

可编程通用数字比例放大器*

杨建波, 袁月峰, 叶璐佳

(中国计量学院 质量与安全工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 提出了一种参数和功能均可编程的数字比例放大器, 既可用于气动比例减压阀, 也可作为数控横流源用于力控型比例电磁铁控制。硬件以 Atmega16 单片机为核心, 结合 PWM 开关型功率驱动电路及传感器信号调理电路, 实现了比例电磁铁线圈电流测量和气动减压阀压力测量, 软件采用数字 PID 算法做闭环调节。该控制器其突出特点是 PWM 频率、最大驱动电流及 PID 参数等均可通过 RS485 总线编程烧写在单片机的 EEPROM 内。该放大器可满足不同场合的控制要求。

关键词: 气动技术; 比例放大器; 数字 PID

中图分类号: TN222 **文献标识码:** A

A programmable general purpose digital proportional amplifier

YANG Jian Bo, YUAN Yue Feng, YE Lu Jia

(College of Quality and Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Proportional amplifier is one of key components in hydraulic and pneumatic proportional control technology. A general purpose digital proportional amplifier was presented in this paper, with the feature of parameter and function being programmable. It could be used not only in pneumatic pressure regulator, but also as a digital control constant current source in a force control solenoid relay. The hardware consisted of Atmega16 micro-controller core, a PWM switch type solenoid relay driver and other signal conditioning circuits, with which solenoid relay current and air pressure could be measured. A digital PID regulator serves as the close-loop control algorithm. The outstanding feature of this amplifier is that PWM frequency, maximum current and PID coefficients can be downloaded into MCU's EEPROM. So it can be used as a multi-function digital proportional amplifier.

Key words: pneumatic technology; proportional amplifier; digital PID regulator

在液压控制系统中, 采用比例控制技术可极大地降低控制回路的复杂度, 具有可靠性高、节能、成本低的优点, 已经获得广泛的应用^[1]。近年来, 比例控制技术已逐步应用到气动控制中^[2]。其中比例放大器的数字化是比例控制元件的研究发展方向之一^[3]。传统的模拟式比例放大器电路结构复杂, 控制参数需要通过改变阻容元件反复调整标定, 生产过程复杂, 不但功能单一, 而且产品调整修改困难^[4]。本文提出了一种以 Atmega16 单片机为核心的数字式比例放大器, 通过数字 PID 算法实现闭环调节, 即可用于力控型比例电磁铁电流的精确调节, 也可作为气动比例减压阀的控制器。其功能和

相关控制参数均通过上位计算机由 485 总线下载烧写到单片机的 EEPROM 内, 使一种硬件可满足不同控制需求场合, 具有良好的多功能性、通用性和互换性^[4]。

1 比例放大器硬件结构

1.1 整体方案

比例放大器的整体结构如图 1 所示, 以 Atmega16 单片机为核心, 主要功能模块包括电源、电磁铁 PWM 驱动、线圈电流测量、气体压力传感器测量、485 总线接口等。核心控制器选用 Atmel 公司的 8 位 AVR 单片机 Atmega16。这种单片机运算速度快, 可高达 16 MIPS, 内置 16 KB Flash 程序存储器, 1 KB 片内 SRAM, 512 B 的

* 基金项目: “浙江省新苗人才计划”项目 (2007R40G2080018)

EEPROM可存储设置参数,4通道PWM,最高16bit分辨率,片上8路10位ADC,其他功能包括SPI、UART接口和ISP程序下载,是一种高性能、功能丰富而又价格低廉的单片机^[6]。为了提高控制性能和精度,通过单片机SPI总线外接一片12bit 100KB AD芯片MCP3208用于传感器信号采集。比例放大器输入设定信号为0~5V电压或4mA~20mA电流,通过信号调理输入ADC采样,经过单片机数字PID算法调节PWM输出信号的占空比,进而调节比例电磁铁线圈电流。线圈电流通过采样电阻分压放大滤波后进入ADC,气体压力传感器信号也通过信号放大滤波进入ADC。这样该放大器可分别实现电流闭环和压力闭环控制。具体功能的选择和PID等参数的配置则通过485总线接口由上位机写入单片机的EEPROM内。单片机复位时读入EEPROM设置参数,执行相应功能。

