

信号与系统

信息学院 主干基础课

上节课内容要点回顾

- * 单边拉氏变换的定义
- * 拉氏变换的性质
- * 拉氏逆变换
- * 系统函数的概念
- * 从极、零点分布分析系统时域特性

第八讲

第四章 拉普拉斯变换及连续时间系统的s域分析

- § 4.8 线性时不变系统的稳定性
- § 4.9 从系统函数极、零点分布分析系统的频响特性
- § 4.10 最小相移系统与全通函数的概念
- § 4.11 拉氏变换与傅氏变换间的关系

第五章 连续时间系统的傅里叶分析

- § 5.1 利用系统函数 $H(j\omega)$ 求响应
- § 5.2 信号的无失真传输
- § 5.3 理想滤波器及系统的物理可实现性



§4.8 线性时不变系统的稳定性

研究问题类型的不同，系统稳定性的定义也不一定相同。

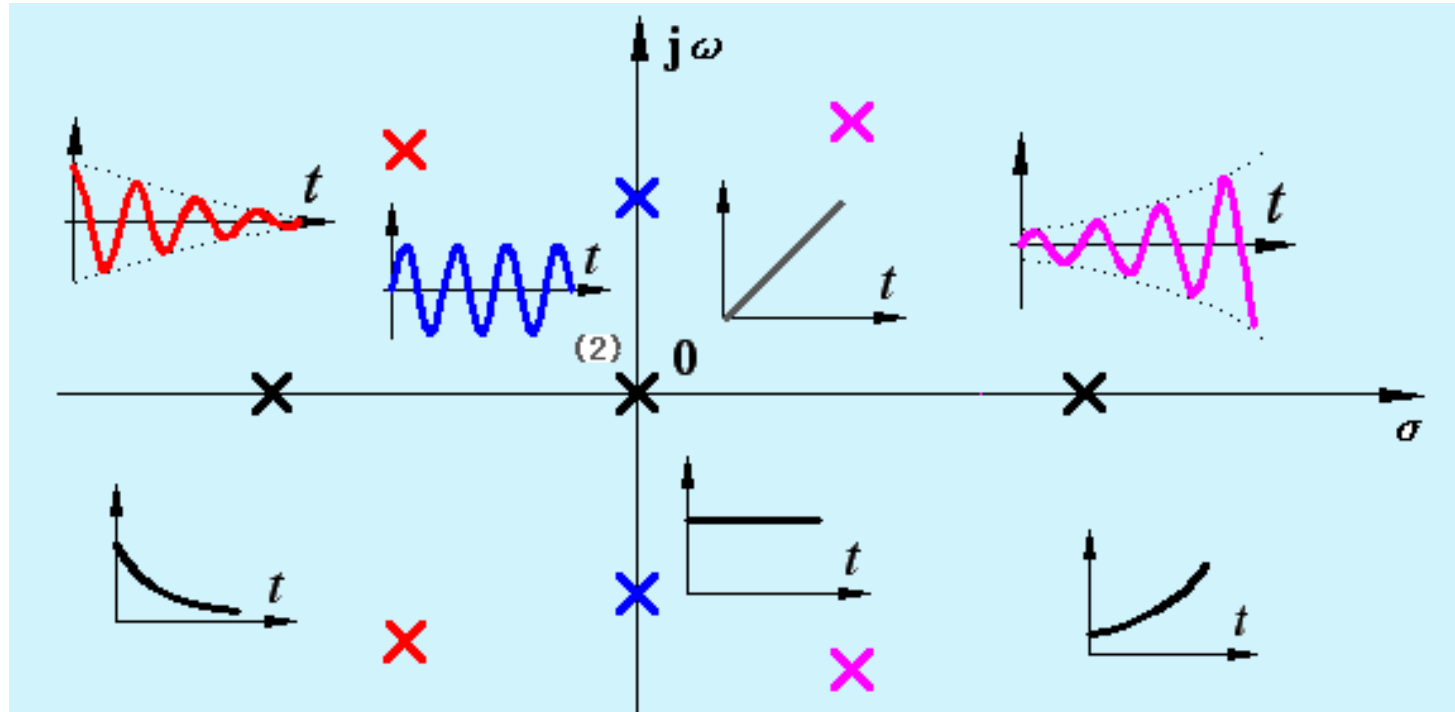
线性系统的(BIBO)稳定性定义：

有界激励产生有界响应(Bounded Input Bounded Output)。

稳定系统的时域充要条件为 $\int_{-\infty}^{\infty} |h(t)| dt \leq M < \infty$ 对于因果系统： $\int_0^{\infty} |h(t)| dt \leq M < \infty$

与此相对应的频域条件是什么？

系统函数中极点位置的不同对 $h(t)$ 时域特性的影响：



含位于右半平面极点的系统是不稳定的、
含位于虚轴上的二阶及二阶以上极点的系统是不稳定的、
仅含位于虚轴上的一阶极点的系统是临界稳定的、
在虚轴及右半平面无极点的系统是稳定的。

单位冲激响应绝对可积等价于其傅里叶变换收敛，从频域判断：
当且仅当系统函数的ROC包含 $j\omega$ 轴时，LTI系统就是稳定的。

从频域判断系统是否稳定取决于系统函数极点的位置：

稳定系统： 右半平面及虚轴上均无极点；

不稳定系统： 右半平面有极点或虚轴上含有二阶以上极点；

临界稳定系统： 右半平面无极点、虚轴上有一阶极点(若按照系统的稳定性定义，理应将此类系统归类于不稳定系统)

例：

$$H_1(s) = \frac{1}{s} \quad h_1(t) = u(t)$$

$$e_1(t) = u(t)$$

$$r_1(t) = e_1(t) * h_1(t) = t \cdot u(t)$$

$$H_2(s) = \frac{s}{s^2 + \omega_0^2} \quad h_2(t) = \sin(\omega_0 t)u(t)$$

$$e_2(t) = \sin(\omega_0 t)u(t) \quad r_2(t) = e_2(t) * h_2(t) = \frac{1}{2}t \cdot \sin(\omega_0 t)u(t)$$

对于临界稳定系统，响应是否有界与激励有关，具体分析只需将前边对于 $H(s)$ 所获结论改为针对 $E(s)H(s)$ 的分析即可。

上述结论在确知系统函数的极点位置时可有效进行稳定性判断，但在复杂情况下无法完成对分母多项式进行的因式分解的情况下如何判断系统函数是否含有右半平面极点呢？

可以分别考察系统函数的分子、分母多项式阶次与分母多项式的构成形式两方面……

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = H_1(s) + \frac{B_1(s)}{A(s)} = s^n + s^{n-1} + \cdots + s + k + \frac{B_1(s)}{A(s)}$$

$$s : u'(t) \rightarrow \delta(t)$$

k : 稳定

1、系统函数分母多项式的根均位于左开平面的必要条件：

- (1) 分母多项式的所有系数非0（无缺项）；
- (2) 分母多项式所有系数的符号相同。

例1 $A(s) = s^3 + 4s^2 - 3s + 2$ 符号相异，不稳定

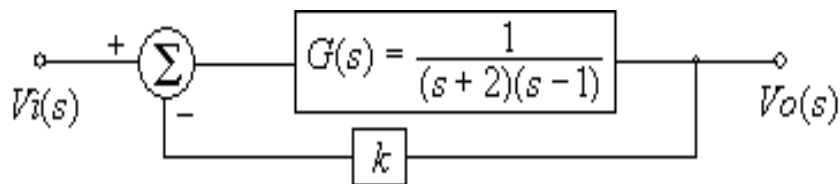
例2 $A(s) = 5s^3 + 7s + 2$ 有缺项，不稳定

例3 $A(s) = 3s^3 + s^2 + 2s + 8 = (s^2 - s + 2)(3s + 4)$

2、系统稳定性的判别准则——罗斯-霍尔维兹准则

判别系统函数分母多项式的根是否全部位于左开平面的有效方法是列写该多项式的系数罗斯阵列，按照罗斯-霍尔维兹准则作判别.....

例：讨论下图中K对系统稳定性的影响：



求系统函数： $V_o(s) = G(s)[V_i(s) - kV_o(s)] = G(s)V_i(s) - kG(s)V_o(s)$

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{G(s)}{1 + kG(s)} = \frac{1}{(s+2)(s-1) + k} = \frac{1}{s^2 + s - 2 + k}$$

当 $k > 2$ 时系统稳定；

当 $k = 2$ 时系统临界稳定；

当 $k < 2$ 时系统不稳定。

§4.9 从系统函数极、零点分布分析系统的频响特性

系统的频率响应特性： 系统在正弦信号激励下的稳态响应

激励信号： $e(t) = E_m \sin \omega_0 t \Leftrightarrow E(s) = \frac{E_m \omega_0}{s^2 + \omega_0^2}$

稳态响应 $R_s(s) = \sum H(s)E(s) = \frac{k_1}{s + j\omega_0} + \frac{k_2}{s - j\omega_0} + \frac{K_1}{s - p_1} + \dots + \frac{K_n}{s - p_n}$

若系统函数虚轴上无极点：

$$= \frac{k_1}{s + j\omega_0} + \frac{k_2}{s - j\omega_0}$$

$$k_1 = (s + j\omega_0) H(s) E(s) \Big|_{s = -j\omega_0} = \frac{E_m H(-j\omega_0)}{-2j} = \frac{E_m H^*(j\omega_0)}{-2j}$$

$$k_2 = (s - j\omega_0) H(s) E(s) \Big|_{s = j\omega_0} = \frac{E_m H(j\omega_0)}{2j}$$

$$R_s(s) = \frac{-\frac{E_m}{2j} H(-j\omega_0)}{s + j\omega_0} + \frac{\frac{E_m}{2j} H(j\omega_0)}{s - j\omega_0} = \frac{E_m}{2j} |H(j\omega_0)| \left[-\frac{e^{-j\varphi(\omega_0)}}{s + j\omega_0} + \frac{e^{j\varphi(\omega_0)}}{s - j\omega_0} \right]$$

