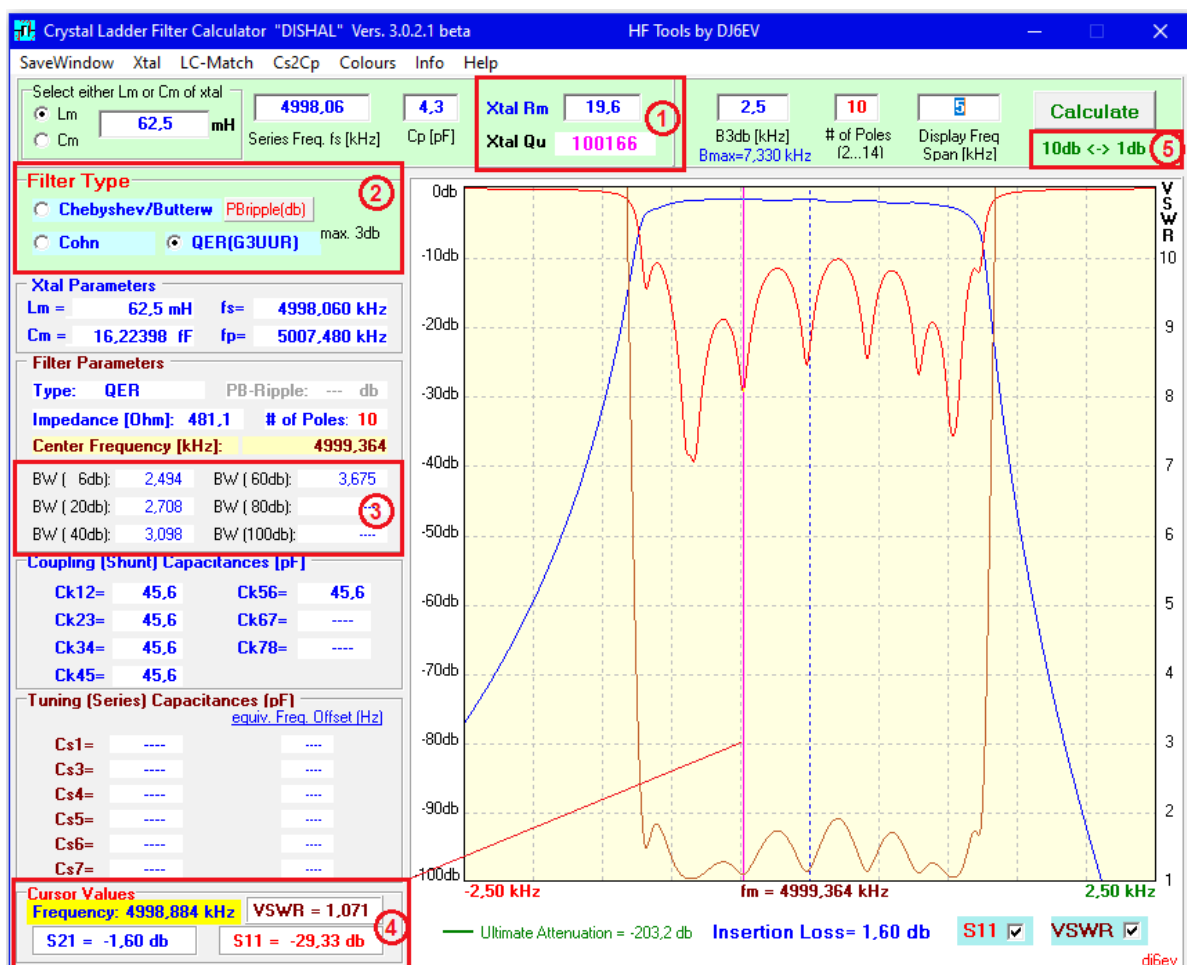


Quarz - Ladderfilter Programm "Dishal v.3"

Dieses Programm wurde geschrieben, um eine sehr einfache und bequeme Berechnung aller notwendigen Komponenten für den Bau von Ladderfiltern vom "Lower-Sideband"-Typ (LSB) zu ermöglichen. Es erlaubt die Berechnung von Filtern mit **2 bis 14** Resonatoren ("Poles"), bzw. **4 bis 14** bei QER.

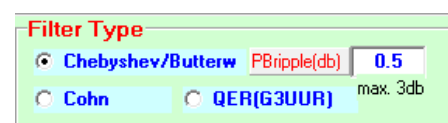
Die neue Version 3.0.2.x wurde weitgehend überarbeitet, indem die umfangreichen mathematischen Funktionen zur Darstellung der Dämpfungskurven durch ein speziell angepasstes Simulations-Modell ersetzt wurde. Dadurch konnte die Limitierung der Version 2 auf verlustlose Komponenten aufgehoben werden. Dies erlaubt nicht nur die Eingabe des Quarz-Verlustwiderstandes R_m , sondern auch die Darstellung der Durchlasskurven für alle vier Filtertypen und auch die von Reflexionsdämpfung S_{11} und VSWR, falls gewünscht. Allerdings ist es weiterhin nur ein Berechnungsprogramm und kein Simulator.

Zuerst eine Beschreibung der Änderungen der Version 3 gegenüber der letzten Version 2.0.5.2. Die neue Benutzeroberfläche ist unten zu sehen, zusammen mit einer Liste der wesentlichen Änderungen. Das Grafik-Feld wurde von 400x400 auf 500x500 Pixel vergrößert.



[1] Das Eingabefeld für den Verlustwiderstand R_m der Quarze. Die Leerlaufgüte "Xtal Qu" wird daraus errechnet und unter dem Eingabefeld angezeigt

[2] Das neue Panel für die Auswahl des Filtertyps. Das Eingabefeld für Passband Ripple wird nur bei den Filtertypen Tchebychev/Butterworth angezeigt.



- [3] Anzeige der [realen](#) Bandbreiten von -6db bis -100db. Die Anzahl der angezeigten Bandbreitenwerte hängt von der Polzahl und der gewählten Darstellbreite (Frequency Span) ab. Der Referenzpegel für die angezeigte relative Dämpfung ist immer der Filtertop ("Insertion Loss"), d.h., bei einer Durchlassdämpfung von z.B. 2db wird daher die -60db Bandbreite bei einem absoluten Pegel von -62db gemessen. Das macht es leicht, einen Formfaktor von z.B. 60db/6db zuverlässig zu ermitteln.

- [4] Eine zusätzliche Funktion zum Herumspielen. Die Cursorlinie erscheint, wenn der Mauszeiger ins Grafikfeld bewegt wird. Es werden die Werte für Frequenz, Filterdämpfung [S21](#), Reflexionsdämpfung [S11](#) und Stehwellenverhältnis [VSWR](#) angezeigt. Eine zusätzliche Skala von 1 bis 11 für VSWR ist rechts vom Grafikfeld zu sehen.

- [5] Die bisherige "LOG<->Lin" Auswahl wurde in "10db<->1db" für eine gedehnte LOG-Skala geändert. Die Kurve der Reflexionsdämpfung wird nur in der 10db/div Einstellung gezeigt.

Ebenfalls neu:

Unter dem Grafikfeld werden jetzt die Durchlassdämpfung "[Insertion Loss](#)" und die Checkboxes zur Darstellung der Reflexionsdämpfung "[S11](#)" und "[VSWR](#)" gezeigt.

Simulator Netlists

Auch die Version 3 des Programms erzeugt automatisch die Netlisten für die Simulatoren GPLA, ARD und LTSpiceIV für alle Filtertypen.

("Table" und "Symmetry Axis")

Beide Anzeigen wurden entfernt, da sie auf den originalen Dishal-Gleichungen beruhten, die für eine vorgegebene Dämpfung das entsprechende Frequenzpaar ermitteln. Sie setzten ein verlustloses Filter voraus und waren auch nur für die Tchebychev/Butterworth Filtertypen anwendbar.

Konfigurationsdatei

Die vom Programm erzeugte Konfigurationsdatei [Dishal3.cfg](#) ist nicht kompatibel mit der Datei der Dishal-Versionen 2 ([Dishal.cfg](#)), da sie nun zwei weitere Angaben enthält: Xtal Rm und den Filtertyp.

Änderung in der Menüleiste

Es gibt eine Änderung im "Xtal" Menü:

Das Feld "Xtal Tuning" ist für Cohn und QER Filter deaktiviert, da dessen spezielle Prozedur ausschließlich auf die Tchebychev/Butterworth Filter ausgerichtet und daher nicht auf die anderen Typen anwendbar ist.

