

串联蓄电池组均衡充电系统*

鲁照权, 凌虎, 赵伟, 毛羽, 陈芹

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院 优化控制技术研究所, 安徽 合肥 230009)

摘要: 分析了蓄电池不一致性的原因,在此基础上,设计了一种简单、实用、高效的均衡充电系统。在电池组充电时实施 PWM 分流,实时监测控制各单体的工作情况。通过独立均衡模块,实现蓄电池组的均衡充电,克服单体间的不一致性。该方法可大大延长电池的使用寿命,实验验证了该方案的可行性。

关键词: 蓄电池组; 独立均衡模块; PWM 分流

中图分类号: TP29

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)06-0012-04

Balance charging system for series-connected batteries

Lu Zhaoquan, Ling Hu, Zhao Wei, Mao Yu, Chen Qin

(Institute of Optimal Control Technology, School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Based on analyzing the reason of storage battery dissimilarity, a practical and efficient balance charging system is designed to solve the problem. When a group of batteries is being charged, a controllable PWM circuit constituting an equilibrium module is working to shunt the charging current and to monitor its work condition for each battery. The independent equilibrium module can effectively realize balance charging for every battery, and overcome dissimilarity among all batteries. This method can significantly extend storage battery lifetime. Experiments verify the feasibility of the balance charging system for series-connected batteries.

Key words: a group of batteries; independent equilibrium module; PWM shunt

用蓄电池作为动力源的电动汽车在使用中可实现零污染,因此,它能有效解决汽车排污和能源问题^[1]。铅酸蓄电池以其具有密封好、无污染等优点成为电动汽车的主动力源。一般的电动汽车都使用蓄电池组来提供动力,这些电池组由单体电池串联而成,这样就存在充电放电时单体容量之间的不一致性问题,从而影响蓄电池的使用寿命和效能以及系统的可靠性。因此充放电时对蓄电池组进行均衡控制是十分必要的。

1 不一致性原因及解决方法

针对不一致性问题^[2]的解决方法大致有四种:(1)在制造工艺上保证出厂质量,减小单体之间的差异性;(2)蓄电池组各蓄电池单体参数一致性的严格筛选;(3)使用过程中尽量使各单体处于相同的环境中,定时测量各蓄电池的电压分布情况,及时更换电压偏离正常值太大的蓄电池单体;(4)配置蓄电池组均衡充电系统。

通过分析很容易得到,前面三种方案虽然可行,但是会给厂家带来很大的压力。目前较为合理的方案是采用独立均衡充电系统,能有效减小单体在充电时的一致性,让蓄电池的使用效能和寿命达到最大化。

2 单体容量不一致性的影响

组成电池组的各电池的内阻、容量等参数的不一致性,会使电池组中容量低的电池更容易过充电和过放电,致使电池组陷入电池极板硫化加剧、容量差距进一步扩大的恶性循环之中^[3]。这不仅缩短了电池使用寿命,还会因为电池极板硫化而使其内阻增大并使有效活性物质减少,导致电池组充放电能量转换效率、输出功率及电动汽车的动力性下降。

3 均衡方案

现今有很多均衡方法^[4-6],例如涓流均衡,此方案简单易行,但当电池组之间差异很大时,会使单体电池出现过充,严重影响电池寿命。放电均衡,只能在理想

* 国家自然科学基金项目“分布参数切换系统控制理论及其应用研究”(60974022)

硬件纵横

Hardware Technique

状态下使用,由于个体电池的物理差异,单体深度放电后难以达到完全一致的理想效果。即使放电后达到同一效果,在充电过程中也会出现新的不平衡。电阻并联均衡,电路结构简单,可靠性高,但此方案会带来严重的能量损耗,且不适合快充系统,在电池容量较大时存在电阻散热问题。通过分析研究现有均衡方案的优缺点,笔者研制了一种基于单片机控制、采用 PWM 分流法对电池的外部参数进行实时的检测和分析,实现均衡充电,从而克服电池间的不一致性,延长电池组的使用寿命,提高电池组使用效率。系统工作原理图如图 1 所示。

