信号与线性系统

第 8 讲

教材位置： 第4章 连续时间系统的频域分析

§4.1— §4.4 ， §4.8

内容概要： 信号通过线性系统的频域分析方法，理想低通滤波器的响应分析，因果系统的判断准则，信号经过系统不失真的条件

开讲前言-前讲回顾

- 傅里叶变换的性质
  - 线性性 $\mathscr{F}[a_1 f_1(t)+a_2 f_2(t)]=a_1F_1(j\omega)+a_2F_2(j\omega)$
  - 时延性 $\mathscr{F}[f(t-t_0)]=F(j\omega)e^{j\omega t_0}$
  - 频移性 $\mathscr{F}\left[f(t)e^{j\omega_c t}\right]=F(j\omega-j\omega_c)$
  - 比例性 $\mathscr{F}[f(at)]=\frac{1}{|a|}F(\frac{j\omega}{a})$
  - 奇偶性 $F(j\omega)=R(\omega)-jX(\omega)=|F(j\omega)|e^{-j\varphi(\omega)}$
  - 对称性 $\mathscr{F}[f(t)]=F(j\omega)$ $\mathscr{F}[F(jt)]=2\pi f(-\omega)$
  - 微分性质 $\mathscr{F}\left[\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right]=(j\omega)^n F(j\omega)$ $\mathscr{F}[(-jt)^n f(t)]=\frac{d^n F(j\omega)}{d\omega^n}$
  - 积分性质 $\mathscr{F}[f(\tau)d\tau]=\frac{1}{j\omega}F(j\omega)$ $\mathscr{F}\left[j\frac{f(t)}{t}\right]=\int_{-\infty}^{\omega}F(\Omega)d\Omega$
  - 卷积性质 $\mathscr{F}[x(t)*h(t)]=X(j\omega)H(j\omega)$ $\mathscr{F}[f(t)g(t)]=\frac{1}{2\pi}F(j\omega)*G(j\omega)$

开讲前言－前章回顾

- **连续信号的正交分解**
  - 周期信号分解为傅里叶级数，得到信号频谱概念
  - 非周期信号分解为傅里叶级数，引出傅里叶变换
  - 傅里叶变换扩展到周期信号的变换
  - 傅里叶变换的运算性质
- **基于上述学习的小结**
  - 对于信号的分析，经过傅里叶变换的处理，已经更深入掌握了信号的频域特性
  - 接下来就要讨论采用频域分析方法，对信号经过线性系统的情况进行分析

开讲前言－本讲导入

- 本章学习思路
  - 首先了解系统的频域表示方法，频域表示中激励、响应与系统之间的关系如何表达
  - 学会频域分析方法
    - 学会建立系统函数的频域表达式，
    - 掌握给定激励，通过频域分析求解响应的方法
  - 通过频域分析对线性系统的几个关键物理概念进行分析
    - 系统的频率选择性分析，理想低通滤波器
    - 系统符合因果关系的判断准则
    - 系统没有频率选择性，无失真传输的条件

本章内容：

- 一：信号通过线性系统的频域分析方法
- 二：理想低通滤波器的冲激响应与阶跃响应
- 三：信号通过线性系统不产生失真的条件

一：信号通过线性系统的频域分析方法

1：激励为e^jwt^的零状态响应

$$e(t)*h(t)=\int_{-\infty}^{\infty}h(\tau)e^{j\omega(t-\tau)}d\tau$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}h(\tau)e^{j\omega t-j\omega\tau}d\tau$$

$$=e^{j\omega t}\int_{-\infty}^{\infty}h(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau$$

$$\boxed{F(j\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}f(t)e^{-j\omega t}dt}$$

$$=e^{j\omega t}H(j\omega)$$

$$e^{j\omega t}\leftrightarrow H(j\omega)e^{j\omega t}$$

$$e^{j\omega_0 t}\leftrightarrow H(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}$$

$$E(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}\leftrightarrow E(j\omega_0)H(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}$$

2：激励 $e(t) \leftrightarrow E(j\omega)$的零状态响应

$$e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow H(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}$$

$$\frac{1}{2\pi}E(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}d\omega \leftrightarrow \frac{1}{2\pi}E(j\omega_0)H(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}d\omega$$

$$\frac{1}{2\pi}\sum_{-\infty}^{\infty}E(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}d\omega \leftrightarrow \frac{1}{2\pi}\sum_{-\infty}^{\infty}E(j\omega_0)H(j\omega_0)e^{j\omega_0 t}d\omega$$

$$\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}E(j\omega)e^{j\omega t}d\omega \leftrightarrow \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}E(j\omega)H(j\omega)e^{j\omega t}d\omega$$

$$e(t) \leftrightarrow r(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}E(j\omega)H(j\omega)e^{j\omega t}d\omega$$

$$r(t) = e(t) * h(t) \leftrightarrow R(j\omega) = E(j\omega)H(j\omega)$$

利用时域卷积性质关联
时域和频域LTI 系统分析方法

$$\xrightarrow[E(j\omega)]{e(t)} \boxed{\begin{matrix} h(t) \\ H(j\omega) \end{matrix}} \xrightarrow[R(j\omega)]{r(t)}$$

$$h(t) \leftrightarrow H(j\omega)$$

单位冲激响应　　频率响应

$$r(t) = e(t) * h(t)$$

$$R(j\omega) = E(j\omega)H(j\omega)$$

$h(t), H(j\omega)$ 与系统特性

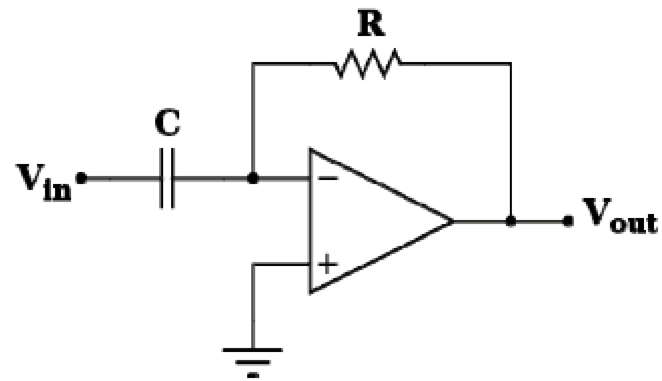
① $\delta(t)$包含了同幅零相的所有频率分量

② $h(t)$包含了输入的所有同幅零相频率分量经过LTI系统后的复振幅(密度)信息

③ $H(j\omega)=\dfrac{R(j\omega)}{E(j\omega)}$ 记录了LTI系统对各频率分量复振幅(密度)的改变量

例： 微分器的h(t),H(jw)

$$\xrightarrow[E(j\omega)]{e(t)} \boxed{\frac{d}{dt}} \xrightarrow[R(j\omega)]{r(t)}$$



