

# 仿人智能控制

仿人智能控制是仿效人的政行为而进行控制和决策，即在宏观结构上和功能上对人的控制进行模拟。

开展仿人智能控制的研究，是目前智能控制的一个重要研究方向。

## 1. 仿人智能控制的原理

### 1.1 仿人智能控制的基本思想

传统的 PID 控制是一种反馈控制，存在着按偏差的比例、积分和微分三种控制作用。

比例: 偏差一产生，控制器就有控制作用，使被控量想偏差减小的方向变化，器控制作用的强弱取决于比例系数 $K_p$

积分: 它能对偏差进行记忆并积分，有利于消除静差，但作用太强，既 $T_i$ 太大会是控制的动态性能变差，以至使系统不稳定。

微分: 能敏感出偏差的变化趋势， $T_d$ 大可加快系统响应（使超调减小），但又会使系统抑制干扰的能力降低。

下面来分析一下 PID 控制中的三种控制作用的是指以及他们的功能与人的控制思维的某种智能差异，从而看出控制规律的智能化发展趋势。

- 1) 比例; PID 中实质是一种线性放大或缩小的作用，它类似于人的想象能力，可以把一个量想得大一些或小一些，但人的想象力是非线性的是变的，可根据情况灵活变化。
- 2) 积分作用: 对偏差信号的记忆功能（积分），人脑的记忆功能是人类的一种基本智能，人脑的记忆是具有某种选择性的。可以记住有用的信息，而遗忘无用或长时间的信息，而 PID 中的积分是不加

选择的长期记忆，其中包括对控制不利的信息， 同比 PID 中不加选择的积分作用缺乏智能性。

- 3) 微分：体现了信号的变化趋势，这种作用类似于人的预见性，但 PID 中的微分的预见性缺乏人的远见卓识，且对变化快的信号敏感，对变化慢的信号预见性差

**仿人智能控制的基本思想**是指：在控制过程中利用计算机模拟人的控制行为能力，最大限度的识别和利用控制系统动态过程所提供的特征信息进行启发和直觉推理，从而实现对缺乏精确数学模型的对象进行有效的控制

## 1.2 仿人智能行为的特征变量

对系统动态特征的模式识别，主要是对动态模式的分类，根据系统偏差  $e$  及偏差变化  $\Delta e$  以及由它们相应的组合的特征变量来划分动态特征模式，通过这些特征模式刻画动态系统的动态行为特征，以便作为智能控制决策的依据。

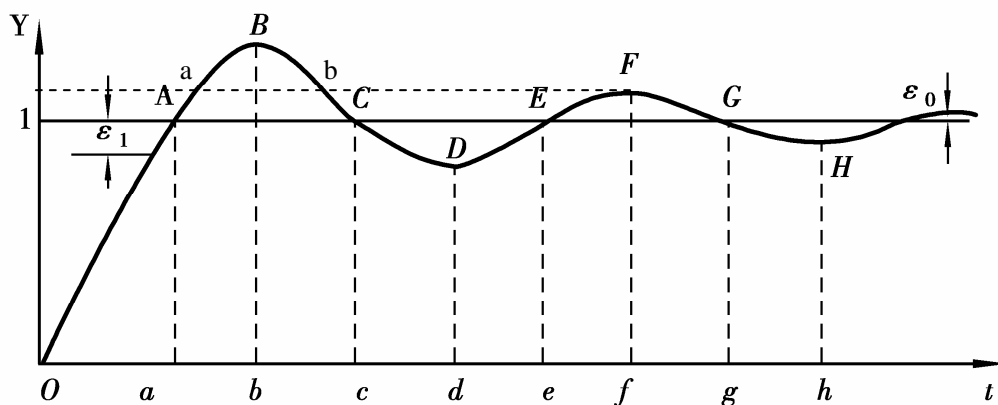


图 1 系统的典型阶跃响应曲线

图 1 给出了一个系统的典型阶跃响应曲线，曲线上 a,b,F 三处的系统输出是一样的，但他们的动态特征是不同的，a 处偏差将继续偏离平衡

状态，b处偏差将回归平衡状态，F处偏差达到最大值。

为了更全面，更细致的刻画系统的动态特征，定义下列特征变量。

1) 偏差  $e_n$  ( $e_n$ 表示偏离的大小，称为离散数)

$$e_n = R - y_n$$

2) 偏差变化  $\Delta e_n$

$$\Delta e_n = e_n - e_{n-1}$$

3)  $e_n \Delta e_n$  (偏差及偏差变化之积)

