Chapter 14
正弦稳态电路的频率响应

14.1 概述

14.2 传递函数与频率响应
Network Function and Frequency Response

14.3 谐振电路
Resonance

目标：

a. 理解频率响应的意义，会计算电路的频率响应；

b. 理解谐振现象及其特点，通过谐振电路的频率响应分析理解滤波的含义。

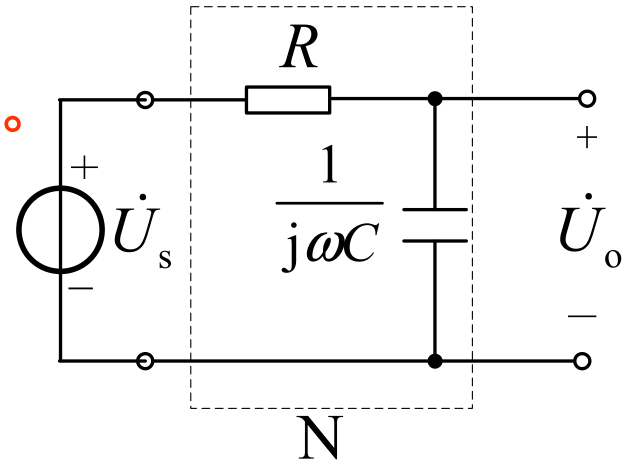
学时： 3

14.1 概述

Q1：下面的正弦稳态电路，参数一定，只改变电源的频率，响应如何变化?

$$\dot{U}_{\mathrm{o}}(\omega)=\frac{\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}}\times\dot{U}_{\mathrm{s}}(\omega)\ =\frac{1}{1+j\omega RC}\dot{U}_{\mathrm{s}}(\omega)$$

响应：有效值及初相角都随角频率变化。



Q2：找出描述响应随频率变化的方法?

$$\frac{\dot{U}_{\mathrm{o}}(\omega)}{\dot{U}_{\mathrm{s}}(\omega)}=\frac{1}{1+j\omega RC}$$

输出相量与输入相量之比来描述。

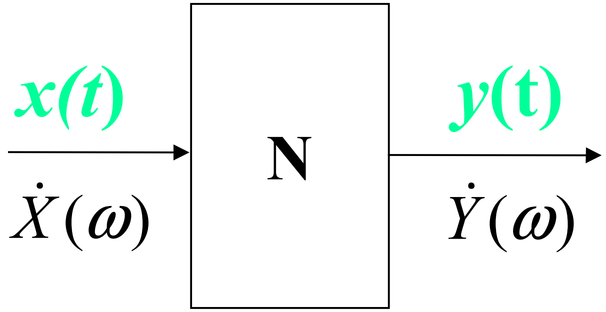
Q3：研究响应随频率变化的特点有何意义?

$$u_{\mathrm{s}}=U_{\mathrm{dc}}+\sum_{k}\sqrt{2}U_{k}\cos(k\omega t+\phi_{k})$$ $\Rightarrow$ $u_{\mathrm{o}}=?$ 滤波器设计

14. 2 传递函数与频率响应

14.2.1 传递函数（或称网络函数）定义

$$H(\omega)=\frac{\text{响应}}{\text{激励}}=\frac{\dot{Y}(\omega)}{\dot{X}(\omega)}$$



激励相量可以是电压源或者电流源，响应相量可以是端口电压或者端口电流，传递函数有以下4种类型：

$$H(\omega)=\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_i(\omega)}$$ 电压增益

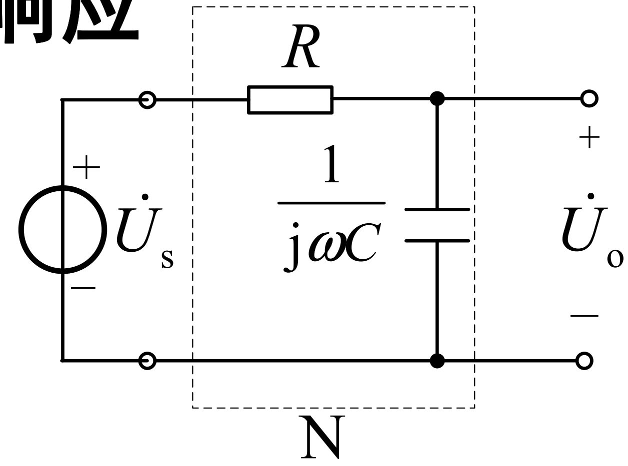
$$H(\omega)=\frac{\dot{I}_o(\omega)}{\dot{I}_i(\omega)}$$ 电流增益

$$H(\omega)=\frac{\dot{I}_o(\omega)}{\dot{U}_i(\omega)}$$ 转移导纳

$$H(\omega)=\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{I}_i(\omega)}$$ 转移阻抗

14.2 传递函数与频率响应

14.2.1 传递函数（或称网络函数）定义

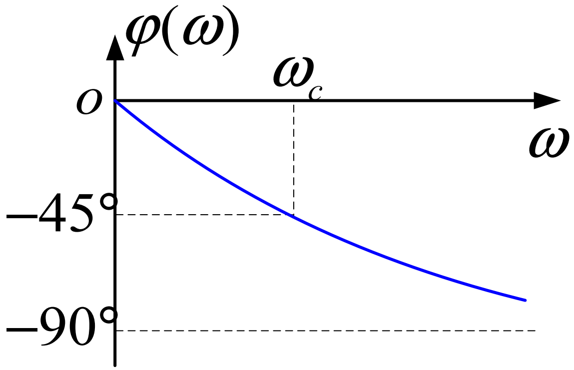


设$\omega_c=\dfrac{1}{RC}$

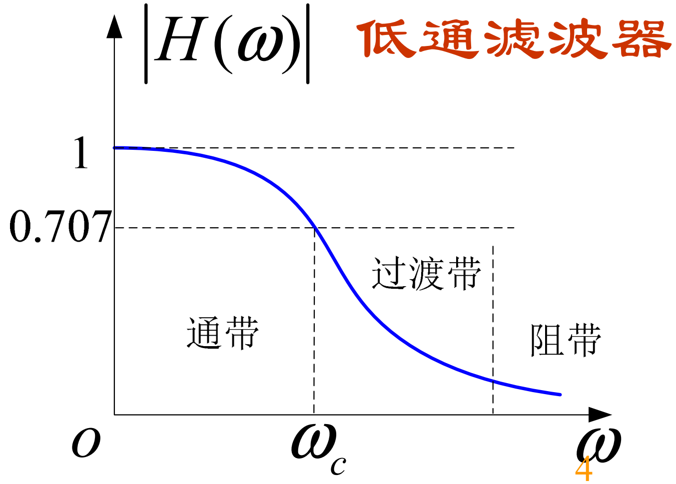
$$H(\omega)=\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_s(\omega)}=\frac{\dfrac{1}{j\omega C}}{R+\dfrac{1}{j\omega C}}=\frac{1}{1+j\omega RC}=\frac{1}{1+j\dfrac{\omega}{\omega_c}}$$

$$=\frac{1}{\sqrt{1+(\dfrac{\omega}{\omega_c})^2}}\angle-\arctan\frac{\omega}{\omega_c}$$

14.2.2频率响应



正弦稳态响应随激励频率的变化规律。



$$H(\omega)=|H(\omega)|\angle\varphi(\omega)$$

幅频响应　相频响应

$$H(0)=1\angle0° \qquad H(\infty)=0\angle-90°$$

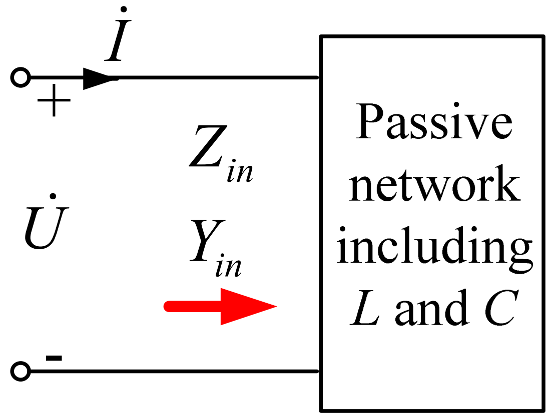
$$H(\omega_c)=0.707\angle-45°$$

14.3　谐振电路的频率响应

谐振 Resonance

$$Z_{in} = R(\omega) + jX(\omega) \qquad X(\omega) = 0$$

$$Y_{in} = G(\omega) + jB(\omega) \qquad B(\omega) = 0$$



$\dot{U}$ 与 $\dot{I}$ 同相位.

