



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY



8.3 反射式滤波器



反射式滤波器

原理：把不需要的频率成分的能量**反射**回信号源或者骚扰源，而让需要的频率成分的能量通过滤波器施加于负载，以达到选择和抑制信号的目的。

反射式滤波器在通带内提供低的串联阻抗和高的并联阻抗，而在阻带内提供大的串联阻抗和小的并联阻抗。即，对骚扰电流建立一个高的串联阻抗和低的并联阻抗通路。

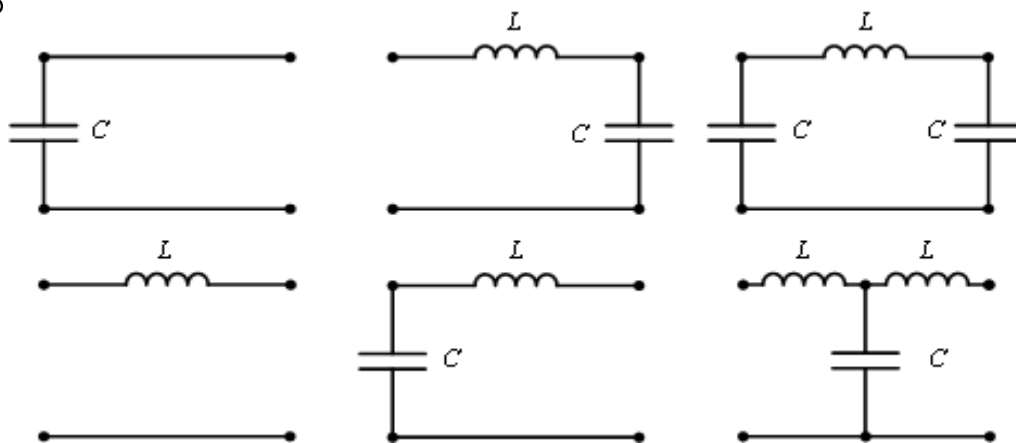


■ 低通滤波器

用于抑制高频传导电磁干扰，如电源滤波器。

(1) 常见形式

并联电容型、串联电感型、 Γ 型、反 Γ 型、T型、 Π 型等。

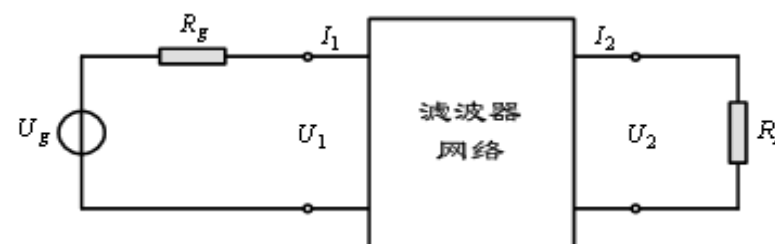




(2) 插入损耗

无源滤波器的端口网络特性

端口网络:
$$\begin{cases} U_1 = A_{11}U_2 - A_{12}I_2 \\ I_1 = A_{21}U_2 - A_{22}I_2 \end{cases}$$



其中:
$$A_{11} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_2=0} \quad A_{12} = - \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{U_2=0} \quad A_{21} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{I_2=0} \quad A_{22} = - \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_2=0}$$

输入阻抗:
$$Z_{1in} = \frac{U_1}{I_1} = \frac{A_{11}U_2 - A_{12}I_2}{A_{21}U_2 - A_{22}I_2} = \frac{A_{12} + A_{11}Z_L}{A_{22} + A_{21}Z_L}$$

$$Z_{2in} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{A_{12} + A_{22}Z_g}{A_{11} + A_{21}Z_g}$$



无源滤波器的插入损耗

$$\begin{aligned}U_1 &= A_{11}U_2 - A_{12}I_2 \\ &= A_{11}U_2 + A_{12}U_2 / Z_L\end{aligned}$$

$$U_2 = \frac{Z_L}{A_{11}Z_L + A_{12}}U_1$$

$$= \frac{Z_L}{A_{11}Z_L + A_{12}} \frac{Z_{1in}}{Z_g + Z_{1in}}U_g$$

其中：

$$U_1 = \frac{Z_{1in}}{Z_g + Z_{1in}}U_g$$

无滤波器网络时

$$U_{20} = \frac{Z_L}{Z_g + Z_L}U_g$$



于是，插入损耗为

$$IL = 20 \lg \left| \frac{U_{20}}{U_2} \right| = 20 \lg \left| \frac{A_{11}Z_L + A_{12} + A_{21}Z_g Z_L + A_{22}Z_g}{Z_g + Z_L} \right|$$

