

基于STM32的励磁装置数据采集系统

张晓艺^{1,2}, 张文玲^{1,2}, 杨彦杰^{1,2}, 何州²

(1. 河北工业大学 省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室, 天津 300131; 2. 河北工业大学 电气工程学院, 天津 300131)

摘要: 励磁装置数据采集对于系统实时监视有重要意义。为了分析实时数据, 实现励磁装置故障诊断和定位以及故障预测, 基于STM32最小系统, 设计了励磁电压、电流和发电机机端电压、电流信号调理电路, 完成了高压、大电流信号缩放、平移和偏置等环节。综合分析STM32F407ZGT6资源, 采用ADC双重同步触发模式和DMA数据转移, 编写了相应数据采集程序, 完成了多通道数据采集。通过CAN通讯将数据传输到上位机, 上位机接收数据后由LabVIEW实时显示数据波形。

关键词: 励磁装置; 数据采集; STM32F407芯片; CAN通讯

中图分类号: TM28 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd19849

Data Acquisition System of Excitation Device Based on STM32

ZHANG Xiaoyi¹, ZHANG Wenling^{1,2}, YANG Yanjie^{1,2}, HE Zhou²

(1. State Key Laboratory of Reliability and Intelligence of Electrical Equipment, Hebei University of Technology, Tianjin 300131, China; 2. School of Electrical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300131, China)

Abstract: Data acquisition of excitation device is very important for real-time monitoring of the system. In order to analyze real-time data, realize the fault diagnosis and location and fault prediction of excitation device, the excitation voltage, current, generator terminal voltage and current signal conditioning circuit were designed, and the high voltage and large current signal scaling, translation and offset were completed based on STM32 minimum system. The STM32F407ZGT6 resources were comprehensively analyzed, and the corresponding data acquisition program was compiled by using ADC dual synchronization trigger mode and DMA data transfer, and the multi-channel data acquisition was completed. The data is transmitted to the upper computer through CAN communication, after receiving the data, the data waveform is displayed by LabVIEW in real time.

Key words: excitation equipment; data acquisition; chip STM32F407; CAN communication

励磁装置数据采集系统对发电机运行状态实时监测和故障录波有着重要意义^[1]。数据采集的精度和实时性直接影响系统状态判断的准确性和快速性。采集系统获得的各类数据可作为后续故障识别以及故障预测的重要数据来源。考虑到设计成本和后续应用的问题, 本设计选择STM32F407ZGT6作为主处理器(MCU), 结合其内置模数转换器(ADC)资源, 设计了电平偏置电路、励磁电压和电流采集电路、机端电压和电流电路、CAN通讯电路、供电电路等, 主要采集励磁

整流桥的输出波动直流电压、电流和发电机机端三相交流电压与电流, 并利用上位机LabVIEW显示, 获得了较好采集波形^[2-3]。本设计选用的芯片具有强大的外设功能, 且成本低廉, 具有广阔的开发前景。

1 系统硬件电路

本设计励磁系统RXEE采用自并励励磁方式, 输出电流为三相整流桥输出, 励磁回路电压可达800 V, 电流达300~500 A, 励磁回路电压较

高,不能直接进行信号采集,需将高压大电流适配为微处理器可处理的电平^[4]。本设计选择STM32F407ZGT6作为MCU,因为STM32F4系列芯片的优势是新增了数字信号处理(DSP)指令以及浮点运算单元(FPU),非常适合于实时快速实现数字信号处理算法,如快速傅氏变换(FFT),小波变换(WT),希尔伯特-黄变换(HHT)等。同时,STM32F4的主频也提高到168 MHz(具有210DMIPS处理能力),使得STM32F4系列MCU非常适合需要浮点运算或DSP处理的应用。整个采集系统由主控制模块、一系列模拟信号调节电路、通讯模块、电源模块以及人机交互模块构成^[5]。励磁采集系统原理框图如图1所示。

