

文章编号: 2095-2163(2021)04-0072-05

中图分类号: TP368.1

文献标志码: A

基于单片机的双向 DC-DC 充放电电路设计

简 繁, 李泽滔

(贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025)

摘要: 环境污染和能源短缺一直阻碍着中国绿色经济的发展, 新能源的开发利用有助于扫出这个障碍, 超级电容和双向 DC-DC 变换器构成的储能系统, 在新能源的开发利用过程中占据了重要的位置。本文对双向 Buck/Boost 变换器进行了研究, 在单片机 STM32F103C8T6 的控制下, 设计了一个充放电系统, 实现了超级电容的恒流充电和恒压放电。首先进行软件设计, 然后利用 Matlab/Simulink 对系统进行仿真分析, 最后根据硬件电路, 制作实物并测试。本次设计的双向 Buck/Boost 充放电电路, 不仅使超级电容实现了恒流充电和恒压放电, 而且能够实现充放电模式的切换和过充保护, 各项性能指标均满足设计要求。

关键词: 双向 Buck/Boost 变换器; 超级电容; STM32F103C8T6

A Study and Design of Bi-directional DC-DC Charge-discharge Circuit Based on SingleChip Microcomputer

JIAN Fan, LI Zetao

(College of Electrical Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

[Abstract] Environmental pollution and energy shortage have been hindering the development of green economy in China. The development and utilization of new energy sources are helpful to remove this obstacle. Super capacitor and bidirectional DC-DC converter constitute energy storage system. It occupies an important position in the development and utilization of new energy. This paper studies the bidirectional Buck/Boost converter, and then designs a charge and discharge system under the control of single chip microcomputer STM32F103C8T6 to realize the constant current charge and constant voltage discharge of super capacitor. Design and use Matlab/Simulink to simulate and analyze the system, then software Design, finally according to the hardware circuit, make the physical object and test. By this design, the two-way Buck/Boost charge and discharge circuit not only makes the super capacitor realize constant current charge and constant voltage discharge, but also can realize the switching of charge and discharge mode and overcharge protection. All the performance indexes meet the design requirements.

[Key words] Bidirectional Buck/Boost Converter; Supercapacitor; STM32F103C8T6

0 引言

随着环境和资源带来的问题越来越多, 各国相关领域的研究人员都在极力寻找一些清洁能源来代替传统的能源, 缓解能源危机和环境压力。中国更是注重生态文明建设, 将绿色协调可持续发展写入了国家的方针政策, 中国的现代化建设是离不开新能源的开发利用的。新能源绿色环保, 来源丰富, 属于可再生能源, 极大地缓解环境污染日益严重和资源不足的难题。但是由于新能源的分布不均匀且受到地理环境和气候条件的限制, 对储能的需求极大。如今常见的储能器件主要有蓄电池, 超级电容器和超导线圈^[1]。储能技术的应用对双向 DC-DC 变换器提出了新的挑战, 双向 DC-DC 变换器贯穿储能

过程的始终, 具有很大的应用前景, 受到了广泛关注。双向 DC-DC 变换器虽然理论技术已经趋于成熟, 但在效率、经济性以及实际应用的研究上还有待完善^[2]。

本次设计的系统选用了双向 Buck/Boost 拓扑结构, 在单片机 STM32F103C8T6 的控制下, 实现对超级电容的充放电。首先, 基于系统的设计, 设计各个模块的硬件电路方案, 主要有主电路、控制电路, 驱动电路和辅助电源电路; 其次, 软件流程图的设计; 最后, 对系统进行测试分析, 检验该充放电系统是否能实现预期的功能和满足系统的性能参数要求。

作者简介: 简 繁(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 控制工程; 李泽滔(1960-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 智能电网、故障诊断、控制理论及其应用。

通讯作者: 李泽滔 Email: 2544210125@qq.com

收稿日期: 2020-12-20

1 系统总体设计

本次设计主要是搭建一个双向DC-DC充放电电路,利用该电路来对超级电容恒流充电和恒压放电。双向DC-DC充放电电路在充电时处于降压模式,在放电时处于升压模式,充放电模式的转换,需要用到按键电路模块来实现。要控制恒流充电和恒压放电,需要对电流和电压进行采集,因而需要电流和电压采样电路模块。观察充电电流、超级电容端电压和负载电压等实时数据,需要用到显示器电路模块。双向DC-DC充放电电路中的MOS管需要驱动信号才能导通,所以系统中还应包括驱动电路模块。若超级电容过充,可能会损坏,因此电路中还应包括防过充保护模块。系统中芯片都需要供电才能工作,且每个芯片的供电电压不同,系统应有辅助电源模块,对不同芯片供电。综上所述,本次设计的双向DC-DC充放电电路系统中包括主电路双向DC-DC变换器模块,控制器模块,驱动模块和辅助电源模块,该系统的总体设计如图1所示。

