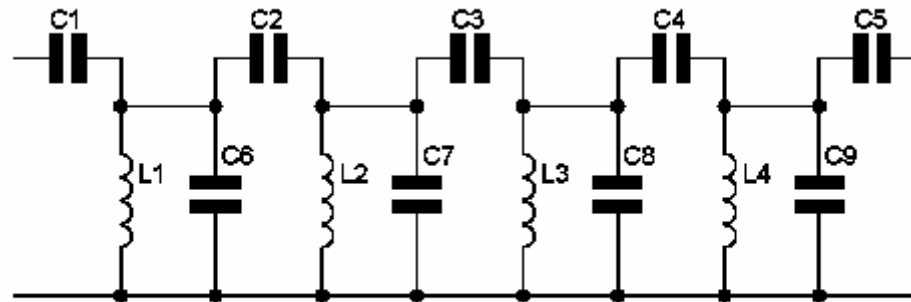


# Ladderfilter

Prinzip verstehen und selbst entwerfen

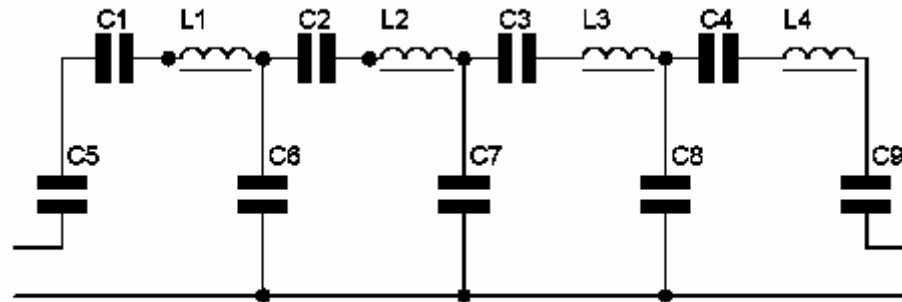
# Mehrkreisige Filter

- Man kann **Parallelschwingkreise** zu Filtern koppeln
- Durch die Koppelkondensatoren C1 bis C5 in Serie zwischen Quelle und Last wird die obere Flanke des Filters flacher, als die untere
- Die Filter benötigen einen hochohmigen beidseitigen Abschluss



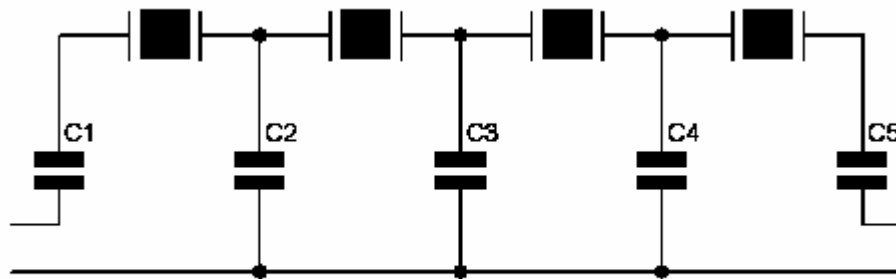
# Mehrkreisige Filter

- Man kann **Serienschwingkreise** zu Filtern koppeln
- Durch die Koppelkondensatoren C6 bis C8, sie gehen an Masse, wird die obere Flanke des Filters steiler, als die untere
- Die Filter benötigen einen niederohmigen beidseitigen Abschluss



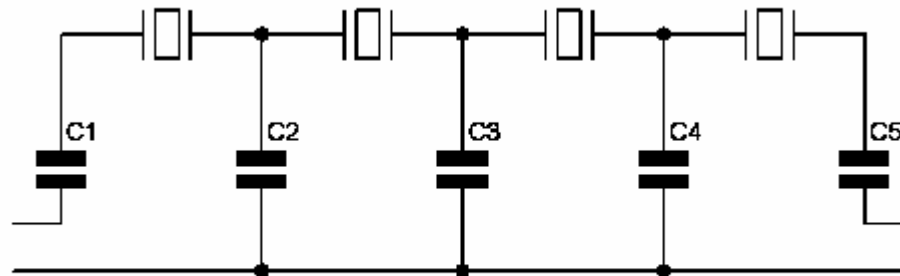
# Mehrkreisige Filter

- Man kann anstelle der Serienschwingkreise auch **piezokeramische Schwinger** zu Filtern koppeln
- Durch die Koppelkondensatoren C6 bis C8, sie gehen an Masse, wird die obere Flanke des Filters steiler, als die untere
- Durch die höhere Güte gegenüber LC-Kreisen wird die Durchlassdämpfung geringer
- Die Filter benötigen einen niederohmigen beidseitigen Abschluss



