

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.03.014

基于 DSP 控制的锂电池快充电路研究*

杨雁勇,王腾飞,王慧馨,杨磊,王正仕*
(浙江大学电气工程学院,浙江杭州 310027)

摘要:针对锂电池充电速度需要不断提升,而不同种类锂电池最佳充电策略不同的问题,对锂电池充电电路、充电方法等方面进行了研究,对不同充电电路的优缺点进行了归纳,提出了一种基于 DSP28035 控制的锂电池快充电路,可用于单体锂电池快速充电方法研究。用 DSP28035 采集电池电压电流对其进行了数字闭环控制,电路具有 6 V ~ 30 V 的宽范围输入,Buck 降压变换器用于电池充电,Boost 升压变换器用于脉冲放电去极化,电池充放电电流均精确可调。改变 DSP 的程序可实现 CC、CV、CCCV 以及阶梯恒流充电、脉冲充电等多种形式的充电。利用 Matlab/Simulink 进行了仿真,并制作了充电样机,进行了锂电池充电测试。研究结果表明,该电路结构简单、控制方便,能够进行各种充电策略测试,能够实现过流、过压、过温保护,电路稳定性好、可靠性高。

关键词:锂电池;快速充电;脉冲充电;DSP 控制

中图分类号:TM464;TM911

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)03-0282-05

Fast charge circuit for lithium battery based on DSP control

YANG Yan-yong, WANG Teng-fei, WANG Hui-xin, YANG Lei, WANG Zheng-shi
(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to solve the problems of that Li-ion battery charging speed needed to be improved, while the best charging strategy issues of different types of lithium batteries vary. The advantages and disadvantages of different charging circuits and proposed was investigated. A fast charging circuit based on DSP28035 for lithium battery charging was presented to study on the fast charge method for lithium-ion batteries. Battery voltage and current were collected by DSP28035 with digital closed-loop control. A wide range of input 6 V - 30 V was possessed with Buck converter for battery charging and Boost converter for pulse discharge depolarization. Battery charge and discharge current could be controlled accurately. CC, CV, CCCV and the staircase constant current charging, pulse charging and other forms of charging could be achieved through changing the DSP program. The lithium battery charging was tested by MATLAB/Simulink and charging prototype. The experimental results show that the circuit has the correct principle, simple structure and convenient control, which can be used for various charging strategy test. It can realize over-current, over-voltage and over-temperature protection. The circuit has good stability and high reliability.

Key words: lithium battery; fast charging; pulse charging circuit; DSP control

0 引 言

锂电池具有高的重量能量比、体积能量比,而且电压高,自放电小,寿命长,可长时间存放^[1-6]。锂电池可

以实现快速充电,而且对工作环境要求较低,已经越来越多越成为电气电子产品的主要供电电池^[7]。

电动汽车、手机、照相机等使用锂电池的产品续航时间和充电速度要求越来越高。研究锂电池高效、

收稿日期:2016-09-10

基金项目:浙江省公益技术工业研究项目(2015C31121)

作者简介:杨雁勇(1993-),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要从事电力电子与电力传动相关方面的研究。E-mail:yyynmg123@163.com

通信联系人:王正仕,男,博士,副教授,硕士生导师。E-mail:wzs@zju.edu.cn

快速、对电池寿命影响最小的充电方法迫在眉睫。对于每种类型的锂电池,找到一种专用的、科学合理的充电方法对于缩短充电时间,延长锂电池的寿命,降低产品成本具有重要意义。

目前,国内外学者对如何提高锂电池充电速度进行了大量的研究。除了传统的恒流充电、恒压充电、恒流恒压^[8-9]、阶梯变电流等方法以外^[10-12],最近几年新提出的脉冲充电可通过有效解决锂电池充电过程中的极化问题,从而提高充电速度。不同文献采用了各种各样的充电电路。文献[13]中提到一种全桥脉冲充电电路,这种电路需要5个以上开关管,而且还需要设计一个电子负载恒流源,控制、结构复杂。文献[14]使用了双向DC-DC电路,这要求电源具有吸收电能的功能,或者要求输入侧接一个很大的电容以接受电池放电能量,对试验设备条件要求高。而且文献[14]中采用这样的电路,试验结果具有较大的电流超调。文献[15-16]提出了基于数字控制的锂电池充电电路,但是该电路只能进行正电流充电或者搁置,无法实现负脉冲去极化。

