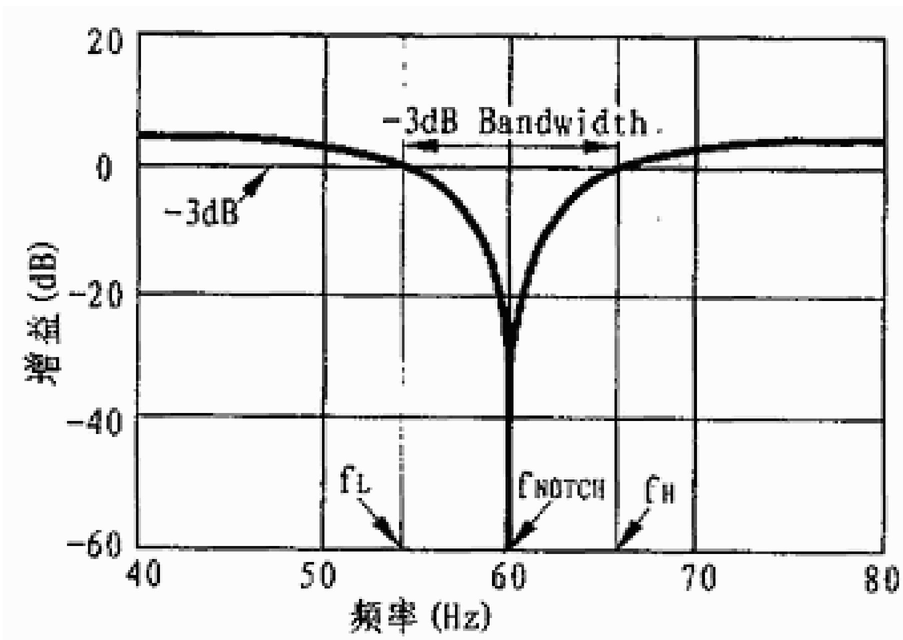
串谐 与 并谐

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

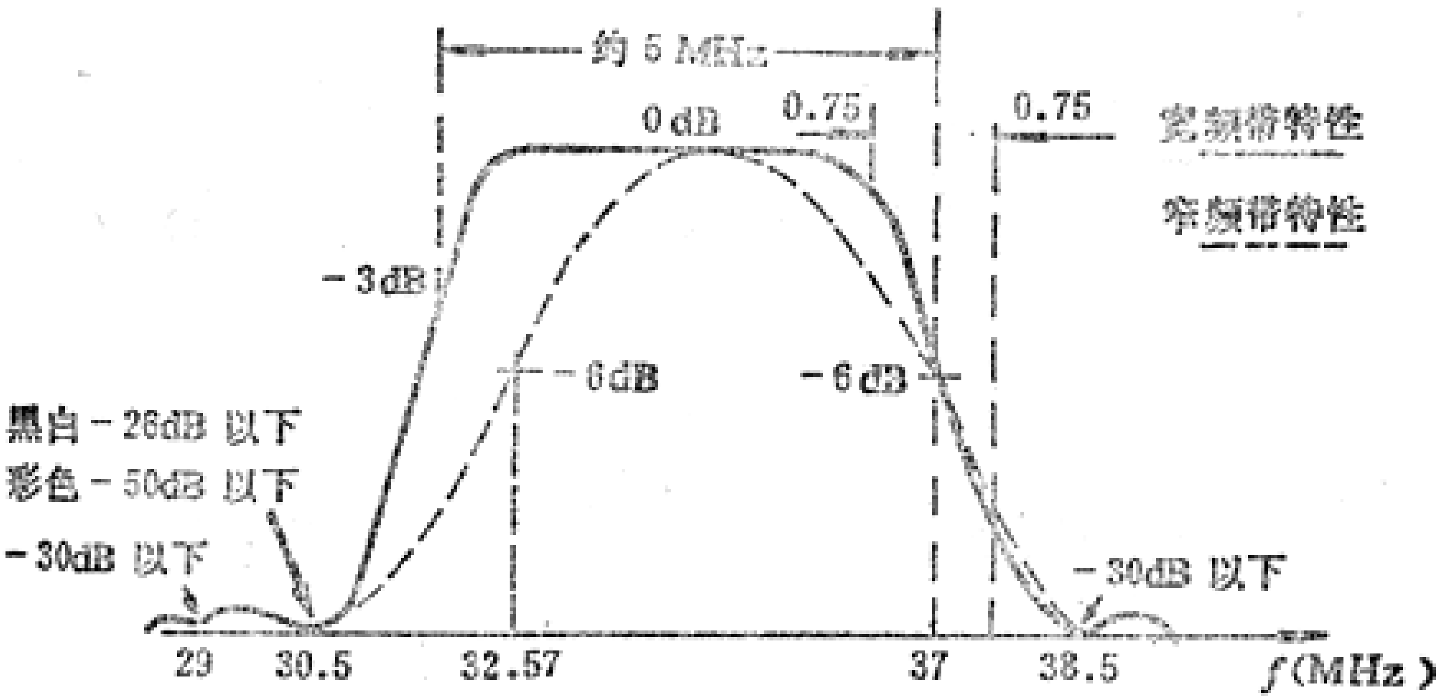
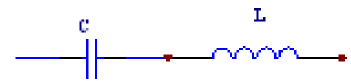


图5.3-3　中放幅频特性

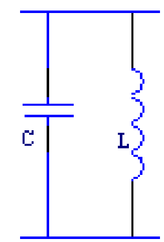
第2章 通信电子线路分析基础

2.1 选频网络 ——引言

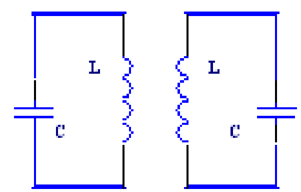
- 选频网络
  - 谐振回路
    - 单振荡回路
      - 串联谐振回路



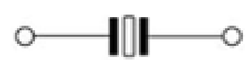
      - 并联谐振回路

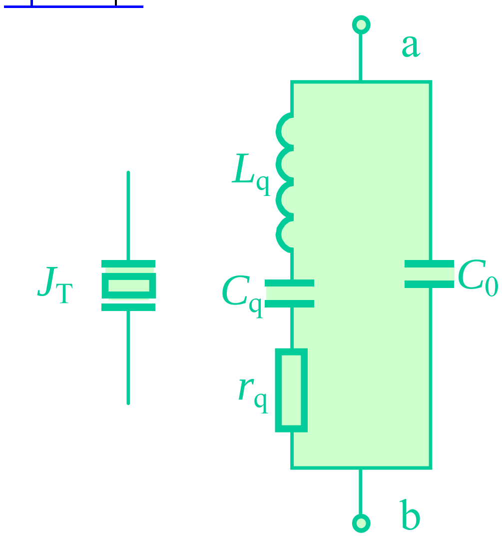


    - 耦合振荡回路

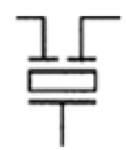


  - 滤 波 器
    - LC集中滤波器
    - 石英晶体滤波器

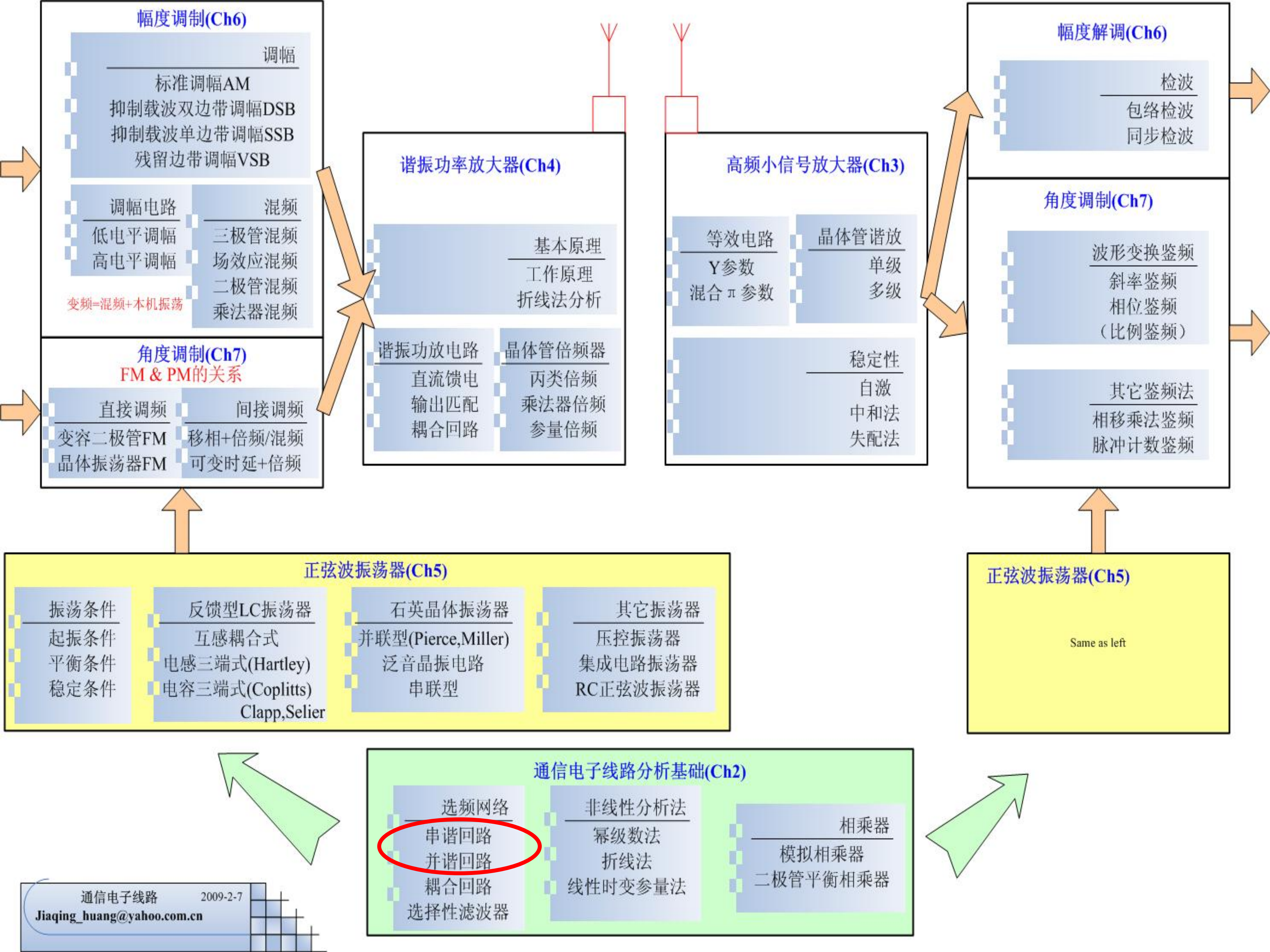




    - 陶瓷滤波器



    - 声表面滤波器



幅度调制(Ch6)
调幅
标准调幅AM
抑制载波双边带调幅DSB
抑制载波单边带调幅SSB
残留边带调幅VSB
调幅电路
低电平调幅
高电平调幅
混频
三极管混频
场效应混频
二极管混频
乘法器混频
变频=混频+本机振荡
角度调制(Ch7)
FM & PM的关系
直接调频
变容二极管FM
晶体振荡器FM
间接调频
移相+倍频/混频
可变时延+倍频
谐振功率放大器(Ch4)
基本原理
工作原理
折线法分析
谐振功放电路
直流馈电
输出匹配
耦合回路
晶体管倍频器
丙类倍频
乘法器倍频
参量倍频
高频小信号放大器(Ch3)
等效电路
Y参数
混合π参数
晶体管谐放
单级
多级
稳定性
自激
中和法
失配法
幅度解调(Ch6)
检波
包络检波
同步检波
角度调制(Ch7)
波形变换鉴频
斜率鉴频
相位鉴频
（比例鉴频）
其它鉴频法
相移乘法鉴频
脉冲计数鉴频
正弦波振荡器(Ch5)
振荡条件
起振条件
平衡条件
稳定条件
反馈型LC振荡器
互感耦合式
电感三端式(Hartley)
电容三端式(Coplitts)
Clapp,Selier
石英晶体振荡器
并联型(Pierce,Miller)
泛音晶振电路
串联型
其它振荡器
压控振荡器
集成电路振荡器
RC正弦波振荡器
正弦波振荡器(Ch5)
Same as left
通信电子线路分析基础(Ch2)
选频网络
串谐回路
并谐回路
耦合回路
选择性滤波器
非线性分析法
幂级数法
折线法
线性时变参量法
相乘器
模拟相乘器
二极管平衡相乘器
通信电子线路
2009-2-7
Jiaqing_huang@yahoo.com.cn

