

# 锂电池化成用双向 DC-DC 变换器设计<sup>\*</sup>

张 斌, 李 宏

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

**摘 要:** 针对锂电池化成过程中采用电阻放电带来的大量能量浪费现象, 设计了一个双向 DC-DC 变换器, 可以实现化成放电能量的高效回收。该变换器以 Buck/Boost 双向 DC-DC 变换器作为主电路拓扑, 主要由 Buck 驱动电路、Boost 驱动电路、电压/电流采样电路等部分构成。介绍了系统的基本结构, 分析了电路的工作原理, 并对方案设计给予了详细说明。实验结果表明, 该变换器可以实现电池充电、放电功能, 控制精度高, 具有良好的稳定性。

**关键词:** 锂电池化成; 双向 DC-DC; 能量回收; 电路拓扑

中图分类号: TM912

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2015)09-0040-03

## Design of bi-directional DC-DC converter for formation of lithium battery

Zhang Bin, Li Hong

(Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** Aiming at the phenomenon of a large number of energy waste brought by resistance discharge in the process of lithium battery formation, a bi-directional DC-DC converter is designed to realize efficient recycling of discharging energy. The converter, which adopts the Buck/Boost bi-directional DC-DC converter as the main circuit topology, is consisted of Buck drive circuit, Boost drive circuit, voltage sampling circuit and current sampling circuit. The system structure is introduced, the working principle is analyzed and the project design is given in detail in this paper. Experimental results show that this converter can realize the charging and discharging function of lithium battery, possessing the advantages of high control precision and good stability.

**Key words:** formation of lithium battery; bi-directional DC-DC; energy recovery; circuit topology

### 0 引言

锂电池作为直流电源和备用电源, 具有供电可靠、电压稳定、体积小、移动方便等优点, 在电力、通信、交通和日常生活等众多领域有着广泛的应用。锂电池化成是锂电池生产过程中必须经过的一道工序, 即每个锂电池从生产到出厂至少要进行三次充电和两次放电过程<sup>[1]</sup>。由于成本和技术因素, 目前国内的锂电池化成设备主要通过充电电源对电池进行充电, 放电时采用并联电阻的方式, 将锂电池内部的能量消耗在电阻上。这种化成方式虽然设备结构简单, 成本低, 但是存在大量能量浪费现象<sup>[2]</sup>。

作为一种新型的电力电子变换器, 双向 DC-DC 变

换器可以在保持变换器两端的直流电压极性不变的情况下, 根据应用需要改变工作电流的方向, 实现能量的双向流动<sup>[3-5]</sup>。由于双向 DC-DC 变换器可实现两个单向变换器的功能, 在实际应用中, 可以减少元器件数目, 降低产品成本, 具有重要的应用价值。

本文给出了一种实现锂电池充放电管理的双向 DC-DC 变换器设计方案。该方案可以对锂电池充放电过程中的电压、电流进行实时监控调节, 同时将放电能量进行回收再利用, 避免了能量浪费, 大大提高了锂电池化成过程中的能量利用效率。

### 1 双向 DC/DC 主电路拓扑及工作原理

双向 DC-DC 变换器采用非隔离型的 Buck/Boost 拓扑结构, 如图 1 所示。 $V_{dc}$  为储能电池组侧母线电压,  $C1$  为母线电容,  $V1$ 、 $V2$  采用 MOSFET,  $D1$ 、 $D2$  为不同工作

<sup>\*</sup> 基金项目: 浙江省大学生创新创业孵化项目(2013R405075); 宁波大学实践基地人才培养模式研究专项项目(JYXMxsj201406)

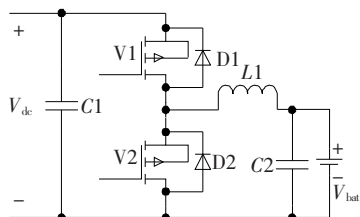


图1 Buck/Boost 双向 DC-DC 变换器拓扑

模式下的续流二极管,  $L1$  为储能电感,  $C2$  为锂电池侧滤波电容,  $V_{bat}$  为锂电池侧端电压。

Buck/Boost 双向 DC-DC 变换器的拓扑。主要有三种工作模式:

(1) Buck 工作模式: 在此模式下, 锂电池充电。开关管  $V2$  保持关断状态, 当开关管  $V1$  导通时, 二极管  $D1$  和  $D2$  承受反向电压关断, 储能电池组向锂电池充电, 同时给电感  $L1$  储能; 当开关管  $V1$  关断时, 电感电流经二极管  $D2$  构成续流回路, 对锂电池充电, 电容  $C2$  用来维持锂电池端电压的稳定并进行滤波。

