信号与系统

Lecture 3

第二章 连续时间系统的时域分析（续）

§2.6 冲激响应与阶跃响应

§2.7 叠加积分

§2.8 卷积及其计算

§2.9 线性系统响应的时域求解

复习

- 连续时间LTI系统响应的经典解法
- 系统方程的算子表示
- 零输入响应求解
- 奇异函数
- 信号的分解

本讲内容

- 冲激响应/阶跃响应
- 零状态响应求解公式
- 卷积：定义，性质，计算

§2.6 冲激响应和阶跃响应

通过前面的学习，我们知道了

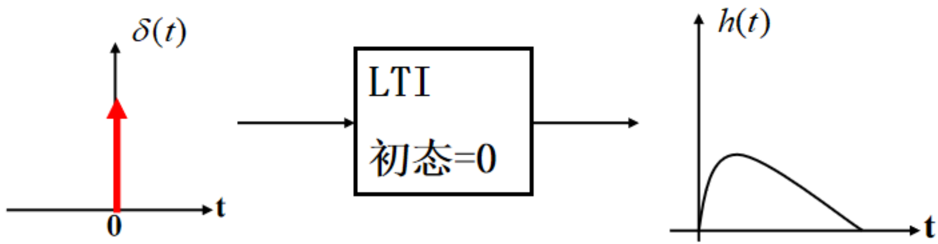
- 线性系统的全响应可以分解为零输入响应，零状态响应
- 零输入响应求解
- 信号可分解为冲激函数及其时移的积分

$$f(t)=\int_{0}^{+\infty} f(\tau)\delta(t-\tau)d\tau$$

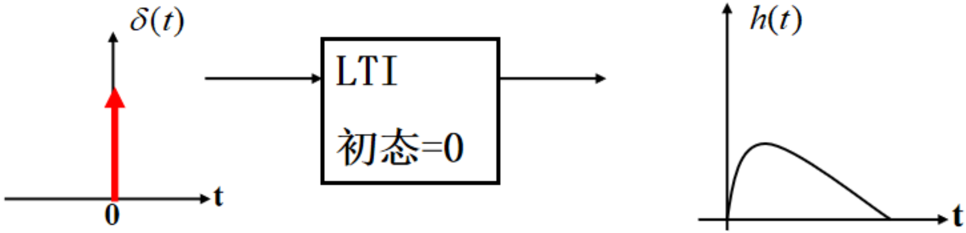
本节我们学习给定LTI系统，当系统输入为单位冲激/阶跃信号时系统的响应。

1、定义

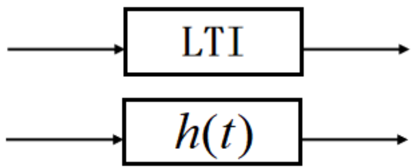
一线性时不变系统，其初始状态为零，输入为单位冲激信号δ(t)所引起的响应称为单位冲激响应，简称冲激响应，用 $h(t)$ 表示。



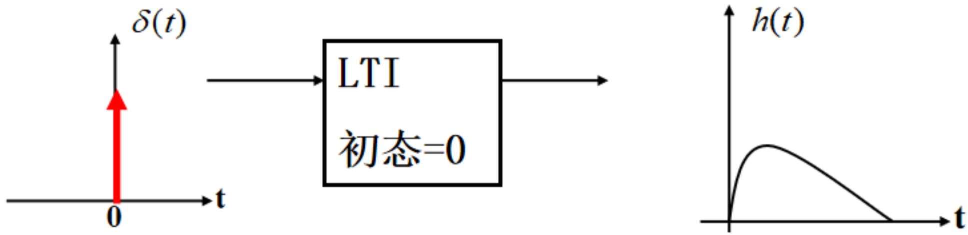
类似地，可以给出阶跃响应的定义。阶跃响应用 $r_\varepsilon(t)$ 表示。



单位冲激响应很重要，是系统的时域表征函数。



利用冲激响应，可以在时域求系统的零状态响应。



如果系统还是因果系统，则其冲激响应是因果信号，即

$$h(t) = 0, \quad t < 0$$

反之亦然，即$h(t)$可用来判断系统的因果性。

将来还用$h(t)$来判断系统的稳定性。

关于t=0时刻的说明

- t=0是一个开始计算时间的参考点，一般也就是开始施加激励即接通电路的瞬间。由于激励源有时是奇异信号，在接通的瞬间将发生电压或电流的突变，从而可能导致系统储能状态的突变。
- 这种情况下考察t=0这个时刻系统中电压、电流的初始值时，t由正值趋于零和由负值趋于零的初始值可能不相等。一般以0^+ 和 0^- 表示这种区别。
- 在《信号与线性系统》一书中如无特殊说明，“初始/起始状态”“初始/起始条件”均指0^-的状态或条件。

2、深入理解冲激响应

已知某线性时不变系统:

$$\frac{d^3}{dt^3}r(t)+2\frac{d^2}{dt^2}r(t)+3\frac{d}{dt}r(t)+r(t)=\frac{d^2}{dt^2}e(t)+5\frac{d}{dt}e(t)+2e(t)$$

