

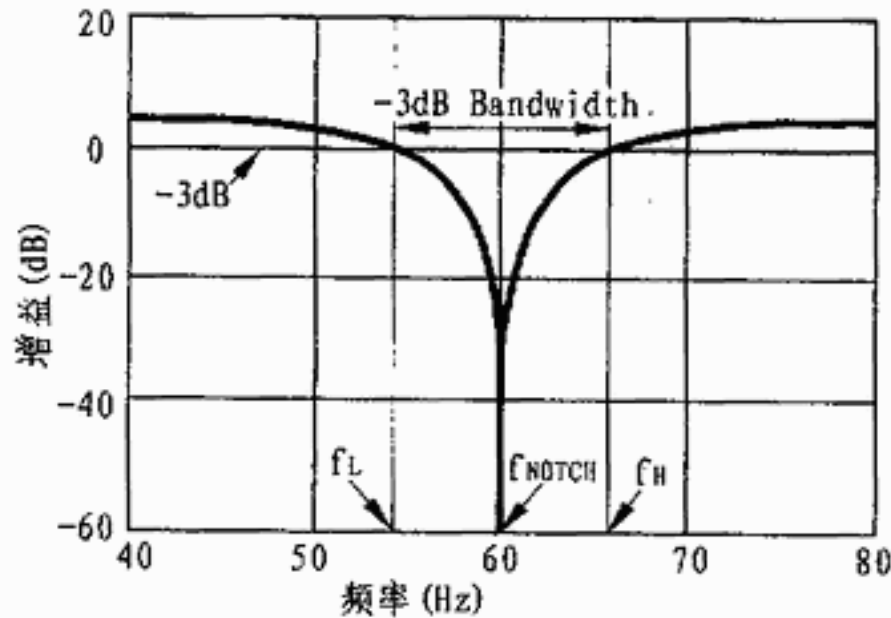
串谐 与 并谐



jqhuang@mail.hust.edu.cn

陷波电路、吸收电路

- 限波电路的频域



60Hz 限波电路的输出特性

应用实例：彩电

- 彩电中放总特性曲线

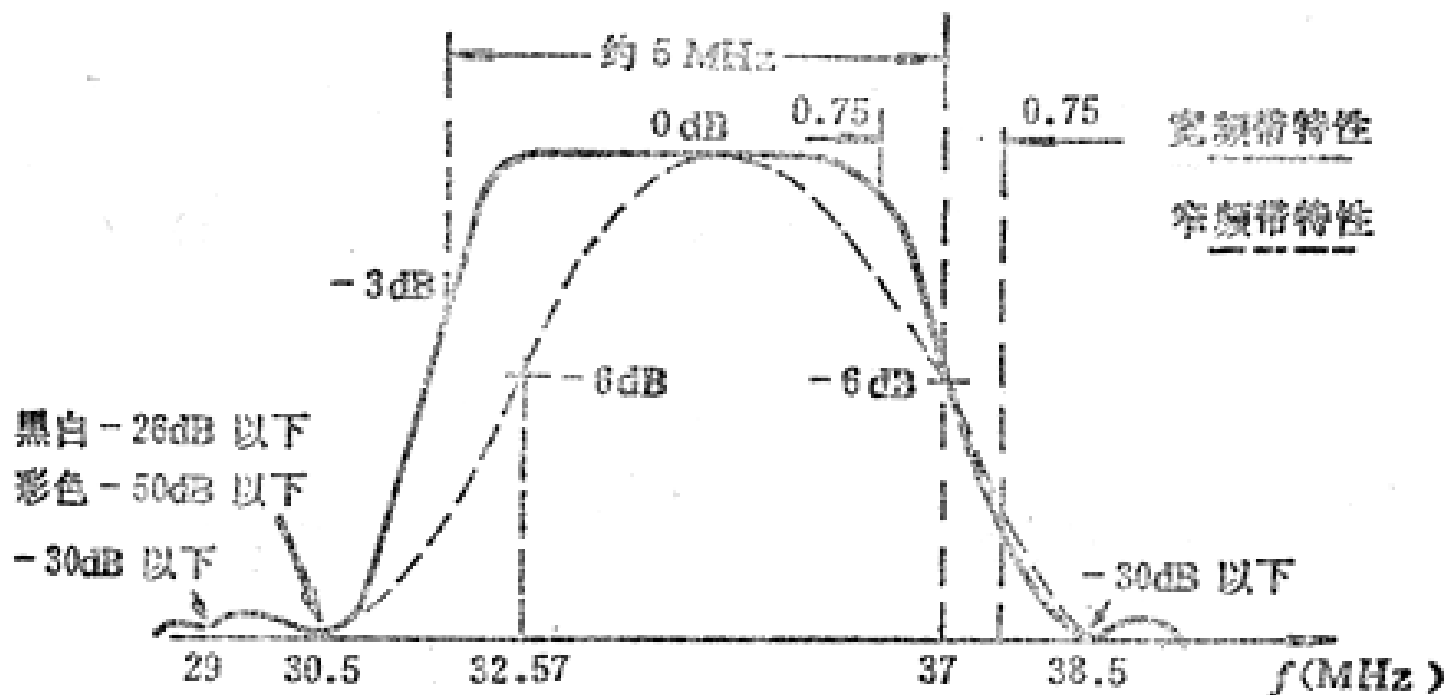
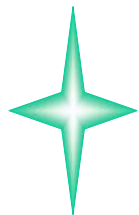
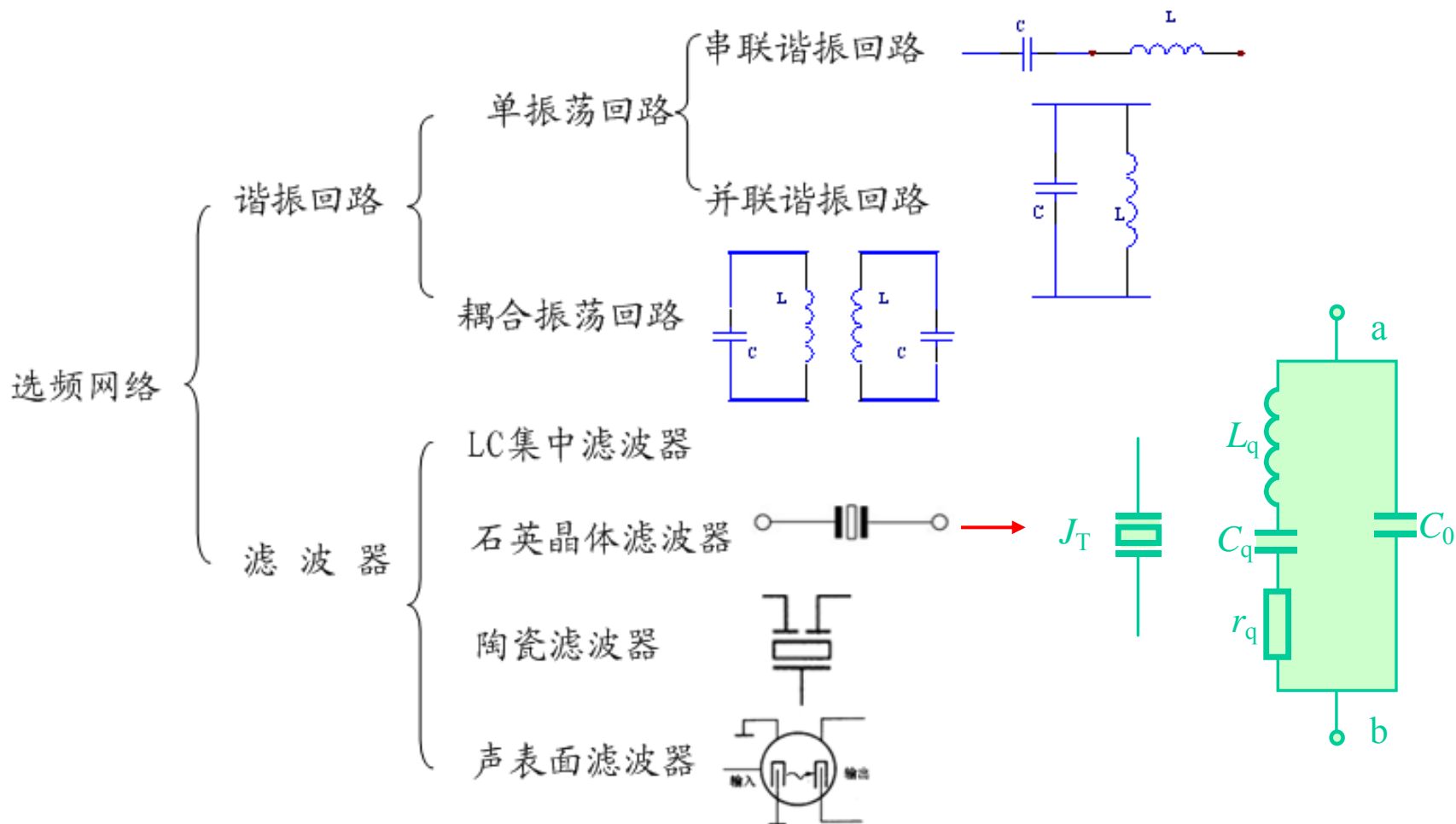


图5.3-3 中放幅频特性



第2章 通信电子线路分析基础

2.1 选频网络 —— 引言







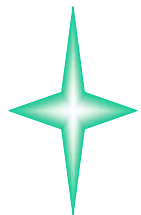
2.1.1-2.1.2 串联谐振+并联谐振

重 点

	串联谐振	并联谐振
谐振阻抗/特性阻抗	z / ρ	Y / ρ (R_p)
向量图(超前/滞后)	感性/容性	感性/容性
幅频曲线	$N(f)=I/I_0$	$N(f)=V/V_0$
f	f_0	f_p
B	$B=2\Delta f_{0.7}$	$B=2\Delta f_{0.7}$
品质因素 Q	空载 Q_0 ;有载 Q_L	空载 Q_p ;有载 Q_L
广义失谐 ξ	ξ	ξ
相频曲线	$\Phi_i(f)$	$\Phi_v(f)$

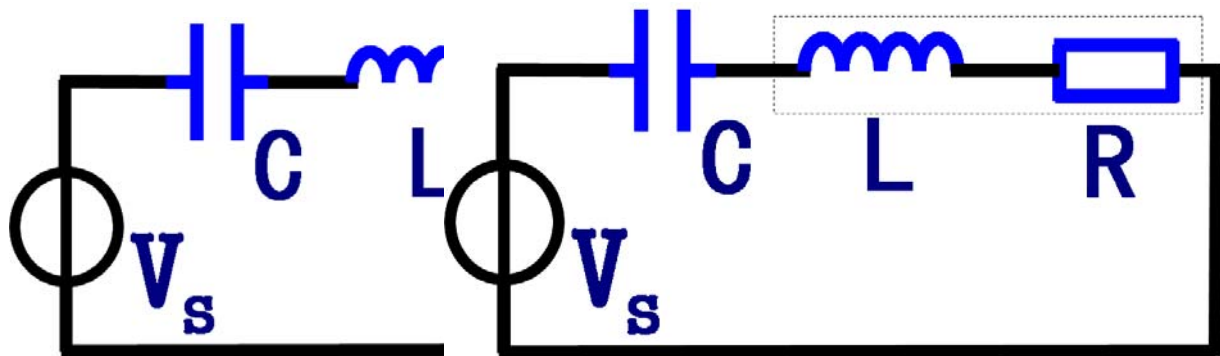
难点

选频



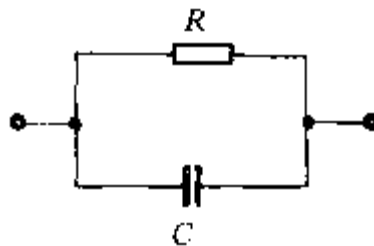
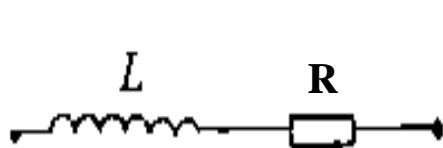
串联谐振（定义）

