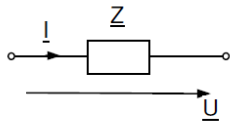
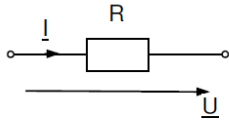


Ein Zweipol bzw. Eintor ist ein elektrisches Bauteil oder eine elektrische Schaltung mit zwei Anschlüssen.



$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = Z e^{j\varphi_Z} = Z(\cos \varphi_Z + j \sin \varphi_Z) = Z / \varphi_Z$$

Wirkwiderstand



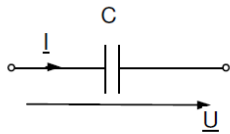
$$u = Ri$$

$$\underline{Z} = R$$

$$Z = R$$

$$\varphi = 0^\circ$$

Kapazitiver Widerstand



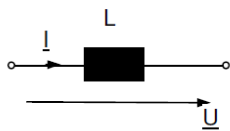
$$i = C \frac{du}{dt}$$

$$\underline{Z} = \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z = \frac{1}{\omega C}$$

$$\varphi = -90^\circ$$

Induktiver Widerstand



$$u = L \frac{di}{dt}$$

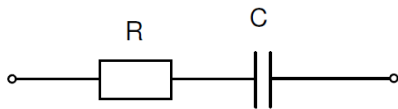
$$\underline{Z} = j\omega L$$

$$Z = \omega L$$

$$\varphi = +90^\circ$$

Mischformen (RL, RC)

Beispiel: RC in Serie



$$\underline{Z} = R + \frac{1}{j\omega C}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = R \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}$$

$$\tau = RC = \frac{1}{\omega_g}$$

$$Z = R \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_g}{\omega}\right)^2}$$

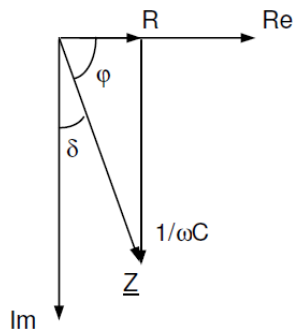
τ ... Zeitkonstante

ω_g ... Grenzkreisfrequenz

$$\varphi = \arctan -\frac{1}{\omega RC} = -\arctan \frac{\omega_g}{\omega}$$

Verlustwinkel δ :

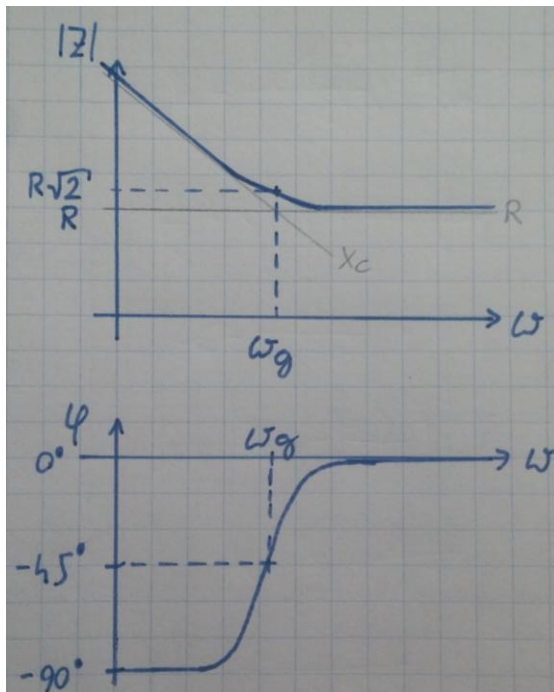
Unter dem Verlustwinkel δ versteht man den vom Zeiger des komplexen Widerstandes $\underline{Z}$ und der Achse der imaginären Zahlen eingeschlossenen Winkel.

