

# 基于 Mini51 的 BLDCM 无位置传感器控制

宋建国,袁宇瑞,桓建文

(北京工业大学 信息学部,北京 100124)

**摘要:** 将新唐的 Mini52(Mini51 系列)单片机作为主控芯片,通过利用 Mini51 系列单片机自身可输出的 6 路 PWM 信号的性能,利用采样电阻来采集端电压从而得到直流母线的电流,利用反电动势过零点法(EMF)来控制电机,实现直流无刷电机(BLDCM)无位置传感器的双闭环控制,利用串口通信来完成对无刷直流电机的伺服系统,进行了测试。测试结果表明,Mini51 系列单片机可以对高速串口通信实时响应且此伺服系统具有良好的速度可控性,能够满足现代工业生产实时控制的需求。

**关键词:** 无刷直流电机;无位置传感器;Mini51;BEMF

中图分类号: TM331

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.211553

中文引用格式: 宋建国,袁宇瑞,桓建文. 基于 Mini51 的 BLDCM 无位置传感器控制[J]. 电子技术应用, 2021, 47(10): 95-100.

英文引用格式: Song Jianguo, Yuan Yurui, Huan Jianwen. Sensorless control of BLDCM based on Mini51[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(10): 95-100.

## Sensorless control of BLDCM based on Mini51

Song Jianguo, Yuan Yurui, Huan Jianwen

(Faculty of Information Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Nuvoton's Mini52(Mini51 series) microcontroller is used as the main control chip. By using the performance of the 6-channel PWM signal that the Mini51 series microcontroller can output, the sampling resistor is used to collect the terminal voltage to obtain the current of the DC bus. The zero point method(EMF) is used to control the motor to realize the dual closed-loop control of the BLDCM without position sensor. The serial communication is used to complete the servo system of the brushless DC motor, and the test is carried out. The test results show that the Mini51 series single-chip microcomputer can respond to high-speed serial communication in real time and the servo system has good speed controllability, which can meet the needs of modern industrial production real-time control.

**Key words:** brushless DC motor; sensorless control; Mini51; BEMF

## 0 引言

在现代技术高速发展的阶段,工业上需要电机对高速信号实时响应、实时处理的需求已经越发明显,理所应当的,对于新的高性能芯片的发现与应用也变得广受关注。

新唐的 Mini51 系列单片机为 32 位的微处理器,内嵌 ARM Cortex™-M0 内核,可用于工业控制和需要高性能、低功耗的应用。其最快系统时钟为 24 MHz,因而可以支持很广范围的工业控制和需要高性能 CPU 的场合。在电机控制领域,Mini51 系列单片机自身可以产生 6 路 PWM 信号,并且这 6 路信号可以分别调制也可以组合控制,芯片内部同时可以设定死区时间与启动延时,便于应用。

传统的 BLDCM 控制都是由位置传感器传输转子位置信号来进行换相,一般都要在外部添加例如光电编码

器<sup>[1-2]</sup>与霍尔传感器等<sup>[3]</sup>。位置传感器会使得整个控制系统体积增加,成本增加,限制了电机的使用场合。本设计采用反电动势过零检测<sup>[4-5]</sup>(BEMF)法,通过采样电阻取得电机的 UVW 相电压,并且通过精密电阻采集直流母线电压,使用六步换相<sup>[6-8]</sup>策略,利用调节输出 PWM 占空比来进行电机调速,同时监测起动电流、稳定三相电流、电源电压等控制驱动电路的通断来保护电路与电机<sup>[9]</sup>。通过对比实现无位置传感器的控制,使得该系统控制方式简单,结构稳定。

## 1 硬件整体设计思路

### 1.1 主控芯片

本系统选取 Mini51 系列中的 Mini52 作为主控芯片,最小系统由 Mini52 以及其外围电路组成,该芯片的工作电压范围为 2.5~5.5 V,同时,VDD 引脚的四个去耦电容能保证电源供电的稳定性。该芯片具有 22 MHz 的内部时