[Alle anderen Unterprogramme.in der Leiste sind unverändert](#)

Die Eingabefelder

Quarz-Parameter

Hier kann wahlweise die Quarzinduktivität **Lm** oder die Quarzkapazität **Cm** eingegeben werden. Der jeweils andere Wert wird dann über die Serienresonanz ("**Series Freq. Fs**".) errechnet. Die Eingabe der Halterungskapazität des Quarzes **Cp** ist ebenfalls erforderlich.

Es mag auffallen, dass keine Eingabe für die Parallelfrequenz **fp** existiert. Dies ist deswegen nicht vorgesehen, weil die Messung von fp durch Streukapazitäten und der Abhängigkeit von der Abschlussimpedanz recht ungenau ist. Daher wird fp aus den obigen Eingabeparametern errechnet.

Filter-Parameter

- 3db-Bandwidth (BW):

Die 3db-Bandbreite kann bis zur maximal möglichen Bandbreite eingegeben werden. Die maximale BW wird berechnet und nun auch unter dem Eingabefeld angezeigt. Es erfolgt eine Fehlermeldung, wenn dieser Wert überschritten wird. Außerdem kann der Maximalwert (als "Hint") angezeigt werden, wenn man mit dem Mauszeiger in das "B3db"-Feld fährt.

- Passband ripple (jetzt im Feld der Filterauswahl):

Eine Welligkeit von 0db erzeugt eine Butterworth-Kurve, jeder Wert von >0 bis 3db erzeugt eine Tschebyscheff-Kurve (für Cohn und QER ausgeblendet).

- Number of crystals: jede Anzahl von 2 bis 14 Quarzen (Pole) ist möglich (min. 4 bei QER).

- Frequency Span: kann beliebig zwischen >0 und 400kHz für die Grafik gewählt werden.

Ein Klick auf den "**Calculate**"- Button oder das Drücken der <**RETURN**> Taste bewirkt nach jeder Eingabe eine Neuberechnung und Aktualisierung der Resultate und Grafik-Darstellung.

Jede unzulässige oder fehlende Eingabe generiert eine entsprechende Fehlermeldung.

Anzeige der Resultate

Xtal parameters

Hier werden die dynamische Induktivität **Lm** und Kapazität **Cm** des Quarzes neben den zugehörigen Serien- und Parallelresonanzfrequenzen **fs** and **fp** dargestellt. Die Halterungskapazität **Cp** kann im Eingabefeld abgelesen werden. Der jeweils berechnete Wert für Cm oder Lm wird mit einer Auflösung von mindestens 6 Dezimalstellen gezeigt. Das hat absolut nichts mit der Genauigkeit zu tun, sondern ermöglicht die exakte Darstellung der Serienresonanz, wenn diese Daten in einem Simulationsprogramm verwendet werden

Filter parameters

Die folgenden Parameter werden im oberen Bereich gezeigt:

Filter type (Butterworth / Tschebycheff),	der Filtertyp
Passband ripple,	die Welligkeit im Durchlassbereich
Impedance,	Abschlussimpedanz (in Rot , wenn >3000 Ohm)
Number of xtals,	Zahl der Quarze (Pole)
Center frequency,	Mittenfrequenz des Filters
Bandwidth,	die Bandbreiten für folgende Dämpfungswerte: -6db, -20db, -40db, -60db, -80db, und -100db

Coupling (Shunt) capacitances

Dies sind die berechneten Werte der Koppelkapazitäten für die gewünschte Bandbreite. Die Indexzahlen ("Ck12", "Ck23", usw.) beschreiben ihre Position zwischen den jeweiligen Quarzen.

Hinweis: Die Zahlen erscheinen in **Rot**, wenn der Wert für das jeweilige Ck **10pF** unterschreitet.

Tuning (Series) capacitances

Dies sind die Werte der Kapazitäten in Serie mit den jeweiligen Quarzen, um sie auf die gemeinsame Maschenfrequenz ("mesh frequency") des Filters zu ziehen. Ihre Indexzahlen ("Cs1", "Cs3", usw.) bezeichnen ebenfalls ihre Verbindung zum jeweiligen Quarz

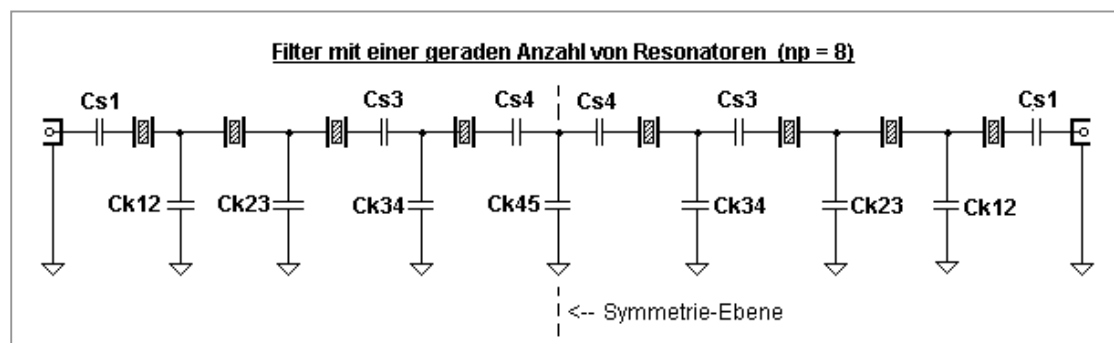
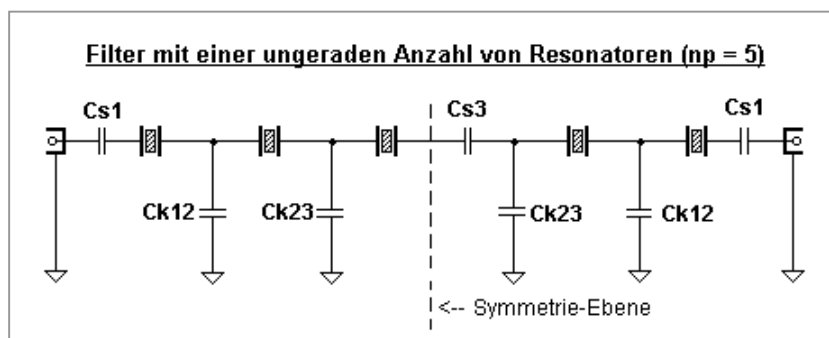
Neben den Kapazitätswerten sind die individuellen (immer positiven) Frequenzoffsets zu f_s aufgeführt, die durch die jeweilige Serienkapazität hervorgerufen werden. Wenn Quarze mit passenden Offsets verfügbar sind, sind die Serienkapazitäten an der entsprechenden Stelle unnötig. Die "Referenzfrequenz" für diese Offsets ist immer die Maschen-Frequenz für Quarz #2 und den vorletzten Quarz #n-1 im Filter – die einzigen ohne eine Serienkapazität.

→ Für nähere Details, siehe den Teil: "Mesh Frequency" (Anhang)

Es ist nur die Hälfte der notwendigen Koppel- und Serienkondensatoren aufgeführt

Das ist ausreichend, da alle vier Filtertypen symmetrisch aufgebaut sind. Daher ist z.B. die Koppelkapazität $Ck_{1,2}$ identisch mit $Ck_{n-1,n}$ und so weiter. Die folgenden Bilder von Filtern mit ungerader und gerader Anzahl von Quarzen illustrieren diesen Zusammenhang:

Position der Koppelkondensatoren (Ck) und der Ziehkondensatoren (Cs) in typischen Filterkonfigurationen



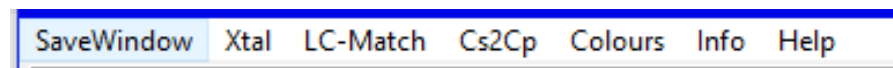
Als zusätzliche Information wurde eine Tafel mit den kompletten Schaltbildern aller Filter für die Polzahlen von 2 bis 14 an das Ende des Anhangs angefügt.

Die Grafik-Anzeige

Die Grafik zeigt die Durchlasskurve **S21** und – wenn gewünscht – die Reflexionsdämpfung **S11** und **VSWR** des berechneten Filters. Die Filterkurve ist immer auf die berechnete Mittenfrequenz "fm" zentriert. Die Darstellbreite kann bis 400kHz betragen, wobei die resultierenden Frequenzgrenzen als plus/minus Offsets angezeigt werden. Durch Anklicken von "**10db<->1db**" unterhalb des "**Calculate**" - Buttons kann die Kurve auch mit gedehnter Skalierung 1db/div dargestellt werden.

