

井下锂电池应急后备电源的研制

李孝揆

(中煤科工集团重庆研究院, 重庆 400700)

摘要: 研制了高性能、高可靠性的井下大容量锂电池应急后备电源。设计了该电源中的隔离稳压电路、本安处理电路、恒流/恒压充电电路和电池管理系统。实验样机的实验结果表明, 井下大容量应急后备电源能够满足用电设备的供电要求。

关键词: 应急后备电源; 稳压电路; 本安; 恒流/恒压; 电池管理

中图分类号: TM912

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2014)01-0018-04

Design of underground lithium emergency backup power supply

Li Xiaokui

(Chongqing Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp, Chongqing 400700, China)

Abstract: In this paper, underground lithium emergency back-up power with high performance, high reliability and high capacity is designed. The voltage regulator circuit, intrinsically safe processing circuit, constant current/constant voltage charging circuit, and battery management of the power supply system are designed. The experimental prototype results show that the large-capacity underground emergency back-up power supply can meet the requirements of electrical equipment.

Key words: emergency back-up power; regulator circuit; intrinsically safe; constant current/constant voltage; battery management

近几年来, 国家加大力度推进煤矿井下紧急避险系统(避难硐室和救生舱)的建设, 使得对与之配套的安全、可靠的应急电源的需求越来越迫切。因此, 具有高安全性、寿命长、无记忆效应的大容量环保等优点的磷酸铁锂电池成为了该井下应急后备电源的首选。本文依托国内某紧急避险系统的建设要求, 设计了井下锂电池应急后备电源, 用于满足避险系统紧急启用时, 配套电气设备的长时间正常工作。通过工程样机实践表明, 该应急后备电源能够在避险系统的市电供应断电时, 保证系统中的用电设备安全、可靠地运行, 达到了预期目标。

1 井下锂电池应急后备电源的工作原理

本文所研制的井下锂电池应急后备电源的工作原理框图如图1所示。其中, 传感器为本安12V供电, 防爆风机为非本安12V供电, 大容量磷酸铁锂电池组由8节锂电池串联构成, 每一节电池的容量为60Ah, 微处理器为整个电源系统的控制核心。当市电正常供电时, 隔离稳压电路及锂电池组的恒流/恒压充电电路的输入均为市电经AC-DC变换后获得。在锂电池组的充电过

程中, 电池管理系统控制锂电池组的均衡, 同时, 微处理器通过温度采集电路实时监测锂电池组的温度。当市电断电时, 作为应急后备电源的锂电池组, 通过放电电路向隔离稳压电路的提供直流输入电源。

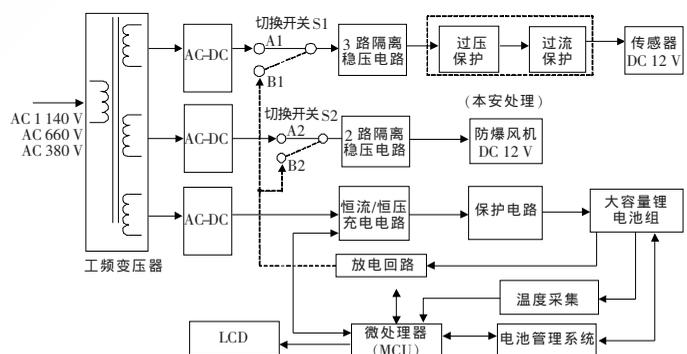


图1 井下锂电池应急后备电源工作原理框图

2 井下锂电池应急后备电源的设计

2.1 隔离稳压电路设计

在市电供电时, 5路隔离稳压电路的直流输入电压均为 $U_{in}=48V$, 当切换开关 S_1 、 S_2 切换到锂电池组供电

时,稳压电路的直流输入电压 U_{i1} 在 $20\text{V}\sim 29.2\text{V}$ 之间。由于本安和非本安的输出电压均为 $U_{o1}=12\text{V}$, 本安输出电流 $I_{o1}=0.45\text{A}$, 非本安输出电流为 2A , 且要求 5 路输出与输入隔离。因此, 本文设计了采用 UC3842 作为主控芯片的反激式隔离开关稳压电路^[1-2], 该电路的工作原理框图及电路分别如图 2、图 3 所示。

