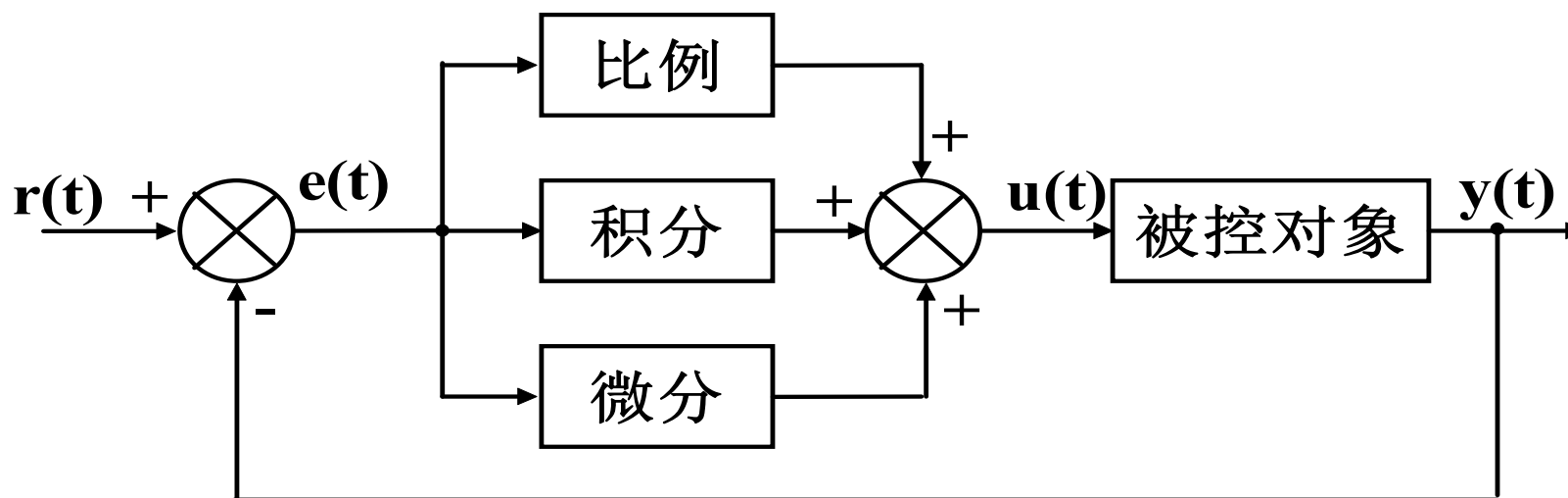


# PID调节

# 何为PID

- PID（比例（proportion）、积分（integral）、导数（derivative））通过线性组合构成控制量，用这一控制量对被控对象进行控制，这样的控制器称PID控制器。



PID算法控制原理

- PID（比例（proportion）、积分（integral）、导数（derivative））

$$u_k = Kp[e_k + \frac{T}{Ti} \sum_{j=0}^k e_j + Td \frac{e_k - e_{k-1}}{T}]$$

或

$$u_k = Kp * e_k + Ki \sum_{j=0}^k e_j + Kd (e_k - e_{k-1})$$

其中

- $k$ —— 采样序号,  $k=0, 1, 2, \dots$ ;
- $u_k$ —— 第 $k$ 次采样时刻的计算机输出值;
- $e_k$ —— 第 $k$ 次采样时刻输入的偏差值;
- $e_{k-1}$ —— 第 $k-1$ 次采样时刻输入的偏差值;
- $Ki$ —— 积分系数,  $Ki = Kp * T / Ti$ ;
- $Kd$ —— 微分系数,  $Kd = Kp * Td / T$ ;

## 一、PID算法简介

首先必须明确**PID**算法是基于反馈的。一般情况下，这个反馈就是速度传感器返回给单片机当前电机的转速。简单的说，就是用这个反馈跟预设值进行比较，如果转速偏大，就减小电机两端的电压(电流)；相反，则增加电机两端的电压(电流)。

