第一章 信号与系统

一）信号的表示 1) 函数表示

2) 波形表示

掌握由波形写出函数式，由函数式画出波形

会处理函数表示式的中间变量，如ε(sint)

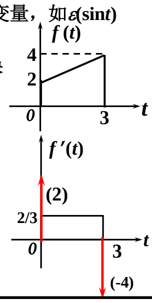
二）信号的基本运算

- 加、减、乘、平移、反折、尺度变换

掌握 $f(t) \to f(at+b)$，先做平移

$f(at+b) \to f(t)$，最后做平移

- 微分：注意函数值跳变处
- 积分：注意边上限积分



三）信号的分类

1) 周期信号和非周期信号

2) 能量信号和功率信号

四）典型信号及基本信号

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(t)dt = f(0) \qquad \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta'(t)dt = -f'(0)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)\delta(t-t_0)dt = \begin{cases} f(t_0) & t_1 < t_0 < t_2 \\ 0 & t_0\text{不在上述区间} \end{cases}$$

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)\delta'(t-t_0)dt = \begin{cases} -f'(t_0) & t_1 < t_0 < t_2 \\ 0 & t_0\text{不在上述区间} \end{cases}$$

$$\delta(at-t_0) = \frac{1}{|a|}\delta(t-\frac{t_0}{a}) \qquad a \neq 0$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(at-t_0)\varphi(t)dt = \frac{1}{|a|}\varphi(\frac{t_0}{a})$$

$$\varepsilon(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(x)dx \qquad \delta(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta'(x)dx$$

$$f(t)\delta'(t-t_0) = f(t_0)\delta'(t-t_0) - f'(t_0)\delta(t-t_0)$$

五) 系统的描述

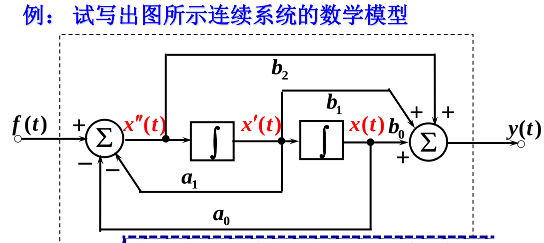
1) 用数学模型描述

2) 用系统框图描述

3) 用系统函数描述

4) 用流图描述

例：试写出图所示连续系统的数学模型



连续系统：设其最右端积分器的输出为x(t)

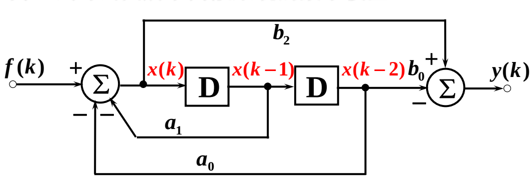
左加法器方程：$x''(t) + a_1 x'(t) + a_0 x(t) = f(t)$

右加法器方程：$y(t) = b_2 x''(t) + b_1 x'(t) + b_0 x(t)$

$$y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_2 f''(t) + b_1 f'(t) + b_0 f(t)$$

注意 由框图求其数学表示式时，直接采用规律列写

例：试写出图所示离散系统的数学模型



离散系统：设其最左端延迟单元的输入为x(k)

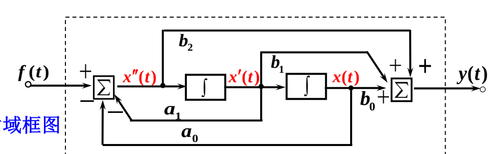
左加法器：$x(k) + a_1 x(k-1) + a_0 x(k-2) = f(k)$

右加法器：$y(k) = b_2 x(k) - b_0 x(k-2)$

$$y(k) + a_1 y(k-1) + a_0 y(k-2) = b_2 f(k) - b_0 f(k-2)$$

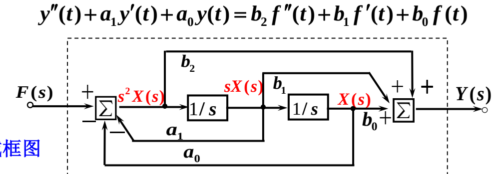
要求：由框图会直接写出系统的微(差)分方程

时域框图

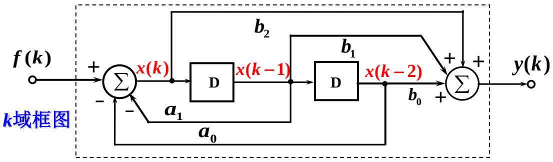


$$y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_2 f''(t) + b_1 f'(t) + b_0 f(t)$$

