线性系统时域分析法

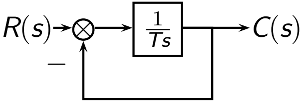
线性系统动态性能分析

Outline

Topic

1. 一阶系统动态性能
2. 二阶系统时域分析
3. 二阶系统阶跃响应指标计算
4. 二阶系统单位斜坡响应
5. 高阶系统时域分析（3 阶及以上系统）

一阶系统单位阶跃响应



$$
\begin{aligned}
G(s) &= \frac{1}{Ts} \\
\Phi(s) &= \frac{1}{Ts+1} \\
R(s) &= \frac{1}{s} \\
C(s) &= \Phi(s)R(s) \\
&= \frac{-T}{Ts+1} + \frac{1}{s} \\
c(t) &= 1 - e^{-t/T}
\end{aligned}
$$

一阶系统单位脉冲响应

$$
\begin{aligned}
R(s) &= 1 \\
C(s) &= \Phi(s)R(s) \\
&= \Phi(s) \\
&= \frac{1}{Ts+1} \\
c(t) &= \frac{1}{T}e^{-t/T}
\end{aligned}
$$

一阶系统单位斜坡响应

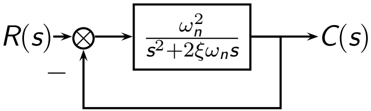
$$
\begin{aligned}
R(s) &= \frac{1}{s^2} \\
C(s) &= \Phi(s)R(s) \\
&= \frac{1}{(Ts+1)s^2} \\
&= \frac{1}{s^2} - \frac{T}{s} + \frac{T^2}{Ts+1} \\
c(t) &= (t-T) + Te^{-t/T}
\end{aligned}
$$

一阶系统单位加速度响应

$$
\begin{aligned}
R(s) &= \frac{1}{s^3} \\
C(s) &= \Phi(s)R(s) \\
&= \frac{1}{(Ts+1)s^3} \\
&= \frac{1}{s^3} - \frac{T}{s^2} + \frac{T^2}{s} - \frac{T^3}{sT+1} \\
c(t) &= \frac{1}{2}t^2 - Tt + T^2(1 - e^{-t/T})
\end{aligned}
$$

Topic

传递函数



- ξ: 阻尼比
- ω_n: 自然频率, 无阻尼振荡频率

$$
\begin{aligned}
r(t) &= 1 \\
R(s) &= \frac{1}{s} \\
G(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s} \\
\Phi(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2} \\
p_{1,2} &= -\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2-1}
\end{aligned}
$$

$\xi \leq 0$

- $\xi < 0$ 时有正实根, 不稳定
- $\xi = 0$ 时有两个纯虚根, 无阻尼, 临界稳定, 等幅振荡, 频率为 ω_n,

$$\begin{aligned} C(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2+\omega_n^2}\cdot\frac{1}{s} \\ &= \frac{-s}{s^2+\omega_n^2}+\frac{1}{s} \\ c(t) &= 1-\cos\omega_n t \end{aligned}$$

$\xi \leq 0$

- $\xi < 0$ 时有正实根, 不稳定
- $\xi = 0$ 时有两个纯虚根, 无阻尼, 临界稳定, 等幅振荡, 频率为 ω_n,

$$
\begin{aligned}
C(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2+\omega_n^2}\cdot\frac{1}{s} \\
&= \frac{-s}{s^2+\omega_n^2}+\frac{1}{s} \\
c(t) &= 1-\cos\omega_n t
\end{aligned}
$$

$\xi \leq 0$

- $\xi < 0$ 时有正实根, 不稳定
- $\xi = 0$ 时有两个纯虚根, 无阻尼, 临界稳定, 等幅振荡, 频率为 ω_n,

$$\begin{aligned} C(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2+\omega_n^2} \cdot \frac{1}{s} \\ &= \frac{-s}{s^2+\omega_n^2} + \frac{1}{s} \\ c(t) &= 1 - \cos \omega_n t \end{aligned}$$

$\xi > 1$

系统闭环极点为两个不同的实根. 过阻尼, 相当于两个一阶系统并联, $\sigma\% = 0$

$$
\begin{aligned}
\Phi(s) &= \frac{\omega_n^2}{(s-p_1)(s-p_2)} \\
&= \frac{K_1}{s-p_1} + \frac{K_2}{s-p_2} \\
c(t) &= 1 - \frac{e^{p_1 t}}{1-\frac{p_1}{p_2}} - \frac{e^{p_2 t}}{1-\frac{p_2}{p_1}}
\end{aligned}
$$