**Verlustfaktor:**

$$\tan \delta = \frac{R}{X} = R\omega C$$

Güte:

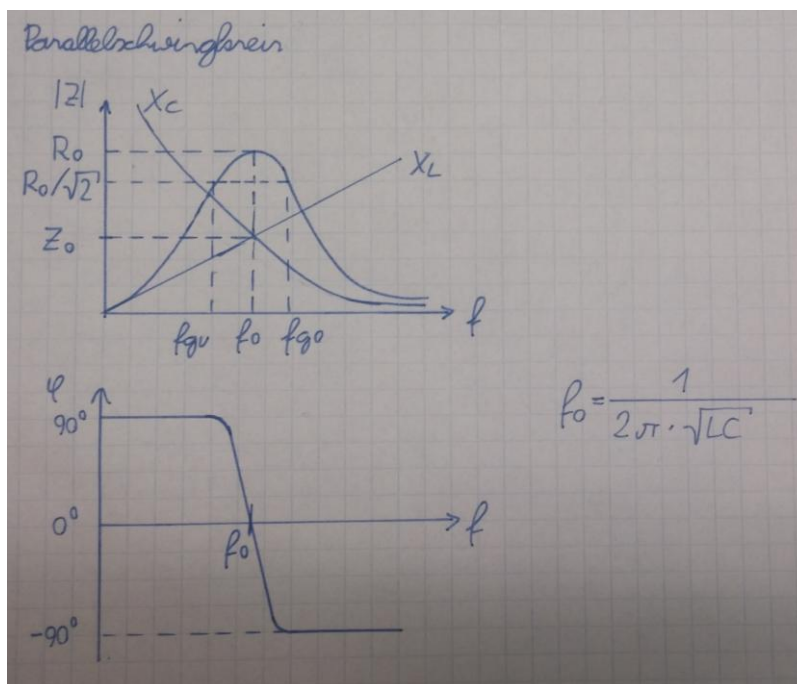
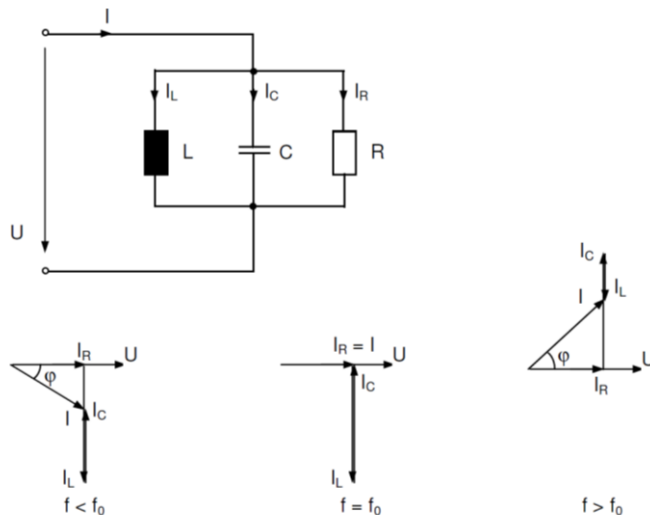
$$Q = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{X}{R} = \frac{1}{R\omega C}$$

Frequenzverhalten:

Schwingkreise

Schwingkreise sind Schaltungen mit Induktivitäten und Kapazitäten. Ihr besonderes Verhalten rührt daher, dass sie zwei Energiespeicher enthalten, die die in ihnen gespeicherte Energie periodisch austauschen können. Wegen der dabei auftretenden Verluste ist dieser Vorgang zeitlich begrenzt. Je nachdem, wie Induktivität und Kapazität zusammengeschaltet sind, unterscheidet man Parallel- und Serienschwingkreise.

RLC Parallelschwingkreis



Kennwerte:

Absolute Bandbreite: $b = f_{go} - f_{gu}$

Relative Bandbreite: $d = b/f_0$

Kennwiderstand: $Z_0 = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} = \omega_0 \cdot L = \sqrt{\left(\frac{L}{C}\right)}$