偏差与偏差变化之积构成了一个新的描述系统动态过程的特征变量。利用该特征变量的趋势是否大于0可以描述系统动态偏差变化的趋势，对应图1可得下表1

	OA	AB	BC	CD	DE
$e_n$	>0	<0	<0	>0	>0
$\Delta e_n$	<0	<0	>0	>0	<0
$e_n \Delta e_n$	<0	>0	<0	>0	<0

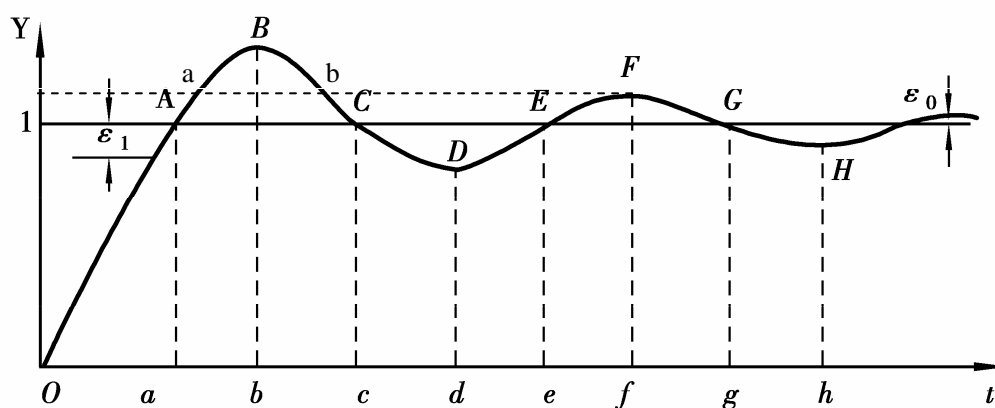


图1 系统的典型阶跃响应曲线

另外，当  $e_n \Delta e_n < 0$  (BC, DE) 表明系统的动态过程正向着偏差减小的

方向变化，即偏差的绝对值逐渐减小；当  $e_n \Delta e_n > 0$  (AB,CD) 表明系统的动态过程正向偏差增加的方向变化，即偏差的绝对值逐渐增大。

4)  $\Delta e_n \Delta e_{n-1}$  (相邻两次偏差变化之积)

$$\Delta e_{n-1} = e_{n-1} - e_{n-2}$$

这个特征量表示了偏差出现的极值状态的特征量。

若  $\Delta e_n \Delta e_{n-1} < 0$  表示出现极值状态；

$\Delta e_n \Delta e_{n-1} > 0$  表示无极值状态出现；

将  $\Delta e_n \Delta e_{n-1}$  与  $e_n \Delta e_n$  联合使用，可以判别动态过程当偏差出现极值后的变化趋势，如 B 和 C' 点：

B 点:  $\Delta e_n \Delta e_{n-1} < 0, e_n \Delta e_n > 0$

C' 点:  $\Delta e_n \Delta e_{n-1} < 0, e_n \Delta e_n < 0$

在 B 点后偏差逐渐减小，而在 C' 点后偏差逐渐变大

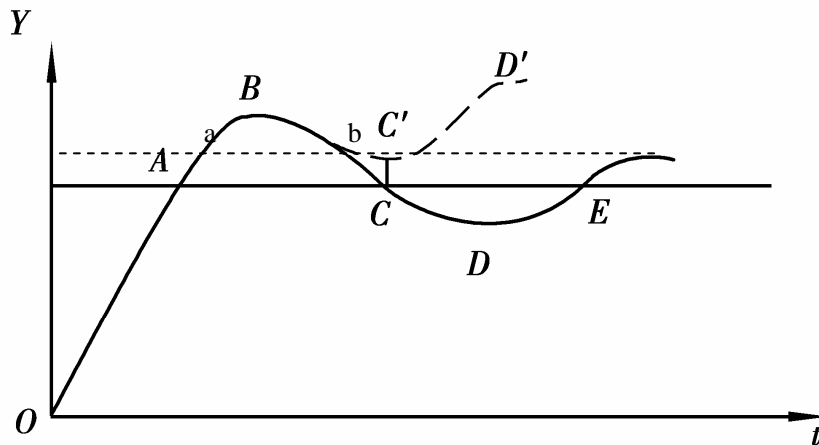


图 1' 系统的典型阶跃响应曲线

5)  $|\Delta e/e|$  (偏差变化的姿态)

