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Kp为比例系数，T_I为积分常数，T_D为微分常数。将上式化为零、极点形式为：

$$G_{PID} = K_P T_D \frac{\left(S+\frac{1+\sqrt{1-4T_D/T_I}}{2T_D}\right)\left(S+\frac{1-\sqrt{1-4T_D/T_I}}{2T_D}\right)}{S}$$

其中放大倍数为$K_P T_D$，极点为 0，

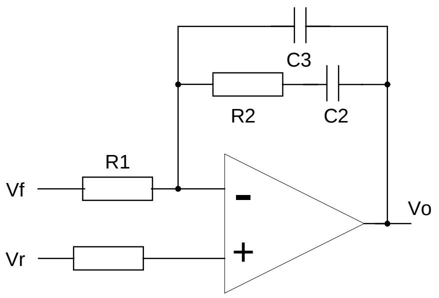
零点为：$$-\frac{1+\sqrt{1-4T_D/T_I}}{2T_D} \text{和} -\frac{1-\sqrt{1-4T_D/T_I}}{2T_D}$$

可以看出实际上是没有这样的传递函数的，我们可以给其增加一个影响很小的极点，并作适当的补偿来满足上式。下面介绍一种实验方式确定 PID 参数。

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 4~5 次振荡，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 Kr，从第一个振荡顶点到第二个振荡顶点为周期 Tr。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 / Kr	T_I / Tr	T_D / Tr
Ziegler-Nichols 整定参数	PI	0.45	0.83	
	PID	0.6	0.5	0.125

以下面两种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：

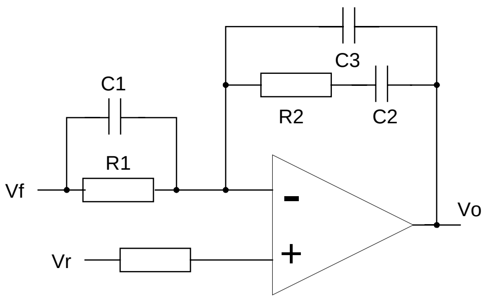


传递函数为：
$$\frac{\left(V_o - V_r\right)}{\frac{1}{SC_3} \parallel \left(\frac{1}{SC_2} + R_2\right)} = \frac{\left(V_r - V_f\right)}{R_1}$$

整理得：
$$V_o = \frac{1}{R_1} \frac{1 + R_2 C_2 S}{S\left(C_2 + C_3 + R_2 C_2 C_3 S\right)} \left(V_r - V_f\right) + V_r$$

误差放大部分为：
$$G = \frac{1}{R_1 C_3} \frac{\left(S + \frac{1}{R_2 C_2}\right)}{S\left(S + \frac{C_2 + C_3}{R_2 C_2 C_3}\right)}$$

其中比例为：$1/R_1C_3$；零点为：$-1/R_2C_2$；极点为：0 和-$\frac{C_2 + C_3}{R_2 C_2 C_3}$



传递函数为：
$$\frac{\left(V_o - V_r\right)}{\frac{1}{SC_3} \parallel \left(\frac{1}{SC_2} + R_2\right)} = \frac{\left(V_r - V_f\right)}{R_1 \parallel \frac{1}{SC_1}}$$

整理得：
$$V_o = \frac{1 + R_1 C_1 S}{R_1} \frac{1 + R_2 C_2 S}{S\left(C_2 + C_3 + R_2 C_2 C_3 S\right)} \left(V_r - V_f\right) + V_r$$

误差放大部分为：$$G=\frac{C_1}{C_3}\frac{\left(S+\frac{1}{R_1C_1}\right)\left(S+\frac{1}{R_2C_2}\right)}{S\left(S+\frac{C_2+C_3}{R_2C_2C_3}\right)}$$

其中比例为：C_1/C_3；零点为：$-1/R_1C_1$ 和 $-1/R_2C_2$；极点为：0 和 $-\frac{C_2+C_3}{R_2C_2C_3}$

以第二种误差放大器为例，经过实验确定 Kr 和 Tr 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。

$$C_1/C_3=K_PT_D$$

$$1/R_1C_1=\frac{1+\sqrt{1-4T_D/T_I}}{2T_D}$$

$$1/R_2C_2=\frac{1-\sqrt{1-4T_D/T_I}}{2T_D}$$

此外，应选择参数使极点 $\frac{C_2+C_3}{R_2C_2C_3}$ 比较大（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。