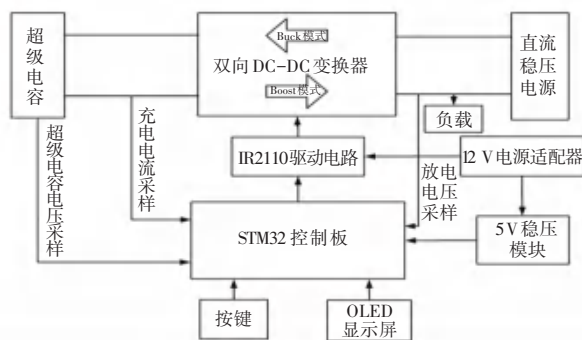


图1 系统的总体设计图

Fig. 1 Overall design of the system

2 硬件电路设计

2.1 主电路双向DC-DC变换器设计

非隔离型双向Buck/Boost变换器的转换效率高、拓扑结构不复杂、驱动和控制电路易设计、设计的成本低、输入和输出端有电感,电流的纹波不是太大、适用于小功率、无需电气隔离的场合,符合本次设计的要求^[3]。因此,本次设计的主电路采用非隔离型双向Buck/Boost变换器,如图2所示。

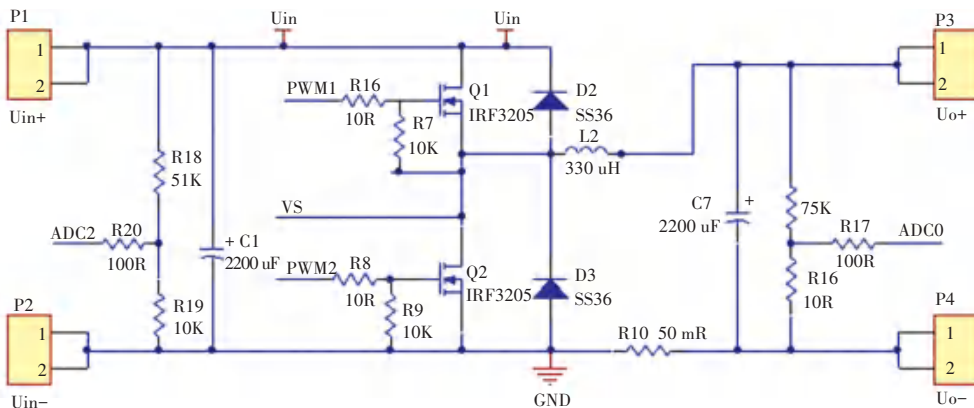


图2 主电路图

Fig. 2 Overall design of the system

2.2 控制器设计

STM32F103C8T6单片机上集成了很多模块,例如时钟模块、复位电路和电源管理电路等等,使用方便。该单片机支持串行单线调试(SWD)和JTAG接口调试,调试方便,性能优势明显,价格便宜,选用该单片机能完成本次设计需求。控制电路图如图3所示。

2.3 驱动电路设计

选用美国IR公司生产的IR2110芯片构成的电路作为驱动电路。IR2110具有光电隔离体积小和电磁隔离响应速度快的性能优点,适用于中小功率场合。该芯片还具有10~20V的栅极驱动电压,能够驱动IRF3205,使其正常工作。将单片机产生的PWM波输入到该芯片,可产生两路反相互补的驱动信号,分别是

高端MOS驱动H驱动和低端MOS驱动L驱动,高端驱动可以通过自举电容驱动源极不在地端的MOS管,该驱动芯片构成的驱动电路如图4所示。

2.4 采样电路设计

检测电阻采样的方式操作简单,抗干扰能力强,测量的精度高,本次设计采用了检测电阻采样的方式对电流进行采样。利用检测电阻采样的方式采样电流,直接在超级电容和电感之间的电流输入端串联一个阻值约为50mΩ的采样电阻,将采样得到的电流信号经过LM358集成运放放大,最终变成电压信号;将该信号送入单片机进行运算,得到的输出电压与充电电流成正比,即可求得超级电容的充电电流。该采样电路原理图如图5所示。

