



第六章 频率特性分析法

CHAPTER 6 Frequency Response





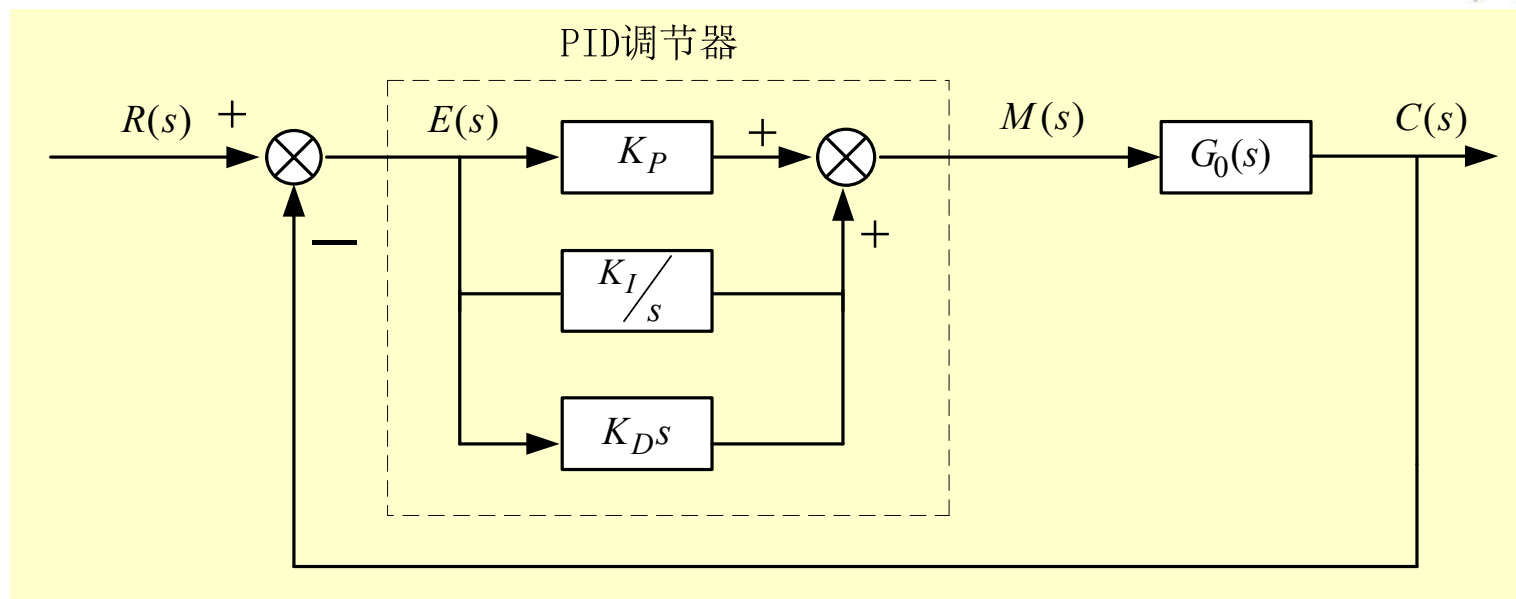
第六章主要内容



- ✓ 概述
- ✓ 系统的频率特性曲线
- ✓ **Nyquist**稳定性判据
- ✓ 幅值裕度和相位裕度
- ✓ 基于频率响应的补偿器设计



比例-积分-微分(PID)调节器



$$m(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

$$= K_P e(t) + \frac{K_P}{T_I} \int e(t) dt + K_P T_D \frac{de(t)}{dt} = K_P \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right)$$

T_I 称为积分时间, T_D 称为微分时间

实际中, 可采用P、PI、PD和PID等形式



比例-积分-微分(PID)调节器



写成传递函数形式

$$G_e(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s$$

$$G_e(s) = \frac{K_D \left(s + \frac{K_P + \sqrt{K_P^2 - 4K_I K_D}}{2K_D} \right) \left(s + \frac{K_P - \sqrt{K_P^2 - 4K_I K_D}}{2K_D} \right)}{s}$$