Der Wert der Dämpfungsasymptote ("**ultimate attenuation**") wird angezeigt und erscheint auch als grüne Linie, wenn er innerhalb des 100db-Bereichs liegt.

Die Menü - Leiste



SaveWindow

Ein Klick auf dieses Feld erzeugt ein Bild des gesamten Programmfensters und speichert es im Programmordner als Bitmap-Datei mit dem Namen "**Filter.bmp**". Zur Anzeige, dass das Bild erzeugt wird, verändert sich die Farbe des Grafikfeldes für einen kurzen Moment. (Eine Kopie liegt dann auch im Windows Clipboard). Alle berechneten Daten inklusive der Maschenfrequenz und der Filterkurve sind daher im Bild für weitere Auswertungen enthalten. Wenn mehrere Bilder erzeugt werden, muss vorher eine evtl. bereits vorhandene Datei umbenannt werden, da sie sonst ohne Vorwarnung überschrieben wird.

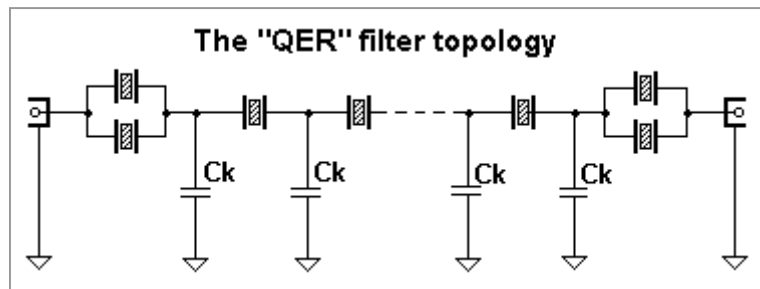
Cohn → In das Filterwahl-Panel verschoben

Filter, die die von Seymour Cohn [7] publizierte "minimum-loss" Kopplungsmethode verwenden, sind - speziell als CW-Filter - recht populär geworden, trotz ihrer bekannten Nachteile wie unkontrollierbarer Welligkeit und sehr großer Gruppenlaufzeit-Verzerrungen. Ihre Vorteile sind neben dem einfachen Aufbau mit identischen Koppelkondensatoren die etwas steileren Filterflanken. Im Gegensatz zum allgemeinen Glauben ist allerdings ihre Durchlassdämpfung nicht kleiner als bei den Tschebyscheff- oder Butterworth-Typen. Das liegt an der extremen Schmalbandigkeit der Quarzfilter im Vergleich zu LC-Filtern.

Selbstverständlich verwendet auch dieses Programm die Dishal-Methode, d.h., die Parallelkapazität Cp der Quarze wird korrekt berücksichtigt. Daher sind auch hier die errechneten Werte für die Kopplungskapazität und Abschlussimpedanz sehr genau.

QER(G3UUR) →in das Filterwahl-Panel verschoben

Diese von G3UUR entwickelte neue Variante des Cohn-Typs verbindet die Einfachheit der identischen Kopplungswerte mit einer drastischen Reduktion der Welligkeit und Gruppenlaufzeitverzerrungen. **Zum Beispiel liegt die Welligkeit eines 8-poligen QER-Filters bei nur ca. 0,3db statt der untragbaren 5-6db eines Cohnfilters.** Diese "Quasi-Equi-Ripple" - Eigenschaft (QER) wird dadurch erreicht, dass neben anderen Kopplungskoeffizienten und Abschlussimpedanzen die Serien-Endkapazitäten durch einen zweiten Quarz parallel zum jeweiligen Endquarz ersetzt werden - siehe Prinzipschaltbild. Die effektive Polzahl des Filters wird durch die beiden Zusatzquarze nicht erhöht.



Eine ausführliche Information über diesen Filtertyp kann im ARRL-Handbook 2010 [9] und auch in QRP Quarterly [10] gefunden werden. Eine Simulation mit einem Vergleich der Durchlasskurven eines 8-Polfilters in Cohn- und QER-Ausführung ist im Anhang zu sehen.

In diesem Programm wird natürlich ebenfalls die Dishal-Methode für die korrekte Berechnung der Werte für die Koppelkapazität C_k und die Abschlussimpedanz angewandt.

Xtal

Öffnet ein Drop-Down-Menü mit zwei Programmen zur einfachen Ermittlung von Quarzparametern und ein drittes für das individuelle "Ziehen" von Quarzen im Filter ("Tuning").

3db-Method

Der Rechner verwendet die Messwerte, die in einem passiven Messaufbau mit einem stabilen Signal-generator und einem Detektor oder Netzwerk-Analysator gewonnen wurden. Es setzt die Anwendung der "3-db"-Methode voraus. Als ein typisches Beispiel von vielen ist eine detaillierte Beschreibung dieser Methode und des zugehörigen Messaufbaus auf der Webseite von K8IQY unter dem Titel "Precision VXO" zu finden:

<http://www.k8iqy.com/testequipment/pvxo/pvxopage.htm>

Das ist nur ein Beispiel aus einer Unzahl von Artikeln über die Messung von Quarzparametern.

Hinweis:

Der 3db-Method Rechner wurde erweitert, sodass jetzt auch neben dem Spannungsverhältnis " $U_{out}/U_{in}[\%]$ " der Dämpfungswert in "db" eingegeben werden kann. Alternativ kann nun auch der direkt (durch Substitution) ermittelte Verlustwiderstand R_m direkt eingegeben werden, wenn die Checkbox aktiviert wird. Siehe die ausführliche Beschreibung im Anhang.

Die Genauigkeit der 3db-Methode hängt nicht nur von der Messgenauigkeit für Bandbreite und Dämpfung ab, sondern auch von den möglichst genau bekannten Werten der beiden Abschlusswiderstände.

G3UUR-Method

Diese wohl populärste Methode verwendet einen Colpitts-Oszillator, bei dem die Schwingfrequenz des Quarzes einmal direkt und einmal mit einem genau bekannten Kondensator in Serie mit dem Quarz gemessen wird. Aus der Frequenzdifferenz lassen sich dann die Kapazität C_m und die Induktivität L_m errechnen. Die Schaltung und die vereinfachten Auswertformeln sind in vielen Publikationen und im Internet zu finden.

Das hier vorliegende Programm verwendet nun nicht mehr die publizierten vereinfachten Formeln, die aber zu relativ ungenauen Ergebnissen führt, sondern eine exakte Berechnung unter Berücksichtigen der Spannungsteilerkapazitäten (nominal je 470pF). Dies ergibt wesentlich genauere Ergebnisse für die Quarzparameter. Wenn aus Kompatibilitätsgründen auf die Ergebnisse der üblichen Berechnung zurückgegriffen werden soll, kann man einfach die Werte für die Spannungsteilerkapazitäten auf "0" setzen.

Obwohl mit diesem Verfahren der Verlustwiderstand und daraus die Güte eines Quarzes nicht direkt ermittelt werden kann, ist es zumindest möglich, durch Messung der Oszillatoramplitude eine qualitative Abschätzung der Quarzaktivität und damit der Güte zu machen. Dies kann zur Sortierung der Quarze nach relativer Güte, bzw. der Aussortierung schlechter Quarze dienen. Dafür ist nur ein einfacher Diodengleichrichter mit angeschlossenem hochohmigen Voltmeter (DVM) nötig.

Xtal Tuning

Das Programm erlaubt die einfache Berechnung der individuellen Ziehkondensatoren ("series-tuning-Cs") zur Erzielung einer identischen Maschenfrequenz im Filter, wenn die verfügbaren Quarze unterschiedliche Serienresonanzen aufweisen. Seine Anwendung mit einem durchgerechneten Beispiel ist im Anhang zu finden. Bei dieser Methode können u.U. minimale Abweichungen der Filterkurve auftreten, wenn die Frequenzdifferenz der Quarze relativ groß ist.

Diese spezielle Funktion ist nur für die Tschebyscheff/Butterworth anwendbar, da nur hier die Frequenzoffsets der Serienkapazitäten verfügbar sind.