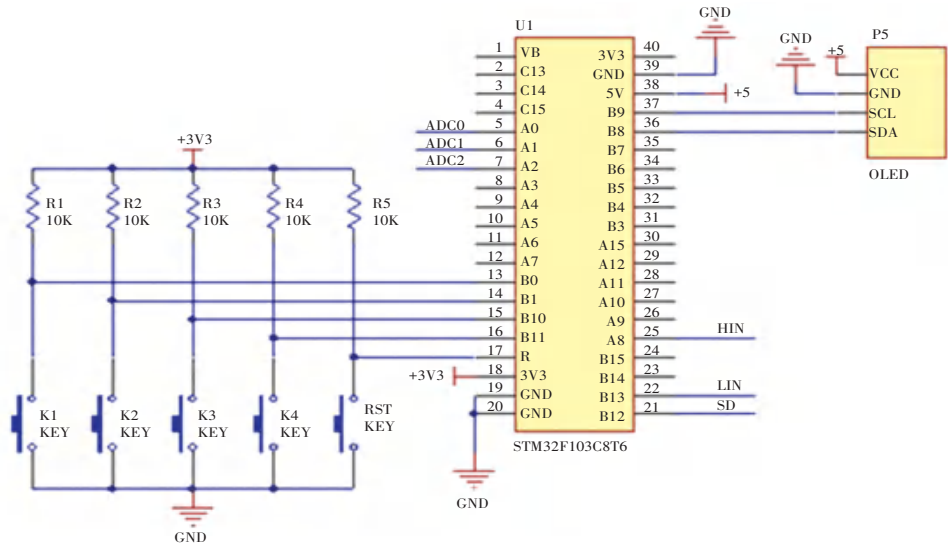


图3 控制电路

Fig. 3 Control circuit

忽略不计。

2.5 防过充保护电路设计

在实际应用中,如果不加干预让超级电容一直处于充电状态下,很有可能会毁坏超级电容和充电电路,因此,设计中必须考虑超级电容过充的保护,本次设计通过分压电阻实时检测超级电容两端的电压,当检测到超级电容两端的电压为极限值时,切断PWM控制信号,停止超级电容的充电。

2.6 显示电路设计

本次设计采用 IIC 通信的 OLED12864 显示屏,其接口电路和操作指令简单,单片机只需通过两条数据总线(SCL 和 SDA)就能控制 OLED 工作,其外围接口电路如图 6 所示。

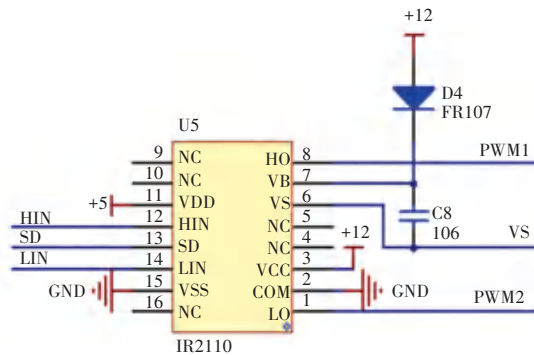


图4 驱动电路

Fig. 4 Drive circuit

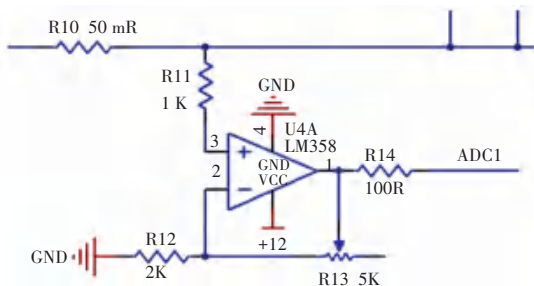


图5 电流采样电路

Fig. 5 Current sampling circuit

在小功率场合中的电压采样通常采用电阻分压的方式,利用两个确定比例电阻,将所测电压分为两部分,其中将分得的小电压送入单片机进行运算,最终可求得所测电压。这种采样方式电路简单,采样算法简单,但是分压电阻将会带来一定的损耗。就本次的设计而言,由于电压不是太大,分压电阻上的电流为 mA 级别,相应损耗的功率为 mW 级别,所以本次设计采用该方式来采集电压时,其损耗可以