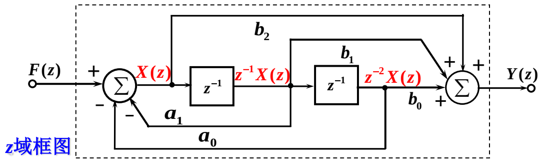
s域框图



$$H(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$



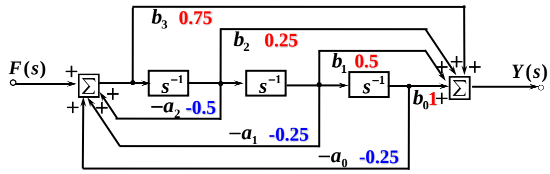
$$y(k)+a_1y(k-1)+a_0y(k-2)=b_2f(k)+b_1f(k-1)+b_0f(k-2)$$

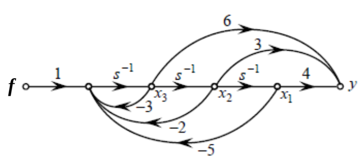


$$H(z)=\frac{Y(z)}{F(z)}=\frac{b_2+b_1z^{-1}+b_0z^{-2}}{1+a_1z^{-1}+a_0z^{-2}}=\frac{b_2z^2+b_1z+b_0}{z^2+a_1z+a_0}$$

例：已知某连续系统的系统函数$H(s)=\dfrac{3s^3+s^2+2s+4}{4s^3+2s^2+s+1}$，画出其直接型结构。

$$H(s)=\frac{0.75+0.25s^{-1}+0.5s^{-2}+s^{-3}}{1-(-0.5s^{-1}-0.25s^{-2}-0.25s^{-3})}$$





$$H(s)=\frac{6s^{-1}+3s^{-2}+4s^{-3}}{1-(-3s^{-1}-2s^{-2}-5s^{-3})}$$

$$H(s)=\frac{6s^2+3s+4}{s^3+3s^2+2s+5}$$

$$y'''(t)+3y''(t)+2y'(t)+5y(t)=6f''(t)+3f'(t)+4f(t)$$

六) 线性系统的性质

①线性性质　若方程中任何一项是常数或是$f(\ )$或$y(\ )$的非线性函数（如平方项），则系统为非线性系统。

②时不变性　若$f(\ )$或$y(\ )$前出现t或k的显式函数，或有反转、展缩变换，则系统为时变系统。

③因果性　因果信号响应不能先于激励（时域）

因果信号收敛域应满足收敛轴的右边区域（连续信号）

因果信号收敛域应满足收敛圆的外部（离散信号）

④稳定性　稳定系统满足：$|f(\cdot)|<\infty$时，存在$|y_{zs}(\cdot)|<\infty$

连续系统：$H(s)$的极点全部位于s平面的左半开平面。

二阶系统$A(s)=a_2s^2+a_1s+a_0$：$a_2>0$，$a_1>0$，$a_0>0$

离散系统：$H(z)$的极点全部在单位圆内

$A(z)=a_2z^2+a_1z+a_0$：$A(1)>0$，$A(-1)>0$，$a_2>|a_0|$

⑤微、积分特性　已知$f_1(t)=\varepsilon(t)$时 $y_{zs_1}(t)$

则$f_2(t)=\delta(t)$时$y_{zs_2}(t)=[y_{zs_1}(t)]'$

第二章　连续系统的时域分析

一）微分方程的经典解

1) 会由特征根的形式确定齐次解，输入的形式确定特解

$$\sum_{i=0}^{n}a_iy^{(i)}(t)=\sum_{j=0}^{m}b_jf^{(j)}(t)\qquad y(t)=y_h(t)+y_p(t)$$