$$V_o(t) = -RC\frac{d}{dt}V_i(t)$$

$$r(t) = e'(t)$$

$$h(t) = \delta'(t)$$

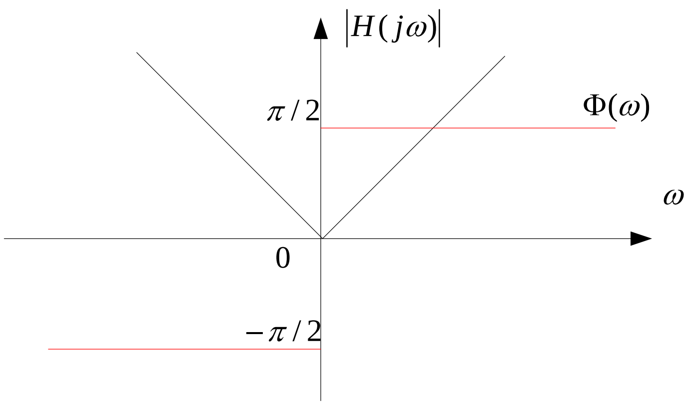
$$H(j\omega) = j\omega$$

$$R(j\omega) = j\omega E(j\omega)$$

$$H(j\omega) = j\omega$$

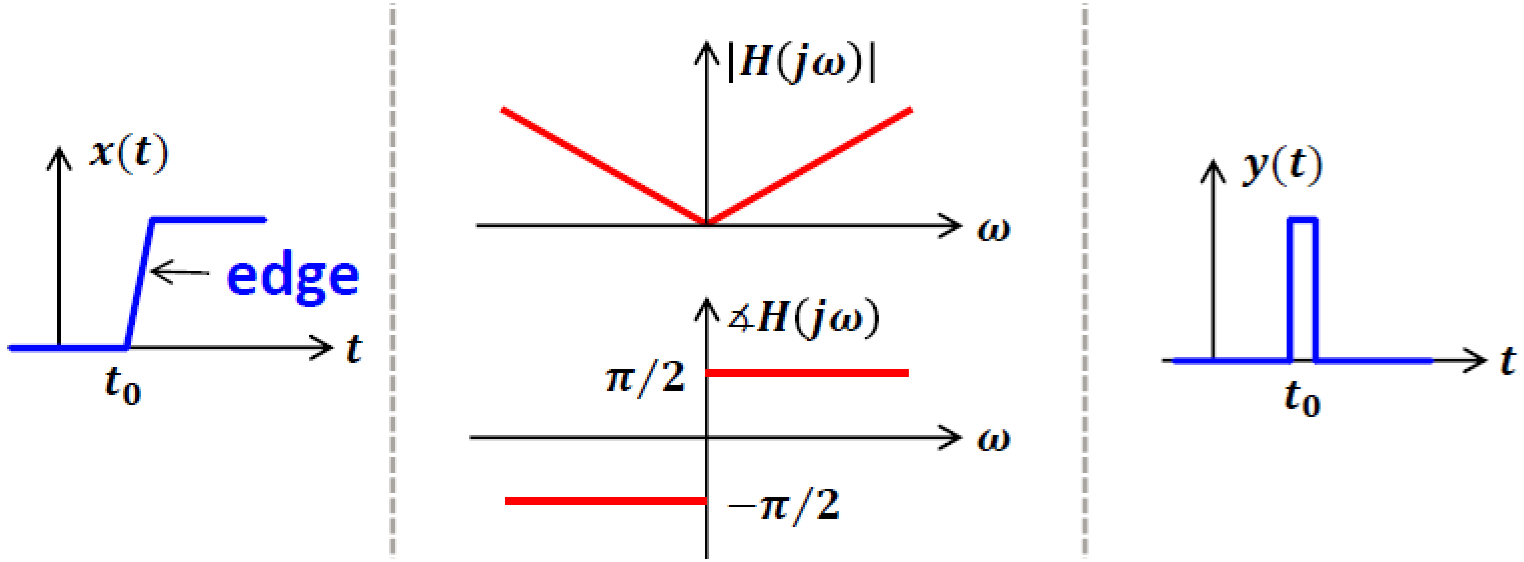
$$|H(j\omega)| = |\omega|$$

$$\varphi(\omega) = \begin{cases} \dfrac{\pi}{2}, \omega > 0 \\ -\dfrac{\pi}{2}, \omega < 0 \end{cases}$$



低平分量被衰减

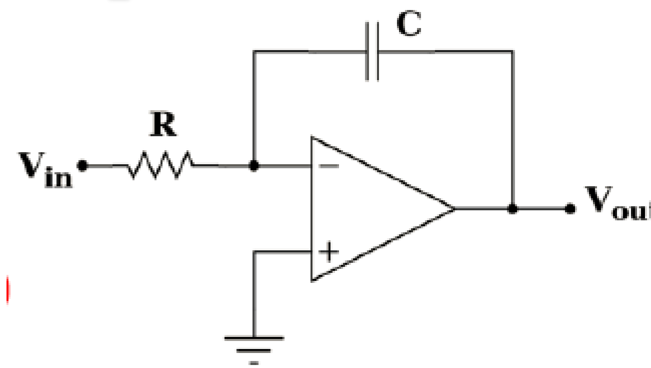
高平分量被放大



微分器的应用

例： 积分器的h(t),H(jw)

$$\xrightarrow[E(j\omega)]{e(t)} \boxed{\int_{-\infty}^{t} ()dt} \xrightarrow[R(j\omega)]{r(t)}$$



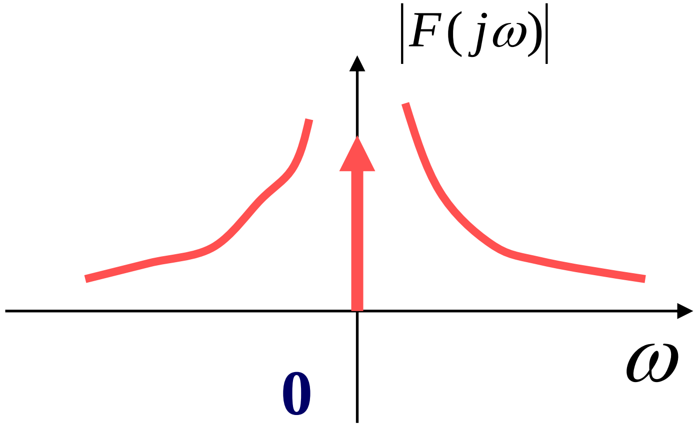
$$V_o(t) = -\frac{1}{RC}\int_{-\infty}^{t} V_i(\tau)d\tau$$

$$r(t) = \int_{-\infty}^{t} e(t)dt$$

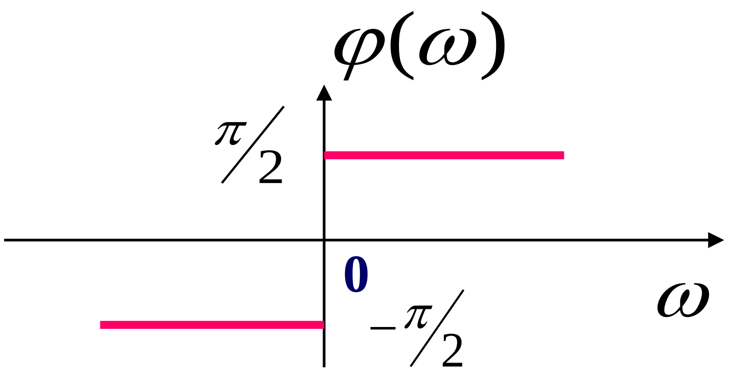
$$h(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(t)dt = \varepsilon(t)$$

$$H(j\omega) = \pi\delta(\omega) + \frac{1}{j\omega}$$

$$H(j\omega)=\pi\delta(\omega)+\frac{1}{j\omega}$$



$$|H(j\omega)|=\begin{cases}|\dfrac{1}{\omega}|, \omega\neq 0\\ \pi\delta(\omega)\end{cases}$$

