

## PID 参数调节

控制系统经常采用 PID 调节，比例环节放大时，系统动作灵敏、速度快、稳态误差小。但比例太大时系统振荡次数会增加，调节时间变长，甚至会不稳定。积分控制可消除系统稳态误差，但会使系统滞后增加稳定性变差，反应速度变慢。微分控制可提高系统动态特性（减少超调量和反应时间），使系统稳态误差减小。

采用 PID 调节时传递函数为：

$$G_{PID} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right)$$

其中  $K_p$  为比例系数， $T_i$  为积分常数， $T_d$  为微分常数。实际上是没有这样的系统的，一般只能得到：

$$G_{PID} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} + \frac{T_d S}{1 + \frac{T_d}{N} S} \right)$$

其中  $N$  一般大于 10，当  $N$  趋于无穷大时，上式即为理想的 PID 形式。Ziegler-Nichols 整定参数取  $T_i = 4T_d$ ，将上式化为零、极点形式为：

$$G_{PID} = K_p (1 + N) \left[ \frac{S^2 + \frac{4N+1}{4T_d(N+1)} S + \frac{N}{(1+N)4T_d^2}}{S \left( S + \frac{N}{T_d} \right)} \right]$$

设  $N$  为无穷大，化简为：

$$G_{PID} = K_p (1 + N) \frac{\left( S + \frac{1}{2T_d} \right)^2}{S \left( S + \frac{N}{T_d} \right)}$$

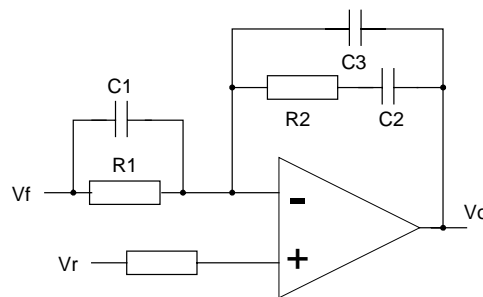
其中极点为 0 和  $-\frac{N}{T_d}$ ，零点为双重零点： $-\frac{1}{2T_d}$ 。

对于未知的控制环路参数，很难调节系统特性，一般我们都是逐步改进比例、积分、微分环节来凑控制参数，遇上复杂系统很难调节。下面使用扩充临界比例度法整定控制参数。首先，去掉控制器的积分、微分环节，只用比例环节调节误差放大倍数。逐步加大误差放大系数，直到系统阶跃响应出现等幅振荡，此时，

我们认为系统处于临界振荡状态。设定此时的比例系数为  $K_r$ ，振荡周期为  $T_r$ （如果为了安全，可增大误差放大倍数到出现 4 个振荡周期为止。此时的比例系数为  $K_r/2$ ，振荡周期为  $T_r$ ）。然后根据下面列举的 Ziegler-Nichols 经验公式确定 PID 参数。

	控制规律	$K_P / K_r$	$T_I / T_r$	$T_D / T_r$
Ziegler-Nichols	PI	0.45	0.83	
整定参数	PID	0.6	0.5	0.125

以下面误差放大器设计方法为例，对于误差放大器计算其放大倍数、零点、极点如下：



传递函数为：

$$\frac{(V_o - V_r)}{\frac{1}{sC_3} \parallel \left( \frac{1}{sC_2} + R_2 \right)} = \frac{(V_r - V_f)}{R_1 \parallel \frac{1}{sC_1}}$$

整理得：

$$V_o = \frac{1 + R_1 C_1 s}{R_1} \frac{1 + R_2 C_2 s}{s(C_2 + C_3 + R_2 C_2 C_3 s)} (V_r - V_f) + V_r$$

误差放大部分为：

$$G = \frac{C_1}{C_3} \frac{\left( s + \frac{1}{R_1 C_1} \right) \left( s + \frac{1}{R_2 C_2} \right)}{s \left( s + \frac{C_2 + C_3}{R_2 C_2 C_3} \right)}$$

其中零点为：  $-1/R_1 C_1$  和  $-1/R_2 C_2$ ；极点为： 0 和  $-\frac{C_2 + C_3}{R_2 C_2 C_3}$

经过实验确定  $K_r$  和  $T_r$  后，查表并求取合理的比例以及零、极点补偿，然后根据下面的公式求取误差放大器中各元件参数。

$$\frac{C_1}{C_3} = K_p T_D$$

$$1/R_1 C_1 = 1/R_2 C_2 = \frac{1}{2T_D}$$

此外，应选择参数使极点  $\frac{C_2 + C_3}{R_2 C_2 C_3}$  尽量大（应高于所得零点几个量级）。

应用上述方法，一般可得到性能较好的系统。如要求达不到，还应进行逐步的修正。