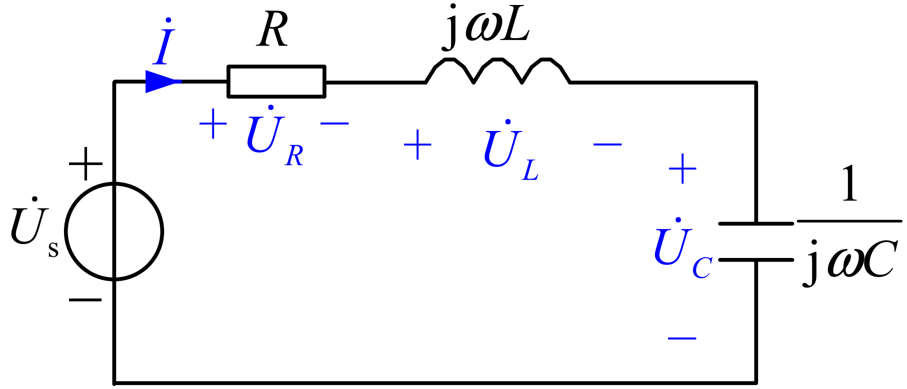
$$P = UI \qquad Q = 0$$

改变激励源的频率.

改变 L or C的数值

14. 3　谐振电路的频率响应

14.3.1 RLC串联谐振电路



1. 谐振条件：（谐振角频率）

$$Z = R + \mathrm{j}(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = R + \mathrm{j}X$$

当$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$时，电路发生谐振。

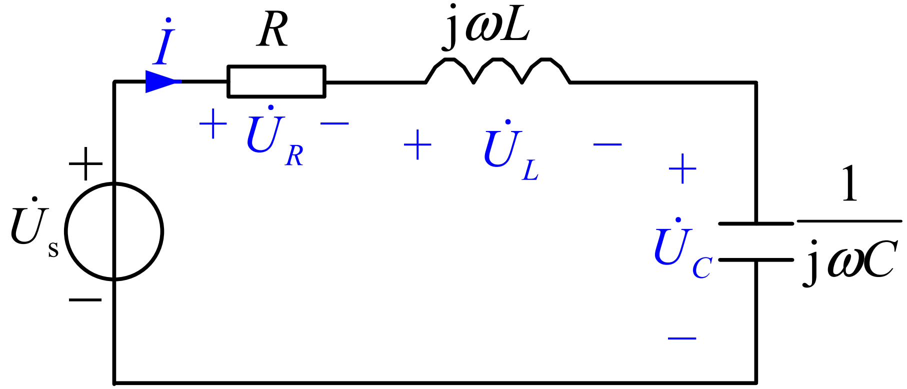
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$ 谐振角频率 (*resonant angular frequency*)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$ 谐振频率 (*resonant frequency*)

$$T_0 = 1/f_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$ 谐振周期 (*resonant period*)

14. 3　谐振电路的频率响应

14.3.1 RLC串联谐振电路



2. RLC串联电路发生谐振的条件

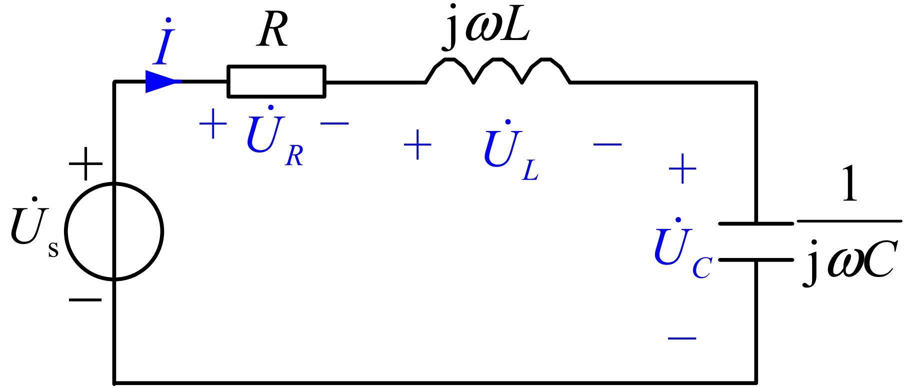
(1）. *L C* 不变，改变 ω。

ω_0由电路本身的参数决定，一个 *R L C* 串联电路只能有一个对应的ω_0，当外加频率等于谐振频率时，电路发生谐振。

(2）. 电源频率不变，改变 *L* 或 *C* (常改变*C*)。

通常收音机选台，即选择不同频率的信号，就采用改变*C*使电路达到谐振。

3 *RLC*串联电路谐振时的特征



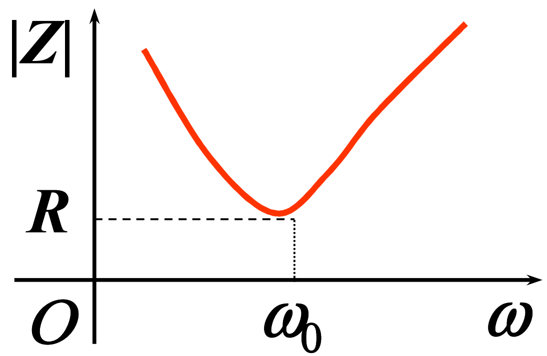
(1) $\dot{U}_S$ 和 $\dot{I}_0$ 同相.

(2). 端口阻抗*Z*为纯电阻，即*Z*=*R*。电路中阻抗值|*Z*|最小。

$$|Z(\omega_0)| = R = |Z_{\min}(\omega)|$$

(3). 电流*I*达到最大值。$|\dot{I}_0| = \left|\frac{\dot{U}_S}{R}\right| = |\dot{I}_{\max}(\omega)|$

根据这个特征判断电路是否发生了串联谐振。



(4). *LC*上串联总电压为零，即

$\dot{U}_L + \dot{U}_C = 0$　　LC相当于短路。

$\dot{U}_R = \dot{U}_S$　　电源电压全部加在电阻上

串联谐振时，电感上的电压和电容上的电压大小相等，方向相反，相互抵消。

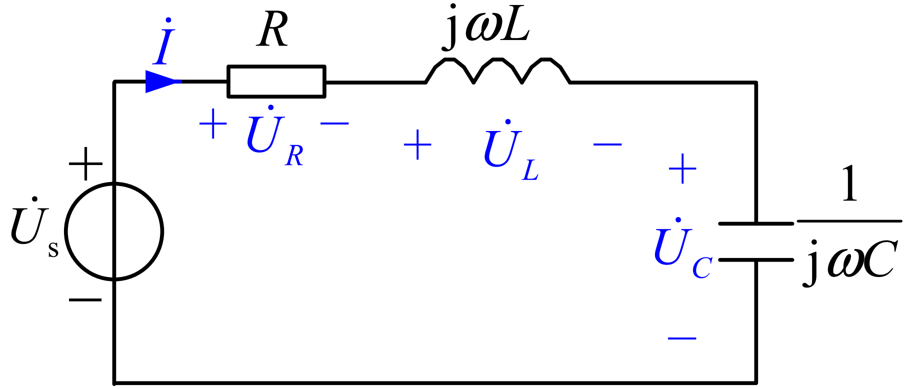
3 RLC串联电路谐振时的特征

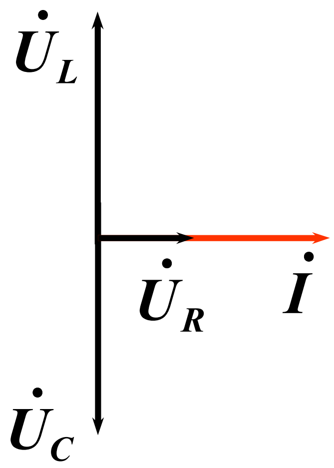
(4). LC上串联总电压为零，即

$$\dot{U}_{L0} = \mathrm{j}\omega_0 L\dot{I}_0 = \mathrm{j}\frac{\omega_0 L}{R}\dot{U}_S$$

$$\dot{U}_{C0} = -\mathrm{j}\frac{1}{\omega_0 C}\dot{I}_0 = -\mathrm{j}\frac{1}{\omega_0 C}\Big/ R\frac{1}{\omega_0 C}\dot{U}_S$$