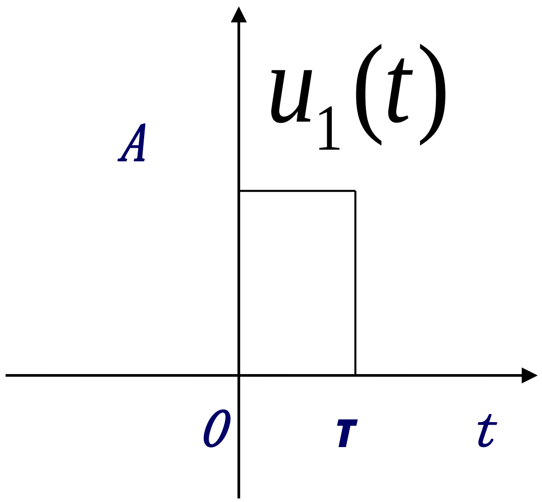


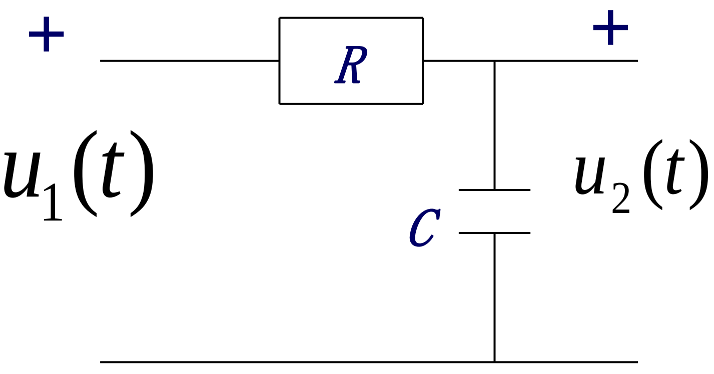
$$\varphi(\omega)=\begin{cases}\dfrac{\pi}{2}, \omega>0\\ -\dfrac{\pi}{2}, \omega<0\end{cases}$$

高平分量被衰减

低平分量被放大

例1 矩形脉冲$u_1(t)$ 作用于RC 电路，求电容上的电压$u_2(t)$





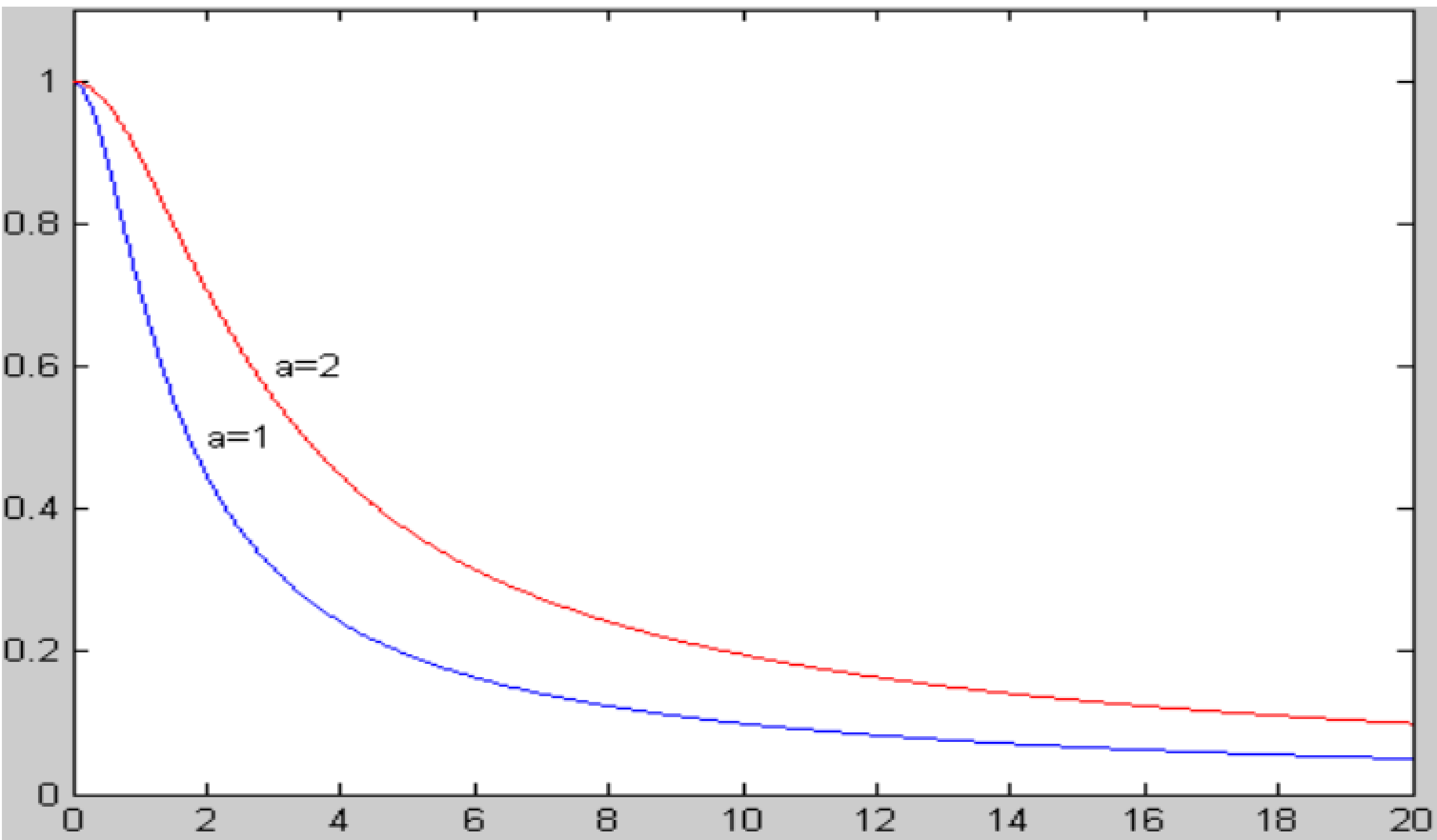
$$u_1(t) = \mathrm{A}G\tau(\mathrm{t}-\frac{\tau}{2}) \leftrightarrow \mathrm{A}\tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})e^{-j\frac{\omega\tau}{2}}$$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega cR}$$

$$H(j\omega)=\frac{1}{1+j\omega cR}$$

令 $\frac{1}{RC}=\alpha=\frac{1}{\tau_0}$

$$H(j\omega)=\frac{\alpha}{\alpha+j\omega}=\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+\omega^2}}e^{-jarctg\frac{\omega}{\alpha}}$$



（2）求 $U_2(j\omega)$

$$U_2(j\omega)=U_1(j\omega)H(j\omega)$$

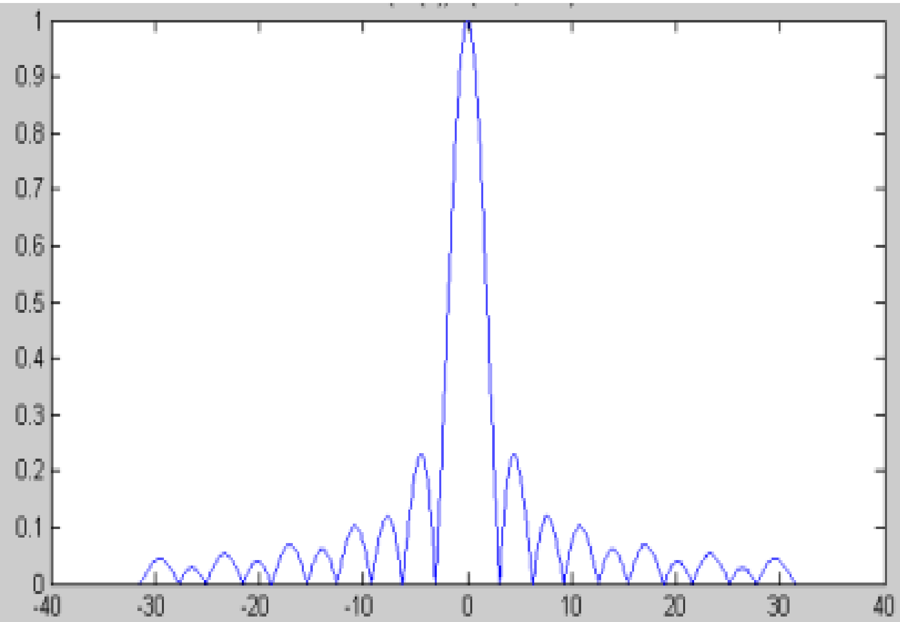
$$=A\tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})e^{-j\frac{\omega\tau}{2}}\bullet\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+\omega^2}}e^{-jarctg\frac{\omega}{\alpha}}$$