(Table → Entfernt)

LC-Match

"LC-Match" öffnet ein separates Programmfenster zur Berechnung der Werte für die entsprechenden LC-Glieder zur Anpassung an Quell- und Lastimpedanz. In bestimmten Fällen kann das gegenüber Transformatoren Vorteile bringen. Beide Versionen des Netzwerks – die Hoch- und Tiefpass-Topologie – werden berechnet und angezeigt. Die Berechnung setzt rein reelle Abschlusswiderstände voraus. Außerdem wird R_1 immer kleiner als R_2 angenommen. Wird die Differenz zwischen Filter- und Abschlussimpedanz gleich oder kleiner als 1:1.02 (→ return loss 40db), dann erscheint die Meldung "No matching network necessary". Eine Anpassung ist dann also unnötig.

Hinweis: Beim Aufruf übernimmt das Programm die Daten für Frequenz und Filterimpedanz aus dem Hauptprogramm und errechnet die erforderlichen Werte für das LC-Netzwerk. Selbstverständlich können danach die Eingaben beliebig für eine universelle Anwendung verändert werden

Cs2Cp

Rechnet die Serienschaltung Cs_1 - R_s der Filterendglieder in eine entsprechende Parallelschaltung C_p - R_p um (R_s , R_p → Abschlussimpedanz). Ist für den QER Filtertyp ausgeblendet, um eine unnötige Fehlermeldung zu vermeiden (keine Serienkapazitäten an den Filterenden vorhanden).

Colours

Ein kleines Menü, mit dem die Farbgebung der Komponenten der Grafik-Anzeige beliebig geändert werden kann. Mit "Default" werden alle Farben auf die Grundeinstellung zurückgesetzt.

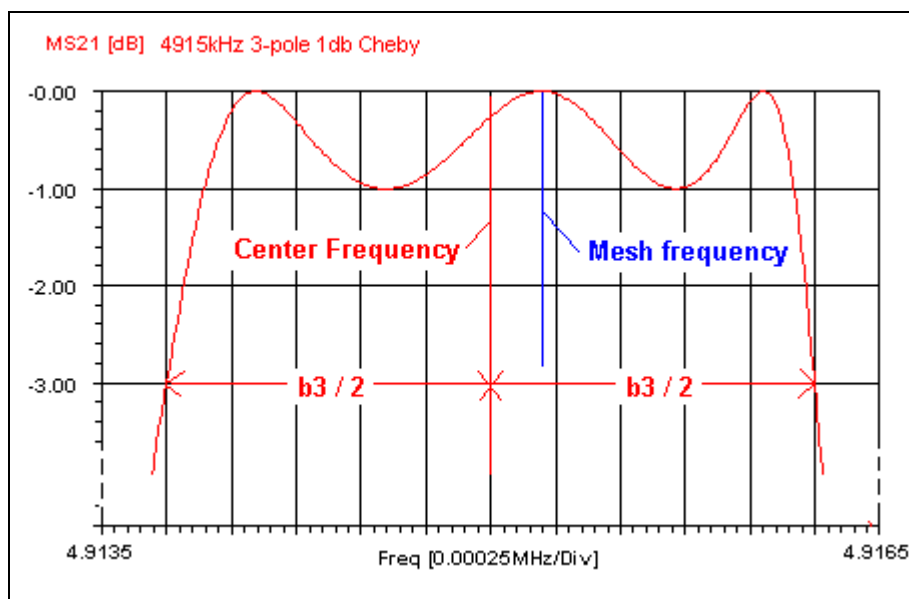
Anhang

Filter "Mesh"- und Mittenfrequenz

In normalen LC-Bandpassfiltern des Maschentyps ("mesh" oder "ladder") sind die Mitten- und die Maschenfrequenz identisch. Das ist **nicht** der Fall bei Ladderfiltern mit Quarzen.

(Jack Hardcastle, G3JIR, hat auf diese Diskrepanz hingewiesen)

Der Grund dafür ist wieder einmal die unvermeidliche Parallelkapazität C_p , die nicht nur den bekannten asymmetrischen Verlauf der Filterflanken, sondern auch eine Asymmetrie im Durchlassbereich bewirkt. Da nun die Mittenfrequenz f_m üblicherweise als die arithmetische Mitte zwischen den 3db-Punkten definiert ist, liegt die Maschenfrequenz bei einem LSB-Filter immer etwas höher als f_m (bei der USB-Topologie liegt sie immer niedriger). Das folgende Bild eines 3-Pol-Filters vom Tschebycheff-Typ illustriert diesen Effekt – hier liegt die Maschenfrequenz ("mesh frequency") ca. 195Hz höher als die Mittenfrequenz ("center frequency").



Diese "mesh frequency" wird als ein Hinweis immer dann angezeigt, wenn man den Mauszeiger entweder auf die Zahl bei "Center frequency" im Filterparameter-Feld oder auf die gleiche Zahl unterhalb des Grafikbereichs bewegt.

Hinweis: Bei der Erzeugung eines Bildes mittels "SaveWindow" wird die Maschenfrequenz ("Mesh-Frequency") statt der "Symmetry Axis"-Beschriftung abgespeichert.

Die vom Programm errechneten Werte der Serien-C's stellen identische Maschenfrequenzen im Filter sicher. Nur wenn ein zusätzliches "Ziehen" der Frequenz einzelner Quarze vorgesehen ist, könnte folgende Information hilfreich sein:

- 1) Die Maschenfrequenz des Filters wird immer durch die zweite Masche (bzw. der vorletzten, identischen Masche) bestimmt. Sie ist die höchste, weil der zugehörige Quarz auf beiden Seiten in Serie mit den kleinsten Kopplungskapazitäten liegt. Alle anderen Maschen müssen daher mit entsprechenden Serienkapazitäten auf diese Frequenz gezogen werden.
- 2) Die Anwendung des "Xtal Tuning" Programms im "Xtal" Menü zur individuellen Abstimmung von Quarzen mit unterschiedlichen Serienresonanzen auf eine gemeinsame Maschenfrequenz ist auf den folgenden Seiten beschrieben.

Quarz-Abstimmung mit dem "Xtal Tuning" Programm

Es ist **grundsätzlich empfehlenswert, Quarze mit identischer Serienresonanz** (und selbstverständlich auch gleicher Induktivität) für ein Ladderfilter auszusuchen. Das macht ein Filterdesign mit dem Dishal-Programm extrem einfach und erzielt die besten Resultate. Die Variation der Quarzfrequenzen sollte maximal $\pm 2\%$ der gewünschten Bandbreite betragen. Unterschiede von bis zu $\pm 5\%$ bewirken bereits eine deutlich höhere Welligkeit und Durchlassdämpfung.

Es mag aber Fälle geben, in denen nur Quarze mit einer größeren Frequenzstreuung zur Verfügung stehen. In begrenztem Maße können nun diese Quarze individuell mit Serienkapazitäten, die von den berechneten Idealwerten abweichen, "gezogen" (tuned) werden. Zu diesem Zweck werden im Dishal-Programm neben den Serienkapazitäten Cs_x auch die zugehörigen Offsetfrequenzen "equivalent offset freq" berechnet und angezeigt.

Diese Zusatzinformation macht es jetzt besonders einfach, das "XtalTuning" Programm für den Abstimmprozess einzusetzen. Die resultierende Filterkurve kann zwar minimale Abweichungen von der Idealkurve aufweisen, z.B., bei der Welligkeit, Bandbreite oder Mittenfrequenz. Diese Abweichungen sind aber im Vergleich zu den Fehlern, die durch die Bauteiltoleranzen und Quarzverluste entstehen, völlig vernachlässigbar. Eine genauere Erläuterung der Ursachen für diese Effekte sprengt den Rahmen dieser Hilfedatei.

Die Vorgehensweise für den Abstimmprozess wird im folgenden Beispiel gezeigt.