钟,最多拥有 30 个通用 GPIO 引脚,每个 I/O 口都可配置为双向输出、推挽输出、开漏输出或者输入模式。其内嵌了 3 个 16 位 PWM 发生器,提供了 6 个独立的 PWM 输出或者 3 组互补的 PWM 输出。其支持边沿对齐、中心对齐与故障检测,每个 PWM 都具有单独时钟源,可以单独设定死区时间也可以单独发生中断。Mini51 系列单片机同样具有一个 10 位的 SAR 型 ADC,用其去读取供电电压、电路电流峰值、当前温度与当前速度值。同时,内置的 2 组模拟比较器 ACMP0 与 ACMP1 供读取工作电压来保护电路,进行三相反电动势过零比较来确定换相时间。图 1 为 Mini52 的最小系统。

NuMicro MINI51™ 系列内嵌了很多外设,如:I/O 口、定时器、UART、SPI、I<sup>2</sup>C、PWM、ADC、看门狗和低电压检测等,这使得 Mini51 系列单片机能够更方便地进行

BLDCM 控制。图 2 为 Mini51 的功能框图。

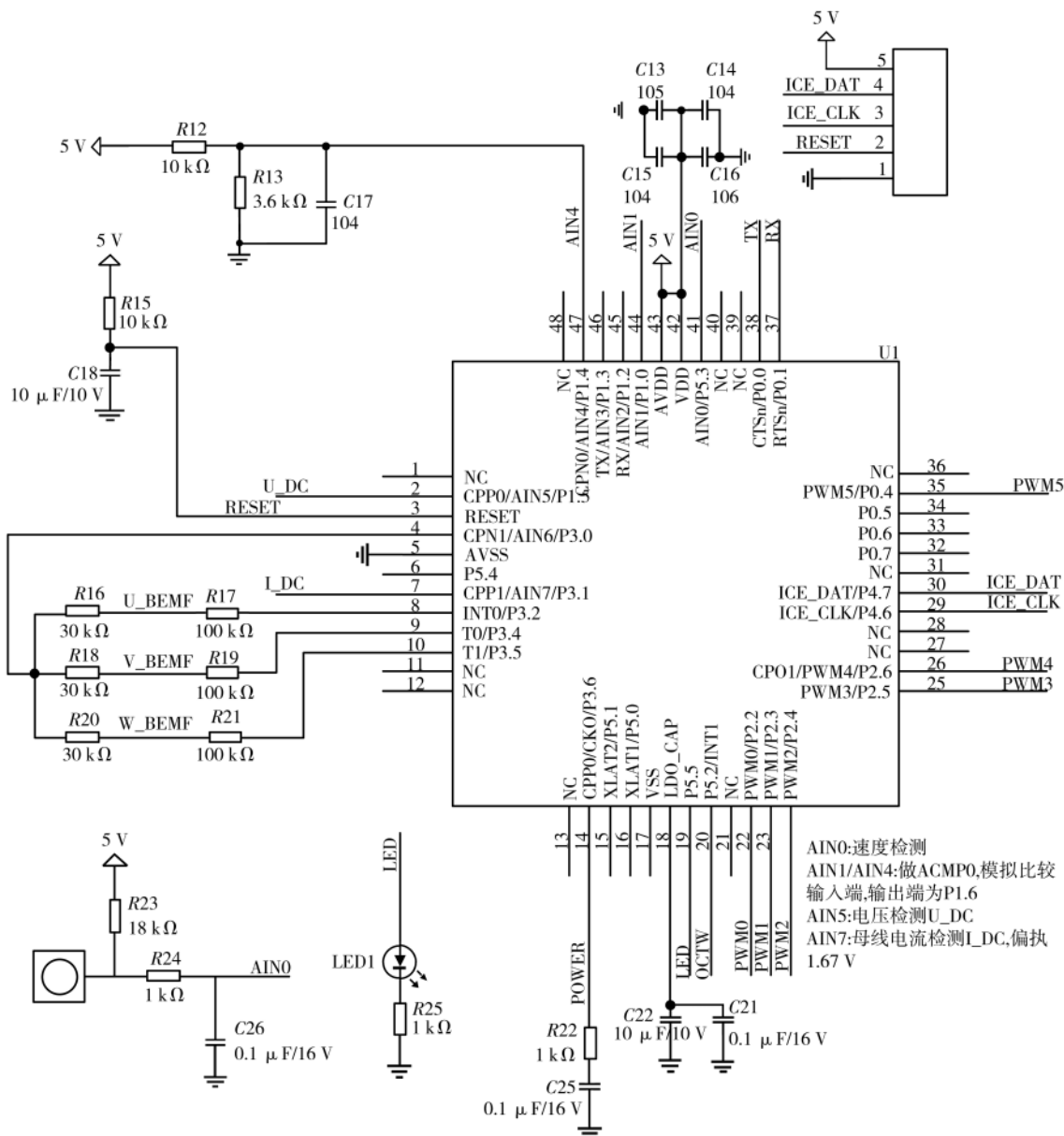
Mini51 系列单片机对于 BLDCM 的控制有这些独特之处:

(1)芯片驱动电源为 5 V,具有很强的抗干扰能力。同时使用 Cortex-M0 内核,24 MHz/48 MHz 主频。CPU 的运算速度快使得对于数据处理迅速,降低了因为数据处理不及时而引发的错误。

(2)芯片通过对 PHCHG 寄存器的读写完成 PWM+GPIO+ACMP 的切换,图 3 为 PHCHG 位寄存器。图 4 为 A+B-时各位的值。

(3)ACMP 比较门限动态变动,消除检过零抖动<sup>[10]</sup>。图 5 为提高比较器门限的方式。

与传统斯密特电路在大干扰时门限会变化相区别,Mini51 系列芯片每次换相 P0.0 改变输出来调整比较器



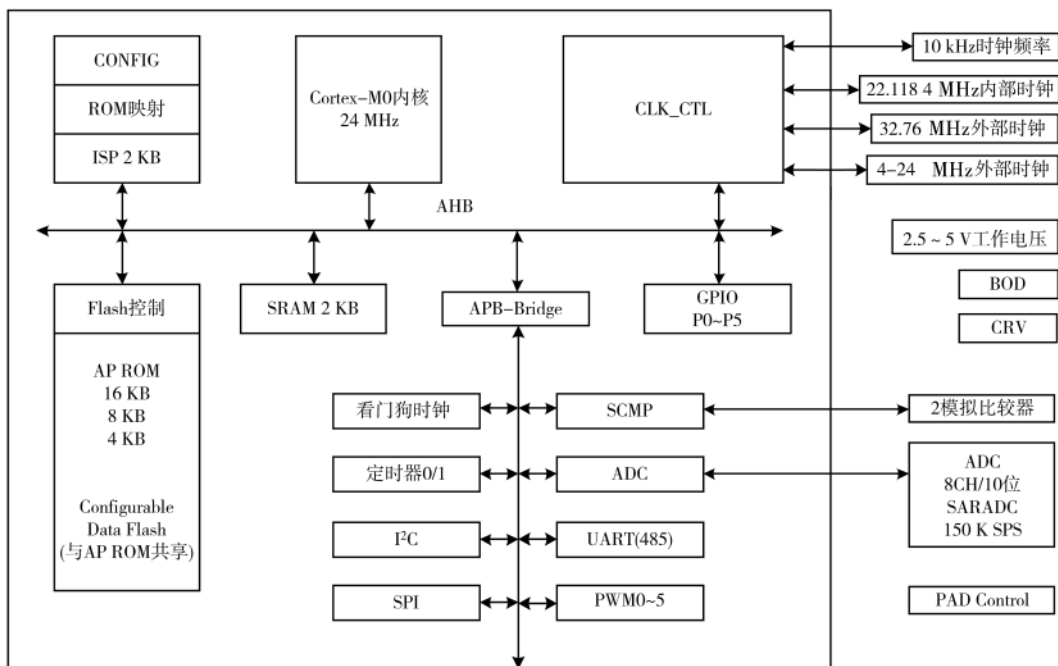


图 2 Mini51 的程序框图



图 3 PHCHG 寄存器

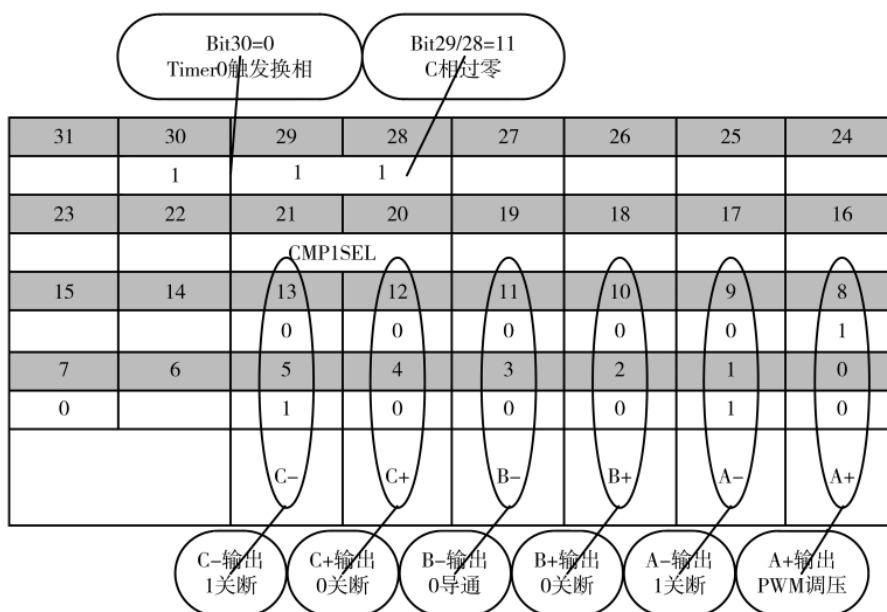


图 4 A+B-时各位的值

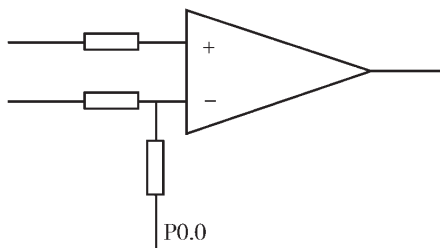


图 5 提高比较器门限电路

门限,检过零上升沿时 P0.0 输出高电平,增加比较门限,检过零下降沿时 P0.0 输出低,降低比较门限。

1.2 电路整体控制设计思路

为了控制电机的转速,转向以及出于保护电机考虑,本设计选用 Mini52(Mini51 系列中的一种)作为主控芯片,依靠该芯片自身的 6 路组合 PWM 以及内部设定的死区时间来控制 6 组开关管进行开关的切换。通过改变 6 路 PWM 的占空比来达到控制驱动电压从而控制电机的目的,同时设定好的死区时间也可以避免由于 MOS 管上下管同时导通对电路以及电机造成损害。整体控制结构图如图 6 所示。

1.3 系统驱动电路设计

由于 Mini52 的 6 路 PWM 输出高电平为 5 V,为了提高驱动能力,因此选用了 IRS21867 作为驱动芯片使得输出电平在 10 V 左右,提高了整个电路的驱动能力。由于本设计中负载电流约为 150 A,高电流会在电路上产生高热量,而电流又与转速相关,故需求选用高压大功

