



# 一种自校正控制器及其应用

刘业良

(山东建工学院机电系 济南 250014)

## 摘 要

以印染厂的染色机为背景,基于频域提出了一种鲁棒性较强的自校正控制算法。通过多次现场调试,得到了几条重要控制规则,该方法已经成功地应用于某印染厂的染整控制。

**关键词:** 自校正,频域,染整过程。

## 1 引言

采用蒸汽直接加热的高温高压卷染机为一时变对象,位式控制或常规 PID 控制很难满足严格的工艺要求,采用自适应控制是合理的。自校正 PID 控制器综合了自适应和常规 PID 控制的优点,获得了广泛应用,目前大多数自校正 PID 控制器基于极点配置的设计方法,能否利用简单直观的方法进行设计是本文研究的重点。Banyasz, C.<sup>[1]</sup> 等人基于频域法提出的直接自校正 PID 控制器满足以上要求,但未得到实际应用。作者针对印染控制对象,对文 [1] 中的方法作了进一步改进和完善。Aström<sup>[2]</sup> 等人提出,任何一种自校正控制器很难单独完成一个实时控制任务,该方法亦表现出了其弱点。作者经过大量调试,总结出了能够有力支持本控制算法的控制规则。

## 2 自校正控制器的设计

### 2.1 设计方法

常规 PID 调节器的离散传递函数为

$$G_P(z^{-1}) = \frac{S(z^{-1})}{1 - z^{-1}} \quad (1)$$

若使 PID 调节器成为自适应调节器,须使  $S(z^{-1})$  自适应。

考虑到周围环境的扰动,控制对象可用一阶 ARMAX 模型描述。

$$y(k) = \frac{z^{-d}B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u(k) + \frac{C(z^{-1})}{A(z^{-1})} \omega(k) \quad (2)$$

在控制现场观察到,通过软硬件采取一些抗干扰措施,噪声分布可近似认为是白噪声,因此

$$\text{取 } C(z^{-1}) \doteq 1. \quad (3)$$

$C(z)$  对控制器参数的选择没有直接影响,但对控制对象参数估计的收敛性以及估计方法的选择影响较大。

设自校正 PID 控制器具有形式

$$G_P(z^{-1}) = \frac{S(z^{-1})}{1 - z^{-1}} \cdot \frac{1}{F(z^{-1})}. \quad (4)$$

$F(z^{-1})$  以及  $S(z^{-1})$  的确定原则如下:

- 1)  $F(z^{-1})$  应能抵消对象特性的不希望零点;
- 2)  $F(z^{-1})$  应使控制器具有时滞补偿功能;
- 3)  $S(z^{-1})$  应使调节器参数与对象参数匹配,