这个特征量可以描述动态过程中偏差变化的姿态，

当  $|\Delta e/e|$  大时，表明  $\Delta e$  大，而  $e$  小或很小

当 $|\Delta e/e|$ 小时,表明 $e$ 大,或 $\Delta e$ 很小

若 $\beta < |\Delta e/e| < \alpha$ ,表明系统处于BC(或DE)中部一段,此时系统的动态过程是呈现偏差和偏差变化较大的姿态

6)  $|\Delta e_n/\Delta e_{n-1}|$

这个特征变量反映了偏差的局部变化趋势,也间接表示出前期控制效果,若此值大,表明前期控制效果不显著或不佳

7)  $\Delta(\Delta e_n)$

表明偏差变化的变化率,即二次差分,对于图1所示曲线:

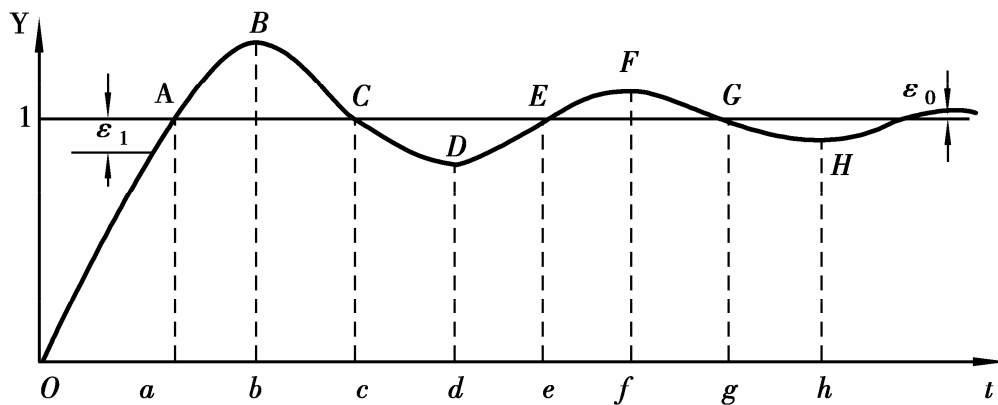


图1 系统的典型阶跃响应曲线

ABC段:  $\Delta(\Delta e_n) > 0$ , 处于超调段

CDE段:  $\Delta(\Delta e_n) < 0$ , 处于回调段

通过对上述特征变量的分析可知,特征变量是对系统动态特性的一种定性预定两性结合的描述,它体现了对人们思维的一种模拟。

## 2. 仿人智能开关控制

### 2.1 智能开关控制

开关(on--off)控制又称为 Bang--Bang 控制,在许多电加炉的控制中

被使用。智能开关控制就是根据偏差及其变化趋势来选择不同的开关控制策略。

## 2. 2 智能开关控制器设计示例

设控制过程为氧化还原反应的控制过程，控制量为交流电压  $U(t)$ ，其输出波形如图 2， $T$  为控制精度， $t_0$  为控制器输出时间或开关接通时间。

