

采用自校正调节器的调速系统的研究*

许世范 朱湘冀 谭得健

(中国矿业大学自动化系, 徐州)

附錄

本文给出一个用自校正调节器实现的直流调速系统。仿真及实验结果表明系统对负载扰动及参数变化具有很强的适应能力。

一、引言

近年来自校正调节器 (STR) 在很多工业领域中得到应用^[1,4], 引起了人们的重视。但到目前为止尚未见到其在调速系统中应用的先例。本文以具有较强的不确定性的挖掘机控制为背景, 将自校正调节器用到直流电机调速^[2], 并由 TP86A 十六位微机实现, 取得了满意的控制效果。

自校正调速系统的简图如图1所示^[3]。其离散数学模型为^[5]

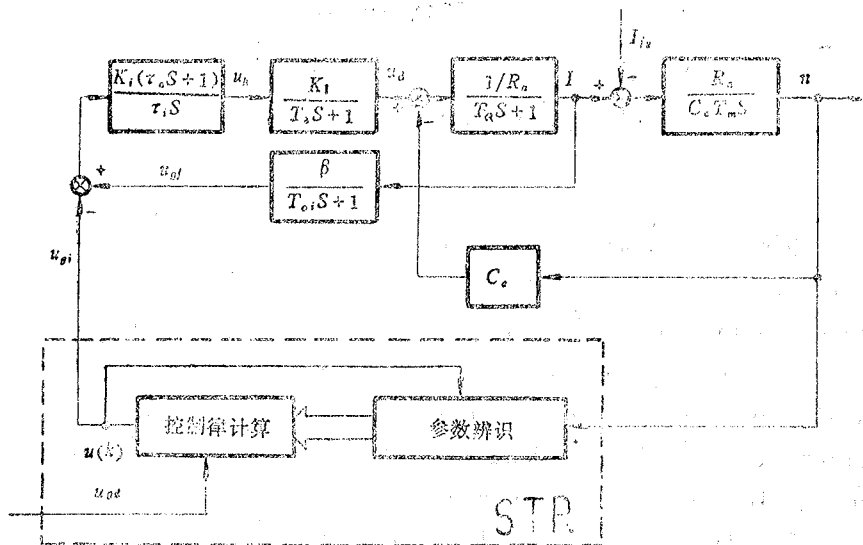


图1 自校正调速系统结构图

n 电机速度; n_{gd} 速度给定; u_{gi} 电流给定; u_d 电枢电压; I 电枢电流; I_L 负载电流;
 R_a 电枢电阻; K_i 可硅控放大倍数; T_a 电磁时间常数; T_m 机电时间常数; T_s 平均失控时间;
 K_i 、 τ_i 比例、积分常数; T_{oi} 流调滤波时间常数; β 电流反馈系数; u_{gf} 电流反馈

*煤炭部自然科学基金资助的项目。

本文于1987年8月20日收到。1988年7月6日收到修改稿。

$$n(k+1) = a_1 n(k) + a_2 n(k-1) + a_3 n(k-2) + b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2) + c_0 I_{fz}(k+1) + c_1 I_{fz}(k) + c_2 I_{fz}(k-1) + \lambda \xi(b+1), \quad (1)$$

式中, $a_1 = a_3 + 2$, $a_2 = -(2a_3 + 1)$, $a_3 = \exp\{-T/\alpha T_{zi}\}$,

$$b_0 = \frac{R_a}{c_e T_m \beta} [T - \alpha \cdot T_{zi} (1 - a_3)],$$

$$b_1 = 2b_0 - \frac{R_a T}{c_e T_m \beta} (1 - a_3),$$

$$b_2 = -b_0 + \frac{R_a T}{c_e T_m \beta} (1 - a_3),$$

$$c_0 = \frac{-R_a}{c_e T_m}, \quad c_1 = c_0 (a_3 + 1), \quad c_2 = -c_0 \cdot a_3.$$

T 为采样周期, $[\xi(k)]$ 为扰动序列, λ 为扰动强度。

二、自校正调节器设计与仿真研究

将式(1)中的 $I_{fz}(k)$ 各项作为扰动处理, 则系统的预测模型为

$$n(k+1) = \alpha_1 n(k) + \alpha_2 n(k-1) + \alpha_3 n(k-2) + \beta_0 u(k) + \beta_1 u(k-1) + \beta_2 u(k-2). \quad (2)$$