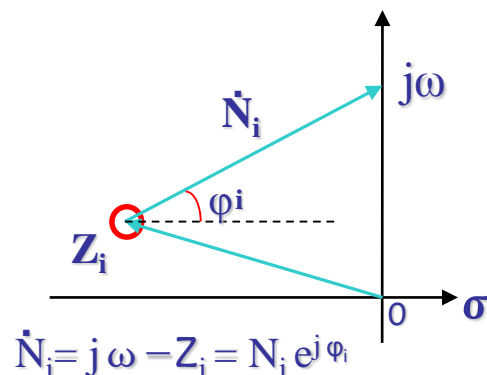
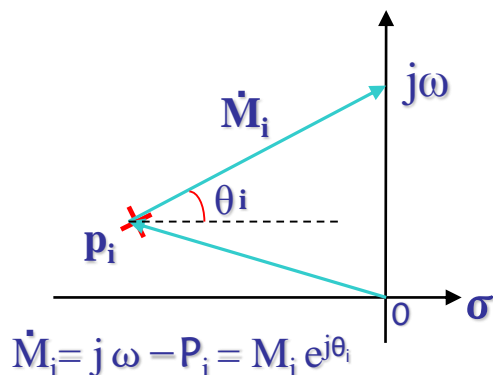
$$r_s(t) = E_m |H(j\omega_0)| \frac{-e^{-j\omega_0 t} e^{-j\varphi(\omega_0)} + e^{j\omega_0 t} e^{j\varphi(\omega_0)}}{2j}$$

$$= E_m |H(j\omega_0)| \sin[\omega_0 t + \varphi(\omega_0)]$$

幅频特性

相频特性

系统的极、零点矢量：



给定系统函数：

$$H(s) = \frac{s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} = \frac{(s - z_1)(s - z_2)}{(s - p_1)(s - p_2)} = \frac{(j\omega - z_1)(j\omega - z_2)}{(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)}$$

分析频响特性时自变量s取自虚轴：

$$H(j\omega) = \frac{(j\omega - z_1)(j\omega - z_2)}{(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)}$$

频响特性可被表示成：

$$H(j\omega) = \frac{N_1 N_2}{M_1 M_2} e^{j[(\phi_1 + \phi_2) - (\theta_1 + \theta_2)]}$$

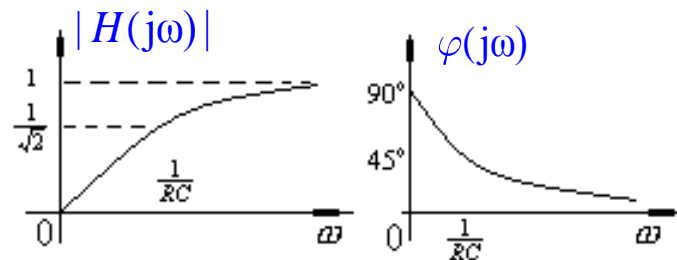
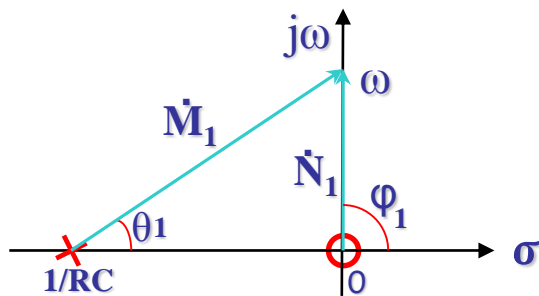
其幅频特性：

$$|H(j\omega)| = \frac{N_1 N_2}{M_1 M_2}$$

相频特性：

$$\phi(j\omega) = \phi_1 + \phi_2 - \theta_1 - \theta_2$$

用极、零点矢量法分析系统频响特性举例：



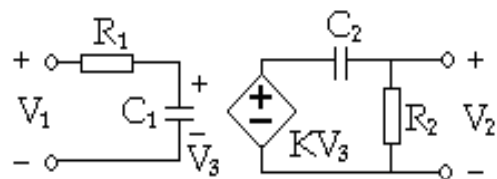
$$H(s) = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}}$$

$$\omega = 0^+ \quad N_1 = 0 \quad |H(j\omega)| = 0 \quad \varphi(j\omega) = 90^\circ$$

$$\omega = \frac{1}{RC} \quad N_1 = \frac{1}{RC} \quad \frac{N_1}{M_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \varphi(j\omega) = 45^\circ$$

$$\omega \rightarrow \infty \quad N_1 = M_1 \quad \frac{N_1}{M_1} = 1 \quad \varphi(j\omega) = 0^\circ$$

例：给定带受控源的放大器电路如图，试绘其幅频特性和相频特性
 （已知： $R_1C_1 \ll R_2C_2$ ， KV_3 为受控源）

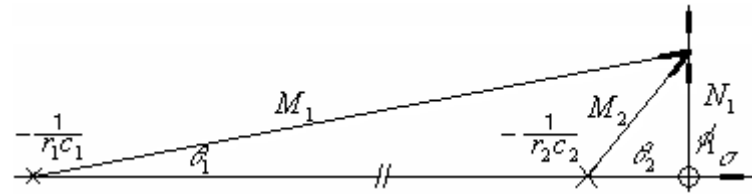


$$V_2 = \frac{r_2}{r_2 + \frac{1}{sc_2}} k \cdot V_3 = \frac{kr_2}{r_2 + \frac{1}{sc_2}} \cdot \frac{1}{r_1 + \frac{1}{sc_1}} V_1$$

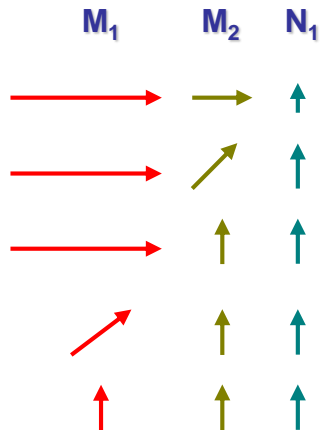
$$H(s) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{k}{r_1c_1} \frac{s}{(s + \frac{1}{r_2c_2})(s + \frac{1}{r_1c_1})}$$

$$|H(j\omega)| = \frac{k}{r_1c_1} \frac{N_1}{M_1M_2} \quad \arg H(j\omega) = 90^\circ - \theta_1 - \theta_2$$

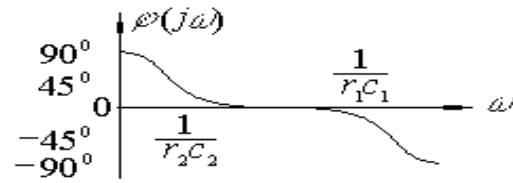
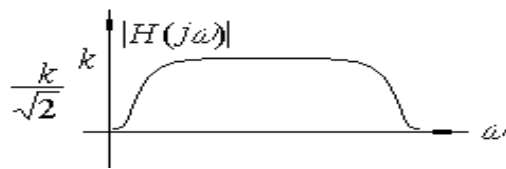
$$H(s) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{k}{r_1 c_1} \frac{s}{(s + \frac{1}{r_2 c_2})(s + \frac{1}{r_1 c_1})}$$



$$|H(j\omega)| = \frac{k}{r_1 c_1} \frac{N_1}{M_1 M_2} \quad \arg H(j\omega) = 90^\circ - \theta_1 - \theta_2$$



