

基于 DRV8323RS 的无刷直流电机驱动器设计

赵轩浩^{1,2}, 高理富¹, 曹会彬¹, 王雯雯^{1,2}

(1. 中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230027)

摘要: 无刷直流电机用电子换向来代替传统的机械换向, 具有可靠性高、维护方便、使用寿命长等优点, 但对控制器性能要求较高, 驱动控制电路较为复杂。基于上述问题, 设计了一种基于 DRV8323RS 驱动芯片的无刷直流电机驱动器。主控制器 TMS320C6748 通过 SPI 通信方式对 DRV8323RS 芯片进行模式配置后, 产生一路 PWM 信号, 实现对带有三相霍尔传感器的无刷直流电机的控制。实验结果表明, 在保证稳定可靠的运行性能下, 该设计方案简化了驱动电路设计, 节约了主控制器硬件接口资源, 实现了三相无刷直流电机的精确控制, 为单一主控制器实现多路电机驱动控制提供可行性方案, 具有较高的应用价值。

关键词: 无刷直流电机; 驱动电路; SPI 接口

中图分类号: TM33

文献标志码: A

文章编号: 1006-2394(2020)02-0005-05

Design of the Brushless DC Motor Driver Based on DRV8323RS

ZHAO Xuanhao^{1,2}, GAO Lifu¹, CAO Huibin¹, WANG Wenwen^{1,2}

(1. Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

2. University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: Brushless DC motors replace traditional mechanical commutation with electronic commutation. It has the advantages of high reliability, convenient maintenance and long service life. However, it has higher requirements on the controller and the control circuit is more complicated. A brushless DC motor driver based on DRV8323RS driver chip is designed in this paper to solve the above problems. The controller, TMS320C6748, configures the operating mode of the DRV8323RS via the SPI interface. It also generates a PWM signal for controlling of a brushless DC motor with a three-phase Hall sensor. The experimental results show that the scheme ensures stable and reliable motor operation, simplifies the connection of the circuit, and can realize precise control of the three-phase brushless DC motor.

Key words: brushless DC motor; drive circuit; SPI interface

0 引言

近年来,随着半导体技术、电子科学技术、传感器技术、微电子技术以及计算机技术的蓬勃发展^[1],无刷直流电机以其可靠性高及维护方便等优势,在电动汽车领域、工业自动化领域以及军事装备领域都取得了巨大的发展^[2]。

传统有刷电机通过由石墨材料制作的碳刷与换相器之间的轮换接触来实现换相。这种方式使得碳刷与换相器之间有了频繁的摩擦,导致碳刷磨损较快,需要经常维护;同时有刷电机在换相时会产生电磁干扰,并且具有很大的噪声。与有刷电机相比,无刷直流电机使用电子换相代替机械换相,其转子由永磁体材料制作,避免了电刷与换相器的直接接触,大大提高了电机

的使用寿命^[3]。直流无刷电机控制系统一般由电子换相模块、位置检测模块和电机本体三部分组成。其中,电子换相模块由控制部分和驱动部分组成,位置检测模块多采用霍尔位置传感器获取位置信息。系统工作时,位置检测模块获取电机转轴的当前位置,并实时反馈给电子换相模块;电子换相模块的控制部分根据电机转轴当前位置计算出下一个状态所需驱动信号,并将信号发送给驱动部分;驱动部分通过有序开关各个功率管来实现换相。

本文利用 DRV8323RS 驱动芯片设计了一种直流无刷电机驱动电路。在该电路中,控制器通过采集电机上霍尔传感器反馈的信号,并只需发出一路脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation, PWM)信号即可实现快速准确的换相,大大简化了控制电路的连接;采用

收稿日期: 2019-10

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项子课题(XDA22040303);中国科学院合肥物质科学研究院“十三五”规划重点支持项目(Y821D41191)

作者简介: 赵轩浩(1993—),男,硕士研究生,研究方向为自动控制。

SPI 通信方式代替传统的硬件电路方式进行配置,不仅使用户配置更加直观方便,也极大降低了硬件电路设计的复杂度;高精度的电源转换模块集成在驱动芯片内部,避免了外围电路的单独复杂设计,使电路板结构更加小巧紧凑。