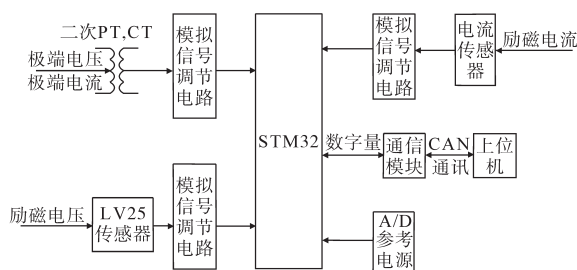


图1 励磁采集系统框图

Fig.1 Block diagram of excitation acquisition system

1.1 STM32F407ZGT6简介

STM32F4是意法半导体(ST)公司在2011年推出的基于Cortex M4内核的系列产品^[6]。STM32F407ZGT6配置非常强大,它拥有的资源包括:集成FPU和DSP指令,并具有192 KB SRAM,1 024 KB FLASH;12个16位定时器,2个32位定时器,2个直接存储器访问(DMA)控制器(共16个通道),3个串行外设接口(SPI),2个全双工集成电路内置音频总线(I2S),3个内部集成电路(IIC),6个串口,2个USB(支持HOST/SLAVE),2个CAN,3个独立12位ADC,2个12位DAC,1个实时时钟(RTC,带日历功能);安全数字输入/输出接口(SDIO)接口、灵活的静态存储控制器(FSMC)接口、10/100M以太网MAC(media access control)控制器、摄像头接口、硬件随机数生成器各1个;112个通用IO口,支持串行(SWD)、JTAG调试等^[7]。

1.2 励磁电压电流采集电路

发电机机端电压电流为交流信号,励磁电压为波动直流,均会出现过零现象,为了使信号在STM32F407内部ADC适配电压范围0~3.3 V内,现进行如图2所示电路结构进行信号平移^[3,8]。

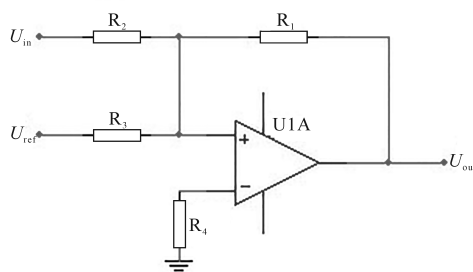


图2 电平平移电路

Fig.2 Level shift circuit

根据叠加原理,可得出输出电压 U_{out} 与 U_{in} , U_{ref} 的关系为

$$U_{out} = -\frac{R_1}{R_2}U_{in} - \frac{R_1}{R_3}U_{ref} \quad (1)$$

式中: U_{in} 为输入电压; U_{ref} 为平移电平。

为满足ADC电压范围0~3.3 V,需满足如下2个约束条件:

$$-\frac{R_1}{R_2}U_{in,max} - \frac{R_1}{R_3}U_{ref} \geq 0 \quad (2)$$

$$-\frac{R_1}{R_2}U_{in,min} - \frac{R_1}{R_3}U_{ref} \leq 3.3 \quad (3)$$

式中: $U_{in,max}$ 为最大输入电压; $U_{in,min}$ 为最小输入电压。

本设计中,为调节方便,取 $R_1 = R_2 = 5.1 \text{ k}\Omega$, R_3 结合 U_{ref} 适当选择。在电路中反相,需在输入 U_{in} 前端加一个由运放构成的反相器, U_{ref} 一般取负电压。

考虑信号采集电路需要和外部电路具有电气隔离,以及具有较强的抗干扰能力,励磁电压、电流可用霍尔传感器转换为小信号后再进行处理。励磁电压可由电压传感器LV25-P进行电压缩小;励磁电流采用霍尔电流传感器,转换为4~20 mA小电流信号。传感器本身自带电气隔离。利用Multisim搭建如图3所示仿真电路图,得到仿真曲线在0~3.3 V范围,符合电平要求。Multisim仿真输出如图4所示。