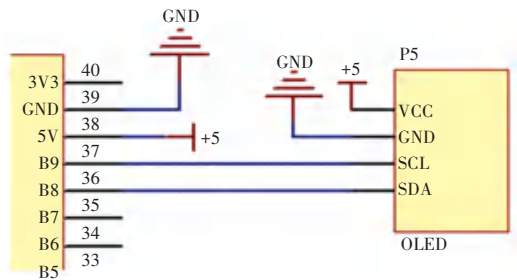


图6 OLED 外围接口电路

Fig. 6 OLED peripheral interface circuit

2.7 按键输入电路设计

本设计可以通过按键来对充放电模式进行切换,按键的外围接口电路简单,只需要在控制器和按键之间接上一组上拉电阻。采用按键,操作简单,便于调试。按键模块的外围接口电路如图 7 所示。

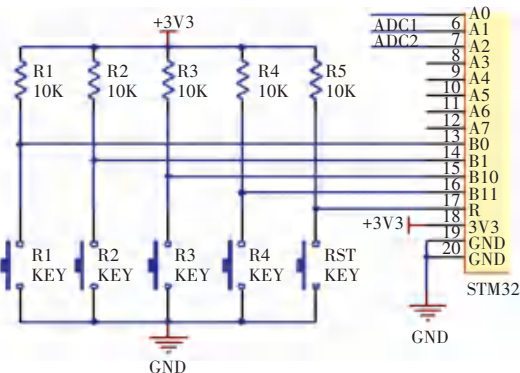


图 7 按键外围接口电路

Fig. 7 Keypad peripheral interface circuit

2.8 辅助电源电路设计

为了使充电电路系统稳定工作,需要两个供电电源,分别为 12 V 电源适配器和 7805 稳压芯片。12 V 适配器的电压直接给 IR2110 驱动芯片和 LM358 集成运放芯片供电,再通过由 7805 构成的稳压模块降压到 5 V,给单片机供电。辅助电源模块的电路图如图 8 所示。

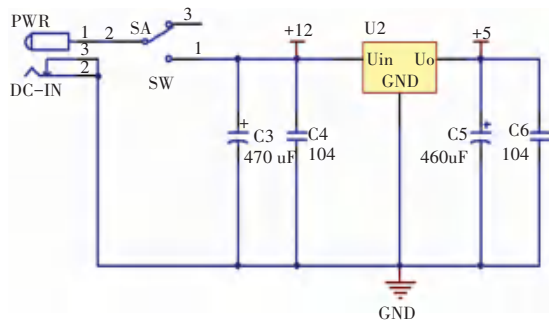


图 8 辅助电源电路

Fig. 8 Auxiliary power supply circuit

3 系统的软件设计

3.1 软件设计思想

软件部分主要的任务是完成超级电容的恒流充电和恒压放电的控制、充放电的快速切换、实时显示系统的充电电流和放电电压等值,本设计采用的电力电子开关器件的控制方式是脉冲宽度调制,即改变占空比的控制方式。软件部分包括 PWM 产生模块、ADC 电流电压检测模块、按键模块、OLED 显示模块。

本次设计的程序有主函数和子函数,其中,主函数通过按键来选择主电路的工作方式,即充电模式和放电模式,子函数包括充电模式程序、放电模式程序和定时器中断服务程序等。

3.2 主函数设计

主函数主要的功能是通过外部按键来对主电路充电模式和放电模式的选择。主函数的程序流程图如图 9 所示,单片机上电进行初始化,通过外部按键检测,若检测到是模式一,则进入放电模式,否则检测是否为模式二,若是,则进入充电模式。

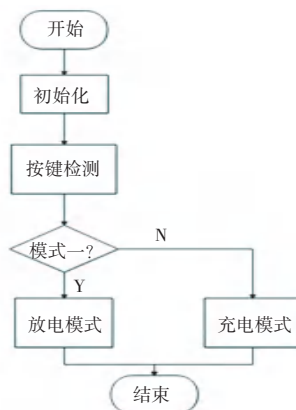


图 9 主函数程序流程图

Fig. 9 Flowchart of main function program

3.3 子函数程序设计

通过单片机模/数转换功能读取实时的充电电流,将该电流与预设的充电电流作差,通过电流反馈调节,改变 MOS 管驱动信号的占空比来调节充电电流,对电流进行多次采样,最后用平均法滤波实现对恒流充电的控制。