基于上述情况,本研究提出一种基于 DSP 芯片数字控制的锂电池快速充电方法研究电路,可用于锂电池的各种充电策略研究。通过改变 DSP 程序,可改变电池的充电策略,对不同充电策略进行测试研究,从而对于各种类型锂电池都可以找到一种合适的快速充电方案。

本研究将介绍该电路的构成,详细分析该电路的工作原理。最后制作样机,给出相应的实验波形,以验证方案的可行性。

1 锂电池快充电路

1.1 电路构成

本研究提出的基于 DSP 控制的锂电池快充电路结构如图1所示。

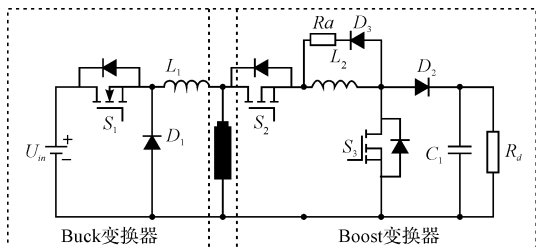


图1 电池快充研究电路结构

电路前级为开关管 S1、电感 L1 以及二极管 D1

构成的 Buck 降压斩波 DC/DC 变换器。后级为由开关管 S2、S3,二极管 D2、电感 L2 以及电容 C1 构成的 Boost 电路,输入是锂离子电池,功率电阻作为负载。二极管 D3 和吸收电阻 Ra 构成电感续流回路。该电路主要用于单体锂电池快速充电的方法研究及单体锂电池快速充电。与其他类似功能的电路相比,该电路可通过改变 DSP 程序实现 CC、CV、CCCV 以及正负脉冲充电(脉冲宽度及高度灵活精确可调)等充电策略,控制方法简单、输出稳定性强,系统成本低。在锂电池充电相关的科研和工业应用中具有一定应用价值。

1.2 原理分析

为了说明电路可以工作在多种模式,可以进行任意充电策略的研究,分析电路工作在正负脉冲以及搁置模式下的工作状态。电池脉冲充电电流波形及开关管 S1、S2、S3 驱动信号时序图如图2所示。

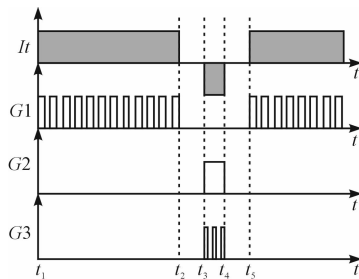


图2 电池脉冲充电电流波形及 S1、S2、S3 驱动信号时序图

电路工作过程可以按照这3个阶段分析如下：

阶段1($t_1 - t_2$)正脉冲充电模式。电路工作等效电路如图3(a)所示。开关管 S1 工作于斩波模式,S2、S3 关断,电路只有 Buck 工作,输入电压经过降压至电池端电压进行充电,控制充电电流,电池的电量上升。通过 DSP 程序设置,电池的充电电流及脉冲宽度精确可调。设开关管 S1 控制信号占空比为 D 。

此时电池的端电压 E 与输入电源的工作电压 U_{in} 关系如下式所示：

$$\frac{E}{U_{in}} = D \quad (1)$$

电池的充电电流 I 与输入电源的电流关系如下式所示：

$$\frac{I}{I_{in}} = \frac{1}{D} \quad (2)$$

阶段2($t_2 - t_3$)搁置模式。电路工作等效电路如图3(b)所示。开关管 S1、S2、S3 均关断,Buck 和 Boost 均不工作,电池的电压在停止充电或放电后进行自然

回弹。

阶段3($t_3 - t_4$) 负脉冲放电模式。电路工作等效电路如图3(c)所示。S1关断,S2一直导通,S3工作于斩波模式,电路只有Boost工作,电池的电压经过Boost升压以后放电至功率电阻,锂电池极化效应减弱。通过DSP程序设置,电池的放电电流及脉冲宽度精确可调。设开关管S3控制信号占空比为 D 。