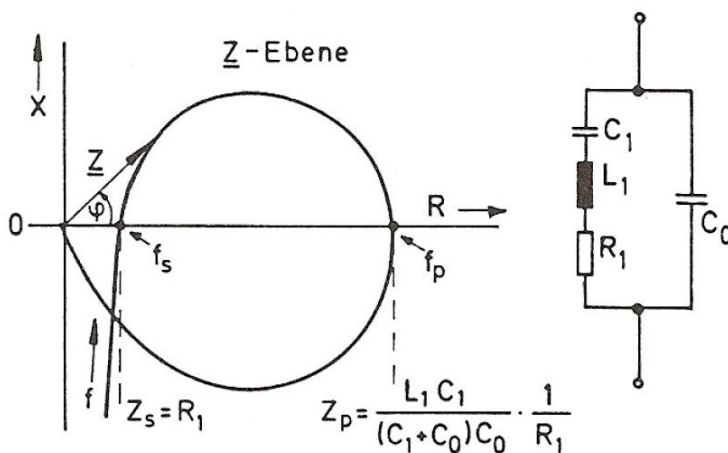
Güte: $Q = R/Z_0$ bei parallel $Q = Z_0/R$ bei serie $Q = 1/d$

Schwingquarz

= eine Scheibe aus einem Quarzkristall. Er arbeitet nach dem piezoelektrischen Effekt

→ Spannung anlegen → schwingt mit Eigenfrequenz → erzeugt Spannung an den Anschlüssen

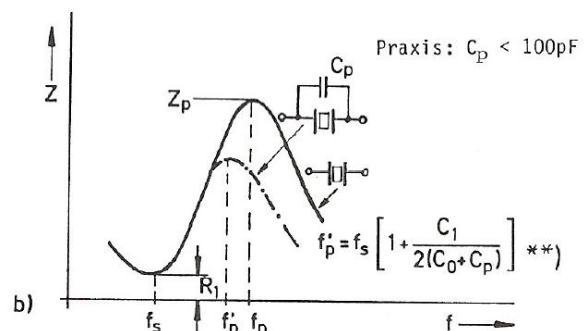
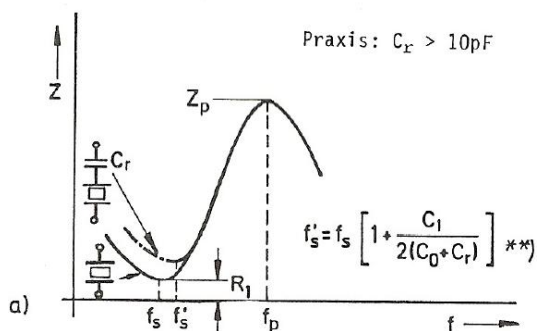
Es gibt verschiedene Schnitte, die bestimmen, wie der Quarz schwingt z.B. AT-Schnitt (Dickenscherschwingung), CT-Schnitt (Flächenscherschwinung)



Beispiel 3 MHz-Quarz:

$$f_s = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_1 C_1}} = 2,999 \text{ MHz}, \quad f_p = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_1 C_1 \cdot \frac{C_0}{C_1 + C_0}}} \approx f_s \cdot \left(1 + \frac{C_1}{2C_0}\right) = 3,002 \text{ MHz},$$

$$Q = \sqrt{\frac{L_1}{C_1} \cdot \frac{1}{R_1}} = 60300$$

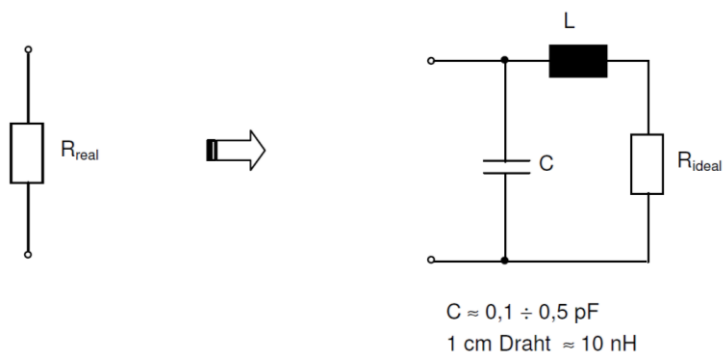


Kennwerte des Quarzes:

- Nennfrequenz (z.B. $f = 1 \text{ MHz}$)
- Abgleichtoleranz (z.B. $Df/f = \pm 20 \cdot 10^{-6}$ bei 25°C)
- Toleranz im Temperaturbereich (z.B. $Df/f = \pm 1 \cdot 10^{-4}$ bei $-20 \dots +60^\circ\text{C}$)
- Temperaturkoeffizient der Frequenz (z.B. $TKf = 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)
- Umkehrpunkt (Temperatur, bei der $TKf = 0$ ist, z.B. $+25^\circ\text{C}$). Bei Thermostatierung ist diese Temperatur konstant zu halten.
- maximale Lastkapazität (z.B. 20 pF)
- maximale Quarzbelastung (z.B. 10 mW)