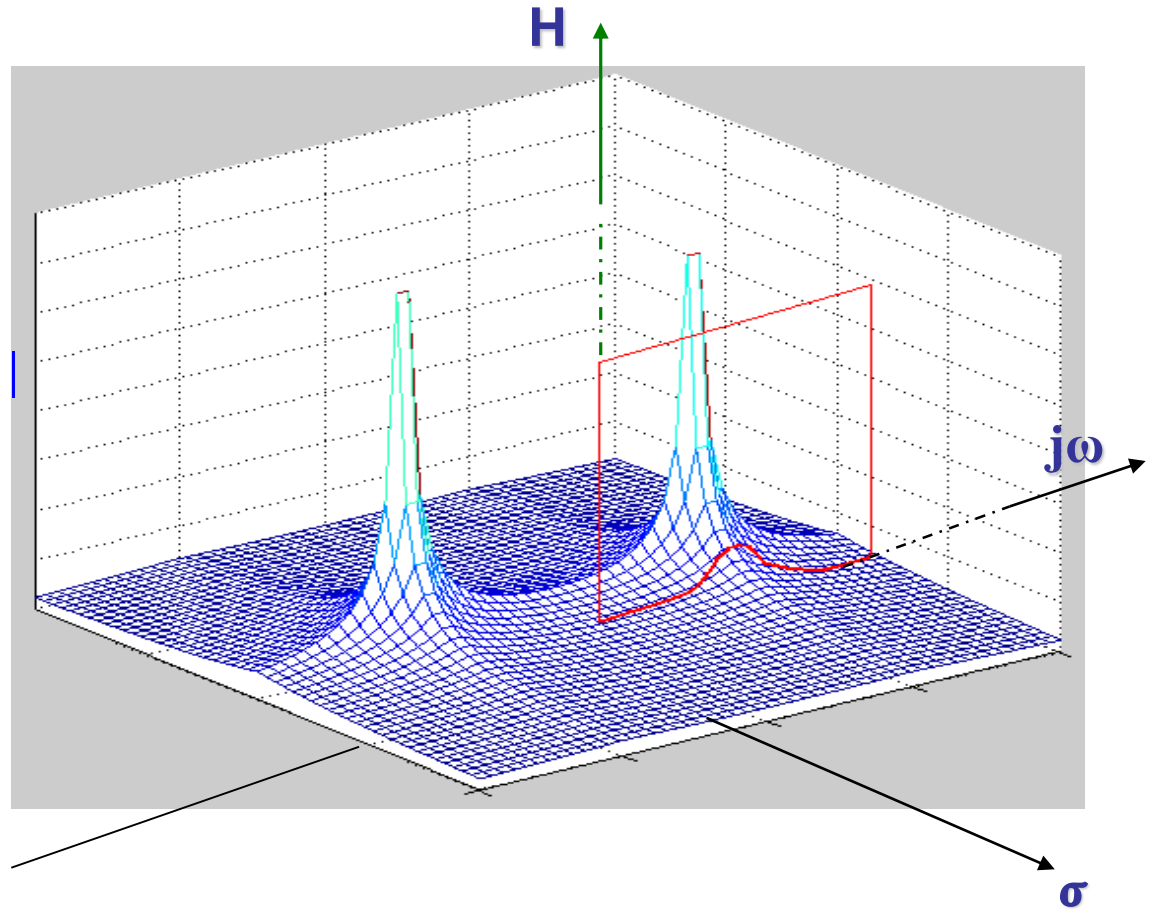
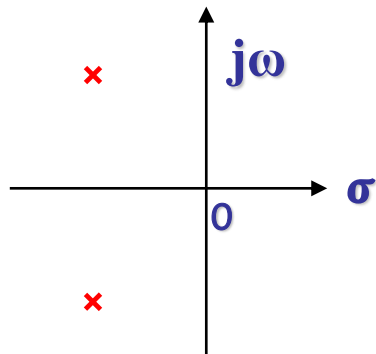
ω	N_1	M_1	M_2	$ H(j\omega) $	\angle	θ_1	θ_2	$\angle(j\omega)$
0^+	0^+	$1/r_1 c_1$	$1/r_2 c_2$	0^+	90°	0°	0°	90°
$1/r_2 c_2$	$1/r_2 c_2$	$1/r_1 c_1$	$\sqrt{2}/r_2 c_2$	$k/\sqrt{2}$	90°	0°	45°	45°
$1/r_1 c_1 \ll \omega \ll 1/r_2 c_2$	$= \omega$	$1/r_1 c_1$	$= \omega$	k	90°	0°	90°	0°
$1/r_1 c_1$	$1/r_1 c_1$	$\sqrt{2}/r_1 c_1$	$1/r_1 c_1$	$k/\sqrt{2}$	90°	45°	90°	-45°
∞	∞	∞	∞	0^+	90°	90°	90°	-90°



从系统函数自身的空间图形理解其幅频特性

$$|H(s)| = \left| \frac{k}{s^2 + \alpha^2} \right|$$

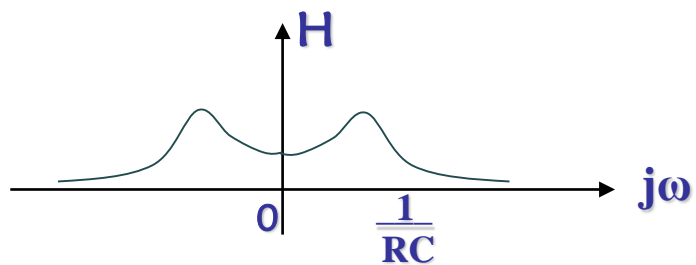
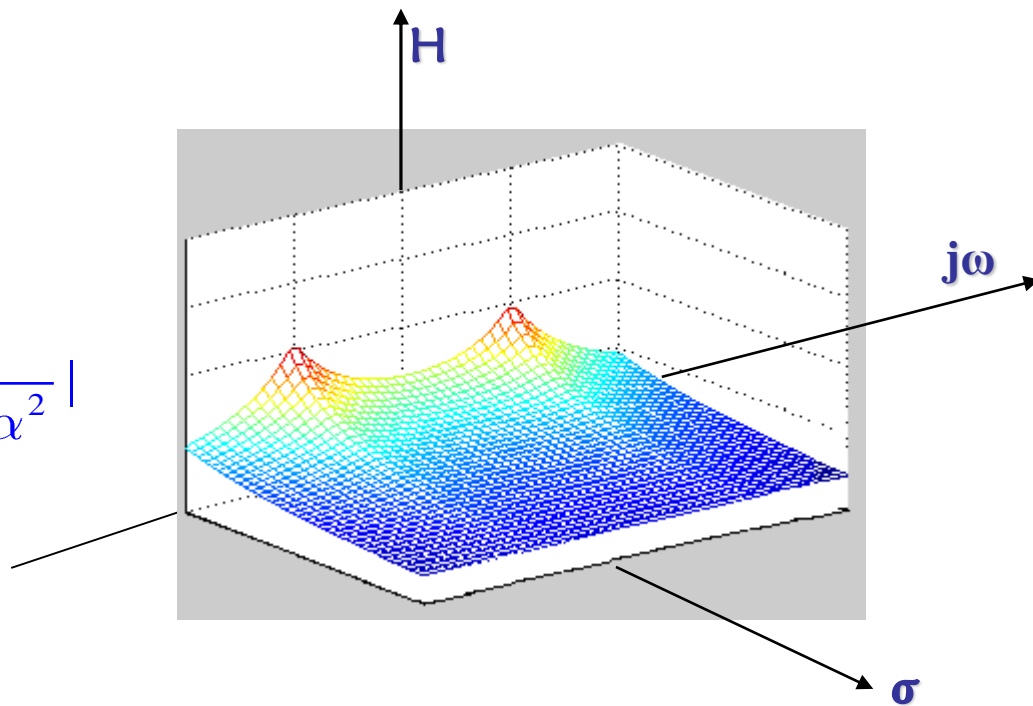
$$|H(j\omega)| = \left| \frac{k}{(j\omega)^2 + \alpha^2} \right|$$



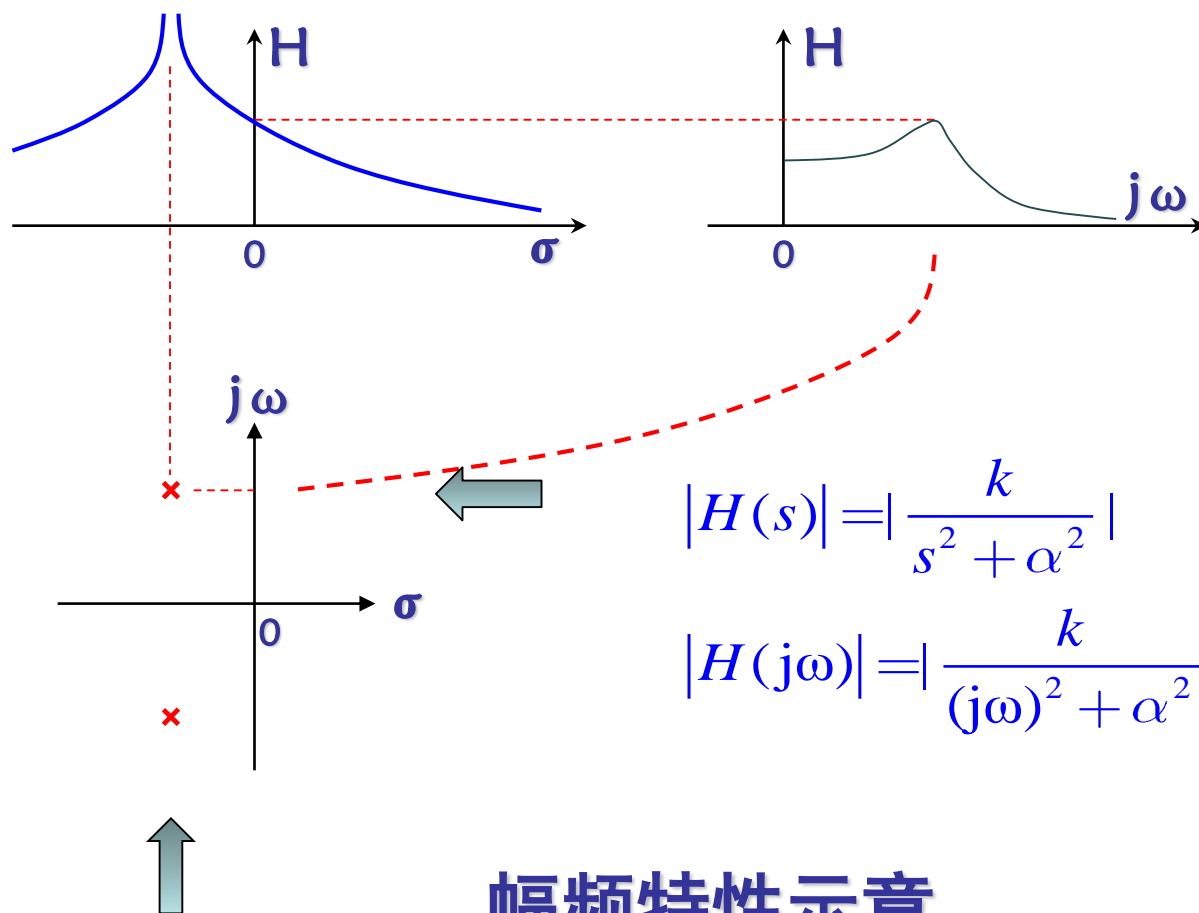
幅频特性示意

$$|H(s)| = \left| \frac{k}{s^2 + \alpha^2} \right|$$

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{k}{(j\omega)^2 + \alpha^2} \right|$$