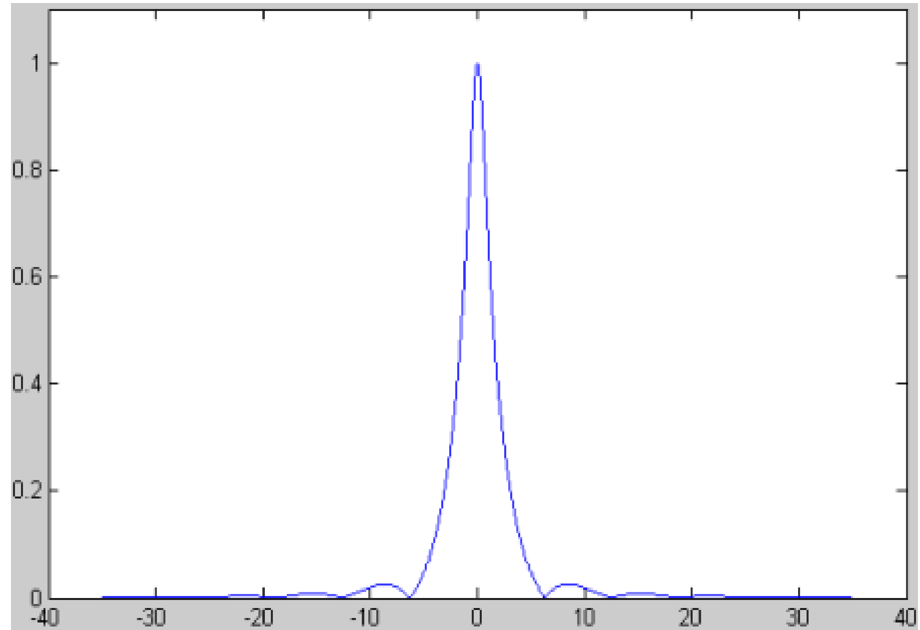
$$=\frac{\alpha A\tau}{\sqrt{\alpha^2+\omega^2}}Sa(\frac{\omega\tau}{2})e^{-j(\frac{\omega\tau}{2}+arctg\frac{\omega}{\alpha})}$$

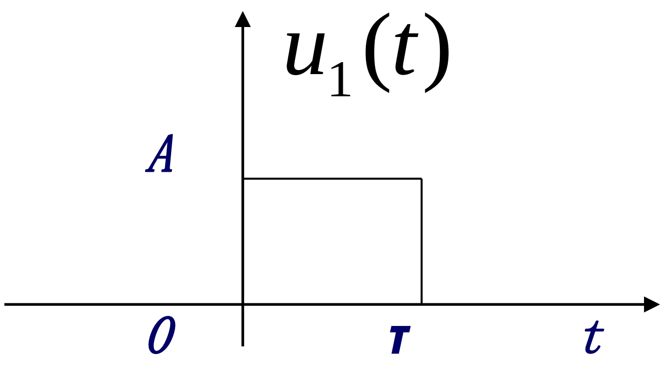
$$\boxed{|U_2(j\omega)|=\frac{\alpha A\tau}{\sqrt{\alpha^2+\omega^2}}\left|Sa(\frac{\omega\tau}{2})\right|=\frac{2\alpha A\left|Sin(\frac{\omega\tau}{2})\right|}{\omega\sqrt{\alpha^2+\omega^2}}}$$

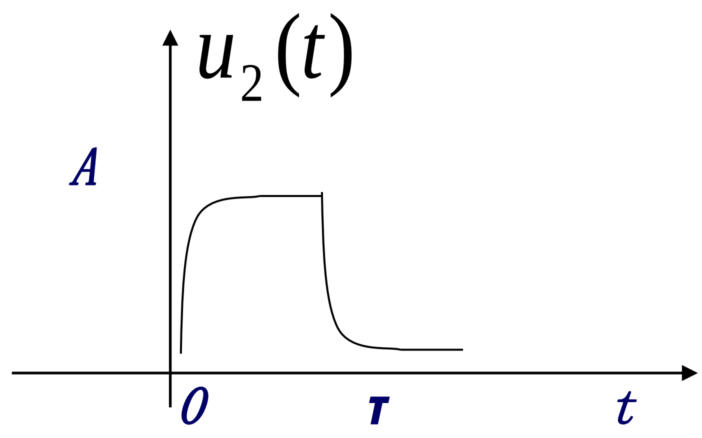
$$\varphi_2(\omega)=\begin{cases}-(\frac{\omega\tau}{2}+arctg\frac{\omega}{\alpha}), Sin(\frac{\omega\tau}{2})>0\\ \pm\pi-(\frac{\omega\tau}{2}+arctg\frac{\omega}{\alpha}), Sin(\frac{\omega\tau}{2})<0\end{cases}$$

$$|U_1(j\omega)| \qquad |U_2(j\omega)|$$









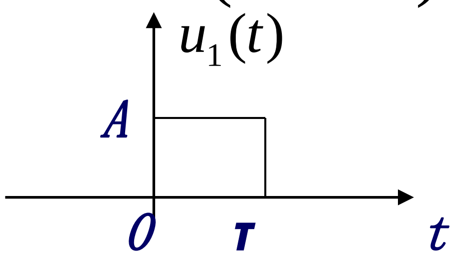
（3）求 $u_2(t)=F^{-1}[U_2(j\omega)]$

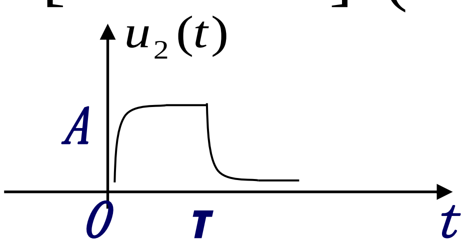
$$U_2(j\omega)=\mathrm{A}(1-e^{-j\omega\tau})\frac{\alpha}{j\omega(\alpha+j\omega)}=\mathrm{A}(1-e^{-j\omega\tau})(\frac{1}{j\omega}-\frac{1}{j\omega+\alpha})$$

$$=\frac{\mathrm{A}(1-e^{-j\omega\tau})}{j\omega}-\frac{\mathrm{A}}{\alpha+j\omega}+\frac{\mathrm{A}}{\alpha+j\omega}e^{-j\omega\tau}$$

$$\therefore u_2(t)=\mathrm{A}[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-\tau)]-\mathrm{A}e^{-\alpha t}\varepsilon(t)+\mathrm{A}e^{-\alpha(t-\tau)}\varepsilon(t-\tau)$$

$$=\mathrm{A}(1-e^{-\alpha t})\varepsilon(t)-\mathrm{A}[1-e^{-\alpha(t-\tau)}]\varepsilon(t-\tau)$$





上升和下降的时间特性：

$u_1(t): t=0,\tau$ 急剧变化（跳变）——高频分量丰富

$u_2(t): t=0,\tau$ 渐变（圆滑），有上升和下降时间

——高频分量被削弱

3： $\cos(\omega_0 t+\theta)$ 的零状态响应

$$\cos(\omega_0 t+\theta) = 1/2(e^{j(\omega_0 t+\theta)} + e^{-j(\omega_0 t+\theta)})$$

$$e^{j\omega t}e^{j\theta} \leftrightarrow H(j\omega)e^{j\omega t}\ e^{j\theta}$$

$$e^{j(\omega_0 t+\theta)} \leftrightarrow H(j\omega_0)e^{j(\omega_0 t+\theta)} = |H(j\omega_0)|e^{j\varphi}e^{j(\omega_0 t+\theta)}$$

$$e^{-j(\omega_0 t+\theta)} \leftrightarrow H(-j\omega_0)e^{-j(\omega_0 t+\theta)} = |H(j\omega_0)|e^{-j\varphi}e^{-j(\omega_0 t+\theta)}$$

$$\cos(\omega_0 t+\theta) \leftrightarrow \frac{1}{2}|H(j\omega_0)|e^{j\varphi}e^{j(\omega_0 t+\theta)} + \frac{1}{2}|H(j\omega_0)|e^{-j\varphi}e^{-j(\omega_0 t+\theta)}$$

$$\boxed{\cos(\omega_0 t+\theta) \leftrightarrow |H(j\omega_0)|\cos(\omega_0 t+\theta+\varphi)}$$

$$\boxed{\sin(\omega_0 t+\theta) \leftrightarrow |H(j\omega_0)|\sin(\omega_0 t+\theta+\varphi)}$$

例 $H(j\omega)=\dfrac{1}{j\omega+1}$激励为 $\sin t+\sin 3t+\sin \pi t$ 的响应?

