

A Design of Double-Output Uninterrupted DC Power Supply^{*}

CHENG Hongli^{1*}, ZHANG Leilei¹, JIA Longfei²

(1. College of Communication, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Xi'an Xing Hui Electric Power Technology Co. LTD, Xi'an 710116, China)

Abstract: In view of the demand of uninterrupted power supply, a new DC power supply with two outputs of 4.2 V and 12 V is designed. It is mainly composed of multiple output forward-flyback converter, Buck charging circuit, single loop stabilized voltage control circuit and lithium battery discharge switching circuit. The specific implementation method is that three roads output are realized by forward-flyback through the UC3845 chip control when the main power supply is on. And two of them respectively is 4.2 V and 12 V voltage output, one output is controlled by the ARM to the lithium battery charging in stages. When the main power is off, the lithium battery discharge through ARM intelligent control relay switch, and using the same transformer again through the voltage output flyback mode to realize two roads output. The PID algorithm is adopted by ARM controller to realize the stability of the output of the main road. The simulation and experimental verification have been completed. The results show the correctness of the circuit design and control methods, and the technical indexes of uninterrupted dual circuit DC power supply are realized.

Key words: forward-flyback converter; uninterrupted power supply; multiplexed output; ARM; PID control
EEACC: 1210 doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2019.03.022

一种双路输出不间断直流电源的设计^{*}

程红丽^{1*}, 张雷雷¹, 贾龙飞²

(1. 西安科技大学通信与信息工程学院, 西安 710054; 2. 西安兴汇电力科技有限公司, 西安 710116)

摘 要: 针对不间断中小功率电源的需求, 设计了两路输出分别是 4.2 V 和 12 V 的不间断直流电源。主要由多路输出正-反激变换器、Buck 充电电路、单环稳压控制电路及锂电池放电切换电路组成。具体实现方法是, 市电正常供电时, 通过 UC3845 芯片控制正-反激变换器实现三路电压输出, 其中两路分别是 4.2 V 和 12 V 的稳压输出, 另一路输出由 ARM 控制给锂电池分阶段充电。在市电断电时, 通过 ARM 智能控制继电器使锂电池切换到放电状态, 利用同一个变压器再次通过反激变换器方式实现两路稳压输出, 并且由 ARM 控制器采用 PID 算法实现主路输出的稳定。完成相应的仿真和实验验证, 结果表明了电路设计和控制方法的正确性, 实现了不间断双路输出直流电源各项技术指标。

关键词: 正-反激变换器; 不间断供电; 多路输出; ARM; PID 控制

中图分类号: TN86

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2019)03-0652-05

目前市场上的开关电源实现的多路负载的不间断供电的产品较少, 基本上实现不间断供电的是线性电源, 但体积大、效率低, 其电路运行过程中所用的器件较多^[1-2], 特别是在多路负载的不间断供电问题上, 其供电都是独立的, 实现起来复杂、成本高。

针对中小功率场合多路负载供电连续的问题, 设计了一种带有锂电池充放电系统的多路输出直流电源的装置, 该装置能够在市电供电断电时自动切换到锂电池的供电系统实现系统的不间断供

电^[3-4]。系统正常供电情况下, 包括两路反激直流输出电压, 分别是辅路输出(4.2±0.8)V/2 A 和主路输出 12 V/1 A, 还有一路正激输出实现锂电池充电及电池管理。

1 系统组成及电路设计

1.1 系统组成

系统组成如图 1 所示, 系统的主要组成有: EMI 滤波整流、多路输出正-反激变换器、两路稳压输

项目来源: 国家自然科学基金项目(51277149)

收稿日期: 2018-05-22 修改日期: 2018-07-09

出、输出稳压反馈控制、锂电池充电电路、ARM 控制器、锂电池切换控制、锂电池放电电路等模块。系统的设计中,采用了多路输出正-反激变换器,在提高电源的效率的同时^[5],可以在控制过程中实现电路结构的切换^[6-7]。市电供电时 ARM 控制 Buck 充电电路分阶段给予锂电池充电至 4.2 V,由芯片 UC3845 控制主路稳压输出^[8];市电断电时,ARM 控制自动切换到锂电池放电电路,并且通过 PID 算法控制主路稳定输出。