2.1.1-2.1.2 串联谐振＋并联谐振

重　点

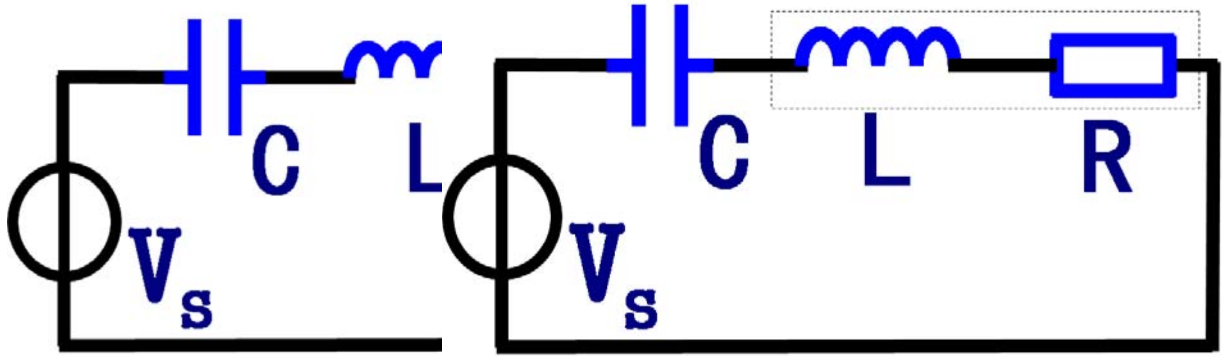
	串联谐振	并联谐振
谐振阻抗/特性阻抗	z / ρ	Y / ρ (R_p)
向量图(超前/滞后)	感性/容性	感性/容性
幅频曲线	$N(f)=I/I_0$	$N(f)=V/V_0$
f	f_0	f_p
B	$B=2\Delta f_{0.7}$	$B=2\Delta f_{0.7}$
品质因素Q	空载Q_0;有载Q_L	空载Q_p;有载Q_L
广义失谐 ξ	ξ	ξ
相频曲线	$\Phi_i(f)$	$\Phi_v(f)$

难点

选频

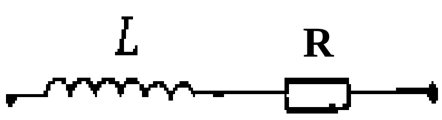
串联谐振（定义）

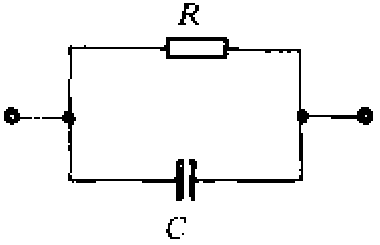
- 信号源 (串) 电容 (串) 电感＝串联振荡回路。



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)

$j\omega L$

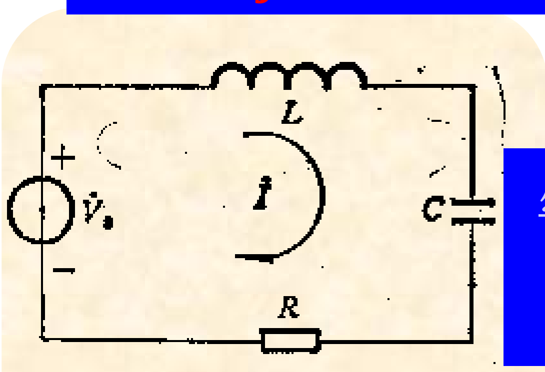
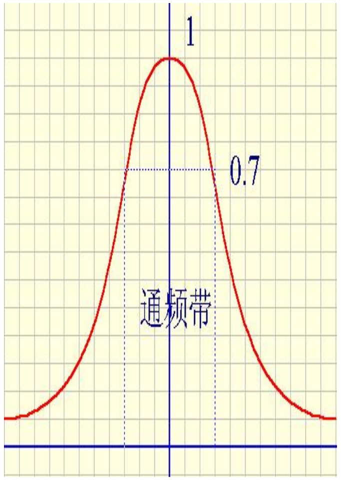


图 2.1-1 串联振荡回路

感抗(电流超前)

$1/(j\omega C)$



选频特性曲线

NEXT

2.1.1 串联谐振的阻抗

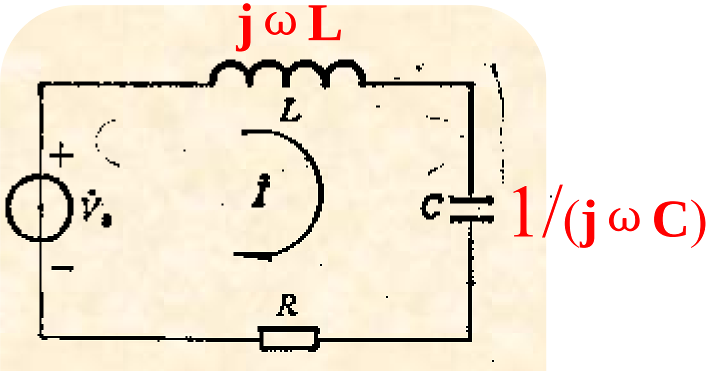
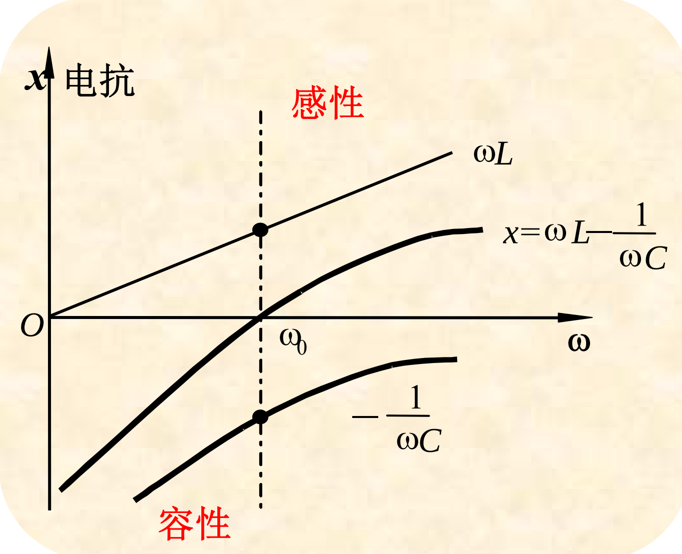
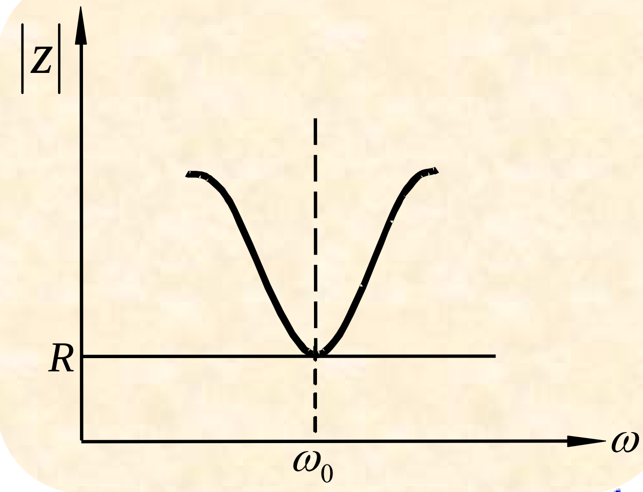


图 2.1-1 串联振荡回路

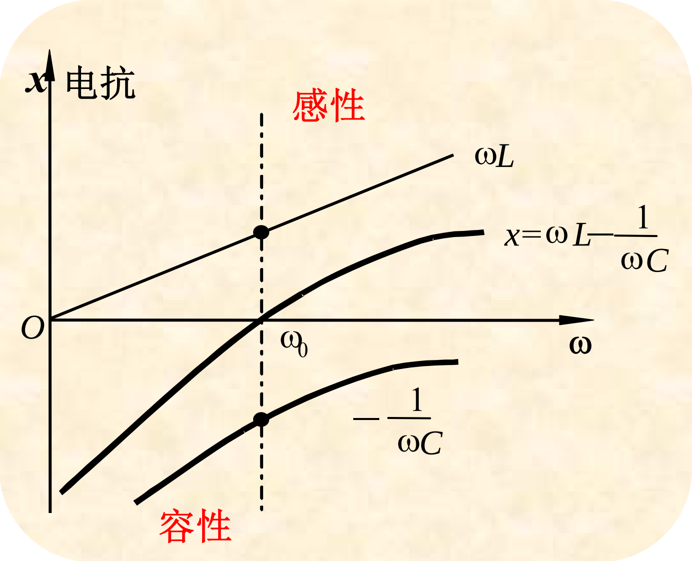
阻抗 $z = R + jX = R + j(\omega L - \dfrac{1}{\omega C})$ $\quad |Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$