1 总体方案设计

本文设计的直流无刷电机驱动电路总体方案如图1所示。控制器通过 SPI 通信总线配置驱动芯片 DRV8323RS,使之工作在一路 PWM 模式下,并通过发

送 PWM 信号、DIR 方向信号、ENA 使能信号以及 BRAKE 刹车信号来产生相应的控制信号;驱动芯片 DRV8323RS 将接收到的 PWM 信号进行转换放大,结合电机霍尔传感器的位置反馈信号控制三个半桥模块 CSD88599Q5DC 的高低侧 MOSFET,实现电机 U、V、W 三相的循环导通,从而控制电机的运行,同时将整个驱动电路的实时情况(电流、电压、温度以及错误警告等)经 SPI 通信总线反馈回控制器;电源模块为控制器、驱动芯片、三相桥路以及霍尔传感器提供所需电压。

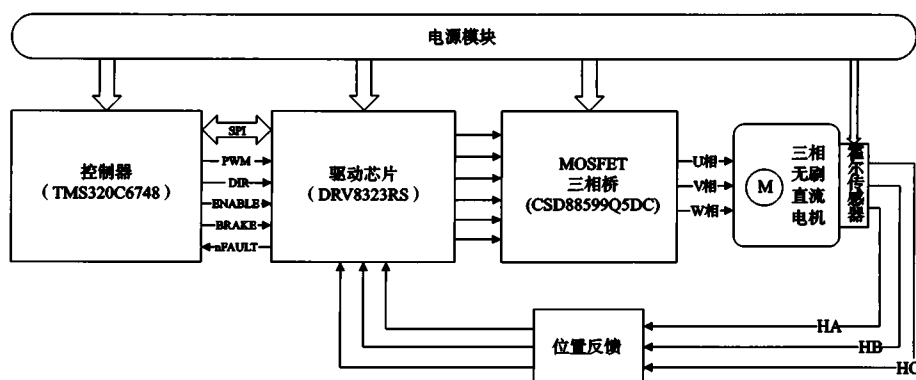


图1 无刷直流电机驱动电路总体方案

2 系统硬件电路设计

2.1 电源模块设计

在本设计中,电源模块采用 24 V 直流电压供电。此外,由于霍尔传感器以及电路内部还需用到 3.3 V 电压,所以还需要为电路提供 3.3 V 的电源。

在 DRV8323RS 芯片中集成了一个 60 V, 600 mA

的脉宽调制 DC/DC 降压调节器 LMR16006,其示意图如图2所示。其输入范围为 4 ~ 60 V,通过配置不同阻值的电阻,将输出电压设置为 3.3 V。LMR16006 在低负载时具有非常低的静态电流,通过一种恒频电流模式控制方案来降低线路和负载瞬变过程中的迟滞,并简化了频率补偿设计。

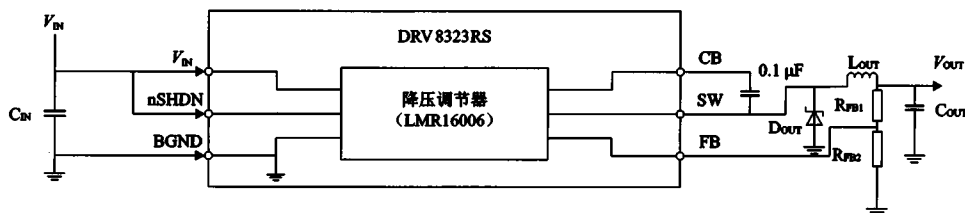


图2 LMR16006 结构示意图

该降压调节器为外部控制器和其他逻辑电路供电,避免了在外围电路中电源转换模块的额外设计,简化了电路结构。输出电压通过反馈引脚 FB 及连接到输出的电阻分压器 R_{FB1} 和 R_{FB2} 进行设置,电压大小为:

$$V_{out} = V_{FB} \cdot (1 + R_{FB1}/R_{FB2}) \quad (1)$$

式中: V_{FB} 为反馈引脚电压,固定为 0.765 V。为了给霍尔传感器以及电路内部提供 3.3 V 的电压, R_{FB1} 和 R_{FB2} 两电阻阻值分别设置为 28 k Ω 与 8.45 k Ω 。