幅频特性示意



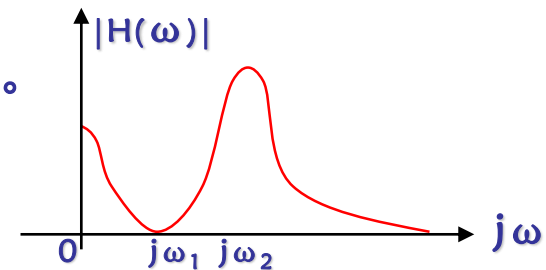
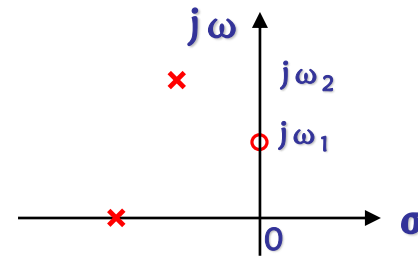
幅频特性示意

判断要点：

1. 极点特征；
2. 零点特征；
3. 确定 $|H(0)|$ ，观察 $|H(\infty)|$ 趋势；

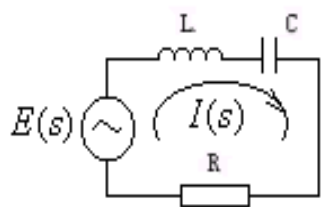
如原点处增加一个零点，则 $|H(\infty)|$ 趋于常数

4. 兼顾以上特征，使曲线在其它地方平滑连续。



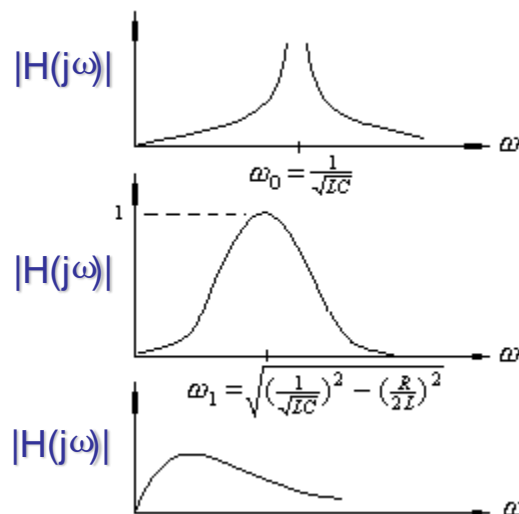
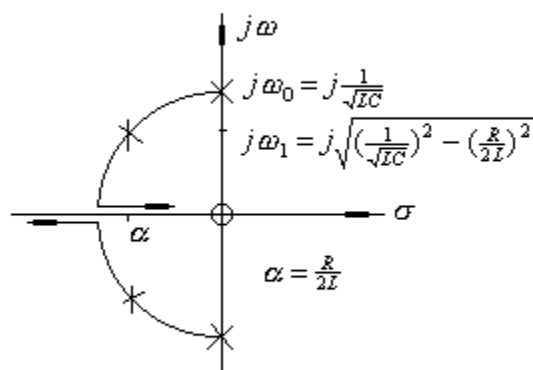
此种方法的局限性：只能定性分析、一阶二阶极点区别不大

分析串联二阶系统的频率特性：



$$H(s) = \frac{I(s)}{E(s)} = \frac{1}{sL + \frac{1}{sC} + R} = \frac{\frac{1}{L}s}{(s+p_1)(s+p_2)}$$

$$p_{1,2} = \frac{R}{2L} \pm j\sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)^2 - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} = \alpha \pm j\omega_1$$



极点随 $R/2L$ 值变化移动的轨迹如上，较典型的幅频特性有三种情形：

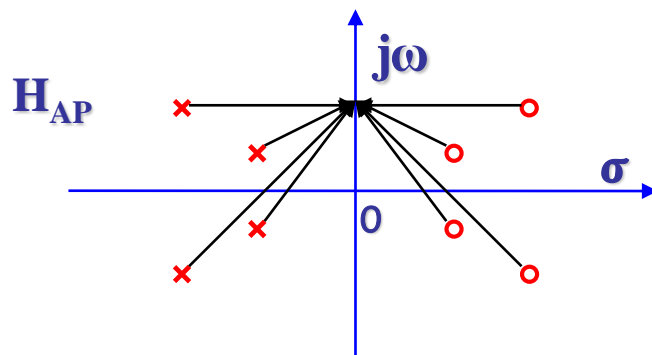
- (1) $R = 0$ 无损耗 ($R=0$)，处于理想谐振状态，任意扰动都可造成无休止的振荡；
- (2) $\frac{1}{\sqrt{LC}} > \frac{R}{2L}$ 有较小损耗，具有较好的选频带通滤波的特征；
- (3) $\frac{1}{\sqrt{LC}} < \frac{R}{2L}$ 损耗很大时，带通滤波的选择性大大降低。

§4.10 最小相移系统与全通函数的概念

全通函数：

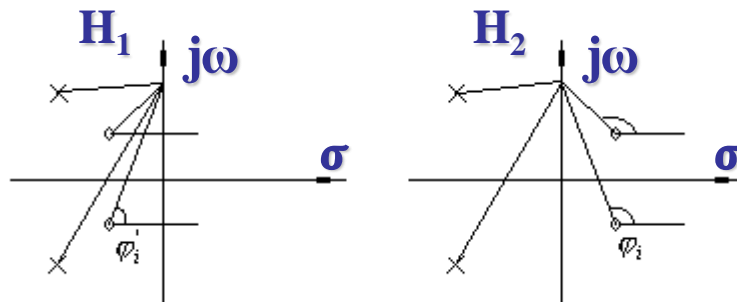
极点全部位于左半平面的系统(因而是稳定系统)，同时又具有与极点同样数目的零点分布于右半平面，且与极点的位置呈镜像对称于虚轴，使其系统函数具有如下特征：

$$N_i = M_i \quad \therefore |H(j\omega)| = k$$

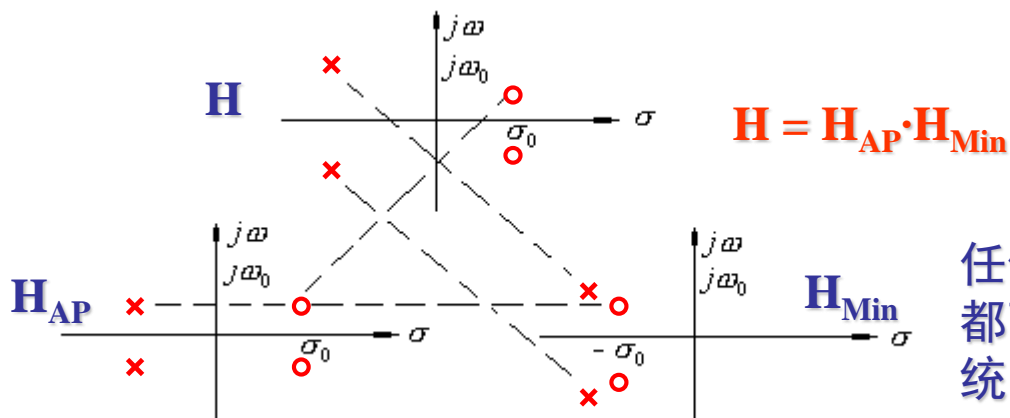


当信号通过全通网络时，不改变幅度谱，仅改变相位谱，形成纯相位滤波。全通滤波器作为一个纯相位滤波器，常被用作相位均衡。

最小相移函数：



上图所表示的两个系统，由于极点位置一样而零点位置于虚轴呈镜像对称，故两者的幅频特性一样但左边的合成矢量角度要小于右边 $\sum \phi'_i < \sum \phi_i$ ，即零点位于左半平面的系统具有较小相移，因而称零点全部位于左半平面的系统函数为“最小相移函数”。



任何一个因果稳定（非最小相位系统）都可以表示成全通系统和最小相位系统的级联。

全通系统的典型应用

用于系统相位均衡；

在满足幅度特性要求的滤波器后级联一个全通子系统，用来进行相位校正，使总体相位特性满足特定要求，比如使系统为线性的；

通过级联全通子系统可将一个非稳定滤波器修正为一个稳定滤波器。



§ 4.11 拉氏变换与傅氏变换间的关系

由于单边拉氏变换与傅氏变换之间满足： $L\{f(t)\} = \mathfrak{F}\{f(t)e^{-\sigma t}u(t)\}$

因此何时可通过简单互代换（ $s \leftarrow j\omega$ ）从一种变换式形式得到另一种变换式形式完全取决于收敛因子 $e^{-\sigma t}$ 的作用：

收敛轴 $\sigma = \sigma_0$ 的位置：

收敛轴在右半平面：傅氏变换不存在；

收敛轴在左半平面：傅氏变换等于拉氏变换自变量 s 代换以 $j\omega$ ；

收敛轴与虚轴重合：需要单独分析.....