解: $|H(\mathrm{j}\omega)|=\dfrac{1}{\sqrt{1+\omega^2}}$, $\quad \boldsymbol{\varphi(\omega)=-\mathrm{tg}^{-1}\omega}$

$|H(\mathrm{j}1)|=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$, $\quad \varphi(1)=-\mathrm{tg}^{-1}1=-45^0$

$$\sin t \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\sin(t-45^0)$$

$$\sin 3t \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{10}}\sin(3t-72^o)$$

$$\sin \pi t \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{11}}\sin(\pi t-74^\circ$$

1：系统对一般周期信号的响应的频域法步骤：

（1）用傅里叶级数将激励信号分解为多个正弦分量之和；

（2）找出系统的频率响应函数$H(j\omega)$；

（3）求取每一分量的响应；

（4）将各个响应分量在时域相加得总响应。

2：系统对一般任意信号的响应的频域法步骤：

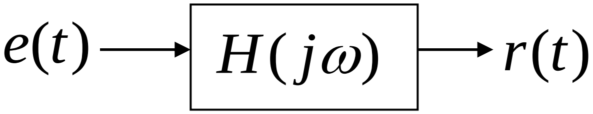
$$(1): e(t) \leftrightarrow E(j\omega)$$

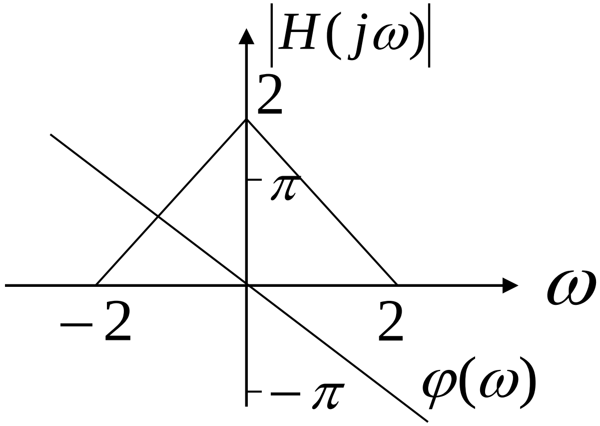
$$(2): h(t) \leftrightarrow H(j\omega)$$

$$(3): r(t) \leftrightarrow R(j\omega) = E(j\omega)H(j\omega)$$

例 已知一线性系统及系统函数 $H(j\omega)$ 如图，设激励为

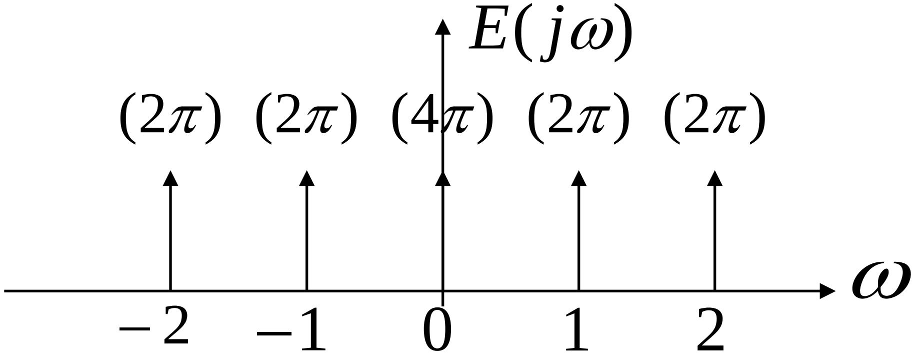
$e(t)=2+2\cos t+2\cos(2t)$，求系统的输出 $r(t)$。





解：（1）求 $E(j\omega)$

$$E(j\omega)=4\pi\delta(\omega)+2\pi[\delta(\omega-1)+\delta(\omega+1)]+2\pi[\delta(\omega-2)+\delta(\omega+2)]$$



（2）求 $H(j\omega)$

$$H(j\omega)=\begin{cases}(2-|\omega|)e^{-j\frac{\omega\pi}{2}}, |\omega|<2\\ 0, |\omega|>2\end{cases}$$

（3）求 $R(j\omega)$

$$R(j\omega)=E(j\omega)H(j\omega)$$

$$=\{4\pi\delta(\omega)+2\pi[\delta(\omega-1)+\delta(\omega+1)]\}(2-|\omega|)e^{-j\frac{\omega\pi}{2}}$$

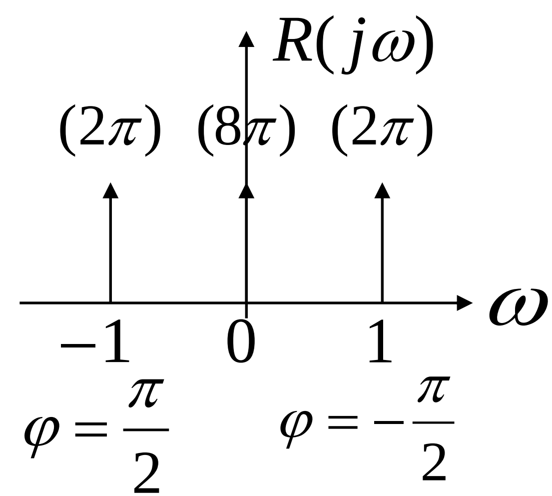
$$=8\pi\delta(\omega)+2\pi[\delta(\omega-1)e^{-j\frac{\pi}{2}}+\delta(\omega+1)e^{j\frac{\pi}{2}}]$$

（4）求 $r(t)=F^{-1}[R(j\omega)]$

$$r(t)=4+e^{jt}e^{-j\frac{\pi}{2}}+e^{-jt}e^{j\frac{\pi}{2}}$$

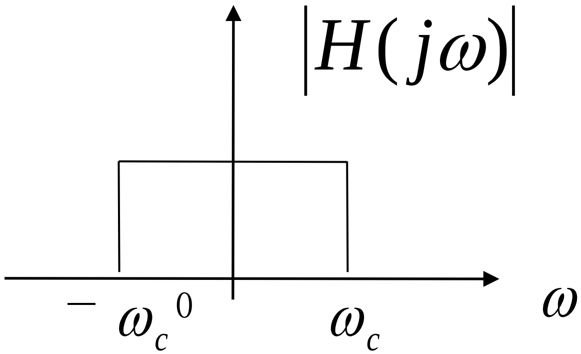
$$=4+e^{j(t-\frac{\pi}{2})}+e^{-j(t-\frac{\pi}{2})}$$