P指是比例（Proportion），  
I指是积分（Integral），  
D指微分（Differential）。

- 在电机调速系统中，输入信号为正，要求电机正转时，反馈信号也为正  
**PID算法时，误差=输入预设值-测量反馈值**
- 同时电机转速越高，反馈信号越大。要想搞懂PID算法的原理，首先必须先明白P,I,D各自的含义及控制规律：

$$e_j = \text{输入预设值} - \text{测量反馈值}$$

比例**P**：比例项部分其实就是对预设值和反馈值差值的放大倍数。

比例控制是一种最简单的控制方式。其控制器的输出与输入误差信号成比例关系。当仅有比例控制时系统输出存在稳态误差（Steady-state error）。

举个例子，假如：

原来电机两端的电压为 $U_0$ ，比例 $P$ 为0.2，预设转速输入值是800，而反馈值是1000，

那么输出到电机两端的电压应变为

$$U = U_0 + 0.2 * (800 - 1000)。$$

从而达到了调节速度的目的。显然比例 $P$ 越大时，电机转速回归到输入值的速度将更快，及调节灵敏度就越高。从而，加大 $P$ 值，可以减少从非稳态到稳态的时间。但是同时也可能造成电机转速在预设值附近振荡的情形，所以又引入积分 $I$ 解决此问题。

