

基于单片机的直流电动机的信号采集系统设计

李国强, 谢永成, 魏宁

(装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072)

摘要: 装甲车辆起动过程中, 直流电动机部分容易发生故障, 传统的电机诊断方法都是定期制定维修计划, 这种检修方式容易造成维修不足、维修过量以及盲目维修的问题, 为了深入分析电动机故障发生时的参数信息的变化, 构建一套能够采集电机运行参数的系统, 对采集电枢电流和振动信号进行时频域分析, 能够反映故障发生的特点; 该系统以 STM32103C8T6 为主控芯片, 设计了电流、振动信号采集电路, 信号调理电路, 对 A/D 转换模块、数据存储模块进行了编程实现, 能够对直流电动机的电枢电流和振动信号进行实时采集, 并将数据保存到上位机中进行后续的调用处理; 通过测量对比直流电动机起动过程轴承部位发生不同故障时的电流和振动信号, 利用 MATLAB 仿真实时域内的信号显示, 并在 MATLAB 平台中, 编程实现了振动信号的时频域分析; 仿真结果表明, 该采集系统能够准确测量信号, 具有成本低, 体积小, 精度高等优点, 能够为故障特征提取提供较好的数据基础。

关键词: 直流电动机; 信号采集; MATLAB 仿真

Design of Signal Acquisition System of DC Motor Based on Single Chip Microcomputer

Li Guoqiang, Xie Yongcheng, Wei Ning

(Department of Control Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: In the starting process of the armored vehicle, the DC motor is prone to failure. The traditional diagnosis method of motor is to make the maintenance plan regularly, which is easy to cause the problem of insufficient maintenance, excessive maintenance and blind maintenance. In order to deeply analyze the variation of the parameters of the motor fault, to build a set of system which can collect the operating parameters of the motor, in the frequency domain analysis of the armature current and the vibration signal, it can reflect the characteristics of the fault. The system uses STM32103C8T6 as the main control chip, the current, vibration signal acquisition circuit, signal conditioning circuit, A/D conversion module, data storage module was programmed to the armature current of DC motor and vibration signal real-time acquisition and data processing of the follow-up call to save the PC. The starting process of different fault bearing parts of current and vibration signal measured by the comparison of DC motor, use MATLAB simulation to achieve a time-domain signal display, and in the MATLAB platform, the programming of the time-frequency domain analysis of vibration signal. The simulation results show that the acquisition system can accurately measure the signal, has the advantages of low cost, small size, high accuracy, and can provide a good data base for the fault feature extraction.

Keywords: Dc motor; signal acquisition; MATLAB simulation

0 引言

装甲车辆的直流电动机是车辆起动过程中的重要部件, 由于运行环境复杂, 检修管理制度落后以及检测效率低, 直流电动机很容易发生故障, 其中较为常见的包括绕组故障、轴承故障、换向故障、电枢故障、气隙偏心故障等。当故障发生时, 通过检测工作时的状态量(如电流、振动、温度、噪声等)的变化, 与正常工作时的状态量相比较, 就能发现电动机的故障。其中电枢电流和振动信号受外界干扰小, 包含奇异性成分, 因此采集这两种信号进行分析能够较好的反映电动机发生故障的特点, 提高故障诊断能力, 直接影响到电动机故障诊断

的可靠性^[1]。现在市场上还没有一种既可以测电流信号又可以测振动信号的仪器, 而且市场上出售的采集系统价格都比较昂贵。为此设计一套性价比高的信号采集系统很有必要。本文采用 STM32103C8T6 型单片机为核心, 开发了便携式信号采集系统, 能够实时测量电枢电流和振动信号, 并能将数据传到上位机中进行分析处理, 可以利用傅里叶变化、小波分析, 希尔伯特黄变换等信号处理方法对数据作时频域分析处理, 可以更加有效的进行故障特征提取, 提高了故障诊断能力。

1 信号采集系统硬件设计

1.1 系统硬件设计总体框图及原理

本文设计的信号采集系统是以 STM32103C8T6 芯片作为控制单元, 它具有低功耗、少门路、短中断延时等许多优点, 并且能够简化编程, 具有很高的性能。以加速度传感器实时监控电动机各部位的振动信号, 霍尔电流传感器监测电动机的电流信号。利用 STM32103C8T6 芯片内部自带的 AD 转换完成数模转化, 将采集到的信号通过 USB 转串口传到计算机上,