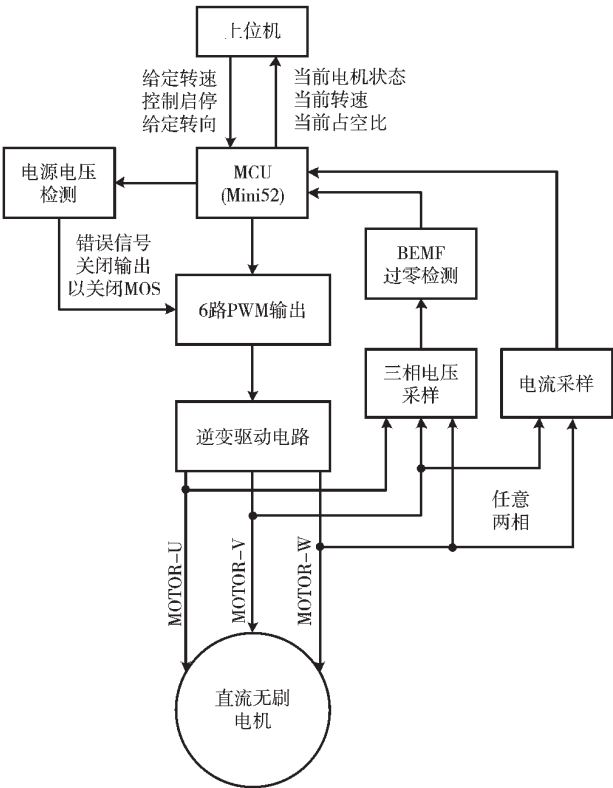


图 6 BLDCM 无位置传感器整体控制结构

率的 MOS 作为逆变桥电路,故在图 1 中的逆变驱动电路中选用总共 6 组每组 5 个的 FDMS86150 型号的 MOS 管进行串联分流。图 7 为 IRS21867 作为驱动电路。

