

# 基于PWM的机车雨刮控制器的设计

贺理, 龙永红, 滕峻林, 陈芳

(湖南工业大学电气与信息工程学院, 湖南株洲412007)

**摘要:** 分析了PWM(脉宽调制)直流调速原理, 采用PWM技术调节永磁直流电动机工作电压的方法, 设计了一种机车雨刮控制器。设计中采用内嵌PWM模块的微控制器, 通过功率MOSFET驱动直流电动机。实际测试结果表明, 该控制器实现了3个档位刮擦功能, 它具有性能可靠、结构简单等特点。

**关键词:** 直流电动机; 单片机; 脉宽调制

中图分类号: U260.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2010)06-0084-05

## Design of Locomotive Wiper Controller Based on PWM

He Li, Long Yonghong, Teng Junlin, Chen Fang

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** After the analysis of pulse-width modulating DC motor, a locomotive wiper controller based on the pulse-width modulating to regulate voltage of permanent magnet DC motor is designed. The micro controller with PWM module drives DC motor by power MOSFET. The experimental result shows that the system realizes the function of three gears, which has features of reliable performance, simple structure, etc.

**Keywords:** DC motor; micro controller; PWM

## 0 引言

交流电机在调速控制领域取得了飞速发展, 已在许多领域取代了直流电机。但在机车雨刮系统中, 由于机车的工作环境和直流电机在起动、制动、调速等方面的优势, 故其调速控制仍采用直流电机。传统雨刮控制器在转子中采用2种不同的绕组方式实现雨刮系统的调速功能, 存在电机使用寿命短、控制电路复杂、成本高等缺点。目前, 随着电力电子开关元器件的开发, 直流电机的脉宽调制技术得到了快速发展, 它具有调速精度高、调速范围宽、功耗低、响应速度快等优点, 已成为直流电机调速的主要方式<sup>[1]</sup>。

本文采用性价比比较高的STC12C5A08PWM微处理器作为主控芯片, 永磁直流电机作为雨刷电机, 设计

一种基于PWM技术的机车雨刮控制器, 以实现机车雨刮系统的调速功能。

## 1 PWM 直流调速原理

PWM直流调速方法一般采用功率场效应管作为主开关器件, 通过改变开关管的导通方式及通断比来改变输出电压的大小。当开关管的栅极输入高电平时, 开关管导通, 直流电动机的直流绕组两端有电压 $U_d$ ;  $t_1$ 秒后, 栅极输入低电平, 开关管截止, 电动机两端电枢电压为0;  $t_2$ 秒后, 栅极输入重新变为高电平, 开关管重复前面的工作。这样, 对应输入电平的高低, 直流电动机的电枢两端电压波形如图1所示。

在PWM调速系统中, 在电源电压不变的情况下,

收稿日期: 2010-09-05

基金项目: 湖南省科技计划基金资助项目(2010GK3002)

通信作者: 贺理(1985-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学硕士研究生, 主要研究方向为智能控制理论及其工程应用,

E-mail: heli8501@sina.com

电枢端电压取决于占空比的大小, 即改变占空比的大小可改变电枢端电压的平均值, 从而达到调速的目的。改变占空比的方法一般有3种: 定宽调频、调宽调频、定频调宽。前2种方法在调速时改变了控制脉宽的周期, 当控制脉冲的频率与系统的固有频率接近时将引起振荡, 因此, 一般采用定频调宽的方法改变占空比的大小, 从而改变直流电动机电枢两端的电压, 即

$$U_0 = \frac{t_1}{t_1+t_2} U_d = \frac{t_1}{T} U_d = \alpha U_d \quad (\alpha \text{为占空比}, 0 \leq \alpha \leq 1)$$

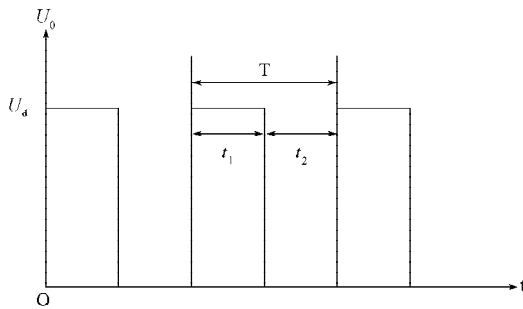


图1 PWM调速控制的输出电压波形

Fig. 1 Output voltage waveform of PWM speed controlling

## 2 系统硬件设计

### 2.1 系统组成与工作原理

机车雨刮控制器主要由电源电路、操作输入电路、MCU (micro controller unit, 简称微控制单元) 系统、CAN 总线接口电路、归位检测电路、电机驱动电路、电机堵转检测电路等组成。机车雨刮控制器电路框图如图2所示。