1、要求其单位冲激响应 $h(t)$，还需要其他条件吗？

2、已知系统的单位冲激响应为 $h(t)$，

该系统的单位阶跃响应 $r_\varepsilon(t)$ 怎么求？

$$r_\varepsilon(t)=\int_{-\infty}^{t}h(\tau)d\tau$$

接下来我们只讨论冲激响应的求法。

3、冲激响应的计算 部分分式分解法

设连续LTI系统的转移算子为$H(p)$，现在讨论从$H(p)$出发计算冲激响应$h(t)$的方法。

具体做法如下：

- 首先对$H(p)$进行部分分式分解；
- 研究简单系统的冲激响应；
- 在此基础上推导出一般系统冲激响应的求解公式。

对$H(p)$进行部分分式分解

$$\frac{d^2r(t)}{dt^2}+4\frac{dr(t)}{dt}+3r(t)=\frac{d^3e(t)}{dt^3}+5\frac{d^2e(t)}{dt^2}+7\frac{de(t)}{dt}+4e(t)$$

转移算子为$H(p)$为

$$H(p)=\frac{p^3+5p^2+7p+4}{p^2+4p+3}=\frac{(p^3+5p^2+7p+3)+1}{p^2+4p+3}$$

$$=\frac{(p+1)(p^2+4p+3)+1}{p^2+4p+3}=(p+1)+\frac{1}{p^2+4p+3}$$

$$=(p+1)+\frac{1}{2}(\frac{1}{p+1}-\frac{1}{p+3})$$

简单系统1 $H(p)=\dfrac{k}{p-\lambda}$

此时，响应$r(t)$和输入$e(t)$满足的微分方程为

$$r'(t)-\lambda r(t)=ke(t)$$

当系统的初始状态为零时，根据$h(t)$的定义，若在上式中令$e(t)=\delta(t)$，则$r(t)=h(t)$，所以有

$$h'(t)-\lambda h(t)=k\delta(t)$$

这是关于$h(t)$的一阶微分方程。方程两边同时乘以 $e^{-\lambda t}$，

$$(e^{-\lambda t}h(t))'=k\delta(t)\ \Rightarrow h(t)=ke^{\lambda t}u(t)$$

于是

$$\boxed{H(p)=\frac{k}{p-\lambda}\rightarrow h(t)=ke^{\lambda t}u(t)}$$

由叠加性，可知若一个线性系统的转移算子为

$$H(p)=(\frac{k_1}{p-\lambda_1}+\frac{k_2}{p-\lambda_2}+\ldots+\frac{k_n}{p-\lambda_n})$$

$$\rightarrow h(t)=(k_1e^{\lambda_1 t}+k_2e^{\lambda_2 t}+\ldots+k_ne^{\lambda_n t})u(t)$$

这个解与零输入响应的形式相似，只是在零输入响应中，其各项的系数由初始条件决定，而在这里，各项系数k_i 是转移算子展开为部分分式时的各系数。

这种相似并非偶然，这是因为零状态的系统输入一冲激信号为激励信号时，该信号只在t=0时存在，相当于系统在某一瞬间输入了若干能量，存储在系统的储能元件中，可认为在$t=0^+$时具有某种初始状态。等到t>0时，系统已经不再有输入信号，所以响应就由上述储能的状态唯一确定。

简单系统 2 $H(p)=\dfrac{k}{(p-\lambda)^2}$

$$\boxed{H(p)=\frac{k}{(p-\lambda)^2}\rightarrow h(t)=kte^{\lambda t}u(t)}$$

将这一结果推广到特征方程在 $p=\lambda$ 处有 n 重根的情况，有

$$\boxed{H(p)=\frac{k}{(p-\lambda)^n}\rightarrow h(t)=\frac{k}{(n-1)!}t^{n-1}e^{\lambda t}u(t)}$$

简单系统 2 $H(p)=\dfrac{K}{(p-\lambda)^2}$

此时，系统冲激响应 $h(t)$满足的算子方程为

$$(p-\lambda)[(p-\lambda)h(t)]=K\delta(t)$$

有

$$(p-\lambda)h(t)=Ke^{\lambda t}\varepsilon(t)$$

改写成微分方程为

$$h'(t)-\lambda h(t)=Ke^{\lambda t}\varepsilon(t)$$

上式两边乘以 $e^{-\lambda t}$，再取积分 $\int_{-\infty}^{t}(\cdot)\,dx$，代入 $h(-\infty)=0$，最后得

$$h(t)=Kte^{\lambda t}\varepsilon(t)$$

即

$$H(p)=\frac{K}{(p-\lambda)^2}\longrightarrow h(t)=Kte^{\lambda t}\varepsilon(t)$$

简单系统 3 $\boxed{H(p)=kp^n}$ $(n>0)$

此时，响应***h(t)*** 满足的微分方程为

$$h(t)=k\delta^{(n)}(t)$$

$$\boxed{H(p)=kp^n \rightarrow h(t)=k\delta^{(n)}(t)}$$

简单系统 4 $\boxed{H(p)=k}$

此时，响应***h(t)*** 满足的微分方程为

$$h(t)=k\delta(t)$$

$$\boxed{H(p)=k \rightarrow h(t)=k\delta(t)}$$

综上所述，可以得到计算系统冲激响应**$h(t)$**的一般步骤：

第一步，确定系统的传输算子 $H(p)$。

第二步，将 $H(p)$进行部分分式展开写成如下形式：

$$H(p) = \sum_{i=1}^{q} K_i p^i + \sum_{j=1}^{l} \frac{K_j}{(p-\lambda_j)^{r_j}}$$

