串联谐振电路

一、串联谐振的定义和条件

在电阻、电感、电容串联电路中，当电路端电压和电流同相时，电路呈电阻性，电路的这种状态叫做串联谐振。

可以先做一个简单的实验，如图 8-20 所示，将：三个元件 R、L 和 C 与一个小灯泡串联，接在频率可调的正弦交流电源上，并保持电源电压不变。

实验时，将电源频率逐渐由小调大，发现小灯泡也慢慢由暗变亮。当达到某一频率时，小灯泡最亮，当频率继续增加时，又会发现小灯泡又慢慢由亮变暗。小灯泡亮度随频率改变而变化，意味着电路中的电流随频率而变化。怎么解释这个现象呢?

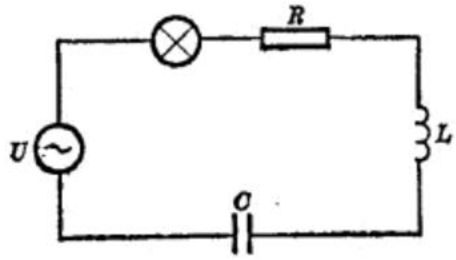


图 8-20

在电路两端加上正弦电压 U，根据欧姆定律有

$$I = \frac{U}{|Z|}$$

式中

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

ωL 和 $\frac{1}{\omega C}$ 部是频率的函数。但当频率较低时，容抗大而感抗小，阻抗|Z|较大，电流较小；当频率较高时，感抗大而容抗小，阻抗|Z|也较大，电流也较小。在这两个频率之间，总会有某一频率，在这个频率时，容抗与感抗恰好相等。这时阻抗最小且为纯电阻，所以，电流最大，且与端电压同相，这就发生了串联谐振。

根据上述分析，串联谐振的条件为

$$X_L = X_C$$

即

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

或

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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

f_0 称为谐振频率。可见，当电路的参数 L 和 C 一定时，谐振频率也就确定了。如果电

源的频率一定，可以通过调节 L 或 C 的参数大小来实现谐振。

二、串联谐振的特点

（1）因为串联谐振时，$X_L = X_C$，故谐振时电路阻抗为

$$|Z_0| = R$$

（2）串联谐振时，阻抗最小，在电压 U 一定时，电流最大，其值为

$$I_0 = \frac{U}{|Z_0|} = \frac{U}{R}$$

由于电路呈纯电阻，故电流与电源电压同相，$\varphi = 0$

（3）电阻两端电压等于总电压。电感和电容的电压相等，其大小为总电压的 Q 倍，即

$$U_R = RI_0 = R\frac{U}{R} = U$$

即

$$U_L = U_C = X_L I_0 = X_C I_0 = \frac{\omega_0 L}{R}U = \frac{1}{\omega_0 CR}U = QU$$

式中 Q 为串联谐振电路的晶质因数，其值为

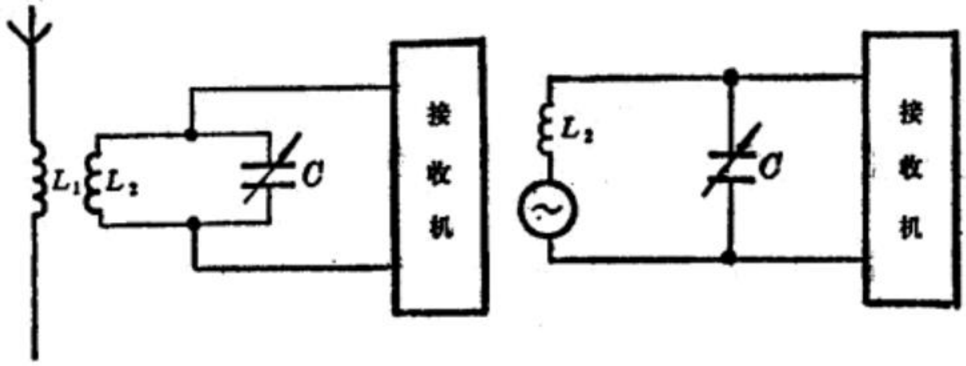
$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR}$$