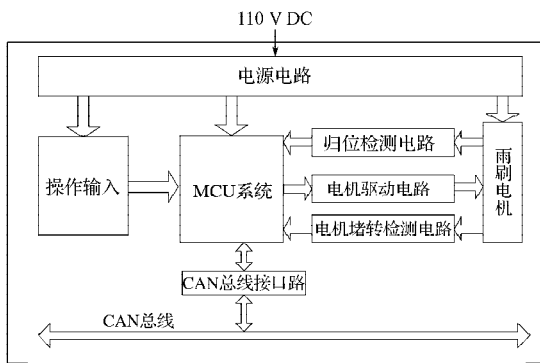


图2 机车雨刮控制器框图

Fig. 2 The block diagram of the locomotive wiper controlling system

控制器工作原理: 根据操作输入档位与CAN总线接口电路传送的机车速度数据, 由MCU系统控制主电路驱动雨刷电机工作, 从而实现控制器对雨刷电机转速的控制。

### 2.2 系统各部分硬件设计

1) 电源电路 机车雨刮控制器的工作电源为直流110V, 电源电路主要为其他电路提供12V和5V电源, 并且设计了110V开关电路。

2) 操作输入电路 操作输入电路如图3所示。可实现间歇档、停止档、低速档、高速档4档信号输入。R55至R59为限流电阻, 为消除干扰和抖动, 采用0.1μF电容滤波。

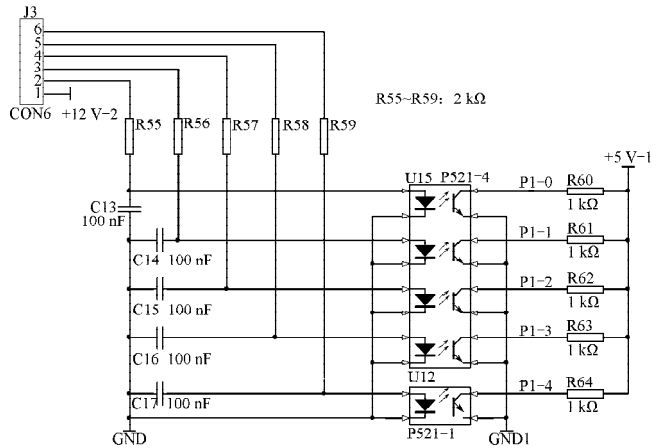


图3 档位输入电路

Fig. 3 Gears input circuit

3) MCU系统 由主控芯片STC12C5A08PWM<sup>[2]</sup>及其外围电路组成。主控芯片采用宏晶STC系列高性能CMOS 8位单片机, 具有8KB的Flash只读存储器和1280B的随机存储器(SRAM), 兼容标准MCS-51指令系统, 内置2路8位PWM电路和看门狗电路, 高抗静电性能(整机轻松通过2万伏静电测试<sup>[2]</sup>)。这符合机车雨刮控制器高抗静电和简单可靠的设计要求。

4) 归位检测电路 归位检测电路实现在停止档和间歇档时使雨刮杆归位。位置传感器如图4和图5所示, 外部连接VCC, Gnd, B, B为归位位置输出信号。位置传感器检测到归位位置信号时, 输出110V, 时间为0.2s; 在其他位置时输出0。单片机通过位置传感器和归位检测电路在0.2s时间内检测到110V, 雨刮杆就已经归位。

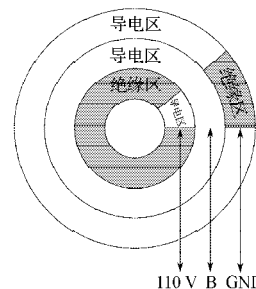


图4 位置传感器

Fig. 4 Position sensor

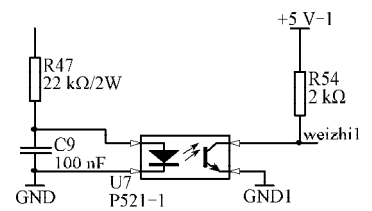


图5 归位检测电路

Fig. 5 Reset detecting circuit

5) 电机堵转电路 电机堵转电路(见图6)实现堵转检测功能,永磁直流电机在堵转时,电机的工作电流增大,电流超过一定值将损坏电机,此时停止电机工作。电流传感器采用精密采样电阻,采样电阻和直流电动机串联,由采样电阻的工作电压输入电机堵转电路,输出堵转脉冲信号,结合软件控制策略即多次判断堵转发生情况,最终决定是否停止电机工作。

