

电动汽车车载锂电池分段充电策略研究

陈 超, 谢 瑞, 何湘宁*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了实现电动汽车(EV)车载锂电池快速充、放电,研究了电动汽车锂电池分段充电策略,给出了充电拓扑图。通过监控电池端电压和电流,采用了恒流、恒压和涓流 3 种充电方式结合的方法,控制功率变换器对电池进行智能充电。实验结果表明,利用分段充电方法可以在 30 min 内使电池端压达到额定值,并通过恒压充电使电池迅速得以充满。该研究为提高车载电池充电效率、缩短充电时间和保证充电安全奠定了基础。

关键词: 电动汽车电池; 充电电路; 充电方法; 控制方法

中图分类号: TM910.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)07-0887-04

Research of multi-stage charging method for on-board lithium battery of electric vehicles

CHEN Chao, XIE Rui, HE Xiang-ning

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to achieve the fast charging and discharging of the on-board lithium battery of electric vehicles(EV), the multi-stage charging method of the EV lithium battery was investigated and the charging circuit topology was presented. The method combined three charging methods (constant-current method, constant-voltage method and low-current method) was used to control a power converter by monitoring the battery voltage and current for intelligent fast charging. The experimental results indicate that the battery voltage can reach the rated value in 30 minutes as being charged by the system, then the battery will soon be fully charged by using the constant-voltage method. The research lays the foundation for the improvement of the charging efficiency and the charging security of the on-board batteries.

Key words: electric vehicles(EV) battery; charging circuits; charging methods; control

0 引 言

从 20 世纪 90 年代初起,世界各大汽车集团公司都在电动汽车上投入了较大的资金,并研制出多种电动汽车及电动汽车概念车,如 Ford 的 Think city, GM 的 EV1, Toyota 的 RAV4、Prius 和 FCEV, Honda 的 EV, 再如 Plus、Insight 和 FCX2V3 等^[1-3]。国内在国家电动汽车重大科技专项启动后,全国各地也掀起了一股研制和开发电动汽车的热潮。电动汽车内部的储能元件(即车载电池)的快速充、放电问题一直是掣肘电

动汽车发展的主要瓶颈之一。目前已经研究出来的充电方式有恒流充电、恒压充电、浮充充电和脉冲充电等。恒流与恒压充电,前者易出现过充现象损坏电池,后者的充电效率太低;浮充充电只能针对剩余容量较大的电池;而脉冲充电由于充电后期所需的电流很小,开关导通占空比很低,控制难以实现。因此用现有充电策略对电池充电效率均很低,如比亚迪电动汽车 F3DM 完全充满需 6 h,而针对不同电池需要有不同的充电策略,所以选择最有应用前景的电池并针对该电池设计高效安全的充电策略就显得十分必要。

电动汽车动力电池主要包括铅酸电池、镍氢电池

和锂电池 3 种^[46]。

锂蓄电池具有体积小、质量能量比高、质量功率比高、电压高、环保无污染等优点,它的能量密度可以达到镉镍蓄电池的 1.5 ~ 3 倍,锂蓄电池单元蓄电池的平均电压为 3.6 V,相当于 3 个镍镉蓄电池串联起来的电压值,因此它能够减少蓄电池组的数目,从而可以降低因单元蓄电池电压差所造成的蓄电池故障发生的概率,因而可以延长蓄电池组的使用寿命,这对电动汽车而言具有很大的意义^[7]。锂电池无记忆效应,其自放电率很低,稳定性好,不使用时内部基本不会发生化学反应。此外,由于内部不含有害重金属,具有很好的环保性。

锂电池的缺点是在强烈碰撞或高温中易发生爆炸。为了解决这个问题,磷酸铁锂电池应运而生。磷酸铁锂电池经过严格的安全测试,即使在最恶劣的交通事故中也不会产生爆炸,而且有很强的耐高温特性,是所有动力电池中最有应用前景的一种。

