

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2015.05.012

基于 ARM 的铣磨车变流器控制系统

周喜明, 邓木生, 谭 兮, 张德军

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 针对变流器的控制系统, 提出了基于 ARM 的直接转矩控制方式。对铣磨车变流器进行硬件设计和软件设计; ARM 控制系统主要由采集模块、电源模块、存储单元等组成, 检测机车的温度、压力等信号, 并与 DSP 进行通讯, 来实现对铣磨车变流器的控制。实验证明, 该控制系统能实时监测机车的运行情况, 记录各设备的温度和压力值。

关键词: 铣磨车; ARM; 变流器

中图分类号: TM46

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2015)05-0056-06

ARM-Based Converter Control System of Milling Machine

Zhou Ximing, Deng Musheng, Tan Xi, Zhang Dejun

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

Abstract: In view of the converter control system, puts forward the direct torque control method based on ARM. The hardware and software of the converter for milling machine are designed; ARM control system is mainly composed of acquisition module, power module and memory unit, etc., and ARM processor detects the temperature and pressure signals of the locomotive and communicates with the DSP to control the milling machine converter. Experiments show that the control system is capable of real-time monitoring the locomotive operation and recording the temperature and pressure value of each device.

Keywords: milling machine; ARM; converter

0 引言

随着高科技的快速发展, 电力电子技术得到了广泛的应用。其中, 变频技术占有至关重要的作用。变频技术以其优越的调速性能, 通常应用于电力、轨道、水泥及煤矿等行业^[1-2]。

目前, 变流器的控制方式主要有矢量控制方式、转差频率控制方式、直接转矩控制方式。矢量控制方式在实际应用中, 由于转子磁链难以观测, 系统特性受电动机参数影响比较大, 并且其实现解耦控制和矢量坐标转换也比较复杂, 因此实际的控制效果难以达到理想结果。转差率控制方式的关键是在

于如何准确获取定子电压指令和频率指令, 但这受机械特性的非线性和动态转矩的影响。综合考虑, 直接转矩控制方式比较简单, 其运算只需在定子静止坐标系中进行, 简化了运算过程, 以提高控制运算速度。

针对铣磨车变流器, 本文提出了基于 ARM 的直接转矩控制系统, 对该控制系统进行硬件和软件设计, 使其能实时监测机车的运行情况, 记录各设备的温度、压力值等。综合各方面的考虑, 本课题组选用 STM32F417 芯片, 它是一种最新的 ARM Cortex M4 内核, 具有信号处理功能强和运行速度快^[3]的特

收稿日期: 2015-08-02

作者简介: 周喜明(1990-), 女, 湖南邵阳人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为现代电力电子技术及系统,

E-mail: 1055002668@qq.com

点, 其性能远高于51系列的单片机, 并且ARM技术已经趋于成熟, 其精度和准确度也非常高^[4]。

1 总体设计

铣磨车变流器控制系统是以ARM作为核心处理器^[5]。ARM处理器分别与上位机、DSP进行通讯。

1) ARM处理器通过控制器局域网CAN(controller area network)与上位机进行通讯, 将采集的温度和压力信号实时地传送给上位机, 上位机根据该信号, 实时监测电动机的运行情况, 并给出相应的命令;

2) ARM处理器先接收实时温度和压力信号, 对其处理后, 传送给DSP, DSP对接收到的数据再进行处理, 计算得到实际的转速和转矩, 实现对变流器的控制。

变流器控制系统的工作步骤为: 初始化所有变量, 判断系统通讯模式(网络或硬线), 如果是网络模式, 通过网络通讯获取数据, 如果是硬线模式, 通过开关动作直接获取数字信号; 判断铣磨车是否运行在牵引工况, 如果是, 则根据铣磨车的运行方式(驱动或刹车状态), 来给定档位信号, 并启动水冷系统; 自检是否同时满足4种情况(1)动力车和作业车闸缸和弹停缓解; 2)牵引发电动机和作业发电动机正常; 3)空气制动系统正常; 4)铣磨作业装置正常), 如果否, 一直等待满足条件, 如果是, 变频器开始运行, 采集相应的信号, 该信号包括故障信号、运行的控制信号、状态量的检测信号及其刹车控制信号, 这些信号经ARM处理器、上位机、DSP处理器处理后, 实现对变流器的控制。铣磨车变流器控制系统流程框图如图1所示。