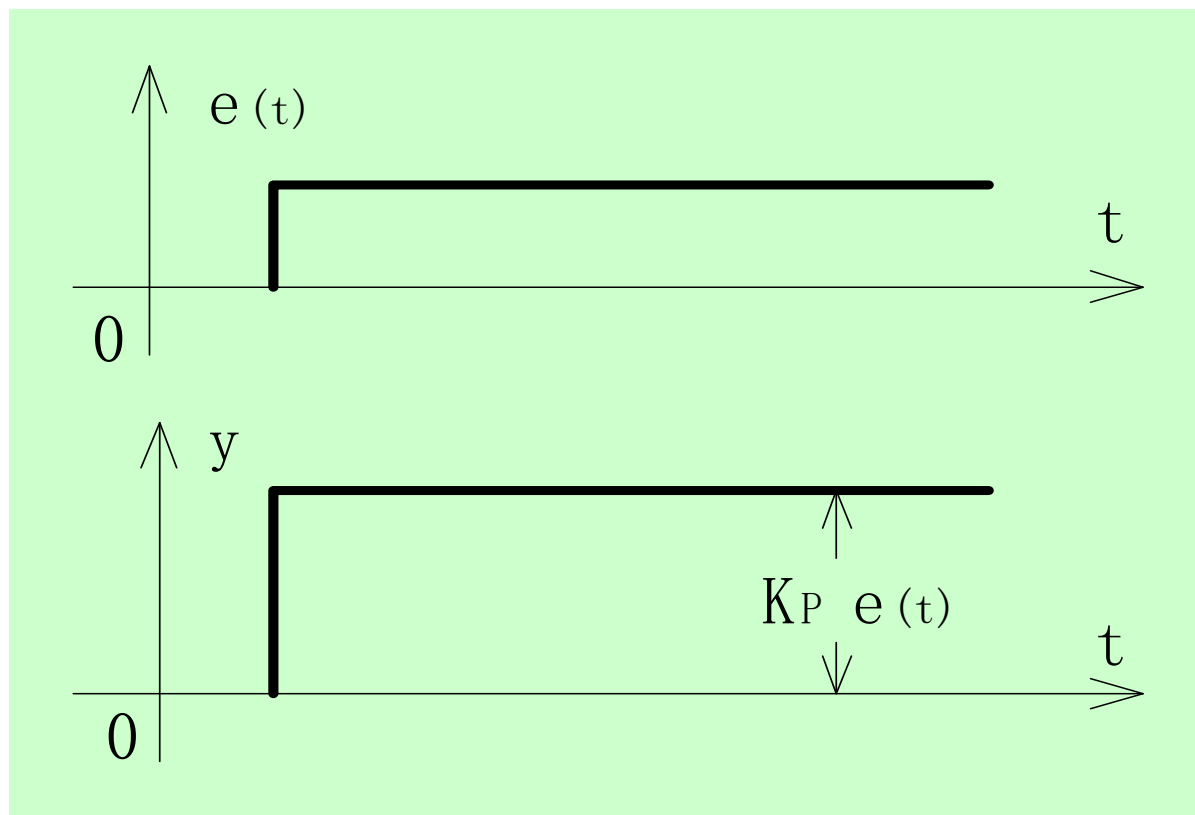


图1 阶跃响应特性曲线



$$Ki \sum_{j=0}^k e_j$$

$e_j$ =输入预设值-测量反馈值

## 积分（I）控制

在积分控制中，控制器的输出与输入误差信号的积分成正比关系。对于一个自动控制系统，如果在进入稳态后存在稳态误差，则称这个控制系统是有稳态误差的或简称有差系统（**System with Steady-state Error**）。为了消除稳态误差，在控制器中必须引入“积分项”。积分项对误差取决于时间的积分，随着时间的增加，积分项会增大。这样，即便误差很小，积分项也会随着时间的增加而加大，它推动控制器的输出增大使稳态误差进一步减小，直到接近于零。

因此，比例+积分（**PI**）控制器，可以使系统在进入稳态后几乎无稳态误差。

$$e_j = \text{输入预设值} - \text{测量反馈值}$$

- 积分I：顾名思义，积分项部分其实就是对预设值和反馈值之间的差值在时间上进行累加。当差值不是很大时，为了不引起振荡。可以先让电机按原转速继续运行，同时要将这个差值用积分项累加。当这个和累加到一定值时，再一次性进行处理。从而避免了振荡现象的发生。可见，积分项的调节存在明显的滞后。而且I值越大，滞后效果越明显。