(2) Boost 工作模式: 在此模式下, 锂电池放电。开关管  $V1$  保持关断状态, 当开关管  $V2$  导通时, 锂电池给电感  $L1$  充电储能; 当开关管  $V2$  关断时, 锂电池和电感  $L1$  同时给储能电池组充电, 电容  $C1$  用来维持储能电池组端电压的稳定并进行滤波。

(3) 关机模式: 在此模式下, 开关管  $V1$  和  $V2$  保持关断状态, 双向 DC-DC 变换器停止工作, 锂电池停止充放电。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 Buck 驱动电路设计

双向 DC-DC 变换器中工作在 Buck 模式下的开关管  $V1$  选用 P 沟道 MOSFET IRF5210, 并采用 PWM 集成控制器 TL5001 进行驱动电路设计, 如图2所示。  $U_{Cl}$ 、 $U_{bat}$  分别为控制器输出的控制电压和锂电池端电压, 经过运放 OP07 构成的减法电路, 并由  $R8$  与  $R9$  分压后供给 TL5001 的 FB 端 (内部误差放大器的反相端)。由于内部误差放大器的同相端输入为 1 V 的参考电压, 当系统运行稳定时, 内部误差放大器的净输入为 0, 则有:

$$\frac{R8}{R8+R9} \left[ \frac{R14(R11+R12)}{R12(R13+R14)} U_{bat} - \frac{R11}{R12} U_{Cl} \right] = 1 \quad (1)$$

将相关参数带入式(1), 得到锂电池端电压与控制电压的关系式为:

$$U_{bat} = U_{Cl} + 2 \quad (2)$$

图2中, SCP 为短路保护端, 当该端口电压高于 1 V 时, TL5001 将禁止 PWM 输出。因此设计了一个三极管开关电路, 用来控制 SCP 的端口电压, 从而控制驱动信号的输出与禁止。  $R2$  用来设置芯片内部振荡频率,  $C4$ 、 $C5$ 、 $R7$  构成闭环补偿网络, TL5001 为集电极开路输出, 因此输出需接上拉电阻  $R6$ 。

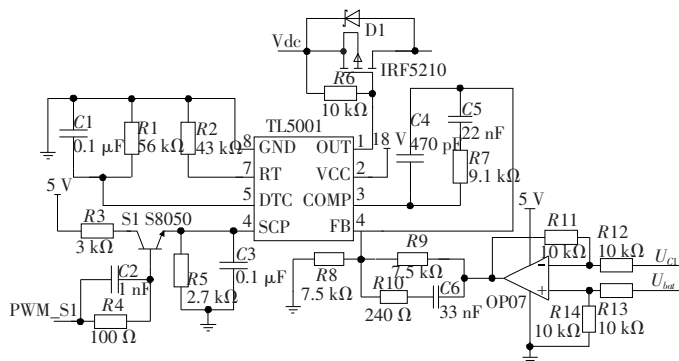


图2 Buck 驱动电路

### 2.2 Boost 驱动电路设计

双向 DC-DC 变换器中工作在 Boost 模式下的开关管  $V2$  选用 N 沟道 MOSFET IRF3710, 并采用 PWM 集成控制器 UC3842 进行驱动电路设计, 如图3所示。  $U_{C2}$ 、 $U_d$  分别为控制器输出的控制电压和储能电池组端电压 1/3 分压值, 经过运放 OP07 构成的减法电路, 供给 UC3842 的  $V_{fb}$  端 (内部误差放大器的反相端), 由于内部误差放大器的同相端输入为 2.5 V 的参考电压, 当系统运行稳定时, 内部误差放大器的净输入为 0, 则有:

$$\frac{R4(R1+R2)}{R1(R3+R4)} U_d - \frac{R2}{R1} U_{C2} = 2.5 \quad (3)$$

将相关参数带入式(3), 得到储能电池组端电压与控制电压的关系为:

$$U_d = 3U_{C2} = 3(U_{C2} + 2.5) = 3U_{C2} + 7.5 \quad (4)$$

当 UC3842 的  $I_{se}$  端电压高于 1 V 时, 将禁止 PWM 输出, 因此可以设计一个外部控制电路, 通过控制  $I_{se}$  端的电压来控制驱动信号的输出与禁止。