# Mehrkreisige Filter

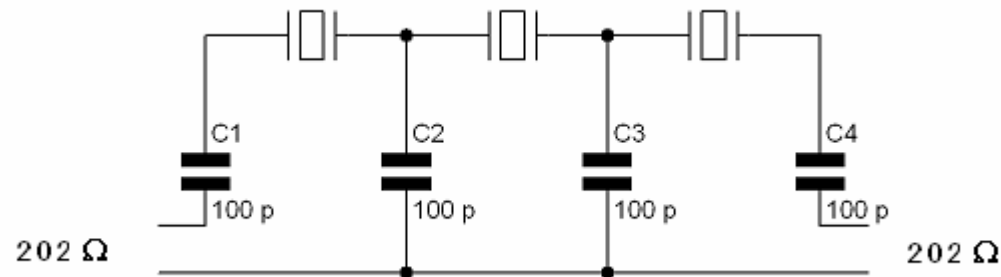
- Man kann anstelle der Serienschwingkreise auch **Quarzschwinger** zu Filtern koppeln (Quarz-Ladderfilter)
- Durch die Koppelkondensatoren C6 bis C8, sie gehen an Masse, wird die obere Flanke des Filters steiler, als die untere
- Durch die sehr hohe Güte lassen sich Filter mit geringen Bandbreiten bei geringen Durchlassverlusten realisieren
- Die Filter benötigen einen niederohmigen beidseitigen Abschluss



## Methode des Entwurfs – Schritt 1

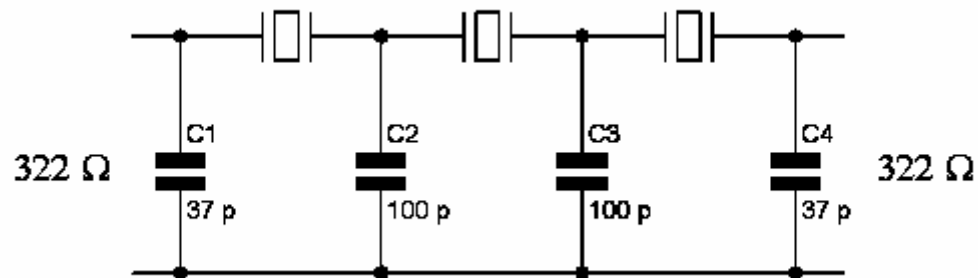
- Mir stehen 10,24 MHz Quarze zur Verfügung
- Mit drei Schwingquarze wir ein Probefilter aufgebaut
- C1 bis C4 haben die gleichen Werte
- Die Abschlusswiderstände errechnen sich mit:

$$R/\Omega = \frac{1300000}{2 \pi f/\text{MHz} * Ck/\text{pF}} = \frac{1300000}{6,28 * 10,24 * 100} = 202$$



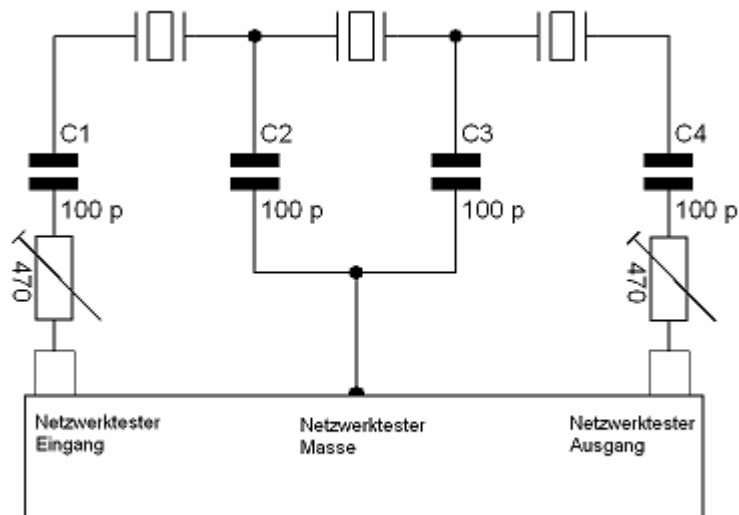
## Methode des Entwurfs – Schritt 2

- Wenn die Einspeisung verändert wird, so dass C1 und C4 gegen Masse gehen, muss eine Serien-Parallel-Umrechnung erfolgen.
- [www.wolfgang-wippermann.de /umre\\_cp.htm](http://www.wolfgang-wippermann.de/umre_cp.htm) anwählen
- Eingabe der Reihe nach von links „100“ „202“ „10.24“ (Punkt statt Komma!)
- Liefert  $C_p = 37.187 \text{ pF}$  (nimm  $39 \text{ pF}$  für C1 und C4),  $R_p = 321.589 \text{ }\Omega$  (nimm  $330 \text{ }\Omega$  für die Abschlüsse).