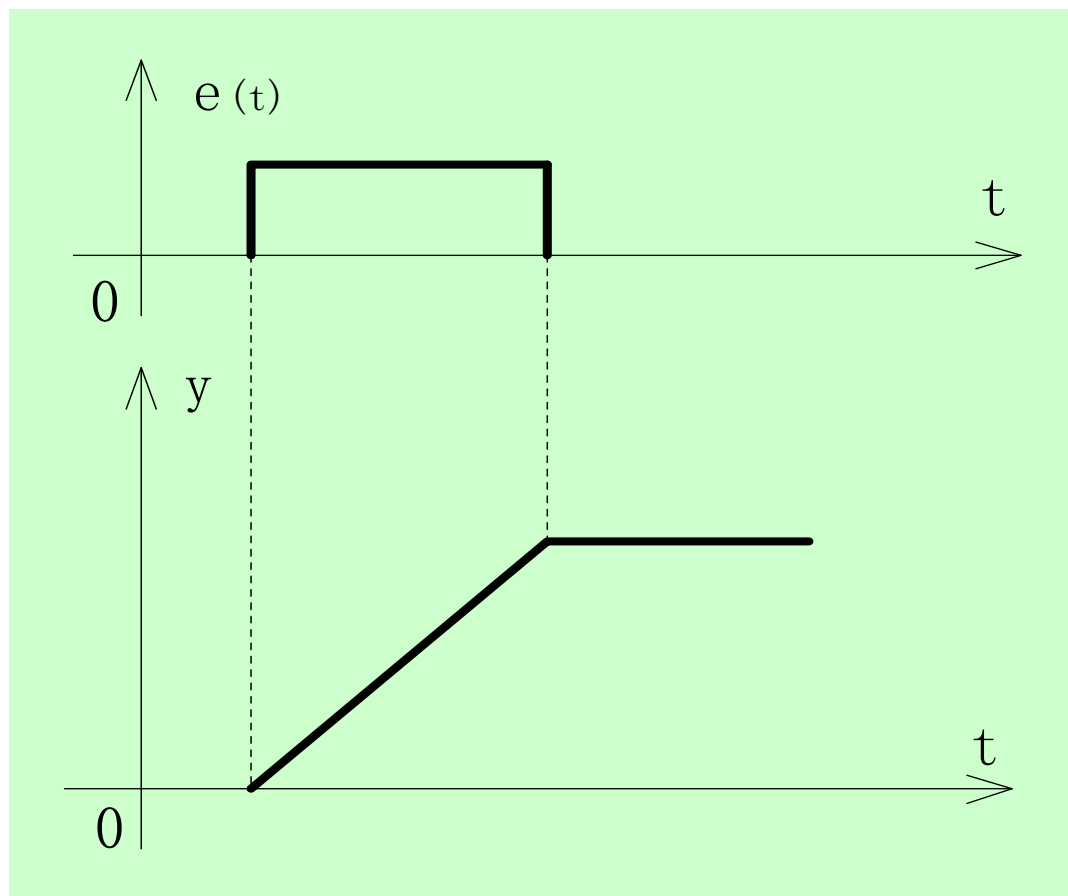


图2积分作用响应曲线

- 积分环节主要是用来消除静差，所谓静差，就是系统稳定后输出值和设定值之间的差值，积分环节实际上就是偏差累计的过程，把累计的误差加到原有系统上以抵消系统造成的静差。

- 若将比例和积分两种作用结合起来，就构成**PI**调节器，调节规律为：
$$u_k = Kp * e_k + Ki \sum_{j=0}^k e_j \quad (3)$$

**PI**调节器的输出特性曲线如图3所示

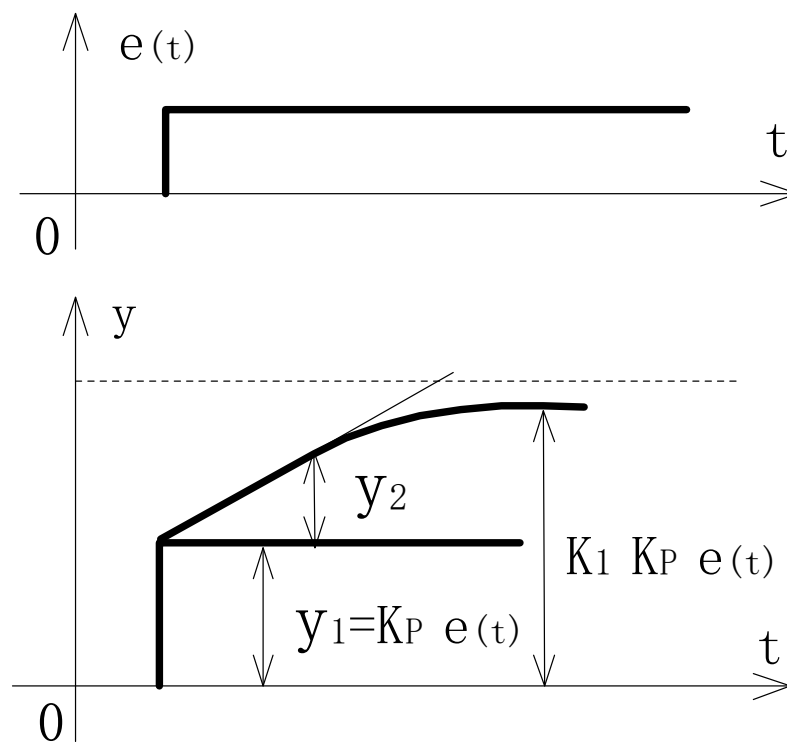


图3 PI调节器的输出特性曲线

$$Kd (e_k - e_{k-1})$$

$e_j = \text{输入预设值} - \text{测量反馈值}$

微分D：微分项部分其实就是求电机转速的变化率。也就是前后两次差值的差。也就是说，微分项是根据差值变化的速率，提前给出一个相应的调节动作。可见微分项的调节是超前的。并且D值越大，超前作用越明显，在误差接近零时，抑制误差的作用就应该是零。可以在一定程度上缓冲振荡。比例项的作用仅是放大误差的幅值，而增加“微分项”，能预测误差变化的趋势，这样，具有比例+微分的控制器，就能够提前使抑制误差的控制作用等于零，甚至为负值，从而避免了被控量的严重超调。

