第五章：控制系统的性能

2022年10月14日

本章的基本要求：

- 掌握二阶系统时域性能指标的定义与计算
- 掌握极点位置与性能指标之间的对应关系
- 掌握稳态误差的计算方法

能力要求：

对二阶系统性能了如指掌，调控自如

内容安排

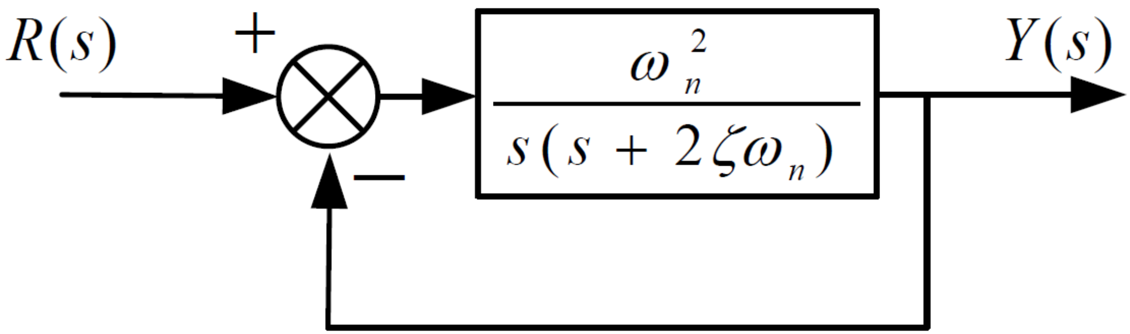
快

准

二阶系统的时域响应性能分析

- 二阶系统的阶跃响应
- 欠阻尼二阶系统的阶跃响应性能指标计算
- 欠阻尼二阶系统性能指标的参数调节
- 欠阻尼二阶系统极点位置与参数的关系

标准二阶系统



$$\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

ζ称为阻尼系数（阻尼比），ω_n为系统固有频率（自然振荡频率）。

例5.3：求解下列二阶系统的阻尼系数。

$0 < \zeta < 1$，欠阻尼系统，

$$\frac{1}{s^2+s+1} \qquad \zeta = 0.5$$

$\zeta = 1$，临界阻尼系统，

$$\frac{1}{s^2+2s+1} \qquad \zeta = 1$$

$\zeta > 1$，过阻尼系统，

$$\frac{1}{s^2+2.5s+1} \qquad \zeta = 1.25$$

$\zeta = 0$，零阻尼系统

$$\Phi(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + \omega_n^2}$$

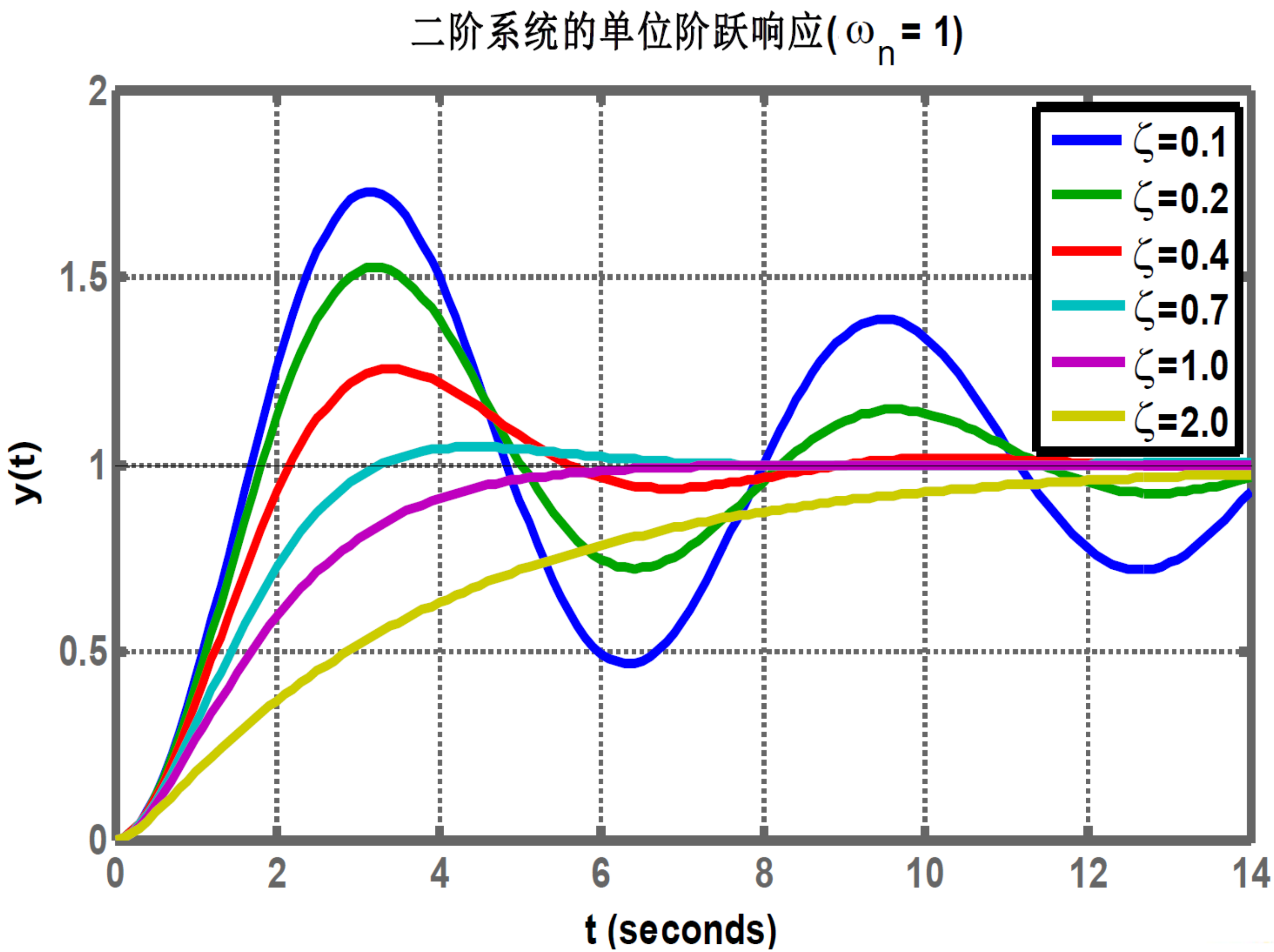
$\zeta < 0$，负阻尼系统

$$\frac{1}{s^2 - 2s + 1} \qquad \zeta = -1$$

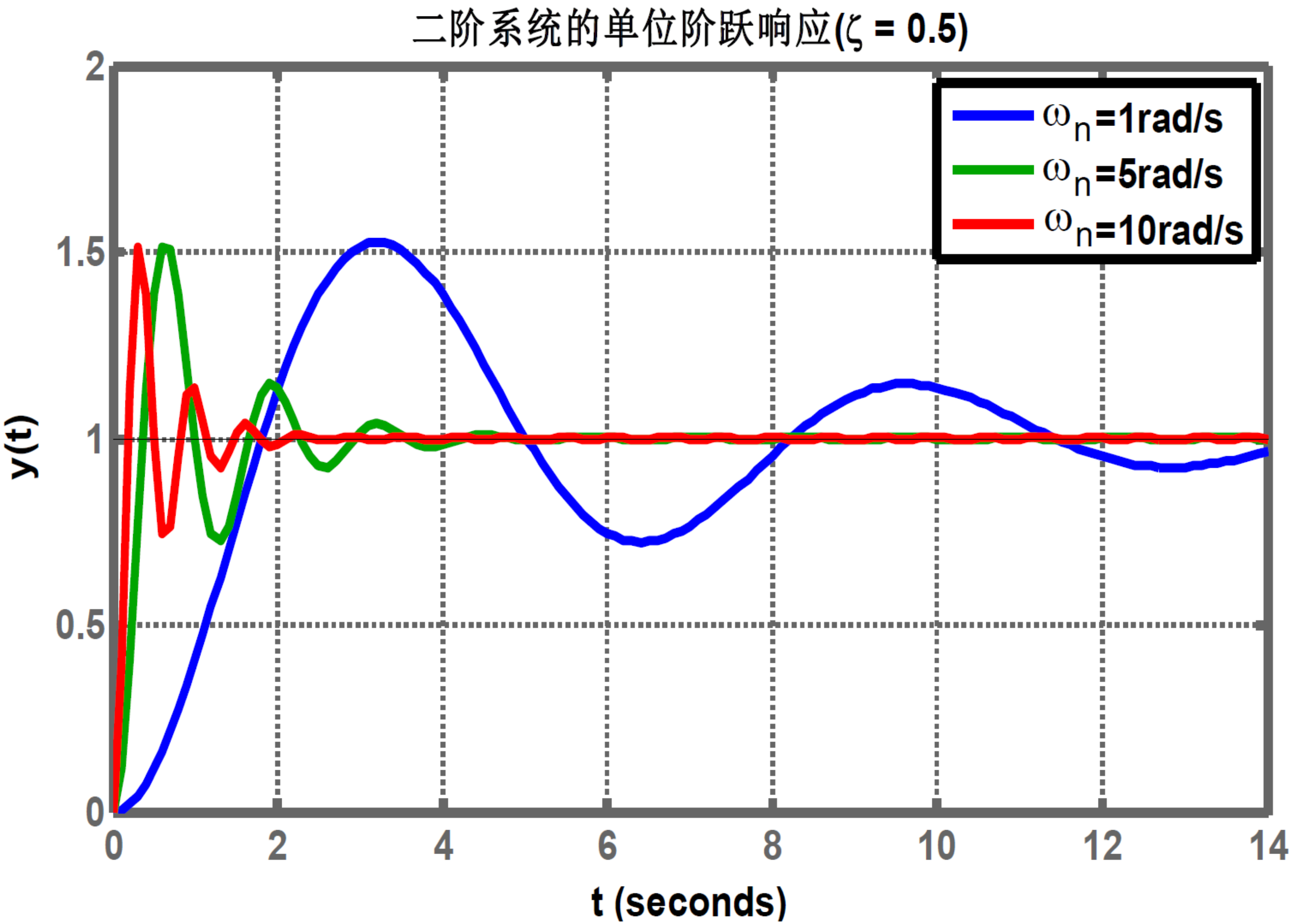
根据二阶系统的特征根的分布特点，可以把时域响应分为五种情况。

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0,\quad s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}$$

$0 < \zeta < 1$	一对共轭复根	欠阻尼
$\zeta = 1$	二重负实根	临界阻尼
$\zeta > 1$	两个负实根	过阻尼
$\zeta = 0$	一对共轭虚根	零阻尼
$\zeta < 0$	具有正实部	负阻尼



二阶系统的单位阶跃响应(ωn= 1)
ζ=0.1
ζ=0.2
ζ=0.4
ζ=0.7
ζ=1.0
ζ=2.0
y(t)
t (seconds)
0
0.5
1
1.5
2
0
2
4
6
8
10
12
14



二阶系统的单位阶跃响应(ζ = 0.5)
ωn=1rad/s
ωn=5rad/s
ωn=10rad/s
y(t)
t (seconds)
0
0.5
1
1.5
2
0
2
4
6
8
10
12
14

1. 欠阻尼　$0<\zeta<1$

二阶系统的极点是一对共轭复根。

$$s_{1,2}=-\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}=-\sigma \pm j\omega_d$$