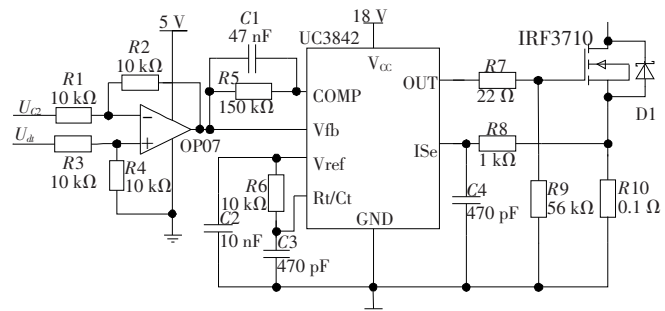


图3 Boost 驱动电路

### 2.3 采样电路设计

要实现对锂电池充放电过程进行准确检测及控制, 需要对锂电池的端电压及充放电电流进行 A/D 采样, 具体采样电路如图4所示。

锂电池在进行充电和放电时, 其电流的传输方向是反向

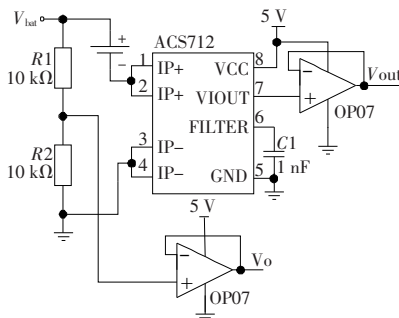


图4 采样电路

的,如果采用串联采样电阻进行电流采样,其两端的取样电压在锂电池不同的工作模式下有正负变化,这将给 A/D 转换带来不便。为了能够精确检测锂电池的工作电流,本设计采用线性电流传感器 ACS712,该器件能够输出与检测的交流或直流电流成比例的电压,具有低噪声、响应快、灵敏度高等优点<sup>[6]</sup>。将 ACS712 与锂电池串联,输出电压经过电压跟随电路送入控制器进行 A/D 转换处理。ACS712 检测电流与输出电压关系为:

$$V_{OUT}=0.185I_P+2.5 \quad (5)$$

锂电池在充放电过程中最大电流设定为 1 A,即  $I_P$  范围为  $-1\sim+1$  A,对应输出电压为 2.315~2.685 V,满足控制器 A/D 转换要求。

锂电池在充放电过程中,其充电限制电压为 4.2 V,过放终止电压为 3 V,则锂电池的端电压  $V_{bat}$  范围为 3~4.2 V,本系统中控制器 A/D 转换的参考电压为 3.3 V,因此通过两个等值电阻进行分压,并经过一级运放电压跟随后送入 A/D 进行转换,此时转换电压范围为 1.5~2.1 V,满足要求。

## 3 系统软件设计

锂电池化成过程分为锂电池充电和放电两个部分<sup>[7]</sup>。锂电池充电,即 Buck 模式下,包括两个阶段:(1)恒流限压充电,检测电池电压,当电池电压达到充电限制电压时,就进入恒压限流充电;(2)恒压限流充电,检测电池电流,当电池电流降低到规定值后,电池电量充满,自动停机。锂电池放电,即 Boost 模式下,采用恒流放电,当达到放电终止电压时,停止放电,自动停机。根据上述过程,具体的程序设计流程图如图 5 所示。