所以对有较大惯性或滞后的被控对象，比例+微分（PD）控制器能改善系统在调节过程中的动态特性。

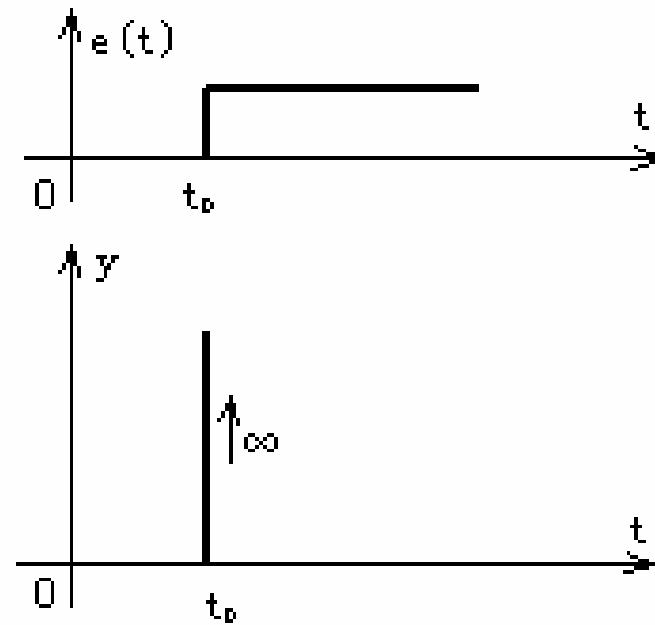
$$Kd (e_k - e_{k-1})$$

$e_j$ =输入预设值-测量反馈值

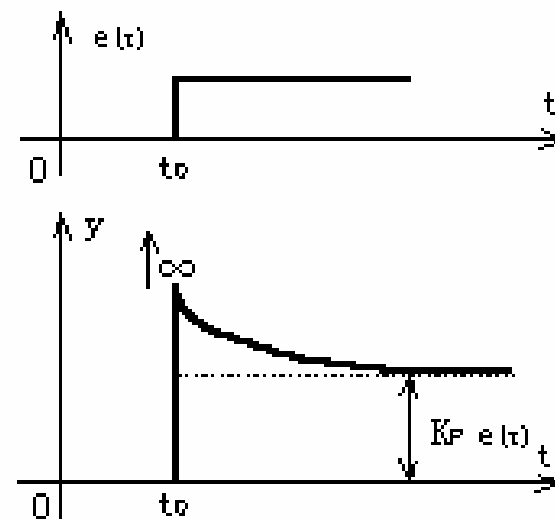
## 微分（D）控制

系统偏差信号的变化率 $e(t)-e(t-1)$ ，具有预见性，能预见偏差变化的趋势，产生超前的控制作用，在偏差还没有形成之前，已被微分调节作用消除，因此可以改善系统的动态性能。但是微分对噪声干扰有放大作用，加强微分对系统抗干扰不利。积分和微分都不能单独起作用，必须与比例控制配合。

微分作用响应曲线如图4所示



PD调节器的阶跃响应曲线如图5所示。





总之：

比例调节依据“偏差的大小”来动作，它的输出与输入偏差的大小成比例。比例调节及时有力，但有余差。在系统中起着稳定被调参数的作用；

积分调节依据“偏差是否存在”来动作，它的输出与偏差对时间的积分成比例，只有当余差消失时，积分才会停止，其作用是消除余差；

微分调节依据“偏差变化速度”来动作，它的输出与输入偏差变化的速度成比例，其效果是阻止被调参数的一切变化，有超前调节的作用，对滞后大的对象有很好的效果。

## 参数调整一般规则

由各个参数的控制规律可知，比例**P**使反应变快，微分**D**使反应提前，积分**I**使反应滞后。在一定范围内，**P**，**D**值越大，调节的效果越好。各个参数的调节原则如下：

## PID调试一般原则

- a. 在输出不振荡时，增大比例增益**P**。
- b. 在输出不振荡时，减小积分时间常数**Ti**。
- c. 输出不振荡时，增大微分时间常数**Td**。