基于以上分析,本研究采用磷酸铁锂电池作为充电测试对象,利用电力电子功率变换器,通过分段充电策略,实现对锂电池的安全快速充电。

1 电动汽车充电装置总体设计

1.1 基本要求

由于锂电池是车载动力电池中最有应用前景,较之镍氢电池和铅酸电池具有明显优势,且磷酸铁锂电池已经基本解决了锂电池不稳定易爆炸的缺点,故该电动汽车智能充电系统的设计,主要是针对锂电池。具体来说,系统应实现以下几点:

(1) 能对电池进行快速充电,能通过电池管理系统检测出电池充电时的初始容量,并做出相应的判断,选择合适的充电方法^[8]。

(2) 能有效进行电压、电流和温度的采样,通过反馈环节将电压或电流稳定在额定的范围内,保证充电电流最大的同时电池安全可靠^[9]。

(3) 通过保护电路实现系统运行的安全性,当温度或者电流超过额定最大值时,保护电路能迅速切断相应的开关元件。

1.2 系统的主要设计指标

系统主要设计指标如下所示:

- (1) 输入电源:交流单相,相电压 220 V;
- (2) 输出直流电压:0 V ~ 62 V 可调,电压显示;
- (3) 输出直流电流:0 A ~ 60 A 可调,电流显示;
- (4) 自动检测整个电池组的充电电压,过压时能迅速进入保护;

(5) 自动检测整个电池组的充电电流,过流时能迅速进入保护;

(6) 可由用户灵活设定充电电流的额定值和最大值,充电电压的额定值和最大值,并能进行实时调节,自动控制充电过程。

1.3 充电方法的选择

充电初期电池端压较低,所以可以采用恒流充电以提高充电速度,当电池电压达到了额定最大值时,转为恒压充电,从而避免过充。最后采用浮充充电使电池达到满充状态,当充电电流低于 0.02 C 时停止充电,如图 1 所示。

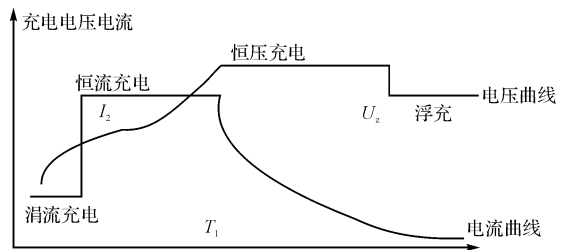


图 1 动力电池三阶段充电法

该方法既提高了充电效率,又避免电池由于过充而损坏,最后通过浮充方式使电池达到满充,可以提高电池的使用寿命,最大限度地利用了电池的容量。

1.4 充电电路总体框架

该系统包含两个主要部分,充电主电路和充电控制回路如图 2 所示。三相整流和全桥 DC-DC 变换器组成了充电主回路,控制回路主要由 DSP、扩展 RAM、IGBT 驱动保护电路、IGBT 温度监测电路、三相电流电压监控电路、蓄电池状态监测保护电路等构成。充电系统在工作时,控制回路对主电路进行检测与反馈控制,维持充电电压和电流处于合理范围内,实现对电池组的安全、快速和智能充电。