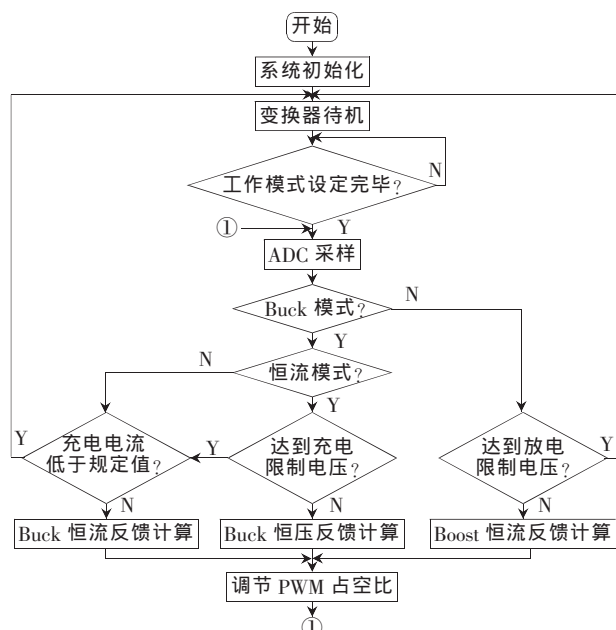


图 5 软件设计流程图

系统上电初始化完成之后,变换器默认处于待机状态,当检测到锂电池充电或放电模式设置完毕后,将根据采样电压、电流值判断系统当前所处的工作阶段,及

时进行反馈计算并调整驱动信号的输出。如果电压、电流值达到充电或放电的结束条件,变换器将进入待机状态。

## 4 系统测试

本系统中,储能电池组电压为 15 V,储能电感  $L$  为 260  $\mu$ H,输出滤波电容为 3 300  $\mu$ F,锂电池端测试电压范围为 2.7~4.2 V,测试电流为 0.1~1 A。

在锂电池充放电过程中,通过检测多组电压、电流数据,可以判断该系统实际运行状况是否与设计要求的充放电过程相吻合,得到的数据如表 1、表 2 所示。测试中使用的仪器为 GDM-8055。

由表 1、表 2 可以看出,双向 DC-DC 变换器在工作时,检测到的电压相对误差小于 0.5%,电流相对误差为绝对值小于 5%,满足设计要求。

表 2 电流检测数据

设定 电流/mA	输出 电流/mA	相对 误差/%
100.0	96.23	-3.77
200.0	196.8	-1.60
300.0	305.5	1.83
400.0	406.8	1.70
500.0	510.2	2.04
600.0	608.5	1.42
700.0	689.3	-1.53
800.0	809.5	1.18
900.0	910.4	1.15
1 000.0	993.2	-0.68

表 1 电压检测数据

设定 电压/V	输出 电压/V	相对 误差/%
2.700	2.706	0.22
3.000	3.008	0.27
3.200	3.207	0.22
3.400	3.411	0.32
3.600	3.612	0.33
3.800	3.814	0.37
4.000	4.011	0.28
4.200	4.209	0.21

双向 DC-DC 变换器是锂电池充放电管理的重要部分。针对锂电池化成设备的发展现状,本文提出了一种基于锂电池化成的双向 DC-DC 变换器的设计,通过储能电池组对锂电池进行充电,并对锂电池放电能量进行存储再利用。系统以 Buck/Boost 双向 DC-DC 变换器作为主电路拓扑,主要由 Buck 驱动电路、Boost 驱动电路、电压/电流采样电路构成。系统可以根据锂电池充电和放电工作模式的选择,实现能量的双向流动。实验测试表明,该变换器的原理正确,工作可靠,输出稳压、稳流精度高,具有良好的控制性能,可用于需对单体锂电池进行充放电管理的化成设备中,具有良好的应用前景。

## 参考文献

- [1] 张雪圆. 用于电池化成设备的双向 DC-DC 变换器的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [2] 王术, 郝晓田, 游林儒. 锂动力电池化成能量回馈控制系统的研究[J]. 电源技术, 2011, 4(35): 393-395.
- [3] CORRADINI L, SELTZER D, BLOOMQUIST D, et al. Zero voltage switching technique for bi-directional DC/DC converters[C]. ECCE, 2011: 2215-2222.
- [4] 童亦斌, 吴峰, 金新民, 等. 双向 DC-DC 变换器的拓扑研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 13(27): 81-86.
- [5] 张方华, 朱成花, 严仰光. 双向 DC-DC 变换器的控制模

(下转第 53 页)

其次,将目标色块转化为 YUV 格式,如图 3,建立分量直方图,如图 4~6 所示,观测  $U$  分量灰度直方图没有明显的峰值变化,不适合做二值化阈值分割; $V$  分量是亮度分量,阈值受外界光照条件影响浮动较大;故对  $V$  分量求最佳分割阈值。



图 3 球 YUV 图

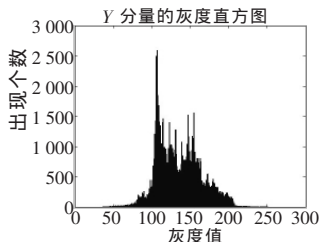


图 4 Y 分量直方图

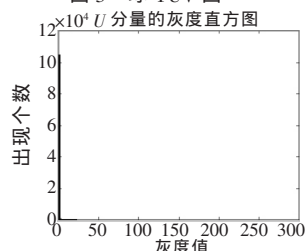


图 5 U 分量直方图

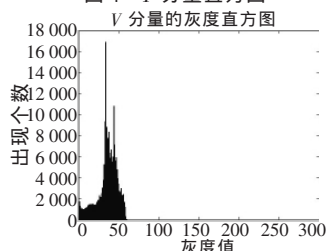


图 6 V 分量直方图

最后,综合不同光照不同角度下采集的离线样本,确定直方图中  $V$  分量的范围是  $[0, 64]$ ,除以 255 转化为 double 类型,即  $V \in [0, 0.270 6]$ ,用公式 (2)~(10) 计算出所有样本的阈值分割范围  $T \in [0.078 8, 0.107 0]$ 。