第三步， 得到各分式对应的冲激响应分量 $h_i(t)$。

第四步，将所有的 $h_i(t)$相加，得到系统的冲激响应 $h(t)$。

例1 利用转移算子求下列系统的单位冲激响应。

$$r''(t)+4r'(t)+3r(t)=e'(t)+2e(t)$$

解：该系统对应的转移算子为：

$$H(p)=\frac{p+2}{p^2+4p+3}$$

$$=\frac{p+2}{(p+1)(p+3)}$$

$$=\frac{1}{2}(\frac{1}{p+1}+\frac{1}{p+3})$$

故 $h(t)=\frac{1}{2}\left(e^{-t}u(t)+e^{-3t}u(t)\right)$

例2 （例题2－6）设系统的微分方程为

$$\frac{d^2}{dt^2}r(t)+4\frac{d}{dt}r(t)+4r(t)=2\frac{d^2}{dt^2}e(t)+9\frac{d}{dt}e(t)+11e(t)$$

试求此系统的冲激响应。

解：该系统对应的转移算子为

$$H(p)=\frac{2p^2+9p+11}{p^2+4p+4}=2+\frac{p+3}{p^2+4p+4}$$

$$=2+\frac{1}{p+2}+\frac{1}{(p+2)^2}$$

$$h(t)=2\delta(t)+e^{-2t}u(t)+te^{-2t}u(t)$$

思考:

$$h(t)=\frac{1}{2}\left(e^{-t}+e^{-3t}\right)u(t)$$

$$h(t)=2\delta(t)+e^{-2t}u(t)+te^{-2t}u(t)$$

为什么**LTI**系统的冲激响应一般都带有**u(t)?**

LTI系统的零输入响应要不要带**u(t)?**

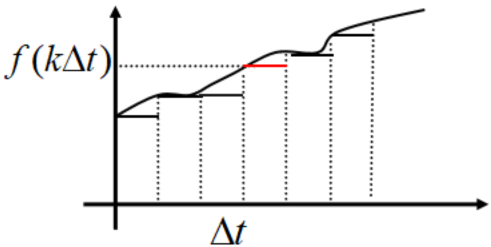
§2.7 叠加积分 零状态响应的计算公式

问题：激励为任意信号时的零状态响应怎么求？

由2.5节我们知道：$f(t)=\int_0^{+\infty} f(\tau)\delta(t-\tau)d\tau$

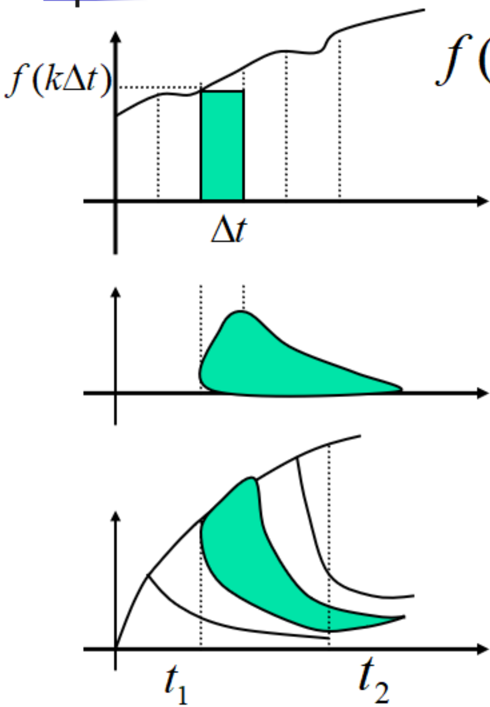
由2.6节我们知道：

对线性时不变系统：



$$f(t) \approx \sum_{k=0}^{n} f(k\Delta t) \frac{g_{\Delta t}(t-k\Delta t)}{\Delta t} \Delta t$$

$$\approx \sum_{k=0}^{n} f(k\Delta t) \delta(t-k\Delta t) \Delta t$$



$$f(t) \approx \sum_{k=0}^{n} f(k\Delta t)\ \delta(t-k\Delta t)\ \Delta t$$

$$\delta(t) \to h(t)$$

$$\to f(k\Delta t)\ h(t-k\Delta t)\ \Delta t$$

$$r_{zs}(t) \approx \sum_{k=0}^{+\infty} f(k\Delta t) h(t-k\Delta t)\Delta t$$

$$r_{zs}(t) \approx \sum_{k=0}^{+\infty} f(k\Delta t)h(t-k\Delta t)\Delta t$$

令 $\Delta t \to d\tau,\ \ k\Delta t \to \tau$

$$\boxed{r_{zs}(t) = \int_0^{+\infty} f(\tau)h(t-\tau)d\tau}$$

激励　　冲激响应

——LTI系统零状态响应求解公式

$$f(t)=\int_{0}^{+\infty} f(\tau)\delta(t-\tau)d\tau = f(t)*\delta(t)$$

$$r_{zs}(t)=\int_{0}^{+\infty} f(\tau)h(t-\tau)d\tau = f(t)*h(t)$$

设$f_1(t), f_2(t)$是定义在(-∞，∞)区间上的两个连续时间信号，我们将积分

$$\boxed{f_1(t)*f_2(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} f_1(\tau)f_2(t-\tau)d\tau}$$

