

一种大容量动力锂电池的化成系统

吴来杰, 黄亮, 李学斌

(中国地质大学(武汉)机电学院, 武汉 430074)

摘要: 随着新能源技术的发展, 对大容量的动力锂电池需求越来越多, 尤其在电动汽车领域具有广泛的使用; 为此设计了一种适用于大容量锂电池的化成系统, 说明了其组成和工作原理; 为了提高充放电过程中电流控制的精度, 采用了可编程反馈式限压恒流斩波控制电路, 同时具有限压保护功能, 防止锂电池过充过放; 化成系统为上下位机结构, 由一台上位机(服务器)和若干台下位机(化成单元)组成, 组成工业 485 总线网络, 利用上位机对化成过程进行实时监控和数据记录; 经试验测试, 该系统具有充放电电流大、控制精度高、可多工步编程等特点, 能够满足动力锂电池大规模化成生产的需要。

关键词: 动力锂电池; 恒流斩波; 限压保护; 化成系统

A Formation System of Large-capacity Power Li-ion Battery

Wu Laijie, Huang Liang, Li Xuebin

(College of Mechanical and Electronic Information, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: With the development of new energy technologies, large-capacity power Li-ion battery is demanded more and more, especially it has been widely used in the field of electric vehicles. It designs a large-capacity Li-ion battery formation system, and illustrates its composition and working principle. It uses a programmable feedback voltage limiting constant current chopper control circuit with having voltage limiting protection function to prevent Li-ion battery over-charge and over-discharge so as to improve current control accuracy of the charge-discharge process; formation system uses upper and lower computer structure with consisting of a stage crew (server) and a number of audience-bit machine (into units) which compose an industrial 485 bus network to use the host computer in the formation process for real-time monitoring and data recording. By testing, the system has some characteristics, such as large charge and discharge current, high control accuracy, multiple-step programming, etc., and it can meet the requirements of the large-scale power Li-ion battery formation production.

Keywords: power Li-ion battery; constant current chopper; voltage limiting protection; formation system

0 引言

随着新能源技术的不断发展, 对大容量的动力锂电池需求越来越多, 尤其在电动汽车领域具有广泛的使用。锂电池生产后必须经过化成工序, 其作用一是使电池中活性物质转化成具有电化学反应的物质; 二是使电极形成有效的钝化膜。

由于大容量动力锂电池化成过程中充放电电流大且精度要求高, 并且不同类型和容量的锂电池其化成过程及参数是不同的, 因此需要设计了一种适用于大容量锂电池的化成系统, 该系统应该具有可编程的电流及电压控制方式, 通过实时采集化成过程中的电流和电压值, 并与设定值进行比较, 通过反馈控制电路实现恒流/恒压充放电, 并使锂电池充电最高电压和放电最低电压在设定的范围内, 从而保护锂电池不被过充或过放。

1 系统方案

1.1 功能要求

化成系统是为了适应大容量锂电池网络化大规模化成生

产, 故应遵循以下设计要求:

- (1) 采用主从式上下位机网络化控制方案, 上位机(服务器)通过工业 485 总线连接各下位机;
- (2) 能够单独控制某一台下位机(一个锂电池块的化成单元)的充放电过程, 并具有充放电暂停和继续功能;
- (3) 为了便于监控化成过程, 系统需要实时采集化成过程中的电流和电压值, 并在上位机中显示和记录;
- (4) 为了适用于大容量锂电池, 系统的充放电电流为 0~20 A, 电压为 2.5~7.5 V。

1.2 化成单元的限压恒流控制方式

限压恒流控制电路是下位机化成单元的关键部分, 其性能好坏直接影响着化成的效果和锂电池的寿命, 如果限压恒流电路设计不合理, 不仅不能有效进行化成, 还会损坏锂电池。

实现限压恒流控制的方式有很多, 最常见的就是利用 MCU 产生脉宽调制信号(PWM)来控制 MOSFET, 并通过 AD 电路采集电流电压的大小, 在软件中形成反馈控制来实时调节脉宽调制信号的占空比, 从而实现限压恒流。该方法优点是硬件少, 参数修改只需修改程序, 灵活性好, 缺点是需要 MCU 的软件实时计算和调节, 运算量较大, 实时性稍差。

另外一种方法是通过硬件比较器构成限压恒流源, MCU 只需通过 DA 电路把电流设定值及电压上下限设定值输入比较器, 采样电路采集电流值和锂电池电压值输入比较器, 比较器

