第2章选频网络与阻抗变换网络

- 内容概要
  - 高频电路中的元器件
  - LC谐振网络
  - 窄带无源阻抗变换网络
  - 耦合回路
  - 滤波器的其他形式

一、选频网络

- 作用：从众多频率成分中选出需要的频率分量，抑制不需要的频率分量

- 分类：
  - 谐振回路：由电感和电容元件组成的振荡回路
    - 单谐振回路（包含串联、并联两种形式）
    - 耦合谐振回路
  - 其他滤波器：
    - 晶体滤波器
    - 陶瓷滤波器
    - 声表面波滤波器
    - …

选频网络的幅频特性

理想的选频电路通频带内的幅频特性$H(f)$应满足

$$\frac{dH(f)}{df}=0$$

选频电路通频带外的幅频特性应满足

$$H(f)=0$$

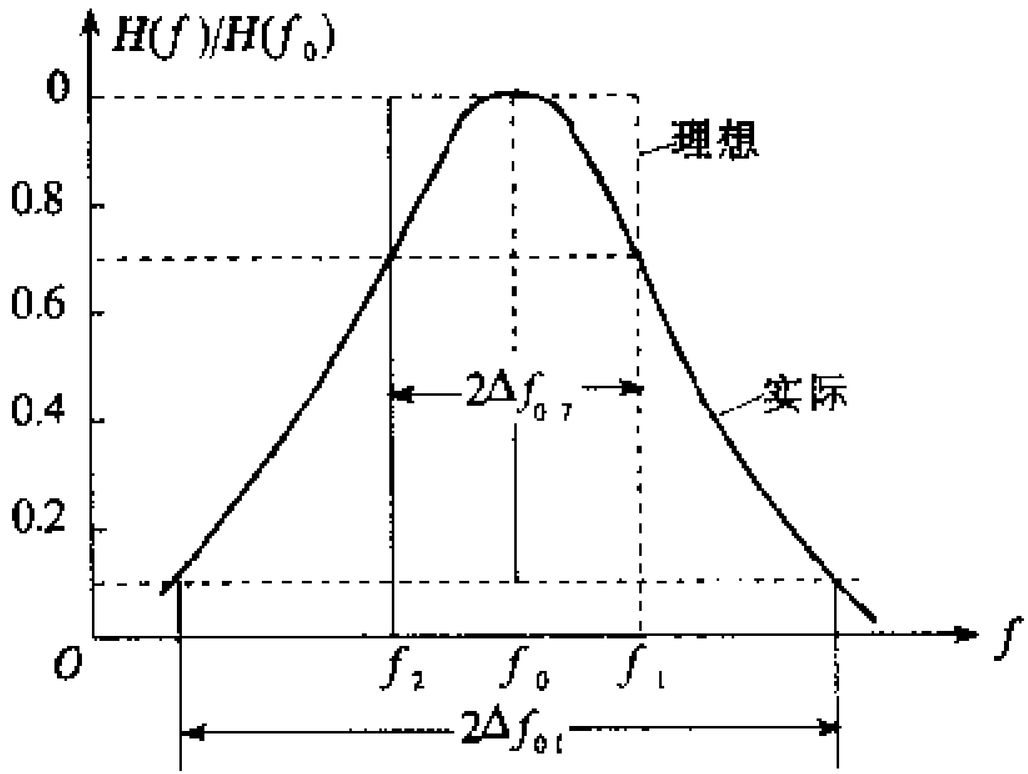


图-理想与实际选频网络的幅频特性

理想的幅频特性应是矩形，但实际中不可能做到。

实际幅频特性只能是接近矩形，接近的程度与选频电路本身结构形式有关。通常用**矩形系数** $K_{r0.1}$ 表示，定义为

$$K_{r0.1}=\frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}}$$

式中，$2\Delta f_{0.7}$ 为 $\alpha(f)$ 由1下降到 $1/\sqrt{2}$ 时，两边界频率 f_1 与 f_2 之间的频带宽度，称为**通频带**，通常用B表示. 即