- **PID**其实有点小小的智能，**P**是对现在情况的应对，**I**是对过去的记忆，**D**是对未来的预测。
- **P**是当下，在3个量里权重最大，是基础，因为毕竟要解决当下问题，要对当下做出反应。**PID**有时可以简化为**PI**或**PD**，但是从来没有见过用**ID**就能控制住例子。
- **I**是对过去的记忆，如果过去一段时间的曲线太高，就会自动将曲线整体下移，反之亦然。至于记忆的时间窗口期有多长，与要调整的量变化速度有关。  
变化缓慢的物理量时间窗口要长一些，如温度；变化迅速的物理量要短一些，比位置。
- **D**是对未来的预测，是对未来趋势的一种预测。变化迅速的物理量容易引起超调或震荡，通过微分量预测上升的速度，从而对输出量进行适当缩小避免“冲过头”。变化缓慢的量又太慢，**D**可以适当推动调整速度。

**Ziegler-Nichols**方法是基于系统稳定性分析的**PID**整定方法. 在设计过程中无需考虑任何特性要求, 整定方法非常简单, 但控制效果却比较理想. 具体整定方法如下:

首先, 置  $K_d = K_i = 0$ , 然后增加比例系数一直到系统开始振荡 (闭环系统的极点在  $j\omega$  轴上);

再将该比例系数乘以0.6, 其他参数按照以下公式计算:

$$K_p = 0.6 * K_m$$

$$K_d = K_p * \pi / 4 * \omega$$

$$K_i = K_p * \omega / \pi$$

上式中  $K_p$  为比例控制参数

$K_d$  为微分控制参数

$K_i$  为积分控制参数

$K_m$  为系统开始振荡时的比例值;

$\omega$  为振荡时的频率

## 一般步骤

### 确定比例增益P

- 确定比例增益P时，首先去掉PID的积分项和微分项，一般是令 $T_i=0$ 、 $T_d=0$ （具体见PID的参数设定说明），使PID为纯比例调节。输入设定为系统允许的最大值的60%~70%，由0逐渐加大比例增益P，直至系统出现振荡；再反过来，从此时的比例增益P逐渐减小，直至系统振荡消失，记录此时的比例增益P，设定PID的比例增益P为当前值的60%~70%。比例增益P调试完成。
- 确定积分时间常数 $T_i$   
比例增益P确定后，设定一个较大的积分时间常数 $T_i$ 的初值，然后逐渐减小 $T_i$ ，直至系统出现振荡，之后在反过来，逐渐加大 $T_i$ ，直至系统振荡消失。记录此时的 $T_i$ ，设定PID的积分时间常数 $T_i$ 为当前值的150%~180%。积分时间常数 $T_i$ 调试完成。
- 定积分时间常数 $T_d$   
积分时间常数 $T_d$ 一般不用设定，为0即可。若要设定，与确定P和 $T_i$ 的方法相同，取不振荡时的30%。
- 系统空载、带载联调，再对PID参数进行微调，直至满足要求。

## PID参数调节的顺口溜

参数整定找最佳， 从小到大顺序查。  
先是比例后积分， 最后再把微分加。  
曲线振荡很频繁， 比例度盘要放大。  
曲线漂浮绕大弯， 比例度盘往小扳。  
曲线偏离回复慢， 积分时间往下降。  
曲线波动周期长， 积分时间再加长。  
曲线振荡频率快， 先把微分降下来。  
动差大来波动慢， 微分时间应加长。  
理想曲线两个波， 前高后低四比一。  
一看二调多分析， 调节质量不会低。

**PID控制器参数的工程整定,各种调节系统中  
PID参数经验数据以下可参照:**

**温度T:  $P=20\sim60\%$ ,  $T=180\sim600s$ ,  $D=3-180s$**

**压力P:  $P=30\sim70\%$ ,  $T=24\sim180s$ ,**

**液位L:  $P=20\sim80\%$ ,  $T=60\sim300s$ ,**

**流量L:  $P=40\sim100\%$ ,  $T=6\sim60s$**

<https://blog.csdn.net/qq1205512384/article/details/72614871>

# 位置式pid调节

```
void pid(unsigned int count)
{
    ek=set-count; //此次的偏差值。其中set设定值，
                  count测量值
    ex=ex+ek; //积分环节,ex应为全局变量
              或静态变量
    pmw=Kp*ek +Ki*ex +Kd*(ek-ek1) // 此次位置pid
    ek1=ek; //将此次的偏差值记录下来
}
```