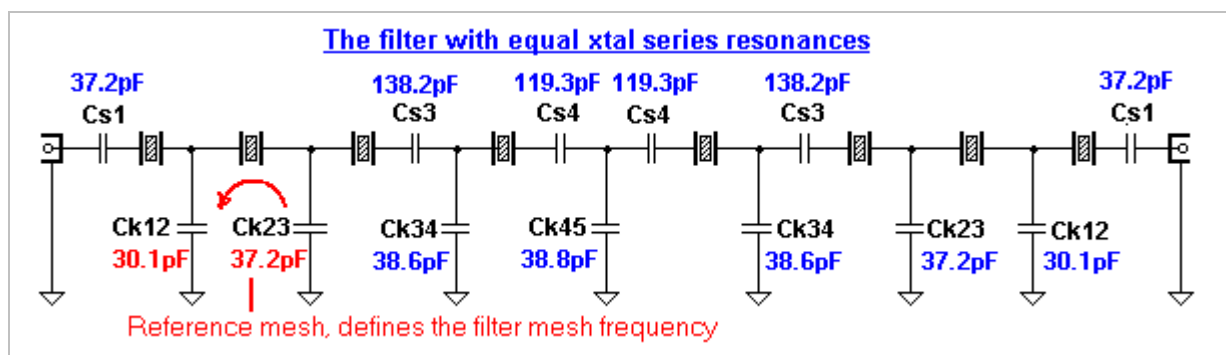
Wir nehmen 8 Quarze mit folgenden Serienfrequenzen (kHz) an:

#1: 4999.670, #2: 4999.895, #3: 5000.010, #4: **5000.120**, #5: 5000.235, #6: 5000.320, #7: 5000.485, #8: 5000.680. (das ist eine extrem große Spreizung von 1010Hz)

Wir wollen nun ein 8-Pol-Filter mit einer 3db-Bandbreite von **2.5kHz** und einer Welligkeit von **0.5db** mit den oben aufgeführten Quarzen konstruieren.

Im ersten Schritt wählen wir einen Quarz, dessen Frequenz ungefähr in der Mitte der Frequenzverteilung liegt. Daher nehmen wir Quarz #4 (**5000.120kHz**) für die Referenzmasche #2, die gleichzeitig auch die "nominal series frequency" f_s für das Dishal-Programm darstellt.

Mit dem Dishal-Programm berechnen wir nun das Filter unter der Annahme einer gleichen Frequenz f_s aller Quarze von **5000.120 kHz**, einer typischen Induktivität von $L_m = 70mH$ und einer Parallelkapazität von $C_p = 3.7pF$. Wir erhalten folgendes Filter als Resultat:



Die Maschen #2 and #7 sind die einzigen ohne Serienkondensator. Sie bestimmen die Maschenfrequenz des Filters, die als Referenz dient. Daher ist deren Frequenzoffset **Null per Definition** und auch in der Offset-Liste nicht aufgeführt. Alle anderen Quarze müssen nun mit den Kapazitäten $Cs1...Cs4$ auf diese Referenzfrequenz gezogen werden.

Das Programm liefert uns die Werte der Koppelkondensatoren, die die Filtereigenschaften bestimmen und auch Einfluss auf die Berechnung der Serienkondensatoren haben. Die im Bild gezeigten Werte für Cs1 bis Cs4 sind allerdings hier bedeutungslos, da wir sie ja aufgrund der unterschiedlichen Quarzfrequenzen ohnehin individuell berechnen müssen. Die in der Liste unten daneben gezeigten zugehörigen Frequenzoffsets sind allerdings wichtig, denn diese werden jetzt für den Abstimmprozess gebraucht.

Tuning (Series) Capacitances [pF]		equiv. Freq. Offset [Hz]
Cs1=	37,2	709
Cs3=	138,2	179
Cs4=	119,4	208

Die Werte in den "equiv. Freq. Offset"- Feldern werden nun für den Abstimmprozess im "Xtal Tuning" Programm verwendet.

Die bereits oben errechneten Koppel- (Shunt-) Kapazitäten Ck... werden dabei nicht geändert.

Wir können nun das "Xtal Tuning" Programm in der Menü-Dropdown-Liste aufrufen. Alle notwendigen Startparameter werden dabei automatisch aus dem Dishal Hauptprogramm übernommen. Die einzigen Felder, die im Abstimmprozess geändert werden müssen, sind "**Current Xtal Series Freq.**" und "**Nominal Offset**".

Da Quarz #4 für die Masche #2 benutzt wird, wählen wir Quarz #3 (**5000.010kHz**) für die Masche auf der anderen Filterseite (**mesh n-1 = #7**). Wir wissen, dass diese Masche ebenfalls mit einem nominalen **Offset von Null** definiert ist. Wir übernehmen die Frequenz ("**Current Xtal Series Freq.**") und den '**Nominal Offset**' ins Tuningprogramm und erhalten folgendes Resultat:

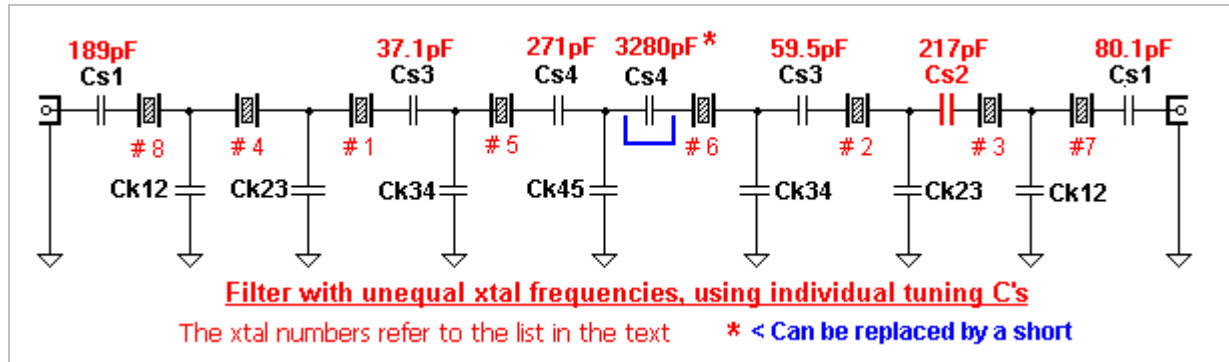
Ck12 30,1 pF Ck23 37,2 pF <-- Reference Mesh (#2), defining Fmesh Select either Lm or Cm of xtal <input checked="" type="radio"/> Lm 70 mH <input type="radio"/> Cm Cm = 14,47376 fF 5000,120 kHz Nominal Xtal Series Freq. 3,7 pF Xtal Holder Capacitance Cp 5000,010 kHz Current Xtal Series Freq.	← Koppelwerte für Masche #2, vom Dishal Programm. ← Diese Frequenz ist die Basis-Serienfrequenz. "fs" im Dishal-Programm für die Berechnung der Koppel-Kapazitäten (und der Serienkapazitäten).
Current - Nominal [Hz] -110 Actual Xtal offset [Hz] 110 Tuning Capacitance (pF) 217 Calculate	← Die entsprechenden Offsets, wie sie neben den Serienkapazitäten aufgeführt sind. Spezialfall hier: Null
Nominal Offset in (Hz) 0	

Die Masche #7 benötigt eine Serienkapazität von 217pF.

Die Maschen an den Filterenden (#1 und #8) benötigen den größten Offset. Daher nehmen wir hierfür die Quarze mit den höchsten Abweichungen von der Nominalfrequenz 5000.120kHz. Das sind die Quarze #7 and #8 (**5000.485** und **5000.680kHz**). Der benötigte Offset für die End-Maschen ist **709 Hz**. Wir geben die Zahlen ins Programm ein und erhalten:

Select either Lm or Cm of xtal <input checked="" type="radio"/> Lm 70 mH <input type="radio"/> Cm Cm = 14,47376 fF 5000,120 kHz Nominal Xtal Series Freq. 3,7 pF Xtal Holder Capacitance Cp 5000,680 kHz Current Xtal Series Freq.	Da der Quarz bereits einen Offset von 560Hz hat, ist nur ein zusätzliches Ziehen von 149Hz nötig. Der Wert des berechneten Serien-Cs ist daher 189 pF .
Current - Nominal [Hz] 560 Actual Xtal offset [Hz] 149 Tuning Capacitance (pF) 189 Calculate	Für den Quarz mit 5000.485kHz am anderen Ende des Filters ergibt die Berechnung 80.1 pF für den gleichen nominellen Offset.
Nominal Offset in (Hz) 709	

Wir können nun die restlichen Ziehkapazitäten errechnen, was dann dieses Filter ergibt *:



Dies ist nur ein Beispiel für die Vorgehensweise bei Quarzen mit unterschiedlichen Serienfrequenzen. Man beachte dabei, dass die Quarzfrequenz mit Serienkondensatoren nur "nach oben" gezogen werden kann. Daher kann es im Laufe des Abstimmprozesses passieren, dass die anfänglich gewählten Parameter zu einer Situation führen, bei der der Offset eines Quarzes höher liegt, als es für irgendeine Masche erforderlich ist. In diesem Falle gibt es eine Fehlermeldung, und wir müssen die Prozedur mit einem Quarz wiederholen, dessen Frequenz als Startwert für das Dishal-Programm ("**nominal series frequency fs**") etwas höher liegt

Allerdings benötigt eine Neuberechnung mit Hilfe der beiden Programme nur sehr wenig Zeit.