$\xi = 1$

- 闭环极点有两个相同的负实根 $p_{1,2} = -\xi\omega_n = -\omega_n$

$$\begin{aligned} C(s) &= \frac{\omega_n^2}{(s+\omega_n)^2} \cdot \frac{1}{s} \\ &= \frac{1}{s} - \frac{1}{s+\omega_n} - \frac{\omega_n}{(s+\omega_n)^2} \\ c(t) &= 1 - e^{-\omega_n t} - \omega_n t e^{-\omega_n t} \end{aligned}$$

- 且有:

$$\begin{aligned} \frac{dc(t)}{dt} &= \omega_n e^{-\omega_n t} + \omega_n^2 t e^{-\omega_n t} - \omega_n e^{-\omega_n t} > 0 \\ c(0) &= 0 \\ c(\infty) &= 1 \\ \sigma\% &= 0 \\ t_s &= 4.75T \qquad T = \frac{1}{\omega_n} \end{aligned}$$

$\xi = 1$

- 闭环极点有两个相同的负实根 $p_{1,2} = -\xi\omega_n = -\omega_n$

$$\begin{aligned} C(s) &= \frac{\omega_n^2}{(s+\omega_n)^2} \cdot \frac{1}{s} \\ &= \frac{1}{s} - \frac{1}{s+\omega_n} - \frac{\omega_n}{(s+\omega_n)^2} \\ c(t) &= 1 - e^{-\omega_n t} - \omega_n t e^{-\omega_n t} \end{aligned}$$

- 且有:

$$\begin{aligned} \frac{dc(t)}{dt} &= \omega_n e^{-\omega_n t} + \omega_n^2 t e^{-\omega_n t} - \omega_n e^{-\omega_n t} > 0 \\ c(0) &= 0 \\ c(\infty) &= 1 \\ \sigma\% &= 0 \\ t_s &= 4.75T \qquad T = \frac{1}{\omega_n} \end{aligned}$$

$0 < \xi < 1$

系统有一对实部小于零的共轭复根, $p_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}$

$$\begin{aligned} C(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \cdot \frac{1}{s} \\ &= \frac{1}{s} + \frac{p_2}{(p_1 - p_2)(s - p_1)} + \frac{p_1}{(p_2 - p_1)(s - p_2)} \end{aligned}$$

$0 < \xi < 1$

$$
\begin{aligned}
c(t) &= 1 + \frac{p_2}{p_1 - p_2} e^{p_1 t} + \frac{p_1}{p_2 - p_1} e^{p_2 t} \\
&= 1 + 2\Re\left[\frac{p_2}{p_1 - p_2} e^{p_1 t}\right] \\
&= 1 + 2\Re\left[\frac{-\omega_n e^{j\beta}}{2j\omega_d} e^{-\xi\omega_n t} e^{j\omega_d t}\right] \\
&= 1 - e^{-\xi\omega_n t}\Re\left[\frac{\omega_n}{j\omega_d} e^{j(\omega_d t + \beta)}\right] \\
&= 1 - \frac{\omega_n}{\omega_d} e^{-\xi\omega_n t} \sin(\omega_d t + \beta) \\
\beta &= \tan^{-1}\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \qquad \omega_d = \sqrt{1-\xi^2}\,\omega_n
\end{aligned}
$$

Topic

二阶欠阻尼系统阶跃响应指标

$$c(t) \quad = \quad 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \sin(\omega_d t + \beta)$$

- 欠阻尼. ω_d 称为有阻尼振荡频率. 最佳阻尼比 $\xi = 0.707$
- 指标: $\sigma\%, t_s, t_p, t_r$ 等

上升时间 t_r

- 100% 的 t_r：$c(t)$ 首次达到 $c(\infty)$ 的时间
- 90% 的 t_r：$c(t)$ 首次达到 $90\%c(\infty)$ 的时间
- 70% 的 t_r：$c(t)$ 首次达到 $70\%c(\infty)$ 的时间

$$
\begin{aligned}
c(t) &= c(\infty) \\
1-\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}e^{-\xi\omega_n t}\sin(\omega_d t+\beta) &= 1 \\
sin(\omega_d t+\beta) &= 0 \\
\omega_d t+\beta &= k\pi \\
t_r &= \frac{\pi-\beta}{\omega_d}
\end{aligned}
$$