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)]$$

缺点



# 增量式调节

P: Proportional 比例

I: Integrating 积分

D: Differentiation 微分

Pwm\_value: 输出Pwm暂空比的值

Current\_error: 当前偏差

last\_error: 上次偏差

prev\_error: 上上次偏差

增量式PID计算公式:

$P = K_p * (current\_error - last\_error);$

$D = K_d * (current\_error - 2 * last\_error + prev\_error);$

$I = K_i * current\_error;$

$PID\_add = Pwm\_value + P + I + D;$

# 增量式调节

```
void pid(unsigned int count)
```

```
{
```

```
    ek=set-count; //偏差值。其中set设定值，  
    count测量值
```

```
//Uk=Kp*(ek)
```

```
    +Ki* $\Sigma$ (e1+e2+...+ek1+ek)
```

```
    +Kd*(ek-ek1)      此次位置pid
```

```
//Uk1=Kp*(ek1)
```

```
    +Ki* $\Sigma$ (e1+e2+...+ek1)
```

```
    +Kd*(ek1-ek2)     上次位置pid
```

dUk=Uk-Uk1

=Kp\*(ek-ek1)+Ki\*ek +Kd\*[(ek- ek1)-(ek1-ek2)];

//增量PID

pwm=pwm+dUk;

if(pwm>300)

pwm=300; //抗积分饱和

if(pwm<0)

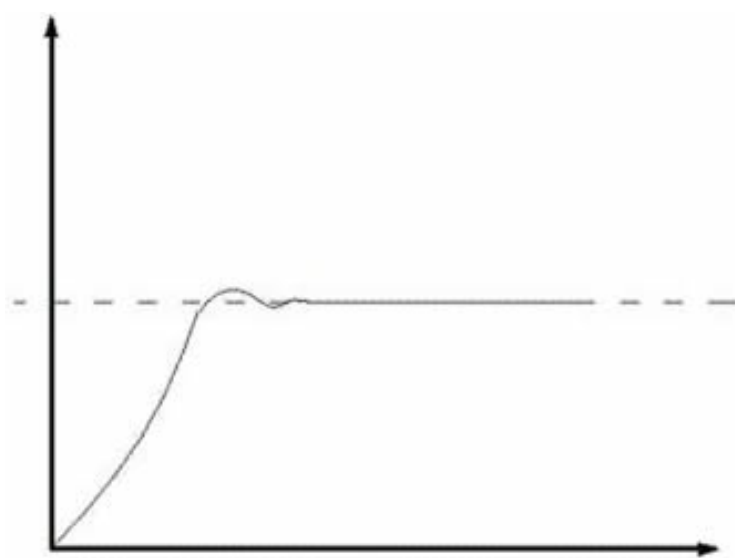
pwm=0;

ek2=ek1; ek1=ek;