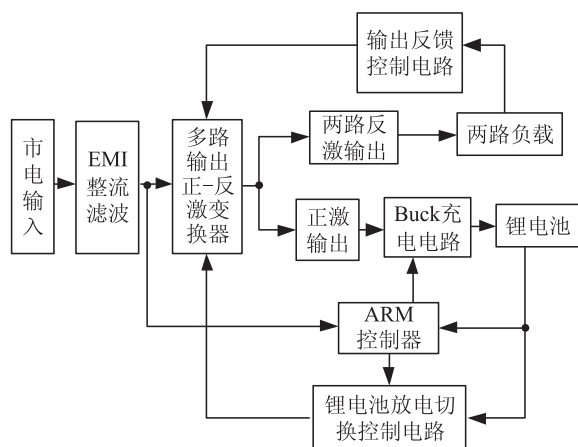


图1 不间断电源的系统组成

1.2 硬件电路设计

系统电源的主要设计包括多路输出正-反激变换器、Buck 充电电路、锂电池的切换控制电路及控制策略的设计。

1.2.1 单环隔离控制设计

市电供电时,多路输出采用单路闭环控制策略,对输出 V_{O2} 进行分压隔离采样的电路,隔离采样中运用 TL431 和光耦隔离器件组合成反馈回路,如图 2 所示。

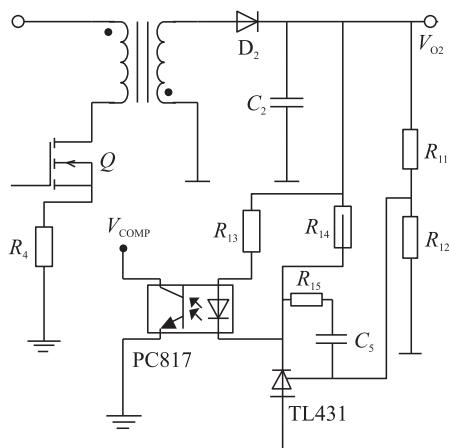


图2 光耦隔离采样电路

主电路由 UC3845 芯片的驱动控制,实现主电路稳压输出,电路如图 3 所示。

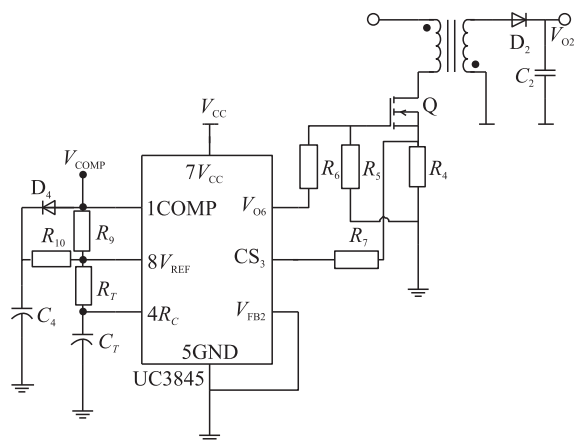


图3 UC3845 单环控制电路

1.2.2 锂电池的 Buck 充电电路设计

在一路正激直流电源的输出端串接 Buck 变换器,实现锂电池的分阶段充电。参数设计中,正激输出电压约为 8.4 V 作为 Buck 变换器的输入,并且由 ARM 控制器实现电池充电管理,如图 4 所示。

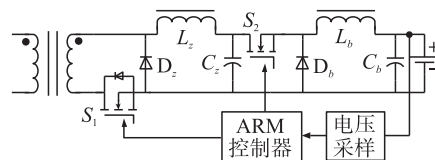


图4 正激输出 Buck 充电电路

Buck 变换器的临界电感 L_b 为式(1)所示:

$$L_b = \frac{(V_i - V_o) R_L d}{2V_o f} = \frac{(1-d) R_L}{2f} \quad (1)$$

V_i 为输入电压, V_o 为输出电压, R_L 为负载电阻, f 为开关频率, d 为开关驱动脉冲占空比。

最大值 $L_{b,max}$ 必有如式(2)所示:

$$L_{b,max} \leq \frac{R_L}{2f} \quad (2)$$

假设负载电阻的变化范围为 $[R_{L,min}, R_{L,max}]$, 则在整个动态范围内,当 $R_L = R_{L,max}$ 时, $L_{b,max}$ 取得极大值,其极大值 $\max\{L_{b,max}\}$ 为式(3)所示:

$$\max\{L_{b,max}\} \leq \frac{R_{L,max}}{2f} \quad (3)$$

要使 Buck 变换器一直工作在连续导电模式 CCM(Continuous Conduction Mode), 如式(4)所示, 必有:

$$L_b \geq \frac{R_{L,max}}{2f} \quad (4)$$

由以上公式得到,并且为了得到更好的输出特性,在输出端 C_b 加 35 V/220 μ F 的电解电容和 105 μ F 的独石电容,以滤除低频纹波,电感 L_b 选取