$\sigma=\zeta\omega_n$　　--衰减系数

$\omega_d=\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$　　--阻尼频率

系统的单位阶跃响应为:

$$Y(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}\cdot\frac{1}{s}$$

1. 欠阻尼 $0<\zeta<1$

x(t)	$X(s)=\int_0^\infty x(t)e^{-st}dt$
$e^{-at}\sin\omega t$	$\dfrac{\omega}{(s+a)^2+\omega^2}$
$e^{-at}\cos\omega t$	$\dfrac{s+a}{(s+a)^2+\omega^2}$

$$Y(s)=\frac{1}{s}-\frac{s+2\zeta\omega_n}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

$$Y(s)=\frac{1}{s}-\frac{(s+\zeta\omega_n)+\dfrac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sqrt{1-\zeta^2}\,\omega_n}{(s+\zeta\omega_n)^2+(\sqrt{1-\zeta^2}\,\omega_n)^2}$$

单位阶跃的时域响应函数：

$$y(t)=1-e^{-\zeta\omega_n t}\left[\cos(\sqrt{1-\zeta^2}\,\omega_n t)+\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin(\sqrt{1-\zeta^2}\,\omega_n t)\right]$$

1. 欠阻尼 $0<\zeta<1$

单位阶跃的时域响应函数：

$$y(t)=1-e^{-\zeta\omega_n t}\left[\cos(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t)+\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin(\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t)\right]$$

$$\omega_{\mathrm{d}}=\omega_{\mathrm{n}}\sqrt{1-\zeta^2}$$ --阻尼频率

$$\beta=\arccos\zeta=\arctan\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$ --阻尼角

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

1. 欠阻尼 $0<\zeta<1$

$$1(t) \longrightarrow \boxed{\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}} \longrightarrow y(t)$$

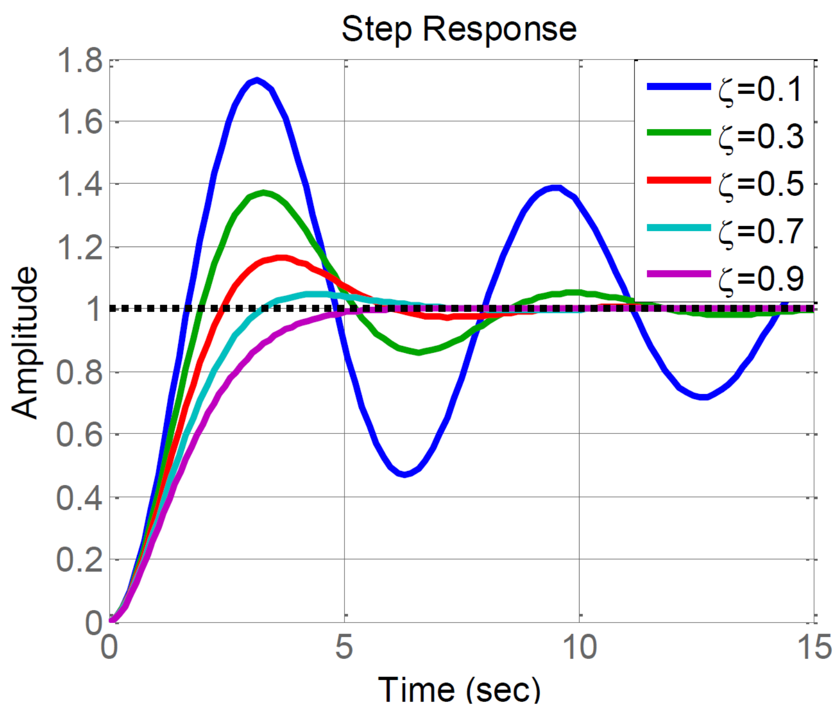
$$y(t)=1-\frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin(\omega_d t+\beta)$$

特点：(1) 以 ω_{d} 为角频率衰减振荡；

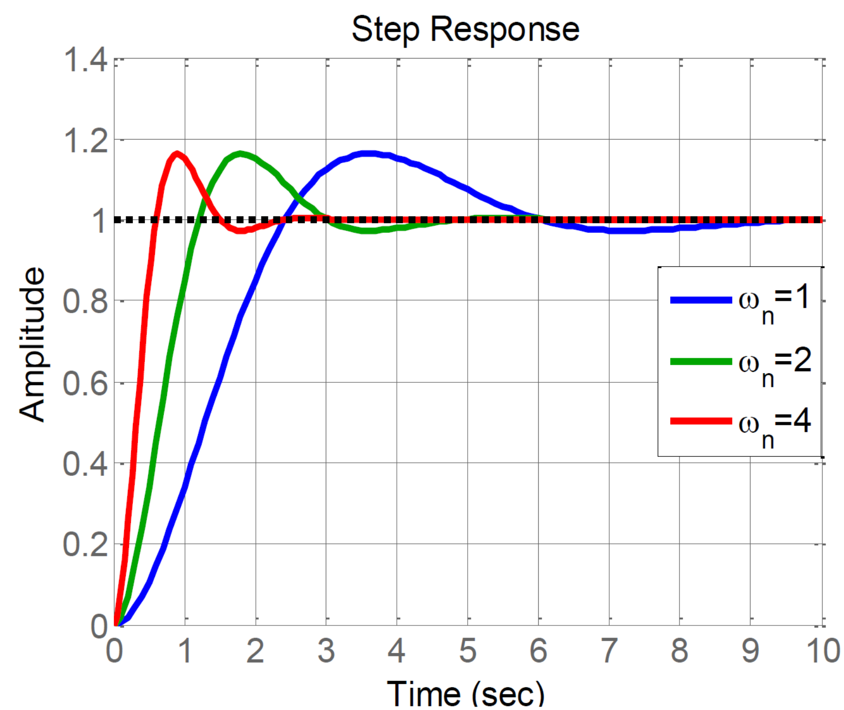
(2) ζ 越小，振荡幅度越大。

1. 欠阻尼 $0 < \zeta < 1$

$\omega_n = 1, \quad \zeta$ **变化**



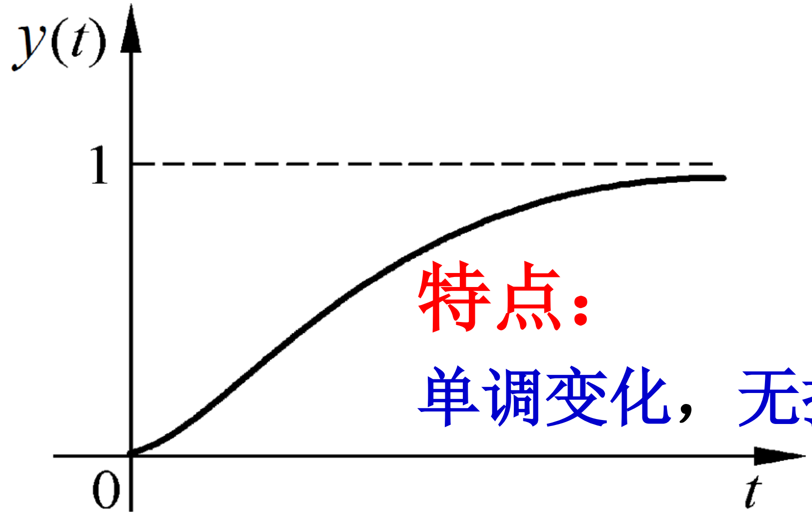
$\zeta = 0.5, \quad \omega_n$ **变化**



2. 临界阻尼 $\zeta=1$

二阶系统的极点是二重负实根。

系统的单位阶跃响应为：



$$Y(s)=\frac{\omega_n^2}{\left(s+\omega_n\right)^2}\cdot\frac{1}{s}$$

$$=\frac{1}{s}-\frac{\omega_n}{\left(s+\omega_n\right)^2}-\frac{1}{s+\omega_n}$$

$$\xrightarrow{L^{-1}} y(t)=1-(1+\omega_n t)e^{-\omega_n t}$$

系统的表现和性能与一阶系统类似

3. 过阻尼 $\zeta > 1$

二阶系统的极点是两个负实根。

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \cdot \omega_n s + \omega_n^2}$$

$$= \frac{1/(T_1T_2)}{(s+1/T_1)(s+1/T_2)}$$

$$\begin{cases} -\dfrac{1}{T_1} = -\zeta\omega_n + \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1} \\ -\dfrac{1}{T_2} = -\zeta\omega_n - \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1} \end{cases}$$

系统的单位阶跃响应为:

$$Y(s) = \frac{1/(T_1T_2)}{(s+1/T_1)(s+1/T_2)} \cdot \frac{1}{s}$$

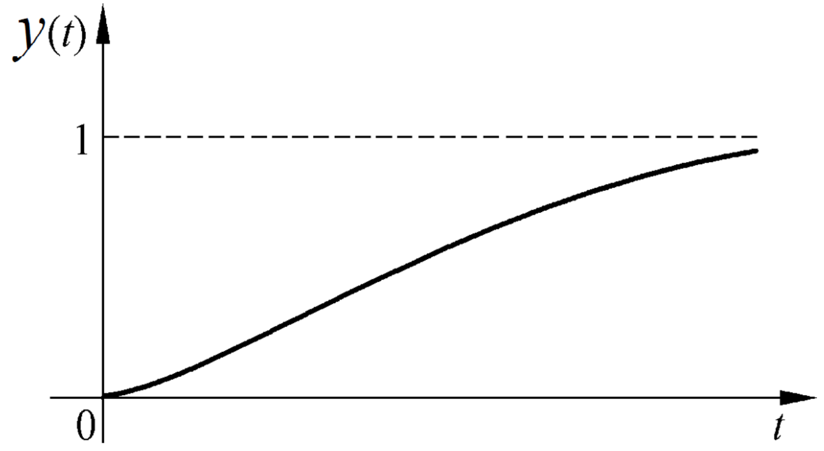
3. 过阻尼　$\zeta > 1$

$$Y(s) = \frac{1/(T_1 T_2)}{(s+1/T_1)(s+1/T_2)} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\Big\Downarrow L^{-1}$$

$$y(t) = L^{-1}[Y(s)] = 1 + \frac{1}{T_2/T_1 - 1} e^{-t/T_1} + \frac{1}{T_1/T_2 - 1} e^{-t/T_2}$$

系统的表现和性能与一阶系统类似



过渡过程长短取决于较慢的衰减，即离虚轴较近的极点（较大的时间常数），没有振荡和超调

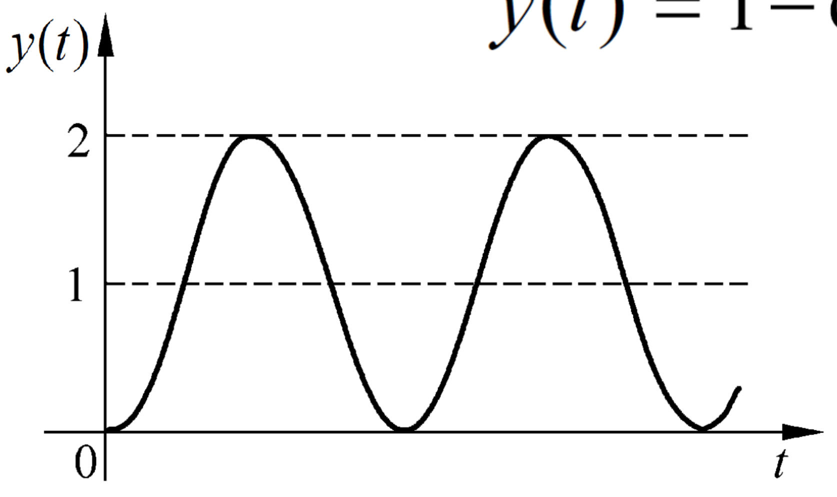
4. 零阻尼 $\zeta = 0$

二阶系统的极点是一对共轭虚根。

$$\Phi(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + \omega_n^2} \Rightarrow Y(s) = \Phi(s)R(s) = \frac{1}{s} - \frac{s}{s^2 + \omega_n^2}$$