称为$f_1(t)$和$f_2(t)$的卷积（Convolution）。

§2.8 卷积及其性质

1、定义

2、性质

3、计算

1. 卷积的定义

设$f_1(t)$和$f_2(t)$是定义在$(-\infty，\infty)$区间上的两个连续时间信号，我们将积分

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau$$

定义为$f_1(t)$和$f_2(t)$的卷积积分，简称为卷积，记为 $f_1(t)*f_2(t)$

注意：

(1) 式中 τ 为积分变量，积分的结果为一个新的时间信号。

(2) 有的情况下实际的积分区间不是$(-\infty，\infty)$，要注意确定实际的积分区间。

卷积积分的图解说明

$$y(t)=f(t)*g(t)=\int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t-\tau)d\tau$$

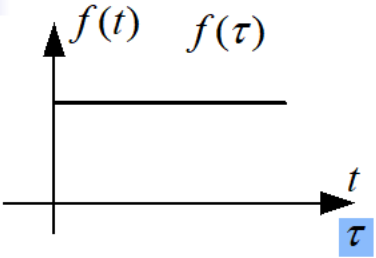
1）将f(t)和g(t)中的自变量由t改为τ，τ成为函数的自变量；

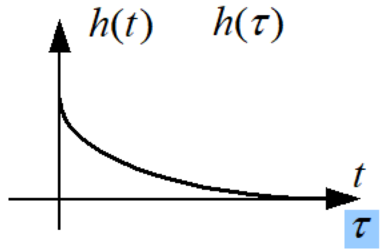
2）把其中一个信号翻转、平移；

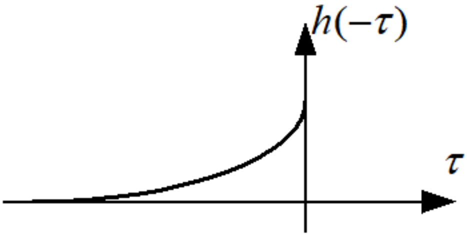
$$g(\tau)\xrightarrow{\text{翻转}}g(-\tau)\xrightarrow{\text{平移}t}g(-(\tau-t))=g(t-\tau)$$

3）将f(τ)与g(t−τ)相乘；对乘积后的图形积分。

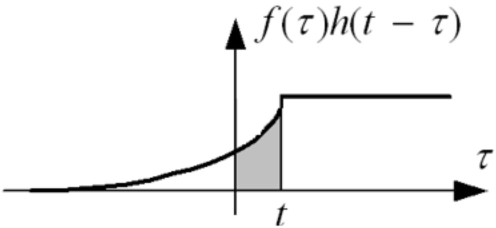
例1 计算 $f(t)*h(t), f(t)=u(t), h(t)=e^{-t}u(t)$







$$f(t)*h(t)=0 \quad t<0$$



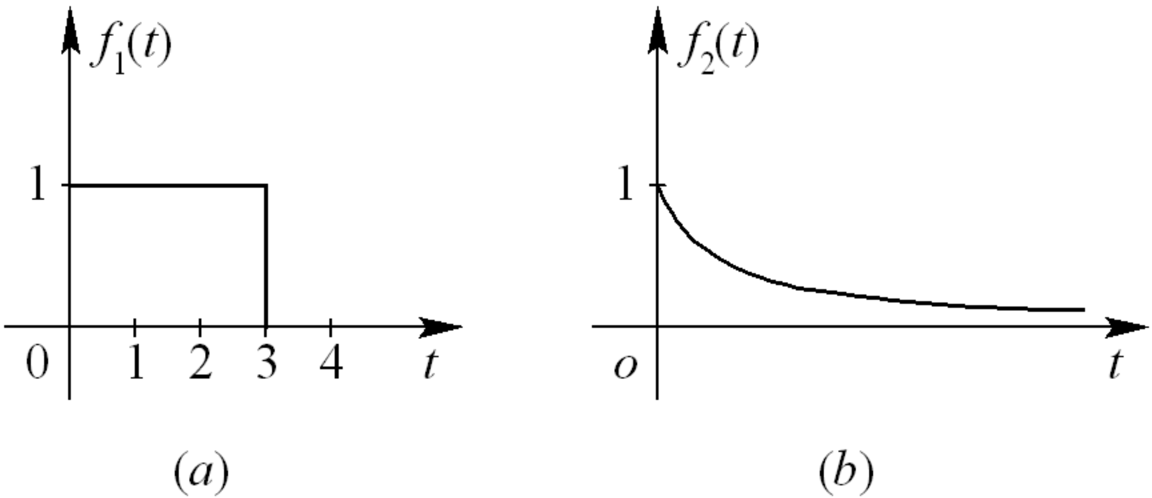
$$f(t)*h(t)=\int_0^t e^{-(t-\tau)}d\tau=1-e^{-t}, t>0$$

