

第十一章 电路的频率响应

一、填空题（建议较易填空每空 0.5 分，较难填空每空 1 分）

- 1、在含有 L 、 C 的电路中，出现总电压、电流同相位，这种现象称为谐振。这种现象若发生在串联电路中，则电路中阻抗最小，电压一定时电流最大，且在电感和电容两端将出现过电压；该现象若发生在并联电路中，电路阻抗将最大，电压一定时电流则最小，但在电感和电容支路中将出现过电流现象。
- 2、谐振发生时，电路中的角频率 $\omega_0 = \underline{1/\sqrt{LC}}$ ， $f_0 = \underline{1/2\pi\sqrt{LC}}$ 。
- 3、串联谐振电路的特性阻抗 $\rho = \underline{\sqrt{L/C}}$ ，品质因数 $Q = \underline{\omega_0 L/R}$ 。
- 4、理想并联谐振电路谐振时的阻抗 $Z = \underline{\infty}$ ，总电流等于 0。
- 5、实际应用中，并联谐振电路在未接信号源时，电路的谐振阻抗为电阻 R ，接入信号源后，电路谐振时的阻抗变为 $R//R_s$ ，电路的品质因数也由 $Q_0 = R/\omega_0 L$ 而变为 $Q = R//R_s/\omega_0 L$ ，从而使并联谐振电路的选择性变差，通频带变宽。
- 7、品质因数越大，电路的选择性越好，但不能无限制地加大品质因数，否则将造成通频带变窄，致使接收信号产生失真。

二、判断下列说法的正确与错误（建议每小题 1 分）

- 1、串联谐振电路不仅广泛应用于电子技术中，也广泛应用于电力系统中。（☒ \times ）
- 2、谐振电路的品质因数越高，电路选择性越好，因此实用中 Q 值越大越好。（☒ \times ）
- 3、串联谐振在 L 和 C 两端将出现过电压现象，因此也把串谐称为电压谐振。（☒ \checkmark ）
- 4、并联谐振在 L 和 C 支路上出现过流现象，因此常把并谐称为电流谐振。（☒ \checkmark ）
- 5、串谐电路的特性阻抗 ρ 在数值上等于谐振时的感抗与线圈铜耗电阻的比值。（☒ \times ）
- 6、理想并联谐振电路对总电流产生的阻碍作用无穷大，因此总电流为零。（☒ \checkmark ）
- 7、无论是直流还是交流电路，负载上获得最大功率的条件都是 $R_L = R_0$ 。（☒ \times ）
- 8、 RLC 多参数串联电路由感性变为容性的过程中，必然经过谐振点。（☒ \checkmark ）
- 9、品质因数高的电路对非谐振频率电流具有较强的抵制能力。（☒ \checkmark ）
- 10、谐振状态下电源供给电路的功率全部消耗在电阻上。（☒ \checkmark ）

三、单项选择题（建议每小题 2 分）

- 1、处于谐振状态的 RLC 串联电路，当电源频率升高时，电路将呈现出（☒ B ）
A、电阻性 B、电感性 C、电容性
- 2、下列说法中，（☒ A ）是正确的。
A、串谐时阻抗最小 B、并谐时阻抗最小 C、电路谐振时阻抗最小
- 3、下列说法中，（☒ B ）是不正确的。
A、并谐时电流最大 B、并谐时电流最小 C、理想并谐时总电流为零
- 4、发生串联谐振的电路条件是（☒ C ）
A、 $\frac{\omega_0 L}{R}$ B、 $f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ C、 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- 5、正弦交流电路中，负载上获得最大功率的条件是（☒ C ）

$$A、R_L = R_0$$

$$B、Z_L = Z_S$$

$$C、Z_L = Z_S^*$$

五、计算分析题（根据实际难度定分，建议每题在 6~12 分范围）

1、已知一串联谐振电路的参数 $R = 10\Omega$ ， $L = 0.13\text{mH}$ ， $C = 558\text{pF}$ ，外加电压 $U = 5\text{mV}$ 。试求电路在谐振时的电流、品质因数及电感和电容上的电压。

$$\text{解： } I = U/R = 0.005/10 = 0.5\text{ mA} \quad Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{\sqrt{0.00013/558 \times 10^{-12}}}{10} = 48.3$$

$$U_L = U_C = QU = 48.3 \times 5 \approx 241.5\text{ V}$$

2、已知串联谐振电路的谐振频率 $f_0 = 700\text{KHz}$ ，电容 $C = 2000\text{pF}$ ，通频带宽度 $B = 10\text{KHz}$ ，试求电路电阻及品质因数。

$$\text{解： } Q = \frac{f_0}{B} = \frac{700}{10} = 70 \quad R = \frac{1}{\omega_0 C Q} = \frac{1}{6.28 \times 700 \times 10^{-6} \times 2 \times 70} \approx 1.62\Omega$$