为验证该算法的分割效果,在线采集两幅  $640 \times 480$  像素的 RGB 图像,转为 YUV 格式,当遍历  $V$  分量像素点灰度值介于  $[0.078 8, 0.107 0]$  之间时,将该点选为生长点,并按照四邻域法进行区域分割,二值化以后识别出圆形区并计算出中心点坐标分别为  $(302, 315)$  和  $(393, 463)$ ,如图 7 所示。

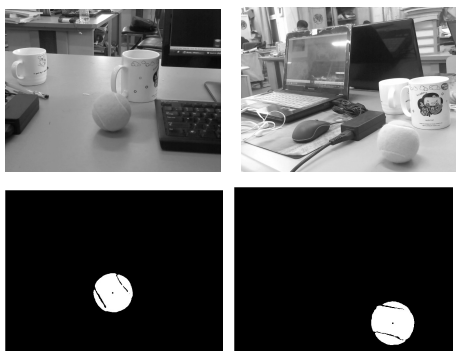


图 7 原图和二值化分割图

## 4 结论

实验表明,与传统类人足球机器人视觉子系统所采用的单一图像处理算法相比,本设计所采用的混合分割算法可以准确地分割和识别出二值化以后的目标色块,并具备以下优点:(1) 最大类间方差法确定生长点以后,采用四邻域算法分割图像避免了遍历所有像素,提高了分割速度;(2) 根据特征快速识别目标,排除相近色块的干扰,保证了分割结果的准确和完整;(3) 定位出中心点坐标,并将该坐标值通过串口通信发送给舵机控制器,控制机器人头部舵机对坐标点的准确实时追踪。

## 参考文献

- [1] 周冬波,邓记才.具有颜色识别功能的类人机器人设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2013(4):3-6.
- [2] CHANG S H, HSIA C H. Self-Localization based on monocular vision for humanoid robot [J]. Tamkang Journal of Science and Engineering, 2011(14):323-332.
- [3] 李海鹏.基于 ARM 的类人足球机器人视觉研究 [D].秦皇岛:燕山大学,2013.
- [4] 龚树锋,魏武.基于 S3C2440 的嵌入式单目视觉系统设计[J].信息技术,2009(10):77-79,84.
- [5] 朱小远,谢龙汉.Linux 嵌入式系统开发[M].北京:电子工业出版社,2012.
- [6] 陈旭娟.机器人图像处理方法研究[J].现代商贸工业,2013(8):197-198.
- [7] 李晓瑜,杨马英.足球机器人视觉图像分割算法[J].吉林大学学报(工学版),2013,43(S1):260-264.
- [8] 王峥,孙增圻.基于 RoboCup 双足类机器人的颜色目标识别算法 [J]. 济南大学学报(自然科学版),2007(21):18-22.
- [9] 张铮,徐超,任淑霞,等.数字图像处理与机器视觉[M].北京:人民邮电出版社,2014.
- [10] 胡丽花.基于视觉的类人足球机器人目标定位算法设计[D].杭州:浙江理工大学,2011.

(收稿日期:2015-01-05)

## 作者简介:

席文平(1989-),通信作者,男,在读研究生,主要研究方向:机器视觉、图像处理。E-mail:wenping19890524@163.com。

张健(1963-),男,教授,硕士生导师,主要研究方向:智能检测技术与控制系统等领域。

(上接第 42 页)

- 型[J].中国电机工程学报,2005,11(25):46-49.
- [6] 董建怀.电流传感器 ACS712 的原理与应用[J].中国科技信息,2010(5):92-93.
- [7] 冯晶晶,肖华锋,谢少军.大功率锂电池的充放电管理器控制技术研究[J].信息化研究,2009,12(35):14-17.

(收稿日期:2014-11-13)

## 作者简介:

张斌(1989-),男,硕士研究生,主要研究方向:电力电子、嵌入式系统设计。

李宏(1960-),男,副教授,主要研究方向:数字系统设计、半导体器件设计、嵌入式系统设计、现代数字信号处理。