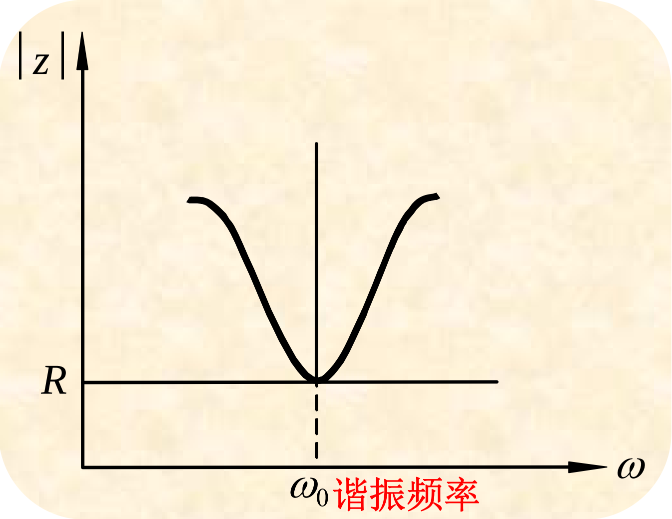




BACK NEXT

2.1.1 串联谐振及谐振频率





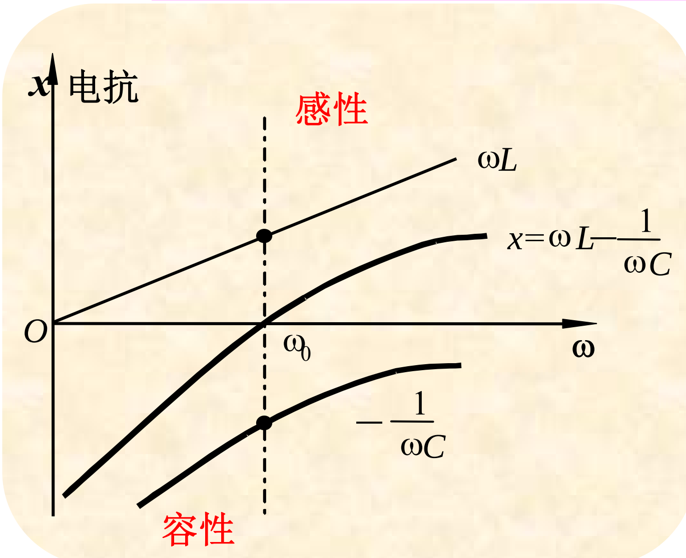
串联单振荡回路的谐振特性：其阻抗在某一特定频率上具有最小值（谐振状态），而偏离此频率时将迅速增大。

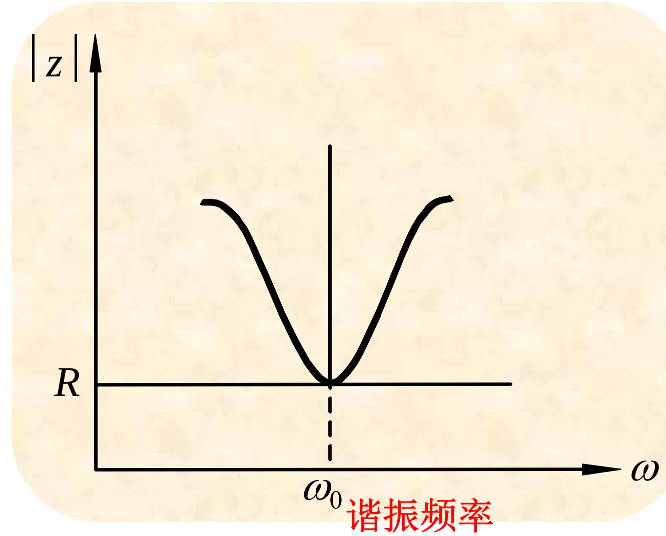
$$谐振条件: X=\omega_0 L-\frac{1}{\omega_0 C}=0$$

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

BACK

2.1.1 串联谐振及特性阻抗





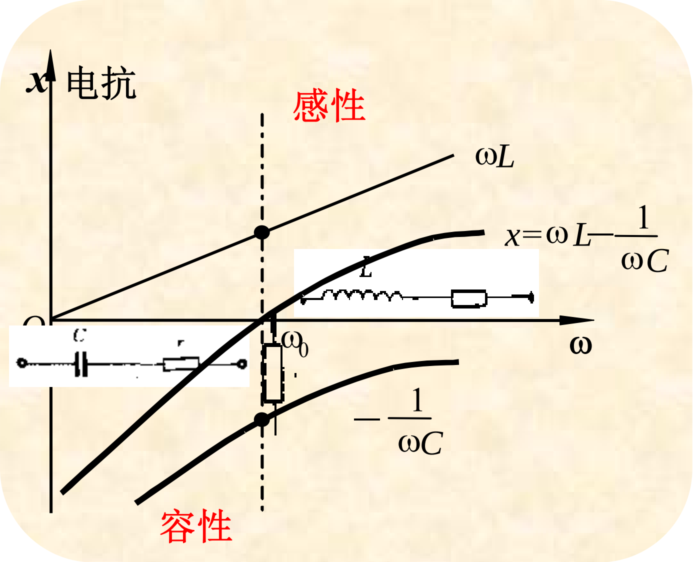
当回路谐振时的感抗或容抗，称之为**特性阻抗**。用ρ表示

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

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

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）



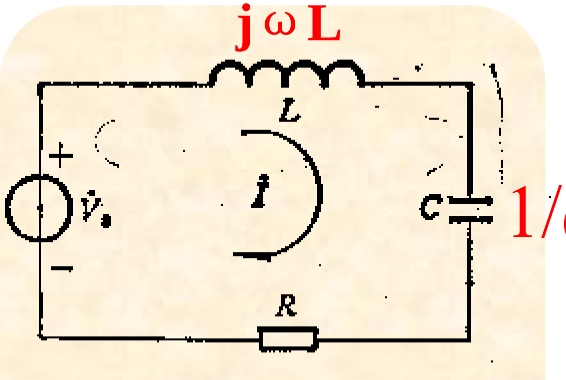


图 2.1-1　串联振荡回路

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

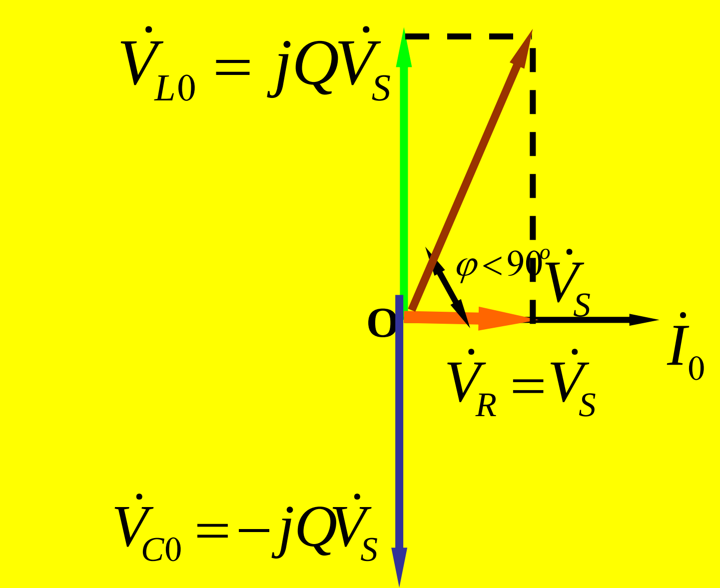
阻抗性质随频率变化的规律：

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；

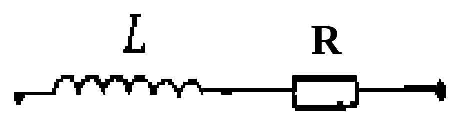
谐振时，电感、电容消失了！



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 $Q = \dfrac{\omega L}{R}$



回路的品质因数 $\boxed{Q = \dfrac{\omega_o L}{R} = \dfrac{1}{\omega_o CR}}\boxed{= \dfrac{1}{R} \cdot \sqrt{\dfrac{L}{C}} = \dfrac{\rho}{R}}$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad \rho = \omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$ (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

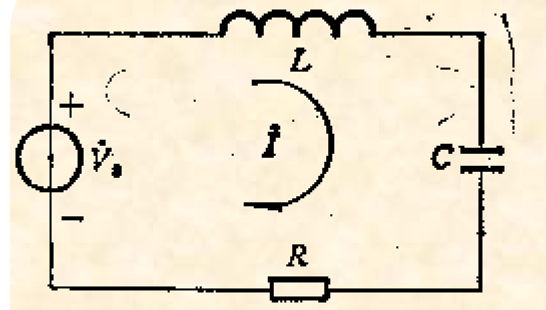


图 2.1-1 串联振荡回路

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 $\omega_0 L=\dfrac{1}{\omega_0 C}$ $\boxed{Q=\dfrac{\omega_o L}{R}=\dfrac{1}{\omega_o CR}}$

所以，

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

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

$$\xi = \frac{(\text{失谐谐时的电 抗})X}{(\text{电阻})R} = \frac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R} = \frac{\omega_o L}{R}\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right)$$

$$= Q_o\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right) = Q_o\left(\frac{\cancel{(\omega+\omega_0)}(\omega-\omega_0)}{\omega_o \cancel{\omega}}\right)$$

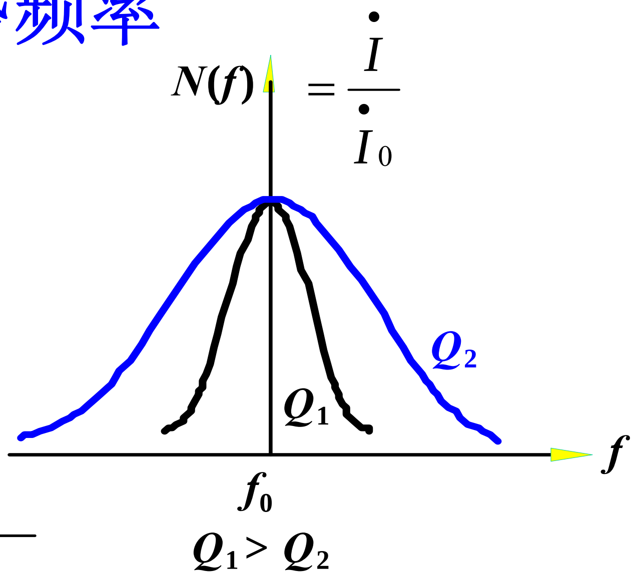
当谐振时：　$\xi = 0$

当失谐不大时，即$\omega \approx \omega_0$　：

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

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

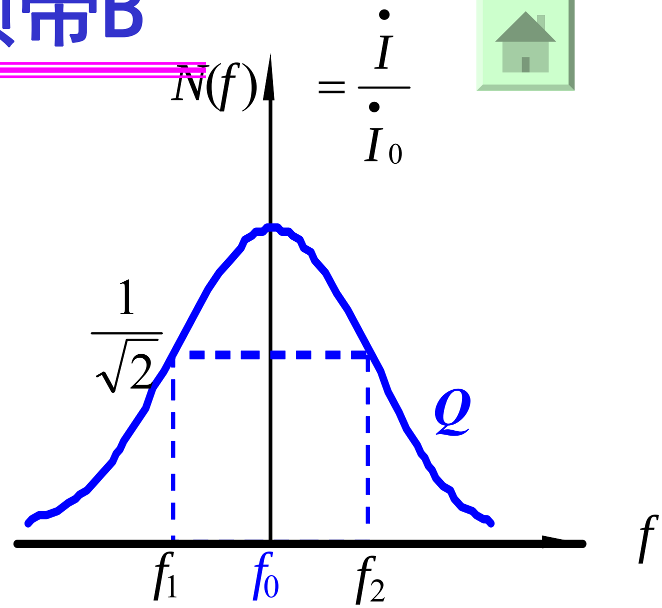


$$N(f) = \frac{\text{失谐处电流}\ \dot{I}}{\text{谐振点电流}\ \dot{I}_o}$$

$$= \frac{\dfrac{\dot{v}_s}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}}{\dfrac{\dot{v}_s}{R}} = \frac{R}{R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

$$= \frac{1}{1 + j\dfrac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}} = \frac{1}{1 + j\xi}$$

