

直流电机空载脉动电流检测系统

钟德刚, 王 品

(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要:为了准确、快速、方便地实现对直流电机的测速, 采用了带 A/D 转换模块的嵌入式微控制器 LPC2114 和 USB 接口芯片 CH372, 完成了直流电机空载脉动电流检测系统的硬件设计, 实现了对直流电机空载时脉动电流、电压和直流电流的精确采集。研究表明, 该直流电机空载脉动电流检测系统为进一步分析直流电机脉动波形奠定了基础。

关键词:直流电机; USB; LPC2114; CH372; 脉动电流

中图分类号: TP216

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)04-0048-04

Pulsating current testing system of DC motor with no load

ZHONG De-gang, WANG Pin

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Aiming at accurately, quickly and easily realizing the speed testing of DC motor, the embedded microprocessor LPC2114 with A/D converter module and USB interface chip CH372 were used. The hardware design of the DC motor with no load pulsating current testing system was finished. Precise data samplings of pulsating current, voltages and DC current were realized. The research results show that the research lays the foundation for the further more analysis of DC motor pluse waveform.

Key words: DC motor; USB; LPC2114; CH372; pluse waveform

0 引 言

测量电机速度的传统方法包括离心式转速表测速法、测速发电机测速法、闪光测速法和光电码盘测速法等, 但这些测试方法都需要在被测电机上附加一些条件, 如离心式转速测速法和测速发电机测速法, 其转速表或测速机都要与电机同轴连接; 闪光测速法和光电码盘测速法则需要在电机上安装标记图纸和光电码盘^[1]。因此传统的电机测速方法比较麻烦, 尤其是在大批量电机的出厂测试中。

本研究设计的直流电机测速方法主要通过对直流电机中电流波形的分析来实现电机速度的直接测量, 对电机没有任何附加条件, 测试方法准确、快速而又方便。

1 测试原理

当直流电机工作时, 电源通过电刷将直流电压引入电枢换向器。换向器在电机旋转过程中, 将外加直流电压和电流转换成线圈内部的交流电势和电流, 这时将在

供电电流回路中产生明显的脉动分量^[2-4], 直流电机在 12 V 电源供电下测取的脉动电流波形如图 1 所示。

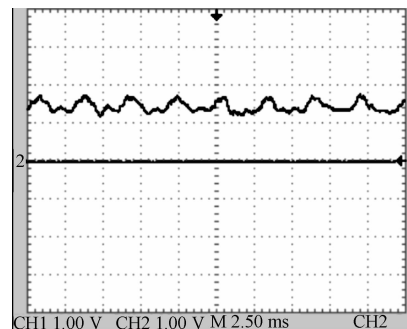


图 1 脉动电流波形

以简单的二极直流电动机为例, 其所产生的脉动分量频率为:

$$f = \frac{c \cdot k \cdot N}{60}$$

式中 k —换向器片数; N —电机转速, r/min; c —系数。

当换向器片数 k 为奇数时, $c = 2$ 。当换向器片数 k 为偶数时, $c = 1$ ^[5]。

由于同一规格型号的直流电机换向器片数是固定

的,因此电枢电流脉动频率的变化就直接反映出电机转速的变化。只需对该波形进行脉冲频率的分析,就可直接得出电动机的转速,由此通过对直流电机波形数据的分析就可以测得直流电机的速度。

测试系统框图如图2所示,主要由4个部分组成:信号预处理电路、以LPC2114为核心的数据采集模块、CH372的USB接口模块和上位机信号处理程序。

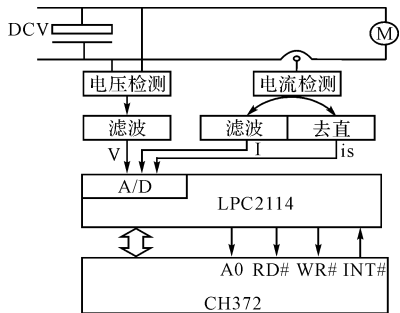


图2 系统框图

其工作原理如下:首先由霍尔传感器检测被测电机的电流和电压,基于平均值相乘后计算得到电机的功率。去直后的脉动电流经过A/D转换器转换成数字信号,然后在LPC2114控制下由USB接口芯片CH372上传到PC机,由PC机端的处理程序进行转速判别。