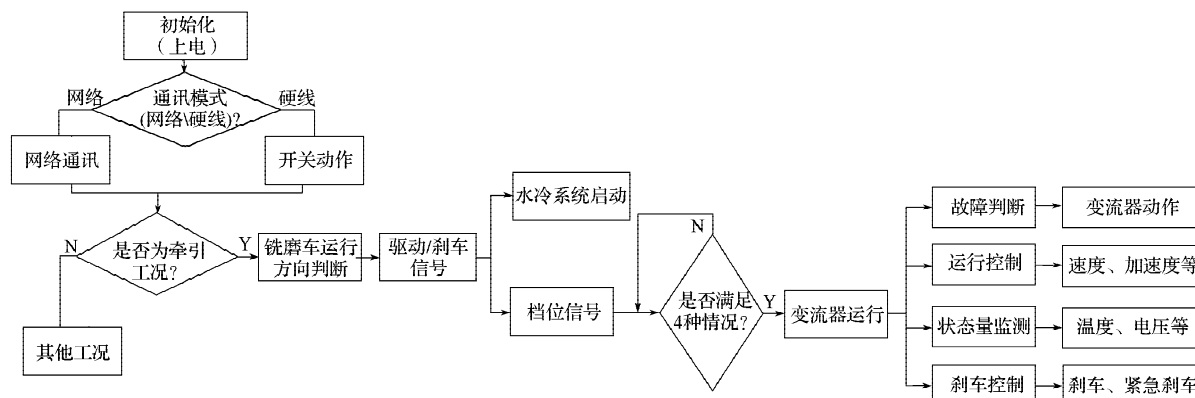


图1 铣磨车变流器控制系统的流程框图

Fig. 1 The flow diagram for converter control system of milling machine

2 系统硬件设计

系统的硬件设计主要包括: ARM控制处理模块、AD转换模块、输入/输出模块、网络接口模块、电源模块及其他外设等^[6]。

2.1 ARM控制处理模块

ARM控制处理模块的主要作用是对采集的温度和压力等信号进行处理, 并与上位机、DSP处理器进行数据通讯。

ARM控制处理模块选用STM32F417芯片^[7]。该芯片由32位多层AHB(advanced high performance bus)总线矩阵构成, 具有足够大的存储空间, 通过8条主控总线和7条被控总线来实现相关信号的互连。借助总线矩阵, 可以实现主控总线到被控总线的访问, 这样即使在多个高速外设同时运行期间, 系统也能并发访问和高效运行。CAN总线作为串口, 完成数据的接收和发送, 实现与上位机的通讯; 灵活的静态

存储控制器FSMC(flexible static memory controller)总线能够连接同步、异步存储器 and 16位PC存储卡, 实现与DSP的数据交换^[8]。

2.2 AD转换模块

AD转换模块是用来测试铣磨车的电动机温度、变流器温度、水泵温度和水泵压力信号, 便于系统实时监测电动机的运行情况。

该模块采用的芯片是AD7606, 它是16位、8通道同步模数数据采集系统。该芯片均内置模拟输入箝位保护、二级抗混叠滤波器、跟踪保持放大器、16位电荷再分配逐次逼近型模数转换器、灵活的数字滤波器、2.5V基准电压源、基准电压缓冲以及高速串行和并行接口。AD转换模块的工作原理是: 通过8个输入通道V1~V8采集变流器温度和电动机温度及压力信号; 配置端口PAR/SER/BYTE SEL为高电平及DB15为低电平, 使其为串行输入, 从DB7输出信号DOUTA; 将信号DOUTA经过数字隔离器ADUM7643