$$S(z^{-1}) = g_0 \hat{A}(z^{-1}). \quad (5)$$

对  $B(z^{-1})$  进行分解

$$\hat{B}(z^{-1}) = \hat{B}_w(z^{-1}) \cdot \hat{B}_d(z^{-1}), \quad (6)$$

$\hat{B}_w(z^{-1})$  为首一稳定多项式,  $\hat{B}_d(z^{-1})$  为不稳定多项式。本文按一阶系统进行控制器设计,则

$$\hat{B}_w(z^{-1}) = 1, \hat{B}_d(z^{-1}) = \hat{b}_0. \quad (7)$$

根据以上分析,可以提出控制系统的结构图,如图 1 所示。

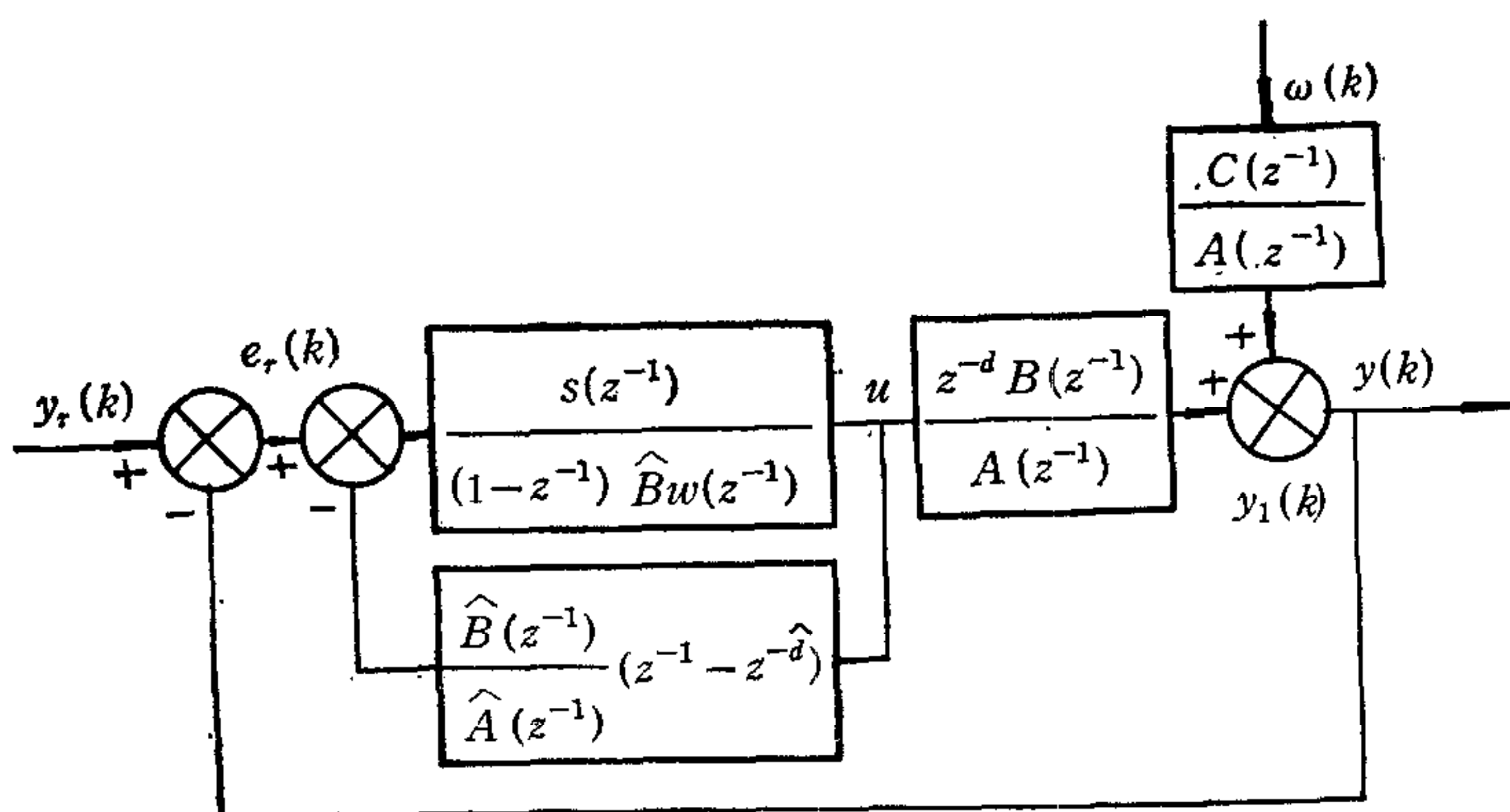


图 1 控制系统方框图

设计时认为估计无偏,则开环传函为

$$G(z^{-1}) = \frac{z^{-\hat{d}} g_0 \hat{B}_d(z^{-1})}{1 - z^{-1}} \cdot \frac{1}{1 + g_0 \hat{B}_d(z^{-1})(z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{(-\hat{d}+1)})}. \quad (8)$$

记

$$F_1(z^{-1}) = 1 + g_0 \hat{B}_d(z^{-1})(z^{-1} + z^{-2} + \dots + z^{(-\hat{d}+1)}). \quad (9)$$