对于源、负载阻抗相等的情况

$$IL = 20 \lg \left| \frac{A_{11}R + A_{12} + A_{21}R^2 + A_{22}R}{2R} \right|$$

$$(Z_g = Z_L = R)$$

$$Z_{1in} = \frac{A_{12} + A_{11}R}{A_{22} + A_{21}R}$$

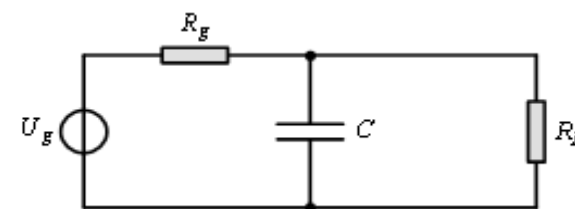


- 并联电容滤波器:

实际上, 电容包含串联电阻和电感。由于电感性的影响, 电容呈现谐振。低于谐振频率时, 滤波器呈现容抗; 高于谐振频率时, 滤波器呈现感抗。理论上可考虑理想情况。

$$A_{11} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = 1 \quad A_{21} = \frac{I_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = \frac{U_1}{U_2} \frac{1/(j\omega C)}{U_2} = j\omega C$$

$$A_{12} = -\frac{U_1}{I_2} \Big|_{U_2=0} = 0 \quad A_{22} = -\frac{I_1}{I_2} \Big|_{U_2=0} = 1$$



于是, 由前面理论分析可得

$$IL = 10 \lg \left[1 + (\omega CR/2)^2 \right] \quad Z_{1in} = Z_{2in} = \frac{R}{1 + j\omega CR}$$

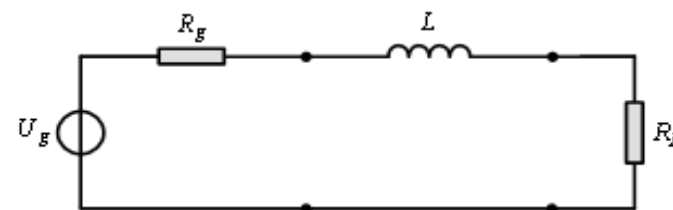


- 串联电感滤波器:

实际上，电感包含串联电阻和绕线间的电容。绕线电容产生自谐振。低于此谐振频率时，电感提供感抗；高于此谐振频率时，电感作为容抗出现。因此，在高频时，普通电感器不是一个好的滤波器。

$$A_{11} = \frac{U_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = 1 \qquad A_{21} = \frac{I_1}{U_2} \Big|_{I_2=0} = 0$$

$$A_{12} = -\frac{U_1}{I_2} \Big|_{U_2=0} = j\omega L \qquad A_{22} = -\frac{I_1}{I_2} \Big|_{U_2=0} = 1$$



于是，由前面理论分析可得

$$IL = 10 \lg \left\{ 1 + [\omega L / (2R)]^2 \right\}$$

$$Z_{1in} = Z_{2in} = j\omega L + R$$



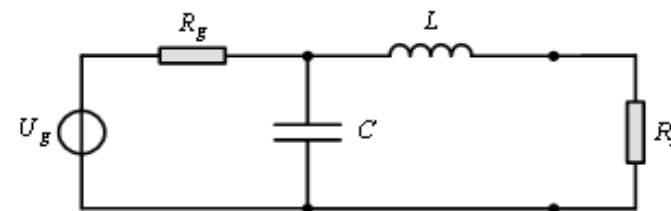
- Γ 型网络:

$$A_{11} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{I_2=0} = 1$$

$$A_{21} = \left. \frac{I_1}{U_2} \right|_{I_2=0} = j\omega C$$

$$A_{12} = - \left. \frac{U_1}{I_2} \right|_{U_2=0} = j\omega L$$

$$A_{22} = - \left. \frac{I_1}{I_2} \right|_{U_2=0} = 1 - \omega^2 LC$$



于是, 可得

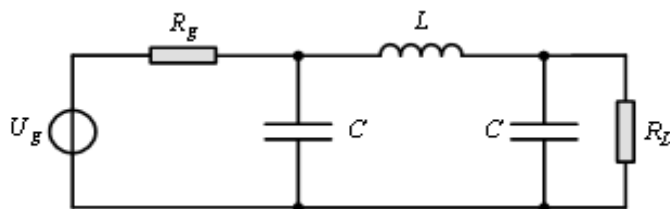
$$\begin{aligned} \therefore IL &= 20 \lg \left| \frac{1}{2} [1 + j\omega L/R + j\omega CR + (1 - \omega^2 LC)] \right| \\ &= 10 \lg \left\{ \frac{1}{4} [(2 - \omega^2 LC)^2 + (\omega CR + \omega L/R)^2] \right\} \end{aligned}$$

$$Z_{1in} = \frac{j\omega L + R}{1 - \omega^2 LC + j\omega CR}$$

$$Z_{2in} = \frac{j\omega L + (1 - \omega^2 LC)R}{1 + j\omega CR}$$



- II型网络:

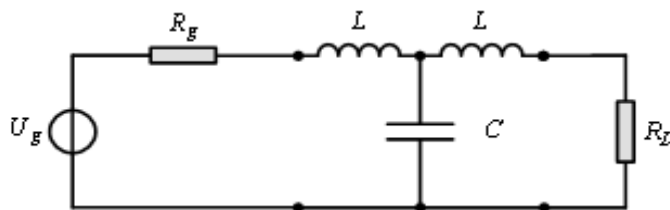


$$IL = 10 \lg \left[(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{2R} - \frac{\omega^3 LC^2 R}{2} + \omega CR \right)^2 \right]$$

可以提供低的输入输出阻抗，适用于在电路源阻抗和负载阻抗高的场合；抑制瞬态干扰不是十分理想。



- T 型网络:



$$IL = 10 \lg \left[(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{\omega^3 L^2 C}{2R} + \frac{\omega CR}{2} \right)^2 \right]$$

该型网络可以提供高的输入输出阻抗，适用于在电路源阻抗和负载阻抗低的情况；能够有效抑制瞬态干扰，主要缺点是需要两个电感器，使得滤波器的总尺寸增大。



插入损耗:

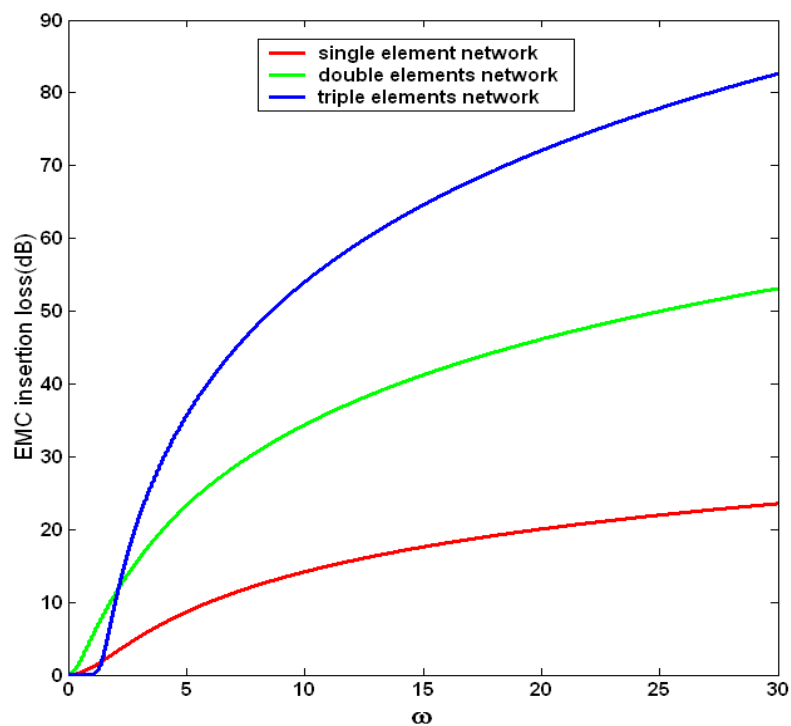
并联电容: $IL = 10 \lg [1 + (\omega CR/2)^2]$

