



一种自适应 PID 控制算法

赵建华 沈永良

(黑龙江大学自动化系 哈尔滨 150080)

摘要 将现代控制理论的自适应技术与经典的 PID 控制算法相结合,推导出一种自适应 PID 控制算法,并在计算机上对不同对象及时变参数进行了数字仿真.结果表明这种自适应 PID 控制算法的有效性.

关键词 PID 控制算法,自适应,数字仿真.

AN ADAPTIVE PID CONTROL ALGORITHM

ZHAO Jian-Hua SHEN Yong-Liang

(Dept. of Automation, Heilongjiang University, Harbin 150080)

Abstract In this paper, by combining PID control algorithm with adaptive technology of modern control theory, we obtain an adaptive PID control algorithm and make computer simulation for various time varying parametric models. Results of the simulation prove effectiveness of the algorithm.

Key words Adaptive, PID control algorithm, digit simulation.

1 引言

自适应技术是一种新发展起来的控制技术,但一般自适应控制律的设计对系统的数学模型依赖过强,造成了应用中的困难.经典 PID 控制算法作为一般工业过程控制方法应用范围相当广泛,原则上它不依赖于被控对象具体的数学模型,但算法参数整定困难,且参数不具有自适应能力.针对上述问题,本文将自适应技术与经典的 PID 控制算法相结合,推导出一种自适应 PID 控制算法.在系统闭环运行状态下,在线进行算法参数的修正,因而具有较强的自适应性.

2 算法的导出

考虑具有如下传递函数 $G_o(s)$ 和 PID 控制 $D(s)$ 的对象

$$G_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}, \quad D(s) = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s), \quad (1)$$

其中 $K_p = \frac{T_1 + T_2}{K\tau}$, $T_i = T_1 + T_2$, $T_d = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$. 采用单位负反馈控制时, 它可以在保持原有传递滞后的情况下达到输出无偏差^[2].

设采样周期 $T \ll T_1, T_2$, 可近似采用后向差分变换 $s = (1 - z^{-1})T^{-1}$ 及 $e^{-\tau s} = z^{-L}$, L 为 $\tau/T + 0.5$ 的整数部分, 于是由

$$G_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{T_1 T_2 s^2 + (T_1 + T_2)s + 1} = \frac{be^{-L\tau s}}{s^2 + a_1 s + a}, \quad (2)$$

其中 $a_1 = \frac{T_1 + T_2}{T_1 T_2}$, $a = \frac{1}{T_1 T_2}$, $b = \frac{K}{T_1 T_2}$, 其 Z 变换为

$$G_o(z) = \frac{\theta_2 z^{-L}}{1 - \theta_0 z^{-1} - \theta_1 z^{-2}}.$$

设 $f = 1 + a_1 T + a T^2$, $\theta_0 = (2 + a_1 T)/f$, $\theta_1 = -1/f$, $\theta_2 = b T^2/f$, 于是

$$Y(z)(1 - \theta_0 z^{-1} - \theta_1 z^{-2}) = \theta_2 z^{-L} U(z). \quad (3a)$$

再进行 Z 反变换, 则得到对象的离散化形式为

$$y(k) = \theta_0 y(k-1) + \theta_1 y(k-2) + \theta_2 u(k-L). \quad (3b)$$

设 S 为设定值, $e(k) = S - y(k)$, 连续 PID 控制算法可离散化为

$$u(k) = K_p \{e(k) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + \frac{T_d}{T} [e(k) - e(k-1)]\}.$$

设 $A(k) = -(K_p + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T})$, $B(k) = K_p + 2\frac{T_d}{T}$. 对 $L=1$, 记 $u_2(k) = u(k) - A(k)y(k) - [A(k-1) + B(k)]y(k-1)$; 对 $L=2$, 记 $u_2(k) = u(k) - A(k)y(k)$; 对 $L>2$, 记 $u_2(k) = u(k)$.

代入(3)式, 有

$$\text{对 } L=1, \quad y(k) = [\theta_0 + \theta_2 A(k-1)]y(k-1) + \{\theta_1 + \theta_2 [A(k-2) + B(k-1)]\}y(k-2) + \theta_2 u_2(k-1);$$

$$\text{对 } L=2, \quad y(k) = \theta_0 y(k-1) + [\theta_1 + \theta_2 A(k-2)]y(k-2) + \theta_2 u_2(k-2);$$

$$\text{对 } L>2, \quad y(k) = \theta_0 y(k-1) + \theta_1 y(k-2) + \theta_2 u_2(k-L);$$

统一记作 $y(k) = \theta_{0,L} y(k-1) + \theta_{1,L} y(k-2) + \theta_2 u_2(k-L)$.