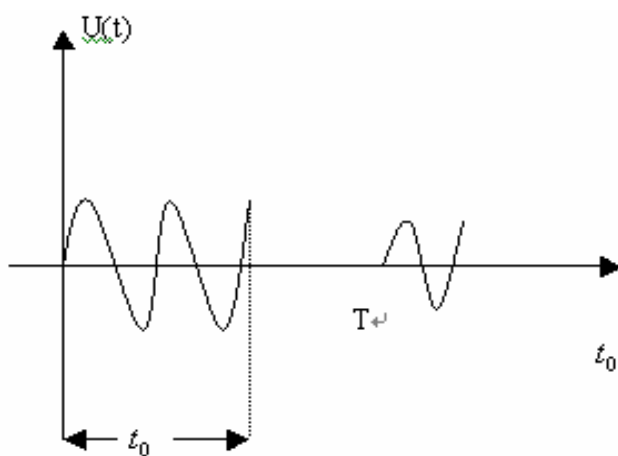


图 2 控制电压波形图

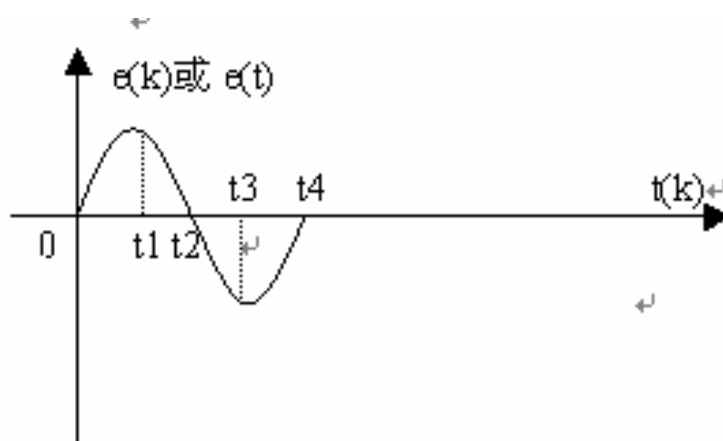


图 3 偏差变化曲线

设控制过程的温度偏差曲线如图 3 所示，其中  $K$  是输出采样时刻， $t(k)$

表示当前时刻的偏差， $\Delta e(k)$ 表示当前前时刻偏差的变化。

考虑到被控过程的大惯性，既具有纯滞后，根据前述的部分相应过程特征变量，采用产生式规则来设计智能开关控制过程如下：

(1) IF  $|e(k)| \geq M$   $e(k) > 0$  THEN  $u(k) = U$   $t_0(K) = T$  (炉温低，加入控制作用)

(2) IF  $|e(k)| \geq M$   $e(k) < 0$  THEN  $u(k) = 0$   $t_0(K) = 0$  (炉温高，切断控制作用)

(3) IF  $e(k) = 0$   $e(k-1) < 0$  THEN  $u(k) = U$   $t_0(K) = K1 t_0(K-1)$   
(炉温正好，但是上一拍炉温低，加控制量以维护)

(4) IF  $e(k) = 0$   $e(k-1) > 0$  THEN  $u(k) = U$   $t_0(K) = t_0(K-1)$  (同上基本一样)

(5) IF  $|e(k)| < E$   $e(k) > 0$   $\Delta e(k) > 0$  THEN  $u(k) = U$   
 $t_0(K) = K2 t_0(K-1)$

(6) IF  $|e(k)| < E$   $e(k) > 0$   $\Delta e(k) < 0$  THEN  $u(k) = U$   
 $t_0(K) = K3 t_0(K-1)$

(7) IF  $|e(k)| < E$   $e(k) > 0$   $\Delta e(k) < 0$  THEN  $u(k) = U$   
 $t_0(K) = K4 t_0(K-1)$

(8) IF  $|e(k)| < E$   $e(k) > 0$   $\Delta e(k) > 0$  THEN  $u(k) = U$   
 $t_0(K) = t_0(K-1)$

(9) IF  $E \leq |e(k)| < M$   $e(k) > 0$   $\Delta e(k) > 0$  THEN  $u(k) = U$   
 $t_0(K) = K5 t_0(K-1)$

(10) IF  $E \leq |e(k)| < M$   $e(k) < 0$   $\Delta e(k) > 0$  THEN  $u(k) = U$

$$t_0(K) = K6 t_0(K-1)$$

(11) IF  $E \leq |e(k)| < M$   $e(k) > 0$   $\Delta e(k) < 0$  THEN  $u(k) = U$

$$t_0(K) = K7 t_0(K-1)$$

(12) IF  $E \leq |e(k)| < M$   $e(k) < 0$   $\Delta e(k) > 0$  THEN  $u(k) = U$

$$t_0(K) = K8 t_0(K-1)$$

其中  $E$  为炉温允许偏差的绝对值， $M$  为给定的常数  $M > E$ ， $t_0(K)$  和  $t_0(K-1)$  分别为本次和上一次控制量的输出时间， $K0-K8$  位根据经验或实验而整定的参数。