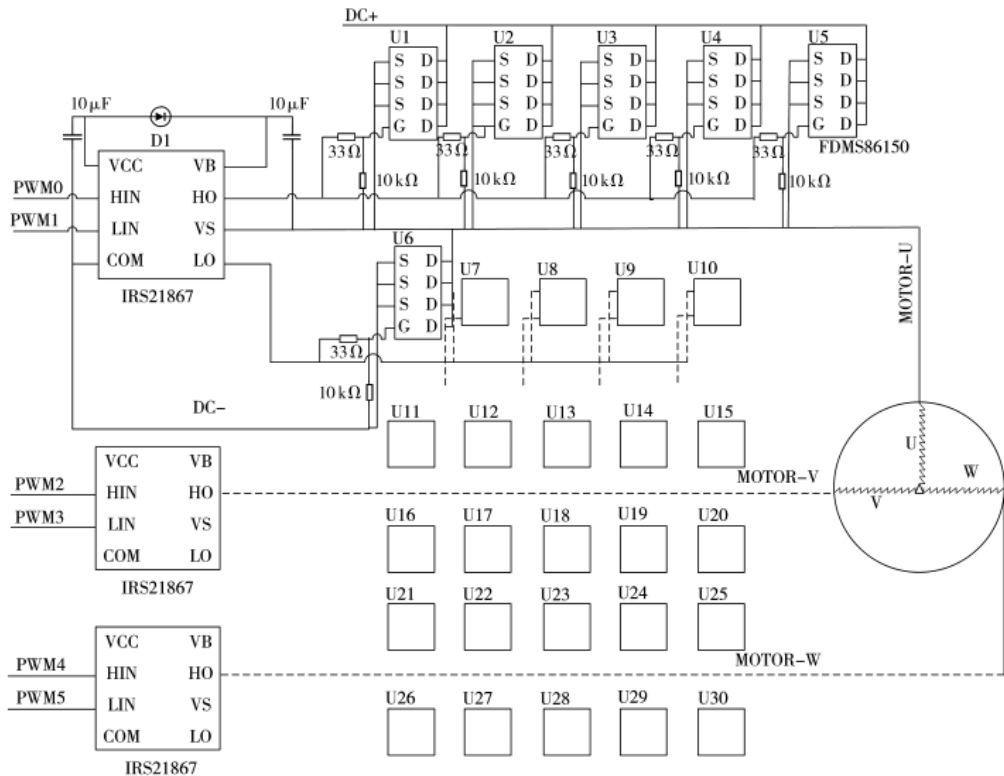


图 7 模块 IRS21867 逆变驱动电路

### 1.4 反电动势过零检测电路设计

在电机每次换相时,通过 ACMP1 来进行反电动势过零检测。在此系统中,获取电机的 UVW 三相电压值,因在 50 V 以下直流电源作用下,故选取 1/10 分压,同时,电机一侧的 UVW 信号由于绕组对称问题、磁路饱和问题、涡流问题等易于出现较多谐波分量与高频信号,故添加了  $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$  三个电容进行一定的滤波。在输入单片机 CPP1 的一端串联上  $R8$ 、 $R10$ 、 $R12$  三个 10 k $\Omega$  电阻进行一定限流,保护芯片。同样在 CPN1 端连接  $R7$ 、 $R9$ 、 $R11$  三个 100 k $\Omega$  电阻,由文献[11]、[12]可得出点 A 的电压即可以作为 BLDCM 的中性点电压。图 8 为反电动势过零电路设计<sup>[13-14]</sup>。

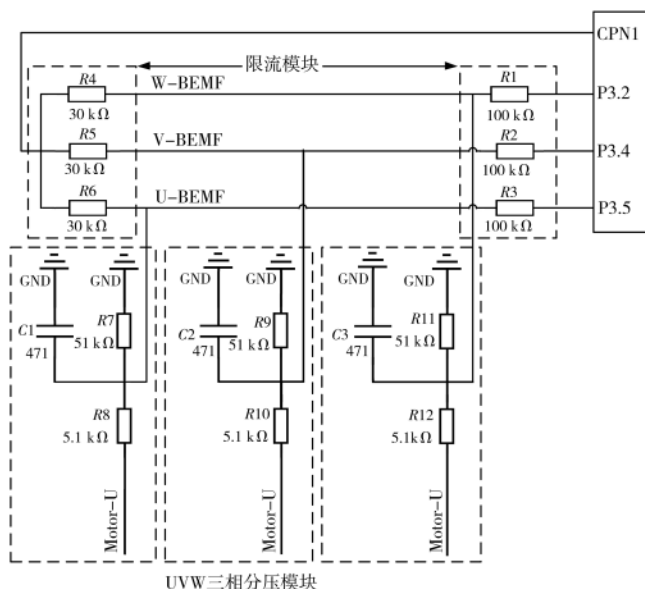


图 8 反电动势过零电路

## 2 系统软件设计

### 2.1 上位机通信设计

LabVIEW(虚拟仪器)<sup>[15]</sup>作为时尚的图形化语言,能够极大地方便用户去实时对电机进行控制与读取电机目前的各类参数,其具有强大的数据处理能力,只需要调用少量的工具包就可实现,简洁的程序也方便后续的维护与开发。故本设计选用 LabVIEW 作为上位机,利用 UART 串口通信来从 Mini52 单片机中接收电机当前转速、占空比与运行状态。同时可以对电机的启停转,转动方向与转动速度进行精确控制。图 9 与图 10 为 LabVIEW 的部分程序框图与前面板。