单位阶跃的时域响应函数:

$$y(t) = 1 - \cos(\omega_n t)$$



特点：

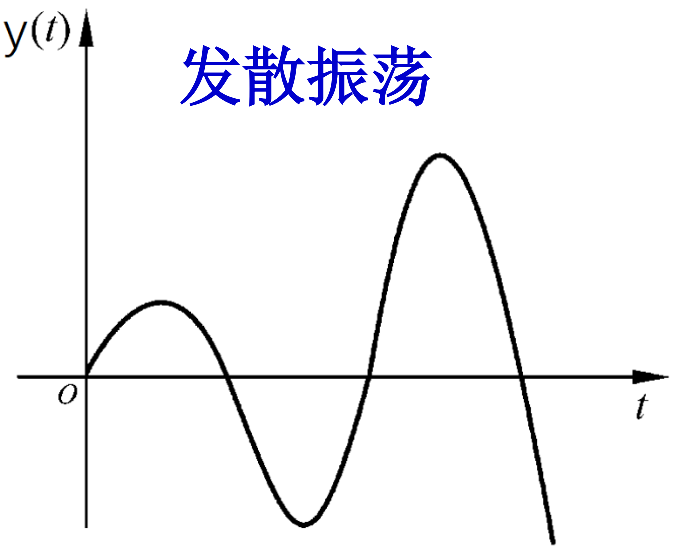
无阻尼，等幅振荡

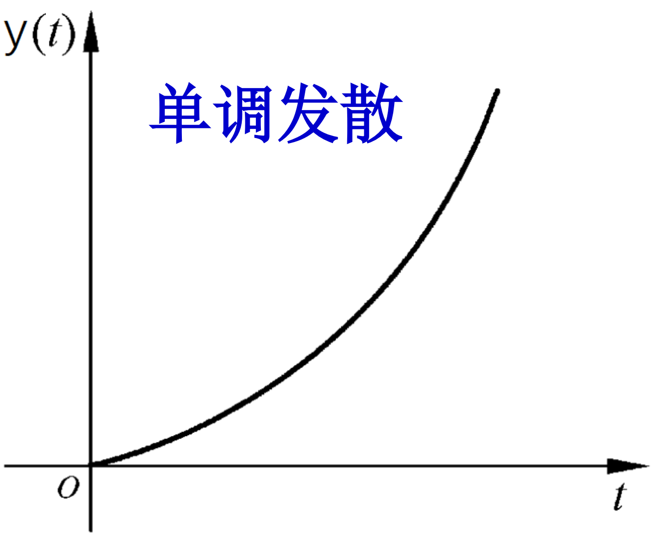
5. 负阻尼 $\zeta < 0$

二阶系统的极点具有正实部。

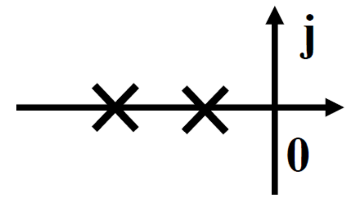
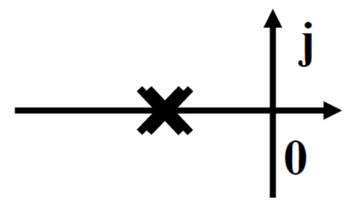
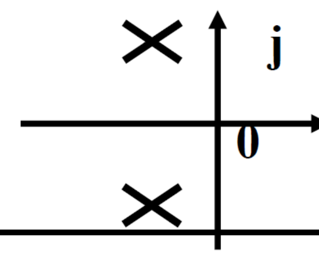
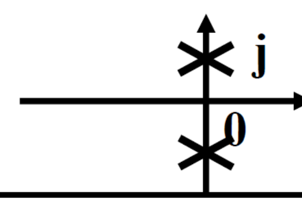
响应表达式的指数项变为正指数，随着时间$t \to \infty$，其输出$y(t) \to \infty$，系统不稳定

其响应曲线有两种形式：

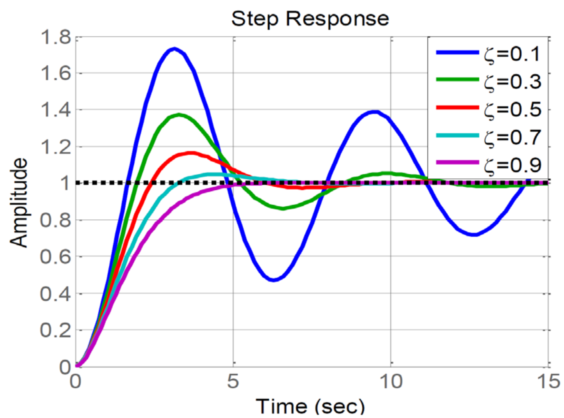


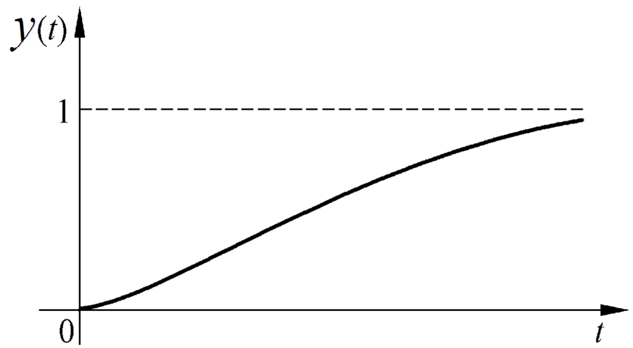


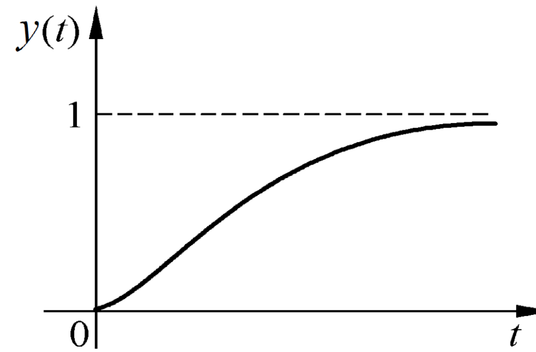
二阶系统的阻尼系数与极点位置的关系

$\zeta > 1$	$S_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1}$	
$\zeta = 1$	$S_{1,2} = -\zeta\omega_n$	
$0 < \zeta < 1$	$S_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$	
$\zeta = 0$	$S_{1,2} = \pm j\omega_n$	

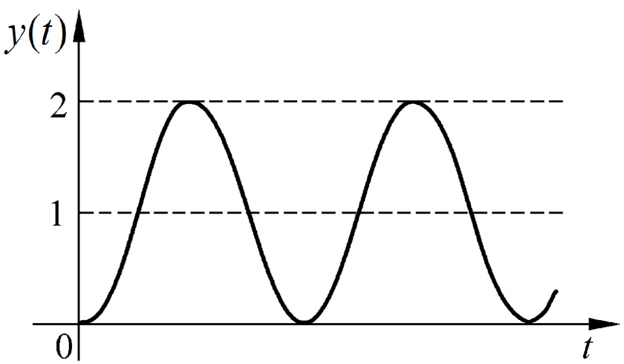
欠阻尼 $0<\zeta<1$　　过阻尼 $\zeta>1$　　临界阻尼 $\zeta=1$