引入PID调节器后，系统的型别数增加了1，稳态性能得到提升，还提供了两个零点，适当配置这两个零点可增强系统稳定性和提高系统动态性能



比例-积分-微分(PID)调节器



确定PID控制器参数（PID参数整定）的Ziegler-Nichols方法

在系统闭环情况下，让系统在纯比例器的作用下产生等幅振荡，利用此时的比例系数 K_u 和振荡周期 T_u ，查表得到PID参数

控制器类型	K_P	T_I	T_D
P	$0.5K_u$		
PI	$0.4K_u$	$0.8T_u$	
PD	$0.8K_u$		$0.12T_u$
PID	$0.6K_u$	$0.5T_u$	$0.12T_u$



比例-积分-微分(PID)调节器



等幅振荡时, (-1) 点在开环幅相曲线 $K_u G_0(j\omega)$ 上

$$\omega_x = \omega_\Phi = \frac{2\pi}{T_u}$$

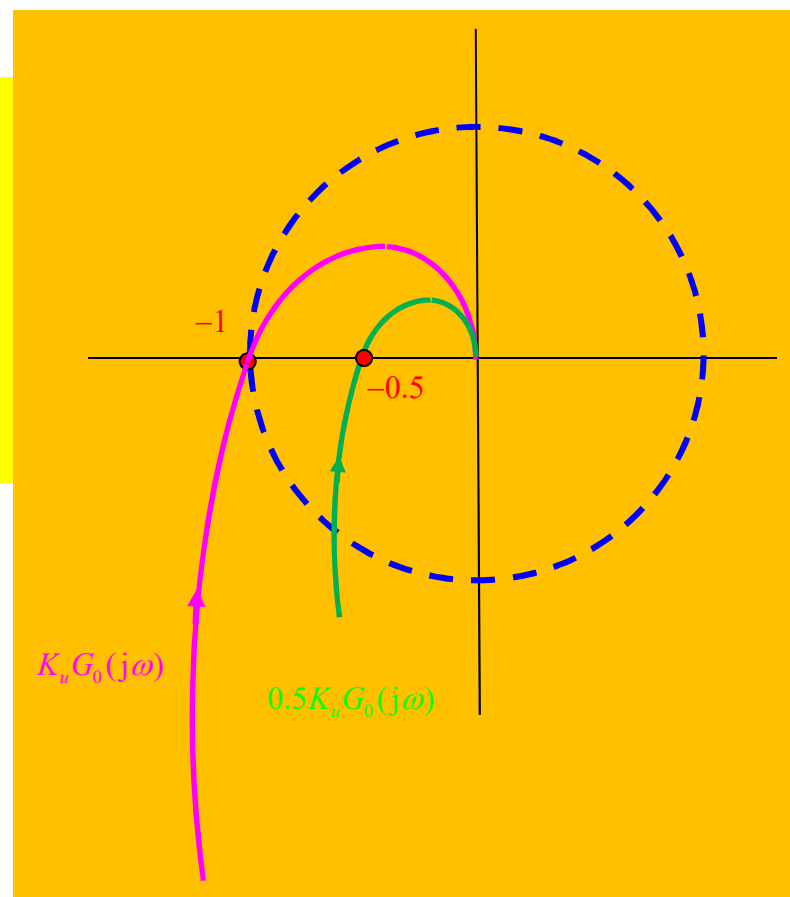
穿越频率 ω_x , 截止频率 ω_Φ

幅值裕度 $h = 1$, 相位裕度 $\gamma = 0^\circ$

P控制器的 $K_p = 0.5K_u$ 时

$0.5K_u G_0(j\omega)$ 与负实轴的交点为 -0.5

幅值裕度 $h = 2 = 6\text{dB}$, 穿越频率 $\omega_x = \frac{2\pi}{T_u}$



PI控制器 $K_P + \frac{K_P}{T_I} \frac{1}{s} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) = K_P \left(\frac{1 + T_I s}{T_I s} \right)$ 器