## Methode des Entwurfs – Schritt 3

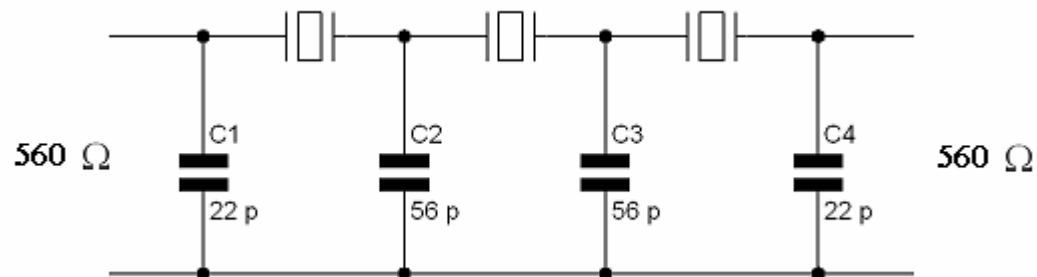
- Es muss jetzt die Bandbreite  $B$  bestimmt werden, wer einen Netzwerktester hat, nimmt diesen, es geht natürlich auch mit Messsender und Detektor
- Die Schaltung  $C1$  und  $C4$  ( $100 \text{ pF}$ ,  $202 \Omega$ ) in Serie zum Eingang bzw. Ausgang und die Schaltung mit  $C1$  und  $C4$  ( $39 \text{ pF}$ ,  $330 \Omega$ ) gegen Masse liefern identische  $B = 1,4 \text{ KHz}$ .
- Zur Filterkurve: ist das Dach wellig, sind die eingestellten Werte der Trimmer zu klein. Ist es rund, sind sie zu groß. Bei  $202 \Omega$  müsste sie „sehr gut aussehen“.





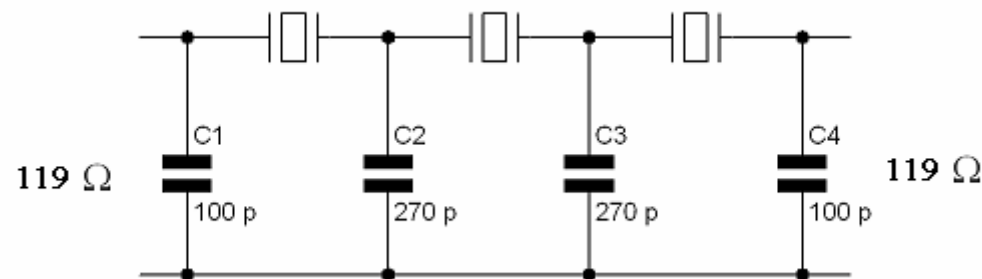
## Methode des Entwurfs – SSB-Filter 3Q

- Wird z.B. eine Bandbreite von 0,7 KHz gewünscht, so müssen die Werte der Kondensatoren verdoppelt und der Abschlusswiderstände halbiert werden
- Wird SSB-Bandbreite gewünscht, so werden die Kondensatorenwerte halbiert und die Abschlusswiderstände verdoppelt
- Mit  $C1$  bis  $C4 = 56$  pF werden  $B = 2,5$  KHz und die Abschlüsse  $360 \Omega$
- Nach Umrechnung ergeben sich die Werte  $C_p = 20.887$  (nimm  $22$  pF für  $C1$  und  $C4$ ) und  $R_p = 573.975$  (nimm  $560 \Omega$  für die Abschlüsse).