- 信号源 (串) 电容 (串) 电感 = 串联振荡回路。



电感器 = 电感 L + 损耗电阻 R 的串联

电容器 = 电容 C + 损耗电阻 R 的并联



通常，相对于电感线圈的损耗，电容的损耗很小，可以忽略不计。



2.1.1 串联谐振阻抗



- 要研究串联振荡回路的选频特性，需考察其阻抗随频率变化的规律。

感抗(电压超前)

$$j\omega L$$

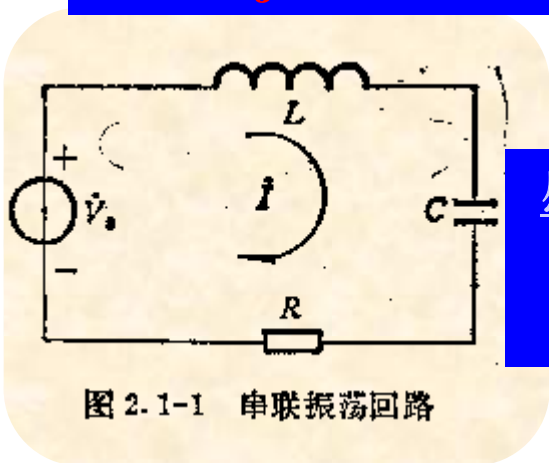
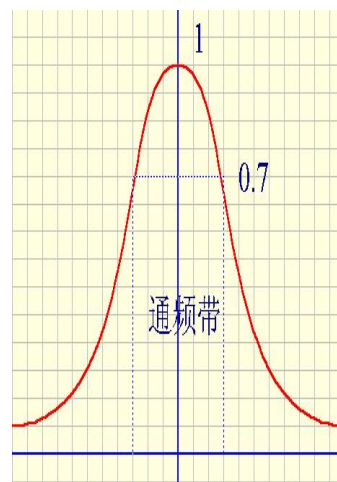


图 2.1-1 串联振荡回路

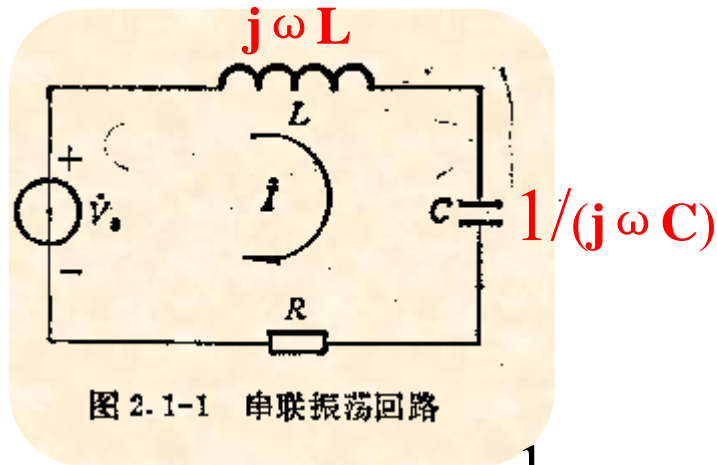
容抗(电流超前)

$$1/(j\omega C)$$

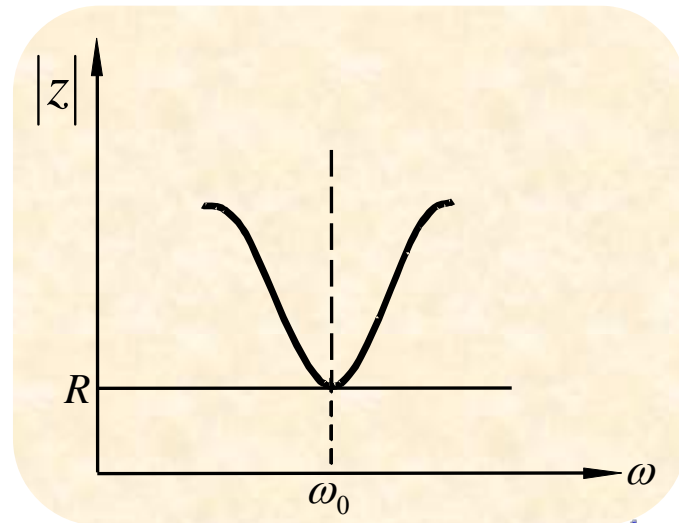
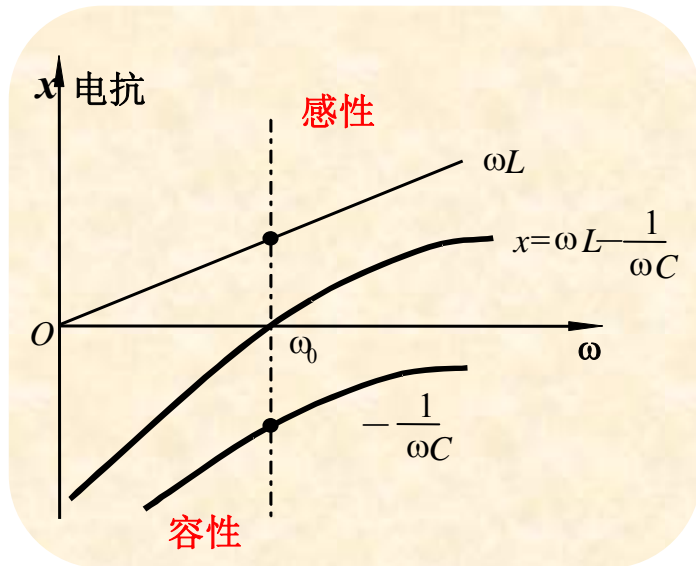


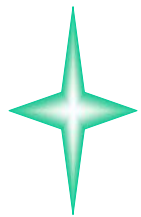
选频特性曲线

2.1.1 串联谐振的阻抗

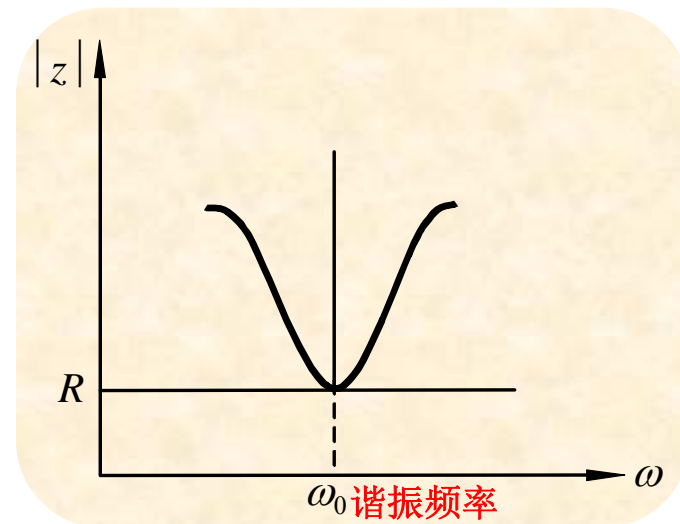
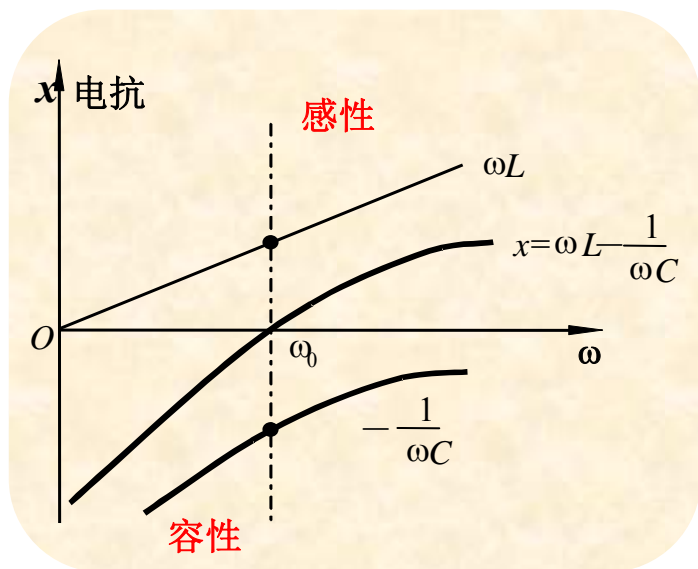


$$\text{阻抗 } z = R + jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad |Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$





2.1.1 串联谐振及谐振频率



串联单振荡回路的**谐振特性**：其阻抗在某一特定频率上具有最小值（**谐振状态**），而偏离此频率时将迅速增大。

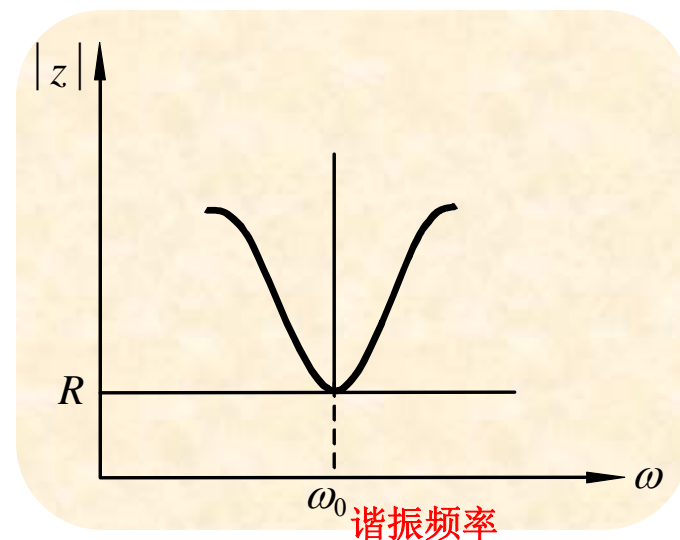
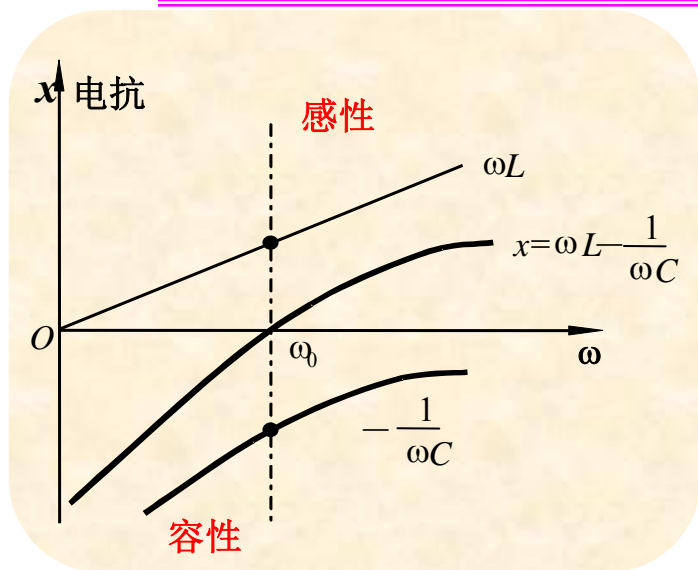
$$\text{谐振条件: } X = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

$$\text{即谐振频率 } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{或} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$