Quarze sollten nicht exzessiv in der Frequenz gezogen werden. Die Quarzgüte sinkt mit zunehmendem Frequenzoffset, d.h., mit abnehmender Serienkapazität. Daher gibt das Programm eine Warnung aus, wenn die Kapazität unter 10pF fällt.

Natürlich gibt es auch noch andere erprobte Werkzeuge für die Berechnung und Abstimmung der individuellen Filtermaschen. Wes Hayward, W7ZOI, hat ein solches Tool zur Berechnung der notwendigen Werte geschrieben. Sein Programm "**FineTune**", das dem Buch "**EMRFD**" [5] als Teil der "**LADPAC2002**" -Software beiliegt oder seine ältere Version "**MeshTune**" (DOS) als Bestandteil des Buchs "**RF Design**" [6] wurden dafür entwickelt. Da sich die dort angewandte Methode stark von der hier vorgestellten unterscheidet, sollte man die zugehörigen Anleitungen sehr sorgfältig studieren.

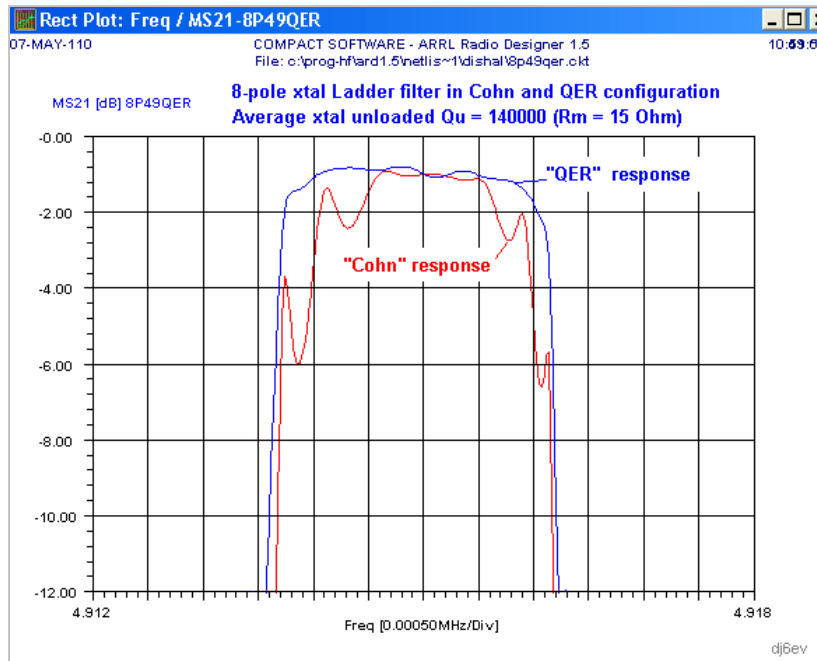
Wer den Aufwand nicht scheut, nahezu ideale Filter durch gezieltes Abgleichen aller Filterkomponenten zu bauen, sollte den Artikel von J. Makhinson, N6NWP [8] lesen, der die Grundlagen und die notwendigen Schritte im Detail beschreibt. Hier sei aber vermerkt, dass N6NWP ebenfalls Quarze mit fast identischen Parametern als Ausgangspunkt verwendet. Sein "fine-tuning" dient zur Kompensation aller Abweichungen von den Idealwerten, um die in seinem Artikel gezeigten exzellenten Filterkurven zu erreichen. Das ist außerordentlich zeitaufwendig und erfordert darüber hinaus zahlreiche sehr genaue Messungen.

* Das Filter könnte auch ohne Serienkapazitäten konstruiert werden, wenn wir einen Satz von Quarzpaaren mit den vom Dishalprogramm errechneten Frequenzoffsets zur Verfügung hätten. Die Quarze müssen allerdings auch möglichst identische Werte für L_m / C_m aufweisen (max. $\pm 2\%$). In diesem Beispiel ergäben sich folgende erforderliche Quarzfrequenzen:

2x 5000.120kHz for the meshes 2 and 7(n-1) (as the reference frequency **fs**)
 2x 5000.829kHz for the meshes 1 and 8 (+ 709 Hz)
 2x 5000.299kHz for the meshes 3 and 6 (+ 179 Hz)
 2x 5000.328kHz for the meshes 4 and 5 (+ 208 Hz)

Selbst hier ergeben sich Abweichungen von der idealen Filterkurve, die aber extrem klein sind.

Quasi-Equiripple (QER) – Filter vs. Cohn-Filter



Das Bild zeigt den Vergleich eines 8-poligen, 2,5kHz breiten Cohn-filters mit einem fast identisch aufgebauten QER-Filter unter Verwendung von verlustbehafteten Quarzen.

Gegenüber der extremen Welligkeit von mehr als 5db und den scharfen Resonanzspitzen, die das Cohnfilter in der Praxis unbrauchbar machen, weist das QER-Filter eine Welligkeit von weniger als 0,5db und sogar eine etwas kleinere Dämpfung auf.

Ein paar praktische Hinweise

Die Filter weisen eine Durchgangsdämpfung und eine Verrundung der Durchlasskurve auf, die hauptsächlich durch die Quarzverluste (R_m) hervorgerufen werden. Das führt zu einer etwas kleineren 3db-Bandbreite als berechnet (die Filterkurve mit der Verrundung und Durchlassdämpfung durch die Quarzverluste wird in der Version 3 korrekt in der Grafik gezeigt). Allerdings ist dieser Effekt bei ausreichenden Quarzgüten recht klein verglichen mit den Abweichungen durch die Bauteiltoleranzen. Ein Beispiel: ein Filter wurde für eine 3db-Bandbreite von 2.4 kHz berechnet und zeigte eine reale Bandbreite von 2,36kHz. Bei 6db war die Differenz noch kleiner (<20Hz). Wenn eine garantierte minimale Bandbreite erforderlich ist, kann man einfach die gewünschte 6db Bandbreite des Filters als die Design-Bandbreite nehmen.

Die im neuen Programm gezeigte reale 6db-Bandbreite ist dafür eine wertvolle Hilfe

Außerdem dürfen die Streukapazitäten des Filteraufbaus (Platine) von ca. 1,5 bis 2pF nicht vernachlässigt werden, da sie sich zu den Koppelkapazitäten addieren.

Es ist immer empfehlenswert, die berechneten Werte in ein gutes Simulationsprogramm zu übertragen. Hier kann man dann durch individuelle Änderungen von Koppelwerten, Abschlussimpedanz und Quarzparametern die Auswirkungen auf die Filterkurve verfolgen. Dies ist im Programm selbst nicht möglich, trotz des dort verwendeten Simulationsverfahrens.

Erweiterter Rechner für die 3db Methode

Der im Dishal-Programm enthaltene 3db-Calculator wurde erweitert, um eine flexiblere Anwendung zu ermöglichen. Neben der Eingabe des Spannungsverhältnisses "Uout/Uin" ist jetzt auch die Eingabe der Dämpfung in "db" möglich.

Der Anwender kann mit dem jeweiligen Radio-Button zwischen den beiden Eingaben wählen (siehe rotes Rechteck unten im Bild)..

Weiterhin kann jetzt auch der Verlustwiderstand des Quarzes eingegeben werden, falls er durch eine Substitutionsmessung direkt ermittelt wurde. Dafür ist eine CheckBox neben dem Feld "Loss Resistance" implementiert. Wenn hier das Häkchen gesetzt wird, werden die RadioButtons ausgeblendet, um eine irrtümliche Eingabe des Dämpfungswertes zu verhindern. Alle Werte werden neu berechnet und die Resultate aktualisiert. Die Bilder zeigen die alternativen Eingabemöglichkeiten.

Xtal Parameter Calculator (3db method) dj6ev

This small program allows an easy calculation of the crystal parameters, based on the values measured with a passive test set using a precision signal generator and detector or a network analyzer. It assumes that the "3-db" method is used.

Measured Xtal values

50 Z Source (Ohm) 5000 250 Uout / Uin [%] 90.09
 50 Z Load Serial Freq fs [kHz] 3db Bandwidth[Hz] 0.91
 Attenuation [db]

Calculate

70.66 14.33926 11.0 201818
 Xtal Inductance Lm [mH] Xtal Capacitance Cm [fF] Loss Resistance [Ohm] Xtal Qu



Xtal Parameter Calculator (3db method) dj6ev

This small program allows an easy calculation of the crystal parameters, based on the values measured with a passive test set using a precision signal generator and detector or a network analyzer. It assumes that the "3-db" method is used.

