

基于 F28335 的 SiC MOSFET 驱动系统设计

范士颖,崔江

(南京航空航天大学 自动化学院,江苏 南京 211106)

摘要:由于 SiC MOSFET 开关速度较快,不能用普通 Si MOSFET 的栅极驱动电路来驱动。设计一种基于 F28335 的 SiC MOSFET 栅极驱动电路,利用键盘调节 F28335 输出 PWM 信号的频率、占空比、死区和移相值,并在 LCM12864 液晶屏上实时显示调节值。将 PWM 信号作为 SiC MOSFET 栅极驱动电路输入信号应用于驱动电路,从而实现 SiC MOSFET 通断控制。实验结果表明:相比于 Si MOSFET 栅极驱动电路而言,所提出的基于 F28335 的 SiC MOSFET 栅极驱动电路操作方便,体积小,稳定性好。

关键词:SiC MOSFET; 驱动电路; 数字信号处理器

中图分类号:TN919.6 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)04-0121-04

Design of SiC MOSFET Gate Drive Circuit Based on F28335

FAN Shiyang, CUI Jiang

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Regarding the problem of Si MOSFET gate drive circuits in fail to drive SiC MOSFET due to the fast switching speed of SiC MOSFET, a SiC MOSFET gate drive circuit based on F28335 is designed, and the keyboard is used to adjust the frequency, duty cycle, dead zone and phase shift value of PWM signal produced by F28335. The parameters of PWM signal are displayed timely in LCD12864. The PWM signal is applied as the gate drive input signal in SiC MOSFET gate drive circuit to achieve the condition control. The experimental results show that, compared with Si MOSFET gate drive circuit, SiC MOSFET gate drive circuit based on F28335 is easy to operate, small in size and good in stability.

Keywords: SiC MOSFET; gate drive; digital signal processor

0 引言

功率变换器凭借自身众多优势,被应用于许多重要领域。高效率、高可靠性以及低成本一直是功率变换器不断发展的方向^[1-2]。拥有更高性能的 SiC 基功率器件已开始逐步替代 Si 基功率器件。Si 与 SiC MOSFET 两种器件的内部结构类似,但 SiC MOSFET 开关速度很快,不能用驱动普通 Si MOSFET 的交流驱动信号控制 SiC MOSFET 器件通断。SiC MOSFET 开关瞬间易产生大电流尖峰,使其被击穿而损坏。面对 SiC MOSFET 开关速度快带来的器件安全问题,宽禁带半导体器件驱动电路的设计和调控,在系统正常运行方面显得尤为重要。

文献[3]设计了 FDM6021-4803 型号电机的驱动器,并利用 F28335 产生的 PWM 信号作为电机驱动器的输入信号,此驱动器精度高、稳定性好。文献[4]利用 F28335 产生 PWM 信号,传送至驱动电路,以实现 IGBT 的控制通断。文献[5-6]设计了一种基于 TMS320F28335 的旋转直接驱动伺服阀控制器,具有电路结构简单、运算速度快、控制灵活的特点。

本文设计了一款利用 F28335 控制的 SiC MOSFET 栅极驱动电路。该电路可以使用键盘实时调节 F28335 输出

PWM 信号的频率、占空比、死区和移相 4 个参数值,在 LCM12864 屏上显示 PWM 信号的参数。并且将 4 路 PWM 信号输入到 SiC MOSFET 栅极驱动电路,驱动电路输出端即可输出有足够驱动能力的交流驱动电压信号,用于 SiC MOSFET 通断的实时调控。

1 系统整体设计

基于 F28335 的 SiC MOSFET 驱动系统设计系统结构框图如图 1 所示。此系统由 F28335 核心板、键盘、LED 指示灯、拨码开关、LCM12864 液晶显示屏和 SiC MOSFET 驱动电路组成。

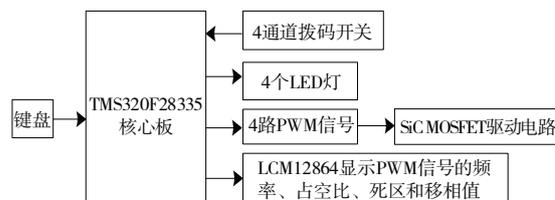


图 1 系统框图

首先,打开 4 路拨码开关,F28335 的 4 路 PWM 信号输出通道已经打开。F28335 及其外围电路正常供电,此刻,4 路 PWM 信号的输出通道会输出程序初始化设置的