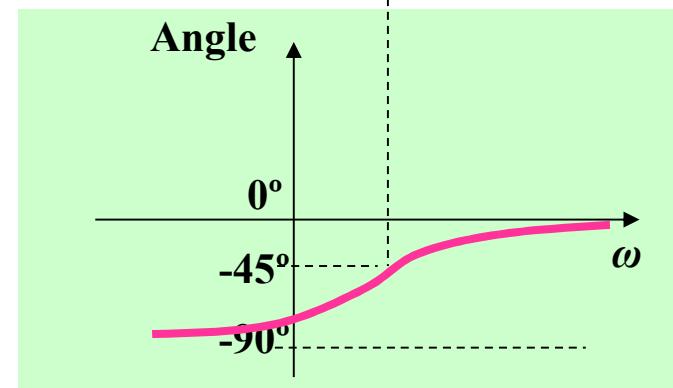
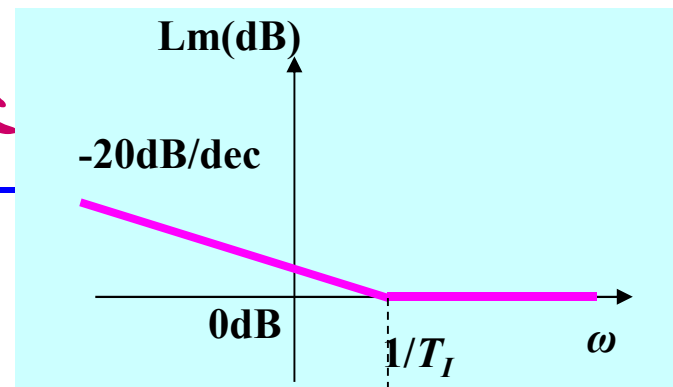
$K_P = 0.4K_u, T_I = 0.8T_u$

开环频率特性

$K_P \left(\frac{1 + jT_I \omega}{jT_I \omega} \right) G_0(j\omega) = 0.4K_u \left(\frac{1 + jT_I \omega}{jT_I \omega} \right) G_0(j\omega)$

先考虑 $0.4K_u G_0(j\omega)$:

幅值裕度 $h = \frac{1}{0.4} = 2.5 \approx 8\text{dB}$, 穿越频率 $\omega_x = \frac{2\pi}{T_u}$



在 $\frac{1 + jT_I \omega}{jT_I \omega}$ 的bode图中, 转折频率 $\frac{1}{T_I} = \frac{1}{0.8T_u} = \frac{1}{0.8 \times 2\pi} \frac{2\pi}{T_u} \approx \frac{1}{5} \omega_x$

在穿越频率 ω_x 处, $\frac{1 + jT_I \omega}{jT_I \omega}$ 的幅值约等于0dB, 相角接近 0°

$0.4K_u \left(\frac{1 + jT_I \omega}{jT_I \omega} \right) G_0(j\omega)$ 的穿越频率在 $\frac{2\pi}{T_u}$ 附近, 幅值裕度不低于6dB



比例-积分-微分(PID)调节器



PID调节器在工业控制中得到广泛地应用。它有如下特点：

1. 对系统的模型要求低

实际系统要建立精确的模型往往很困难。而PID调节器对模型要求不高，甚至在模型未知的情况下，也能进行调节。

2. 调节方便

调节作用相互独立，最后以求和的形式出现的，人们可改变其中的某一种调节规律，大大地增加了使用的灵活性。

3. 适应范围较广

一般校正装置，系统参数改变，调节效果差，而PID调节器的适应范围广，在一定的变化区间中，仍有很好的调节效果。



Thanks!