Measured Xtal values

50 Z Source (Ohm) 5000 250 Uout / Uin [%] 88.10
 50 Z Load Serial Freq fs [kHz] 3db Bandwidth[Hz] 1.1
 Attenuation [db]

Calculate

72.26 14.02175 13.5 168136
 Xtal Inductance Lm [mH] Xtal Capacitance Cm [fF] Loss Resistance [Ohm] Xtal Qu



Xtal Parameter Calculator (3db method) dj6ev

calculation of the crystal parameters, a passive test set using a precision network analyzer. " method is used.

Measured Xtal values Uout / Uin [%] 88.65
 250 1.05
 3db Bandwidth[Hz] Attenuation [db]

Calculate

☒ 12.8 176250
 Loss Resistance [Ohm] Xtal Qu

Die Texte in den aktiven Eingabefeldern werden immer in grüner Farbe gezeigt, während die Resultatfelder rot sind. Daher werden die Farben in den betreffenden Feldern bei Änderung der Eingabemethode entsprechend angepasst.

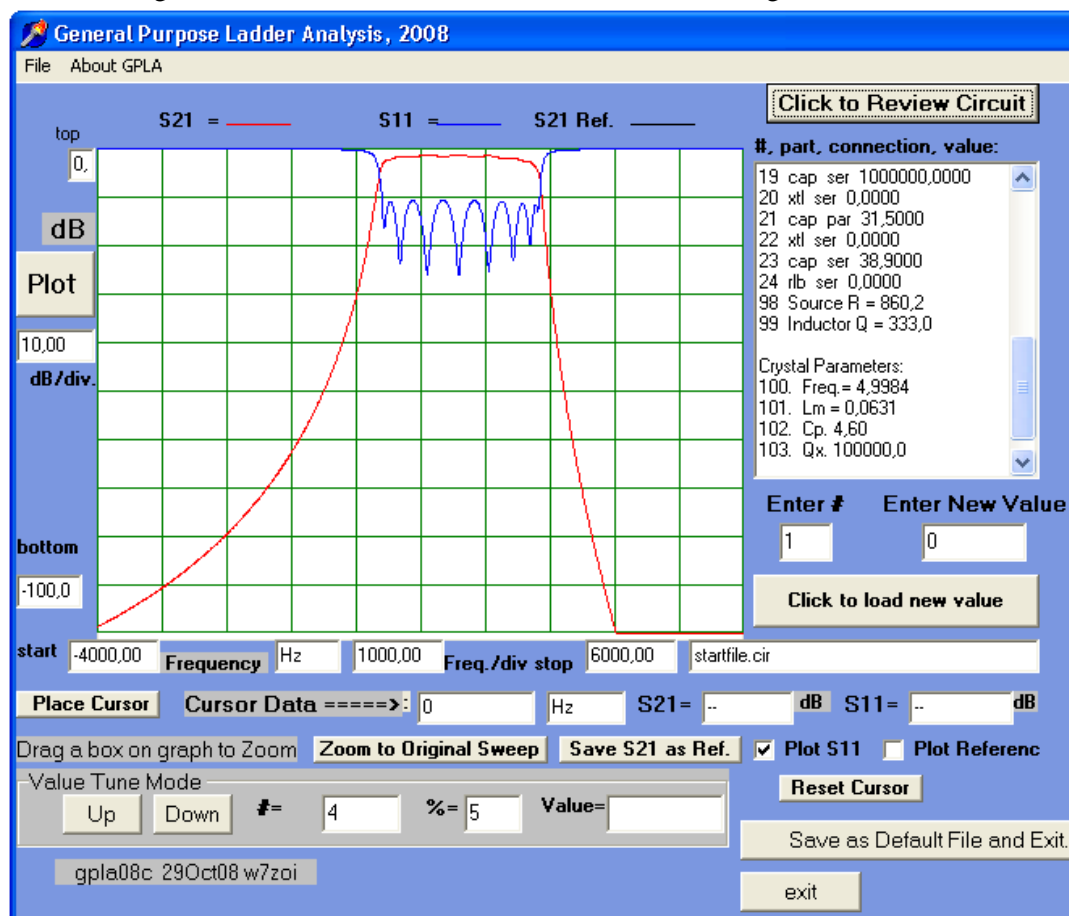
Automatisch generierte Netlists für GPLA-, ARD- und LTSpice Simulatoren

Die Version 3.0.2.0 erzeugt im Hintergrund bei jeder Berechnung automatisch Netlisten für das GPLA-Programm von W7ZOI (Teil des LADPAC Pakets), für den ARRL-Radio Designer (ARD) und für den populären und sehr verbreiteten LTSpice-Simulator. Dafür werden beim Start drei Ordner "GPLA_files", "ARD_files" und "SPICE_files" angelegt.

Bei allen Listen wird ab Version 3.0.2.3 die berechnete Quarzgüte Q_u aus dem jeweiligen Filtermodell übernommen. Q_u kann in der Simulation natürlich dann noch beliebig modifiziert werden.

GPLA-Netlist: (*)

Die generierte Netlist wird im Ordner "GPLA-Files" immer unter der Bezeichnung "Startfile.cir" gespeichert. Beim Aufruf des Programms **gpla08.exe** (das im gleichen Ordner liegen muss) wird sie automatisch geladen und kann dann mit dem "PLOT"-Befehl dargestellt werden:



Die Werte der Liste können nun im Editfeld auf der rechten Seite beliebig geändert werden. Allerdings erlaubt GPLA keine individuellen Parameter für die Quarze (diese werden immer als identisch vorausgesetzt). Die Simulation kann dann über das "File / Save As" Menü unter einem beliebigen Namen abgespeichert werden.

Auch die Unterprogramme "**Cohn**" und "**QER(G3UUR)**" erstellen eine solche Liste für GPLA. Da GPLA die QER-Topologie nicht unterstützt (keine parallel geschalteten xtals), wurde ein Trick angewendet. Es werden jeweils zwei xtals in Serie für die inneren Maschen eingesetzt. Das führt zu einer Halbierung der Werte für die Koppel-Cs und einer Verdoppelung der Abschlussimpedanz, um eine korrekte Darstellung der Filterkurve zu erreichen. Daher sind nur die im Dishal QER-Programmfenster gezeigten Werte für das Filter-Design heranzuziehen.

(*) Das GPLA-Programm ist Bestandteil des Softwarepakets "**LADPAC2008**", das auf der CD des "EMRFD"-Buchs [5] enthalten ist. Es ist auch jetzt wieder als Download im Internet verfügbar. Hier der Download-Link: <https://w7zoi.net/emerrata.html>

ARD-Netlist

Der ARRL-Simulator erlaubt die Einfügung von Kommentaren, was eine komfortablere Liste mit Überschrift usw. erlaubt. Die Liste wird auch mit einem aussagekräftigen Filenamen im Ordner "ARD-Lists" abgespeichert, wobei der Filtertyp, Filterfrequenz in MHz (mit 0,1MHz Auflösung) und die Polzahl berücksichtigt wird, wie z.B. "T049_p8.ckt" oder "B090_p6.ckt". Der Filtertyp wird mit dem führenden Buchstaben definiert:

"T" → Tschebycheff, "B" → Butterworth, "C" → Cohn, "Q" → QER

Die vom ARD verwendete alte "DOS 8.3"-Konvention (max. 8 Zeichen im Dateinamen) erlaubt keine weitergehende Information über das jeweilige Filter.

Zusätzlich wird die Liste im Windows-Clipboard erstellt, was eine sehr bequeme Übertragung in den ARD über "File / New", "Edit / Paste" ermöglicht.