此时电池的端电压 E 与输出负载两端的电压关系 U_{out} 如下式所示:

$$\frac{E}{U_{out}} = 1 - D \quad (3)$$

电池的充电电流 I 与输出负载上电流 I_{out} 关系如下式所示:

$$\frac{I}{I_{out}} = \frac{1}{1 - D} \quad (4)$$

电路不同阶段的工作等效电路如图3所示。

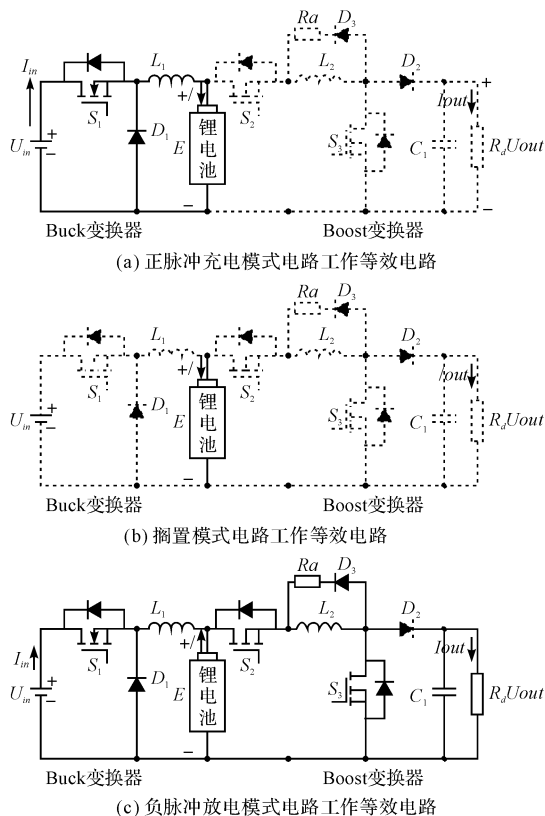


图3 电路不同阶段的工作等效电路

若对电池进行不同策略的充电,只要通过改变DSP的控制程序,对阶段1、2、3进行不同参数的调整及时序组合即可。

2 实验验证

为了进一步验证该电路方案的可行性,本研究设

计了一台锂电池快速充电方案研究样机。

实际硬件电路如图4所示。

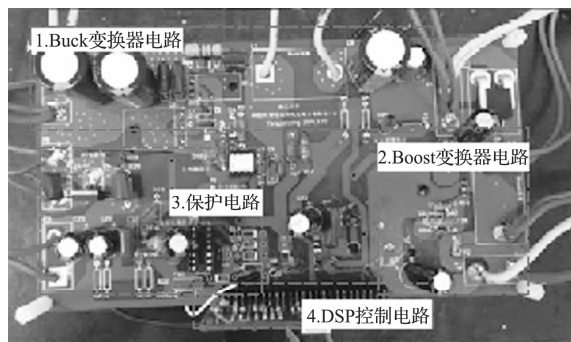


图4 实际硬件电路

该电路输入电压范围为 $6\text{ V} - 30\text{ V}$ 输入。电路开关管的控制TI公司的数字芯片DSP28035完成。通过电阻分压采集电池端的电压和霍尔采集电池充放电电流进行闭环反馈控制。通过软件编写,可以灵活控制充放电电流大小与脉冲宽度。同时DSP通过SCI通信总线与笔记本上位机通信,每隔 0.5 s 将实时采集到的电池电压、电流以及温度数据上传至电脑并将数据绘制成图像。

实验结果中通过对磷酸铁锂电池进行脉冲充电测试,确实发现较常规充电方法,脉冲充电可使充电速度有所提升。与已有的电池快速充电电路相比,该电路具有功能多样,可调节性强,控制电流精度高,控制方法简单,稳定性好,系统成本低等特点。

另外,锂电池的充电上限电压阈值和下限电压阈值都决定了电池的容量和使用寿命^[17]。在磷酸铁锂电池充电实验中,电池的电压截止电压为 3.65 V ,当DSP检测到电池的电压超过 3.65 V 时,电池立马进入恒压充电模式或者停止充电;在放电时,当电池的端电压小于 2.0 V 时,电池立即停止放电。对电池具有防过充、防过放的保护功能。

必须指出的是,在进行二极管和MOSFET选型时,考虑管子的耐压、通流能力以及MOSFET导通电阻和二极管反向恢复特性等因素。具体电路参数为:S1、S2、S3采用STP75N75F4型号MOSFET;二极管D1、D2、D3采用V50100P肖特基二极管。另外,电感 L_1 为 $650\text{ }\mu\text{H}$,电感 L_2 为 $250\text{ }\mu\text{H}$;电容 C_1 为 $470\text{ }\mu\text{F}$ 。

实验使用的主要测试器材包括:

(1)某国产磷酸铁锂锂离子电池,20 AH,3.2 V,额定恒流充电电流 0.2 C ,额定脉冲大电流充电 1 C ,放

电截止电压:2 V,充电截止电压:3.65 V;

(2)1 Ω ,150 W 高精度电阻性功率负载 4 个;