2.1.1 串联谐振—通频带B



定义:回路电流I下降到I_o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: $N(f) = \dfrac{1}{1 + j\xi}$

$$| N(f) | = \left| \frac{\dot{I}}{\dot{I}_o} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$\Rightarrow$ $\xi = \pm 1$

当$2\Delta f_{0.7}$时

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

$\Rightarrow$

$$1 \approx Q_0 \cdot \frac{2\Delta f_{0.7}}{f_0}$$

$$1 \approx Q_0 \cdot \frac{B}{f_0}$$

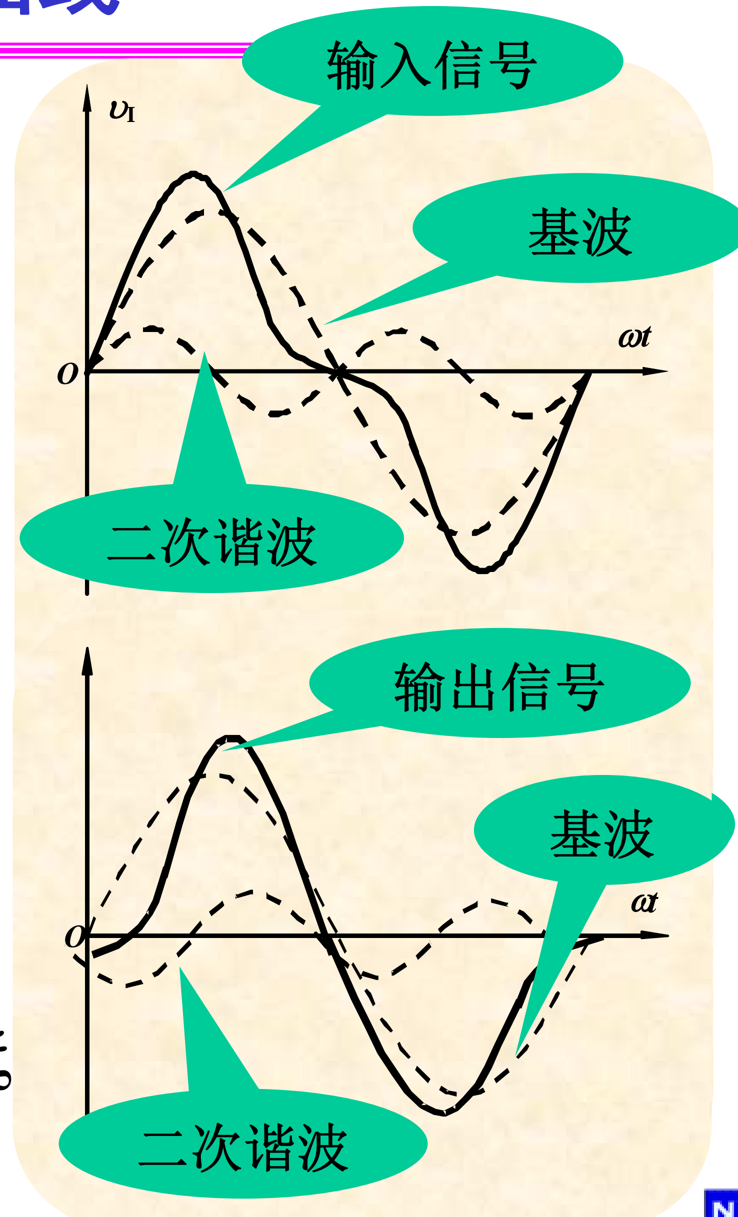
2.1.1 相频曲线

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。

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

$$\psi=-arctgQ\cdot\left(\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega_o}{\omega}\right)=-arctg\;\xi$$



2.1.1 相频曲线

$$\psi = -arctgQ \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega} \right) = -arctg\,\xi$$

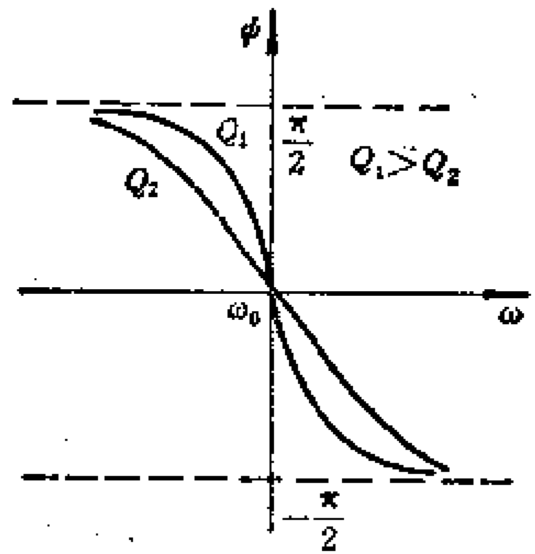


图 2.1-7　串联振荡回路的相频特性曲线

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 ↑ ↓ ?

由于回路总的损耗增大，回路Q值将下降

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

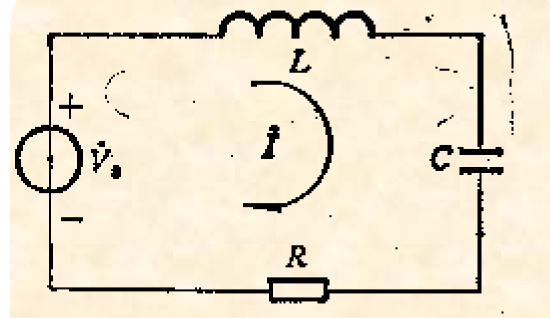


图 2.1-1 串联振荡回路

- 无载Q值(或空载Q值)：用Q_0表示

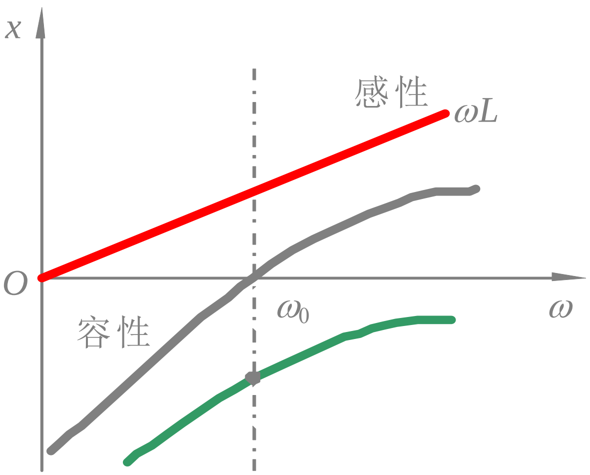
  没有接入信号源内阻和负载电阻时回路本身的Q值

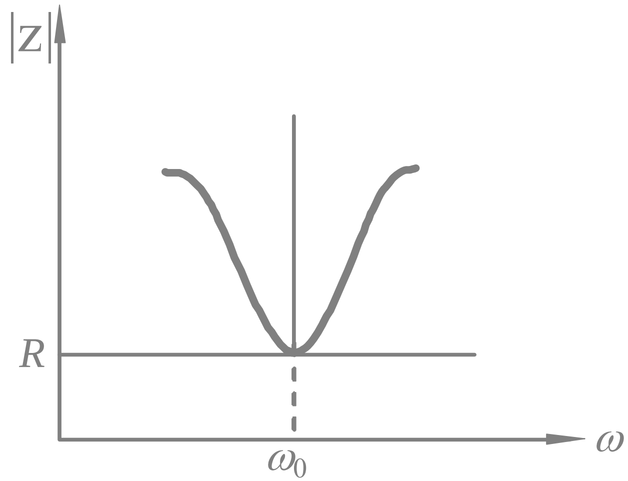
- 有载Q值：用Q_L表示

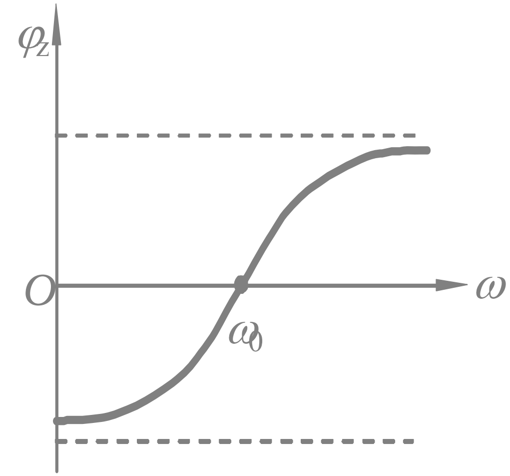
  接入信号源内阻和负载电阻时的Q值

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







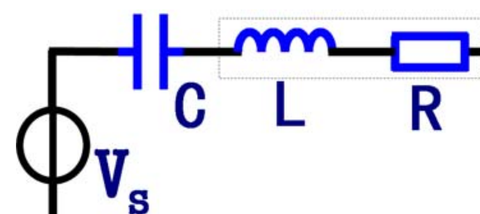
1. 谐振时，回路阻抗值最小，即**Z=R**；当信号源为电压源，回路电流最大，即 $\dot{I}_0 = \dfrac{\dot{V}_S}{R}$ ，具有带通选频特性：$Q \cdot B \approx f$

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。

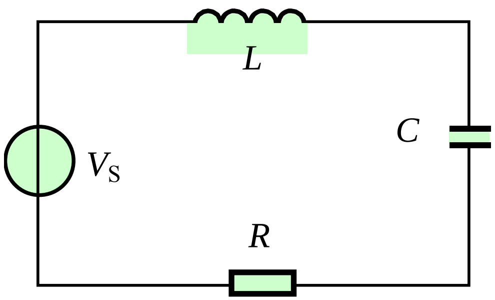


2.1.1 串联谐振 例题

如图，设给定串联谐振回路的f_0=1MHz，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。

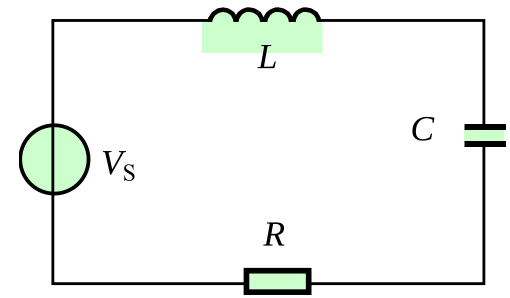
该题应该从“输出电流超前信号源电压45°”入手，针对失谐时的回路阻抗，具体分析输出电压与信号源的角度关系。

解：

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

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

则当回路处于谐振状态时，$\dot{I}_0=\dfrac{\dot{V}_S}{R}$



因而，$\left|\dfrac{\dot{I}}{\dot{I}_0}\right|=\dfrac{1}{\sqrt{1+(\dfrac{\omega L-1/\omega C}{R})}}=\dfrac{1}{\sqrt{1+(-1)^2}}=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$　　$\left|\dfrac{\dot{I}}{\dot{I}_0}\right|=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$