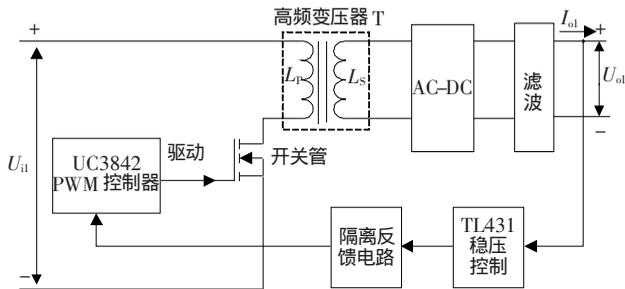


图 2 基于 UC3842 的反激式开关稳压电路工作原理框图

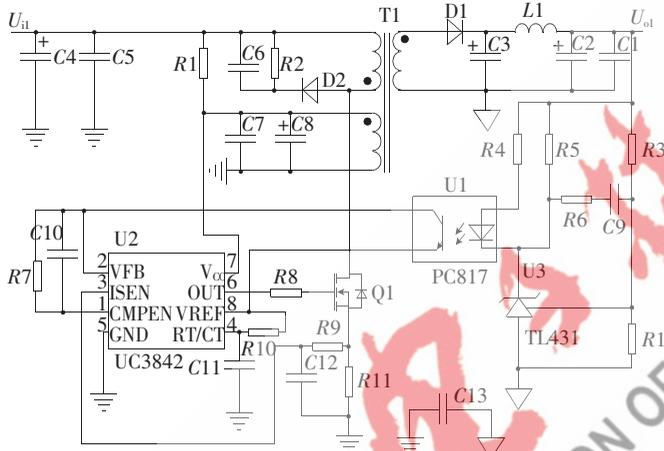


图 3 基于 UC3842 的反激式开关稳压电源电路

从图 2 和图 3 可以看出, 在开关管 Q1 导通期间, T1 的初级绕组储存电能, 二极管 D1 截止, C1、C2 向负载供电; 当 Q1 关断时, 初级绕组的能量传递到次级绕组, 二极管 D1 整流输出。R3 和 R12 对输出电压采样后, 与 TL431 构成了可控精密稳压源, 同时, 通过与光耦 PC817 配合, 共同组成了输出电压的稳压及隔离反馈环路。在图 3 所示的电路中, 关键部分在于高频变压器 T1 参数的计算及开关管 Q1 的选型, 其设计步骤如下。

(1) 高频变压器 T1 参数的计算

忽略变压器漏感尖峰并设定整流二极管 D1 导通电压降为 1V , 直流输入最大 $U_{i1\max}=48\text{V}$, 则开关管关断时漏源极电压 U_{DS} 满足^[3]:

$$U_{DS}=U_{i1\max}+\frac{N_p}{N_s}(U_{o1}+1) \quad (1)$$

其中, N_p 和 N_s 分别为初级绕组和次级绕组的匝数, U_{o1} 为输出电压 12V 。在确定好初级绕组与次级绕组的匝数比后, 计算 Q1 的最大导通占空比 D_{\max} :

$$D_{\max}=\frac{U_r}{U_r+U_{i1\min}}\times 100\% \quad (2)$$

其中, U_r 为次级绕组叠加到初级绕组的电压。在计算出 D_{\max} 后, 计算初级绕组的电感量 L_p ^[4]:

$$L_p=\eta\frac{(U_{i1\min}\cdot D_{\max})}{2\cdot P_{\text{omax}}\cdot f} \quad (3)$$