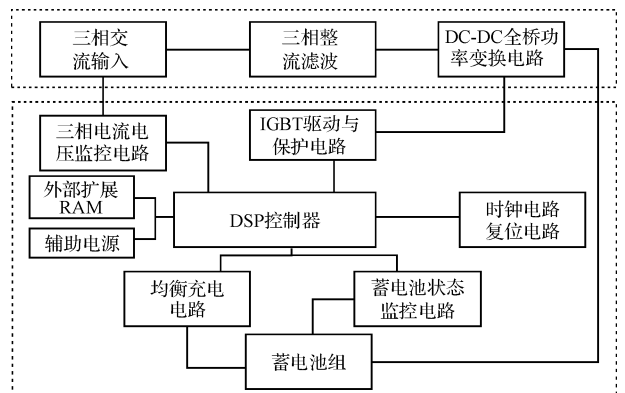


图 2 动力电池充电电路框图

2 充电主电路设计

电路输入为三相 220 V 交流市电,本研究采用单相桥式不控整流模块,将输入交流电转化为直流;其输出端的电容可以稳定直流母线电压,同时滤除高频干扰信号。采用这种整流模块可以在缩小变换器的体积同时得到更高的功率密度。DC-AC-DC 环节包括全桥逆变器和单相整流模块。本研究通过检测充电电流和充电电压进行电压和电流负反馈以控制 IGBT 开关的开通和关断,从而实现恒流和恒压的输出。最后输出的直流电经过 LC 滤波后为电池充电。

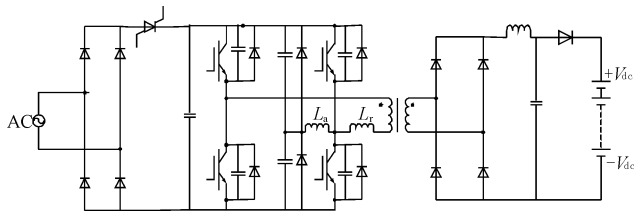


图3 动力电池充电主电路拓扑

该变换器由于采用了不控整流模块,比普通整流电路体积更小,集成度更高,而且功率密度较高。通过由全桥逆变器将整流输入的直流电逆变为交流电,经过变压器降压后由整流电路将交流电转换成动力电池所需的直流电,这样在得到所需的额定电压或电流的直流源的同时,还能保证滤除电网输入的或由开关器件产生的纹波(高频干扰信号),使供给电池的直流电较为理想。同时变压器使电网与电池之间实现电气隔离,充电过程更为安全可靠,供电质量也得到提高。又因为使用的功率开关较少,故控制容易实现,快速性较好,电压和电流的可调范围很宽,每个开关管承受的关断电压比一般的单管DC-DC变换电路小,这样有利于该电路应用于大功率场合。

3 控制策略

系统的充电控制由DSP2812芯片实现,包括对蓄电池的电流电压和温度采样进行分析和处理,输出控制信号,实时调整电路开关IGBT的占空比,控制充电电流大小,判断恒流充电转恒压充电的转换时刻等。控制的流程如图3所示。

充电开始时刻,先检测电池参数,若电池端电压低于给定最小值(电压过低),则进入涓流充电模式,并实时监测电池的端电压,直到电压达到给定值。当端电压等于或大于给定值时,标志着电池的剩余容量达到恒流充电的标准,立刻进入恒流充电模式。恒流充电阶段,DSP对

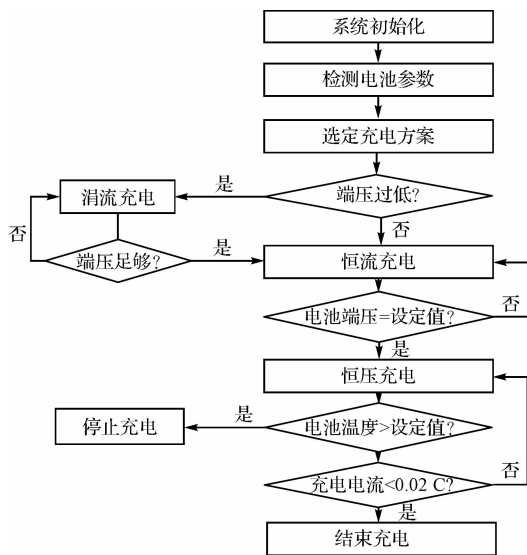


图3 动力电池充电控制框图

反馈的电压值与额定的最大充电电压进行比较,当检测到的电压到达额定最大值时,进入恒压充电模式,这样可以保证锂电池不过充,从而避免损坏电池。恒压充电阶段,本研究通过检测电池温度,保证充电安全,若温度过高,则停止充电。当充电电流小于0.02 C时,充电完成。