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=1MHz，Q=50，得 $B=\dfrac{f_0}{Q}=\dfrac{1}{50}=0.02MHz$

又由已知条件知回路失谐状态时，呈容性，　即$f<f_0$，

$$f=f_0-\Delta f=0.99MHz=990kHz$$

因为，$\left|\dfrac{\dot{I}}{\dot{I}_0}\right|=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$　根据分贝定义，$20\log\left|\dfrac{\dot{I}}{\dot{I}_0}\right|=20\log\dfrac{1}{\sqrt{2}}=-3dB$

即输出电流相当于谐振时衰减了3dB。

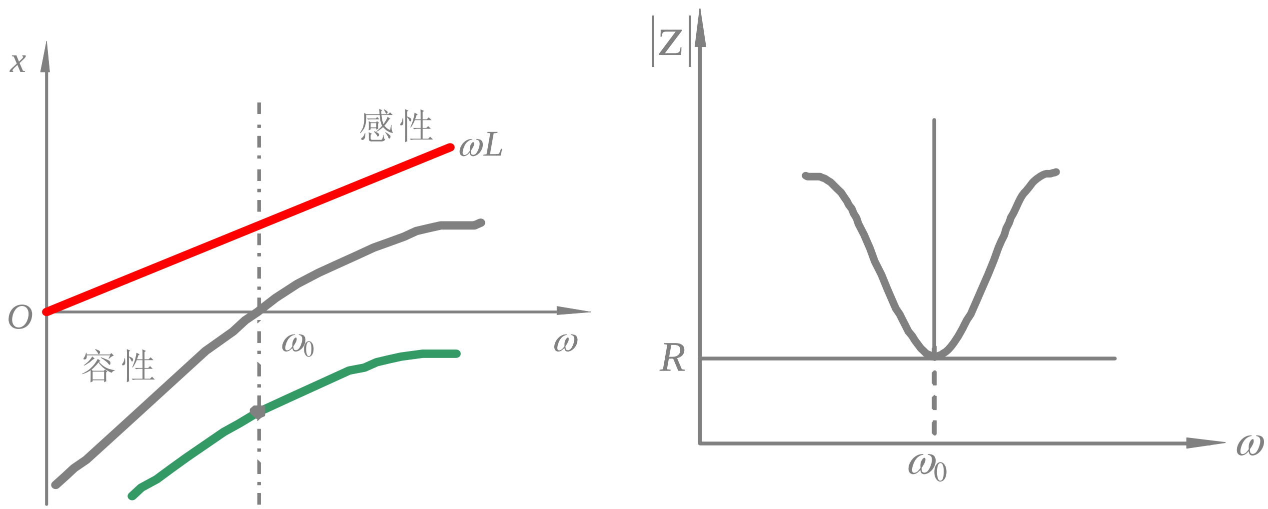
(2)

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。

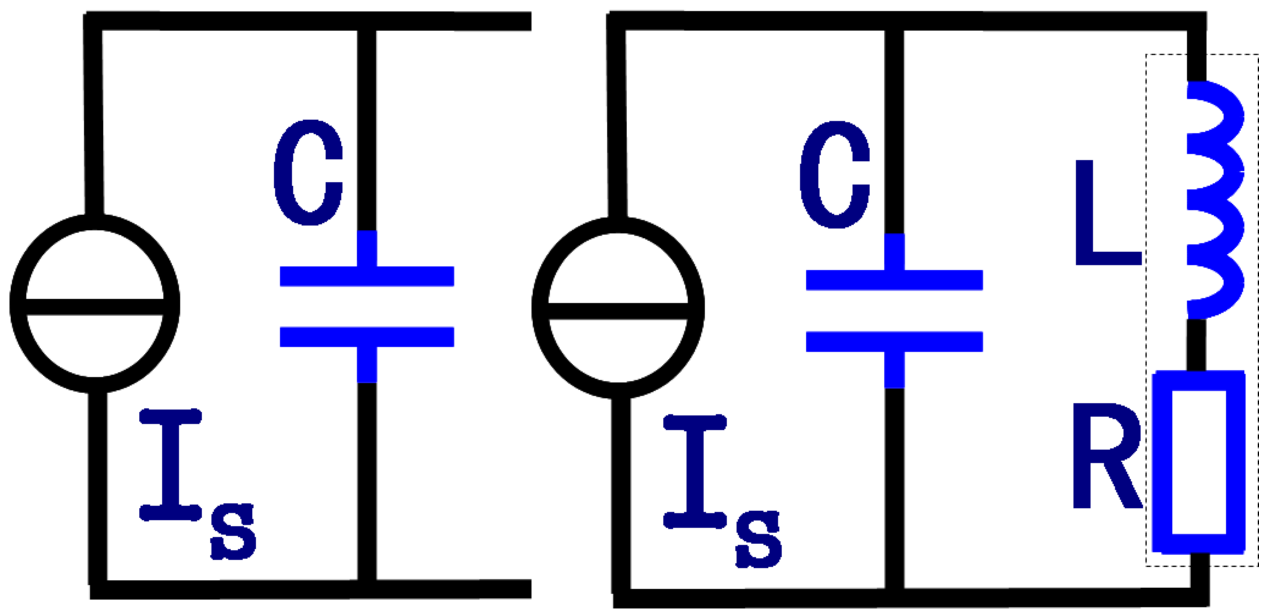
根据谐振条件，假设加入的电感为L’，则有，

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



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

HOME

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

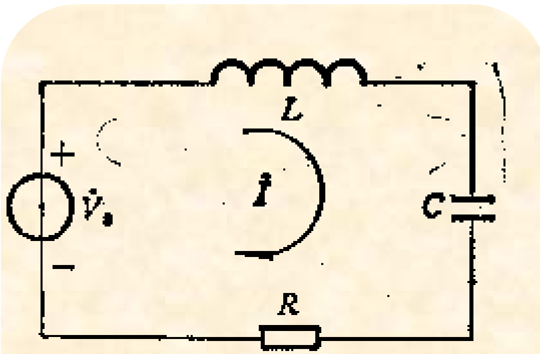
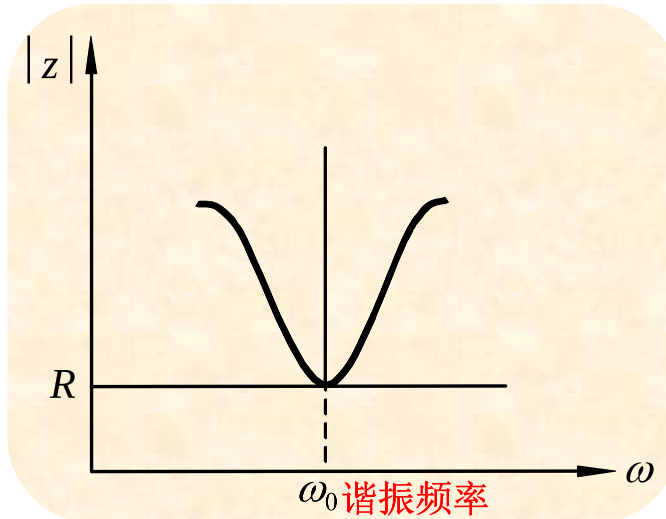
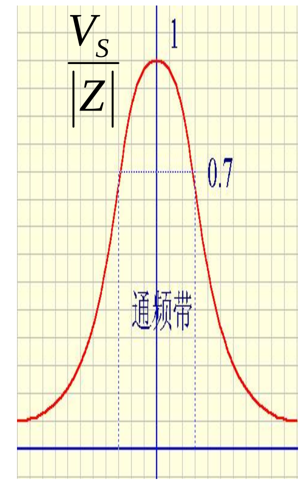


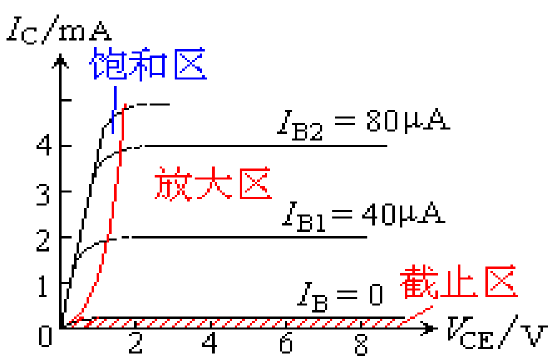
图 2.1-1 串联振荡回路

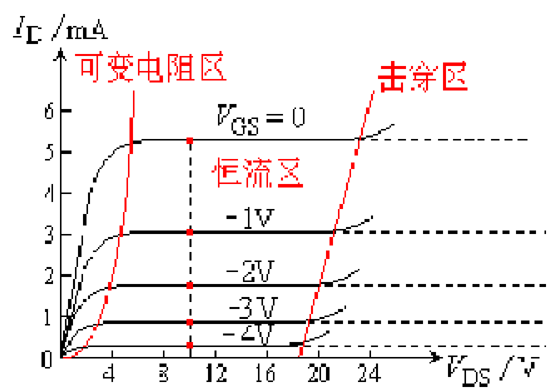




选频特性曲线

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

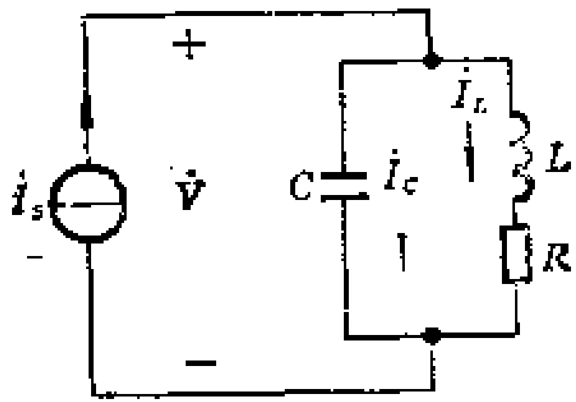


图 2.2-1　并联振荡回路

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。

HOME BACK NEXT

2.1.2-1 回路阻抗

回路总的阻抗

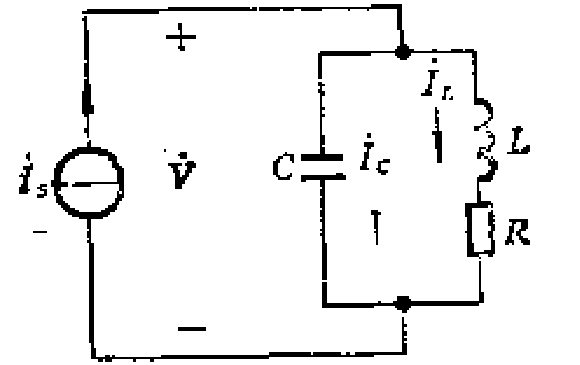


图 2.2-1 并联振荡回路

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

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

通常，损耗电阻**R**在工作频段内满足：

$R<<\omega L$ 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，为此引人并联振荡回路的导纳。

