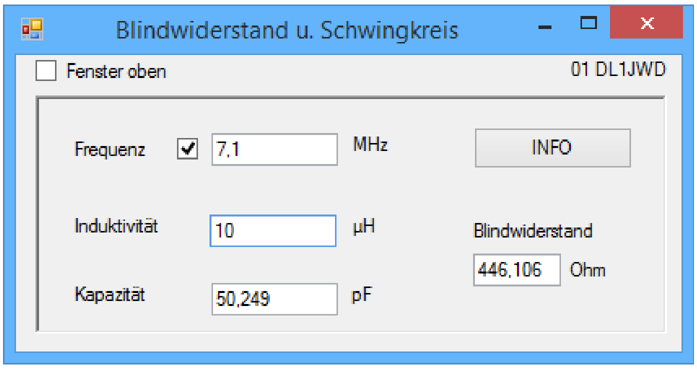
Dr.-Ing.habil. Walter Doberenz DL1JWD

Blindwiderstand und Schwingkreis

Die Bestimmung von kapazitiven oder induktiven Blindwiderständen sowie der Resonanzfrequenz von Schwingkreisen gehören zum Kleinen Einmaleins des experimentierfreudigen Funkamateurs. Das Tool verwendet dazu die gängigen Maßeinheiten MHz, µH und pF.
Nach Aufzoomen des Fensters lassen sich, nach Eintrag der Güte von Spule und Kondensator, auch noch Resonanzwiderstand, Betriebsgüte, 3dB-Bandbreite und Durchgangsdämpfung für verschiedene Konfigurationen von Serien- und Parallelschwingkreisen analysieren.

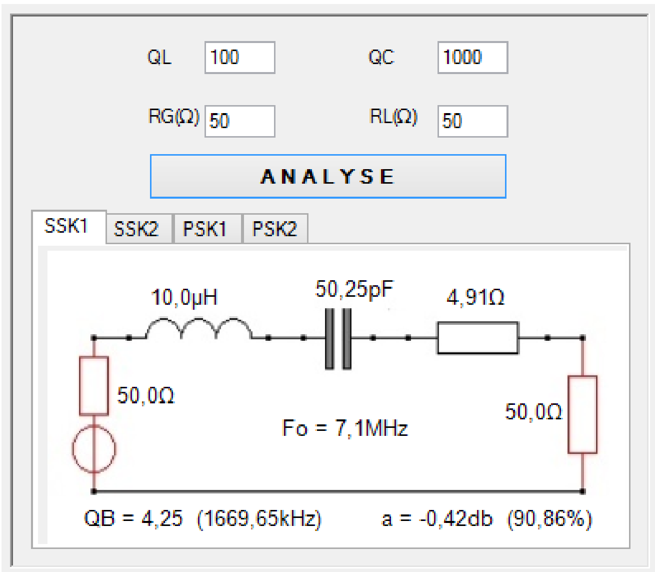
Beispiel 1:
Welchen Blindwiderstand hat eine Induktivität von 10µH bei 7,1MHz?
Wie groß muss die Kapazität sein um einen resonanten Schwingkreis zu bilden?



Mit dem Häkchen vor dem Eingabefeld für die Frequenz wird erreicht, dass nicht die Frequenz, sondern die Kapazität neu berechnet wird.
Der Blindwiderstand erscheint synchron zur Änderung von L oder C, ohne dass Sie dazu eine Ergebnistaste klicken müssten.

Sie können aber auch einen anderen Blindwiderstand eingeben, um den Schwingkreis hoch- oder niederohmiger zu machen und das dafür erforderliche LC-Pärchen berechnen lassen.

Beispiel 2:
Der Schwingkreis soll als Saugkreis zwischen einer Spannungsquelle mit 50Ω Innenwiderstand und einem gleichgroßen Lastwiderstand betrieben werden.
Wie groß sind Resonanzwiderstand, Bandbreite und Übertragungsdämpfung, wenn die Spulengüte den Wert 100 und die Güte der Kapazität den Wert 1000 hat?



Vergrößern Sie das Fenster, indem Sie es mit der Maus am unteren Fensterrand anfassen und aufzoomen. Geben Sie die Werte für die Güten und für die Abschlusswiderstände ein.

Klicken Sie auf "ANALYSE" und wählen Sie die Konfiguration "SSK1" (Serienschwingkreis) um die Ergebnisse im Schaltbild abzulesen.
In Klammern sind hinter der Betriebsgüte QB die 3dB-Bandbreite (kHz) und hinter der Durchgangsdämpfung a (dB) die Transmission (%) abgedruckt.
Ändern Sie den Blindwiderstand (bzw. das L/C-Verhältnis), und beobachten Sie die Auswirkungen auf 3dB-Bandbreite und Durchgangsdämpfung!