假设虚轴上有N个极点，为分析方便起见，将系统函数分解为两部分，一部分极点都在左半平面、另一部分极点都在虚轴上：

$$F(s) = F_a(s) + \sum_{n=1}^N \frac{k_n}{s - j\omega_n} \quad \Leftrightarrow \quad f(t) = f_a(t) + \sum_{n=1}^N k_n e^{-j\omega_n t} u(t) \quad (\text{拉氏反变换、s域平移性质})$$

$$\begin{aligned} \text{再做傅里叶变换: } F(j\omega) &= F_a(j\omega) + \sum_{n=1}^N k_n \{ \delta(\omega - \omega_n) * [\pi\delta(\omega) + \frac{1}{j\omega}] \} \\ &= F_a(j\omega) + \sum_{n=1}^N \frac{k_n}{j(\omega - \omega_n)} + \sum_{n=1}^N k_n \pi \delta(\omega - \omega_n) \end{aligned}$$

$$\text{转换公式: } F(j\omega) = F(s) \Big|_{s=j\omega} + \sum_{n=1}^N k_n \pi \delta(\omega - \omega_n)$$

$$k_n \text{ 为部分分式展开后的系数, 即 } k_n \text{ 满足: } F(s) = \sum_n \frac{k_n}{s - \omega_n}$$

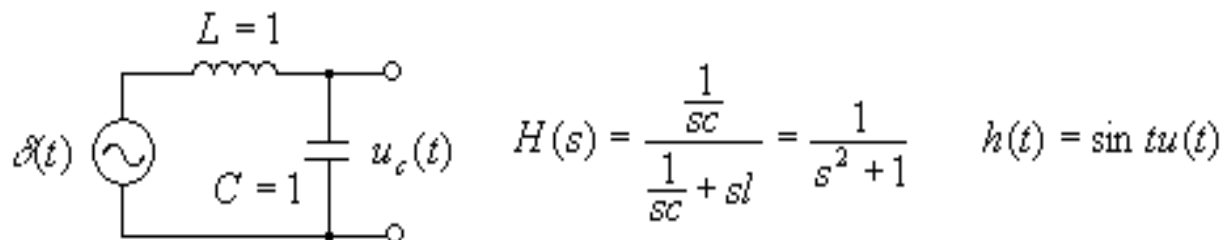
例：已知 $\sin(\omega_0 t)u(t) \leftrightarrow F(s) = \frac{\omega_0}{s^2 + \omega_0^2}$ ，试求其傅里叶变换：

$$\text{因为: } F(s) = \frac{\omega_0}{s^2 + \omega_0^2} = \frac{\omega_0}{(s + j\omega_0)(s - j\omega_0)} = \frac{j/2}{(s + j\omega_0)} - \frac{j/2}{(s - j\omega_0)}$$

$$\text{所以: } F(j\omega) = \frac{\omega_0}{s^2 + \omega_0^2} \Big|_{s=j\omega} + \sum_{n=1}^2 k_n \pi \delta(\omega - \omega_n) = \frac{\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} + j \frac{\pi}{2} [\delta(\omega + \omega_0) - \delta(\omega - \omega_0)]$$

§5.1 利用系统函数 $H(j\omega)$ 求响应

基于不同积分变换的系统函数间的差异：



基于拉氏变换的系统函数

求基于傅里叶变换的系统函数 $H(j\omega)$ ：复杂，无s域原件模型可利用

列写回路微分方程： $L \frac{di(t)}{dt} + u_c(t) = \delta(t) \quad \because i(t) = C \frac{du_c}{dt} \quad \therefore LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + u_c = \delta(t)$

代入数值后可解出： $u_c''(t) + u_c(t) = \delta(t) \quad \therefore h(t) = \sin t u(t)$

求傅里叶变换： $H(j\omega) = \mathfrak{F}\{\sin(t)u(t)\} = \frac{1}{2\pi} j\pi [\delta(\omega+1) - \delta(\omega-1)] * [\frac{1}{j\omega} + \pi\delta(\omega)]$

§ 5.2 信号的无失真传输

信号不失真传输的时域特征：

激励与响应间信号的波形比例关系一致、允许有一定的输出时延：

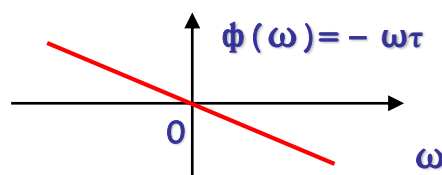
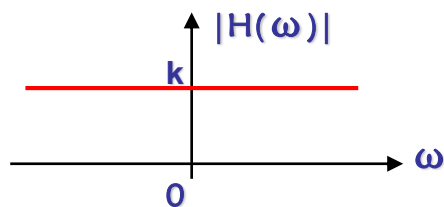
$$r(t) = ke(t - \tau)$$

根据： $r(t) = h(t) * e(t)$

解卷积后可得： $h(t) = k\delta(t - \tau)$ 不失真传输系统的冲激响应

频域特征：

$$H(j\omega) = \mathcal{F} h(t) = ke^{-j\omega\tau}$$



例： 设输入信号为： $e(t) = \sin \omega t + \sin 2\omega t$

若输出各分量具有相同的相移： $r(t) = \sin(\omega t - \frac{\pi}{4}) + \sin(2\omega t - \frac{\pi}{4})$

其各分量的时延为： $r(t) = \sin[\omega(t - \frac{\pi}{4\omega})] + \sin[2\omega(t - \frac{\pi}{8\omega})]$

只有当各分量的相移正比于频率时才能确保各分量的时延一致，确保合成波形不失真：

$$r(t) = \sin(\omega t - \frac{\pi}{4}) + \sin(2\omega t - \frac{\pi}{2})$$

=====

设系统传输特性关系为： $\mathbf{R(j\omega)} = \mathbf{H(j\omega)E(j\omega)}$,

$$\mathbf{R(j\omega)} = |\mathbf{R(j\omega)}|e^{j\varphi_r(\omega)} \quad \mathbf{E(j\omega)} = |\mathbf{E(j\omega)}|e^{j\varphi_e(\omega)}$$

不失真的激励响应关系满足：

$$\frac{d}{d\omega} \frac{|\mathbf{R(j\omega)}|}{|\mathbf{E(j\omega)}|} = 0 \quad \frac{d}{d\omega} [\varphi_r(\omega) - \varphi_e(\omega)] = \text{常数}$$

‘群时延’：相频特性对角频率导数的负值，常表示系统所具有的有效公共时延。

$$\tau = -\frac{d\varphi_h(\omega)}{d\omega} = -\frac{d}{d\omega}[\varphi_r(\omega) - \varphi_e(\omega)] = f(\omega^2)$$

例：分析下图系统的传输特性：



系统函数：

$$H(s) = \frac{s}{s^2 + s + 1} \quad H(j\omega) = \frac{j\omega}{(1 - \omega^2) + j\omega}$$

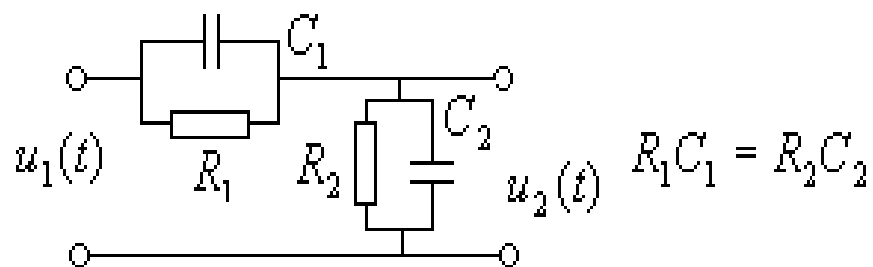
相位特性：

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{\omega}{1 - \omega^2}\right)$$

群时延：

$$\tau = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} = \frac{\omega^2 + 1}{\omega^4 - \omega^2 + 1}$$

示波器输入衰减器电路是一个无失真传输环节：



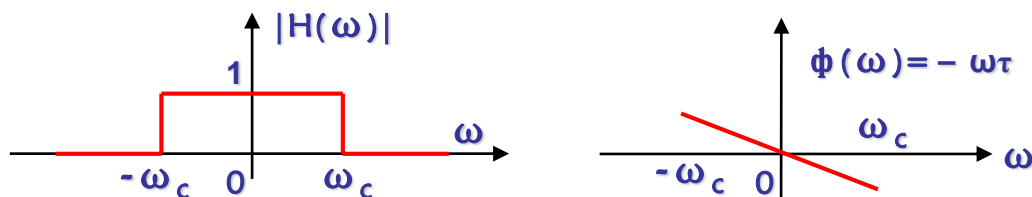
传输函数：

$$H(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



§ 5.3 理想滤波器及系统的物理可实现性

一、理想低通滤波器



传输函数为：

$$H(j\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_0} & |\omega| \leq \omega_c \\ 0 & |\omega| > \omega_c \end{cases}$$

或表示为：

$$H(j\omega) = e^{-j\omega t_0} [u(\omega + \omega_c) - u(\omega - \omega_c)]$$

冲激响应：

$$\begin{aligned} h(t) &= \mathfrak{F}^{-1}[H(j\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_c}^{\omega_c} e^{-j\omega t_0} e^{j\omega t} d\omega \\ &= \frac{\omega_c}{\pi} \text{Sa}[\omega_c(t - t_0)] \end{aligned}$$

不满足因果性：不可实现
不绝对可积：不稳定

例：理想带通滤波器：

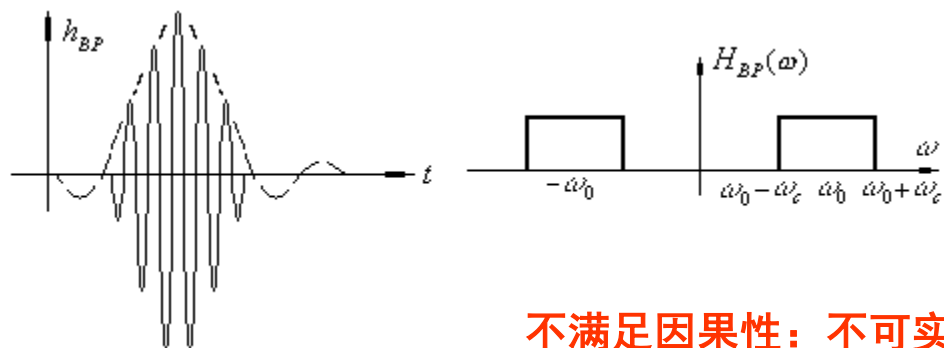
依据频移特性：若： $f(t) \leftrightarrow F(\omega)$