2) 掌握初始状态$y(0\text{-})$，初始值$y(0+)$，跳变量$y_e(0+)$的概念

3) 会用δ匹配法确定跳变量$y_e(0+)$，从而确定初始条$y(0+)$

例 $i_L'(t)+\frac{1}{2}i_L(t)=\frac{1}{2}\delta''(t)+\frac{1}{2}\delta'(t)$，$i_L(0_-)=0$　求$i_L(0_+)$

4) 掌握系统全响应的三种不同分解方法

二) 冲激响应和阶跃响应

深刻理解系统冲激响应$h(t)$与阶跃响应$g(t)$的物理意义，两者之间的关系，并会求解。

三) 卷积积分

1) 深刻理解卷积积分的物理意义，掌握其定义式

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

2) 熟练掌握卷积积分的性质，并熟练应用其性质求卷积积分。（重点）

注意：不论是波形还是函数式首先考虑能否用性质

如　$g_4(t-2)*g_2(t-4)$，　$e^{2t}\varepsilon(t)*\varepsilon(t)$

第三章　离散系统的时域分析

一、差分方程的经典解

1) 会由特征根的形式确定齐次解，输入的形式确定特解

$$\sum_{i=0}^{n} a_{n-i} y(k-i) = \sum_{j=0}^{m} b_{m-j} f(k-j)$$

$$y(k) = y_h(k) + y_p(k)$$

2) 掌握初始状态$y(-n)$、初始值$y(j)$概念($j=0,1,2\ldots n-1$)

3) 会用迭代法求初始条件$y(j)$ (即初始值)

4)掌握系统全响应的不同分解方法

二）单位序列和阶跃序列响应

深刻理解系统单位序列响应$h(k)$与阶跃序列响应$g(k)$的物理意义，并会求解。

三）卷积和

1) 深刻理解卷积和的物理意义，掌握其定义式

$$f(k)*h(k) = y_{zs}(k) \qquad f(k)*h(k) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f(i)h(k-i)$$

2) 熟练掌握求卷积和常用的方法

a) 用定义式求

b) 图解法

c) 不进位乘法

d) 利用性质　注意：b、c法只使用于有限长序列

第四章　傅里叶变换和系统的频域分析

一) 掌握周期信号频谱的离散性、谐波性、收敛性的概念，周期矩形脉冲的T、τ对其频谱、带宽的影响。

二) 非周期信号的频谱（频谱密度函数，傅里叶变换）

1. 理解频谱密度函数的物理意义及定义式

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

2. 熟练掌握典型信号的傅里叶变换

1) $g_\tau(t) \leftrightarrow \tau Sa\left(\dfrac{\omega\tau}{2}\right)$

2) $e^{-\alpha t}\varepsilon(t) \leftrightarrow \dfrac{1}{\alpha + j\omega} \quad \alpha > 0$

3) $\delta(t) \leftrightarrow 1$

4) $1 \leftrightarrow 2\pi\delta(\omega)$

5) $\varepsilon(t) \leftrightarrow \pi\delta(\omega) + \dfrac{1}{j\omega}$

三) 灵活运用傅里叶变换的(常用)性质对信号进行正、反变换

线性性质、对称性、尺度变换、时移性质、频移性质、卷积定理、时域微分

例: 已知$f(t) \leftrightarrow F(j\omega)$,　求 $e^{-j4t} f(2-3t)$其频谱密度函数。

时移

解：$f(2+t) \leftrightarrow F(j\omega) e^{j2\omega}$

尺度变换

$$f(2+3t) \leftrightarrow \frac{1}{3} F\left(j\frac{\omega}{3}\right) e^{j\frac{2\omega}{3}}$$

反折

$$f(2-3t) \leftrightarrow \frac{1}{3} F\left(j\frac{-\omega}{3}\right) e^{-j\frac{2\omega}{3}}$$

复频移

$$e^{-j4t} f(2-3t) \leftrightarrow \frac{1}{3} F\left(-j\frac{\omega+4}{3}\right) e^{-j\frac{2(\omega+4)}{3}}$$