2 系统硬件

2.1 CH372与LPC2114连接模块

CH372工作在内置固件模式下,自动处理默认端点0的所有事务,完成与上位机的数据传送。在本地端LPC2114只要负责与CH372的数据交换。

LPC2114与CH372的连接原理图如图3所示(这里只画出了LPC2114与CH372引脚的连接示意图,其余详见各个模块)。

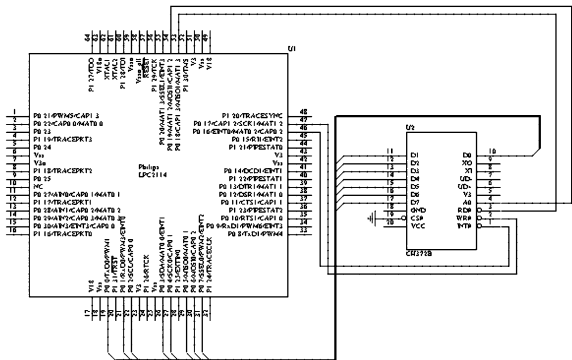


图3 LPC2114与CH372的连接原理图

2.2 前端电路设计

本系统采用闭环式霍尔电流传感器来对电流进行

检测,检测输出的是一个直流信号和一个周期性脉冲信号的叠加。本研究只需要转速的脉冲信号,因而为了电路处理的方便,应先把这个脉冲信号分离出来,再进行放大滤波处理。笔者采用一阶高通滤波器有效滤除了直流分量,得到了包含电机转速的脉动波形。

滤除直流分量后的脉动波形的幅值有正、负,而LPC2114自带的A/D转换器的测量范围是0~3.3V,因此需要对脉动信号叠加一个1.6V左右的直流电压,相关电路如图4所示。

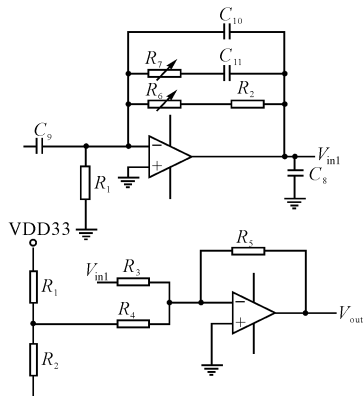


图4 电流测量前端电路

2.3 A/D转换

本研究以转速为10 000 r/min,换向器片数为16的直流电机作为被测对象,则根据上述公式可以算出,电流的脉动频率大概为2.5 kHz,脉动电流周期大概为400 μs。根据采样电流波形分析,在电机空载时,电流脉动时间一般为一个脉动周期的10%。为有效分析电流波形,需要在波动部分采样10个点,即A/D采样频率大于50 kHz就能满足上述要求。

LPC2114微控制器自带4路10位的逐次逼近式模/数转换器,A/D转换器的基本时钟可由编程分频器调整至逐步逼近转换所需的4.5 MHz(最高)。10位精度要求的转换需要11个A/D转换时钟^[6],而10位的转换频率为400 kHz,显然满足上述50 kHz的采样频率要求。同时可以在另外3路中任选2路作为直流电电压和直流电流的数据采集。

2.4 USB通信模块

本设计中USB微处理器采用沁恒电子的USB处理芯片CH372。它是USB总线的通用设备接口芯片,在本地端,CH372具有8位数据总线和读、写、片选控制线及中断输出,可以方便地挂接到单片机/DSP/MCU/MPU等控制器的系统总线上;在计算机系统中,CH372的配套软件提供了简洁易用的操作接口,与本地端的单片机通讯就如同读/写文件^[7]。CH372内置了USB通讯中的底层协议,具有省事的内置固件模式

和灵活的外置固件模式。在内置固件模式下,CH372 自动处理默认端点 0 的所有事务,本地端单片机只需负责数据交换,所以单片机程序比较简洁。CH372 的 USB 总线连接图如图 5 所示。

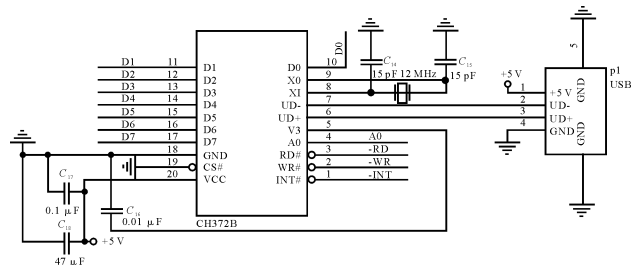


图 5 USB 总线连接图

3 系统软件设计

由于 CH372 芯片生产厂商提供了具有设备级接口的通用 Windows 驱动程序,所以本系统软件设计只包括 USB 设备端的固件编程和应用程序设计。

3.1 固件设计

固件是指被固化到 LPC2114 中的 Flash 程序,它是整个设备运行的核心。本系统中固件主要完成以下 3 个方面的工作:目标初始化、控制 A/D 采样、本地端的数据通讯。LPC2114 控制 A/D 的采样是通过对寄存器的设置来实现的,这里不再详细介绍,下面主要对目标的初始化和本地端的数据通讯做具体展开。