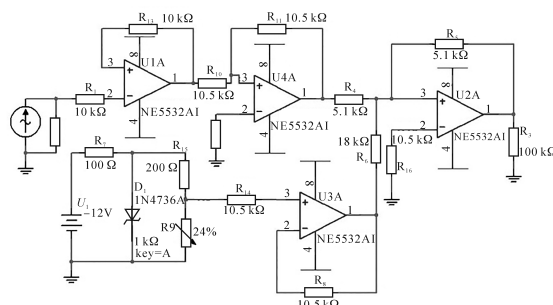


图3 励磁电压仿真图

Fig.3 Simulation diagram of excitation voltage

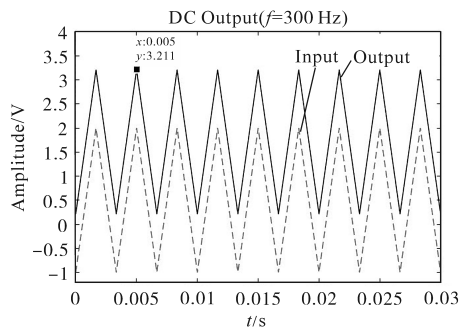


图4 仿真输出

Fig.4 Simulation output

1.3 机端电压电流采集电路

发电机机端交流电压和电流信号可利用电压互感器、电流互感器转为 100 V 和 5 A 信号,由于 100 V 和 5 A 信号相对于 STM32 系统仍为高压、大电流,采用二次降压、变流。选用 T70/B 220/5V 模块将 100 V 电压转为 5 V 信号,TA5A/0.1A 母线内置式交流互感器将 5 A 电流变为 0.1 A 电流信号。该模块均可直接焊接在 PCB 板上,由于设计 PCB 空间有限,且该电压、电流变化电路简单,本设计并未放置在 PCB 板上,实际测量需外加相应模块。为获得更好的电气隔离,本设计拟对定子电压采集信号采用双极性线性光耦器件 HCNR201 进行电气隔离处理,HCNR201 线性光耦模块同母线内置式交流互感器一样可直接放置在 PCB 板上,本设计中 HCNR201 采用 DIP8 封装。结合平移电路、稳压电路等环节,可得到机端电压采样电路原理如图 5 所示。电流采集由于使用了两极电流互感器,其电气隔离效果较好,可以直接进行处理,机端电流采集电路原理如图 6 所示。