3、已知串谐电路的线圈参数为“ $R = 1\Omega$ ， $L = 2\text{mH}$ ”，接在角频率 $\omega = 2500\text{rad/s}$ 的 10V 电压源上，求电容 C 为何值时电路发生谐振？求谐振电流 I_0 、电容两端电压 U_C 、线圈两端电压 U_{RL} 及品质因数 Q 。

解：串联谐振在感抗等于容抗之处发生，据题中数据可得：

$$C = 1/\omega_0^2 L = 1/2500^2 \times 0.002 = 80\mu\text{F}$$

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{\sqrt{0.002/80 \times 10^{-6}}}{1} = 5 \quad I_0 = \frac{U}{R} = \frac{10}{1} = 10\text{A}$$

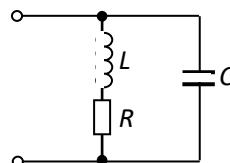
$$U_C = QU = 5 \times 10 = 50\text{V} \quad U_{RL} = \sqrt{10^2 + 50^2} \approx 51\text{V}$$

4、已知题右图所示并联谐振电路的谐振角频率中 $\omega = 5 \times 10^6\text{rad/s}$ ， $Q = 100$ ，谐振时电路阻抗等于 $2\text{k}\Omega$ ，试求电路参数 R 、 L 和 C 。

$$\text{解： } L/R = Q/\omega_0 = 100/5 \times 10^6 = 2 \times 10^{-5}$$

$$\text{谐振阻抗： } r = L/(R \cdot C) \quad \text{所以： } C = L/R/r = 2 \times 10^{-5}/2000 = 0.01\mu\text{F}$$

$$L = 1/\omega_0^2 C = 1/(5 \times 10^6)^2 \times 0.01 \times 10^{-6} = 4\mu\text{H} \quad R = L/Cr = 0.2\Omega$$

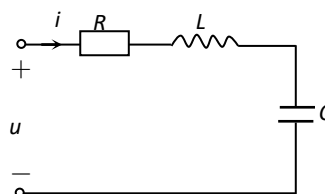


5、已知谐振电路如上图所示。已知电路发生谐振时 RL 支路电流等于 15A ，电路总电流为 9A ，试用相量法求出电容支路电流 I_C 。

$$\text{解： } I_C = \sqrt{15^2 - 9^2} = 12\text{A}$$

6、如右图所示电路，其中 $u = 100\sqrt{2} \cos 314t\text{ V}$ ，调节电容 C 使电流 i 与电压 u 同相，此时测得电感两端电压为 200V ，电流 $I = 2\text{A}$ 。求电路中参数 R 、 L 、 C ，当频率下调为 $f_0/2$ 时，电路呈何种性质？

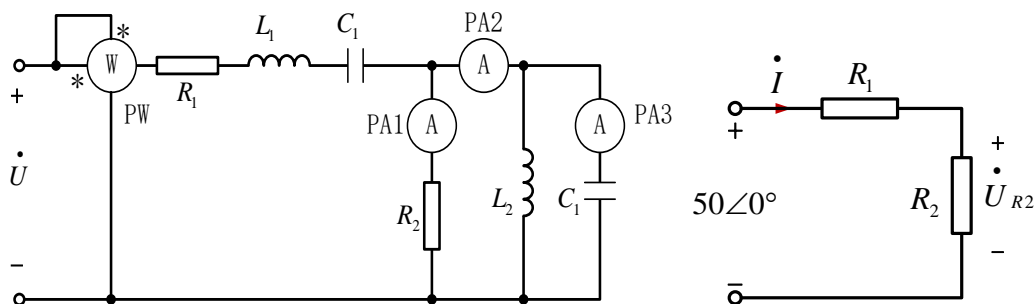
$$\text{解： } R = 100/2 = 50\Omega \quad C = 2 / (3 \text{ k} 4 \quad 2 \Theta 0) \mu\text{F}$$



$$L = 1/\omega_0^2 C = 1/314^2 \times 31.8 \times 10^{-6} = 0.318 \text{ mH}$$

当频率下调为 $f_0/2$ 时，电路呈容性。

7、如图所示的正弦稳态电路中， $U=50\text{V}$ ， $R_1=10\Omega$ ， $R_2=15\Omega$ ， $L_1=0.5\text{mH}$ ， $L_2=0.1\text{mH}$ ， $C_1=0.2\mu\text{F}$ ， $C_2=1\mu\text{F}$ ，电流表 PA2 的示数为零。求电流表 PA1，PA3 和功率表 PW 的示数。



解：因为电流表 PA2 的示数为零，说明 L_2 、 C_2 并联分支发生并联谐振，其谐振频率为：

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}} = \frac{1}{\sqrt{0.1 \times 10^{-3} \times 10^{-6}}} = 10^5 (\text{rad/s})$$