根据 Bode 图设计法,若取  $\gamma = \pi/3$ , 通过合理选择采样周期  $T$  及近似,可得控制算法

$$u(k) = (1 - g_0 \hat{b}_0)u(k-1) + g_0 \hat{b}_0 u(k-\hat{d}) + g_0 e_r(k) + g_0 \hat{a}_1 e_r(k-1), \quad (10)$$

其中

$$g_0 \hat{b}_0 \doteq \frac{1}{\hat{d}}, e_r(k) = y_r(k) - y(k). \quad (11)$$

## 2.2 控制器的鲁棒性分析

控制算法的鲁棒性主要是指对控制对象的结构、延迟、参数变化以及环境干扰的适应能力。

设  $d_c$  是指在设计的增益交界频率  $\omega_c$  不变, 控制器按整数时滞  $\hat{d}$  设计时, 保持系统稳定性所允许的实际对象整数时滞  $d$  的最大值, 不难证明, 当  $\gamma = 0$  时, 有

$$d_c \doteq 3\hat{d} - 1. \quad (12)$$

因此, 本控制器对整数时滞的变化具有很强的鲁棒性。实验表明, 分数时延对系统的稳定性影响不大。

不难分析, 当对象的其它特性变化时, 由于实时辨识对象参数具有较大的  $\gamma$ , 对象仍具有较强的稳定鲁棒性。

## 2.3 参数辨识算法

通过比较分析, 采用变遗忘因子加权递推最小二乘算法是合理的。

## 3 自校正控制器的支持规则

实际控制中所遇到的问题是如何启动参数辨识软件以及当辨识次数很多时如何处理发散问题。设预估延时为  $\hat{d}$ , 控制周期数为  $k$ , 协方差阵  $P(k)$  的特征值为  $\lambda(k)$ , 对象的辨识参数为  $a_1$  及  $\hat{b}_0$ , 则控制规则

- 1) IF  $k < \hat{d}$  THEN 初始化数据;
- 2) IF  $k \geq \hat{d}$  THEN 调参数辨识;
- 3) IF  $\lambda(k) > 0$  THEN 正常辨识;
- 4) IF  $\lambda(k) \leq 0$  THEN 重新初始化;
- 5) IF  $a_1 > 0$  OR  $\hat{b}_0 \leq 0$  THEN 保留原参数, 重新初始化;
- 6) IF  $-1 < a_1 < 0$  AND  $\hat{b}_0 > 0$  THEN 正常辨识。

控制精度主要取决于控制器参数和控制对象参数是否匹配, 控制方法是当动态偏差处于某一范围内时, 采用自校正算法, 否则施加较强的控制量, 以便及时拉回。

## 4 应用实例及结论

山东淄博丝绸印染厂和费县毛纺织厂有多台高温高压和常温常压染色机, 采用作者基于以上方法开发完成的 GAD-01 型通用自适应控制器, 为了提高系统可靠性, 采用了作者提出的用简单可靠的位式气动执行器实现微量控制算法的方法<sup>[3]</sup>, 两个厂分别于 1993 年和 1996 年投入运行, 产品一等品率均在 99% 以上。图 2 和图 3 给出了系统在常温常压和高温高压下的运行曲线,  $y_r$  为给定值,  $y$  为被调参数, 可以看出, 进入升温保温后, 系统能准确跟踪工艺给定值曲线。据淄博丝绸印染厂 1994 年统计, 每台控制器满负