四) 掌握周期信号的傅里叶变换（正弦信号）

1) $\cos\omega_0 t \leftrightarrow \pi[\delta(\omega+\omega_0) + \delta(\omega-\omega_0)]$

2) $\sin\omega_0 t \leftrightarrow j\pi[\delta(\omega+\omega_0) - \delta(\omega-\omega_0)]$

3) $f_T(t) \leftrightarrow 2\pi \sum\limits_{n=-\infty}^{\infty} F_n \delta(\omega - n\Omega) = \Omega \sum\limits_{n=-\infty}^{\infty} F_0(jn\Omega)\delta(\omega - n\Omega)$

$$F_n = \frac{1}{T} F_0(jn\Omega) = \frac{1}{T} F_0(j\omega)\Big|_{\omega=n\Omega}$$

4) $\delta_T(t) \leftrightarrow \Omega \sum\limits_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\Omega)$

五) LTI系统的频域分析法

1) 深刻理解系统函数$H(j\omega)$的定义，熟练掌握LTI系统的频域分析法。

$$y_{zs}(t) = H(j\omega_0) e^{j\omega_0 t} = |H(j\omega_0)| e^{j[\omega_0 t + \varphi(\omega_0)]}$$

$$y_{zs}(t) = |H(j\omega_0)| \cos[\omega_0 t + \varphi(\omega_0)]$$

2)掌握系统无失真传输的条件

时域：$h(t) = K\,\delta(t - t_d)$

频域：$H(j\omega) = \dfrac{Y(j\omega)}{F(j\omega)} = K e^{-j\omega t_d}$

3)掌握低通滤波器的定义及其传输特性

六)掌握时域抽样定理、会确定奈奎斯特频率和奈奎斯特周期

$$f_s = 2f_m \qquad T_s = \frac{1}{2f_m}$$

已知$f(t)$的最高频率为$100Hz$,若对下列信号进行时域抽样，求最大抽样间隔。

$$f(t) * f\left(\frac{1}{2}t\right), \quad f(4t), \quad f(t) + f^2(t)$$

第五章 连续系统的S域分析

一) 掌握拉氏变换定义式、收敛域的概念，并熟练掌握典型信号的拉氏变换。

$$F(s)=\int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-st}dt$$

收敛域：使$f(t)$的$F(s)$存在的σ的取值范围

因果信号收敛域应满足σ>α =σ_0(即收敛轴的右边区域)

反因果信号收敛域应满足σ<β =σ_0(即收敛轴的左边区域)

1) $\delta(t)\leftrightarrow 1 \quad (\mathrm{Re}[s]>-\infty)$　　2) $\delta'(t)\leftrightarrow s \quad (\mathrm{Re}[s]>-\infty)$

3) $\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{1}{s} \quad (\mathrm{Re}[s]>0)$　　4) $e^{s_0 t}\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{1}{s-s_0} \quad (\mathrm{Re}[s]>\mathrm{Re}[s_0])$

$\boxed{t\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{1}{s^2}}$　　$e^{\alpha t}\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{1}{s-\alpha} \quad \sigma>\alpha$

5) $\sin\omega_0 t\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{\omega_0}{s^2+\omega_0^2}$　　6) $\cos\omega_0 t\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{s}{s^2+\omega_0^2}$

二) 正确理解拉氏变换性质的应用条件，并灵活应用拉氏变换的(常用)性质求信号的*LT*。

线性性质、时移性质、复频移性质、尺度变换、卷积定理、时域微分、时域积分

例: 已知$f(t)$的象函数$F(s)=\dfrac{s}{s^2+1}$，求$e^{-t}f(3t-2)$的拉氏变换。

解：$f(t)\leftrightarrow \dfrac{s}{s^2+1}$

时移

$f(t-2)\leftrightarrow \dfrac{s}{s^2+1}e^{-2s}$

尺度变换

$f(3t-2)\leftrightarrow \dfrac{1}{3}\cdot\dfrac{s/3}{(s/3)^2+1}e^{-2s/3}=\dfrac{s}{s^2+9}e^{-2s/3}$