收稿日期: 2016-10-24; 修回日期: 2016-11-24。

作者简介: 李国强(1993-), 男, 甘肃武威人, 硕士研究生, 主要从事检测技术与自动化装置方向的研究。

谢永成(1964-), 男, 河北乐亭人, 博士, 教授, 主要从事装甲车辆电气系统检测与诊断技术方向的研究。

利用 Qt creator 软件做一个 PC 程序将测量数据储存起来以供调用。利用 MATLAB 对数据进行分析处理。信号采集系统的总体设计框图如图 1 所示。

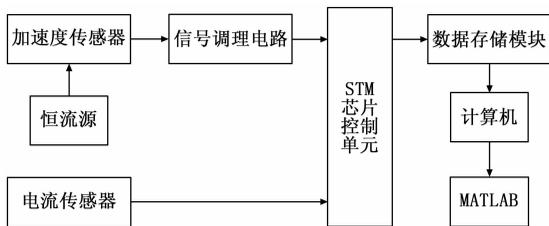


图 1 信号采集系统总体设计框图

1.2 系统各模块电路设计

此系统包含电源供电电路设计模块、信号调理电路模块、AD 转换的实现、通讯模块、数据存储模块等五个部分, 下面详细介绍各模块电路。

1.2.1 电源供电电路设计

信号调理电路、单片机控制电路及 USB 转串口电路需要的电压都是不同的。实验室现有的电压有 24V, 为了使采集系统稳定运行, 采用电源转换芯片 LM2575 实现 24V 转 5V, 以供信号调理电路使用。芯片 AMS1117 实现 5V 转 3.3V, 以供微处理器最小系统和 USB 接口部分使用, 如图 2 所示。加速度传感器需要恒流源给它供电, 选择芯片 LM334 作为恒流源, 其电流大小为 10mA。

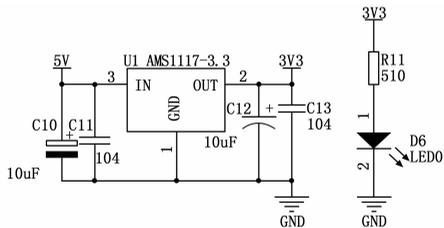


图 2 AMS1117 电压转换电路

1.2.2 信号调理电路模块

霍尔电流传感器采集到的模拟电压信号进入单片机外设管脚需要设计信号调理电路, 本电路采用双通道运算放大器 MC4558L 构成一个电压跟随器, 此设计既能够对输出电压起缓冲保护作用, 还能够对信号进行隔离, 电流信号调理电路如图 3 所示。直流电动机运行时振动信号的频率一般不超过 10KHz, 因传感器输出的信号中存在直流成分, 为了减小干扰信号对实际检测信号的影响, 所以在系统中加入了 MAX296 低通滤波器, 传感器输出的信号中的直流成分将不会通过, 并且只有 10 kHz 频率以下的信号通过。振动信号调理电路如图 4 所示。

1.2.3 AD 转换

STM32103C8T6 芯片本身带有 ADC 转换功能, 并且转换频率能够达到 1 MHz, 因此电路中不需要设计 AD 转换电路, 从而简化了电路设计。传感器的输出信号的电压为 0~4 V, 而 AD 转换范围为 0~3.3 V, 因此先对输出信号进行分压处理, 之后再行 AD 转换。分压过程为接两个阻值相同的电阻, 将采集到的数据使用 DMA 通道传递到 DMAT0buf 缓存中, 在 DMA 的中断中取平均值^[3], 把此平均值放入 Data 中,

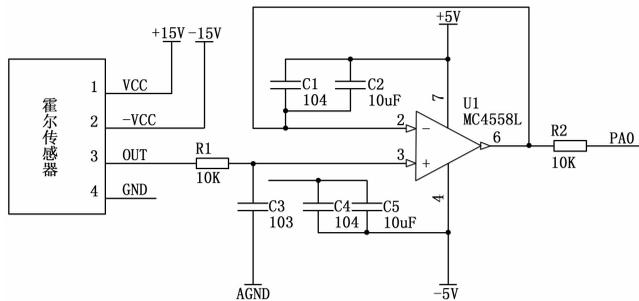


图 3 电流信号调理电路

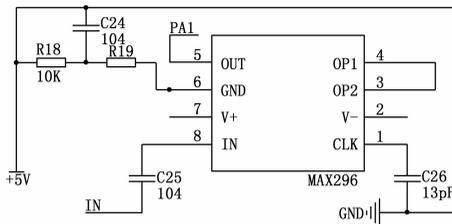


图 4 振动信号调理电路

以供串口来调用。

1.2.4 通讯模块

STM32103C8T6 芯片自身就包含一个 USB 传输模块, 只需设计 USB 接口电路, 就能和上位机进行通信, 实现数据发送、数据接收的处理, 以及握手分组的处理, 并且能够实时的进行数据传输, 适用于电动机运行过程中进行数据采集。本设计是利用 CP2102 芯片将 USB 信号转 TTL 串口实现与 PC 机进行通信的^[4]。CP2102 芯片集成度高、内置 USB2.0 全速功能控制器、USB 收发器、晶体振荡器、EEPROM 及异步串行数据总线 (UART), 并且支持调制解调功能, 通信过程为采集数据传输到 CP2102 中, 以 PC 应用软件的形式, 实现 PC 与 CP2102 数据的通信。通讯模块电路图如图 5 所示。