峰值时间 t_p

$$
\begin{aligned}
\frac{dc(t)}{dt} &= 0 \\
-\xi\omega_n e^{-\xi\omega_n t}\sin(\omega_d t+\beta) + e^{-\xi\omega_n t}\omega_d\cos(\omega_d t+\beta) &= 0 \\
\omega_d\cos(\omega_d t+\beta) &= \xi\omega_n\sin(\omega_d t+\beta) \\
\tan(\omega_d t+\beta) &= \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \\
\tan(\omega_d t+\beta) &= \tan\beta \\
\omega_d t &= k\pi \\
t_p &= \frac{\pi}{\omega_d}
\end{aligned}
$$

超调量 $\sigma\%$

$$
\begin{aligned}
\sigma\% &= \frac{c_{max} - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% = (c(t_p) - 1) \\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t_p} \sin(\omega_d t_p + \beta) \\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi\omega_n\pi}{\omega_d}} \sin(\pi + \beta) \\
&= \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \sin(\beta) \\
&= e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \times 100\%
\end{aligned}
$$

- $\sigma\%$ 只与 ξ 有关, 两者成反比关系
- 工程上一般取 $\xi \in [0.4, 0.8]$
- 最佳阻尼比 $\xi = 0.707, \sigma\% = 4.3\%$

超调量 $\sigma\%$

$$\begin{aligned}
\sigma\% &= \frac{c_{max} - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% = (c(t_p) - 1) \\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t_p} \sin(\omega_d t_p + \beta) \\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi\omega_n \pi}{\omega_d}} \sin(\pi + \beta) \\
&= \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \sin(\beta) \\
&= e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \times 100\%
\end{aligned}$$

- $\sigma\%$ 只与 ξ 有关, 两者成反比关系
- 工程上一般取 $\xi \in [0.4, 0.8]$
- 最佳阻尼比 $\xi = 0.707, \sigma\% = 4.3\%$

超调量 $\sigma\%$

$$
\begin{aligned}
\sigma\% &= \frac{c_{max} - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% = (c(t_p) - 1) \\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t_p} \sin(\omega_d t_p + \beta) \\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi\omega_n\pi}{\omega_d}} \sin(\pi + \beta) \\
&= \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \sin(\beta) \\
&= e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \times 100\%
\end{aligned}
$$

- $\sigma\%$ 只与 ξ 有关, 两者成反比关系
- 工程上一般取 $\xi \in [0.4, 0.8]$
- 最佳阻尼比 $\xi = 0.707, \sigma\% = 4.3\%$

超调量 $\sigma\%$

$$
\begin{aligned}
\sigma\% &= \frac{c_{max}-c(\infty)}{c(\infty)}\times 100\% = (c(t_p)-1)\\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}e^{-\xi\omega_n t_p}\sin(\omega_d t_p+\beta)\\
&= -\frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}e^{-\frac{\xi\omega_n\pi}{\omega_d}}\sin(\pi+\beta)\\
&= \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}\sin(\beta)\\
&= e^{-\frac{\xi\pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}\times 100\%
\end{aligned}
$$

- $\sigma\%$ 只与 ξ 有关, 两者成反比关系
- 工程上一般取 $\xi\in[0.4,0.8]$
- 最佳阻尼比 $\xi=0.707, \sigma\%=4.3\%$

调节时间 t_s

$$
\begin{aligned}
c(t) &= 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \sin(\omega_d t + \beta) \\
&\approx 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \\
e(t) &= c(\infty) - c(t) \\
&\approx \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t}
\end{aligned}
$$

- t_s 与 ω_n, ξ 有关: 通常取 $\xi\omega_n t_s = 3.5, t_s = \frac{3.5}{\xi\omega}$

调节时间 t_s

$$
\begin{aligned}
c(t) &= 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t}\sin(\omega_d t + \beta) \\
&\approx 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t} \\
e(t) &= c(\infty) - c(t) \\
&\approx \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t}
\end{aligned}
$$