谐振电路中的品质因数，一般可达 100 左右。可见，电感和电容上的电压比电源电压大很多倍，故串联谐振也叫做电压谐振，线圈的电阻越小，电路消耗的能量也越小，则表示电路品质好，品质因数高；若线圈的电感量 L 越大，储存的能量也就越多,而损耗一定时,同样也说明，电路品质好，品质因数高。所以在电子技术中，由于外来信号微弱，常常利用串联谐振来获得一个与信号电压频率相同，但大很多倍的电压。

（4）谐振时，电能仅供给电路电阻的消耗，电源电路间不发生能量转换，而电感与电容间进行着磁能和电能的转换。

三、串联谐振的应用

在收音机中，常利用串联谐振电路来选择电台信号，这个过程叫做调谐，如图 8-21（a）所示。图 8-21(b)是它的等效电路。



(a)　　　　　　　　(b)

图 8-21

当各种不同频率信号的电波在天线上产生感生电流时，电流经过线圈 L_1 感应到线圈 L_2。如果振荡电路对某一信号频率发生谐振时，回路中该信号的电流最大，则在电容器两端产生一高于此信号电压 Q 倍的电压 U_C。而对于其它各种频率的信号，因为没有发生谐振，在回路中电流很小，从而被电路抑制掉。所以，可以改变电容 C，以改变回路的谐振频率来选择所需要的电台信号。

四、谐振电路的选择性

由上节的分析看出，由联谐振电路具有“选频”的本领。如果一个谐振电路，能够比较有效地从邻近的不同频率中选择出所需要的频率，而相邻的不需要的频率，对它产生的干扰影响很小，我们就说这个谐振电路的选择性好，也就是说它具有较强的选择信号的能力。

如果以频率 ω (或 f)作为自变量，把回路电流 i 作为它的函数，绘成函数曲线，就是图 8-22 所示的谐振曲线。显然，谐振曲线越陡，选择性越好。那么谐振电路选择性的好坏由什么因素决定呢?

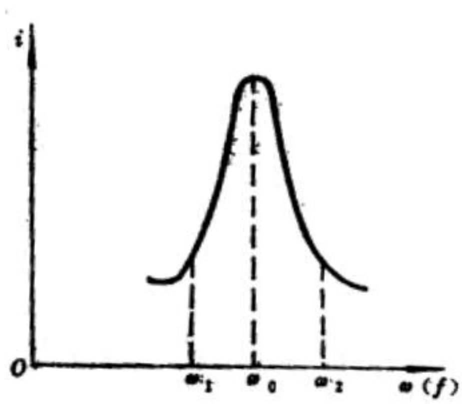


图 8-22

在 $R-L-C$ 串联电路中，设端电压为 U，阻抗为|Z|，则

$$
\begin{aligned}
I &= \frac{U}{|Z|} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \\
&= \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\frac{\omega}{\omega_0}\omega_0 L - \frac{\omega_0}{\omega}\frac{1}{\omega_0 C})^2}} \\
&= \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega_0 L)^2 (\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}} \\
&= \frac{U}{R\sqrt{1 + (\frac{\omega_0 L}{R})^2 (\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}}
\end{aligned}
$$

式中,$\frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR} = Q$，$\frac{U}{R} = I_0$,所以

$$
I = \frac{I_0}{\sqrt{1 + Q^2 (\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}}
$$

上式表明了 $R-L-C$ 串联回路中的电流 I 和角频率 ω 的函数关系，对于一个给定自的电路来说，谐振电流 I_0 是一个常数。因此，从式中可以看出，电流对频率的变化关系与品质因数 Q 有关。我们给出几个不同的 Q 位，例如取 Q 为 10、50、100 等等，并将上式改写成以下的形式

$$
\frac{I}{I_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 (\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}}
$$