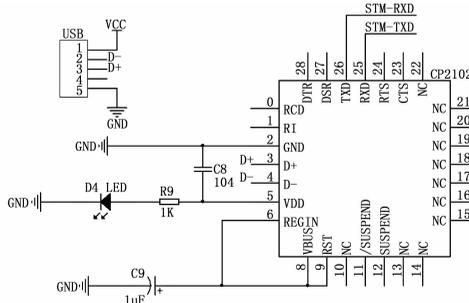


图 5 通讯模块电路

1.2.5 数据存储模块

数据存储模块是通过文件读写的方式完成的, 通过串口将数据发送至 PC 端, 利用 Qt creator 开发环境构建一个应用程序, 打开串口, 接收数据。此程序生成名为 data.txt 的文本文件, 将电流和振动信号保存在文件中, 以供 MATLAB 仿真调用。

1.2.6 Qt creator 软件介绍

Qt creator 是一款轻量级集成开发环境, 此开发环境支持 Linux、Mac OSX 以及 Windows 等系统, 据官方描述, Qt 这

个应用程序能够让开发人员更加快速而轻易的完成开发任务。它包括项目生成向导、高级的 C++ 代码编译器、浏览文件及类的工具、集成 qmake 构建工具等。

1.2.7 数据生成过程

构建实物后，在 Qt creator 软件平台上，编写 C++ 程序。调试成功后，设置端口将采集系统与 PC 程序连接起来。将传感器接在直流电动机的被测部位上，点击写入文件，采集完毕后，点击停止写入，就会生成一个名为 data.txt 的文档，里面储存了振动数据和电流数据。

2 系统软件设计

2.1 采集系统程序

本信号采集系统的程序利用 C 语言编写，以 Altium designer 为平台画出硬件电路，设计 PCB 图，通过 Keil uVision5 软件开发程序，最后将程序烧写下载到 STM32 芯片中，软硬件构建完毕，可以开始信号采集。AD 转换是将采集到的模拟信号转化为数字信号，利用芯片 PA0 和 PA1 口分别接受电流和振动传感器数据进行 A/D 转换，其程序流程图如图 6 所示。

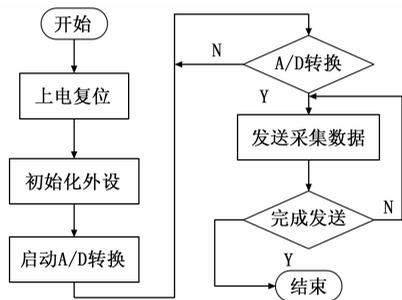


图 6 主程序流程图

部分程序如下所示。

初始化程序：

```
HAL_Init(); /* 复位所有外设,初始化 Flash 接口和系统滴答定时器 */
```

```
SystemClock_Config(); /* 系统时钟配置 */
```

```
MX_GPIO_Init();
```

```
MX_DMA_Init(); /* 初始化 DMA */
```

```
MX_ADC1_Init(); /* 初始化 ADC */
```

```
MX_USART1_UART_Init(); /* 初始化串口 */
```

数据转换程序：

```
HAL_ADCEX_Calibration_Start(&hadc1); //启动 AD 转换
```

```
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1, (uint32_t *) &uhADCxConvertedValue, 4);
```

```
while (1)
```

```
{if(HAL_GetTick() - shijian >= 250)
```

```
{HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_13); //GPIO 引脚
```

翻转

```
u32 temp[4] = {0};
```

```
float vcc[4] = {0};
```

```
temp[0] = uhADCxConvertedValue[0]; //读取电流 AD 值
```

```
vcc[0] = (float)temp[0] * 3300/4095;
```

```
vcc[0] = vcc[0]/1000 - 2.55;
```

```
vcc[0] = vcc[0] * 1000/66;
```

```
temp[1] = uhADCxConvertedValue[1]; //读取振动 AD 值
```

```
vcc[1] = (float)temp[1] * 3300/4095;
```

```
printf("%0.2f\r\n%0.2f\r\n", vcc[0], vcc[1]);
```

```
}}
```