2.2 驱动模块设计

DRV8323RS 是一款适用于三相无刷电机的集成

式栅极驱动芯片,工作电压范围最低为 6 V,最高可达 60 V。它包括三个半桥栅极驱动器,每个驱动器都能够同时驱动高侧与低侧两个 N 沟道功率 MOSFET。内部集成的电荷泵和线性稳压器,分别为高侧 MOSFET 和低侧 MOSFET 提供合适的栅极驱动电压。

DRV8323RS 驱动器最大特点是具有高度可配置性,用户可以通过 SPI 通信总线自由地选择驱动器的工作方式。将驱动器的 SDO、SDI、SCLK、SCS 引脚分别与控制器的 MISO、MOSI、CLK、CSn 引脚连接,通过控制器端的 CLK 时钟信号来保证双方的同步通信,从

而使控制器能够快速配置驱动器,并随时读取驱动器当前工作状态。另外,SCS 片选信号也意味着一个控制器能够与多个驱动器进行通信,这也扩展了该驱动器在无刷直流电机驱动领域的应用范围。

驱动器的 INHA、INLA、INHB、INLB、INHC、INLC 为栅极驱动器控制输入引脚。INHA 引脚为控制器 PWM 信号输入端;INLA、INHB、INLB 引脚分别为霍尔传感器的 U、V、W 三相信号输入端,与 INHA 共同实现电流的换相;INHC 引脚为控制器方向信号输入端,控制电机转动方向;INLC 引脚为控制器刹车信号输入端,控制电机的启停。DRV8323RS 驱动器电路原理图如图 3 所示。

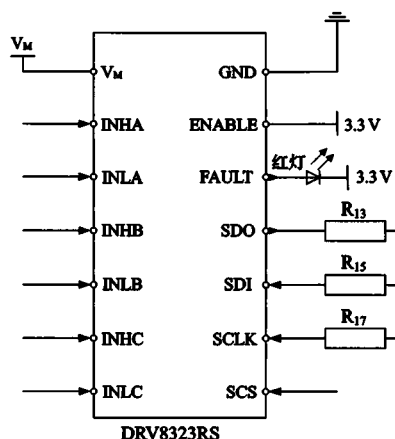


图 3 DRV8323RS 原理图

2.3 三相桥模块设计

三相无刷直流电机在工作时,任意时刻只有两相之间有电流通过,通过改变通电顺序实现电机的转动。为了实现这一功能,目前大多采用三相桥式逆变电路,结构如图 4 所示。其中 Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6 为六个 MOSFET 功率管,MOSFET 起到开关的作用,组成三相全桥电路。

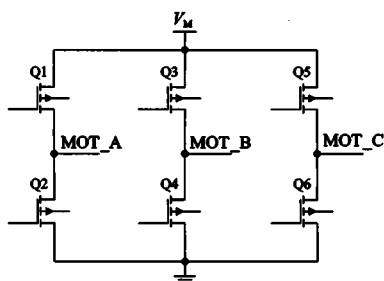


图 4 三相桥式逆变电路结构

当六个 MOSFET 按照一定的顺序和频率进行开关时,就可以驱动三相无刷直流电机转动,导通顺序如图 5 所示^[4]。由图可知,每一时刻都有一个高侧 MOSFET 与一个低侧 MOSFET 导通,根据导通的 MOSFET 不同,电流流经的线圈与方向也不同,共有六种状态,称之为六步换相表,分别为:Q1 - Q4、Q5 - Q4、Q5 - Q2、Q3 - Q2、Q3 - Q6、Q1 - Q6。

