Aus: Der praktische Funkamateur Band 21 (1961), eingescannt und bearbeitet (07/2015) für www.radiomuseum.org

5. Schwingungskreise

5.1 Der Reihenschwingungskreis

In der Hochfrequenztechnik wird in vielen Fällen der Resonanzeffekt ausgenutzt. Man legt an ein schwingungsfähiges System (Resonanzkreis) eine Wechselspannung bestimmter Frequenz und erhält z. B. bei einem Reihenschwingkreis (Bild 54) an einem Blindwiderstand eine um den Gütefaktor höhere Spannung

$$U_C = U_L = Q \cdot U_{ges}.$$

Im Widerstand R_S sind alle Verluste des Schwingkreises enthalten. Daher ist ein Reihenschwingkreis um so verlustärmer, je kleiner R_S ist. Der bei Resonanz durch den Schwingkreis fließende Strom ist dann entsprechend hoch. Der Wechselstrom-widerstand des Reihenschwingkreises ist

$$R_{sch} = \sqrt{R_S^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}\ [\Omega]$$

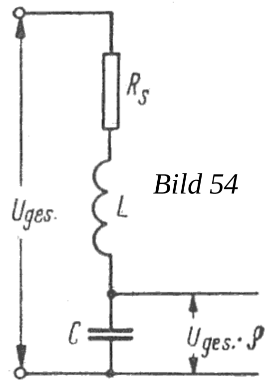

Bild 54

Der Phasenwinkel ist

$$\tan\varphi = \frac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R_S}$$

Bei Resonanz (ω_0) sind beide Blindwiderstände gleichgroß und heben sich auf, so daß der Kreiswiderstand gleich dem Verlustwiderstand (Wirkwiderstand!) ist.

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0, \qquad \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}, \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}\left[1/s\right]$$

Die Resonanzfrequenz f_0 erhält man zu

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}[Hz];$$

L = Induktivität in H, C = Kapazität in F,

$$f_0 = \frac{5030}{\sqrt{L \cdot C}}[kHz];$$

(L in mH, C in pF),

$$f_0 = \frac{159,2}{\sqrt{L \cdot C}}[MHz];$$

(L in µH, C in pF).

Für den Strom durch den Resonanzkreis gilt

$$I = \frac{U}{\sqrt{R_S^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Unter den vielen Anwendungsmöglichkeiten des Reihenschwingkreises sei seine Anwendung als Saugkreis im Antenneneingang eines Überlagerungsempfängers erwähnt, wobei die Resonanzfrequenz der Zwischenfrequenz entspricht. Sehr verbreitet ist auch die Gütemessung von Spulen in Verbindung mit einem Reihenschwingkreis (siehe Bild 47). Hier wird bei konstanter Eingangsspannung die Resonanzspannung über dem verlustfreien Drehkondensator gemessen. Für die Güte der Spule gilt dann

$$Q = U_C / U_{ges}.$$

Durch die schon erwähnte Bandbreitenmessung sind die Gesamtverluste des Schwingkreises gut erfaßbar. Es ist (Bild 55)

$B = 2\,\Delta f, \qquad Q = f_0 / b, \qquad$ bzw. $d = b / f_0$

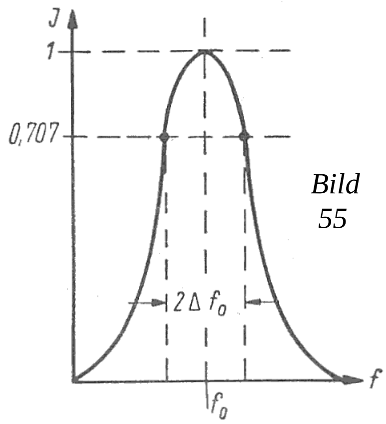

Bild 55

Mit b wird die absolute Bandbreite bezeichnet, die man zwischen den beiden Punkten der Resonanzkurve erhält, wo die maximale Amplitude um den 0,707fachen Wert gesunken ist.
Ebenso wie die Resonanzformeln gelten auch die Bandbreiteformeln in gleicher Weise für den Parallelschwingkreis.
Im Bereich der Resonanzfrequenz f_0 ist

$$R_S = d * \omega_0 * L = d / \omega_0 * C \quad [\Omega]$$

wobei $d = d_L + d_C$ ist.
Außerhalb der Resonanzfrequenz gilt

$$R_S = r_L + r_C = (d_L + d_C)\sqrt{\frac{L}{C}} \quad [\Omega]$$

$$r_L = d_L\sqrt{\frac{L}{C}} \qquad r_C = d_C\sqrt{\frac{L}{C}}$$

L = Induktivität in H, C = Kapazität in F.

5.2 Der Parallelschwingkreis

Beim Parallelschwingkreis sind Induktivität L, Kapazität C und Verlustwiderstand R_p parallelgeschaltet (Bild 56). Der Parallelschwingkreis wird in der HF-Technik sehr viel angewendet.