2.1.1 串联谐振及特性阻抗



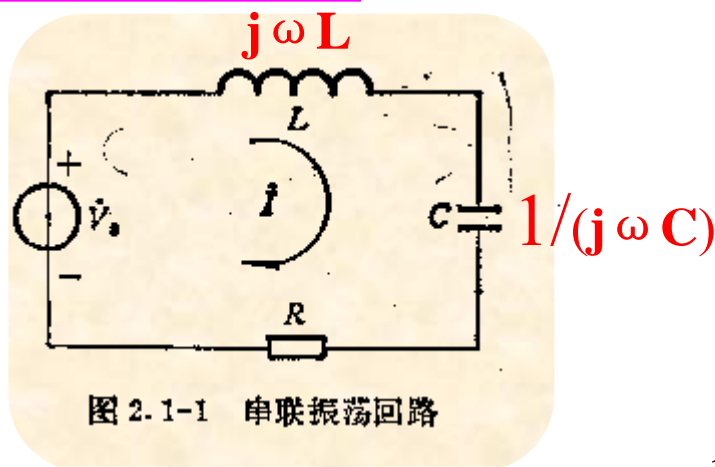
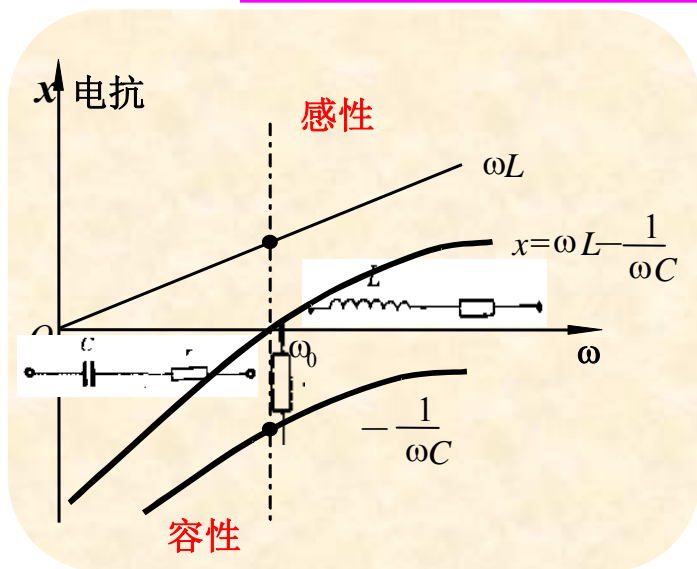
当回路谐振时的感抗或容抗，称之为**特性阻抗**。用 ρ 表示

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

$$\text{谐振条件: } X = \omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

$$\text{即谐振频率 } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

2.1.1 串联谐振（阻抗~频率： 感性 vs 容性）

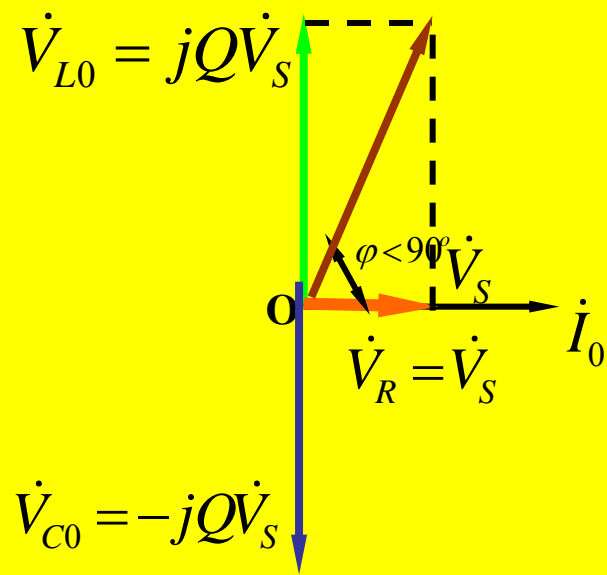


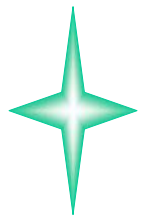
$$\text{阻抗 } z = R + jX = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

阻抗性质随频率变化的规律：

- 1) $\omega < \omega_0$ 时, $x < 0$ 呈容性;
- 2) $\omega > \omega_0$ 时, $x > 0$ 呈感性;
- 3) $\omega = \omega_0$ 时, $x = 0$ 呈纯阻性;

谐振时，电感、电容消失了！



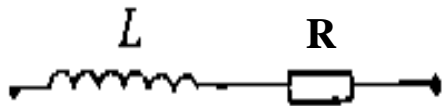


2.1.1 串联谐振—品质因素Q

注意：线圈Q与回路Q的区别

线圈的品质因数 $Q = \frac{\omega L}{R}$

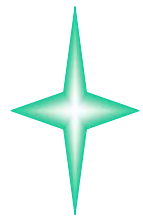
回路的品质因数 $Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\rho}{R}$



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \rho = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{回路的特性阻抗})$$

二者的不同点：回路Q限定于谐振时，线圈Q无此限制。

二者的相同点：都表示回路或线圈中的损耗。



2.1.1 串联谐振—品质因素Q

实际上，谐振时

$$\dot{V}_{L0} = \dot{I}_0 j\omega_0 L = \frac{\dot{V}_S}{R} j\omega_0 L = j \frac{\omega_0 L}{R} \dot{V}_S = jQ \dot{V}_S$$
$$\dot{V}_{C0} = \dot{I}_0 \frac{1}{j\omega_0 C} = \frac{\dot{V}_S}{R} \frac{1}{j\omega_0 C} = -j \frac{1}{\omega_0 CR} \dot{V}_S = -jQ \dot{V}_S$$

又因为

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

所以，

$$\dot{V}_{L0} = -\dot{V}_{C0}$$

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

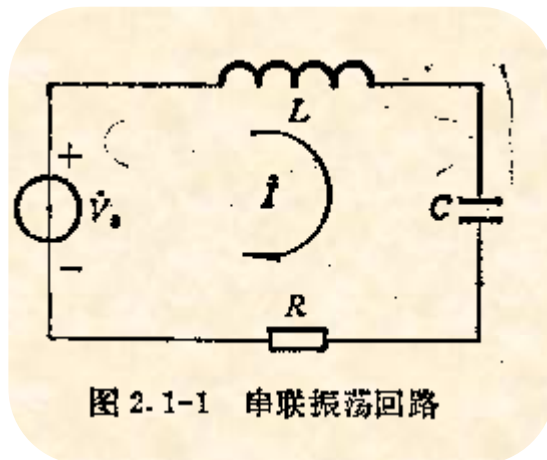
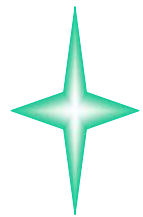


图 2.1-1 串联振荡回路

结论：串联谐振时，电感和电容两端的电压模值大小相等，且等于外加电压的Q倍——电压谐振

由于Q值较高，必须预先注意回路元件的耐压问题。



2.1.1 串联谐振—广义失谐 ξ

定义： 表示回路失谐大小的量

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{\text{(失谐时的电抗)} X}{\text{(电阻)} R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{\omega_0 L}{R} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \\ &= Q_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = Q_0 \left(\frac{(\omega + \omega_0)(\omega - \omega_0)}{\omega_0 \omega} \right)\end{aligned}$$

当谐振时： $\xi = 0$

当失谐不大时，即 $\omega \approx \omega_0$ ：

$$\xi \approx Q_0 \cdot \frac{2\Delta\omega}{\omega_0} = Q_0 \cdot \frac{2\Delta f}{f_0}$$

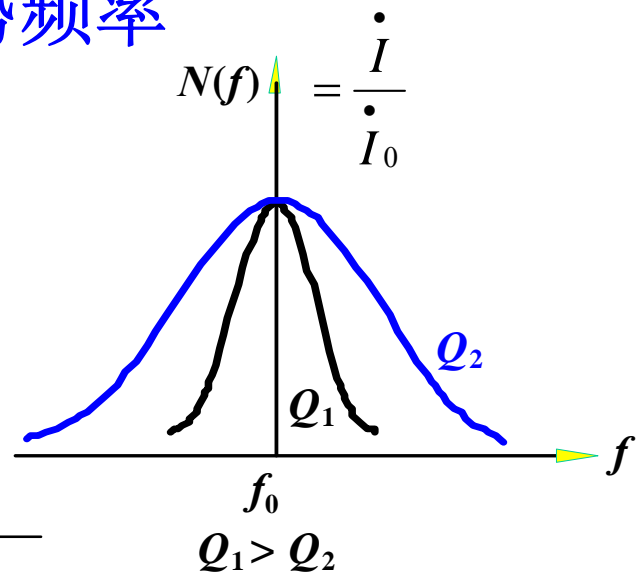
2.1.1 串联谐振—幅频曲线 $N(f)$



定义 $N(f)$ ：电流幅值 vs. 外加电动势频率

$$N(f) = \frac{\text{失谐处电流 } \dot{I}}{\text{谐振点电流 } \dot{I}_0}$$

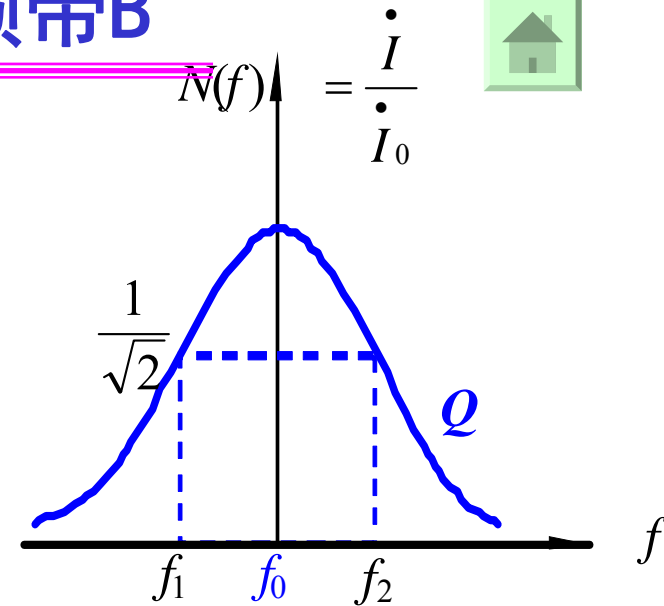
$$\begin{aligned} &= \frac{\frac{\dot{V}_s}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}}{\frac{\dot{V}_s}{R}} = \frac{R}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})} \\ &= \frac{1}{1 + j \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}} = \frac{1}{1 + j\xi} \end{aligned}$$



2.1.1 串联谐振—通频带B

定义：回路电流 I 下降到 I_0 的0.707时所对应的频率范围

$$B = 2\Delta f_{0.7} = |f_2 - f_1|$$



幅频曲线： $N(f) = \frac{1}{1 + j\xi}$

$$|N(f)| = \left| \frac{\dot{I}}{\dot{I}_0} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \left. \begin{array}{l} \xi = \pm 1 \\ \text{当 } 2\Delta f_{0.7} \text{ 时} \end{array} \right\}$$

广义失谐： $\xi \approx Q_0 \cdot \frac{2\Delta f}{f_0}$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \approx Q_0 \cdot \frac{2\Delta f_{0.7}}{f_0} \\ 1 \approx Q_0 \cdot \frac{B}{f_0} \end{array} \right\}$$



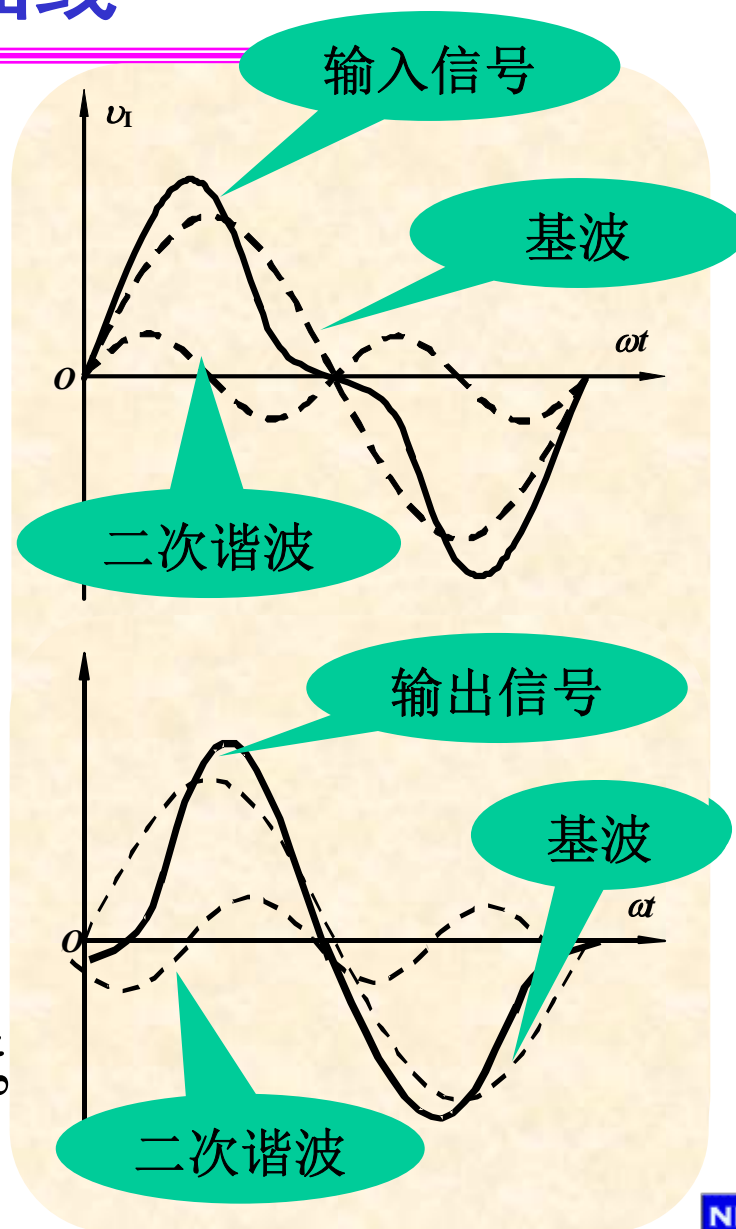
2.1.1 相频曲线

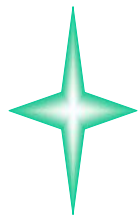
由于人耳听觉对于相位特性引起的信号失真不敏感，早期的无线电通信在传递声音信号时，对于相频特性并不重视。