易见 $u_2(k)$ 的阶数远大于对象的阶数, 所以在闭环状态下, 对象(3b)的参数是可辨识的(参见文献[3]第5章第6节). 对不同的 L , 可采用文献[3]中第7章第3节的方法进行参数辨识, 得到的估计参数记为 $\hat{\theta}_{0,L}, \hat{\theta}_{1,L}, \hat{\theta}_2$, 进一步可以得到如下的第 K 次估计参数:

$$\text{对 } L=1, \text{ 有 } \hat{\theta}_0 = \hat{\theta}_{0,1} - \hat{\theta}_2 A(k-1), \quad \hat{\theta}_1 = \hat{\theta}_{1,1} - \hat{\theta}_2 [A(k-2) + B(k-1)];$$

$$\text{对 } L=2, \text{ 有 } \hat{\theta}_0 = \hat{\theta}_{0,2}, \quad \hat{\theta}_1 = \hat{\theta}_{1,2} - \hat{\theta}_2 A(k-2);$$

$$\text{对 } L>2, \text{ 有 } \hat{\theta}_0 = \hat{\theta}_{0,L}, \quad \hat{\theta}_1 = \hat{\theta}_{1,L}.$$

再由 $(\theta_0, \theta_1, \theta_2)$ 与 (a_1, a, b) 及 (K_p, T_i, T_d) 之间的关系式, 可以得到如下第 K 次估计值:

$$\hat{a}_1(k) = \frac{-[\hat{\theta}_0 + 2\hat{\theta}_1]}{\hat{\theta}_1 T}, \quad \hat{a}(k) = \frac{\hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 - 1}{T^2 \hat{\theta}_1}, \quad \hat{b}(k) = \frac{\hat{\theta}_2}{T^2 \hat{\theta}_1},$$

$$\hat{K}_p(k) = \frac{\hat{\theta}_0 + 2\hat{\theta}_1}{\hat{\theta}_2 L}, \quad \hat{T}_i(k) = \frac{(\hat{\theta}_0 + 2\hat{\theta}_1)T}{1 - \hat{\theta}_0 - \hat{\theta}_1}, \quad \hat{T}_d(k) = \frac{-\hat{\theta}_1 T}{\hat{\theta}_0 + 2\hat{\theta}_1}. \quad (4)$$

3 算法的推广

下面将算法推广到低阶系统. 考虑具有如下开环传递函数

$$G_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{s(T_1 s + 1)} = \frac{be^{-\tau s}}{s^2 + a_1 s} \quad (5)$$

的对象, 相应地有 $D(s) = K_p(1 + T_d s)$, $G_o(z) = \frac{\theta_2 z^{-L}}{1 - \theta_0 z^{-1} - \theta_1 z^{-2}}$, 其中 $a_1 = 1/T_1$, $a = 0$, $b = K/T_1$, $K_p = 1/(K\tau)$, $T_d = T_1$, $T_i = \infty$, $f = 1 + a_1 T$, $\theta_0 = (2 + a_1 T)/f$, $\theta_1 = -1/f$, $\theta_2 = bT^2/f$. 采用同样的计算得到

$$\hat{a}_1(k) \approx a_1, \quad \hat{a}(k) \approx 0 = a, \quad \hat{b}(k) \approx b, \quad \hat{K}_p(k) \approx 1/(K\tau), \quad \hat{T}_i(k) \approx \infty, \quad \hat{T}_d(k) \approx T_1.$$

可见对系统(5), 上节的算法是完全有效的.

完全类似地, 可将算法推广到一阶惯性环节带纯滞后及积分环节带纯滞后的系统. 此算法虽以一二阶系统为对象导出, 但在一般工业过程中, 许多高阶系统实际上可以近似为一阶或二阶系统^[1], 特别是由算法的自适应性, 使其可适用于更广一类系统.

4 仿真结果

例1. 考虑如(2)式模型为

$$G_o(s) = \frac{b(t)e^{-0.4s}}{s^2 + a_1(t)s + a(t)},$$

其中 $a_1(t) = 3 - 0.0004t$, $a(t) = 1.5 + 0.0004t$, $b(t) = 1.92 + 0.001t$.

取 $T = 0.2$, S 为方波, 按(4)式采用静态 PID 参数 $K_p = 3.91$, $T_i = 2$, $T_d = 0.33$, 其初始为图1(a)令人满意; 当 $t = 920$ 秒时, 由于模型参数变化, 系统已变为二阶震荡系统, 状态图1(b)已处于震荡状态; 当采用自适应 PID 参数, 其初始为图2(a), 当运行到 $t = 920$ 秒时, 由于 PID 参数已调整为 $K_p = 2.83$, $T_i = 8.52$, $T_d = 0.25$, 其运行状态为图2(b), 令人满意. 这说明算法对一般的二阶系统也是有效的.