电机堵转电路中的阈值根据永磁直流电机的堵转计算公式得到,即:堵转电流=额定电压/电枢回路的所有电阻之和<sup>[3]</sup>。其中额定电压为110V;电枢回路的所有电阻包括:电枢回路的导线电阻,电枢绕组电阻,碳刷及与整流子接触电阻,串入的其它电阻,电源的内阻。根据实践经验,一般取堵转电流为额定电流的2.5~4.5倍,设计中堵转电流取额定电流的3倍。

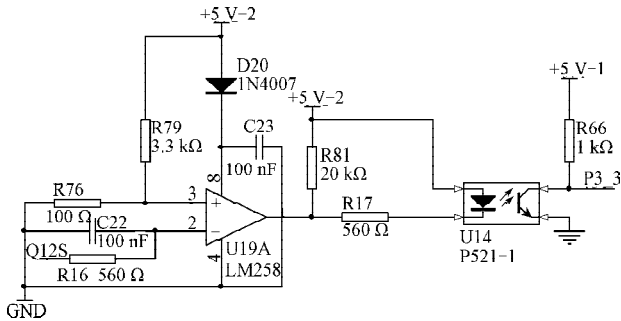


图6 电机堵转电路

Fig. 6 Motor blockage circuit

6) 电机驱动电路 电机驱动电路主要实现雨刷电机的驱动和制动功能。驱动功能采用功率MOSFET完成,实现各档位的驱动控制。制动功能一般采用将电机两端电压反向来实现,但制动MOSFET导通时驱动MOSFET不能同时导通,否则短路。设计要点为:

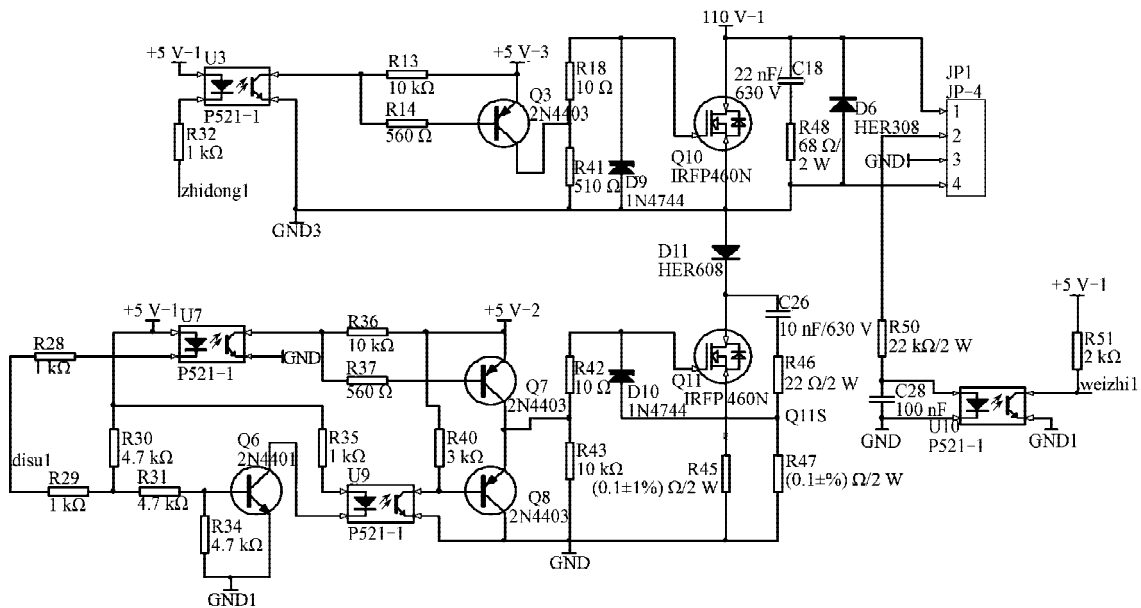


图7 电机驱动电路图

Fig. 7 Motor driving circuit

功率MOSFET的选型;PWM频率的确定;电机驱动电路整体的上升沿和下降沿对MOSFET产生的功耗;PWM信号在高、低电平时导通通道的设计;MOSFET缓冲电路的设计等。