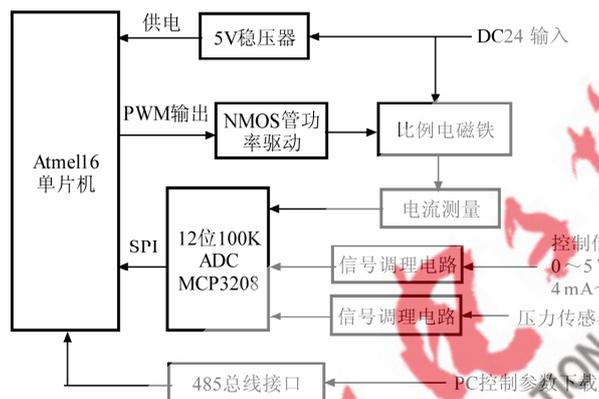


图1 数字比例放大器系统结构

1.2 电磁铁驱动和电流测量电路

比例电磁铁驱动电路如图2所示。线圈驱动由单片机PWM输出经过Q1实现开关电流调节。Q1选用开启电压仅为4V的NMOS功率管IRLR014。D1用肖特基二极管1N5824用于反向续流,再接一个瞬变电压抑制二极管SMBJ26用于整体电路过压保护。线圈电流为低边电流测量, R_s 为1W 0.22 Ω 电流采样电阻,通过R1、R2、R3、R4和U1构成的差动放大器进行放大,R5、C4构成

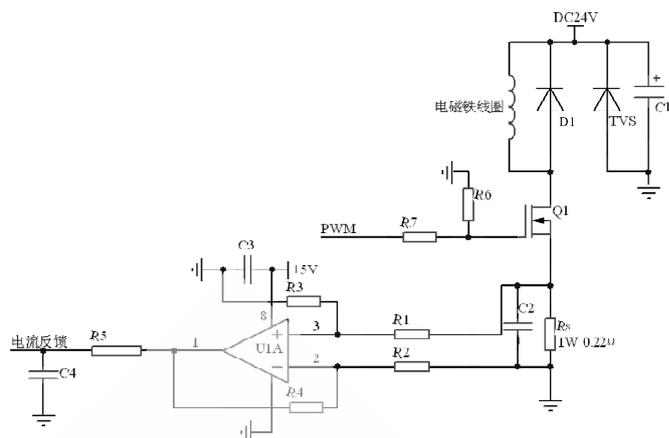


图2 比例电磁铁驱动电路

一阶RC滤波器用于ADC前端的抗混叠滤波。

1.3 压力传感器测量电路

在用于气动减压阀控制时,需要压力反馈测量。压力传感器为压阻桥式传感器,直流5V供电。为了提高输入阻抗和测量精度,采用单电源仪表放大器AD623进行前端放大。 R_G 为增益调整电阻。后面由R12、C10进行滤波去噪,再输入ADC。压力测量电路如图3所示。

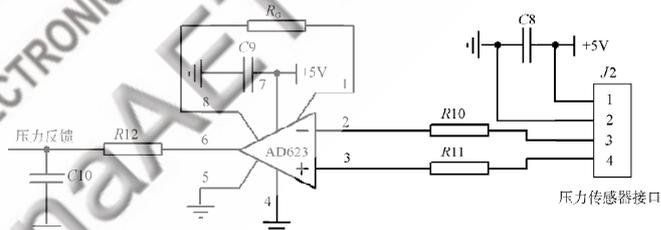


图3 压力传感器接口电路

2 控制器软件设计

单片机控制软件需要分别实现电流和压力闭环调节,功能的切换和参数设置均通过485接口由上位PC机写入单片机EEPROM内,在单片机上电时读入这些设置参数,再执行相应功能。因此,单片机软件的核心模块包括485通信接口、主程序、电流闭环调节和压力闭环调节模块。通过上位PC机可编程设置的参数见表1。表中CtrlMode参数设置放大器的基本功能:放大器要实现电流闭环控制还是压力闭环控制。PWM_FREQ参数设

表1 单片机参数设置表

序号	参数名称	功能	序号	参数名称	功能
1	CtrlMode	电流、压力控制功能选择	5	K_p	比例系数
2	PWM_FREQ	PWM 频率选择	6	K_i	积分系数
3	MaxCurrent	最高设定电流	7	K_d	微分系数
4	MaxPress	最高调定压力	8	Tramble	颤震信号幅度