其中, η 为稳压电路的整体效率, 设计时通常假定 $\eta=80\%$, P_{omax} 为电路输出最大功率, f 为 UC3842 的驱动电压频率。通过计算 L_p , 结合变压器的磁芯材料后, 即可确定初级绕组的匝数 N_p 。则次级绕组的匝数 N_s 由式 (4) 计算^[4]:

$$N_s=N_p\frac{(U_{o1}+1)\cdot(1-D_{\max})}{U_{i1\min}\cdot D_{\max}} \quad (4)$$

(2) 开关管 Q1 选型

开关管的选择必须满足: 开关管不被击穿, 工作电流不超过其最大额定电流。由式 (1) 可计算出开关管的耐压值, 由式 (5) 可计算出开关管的工作电流 I_p ^[4]:

$$I_p=\frac{2\cdot P_{\text{omax}}}{\eta\cdot U_{i1\min}\cdot D_{\max}} \quad (5)$$

2.2 本安处理电路

为了实现 3 路非本安 12V 的本安输出, 设计了 12V 输出过压及输出过流保护本安处理电路。其工作原理框图、主电路和驱动电路分别如图 4、图 5 所示。图 4 中, OA、OV 分别为本安输出过流、本安输出过压信号, U_{GS} 为开关管的栅源极驱动电压。图 5 中, R5 为串联在输出回路的检测本安输出电流的电阻。

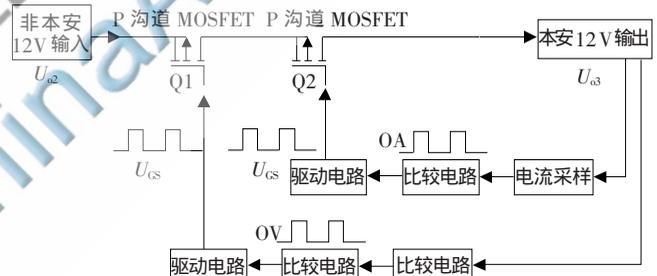


图 4 本安电源过流及过压保护电路工作原理框图

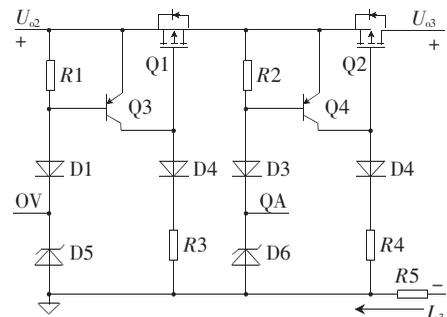


图 5 本安电源主电路及驱动电路

从图 4 和图 5 可以看出, 当本安输出电路正常工作时, 比较电路输出为低电平, 三极管 Q3、Q4 导通, 驱动电路分别驱动 P 沟道 MOSFET 开关管 Q1、Q2 导通; 当出现输出过压 ($U_{o3}=12.5\text{V}$) 或过流 ($I_{o3}=0.57\text{A}$) 时, 比较电路输出为高电平 (12V), 三极管 Q3 或 Q4 关断, 则

Q1 或 Q2 关断,从而实现了输出回路的过压或过流保护。

2.3 恒流/恒压充电电路设计

当市电供电时,针对锂电池组的特性,设计了图 6、图 7 所示的恒流/恒压充电电路。该电路的功能是:在恒流充电阶段,锂电池组的恒流充电值为 5 A,在恒压充电后期,锂电池组的充满电压值为 29.2 V。该充电电路的拓扑为反激式变换电路,主控芯片为 TPS40210PWM 控制器。