收稿日期:2014-04-28; 修回日期:2014-05-30。

作者简介:吴来杰(1970-),男,江西南昌人,博士,副教授,主要从事机电一体化技术与自动化技术方向的研究。

根据设定值与实际值的大小差决定 MOSFET 的通断，从而实现限压恒流。该方法的优点是软件设定好电流值和电压上下限值之后，由硬件电路自动完成限压恒流控制，不需要 MCU 干预，因此软件运算量较小，调节控制简单，且可利用软件完成控制值的设定，具有很好的灵活性，便于实现化成过程的程序化控制。

由于本系统方案考虑到网络化大规模生产需要，上位机通过工业 485 总线连接多台下位机（化成单元），故每台下位机需要不断监听总线上的控制指令，同时下位机还要完成电流电压的 AD 采样、数据保存及上传等工作，MCU 工作相对繁忙，故本系统的化成单元适合采用以上第二种控制方式。

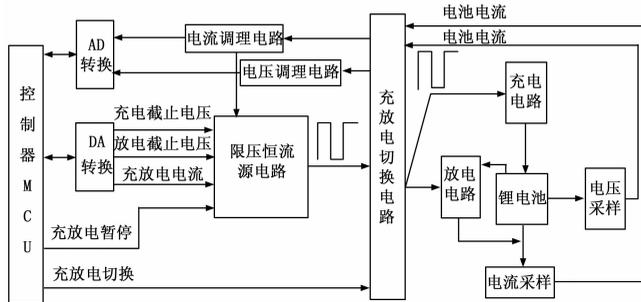


图 1 化成单元的组成

化成单元的组成如图 1 所示，主要由限压恒流源电路、充放电切换电路、充电电路和放电电路等部分组成。电压电流采样和调理电路，485 通讯电路等相对简单，在此不作赘述。

现以恒流充电为例说明化成单元的工作过程。当控制器 MCU 通过 485 网络收到上位机的化成指令时，MCU 通过 DA 转换将恒流充电电流值、充电截止电压值送到限压恒流源电路，并将充放电切换电路设置成充电。限压恒流源电路就会产生充电信号，由充电电路负责给锂电池充电；电压采样和电流采样电路分别采集锂电池的电压值和充电电流值，通过调理电路经放大滤波后，输入到 AD 转换和限压恒流电路，完成电流电压参数的反馈比较与实时调节；同时，MCU 将 AD 转换结果传给上位机，完成化成过程参数的实时显示和记录。

2 主要硬件电路

由于限压恒流源电路和放电电路是化成单元的核心电路，在此做一详细说明。

2.1 限压恒流源电路

限压恒流源电路的作用是控制锂电池充电电压不能超过充电截止电压，放电电压不能低于放电截止电压，同时控制锂电池充/放电的平均电流等于设定的电流。该电路将锂电池的实时电流电压值和设定的电流电压值进行比较，从而产生方波信号，方波高电平期间允许锂电池充电/放电，低电平期间禁止锂电池充电/放电。

电路图如图 2 所示，U1 为四电压比较器 LM339，该电压比较器输出为集电极开路输出，使用时要接上拉电阻。U1A、U1B 两个电压比较器构成窗口比较器。窗口比较器的上限阈值为 DA 转换器输出的充电截止电压 $U-CC$ ，下限阈值为 DA 转换器输出的放电截止电压 $U-DC$ 。 $I-CC/DC$ 为 DA 输出的充/

放电电流，电流大小以电压大小来表示。

U 和 I 分别为电压调理电路和电流调理电路采集的锂电池的实时电压值和电流值。 Pau 信号为 MCU 的 IO 口控制的充/放电暂停信号。

控制器 MCU 通过 DA 转换设定好锂电池化成时充电截止电压 $U-CC$ ，放电截止电压 $U-DC$ 和充/放电电流 $I-CC/DC$ 的大小，在锂电池充/放电过程中，当锂电池实时电流和电压值满足 $U-DC < U < U-CC$ 且 $I < I-CC/DC$ 时，即锂电池电压没有达到设定的电压上下限，电流没有达到设定的电流时，限压恒流电路输出高电平，作为给锂电池充/放电信号；一旦 $AD-V < DA-VL$ ， $AD-V > DA-VH$ 或 $AD-I$ 时，即表示锂电池放电电压小于放电截止电压，充电大于充电截止电压或电流大于设定电流，限压恒流电路就输出低电平，停止对锂电池的充电/放电。在锂电池化成的每个充电/放电过程中，限压恒流电路实时根据电池的实际值跟设定值进行比较，从而保证电池按照正常设定的条件进行充电/放电。