近代无线电技术中，普遍遇到数字信号与图像信号的传输问题，在这种情况下，相位特性失真要严重影响通信质量。

$$\dot{N}(\omega) = \frac{\dot{I}(\omega)}{\dot{I}(\omega_0)} = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} = N(\omega)e^{j\psi(\omega)}$$

$$\psi = -\arctg Q \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = -\arctg \xi$$





2.1.1 相频曲线

$$\psi = -\arctg Q \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = -\arctg \xi$$

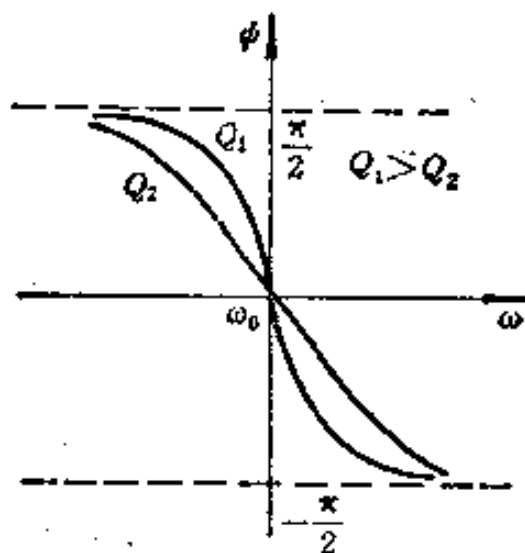


图 2.1-7 串联振荡回路的相频特性曲线

由图可见， Q 值愈大，相频特性曲线在谐振频率 ω_0 附近的变化愈陡峭。但是，线性度变差，或者说，线性范围变窄。



2.1.1 信号源内阻及负载的影响

考虑信号源内阻 R_S 和负载电阻 R_L 后，

等效品质因数 Q_L $\uparrow \downarrow ?$

由于回路总的损耗增大，回路 Q 值将下降

$$Q_L = \frac{\omega_0 L}{R + R_S + R_L} = \frac{Q_0}{1 + \frac{R_S}{R} + \frac{R_L}{R}}$$

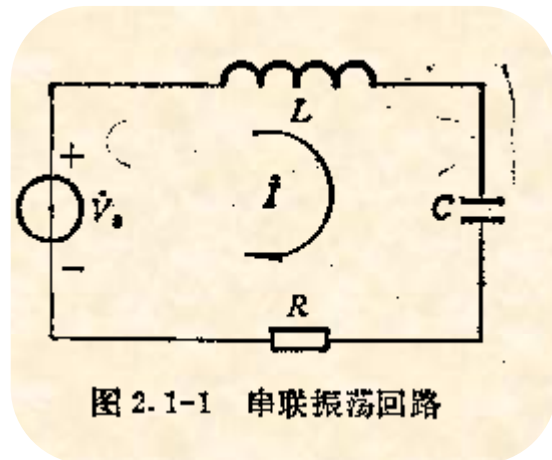
- 无载 Q 值(或空载 Q 值)：用 Q_0 表示

没有接入信号源内阻和负载电阻时回路本身的 Q 值

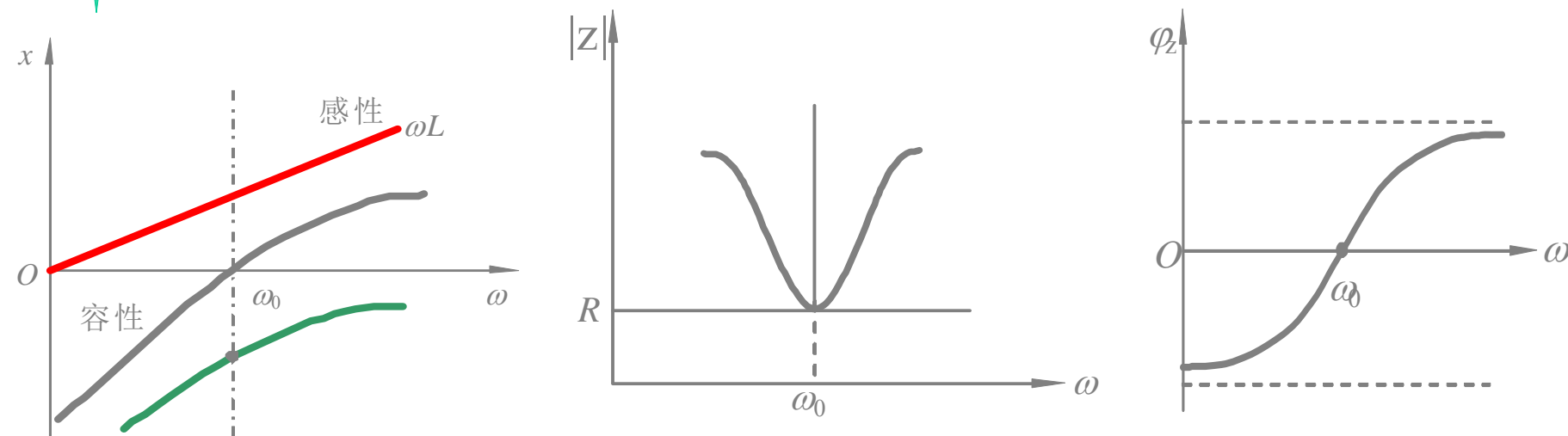
- 有载 Q 值：用 Q_L 表示

接入信号源内阻和负载电阻时的 Q 值

结论：由于 Q_L 值低于 Q_0 ，因此考虑信号源内阻及负载电阻后，串联谐振回路的通频带加宽，选择性降低。



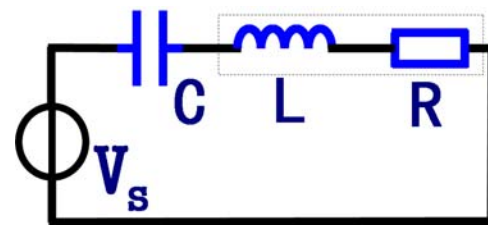
2.1.1 串联谐振 小结



1. 谐振时，回路阻抗值最小，即 $Z=R$ ；当信号源为电压源，回路电流最大，即 $I_0 = \frac{V_s}{R}$ ，具有带通选频特性： $Q \cdot B \approx f$

2. 阻抗性质随频率变化的规律：

- 1) $\omega < \omega_0$ 时， $x < 0$ 呈容性；
- 2) $\omega = \omega_0$ 时， $x = 0$ 呈纯阻性；
- 3) $\omega > \omega_0$ 时， $x > 0$ 呈感性。

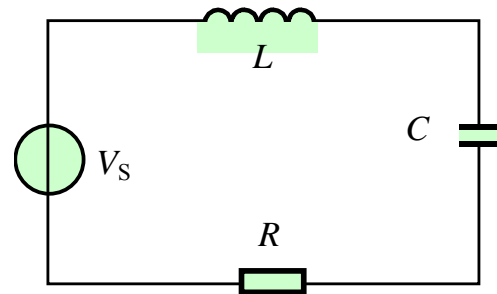


2.1.1 串联谐振 例题

如图，设给定串联谐振回路的 $f_0=1\text{MHz}$ ， $Q_0=50$ ，若输出电流超前信号源电压相位 45° ，试求：

- (1) 信号源频率 f 是多少？输出电流相对于谐振时衰减了多少分贝？
- (2) 现要在回路中的再串联一个元件，使回路处于谐振状态，应该加入何种元件，并定性分析元件参数的求法。

分析：



本题考查串联谐振回路基本参数与特性，及其在失谐时的特性。

该题应该从“输出电流超前信号源电压 45° ”入手，针对失谐时的回路阻抗，具体分析输出电压与信号源的角度关系。

解：

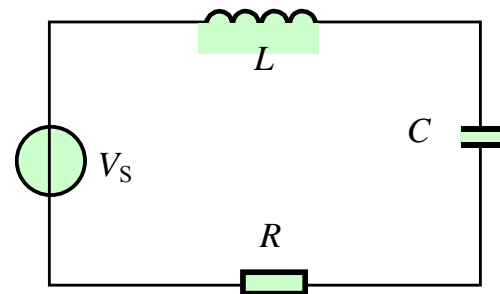
(1) 串联谐振回路中，输出电流超前 45° ： $i = \frac{\dot{V}_s}{R + j(\omega L - 1/\omega C)}$



因此有， $45^\circ = -\arctan \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$ $\frac{\omega L - 1/\omega C}{R} = -1$

则当回路处于谐振状态时， $i_0 = \frac{\dot{V}_s}{R}$

因而， $\left| \frac{i}{i_0} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{\omega L - 1/\omega C}{R})^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (-1)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ $\left| \frac{i}{i_0} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$



即信号源频率处于回路通频带边缘，由通频带的定义可知：

由已知条件 $f_0 = 1\text{MHz}$ ， $Q = 50$ ，得 $B = \frac{f_0}{Q} = \frac{1}{50} = 0.02\text{MHz}$

又由已知条件知回路失谐状态时，呈容性，即 $f < f_0$ ，

$$f = f_0 - \Delta f = 0.99\text{MHz} = 990\text{kHz}$$

因为， $\left| \frac{i}{i_0} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 根据分贝定义， $20\log \left| \frac{i}{i_0} \right| = 20\log \frac{1}{\sqrt{2}} = -3\text{dB}$

即输出电流相当于谐振时衰减了3dB。



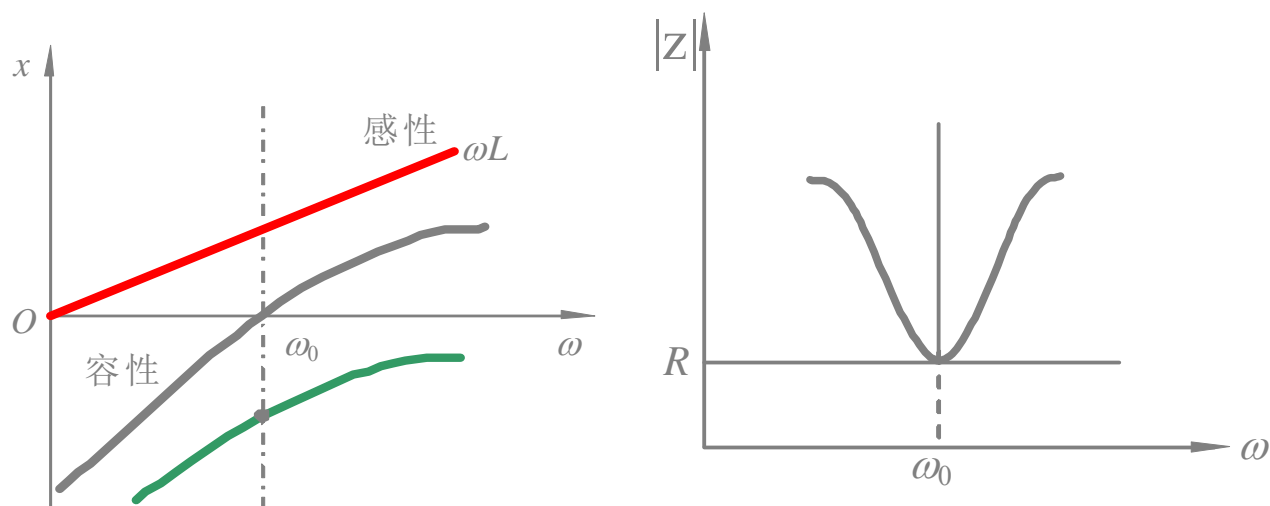
(2)

