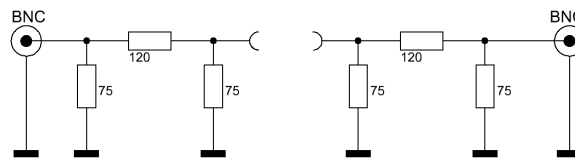


Vermessen der Quarze für Abzweigfilter mit dem NWT und dem Programm WinNWT 4 nach dem Papier von DJ6EV [1]

a) Messadapter:



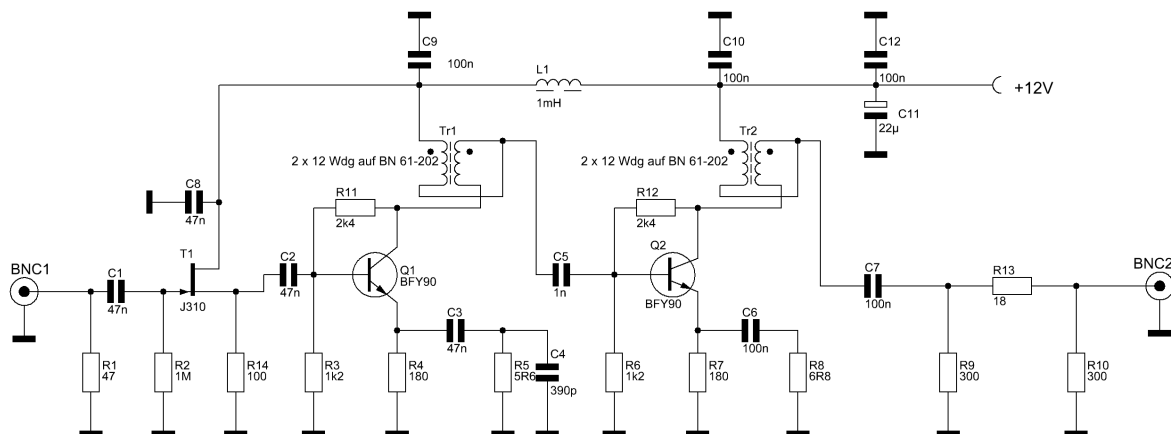
Messwerte des Adapters von DL2VER (ermittelt mit Batronix M98T Multimeter im 200 Ohm-Bereich)

| | Mit 50 Ohm Abschluss | Ohne 50 Ohm Abschluss |
|------------------------|--|-----------------------|
| $R_{\text{ein}} = Z_G$ | 51,86 Ohm (Mini-Circuits BTRM-50+) | 56,07 Ohm |
| $R_{\text{aus}} = Z_D$ | 51,72 Ohm (Eingangswiderstand des Verstärkers) | 56,08 Ohm |

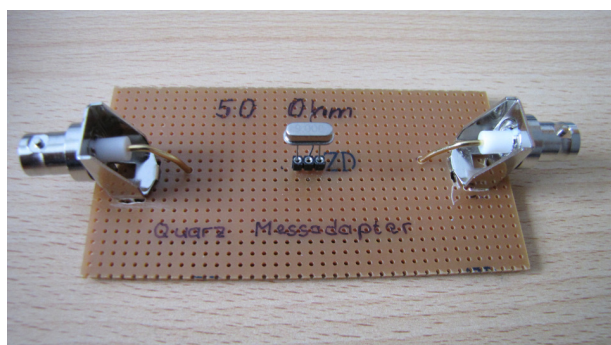
Für die Messung werden die Anschlüsse des Adapters wie in der Tabelle angegeben abgeschlossen und von der Quarzfassung nach Masse mit Gleichspannung gemessen. Es ist davon auszugehen, dass der NWT ebenfalls 50 Ohm hat, insofern sollte die Übertragung der Werte passen. Der Verstärker hat nominell 47 Ohm Eingangswiderstand. Die Durchgangsdämpfung des Adapters bei Kurzschluss der Quarzfassung ist berechnet zu 27,96 dB.

b) Verstärker:

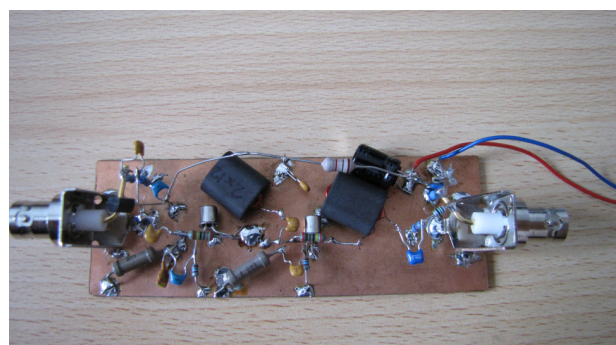
Die Verstärkerschaltung wurde freundlicherweise von Horst, DJ6EV, zur Verfügung gestellt. Sie wurde im Ugly-Style mit den Teilen, die gerade da waren, auf eine Platine gebastelt.



Der Verstärker wird aus einem einstellbaren Netzteil gespeist. Er zieht bei 12 V Speisespannung rund 50 mA. Das heißt, dass sich die Transistoren merklich erwärmen und der Verstärker somit eine deutliche Anlaufdrift hat. Es empfiehlt sich, den Verstärker vor dem Beginn ernsthafter Messungen rund 15 min „vorzuglühen“. Die Verstärkung kann über die Höhe der Eingangsspannung beeinflusst werden. Natürlich „gehen“ auch andere Verstärker mit einem definierten Eingangswiderstand.



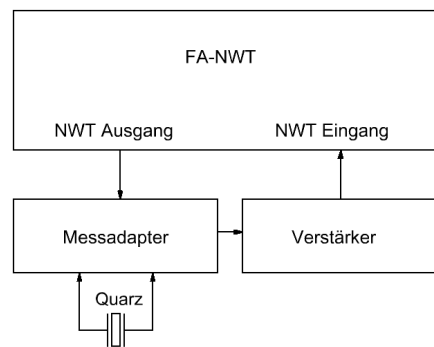
50 Ohm-Messadapter



Ugly-Style Verstärker

Bitte beachten: C_p wird separat mit einem Kapazitätsmessgerät bestimmt, nicht mit dem NWT.

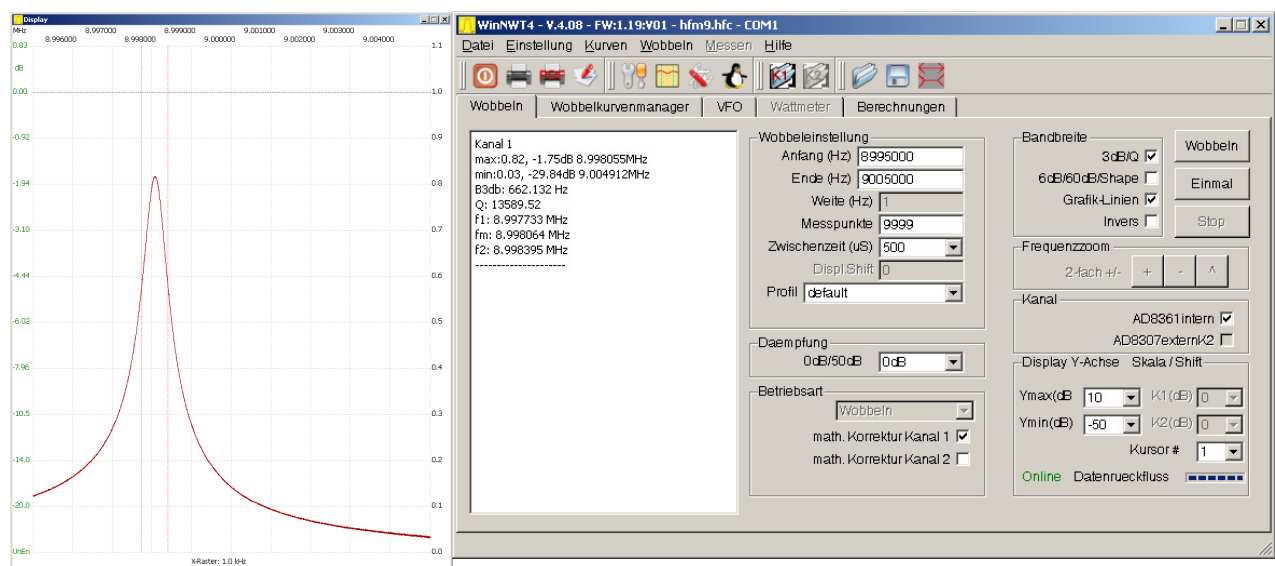
Insgesamt ergibt sich der folgende Aufbau:



Stellt sich natürlich die Frage: Was soll der Aufstand? Nun, für eine möglichst genaue Messung muss mit dem Linearadapter des FA-NWT und mit möglichst großer Genauigkeit gemessen werden. Am genauesten ist die Messung im Bereich um die obere Pegelgrenze, also um die +7 dBm bis +8 dBm. Deshalb wird vor der Messung jedes Quarzes die Betriebsspannung des Verstärkers so eingestellt, dass er ohne Quarz exakt auf der +7 dBm-Linie liegt. Die Verwendung eines Verstärkers mit geringerer Verstärkung führt mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Fehlmessung, die in zu geringer gemessener Serieninduktivität resultiert. Das mit solchen Werten im Dishal [2] simulierte Filter wird unweigerlich beim Aufbau zu schmalbandig! Um den Pegel einzustellen, verwendet man zweckmäßig die Leistungsmessung des NWT und stellt den Verstärker durch Einstellen der Betriebsspannung auf +7 dBm am NWT-Eingang ein. Nach der Einlaufzeit ist der eingestellte Pegel stabil und muss nur gelegentlich kontrolliert werden.

c) Aufnahme der Messkurve

Die Messung erfolgt mit dem linearen Detektor und der Auswertung des Programmes WinNWT4 [3]. Dieser wird nach ca. 15 min Einlaufdauer des Verstärkers kalibriert. Dazu erhält die Quarzfassung einen Kurzschluss und die Betriebsspannung des Verstärkers wird auf den oben ermittelten Wert für +7 dBm eingestellt. Dieser Wert ergibt die Nulllinie für die Kalibrierung des NWT. Dann kommt der Kurzschluss raus, der Quarz rein und es wird gemessen. Da die Serienresonanzfrequenz schwanken kann, wird im Bereich des Erwartungswertes mit 9999 Punkten und einem Delay von 500 µs gemessen. Ein Durchlauf reicht. Dabei kommt z.B. die folgende Kurve heraus:



Somit sind die folgenden Input-Werte zu verarbeiten:

- $Z_G = 51,86 \text{ Ohm}$
- $Z_D = 51,72 \text{ Ohm}$
- $B_{3dB} = 662,132 \text{ Hz}$
- Ausgangsspannung -1,75 dB
- Serienresonanzfrequenz $f_s = 8998055 \text{ Hz}$

Danach nimmt man den Quarz aus der Fassung, baut den Kurzschluss wieder rein und überprüft die Nulllinie. Ist die in Ordnung, kommt der nächste Quarz dran, usw.

d) Beispielhafte Auswertung der Daten mit den o.a. Messwerten

Das Ziel ist die Gewinnung der Eingangsdaten für das Dishal-Programm [2]. Man braucht L_m und f_s , die anderen Daten sind der Input für RFSim99 [4], falls man das reale Filter simulieren will. Wer die folgenden Werte nachrechnet, sollte beachten, dass für bessere Genauigkeit alle Stellen mitgenommen werden sollten (wurde hier nicht getan). Dafür bietet sich ein Excel-Blatt an.