反馈比较电路只管产生充电/放电方波信号，而具体是给锂电池充电或者放电则由充放电切换电路的二选一开关决定将方波信号输出给充电电路或者放电电路^[4]。

2.2 放电电路

充电电路跟放电电路原理上一样，只不过充电电路把 6.5 V 直流电源连接至锂电池，放电电路将锂电池正极连接到放电电路，把锂电池的电能消耗。故以放电电路作介绍。

放电电路的作用是防止充/放电方波信号在高电平期间，流经锂电池的电流过大，放电电路把充电/放电方波信号的高电平进行斩波，从而保证放电时不仅平均电流值满足设定值，同时保证瞬时电流值不会超过最大值（20 A），电路图如图 3 所示。

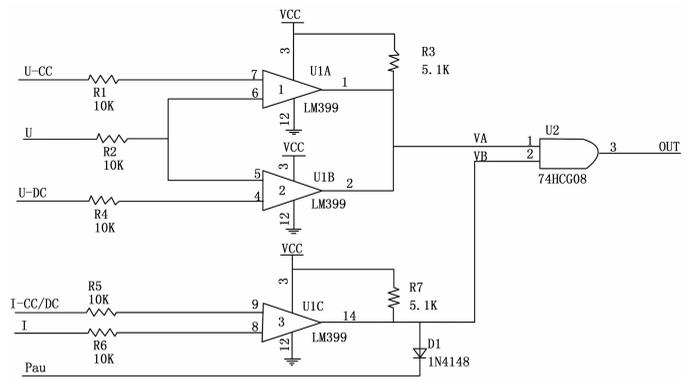


图 2 限压恒流电路

放电电路的工作电源是经过变压器隔离的 12 V 工作电源 $DC-VCC$ 。比较器为双比较器 LM393。

DC 端接收来自限压恒流源电路的充/放电方波信号，当方波高电平期间，光耦导通，比较器 U1A 同相输入端得到的电压：

$$V_{PA} = DC - VCC \times \frac{R4}{R3 + R4} = 4.15 V \quad (1)$$

先假设比较器 U1B 的输出为低电平，即 U1A 反向输入端得到电压 $V_{NA} = 0 V$ ，则 U1A 输出高电平，MOSFET 导通，锂电池通过 MOSFET 放电。锂电池放电时，电流会立即增大，功率电阻 RS 采集放电电流，将电流转换成电阻上的

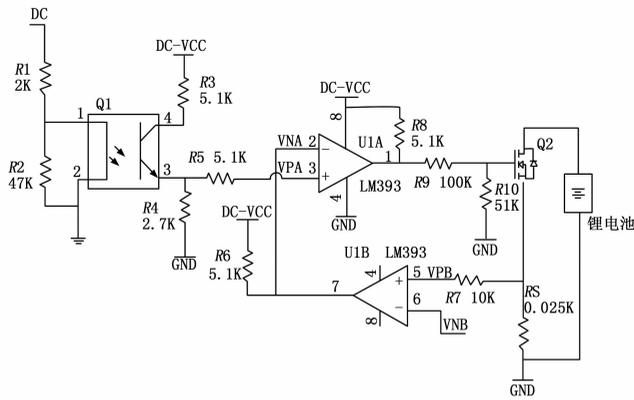


图 3 放电电路电路图

压降输入到比较器 U1B 同相端, 比较器 U1B 的同相端得到电压:

$$V_{PB} = I \times RS = 0.025 I \quad (2)$$

U1B 的反向输入端得到电压基准 $V_{NB} = 0.5 \text{ V}$, 故当放电电流 $I > 20 \text{ A}$ 时, $V_{PB} > V_{NB}$, U1B 输出高电平, 导致比较器 U1A 的两输入端 $V_{PA} < V_{NA}$, U1A 输出低电平。从而关断 MOSFET。当放电电流 $I < 20 \text{ A}$ 时, $V_{PB} < V_{NB}$, U1B 输出低电平, U1A 的两输入端 $V_{PA} > V_{PB}$, U1A 输出高电平不变^[5]。