串联电感: $IL = 10 \lg \{1 + [\omega L/(2R)]^2\}$

Γ 型: $IL = 10 \lg \left\{ \frac{1}{4} [(2 - \omega^2 LC)^2 + (\omega CR + \omega L/R)^2] \right\}$

T型: $IL = 10 \lg [(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{\omega^3 L^2 C}{2R} + \frac{\omega CR}{2} \right)^2]$

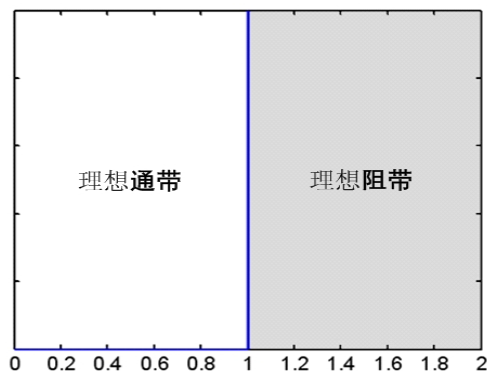
Π 型: $IL = 10 \lg [(1 - \omega^2 LC)^2 + \left(\frac{\omega L}{2R} - \frac{\omega^3 LC^2 R}{2} + \omega CR \right)^2]$



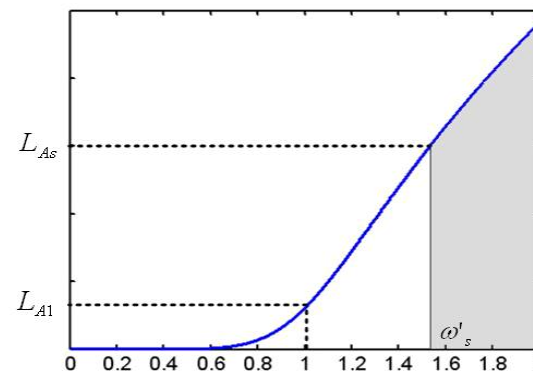
三种典型结构一般性数学形式的频率特性



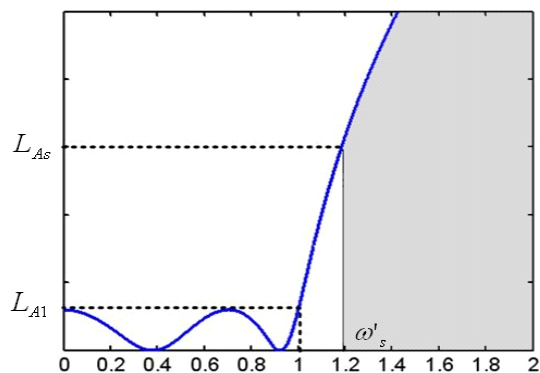
低通的实现形式



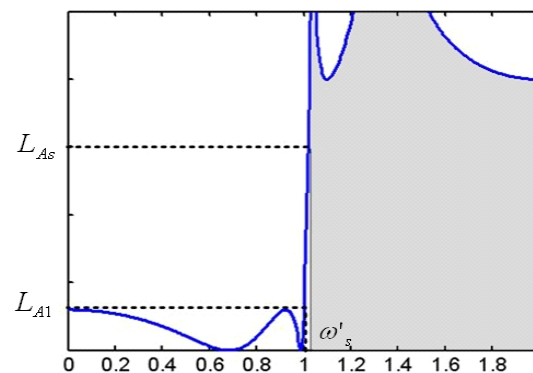
(a) 理想特性