则： $f(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow F(\omega - \omega_0)$

对实函数有： $f(t)\cos\omega_0 t \leftrightarrow \frac{1}{2}[F(\omega + \omega_0) + F(\omega - \omega_0)]$

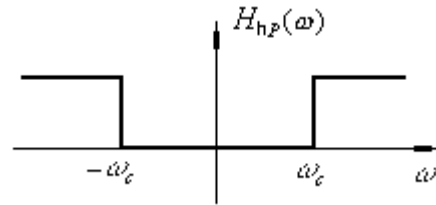
理想带通滤波器的冲激响应为：

$$h_{BP}(t) = h(t)\cos\omega_0 t = \frac{\omega_c}{\pi} \text{Sa}[\omega_c(t - t_0)]\cos\omega_0 t \quad \omega_0 > \omega_c$$



不满足因果性：不可实现
不绝对可积：不稳定

例：理想高通滤波器：



为分析方便起见，选择一种特殊的情形：假设系统传输时延为零（无相移），这时应具有简单线性关系：

$$H_{LP}(\omega) + H_{HP}(\omega) = 1$$

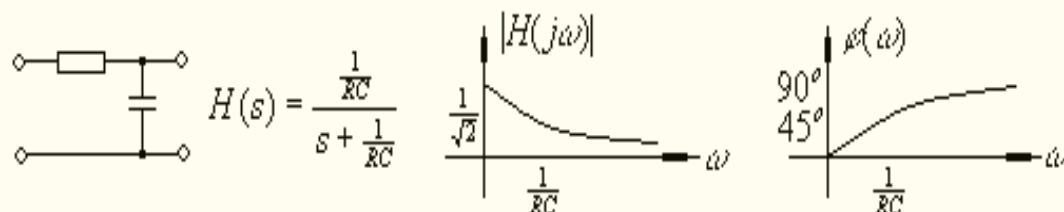
因有： $h_{hp}(t) = \delta(t) - h_{lp}(t) = \delta(t) - \frac{\omega_c}{\pi} Sa(\omega_c t)$

不满足因果性：不可实现

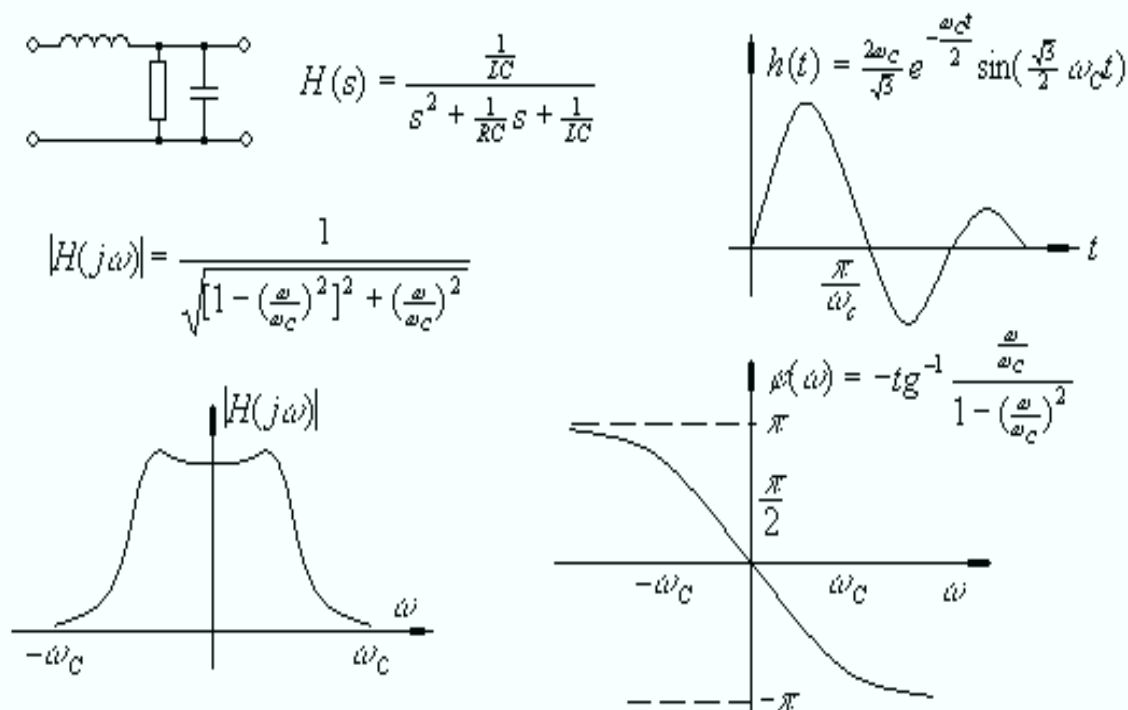
不绝对可积：不稳定

实际 RLC 滤波器举例：

一阶 RC 低通：



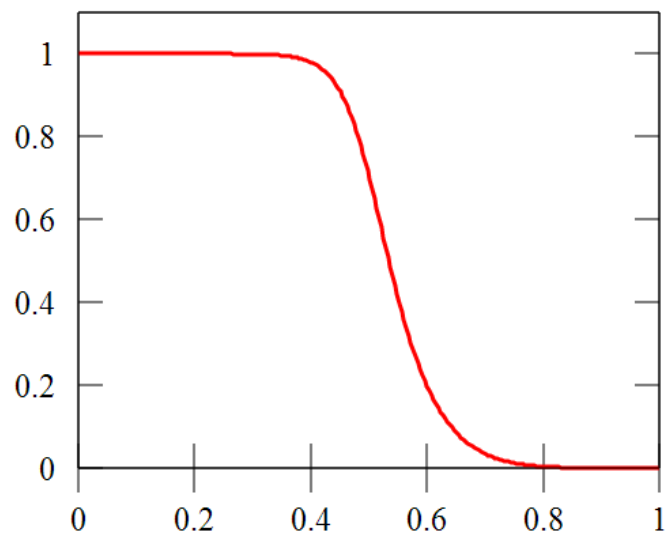
二阶 LC 低通：



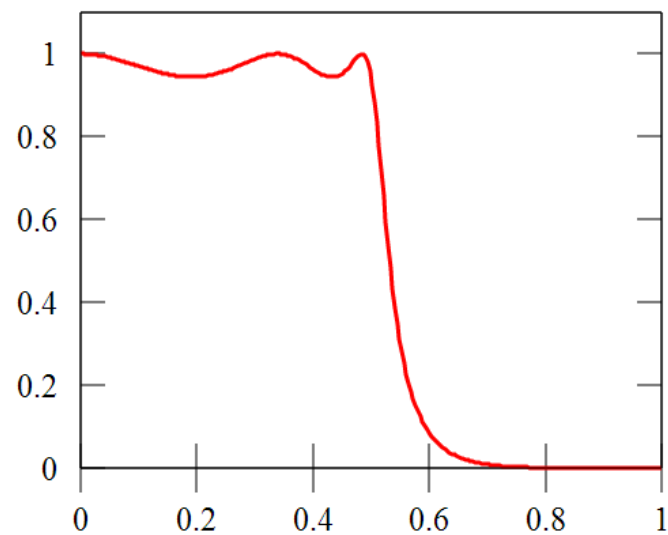
实际应用中的几种传统典型模拟滤波器：

滤波器类型	滤波特征	N阶低通滤波器系统函数原型	简要说明
Butterworth	通带、阻带都单调	$ H(\omega) ^2 = 1 / (1 + \varepsilon^2 \omega^{2n})$	最大平坦滤波器
Chebyshev_I	通带单调、阻带波动	$ H(\omega) ^2 = 1 / (1 + \varepsilon^2 T_n^2(\omega))$	$T_n(x)$ 为第一类 Chebyshev 多项式
Chebyshev_II	通带波动、阻带单调	$ H(\omega) ^2 = \mu^2 T_n^2(1/\omega) / [1 + \mu^2 T_n^2(1/\omega)]$	称“逆” Chebyshev 型
椭圆型	通带、阻带都波动	$ H(\omega) ^2 = 1 / (1 + \varepsilon^2 R_n^2(\omega, \delta))$	$R_n(\omega, \delta)$ 为 Chebyshev 有理函数

