

文章编号:1671-251X(2009)02-0060-04

# 基于 AVR 单片机的电磁调速电动机控制器的设计

颜建军, 季 力

(浙江机电职业技术学院, 浙江 杭州 310053)

**摘要:**针对电磁调速电动机模拟控制器调速精度低、零点调整不方便等问题,文章设计了一种以 AVR 单片机为核心的全数字式电磁调速电动机控制器,介绍了该控制器的结构、硬件及软件设计,详细阐述了控制器过零检测电路、可控硅触发电路、脉冲转换测量电路的设计要点。该控制器采用频率测速和数字 PID 算法,可以满足不同负载的调速要求。

**关键词:**电磁调速电动机; 控制器; 过零检测; 可控硅触发; 频率测量; AVR

**中图分类号:** TM301; TP273 **文献标识码:** B

## Design of Controller of Electromagnetic Speed Regulating Motor Based on AVR Single-chip Microcomputer

YAN Jian-jun, JI Li

(Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of low precision of speed regulating and inconvenience of zero adjustment of analogical controller of electromagnetic speed regulating motor, the paper designed a full-digital controller of electromagnetic speed regulating motor which took AVR single-chip microcomputer as core, introduced structure, hardware and software design of the controller. It also expounded the key point of design of detection circuit of voltage zero-crossing, thyristor trigger circuit and measurement circuit of pulse conversion in details. The controller applied speed measuring with frequency and digital PID algorithm, and could meet different load.

**Key words:** electromagnetic speed regulating motor, controller, detection of voltage zero-crossing, silicon rectifier trigger, frequency measurement, AVR

## 0 引言

JD1A 型电磁调速电动机控制器是原机械工业部全国联合统一设计的产品,用于电磁调速电动机的调速控制,实现恒转矩无级调速,具有成本低、使用方便灵活、对环境要求不高的特点,在给煤调速、饲料加工、纺织等领域有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。但该控制器也存在一些问题:使用模拟控制方式,调速控制的精度一般;速度反馈的途径是通过三相永磁同步测速发电机输出的三相交流电经整流、滤波、电阻分

压之后送入模拟控制器,考虑到测速发电机的输出电压比较高且有分散性,每个产品出厂之前均需要用可调电位器进行零点调整,非常烦琐;显示部分采用指针式转速表,交互界面不友好。针对上述问题,笔者设计了一款基于高速 AVR 单片机的电磁调速电动机全数字化控制器,该控制器具有人机界面友好、速度 PI 控制策略、调速精度高、速度反馈采用频率测速方式、无需出厂调整反馈量等优点,是模拟调速控制器很好的更新换代产品。

## 1 控制器结构及硬件设计

电磁调速电动机主要由三相异步电动机、电磁滑差离合器、测速发电机 3 个部分组成,可以把它看成一直流负载,通过调节电磁滑差离合器直流电压的大小就可以调节电磁调速电动机的转速。调节电

收稿日期:2008-10-10

**作者简介:**颜建军(1976-),男,硕士,讲师,2004年毕业于浙江大学控制科学与工程专业,现主要从事嵌入式系统的设计与开发工作。Tel:0571-87773026; E-mail: strongyan@126.com

磁滑差离合器直流电压的大小普遍采用移相触发的方式,因此,控制器的主要任务是将用户给定转速信号和测速反馈信号作比较,并将比较结果经过 PI 运算输出控制量来控制移相触发电路的触发角,以达到调压的目的。控制器由电源系统、单片机系统、键盘与显示电路、过零检测电路、可控硅触发电路、脉冲测速电路、4~20 mA 给定电路组成,如图 1 所示。单片机系统是整个控制器的核心,可协调各功能模块的工作,并完成 PI 算法运行。键盘与显示电路提供人机交互,供用户设定给定转速值及相应的 PI 参数,并在运行过程中显示实际转速。过零检测电路和可控硅触发电路配合完成移相触发的功能。控制器的速度反馈根据计算测速发电机输出的脉冲个数来测速,非常准确。除了可以用面板按键设定转速外,还提供了 1 路 4~20 mA 接口电路,供其它设备给定转速信号。