传给 CPU, CPU 可以通过串行外设接口 SPI (serial peripheral interface) 协议来配置 ADUM7643 的内部寄

存器, 实现变流器及电动机模拟数据的输入和输出。AD 转换电路如图 2 所示。

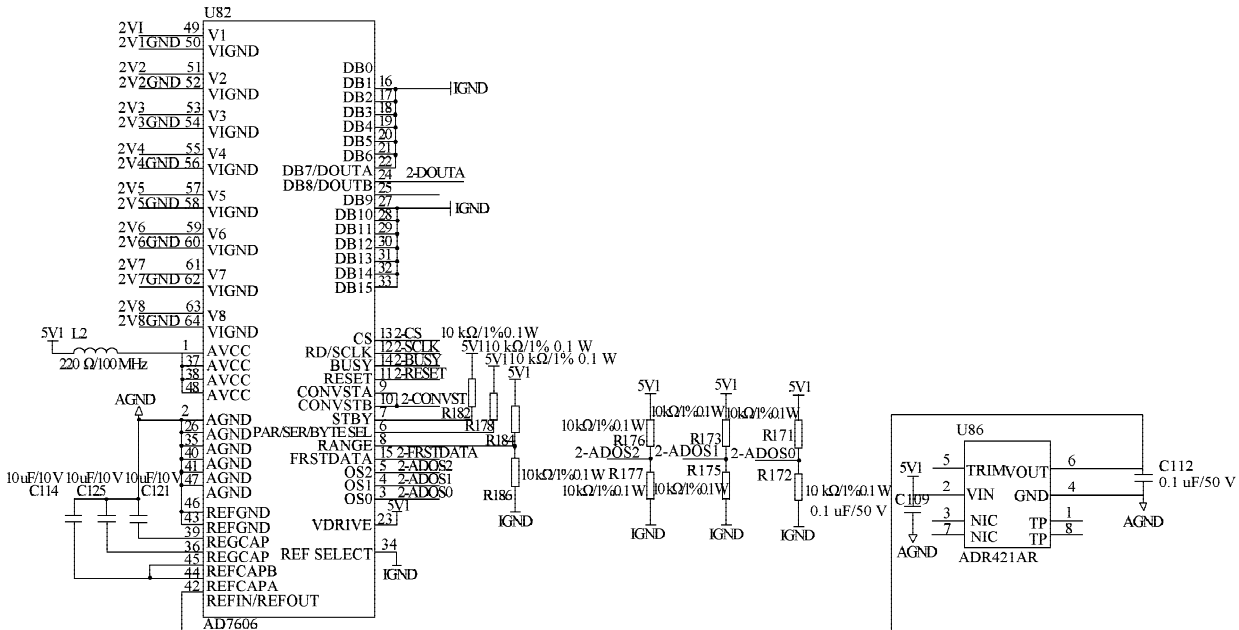


图 2 AD 转换电路图

Fig. 2 AD conversion circuit

2.3 输入与输出模块

输入与输出模块的主要作用是采集输入的数字信号, 输出相应的数字信号。数据输入 DI (data input) 量主要包括司控器信号、电动机的运行情况 (前进、后退)、主电路的一些故障等; 数据输出 DO (data output) 量主要是一些反馈信号。

DI 量的采集过程为: 先采用 SN74LVC138AD 的 3 线-8 线制译码器来实现输出线通道的选择; 再通过隔离器 SN74HC541DW 芯片, 将采集的信号传给 CPU。DI 量的电路图如图 3 所示。