## Methode des Entwurfs – CW-Filter 3Q

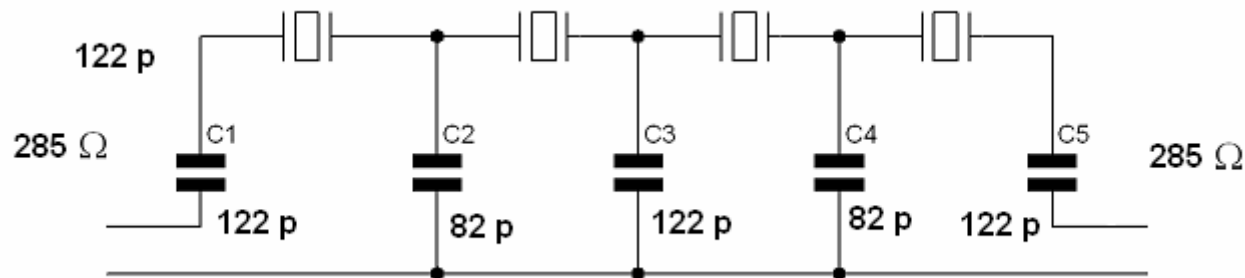
- Will man ein schmaleres Filter mit diesen Quarzen bauen, so müssen die Koppelkondensatoren C1 bis C4 vergrößert werden, z.B. um den Faktor 2,7. Dann wird das Filter eine Bandbreite von 500 Hz aufweisen. Gleichzeitig verkleinern sich die Abschlüsse um diesen Quotienten.
- C1 bis C4 = 270 pF und  $202 / 2,7 = 74,81 \Omega$
- Nach Umrechnung wird C1=C4 = 100 pF und die Abschlüsse 119  $\Omega$ .



## Methode des Entwurfs – Filter 4Q

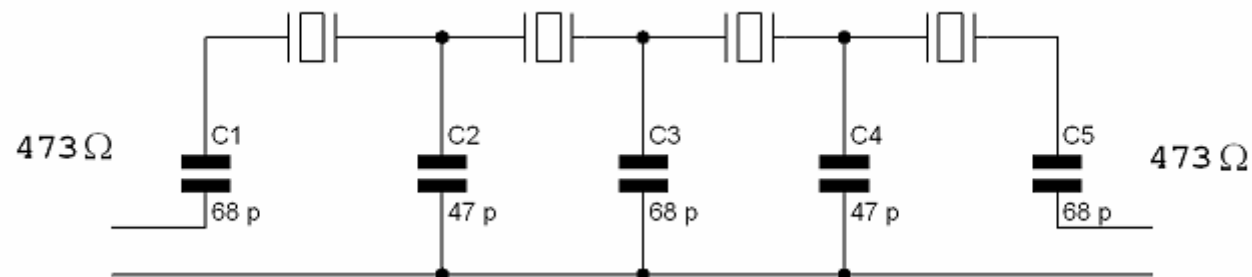
- Mit dem Einsatz eines vierten Quarzes ändert sich die Bandbreite B nur wenig (auch wieder 1,4 KHz), aber die Flankensteilheit nimmt zu
- Die Koppelkondensatoren C1 bis C5 sind nun nicht mehr gleich. Sie müssen in folgender Weise gewählt werden: das „mittlere Ck“ sei 100 pF. Dann wird C1= 122 pF, C2 = 82 pF, C3 = 122 pF, C4 = 82 pF, C5 = 122 pF
- Die Abschlüsse sind jetzt aber nach folgender Formel zu berechnen:

$$R/\Omega = \frac{1830000}{2 \pi f/\text{MHz} * Ck/\text{pF}} = \frac{1830000}{6,28 * 10,24 * 100} = 285 \Omega$$



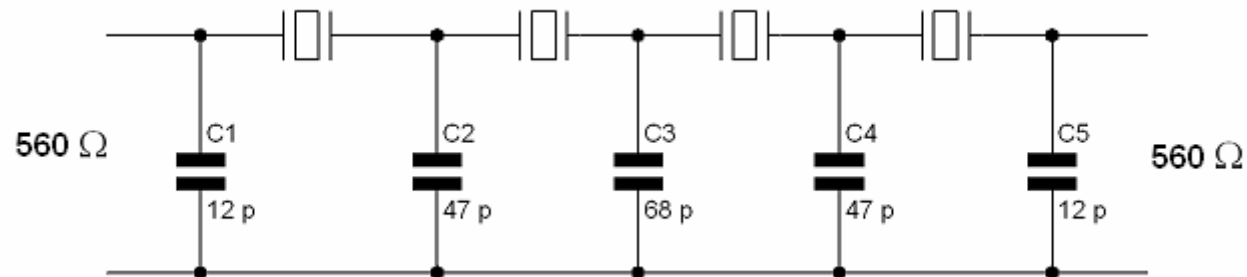
## Methode des Entwurfs – SSB-Filter 4Q

- 1,4 KHz ist ja nun noch nicht der gewünschte Wert, SSB-Bandbreite ergibt sich bei etwa Halbierung der C und Verdopplung der Abschlüsse
- Man wählt dann natürlich Normwerte, die Abweichungen zu den errechneten Werten soll aber nicht zu groß werden