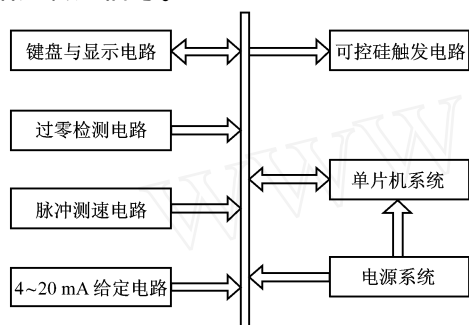


图 1 控制器组成框图

### 1.1 单片机系统

AVR 单片机选用 ATmega88L。ATmega88L 是 ATMEL 公司生产的一款高档 RISC 高速 8 位单片机,片内集成了 1 KB 的 SRAM、8 KB 的 Flash ROM、512 B 的 EEPROM、2 个 8 位和 1 个 16 位的超强功能定时/计数器以及 1 路 USART、SPI、多路 10 位 ADC、WDT、RTC、ISP、IAP、TWI(I<sup>2</sup>C)、片内高精度振荡器等多种功能的接口,具有高达 1 MIPS/MHz 的高速运行处理能力,非常适合高档电子产品的应用<sup>[2]</sup>。丰富的外设功能,高速的运算处理能力,不仅简化了系统电路设计,而且能很好地实现系统人机界面、速度采样、PID 运算、PWM 波产生等复杂的功能。

### 1.2 键盘与显示电路

控制器带有 6 个独立式按键,分别是模式键、移位键、键、▼键、启动键、停止键。模式键完成进入参数设置界面、修改参数、退出参数设置界面等功能。、▼键既能修改菜单功能号,也可配合移位键完成参数修改的功能。系统共有 5 组可设置参数,

分别为转速设定、转速设定方式(面板设定还是外部 4~20 mA 设定)、比例系数、积分系数以及是否恢复出厂设置。键盘电路采用一键多义键盘控制,每个按键承担多个功能;采用状态机的思路,用状态变量表示程序的工作状态。在程序流程中,根据系统当前状态和触发条件,迁移到新状态<sup>[3]</sup>。

显示电路采用 4 位 LED 共阳数码管,2 片串入并出的移位寄存器 74HC59 级联使用,一片用于字选码,另一片用于位选择;采用动态扫描方式,与单片机接口仅需 3 个 IO 口线。显示电路也采用状态机设计方法,在不同的状态下显示不同的内容。

### 1.3 过零检测电路

电磁调速电动机的调速通过移相触发实现,实质是控制可控硅的导通角,利用触发脉冲的导通位置控制输出电压的大小,达到控制电动机转速的目的。当检测到交流电过零时立即触发可控硅,则电动机通电时间长,电动机速度快;检测过零时,若延迟一段时间后再触发,则电动机通电时间短,电动机速度较慢。电磁调速电动机类似于直流电动机,所以采用单向可控硅触发即可,只需检测正半波的过零点。过零检测电路如图 2 所示,在工频交流电源正半波过零之前,光耦不导通,三极管 8050 导通,ZERO 线输出低电平;过零时,光耦导通,三极管 8050 截止,ZERO 线输出高电平。因此,ZERO 线上的上升沿时刻就是交流电的过零点。

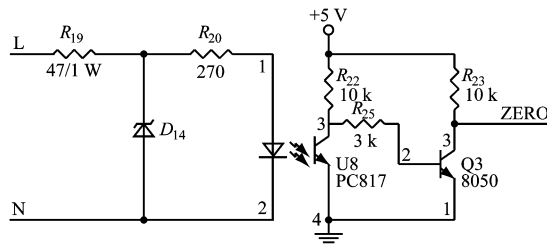


图 2 过零检测电路图

### 1.4 可控硅触发电路

单向可控硅的触发电路如图 3 所示。MOC3021 是双向晶闸管输出型的光电耦合器,输出端的额定电压为 400 V,最大输出电流为 1 A,最大隔离电压为 7 500 V,输出端控制电流小于 15 mA。MOC3021 的作用是隔离单片机系统和触发外部的晶闸管<sup>[4]</sup>。AVR 单片机 IO 驱动能力强,和 MOC3021 之间无需添加缓冲器。TR\_PULSE 是单片机的一个 IO 引脚,输出高电平时,MOC3021 输出端的双向晶闸管关断,外部的单向可控硅 BT151 关断;TR\_PULSE 输出低电平时,MOC3021 输出端

