

Anhang: Berechnungsbeispiel für ein 2-Kreis-Bandfilter für 7,1MHz

Basiert auf den Formeln aus "Radio Frequency Design", Seite 92 (File "MeshFilter").
Es wird ein Filter mit sogenannter "Flachkopplung" (kritische Kopplung) angenommen. Dies stellt ein Spezialfall eines Butterworth-Filters mit $n=2$ dar. Die beiden Kenngrößen für k_{12} und q sind entsprechend daher : $k_{12} = 0,707$ und $q = 1,414$.

Die verwendeten Bezeichnungen stimmen mit denen in der o.g. Quelle überein.

Ausgangsgrößen:

$f_0 = 7,1\text{MHz}$ → $\omega = 44,611 \cdot 10^6$
 $L = 4\mu\text{H}$, $Q_u = 240$ (z.B. mit T68-6 Toroid)
(mit Resonanzformel) → $C_1 = C_2 = 125,6\text{pF}$ $X_L = X_C = 178,4 \Omega$
Design-Bandbreite: **$BW = 80\text{kHz}$** **$R_o = 50\Omega$**

Berechnung

$Q_f = f_0 / BW = 7100 / 80 = 88,75$ (**Q_f** = Betriebsgüte)

$q_0 = Q_u / Q_f = 240 / 88,75 = 2,7$ (Verhältnis von Leerlauf- zu Betriebsgüte)

$Q_e = 1 / (1 / (q \cdot Q_f) - 1 / Q_u) = 1 / (1 / (1,414 \cdot 88,75) - 1 / 240) = 263,1$

$R_{pe} = Q_e \cdot X_L = 263,1 \cdot 178,4 = 46937\Omega$ (Filterimpedanz, sehr hochohmig)

$K_{12} = k_{12} / Q_f = 0,707 / 88,75 = 0,00797$ (Koppelfaktor)

$C_m = K_{12} \cdot C_1 = 0,00797 \cdot 125,6\text{pF} = 1\text{pF}$ (kap. Hochpunktkopplung)

$C_e = 1 / (\omega \cdot \text{SQRT}(R_{pe} \cdot R_o - R_o^2)) = 1 / (44,661 \cdot 10^6 \cdot \text{SQRT}(46937 \cdot 50 - 2500))$
 $= 14,63\text{pF}$ (Kopplungskapazität zur Anpassung an 50Ω)

Insertion Loss = $-20 \cdot \log(q_0 / (q_0 - q)) = -20 \cdot \log(2,7 / (2,7 - 1,414)) = 6,44\text{db}$
(Bei einer Bandbreite von ca. **115kHz** ($Q_f = 60 \rightarrow q_0 = 4$) ergibt sich: **$IL = 3,8\text{db}$**)

Die effektiven Kreiskapazitäten müssen natürlich um die Koppelkapazität C_m und die Anpassungskapazitäten C_e reduziert werden. Daher gilt

$C_{krs} = 125,6\text{pF} - 1\text{pF} - 14,63\text{pF} = \sim 110\text{pF}$

Man kann auch die induktive Fußpunktkopplung berechnen:

$L_m = L \cdot K_{12} = 4\mu\text{H} \cdot 0,00797 = 0,032\mu\text{H}$ (32nH)

Die Korrektur für C_{krs} ergibt auch hier 110pF, da die erhöhte Induktivität in etwa der Koppelkapazität von 1pF entspricht.

Diese Berechnungen wurden mit dem Simulationsprogramm "ARRL-Radio Designer" überprüft und ergaben eine hervorragende Übereinstimmung mit den Ergebnissen.
(siehe Bilder auf der nächsten Seite).