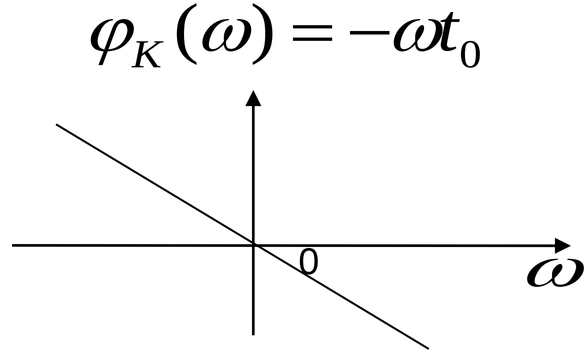
$$=4+2\cos(t-\frac{\pi}{2})=4+2\sin t$$



二、理想低通滤波器的冲激响应与阶跃响应

1： 理想低通滤波器的特性





$$H(j\omega) = KG_{2\omega_C}(\omega)e^{-j\omega t_0} = \begin{cases} Ke^{-j\omega t_0}, |\omega| < \omega_c \\ 0, \end{cases}$$

对于激励信号中低于截止频率 ω_c 的各分量可一致均匀地通过，在时间上延迟同一时间t_0。

而对于高于截止频率的各分量则一律不能通过，故名低通滤波器。

2 理想低通滤波器的冲激响应

$$\boxed{\begin{aligned} f(t) &\leftrightarrow F(j\omega) \\ F(jt) &\leftrightarrow 2\pi f(-\omega) \end{aligned}}$$

$$H(j\omega) = KG_{2\omega_C}(\omega)e^{-j\omega t_0}$$

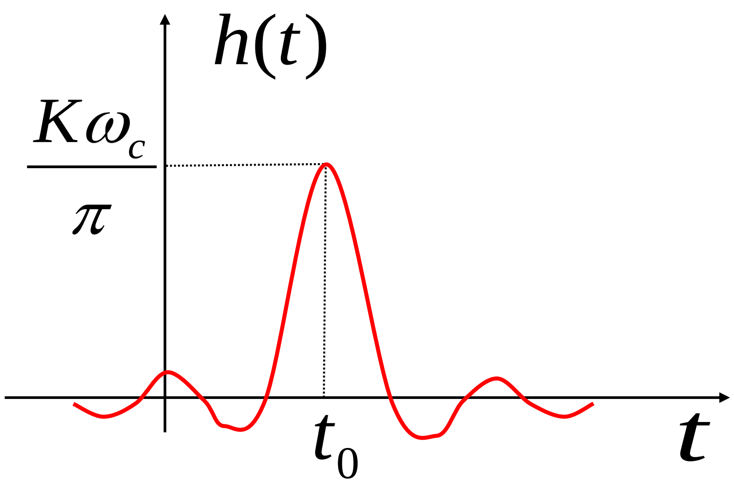
$$G_\tau(t) \leftrightarrow \tau Sa(\omega\tau/2)$$

$$\tau Sa(t\tau/2) \leftrightarrow 2\pi G_\tau(\omega)$$

$$\tau Sa((t-t_0)\tau/2) \leftrightarrow 2\pi G_\tau(\omega)e^{-j\omega t_0}$$

$$\boxed{f(t-t_0) \leftrightarrow F(j\omega)e^{-j\omega t_0}}$$

$$\frac{K\omega_C}{\pi} Sa(\omega_C(t-t_0)) \leftrightarrow KG_{2\omega_C}(\omega)e^{-j\omega t_0}$$



3、阶跃响应 $e(t) = Eu(t)$

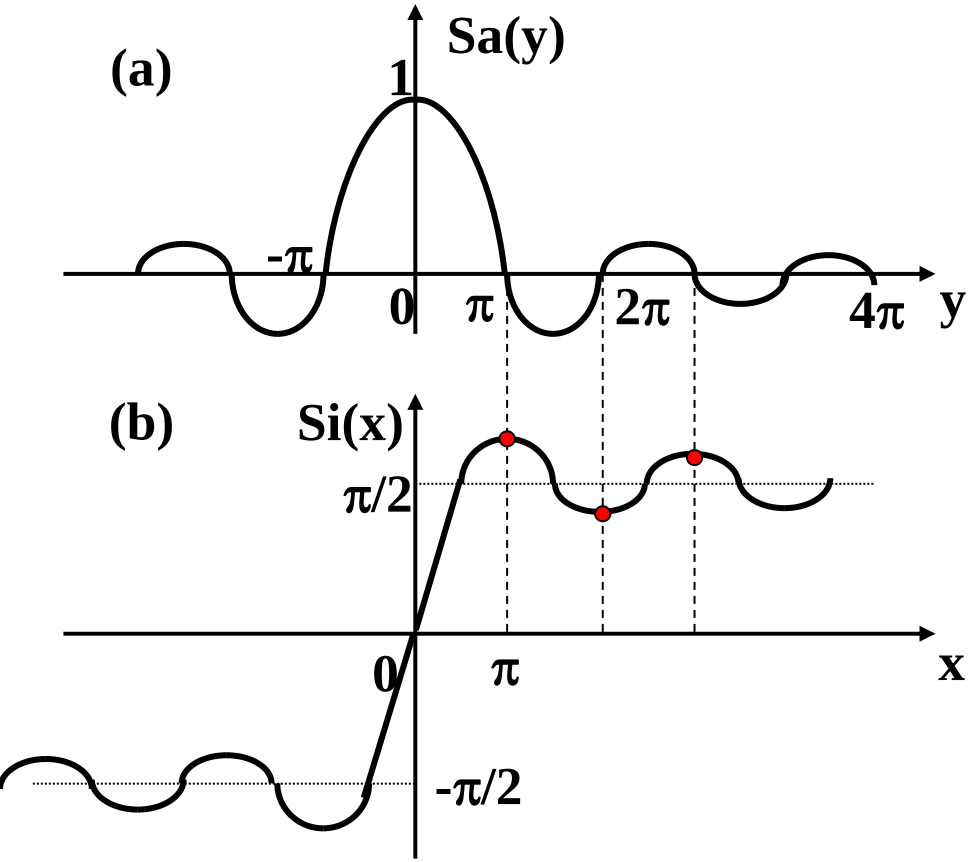
$$E(j\omega) = \pi\delta(\omega) + \frac{1}{j\omega}$$

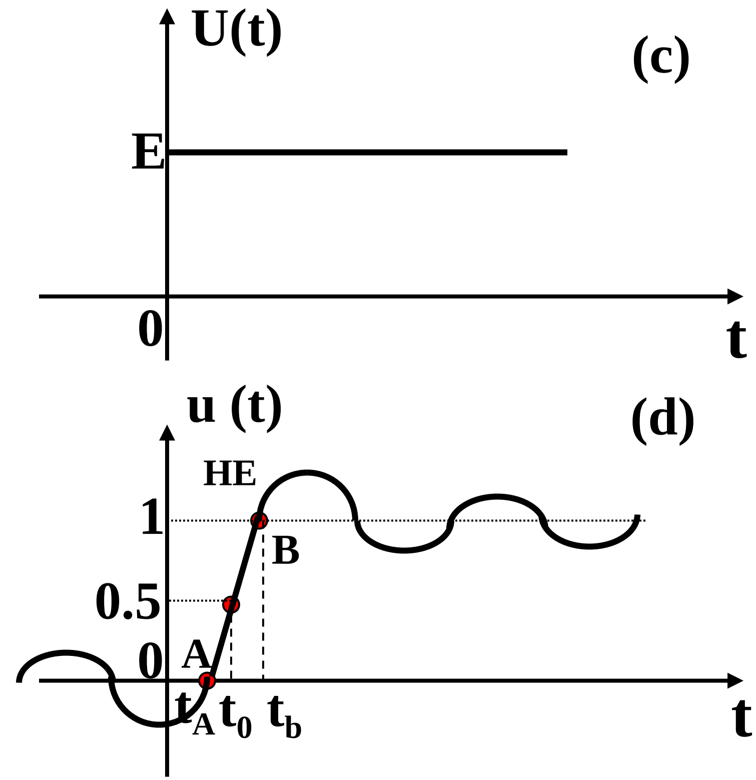
$$U(j\omega) = E(j\omega)H(j\omega) = \begin{cases} HE(\pi\delta(\omega) + \dfrac{1}{j\omega})e^{-j\omega t_0} & |\omega| < \omega_c \\ 0 & |\omega| > \omega_c \end{cases}$$

$$u(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} U(j\omega)e^{j\omega t}d\omega$$

$$= HE\left\{\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}Si\left[\omega_c(t - t_0)\right]\right\}$$

$$Si(x) = \int_0^x \frac{\sin y}{y}dy$$ 称为正弦积分





$$HE\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi}Si[\omega_c(t-t_0)]\right)$$