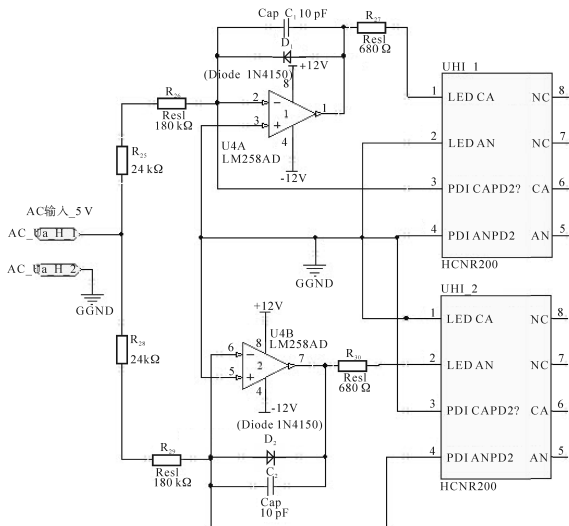


图5 机端电压采集电路

Fig.5 Terminal voltage acquisition circuit

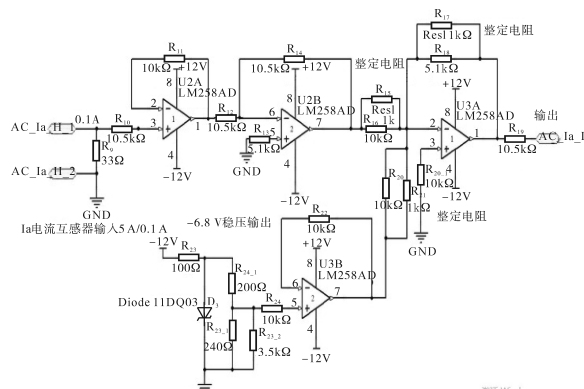


图6 机端电流采集电路

Fig.6 Machine-side current acquisition circuit

1.4 CAN 通讯和电源模块电路

CAN 通讯电路的收发器选用 TI 公司生产的芯片 VP1050, 其工作电压为 5 V, 适配 MCU 工作电压为 3.3 V, 引入 SN74LVC4245DB 电平转换器件。MCU 经 SN74LVC4245DB 电平转换后与外部 CAN 总线相连。用光耦合隔离器件 6N137 实现电气隔离作用, 防止外部 CAN 总线串入高压时对 MCU 产生危害。CAN 通讯接口电路如图 7 所示。

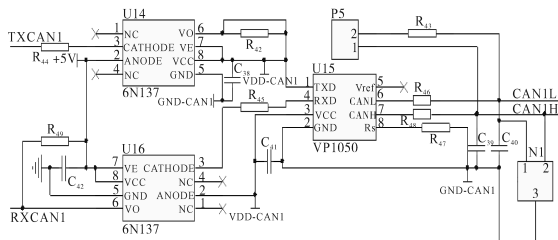


图7 CAN通讯接口电路

Fig.7 CAN communication interface circuit

本设计采用 24 V 电源供电,STM32 最小系统板载有 5 V 转 3.3 V 芯片模块,故只需提供 5 V 电压,运算放大器要求电源为 ± 12 V,励磁电压采集模块 LV25-P 需要 ± 12 V 电压,允许最大值为 ± 15 V,可共用运算放大器电源,综合考虑简化电路复杂度和 PCB 空间,选择用 MORNSUN 公司的 24 V 转 5 V, ± 12 V 模块。

2 系统软件设计

本文采用 KEIL MDK 集成开发和调试平台。

2.1 ADC 配置

本设计采用如下采样配置:ADC 多通道双
重模式同步触发,DMA 数据存储,触发方式可选
用软件触发、内部时钟触发。该方式下,ADC1

作为主模数转换器、ADC2为从模数转换器,触发脉冲会同时触发ADC1,ADC2,并同时转换,转换完成后生成DMA请求,将数据存储到预先设定的数组内;然后进入下一组通道,重复以上过程;所有通道转换完成后,ADC从第1次转换通道组开始第2次转换,如此循环。

2.2 DMA配置

DMA配置主要分为以下几个步骤:通道选择、优先级配置、数据传输方向、存储器和外设数据宽度、存储器和外设地址是否增量、模式配置、数据传输量等^[9]。本设计中ADC的DMA数据请求和通道位于DMA2中,配置DMA2数据流0、通道0;由于仅1个DMA请求,优先级可设定为默认值;ADC作为CPU的外设,数据传输方向为外发到存储器;宽度为半字;外设地址(即ADC转换完成存放DR的地址)不变,存储器地址(自定义的数据存储地址)自增1;循环模式;数据传输量为4。

配置DMA时,需要注意外设地址值和目的地址值的获得,ADC规则通道的DR寄存器的内存地址为0x40012308,可定义为一地址常量,方便调用,目的地址值可直接传递地址值。DMA模式下,ADC转换完成标志位会作为DMA请求命令,在DMA读取ADC数据后,ADC标志位会自动清零,所以ADC的中断会失效,为实现数据传输的完整性,可用DMA中断,DMA在传输完成后会产生传输完成中断,利用该中断信号,作为CAN邮箱装载数据的标志。

2.3 CAN通讯配置

STM32F407ZGT6的控制器区域网络(CAN),具有2个CAN通讯口,CAN1为主bxCAN,用于管理bxCAN与512字节SRAM存储器之间的通讯;CAN2为从bxCAN,无法直接访问SRAM存储器;2个bxCAN单元共享512字节SRAM存储器。CAN通讯传输有以下5种类型的帧:数据帧、错误帧、遥控帧、间隔帧、过载帧。本设计主要进行数据传输,采用数据帧发送数据。数据帧分为标准帧和扩展帧,本设计采用标准帧。