当$\omega_0 L=1/(\omega_0 C)>>R$时，$U_{L0}=U_{C0} \gg U_S$





(5). 谐振时电路与电源没有交换功率

$P=I_0^2R=U_S^2/R$，电阻功率达到最大。

$$Q_L = \omega_0 L I_0^2,\quad Q_C = -\frac{1}{\omega_0 C}I_0^2 \qquad Q = Q_L + Q_C = 0,$$

即L与C之间交换功率，与电源间无功率交换。

3 *RLC*串联电路谐振时的特征

(6).特性阻抗和品质因数是谐振电路的重要参数

特性阻抗 (characteristic impedance) ρ

谐振时的感抗或容抗

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

单位：Ω

与谐振频率无关，仅由电路参数决定。

品质因数(quality factor)Q

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

无量纲

它是说明谐振电路性能的一个指标，同样仅由电路的参数决定。

3 RLC串联电路谐振时的特征

(6).特性阻抗和品质因数是谐振电路的重要参数

品质因数的意义:

(a) 电压关系:

$$\boxed{U_{L0}=U_{C0}=QU_{S}}$$

$$\dot{U}_{L0}=\mathrm{j}\omega_0 L\dot{I}_0=\mathrm{j}\frac{\omega_0 L}{R}\dot{U}_{S}=\mathrm{j}Q\dot{U}_{S}$$

$$\dot{U}_{C0}=-\mathrm{j}\frac{1}{\omega_0 C}\dot{I}_0=-\mathrm{j}\frac{1}{\omega_0 C}\frac{\dot{U}_{S}}{R}=-\mathrm{j}Q\dot{U}_{S}$$

谐振时电感电压U_{L0}(或电容电压U_{C0})与电源电压之比。

即谐振时的电压放大倍数。

3 *RLC*串联电路谐振时的特征

(6).特性阻抗和品质因数是谐振电路的重要参数

品质因数的意义：

U_{L0}和U_{C0}是端口电压Q倍，如 $\omega_0 L=1/(\omega_0 C)>>R$，则 Q 很高，L 和 C 上出现高电压 ,这既可以利用，有时候也要加以避免。 $\boxed{U_{L0}=U_{C0}=QU_S}$

例： 某收音机 C=150pF，L=250mH，R=20Ω

$$Q=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}=65$$

如信号电压10mV , 电感上电压650mV 这是所要的。

但是在电力系统中，由于电源电压本身比较高，一旦发生谐振，会因过电压现象而击穿绝缘损坏设备。应尽量避免。

(b) 能量：　设 $u_s = \sqrt{2}U_s \cos \omega_0 t$

$$i(\omega_0) = \frac{\sqrt{2}U_s \cos \omega_0 t}{R} \qquad u_C(\omega_0) = \frac{\sqrt{2}U_s \cos(\omega_0 t - 90^0)}{\omega_0 CR}$$

则 $$w_L(\omega_0) = \frac{1}{2}Li^2(\omega_0) = \frac{1}{2}L(\frac{\sqrt{2}U_s \cos \omega_0 t}{R})^2 = L(\frac{U_s}{R})^2 \cos^2 \omega_0 t$$

$$w_C(\omega_0) = \frac{1}{2}Cu_C^2(\omega_0) = \frac{1}{2}C(\frac{\sqrt{2}U_s \cos(\omega_0 t - 90^0)}{\omega_0 CR})^2 = \frac{1}{2}C(\frac{\sqrt{2}U_s \sin \omega_0 t}{\omega_0 CR})^2$$

$$= \frac{1}{2}C\frac{2}{\omega_0{}^2 C^2}(\frac{U_s}{R})^2 \sin^2 \omega_0 t \quad = L(\frac{U_s}{R})^2 \sin^2 \omega_0 t$$

电感和电容能量按正弦规律变化，最大值相等 $W_{Lm}=W_{Cm}$。

$$w_{总} = w_L + w_C = L(\frac{U_s}{R})^2 = LI_0^2$$

结论： LC总能量是常量，LC的磁场能量和电场能量相互转换。

(b) 能量:

由Q的定义:

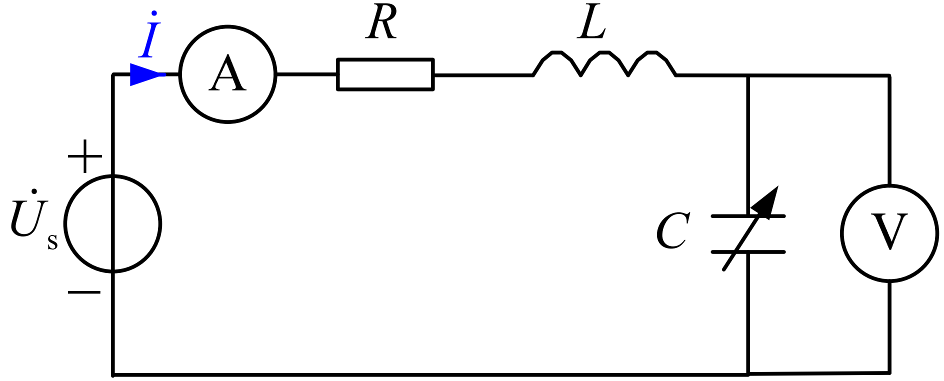
$$Q=\frac{\omega_0 L}{R}=\omega_0\cdot\frac{LI_0^2}{RI_0^2}=2\pi\cdot\frac{LI_0^2}{RI_0^2T_0}=2\pi\cdot\frac{w(\omega_0)}{w_R(\omega_0)}$$

从这个定义，可以对品质因数的本质有更进一步的了解Q是反映谐振回路中:

- LC电路储存的能量与电路在一个周期内消耗的能量之比的2π倍;
- 电容电压（电感电压）与电源电压之比;
- 感抗（容抗）与电阻之比

品质因数能表现一个谐振电路的特征。在工程设计中，Q值是一个重要的指标。

【例1】图示电路中，电源电压有效值为10V，角频率为10^4rad/s，调节电容C使电流表的读数达到最大，为0.1A，此时电压表读数为600V。确定R、L、C的值。