为使数据传输准确,采取了发包与解包的数据传输方式,在接收到包头包尾并且判断正确后才会执行包内信息,保证了接收不会因为乱码而执行错误,加强了系统的稳定性。

### 2.2 软件系统设计

图 11 为软件主流程图。

系统初始化包含了控制单元初始化、内部时钟初始

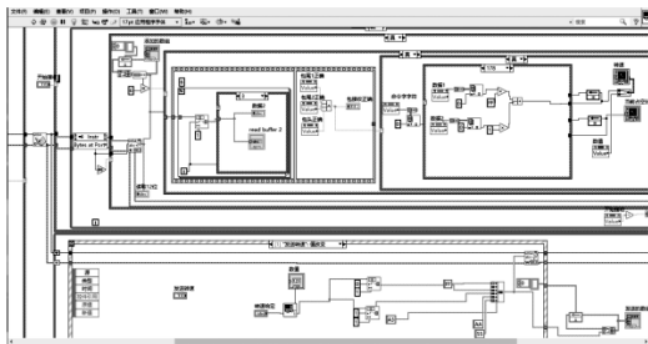


图 9 部分程序框图

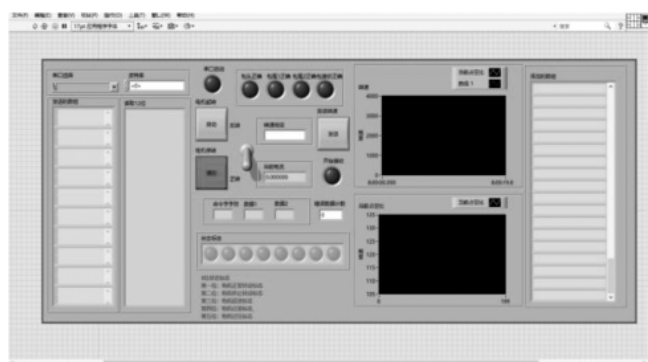


图 10 前面板

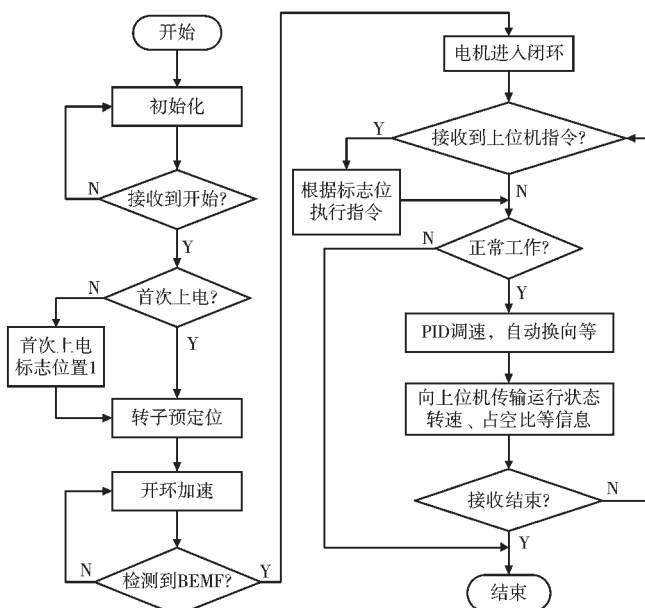


图 11 软件主流程图

化、ADC 初始化、定时器初始化、UART 初始化、PWM 模块初始化、系统中断初始化等。当电机的速度足够准确检测到 BEMF 时进入 PID 闭环控制<sup>[16-17]</sup>,当上位机给出转速需求时进行响应。

## 3 实验

以 Mini52 作为主控芯片,为航模电机做无位置传感器控制,该系统改进了传统电路,在大电流下使用 MOS 管串联来实现分流同时改进软件方面,设计了过压过流



欠压刹车等故障的保护措施,实现了 BLDCM 的控制。测试采用 48 V 直流电源进行供电,经过调试,系统能够稳定运行,电机可控。图 12 为实际测得的过零点电压。