Bei Parallelschaltungen sollte man vorwiegend mit Leitwerten rechnen, da in diesem Fall die Leitwerte nur addiert werden. Für den Betrag des Scheinleitwertes des Parallelschwingkreises gilt

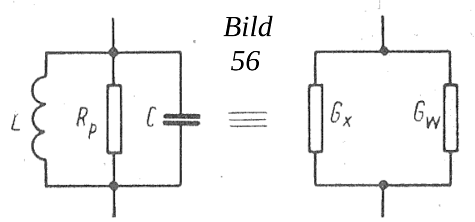

Bild 56

$$G_{sch} = \sqrt{\frac{1}{R_p^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2} \quad [S].$$

Da $R = {}^1/_G$ ist, erhält man
$$R_{sch} = \frac{R_p}{\sqrt{1 + R_p^2\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2}} \quad [\Omega].$$

Der Phasenwinkel ist

$$\tan\varphi = -R_p\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right).$$

Bei Resonanz (ω_0) sind beide Blindwiderstände gleichgroß.

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}\ , \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \bullet C}} \quad \left[{}^1/_s\right]$$

Damit gelten für den Parallelschwingkreis die gleichen Resonanzformeln wie für den Reihenschwingkreis. Beim Parallelschwingkreis erhält man für die Ströme durch die Blindwiderstände um den Gütefaktor höhere Werte wie durch den Verlustwiderstand.

$$I_C = I_L = Q * I$$

Stimmt man einen Parallelschwingkreis auf Resonanz ab, so heben sich die Blindwiderstände auf, und am Wirkwiderstand R_p fällt die Resonanzspannung ab. Dieser Vorgang wird in der Empfänger- und Sendertechnik ausgenutzt. Der Resonanzwiderstand eines Parallelschwingkreises ist

$$R_{res} = \frac{L}{C \bullet R_S} \; [\Omega]$$

wobei der Widerstand R_S den Reihenverlustwiderstand der Induktivität L darstellt (R_S in Ω, L in H, C in F). Da die Größe des Resonanzwiderstandes von der Kreisgüte abhängt, kann man auch schreiben

$$R_{res} = \frac{\omega_0 L}{d} = Q \bullet \omega_0 \bullet L = Q\sqrt{\frac{L}{C}} \; [\Omega]$$

(d = Verlustfaktor des gesamten Kreises)

Ändert man an Stelle der Frequenz die Kapazität C in der Nähe der Resonanzfrequenz bis auf den 0,707fachen Wert der Maximalspannung, so erhält man für den Resonanzwiderstand

$$R_{res} = \frac{1}{\Delta C \bullet \omega_0} \; [\Omega]$$

Für die Bandbreite des Parallelschwingkreises gilt $b = f_0 * d = f_0 / Q$

Wird von einem Parallelschwingkreis eine größere Bandbreite verlangt als sie der Verlustwiderstand des Kreises zuläßt, so kann z. B. der Schwingkreis durch einen parallelgeschalteten Ohmschen Widerstand bedämpft werden. Die Größe des erforderlichen Parallelwiderstandes erhält man zu

$$R'_p = \frac{L}{C(R_t - R_s)} \; [\Omega]$$

(L in H, C in F, R_t und R_s in Ω)
R_t ist der für die größere Bandbreite erforderliche Reihenverlustwiderstand der Spule.
Bei der Anwendung mehrerer Schwingkreise gleicher Resonanzfrequenz, z. B. mehrkreisiger Geradeausempfänger, verringert sich die Bandbreite gegenüber dem Einzelkreis. So z. B. bei einem Zweikreiser auf den Wert 0,642 b und bei einem Dreikreiser auf den Wert 0,51 b.
Will man einen Schwingkreis über einen bestimmten Frequenzbereich variabel gestalten (z. B. Empfänger- oder Senderabstimmung), so wird man meist den Kondensator veränderlich machen (Drehkondensator).
Variationsbereich des Drehkondensators:

$$C = C_{max} - C_{min}$$

C_{max} = Endkapazität des Drehkondensators in pF,
C_{min} = Anfangskapazität des Drehkondensators in pF.
Es muß dabei beachtet werden, daß die dem Drehkondensator parallelliegenden Kapazitäten wie Abgleichtrimmer, Schaltkapazität und Spulenkapazität bei der Berechnung zu berücksichtigen sind.

$$C_p = C_T + C_{Sch} + C_{Sp} \; [pF].$$

Für die Berechnung des Schwingkreises gilt also

$$C = (C_{max} + C_p) — (C_{min} + C_p) = C_e — C_a \; [pF],$$

$$C_e = C_{max} + C_p, \qquad C_a = C_{min} + C_p \; ;$$

C_a = Anfangskapazität des Schwingkreises in pF, C_e = Endkapazität des Schwingkreises in pF.
Für das Verhältnis von unterer und oberer Frequenz gilt

$$\frac{C_e}{C_a} = \left(\frac{f_o}{f_u}\right)^2$$

Soll ein Frequenzverhältnis von 1 : 3 abgestimmt werden, so muß ein Kapazitätsverhältnis von 1 : 9 vorhanden sein. Die notwendige Parallelinduktivität erhält man zu

$$L = \frac{2{,}53 \bullet 10^{10}}{f_0^{\,2} \bullet C_a}$$

f_0 = obere Frequenz in kHz, C_a = Anfangskapazität in pF.
Eine Trimmerkapazität ist für den Abgleich immer notwendig, denn bei herausgedrehtem Drehkondensator wird mit diesem abgeglichen.