此时系统的自校正调节器为

$$u(k) = \frac{1}{\beta_0} [n_d - \hat{\alpha}_1 n(k) - \hat{\alpha}_2 n(k-1) - \hat{\alpha}_3 n(k-2) - \hat{\beta}_1 u(k-1) - \hat{\beta}_2 u(k-2)], \quad (3)$$

式中, $\hat{\alpha}_1$ 、 $\hat{\alpha}_2$ 、 $\hat{\alpha}_3$ 及 $\hat{\beta}_1$ 、 $\hat{\beta}_2$ 用递推最小二乘法进行在线估计, β_0 不参加辨识, 需事先给定。因此系统要在线辨识5个参数。

为增强系统调节品质, 采样时间应尽可能短, 十六位机在线进行5个参数的最小二乘估计所用时间于调速系统而言甚长, 不能满足系统对采样时间的要求, 因此采用降阶预测模型代替原预测模型。降阶预测模型为

$$n(k+1) = \alpha'_1 n(k) + \alpha'_2 n(k-1) + \beta'_0 u(k) + \beta'_1 u(k-1). \quad (4)$$

自校正调节器为

$$u(k) = \frac{1}{\beta'_0} [n_d - \hat{\alpha}'_1 n(k) - \hat{\alpha}'_2 n(k-1) - \hat{\beta}'_1 u(k-1)]. \quad (5)$$

采用降阶模型后应辨识的参数由5个减少到3个, 缩短了在线辨识的时间, 为快速系统的自校正控制实现提供了保证。

所用被控对象为Z₂C—11型直流电动机, 其参数如表1所示。

表 1

额定电压	u_{ed}	110 V	电磁时间常数	T_a	0.00136(s)
额定电流	I_{ed}	5.4 A	机电时间常数	T_m	0.3(s)
额定转速	n_{ed}	1500 rpm	平均失控时间	T_s	0.00167(s)
电枢电阻	R_a	5.9	流调滤波时间常数	T_{oi}	0.005(s)
可控硅放大倍数	K_t	42.86	速调滤波时间常数	T_{on}	0.005(s)
允许过载系数	λ	1.5		C_e	3.84

根据电机参数由式(1)得到系统的实际数学模型为

$$\begin{aligned}
 n(k+1) = & 2.56n(k) - 2.12n(k-1) + 0.56n(k-2) + 1.33 \times 10^{-2}u(k) \\
 & - 2.34 \times 10^{-3}u(k-1) - 1.1 \times 10^{-2}u(k-2) - 5.14I_{fz}(k+1) \\
 & + 8.01I_{fz}(k) - 2.87I_{fz}(k-1) + \lambda \cdot \xi(k+1),
 \end{aligned} \quad (6)$$

其中, 采样周期 T 为5.5毫秒。

为了证实采用自校正调节器进行直流电机速度控制的可行性, 及进一步研究采用降阶预测模型时系统的性能, 我们进行了仿真研究。 β_0 取0.0133, 递推最小二乘辨识中的遗忘因子取0.98, 另外要对控制信号进行限幅, 对速度信号的变化率进行必要的限制。图2及图3给出了计算机仿真结果。图2表明采用自校正调节器进行速度控制不但可行, 而且采用降阶预测模型时系统亦有满意的动态特性。图3给出了采用降阶预测模型时参数变化对速度的影响, 表明系统具有参数变化的适应能力。

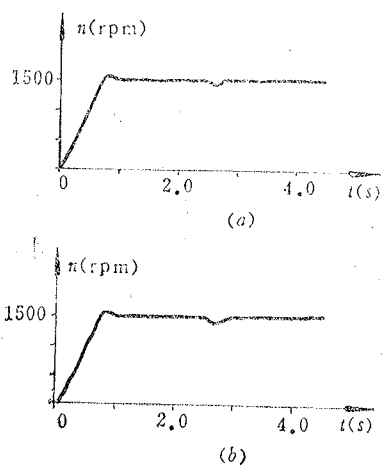
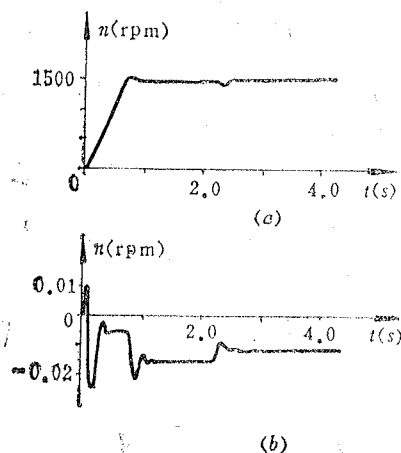