解：电路处于串联谐振状态

$$R=\frac{U_s}{I}=\frac{10}{0.1}=100\Omega$$

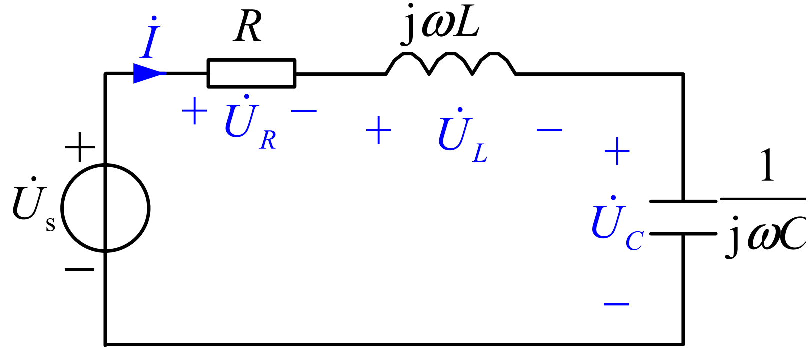
$$\omega_0 L=\frac{U_L}{I}$$

$$L=\frac{U_L}{I\omega_0}=\frac{600}{0.1\times10^4}=0.6H$$

$$Q=\frac{U_C}{U_s}=\frac{1}{\omega_0 CR}$$

$$C=\frac{1}{QR\omega_0}=\frac{1}{60\times100\times10^4}=0.017\mu F$$

14.3.2 RLC串联谐振电路的频率响应



(a) 频率响应曲线

$$|H_R(\omega)| = \left|\frac{\dot{U}_R(\omega)}{\dot{U}_S(\omega)}\right| = = \left|\frac{R}{R+\mathrm{j}(\omega L - \frac{1}{\omega C})}\right|$$

$$= \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC})^2}}$$

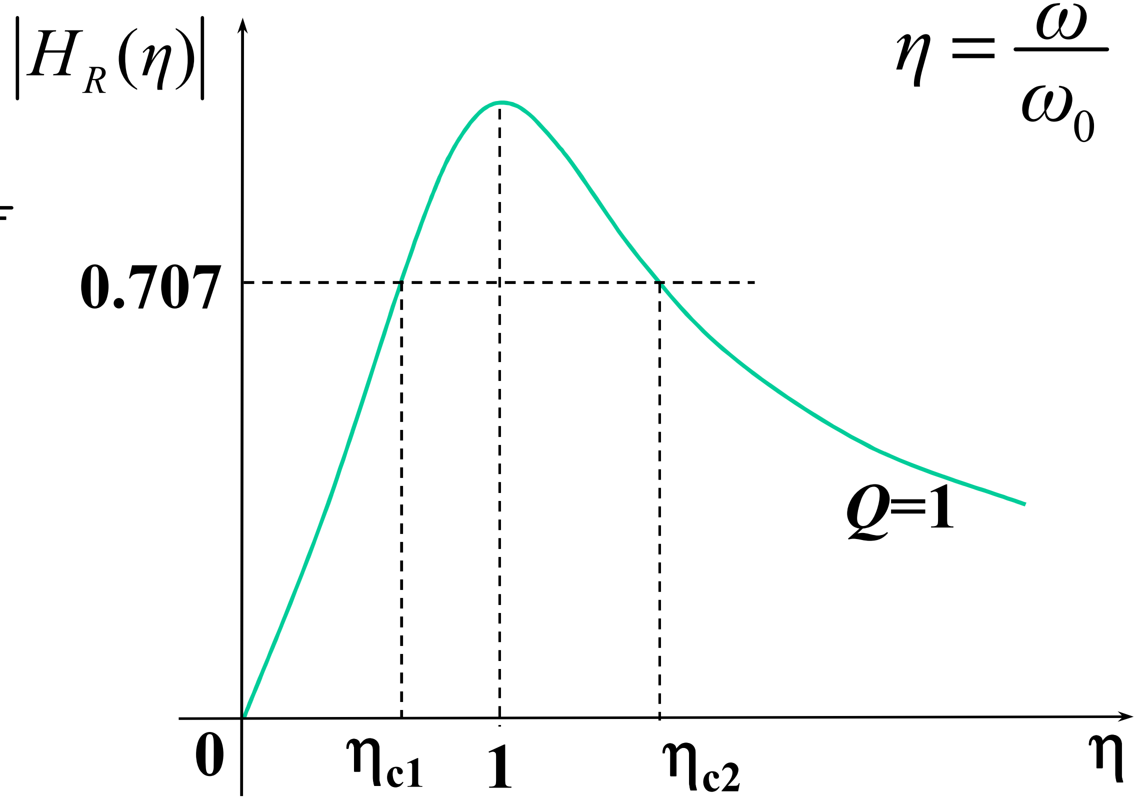
$$= \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\omega_0 L}{R}\frac{\omega_0 L}{R}\cdot\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{1}{\omega_0 CR}\cdot\frac{\omega_0}{\omega})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+(Q\cdot\frac{\omega}{\omega_0} - Q\cdot\frac{\omega_0}{\omega})^2}}$$

为了方便与不同谐振回路之间进行比较，把谐振曲线的横坐标除以ω_0，即

$$\omega \rightarrow \frac{\omega}{\omega_0} = \eta \qquad |H_R(\eta)| = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2(\eta - \frac{1}{\eta})^2}}$$

幅频响应曲线：

$$\left|H_R(\eta)\right| = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2(\eta-\frac{1}{\eta})^2}}$$



$$\eta = \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\left|H_R(0)\right| = 0 \quad \left|H_R(\infty)\right| = 0$$

$$\left|H_R(1)\right| = 1$$

$$\left|H_R(\mathrm{j}\eta)\right| = 1/\sqrt{2} = 0.707$$

做一条水平线，与谐振曲线交于两点，对应横坐标分别：η_{c1}和η_{c1}

$$\eta_{c1} = \frac{\omega_1}{\omega_0}, \quad \eta_{c2} = \frac{\omega_2}{\omega_0}, \quad \omega_{c2} > \omega_{c1}. \quad U_R(\omega_{C1}、\omega_{C2}) = \frac{U_s}{\sqrt{2}}$$

$$P(\omega_{C1}、\omega_{C2}) = (\frac{U_s}{\sqrt{2}})^2 \frac{1}{R} = \frac{1}{2} P(\omega_0)$$

ω_{c2}、ω_{c1} 称为半功率频率

$\omega_{c2} - \omega_{c1}$ 称为通频带BW (Band Width)，即电路允许通过频率

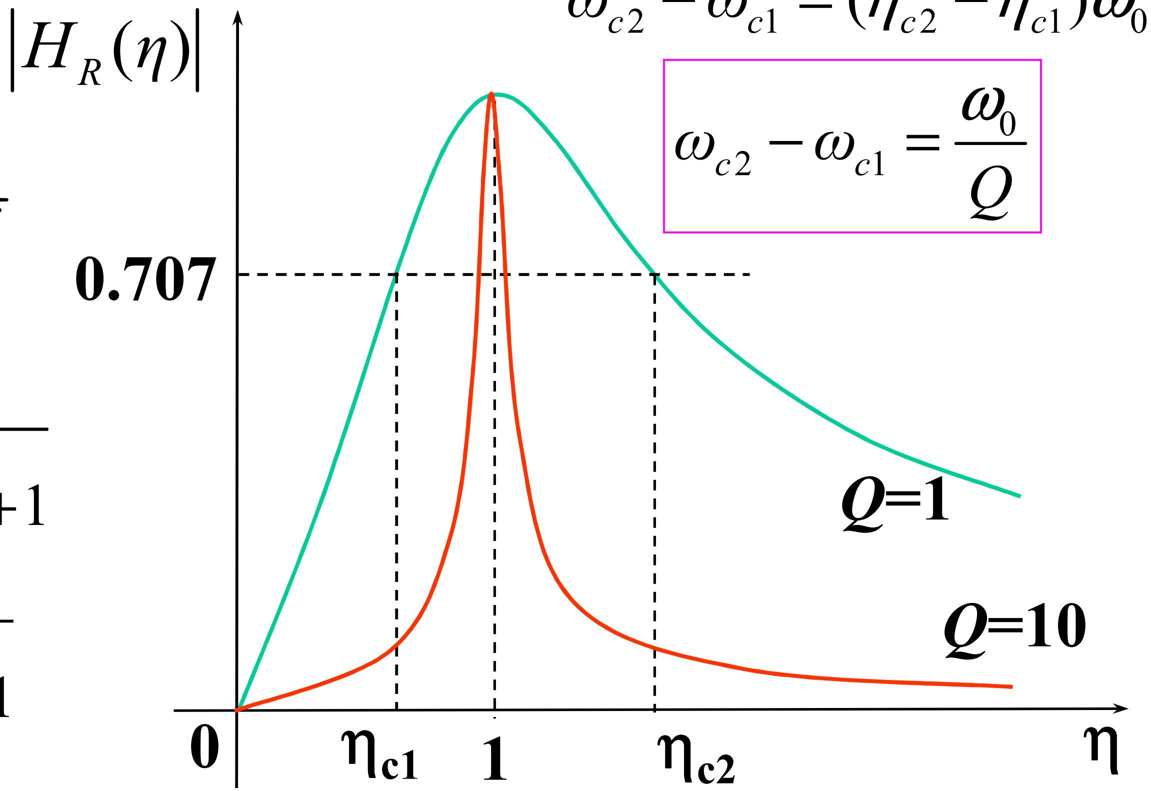
幅频响应曲线：

$$|H_R(\eta)| = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2(\eta-\frac{1}{\eta})^2}}$$