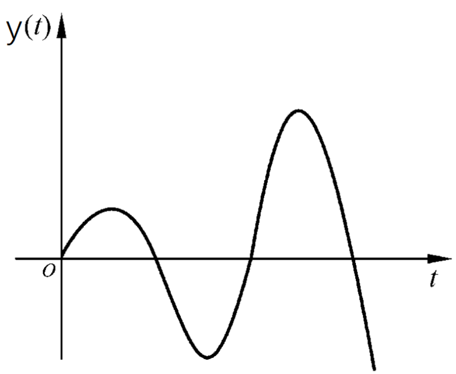


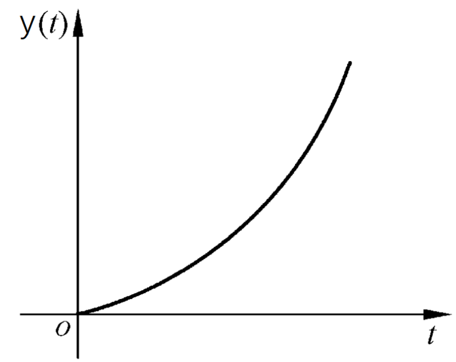




零阻尼 $\zeta=0$　　负阻尼 $\zeta<0$





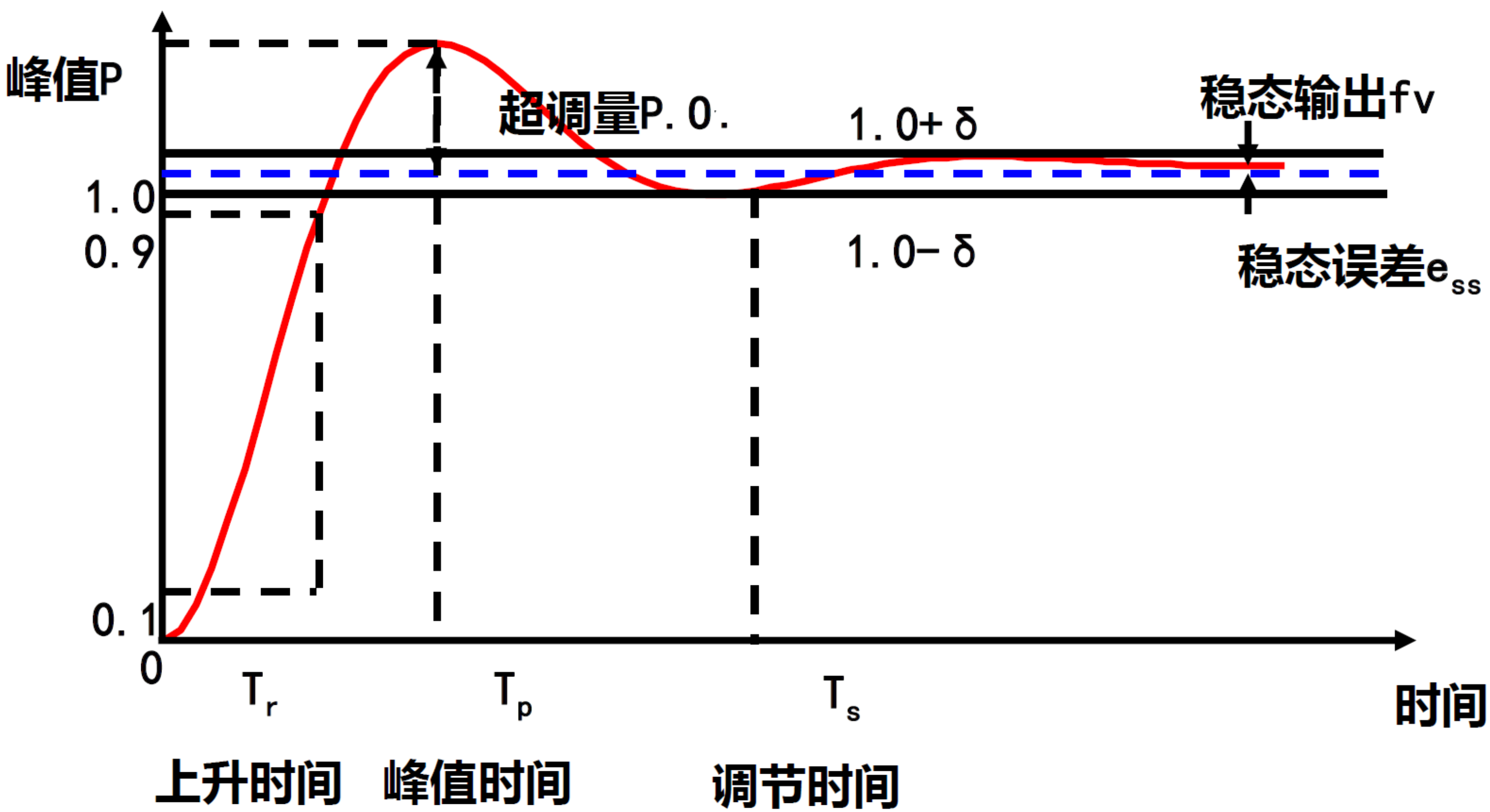


二阶系统的单位阶跃响应

二阶系统的时域响应性能分析

- 二阶系统的阶跃响应
- **欠阻尼二阶系统的阶跃响应性能指标计算**
- 欠阻尼二阶系统性能指标的参数调节
- 欠阻尼二阶系统极点位置与参数的关系

欠阻尼二阶系统的阶跃响应性能指标



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

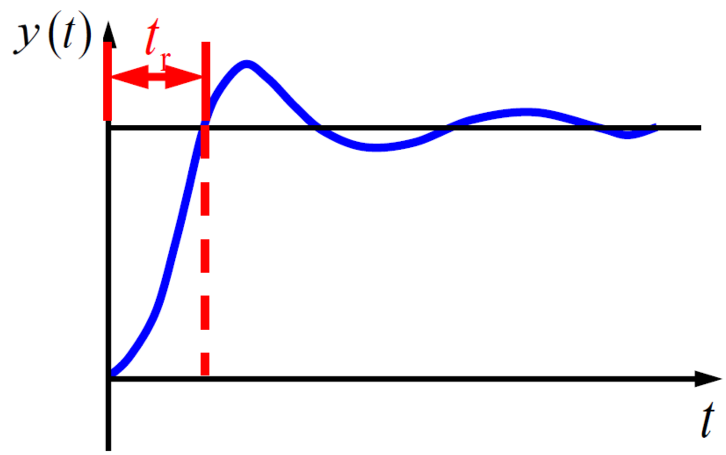
单位阶跃响应的稳态输出：

$$y_f = \lim_{t\to\infty} y(t) = 1$$

零稳态误差

(1) 求上升时间 t_r

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



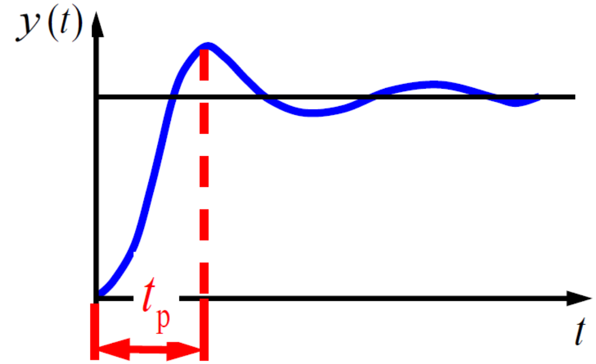
到达稳态值条件

$$\omega_d t_r + \beta = n\pi$$

首次到达，取$n = 1$，有：

$$\boxed{t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} = \frac{\pi - \beta}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

(2) 求峰值时间 t_p



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

峰值点为极值点，令 $\dfrac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t}=0$，得

$$\frac{\zeta\omega_n e^{-\zeta\omega_n t_p}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\left(\omega_d t_p+\beta\right)-\frac{\omega_d e^{-\zeta\omega_n t_p}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\cos\left(\omega_d t_p+\beta\right)=0$$

于是:

$$\tan\left(\omega_d t_p+\beta\right)=\frac{\omega_d}{\zeta\omega_n}=\tan\beta$$

取得峰值时的条件:

$$\omega_d t_p=n\pi$$

取 $n=1$，有:

$$\boxed{t_p=\frac{\pi}{\omega_d}=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

(3) 求超调量 P. O.

$$y(t)=1-\frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin(\omega_d t+\beta) \qquad t_p=\frac{\pi}{\omega_d}=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

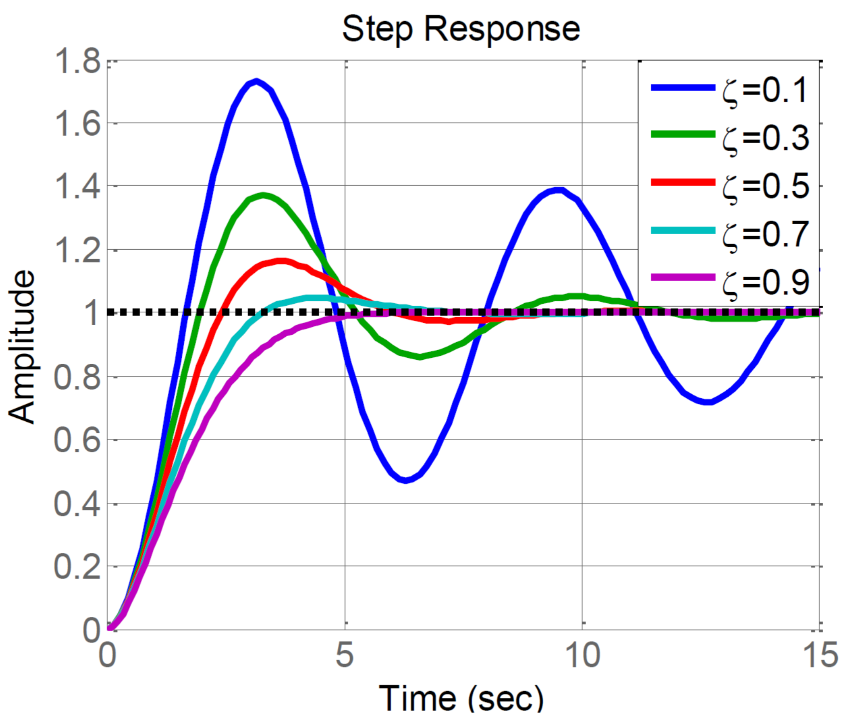
$$\boxed{y(t_p)}=1-\frac{e^{-\zeta\omega_n\left(\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}\right)}}{\sqrt{1-\zeta^2}}\sin\left(\pi+\arctan\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}\right)$$

$$=1+e^{-\zeta\omega_n\left(\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}\right)} \quad \boxed{=1+e^{-\frac{\zeta\pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}}}$$

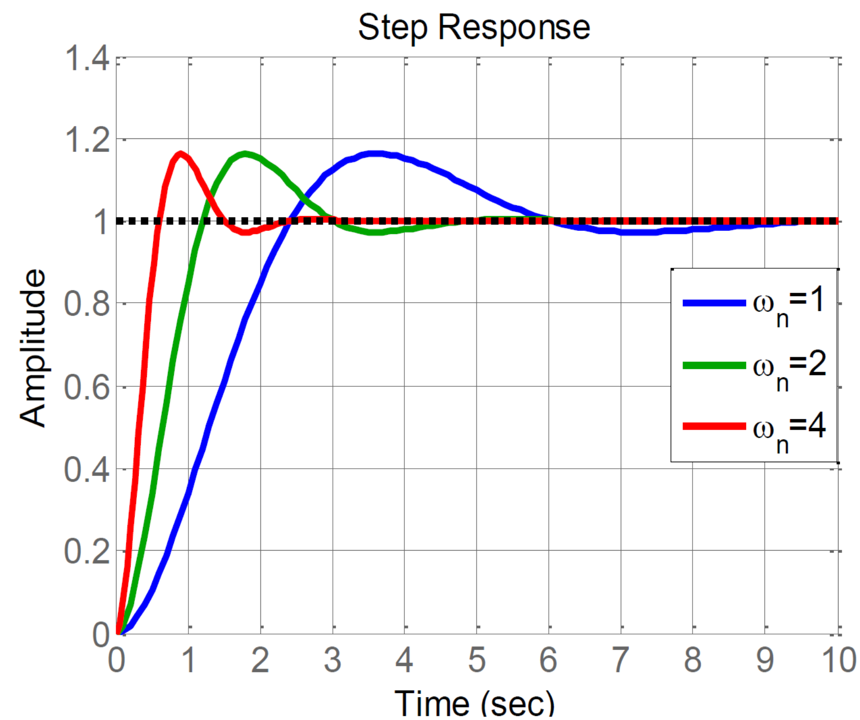
$$P.\ O.=\frac{y(t_p)-y(\infty)}{y(\infty)}\cdot 100\%=e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}\cdot 100\%$$

超调量由阻尼系数唯一决定

$\omega_n = 1$

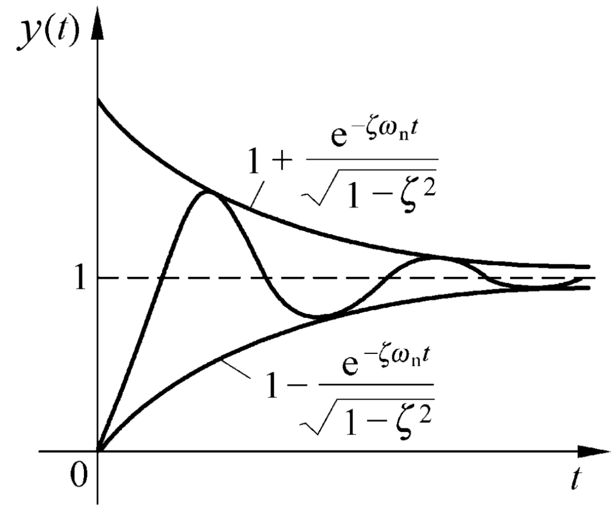


$\zeta = 0.5$



(4) 求调节时间 t_s

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



进入 $\pm\delta$ 的误差范围，

解 $\dfrac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}}=\delta$ 得 $t_s=\dfrac{-\ln\delta-\ln\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta\omega_n}$

当 ζ 较小时，有 $\boxed{t_s\approx\dfrac{-\ln\delta}{\zeta\omega_n}}$

（5%）准则 $\boxed{t_s\approx\dfrac{3}{\zeta\omega_n}=3T,\quad \delta=5\%}$

（2%）准则 $\boxed{t_s\approx\dfrac{4}{\zeta\omega_n}=4T,\quad \delta=2\%}$

$T=\dfrac{1}{\zeta\omega_n}$ 称为广义时间常数，衰减系数的倒数

二阶系统的时域响应性能分析

- 二阶系统的阶跃响应
- 欠阻尼二阶系统的阶跃响应性能指标计算
- **欠阻尼二阶系统性能指标的参数调节**
- 欠阻尼二阶系统极点位置与参数的关系

(1) 上升时间 t_r

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} = \frac{\pi - \beta}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}}$$