2.1.2-1 回路阻抗

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

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

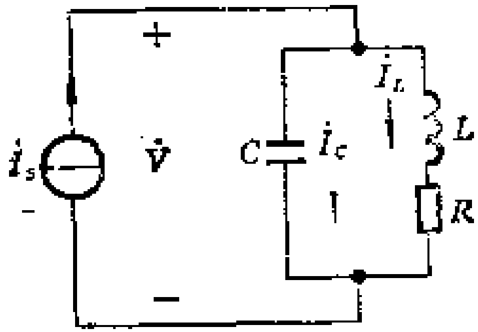


图 2.2-1 并联振荡回路

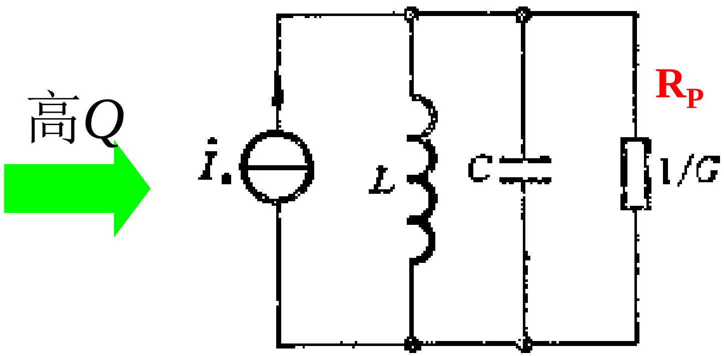


图 2.2-2 并联振荡回路

回路总导纳

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

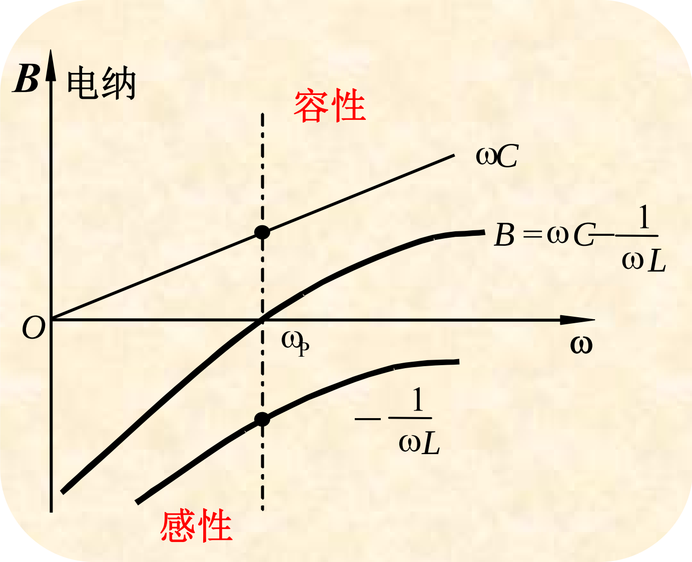
式中电导**G**和电纳**B**分别为

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

HOME BACK NEXT

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

2.1.2-2 谐振频率



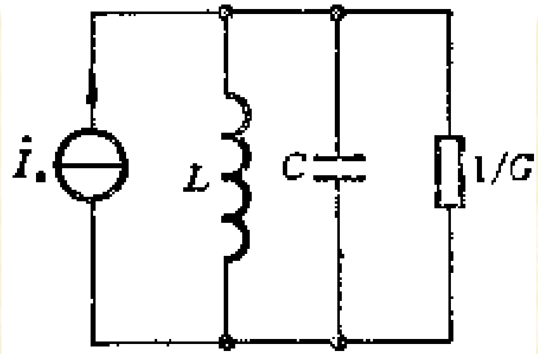
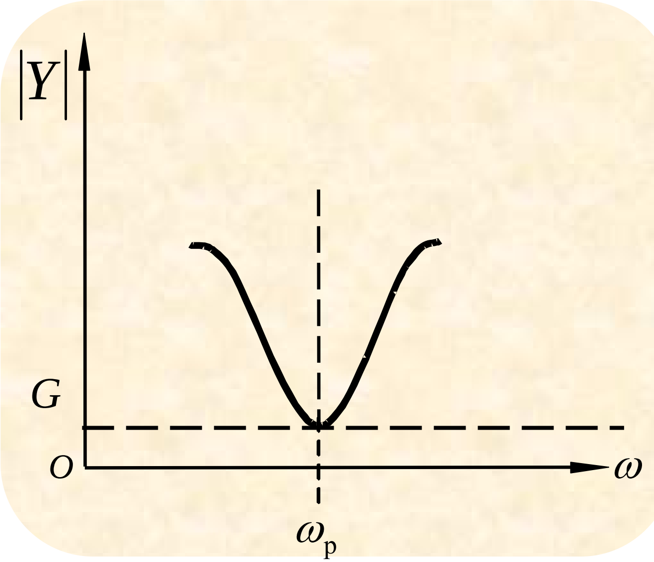


图 2.2-2 并联振荡回路



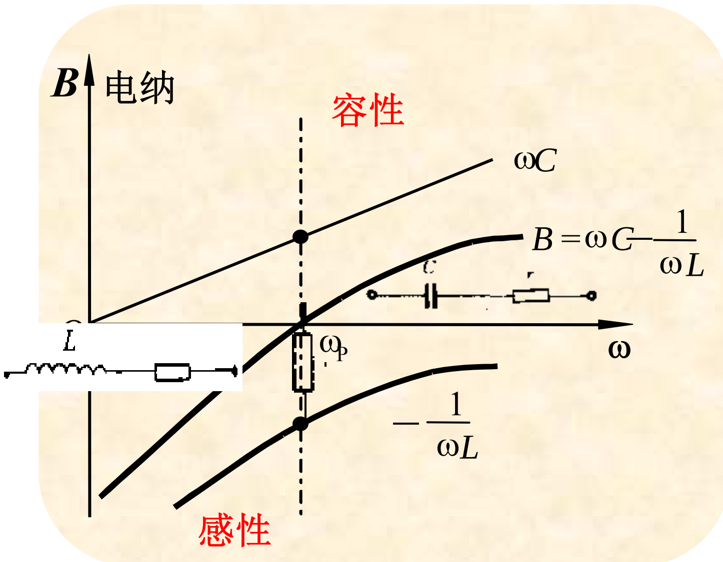
并联单振荡回路的谐振特性：其导纳在某一特定频率上具有最小值（谐振状态），而偏离此频率时将迅速增大。

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

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

HOME　end　BACK

2.1.2-2 谐振频率



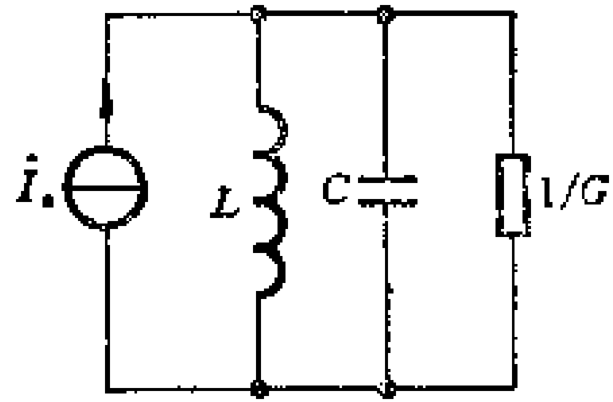


图 2.2-2 并联振荡回路

导纳 $Y = G + jB = \dfrac{CR}{L} + j(\omega C - \dfrac{1}{\omega L})$

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

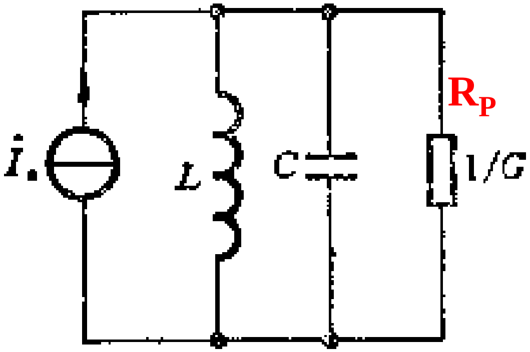


图 2.2-2 并联振荡回路

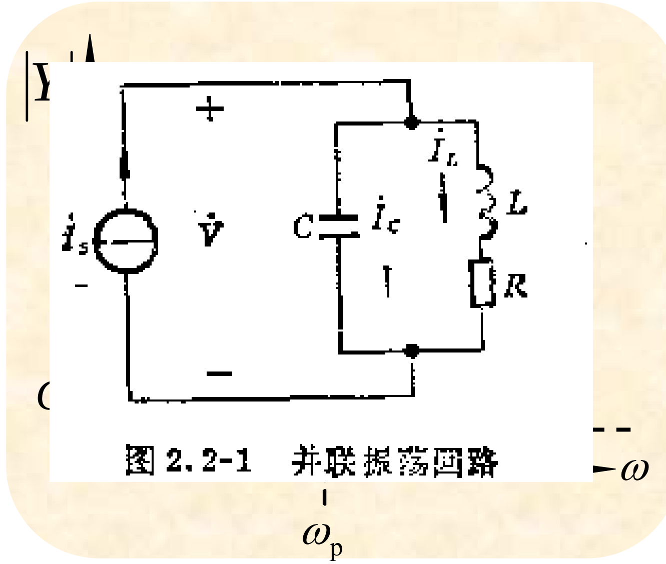
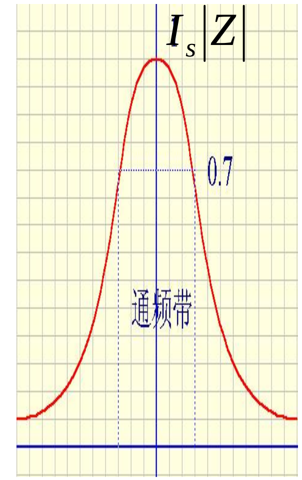


图 2.2-1 并联振荡回路



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。

$$Q_p = \frac{\omega_P L}{R} = \frac{1}{\omega_P CR} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R} = \frac{1}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \cdot \frac{\frac{L}{C}}{R} = \frac{R_P}{\omega_P L} = R_P \omega_P C$$