解出：$\begin{cases} \eta_{c1} = -\frac{1}{2Q}+\sqrt{(\frac{1}{2Q})^2+1} \\ \eta_{c2} = \frac{1}{2Q}+\sqrt{(\frac{1}{2Q})^2+1} \end{cases}$

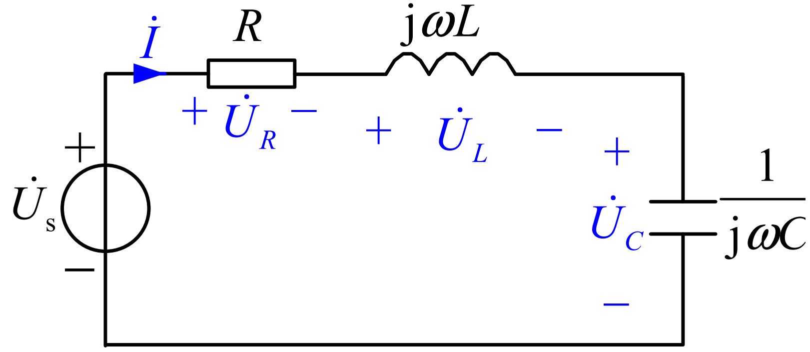
$$\omega_{c2}-\omega_{c1} = (\eta_{c2}-\eta_{c1})\omega_0$$

$$\boxed{\omega_{c2}-\omega_{c1} = \frac{\omega_0}{Q}}$$



- 当稍微偏离谐振点时，曲线就急剧下降，电路对非谐振频率下的输入信号具有较强的抑制能力，所以选择性好。
- Q越大，谐振曲线越尖，电路的通频带就越窄，对信号的选择性越好。
- Q是反映谐振电路性质的一个重要指标。

14.3.2 RLC串联谐振电路的频率响应



RLC串联谐振电路重要指标

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

$$BW = \omega_{c2} - \omega_{c1} = \frac{\omega_0}{Q} \qquad BW = \frac{R}{L}$$

$$Q = \frac{X_{L0}}{R} = \frac{X_{C0}}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} \qquad Q = \frac{U_{L0}}{U_\mathrm{S}} = \frac{U_{C0}}{U_\mathrm{S}} \qquad Q = 2\pi\frac{w_0}{w_{R0}} \qquad Q = \frac{\omega_0}{BW}$$

$$\omega_{c1,c2} = \mp\frac{\omega_0}{2Q} + \omega_0\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2Q}\right)^2} = \mp\frac{R}{2L} + \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{1}{LC}}$$

$$\omega_{c1,c2} \approx \omega_0 \mp \frac{BW}{2} \qquad (\text{For } Q \geq 10)$$

【例2】设计RLC串联谐振电路 BW=20 rad/s， $\omega_0 = 1000$ rad/s. (1)计算 Q. (2)已知 C=5μF, 求 L、R. (3)计算截止频率。

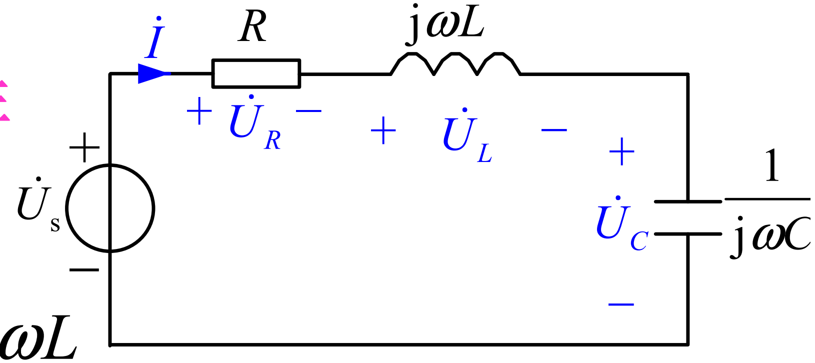
$$BW = \frac{\omega_0}{Q} \quad \rightarrow Q = \frac{\omega_0}{BW} = \frac{1000}{20} = 50$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 1000 \qquad L = 200\text{mH}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} \quad \rightarrow R = \frac{\omega_0 L}{Q} = 4\Omega$$

$$\omega_{c1,c2} \approx \omega_0 \mp \frac{BW}{2} = 990\text{rad}/\text{s},\ 1010\text{rad}/\text{s}$$

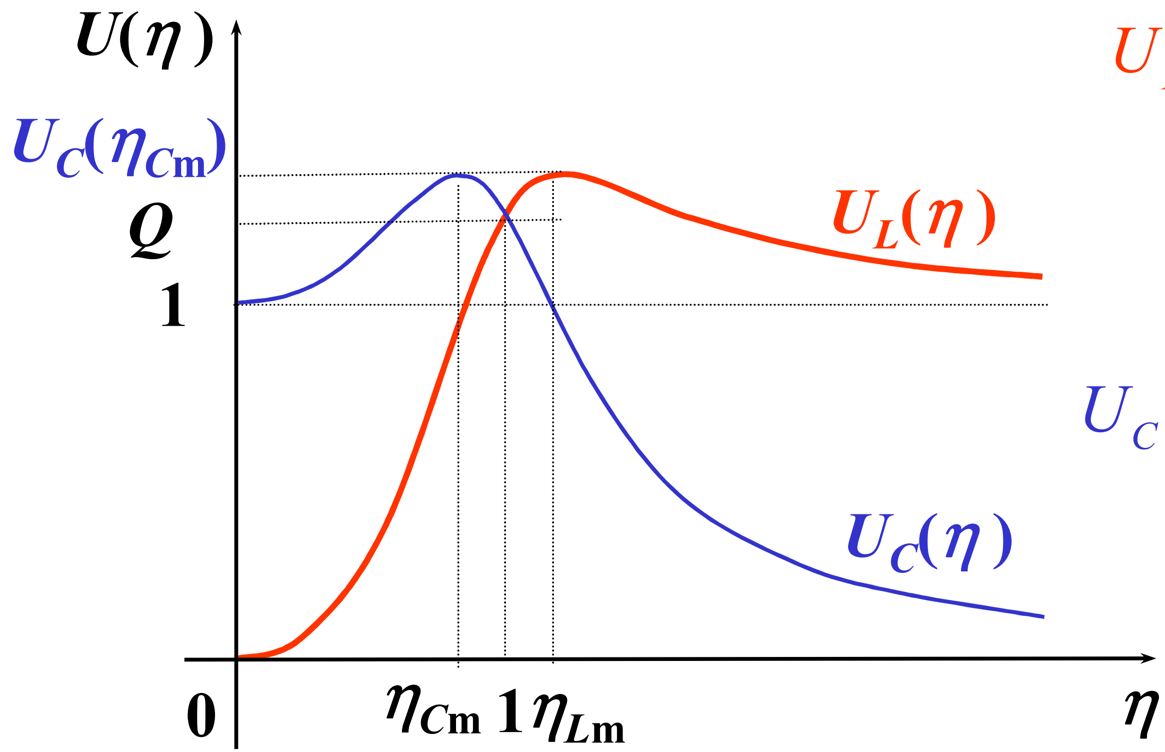
*（b）自学 $U_L(\omega)$与$U_C(\omega)$的频率特性



$$U_L(\omega)=\frac{\omega L}{\sqrt{R^2+(\omega L-\frac{1}{\omega C})^2}}=\frac{\frac{\omega L}{R}}{\sqrt{1+(\frac{\omega L}{R}-\frac{1}{\omega RC})^2}}$$