固定ω_n，则ζ越小，t_r越小。正相关。

固定ζ，则ω_n越小， t_r越大。负相关。

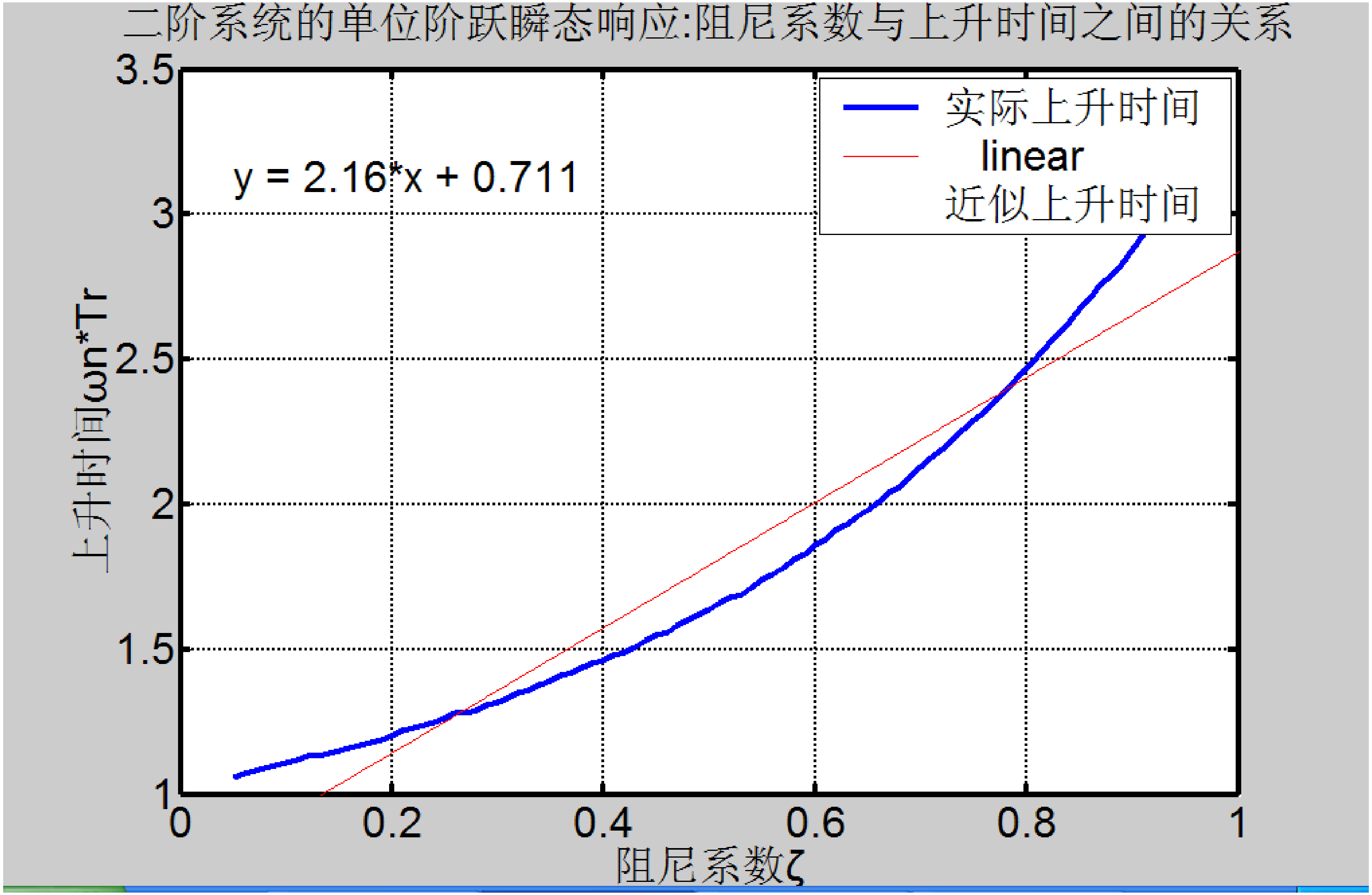
(2) 峰值时间 t_p

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

固定ω_n，则ζ越小，t_p越小。正相关。

固定ζ，则ω_n越小， t_p越大。负相关。

峰值时间t_p与上升时间t_r表现相同。



二阶系统的单位阶跃瞬态响应:阻尼系数与上升时间之间的关系
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
y = 2.16*x + 0.711
实际上升时间
linear
近似上升时间
上升时间ωn*Tr
阻尼系数ζ

(3) 调节时间 t_s

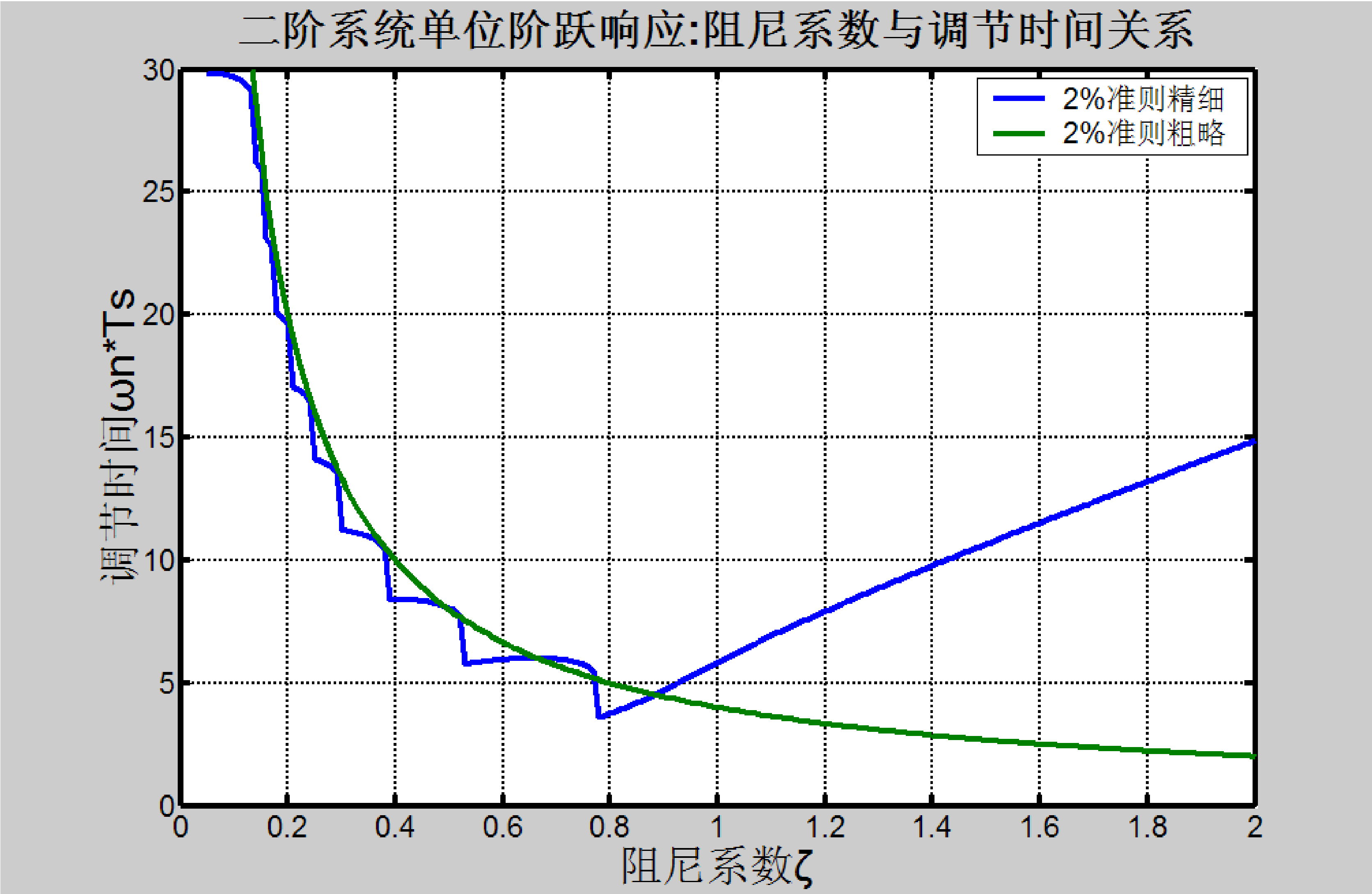
$$\boxed{t_s \approx \frac{3}{\zeta\omega_n} = 3T, \quad \delta = 5\%}$$

（5%）准则

$$\boxed{t_s \approx \frac{4}{\zeta\omega_n} = 4T, \quad \delta = 2\%}$$

（2%）准则

调节时间t_s近似与复合参数 $\sigma=\zeta\omega_n$（衰减系数）直接负相关，与ζ和ω_n负相关。



二阶系统单位阶跃响应:阻尼系数与调节时间关系
2%准则精细
2%准则粗略
调节时间ωn*Ts
阻尼系数ζ
0
5
10
15
20
25
30
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

当ω_n一定时，变化ζ求t_s的极小值，可得:

当$\zeta=0.707$（$\beta=\frac{\pi}{2}$）左右时，系统的单位阶跃响应的调节时间t_s最短，即响应最快。

当$\zeta<0.707$时，ζ愈小，则t_s愈长；

当$\zeta>0.707$时，ζ愈大，则t_s愈长。

当ζ一定时，系统固有频率ω_n越大，则调节时间t_s越短，系统响应越快。

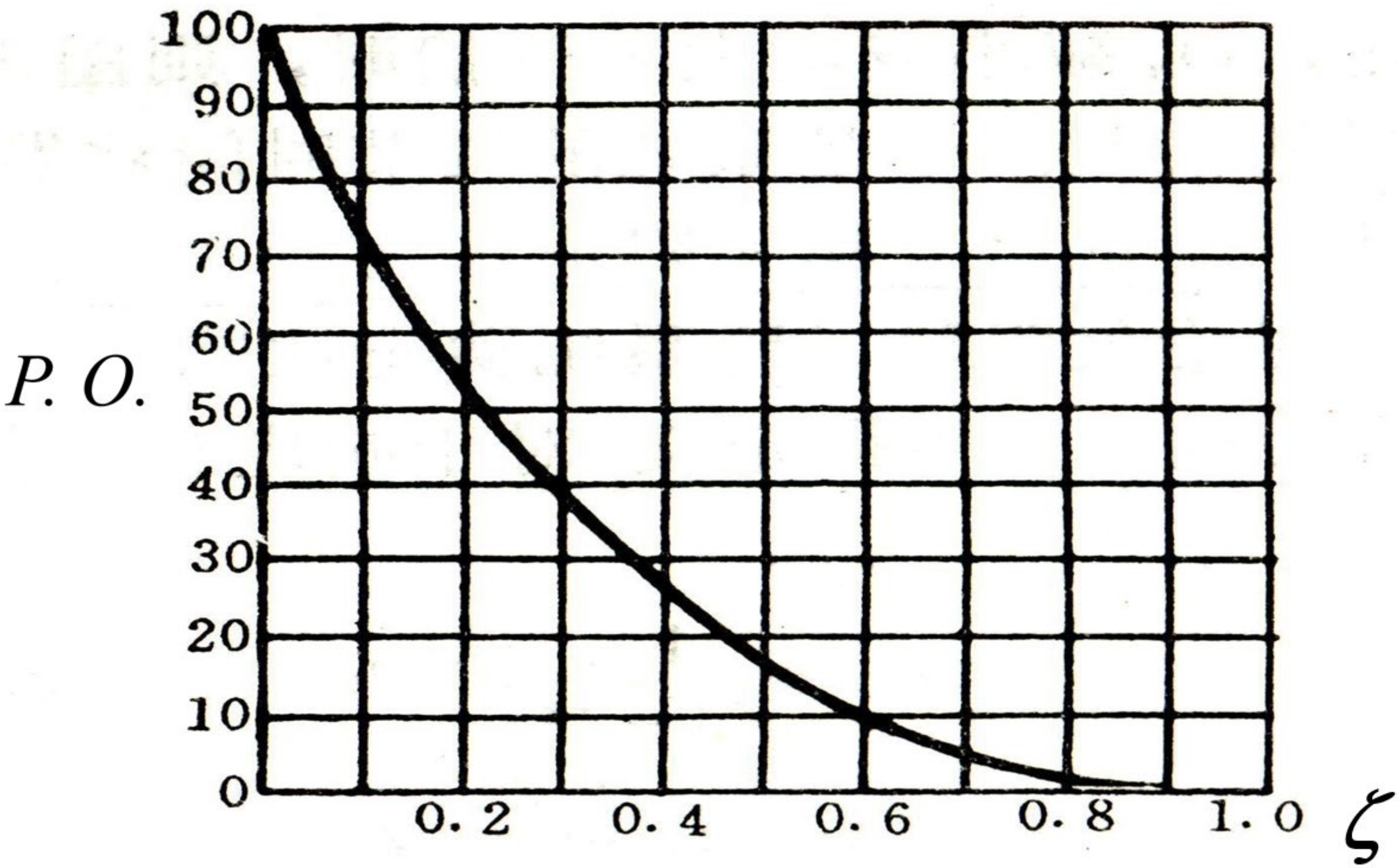
(4) 超调量 P. O.