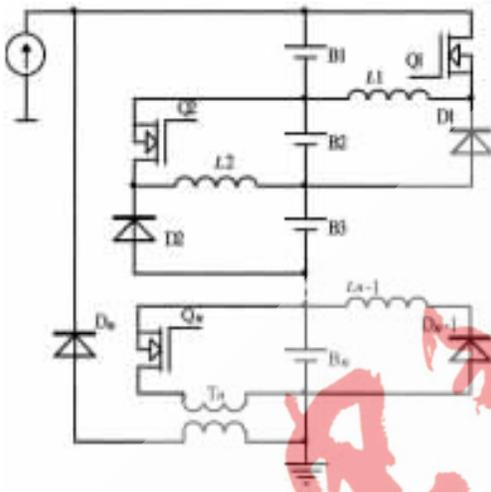


图 1 系统工作原理图

$Q_i (i=1\sim n)$; D_i , $L_i (i=1\sim(n-1))$ 构成一个分流模块,控制 MOSFET 来实现对电池的恒流充电、恒压充电以及浮充,将能量从电压高的电池转移到电压低的电池,从而实现均衡充电。通过实验验证,为了达到更好的均衡效果,在充电开始瞬间就应该开启独立均衡模块,使所有单体电池电压均衡到同一水平,然后再让所有单体电压以同一斜率上升直至电池容量达到最大^[7]。

4 硬件电路的设计

独立均衡充电系统的硬件实现主要包括控制模块、检测模块、显示及报警模块等。控制模块是系统的核心,由 LPC935 单片机及其外围电路组成,包括单体电池电压、电流以及温度的数据采样和分析控制。电压检测电路中通过光耦隔离,降低了电池电压对电压采集电路的干扰,提高了系统的可靠性,为了防止涌浪电压损坏单片机的 I/O 口,采用了稳压电路。根据电路可得到输入与输出的关系表达式:

$$V_o = K \cdot \frac{R_{12}}{R_{11} + R_{12}} \cdot \frac{R_{16}}{R_{14}} \cdot \frac{R_{26}}{R_{25}} \cdot V_{bat} \quad (1)$$

通过调节 R_{26}/R_{25} 的比值来获得合适范围内的输出电压 V_o 。其中 K 为比例系数,通过实验可确定。图 2 为电

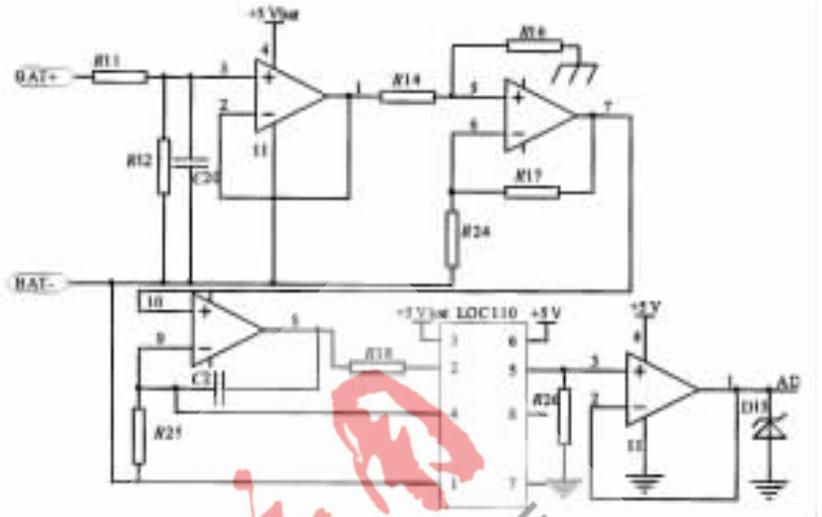


图 2 电压采集电路

压采集电路图。

电流检测电路由电流检测放大器芯片 MAX4070 和 R_{13} ($5\text{ m}\Omega$ 精密电阻) 构成。MAX4070 共模输入范围从 $1.35\text{ V}\sim 24\text{ V}$, 输出误差小于 1.5% 且与电源电压无关,这样即使测量一组已深度放电的电池时,也能保证精确的检测电流反馈。MAX4070 选择 100 V/V 的增益。图 3 所示为单体电池电流检测电路。

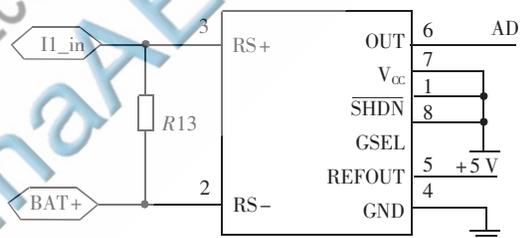


图 3 电流检测电路

温度检测电路由数字化传输的温度传感器 DS18B20 组成。当被检测的温度在 $-10\sim +85$ 时,精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,完全符合系统的设计要求。考虑到浮充电压与温度存在紧密的关系,浮充电压只要有 5% 的误差就足以使电池寿命缩短一半,因此温度测量的精度要求很高。一旦温度过高会对电极造成伤害,因此设计了一个报警系统。本系统采用 $-3\text{ mV}/^\circ\text{C}$ 的温度补偿系数(对于单层 2 V 电池)。由于采用线性补偿方式较阶梯补偿方式更为合理,因此采用线性补偿^[7]。浮充电压与温度补偿关系为:

$$V_f = V_1 - (t - t_b) \times 0.003 \quad (2)$$

式中 V_f 为浮充电压; V_1 为标准温度 t_b 下的浮充电压阈值^[8]。 t 为电池充电时的温度。

MOSFET 驱动电路如图 4 所示,通过设置参考值和检测值进行比较来决定 MOSFET 是否导通,如果 MOSFET 导通,电能储存在 L_1 中,当 MOSFET 关断时, L_1 为了续流,这样就构成 L_1 、 B_2 、 $VD1$ 回路, L_1 中的能量就转移到 B_2 中,从而实现能量的转移。参考值的设定要通

硬件纵横

Hardware Technique

过实验来获得。电池组末端电池能量通过反激式变压器回到充电总线上。通过上述分析,能量总是从电压比参考值高的单体传递到比参考值低的单体上,这样避免了单体的过充或欠充现象的出现,很好地保护了蓄电池组。为了使储能的电感的能量在一个开关周期内不积累,在控制开关管时,应使占空比 $D \leq 0.5$ ^[9]。为了加快开关管的导通与关断速度,在电路中设计了负电荷吸收电路。

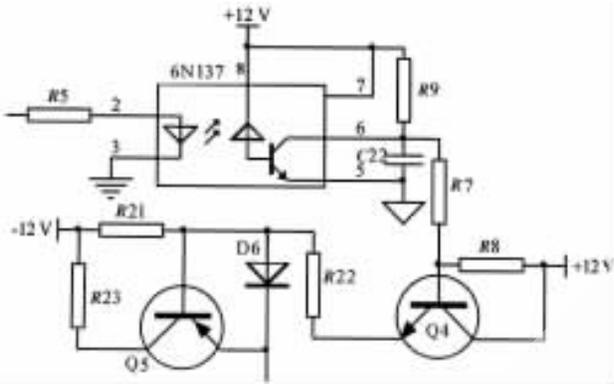


图4 驱动电路

5 PWM 分流实验

实验以三节不一致性较大的松下 12V/7AH 蓄电池串联成 36V 系统,温度补偿系数在原来 2V 的基础上乘以 6。采用一个 48V 的直流电源模拟充电机。通过检测单体电池端电压变化情况来控制 PWM 分流。

采用三段式,即首先采用蓄电池可以接受的最大充电电流加速充电。在充电过程中实时检测蓄电池端电压的变化情况,当端电压快达到过充电压时,降低充电电流,避免过充电反应。然后,采用一恒定电压充电并检测充电电流,直到充电电流减小到 0.05 A,表明蓄电池的容量已经恢复到 100%, 然后进行浮充以弥补蓄电池的自放电损失。

由表 1 的检测数据可以看出,在未采用分流法做实验时,在 48V 的充电电压下,各单体端电压存在较大差异性。充电开始后,三节蓄电池全部开始充电且充电电流相等,由于第一节电池初始电压较高,它的端电压上升迅速,当充电时间达到 1h 后,电池端电压不再升高,表明电池容量达到最大,继续充电后第一节电池造成过充电现象,电池极板极化加剧,端电压开始下降。然而第二、三节电池由于初始电压较低,直到第一节电池端电压下降时,端电压还处在上升状态,表明第二、三节电池没有完全充满,存在欠充现象。通过数据分析可得出没

表 1 检测数据

电池编号	未用均衡系统	采用均横系统 (30 min 后)	采用均衡系统 (1h 后)
1	12.8 V	13.3 V	13.5 V
2	12.4 V	12.7 V	13.2 V
3	12.6 V	12.9 V	13.4 V

有采用独立均衡系统的充电方法,会造成单体电池过充和欠充现象,导致电池的不一致性加剧,严重影响了电池的使用寿命和效能。其次通过分析表 1 可知,经过独立均衡系统后第二、三节电池的端电压上升,而第一节电池端电压有所下降,各节电池端电压逐渐趋于接近。