4 路 PWM 信号。4 个 LED 指示灯亮,LCM12864 液晶显示屏上显示程序初始时设置 PWM 信号的频率、死区、占空比和移相 4 个参数值。键盘调节 PWM 信号的频率、占空比、死区和移相 4 个参数,此时,F28335 输出的 4 路 PWM 信号参数发生变化,其具体参数值可在 LCM12864 液晶显示屏上实时显示,并且 SiC MOSFET 驱动电路输出端输出的交流电压也发生相应变化。因此,本设计通过软件控制和硬件电路结合,实现对 SiC MOSFET 驱动电路输入信号的实时调节,从而能够使驱动电路输出 SiC MOSFET 所需的驱动信号。

2 系统硬件设计

基于 F28335 的 SiC MOSFET 驱动电路系统主要由 LCD 显示模块、拨码开关控制通断模块、键盘模块、信号输出模块、指示灯指示模块、数字控制模块和 SiC MOSFET 驱动模块组成^[7-11]。

2.1 数字控制模块

在本设计中,数字控制模块用于 PWM 信号的产生与调控。本文选用 F28335 作为核心控制器,通过编程产生不同参数的 4 路 PWM 信号,并用程序实现 F28335 与键盘、指示灯、拨码开关和 LCM12864 实时通信。F28335 使用 EPWM 模块产生本设计所需的 4 路 PWM 信号,以供后续电路实现 SiC MOSFET 通断控制^[12-14]。

2.2 键盘模块

本设计选用的键盘由 16 个小按键组成,并且每个小按键都是独立控制。键盘引脚与 F28335 的 GPIO 口相连,可以与 F28335 实时通信,用于调节其输出 PWM 信号的频率、死区、占空比和移相 4 个参数值。16 个小按键为 KEY_0-KEY_15 按键。其中,KEY_0 和 KEY_1 按键用来对 PWM 信号进行频率调节,KEY_0 为频率+1 键,KEY_1 为频率-1 键。KEY_2 和 KEY_3 按键用来调节 PWM 信号占空比,KEY_2 为占空比+1 键,KEY_3 为占空比-1 键。KEY_4 和 KEY_5 按键对 PWM 信号进行死区调节,KEY_4 为死区+1 键,KEY_5 为死区-1 键。KEY_6 和 KEY_7 按键对 PWM 信号进行移相调节,KEY_6 为移相+1 键,KEY_7 为移相-1 键。KEY_8-KEY_15 按键为 8 个备用按键,以供后续添加新的功能使用。

2.3 指示灯指示模块

本设计选用 4 个 LED 灯用作 F28335 输出 PWM 信号指示灯,即使用 D1-D4 这 4 个 LED 指示灯检测 PWM 信号的输出状态。PWM1A 对应的 LED 指示灯为 D1,D2 为 PWM1B 对应 LED 的指示灯,D3 为 PWM2A 对应的 LED 指示灯,D4 为 PWM2B 对应的 LED 指示灯。当 F28335 的 4 路 PWM 输出通道有 PWM 信号输出时,此路所对应的指示灯亮。当 F28335 的 4 路 PWM 输出通道停止输出 PWM 信号时,此路所对应的指示灯灭。

2.4 拨码开关控制通断模块

本设计利用拨码开关对 4 路 PWM 信号进行输出控

制。4 个拨码开关分别为 SW_1、SW_2、SW_3 和 SW_4。其中,SW_1 控制 PWM1A 通道的通断,SW_2 控制 PWM1B 通道的通断,SW_3 控制 PWM2A 通道的通断,SW_4 控制 PWM2B 通道的通断。当拨码开关拨至“ON”时,PWM 通道打开,若 F28335 产生了 PWM 信号,则 PWM 信号能够正常输出。当拨码开关拨至“OFF”时,此路 PWM 通道关闭,不能输出 PWM 信号。4 路 PWM 信号输出通道由 4 个拨码开关独立控制,互不影响。

2.5 信号输出模块

本设计的信号输出模块使用了 8 引脚输出端子。此信号输出模块输出 F28335 4 个 PWM 通道产生的 PWM 信号,并将 4 路剩余 PWM 信号共地(DGND)。通过信号输出模块将 F28335 产生的 PWM 信号发送给 LCM12864 液晶显示屏和 SiC MOSFET 驱动电路。

2.6 液晶显示模块

本设计中 PWM 信号参数的液晶显示模块使用 LCM12864 液晶显示屏。LCM12864 可以显示本文设定的汉字和字符串,引脚配置简单、使用方便。LCM12864 液晶显示屏的数据总线引脚为 DB0-DB7,控制总线引脚为 LCD_RST、LCD_E、LCD_RS 和 LCD_R/W。通过设置两种总线实现 F28335 与液晶屏实时通信。本设计利用 LCM12864 液晶屏实时显示 PWM 信号的频率、占空比、死区和移相值。