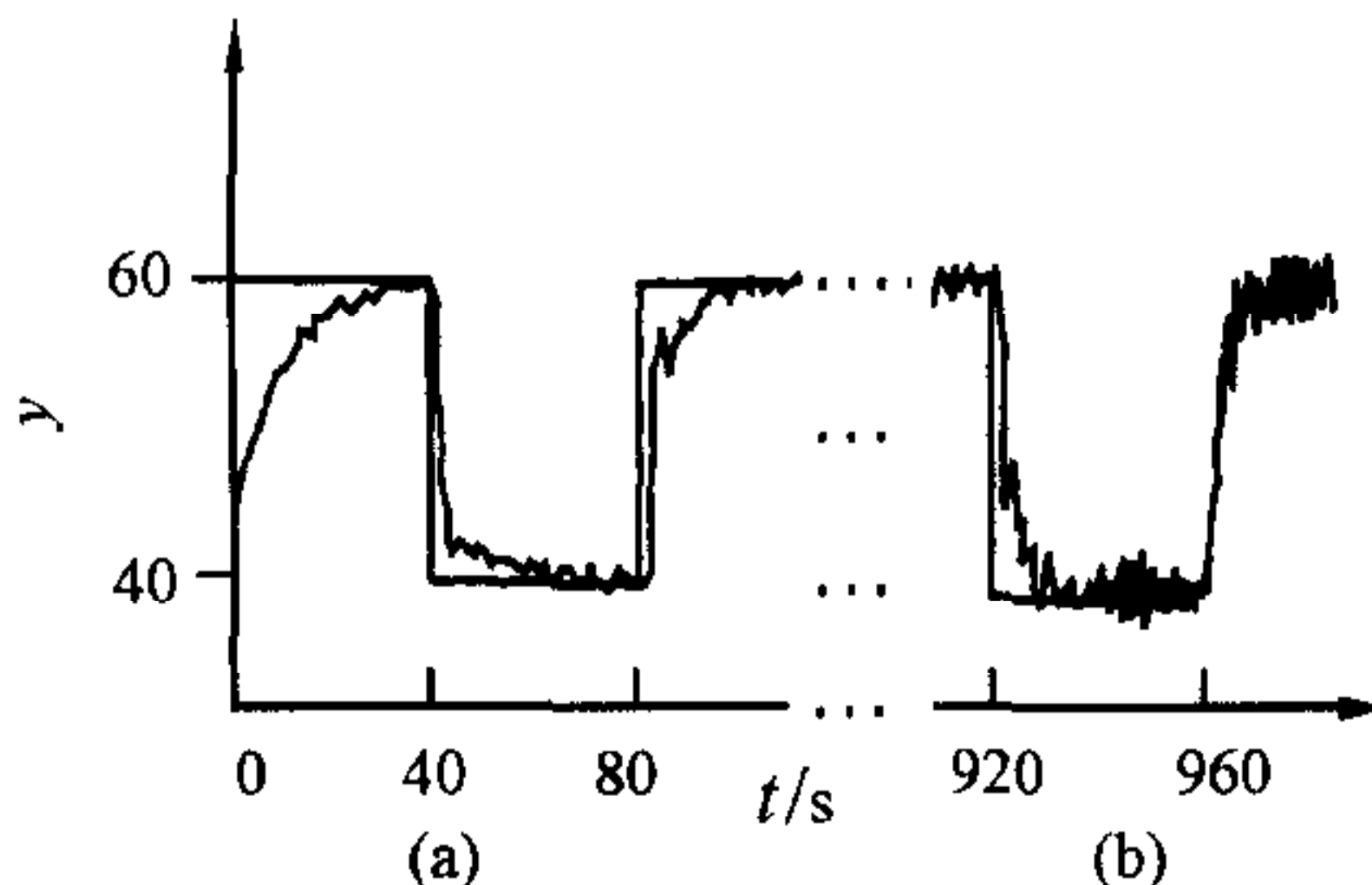


图1

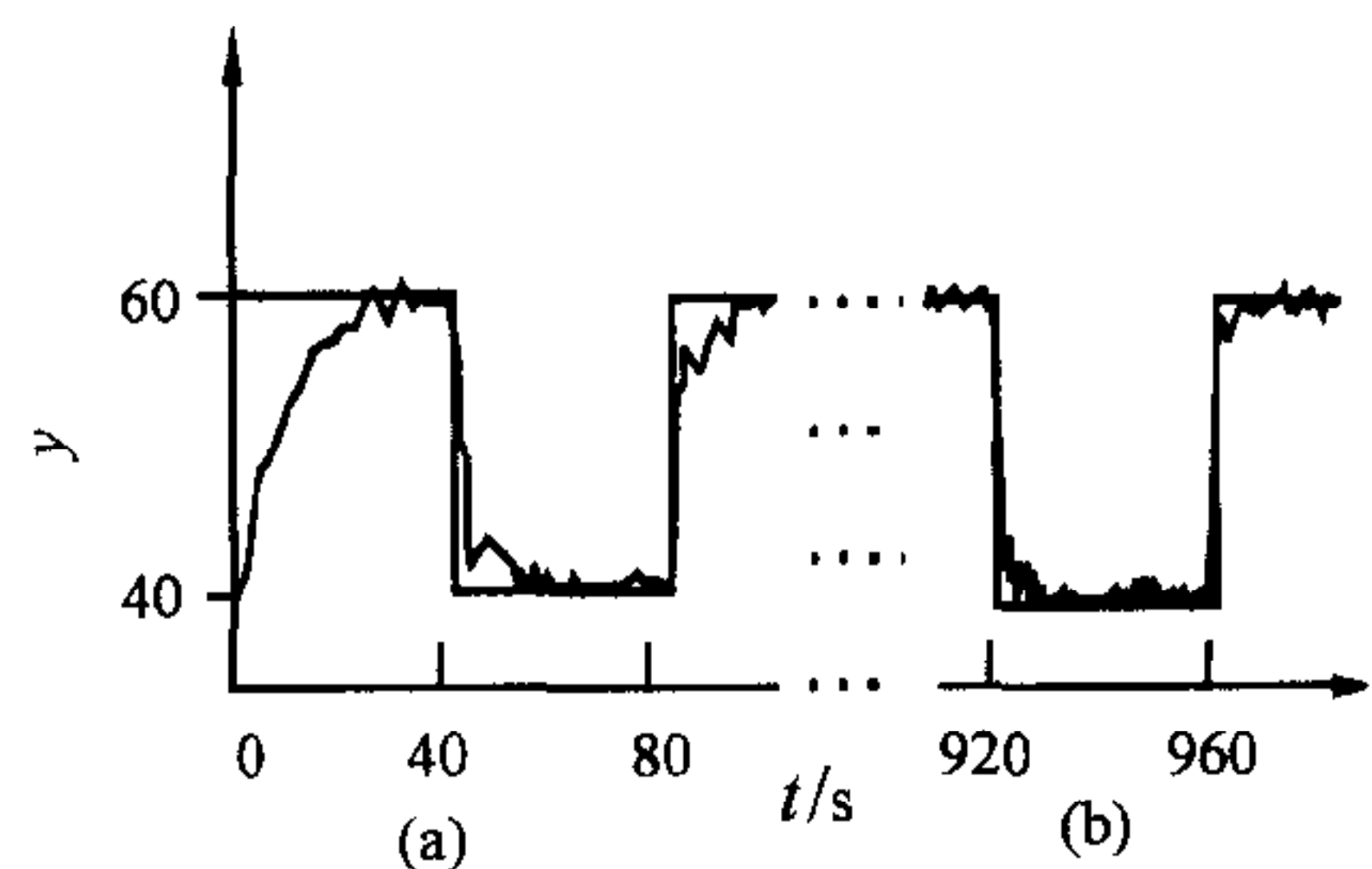


图2

例2. 考虑文献[4]中第137页的二阶模型

$$G_o(s) = \frac{1.0e^{-0.78s}}{4s^2 + 3.6s + 1}, \quad G_o(z) = \frac{z^{-5}(0.004709 + 0.004434z^{-1})}{1 - 1.8261z^{-1} + 0.8353z^{-2}}, \quad (6)$$