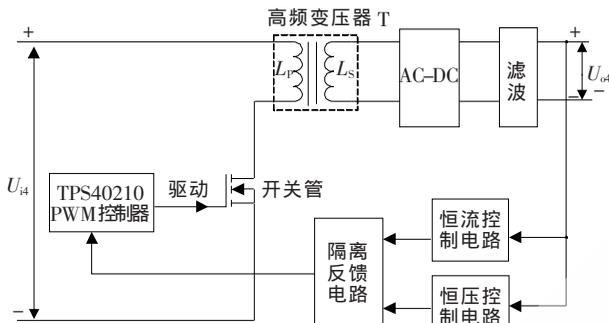


图 6 恒流/恒压充电电路工作原理框图

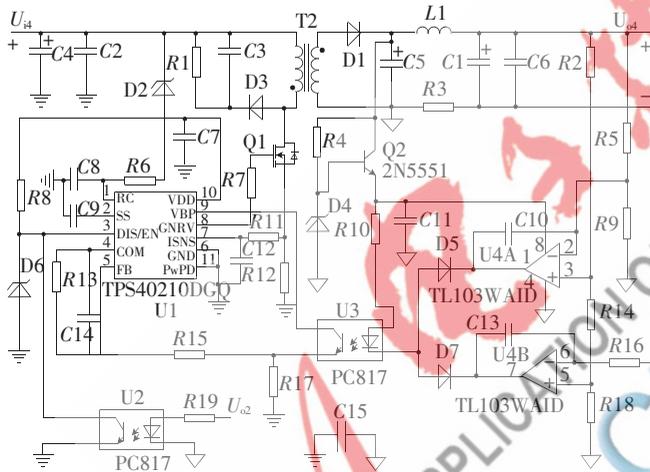


图 7 恒流/恒压充电电路图

从图 6 和图 7 可以看出,初级电路中,在 PWM 控制器的控制下,开关管 Q1 开通关断,关断时刻高频变压器 T2 传递电能。集成运放 TL103WAID 与光耦 PC817 分别构成了输出电压恒压控制环路及输出电流恒流控制环路。在锂电池组的充电初期,通过检测流过电阻 R3 的电压输入恒流控制环路去控制电池组的恒流充电。在锂电池组的充电后期,恒流控制环路控制作用减弱,由 U4A 和光耦组成的恒压控制环路起主要作用。

2.4 电池管理系统设计

为了保证锂电池组安全可靠地工作,必须要对电池的均衡和温度进行监测与控制^[5-6]。因此,设计了图 8 所示的电池管理系统。该系统中,LTC6803-3 实时采集 8 节电池的电压,在 PIC 单片机的程序控制下,控制 LTC6803-3 与每节电池输入相关联的 MOSFET 开关管,实现对过度充电的电池进行放电。其中,单体电池的

压采集及均衡电路如图 9 所示。其中, B_n 和 B_{n-1} 为第 n ($n=1\sim 8$) 节电池的正极和负极, B_n 和 B_{n-1} 为 LTC6803-3 电压采集输入端。同时,通过温度传感器采集每一节电池的温度,送入 PIC 单片机进行处理。PIC 单片机通过 SPI 接口与 LTC6803-3 通信,将电池电压及电池的温度监测数据串行发送后,在 LCD 上显示出来。

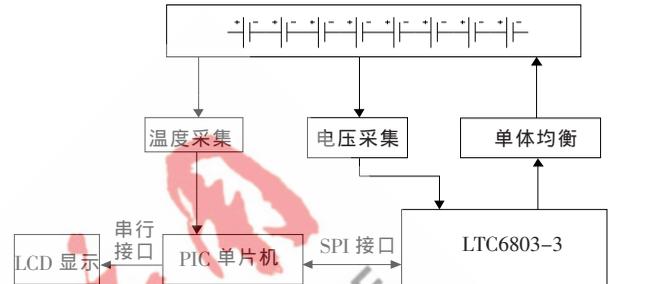


图 8 电池管理系统原理框图

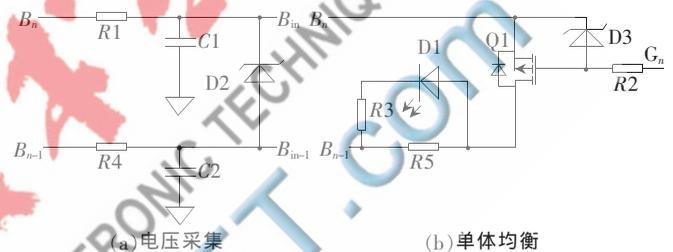


图 9 电压采集及单体均衡电路

3 实验结果

3.1 隔离稳压电路测试

为了测试隔离稳压电路设计的正确性,在图 3 所示的实验电路的基础上,测得在输入电压 20~48 V 范围内,输出电压均能够稳定在 12 V。其中,输出电压 (U_{o1}) 12 V 和 UC3842 的 PWM 驱动电压 U_{CS1} 的实验波形如图 10 所示。