3.1.1 目标初始化

在 A/D 转换之前需要完成对芯片 CH372 的初始化,CH372 在内置固件模式下屏蔽了相关的 USB 协议,并提供了一些常用的命令供开发者直接调用。CH372 的初始化主要是两个命令的使用:SET_USB_MODE 和 CHECK_EXIST^[8]。

命令 SET_USB_MODE 设置 USB 的工作模式,该命令需要输入 1 个数据,该数据就是模式代码。模式代码为 00H 时切换到未启用的 USB 设备;模式代码位 01H 时切换到已启用的 USB 设备方式(外部固件方式);模式代码位 02H 时切换到已启用的 USB 设备方式(内置固件模式)。通常情况下,设置 USB 工作模式在 20 μs 时间之内完成,完成后输出操作状态。

命令 CHECK_EXIST 测试工作状态,以检查 CH372 是否正常工作。该命令需要输入 1 个数据,可以是任意数据,如果 CH372 正常工作,那么 CH372 的输出数据是输入数据的按位取反。

系统软件在 μC/OS-II 操作系统的第一个任务中完成 CH372 初始化程序的调用,在此之前需要将以上两个命令做成函数,以便调用。

初始化程序如下:

```
Void SET_USB_MODE(void) //CH372 工作模式设置
{
    IOCLR = ((1<<17) | (! 0x15));
    IOSET = ((3<<18) | 0x15); //D7 ~ D0 上的数据以 0x15
    作为命令码写入
    IOCLR = ((5<<17) | (! 0x02));
    IOSET = ((1<<18) | 0x02); //D7 ~ D0 上的数据 0x02 作
    为数据写入
}
```

```
Void CHECK_EXIST(void) //CH372 测试命令
{
    Char k;
    IOCLR = ((1<<17) | (! 0x06));
    IOSET = ((3<<18) | 0x06); //命令码 0x06 写入 CH372
    IOCLR = ((5<<17) | (! 0x44));
    IOSET = ((1<<18) | 0x44); //向 CH372 输入测试数据
    0x44
    K = (IOPIN && 0x0FF00)>>8;
    While(k != (! 0x44)); //测试 CH372 是否正常工作
}
```

```
Void CH372Init(void) //CH372 初始化函数
```

```
{
    SET_USB_MODE();
    CHECK_EXIST();
}
```

3.1.2 本地端的数据通讯

CH372 在计算机应用层与本地端 LPC2114 之间提供了端到端的连接,在本地端 LPC2114 只要负责完成与 CH372 的数据交换。

这里采用请求加应答方式来进行数据传输,它通过一个下传的主动请求和一个上传的被动应答来进行交互式的双向数据通讯,下传和上传一一对应,相互关联。主动请求是指由上层计算机应用层传给 LPC2114 的数据请求,被

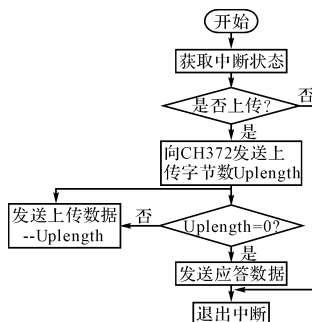


图 6 固件处理程序流程图

动应答是指 LPC2114 在收到数据请求后,将要上传的数据存储到上传缓冲区,由计算机应用层读取。整个过程是通过上位机应用程序经 CH372 向 LPC2114 发出中断请求,由中断处理程序完成的。其中 LPC2114 的中断处理流程如图 6 所示。

3.2 上位机应用程序设计

应用程序的主要功能包括 USB 设备的管理(打开、关闭、检测)、A/D 转换采样设置和对采集数据的存储、显示和分析等。CH372 芯片厂商以 DLL 的形式封装好了面向功能应用的 API,开发者可以在高级语言中调用。下面本研究对数据采集中的常用几个函数

进行简单的说明:

打开设备:CH3750-penDevice;

关闭设备:CH375C-loseDevice;

读取数据块(数据上传):CH375ReadData;

写出数据块(数据下传):CH375WriteData。

应用程序流程框图如图7所示。

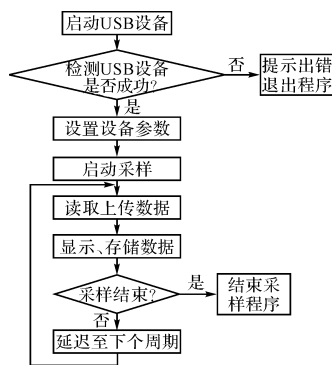


图7 应用程序流程图

4 结束语

系统建立了基于LPC2114和CH372嵌入式硬件平台,并由此来实现对直流电机空载脉动电流的检测。由于系统是直接对电流来测量,因此不需要对被测电机做任何附加条件,测试简单、快速、方便。