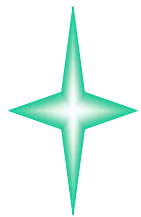
由上一问可知 $\omega < \omega_0$ ，回路呈现容性，

根据题设，为使回路达到谐振状态，只须回路中增加一个电感元件即可。

根据谐振条件，假设加入的电感为 L' ，则有，

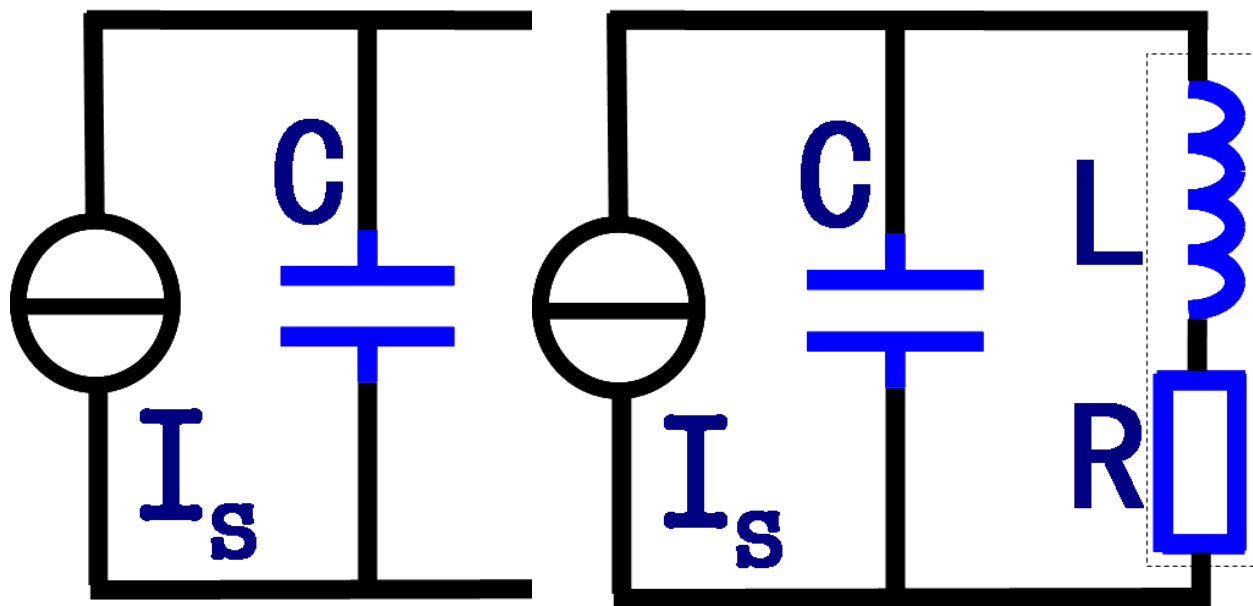
$$\omega_0(L + L') = \frac{1}{\omega_0 C}$$



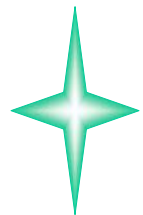


并联谐振（定义）

- 信号源 (并) 电容 (并) 电感 = 串联振荡回路。



同理，仅计电感线圈的损耗，忽略电容的损耗



2.1.2 并联谐振回路

2.1.2 概述

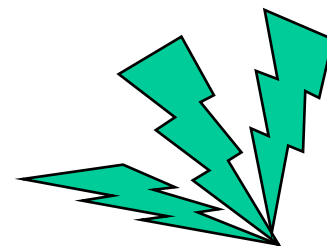
2.1.2-1 回路阻抗

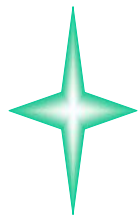
2.1.2-2 谐振频率

2.1.2-3 品质因素

2.1.2-6/7/8 谐振曲线、相频特性曲线和通频带

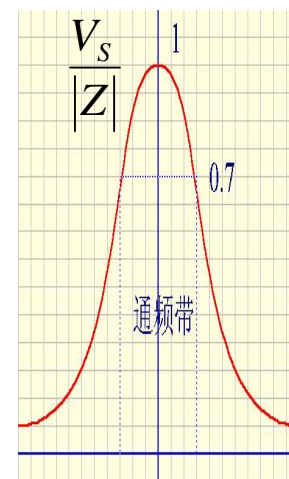
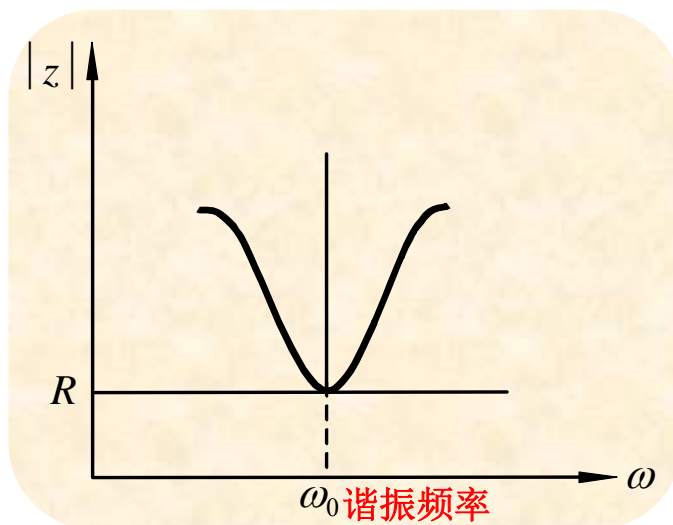
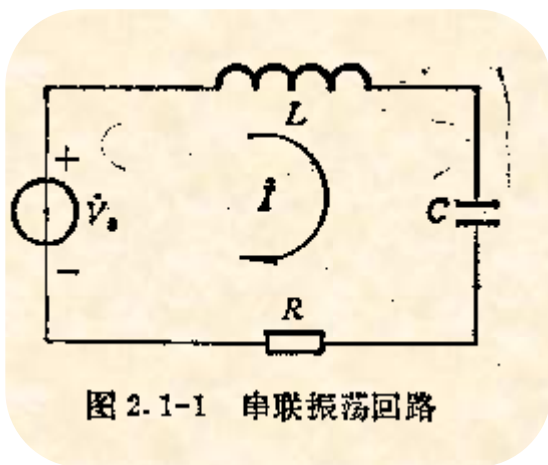
2.1.2-8 信号源内阻及负载对并联谐振回路的影响





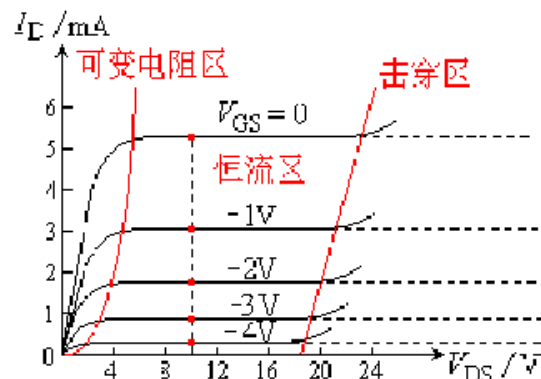
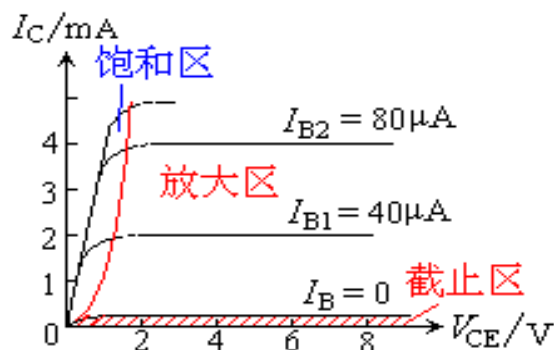
2.1.2 概述

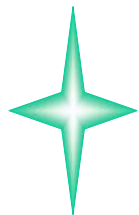
前面讨论了串联谐振回路的谐振特性和频率特性



选频特性曲线

但是在高频电子线路中，信号源多为工作于放大区的有源器件（晶体管、场效应管），基本上可看做恒流源。





2.1.2 概述

这种情况下，宜采用并联谐振回路

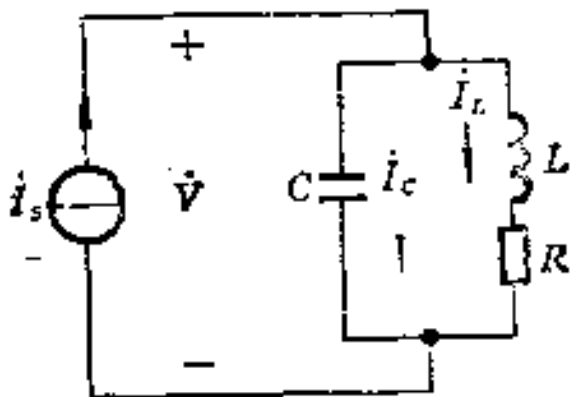


图 2.2-1 并联振荡回路

注意：回路中电阻 R 是电感线圈损耗的等效电阻。

同样，要研究并联振荡回路的选频特性，可以考察其阻抗随频率变化的规律。



2.1.2-1 回路阻抗

回路总的阻抗

$$Z = \frac{(R + j\omega L) \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{(R + j\omega L) \frac{1}{j\omega C}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$
$$\approx \frac{\frac{1}{C}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{1}{\frac{CR}{L} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)}$$

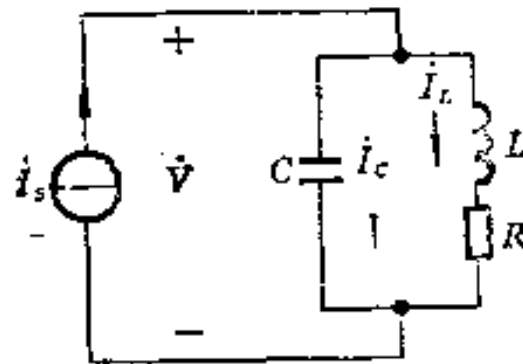


图 2.2-1 并联振荡回路

通常，损耗电阻**R**在工作频段内满足：

$$R \ll \omega L \quad \text{或高} Q$$

采用导纳分析并联振荡回路及其等效电路比较方便，为此引入并联振荡回路的导纳。



2.1.2-1 回路阻抗

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

$$= \frac{1}{\frac{CR}{L} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)}$$

