unbrauchbar sind.



Das nebenstehende Bild zeigt die für eine Kompensation mit einer Parallelinduktivität L_p typischen unangenehmen Nebenwirkungen, nämlich das ausgeprägte Tiefpassverhalten unterhalb der Filterfrequenz und der Wiederanstieg der Durchlasskurve im oberen Frequenzbereich.

Bei den extremen Filterparametern rückt die Grenzfrequenz des "Tiefpasses" mit nur 300kHz Abstand sehr nahe an die Filterfrequenz heran. Die Sperrdämpfung auf der hochfrequenten Seite der Filterresonanz sinkt oberhalb von 7MHz auf mickrige 25dB ab.

Zur Verbesserung des Frequenzgangs im Durchlass- und Sperrbereich wurde jetzt eine Kompensation von C_p in den beiden Endgliedern des Filters durch C-Neutralisation in Brückenschaltung untersucht. Dafür wurde einfach C_p der beiden Endquarze auf Null gesetzt (das ist natürlich nur im Simulator möglich!).

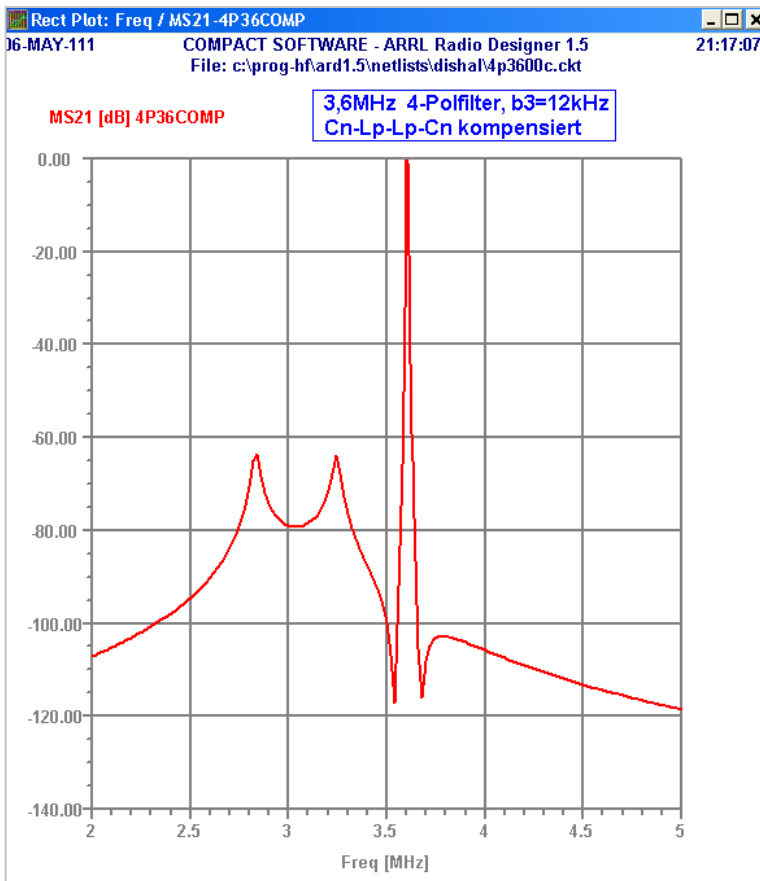


Das nebenstehende Ergebnis ist auch nicht berauschend, denn die Dachschrägen verlaufen nur wenig flacher als bei der Ausgangsschaltung.

Der Versuch, die C-Neutralisation im Simulator mit realen Komponenten, also Differential-Übertragern und Neutralisations-C's in den Endsektionen durchzuführen, scheiterte kläglich.

Der Grund sind neben der hohen Impedanz hauptsächlich die äußerst kleinen Werte der äußeren Kopplungs-C's, die bei der Neutralisierung daher sogar negativ werden müssen (also hochinduktiv). Die Neutralisations- und Quarkapazitäten addieren sich nämlich zu diesen Koppelkapazitäten.