(3)RD10010 直流稳压电源;

(4)QJ-3003S 直流稳压电源。

充电时,电路输入电压为 20 V,经过 Buck 斩波电路降压至电池端电压 3.2 V 左右,其中开关频率为 15 kHz,电池充电电流可通过闭环经过 DSP 精确控制。放电时,电池电压经过 Boost 升压斩波电路升压后接 1 Ω 功率电阻负载。电池放电电流通过 DSP 精确可变可调,开关频率 15 kHz。

经测量,电路工作时稳压稳流精度均可达到小于 5% 的设计指标。电池 SOC 为 10% 左右时的实测波形如图 5 所示。

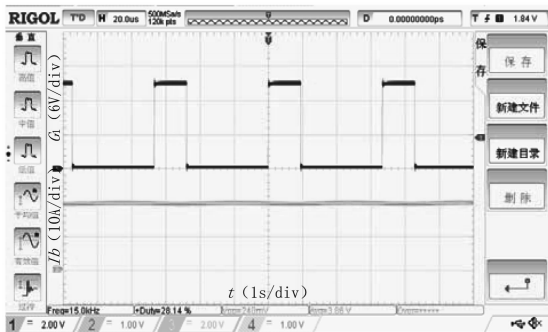


图 5 开关管驱动波形及电池电流实测波形

通道 1 是开关管 S1 的门极驱动信号,通道 2 是电池电流波形。从图中可以看出,充电电路在充电时工作稳定,占空比稳定均匀。从电池电流波形可以看出,电池充电电流稳流精度高,电流纹波很小。

电池电流在较长一段时间进行脉冲充电的实测波形如图 6 所示。

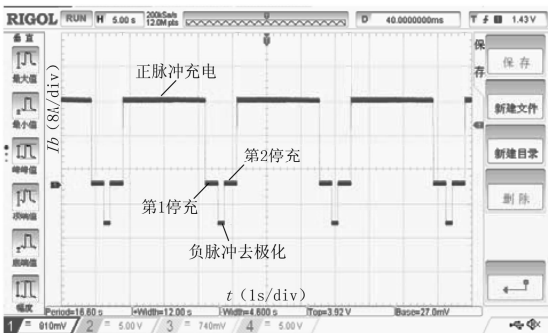


图 6 电池电流在较长一段时间的实测波形

该波形中,电池充电电流持续时间为 2.5 s;第一搁置时间为 0.4 s;去极化放电时间为 0.2 s,放电电流为 10 A;第二搁置时间为 0.4 s。由波形不仅可以看出,电池电流稳流精度高、纹波很小,还可以看出电池

的电流在切换时调整时间短,电流超调小,动态特性良好。

本研究在 Matlab/Simulink 软件中搭建锂电池的快速充电研究电路模型,如图 7 所示。

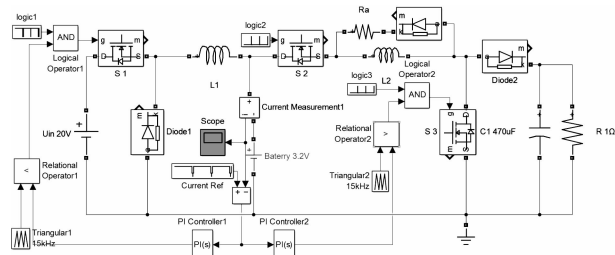


图 7 Matlab/Simulink 快速充电研究电路模型

仿真所取参数尽量模拟实际电路,仿真和实际电路测试的电流超调及动态调整时间等动态性能指标如表 1 所示。

表 1 仿真和实际电路测试的电流动态性能指标

性能测试	动态调整时间	电流超调百分比
搁置→20 A 充电	仿真 13 ms 实测 38 ms	仿真 5% 实测 12%
10 A 放电→搁置	仿真 30 ms 实测 40 ms	仿真 6% 实测 15%
搁置→10 A 放电	仿真 12 ms 实测 21 ms	仿真 0% 实测 6%
20 A 充电→搁置	仿真 46 ms 实测 49 ms	仿真 3% 实测 3%

从仿真和对比的测试结果可以看出,仿真的性能要比实际电路的好,这是因为仿真所有器件均为理想器件。从上面的实验结果分析可以看出,电流在所有状态切换时,动态调整时间不超过 49 ms,最大电流超调不超过 15%,动态特性良好。仿真和实际的测试结果新一步验证了该电路的可行性及良好性能。