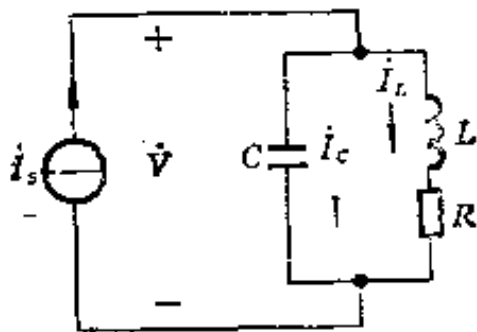


图 2.2-1 并联振荡回路

高 Q

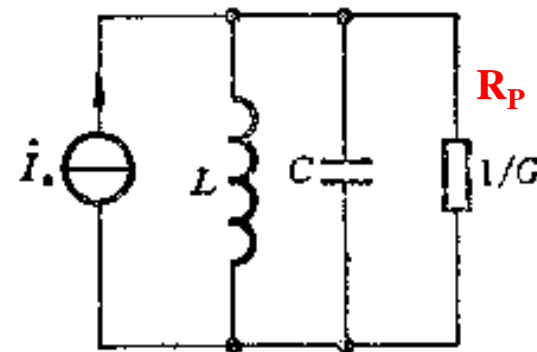


图 2.2-2 并联振荡回路

回路总导纳

$$Y = G + jB = \frac{CR}{L} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

式中电导 G 和电纳 B 分别为

$$G = \frac{CR}{L} \quad B = \omega C - \frac{1}{\omega L}$$

$$B = \omega C - \frac{1}{\omega L}$$

2.1.2-2 谐振频率

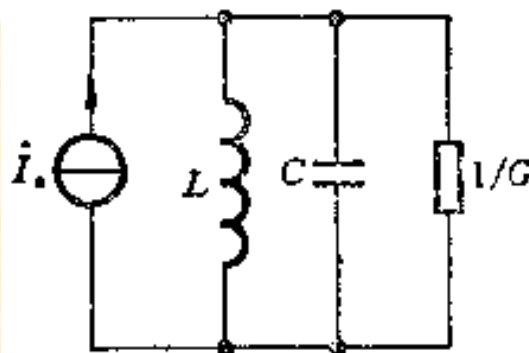
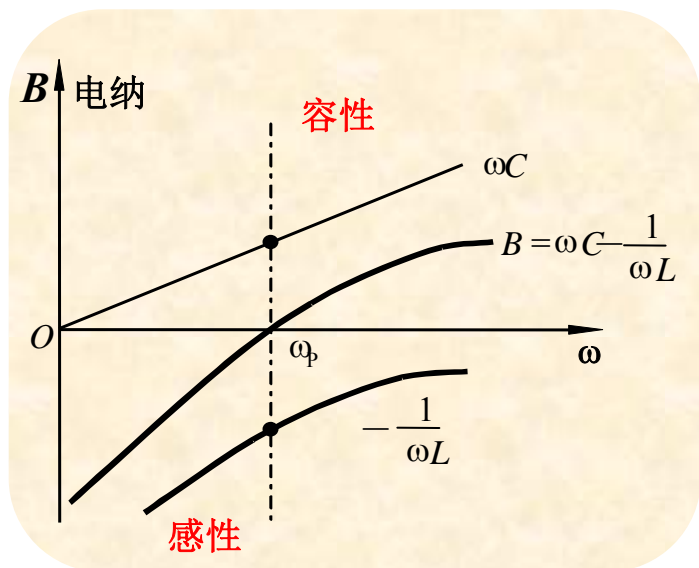
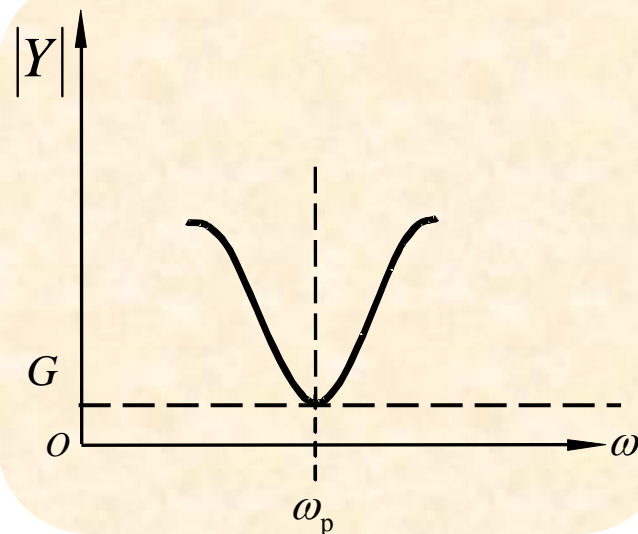


图 2.2-2 并联振荡回路



并联单振荡回路的**谐振特性**：其导纳在某一特定频率上具有最小值（**谐振状态**），而偏离此频率时将迅速增大。

谐振条件：
$$B = \omega C - \frac{1}{\omega L} = 0$$

即信号频率
$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{或} \quad f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



2.1.2-2 谐振频率

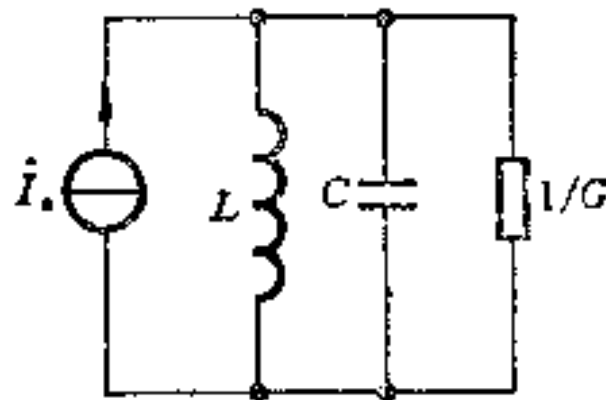
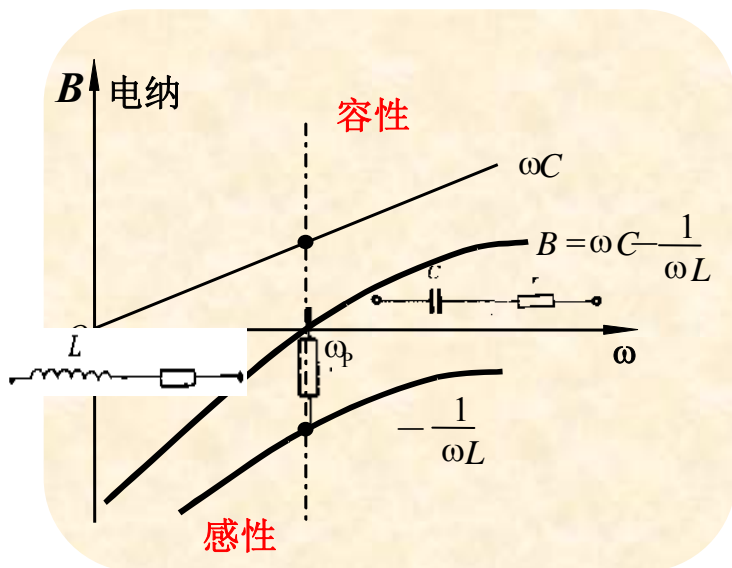


图 2.2-2 并联振荡回路

$$\text{导纳 } Y = G + jB = \frac{CR}{L} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

1. 阻抗性质随频率变化的规律:

- 1) $\omega < \omega_p$ 时, $B < 0$ 呈感性;
- 2) $\omega = \omega_p$ 时, $B = 0$ 呈纯阻性;
- 3) $\omega > \omega_p$ 时, $B > 0$ 呈容性。



2.1.2-3 品质因素

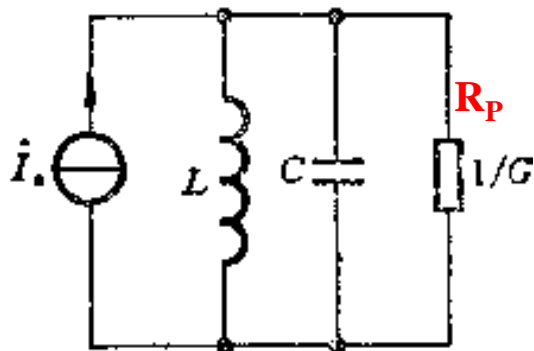


图 2.2-2 并联振荡回路

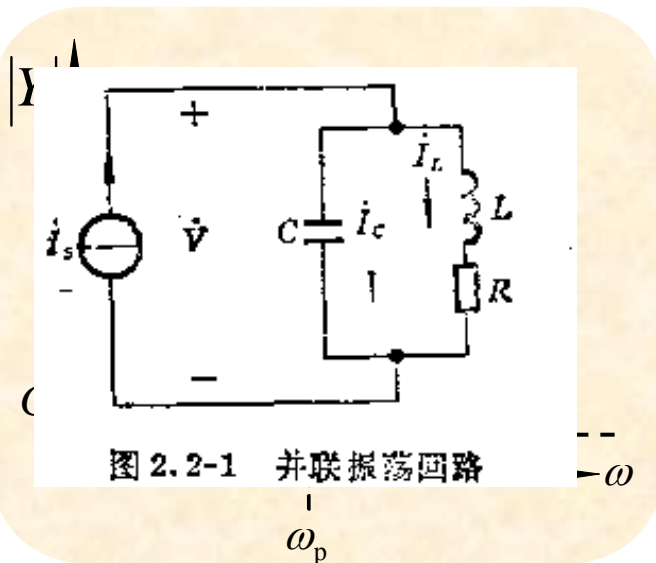
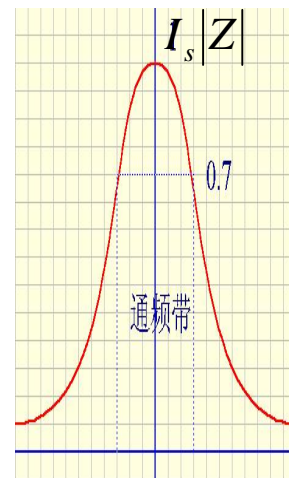


图 2.2-1 并联振荡回路



选频特性曲线

2. 谐振时，回路阻抗值最大，即 $R_p = \frac{1}{G} = \frac{L}{CR}$ ；
当信号源为电流源时，回路电压最大，
即 $\dot{V}_p = \dot{I}_s R_p$ ，具有带通选频特性。

$$Q_p = \frac{\omega_p L}{R} = \frac{1}{\omega_p CR} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R} = \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \cdot \frac{L}{R} = \frac{R_p}{\omega_p L} = R_p \omega_p C$$



2.1.2-3 品质因素

谐振时

$$\dot{I}_{Cp} = j\omega_p C \cdot \dot{V}_p = j\omega_p C \cdot \dot{I}_s \cdot R_p = jQ_p \dot{I}_s$$

$$Q_p = \frac{R_p}{\omega_p L} = R_p \omega_p C$$

电感线圈支路的电流可以借助
向量图求得。

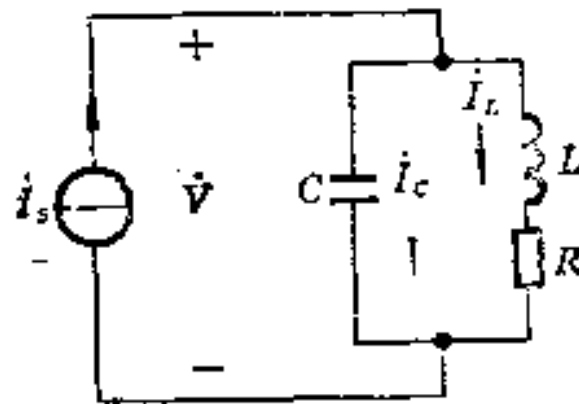
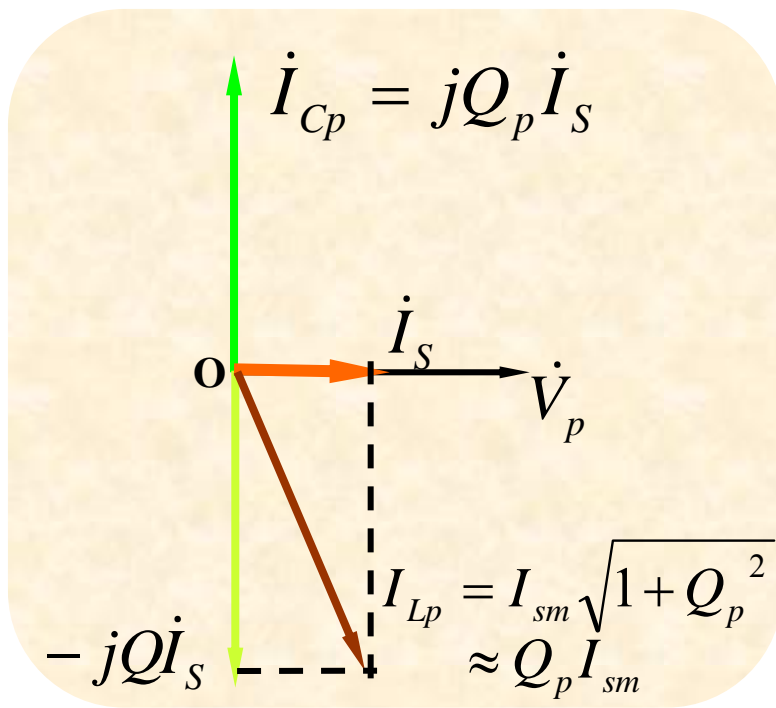