$$=\frac{\frac{\omega_0 L}{R}\frac{\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1+(\frac{\omega_0 L}{R}\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{1}{\omega_0 RC\frac{\omega}{\omega_0}})^2}}=\frac{Q\eta}{\sqrt{1+Q^2(\eta-\frac{1}{\eta})^2}}$$

$$U_C(\omega)=\frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2+(\omega L-\frac{1}{\omega C})^2}}=\frac{\frac{Q}{\eta}}{\sqrt{1+Q^2(1-\frac{1}{\eta})^2}}$$



$$U_L(\eta)=\frac{Q\eta}{\sqrt{1+Q^2(\eta-\frac{1}{\eta})^2}}$$

$$U_C(\eta)==\frac{\frac{Q}{\eta}}{\sqrt{1+Q^2(1-\frac{1}{\eta})^2}}$$

类似可讨论$U_C(\omega)$。

$U_L(\omega)$：当$\omega=0$时，$\eta=0$， $U_L(\eta)=0$；

$0<\omega<\omega_0$， $U_L(\eta)$增大；

$\omega=\omega_0$，$\eta=1$， $U_L(\eta)=Q$；

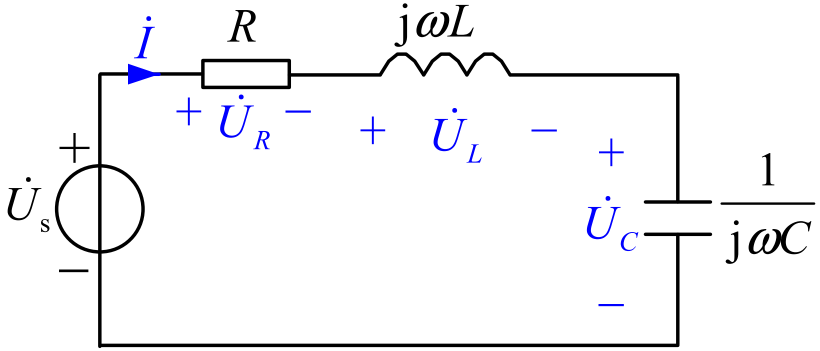
$\omega>\omega_0$，电流开始减小，但速度不快， X_L继续增大，U_L（η）仍有增大的趋势，但在某个ω下$U_L(\omega)$达到最大值，然后减小。 $\omega\to\infty$，$X_L\to\infty$， $U_L(\infty)=1$。

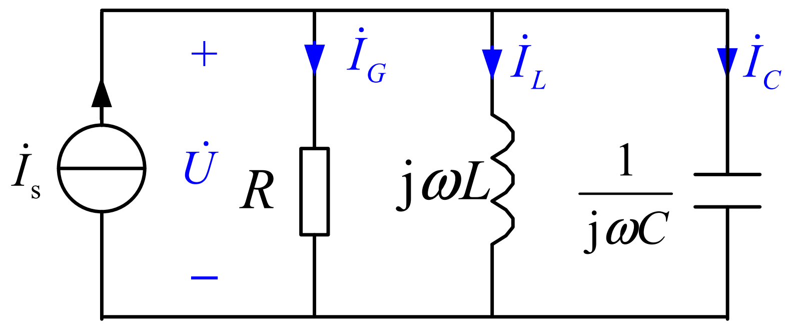
由于电压最大值出现在谐振频率附近很小的范围内，因此同样可以用串联谐振电路来选择谐振频率及其附近的电压，即对电压也具有选择性。

上面得到的都是由改变频率而获得的，如改变电路参数，则变化规律就不完全与上相似。

上述分析原则一般来讲可以推广到其它形式的谐振电路中去，但不同形式的谐振电路有其不同的特征，要进行具体分析，不能简单搬用。

14.3.3 RLC并联谐振电路





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

$$Y = G + \mathrm{j}(\omega C - \frac{1}{\omega L}) \quad \boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$$

$$U_L(\omega_0) = U_C(\omega_0) = QU_\mathrm{S}$$

$$I_L(\omega_0) = I_C(\omega_0) = QI_\mathrm{S}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Q = \frac{\omega_0 C}{G} = \frac{1}{\omega_0 GL} = \frac{1}{G}\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$|Z(\omega_0)| = R = |Z_{\min}(\omega)|$$

$$|Y(\omega_0)| = G = |Y_{\min}(\omega)|$$

$$|\dot{I}(\omega_0)| = |\dot{I}_{\max}(\omega_0)|$$

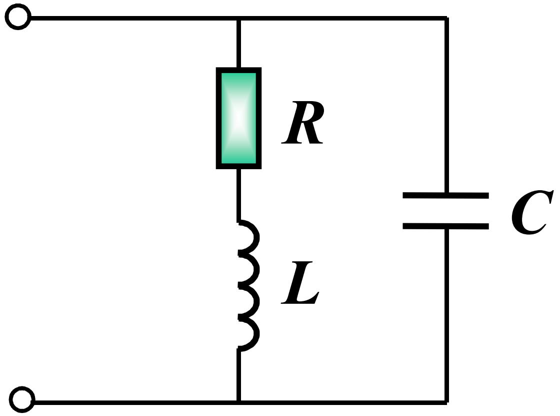
$$|\dot{U}(\omega_0)| = |\dot{U}_{\max}(\omega_0)|$$

$$BW = \omega_0 / Q$$

$$BW = \omega_0 / Q$$

* 14.3.4 其他谐振电路

上面讨论的电流谐振现象实际上是不可能得到的，因为电感线圈总是存在电阻的，于是电路就变成了混联，谐振现象也就较为复杂。



$$Y = \mathrm{j}\omega C + \frac{1}{R + \mathrm{j}\omega L}$$

$$= \frac{R}{R^2 + (\omega L)^2} + \mathrm{j}(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2})$$

$$= G + \mathrm{j}B$$

谐振时 B=0，即 $\omega_0 C - \dfrac{\omega_0 L}{R^2 + (\omega_0 L)^2} = 0$ 求得

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_2}}\sqrt{1 - \frac{C_2 R_1^2}{L_1}} = \sqrt{\frac{1}{LC} - (\frac{R}{L})^2}$$ 由电路参数决定。

* 14.3.4 其他谐振电路

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2}$$

此电路参数发生谐振是有条件的，参数不合适可能不会发生谐振。

在电路参数一定时，改变电源频率是否能达到谐振，要由下列条件决定：

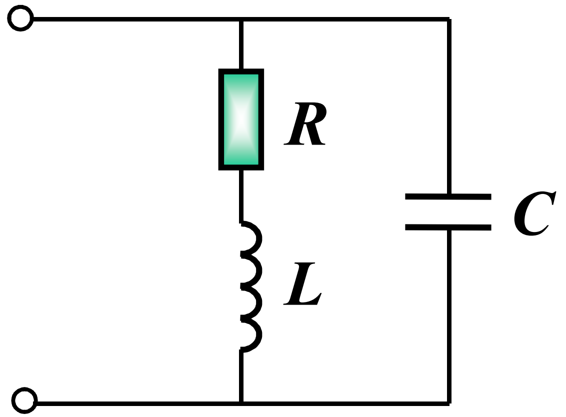
当 $\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{L}\right)^2$，即 $R < \sqrt{\frac{L}{C}}$时，可以发生谐振

当 $R > \sqrt{\frac{L}{C}}$时，不会发生谐振，因ω_0是虚数.