的双向晶闸管导通,外部的 BT151 导通。 $R_6$  限制 MOC3021 输出端的电流不超过 1 A。负载为感性负载时,电压上升率  $dv/dt$  较大, $R_7$ 、 $C_{14}$  组成的 RC 回路降低 MOC3021 输出端的  $dv/dt$ ,防止 MOC3021 误导通。 $R_{11}$ 、 $C_{16}$  组成的 RC 电路用于降低  $dv/dt$ ,保证 BT151 的可靠工作。 $D_8$  是续流二极管,使滑差离合器线圈中的电流连续。

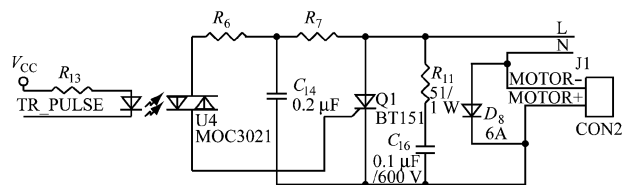


图3 单向可控硅触发电路图

### 1.5 脉冲测速电路

电磁调速电动机集成了一个三相永磁同步测速发电机,用于测速反馈。传统的模拟控制器根据测速发电机输出的电压高低进行测速,精度不高。同步测速发电机的转速  $n$  与其定子绕组的感应电压频率  $f$  有着严格的线性关系,即:

$$n = 60f / P \quad (1)$$

式中: $P$  为磁极对数。

电磁调速电动机的磁极对数固定为 8,通过测量同步测速发电机输出的正弦交流电的频率就可以计算出相应的转速。因此,转速的测量问题就转换为如何测量输出交流电频率问题。将幅值变化的正弦交流电转换成频率相同的 CMOS 电平脉冲信号,单片机就可以方便地处理了。脉冲转换测速电路如图 4 所示, $D_{10}$ 、 $D_{11}$ 、 $D_{12}$ 、 $D_{19}$ 、 $D_{20}$ 、 $D_{21}$ 、 $D_{22}$  均采用 1N4007。测速发电机正弦电压的峰值到达 1.5 V 以下时,PC817 不导通。考虑到光耦 PC817、发光 LED 导通之后的压降为 1.5 V,当同步测速发电机正弦电压的峰值到达 1.5 V 以上、正半波输入时, $D_{10}$ 、 $D_{11}$ 、 $D_{12}$  不导通,信号通过  $R_8$  输入,晶体管 U6 导通变为可变电阻,可以提高小信号输入的灵敏度,PC817 导通。输入正弦电压在 1.8 ~ 50 V 范围内时, $D_{10}$ 、 $D_{11}$ 、 $D_{12}$  导通,其上压降恒为 1.8 V,使晶体管 U6 为恒流器件,确保 PC817 导通并安全工作。因此,结合后级三极管 8050 的转换电路,在同步测速发电机输出电压为 0 ~ 50 V 范围内,都可以将同步测速发电机输出的正弦交流电转换成相同频率的 CMOS 逻辑电平的脉冲信号。

频率测量的方法有测周法、测频法、测周与测频混合测量法、等精度测量法<sup>[5~6]</sup>等。当被测信号频率较低时,直接测量周期可提高精度;当被测信号的

频率较高时,适合采用测频法。一般的电磁调速电动机的转速控制在 0 ~ 1 300 r/min。根据式(1)可知,输出频率范围为 0 ~ 173.3 Hz,频率比较低。因此,结合控制器的硬件资源,本控制器选择测周法。考虑到移相触发控制周期为 20 ms(即 PI 控制周期),为了提高频率测量的快速性(涉及到测量频度的问题),仅需要从三相同步测速发电机 3 路输出线中任取 2 路,经全波整流之后,就可以倍频。电磁调速电动机转速在 0 ~ 1 300 r/min 时,对应输出频率为 0 ~ 346.6 Hz。

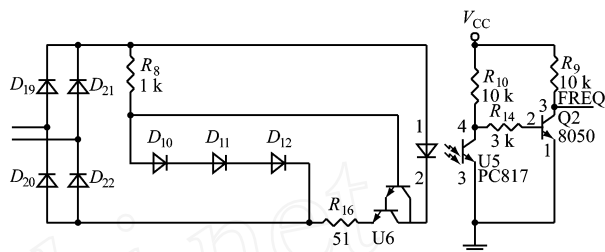


图4 脉冲转换测速电路

## 2 软件设计

本控制器软件设计采用模块化方法,合理安排各功能模块。主程序由系统初始化程序、键盘处理程序、监控程序、速度控制程序等组成。系统初始化程序包括 IO 初始化、外部中断初始化、定时器初始化、EEPROM 初始化、键盘初始化、LED 初始化等;键盘处理程序和监控程序均采用状态机设计方法,条理清晰,安全可靠;转速控制程序采用 PID 算法,控制效果好<sup>[7]</sup>。本系统的所有软件均采用 C 语言设计,层次分明,便于以后的升级维护。主程序流程如图 5 所示。