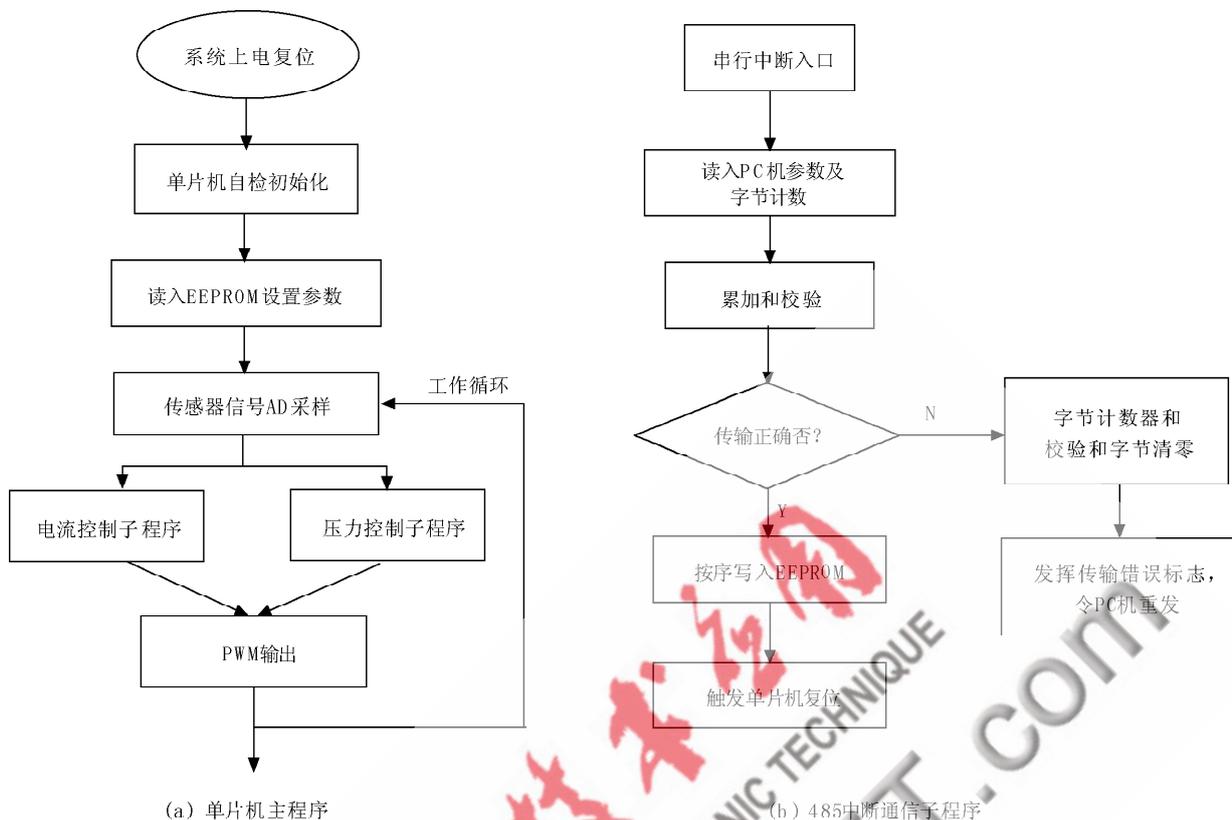


图4 单片机程序流程

置PWM信号频率,从500 Hz~30 kHz任意选择,可适应不同种比例电磁铁控制特性。MaxCurrent和MaxPress分别用于设置输入控制信号最大时所对应的最大线圈电流和最高调定压力。当然这些参数还取决于外部其他相关环境参数,如线圈阻抗和供气压力等。 K_p, K_i 和 K_d 则对应为PID调节的参数。Tramble表示颤震信号的幅度,根据需要可以编程设定。

单片机控制程序分为主程序,线圈电流控制子程序、压力闭环控制程序以及485通信接口程序。以电流闭环调节程序为例,选用常用的位置式离散PID规律。其控制算法为:

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

其中, $u(k)$ 为本次输出量; K_p 为比例系数;

积分系数 $K_i = \frac{T}{T_i}$; 微分系数 $K_d = \frac{T_d}{T}$;

$e(k), e(k-1)$ 分别为本次偏差和前一时刻差。

其中PID的系数由Ziegler-Nichols法确定^[5],再下载到单片机。

单片机主程序和485通信子程序流程分别如图4(a)、(b)所示。

本文提出了一种基于ATmega16单片机设计的数字

式比例放大器,通过电流测量和压力测量相关调理电路,可用于比例电磁铁恒流控制或气动比例减压阀压力调定。系统设置参数均可通过485总线由上位机编程写入单片机EEPROM内永久保存。该方案电路结构简单,成本低,控制器功能可编程设定,比传统模拟式比例放大器更具有广泛的灵活性和适用性。该方案为气动比例控制的比例放大器的数字化设计提供了一种有价值的参考。

参考文献

- [1] 吴根茂,丘敏秀,王庆丰,等.新编实用电液比例技术[M].杭州:浙江大学出版社,2006.
- [2] 张元良,张旭.通用性比例阀数字放大器研究[J].仪表技术与传感器,2007,44(2):36-38.
- [3] SMC(中国)有限公司编.现代实用气动技术[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [4] 袁坤,刘志和,罗安.电液比例方向节流阀数字控制放大器[J].机床与液压,1999,27(6):44-47.
- [5] YUN L, KIAM H A, GREGORY C Y C. PID control system analysis and design[J]. IEEE control systems magazine, 2006, (2): 32-41.
- [6] ATMEL. Atmega16 datasheet[EB/OL]. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf.

(收稿日期:2008-12-25)