2.7 SiC MOSFET 驱动模块

SiC MOSFET 驱动电路原理图如图 2 所示。此电路主要由两个隔离式 DC-DC 转换器(VD2418 和 VD2405),一个光耦隔离器(ACPL-4800-300E)和栅极驱动器集成电路(IXDN609SI)组成。供电电源由隔离式 DC-DC 转换器提供。此驱动电路的输入端接入 F28335 产生的 PWM 信号,并利用此电路对 PWM 信号进行放大,得到 SiC MOSFET 通断所需交流驱动信号,从而能够控制 SiC MOSFET 通断。

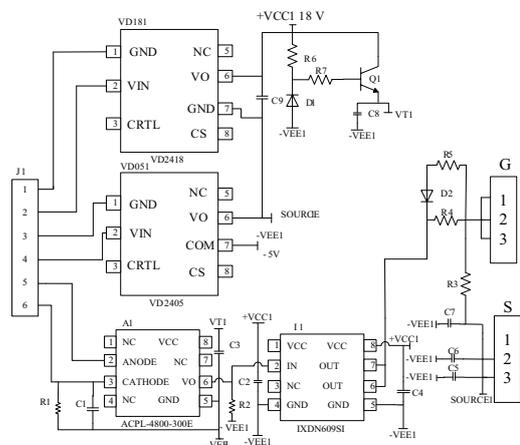


图 2 SiC MOSFET 驱动电路图

2.8 实际硬件电路板

基于 F28335 的 SiC MOSFET 驱动系统设计实际硬件

电路如图 3 所示。其中,①为数字控制模块,控制 PWM 信号的产生;②为键盘模块,对 PWM 信号进行参数调节;③为指示灯指示模块,指示 PWM 信号输出状态;④为拨码开关控制通断模块,控制 PWM 信号输出状态;⑤为输出 PWM 信号模块,将 PWM 信号传递给后续电路;⑥为 LCD 显示模块,实时显示 PWM 信号的 4 个参数;⑦ SiC MOSFET 驱动模块,将 F28335 产生的 PWM 信号转换成所需信号。

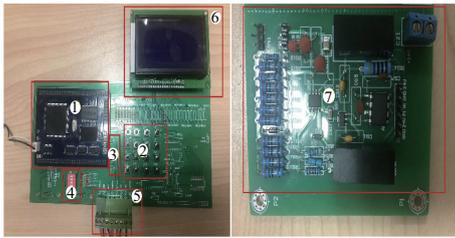


图 3 硬件电路板实物图

3 系统软件设计

图 4 为本设计的系统流程图。首先,对整个电路系统通电, F28335 和 LCM12864 进行初始化,之后进入主程序的无限循环语句,程序一直处于循环,查询键盘中按键的状态。