复频移

$e^{-t}f(3t-2)\leftrightarrow \dfrac{s+1}{(s+1)^2+9}e^{-\frac{2(s+1)}{3}}$

二) 正确理解拉氏变换性质的应用条件，并灵活应用拉氏变换的(常用)性质求信号的*LT*。

线性性质、时移性质、复频移性质、尺度变换、卷积定理、时域微分、时域积分

若　$f(t)\varepsilon(t)\leftrightarrow F(s) \quad \mathrm{Re}[s]>\sigma_0$

则　$f(t\pm t_0)\varepsilon(t\pm t_0)\leftrightarrow F(s)e^{\pm st_0} \quad \mathrm{Re}[s]>\sigma_0$

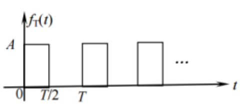
应用线性性质和时移性质求单边周期信号的拉氏变换

$$f_T(t)\leftrightarrow F_0(s)\cdot\frac{1}{1-e^{-sT}} \quad \mathrm{Re}[s]>0$$

$f_T(t)=f_0(t)*\delta_T(t)$

$f_0(t)=A[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-\frac{T}{2})]\leftrightarrow \frac{A}{s}(1-e^{-sT/2})$

$\delta_T(t)\leftrightarrow \dfrac{1}{1-e^{-Ts}}$



$f_T(t)=f_0(t)*\delta_T(t)\leftrightarrow \dfrac{A}{s}(1-e^{-sT/2})\dfrac{1}{1-e^{-Ts}}=\dfrac{A}{s(1+e^{-Ts/2})}$

三) 能熟练应用部分分式法和常用信号的拉氏变换对求拉氏反变换 [即原函数$f(t)$] (仅有共轭复根时用配平法)

$\sin(\beta t)\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{\beta}{s^2+\beta^2}$，　$e^{-\alpha t}\sin(\beta t)\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{\beta}{(s+\alpha)^2+\beta^2}$

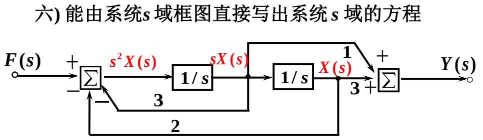
$\cos(\beta t)\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{s}{s^2+\beta^2}$，　$e^{-\alpha t}\cos(\beta t)\varepsilon(t)\leftrightarrow \dfrac{s+\alpha}{(s+\alpha)^2+\beta^2}$

四) 熟练掌握微分方程的变换(s)域解法。

$$Y(s)=\frac{M(s)}{A(s)}+\frac{B(s)}{A(s)}F(s)=Y_{zi}(s)+Y_{zs}(s)$$

五) 深刻理解系统函数$H(s)$含义，会由微分方程求出$H(s)$，由$H(s)$写出系统的微分方程。

六) 能由系统s域框图直接写出系统s域的方程



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

七) 会用s域分析法求解电路(KCL、KVL、元件VAR的s域形式及s域框图)的$y_{zi}(t)$、$y_{zs}(t)$、$y(t)$（会列方程）

八)掌握系统函数$H(s)$和频率响应$H(j\omega)$ (函数)的关系，能定性地画出简单系统的频率响应的特性曲线。

第六章 离散系统的Z域分析

一) 理解单、双边z变换的定义、收敛域的概念，并熟练掌握典型信号的z变换对。

1)单位样值序列　$\delta(k)\leftrightarrow 1 \quad |z|\ge 0$

2)指数序列　$a^k\varepsilon(k)\leftrightarrow \dfrac{z}{z-a}, |z|>|a|$

$b^k\varepsilon(-k-1)\leftrightarrow \dfrac{-z}{z-b}, |z|<|b|$

3)单位阶跃序列　$\varepsilon(k)\leftrightarrow \dfrac{z}{z-1}, |z|>1$

二) 掌握z变换的常用性质，灵活应用z变换的常用性质求序列的*ZT*。

线性性质、移位性质、尺度变换、序列卷积、z域微分

三) 熟练应用部分分式法和常用序列的z变换对求z反变换,

(注意根据收敛域确定原函数)