可见，响应与激励不同：

（1）响应比激励滞后 t_0。

(2) 输出电压的前沿是倾斜的。$t_r = t_B - t_A = (t_B - t_0) - (t_A - t_0) = \frac{1.92}{\omega_c} + \frac{1.92}{\omega_c} = \frac{3.84}{\omega_c}$

佩利－维纳准则

- **1、因果性在时域:** h (t) = 0， t< 0
- **2、因果性在频域的表示（佩利－维纳准则）**
  - 系统转移函数的幅值|H(jω)|必须是平方绝对可积，即：

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

且有

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

佩利－维纳准则

物理可实现系统允许 $|H(j\omega)|$ 特性在某些不连续点上为零，但不允许在一个有限频带内为零。

- 系统频响衰减速度应不大于指数衰减速率。
- 必要条件，而不是充分条件。

若 $H(j\omega) = e^{-|\omega|}$

$$\lim_{B\to\infty}\int_{-B}^{B}\frac{\left|\ln\left|H(j\omega)\right|\right|}{1+\omega^2}d\omega = \lim_{B\to\infty}\int_{-B}^{B}\frac{|\omega|}{1+\omega^2}d\omega$$

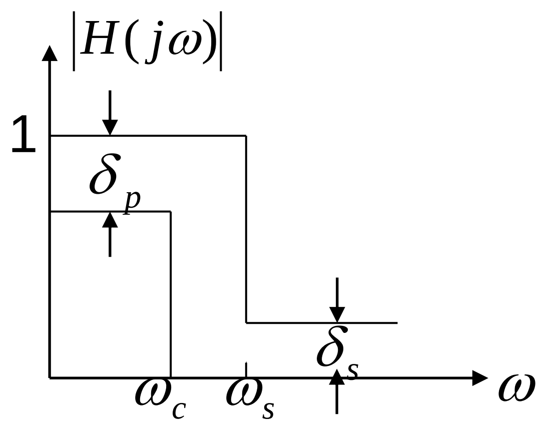
$$= \lim_{B\to\infty} 2\int_{0}^{B}\frac{\omega}{1+\omega^2}d\omega = \lim_{B\to\infty}\ln(1+\omega^2)\Big|_0^B$$

上述积分不收敛，所以对于因果系统
按指数速率或比指数速率衰减更快的频响是不允许的

可以实现低通滤波器

所有理想滤波器（低通、高通、带通、带阻）都要求通带、阻带截然分开，且阻带内输出为零，因此，在物理上都无法实现。实际滤波器的特性只能接近于理想特性。

低通滤波器的容限图：



ω_c ——截止频率

ω_s ——阻带边界频率

$0 \sim \omega_c$ ——通频带

$\omega_s \sim \infty$ ——阻带

三、信号通过线性系统不产生失真的条件

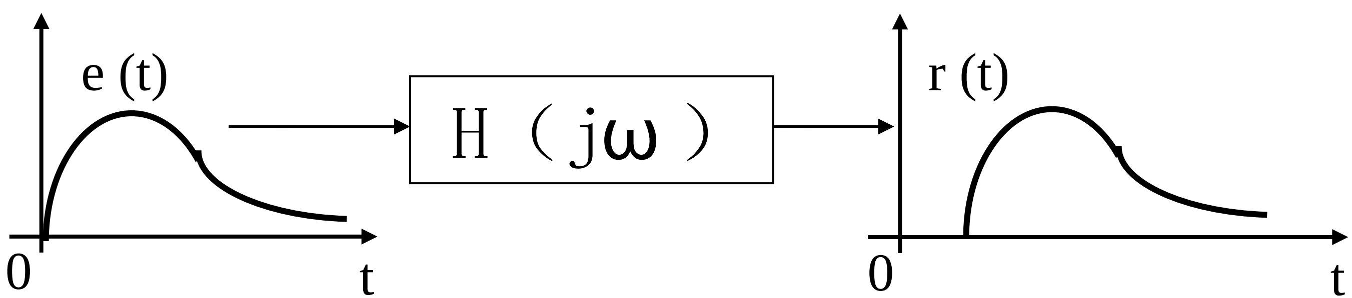
（一） *信号通过线性系统产生失真的原因*

1．系统对激励信号中各频率分量的幅度产生不同程度的衰减或放大 ——幅度失真

2．系统对激励信号中各频率分量产生的相移不与频率成正比 ——相位失真

（二）*系统不失真的传输条件*（对*H*（$j\omega$ ）提出要求）

不失真：响应与激励信号的波形相同，但大小和出现的时间可以不同。



即 $$r(t) = Ke(t - t_0)$$

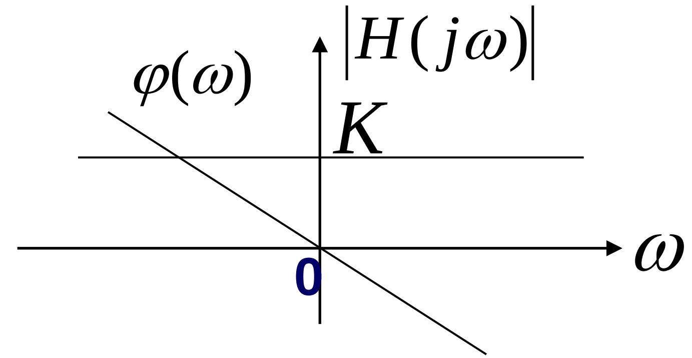
设 $e(t) \leftrightarrow E(j\omega) \qquad r(t) \leftrightarrow R(j\omega)$

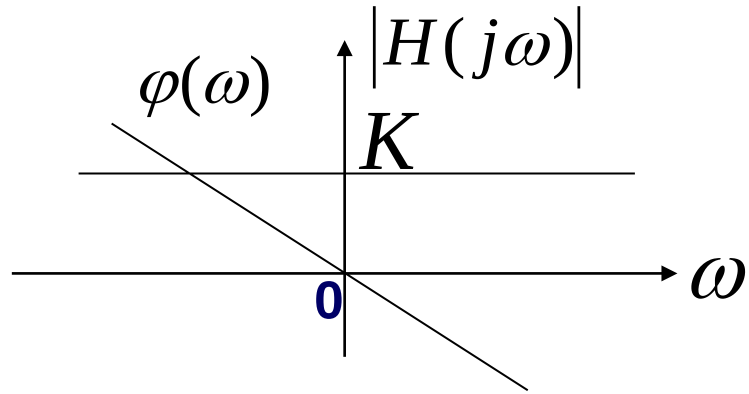
则 $R(j\omega) = KE(j\omega)e^{-j\omega t_0}$

$$H(j\omega) = \frac{R(j\omega)}{E(j\omega)} = Ke^{-j\omega t_0} \overset{令}{=} \left|H(j\omega)\right| e^{j\varphi(\omega)}$$

不失真条件：

$$\begin{cases} \left|H(j\omega)\right| = K \\ \varphi(\omega) = -\omega t_0 \end{cases}$$