4 结束语

本研究列举、对比了几种电池快速充电电路,对其特点进行比较与分析。在此基础上,提出了一种基于 DSP 控制的锂电池快充研究电路,分析了该电路在不同模式下的工作原理以及工作状态。本电路通过数字控制,可实现各种充电策略并对电池电流进行精确控制。

与参考文献中提出的电路相比,本研究提出的基于 DSP 控制的锂电池快充电路的主要特点为:①充放电闭环控制均采用单环控制,易于稳定。电池充放电电流精度高,静态误差小、动态响应快。②电路原理简单,只需改变软件就可以实现不同策略充电,无需改动硬件。可靠性高、可拓展性强。③电路具有温度实时

测量功能,而且外加多重保护功能,锂电池充放电安全可靠。

最后本研究研制了一台电池快速充电方法研究试验样机,实验结果证明了该电路系统原理正确、工作安全可靠且具有良好的控制性能,可用于单体锂电池脉冲电流充放电控制等多种策略下的快速充电研究,为寻找锂电池最佳快速充电方法提高了一种试验电路参考。

参考文献 (References):

- [1] 宋刘斌. 锂离子电池的热化学研究及其电极材料的计算与模拟[D]. 长沙:中南大学机电工程学院,2013.
- [2] 王大为,李东江,李 军,等. 锂离子电池电化学反应模型研究进展浅析[J]. 电化学,2011(4):355-362.
- [3] 李国晓. 电动汽车电池组快速充电研究[J]. 甘肃联合大学学报:自然科学版,2011,25(1):62-65.
- [4] 邓 磊,王立欣,葛腾飞,等. 基于改进 PNGV 模型的动力电池快速充电优化[J]. 电源学报,2014,4(4):10-14.
- [5] 孙 朝. 锂电池组均衡充电与管理系统设计[D]. 重庆:重庆大学电气工程学院,2013.
- [6] 李百华,郭灿彬. 电动汽车锂电池工作特性等效电路比较研究[J]. 机电工程技术,2016,45(12):72-74,126.
- [7] LIU Y H, HSIEH C H, LUO Y F. Search for an optimal five-step charging pattern for Li-Ion batteries using consecutive orthogonal arrays[J]. **IEEE Transactions on Energy Conversion**,2011,26(2):654-661.
- [8] HUANG B G, PAI F S, HUANG S J, et al. Design of a lithium-iron battery charger with the open-circuit voltage function evaluation[C]// Power Electronics and Drive Systems (PEDS), 2011 IEEE Ninth International Conference on, New York: IEEE,2011.

- [9] LIU C L, WANG S C, LIU Y H, et al. An optimum fast charging pattern search for Li-ion batteries using particle swarm optimization[C]// Joint, International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, New York: IEEE, 2012.
- [10] BAI Y S, ZHANG C N. Experiments study on fast charge technology for Lithium-ion electric vehicle batteries[C]// Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2014 IEEE Conference and Expo, New York: IEEE,2014.
- [11] WANG S C, CHEN Y L, LIU Y H, et al. A fast-charging pattern search for li-ion batteries with fuzzy-logic-based Taguchi method[C]// Industrial Electronics and Applications, New York: IEEE,2015.
- [12] LIU Y H, LUO Y F. Search for an optimal rapid-charging pattern for Li-Ion batteries using the taguchi approach[J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2010, 57(12):3963-3971.
- [13] 马进红,王正仕,苏秀蓉. 锂离子动力电池大电流脉冲充电特性研究[J]. 电源学报,2013,11(1):30-33.
- [14] 汤天浩,郑晓龙,范 辉. 基于 Reflex TM 充电策略的锂离子电池充电器设计[J]. 上海海事大学学报,2015,36(1):86-89.
- [15] 胡林权. 基于 LM3S9B92 的锂离子电池充电器的设计与实现[J]. 微型机与应用,2012,31(14):85-87.
- [16] 张洪涛,彭潇丽. 基于 STM32 处理器的锂电池快速充电设计[J]. 湖北工业大学学报,2012,27(2):8-10.
- [17] 苏玉刚,杜伟炯,陈 强,等. 锂离子电池组快速智能充电技术[J]. 重庆工学院学报:自然科学版,2008,22(1):89-93.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

杨雁勇,王腾飞,王慧馨,等. 基于 DSP 控制的锂电池快充电路[J]. 机电工程,2017,34(3):282-286.

YANG Yan-yong, WANG Teng-fei, WANG Hui-xin, et al. Fast charge circuit for lithium battery based on DSP control[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(3):282-286.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>