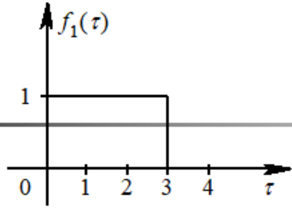
$$f(t)*h(t)=(1-e^{-t})u(t)$$

例2 求 $y(t)=f_1(t)*f_2(t)$，其中

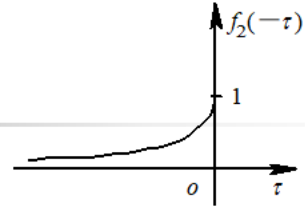
$$f_1(t)=u(t)-u(t-3)$$

$$f_2(t)=e^{-t}u(t)$$

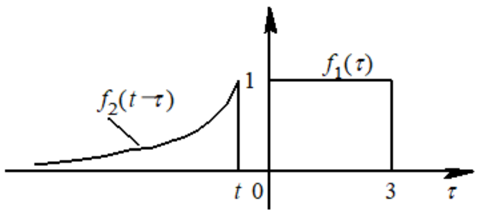




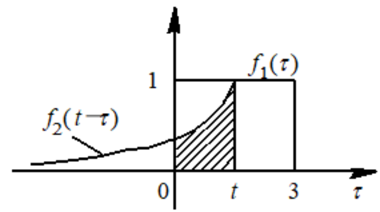
(a)



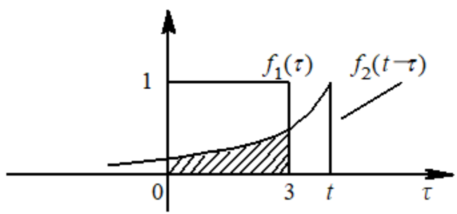
(b)



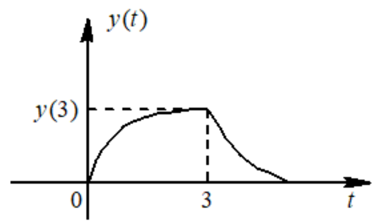
(c) t<0



(d) $0<t<3$



(e) $t>3$



(f)

当$t<0$时，$f_2(t-\tau)$波形如图 (c)所示，对任一τ，乘积$f_1(\tau)f_2(t-\tau)$恒为零，故$y(t)=0$。

当$0<t<3$时，$f_2(t-\tau)$波形如图 (d)所示。

$$
\begin{aligned}
y(t) &= f_1(t) * f_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t-\tau)\,\mathrm{d}\tau \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} [\varepsilon(\tau) - \varepsilon(\tau-3)][\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\varepsilon(t-\tau)]\,\mathrm{d}\tau \\
&= \int_0^t \mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau = \mathrm{e}^{-t}\int_0^t \mathrm{e}^{\tau}\,\mathrm{d}\tau \\
&= 1 - \mathrm{e}^{-t}
\end{aligned}
$$

当$t>3$时，$f_2(t-\tau)$波形如图(e)所示，此时，仅在$0<\tau<3$范围内，乘积$f_1(\tau)f_2(t-\tau)$ 不为零，故有

$$y(t)=f_1(t)*f_2(t)=\int_{-\infty}^{\infty}f_1(\tau)f_2(t-\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

$$=\int_0^3 \mathrm{e}^{-(t-\tau)}\,\mathrm{d}\tau=\mathrm{e}^{-t}\int_0^3 \mathrm{e}^{\tau}\,\mathrm{d}\tau$$

$$=(\mathrm{e}^3-1)\mathrm{e}^{-t}$$

合并以上结果，得到：

$$y(t)=(1-e^{-t})[u(t)-u(t-3)]-[e^{-t}-e^{-(t-3)}]u(t-3)$$

$$=(1-e^{-t})u(t)-[1-e^{-(t-3)}]u(t-3)$$

2. 卷积的性质

代数性质

(1) $f_1(t)*f_2(t)=f_2(t)*f_1(t)$

(2) $f_1(t)*[f_2(t)+f_3(t)]=f_1(t)*f_2(t)+f_1(t)*f_3(t)$

(3) $[f_1(t)*f_2(t)]*f_3(t)=f_1(t)*[f_2(t)*f_3(t)]$

移不变性质

如果 $f_1(t)*f_2(t)=f_3(t)$，则

$$f_1(t-t_1)*f_2(t-t_2)=f_3(t-t_1-t_2)$$

卷积的微分和积分

(1) 两函数相卷积后的导数等于两函数之一的导数与另一函数相卷积。

$$\frac{d}{dt}[f_1(t) * f_2(t)] = \frac{df_1(t)}{dt} * f_2(t) = f_1(t) * \frac{df_2(t)}{dt}$$

(2) 两函数相卷积后的积分等于两函数之一的积分与另一函数相卷积。

$$\int_{-\infty}^{t}[f_1(t) * f_2(t)]dt = f_1(t) * \int_{-\infty}^{t} f_2(t)dt$$

(3) 推广：卷积的微积分性质

$$f_1(t)*f_2(t)=\frac{df_1(t)}{dt}*\int_{-\infty}^{t}f_2(\tau)d\tau=\frac{d^2f_1(t)}{dt^2}*\int_{-\infty}^{t}\int_{-\infty}^{t}f_2(\tau)d\tau$$