3 实验测试结果

根据化成单元的功能要求, 开发了上位机的监控软件, 可以对每个化成单元分别发出化成命令并实时监控化成过程, 软件界面如图 4 所示。图中有 8 个通道在进行化成, 并实时显示电流电压等参数。

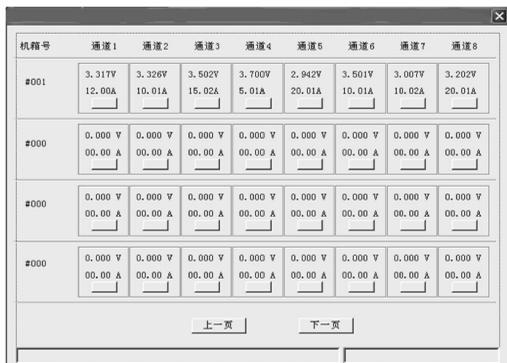


图 4 上位机软件

经过多次的实验, 随机抽取了一次化成过程并得到了表 1 的数据。表 1 实际电压值和实际电流值为万用表测得的数据。其中电流值是测得采样电阻上的压降计算出的电流值。由表 1 电池编号 1 可以看出恒流充电时只要充电电压没有达到截止电压 3.800 V, 锂电池就以 10.00 A 电流充电, 而电池编号 4 表

示电池电压已经超过设定的截止电压 3.800 V, 这时虽然设定的电池充电电流为 20.00 A, 但实际电池的充电电流为 0.03 A, 即电压超过截止电压后, 电流值会逐步降低直到最后接近为 0, 恒流放电同样得到次规律。由上位机显示电流电压值和万用表测得电流电压值可以看出, 系统误差完全在允许的范围之内。

4 结束语

该化成系统已经成功运用于实际生产中, 通过长时间运行表明具有充放电电流大、控制精度高、可多工步编程等特点, 且可靠性高, 能够满足动力锂电池大规模化成生产的需要。

表 1 锂电池化成数据实验结果

电池编号	化成命令	设定截止电压	设定电流值	上位机显示电压值	上位机显示电流值	万用表测电压值	万用表测电流值
1	恒流充电	3.800 V	10.00 A	3.522 V	10.02 A	3.523 V	10.01 A
2	恒流充电	3.800 V	15.00 A	3.477 V	15.01 A	3.479 V	15.02 A
3	恒流充电	3.800 V	5.00 A	3.024 V	5.01 A	3.025 V	5.01 A
4	恒流充电	3.800 V	20.00 A	3.801 V	0.02 A	3.802 V	0.03 A
5	恒流放电	2.500 V	10.00 A	3.597 V	10.01 A	3.598 V	10.01 A
6	恒流放电	2.500 V	15.00 A	3.200 V	15.00 A	3.201 V	15.02 A
7	恒流放电	2.500 V	20.00 A	2.895 V	20.00 A	2.895 V	20.02 A
8	恒流放电	2.500 V	10.00 A	2.500 V	0.02 A	2.498 V	0.04 A

参考文献:

- [1] 何银吉, 赵林英, 乐浪, 等. 一种新型的锂离子电池化成检测系统 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2005, (10): 64-66.
- [2] 张勇, 林树忠, 闫少伟, 等. 锂离子电池智能检测与化成系统设计 [J]. 仪器仪表学报, 2006, (6): 357-358.
- [3] 刘峥. 大容量锂离子电池化成设备监控系统的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [4] 王可恕. 模拟集成电路原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [5] 佛朗哥. 基于运算放大器和模拟集成电路的电路设计 [M]. 刘树棠, 朱茂林, 等译. 西安: 西安交通大学出版社, 2009.
- [6] 韩华胜. 大容量锂电池化成检测系统硬件设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [7] 张维戈. 高效率大容量锂离子电池化成设备研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [8] 李晶. 大容量电池化成设备的研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [9] 林凯, 韩阳, 翁超, 等. 智能型锂电池化成检测系统的设计与实现 [J]. 机电技术, 2013, (10): 45-47.
- [10] 付芸, 李付强, 李彦刚, 等. 高效节能动力锂电池检测及化成系统 [J]. 电源世界, 2013, (6): 100-102.
- [11] 王成龙, 应朝龙, 李建海. 基于充放电过程监测的蓄电池故障预测 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (1): 54-56.