Ein Beispiel für ein solches Listen-Layout ist hier gezeigt:



```

;*****
;*** 8 pole Chebychev Filter; b3=2.5kHz ***
;*****

imp: 860.2oh      ;filter termination
Ck12: 31.5pF
Ck23: 38.9pF
Ck34: 40.3pF
Ck45: 40.6pF

Cs1: 38.9pF
Cs2: 999999pF    ;for tuning only
Cs3: 144.4pF
Cs4: 124.7pF

blk                ;default Xtal Q =100000
srx 10 20 r=19.8oh L=63.1mH C=16.06771fF
cap 10 20 c=4.6pF
xtal: 2por 10 20      ;fs= 4998.37kHz
end

blk
TRF 100 120 r1=50 r2=imp
xtal 120 130          ;---1
cap 130 140 c=C51
cap 140 0 c=Ck12
xtal 140 150          ;---2
cap 150 160 c=C52
cap 160 0 c=Ck23
xtal 160 170          ;---3
cap 170 180 c=C53
cap 180 0 c=Ck34
xtal 180 190          ;---4
cap 190 200 c=C54
cap 200 0 c=Ck45
xtal 200 210          ;---5
cap 210 220 c=C54
cap 220 0 c=Ck34
xtal 220 230          ;---6
cap 230 240 c=C53
cap 240 0 c=Ck23
xtal 240 250          ;---7
cap 250 260 c=C52
cap 260 0 c=Ck12
xtal 260 270          ;---8
cap 270 280 c=C51
TRF 280 300 r1=imp r2=50
Tchby8p: 2por 100 300
end

freq
Step 4.995MHz 5.005MHz 20Hz
end

```

Nach der Analyse kann dann über den Report-Editor die gewünschte Grafik erstellt werden. Natürlich können auch hier die von Dishal generierten Parameter beliebig modifiziert werden.

LTSpice – Netlist

Der LTSpice-IV Simulator wird als Freeware von der Fa. Linear Technology zum Download angeboten und hat sich mittlerweile als ein sehr beliebtes Programm in der Amateurgemeinschaft etabliert. Daher werden auch für diesen Simulator automatisch Netlisten erstellt und als ".CIR" Dateien im Ordner "SPICE_files" abgespeichert.

Die Dateinamen enthalten die Information über Filtertyp, Zahl der Pole, ungefähre Mittenfrequenz in kHz, (Welligkeit in db für Tschebychev /Butterworth) und die design-bandbreite in Hz. Der Filtertyp wird auch hier durch das erste Zeichen definiert:

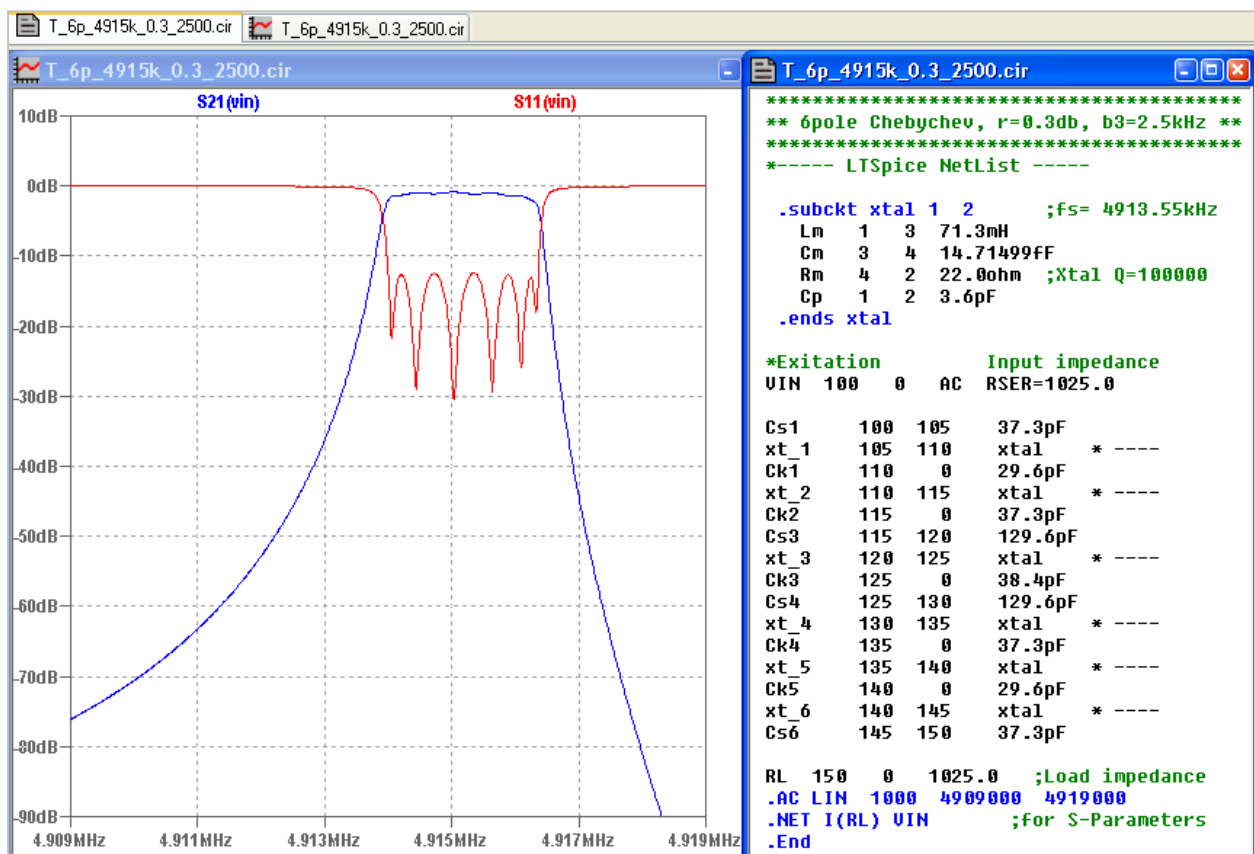
"T" →Tschebycheff, "B" →Butterworth, "C" →Cohn, "Q" →QER

Beispiel: T_8p_4998k_0.3_2500.cir

→8-poliges Tchebychev-Filter mit fm~4998kHz, Welligkeit=0,3db, Design-BBr.=2500Hz

Die .cir-Dateien lassen sich direkt über "Files / Open" in LTSpice einlesen und simulieren. Im "Open" Menufenster muss dafür der Dateityp auf "Netlists" gesetzt werden.

Die Struktur der LTSpice-Netliste wurde für eine einfache Auswahl und Darstellung der S-Parameter S11, S21 (S12,S22) angepasst.



Hinweis:

Die Simulationsprogramme **gpla08**, **ARD1.5** und **LTSpiceIV** sind kein Bestandteil des Dishal-Programms.

Anerkennung

Mein besonderer Dank gilt Jack Hardcastle, G3JIR, für die vielen produktiven Diskussionen und den Austausch von zahlreichen Ideen in den letzten Jahren. Er motivierte mich auch, meine Trägheit zu überwinden, um mein uraltes DOS-Programm in diese Windows-Version zu übertragen, "aufzubohren" und zusätzliche Hilfsprogramme in den letzten Monaten hinzuzufügen.

Weiterhin möchte ich Dave Gordon Smith, G3UUR, danken, der mir wertvolle Hinweise bei der Implementation meiner Dishal-Version seines "QER"-Filtertyps und einer genaueren Version seines Oszillatorverfahrens für die Ermittlung der Quarzparameter gab.

Referenzen (neben vielen anderen Quellen)

- [1] "Calcul et realisation des filtres à quartz en echelle"
Patrick Magnin F6HYE, Bernard Borcard F3BB
Radio – REF, April 1990
- [2] "Computer aided ladder crystal filter design"
Jack A. Hardcastle G3JIR
Radio Communication, May 1983
- [3] "Two new equations for the design of filters"
M. Dishal
Electrical Communications , Vol.3, December 1955
- [4] "Modern network theory design of single-sideband crystal ladder filters"
M. Dishal
Proceedings of the IEEE, Vol.53 , September 1965
- [5] "Experimental Methods in RF Design" ("EMRFD")
W. Hayward, W7ZOI R. Campbell, KK7B B. Larkin, W7PUA
ARRL publication No.288, 2003
- [6] "Introduction to Radio Frequency Design"
Wes Hayward, W7ZOI
ARRL publication No.191, 1994-96
- [7] "Dissipation Loss in Multiple-Coupled-Resonator Filters"
Seymour B. Cohn
Proceedings of the IRE, August 1959
- [8] "Designing and Building High-Performance Crystal Ladder Filters"
Jacob Makhinson, N6NWP
QEX No.155, January 1995
- [9] "Crystal Filter Design"
ARRL HANDBOOK 2010, Chapter 11.6.2
- [10] "Further Thoughts on Crystal Ladder Filter Design"
Dave Gordon-Smith, G3UUR
The QRP Quarterly, Spring 2010

Horst Steder, DJ6EV	November 2007 (revised January 2009, übersetzt März 2009) Überarbeitet Mai 2010 Überarbeitet für die neue Version Dishal 3 Jan 2024
---------------------	---