注意：使用卷积的微积分性质是有条件的。如

$$f_1(t)*f_2(t)=\frac{df_1(t)}{dt}*\int_{-\infty}^{t}f_2(\tau)d\tau$$

成立，必须 $\int_{-\infty}^{t}\frac{df_1}{dt}d\tau=f_1(t)$，即 $f_1(-\infty)=0$

奇异信号的卷积特性

$$f(t)*\delta(t)=f(t)$$

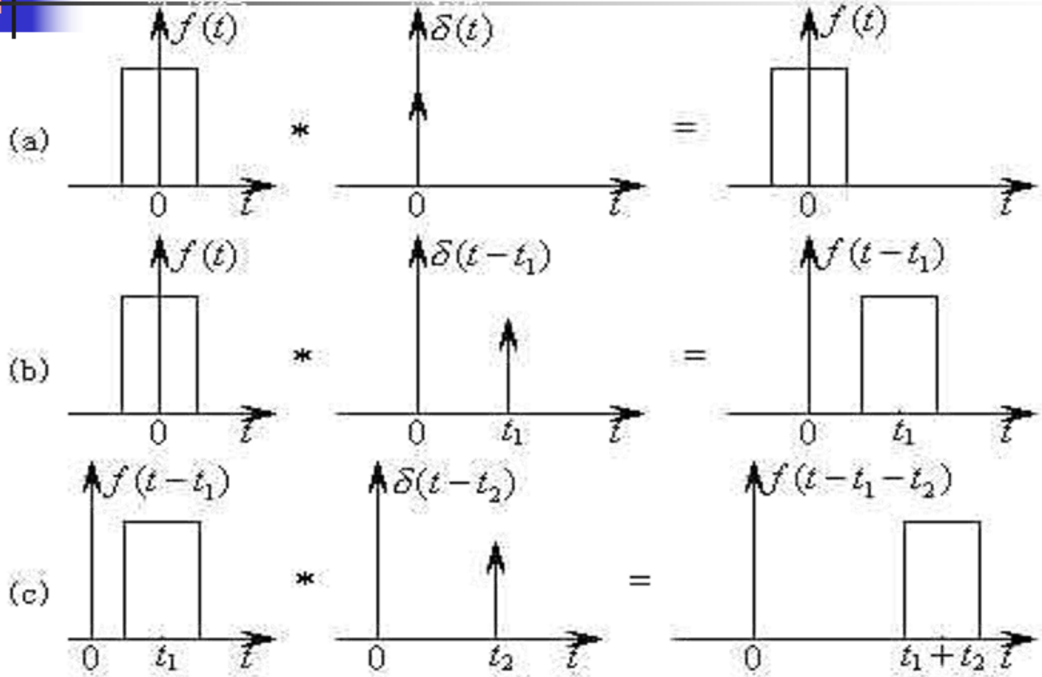
$$f(t)*\delta(t-t_0)=f(t-t_0)$$

$$f(t-t_0)*\delta(t-t_1)=f(t-t_0-t_1)$$

$$f(t)*\delta'(t)=f'(t)$$

$$f(t)*u(t)=\int_{-\infty}^{t}f(t)dt$$

奇异信号的卷积特性:图解



f(t) 与冲激函数的卷积

思考：

$$\delta(t)*f(t)+\delta(t)=\delta(t)*(f(t)+?)$$

3. 卷积的计算

(1) 用图解法计算

(2) 用定义计算

(3) 利用性质计算

常用信号的卷积：　卷积表

* 计算卷积的过程中要特别注意u(t)项的影响。

下面的计算是否有错误，如有，错在哪里？

$$u(t-1)*[u(t-2)-u(t-3)]$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}u(\tau-1)u(t-\tau-2)d\tau-\int_{-\infty}^{\infty}u(\tau-1)u(t-\tau-3)d\tau$$

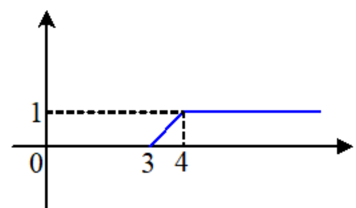
$$=\int_{1}^{t-2}d\tau-\int_{1}^{t-3}d\tau=(t-2-1)-(t-3-1)=1$$

错

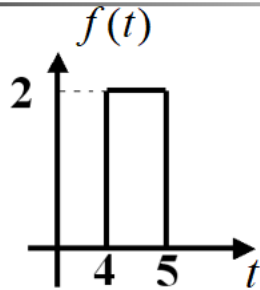
正确的解法是：

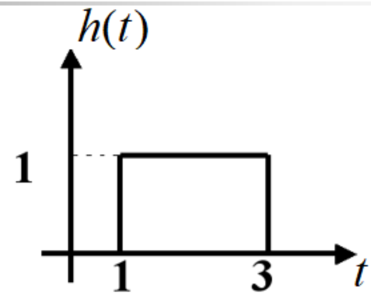
$$=\int_{1}^{t-2}d\tau u(t-2-1)-\int_{1}^{t-3}d\tau u(t-3-1)$$

$$=(t-3)u(t-3)-(t-4)u(t-4)$$



例3 求两个不同脉宽矩形脉冲的卷积。





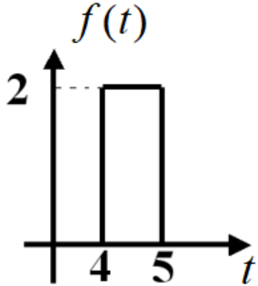
$$f(t)*h(t)=\int_{-\infty}^{\infty}f(\tau)h(t-\tau)d\tau$$