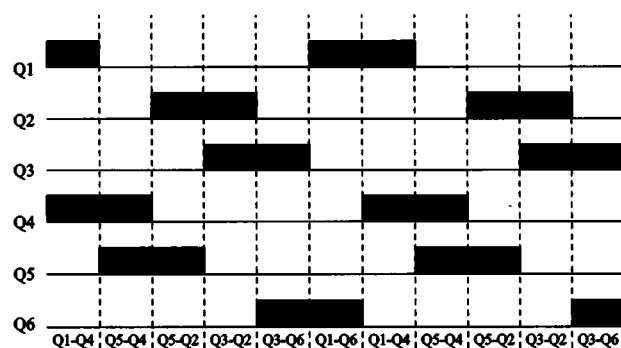


图 5 MOSFET 导通顺序图

CSD88599Q5DC 是 TI 公司生产的一种针对大电流电机控制的驱动器件,该器件采用了 TI 的堆叠技术封装两个 MOSFET,使功率密度提高了一倍,并最大限度地减少了寄生电感,能够在 5 mm × 6 mm 的空间内提供完整的半桥,其示意图如图 6 所示。当 GH 端为高电平时,高侧 MOSFET 导通,电流从 V_M 端经高侧 MOSFET 流到 V_SW 端;当 GL 端为高电平时,电流从 V_SW 端经低侧 MOSFET 流到 GND 端。

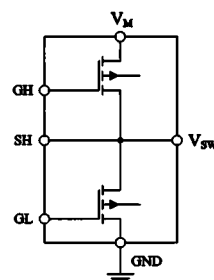


图 6 CSD88599Q5DC 示意图

利用三个 CSD88599Q5DC 模块就可以实现电机三相线圈的开关控制。需要注意的是,同一模块的高侧与低侧 MOSFET 不能同时导通,否则会因电流过大导致模块烧毁。本设计采用的 CSD88599Q5DC 原理图如图 7 所示。

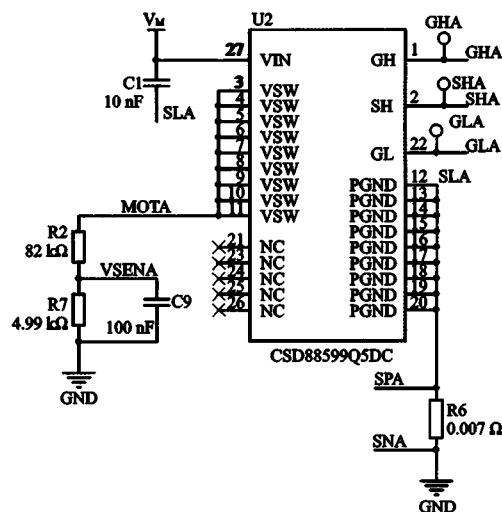


图 7 CSD88599Q5DC 原理图

2.4 霍尔信号处理电路

三相无刷直流电机需要一个霍尔传感器来检测转子相对于定子电枢绕组的位置。利用这三个霍尔传感器的输出信号,控制器就可以确定合适的换相顺序。三个霍尔传感器 A、B、C 以 120° 的间隔安装在定子铁心上,定子相位绕组采用星形结构。电机每旋转 60° ,就有一个霍尔传感器改变其状态。根据霍尔传感器的输出码,在每段换相间隔的末端进行换相^[5]。霍尔信号换相顺序如表 1 所示。

表 1 霍尔信号换相顺序

霍尔信号			导通 MOSFET		电流方向
U	V	W			
1	0	1	Q1	Q4	U→V
1	0	0	Q5	Q4	U→W
1	1	0	Q5	Q2	V→W
0	1	0	Q3	Q2	V→U
0	1	1	Q3	Q6	W→U
0	0	1	Q1	Q6	W→V

霍尔信号的处理电路如图 8 所示。其中 R29、R30、R31 是上拉电阻,由于直流无刷电机的霍尔传感

器都是集电极开漏输出,所以必须外接上拉电阻保证霍尔信号输出高低电平;三个电容是滤波电容,对霍尔信号进行整形,去除干扰毛刺^[6]。

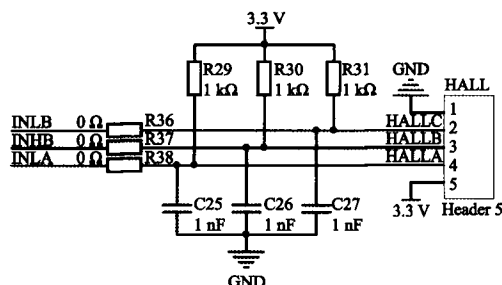


图 8 霍尔信号处理电路

3 系统软件设计

3.1 SPI 通信

DRV8323RS 的 SPI 总线设备用于配置芯片、修改参数以及读取电路诊断信息,以从机模式运行。SPI 数据字格式如表 2、表 3 所示。输入数据字(SDI)长度为 16 位,由 5 位命令和 11 位数据构成,其中 5 位命令包括 1 位读写命令(0 表示写命令,1 表示读命令)和 4 位寄存器地址命令;输出数据字(SDO)长度为 11 位,前 5 位忽略。