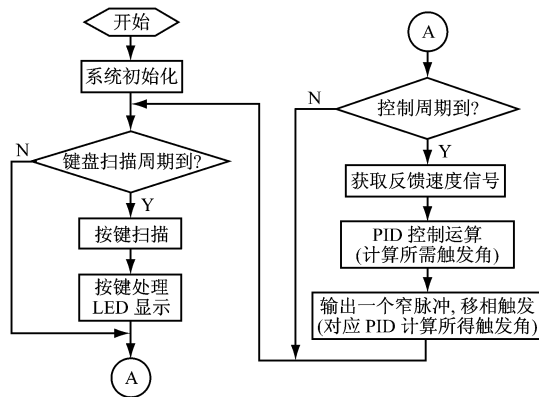


图5 主程序流程图

## 3 结语

本文介绍的以高速 AVR 单片机为核心的全数字式电磁调速电动机控制器采用数字 PID 控制策

文章编号:1671-251X(2009)02-0063-04

# 变电站监控系统安全防护管理体系的设计\*

罗邵屏<sup>1,2</sup>, 罗安<sup>2</sup>, 周柯<sup>2</sup>, 邓维克<sup>1</sup>

(1. 邵阳学院信息与电气工程系, 湖南 邵阳 422000; 2. 湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

**摘要:**根据某冶炼厂变电站监控系统的实际研制情况及其对系统安全的要求,文章设计了一种变电站监控系统的安全防护管理体系,介绍了该体系的整体结构,详细介绍了系统安全、网络平台安全、应用安全、数据安全、安全防护管理后台监控程序等的设计。该系统已成功投运,实际运行结果表明,系统设计正确,效果良好。

**关键词:**变电站; 监控系统; 安全防护管理体系; 网络平台安全; 数据安全; 后台监控

**中图分类号:** TM73

**文献标识码:** B

## Design of a Security Protection Management System of Monitoring and Control System of Substation

LUO Shao-ping<sup>1,2</sup>, LUO An<sup>2</sup>, ZHOU Ke<sup>2</sup>, DENG Wei-ke<sup>1</sup>

(1. Dept. of Information and Electrical Engineering of Shaoyang University, Shaoyang 422000, China.

2. College of Electrical and Information Engineering of Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** According to practice development situation and requirement of system security of monitoring and control system of substation of a smeltery, the paper designed a security protection management system of monitoring and control system of substation, introduced overall structure of the system, expounded design of system security, network platform security, application security, data security, background monitoring and control program of security protection management and so on. The system had

收稿日期: 2008-10-16

\* 基金项目: 国家十五攻关计划项目(2002BA218C)

**作者简介:** 罗邵屏(1965-), 女, 高级工程师, 1985年毕业于湖南大学, 现为邵阳学院教师、湖南大学控制理论与控制工程专业在读硕士研究生, 主要从事电力系统自动化方面的研究工作。E-mail: lsp168861@163.com

略, 可通过适当调节 PID 参数满足不同负载的要求, 与模拟控制器相比, 调速更灵活, 性能更好; 测速反馈部分的速度测量采用脉冲测速方式, 即将输出的测速正弦交流信号转换成脉冲信号, 通过测量脉冲频率实现速度测量, 精度更高, 且无需用可调电位器进行烦琐的出厂零点调整, 从而克服了模拟控制器调速精度低、零点调整不方便等问题。该控制器人机界面友好, 性价比高, 具有良好的推广前景。

**参考文献:**

[1] 孙锐锋. 电磁调速电动机控制系统的改进方法[J].

煤炭技术, 2002, 21(8): 15~17.

[2] 马潮. AVR 单片机嵌入式系统原理与应用教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.

[3] 张浚. 匠人手记: 一个单片机工作者的实践与思考[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

[4] 余永权, 李小青, 陈林康. 单片机应用系统的功率接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1992.

[5] 刘海成. AVR 单片机原理及测控工程应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

[6] 肖本贤, 陈荣保, 李斌, 等. 电机的几种测速方法[J]. 机电工程, 1998(1): 54~55.

[7] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.