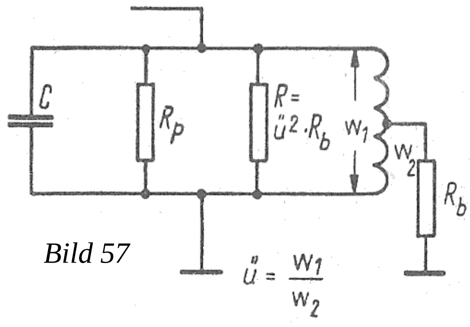

Bild 57

Der Resonanzwiderstand eines Parallelschwingkreises ist allgemein hochohmig. Soll ein Widerstand, der gegen den Resonanzwiderstand des Kreises niederohmig ist, an den Kreis angekoppelt werden, so ist eine entsprechende Ankopplung zu wählen, sonst wird der Kreis unzulässig bedämpft. Hier hilft neben der niederohmigen induktiven Ankopplung auch die niederohmige Anzapfung des Schwingkreises, die meist an der Schwingkreisspule erfolgt, aber auch durch eine entsprechende Aufteilung der Kapazitäten erfolgen kann. Als Beispiele mögen gelten die induktive Antennenkopplung und die Ankopplung der Signaldiode beim Superhet an eine Anzapfung des ZF-Kreises. Bild 57 zeigt eine solche niederohmige Ankopplung des Widerstandes R_b mittels einer Anzapfung. Eine Widerstandstransformation findet entsprechend dem Übersetzungsverhältnis statt.

$$ü = w_1/w_2, \qquad R = ü^2 \cdot R_b.$$

Ist R_b ein Ohmscher Widerstand, so erhält man für den resultierenden Kreiswiderstand

$$R_p = \frac{ü^2 \bullet R_b \bullet R_{res}}{ü^2 R_b + R_{res}}$$

Wie schon bei den Gleichstromkreisen erklärt wurde, gibt ein Generator mit dem Innenwiderstand R_i an einen Verbraucherwiderstand R_b eine maximale Leistung ab, wenn $R_i = R_b$ ist. Das trifft z. B. für Tankkreise von Senderendstufen zu, da eine Fehlanpassung zur Überlastung der Endröhre führen kann. Genauso muß man ein Kabel mit seinem Wellenwiderstand abschließen, um Reflexionen zu vermeiden. Eine brauchbare Anpassungsschaltung neben dem bekannten Pi-Filter zeigen Bild 58 und Bild 59.

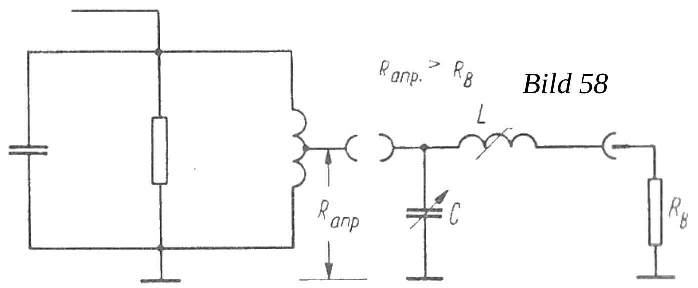

Bild 58

Ist $R_{anp} > R_B$, gilt nach Bild 58

$$C = \frac{1}{\omega \bullet R_{anp}}\sqrt{\frac{R_{anp} - R_B}{R_B}} \quad [F],$$

$$L = \frac{R_{anp} - R_B}{\omega}\sqrt{\frac{R_B}{R_{anp} - R_B}}\,[H].$$

Ist $R_{anp} < R_B$, gilt nach Bild 59

$$C = \frac{1}{\omega \bullet R_{anp}}\sqrt{\frac{R_B - R_{anp}}{R_{anp}}} \quad [F],$$

$$L = \frac{1}{\omega}\sqrt{R_{anp}\left(R_B - R_{anp}\right)} \quad [H].$$

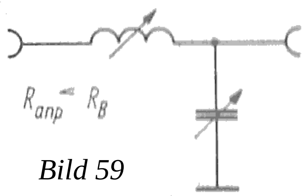

Bild 59

R in Ohm, ω in $^1/_s$ bzw. f in Hz.

Anmerkung: In manchen einfachen mathematischen Ausdrücken wurde der Bruchstrich durch einen Schrägstrich ersetzt, z.B. $Q = U_C$ / Uges