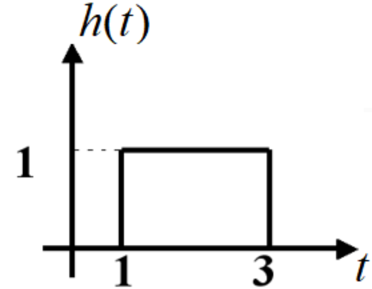
$$=\int_{-\infty}^{\infty}2[u(\tau-4)-u(\tau-5)][u(t-\tau-1)-u(t-\tau-3)]d\tau$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}2u(\tau-4)u(t-\tau-1)d\tau-\int_{-\infty}^{\infty}2u(\tau-4)u(t-\tau-3)d\tau$$

$$-\int_{-\infty}^{\infty}2u(\tau-5)u(t-\tau-1)d\tau+\int_{-\infty}^{\infty}2u(\tau-5)u(t-\tau-3)d\tau$$

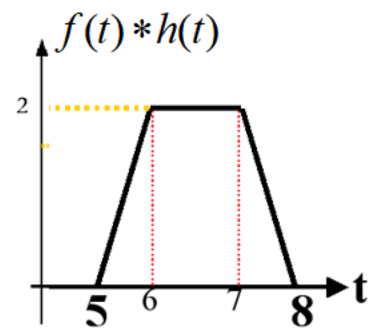
$$\boxed{\int_{-\infty}^{\infty}2u(\tau-4)u(t-\tau-1)d\tau=2\left(\int_{4}^{t-1}d\tau\right)u(t-5)}$$





$$f(t)*h(t)=2[(t-5)u(t-5)-(t-6)u(t-6)$$
$$-(t-7)u(t-7)+(t-8)u(t-8)]$$

$$f*h=\begin{cases} 0 & t<5 \\ 2t-10 & 5<t<6 \\ 2 & 6<t<7 \\ 16-2t & 7<t<8 \\ 0 & t>8 \end{cases}$$



结论： 两个不同宽度的矩形脉冲的卷积是梯形脉冲。

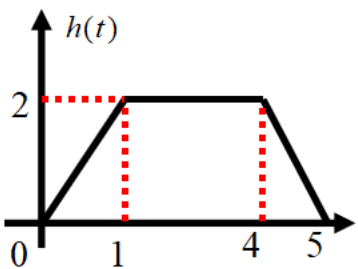
结论:若f1(t)与f2(t)为有限宽度的脉冲,则

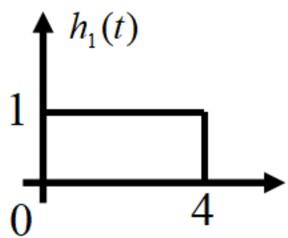
- f1*f2的面积为f1和f2面积之积;
- f1*f2的宽度为f1和f2宽度之和。

问题1　两个相同宽度的矩形脉冲的卷积是什么脉冲?

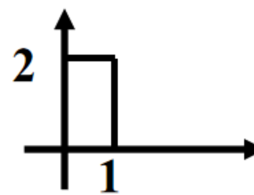
例题2-7.

问题2　已知 $h(t)=h_1(t)*h_2(t)$, $h(t)$ 与 $h_1(t)$ 如图所示，求 $h_2(t)$.





答案:



例4(例题2-10)利用卷积的微积分性质求下列卷积。

$$f_1(t) = u(t - t_1) - u(t - t_2), t_2 > t_1$$

$$f_2(t) = e^{-t} u(t)$$

解:

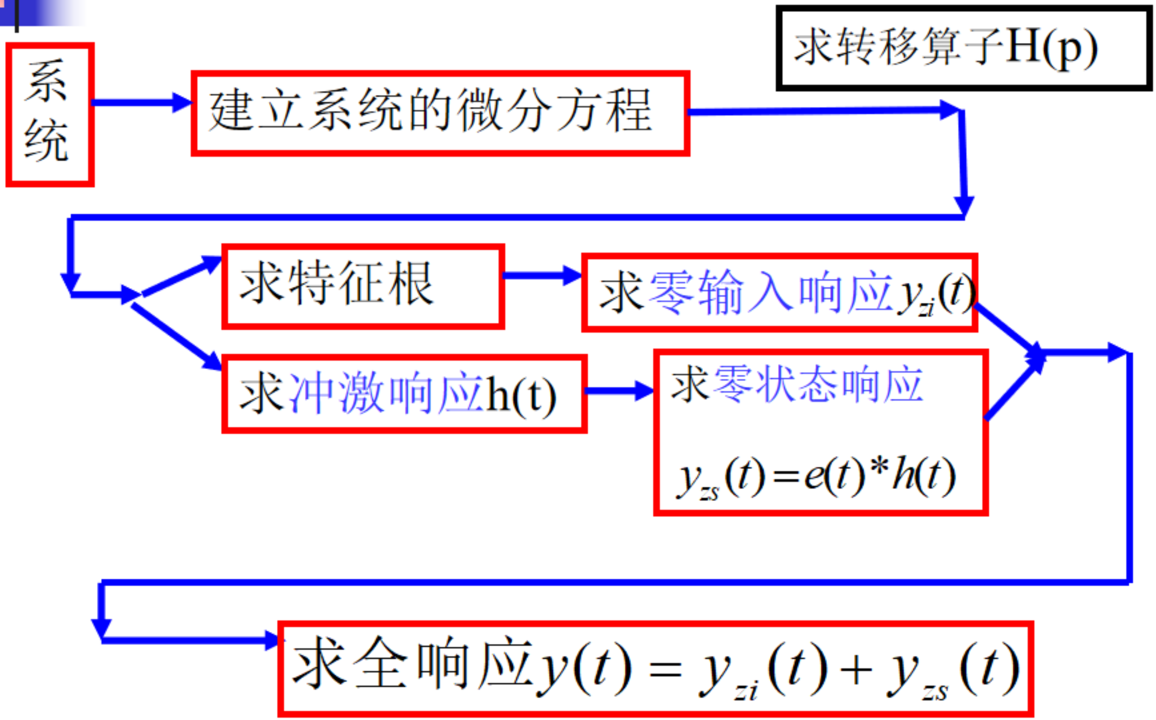
$$f_1(t) * f_2(t) = \frac{df_1(t)}{dt} * \int_{-\infty}^{t} f_2(\tau) d\tau$$