- t_s 与 ω_n, ξ 有关: 通常取 $\xi\omega_n t_s = 3.5$, $t_s = \frac{3.5}{\xi\omega}$

二阶过阻尼系统阶跃响应指标

- $\sigma\% = 0$
- $\xi = 1$ 时，

$$t_s = \frac{4.75}{\omega_n}$$

- $\xi > 1, |p_1| \ll |p_2|$ 时，系统降阶，去掉极点 p_2，

$$t_s = \frac{3}{|p_1|}$$

二阶过阻尼系统阶跃响应指标

- $\sigma\% = 0$
- $\xi = 1$ 时，

$$t_s = \frac{4.75}{\omega_n}$$

- $\xi > 1, |p_1| \ll |p_2|$ 时，系统降阶，去掉极点 p_2，

$$t_s = \frac{3}{|p_1|}$$

二阶过阻尼系统阶跃响应指标

- $\sigma\% = 0$
- $\xi = 1$ 时，

$$t_s = \frac{4.75}{\omega_n}$$

- $\xi > 1, |p_1| \ll |p_2|$ 时，系统降阶，去掉极点 p_2 ，

$$t_s = \frac{3}{|p_1|}$$

二阶过阻尼系统阶跃响应指标

- $\sigma\% = 0$
- $\xi = 1$ 时，

$$t_s = \frac{4.75}{\omega_n}$$

- $\xi > 1, |p_1| \ll |p_2|$ 时，系统降阶，去掉极点 p_2，

$$t_s = \frac{3}{|p_1|}$$

Topic

欠阻尼单位斜坡响应

$$
\begin{aligned}
C(s) &= \frac{\omega_n^2}{s^2(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2)} \\
&= \frac{1}{s^2} - \frac{2\xi}{\omega_n s} + \frac{2\xi(s+\xi\omega_n)+\omega_n(2\xi^2-1)}{\omega_n(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2)} \\
c(t) &= t - \frac{2\xi}{\omega_n} + \frac{1}{\omega_n\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t}\sin(\omega_d t+2\beta) \\
e(t) &= \frac{2\xi}{\omega_n}\left[1-\frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega_n t}\sin(\omega_d t+2\beta)\right]
\end{aligned}
$$

临界阻尼单位斜坡响应

$$
\begin{aligned}
c(t) &= t - \frac{2}{\omega_n} + \frac{2}{\omega_n}(1 + \frac{1}{2}\omega_n t)e^{-\omega_n t} \\
e(t) &= \frac{2}{\omega_n}\left[1 - (1 + \frac{1}{2}\omega_n t)e^{-\omega_n t}\right]
\end{aligned}
$$

过阻尼单位斜坡响应

$$
\begin{aligned}
C(s) &= \frac{1}{s^2} - \frac{2\xi}{\omega_n s} + \frac{2\xi(s+\xi\omega_n) + \omega_n(2\xi^2-1)}{\omega_n(s-p_1)(s-p_2)} \\
p_1 &= -\omega_n\xi + \omega_n\sqrt{\xi^2-1} \\
p_2 &= -\omega_n\xi - \omega_n\sqrt{\xi^2-1} \\
c(t) &= t - \frac{2\xi}{\omega_n} + \frac{2\xi^2-1+2\xi\sqrt{\xi^2-1}}{2\omega_n\sqrt{\xi^2-1}} e^{p_1 t} \\
&\quad - \frac{2\xi^2-1-2\xi\sqrt{\xi^2-1}}{2\omega_n\sqrt{\xi^2-1}} e^{p_2 t}
\end{aligned}
$$

Topic

三阶系统

- 根的几种情况
  - 3 个负实根 p_1, p_2, p_3
  - 1 个负实根，一对共轭复根

$$-s_0, -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}, (0<\xi<1)$$

- 重点考虑有复根的情况.

三阶系统

- 根的几种情况
  - 3 个负实根 p_1, p_2, p_3
  - 1 个负实根, 一对共轭复根

$$-s_0, -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}, (0<\xi<1)$$

- 重点考虑有复根的情况.

三阶系统

- 根的几种情况
  - 3 个负实根 p_1, p_2, p_3
  - 1 个负实根, 一对共轭复根

$$-s_0, -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}, (0 < \xi < 1)$$

- 重点考虑有复根的情况.

三阶系统

- 根的几种情况
  - 3 个负实根 p_1, p_2, p_3
  - 1 个负实根, 一对共轭复根

$$-s_0, -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}, (0 < \xi < 1)$$

- 重点考虑有复根的情况.

三阶系统

- 根的几种情况
  - 3 个负实根 p_1, p_2, p_3
  - 1 个负实根, 一对共轭复根

$$-s_0, -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\xi^2}, (0<\xi<1)$$

- 重点考虑有复根的情况.