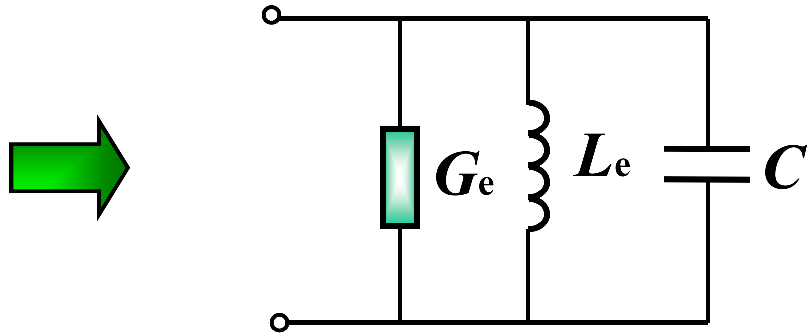
当电路发生谐振时，电路相当于一个电阻：

$$Z(\omega_0) = R_0 = \frac{R^2 + (\omega_0 L)^2}{R} = \frac{L}{RC}$$

* 14.3.4 其他谐振电路



等效电路：



$$Y=\frac{R}{R^2+(\omega L)^2}+\mathrm{j}\left(\omega C-\frac{\omega L}{R^2+(\omega L)^2}\right)$$

$$\omega_0=\sqrt{\frac{1}{LC}-\left(\frac{R}{L}\right)^2}$$

$$G_e=\frac{R}{R^2+(\omega L)^2}=\frac{RC}{L}$$

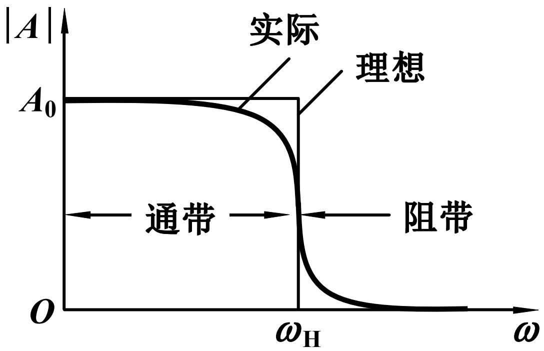
$$\boxed{G_e=\frac{RC}{L}}$$

$$\frac{1}{\omega L_e}=\frac{\omega L}{R^2+(\omega L)^2}$$

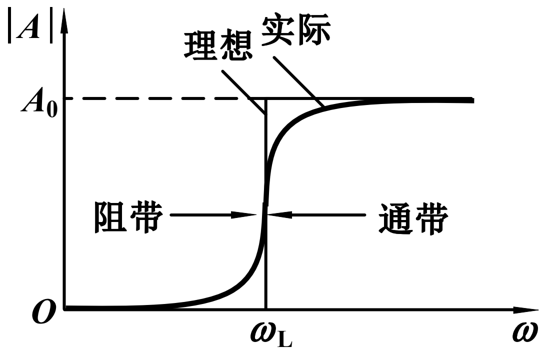
$$\boxed{L_e=\frac{R^2+(\omega L)^2}{\omega^2 L}}$$

C不变。

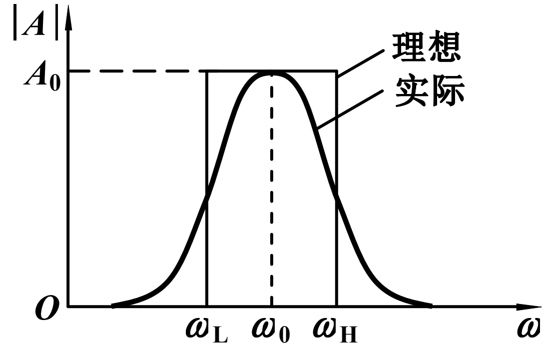
*(自学)14.4　滤波器



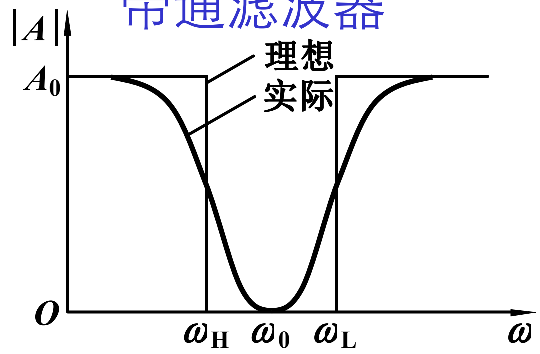
低通滤波器



高通滤波器



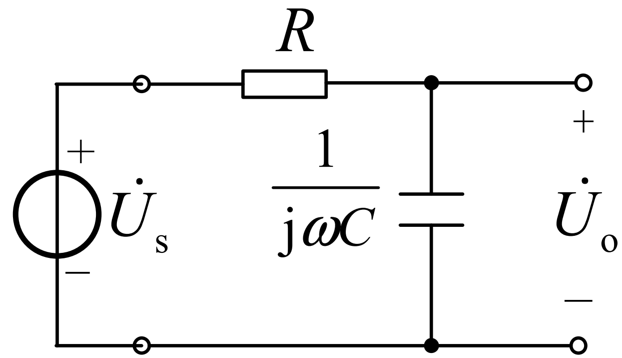
带通滤波器



带阻滤波器

- 低通滤波器用于工作信号为低频（或直流），并且需要削弱高次谐波或频率较高的干扰和噪声等场合——整流后滤波。
- 高通滤波器用于信号处于高频，并且需要削弱低频的场合——阻容放大器的耦合。
- 带通滤波器用于突出有用频段的信号，削弱其它频段的信号或干扰和噪声——载波通信。
- 带阻滤波器用于抑制干扰。

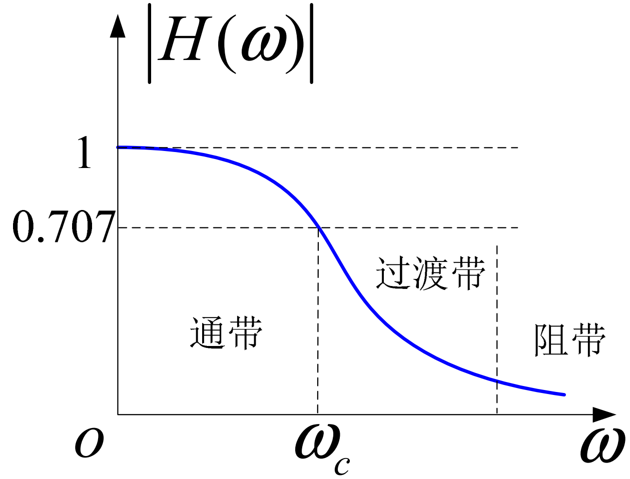
14.4.1 无源低、高滤波电路



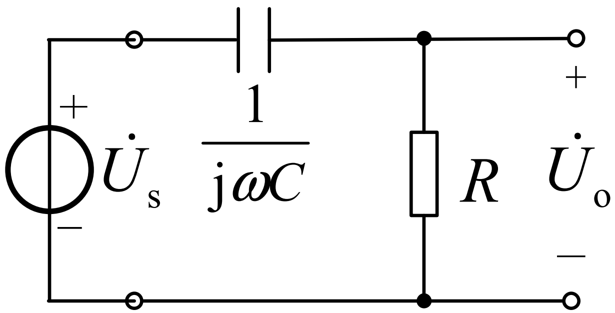
1 低通滤波器

$$H_C(\omega)=\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_s(\omega)}=\frac{\frac{1}{j\omega C}}{R+\frac{1}{j\omega C}}=\frac{1}{1+j\omega RC}=\frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_c}}$$