2.2 上位机界面程序

利用 Qt creator 软件平台，编写 C++ 程序，实现了数据的存储，设置项目存储位置为 G: \ SerialPort \ data.txt 中。部分程序如下：

```
QFile data_file("G:/SerialPort/data.txt");
if(! data_file.open(QIODevice::ReadWrite | QIODevice::Text
QIODevice::Append))
{
qDebug() << "open file failed";
return;
}
requestData = my_serialport->readAll();
if(requestData != NULL)
{
qDebug() << requestData;
}
data_file.write(requestData);
requestData.clear();
tempData.clear();
data_file.flush();
data_file.close();
```

3 仿真研究

3.1 实验方法

对于装甲车辆起动电动机来说，容易发生的故障主要有定子绕组故障、轴承故障、换向故障、电枢故障及气隙偏心故障等。以直流电动机滚动轴承故障为例，用采集系统测量正常状态和故障状态的振动信号，故障状态分为外圈故障、滚动体故障和内圈故障。对 4 种状态分别进行采样，每种状态采 50 组数据，总共 200 组数据，每一组取 550 个数据点。利用 MATLAB 对采集的振动信号进行仿真。

3.2 结果分析

利用此采集系统对直流电动机轴承部位的振动信号进行测量，分别得到得到轴承正常状态和故障状态下的信号。如图 7 所示为轴承分别在正常状态、外圈故障、滚动体故障和内圈故障下的振动时域信号。

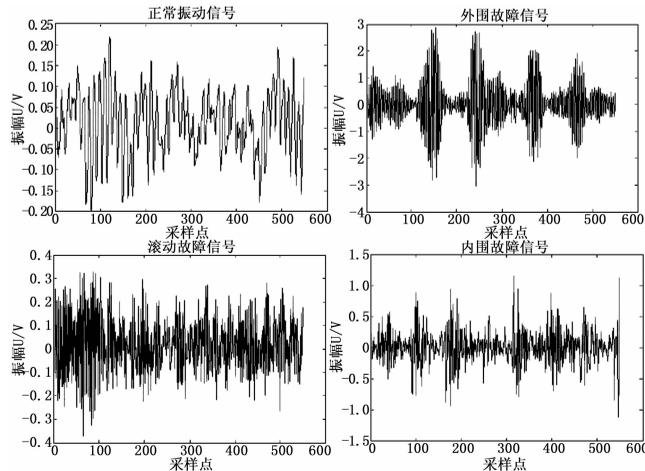


图 7 轴承振动信号

从信号中可以看出轴承正常状态下时振动信号的幅值

小, 信号是有界的。轴承处于故障状态下时, 信号的振幅值明显增大, 并出现冲击信号, 呈现周期性。因此能够推测有故障发生, 但要判断属于哪类轴承故障不能从波形图上看出来, 需要进一步研究。为此提出利用小波包的方法对信号进行3次分解, 得到8个频段, 对每个频段进行系数重构, 提取能量谱。如图8所示为4种状态下的轴承振动信号的能量谱。

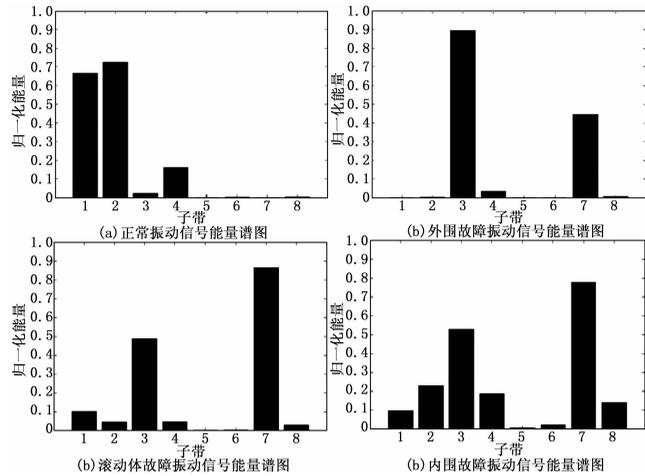


图8 轴承振动信号的能量谱

从能量谱图看, 轴承处在正常状态和各故障状态的振动信号, 在不同的频带分布的能量都不相同, 易于区分。轴承在正常状态时, 能量主要在第一和第二频带; 对外圈故障, 能量主要在第三和第七频带; 对滚动体故障, 能量在第一、第三和第七频带; 对内圈故障, 其能量在第一、第二、第三、第四、第

(上接第175页)