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

$2\Delta f_{0.1}$ 为 $\alpha(f)$ 下降到0. 1时的频带宽度。

理想选频网络的矩形系数等于1，实际矩形系数均大于1。

选频网络的相频特性

- 理想的选频网络，要求在通频带范围内选频电路的相频特性应满足线性相位要求：

$$\frac{d\varphi(f)}{df}=\tau$$

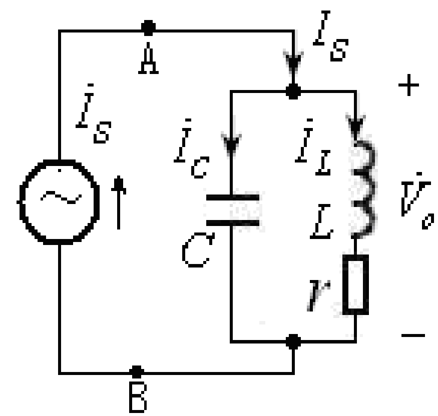
即信号有效频带宽度之内的各频率分量通过选频电路之后，都延迟一个相同时间τ。

- 线性相位特性可以保证输出信号中各频率分量之间的相对关系与输入信号完全相同，否则，将将引起相位失真，使波形变化。

- 实际上，依靠模拟电路完全满足线性相位要求并非易事，往往只能进行合理的近似。

二、并联谐振回路

- **组成：**
  - 由一个有耗的空心线圈和电容组成的并联回路
  - r为L的损耗电阻，不可忽略
  - C 的损耗很小可忽略
  - $\dot{I}_S$ 为激励电流源
  - 回路两端所得到的输出电压为 $\dot{V}_o$



并联谐振回路

并联谐振回路等效变换动画

- **回路阻抗：**

$$Z_p = \frac{\dot{V}_o}{\dot{I}_S} = (r + j\omega L) // \frac{1}{j\omega C} = \frac{(r + j\omega L)\dfrac{1}{j\omega C}}{(r + j\omega L + \dfrac{1}{j\omega c})} \cong \frac{1}{\dfrac{Cr}{L} + j(\omega C - \dfrac{1}{\omega L})}$$

□ 回路的导纳：

$$Y_p = \frac{1}{Z_p} = \frac{Cr}{L} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L}) = g_{e0} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$$

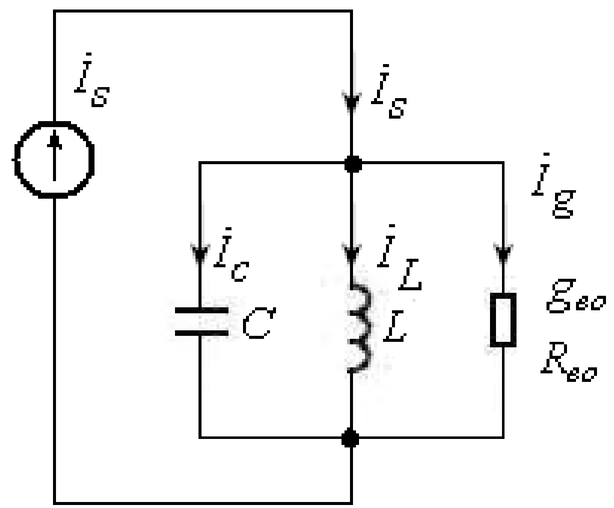
此时，可等效为如图所示电路。

□ 回路的谐振电阻：

$$R_{eo} = \frac{L}{Cr} = \frac{1}{(\omega_0 C)^2 r} = \frac{(\omega_o L)^2}{r} = Z_{\max}$$

或谐振电导

$$g_{eo} = \frac{1}{R_{eo}} = \frac{Cr}{L} = \frac{r}{(\omega_o L)^2} = (\omega_o C)^2 r$$



并联等效电路

□ 回路的(空载)品质因数：

$$Q_0 = \frac{1}{\omega_0 Cr} = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{R_{e0}}{\omega_0 L} = \omega_0 C R_{e0} = \frac{1}{\omega_0 L g_{e0}} = \frac{\omega_0 C}{g_{e0}}$$