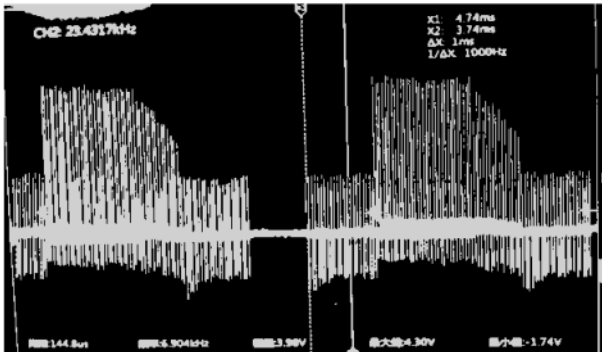


图 12 A 相过零点电压

上位机选用 LabVIEW, 故可以实时控制电机的转速,图 13 为给定转速与电机实际转速曲线。

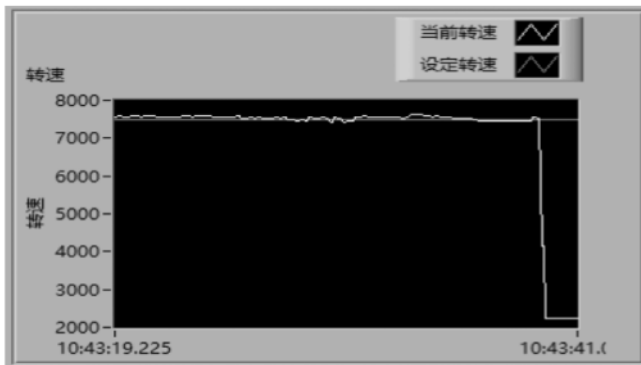


图 13 电机转速跟踪曲线

#### 4 结论

本设计提出的 BLDCM 实时控制方案通过硬件和软件方面的改进,省去了转子位置检测的硬件设施,节约了成本也减少了整体结构的复杂度,这种控制方案电机启动稳定,对于速度等上位机信息响应快速,增加了电机的可靠性。

#### 参考文献

- [1] 于庆广,刘葵,王冲,等.光电编码器选型及同步电机转速和转子位置测量[J].电气传动,2006(4):17-20.
- [2] 丁卫东,朱卫民,曹玲芝.基于增量式光电编码器电机测速系统的设计[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2013,28(6):95-97,108.
- [3] 张新荣,林莲,张东升,等.基于磁场定向控制理论

的无刷直流电机控制[J].电机与控制应用,2019,46(11):25-29,81.

- [4] 李自成,程善美,秦忆.线反电动势检测无刷直流电机转子位置方法[J].电机与控制学报,2010,14(12):96-100.
- [5] 弓箭,廖力清,叶冰清.基于高精度电感法的无刷直流电机启动及反电动势同步检测稳定性研究[J].电工技术学报,2017,32(5):105-112.
- [6] 尤钱亮,陆佳琪.无刷直流电机高精度换相控制[J].电机与控制应用,2019,46(10):46-50,57.
- [7] 周美兰,高肇明,吴晓刚,等.五种 PWM 方式对直流无刷电机系统换相转矩脉动的影响[J].电机与控制学报,2013,17(7):15-21.
- [8] 尤钱亮,陆佳琪.无刷直流电机高精度换相控制[J].电机与控制应用,2019,46(10):46-50,57.
- [9] 王强.无刷直流电机无位置传感器启动控制与逆变器故障诊断研究[D].南京:南京航空航天大学,2015.
- [10] 吕志盛,王文虎,朱逸鸿,等.基于分段式 PID 无刷直流电机控制系统设计[J].电子世界,2019(19):110-112.
- [11] 姚记亮.无刷直流电机全速范围内无位置控制[D].郑州:郑州大学,2020.
- [12] 李渤通.大功率无位置传感器无刷直流电机控制策略研究[D].长春:吉林大学,2020.
- [13] 周勇,米彦昭,汪嘉瑶,等.无位置传感器无刷直流电机位置检测与启动控制研究[J].西北工业大学学报,2017,35(2):208-212.
- [14] 武凯迪,袁登科.无位置传感器无刷直流电机启动方法研究[J].机电一体化,2014,20(11):33-39.
- [15] 何俊,邓成军.基于 LabVIEW 的直流伺服电机控制系统开发[J].实验科学与技术,2020,18(1):39-46.
- [16] 陈炜,刘会民,谷鑫,等.基于反电动势函数的无刷直流电机无位置传感器控制方法[J].电工技术学报,2019,34(22):4661-4669.
- [17] 侯福祥,张全立,唐纯静.无刷直流电机无位置传感器转子位置闭环校正策略与实验研究[J].微电机,2017,50(10):62-68.

(收稿日期:2021-03-24)

#### 作者简介:

宋建国(1974-),男,博士研究生,副教授,主要研究方向:电机电力与电气传动。

袁宇瑞(1998-),男,硕士研究生,主要研究方向:电力电子与电机控制。

桓建文(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:电力电子与电机控制。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所