主电路开关, 使变流器开始工作。DO 量的电路图如图 4 所示。

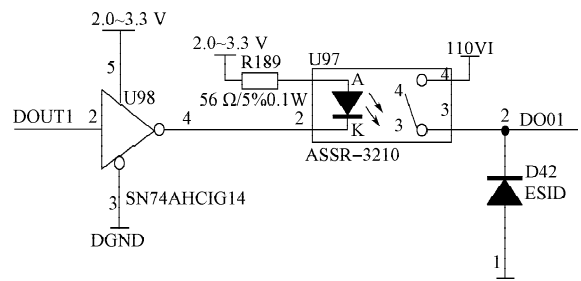


图 4 DO 量输出电路图

Fig. 4 DO output circuit

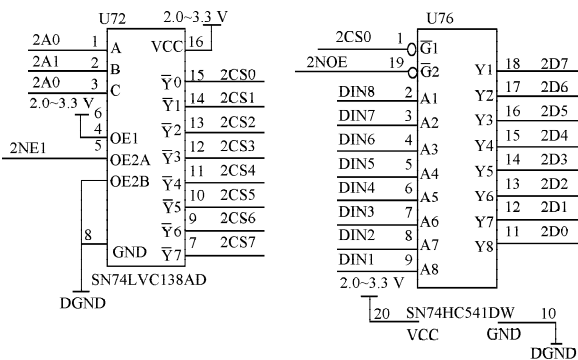


图 3 DI 量采集电路图

Fig. 3 DI acquisition circuit

DO 量的采集过程为: 通过非门 SN74AHC1G14 芯片, 实现 CPU 输出的高电平信号取反, 转换成低电平信号; 再传给 4 个引脚光耦 ASSR-3210, 其对输入、输出电信号起隔离作用, 使 DO01 输出 110 V 来控制

2.4 通讯接口模块

通讯接口模块的主要作用是实现 ARM 处理器与上位机的数据传输。

通讯接口采用 ADM3054 芯片。ADM3054 是信号隔离 CAN 收发器, 它在 CAN 协议控制器与物理层总线之间创建一个隔离接口, 并能以最高 1 Mb/s 的数据速率工作。该芯片的总线引脚 (CANH 和 CANL) 集成既有保护功能、限流和热关断特性, 又能防止短接到 24 V 系统中的电源或地。

通讯系统通过芯片 ADM3054 来实现数据的传送。CPU 处理后的数据 (信号 CANRXA) 通过 CAN 总线传出, 输出信号 CANTXA, 经 ADM3054 传给外界网关, 与其他设备进行通讯。通讯接口模块的电路图如图 5 所示。

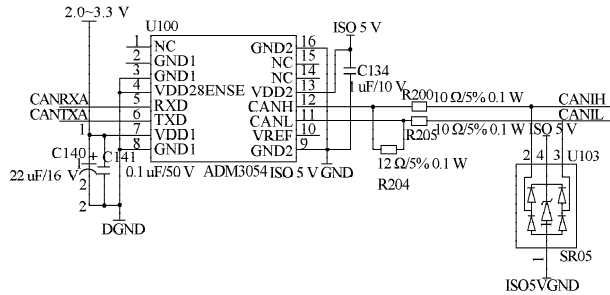


图5 通讯模块电路图

Fig. 5 Communication module circuit

3 系统软件设计

系统的软件主要包括 ARM 启动模块、CPU 与上位机之间的通讯模块及双口随机存取存储器 RAM (random access memory) 通讯模块(实现 ARM 与 DSP 之间的通讯)。系统结构如图 6 所示。初始化 CAN1, 使能接收中断, 接收 TCMS 数据, 经 ARM 处理器和 DSP 处理器处理后, 再把数据传送给上位机; 初始化 CAN2, 变流器 1 通过 CAN1 把数据传送给变流器 2。