图2 启动及突加负载时的速度响应

(a) 原预测模型速度响应;

(b) 降阶预测模型速度响应

图3 $b_i (i=0, 1, 2)$ 减小1/3时的速度响应

(a) 参数变化时的速度响应;

(b) $\hat{\beta}_1$ 的变化情况

三、实 验 结 果

我们利用TP86A十六位单板机对上述电机拖动系统实现了自校正控制。根据仿真结果采用降阶预测模型。参数辨识采用递推最小二乘法，遗忘因子取0.98。

为便于比较系统调速性能，我们对同一控制对象进行了数字PI调速系统的设计。实验中进行了如下测试：

1. 负载扰动

图4分别给出了自校正调速系统和PI调速系统 突加额定负载时的速度及电流响应波形。表2给出了动态速降及恢复时间的具体数值。

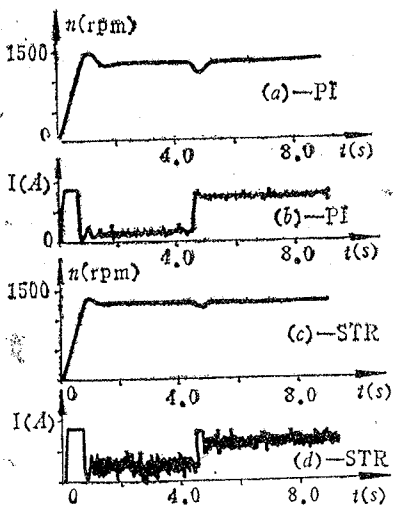


图4 双环调速系统及自校正调速系统启动及突加负载时的速度及电流响应

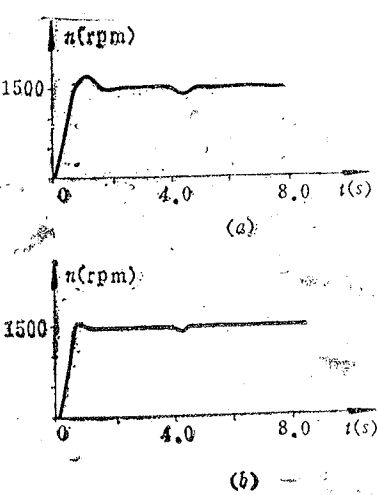


图5 参数变化时的速度响应
(a) 双环调速系统速度响应；
(b) 自校正调速系统速度响应

表 2

指 标	控制方法	双环调速系统	自校正调速系统
动 态 速 降		35 rpm	20 rpm
恢 复 时 间		1.30(s)	0.37(s)

2. 参数扰动

在实验中人为改变电枢回路电阻。图5分别给出了两种控制方式下增大电枢回路电阻时的速度响应波形。

3. β_0 的选择

β_0 的大小直接影响自校正调速系统的品质,选取合适的 β_0 是系统调试过程中的主要工作之一。 β_0 是通过实验得到的。

四、结 论

1. 对具有不确定性的控制对象采用自校正调速系统,其动态指标优于双环调速系统,且对参数变化有较强的适应能力。

2. 自校正调速系统采用降阶预测模型是可行的,在不影响系统性能的同时,缩短了计算时间。

3. 自校正调节器完全可以用于电机调速这类快速系统。特别是对于象挖掘机那样一类受随机因素影响,系统参数不确定,负载大范围变化的对象是一种潜在的有价值的控制方案。

参 考 文 献

- [1] C.J.哈里斯, S.A.比林斯主编,李清泉译,自校正和自适应控制,科学出版社,北京, (1986)。
- [2] 许世范等,自适应控制在挖掘机应用的探讨,中国矿业学院学报, 3, (1988)。
- [3] 陈伯时主编,自动控制系统,机械工业出版社,北京, (1983), 第五章。
- [4] 袁著祉等编著,现代控制理论在工程中的应用,科学出版社,北京, (1985)。
- [5] R.G.杰查沃特著,刘兴良等译,现代数字控制系统,科学出版社,北京, (1985), 54-93。

The Study of Speed Regulation System Using the Self-tuning Regulator

Xu Shifan, Zhu Xiangji, Tan Dejian

(Department of Automatic Control, China University of Mining and
Technology, Xuzhou)

Abstract

This paper puts forward a Self-tuning Speed Regulation System for a D. C. motor. The simulation and experiments show that the system has the adaptive ability to the load disturbance and the parameter's change.