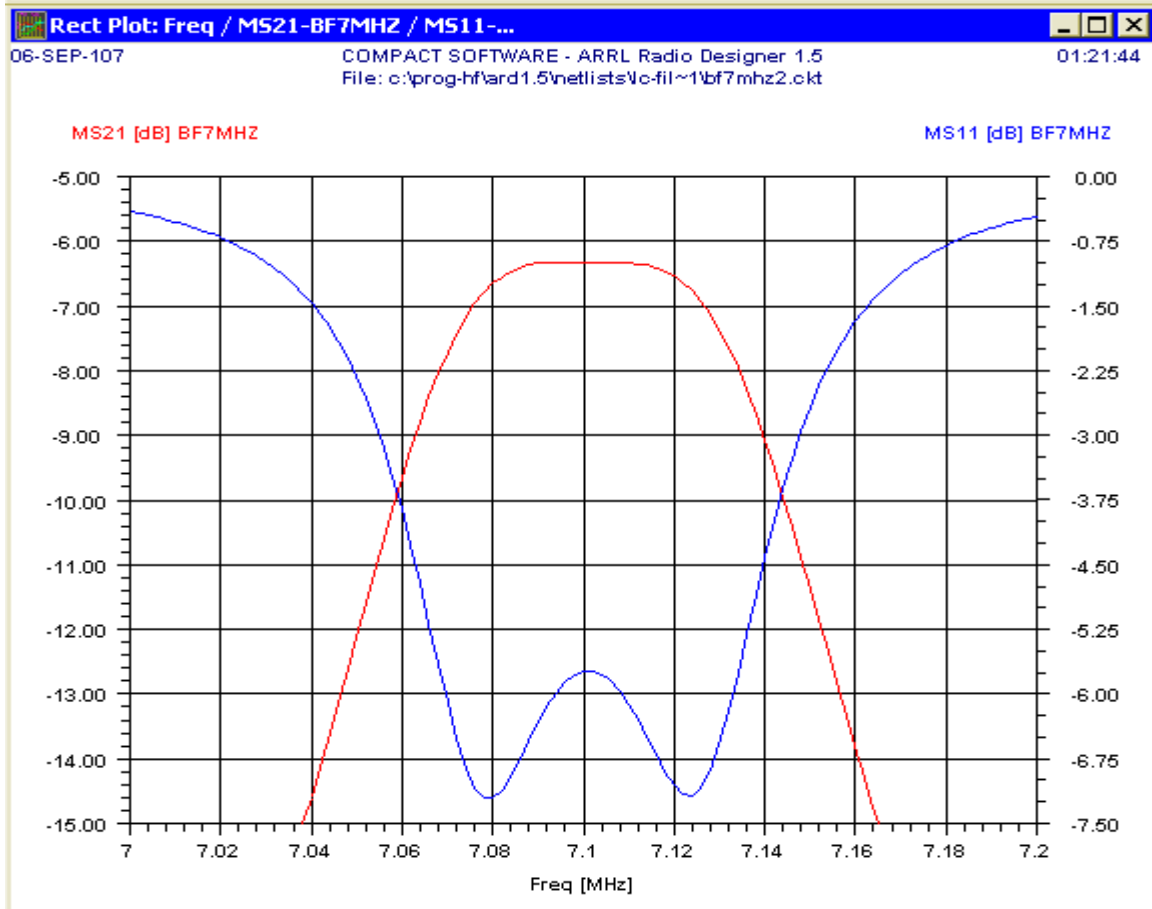
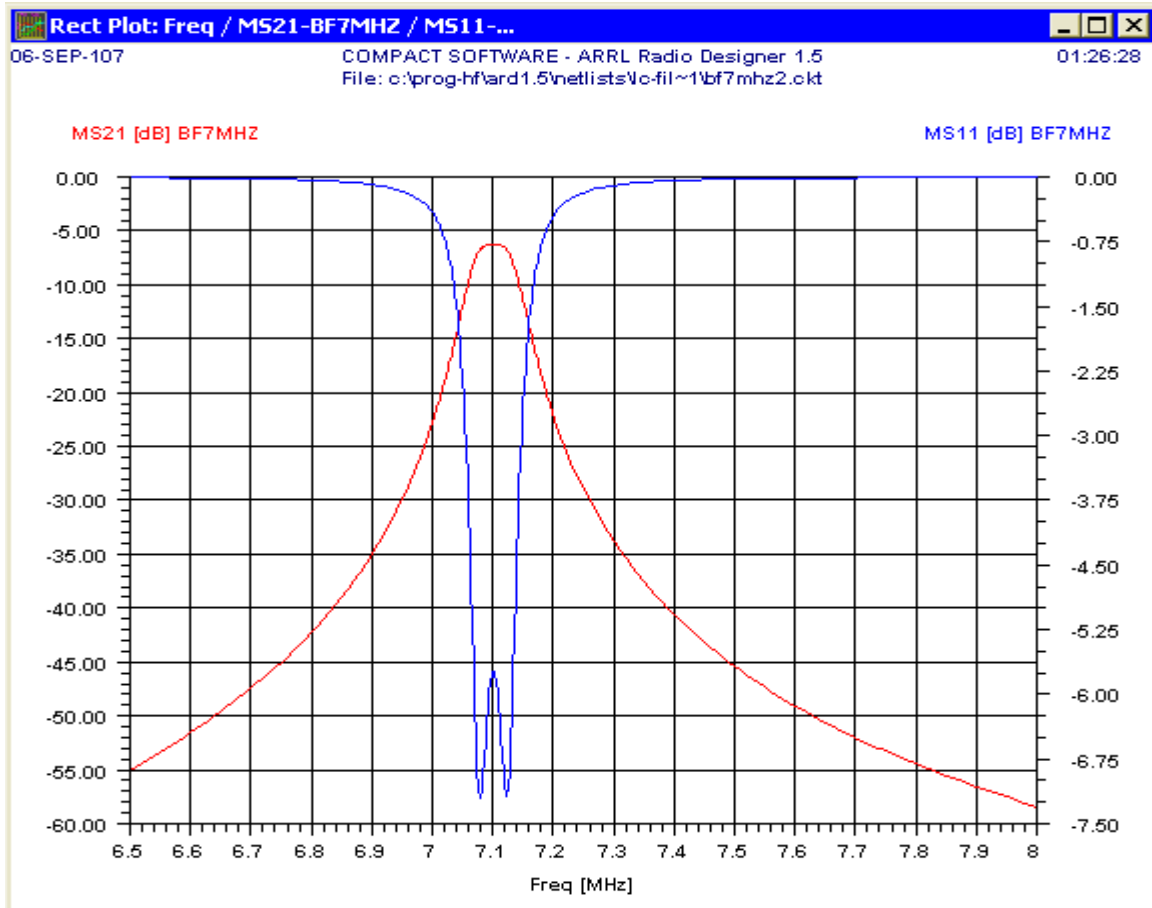
Man kann natürlich auch die Anpassung an 50Ω mit **Kopplungswindungen** durchführen. In diesem Beispiel bedeutet das mit $R_{pe} = \sim 47\text{k}\Omega$ zu 50Ω ein Windungsverhältnis von **30,64 zu 1**.

Bei Anpassung über kapazitive Spannungsteilung ergeben sich $C_o = \sim 128,7\text{pF}$ und $C_u = \sim 3942\text{pF}$.

Man kann ja auch die Formeln in ein kleines BASIC-Programm oder in eine EXCEL-Tabelle packen.

Für Filter mit mehr als 2 Resonatoren wird's kompliziert, und man muss dann auf die üblichen Tabellen für k und q zurückgreifen.

Graphische Darstellung einer Simulation des berechneten Filters



Wie man sehen kann, ist die Reflexionsdämpfung bei Flachkopplung nicht besonders gut (blaue Kurve). Wird nur besser, wenn man auf die schmale Bandbreite verzichtet und unterkritisch koppelt. (→ starke Verrundung statt Flat-Top und größere Bandbreite als Preis dafür)