输出信号。通过对内部节点和输出信号的分析, 证明电路系统能正确工作, 且满足以上设计需求。

考虑到一帧数据量太大, 本文采用一个子帧数据量, 结合所设计的客户端数据电路对主端数据处理电路进行功能验证。上电复位后, 延迟1000个单位时间后, 主机开始发送链接唤醒序列, 这时MDDI_Data1和MDDI_Data0维持150个MDDI_Stb周期的高电平, 然后被置为低电平。这时客户端检测到唤醒序列, 开始恢复出时钟信号, 无并行数据生成, 包分析模块处于空闲状态。在低电平的第50个MDDI_Stb周期时, 主机开始发送Sub-frame Header Packet。Sub-frame Header Packet发送结束, 主机则向客户端发送Video Stream Packet, 其中Video Stream Packet中的像素数据为1080个字节, 功能验证如图12所示。

5 结论

本文根据MDDI协议, 设计了一种用于AM-OLED驱动控制芯片的MDDI主端数据处理电路。该数据处理电路支持9种数据包, 在电路中增加可配置寄存器, 可支持MDDI的Type I和Type II传输模型的配置。在链接控制模块中, 将状态机分为主状态和同步状态, 降低了电路实现难度, 保证了状态机的健壮性, 有利于降低状态跳转中的功耗。采用Xilinx工具的验证结果表明, 本文设计的MDDI主端数据处理电路满足MDDI接口设计要求, 可以支持480-RGB×320、26万色的AM-OLED显示屏。

七和第八频带都有分布。因此, 小波包分析故障的方法的识别度高, 能够提取故障特征信号。

4 结论

本采集系统设计了软硬件电路, 利用单片机自带的AD转换完成了数模转化, 通过USB转串口完成了STM32103C8T6芯片与计算机之间的数据传输。以装甲车辆直流电动机的轴承故障为例, 采集了振动信号, 并用MATLAB对振动信号进行了仿真分析, 对比轴承在不同状态下的能量谱, 较好的提取了故障特征向量。此采集系统运行稳定, 能够实现在线数据传输, 为装甲车辆直流电动机故障诊断提供了良好的数据基础, 具有方便、实用、经济效益好等优点。

参考文献:

- [1] 杨存祥, 朱琛, 解豪杰. 基于RPROP神经网络算法的异步电动机故障诊断[J]. 电力自动化设备, 2013(1): 80-83.
- [2] 李震. 基于FPGA的微弱信号采集与分析方法的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2014.
- [3] 朱攀, 贺敬. 机载数据采集器模拟信号采集模块故障分析[J]. 中国科技信息, 2014(7): 173-175.
- [4] 杨凤彪, 王超, 张晨光. 基于CH341A的USB串口通讯设计[J]. 电子设计工程, 2011, 19(3): 11-14.
- [5] 张豫南, 谢永成. 装甲车辆电气与电子系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [6] 陆文周. Qt5开发及实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [7] 陈季云, 陈晓平. 基于小波包分析的滚动轴承故障特征提取[J]. 微计算机信息, 2007, 23(4): 192-193.
- [8] 陆文周. Qt5开发及实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.

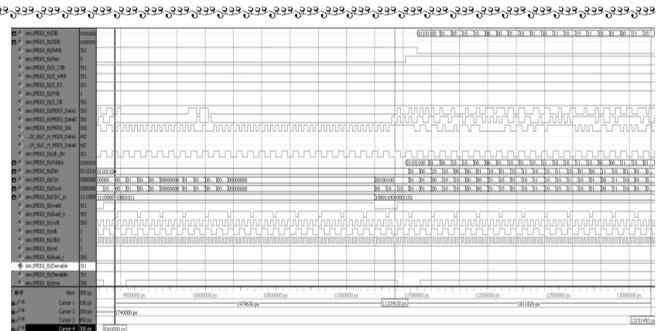


图12 系统仿真验证

参考文献:

- [1] 熊文彬. 基于FPGA的OLED显示系统[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.
- [2] 赵湘源. AM-OLED显示屏驱动芯片的研究与设计[D]. 上海: 上海大学, 2011.
- [3] 李奇奋, 李妥, 陈志良. 用于AM-OLED显示屏控制的MDDI数据处理芯片设计[J]. 液晶与显示, 2011(6): 801-807.
- [4] VESA Mobile Display Digital Interface Standard[S]. Version 1.2, July 9, 2008.
- [5] Park J W, Lee K J, Kim J H, et al. An MDDI-Host Architecture with Low Complexity for SoC Platforms[J]. IEEE Trans. Consumer Electronics, 2007, 53(4): 1668-1673.