Berechnung der Spannungsdämpfung in %

$$\frac{U_1}{U_0} [\%] = 100 \cdot 10^{\frac{-1,75}{20}} = 81,75\%$$

Berechnung des Verlustwiderstandes

$$R_m = (Z_G + Z_D) \cdot \left(\frac{U_0}{U_1} - 1 \right) = (51,86 + 51,72) \cdot \left(\frac{100}{81,75} - 1 \right) = 23,12 \Omega$$

Berechnung der Induktivität

$$L_m = \frac{Z_G + Z_D + R_m}{2 \cdot \pi \cdot B_{3dB}} = \frac{51,86 + 51,72 + 23,12}{6,28 \cdot 662} = 30,46 \text{ mH}$$

Berechnung der Kapazität

$$C_m = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_s^2 \cdot L_m} = 10,27 \text{ fF}$$

Berechnung der Kreisgüte

$$Q_{Kr} = \frac{f_s}{B_{3dB}} = 13590$$

Berechnung der Quarzgüte

$$Q_U = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_m}{R_m} = 74485$$

e) Beispielfilter mit zwei Quarzen

Um zu zeigen, wie das Verfahren funktioniert, wird hier die Messung an zwei Quarzen und dem daraus gebauten Filter vorgestellt.

Es wurden zwei Quarze mit den folgenden gemessenen Daten ausgewählt:

| XTAL No. | Z _{Source} Ohm | Z _{Load} Ohm | f _s Hz | B _{3dB} Hz | U _{out} /U _{in} dB | U _{out} /U _{in} % | R _m Ohm | L _m mH | C _m fF | Q _{Kr} - | Q _U - | C _P pF |
|--------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 1 | 51,86 | 51,72 | 8998036 | 612 | -1,06 | 88,512 | 13,444 | 30,427 | 10,282 | 14700 | 127952 | 2,85 |
| 29 | 51,86 | 51,72 | 8998066 | 659 | -1,93 | 80,076 | 25,773 | 31,234 | 10,017 | 13651 | 68516 | 2,85 |
| Mittelwerte: | 51,86 | 51,72 | 8998051 | 636 | -1,495 | 84,294 | 19,609 | 30,830 | 10,149 | 14176 | 98234 | 2,85 |

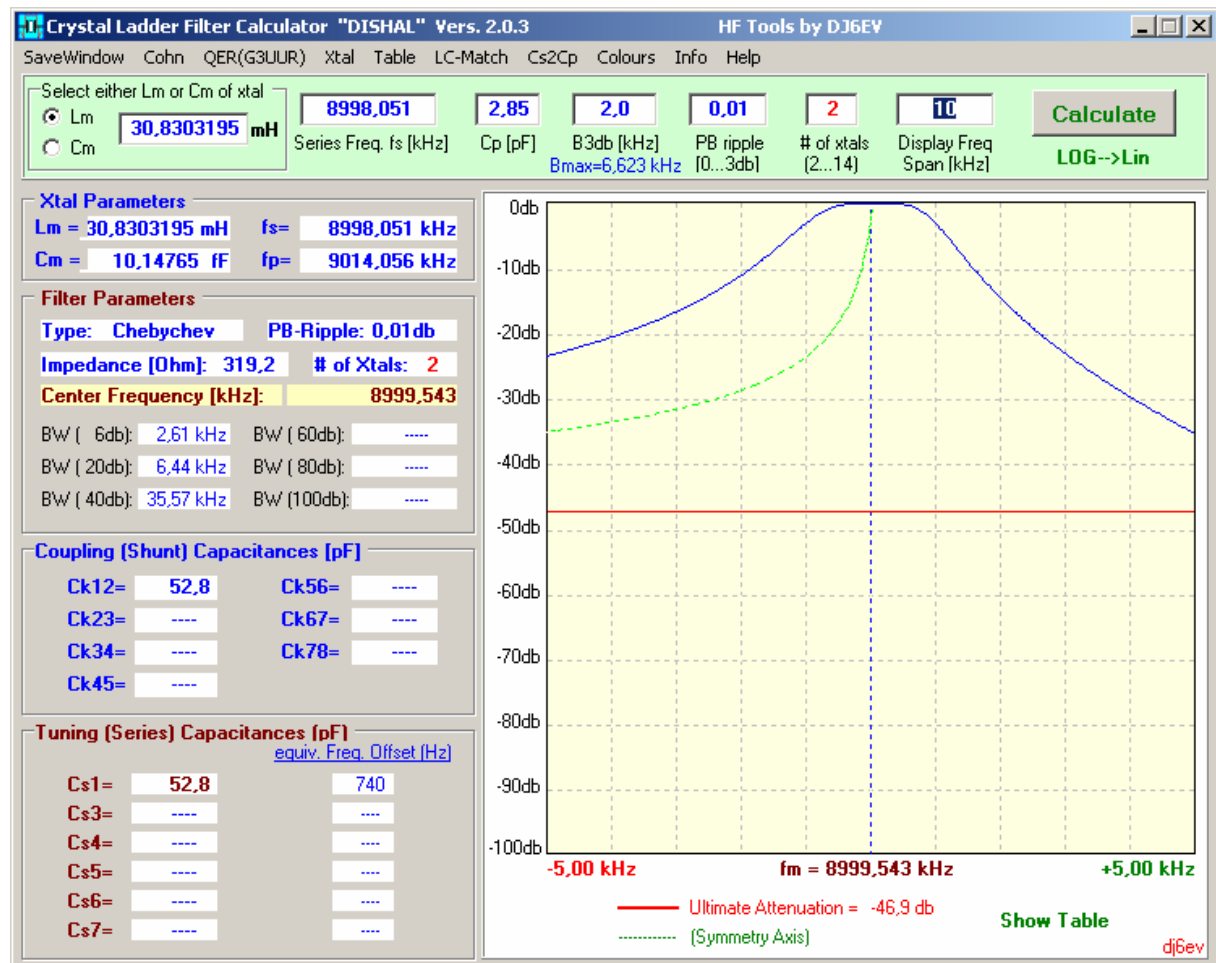
Davon werden die Mittelwerte von f_s , L_m und C_p in das Dishal-Programm [2] von Horst, DJ6EV eingegeben. Außerdem wurden die folgenden Parameter gewählt:

B_{3dB}: 2 kHz

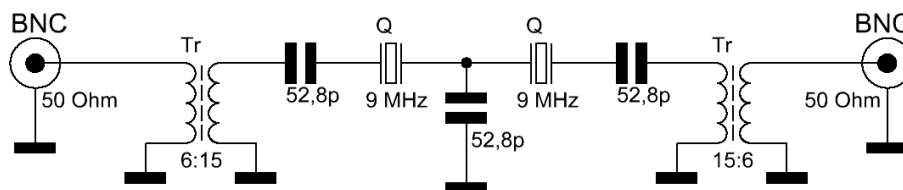
PB Ripple: 0,01 dB

Zahl der Quarze: 2

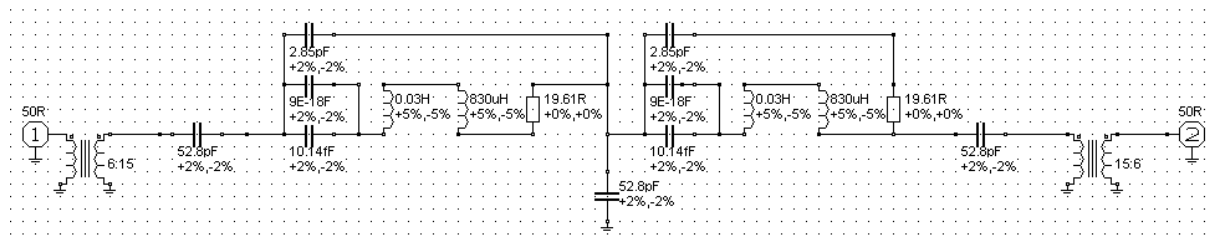
So sieht das Ganze dann im Programm aus:



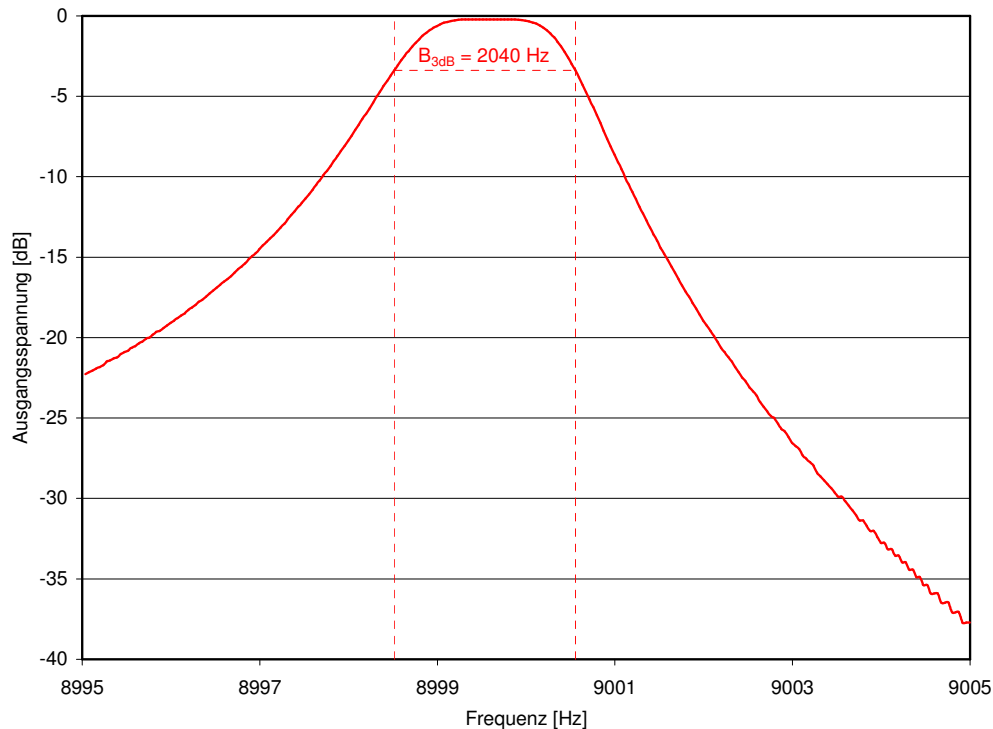
Logischerweise kann man von so einem Filter keine Wunder erwarten, allerdings lässt es sich leicht aufbauen und simulieren. Das Filter müsste für die Messung am NWT folgendermaßen aussehen:



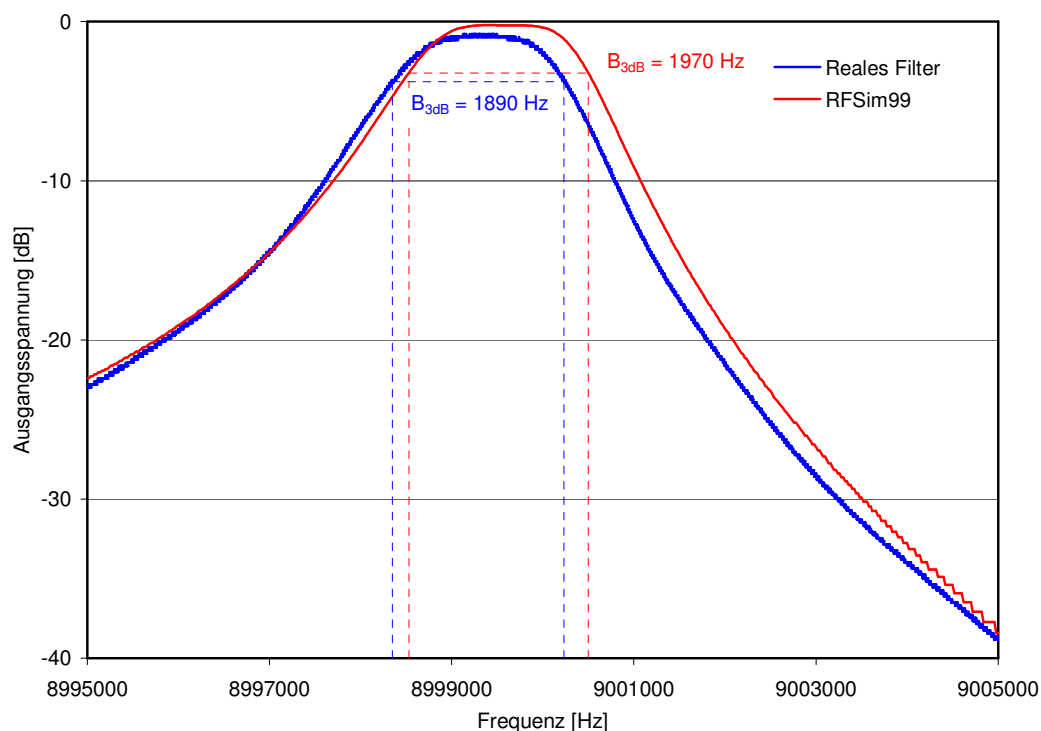
Die Übertrager sind z.B. auf Doppellochkerne BN 61-202 von Reichelt gewickelt. Mit der Windungszahl 6:15 werden die 50 Ohm des NWT auf 312,5 Ohm transformiert, das entspricht in etwa den 319,2 Ohm, die das Dishal-Programm verlangt. Gleichzeitig kann das Filter noch in RFSim99 [4] simuliert werden, dabei ist zu beachten, dass pro Element maximal 3 Nachkommastellen eingegeben werden können. Für eine vernünftige Genauigkeit ist man dazu verdammt, entsprechend Elemente in Reihe bzw. parallel zu schalten. Das sieht dann z.B. so aus:



Bei der Simulation gehen nun auch noch die Dämpfungswiderstände R_m in die Rechnung ein, während Dishal verlustfrei rechnet. Allerdings wurden hier die Verluste der Übertrager nicht berücksichtigt, die kommen beim Aufbau auch noch hinzu. In die Simulation wurden die an den Quarzen gemessenen Werte eingegeben und voilà – die erwartete 3 dB-Bandbreite war mit 2040 Hz in etwa mit der im Dishal identisch. Die Mittenfrequenz der Simulation ist 8999,535 kHz, das ist praktisch identisch mit den Werten aus Dishal.



Nun muss aber noch überprüft werden, wie das Filter arbeitet, wenn es Realität auf der Platine wird. Dazu wird der Aufbau fliegend über einer Massefläche mit der „Wäscheklammermethode“ realisiert wie von Horst, DJ6EV, in [1] vorgeschlagen. Für die Kondensatoren wurden 53,6 pF genommen, das waren die kleinsten Werte die mit 56 pF bedruckt waren, aber eine Toleranz nach unten hatten.



Wie das Bild zeigt, liegen die reale und die gemessene Kurve ganz gut beisammen. Natürlich muss man bedenken, dass der Aufbau auch noch geringe Schaltkapazitäten in das Filter einbringt, die die Bandbreite verringern. Um die Bandbreite mit der Simulation zur Übereinstimmung zu bringen, muss man daher beim Aufbau an jedem Knotenpunkt ca. 2 bis 3 pF kleinere Koppelkondensatoren C_k einbauen.

f) Zusammenfassung

Die Ermittlung der Quarzparameter mit der 3 dB-Methode und dem NWT ist eine zuverlässige Methode, um die Eingangsdaten für die Filterberechnung zu ermitteln. Folgende Knackpunkte sind zu beachten:

- Verwendung des Lineardetektors
- Pegel am Detektoreingang um die +7 dBm
- Abzug von 2 bis 3 pF von jedem C_k beim Aufbau des Filters

Bei Beachtung dieser Punkte wird der Aufbau von Filtern mit vorherbestimmten Eigenschaften zu einer lösbaren Aufgabe, die auch noch Spaß macht.

Quellennachweis

- [1] Steder, Horst, DJ6EV: „Klassische und moderne Quarzfilter – Eine kleine Einführung mit Praxisbeispielen“, Rev. 02, 05/2010
- [2] Steder, Horst, DJ6EV: Programm Dishal 2.03
- [3] WinNWT4, Version 4.08, © 2009 Andreas Lindenau, DL4JAL
- [4] RFSim99 Version 1.05, © 1996..1999 HyDeisgn Ltd.

Revisionen

06.10.2010

Fehlerhafter Screenshot auf Seite 2 getauscht, Berechnung entsprechend angepasst

01.12.2010

Sourcewiderstand des FET im Messverstärker war vergessen, ist nun eingezeichnet