在CAN通信模块的初始化配置中,波特率是一个非常关键的参数^[10]。本设计中,APB1频率为42 MHz,配置CAN通讯的预分频系数为6,CAN_BS1配置为7个CAN周期,CAN_BS2配置为

6个CAN周期,则波特率计算值为

$$\begin{aligned} \text{波特率} &= \frac{42 \text{ MHz}}{\text{CAN_Prescaler}} \times \frac{1}{1 + \text{CAN_BS}_1 + \text{CAN_BS}_2} \\ &= \frac{42 \text{ MHz}}{6} \times \frac{1}{1 + 7 + 6} = 500 \text{ kbps} \end{aligned}$$

式中:CAN_Prescaler为预分频系数;CAN_BS₁为时间段1(BS1)定义采样点的位置;CAN_BS₂为时间段2(BS2)定义发送点的位置。

初始化CAN通讯之后,配置CAN工作模式及波特率、相关控制位等,并退出初始化。在CAN通讯接收和发送采样差动电平时,硬件连接要注意120 Ω电阻的接入。CAN帧结构配置为:时间触发通信模式禁止,自动离线管理禁止,自动唤醒模式禁止,允许报文自动重传,接收FIFO锁定模式禁止,发送FIFO优先级由报文标识符决定,重新同步跳跃宽度为2个CAN周期。利用USB-CAN适配器及CANTool接收、发送数据如图8所示。

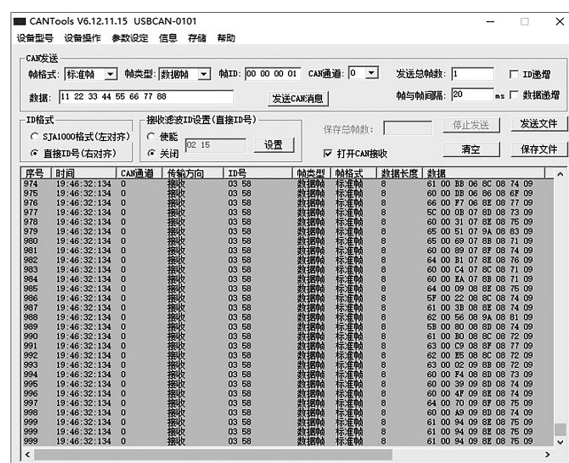


图8 CAN-Tools接收、发送数据

Fig.8 CAN-Tools receive and send data

3 人机界面设计

CAN通讯传输到上位机的数据可由LabVIEW进行实时数据处理和分析,查看励磁系统运行状态等^[3]。信号波形显示如图9所示,信号波形输入由任意波形发生器产生,与上位机LabVIEW通讯由USB-CAN适配器连接^[11]。为分析线性光耦的线性度性能,本文获得了线性光耦器件HCNR201输入电压与隔离输出电压关系图,如图10所示。图10是由信号采集系统输入直流信号并读取STM32采样值获得,分析图9、图10,线性光耦器件HCNR201在0~1.6 V范围内线性

度非常高,在1.6 V以后,由于前端电压转电流的运算放大器工作在比较状态下,使得输出值达到-12 V,输入电压的变化已不影响线性光耦的亮度,即光电效应产生的光电流值基本不变,则输出电压值基本不变。