□ 回路的广义失谐量：

$$Z_p = \frac{1}{\frac{1}{R_{e0}} + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})} = \frac{R_{e0}}{1 + jR_{e0}\omega_0 C(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})} = \frac{R_{eo}}{1 + jQ_o \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}}$$

定义广义失谐量 $\xi = Q_0(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}) = 2Q_0 \frac{\Delta\omega}{\omega_o} = 2Q_0 \frac{\Delta f}{f_o}$

$\therefore$ 回路谐振时无失谐， $\xi = 0$

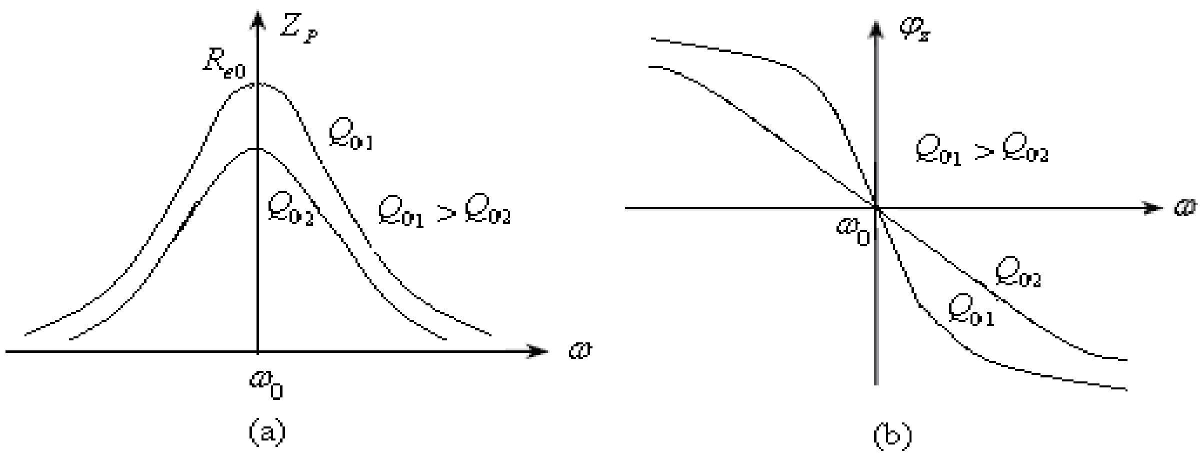
回路的阻抗表达式可简化为 $Z_p = \frac{R_{eo}}{1 + j\xi} = \frac{R_{eo}}{1 + jQ_0 \frac{2\Delta f}{f_o}}$

回路阻抗的频率特性：

阻抗幅频特性 $|Z_P| \approx \dfrac{R_{e0}}{\sqrt{1+(Q_0\dfrac{2\Delta\omega}{\omega_0})^2}} = \dfrac{R_{e0}}{\sqrt{1+\xi^2}}$