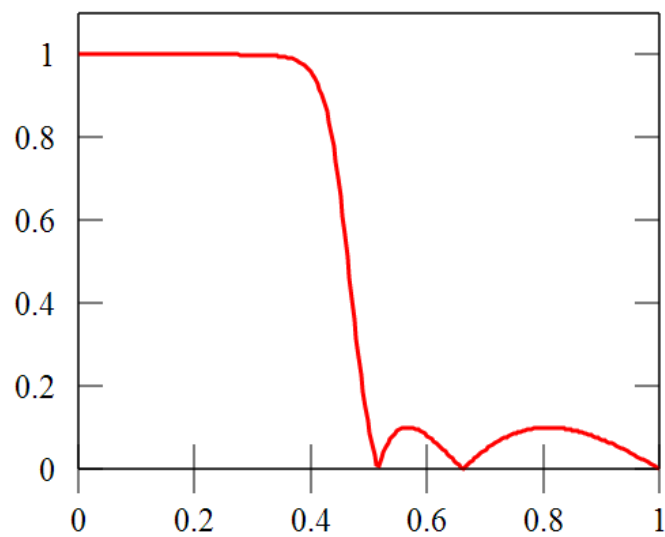
Butterworth



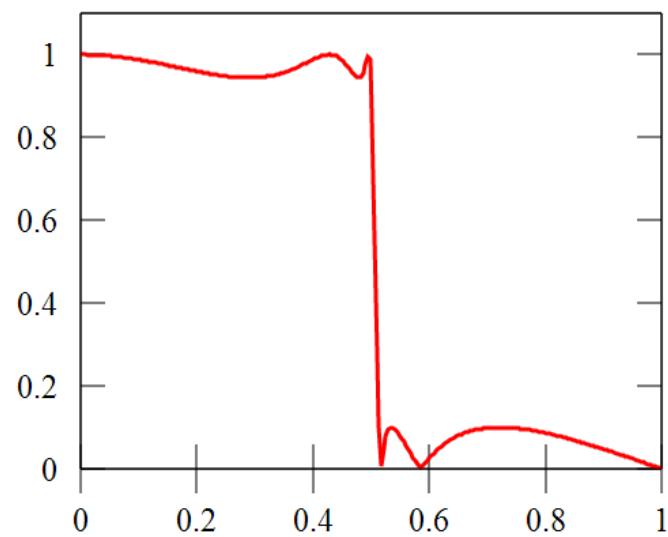
Chebyshev type 1



Chebyshev type 2



Elliptic



实用滤波器举例：

一些常用滤波器设计软件：

FilterLab

FilterCAD

FilterPro

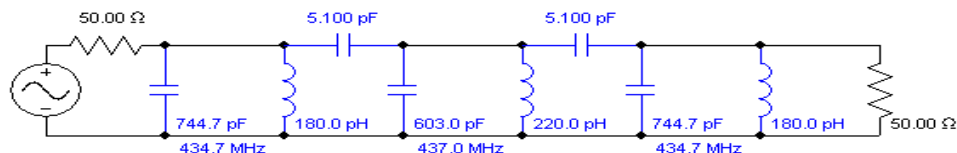
Filter Solutions

Filter Wiz Pro

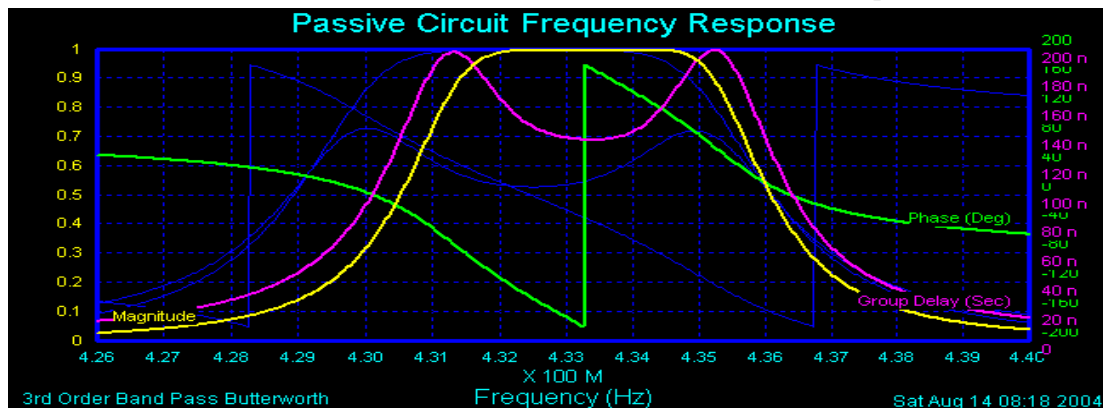


3rd Order Band Pass Butterworth

Center Frequency = 432.5 MHz
Pass Band Width = 6.000 MHz

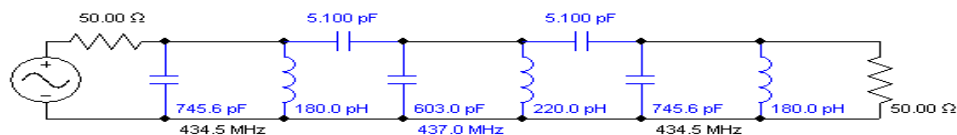


Sat Aug 14 08:06:45 2004

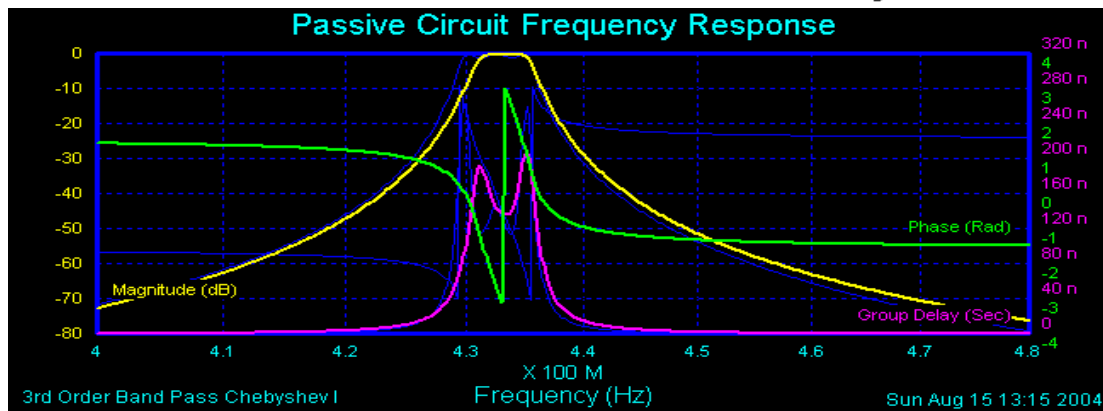


3rd Order Band Pass Chebyshev I

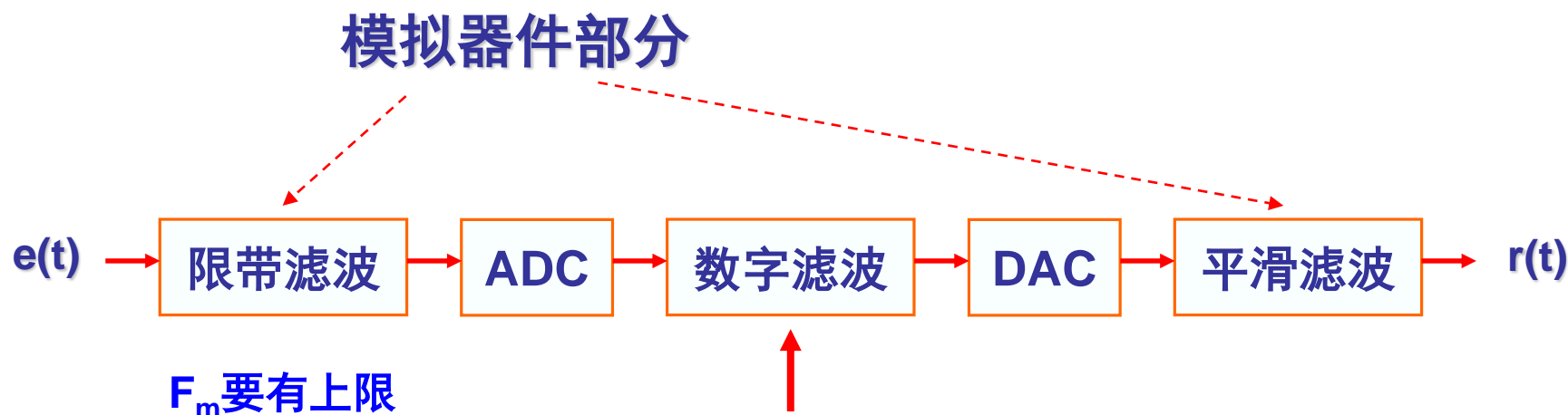
Center Frequency = 432.5 MHz
Pass Band Width = 5.500 MHz
Pass Band Ripple = 1.000 dB



Sun Aug 15 13:07:31 2004



数字滤波技术用于模拟滤波的基本模型：



$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}$$

二、系统的物理可实现性：

佩利-维纳准则：（必要条件）

物理可实现系统的幅度函数必须同时满足：

$$\int_{-\infty}^{\infty} H^2(j\omega) d\omega < \infty$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\ln |H(j\omega)||}{1 + \omega^2} d\omega < \infty$$

$h_2(t) = h_1(t + \tau)$ $|H_1(j\omega)| = |H_2(j\omega)|$ 也满足条件，但 h_2 非因果

设因果系统的冲激响应满足： $h(t) = h(t)u(t)$

$$\text{其系统函数满足： } H(j\omega) = \frac{1}{2\pi} \mathfrak{S}\{h(t)\} * \mathfrak{S}\{u(t)\}$$

佩利-维纳准则没有对相频特性提出制约，为了引入相位因素将系统函数表示为：

设： $H(j\omega) = R(\omega) + jX(\omega)$ 代入上式：

$$H(j\omega) = \frac{1}{2\pi} \{ [R(\omega) + jX(\omega)] * [\pi\delta(\omega) + \frac{1}{j\omega}] \} = R(\omega) + jX(\omega)$$