雨刷电机采用额定电压110V,额定功率100W的永磁直流电机,因此,采用MOSFET与电机并联实现制动,再与MOSFET串联实现驱动。电机驱动电路如图7所示。MOSFET的选型主要考虑耐压值、工作电流、漏源电阻 $R_{DS}$ 、栅源电压 $V_{GS}$ 等,综合考虑最终选择IRF460 N-Channel功率场效应管(20A,500V, $R_{DS}=0.27\Omega$ )。PWM的频率选择主要考虑产生的噪声和对MOSFET产生的功耗,从100Hz到30kHz中选择,综合考虑选取2kHz。为了降低MOSFET的温度,电机驱动电路的驱动电压上升沿和下降沿的陡度要陡,但同时MOSFET关断时间越短产生的振铃信号越大,兼顾2个因素,导通通道设计时以驱动电压上升沿和下降沿越陡为主要目的,在MOSFET能承受的温度范围内考虑降低驱动电压上升沿和下降沿的陡度,另外,增加RC缓冲电路以降低振铃信号的幅度。由于电路中自身杂散电感和杂散电容的存在,所以采用RC缓冲电路消除功率开关管关断时电路中产生的过电压和振荡,RC缓冲电路此时可保护开关管和开关性能。采用两级RC电路滤除不同频率的干扰,提高了控制器的可靠性。同时D6起到反向续流的作用,D9起到MOS管GS端稳压的作用。

最终低速档采用2kHz、占空比(低电平占周期的比例)为70%的PWM信号;高速档采用2kHz、占空比100%的PWM信号;间歇档采用2kHz、占空比70%的PWM信号,工作1.75s,再停止工作4.25s。

7) CAN总线接口电路 如图8所示, CAN控制器的AD0~AD7引脚与单片机STC12C5A08PWM的I/O接口连接, 通过CAN收发器实现机车速度等数据的接收、发送功能。CAN总线控制器一般可分为独立CAN控制器和内嵌CAN控制器的微控制器2类<sup>[4]</sup>。

CAN控制器选择PHILIPS公司生产的独立控制器SJA1000, 有Basic CAN和Peli CAN两种模式, 支持

CAN2.0B协议。CAN收发器选择PHILIPS公司生产的PCA82C250, 通过光耦与6N137连接, 提高SJA1000的驱动能力。RS引脚可选择3种不同的工作模式: 待机方式、斜率控制和高速方式。设计不但采用屏蔽的双绞线, 而且为了降低射频干扰, 在RS引脚接下拉电阻, 从而控制上升沿和下降沿的斜率。SJA1000和PCA82C250可完成物理层、数据链路层、应用层的工作。