22 μH 。正激输出的电感电容和 Buck 变换器的设计一样, L_z 选取 10 μH , C_z 将选取 4.7 $\mu\text{F}/35\text{ V}$ 。

1.2.3 锂电池放电切换控制电路

实现锂电池的充放电回路切换时,由 ARM 控制继电器开关的常开和常闭来实现, X 为切换触发信号,如图 5 所示。

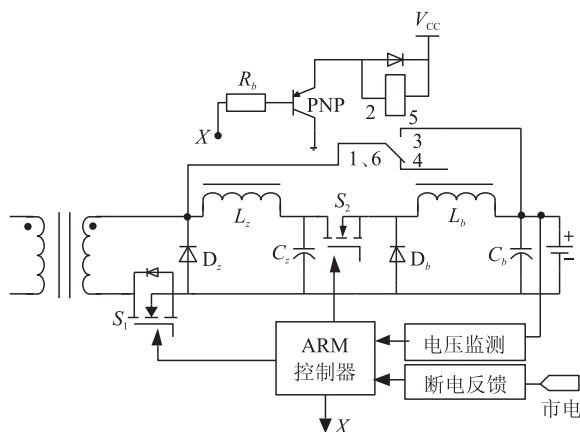


图 5 锂电池放电切换电路

断电反馈电路是通过采样市电输入电压来确定是否断电。若在设定的 n 个周期内输入电压低于某个门限值,判定市电断开。由 ARM 控制器输出切换信号 X 驱动继电器,来完成充放电切换,形成锂电池放电回路,由锂电池作为输入电压使系统的两路反激变换器维持正常工作,输出两路直流稳定电压。由 ARM 控制器采用 PID 算法进行主路稳压控制,如图 6 所示。

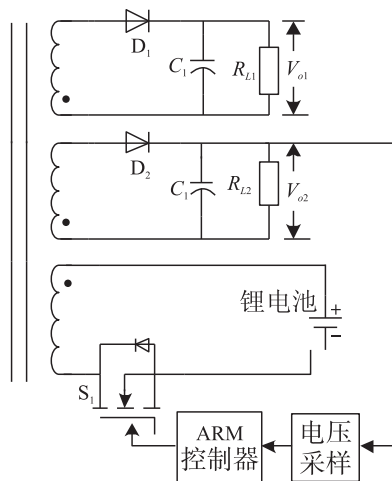


图 6 锂电池供电稳压电路

2 控制策略设计

整个系统在工作过程中,ARM 控制器在市电供电时,实现锂电池分阶段充电模式;市电断电时,采用 PID 控制策略实现输出稳压控制,其工作流程图如图 7 所示。

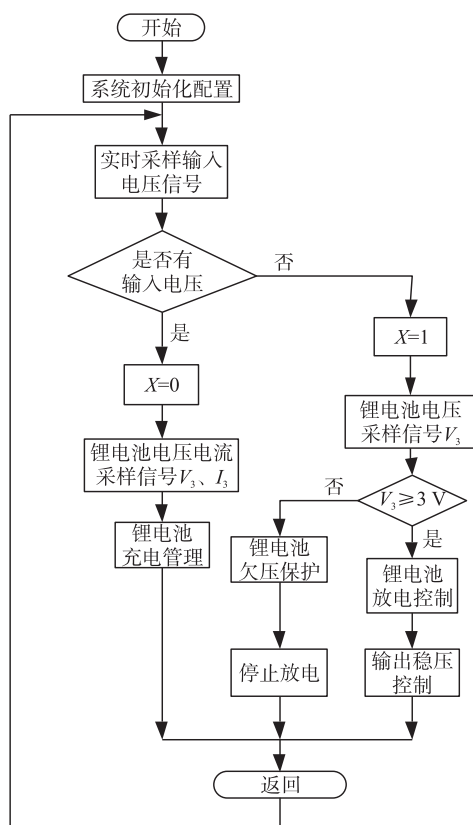


图 7 ARM 工作流程图

在锂电池供电时, PWM 控制策略采用增量式 PID 控制算法, e_n 、 e_{n-1} 、 e_{n-2} 分是第 n 、 $n-1$ 、 $n-2$ 次采样周期内所获得的误差信号; ΔD 是占空比的增量。获取前三次采样周期内的误差信号 e_n 、 e_{n-1} 、 e_{n-2} 可算出本次采样周期内的控制变量占空比 $D1$ 的增量 ΔD , 从而输出一个 PWM 波^[9], 其流程图如 8 所示。