阻抗相频特性 $\varphi_z = -\arctan(Q_0\dfrac{2\Delta\omega}{\omega_0}) = -\arctan\xi$

由此画出的阻抗频率特性曲线如图所示。



并联谐振回路阻抗频率特性曲线

并联谐振回路阻抗幅频相频曲线动画

由并联谐振回路阻抗的频率特性可以得出以下结论：

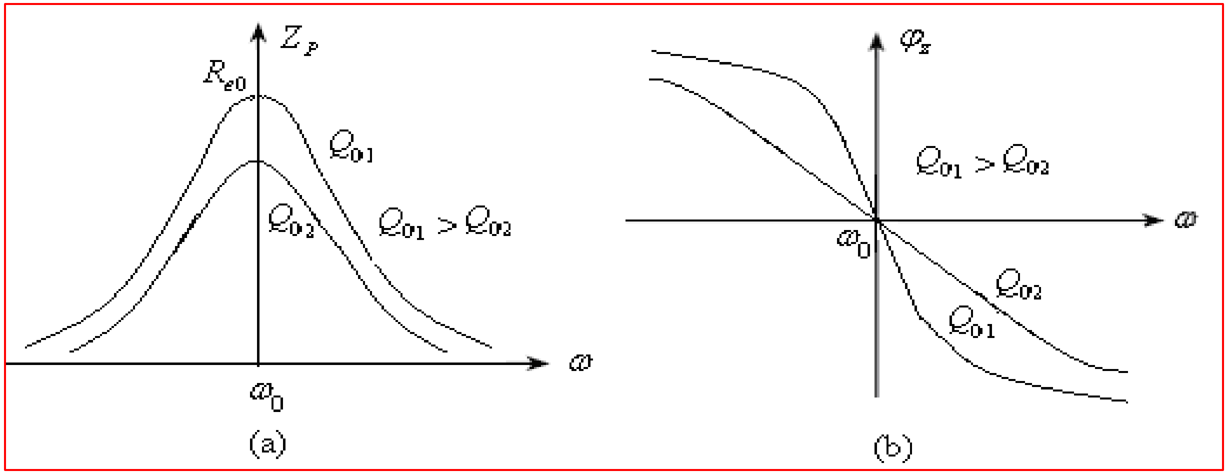
①回路谐振（$\omega=\omega_0$）时，回路相频特性 $\varphi(\omega_0)=0$

此时回路阻抗最大且为纯阻 R_{e0}

②回路失谐（$\omega\neq\omega_0$）时，回路阻抗下降，且有相移

当 $\omega<\omega_0$ 时，$\varphi(\omega)>0$，并联回路阻抗呈感性；

当 $\omega>\omega_0$ 时，$\varphi(\omega)<0$ 并联回路阻抗呈容性。



$$\varphi_z = -\arctan(Q_0 \frac{2\Delta\omega}{\omega_0}) = -\arctan\xi$$

③ 回路线性相频范围

当 $|\varphi(\omega)| \le \frac{\pi}{6}$ 时，相频特性可以近似表示为

$$\varphi(\omega) \approx -2Q_0 \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = -2Q_0 \frac{\omega-\omega_0}{\omega_0}$$

此时 $\varphi(\omega)$ 与 ω 之间呈现线性关系，

且相频特性呈线性关系的频率范围与 Q_0 成反比。

④ 回路相频特性曲线的斜率

$$\left.\frac{d\varphi}{d\omega}\right|_{\omega=\omega_0} = -\frac{2Q_0}{\omega_0}$$