图 2.2-1 并联振荡回路



2.1.2-3 品质因素

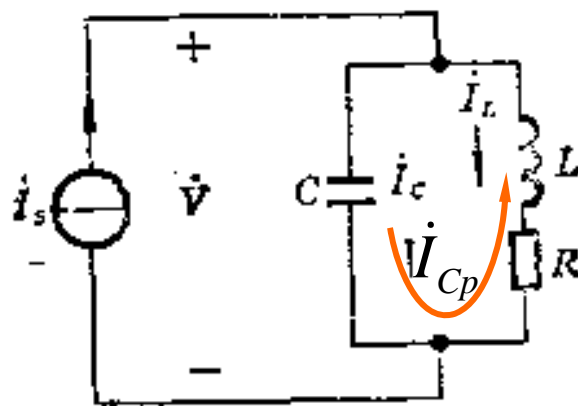
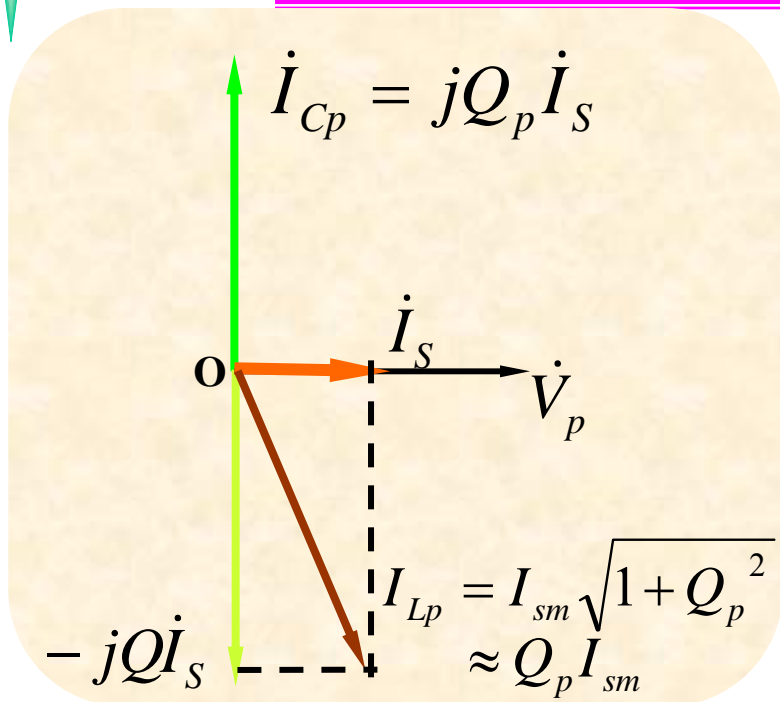


图 2.2-1 并联振荡回路

3. 并联谐振时，流经电感和电容的电流模值大小相近，方向相反，且约等于外加电流的 Q 倍；**LCR**回路的状态与串联谐振回路相似。

$$Q_p = \frac{\omega_p L}{R} = \frac{1}{\omega_p C R} \quad \dot{V}_{Rp} = \dot{I}_{Lp} R \approx -jQ_p \dot{I}_s \cdot R = -\dot{I}_s \cdot j\omega_p L$$

$$\dot{V}_{Lp} = \dot{I}_{Lp} j\omega_p L \quad \dot{V}_{Cp} = \dot{I}_{Cp} \frac{1}{j\omega_p C}$$

2.1.2 谐振特性

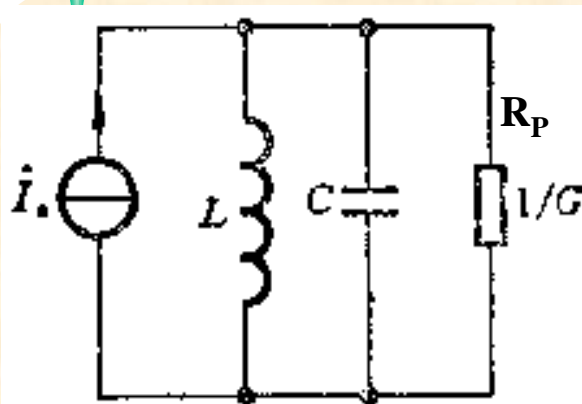
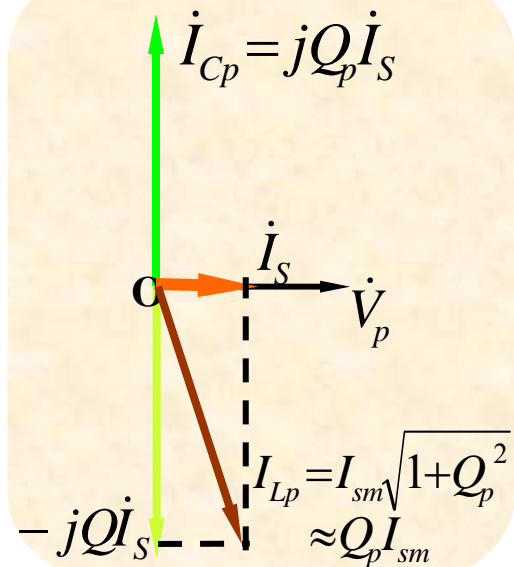
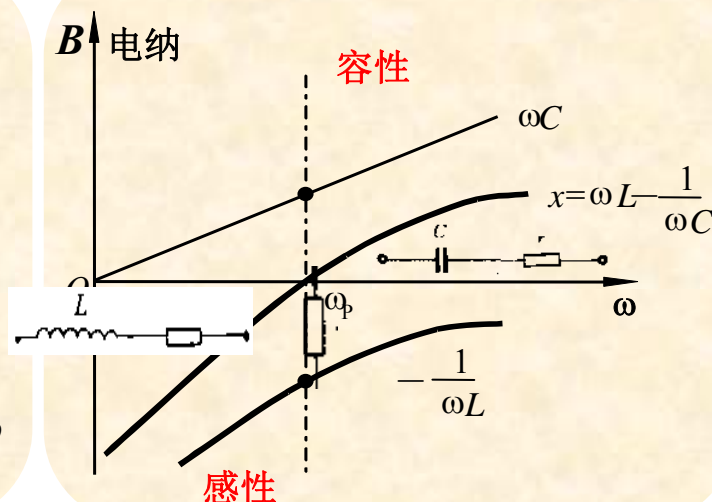


图 2.2-2 并联振荡回路

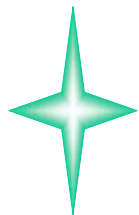


总结： 1. 谐振时，回路阻抗值最大；当信号源为电流源时，回路电压最大，即 $\dot{V}_p = \dot{I}_s R_p$ ，具有带通选频特性。

2. 阻抗性质随频率变化的规律：

- 1) $\omega < \omega_p$ 时， $B < 0$ 呈感性；
- 2) $\omega = \omega_p$ 时， $B = 0$ 呈纯阻性；
- 3) $\omega > \omega_p$ 时， $B > 0$ 呈容性。

3. 并联谐振时，流经电感和电容的电流模值大小相近，方向相反，且约等于外加电流的Q倍。



2.1.2-5/6 谐振曲线和通频带

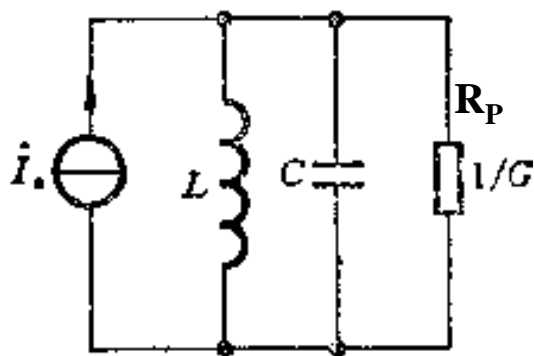
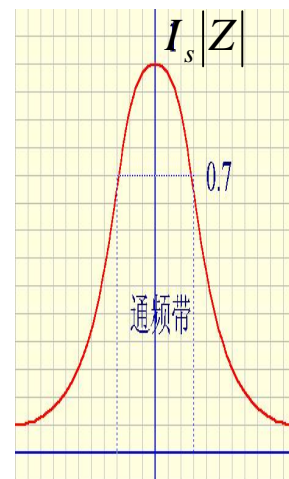
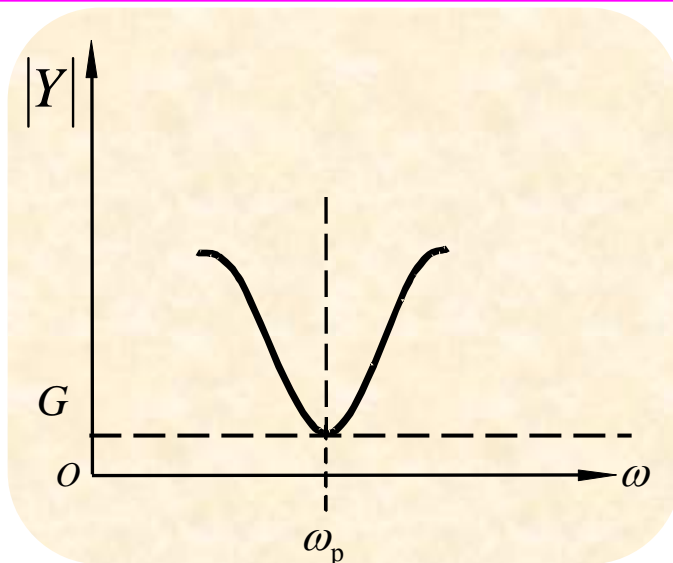


图 2.2-2 并联振荡回路



选频特性曲线

回路中电压幅值与外加电流频率之间的关系曲线称为谐振曲线。

因此，表示谐振曲线的函数为

$$\dot{N}(\omega) = \frac{\dot{V}(\omega)}{\dot{V}(\omega_0)} = \frac{\frac{\dot{I}_s}{G_p + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})}}{\frac{\dot{I}_s}{G_p}} = \frac{G_p}{G_p + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})}$$



2.1.2-5/6 谐振曲线和通频带

$$\begin{aligned}\dot{N}(\omega) &= \frac{\dot{V}(\omega)}{\dot{V}(\omega_0)} = \frac{G_p}{G_p + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})} = \frac{1}{1 + j \frac{R_p}{\omega_p L} (\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega})} \\ &= \frac{1}{1 + j Q_p (\frac{\omega}{\omega_p} - \frac{\omega_p}{\omega})} = N(\omega) e^{j\psi(\omega)}\end{aligned}$$