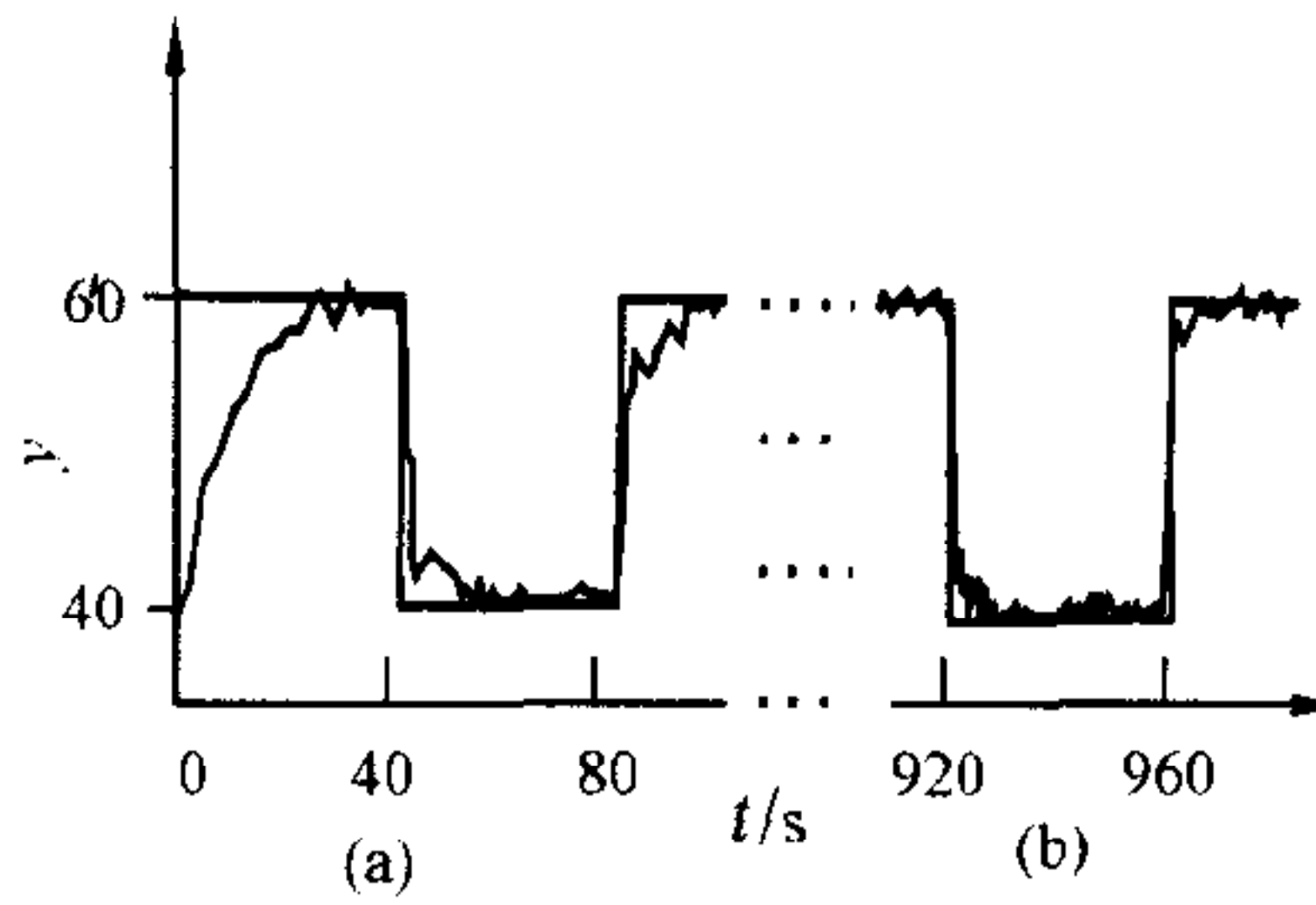


图3

采用自适应PID控制,初始参数为 $K_p=0.3, T_i=5, T_d=0$,其运行状态如图3所示,当 $t=160$ 秒时, $K_p=0.449, T_i=2.783, T_d=0.264$,可见随着参数的调整,系统响应逐步改善.这说明对具有零点的Z传递函数(6),用(3a)式来近似的算法是可行的.

除上述仿真例子外,还进行了各种其它类型的仿真,结果不但说明了自适应PID算法的有效性,还表明这一算法还具有自整定功能,有效地减轻了人工整定PID参数的难度,具有很好的应用前景.

人工整定PID参数的难度,具有很好的应用前景.

参 考 文 献

- 1 庞国仲编.自动控制原理.合肥:中国科技大学出版社,1993
- 2 冯培梯编著.计算机控制技术.杭州:浙江大学出版社,1990
- 3 哥德温 G C,潘恩 R L.动态系统辨识.北京:科学出版社,1983
- 4 史密斯 C L.数字计算机过程控制.北京:石油工业出版社,1982

赵建华 1952年生,1984年于黑龙江省应用数学研究所现代控制理论专业获硕士学位,副研究员.从事系统辨识、过程控制及计算机应用的研究工作.

沈永良 1964年生,1986年于天津南开大学电子科学系获学士学位,副教授.从事自动化仪表及计算机应用的研究工作.