$$P.O.=e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}\cdot 100\%$$

超调量只与 ζ 负相关。这提供了参数设计的一个突破口：根据用户要求首先确定 ζ 的容许值，再去考虑其他参数。

要在快速性和平稳性中间取得平衡，通常将 ζ 取值介于 $\mathbf{0.4-0.8}$ 之间，超调量将处在 $\mathbf{2.5\%-5\%}$ 之间。计算的关键是极点的实部虚部之比。

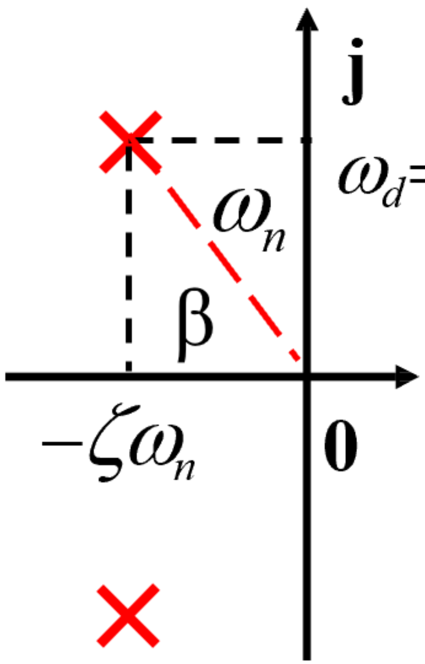
阻尼系数	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
%超调量	37.2	25.4	16.3	9.5	4.6	1.5	0.2



阻尼系数ζ	超调量	根实部虚部比例
0.707	<5%	1:1
0.6	<10%	3:4
0.45	≈20%	1:2
0.32	<35%	1:3

二阶系统的时域响应性能分析

- 二阶系统的阶跃响应
- 欠阻尼二阶系统的阶跃响应性能指标计算
- 欠阻尼二阶系统性能指标的参数调节
- **欠阻尼二阶系统极点位置与参数的关系**



$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$$

$$\Phi(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$$

$$\beta = \arccos\zeta = \arctan\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$

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

1) 等阻尼线 (β 线、P. O. 线)

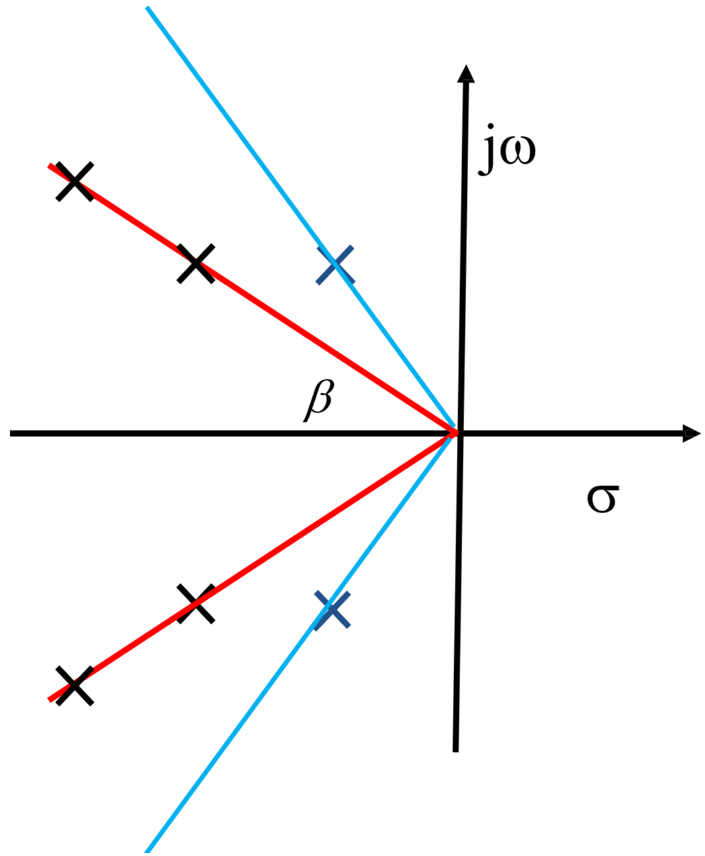
$$P.O. = e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot 100\%$$

$$\beta = \arccos\zeta = \arctan\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$

哪组极点超调量较大?

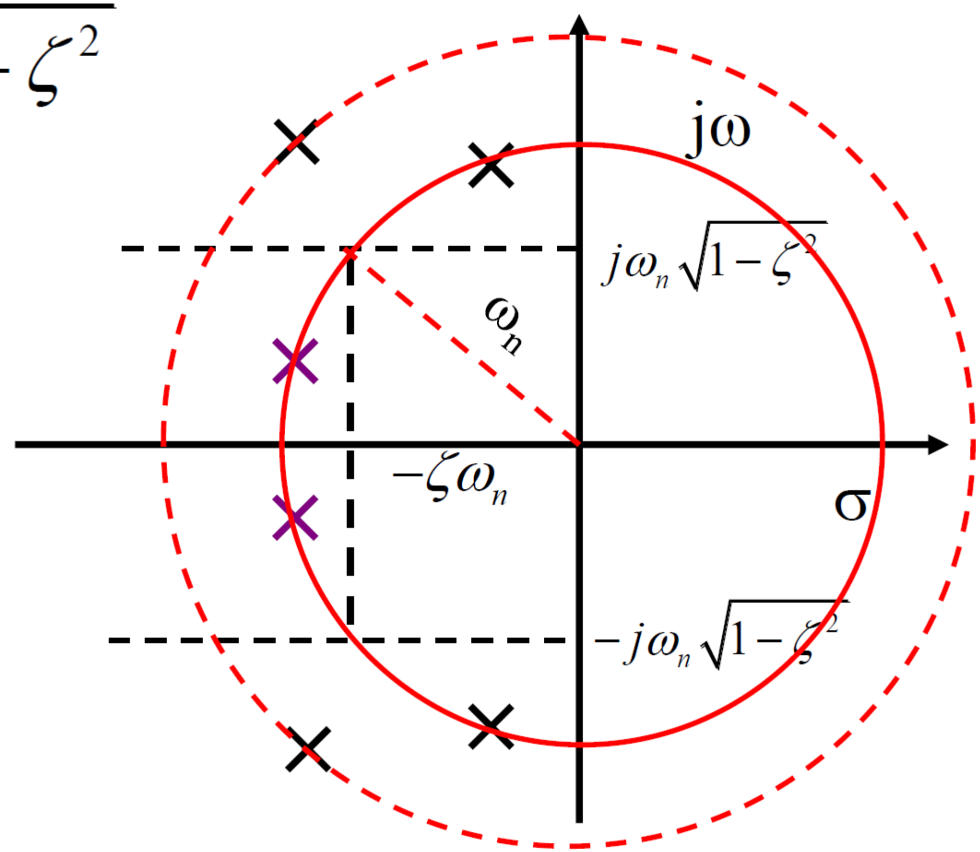
只与阻尼系数有关!

计算：实部虚部之比。



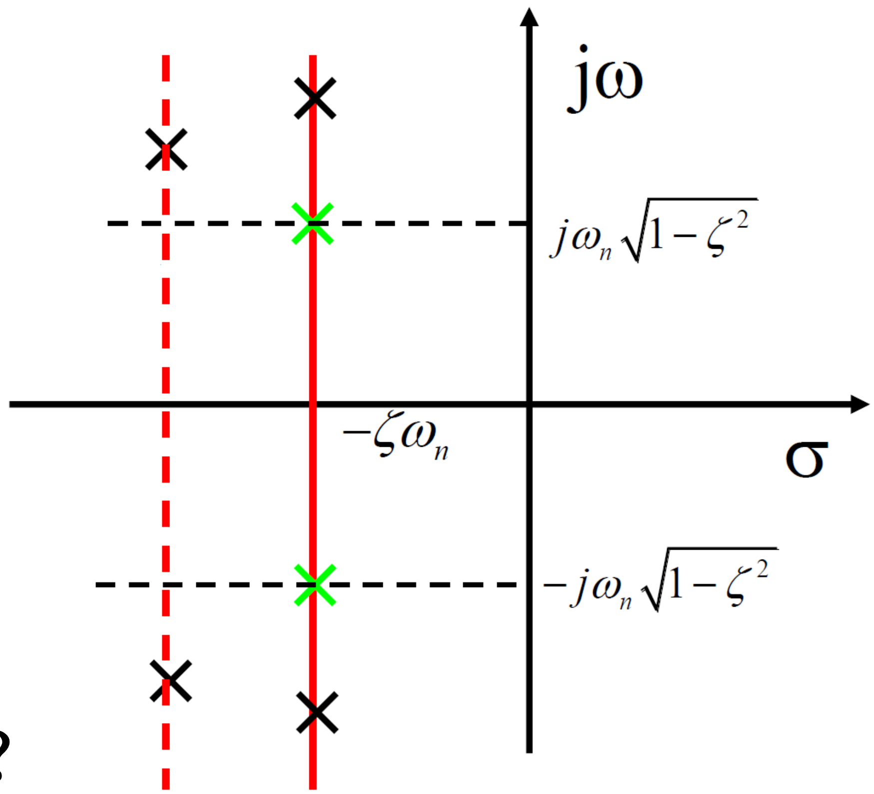
2) 等ω_n线

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$



3) 等t_s线

$$T_s = \frac{4}{\zeta\omega_n}$$

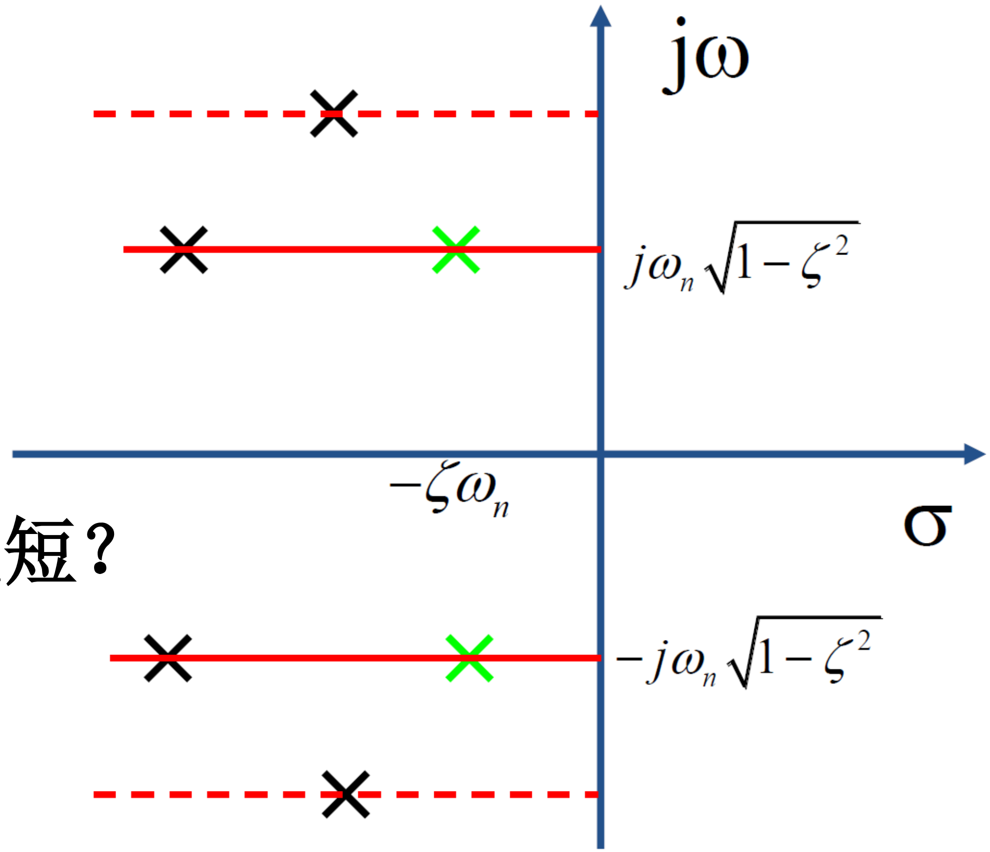


哪组极点过渡过程较短？

只与实部有关！

4) 等t_p线

$$T_p = \frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$



哪组极点峰值时间较短？

只与虚部有关！

$$1(t) \longrightarrow \boxed{\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}} \longrightarrow y(t)$$