表 2 SPI 输入数据字(SDI)

读/写位	地址位					数据位										
B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
W0	A3	A2	A1	A0	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	

表 3 SPI 输出数据字(SDO)

忽略位					数据位										
B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
X	X	X	X	X	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

如图 9 为 SPI 从机时序图。需要注意的是,当 nSCS 引脚从高到低、从低到高变化时,SCLK 引脚应处于低电平。数据采集在 SCLK 的下降沿,而数据传送在 SCLK 的上升沿。

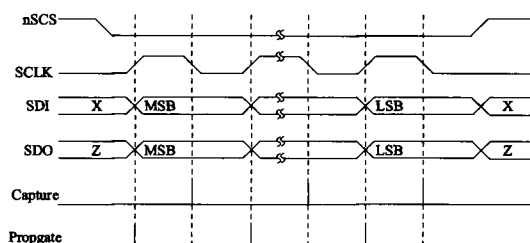


图 9 SPI 从机时序图

SPI 通信算法流程如图 10 所示。

3.2 PWM 输出

直流无刷电机的转速可以通过改变电机线圈的电流大小来调节。PWM 是利用数字电路来控制模拟电路的一种技术,非常适用于电机转速控制。通过调节信号脉冲的宽度,也就是占空比,来改变输出电压的幅值,这样电机线圈通过的电流也随之改变^[7]。

PWM 信号的频率需要固定。对于无刷直流电机来说,开关频率应该尽量高,这样能够降低电枢电流的脉动量,从而确保电流连续性;开关频率 f 还应该高于系统的通频带最高频率 f_c ,从而降低开关频率对系统的影响,通常 $f > 10f_c$;开关频率还应该大于系统的谐振频率,防止共振对系统的破坏;而过高的开关频率会增加开关损耗,降低驱动器的寿命^[8]。综上考虑,本