$$= \frac{df_1(t)}{dt} * \int_{0}^{t} e^{-\tau} u(\tau) d\tau$$

$$= [\delta(t - t_1) - \delta(t - t_2)] * (1 - e^{-t}) u(t)$$

$$= [1 - e^{-(t-t_1)}] u(t - t_1) - [1 - e^{-(t-t_2)}] u(t - t_2)$$

§2.9 线性系统响应的时域求解



全响应＝零输入响应＋零状态响应

从区分初始储能与激励作用考虑

＝自然响应＋受迫响应

从微分方程经典法求解考虑

＝瞬态响应＋稳态响应

从 $t \to \infty$ 的状态考虑

瞬态响应是指当t趋于无穷时，趋于零的那部分响应；
稳态响应是指当t趋于无穷时，保留下来的那部分响应。

问题：各种响应之间是什么关系呢？

	自然响应	受迫响应	零输入响应	零状态响应
系统（特征根）	√	√	√	√
初始状态	√		√	
外加激励	√	√		√

- 自然响应和零输入响应都是齐次方程的解，两者具有相同的模式，此模式由方程的特征根决定。
- 但是两者系数不同。零输入响应由初始储能决定，自然响应同时依从于起始状态和激励信号。
- 若系统初始无储能，则零输入响应为零，但自然响应可以不为零。

	自然响应	受迫响应	零输入响应	零状态响应
系统（特征根）	√	√	√	√
初始状态	√		√	
外加激励	√	√		√

- 零输入响应是自然响应的一部分。
- 零状态响应中又可分为自然响应和受迫响应。
- 若系统是稳定的，则其自然响应是瞬态响应；受迫响应中可能包含瞬态响应和稳态响应。

各种响应之间的关系-举例

例题2-11 电路方程为 $\frac{du_C(t)}{dt}+u_C(t)=e(t),$

已知 $u_C(0^-)=1$，$e(t)=(1+e^{-3t})u(t).$

可求得零输入响应 $u_{Czi}(t)=e^{-t}u(t).$

零状态响应 $u_{Czs}(t)=(1-\frac{1}{2}e^{-t}-\frac{1}{2}e^{-3t})u(t).$

自然响应 $u_{Ch}(t)=\frac{1}{2}e^{-t}u(t).$

受迫响应 $u_{Cp}(t)=(1-\frac{1}{2}e^{-3t})u(t).$

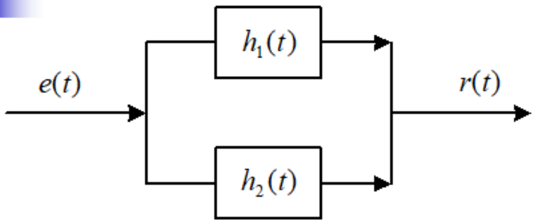
$$\lambda = -1 \qquad e(t) = (1 + e^{-3t})u(t)$$

$$u_C(t) = \underbrace{e^{-t}u(t)}_{\text{零输入响应}} + \underbrace{(1 - \frac{1}{2}e^{-t} - \frac{1}{2}e^{-3t})u(t)}_{\text{零状态响应}}$$

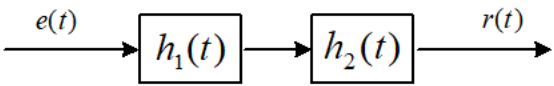
$$= \underbrace{\frac{1}{2}e^{-t}u(t)}_{\text{自然响应}} + \underbrace{(1 - \frac{1}{2}e^{-3t})u(t)}_{\text{受迫响应}}$$

$$= \underbrace{(\frac{1}{2}e^{-t} - \frac{1}{2}e^{-3t})u(t)}_{\text{瞬态响应}} + \underbrace{u(t)}_{\text{稳态响应}}$$

补充:组合系统的冲激响应

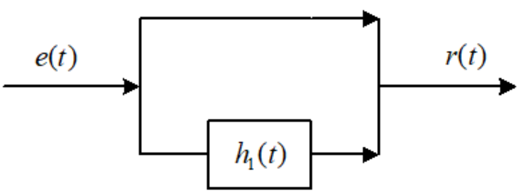


$$h(t) = h_1(t) + h_2(t)$$



$$h(t) = h_1(t) * h_2(t)$$

思考:



$$h(t) = \delta(t) + h_1(t)$$

小结

- 冲激响应-很重要！
- 卷积，不要被它的名称吓住了
- 系统的零状态响应求解
- 分解—数学常用的思想

课外作业

阅读：2.6–2.9　　预习：3.1–3.3

作业：2.16（5）

2.17

2.20（1）（2）