例：已知$F(z)=\frac{-z}{z-1/2}+\frac{2z}{z-1}+\frac{-z}{z-2}+\frac{z}{z-3}$, $1<|z|<2$ 求$f(k)$。

$$\underbrace{\frac{-z}{z-1/2}+\frac{2z}{z-1}}_{\text{因果信号}}+\underbrace{\frac{-z}{z-2}+\frac{z}{z-3}}_{\text{反因果信号}}$$

$$f(k)=\left[2-(1/2)^k\right]\varepsilon(k)+\left[(2)^k-(3)^k\right]\varepsilon(-k-1)$$

$$\frac{z}{(z-1)^2}\leftrightarrow k\varepsilon(k)$$

四) 熟练掌握差分方程的变换(z)域解法。

$$Y(z)=\frac{M(z)}{A(z)}+\frac{B(z)}{A(z)}F(z)=Y_{zi}(z)+Y_{zs}(z)$$

五) 深刻理解系统函数$H(z)$的含意，会由差分方程求$H(z)$，由$H(z)$写出系统的差分方程。

例: $y(k)+4y(k-1)+3y(k-2)=f(k)-3f(k-1)$, 求$H(z)$

$$H(z)=\frac{Y_{zs}(z)}{F(z)}=\frac{1-3z^{-1}}{1+4z^{-1}+3z^{-2}}=\frac{z^2-3z}{z^2+4z+3}$$

六) 能由系统z域框图直接写出系统z域的方程。

七)掌握系统函数$H(z)$和频率响应函数$H(e^{j\omega})$的关系，能定性地画出简单系统的频率响应的特性曲线。

当 $f(k)=A\cos(\omega_0 k+\psi)$时

$$y_{ss}(k)=A\left|H(e^{j\omega_0})\right|\cos[\omega_0 k+\psi+\varphi(\omega_0)]$$

当 $f(k)=Ae^{j\omega_0 k}$时

$$y_{ss}(k)=H(e^{j\omega_0})Ae^{j\omega_0 k}=A\left|H(e^{j\omega_0})\right|e^{j[\omega_0 k+\varphi(\omega_0)]}$$

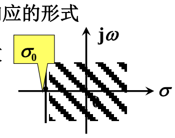
第七章 系统函数

一、会由系统函数H(•)分析系统的特性

1) 掌握系统函数零极点的概念。

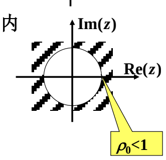
2) 会由系统函数的极点确定系统时域响应的形式

3) 会由系统函数求系统的频率响应函数



(a) $H(j\omega)=H(s)|_{s=j\omega}$ $\sigma_0<0$

(b) $H(e^{j\omega})=H(z)|_{z=e^{j\omega}}$ $|z|=1$在收敛域内

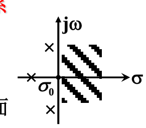


4) 会定性地画系统的频率特性曲线

5) 掌握全通系统和最小相移系统的概念

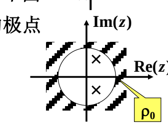
二、系统的因果性、稳定性与系统函数的关系

1) 系统的因果性



连续系统～$H(s)$的收敛域$\mathrm{Re}[s]>\sigma_0$，且$H(s)$的极点均在收敛轴的左半平面

离散系统～$H(z)$的收敛域$|z|>\rho_0$，且$H(z)$的极点均在半径为ρ_0收敛圆的内部



2) 系统的稳定性

连续系统～ $H(s)$的极点全部在s平面的左半开平面

离散系统～ $H(z)$的极点全部在z平面的单位圆内

3) 系统的稳定性准则

a) 罗斯准则　　b) 朱里准则

三)系统的信号流图表示和梅森公式

1) 理解系统的直接型、级联型和并联型结构

2) 掌握信号流图的性质

3) 能用梅森公式求系统函数

$$H(\cdot)=\frac{1}{\Delta}\sum_i p_i\Delta_i$$

第八章 系统状态变量分析

1) 会建立系统动态方程

2) 掌握状态方程的变换域的分析方法

3)了解系统可控、可观的判断方法