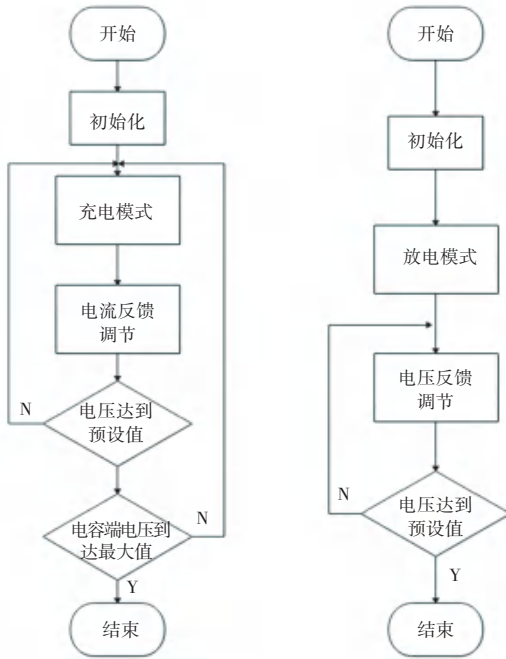
当充电电流达到预设值时,再通过判断检测到的输出电压是否达到超级电容组的最大耐压值,若达到最大耐压值,则单片机切断 PWM 信号,停止充电;否则,将继续充电,实现过充保护,充电模式的程序流程图如图 10(a) 所示。

放电模式下,将并联电阻检测到的负载电压送入单片机运算,然后与预设的放电电压相比较,再通过电压反馈调节,改变 MOS 管驱动信号的占空比,若电压没稳定在预设值,则继续调节,最终实现输出电压稳定为预设值,放电模式的程序流程图如图 10(b) 所示。

4 调试及结果分析

4.1 测试系统

系统的软硬件分析完成以后,根据硬件部分的设计搭建系统的实物,然后利用前面的软件设计来进行调试,通过调试结果,可以分析本次设计是否达到了设计任务的要求,是否满足各方面的性能参数的要求以及充放电效率能达到多少,系统测试是本次设计的一个重要环节,测试系统如图 11 所示。



(a) 充电模式 (b) 放电模式
(a) Charging mode (b) Discharging mode

图 10 子函数程序流程图

Fig. 10 Flowchart of sub function program



图 11 测试系统

Fig. 11 Testing system

4.2 结果分析

本次设计中电力电子开关器件采用 PWM 控制方式,充放电模式过程中的 MOS 管的 PWM 波分别如图 12 和图 13 所示。

充电模式和放电模式的两只开关管的驱动脉冲都是两路反相互补的 PWM 波。其中,示波器通道 1 是 MOS 管 Q_1 的驱动信号,通道 2 是 MOS 管 Q_2 的驱动信号,充放电模式下驱动信号的占空比不同,充放电过程中两只开关管交替导通,但是总有一只开关管作为主导通管,从两路驱动信号的占空比可知,充电时, Q_1 作为主导通管,放电时, Q_2 作为主导通管,该两路反相互补驱动信号的测试结果与理论分析中的结果相符。



图 12 充电模式下的两路反相互补的波形

Fig. 12 Two reverse phase complementary waveforms in charging mode



图 13 放电模式下的两路反相互补的波形

Fig. 13 Two reverse phase complementary waveforms in discharge mode

本次设计的双向 DC-DC 充放电电路实现了对超级电容恒流充电和恒压放电,其中,充电电流和放电电压的大小分别为 5 A 和 48 V。

充电过程中输出的功率不断的变化,所以输入功率也在变化,因此,只能求出超级电容的能量,无法得到输入的能量,故不能直接求该充电系统的效率,将超级电容端换成电阻负载,经测试,该充电系统的效率达到 90% 以上。

5 结束语

本次设计在单片机 STM32F103C8T6 的控制下,设计了一个充放电系统,不仅使超级电容实现了恒流充电和恒压放电,而且能够实现充放电模式的切换和过充保护,各项性能指标均满足设计要求。

参考文献

- [1] 胡毅,陈轩恕,杜砚,等. 超级电容器的应用与发展[J]. 电力设备,2008(1):19-22.
- [2] 陈亚爱,梁新宇,周京华. 双向 DC-DC 变换器拓扑结构综述[J]. 电气自动化,2017,39(6):1-6.
- [3] 袁野. 非隔离型三电平 Buck/Boost 双向变换器软开关方案研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2017.