2.1.2-3 品质因素

谐振时

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

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

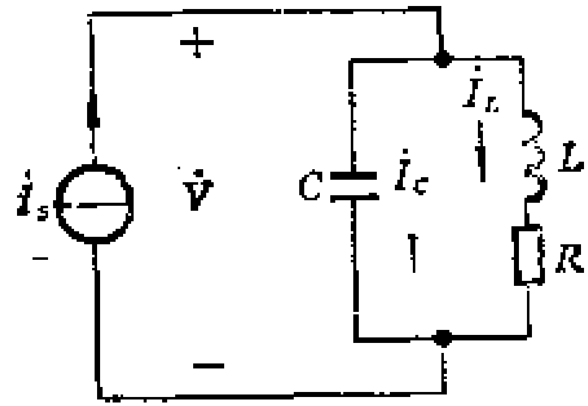
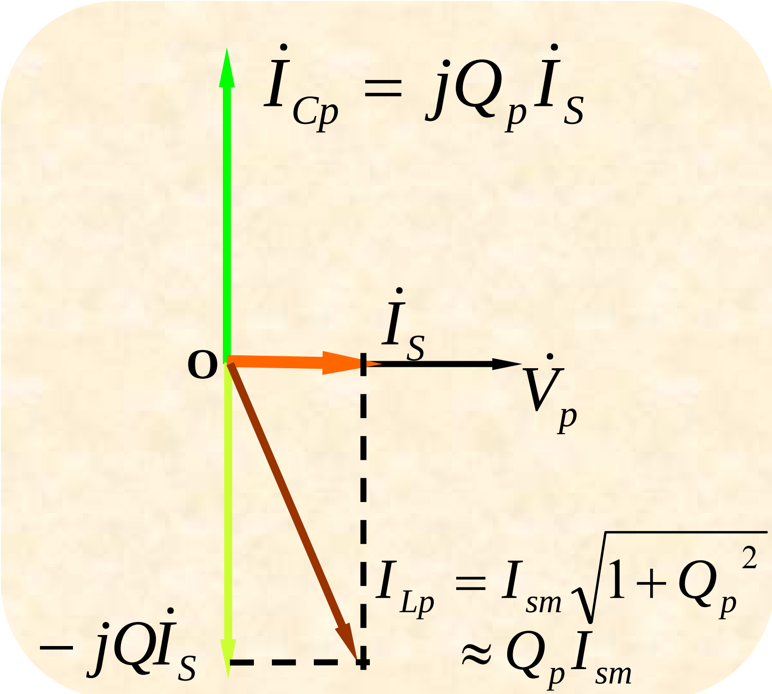


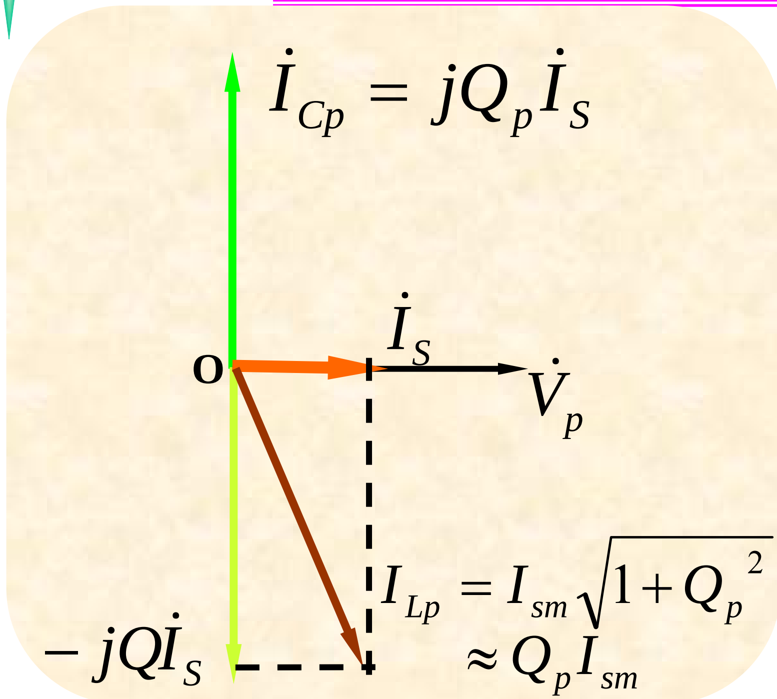
图 2.2-1　并联振荡回路

电感线圈支路的电流可以借助向量图求得。



HOME BACK NEXT

2.1.2-3 品质因素



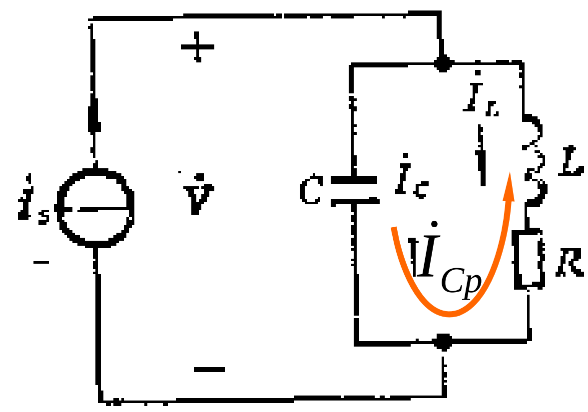


图 2.2-1　并联振荡回路

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。$\dot V_{Rp} = \dot I_{Lp} R \approx -jQ_p \dot I_s \cdot R = -\dot I_s \cdot j\omega_p L$

$$Q_p = \frac{\omega_P L}{R} = \frac{1}{\omega_P C R} \qquad \dot V_{Lp} = \dot I_{Lp} j\omega_p L \quad \dot V_{Cp} = \dot I_{Cp} \frac{1}{j\omega_p C}$$

2.1.2 谐振特性

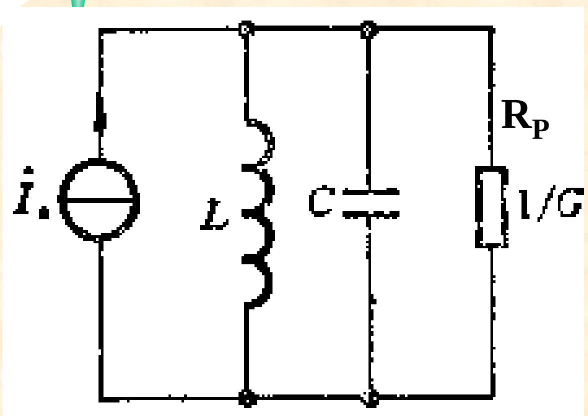
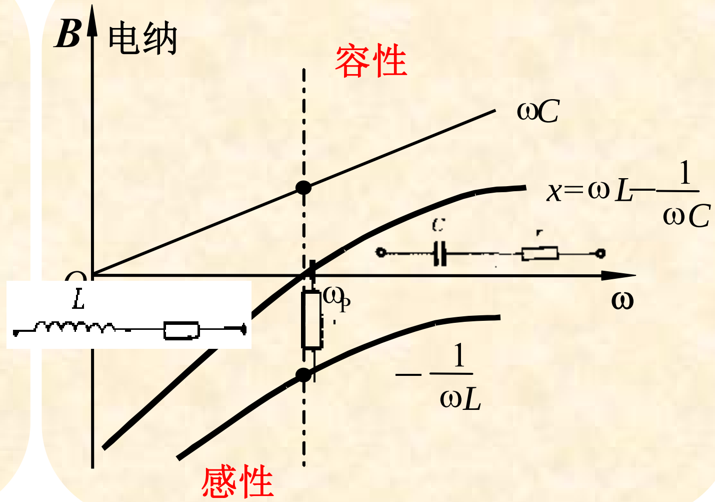
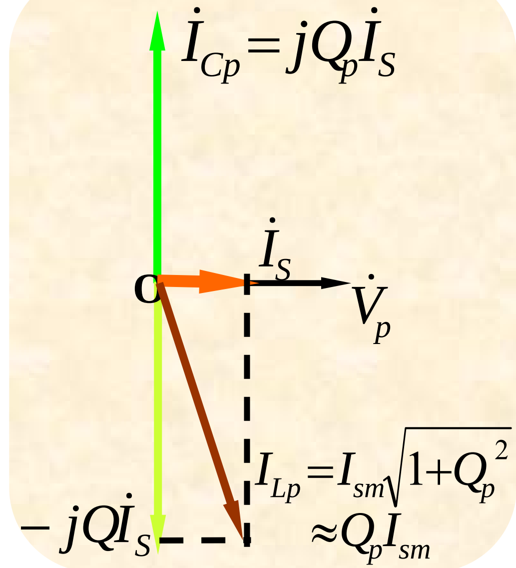


图 2.2-2 并联振荡回路





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。

HOME end BACK

2.1.2-5/6 谐振曲线和通频带

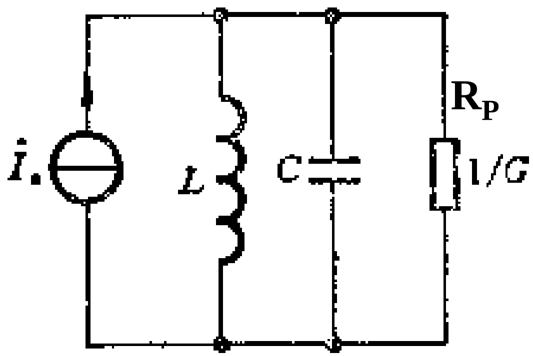
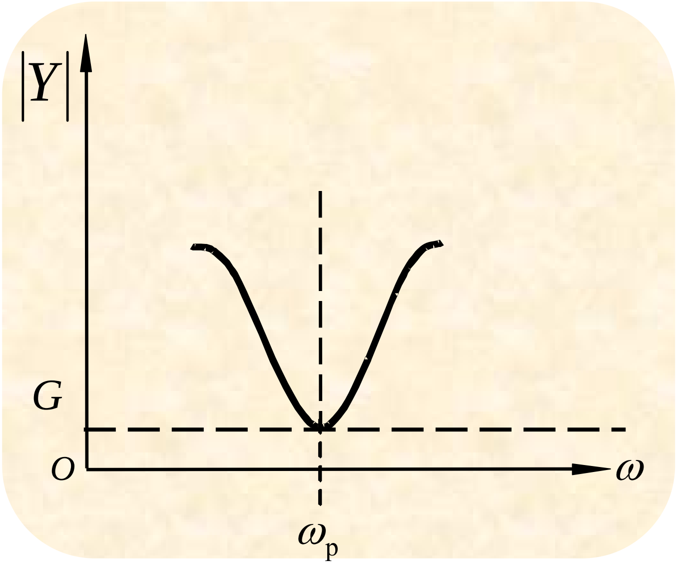
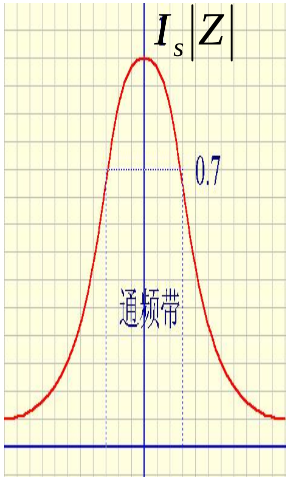


图 2.2-2 并联振荡回路





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

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

2.1.2-5/6 谐振曲线和通频带

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

$$=\frac{1}{1+jQ_p(\frac{\omega}{\omega_p}-\frac{\omega_p}{\omega})}=N(\omega)e^{j\psi(\omega)}$$