设计中选取 PWM 的频率为 20 kHz。

如图 11 为控制器输出 PWM 信号的程序流程图。

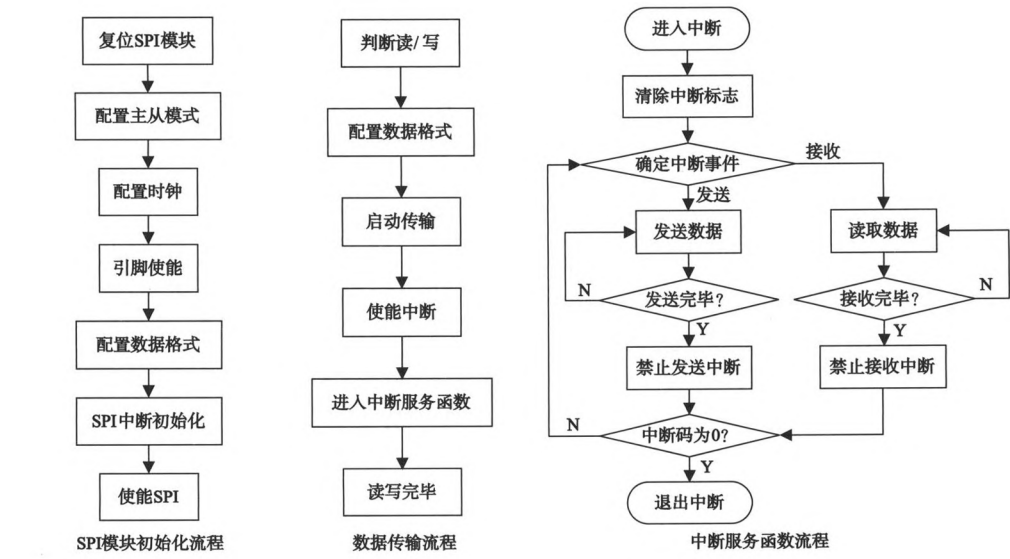


图 10 SPI 通信算法流程图

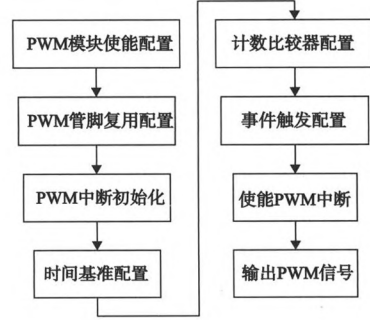


图 11 PWM 信号产生流程图

4 实验结果

实验选择的无刷直流电机型号为 57BLY-1030NBB，其参数如表 4 所示。

表 4 57BLY-1030NBB 电机参数

输出功率/W	103
额定电压/V	24
最大转速/(r/min)	3 000
额定力矩/Nm	0.33
极对数	4
机身长度/mm	87
质量/kg	0.89

根据以上理论分析设计电路图并搭建实验系统,对电机进行空载实验,将 PWM 波形频率配置为 20 kHz,占空比配置为 50%,使用示波器对电机运行过程中的信号进行检测。控制器输出的 PWM 信号如图 12 所示。从波形图可以看到,输出波形占空比约 50.11%,频率为 19.997 7 kHz,误差都在 0.2% 以下。

霍尔传感器的两路波形输出如图 13 所示。从波

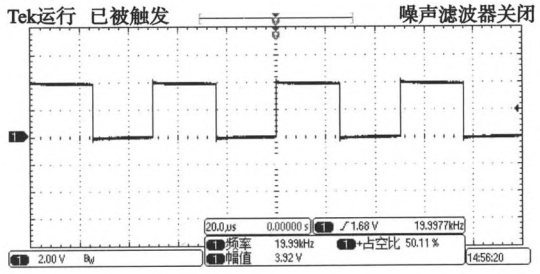


图 12 PWM 信号波形

形输出可以看到,两路霍尔信号相位差约为 120°。分别检测三路霍尔信号,实验结果还表明,任意两路之间的相位差都为 120°,满足设计要求。

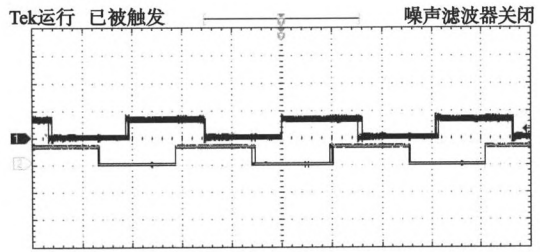


图 13 两路霍尔信号波形

如图 14 为 A 相 CSD88599Q5DC 半桥芯片输入端 GH 与 GL 引脚在 PWM 占空比为 50% 时的波形图。两路波形完成高侧 MOSFET 与低侧 MOSFET 的开关控制,在高侧 MOSFET 导通期间,低侧 MOSFET 保持关闭状态。

5 结束语

本文设计的无刷直流电机驱动器利用 SPI 通信方式进行配置,极大地提高了驱动器的灵活性,简化了电 (下转第 13 页)

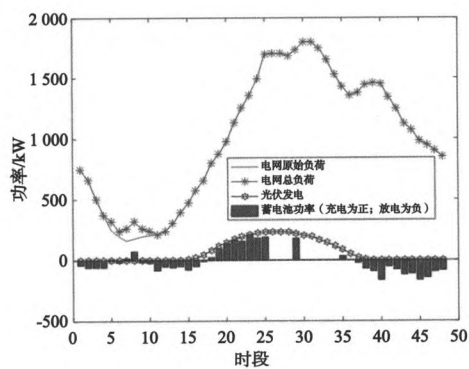


图4 社区微网中的功率流图

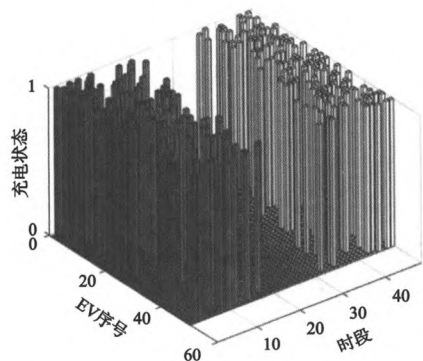


图5 50辆电动汽车充电时段分布图

表1 三个目标函数下的各项指标

目标函数	购电费用/元	循环电量/kWh	峰谷差/kWh
F1 最优	86.10	938.08	1 587
F2 最优	1 689	0	1 295
F3 最优	1 584	76	1 272