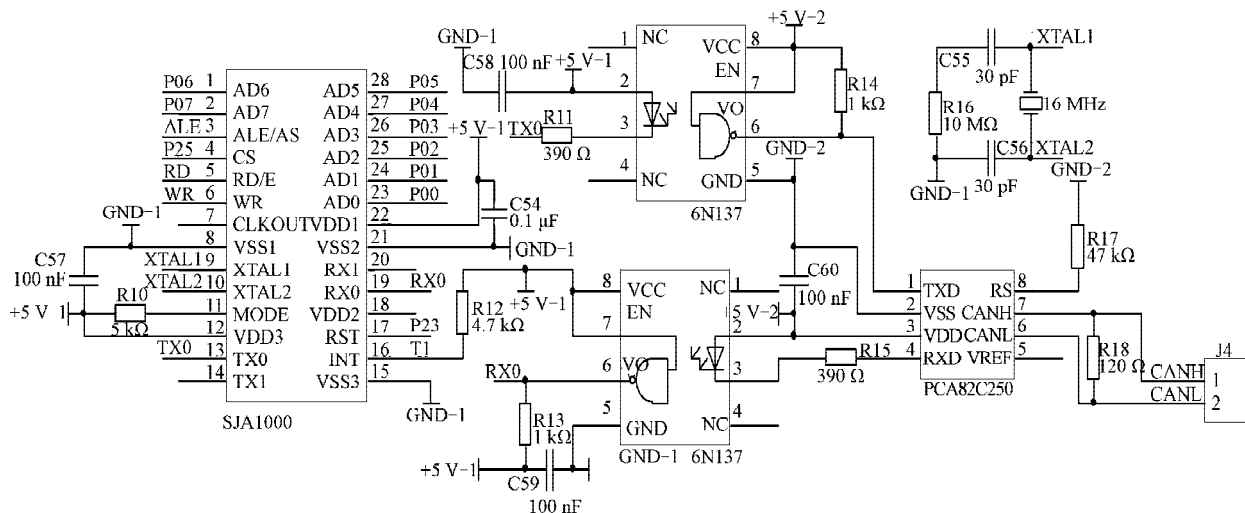


图8 CAN节点电路

Fig. 8 CAN node circuit

### 3 系统软件设计

系统主程序流程见图9。系统开始运行时, 采用查询方式查询当前档位信号, 根据档位信号执行相应的子程序, 如此循环往复。在主程序循环运行过程中, 如果发生雨刷杆被堵, 系统就进入电机堵转中断子程序, 停止输出以保护电机。系统起动时的堵转控制策略以起动雨刷杆为主, 保护电机为辅, 故采用先工作一段时间, 再进行堵转检测; 系统运行过程中的堵转控制策略则以保护电机为主, 故直接采用堵转检测。在停止档或间歇档时, 为使机车司机前方视野不被雨刮杆挡住, 因此系统不断检测雨刷归位位置, 通过归位子程序使雨刮杆回到侧边位置。

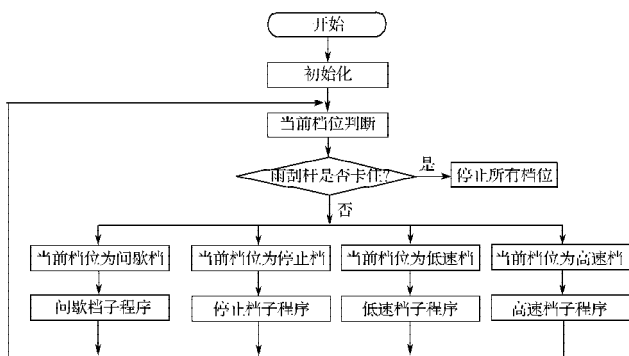


图9 主程序流程图

Fig. 9 The flow chart of main program

### 4 系统样机试验

基于EDA软件Altium Designer 6, 设计了双面PCB电路板, 实现了机车雨刮控制器电路板的研制; 采用KeilC51软件完成了系统软件部分的设计<sup>[5]</sup>, 最终样机如图10和图11所示。