分别令上式等号两端实部、虚部各自相等可得出：

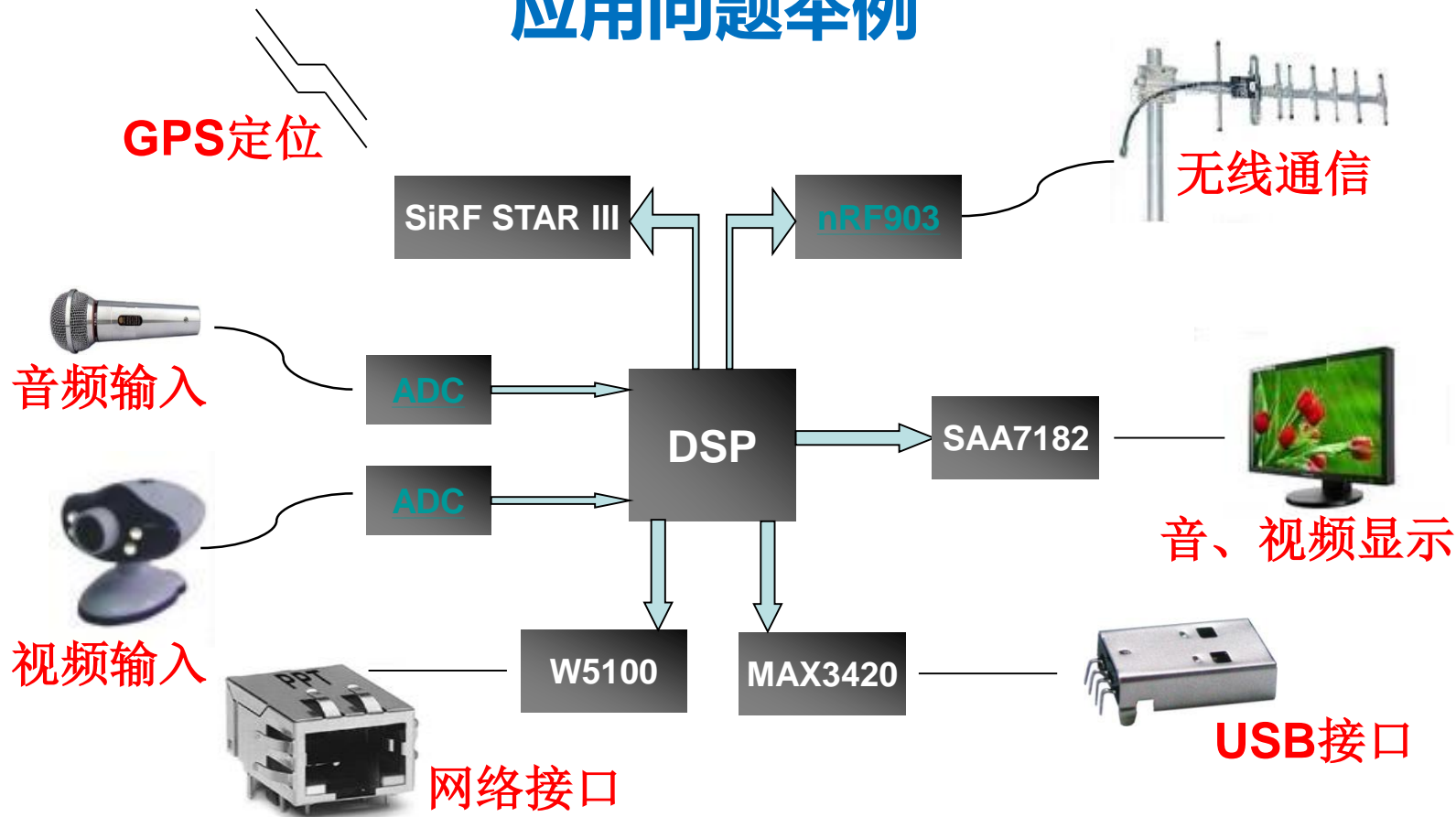
$$R(\omega) = \frac{1}{\pi} X(\omega) * \frac{1}{\omega} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(\tau)}{\omega - \tau} d\tau$$

$$X(\omega) = -\frac{1}{\pi} R(\omega) * \frac{1}{\omega} = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{R(\tau)}{\omega - \tau} d\tau$$

满足希尔伯特变换关系

学习本课程后能够知道些什么？

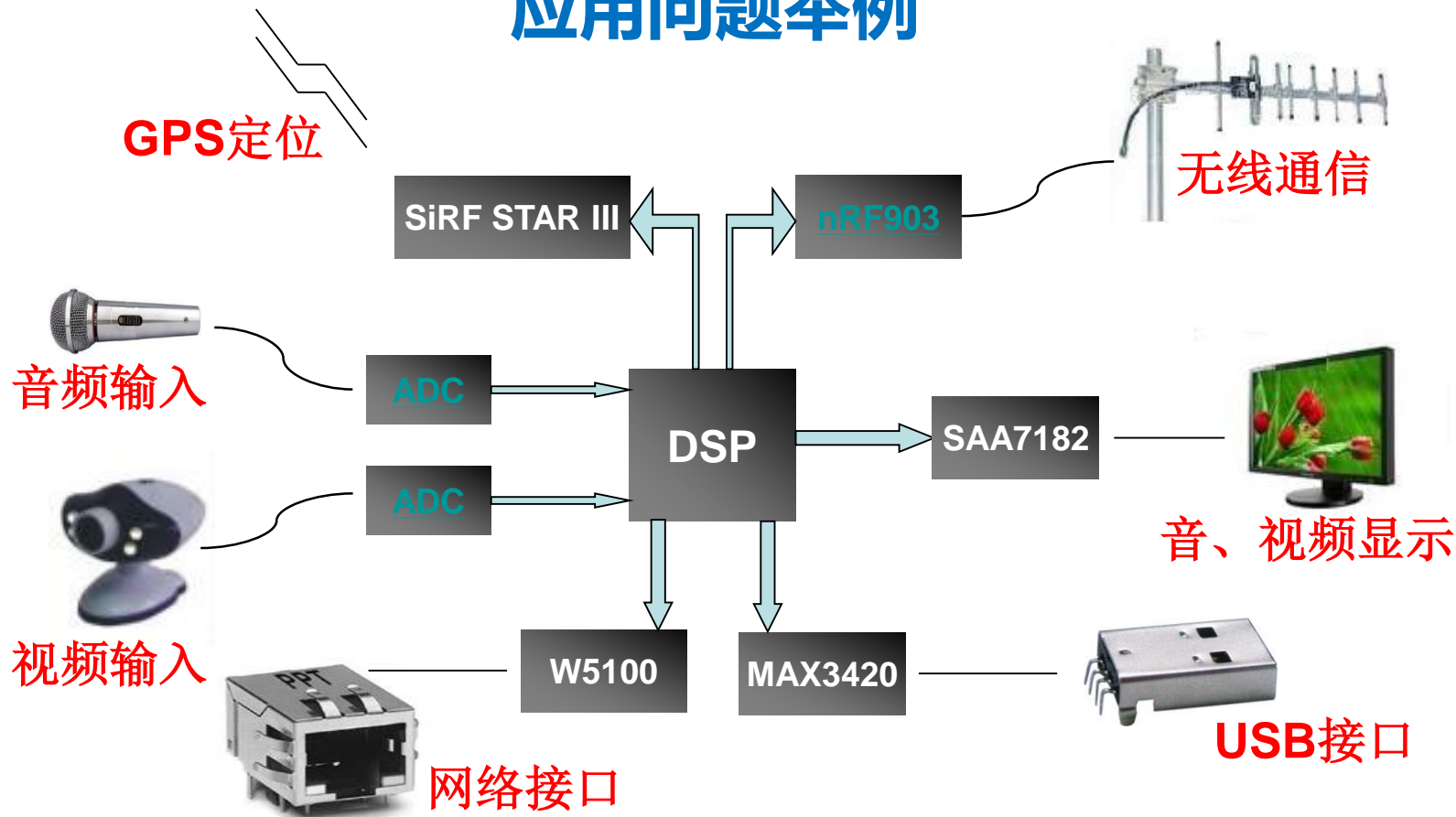
应用问题举例



看看设计一个多媒体信号处理系统
可能会涉及到哪些问题？

学习本课程后能够知道些什么？

应用问题举例



看看设计一个多媒体信号处理系统
可能会涉及到哪些问题？

关于DSP中的算法模块方面的问题：

DSP是这个数据处理系统的核心，若把全部数据处理的每个算法步骤(模块)都看作是一个个子系统，那么从时域角度看这些子系统，它们就是一个一个卷积核；从频域角度看，就是一个一个滤波器：

怎样判断这些模块是否在物理上是可实现的？

根据什么判断这些模块是否工作稳定？

如何判断这些模块是否是运算可逆的？

怎样判断这些模块是否属于无失真传输？

这些模块的响应特性（时域及变换域）如何分析？



元器件选择方面的问题：

音频信号的ADC采集速率根据什么来选择？

视频信号的ADC采集速率根据什么来选择？

数字信号处理芯片(DSP)的运算速度根据什么选择？

网络接口的数据传输速率根据什么来选择？

USB接口的数据传输速率根据什么来选择？



无线通信方面的问题：

什么是频段？不同的通信应用分别选择在什么频段？

通信时，信号各种不同调制方式的机理是什么？

通信时多路复用的机理是什么？

(FDMA、TDMA、CDMA)各自的原理是什么？



其它方面的问题：

对于叠加在信号上的噪声应当怎样滤波，传统意义上的滤波失效时怎么办？

对于多媒体数据源，怎样改善图像质量？怎样改善音效？这些问题在系统意义上的本质特征是什么？



习 题:

4-38, 4-39, 4-42, 4-44, 4-45,
5-4, 5-9, 5-10, 5-19

谢谢同学们!