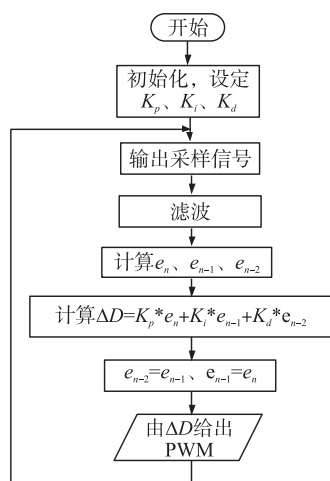


图 8 PID 控制流程图

3 系统仿真与实验验证

3.1 系统仿真

在仿真软件 MATLAB/Simulink 环境下对系统设计进行了仿真实验,输入交流电压设定为 50 Hz、220 V,

开关频率 100 kHz,变压器参数:原边电感 1.70 mH、匝比 39:2:5:2,主辅路负载分别为 12 Ω 和 2.1 Ω ,其他元器件参数均是计算的参数值。仿真结果如图 9 所示, $X=0$ 表示市电供电, $X=1$ 表示锂电池供电,可以看出由市电切换到锂电池供电主路输出的电压值约为 12.0 V,辅路输出电压为 4.43 V 和 4.21 V。

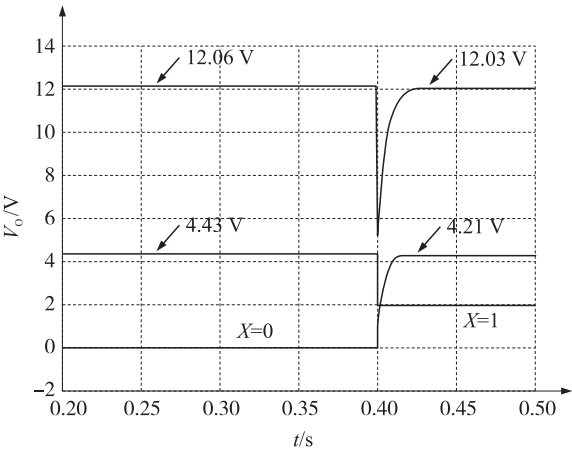


图 9 供电切换输出波形

3.2 实验验证

实验中主路负载为 $R_{L2}=12\ \Omega$,辅路负载为 $R_{L1}=2.1\ \Omega$,分别测试市电和锂电池供电的输出电压。

市电输入交流 50 Hz、224 V,如图 10 所示,输出电压分别为 4.5 V 和 11.98 V,测得的电压值符合设计的目标值。

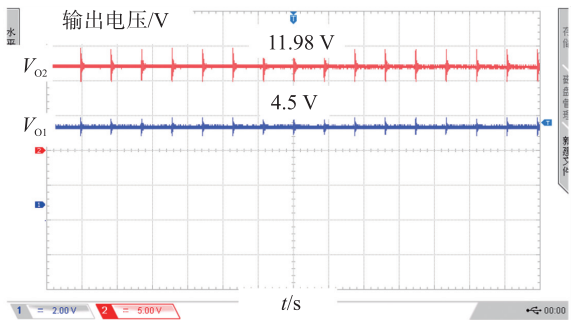


图 10 市电供电时输出波形

关闭交流输入电源,由锂电池供电时,实际测得的输出波形如图 11 所示,电压输出分别为 4.26 V

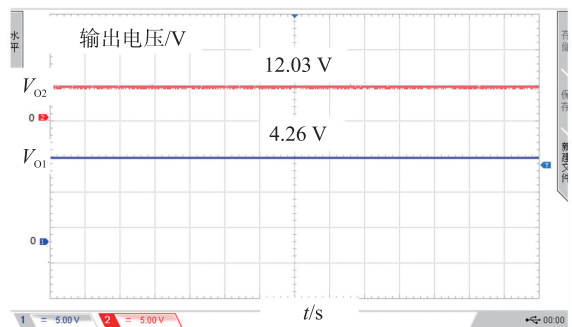


图 11 锂电池供电输出波形

和 12.03 V,测得的电压值符合设计的目标值。

在市电输入为 220 V 的交流电情况下,分别测出 $R_{L1}=2.8\ \Omega$ 时 R_{L2} 改变和 $R_{L2}=15\ \Omega$ 时 R_{L1} 改变下两路输出电压值及对应的输出电流值,如表 1 所示。