### 3. 仿人比例控制器

#### 3.1 仿人比例控制原理

假定对象为线性定常系统，其比例反馈如图 4 所示，当  $K$  较小时一般可以保证系统的稳定性，但会有较大的静差，满足不了稳定将度的要求。这是可采用仿人控制，不断调整给定值，使系统不断逼近期望值。

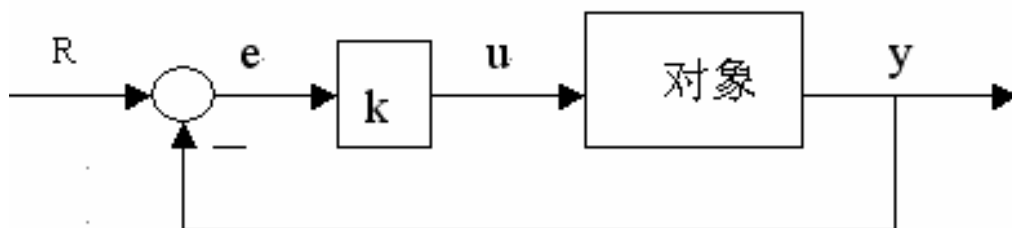


图 4 比例反馈控制系统

具体做法是：若系统进入稳定后，在给一个幅值为  $e_{ss0}$  的阶跃输出，此时给定值变为  $1 + e_{ss0}$ ，系统稳定输出为  $y_{ss0} + y_{ss1}$ ，此时再给一个幅值



为  $e_{ss1}$  的阶跃输入，则产生  $y_{ss0} + y_{ss1} + y_{ss2}$  的稳定输出，依次下去有：

$$y = \sum_{i=0}^n y_{ssi} \xrightarrow{n \rightarrow} k=1 \quad (1)$$

$$y_{ss0} e_{ssn} \xrightarrow{n \rightarrow} 0 \quad (2)$$

实际上只要  $n$  足够大就可以，例如若原比例控制静差  $e_{ss0} = 20\%$ ，则

$y_{ss0} = 0.8$ 。若要求静差度为 1%，则

$$y_n = y_{ss0} + y_{ss1} + y_{ss2}$$

$$= y_{ss0} + y_{ss0} \% 20 + y_{ss0} \% 20 \% 20 = 0.8 + 0.16 + 0.032 = 0.992$$

即可满足要求了。

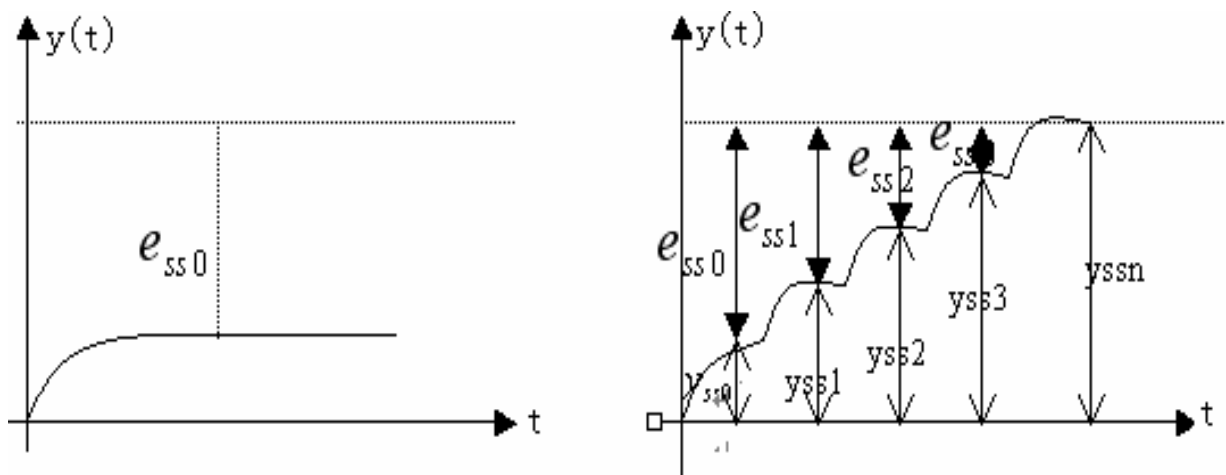


图 5 阶跃响应曲线

### 3. 2 仿人比例控制算法

仿人比例控制系统如下图 6 所示：图中积分开关只有在满足稳定输出时才闭合一次，完成  $e_0^n = e_0^{n-1} + e$  运动后又立即断开，此后  $e_0^n$  不变。