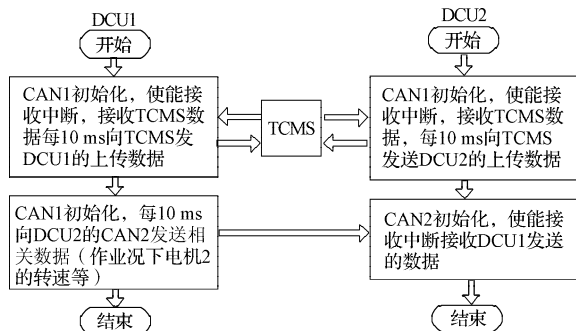


图6 系统结构图

Fig. 6 System block diagram

3.1 AD 转换模块的应用程序设计

本文在 keil 环境下通过 Microsoft Visual C++ 进行程序设计。系统主要通过 AD7606 采集数据, 经 CPU 的 SPI 总线来完成该数据的传送。AD 转换模块的主要流程是: 初始化 AI 端口; 判断 AD 转换是否完成, 如果否, 则不进入中断函数, 如果是, 则进入中断函数, 调用转换后的数字量, 再经 SPI 总线传送数据。AD 转换模块的流程图如图 7 所示。

AD 转换模块的主要功能是将 CPU 中的低电压信号转变成变流器温度和电动机温度及电压信号。CPU 的电压信号与外界模拟信号呈线性关系, 即

$$A_i = \frac{temp_i - con_{min,i}}{con_{max,i} - con_{min,i}} \times (phy_{max,i} - phy_{min,i}) + phy_{min,i}$$

式中: $i=1\sim 8$;

A_i 为传感器的实际值;

$temp_i$ 为 CPU 的实际电压值;

$con_{max,i}$, $con_{min,i}$ 分别为 CPU 电压参考值的最大值和最小值;

$phy_{max,i}$, $phy_{min,i}$ 分别为传感器参考值的最大值和最小值。

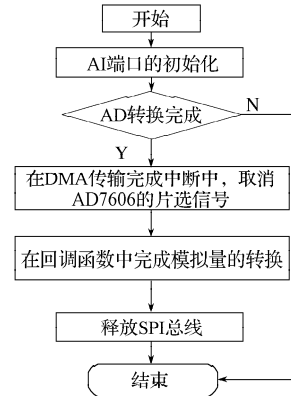


图7 AD转换模块的流程图

Fig. 7 AD conversion module flowchart

3.2 DI/DO 开关量的应用程序设计

在 DI/DO 开关量的程序设计中, 由于采用 Windows CE 嵌入式操作系统, 而微软为 Windows 系统提供一些高级数字量函数在嵌入式系统中无法实现, 所以终端采用 vFSMC 和 GPIO_WriteBit 函数来分别实现开关量的输入、输出工作。DI/DO 开关量采集的工作过程是: 初始化定时器、DI 量和 DO 量; 定时器延时 20 ms; 读 DI 量; 写 DO 量。DI/DO 开关量的工作流程图 8 所示。

DI/DO 开关量程序调用的主要函数如下:

vFSMC_ReadBuffer(), GPIO_WriteBit()。

DI 开关量的读取是先读取对应地址中的数据, 并存储到缓冲区, 即通过调用 vFSMC_ReadBuffer() 函数来实现。vFSMC_ReadBuffer() 函数将地址中的数据取出来, 存到结构体 logic_DI.Data 中, 来完成开关量的读取, 即

vFSMC_ReadBuffer(((u8*)(&logic_DI.Data)), DIn_Reg_Add, DIn_Reg_Len)。

DO 开关量的写入是通过调用 GPIO_WriteBit() 函数实现。具体过程为: 先设置 ARM 处理器的端口, 将变流器运行的逻辑量写到 ARM 处理器的端口; 再控制外部主电路的动作。GPIO_WriteBit() 函数如下:

GPIO_WriteBit(GPIOPortArr[i], GPIOPinArr[i], (BitAction)(~logic_IO.INVERR1)),

其中 $i=0, 1, \dots, 5$ 。

本系统包含 6 个 DO 量, 分别为变流器正常、水冷装置水泵的启停、水冷装置风机的启停和水冷装置工作正常等。

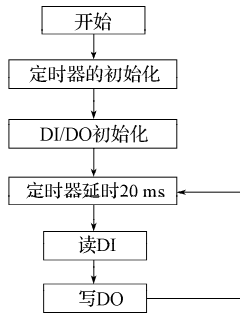


图8 DI/DO开关量的工作流程图

Fig. 8 The working flowchart of DI/DO switch

3.3 网关通讯的应用程序设计

网关通讯包括2种通讯方式。1) CAN与上位机通讯,通过CAN1TX将电动机温度、变流器的电压和变流器的电流传给上位机,通过CAN1RX接收上位机对变流器的控制信号,通过CAN2将变流器1的牵引力、制动力和转矩等参数传给变流器2。2) 双口ARM通讯实现ARM与DSP之间的通讯。主要函数如下。

1) CAN2数据发送、CAN1数据发送与接收

控制器区域网络CAN包括CAN1和CAN2, CAN1实现与上位机的通讯, CAN2用来与铣磨车另一个控制板进行通讯。网关配置的工作过程为: 延时器和CAN初始化; 延时20 ms; CAN1和CAN2发送数据; 判断CAN1接收数据是否已完成, 如果是, 则进入中断函数, 否则延时等待。网关流程如图9所示。

CAN数据的发送过程为: 首先配置CAN总线的地址, 每次传送的数据长度为8b; CAN1调用函数memcpy()将TxMessage.TxPD[]中的数据复制给Can1TxTsgTmp.Data, 再调用函数CAN_Transmit()将数据传输出去; CAN2调用函数memcpy()将TxMessage2.TxPD[]中的数据复制给Can2TxTsgTmp.Data, 再调用函数CAN_Transmit()将数据传输出去。

memcpy()和CAN_Transmit()函数形式如下:

```
memcpy(Can1TxTsgTmp.Data, &TxMessage.TxPD[Can1TxCount*4], 8);
```

```
TransmitMailbox1 = CAN_Transmit(CAN1, &Can1TxTsgTmp);
```

```
memcpy(Can2TxMsgTmp.Data, &TxMessage2.TxPD[Can2TxCount*4], 8);
```

```
TransmitMailbox2 = CAN_Transmit(CAN2, &Can2TxMsgTmp);
```

CAN数据的接收过程为: 上位机给系统发送数据, 程序就进入CAN中断函数, 接收上位机发送的数据, 实现上位机对变流器的控制。CAN数据的接收是通过调用CAN1_RX0_IRQHandler()函数来实现, 即

```
void CAN1_RX0_IRQHandler(void)。
```

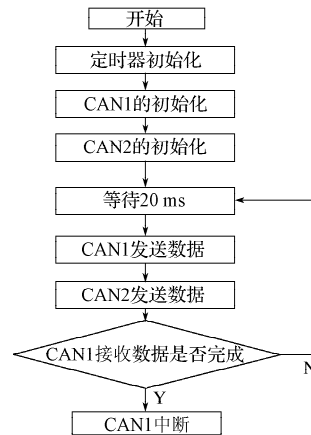


图9 网关工作流程图

Fig. 9 Gateway work flowchart

2) 双口RAM通讯

双口RAM通讯是通过调用vFSMC函数来实现, 完成ARM与DSP之间的数据交换。双口RAM通讯的主要过程为: 初始化vFSMC; 设置ARM与DSP之间数据传输的函数。双口RAM通讯的工作流程框图如图10所示。