$$(\zeta,\omega_n)$$

极点位置

性能要求

$$P.O.=e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}\cdot 100\%$$

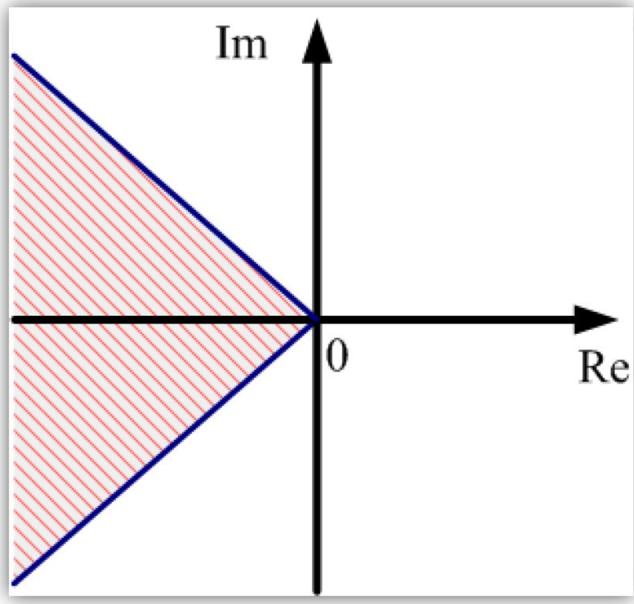
$$T_s\approx\frac{4}{\zeta\omega_n}(2\%)$$

$$T_p=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

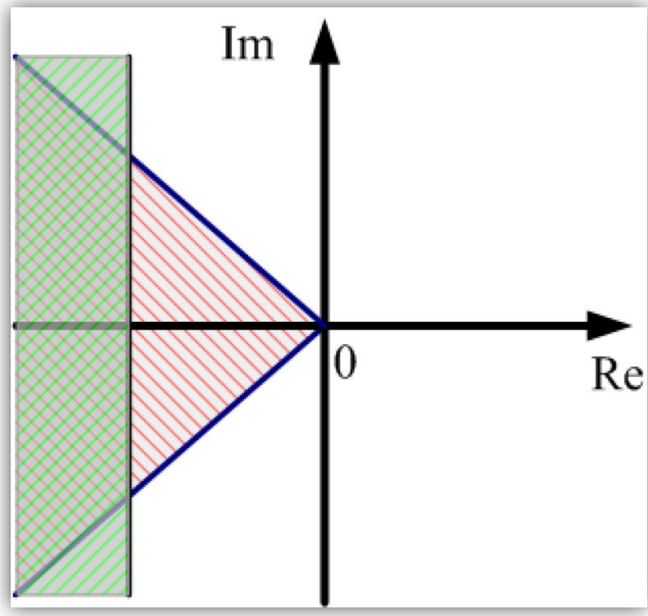
基本技能！

$$\left.\begin{array}{l} P.O. \\ T_s \end{array}\right\} \Rightarrow (\zeta, \omega_n)$$