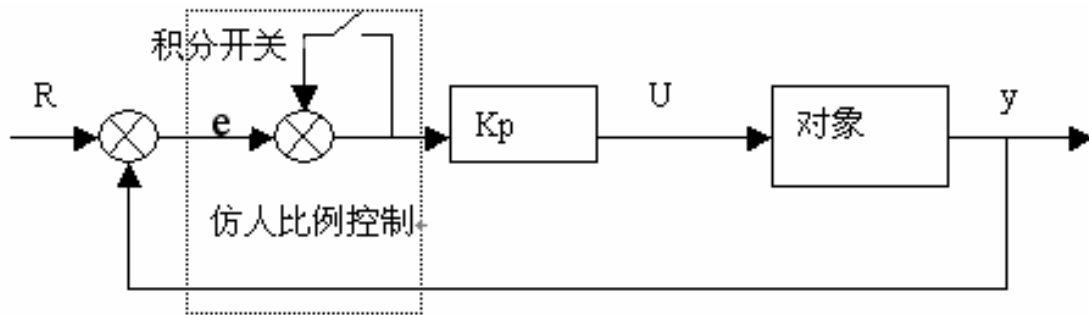


图 6 仿人比例控制

为了判断系统处于稳定状态而不受干扰和扰动的影响，给出如下判据：系统处于稳定的充分条件是存在一个  $k_0$  使得  $k_0 \leq k \leq k_0 + N$  时，

$$|e(k) - e(k-1)| < \delta$$

或者以连续  $N$  满足  $|e(k) - e(k-1)| < \delta$  作为判稳条件。

为实现仿人比例控制方法，可采用如下产生式规则描述：

$$\text{IF } k_0 \leq k \leq k_0 + N, |e(k) - e(k-1)| < \delta \text{ THEN } e_0^n = e_0^{n-1} + e(k)$$

常数  $\delta$  取系统允许稳定差的 1.5—2 倍。 $N$  与对象的时间常数  $P$  和纯滞后  $\tau$  有关。设采样时间为  $T$ ，则  $N \propto (P/T + \tau/T)$