在测速时,需要对采集到的大量数据进行上传,CH372在内置固件模式下实现了300 KBytes/s~400 KBytes/s的传输速率,基本满足了速度测试的需

要。当需要提高系统的性能以实现更高的精度和实时性时,可以采用CH372的外置固件模式或采用性能更好的USB芯片。同时可以对上位机程序进行进一步的程序优化或采用更好的波形分析方法来提高系统性能。

参考文献(References):

- [1] 瞿彩萍. 微电机无接触测速方法研究与电路设计[D]. 武汉:华中科技大学信息学院,2006:3-10.
- [2] 袁宝国,曹镇荣,王胜国. 直流电动机反电动势对其电流脉动频率的影响[J]. 中国电机工程学报,2007,27(30):92-96.
- [3] 张文海. 一种测试微型直流电动机转速的方法[J]. 无线电,1978(3):7.
- [4] 张文海. 直流电机转速的特殊测试方法[J]. 电工技术杂志,1997(3):40-42.
- [5] 陈雅文. 直流微电机测速新方法[J]. 微电机,1999,32(1):36-37.
- [6] 周立功. ARM嵌入式系统基础教程[M]. 2版. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [7] 南京沁恒电子有限公司. USB总线接口芯片CH372[EB/OL]. [2007-11-20]. <http://www.wch.cn/download/list.asp?id=11>.
- [8] 郭淳. 基于USB的SRD计算机检测系统的研制[D]. 北京:北京交通大学信息学院,2007:67-72.

[编辑:张翔]

(上接第43页)

引入Kalman滤波器可较好地抑制干扰噪声的不良影响,控制器的性能得到较大的改善,控制系统的品质也随之得到提高。

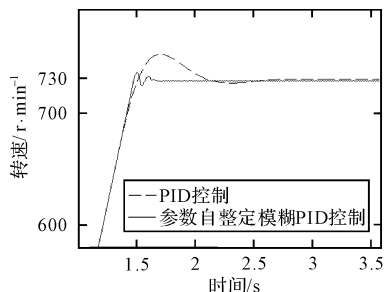


图6 PID控制、参数自整定模糊PID控制阶跃响应曲线

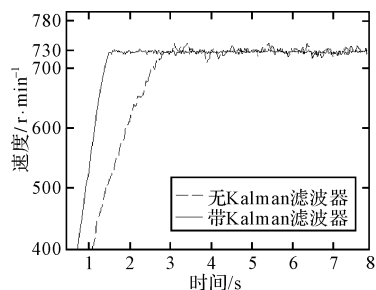


图7 带/无Kalman滤波器阶跃响应曲线

5 结束语

本研究通过分析直流调速系统,建立了数学模型,

设计了基于Kalman滤波的参数自整定模糊PID控制器,并进行了仿真分析。仿真结果表明,这种控制器克服了系统中存在的非线性、结构参数变化和干扰噪声等不利因素的影响,具有超调量小、调节时间短、稳态精度高、鲁棒性强等优点,因而有较好的应用价值。

参考文献(References):

- [1] 李发海,王岩. 电机与拖动基础[M]. 3版. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统:运动控制系统[M]. 3版. 北京:机械工业出版社,2003.
- [3] GOREZ R. New design relations for 2-DOF PID-like control systems[J]. *Automatica*,2003,39(5):901-908.
- [4] BANDYOPADHYAY R, CHAKRABORTY U K, PATRANABIS D. Autotuning a PID controller: a fuzzy-genetic approach[J]. *Journal of Systems Architecture*,2001,47(7):663-673.
- [5] 张超. 中央空调冷冻水系统的模糊PID控制[J]. 机电工程技术,2009,38(8):67-69.
- [6] 左彬,祝长生. 主动电磁轴承智能积分型自适应模糊控制[J]. 机电工程,2008,25(12):1-4,14.
- [7] QU Wen-zhong, SUN Jin-cai, QIU Yang. Active control vibration using a fuzzy control method[J]. *Journal of Sound and Vibration*,2004,275(3-5):917-930.
- [8] 郭晓芳,汪雄海. 基于Kalman预测的远程步进电机控制系统[J]. 机电工程,2008,25(7):26-28.
- [9] YANG S K, LIU T S. State estimation for predictive maintenance using Kalman filter[J]. *Reliability Engineering & System Safety*,1999,66(1):29-39.

[编辑:张翔]