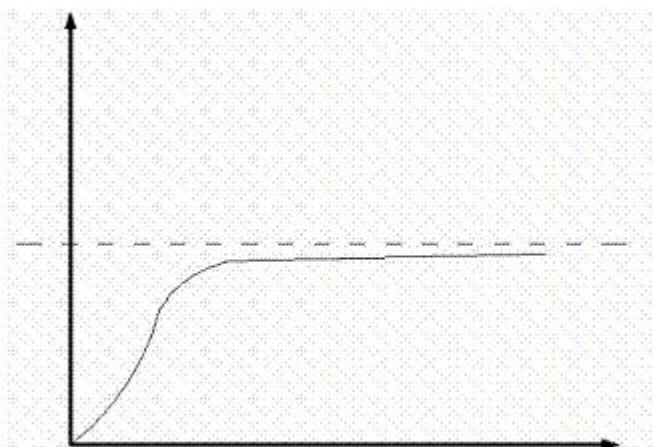
}

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]$$

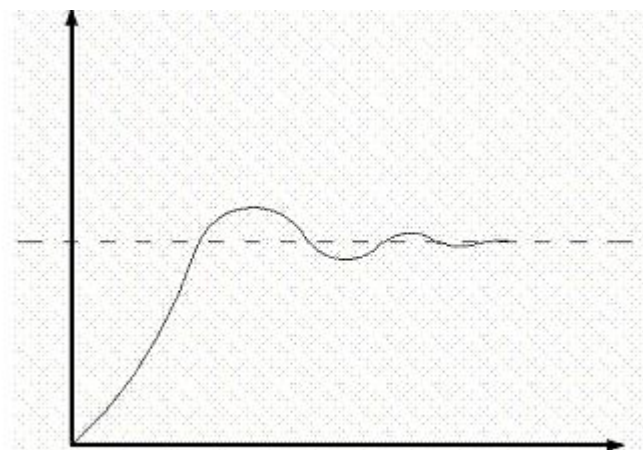
- 增量式算法优点：①算式中不需要累加。控制增量  $\Delta u(k)$  的确定仅与最近3次的采样值有关，容易通过加权处理获得比较好的控制效果；
- ②计算机每次只输出控制增量，即对应执行机构位置的变化量，故机器发生故障时影响范围小、不会严重影响生产过程；
- ③手动—自动切换时冲击小。当控制从手动向自动切换时，可以作到无扰动切换。



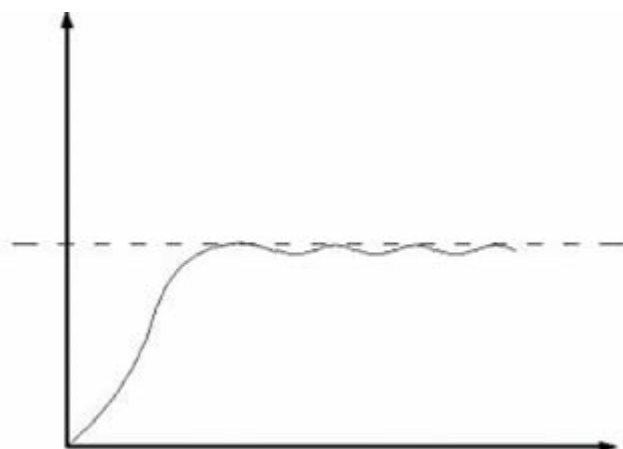
图E:理想的响应曲线。



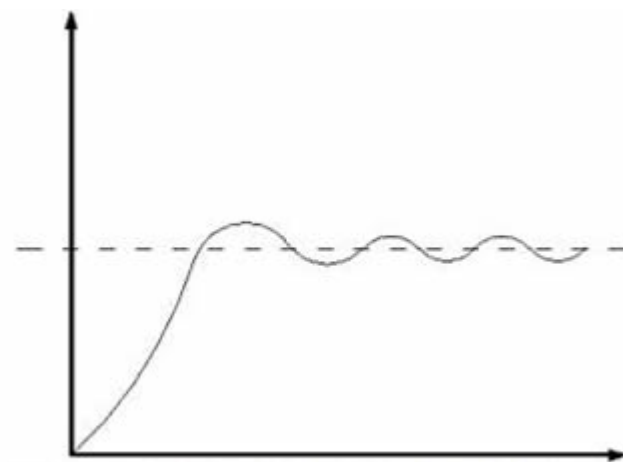
图A: 响应曲线没有超调量, 应该增加比例系数 $P$ 使响应有一定的超调量



图B: 响应曲线超调量太大, 应该减小比例系数 $P$ 使响应的超调量减小。



图C: 响应曲线有一定超调量, 但是由于积分时间太长导致响应无法平稳, 应该减小积分时间



图D: 响应曲线超调量偏大, 积分时间偏小导致响应振荡, 应该适当减小比例系数和适当增大积分时间。