上述控制算法实质上等价于比例控制加智能积分。（未满足条件仅起比例作用，稳定条件满足积分起一次作用）。

上述的仿人比例控制算法=比例+智能积分，有效地解决了传统控制器设计中稳态精度与稳态误差的矛盾。

#### 4. 仿人智能积分控制

##### 4.1 仿人智能积分的原理

在控制系统中引入积分控制作用是减小系统稳态偏差的重要途径，在常规 PID 控制中，其积分是对时间轴上的所有数据的全时效积分，即记

忆了偏差的存在及其变化的全部信息，它有以下几个缺点：

- (1) 积分控制作用针对性弱
- (2) 只要偏差存在，积分就起作用，易于引起积分饱和现象
- (3) 积分参数选择不当即易造成系统的振荡

造成上述积分控制作用不佳的原因在于：它没有很好的体现有经验的操作人员的控决策思想。下图给出了系统 PID 中的积分和人类积分的响应曲线。

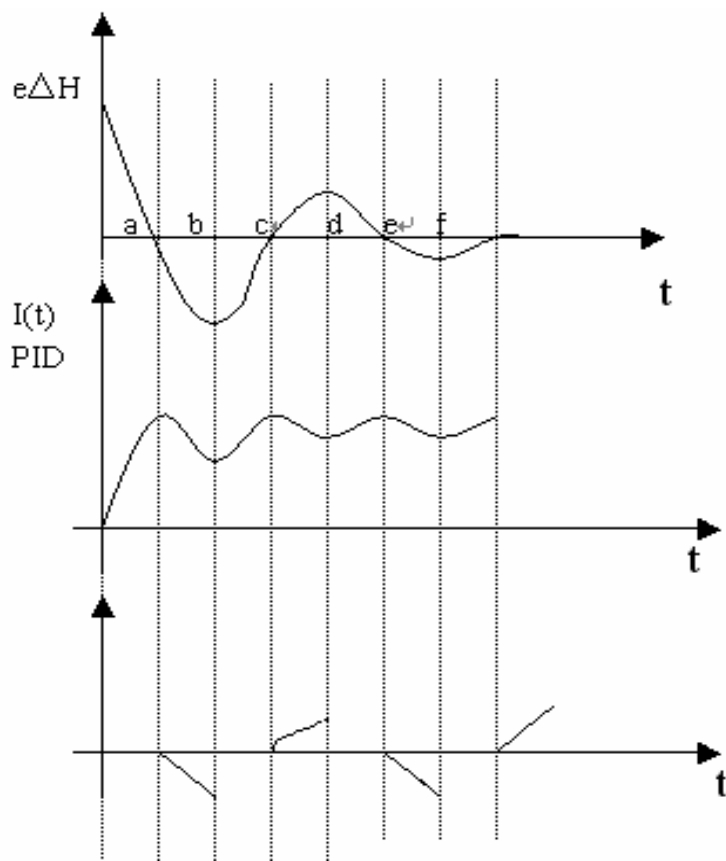


图 7 偏差与积分

对  $ab$  和  $bc$  段而言：在  $ab$  段已出现超调，正确的作用是使控制量在常志上加一个负量控制以压低超调尽快减小偏差，但是 PID 中控制量还是正的，这是因为  $oa$  积分作用过大， $ab$  是负积分难以抵消  $oa$  的影响，故积分控制量仍是正值。从而导致超调不能迅速降低，延长系统的过渡

时间。

为克服上述积分控制作用的缺点，采用第二种积分作用，即在(a,b)(c,d)(e,f)等区间中积分，这时的积分能为积分控制作用及时给出正确的积分控制量，能有效的抑制系统误差的增加，而在(o,a)(b,c)(d,e)区间上停止积分作用，只利用系统借助于惯性向稳态过渡，而此时系统并不失控，它还受到比例等控制作用的抑制。

#### 4. 2 仿人智能控制算法

根据前面的分析，可以得到引入智能积分的判断条件为：

当  $e \Delta e > 0$  时，对偏差进行积分；当  $e \Delta e < 0$  时，不对偏差进行积分。

在考虑到偏差及偏差变化的极值点的情况，可把引入积分和不引入积分的条件综合如下：

(1) if  $e \Delta e > 0$  or ( $\Delta e = 0$  and  $e \neq 0$ ) then 积分

(2) if  $e \Delta e < 0$  or  $e = 0$  then 不积分

这样引入的积分即为智能积分作用，下图 8 为具有智能积分的控制系统结构图。

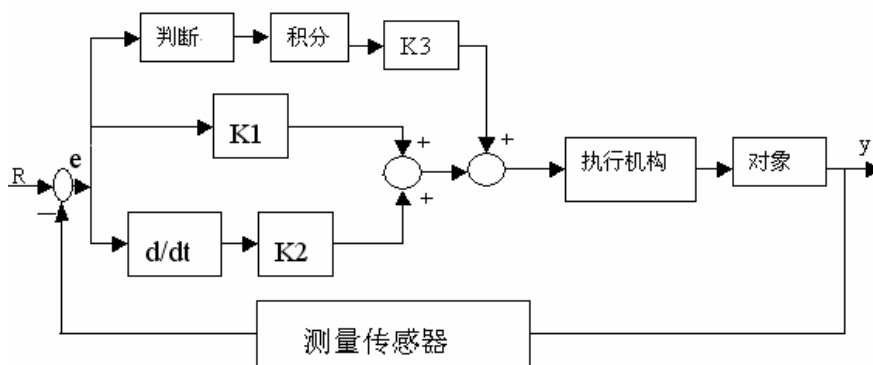


图 8 具有智能控制积分控制的控制系统