三阶系统 ($\Phi(s)$) 单位阶跃响应 ($C(s)$)

$$
\begin{aligned}
\Phi(s) &= \frac{s_0\omega_n^2}{(s+s_0)(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2)} \\
C(s) &= \frac{s_0\omega_n^2}{s(s+s_0)(s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n^2)} \\
c(t) &= 1-\frac{e^{-s_0 t}}{b\xi^2(b-2)+1}-\frac{e^{-\xi\omega_n t}}{b\xi^2(b-2)+1} \\
&\quad \left(b\xi^2(b-2)\cos\omega_d t+\frac{b\xi(\xi^2(b-2)+1)}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\omega_d t\right) \\
\omega_d &= \omega_n\sqrt{1-\xi^2} \\
b &= \frac{s_0}{\xi\omega_n}
\end{aligned}
$$

b 对 $c(t)$ 的影响

- 复根比实根离虚轴近得多

$$
\begin{aligned}
b &\gg 1 \\
c(t) &\approx 1 - e^{-\xi\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\omega_d t\right)
\end{aligned}
$$

  近似看作 2 阶欠阻尼系统.
- 实根比复根离虚轴近得多

$$
\begin{aligned}
b &\approx 0 \\
c(t) &\approx 1 - e^{-s_0 t}
\end{aligned}
$$

  近似看作 1 阶系统
- 实根与复根与虚轴距离同

$$
\begin{aligned}
b &\approx 1 \\
c(t) &\approx 1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{1-\xi^2}\left(1 + \xi\sin(\omega_d t - \beta)\right)
\end{aligned}
$$

b 对 $c(t)$ 的影响

- 复根比实根离虚轴近得多

$$
\begin{aligned}
b &\gg 1 \\
c(t) &\approx 1 - e^{-\xi\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\omega_d t\right)
\end{aligned}
$$

近似看作 2 阶欠阻尼系统.

- 实根比复根离虚轴近得多

$$
\begin{aligned}
b &\approx 0 \\
c(t) &\approx 1 - e^{-s_0 t}
\end{aligned}
$$

近似看作 1 阶系统

- 实根与复根与虚轴距离同

$$
\begin{aligned}
b &\approx 1 \\
c(t) &\approx 1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{1-\xi^2}\left(1 + \xi\sin(\omega_d t - \beta)\right)
\end{aligned}
$$

b 对 $c(t)$ 的影响

- 复根比实根离虚轴近得多

$$\begin{aligned} b &\gg 1 \\ c(t) &\approx 1 - e^{-\xi\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\omega_d t\right) \end{aligned}$$

  近似看作 2 阶欠阻尼系统.

- 实根比复根离虚轴近得多

$$\begin{aligned} b &\approx 0 \\ c(t) &\approx 1 - e^{-s_0 t} \end{aligned}$$

  近似看作 1 阶系统

- 实根与复根与虚轴距离同

$$\begin{aligned} b &\approx 1 \\ c(t) &\approx 1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{1-\xi^2}\left(1 + \xi\sin(\omega_d t - \beta)\right) \end{aligned}$$

b 对 $c(t)$ 的影响

- 复根比实根离虚轴近得多

$$\begin{aligned} b &\gg 1 \\ c(t) &\approx 1 - e^{-\xi\omega_n t}\left(\cos\omega_d t + \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\omega_d t\right) \end{aligned}$$

近似看作 2 阶欠阻尼系统.

- 实根比复根离虚轴近得多

$$\begin{aligned} b &\approx 0 \\ c(t) &\approx 1 - e^{-s_0 t} \end{aligned}$$

近似看作 1 阶系统

- 实根与复根与虚轴距离同

$$\begin{aligned} b &\approx 1 \\ c(t) &\approx 1 - \frac{e^{-\xi\omega_n t}}{1-\xi^2}\left(1 + \xi\sin(\omega_d t - \beta)\right) \end{aligned}$$

主导极点法

- 目的: 分析高阶系统的性能
- 内容: 系统有多个极点, 其中某些极点决定了整个系统的性能, 对系统起主导作用, 称这些极点为主导极点.
- 确定方法: 主导极点离虚轴距离为 a, 其它极点离虚轴距离 $\geq 5a$

主导极点法

- 目的: 分析高阶系统的性能
- 内容: 系统有多个极点, 其中某些极点决定了整个系统的性能, 对系统起主导作用, 称这些极点为主导极点.
- 确定方法: 主导极点离虚轴距离为 a, 其它极点离虚轴距离 $\geq 5a$

主导极点法

- 目的: 分析高阶系统的性能
- 内容: 系统有多个极点, 其中某些极点决定了整个系统的性能, 对系统起主导作用, 称这些极点为主导极点.
- 确定方法: 主导极点离虚轴距离为 a, 其它极点离虚轴距离 $\geq 5a$

主导极点法

- 目的: 分析高阶系统的性能
- 内容: 系统有多个极点, 其中某些极点决定了整个系统的性能, 对系统起主导作用, 称这些极点为主导极点.
- 确定方法: 主导极点离虚轴距离为 a, 其它极点离虚轴距离 $\geq 5a$