Theorie

Grundlage des Tools ist die bekannte "Thomson'sche Schwingungsgleichung", wie sie 1853 erstmals vom britischen Physiker William Thomson formuliert wurde.
Auch die Maßeinheit der absoluten Temperatur (Grad Kelvin) geht auf Thomson zurück, denn als Professor für theoretische Physik in Glasgow wurde er für seine überragenden Verdienste auf den Gebieten der Elektrizitätslehre und Thermodynamik zum Ritter geschlagen und als **Baron Kelvin** in den erblichen Adelsstand erhoben.

Ausgangspunkt von Thomson's Entdeckung war die Erkenntnis, dass auch Induktivitäten und Kapazitäten dem elektrischen Strom einen Widerstand entgegensetzen, der allerdings – im Unterschied zum ohm'schen Widerstand – frequenzabhängig ist und keinerlei elektrische Energie in Wärme umsetzt (deshalb Blindwiderstand).

Der **Blindwiderstand einer Induktivität** L bei der Frequenz f berechnet sich zu:

$$X_L = \omega_0 L \quad \text{mit} \quad \omega_0 = 2\pi f_0$$

oder in den gängigen Maßeinheiten:

$$X_L[\Omega] = 6{,}28 f_0[MHz]\, L[\mu H]$$

Für den **Blindwiderstand einer Kapazität** C gilt:

$$X_C = \frac{-1}{\omega_0 C}$$

$$\text{oder} \quad X_C[\Omega] = \frac{-159236}{f_0[MHz]\, C[pF]}$$

Im **Resonanzfall** kompensieren sich beide Blindwiderstände:

$$X_L + X_C = 0 \quad \text{bzw.} \quad \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

Obige Gl. nach ω_o aufgelöst ergibt $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ oder mit $\omega_0 = 2\pi f_0$ die bekannteste Form der **Thomson'sche**n **Schwingungsgleichung**:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

oder

$$f_0[MHz] = \frac{10^3}{2\pi\sqrt{L[\mu H]\, C[pF]}} = \frac{159{,}236}{\sqrt{L[\mu H]\, C[pF]}}$$

In der Praxis haben Induktivitäten und Kapazitäten auch noch ohm'sche Verlustwiderstände r_L bzw. r_C, deren Verhältnis zu den Blindwiderständen X_L bzw. X_C durch die Gütefaktoren Q_L und Q_C ausgedrückt wird.

Für eine Induktivität mit dem Reihenverlustwiderstand r_L ist die **Spulengüte**:

$$Q_L = \frac{\omega_0 L}{r_L}$$

Analog gilt für die **Güte einer Kapazität** mit dem Reihenverlustwiderstand r_C:

$$Q_C = \frac{1}{\omega_0 C r_C}$$

Die **Betriebsgüte Q_B** eines Schwingkreises hängt vom Blindwiderstand (L/C-Verhältnis) und von r_L und r_C ab, aber auch vom bedämpfenden Einfluss des Generatorwiderstands R_G und des Lastwiderstands R_L.

Mit

$$X_L = X_C = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

gilt für den resonanten Serienschwingkreis:

$$Q_B = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{r_L + r_C + R_G + R_L}$$

Für den Parallelschwingkreis ließe sich eine ähnliche Formel angeben, wobei allerdings zuvor die seriellen Verlustwiderstände in ihre parallelen Äqivalente zu transformieren sind.

Die Betriebsgüte Q_B erlaubt unmittelbare Rückschlüsse auf die Selektionseigenschaften eines Schwingkreises, so gilt für dessen **3dB-Bandbreite**:

$$B_{3dB} = \frac{f_0}{Q_B}$$

Mit steigender Betriebsgüte sinkt die Bandbreite, d.h., der Schwingkreis wird schmalbandiger. Gleichzeitig erhöhen sich aber die Verluste, da sich auch die **Transmission** (Leistungsübertragung) verringert.

Die Transmission eines zwischen Generatorwiderstand R_G und Lastwiderstand R_L geschalteten Zweipols (z.B. Schwingkreis) berechnet sich aus dem Verhältnis der an R_L umgesetzten Leistung zur maximal verfügbaren Generatorleistung:

$$vp = 4 |v_U|^2 \frac{R_G}{R_L}$$

Hierbei ist $|v_U|$ die Spannungsverstärkung, d.h. der Betrag des Verhältnisses zwischen der Spannung am Lastwiderstand R_L und der Generatorspannung U_0:

$$v_U = \frac{U_{R_L}}{U_0}$$

Die **Durchgangsdämpfung** ergibt sich aus dem dekadischen Logarithmus der Transmission:

$$a[dB] = 10 \log(v_p)$$