(b) 最平坦型逼近



(c) 切比雪夫特性



(d) 椭圆函数逼近



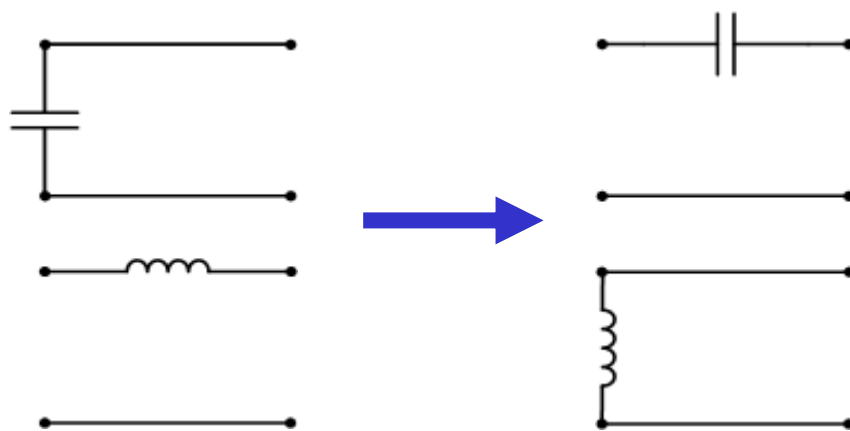
■ 高通滤波器

用于抑制信号通路上的交流电流分量或抑制某个特定的低频外来信号。

设计方法：对偶变换

(1) 网络结构-将低通滤波器网络中所有电容器与电感器互换。

(2) 将低通滤波器电路中各 L 值和 C 值取其倒数作为高通滤波器对应的 C 值和 L 值。





■ 带通滤波器

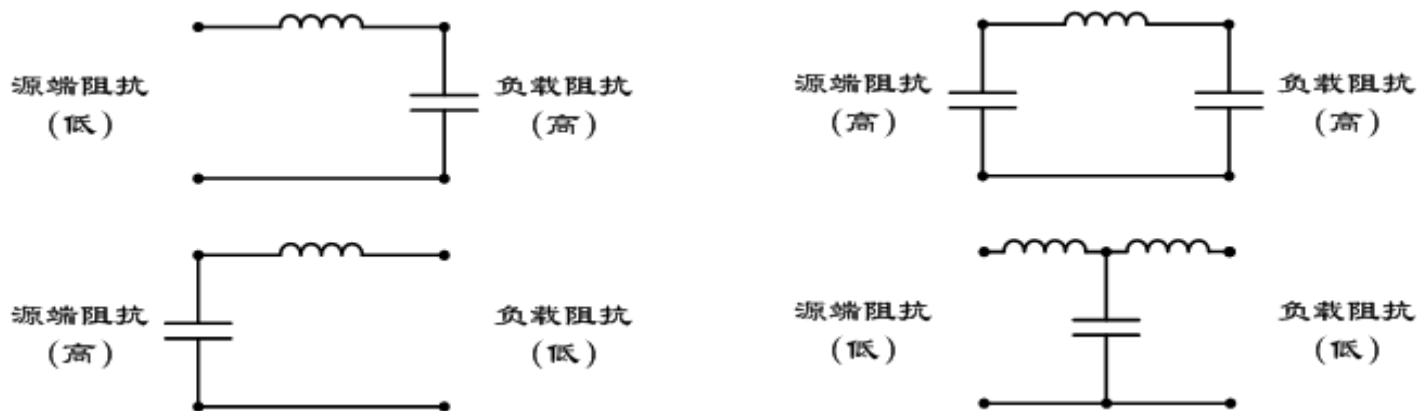
只允许在某一频率段的电信号通过，即允许通带内的信号无衰减地通过，对通带外地高频或者低频干扰能量进行衰减。

■ 带阻滤波器

带阻滤波器地频率特性与带通滤波器的频率特性正好相反。



应根据信号源内阻和负载对滤波器频率特性的选用不同形式的滤波器。



输入、输出遵循**最大失配**原则，以获得尽可能佳的抑制效果。



西安电子科技大学

XIDIAN UNIVERSITY



- 这里我们主要讨论的低通滤波器，但是，对于高通、带通和带阻滤波结构，都可以通过低通结构来进一步在其基础上进行讨论。在应用中，反射式滤波器的选择应由滤波器类型、源阻抗和负载阻抗间的组合关系来确定。一般而言，应遵循输入端、输出端最大限度失配的原则，以求获得最佳抑制效果。