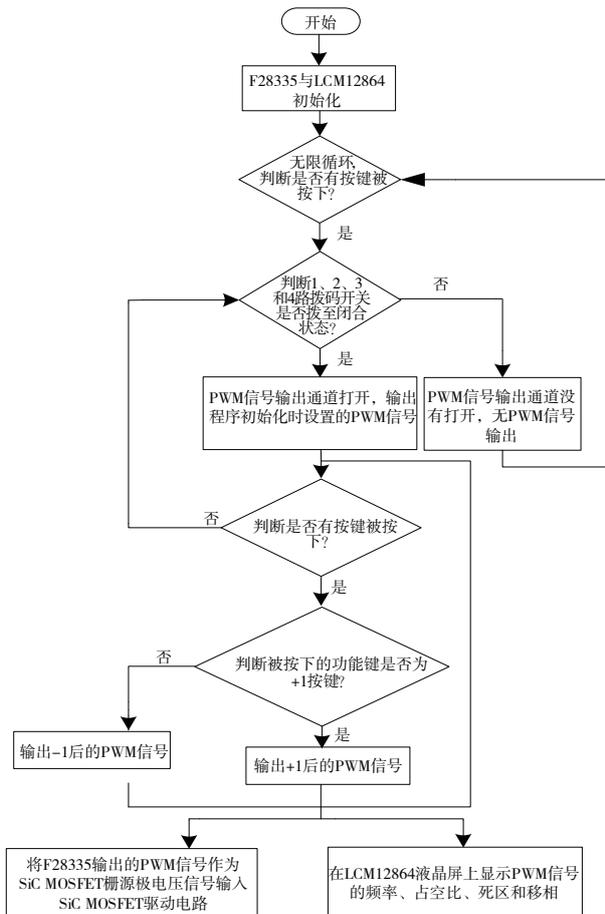


图 4 程序流程图

在主程序的循环中,程序会一直等待着键盘中的小按键被按下。判断 4 路 PWM 信号输出通道的拨码开关是否

打开。如果 4 路 PWM 信号输出通道的拨码开关已打开,此时,按照程序初始化时对 4 路 PWM 信号的参数设置输出 4 路 PWM 信号,4 路 PWM 信号指示灯亮, LCM12864 液晶屏上显示初始化设置 PWM 信号的频率、占空比、死区和移相 4 个参数。如果 4 路 PWM 信号输出通道的拨码开关没有打开,那么 F28335 不能输出 4 路 PWM 信号给下一级电路,并且 4 路 PWM 信号对应的指示灯灭。此时,液晶显示屏上没有显示 PWM 信号任何参数。

键盘上的小按键被按下后,需要判断被按下的小按键要改变 F28335 输出 PWM 信号的什么属性(频率、占空比、死区、移相)。如果按键要改变 F28335 输出 PWM 信号某个参数值,比如要改变占空比值,判断被按下按键是占空比+1 键,还是占空比-1 键,并改变 PWM 信号相应参数值。

键盘调控 PWM 信号的 4 个参数后,如果参数值在程序设定范围内, F28335 输出相应参数的 PWM 信号给 SiC MOSFET 栅极驱动电路, PWM 信号在此电路中经过信号转换,即得到能够调控 SiC MOSFET 开关的交流驱动信号,并在 LCM12864 屏上显示 F28335 输出 PWM 信号的频率、占空比、死区和移相参数值。

4 系统调试结果

本设计已经对基于 F28335 的 SiC MOSFET 驱动电路进行了软件调试和实际平台验证。按键设置频率为 10 kHz,占空比为 50%、死区为 1CLK(双边死区)和移相为 90°,此时, LCM12864 液晶屏参数显示如图 5 所示。采集 F28335 输出的 4 路 PWM 信号,如图 6 所示。以一路 PWM 信号为例,将此信号输入到 SiC MOSFET 驱动电路, PWM 信号经过驱动电路转换后得到的交流信号即为 SiC MOSFET 所需驱动信号。在本设计中,驱动电路输出-5/+18V 的交流信号,并将其用作 SiC MOSFET 驱动信号,如图 7 所示。基于 F28335 的 SiC MOSFET 驱动电路中各个电路模块运行稳定, SiC MOSFET 驱动电路能够输入相应的 PWM 信号,并且 LCM12864 液晶屏也能实时显示 PWM 信号的频率、占空比、死区和移相值(本刊系黑白印刷,如有疑问请咨询作者)。



图 5 LCM12864 显示 PWM 信号的 4 个参数

5 结语

本文对所提出的基于 F28335 的 SiC MOSFET 栅极驱动电路进行软硬件设计,利用键盘控制 F28335 输出 PWM 信号的参数,并用 LCM12864 液晶屏显示 PWM 信号参数,实现了对 SiC MOSFET 栅极驱动信号的实时调节。通过实际试验平台进行验证,结果表明:该系统可以通过键盘

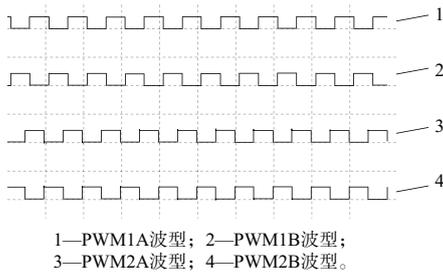


图 6 4 路 PWM 信号波形图

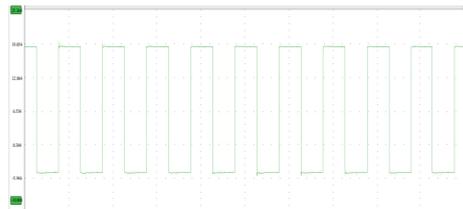


图 7 驱动 SiC MOSFET 所需交流信号波形图

实时控制 SiC MOSFET 栅源驱动信号,从而实现 SiC MOSFET 开通和关断的实时调控。

参考文献:

[1] 刘佳佳,刘英坤,谭永亮. SiC 电力电子器件研究现状及新进展[J]. 半导体技术,2017, 42(10):744-753.
 [2] 宋臻,李金金,朱建光. 基于 DSP28335 的多相电机控制器[J]. 电脑知识与技术,2018, 14(14):251-252, 258.