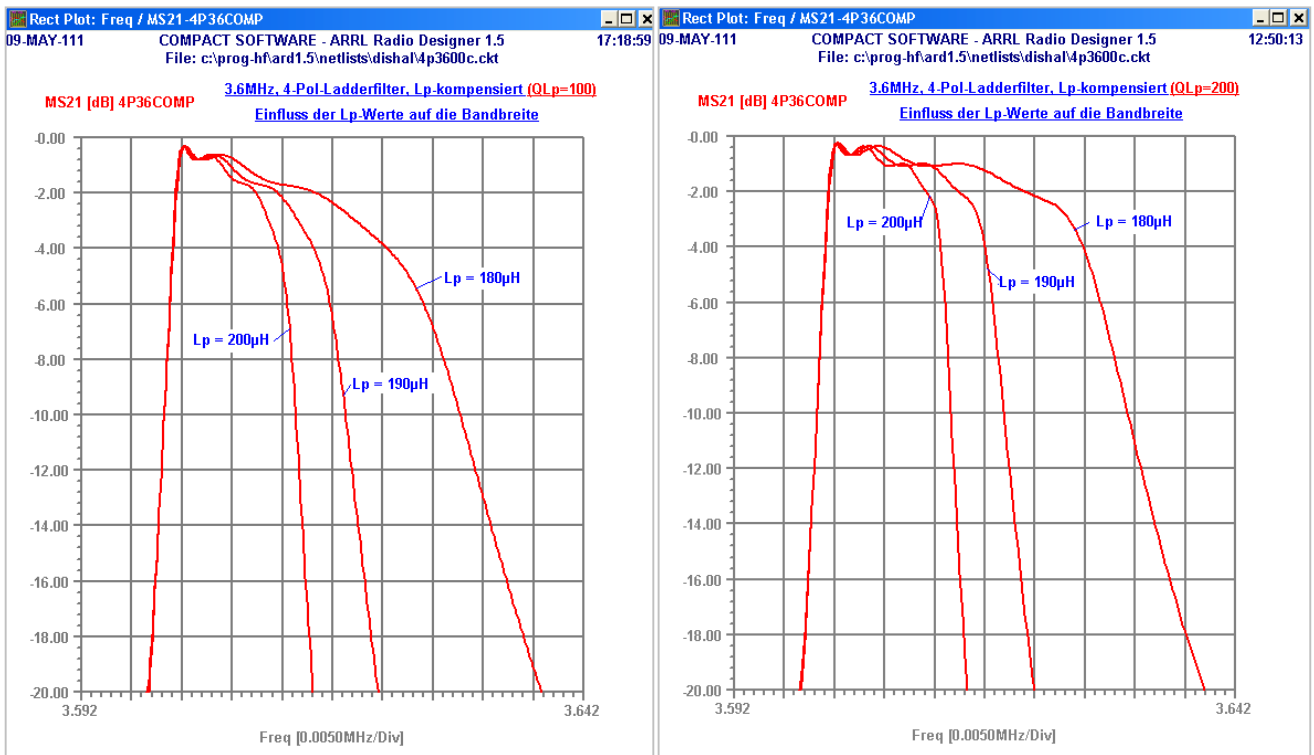
Mir war es daher trotz aller ausprobierten Tricks nicht möglich, neben der unvermeidlichen Dachschräge die zusätzlich entstehende Welligkeit unter 2db zu drücken.



Nur die breitbandige Unterdrückung des Tiefpassverhaltens und der Sperrdämpfung oberhalb der Filterresonanz war bei beiden Cn-Lp-Lp-Cn Simulationen identisch, wie das nebenstehende Bild zeigt.

Eine weitere seltsame Auswirkung der Lp-Kompensation bei solchen sehr breiten Filtern zeigen die Kurven auf der folgenden Seite. Diese außergewöhnliche Bandbreitenänderung ist auf die extrem hohe Impedanz und die sehr kleinen Kapazitäten zurückzuführen.

Die versuchsweise durchgeführte Verringerung der L_p -Werte um 5% und 10% bei sonst gleichen Parametern ergibt bereits diese enorme Vergrößerung der resultierenden Bandbreite. Die beiden Bilder zeigen die Kurven für L_p -Güten von 100 und 200.



Die hier durchgeführte Untersuchung zeigt, dass es nicht möglich ist, bei der Verwendung einer einfachen Ladderstruktur vernünftige Quarzfilter mit einer relativen Bandbreite von mehr als 0,1% zu konstruieren. Auch bei solchen schmalen Filtern können bereits sichtbare Dachschrägen bei ungenügender Güte von L_p entstehen.

Für größere Bandbreiten muss auf andere Topologien zurückgegriffen werden, wie sie z.B. in der "Filterbibel" von A. Zverev beschrieben werden [1].

Kleine Schlussbemerkung:

Mit den meisten Quarzen können Filter mit bis zu 0,1% Bandbreite auch ohne Vollkompensation aufgebaut werden (Ausnahme: Filter mit Quarzen auf Obertonfrequenzen). Das sind bei z.B. bei 5MHz immerhin schon 5kHz. Die dann auftretende starke Asymmetrie kann man besser mit einer entsprechenden Überkompensation nur der Endsektionen bis zu einem gewissen Grade symmetrieren. Hier ist aus den schon anderweitig beschriebenen Gründen bei Filtern mit weniger als 8 Quarzen die klassische kapazitive (Über-) Neutralisation in Brückenschaltung vorzuziehen [2].

DJ6EV, 27.5.2011

[1] Anatol I. Zverev
"Handbook of Filter Synthesis"
John Wiley & Sons Inc. 1967, Seiten 425-427 und 491-498

[2] H. Steder, DJ6EV
"Teilkompensierte Ladderfilter" (pdf)
<http://fa-nwt.akadns.de/blogs/blog4.php/2010/05/26/ladderfilter-simulation-und-wirklichkeit>
bzw.: <http://www.qrpforum.de/index.php?page=Thread&threadID=5667>