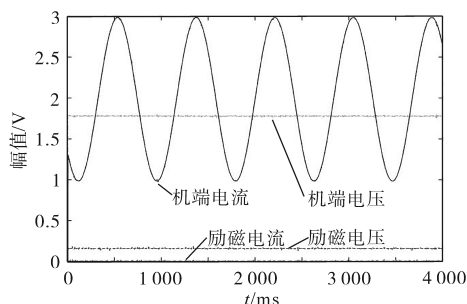


图9 信号采集波形显示

Fig.9 Signal acquisition waveforms display

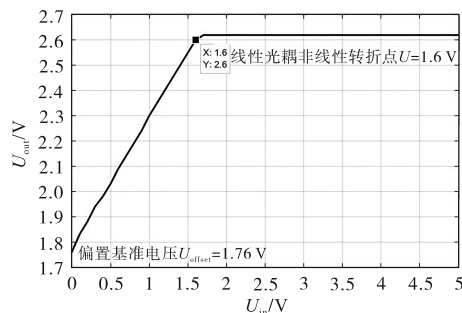


图10 线性光耦HCNR201输入 U_{in} 与输出 U_{out} 关系图

Fig.10 Linear photocoupler HCNR201 input U_{in} and output U_{out} relation diagram

利用上位机信号显示电路可获得相应的波形如图11。

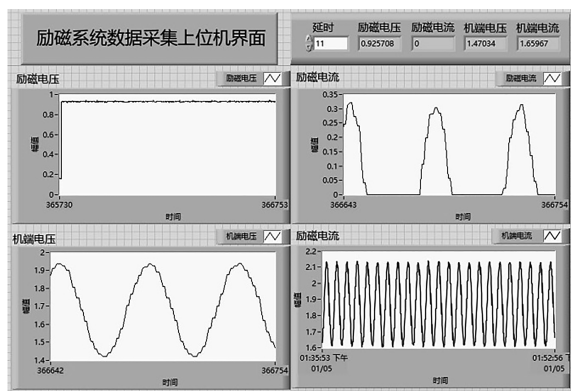


图11 上位机LabVIEW波形显示

Fig.11 LabVIEW waveforms display of upper computer

4 结论

本文在考虑电气隔离条件下完成了励磁系统励磁电压、电流和机端电压、电流信号采集,并利用CAN通讯实现了与上位机通讯,利用LabVIEW显示了实时波形。本系统可实现如下功能:

1)励磁和机端电压、电流波形现场实时查看。上位机LabVIEW设置了友好的用户界面,可方便调整显示。

2)故障录波和运行状态记录。LabVIEW接收到的数据可存储到上位机内存中,方便后续查看运行状态。

本文实现了励磁装置主要参数的信号采集和波形显示,主要采集了4路信号,ADC采样频率比CAN通讯的传输频率要高,一定程度上并未充分利用STM32 ADC快速采样能力,还有许多有待完善之处,下一步计划设计人机界面显示触发角、有功功率、无功功率、频率等参数。

参考文献

- [1] 陈婷婷. 基于Linux的发电机励磁监测系统的设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [2] 汪成龙, 黄余风, 何宣, 等. 基于LabVIEW的应变片数据采集系统[J]. 电子测量技术, 2018, 41(14): 97-101.
- [3] 张子实, 赵静一, 周枫. 基于LabVIEW和Modbus/TCP的风电数据采集系统设计[J]. 自动化仪表, 2018, 39(7): 47-50.
- [4] 吴杰, 方渊. 抽水蓄能机组励磁系统智能化设计[J]. 电气技术, 2016(3): 81-84.
- [5] 王荣. 基于CAN总线的智能车辆数据采集与处理[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [6] STM32F4开发指南(库函数版)[M]. 广州: 星翼电子科技有限公司, 2014: 424.
- [7] Cortex-M4 Devices Generic User Guide[M]. ARM, 2010: 271.
- [8] 段智敏, 李驰, 丛培田, 等. 基于STM32F407的风机故障检测远程振动信号采集方法[J]. 仪表技术与传感器, 2017(6): 176-178, 182.
- [9] 卢其晓. 励磁系统监测及显示模块的研究与开发[D]. 天津: 河北工业大学, 2012.
- [10] 周雪松, 康文广, 马幼捷, 等. 以太网技术在基于DSP的励磁控制系统中的应用[J]. 电气传动, 2008, 38(3): 46-49.
- [11] 何瑛. 基于LabView RT的数据采集及通信系统设计与研究[J]. 电子设计工程, 2018, 26(13): 190-193.

收稿日期: 2019-01-08

修改稿日期: 2019-04-07