5 结束语

本文针对含电动汽车的社区微网充电站建立优化调度数学模型,求解以购电费用、循环电量以及微网内峰谷差为目标的 Pareto 解集,最后所求结果证明了所提模型的合理性,为社区微网运营商根据实际情况选择每日最佳优化调度提供一定的参考价值。

参考文献:

[1] 胡泽春,宋永华,徐智威,等.电动汽车接入电网的影响与利用[J].中国电机工程学报,2012,32(4):1-10.

[2] 张洪财,胡泽春,宋永华,等.考虑时空分布的电动汽车充电负荷预测方法[J].电力系统自动化,2014,38(1):13-20.

[3] 陈奇芳,刘念,赵天阳,等.基于滚动线性规划的光伏充电站自动需求响应[J].电网技术,2016,40(10):2968-2977.

[4] 程杉,王贤宁,冯毅煤.电动汽车充电站有序充电调度的分散式优化[J].电力系统自动化,2018,42(1):39-46.

[5] 李秋硕,肖湘宁,郭静,等.电动汽车有序充电方法研究[J].电网技术,2012,36(12):32-38.

[6] 苏粟,蒋小超,王玮,等.计及电动汽车和光伏-储能的微网能量优化管理[J].电力系统自动化,2015,39(9):164-171.

[7] 杨艳红,裴玮,邓卫,等.计及蓄电池储能寿命影响的微电网日前调度优化[J].电工技术学报,2015,30(22):178-186.

(许雪军编发)

(上接第9页)

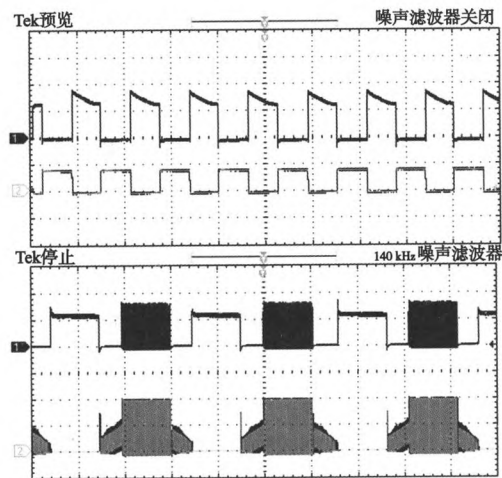


图14 A相高低侧MOSFET开关信号

路设计;利用三路霍尔传感器信号与一路PWM信号实现电机的快速准确换相,同样简化了电路的设计;所采用的驱动芯片内部集成了高精度的电源转换模块,不需要在外围电路中单独设计电源,使电路板结构紧凑。实验表明,本文设计的无刷直流电机驱动器在运行过程中稳定可靠,并具有较高的精度。

参考文献:

[1] 汪全虎.新直流电动机换相问题研究[D].杭州:浙江大学,2015.

[2] 周沙,袁琛.无刷直流电机的发展与应用[J].科教导刊:电子版(上旬),2017(6):179.

[3] 夏长亮.无刷直流电机控制系统[M].北京:科学出版社,2009.

[4] 魏崇毓,徐连伟.无刷直流电机驱动控制系统的设计与优化[J].电子设计工程,2017,25(9):113-116.

[5] 高辉,姚莉莉.“六步换相”法控制无刷直流电机设计[J].防爆电机,2012,47(4):3-5.

[6] 苏延霞.线控转向中路感控制系统设计及算法分析[D].武汉:武汉理工大学,2013.

[7] 孟小利,王莉,严仰光.一种新型电励磁双凸极无刷直流发电机[J].电工技术学报,2005,20(11):10-15.

[8] 代普,韩崇伟,赵晰,等.PWM在直流伺服系统中的应用研究[J].制造业自动化,2008,30(4):16-19.

(许雪军编发)