表 1 市电供电时不同负载下两路输出的电压值

V_{O1} 带载 R_{L1}/Ω	V_{O2} 带载 R_{L2}/Ω	V_{O1} 输出 电流/A	V_{O2} 输出 电流/A	V_{O1} 输出 电压/V	V_{O2} 输出 电压/V
2.8	12	1.58	1.00	4.42	11.98
2.8	15	1.56	0.80	4.36	12.04
2.8	24	1.54	0.50	4.32	12.02
2.1	15	1.58	1.00	4.46	12.04
3.0	15	1.56	0.80	4.30	12.02
4.2	15	1.02	0.50	4.26	12.06

由表 1 可以得到,在负载 $R_{L1}=2.8\ \Omega$ 负载 R_{L2} 改变时, V_{O1} 的交叉调整率为 2.38%, V_{O2} 的负载调整率为 0.50%;在负载 $R_{L2}=15\ \Omega$ 负载 R_{L1} 改变时, V_{O1} 的负载调整率为 6.19%, V_{O2} 的交叉调整率为 0.33%。

在市电断电时,由 4.2 V 锂电池供电测得不同负载下两路输出电压值,以及对应的输出电流值,如表 2 所示。

表 2 锂电池供电时不同负载下两路输出电压值

V_{O1} 带载 R_{L1}/Ω	V_{O2} 带载 R_{L2}/Ω	V_{O1} 输出 电流/A	V_{O2} 输出 电流/A	V_{O1} 输出 电压/V	V_{O2} 输出 电压/V
2.8	12	2.11	1.00	4.44	11.94
2.8	15	2.07	0.80	4.34	12.02
2.8	24	2.06	0.50	4.26	12.08
2.1	15	1.04	1.00	4.37	12.03
3.0	15	1.02	0.80	4.30	11.98
4.2	15	0.51	0.50	4.18	12.02

在负载 $R_{L1}=2.8\ \Omega$ 负载 R_{L2} 改变时, V_{O1} 的交叉调整率为 4.22%, V_{O2} 的负载调整率为 0.67%;在负载 $R_{L2}=15\ \Omega$ 负载 R_{L1} 改变时, V_{O1} 的负载调整率为 4.05%, V_{O2} 的交叉调整率为 0.42%。

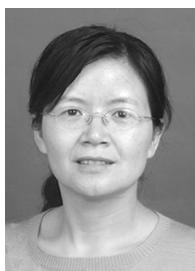
从测得的数据可以看出,电源系统能够在市电切换到锂电池供电时两路稳定输出,并实现两路负载连续供电的需求,与预期目标设计相符。

4 结语

所设计的不间断直流开关电源在双路输出反激变换器基础上引入了一路正激输出,利用 Buck 变换器通过 ARM 控制器对锂电池充放电都进行了管理和控制。使得系统可以在交流电压失电的情况下持续输出直流稳压电压,根据持续供电时间要求选择锂电池容量,满足了中小功率场合不间断供电的需求。

参考文献:

- [1] 吕天文. 中国线性与开关电源的现状与发展趋势分析[J]. 电源世界, 2011, 12: 8-9.
- [2] 石磊. UPS 电源技术及发展[J]. 电气开关, 2009, 1: 8-12.
- [3] Xu Pengcheng, Han Zhigang. One Flyback off Line AC/DC Switching Power Supply Design[C]//2014 IEEE 9th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Hangzhou, 2014: 1276-1280.
- [4] 曹洪奎, 王江平, 席乐乐. 带电池管理系统的矿用不间断电源[J]. 电子技术应用, 2015, 41(9): 122-124.
- [5] 陈城, 黄辉, 王金宝, 等. 多路输出单端反激电源的设计[J]. 通信电源技术, 2014, 31(1): 1-4.
- [6] 何林, 曾怡达, 朱仁伟, 等. 一种新型正-反激变换器的研究[J]. 电源学报, 2015, 1(13): 87-90.
- [7] 杨艺云. 基于磷酸铁锂电池的智能化储能式应急电源设计与应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017: 38-41.
- [8] 龚建芳. UC3845 在反激式开关电源中的应用[J]. 电源技术应用, 2010, 12(13): 25-28.
- [9] 周波, 祝忠明, 刘勇, 等. 基于 PID 算法的高精度数字化电源设计[J]. 电子产品世界, 2012, 3: 51-54.



程红丽(1966-), 女, 汉族, 浙江临安人, 西安科技大学通信与信息工程学院, 教授, 主要研究方向为电路与系统与微电子技术, chhl@xust.edu.cn;



张雷雷(1990-), 男, 汉族, 安徽省阜阳市人, 研究生, 主要研究方向为电路与系统;



贾龙飞(1988-), 男, 汉族, 陕西扶风人, 工程师, 主要研究方向为嵌入式系统开发与应用。