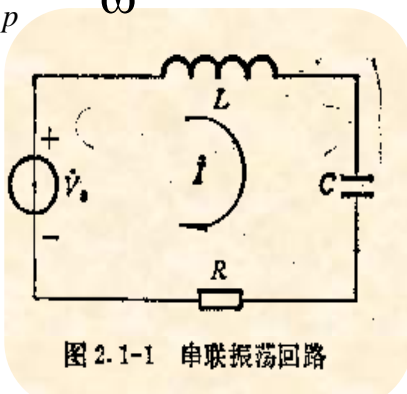


图 2.1-1 串联振荡回路

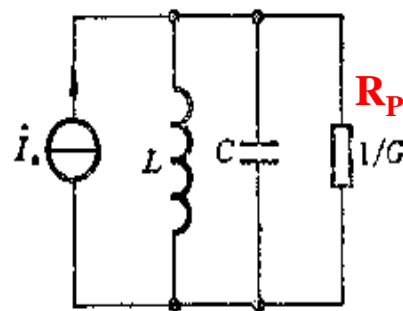
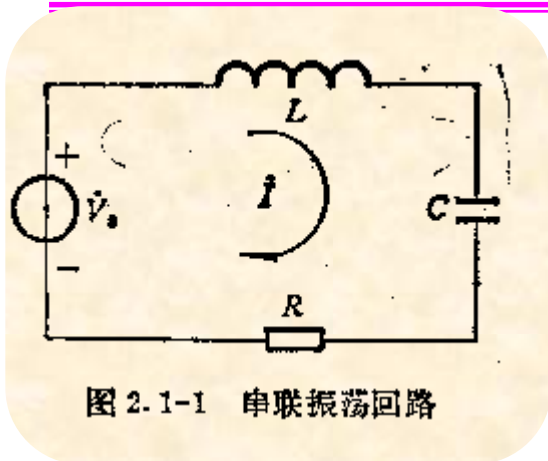


图 2.2-2 并联振荡回路

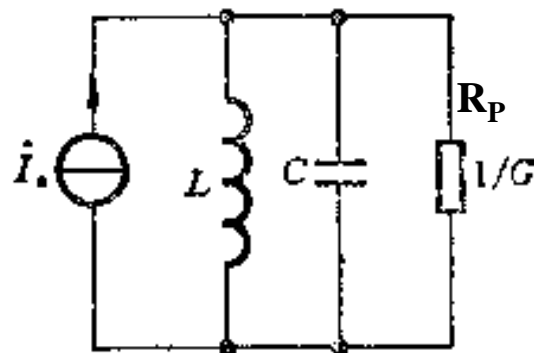
可见，对串联和并联谐振回路而言，回路形式是对偶的，谐振曲线是相似的。因此，关于串联谐振回路频率选择性和通频带的结论，对并联谐振回路同样适用。只是要注意到其中具体参数和变量的对偶关系。

串、并联谐振回路的对偶关系



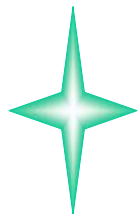
在串联谐振回路中

电阻	r
电感	L
电容	C
rLC	串联
电压源	U_s
阻抗	Z
电流	I
元件上电压	



在并联谐振回路中

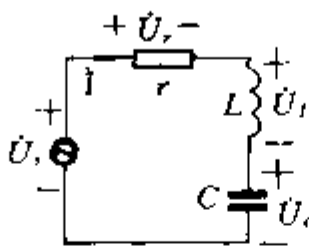
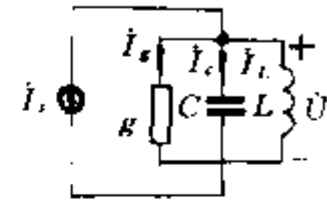
电导	g
电容	C
电感	L
gCL	并联
电流源	I_s
导纳	Y
电压	U
元件中电流	



串、并联谐振回路的对偶关系



表 1.2-1 串、并联谐振回路的特性

		串联谐振回路	并联谐振回路
电路形式			
特性阻抗		$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$	
谐振频率		$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	
品质因数		$Q = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 C r} = \frac{\rho}{r}$	$Q = \frac{\omega_0 C}{g} = \frac{1}{\omega_0 L g} = \frac{1}{\rho g}$
阻抗导纳表示式		$Z = r \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$	$Y = g \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]$
阻抗性质	$f < f_0 (\varepsilon < 0)$	电容性	电感性
	$f = f_0 (\varepsilon = 0)$	$Z = r$ 电阻性, 极小值	$Z = \frac{1}{g}$ 电阻性, 极大值
	$f > f_0 (\varepsilon > 0)$	电感性	电容性



串、并联谐振回路的对偶关系

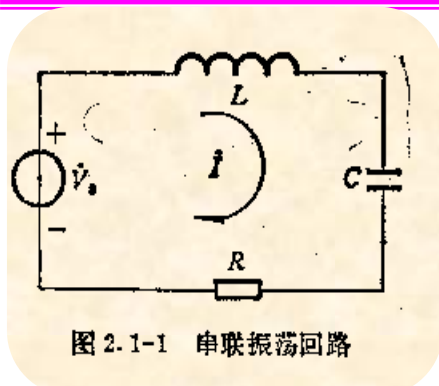


图 2.1-1 串联振荡回路

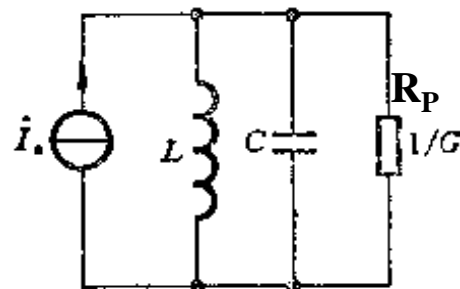
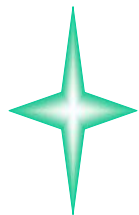


图 2.2-2 并联振荡回路

谐振时元件上的电压或通过元件的电流		$U_r = U_s$	$I_s = I_0$
		$U_L = jQ U_s$	$I_C = jQ I_0$
		$U_C = -jQ U_s$	$I_L = -jQ I_0$
频率特性		$N(f) = \frac{I}{I_0}$	$N(f) = \frac{U}{U_0}$
	幅频特性	$N(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}}$	
	相频特性	$\psi = -\arctan Q \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$	
	通频带	$B = \frac{f_0}{Q}$	



2.1.2-8 信号源内阻及负载的影响

考虑信号源内阻 R_S 和负载电阻 R_L 后，由于回路总的损耗增大，回路 Q 值将下降，称其为**等效品质因数** Q_L 。

$$\begin{aligned} Q_L &= \frac{1}{\omega_p L (G_P + G_S + G_L)} \\ &= \frac{1}{\frac{\omega_p L}{R_P} \left(1 + \frac{R_P}{R_S} + \frac{R_P}{R_L} \right)} \\ &= \frac{Q_p}{\left(1 + \frac{R_P}{R_S} + \frac{R_P}{R_L} \right)} \end{aligned}$$

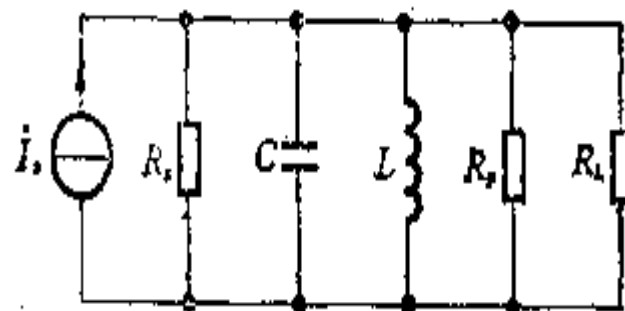


图 2.2-7 考虑 R_s 和 R_L 后的并联振荡回路

由于 Q_L 值低于 Q_p ，因此考虑信号源内阻及负载电阻后，并联谐振回路的选择性变坏，通频带加宽。

例2-1：有一并联谐振回路如图，并联回路的无载 Q 值

$Q_p = 80$ ，谐振电阻 $R_p = 25\text{k}\Omega$ ，谐振频率 $f_o = 30\text{MHz}$ ，

信号源电流幅度 $I_s = 0.1\text{mA}$

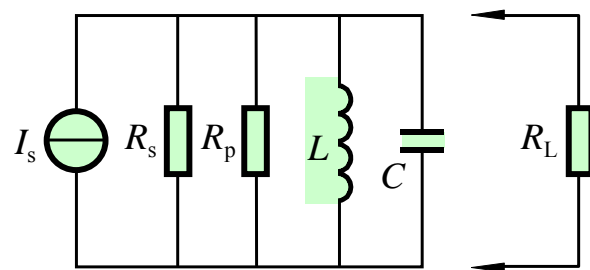
(1) 若信号源内阻 $R_s = 10\text{k}\Omega$ ，当负载电阻 R_L 不接时，

问通频带 B 和谐振时输出电压幅度 V_o 是多少？

(2) 若 $R_s = 6\text{k}\Omega$ ， $R_L = 2\text{k}\Omega$ ，求此时的通频带 B 和 V_o 是多少？

解：(1) $\because R_s = 10\text{k}\Omega$ ，

$$\therefore v_o = I_s \cdot \frac{R_s \times R_p}{R_s + R_p} = 0.1\text{mA} \times \frac{10 \times 25}{10 + 25} \text{k}\Omega = 0.72\text{V}$$



$$\text{而 } Q_L = \frac{Q_o}{1 + \frac{R_p}{R_s}} = \frac{80}{1 + \frac{25}{10}} \approx 23$$

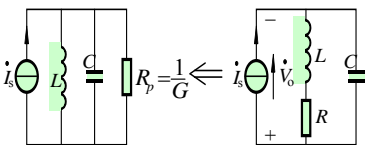
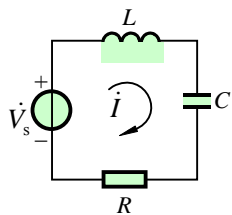
$$\therefore B = \frac{f_o}{Q_L} = \frac{30}{23} = 1.3\text{MHz}$$

$$(2) \quad \because R_s = 6\text{k}\Omega \quad R_L = 2\text{k}\Omega$$

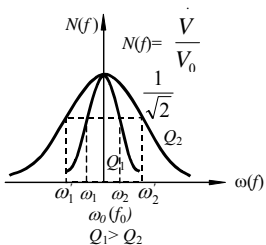
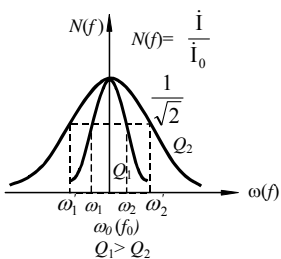
$$V_o = I_s \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_L}} = 0.1 \times \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{1}{6} + \frac{1}{2}} \approx 0.14\text{V}$$

$$\because Q_L = \frac{Q_o}{1 + \frac{R_p}{R_s} + \frac{R_p}{R_L}} = \frac{80}{1 + \frac{25}{6} + \frac{25}{2}} \approx 4.5 \quad \therefore B = \frac{f_o}{Q_L} = \frac{30}{4.5} = 6.7\text{MHz}$$

故并联电阻愈小，即 Q_L 越低，通带愈宽。



谐振曲线:



	串联谐振回路	并联谐振回路
阻抗或导纳	$z = R + jx = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = z e^{j\varphi_z}$	$Y = \frac{1}{z} = \frac{CR}{L} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) = G + jB$
谐振频率	$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
品质因数 Q	$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 R} = \frac{\rho}{R} = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$	$Q_p = \frac{\omega_p L}{R} = \frac{R_p}{\omega_p L} = \frac{R_p}{\rho} = R_p \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$
广义失谐系数 ξ :	$\xi = \frac{(\text{失谐时的抗})X}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$ $= \frac{\omega_0 L}{R} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = Q_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$	$\xi = \frac{B(\text{失谐时的电纳})}{G(\text{谐振时的电导})} = \frac{\omega C - \frac{1}{\omega L}}{G}$ $= \frac{\omega_p C}{G} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = Q_p \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$
通频带	$B = 2\Delta f_{0.7} = \frac{f_0}{Q_0}$	$2\Delta f_{0.7} = \frac{f_p}{Q_p} = B$
相频特性曲线		
失谐时阻抗特性	$\omega > \omega_0, x > 0$ 回路呈感性 $\omega < \omega_0, x < 0$ 回路呈容性	$\omega > \omega_p, B > 0$ 回路呈容性 $\omega < \omega_p, B < 0$ 回路呈感性
谐振电阻	最小 $= R$	最大 $R_p = \frac{L}{RC}$
有载 Q 值	$Q_L = \frac{\omega_0 L}{R + R_s + R_L}$	$Q_L = \frac{Q_p}{1 + \frac{R_p}{R_s} + \frac{R_p}{R_L}}$

Q & A