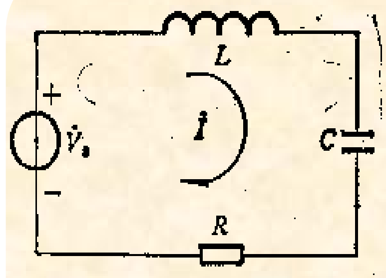


图 2.1-1 串联振荡回路

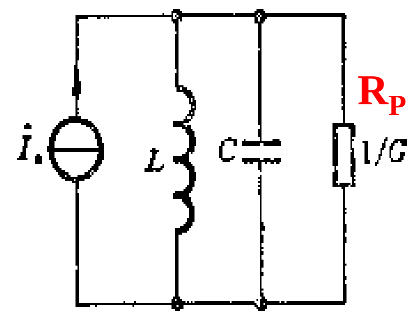


图 2.2-2 并联振荡回路

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。

HOME BACK NEXT

串、并联谐振回路的对偶关系

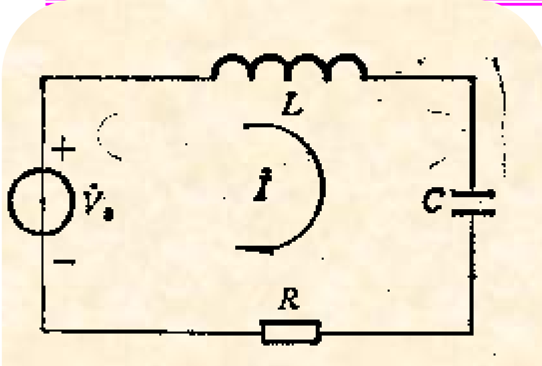


图 2.1-1　串联振荡回路

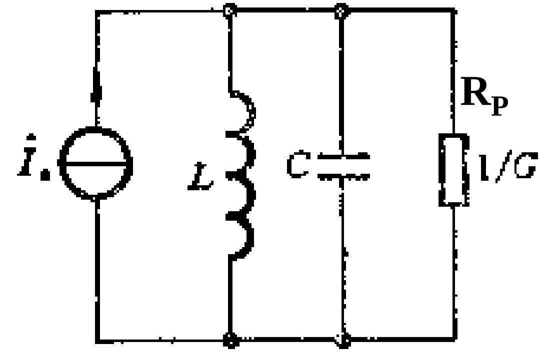


图 2.2-2　并联振荡回路

在串联谐振回路中

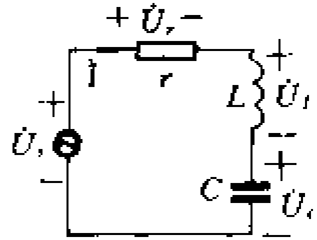
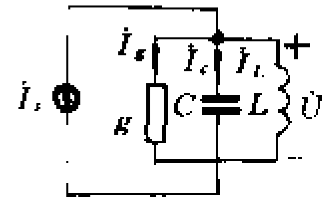
电阻	r
电感	L
电容	C
rLC	串联
电压源	$\dot{U}_s$
阻抗	Z
电流	$\dot{I}$
元件上电压	

在并联谐振回路中

电导	g
电容	C
电感	L
gCL	并联
电流源	$\dot{I}_s$
导纳	Y
电压	$\dot{U}$
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	$\rho=\sqrt{\dfrac{L}{C}}$	
谐振频率	$f_0=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	
品质因数	$Q=\dfrac{\omega_0 L}{r}=\dfrac{1}{\omega_0 Cr}=\dfrac{\rho}{r}$	$Q=\dfrac{\omega_0 C}{g}=\dfrac{1}{\omega_0 Lg}=\dfrac{1}{\rho g}$
阻抗导纳表示式	$Z=r\left[1+jQ\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}-\dfrac{\omega_0}{\omega}\right)\right]$	$Y=g\left[1+jQ\left(\dfrac{\omega}{\omega_0}-\dfrac{\omega_0}{\omega}\right)\right]$
阻抗性质 $f<f_0(\varepsilon<0)$	电容性	电感性
阻抗性质 $f=f_0(\varepsilon=0)$	$Z=r$ 电阻性，极小值	$Z=\dfrac{1}{g}$ 电阻性，极大值
阻抗性质 $f>f_0(\varepsilon>0)$	电感性	电容性

串、并联谐振回路的对偶关系

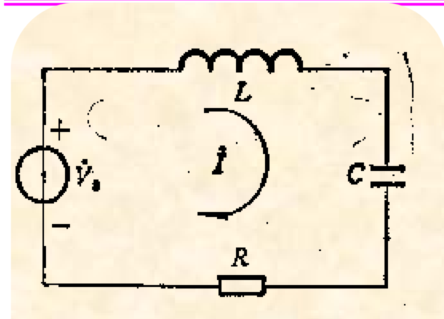


图 2.1-1 串联振荡回路

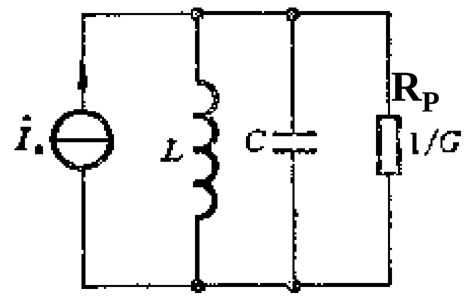


图 2.2-2 并联振荡回路

谐振时元件上的电压或通过元件的电流		$\dot U_r = \dot U_s$	$\dot I_g = \dot I_s$
		$\dot U_L = jQ\dot U_s$	$\dot I_c = jQ\dot I_s$
		$\dot U_c = -jQ\dot U_s$	$\dot I_L = -jQ\dot I_s$
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	$\psi = -arctgQ\cdot\left(\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega_o}{\omega}\right)$	
	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。

$$Q_L=\frac{1}{\omega_p L\left(G_P+G_S+G_L\right)}=\frac{1}{\dfrac{\omega_P L}{R_P}\left(1+\dfrac{R_P}{R_S}+\dfrac{R_P}{R_L}\right)}=\frac{Q_p}{\left(1+\dfrac{R_P}{R_S}+\dfrac{R_P}{R_L}\right)}$$

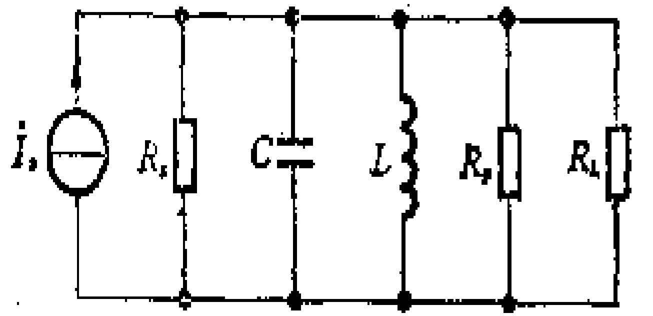


图 2.2-7 考虑 R_s 和 R_L 后的并联振荡回路

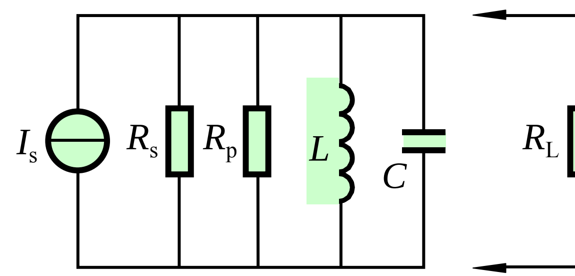
由于Q_L值低于Q_p，因此考虑信号源内阻及负载电阻后，并联谐振回路的选择性变坏，通频带加宽。

HOME end BACK

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 = 25kΩ，谐振频率f_o = 30MHz，信号源电流幅度 I_s = 0.1mA

(1)若信号源内阻R_s = 10kΩ，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 = 6kΩ，R_L = 2kΩ，求此时的通频带B和V_o 是多少？



解：**(1) ∵ R_s = 10kΩ，**

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

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

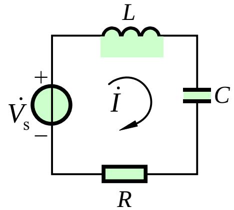
$$\therefore B = \frac{f_o}{Q_L} = \frac{30}{23} = 1.3\text{MHz}$$

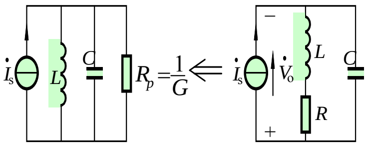
(2) $\because R_s = 6\text{K}\Omega \quad R_L = 2\text{K}\Omega$

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

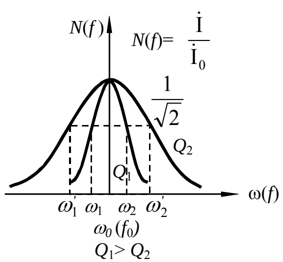
$$\because Q_L = \frac{Q_o}{1+\dfrac{R_p}{R_s}+\dfrac{R_p}{R_L}} = \frac{80}{1+\dfrac{25}{6}+\dfrac{25}{2}} \approx 4.5 \quad \therefore B = \frac{f_o}{Q_L} = \frac{30}{4.5} = 6.7\text{MHz}$$

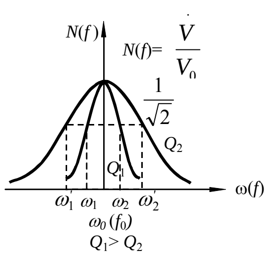
故并联电阻愈小，即Q_L越低，通带愈宽。

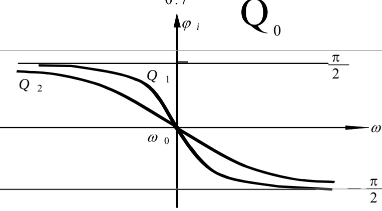
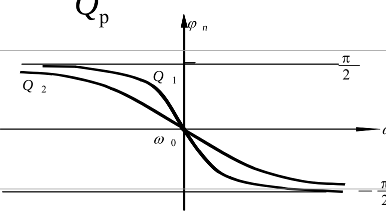




谐振曲线：





	串联谐振回路	并联谐振回路
阻抗或导纳	$z=R+jx=R+j\,(\omega L-\frac{1}{\omega c})=\lvert z\rvert e^{j\varphi_z}$	$Y=\frac{1}{z}=\frac{CR}{L}+j\left(\omega C-\frac{1}{\omega L}\right)=G+jB$
谐振频率	$\omega_o=\frac{1}{\sqrt{LC}}$ ， $f_o=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$\omega_p=\frac{1}{\sqrt{LC}},\ f_p=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
品质因数Q	$Q=\frac{\omega_o L}{R}=\frac{1}{\omega_o R}=\frac{\rho}{R}=\frac{1}{R}\bullet\sqrt{\frac{L}{C}}$	$Q_P=\frac{\omega_p L}{R}=\frac{R_p}{\omega_p L}=\frac{R_p}{\rho}=R_p\cdot\sqrt{\frac{C}{L}}$
广义失谐系数ξ:	$\xi=\frac{(\text{失谐时的抗})X}{R}=\frac{\omega L-\frac{1}{\omega C}}{R}$	$\xi=\frac{B(\text{失谐时的电纳})}{G(\text{谐振时的电导})}=\frac{\omega C-\frac{1}{\omega L}}{G}$
	$=\frac{\omega_o L}{R}\left(\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega_o}{\omega}\right)=Q_o\left(\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega_o}{\omega}\right)$	$=\frac{\omega_p C}{G}\left(\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega_o}{\omega}\right)=Q_p\left(\frac{\omega}{\omega_o}-\frac{\omega_o}{\omega}\right)$
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	$Q_L=\frac{\omega_o L}{R+R_s+R_L}$	$Q_L=\frac{Q_p}{1+\frac{R_p}{R_s}+\frac{R_p}{R_L}}$

Q & A