(上接第 117 页)

线形式。图 4 是机器人是动作姿态。在整个时间历程中,等时间间隔地选取其中 5 个时间节点的动作姿态。可知末端连杆的位形改变得较大,机器人整体呈现竖直的趋势,这是因为关节力矩不足以抵消重力的影响所导致的,因而整体有向下运动的趋势。

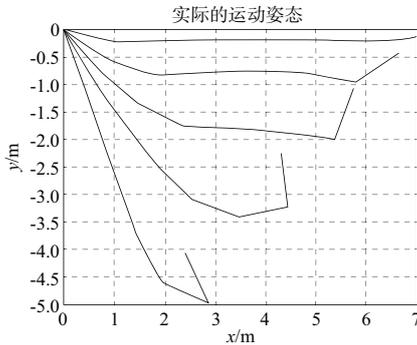


图 4 连杆的动作姿态

4 结语

由七连杆机器人的动力学仿真可知,在 2 连杆、3 连杆情况下推导出的结果与一般方法的动力学方程完全一致,可知在多连杆的情况下本方法也是正确的。本方法未考虑连杆之间的内力,简化了推导的过程,提高了推导的效率和正确性。本方法对后续、复杂的、有平移关节和球

[3] 李琛,潘松峰. 基于 DSP 的永磁同步电机控制系统硬件设计[J]. 制造业自动化,2019, 41(9):118-120.
 [4] 严勤,李永聪. 基于 TMS320F28335 的永磁同步电机矢量控制器设计[J]. 电力大数据,2018, 21(6):63-69.
 [5] 党威望,岳改丽. 基于 DSP 的四相步进电机控制系统设计[J]. 计算技术与自动化,2017, 36(2):51-54.
 [6] 阮峥,毛良,魏浪. 基于 TMS320F28335 的 RDDV 阀控制器设计[J]. 机械制造与自动化,2020, 49(1):202-204.
 [7] 张磊. 基于 DSP 的数字逆变电源的设计[D]. 西安:西安科技大学,2013.
 [8] 赵忠媛. 基于 DSP28335 的静止无功发生器设计[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
 [9] 吴海富,张建忠,赵进,等. SiC MOSFET 驱动技术及其在电力系统中的应用[J]. 太原理工大学学报,2019, 50(1):22-28.
 [10] 邹世凯,胡冬青,黄仁发,等. SiC MOSFET 驱动电路设计与实验分析[J]. 电气传动,2017, 47(9):59-63.
 [11] 黄平. 基于单片机的液晶(LCD)图文显示系统设计[J]. 通信电源技术,2019, 36(10):69-70.
 [12] 安全龙,辛斌,迟颂,等. 基于 DSP 控制的交流电子负载的性能研究[J]. 燕山大学学报,2019, 43(3):221-227.
 [13] 柳舟洲. SiC MOSFET 驱动及保护电路设计[J]. 微电机,2019, 52(12):70-73.
 [14] 王建渊,林文博,孙伟. 用于全桥变换器的 SiC MOSFET 驱动电路设计[J]. 电力电子技术,2020, 54(2):120-124.

收稿日期:2020-07-23

关节组成的空间型机器人的动力学推导有一定的借鉴意义;也对平面开链多连杆柔性机器人的动力学建模有借鉴意义。

参考文献:

[1] 姚俊,李俊源,李明富. 双机器人松协调轨迹规划研究[J]. 机械制造与自动化,2020,49(3):138-141.
 [2] 蔡自兴. 机器人学[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社,2009:220-221
 [3] 王航,祁行行,姚建涛,等. 工业机器人动力学建模与联合仿真[J]. 制造业自动化,2014,36(9):73-76.
 [4] 槐创峰,刘平安. 七连杆双足机器人建模和控制系统仿真[J]. 计算机仿真,2010,27(12):180-185.
 [5] 赵睿英,焦生杰,王欣. 多手指机器人动力学建模方法[J]. 长安大学学报,2015,35(3):151-158.
 [6] 朱苏伟,丁力平,潘国威. 面向微电机的双机器人协作空间分析与计算[J]. 机械制造与自动化,2020,49(3):147-150.
 [7] 李醒,王建辉,方晓柯. 五自由度上肢康复机器人动力学建模及仿真[J]. 控制工程,2011,19(5):823-831.
 [8] 申浩宇,吴洪涛,陈柏. 多自由度串联机器人的高效率反向动力学建模方法[J]. 中国机械工程,2016,27(1):20-24.
 [9] 胡盛斌. 非线性多关节机械人系统滑模控制[M]. 北京:国防工业出版社,2015.
 [10] 周海燕,朱银龙,朱雄伟,等. 面向牙刷操作的 DELTA 机器人设计与仿真分析[J]. 林业机械与木工设备,2020(3):151-154.

收稿日期:2020-08-14