满足设计要求的极点可行域

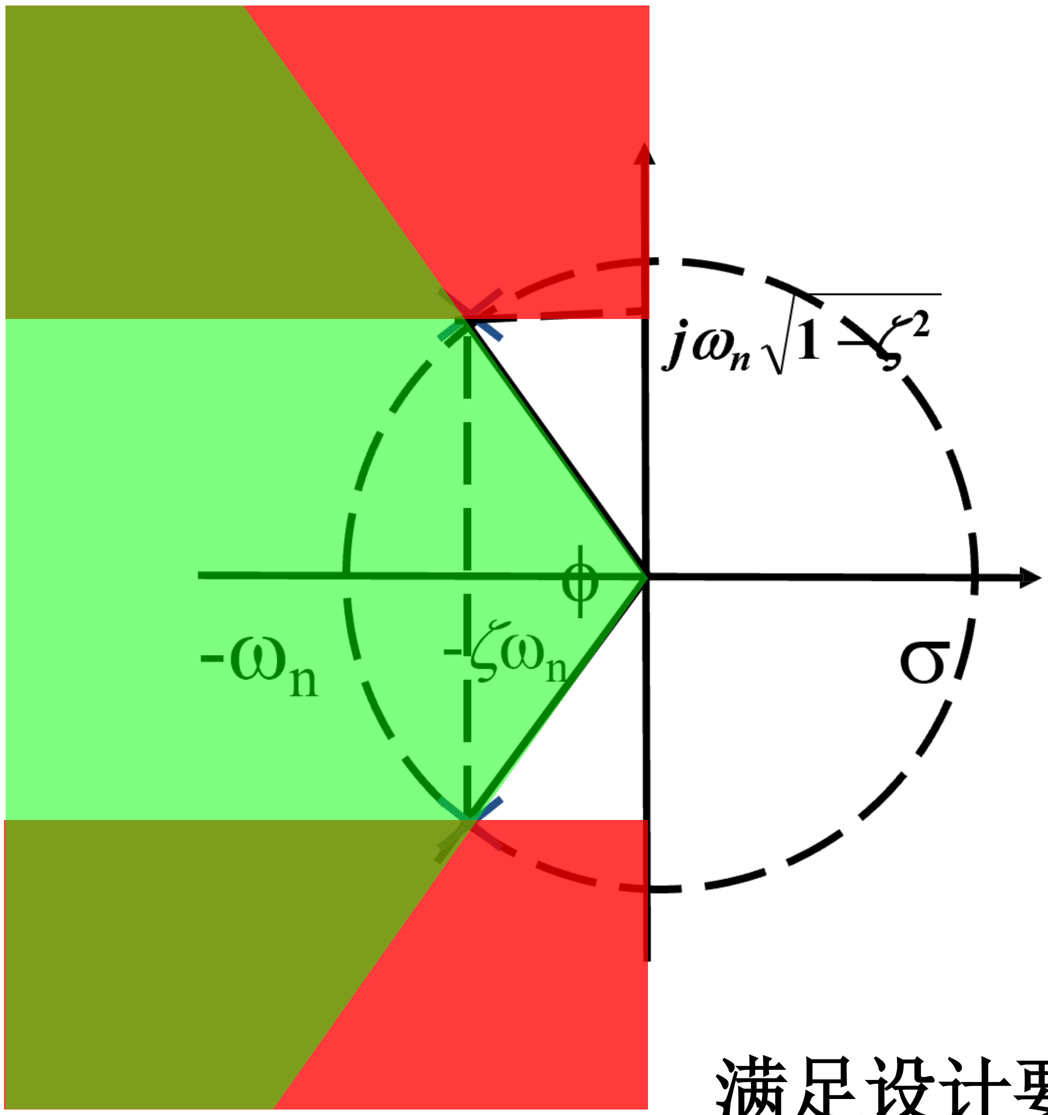


P.O. ≤



P.O. ≤

$T_s \le$



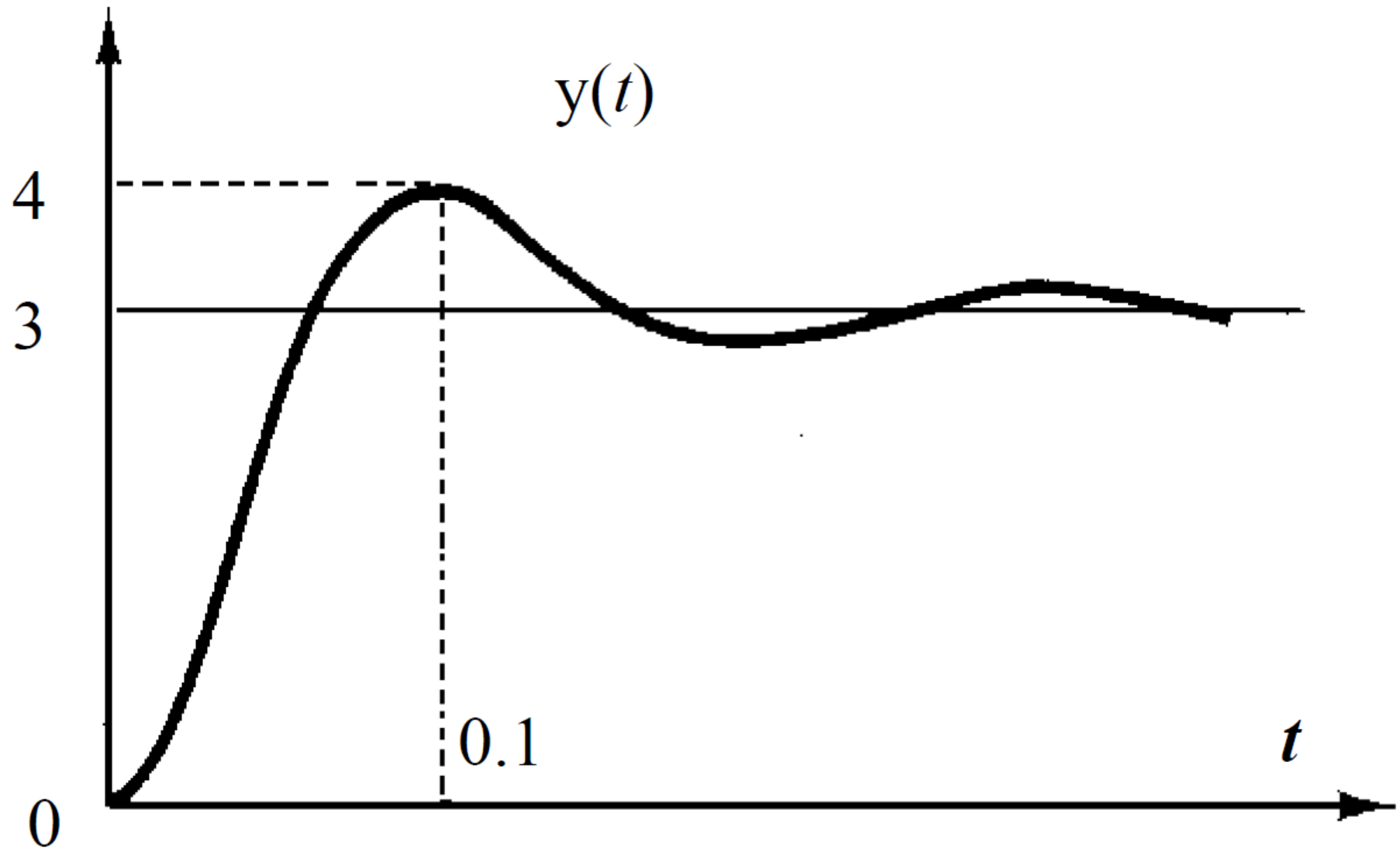
$$(P.O.\leq,\ T_p\leq)$$

$$(\zeta,\omega_n)$$

满足设计要求的极点可行域

例5.4：已知二阶系统的极点位于：$s_{1,2}=-1\pm 2j$，试确定系统单位阶跃响应的调节时间（按2%准则），超调量和峰值时间。

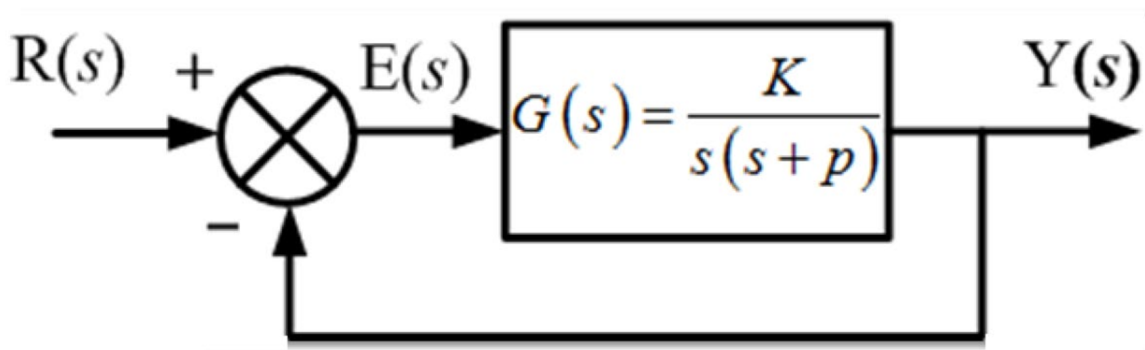
例5.5：二阶欠阻尼系统的单位阶跃响应如图所示，试确定其传递函数。

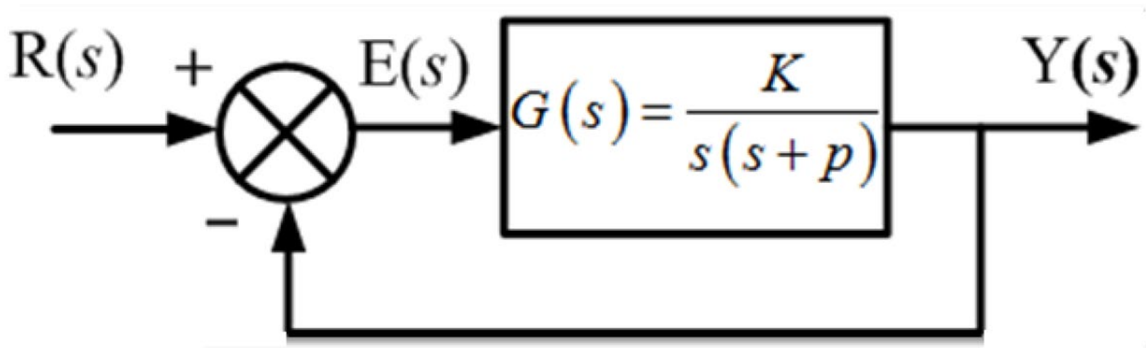


解：

例5.6：参数设计题。

设计增益参数K和参数p，使得系统满足时域性能设计要求：阶跃响应应保持超调量不超过5%的条件下，使瞬态响应尽可能地快速，按2%准则的调节时间不大于4s。





解：

小结

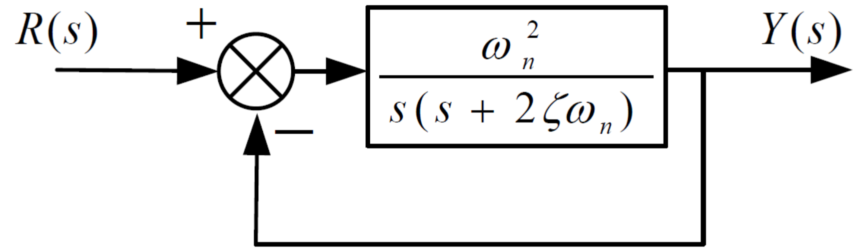
性能分析
与评价

性能调节与改进：
调参数，调结构等等

控制工程的循环主题

二阶系统是重中之重！

小结



标准二阶系统的闭环传递函数：

$$\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

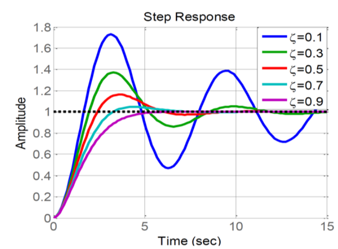
ζ：阻尼系数

ω_n：系统固有频率

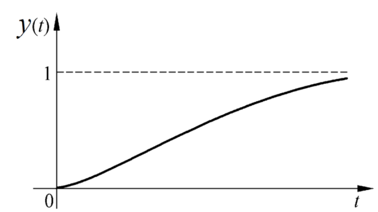
单位阶跃响应：

欠阻尼	$0<\zeta<1$
临界阻尼	$\zeta=1$
过阻尼	$\zeta>1$
零阻尼	$\zeta=0$
负阻尼	$\zeta<0$

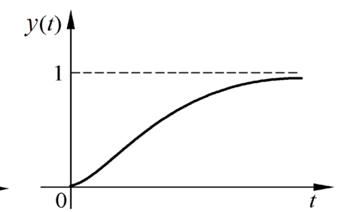
欠阻尼 $0<\zeta<1$



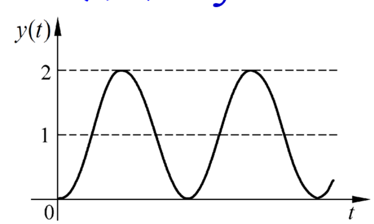
过阻尼 $\zeta>1$



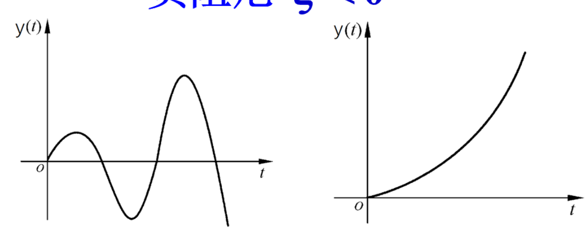
临界阻尼 $\zeta=1$



零阻尼 $\zeta=0$



负阻尼 $\zeta<0$



二阶系统的单位阶跃响应

小结

性能指标的计算：以欠阻尼二阶系统为例。

$$\boxed{\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

1. 上升时间 $t_r = \dfrac{\pi-\beta}{\omega_d} = \dfrac{\pi-\beta}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$

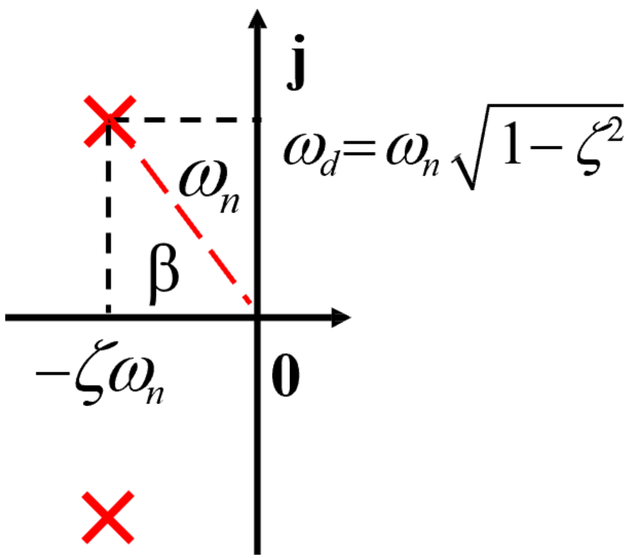
2. 峰值时间 $t_p = \dfrac{\pi}{\omega_d} = \dfrac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$

3. 超调量 $P.\ O. = \dfrac{y(t_p)-y(\infty)}{y(\infty)}\cdot 100\% = e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}\cdot 100\%$

4. 调节时间 $t_s = \dfrac{-\ln\delta-\ln\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta\omega_n}$

小结

欠阻尼二阶系统极点位置与参数的关系



$$\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

$$s_{1,2}=-\zeta\omega_{\mathrm{n}}\pm\omega_{\mathrm{n}}\sqrt{\zeta^2-1}$$

$$\beta=\arccos\zeta=\arctan\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta}$$

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

$1(t)$

$$\Phi(s)=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2}$$

$y(t)$

(ζ,ω_n)

性能要求

$$P.O.=e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}\cdot 100\%$$

$$T_s\approx\frac{4}{\zeta\omega_n}(2\%)$$

$$T_p=\frac{\pi}{\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}}$$

极点位置

基本技能！

对二阶系统性能了如指掌，调控自如。

作业5-1

E5. 4　某单位负反馈系统的开环传递函数为

$$L(s) = G_c(s)G(s) = \frac{2(s+8)}{s(s+4)}$$

（a）确定系统的闭环传递函数 $T(s) = Y(s)/R(s)$。

（b）当输入为阶跃信号 $r(t) = A$，$t > 0$ 时，计算系统的时间响应 $y(t)$。

作业5-2

E5. 9　某单位负反馈系统的开环传递函数为

$$L(s) = G_c(s)G(s) = \frac{K}{s\left(s + \sqrt{2K}\right)}$$

试求

(a) 系统单位阶跃响应的超调量和调节时间(按 2% 准则)。

(b) 当调节时间小于 1 s 时，确定增益 K 的取值范围。

作业5-3

E5.10 二阶系统的闭环传递函数为 $T(s)=Y(s)/R(s)$，系统阶跃响应的设计指标要求为：

(1) 超调量 P.O. $\leqslant 5\%$。

(2) 调节时间 $T_s<4$ s(按 2% 准则)。

(3) 峰值时间 $T_p<1$ s。

试确定 $T(s)$ 的极点配置范围，以便获得预期的响应特性。

作业5-4

P5. 4 某单位负反馈系统的开环传递函数(见图 E5. 11)为

$$L(s) = G_c(s)G(s) = \frac{K}{s(s+2)}$$

对系统阶跃响应的设计指标要求为：峰值时间 $T_p = 1.1$ s，超调量 P. O. = 5% 。

(a) 判断系统能否同时满足这两个指标的设计要求。

(b) 如果不能同时满足上述要求，按相同的比例放宽设计要求后，试折中选择增益 K 的取值，使系统能够同时满足设计指标要求。

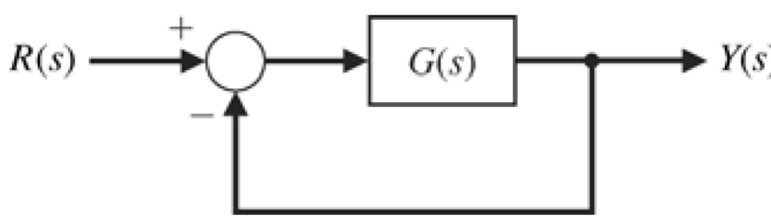


图 E5. 11 单位负反馈系统