则，

$$XL_1 = \omega_0 L_1 = j10^5 \times 0.5 \times 10^{-3} = 50(\Omega), XC_1 = -\frac{1}{\omega_0 C_1} = -\frac{1}{10^5 \times 0.2 \times 10^{-6}} = -50(\Omega)$$

因 $XL_1 + XC_1 = 0$ ，说明 L_1 、 C_1 串联分支对 ω_0 发生串联谐振，等效电路如图所示。

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R_1 + R_2} = \frac{50\angle 0^\circ}{10 + 15} = 2\angle 0^\circ (\text{A}) \quad \text{所以，PA1 表读书为 } 2\text{A}。$$

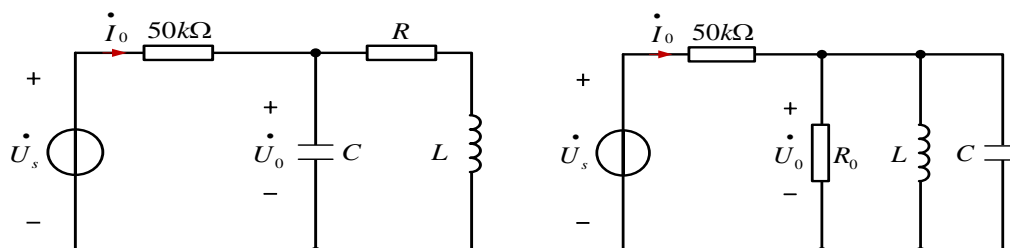
因此 $P = (R_1 + R_2)I^2 = (10 + 15) \times 2^2 = 100(\text{W})$ ，则功率表 PW 读数为 100W。

$$\dot{U}_{R_2} = R_2 \dot{I} = 15 \times 2\angle 0^\circ = 30\angle 0^\circ (\text{V})$$

$$I_{C_2} = \omega_0 C_2 U_{R_2} = 10^5 \times 10^{-6} \times 30 = 3(\text{A})$$

所以，电流表 PA3 的示数为 3A。

8、如图所示电路中， $U_s=100\text{V}$ ，并联谐振回路的谐振频率为 10^6rad/s ， $Q=100$ ，且谐振时 R 吸收的功率为最大。试求：（1）R、L 和 C 的值；（2）谐振时的电流 I_0 ，电压 U_0 及谐振时电源发出的功率 P_0 。



(1) 原电路可等效为如图所示电路。因为谐振时 R 吸收的功率最大，所以并联谐振电路的谐振阻抗等于电源的内阻抗，即：

$$R_0 = \frac{L}{RC} = 5 \times 10^4 (\Omega) \quad (1)$$

因为 $Q = \frac{\omega_0 C}{G_0} = \omega_0 C R_0 = \frac{1}{G_0} \sqrt{\frac{C}{L}}$

所以 $Q = \frac{1}{G_0} \sqrt{\frac{C}{L}} \Rightarrow \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{R_0}{Q} \Rightarrow \frac{L}{C} = \frac{R_0^2}{Q^2}$ 带入 (1) 得

$$R = \frac{R_0}{Q^2} = \frac{5 \times 10^4}{100^2} = 5 (\Omega)$$

因为 $Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\omega_0 C}{G_0}$

所以, $L = \frac{QR}{\omega_0} = \frac{100 \times 5}{10^6} = 0.5 (mH)$

$$C = \frac{QG_0}{\omega_0} = \frac{Q}{R_0 \omega_0} = \frac{100}{5 \times 10^4 \times 10^6} = 2 \times 10^{-9} = 2 (nF)$$

(2) 谐振时， LC 并联支路相当于开路，则

$$I_0 = \frac{U_s}{50 \times 10^3 + R_0} = \frac{100}{50 \times 10^3 + 50 \times 10^3} = 1 (mA)$$

$$U_0 = \frac{1}{2} U_s = 50 (V)$$

$$P_0 = U_s I_0 = 100 \times 10^{-3} = 0.1 (W)$$

五、计算题（答案）

1、 $I=0.5mA$ $Q=48.3$ $U_C=U_L=241.5V$

2、 $Q=70$ $R=1.625\Omega$

3、 $C=80\mu F$ $Q=5$ $I_0=10A$ $U_C=50V$ $U_{RL}=51V$

4、 $R=0.2\Omega$ $L=4\mu H$ $C=80\mu F$

5、 $12A$

6、 $R=50\Omega$ $L=0.319H$ $C=31.8\mu F$

7、 $PA1=2A$ $PA2=3A$ $PW=100W$

8、 $R=5\Omega$ $L=0.5mH$ $C=2nF$ $I_0=1mA$ $U_0=50V$ $P_0=0.1W$