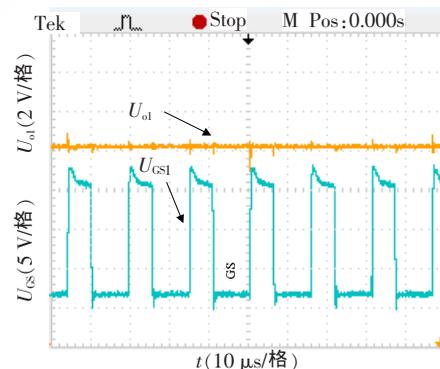


图 10 直流输出电压及驱动电压波形

从图 10 可以看出,在 TL431 和 PC817 组成的隔离电压反馈环路的控制下,控制器 UC3842 能够精确地发出 PWM 驱动电压,从而调节输出电压稳定在 12 V。

3.2 恒流/恒压充电电路测试

为了测试恒流/恒压充电电路的性能,在图 7 所示电路基础上,将市电整流后的电压作为该电路的输入,

通过实验测得充电电压与充电电流的关系曲线图如图 11 所示。

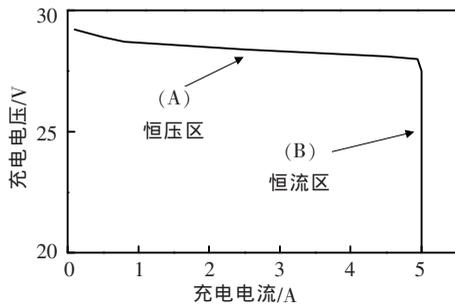


图 11 恒流/恒压充电电路充电电压与充电电流曲线图

从图 11 可以看出，在锂电池组充电初期，恒流/恒压充电电路工作于 5 A 恒流模式；在锂电池组充电后期，恒流/恒压充电电路工作于恒压模式，充电电流逐渐减小。

3.3 本安处理电路测试

模拟 3 路隔离 DC 12 V 电源输出过压 (≥ 12.5 V) 或过流 (≥ 0.57 A) 状态，经过测试发现本安处理电路中的开关管均能够同步关断，保证了 3 路隔离 12 V 电源输出达到了本质安全型的要求。

3.4 电池管理系统测试

为了验证电池管理系统的效果，在充电过程中，实时测试了锂电池组的单体电池的电压，发现电池间的压差达到 20 mV 时，电压较高的电池就会通过对应的耗能

电阻放电。

本文设计了井下大容量锂电池应急后备电源，可以为煤矿井下的紧急避险系统的用电设备提供安全可靠的电源。通过工程样机调试结果表明，本应急后备电源工作稳定，各项技术指标都达到了避险系统的建设要求，具有重要的工程实用性。

参考文献

- [1] 繆仲翠, 张海明. 基于 UC3842 直流斩波电源的设计[J]. 电源技术, 2012, 36(12): 1887-1888.
- [2] 程海龙, 李玉忍, 梁波. 基于 UC3842 的电源变换器设计[J]. 电源技术, 2011, 35(6): 720-722.
- [3] 王志强, 肖文勋, 虞龙, 等. 开关电源设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [4] 沙占友, 王彦朋. 开关电源设计入门与实例解析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [5] 郭军, 刘和平, 徐伟, 等. 纯电动汽车动力锂电池均衡充电的研究[J]. 电源技术, 2012, 36(4): 479-482.
- [6] 罗玉涛, 张智明, 赵克刚. 一种集散式动力电池组动态均衡管理系统[J]. 电工技术学报, 2008, 23(8): 131-136.

(收稿日期: 2013-09-03)

作者简介:

李孝揆, 男, 1964 年生, 本科, 高级工程师, 主要研究方向: 电气自动化。