双口ARM通讯调用vFSMC_SRAM_WriteBuffer()函数, 其将DualRamTxMsg里的数据传送给CPU, CPU将电动机的给定转矩、转速和启动情况等数据传给DSP; 调用函数vFSMC_SRAM_ReadBuffer(), 接收DSP传送的实际转矩、转速和故障代码等数据, 通过CPU处理, 将数据存在DualRamRxMsg中。具体函数格式如下:

```
vFSMC_SRAM_WriteBuffer(DualRamTxMsg, 0x10*2, DUAL_RAM_TX_BUF_SIZE);
```

```
vFSMC_SRAM_ReadBuffer(DualRamRxMsg, 0x80*2, DUAL_RAM_RX_BUF_SIZE);
```

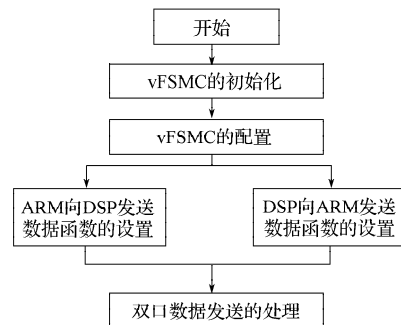


图10 双口ARM的工作流程图

Fig. 10 ARM dual-port working flowchart

4 结论

本文对铣磨车变流器控制系统的硬件和软件进

行了详细设计。测试结果表明,基于STM32F417的控制系統能监测变流器的运行情况,并对变流器进行实时控制。该系统具有抗干扰性强、精度高、响应速度快等优点。

参考文献:

- [1] 代续续,刘奇,宋昊明.变频器冷却系统改造[J].机械研究与应用,2013,26(1):109-111.
Dai Xuxu, Liu Qi, Song Haoming. The Transformation of Frequency Converter Cooling Systems[J]. Mechanical Research and Application, 2013, 26(1): 109-111.
- [2] 尹路,易吉良,张宝.基于IGBT全桥式逆变焊机主电路的设计与仿真[J].湖南工业大学学报,2014,28(1):26-31.
Yin Lu, Yi Jiliang, Zhang Bao. Design and Simulation of Main Circuit for IGBT-Based Full-Bridge Inverter Welding Machine[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(1): 26-31.
- [3] 戴圣伟,王林,张婷.基于STM32的GPRS无线通讯新型智能安防仪的研究与开发[J].湖南工业大学学报,2014,28(6):76-80.
Dai Shengwei, Wang Lin, Zhang Ting. Research and Development of STM32-Based Intelligent Anti-Theft Instrument with GPRS Wireless Communication[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(6): 76-80.
- [4] 马秉亮,朱琳,徐金榜,等.基于STM32F103VF测试某型导弹发控设备的测试精度与参数设计[J].计算机与数字工程,2015,43(2):187-190.
Ma Bingliang, Zhu Lin, Xu Jinbang, et al. Missile Launch Control Equipment Test Precision and Parameters Based on STM32F103VF[J]. Computer and Digital Engineering, 2015, 43(2): 187-190.
- [5] 郑美松.基于ARM的变压器温度检测系统[D].济南:山东大学,2012.
Zheng Meisong. Transformer Temperature Detection System Based on ARM[D]. Jinan: Shandong University, 2012.
- [6] 朱剑,欧青立,吴杨希,等.基于ARM的网络对讲系统的设计[J].应用科技,2011,38(9):60-64.
Zhu Jian, Ou Qingli, Wu Yangxi, et al. Design of Network Voice Communication System Based on ARM[J]. Application Science and Technology, 2011, 38(9): 60-64.
- [7] 意法半导体(中国)投资有限公司.STM32F10xxx参考手册[EB/OL]. [2015-05-12]. <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141?sc=mcu/>.
STMicroelectronics (China) Investment Co., Ltd. STM32F10xxx Reference Manual[EB/OL]. [2015-05-12]. <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141?sc=mcu/>.
- [8] 李涛.基于ARM的直驱风电机组控制系统设计与实验研究[D].北京:华北电力大学,2012.
Li Tao. The Design and Experimental Study of Direct-Drive Wind Turbine Control System Based on ARM[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.

(责任编辑:邓彬)