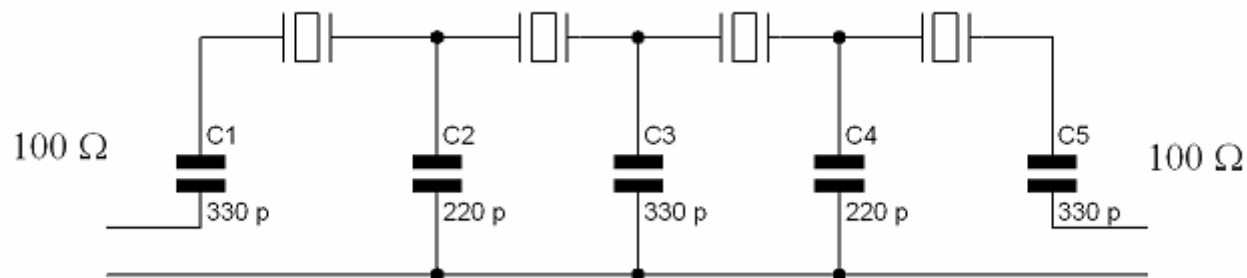
## Methode des Entwurfs – SSB-Filter 4Q

- Nun kann man wieder Umrechnen, Eingabe „68“ „473“ „10.24“
- Ausgabe  $C_p = 12.873$  (nimm 12 pF)  $R_p = 583.449$  (nimm 560  $\Omega$ )
- Nun sind wiederum die erforderlichen Abschlüsse hochohmiger geworden



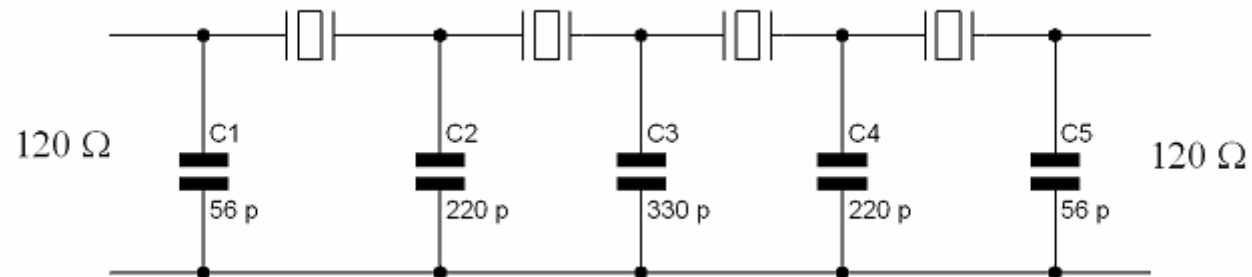
## Methode des Entwurfs – CW-Filter 4Q

- Wählt man  $C_k = 270 \text{ pF}$ , so ergeben sich vorteilhafte Werte für  $C_1$  bis  $C_5$ , denn sie kommen den Normwerten nahe.
- Die Bandbreite liegt bei 500 Hz
- Für die Abschlüsse ist der Wert  $285 \Omega / 2,7 = \text{rd. } 100 \Omega$



## Methode des Entwurfs – CW-Filter 4Q

- Nach Umrechnung kommt man auf folgende Werte:



# Schluss

- Es sollte ohne große Theorie aufgezeigt werden, wie ein Ladderfilter entworfen wird
- Ladderfilter mit mehr als 4 Quarze sollte man als Amateur nicht aufbauen
- Lieber zwei Ladderfilter mit 4 Quarzen und eine Trennstufe (rückwirkungsarm!) dazwischen, ist viel einfacher zu beherrschen
- Betrachte die Formeln für die Abschlüsse: Je höher die Frequenz der Quarze, um so niederohmiger die Werte der Abschlüsse. Andererseits verkleinerten wir die Werte der Abschlüsse, wenn die Bandbreite sinken soll. Schmale Filter bei hohen Frequenzen erfordern also sehr niedrige Abschlüsse.
- Breite Filter bei niedrigen Frequenzen sind eigentlich – trotz oft anders formulierter Aussagen – kein Problem in der Transistorwelt.
- Zu den Quarzen: gemessen  $R_s = 9,7 \Omega$ ,  $L_s = 20 \text{ mH}$ ,  $C_s = 12,09 \text{ fF}$
- $R_s$  ist ein Bösewicht und für die Durchlassdämpfung verantwortlich
- Die Abschlüsse sind äußerst wichtig für die Form der Durchlasskurve, aber auch für die Durchlassdämpfung (Anpassung!)
- Je schmaler ein Filter sein soll, um so höher die Anforderung an die Quarzgüte ( $L_s$  hoch,  $R_s$  niedrig)