通过分析比较,蓄电池组充电时采用独立均衡系统时,各节电池的不一致性逐渐变小,同时达到充电终止电压,从而说明该方案是可行的。

最后为了验证整个系统的可靠性以及上述实验的准确性,本文还做了基于 Matlab 的仿真实验,仿真实验波形如图 5 所示。由仿真波形可见,三节电池初始端电压相差较大,其中电池 a 与电池 b 端电压相差较小所以较电池 b 与电池 c 先达到端电压一致,最后三节电池都达到端电压一致。说明经过一段时间均衡充电,最终各个电池达到一致,同时达到充电终止电压。均衡充电电流如图 6 所示,随着充电的进行,可以看出充电电流曲线非常接近理想充电曲线,这极大地增加了电池的循环寿命。通过实验以及仿真验证了本文原理的准确性和实用性。

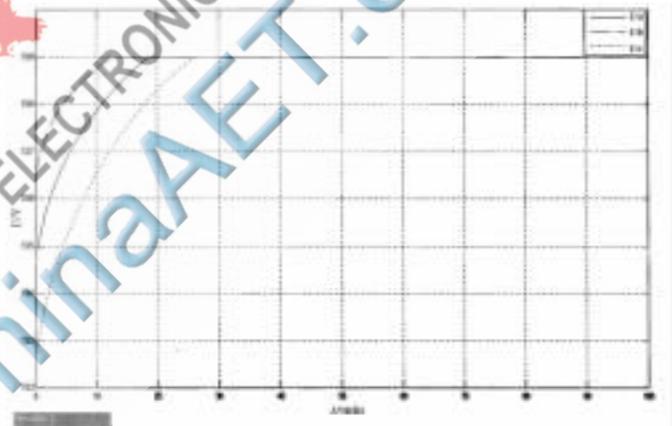


图5 蓄电池均衡充电电压曲线图

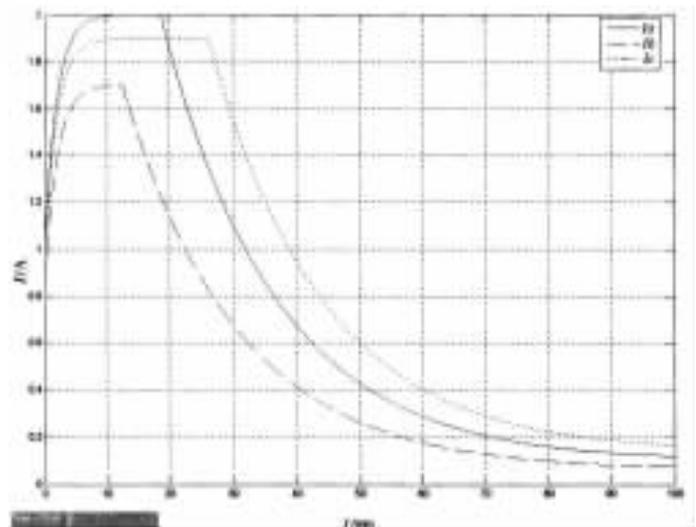


图6 蓄电池均衡充电电流曲线图

本文提出了一种较为合理的均衡方法,通过独立均衡模块实现单体电池能量的相互转移,从而使单体在充电后期处于同一充电深度,解决了单体电池的过充和不一致性问题,有效地提高了电池使用寿命。

参考文献

- [1] 万沛霖.电动汽车的关键技术[M].北京:北京理工大学出版社,1998.
- [2] 麻友良,陈全世.铅酸电池的不一致性与均衡充电的研究[J].武汉科技大学学报,2001,24(1):48-51.
- [3] CHO J. Coating technologies of the cathode materials in lion batteries :past, current, and future[C].208th meeting of the Electro chemical society 2005:210.
- [4] KREIN P T. Life extension through charge equalization of lead-acid batteries[C]. INTELEC,2002:516-523.
- [5] KUTKUT N H, WIEGMAN H L N. Design considerations for charge equalization of an electric vehicle battery system[J]. IEEE Transactions on Industry Applications,1999,35(1):28-

35.

- [6] HUNG S T, HOPKINS D C, MOSLING C R. Extension of battery life via charge equalization control[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,1993,40(1):96-104.
- [7] 王鹤,刘东社,杨宏.铅酸蓄电池的过充电保护与温度补偿[J].西安交通大学学报,2001,35(12):310-312.
- [8] 郑诗程.具有 TMPPT 功能的太阳能光伏充电系统研究[J].电子测量与仪器学报,2008,22(3):11-15.
- [9] 王明渝,俞静.电池组均衡充电电路研究[J].电气应用,2007,26(8):46-47.

(收稿日期:2012-02-20)

作者简介:

鲁照权,男,1962年生,工学博士,教授,主要研究方向:复杂系统建模与优化控制、复杂工业过程自动化系统等。

凌虎,男,1988年生,硕士研究生,主要研究方向:复杂系统建模与控制。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNOLOGY
www.ChinaAET.com