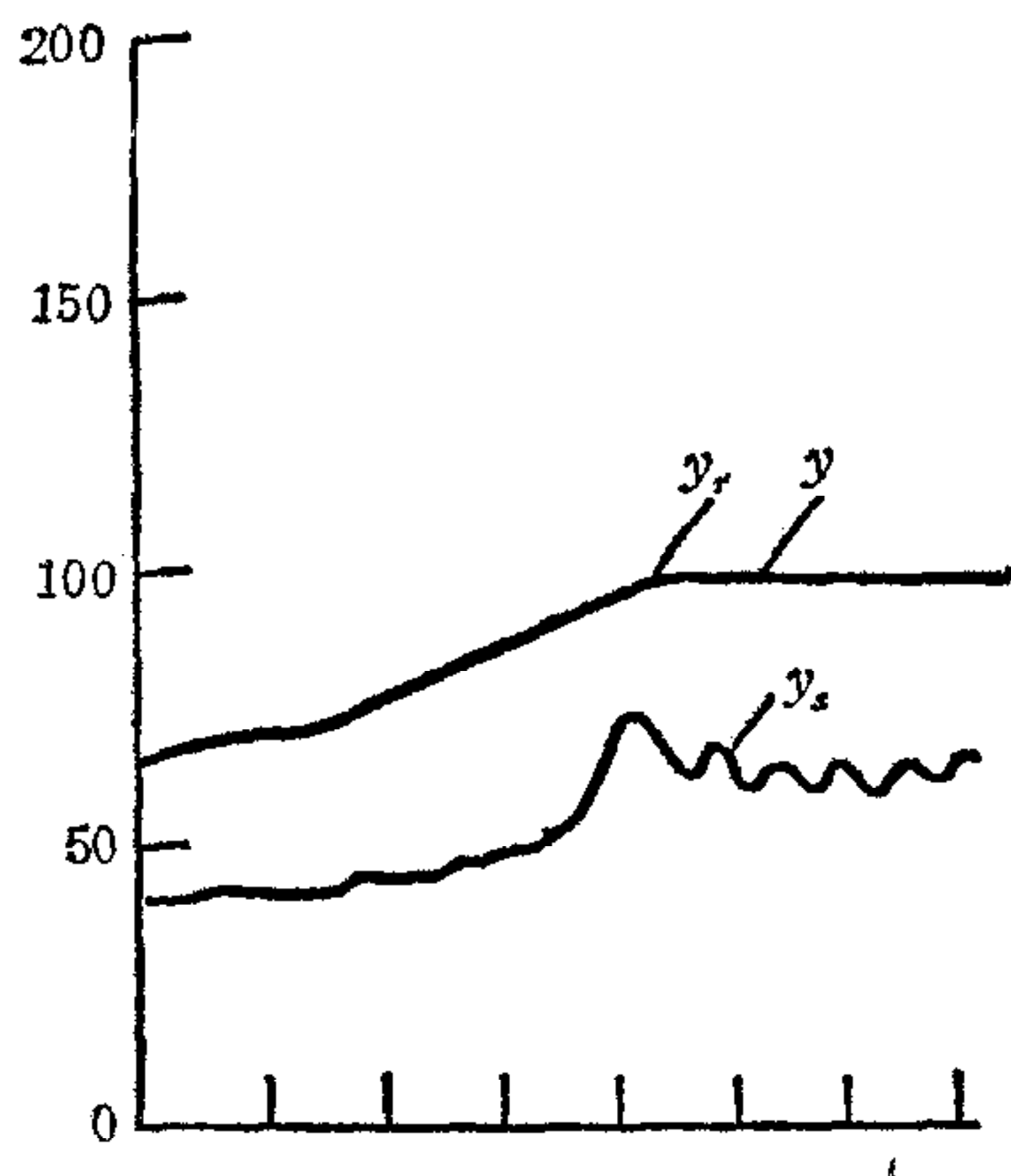


图 2 常温常压控制曲线

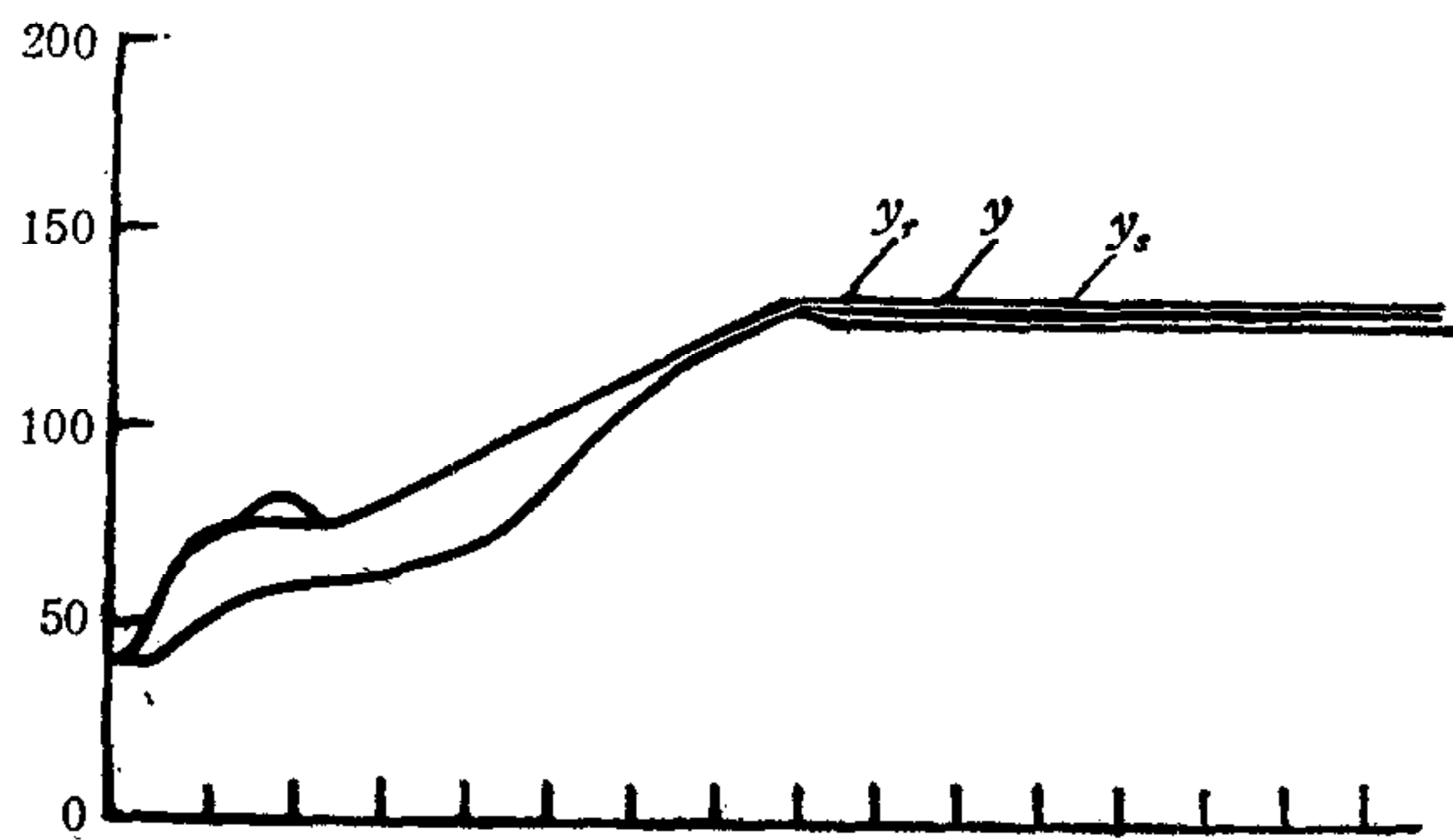


图 3 高温高压控制曲线

荷运行一年可年增经济效益约 20 万元,而控制器成本只有 1 万元。

### 参 考 文 献

- [1] Banyasz C, *et al.* Direct methods for self-tuning PID regulators. 6th IFAC Symp. on ISPE, 1982, 1249—1254.
- [2] Astrom K J, *et al.* Expert control. *Automatica*, 1986, 22(3): 277—286.
- [3] 刘业良等. 一种利用位式执行机构实现微量控制算法的方法. 中国控制会议论文集. 中国科学技术出版社, 1994. 8, 1043—1048.

## A SELF-TUNING CONTROLLER AND ITS APPLICATION

LIU YELIANG

(Dept. of Electrical Engineering, Shandong Civil Engineering College Jinan 250014)

### ABSTRACT

A self-tuning robust controller is proposed based on frequency domain. A few important control rules are also obtained by a number of experiments on spot. The above method has been applied to dyeing process control.

**Key words:** Self-tuning, frequency domain, dyeing process.