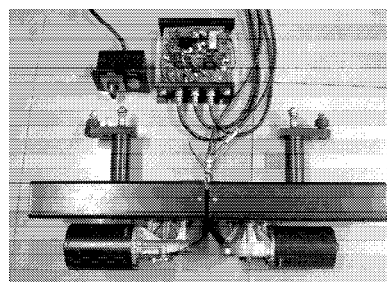


图10 雨刮系统

Fig. 10 Wiper system

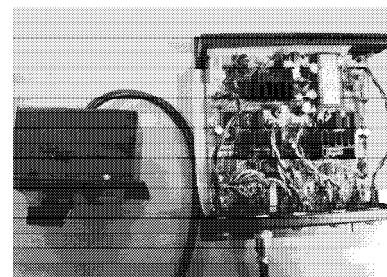


图11 码盘和控制盒

Fig. 11 Input switch and control box

整个系统研制完成后,在空载雨刮电机上试验,其工作电压波形如图12所示,即4个档位工作时电机驱动电路的MOSFET功率管Q11的漏极对地电压波形。

由样机试验结果可知,控制器的4个档位工作正常,需注意的是雨刷电机工作时,MOSFET功率管Q11的栅极对地电压为0V,不工作时为110V。

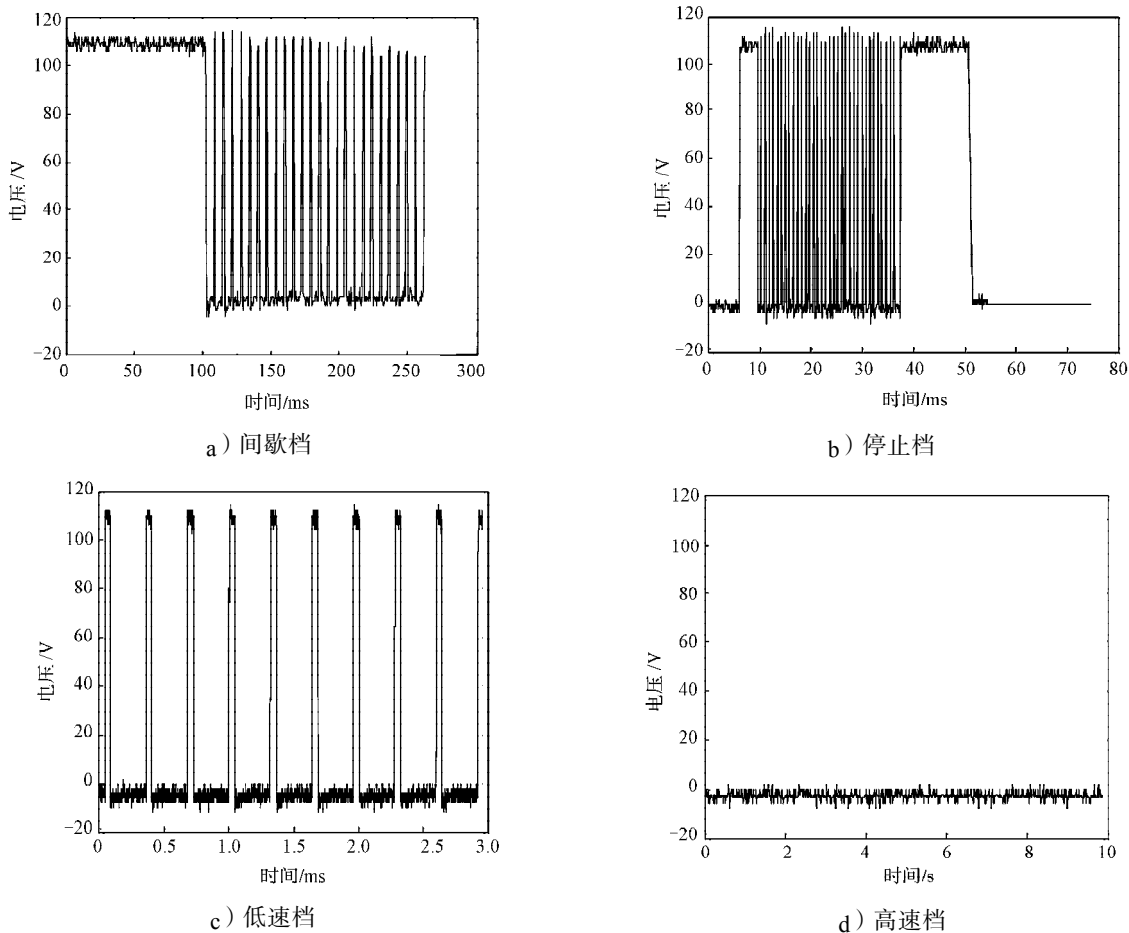


图12 MOSFET功率管栅极对地波形  
Fig. 12 Four work waveforms of MOSFET Grid

## 5 结语

整个系统优化完成后,在7200kW和谐号电力机车上使用了3个月,目前该系统运行良好、性能稳定。在机车、城轨、地铁中,雨刷系统使用广泛。本文所设计的机车雨刮控制器经实际使用经验证明,具有性能稳定、噪声低、结构简单、性价比较高等特点,适用于机车、城轨、地铁场所,具有较好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 王 苏. 直流电机PWM调速研究及单片机控制实现[J]. 机电工程技术, 2008, 37(11): 82-84.  
Wang Su. PWM Speed Controlling Research and Realization by Microcontroller of DC Motor[J]. Electrical and Mechanical Engineering Technology, 2008, 37(11): 82-84.
- [2] Macro Chip Technology Corporation. STC12C5A08PWM Datasheet[EB/OL]. [2010-04-21]. <http://www.stcmcu.com>.

- [3] 李发海, 王 岩. 电机与拖动基础[M]. 3版. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
Li Fahai, Wang Yan. Motor and Drag Foundation[M]. 3rd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [4] 干树川, 周 志. CAN现场总线通信控制器的研究[C]//张嗣瀛. 2005年中国控制与决策学术年会论文集. 沈阳: 东北大学出版社, 2005: 1454-1458.  
Gan Shuchuan, Zhou Zhi. Fieldbus Network Implementation Based on CAN[C]//Zhang Siying. Proceedings of 2005 Chinese Control and Decision Conference. Shenyang: Northeastern University Press, 2005: 1454-1458.
- [5] 马忠梅. 单片机的C语言应用程序设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.  
Ma Zhongmei. C Language Programming of Microcontroller [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2007.

(责任编辑: 李玉珍)