并联谐振回路的相频特性呈负斜率，且 Q_0 越高，斜率越大，曲线越陡。

□ 回路两端的电压：

$$\dot{V}_o = \dot{I}_s Z_p$$

回路两端的谐振电压： $\dot{V}_{oo} = \dot{I}_s R_{eo}$

谐振时回路两端的电压最大，且与激励电流同相位。

□ 回路的电流特性：

并联回路谐振时的谐振电阻 R_{e0} 为 $\omega_0 L$ 或 $\dfrac{1}{\omega_0 C}$ 的 Q_0 倍，

并联电路各支路电流的大小与阻抗成反比，

谐振时电感L和电容C中电流的大小为外部电流的Q_0倍：

$$I_L = I_C = Q_0 I_S$$

且 $\dot{I}_L$与$\dot{I}_C$ 相位相反

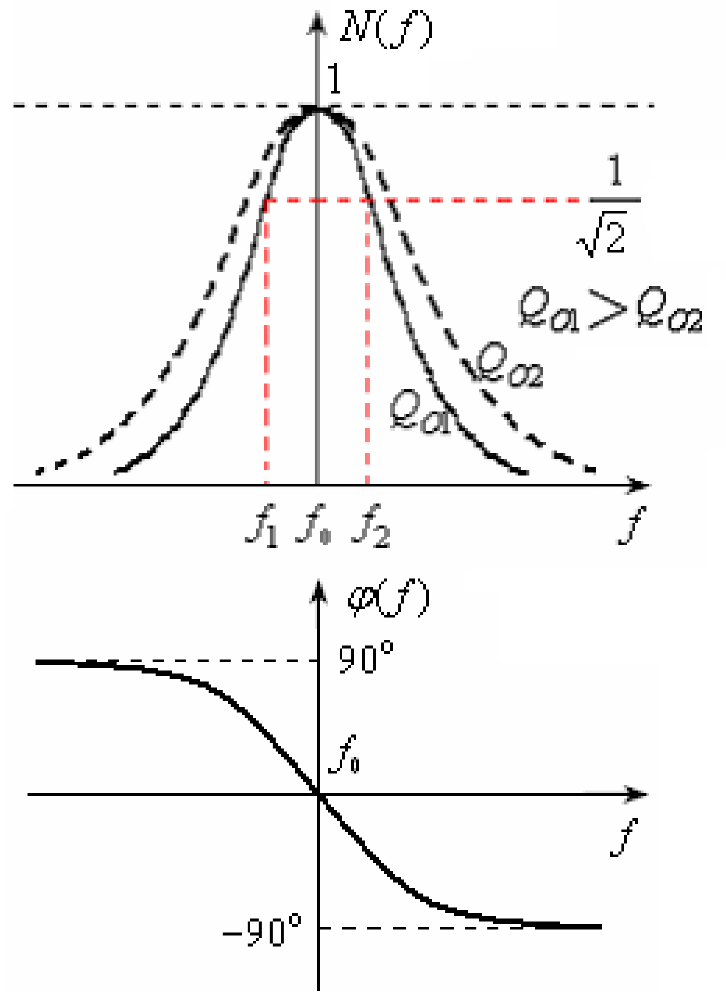
回路的谐振特性曲线

$$N(j\omega)=\frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_{oo}}=\frac{Z_p}{R_{eo}}=\frac{1}{1+j\xi}=\frac{1}{1+jQ_0\dfrac{2\Delta f}{f_o}}$$

幅频特性 $$N(f)=\frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+Q_0{}^2(\dfrac{2\Delta f}{f_o})^2}}$$

相频特性 $$\varphi(f)=-\arctan\xi=-\arctan Q_0(\frac{2\Delta f}{f_o})$$

由此画出的谐振特性曲线如图所示。



曲线形状与 Q_0有关

Q_0 **越大，**

曲线愈尖锐，

选择性越好。

谐振特性曲线（动画）

回路的通频带：

定义：当 $N(f)=\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时对应的频率范围称为通频带，

用$\mathbf{BW_{0.7}}$表示，称之为3dB带宽。

由幅频 $N(f)$ 表达式知：当

$$N(f)=\frac{1}{\sqrt{1+\xi^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+Q_0{}^2(\frac{2\Delta f_{0.7}}{f_o})^2}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$$ 时

$$BW_{0.7}=f_2-f_1=f_0/Q_0$$

显然，

$\mathbf{Q_0}$越大，$\mathbf{BW_{0.7}}$ 越小，选择性好，∴选择性与$\mathbf{BW_{0.7}}$矛盾。

□ 回路的矩形系数：

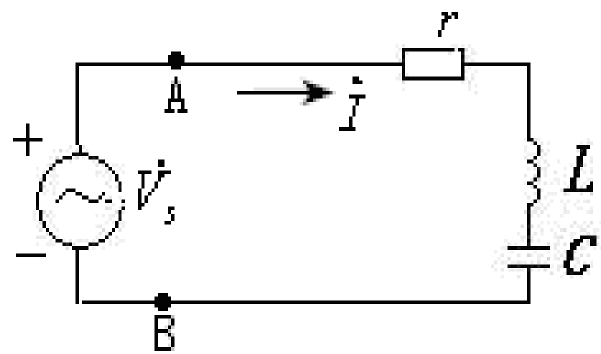
选择性是指回路从含有各种不同频率信号的总和中选出有用信号，抑制干扰信号的能力。

$$K_{0.1} = \frac{BW_{0.1}}{BW_{0.7}} = \sqrt{99}$$

通常理想情况下 $K_{0.1} = \mathbf{1}$

三、串联谐振回路

标准的串联谐振回路由无损耗的电感L和电容C、电阻r串联而成，并由电压源 $\dot{V}_S$ 激励。



标准LC串联回路

□ 串联回路的阻抗特性

由A、B两点向回路内看入的回路等效阻抗为

$$Z_S = r + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

其余推导：
Homework！