R,L,C bei Hochfrequenz

Realer Widerstand:

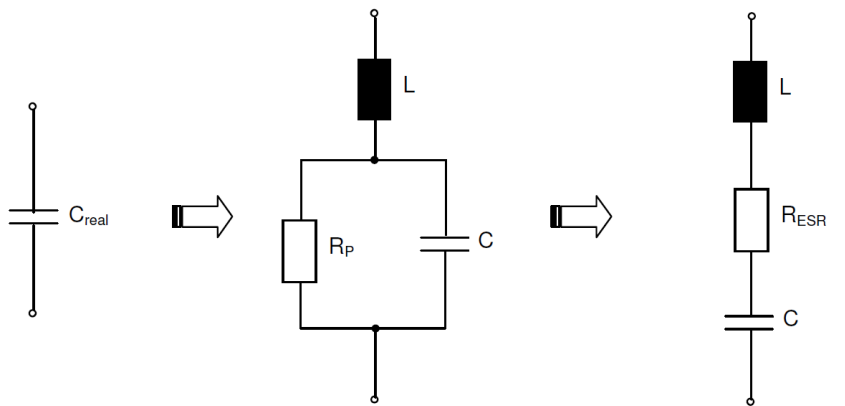


C durch Anschlüsse, L durch Draht

Parallelkapazität bei hohen Widerstandswerten bei hoher Frequenz gefährlich

Bei hohen Frequenzen → Chipwiderstände verwenden

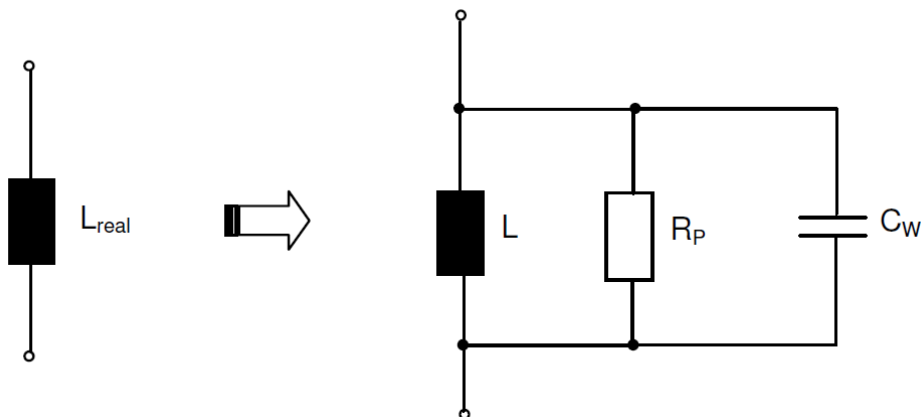
Realer Kondensator:



3 typische Anwendungsfälle für Kondensatoren im HF-Bereich:

1. Trennung von Wechsel- und Gleichanteilen (Kopplung von Schaltungsteilen)
2. Kurzschluss von Wechselgrößen nach Masse (Entkopplung von Schaltungsteilen, die an einer gemeinsamen Versorgungsspannung liegen)
3. Kapazitives Schalt- oder Abstimmelement bei Filterschaltungen und Resonanzkreisen

Reale Spule:



Jede Spule erzeugt neben dem Magnetfeld auch infolge der auftretenden Spannungen elektrische Felder, die kapazitive Wirkungen zeigen. Bei einer idealen Spule sollte der Blindwiderstand proportional zur Frequenz zunehmen. Infolge der Eigenkapazität, die parallel zu den Spulenenden wirkt, ergibt sich eine Parallelresonanzfrequenz. Oberhalb dieser Frequenz wirkt die Spule wie ein Kondensator. Je mehr Windungen oder Wicklungslagen eine Spule hat, desto größer ist die resultierende Gesamtkapazität.