设$\omega_c=\frac{1}{RC}$ $|H_C(0)|=1$ $|H_C(\infty)|=0$



2 高通滤波器

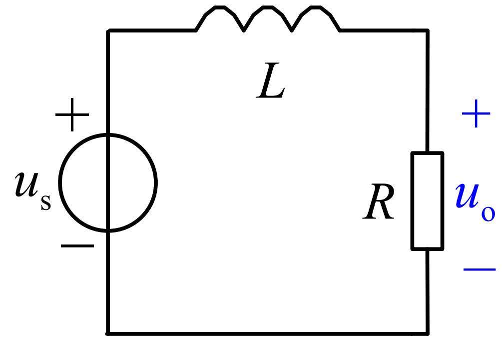


N

$$H_R(\omega)=\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_s(\omega)}=\frac{R}{R+\frac{1}{j\omega C}}=\frac{1}{1+\frac{1}{j\omega RC}}=\frac{1}{1-j\frac{\omega_c}{\omega}}$$

$|H_R(0)|=0$ $|H_R(\infty)|=1$ $|H_R(\omega_c)|=0.707$

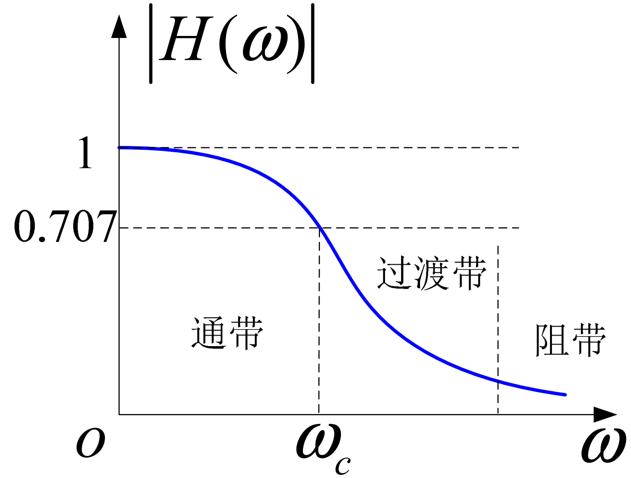
【例3】： 确定图示电路的电压增益，该电路是何种滤波器？



$$H(\omega)=\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_s(\omega)}=\frac{R}{R+j\omega L}=\frac{1}{1+\dfrac{j\omega L}{R}}=\frac{1}{1+j\dfrac{\omega}{\omega_c}}$$

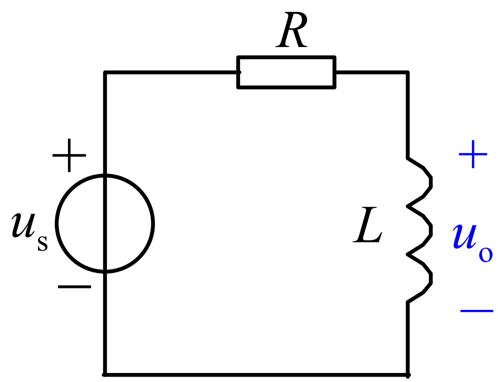
设 $\omega_c=\dfrac{R}{L}$

$$=\frac{1}{\sqrt{1+(\dfrac{\omega}{\omega_c})^2}}\angle-\arctan\frac{\omega}{\omega_c}$$



$$|H(0)|=1\quad |H(\infty)|=0\quad |H(\omega_c)|=0.707$$

低通滤波器



$$H(\omega)=\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_s(\omega)}=\frac{j\omega L}{R+j\omega L}=\frac{1}{1+\dfrac{R}{j\omega L}}=\frac{1}{1-j\dfrac{\omega_c}{\omega}}$$

$$|H(0)|=0\quad |H(\infty)|=1\quad |H(\omega_c)|=0.707$$

高通滤波器

14.4.2 有源滤波电路

传递函数

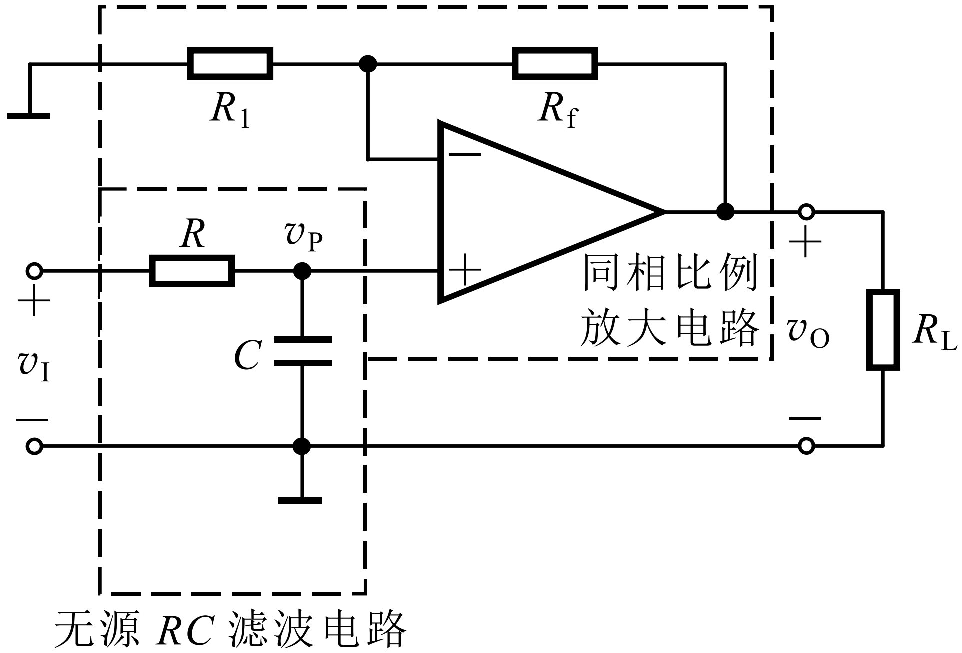
$$\frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_s(\omega)}=\frac{\dfrac{1}{j\omega C}}{R+\dfrac{1}{j\omega C}}(1+\frac{R_f}{R_1})$$

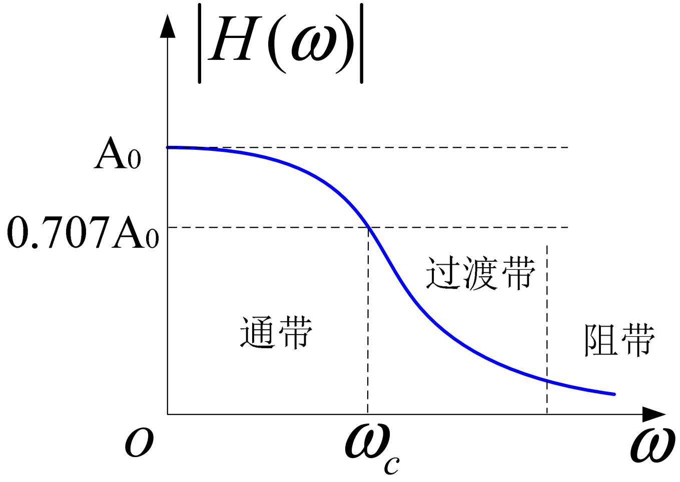
$$\omega_c=\frac{1}{RC}$$ 特征角频率

$$\Rightarrow H(\omega)=\frac{1}{1+j\omega C}(1+\frac{R_f}{R_1})$$

故，幅频响应为

$$|H(\omega)|=\frac{1}{\sqrt{1+(\dfrac{\omega}{\omega_n})^2}}A_0$$





计划学时：3学时；课后学习6学时

作业：

14-9，14-10 /谐振
14-26 /综合分析
超纲：选做14-14，14-21 /滤波器