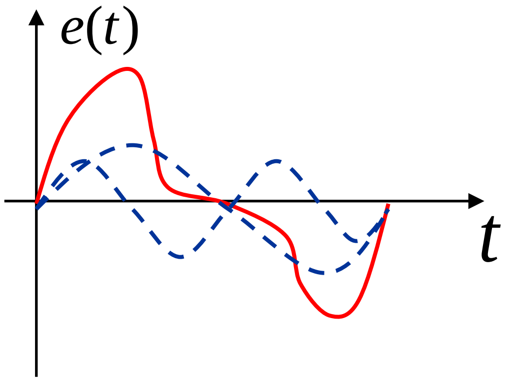


结论：为使信号传输时不产生相位失真，信号通过系统时谐波的相移必须与其频率成正比，即系统的相频特性曲线应是一条经过原点的直线。

系统传输信号不失真应具备两个条件：

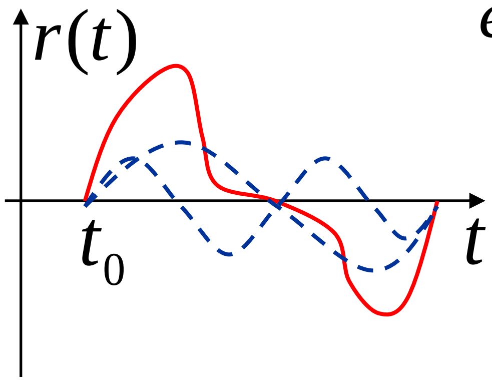
① 系统的幅频特性在整个频率范围中为一常数，即系统具有无限宽的响应均匀的通频带；

② 系统的相频特性应是经过原点的直线。



$$e(t) = E_{m1} Sin\Omega t + E_{m2} Sin 2\Omega t$$

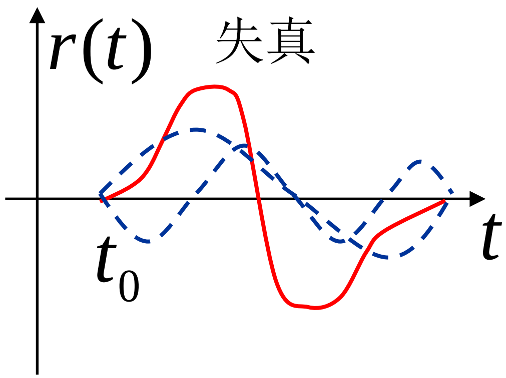
$$e(t - t_0) = E_{m1} Sin(\Omega(t - t_0)) + E_{m2} Sin(2\Omega(t - t_0))$$



$$e(t) = E_{m1} Sin\Omega t + E_{m2} Sin 2\Omega t$$

$$r(t) = KE_{m1} Sin(\Omega t - \varphi_1) + KE_{m2} Sin(2\Omega t - \varphi_2)$$

$$= KE_{m1} Sin\Omega(t - \frac{\varphi_1}{\Omega}) + KE_{m2} Sin 2\Omega(t - \frac{\varphi_2}{2\Omega})$$



$$\therefore \frac{\varphi_1}{\Omega} = \frac{\varphi_2}{2\Omega} = t_0 \qquad \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{\Omega}{2\Omega}$$

本讲小结

- **信号通过线性系统的频域分析**
  - 信号变换-建立系统函数-频域响应-时域响应
  - 系统函数建立:相量法、冲激响应变换法
- **理想低通滤波器阶跃响应**
  - 响应建立时间与通频带成反比
- **因果系统的条件**
  - 系统函数不能在有限频带为0
  - 衰减速度限制在指数衰减内
- **线性不失真系统**
  - 幅频特性：常数
  - 相频特性：过原点直线

课堂练习

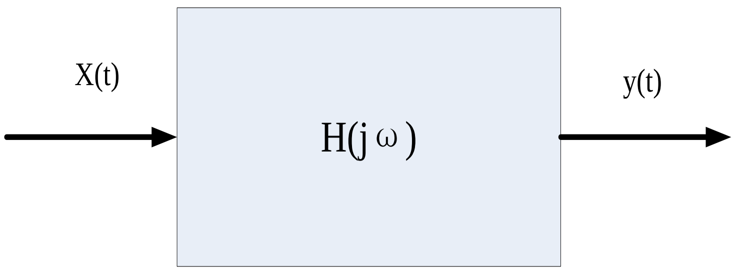
- 已知描述系统的微分方程
  - $y''(t)+3y'(t)+2y(t)=x'(t)+5x(t)$

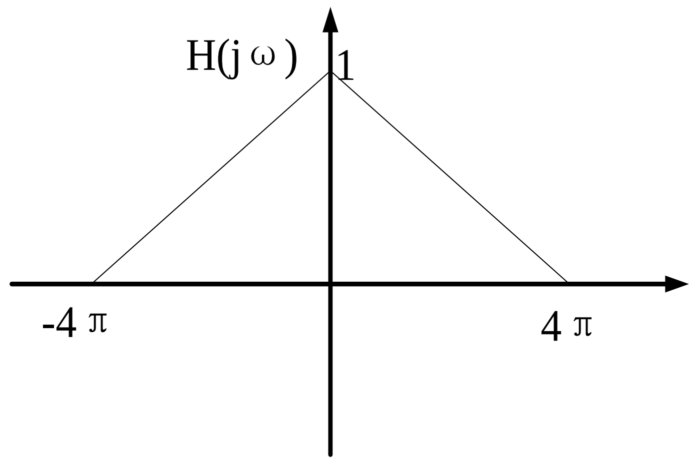
  求系统函数$H(j\omega)$

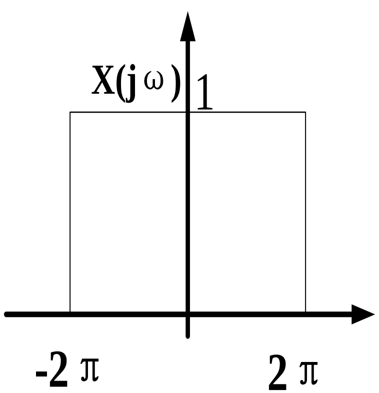
- 【解答】
  - 直接利用傅立叶变换的微分性质写出结果
  - 冲激响应$h(t)$，然后傅立叶变换得结果
    - $h(t)=(4e^{-t}-3e^{-2t})u(t)$
  - 设$x(t)=e^{j\omega t}$ $(-\infty<t<\infty)$ $y(t)= e^{j\omega t}H(j\omega)$ 带入微分方程可以求解
  - 三种求解的结果应该一致

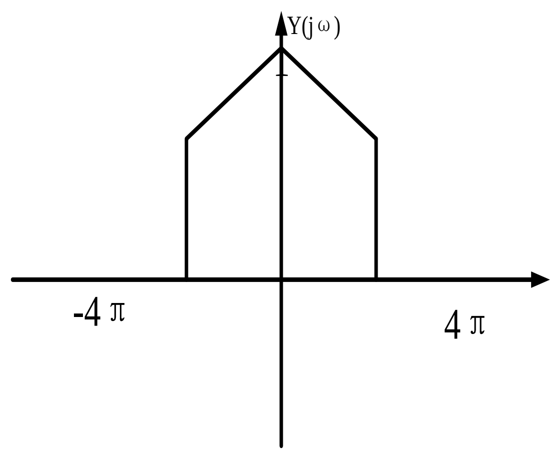
课堂练习

- 已知系统的频率特性*H(jω)*,激励信号为 $x(t)=\dfrac{\sin(2\pi t)}{\pi t}$
  - 画出响应y(t)的傅立叶变换波形









信号与线性系统

第 8 次课外作业

教材习题: 4.3、 4.8、 4.13