4 实验与分析

本研究对锂电池进行充电实验,电池标称容量15 Ah(1 C),标称电压3.2 V,充电最大电压3.65 V,放电终止电压2.0 V。以1.0 C(15 A)恒流充电至电池端压达到3.65 V,再恒压充电至充电电流小于0.02 C(0.3 A)为止。本研究分别通过示波器采集恒流充电波形,恒压充电阶段波形,测试装置保护功能,由波形软件WaveStar生成图像。充电过程中电池端压会有所升高,充电停止静置15 min后即回复原值。

本研究首先将锂电池放电至端压为2.2 V,先进行涓流充电,使端压上升至2.6 V,然后进行恒流充电。与其他充电方式相比,恒流充电的效率最高,而由于该过程中电池电压未超过最大电压,不存在过充的危险,较纯恒流充电方式更为安全。恒流充电过程中电压、电流波形如图4所示。

当电池端压达到3.65 V时,转入恒压充电,恒压充电时,电流线性下降,电压维持不变。通过这种方式可避免电池过充,充电效率也能得到保证,波形图如图5所示。

由恒压充电转换为涓流充电时刻的波形如图6所示,电流曲线下降,直到0.02 C时充电停止。这样可以保证电池满充,延长其使用寿命。

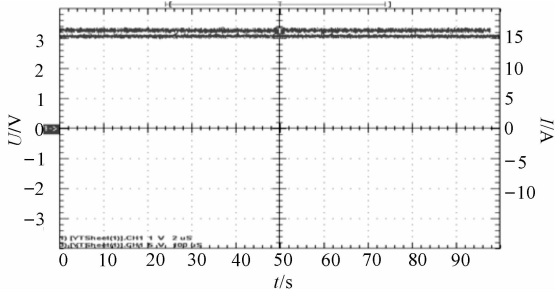


图 4 锂电池恒流充电电压与电流波形图

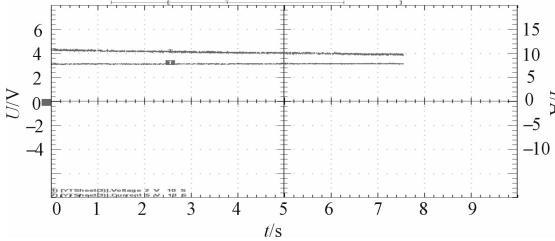


图 5 锂电池恒压充电电压与电流波形图

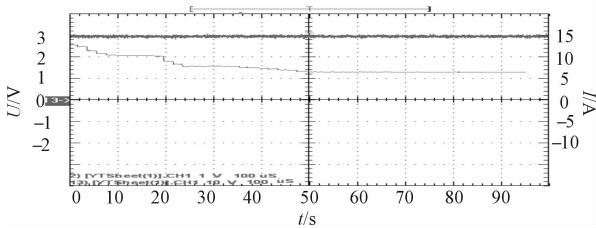


图 6 锂电池恒压转涓流瞬间电压与电流波形图

当电池端压高于给定时,系统经过延时,端压仍然高于给定值,则迅速进入保护,停止给电池充电,波形图如图 7 所示。

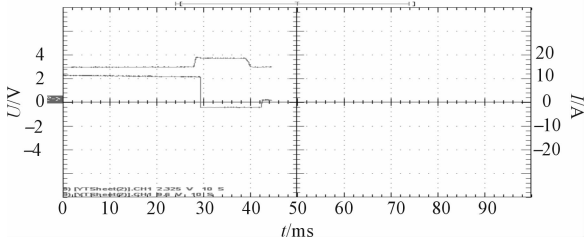


图 7 锂电池充电保护瞬时电压与电流波形图

本研究通过定时采样,获得锂电池电压电流充电特性曲线,如图 8 所示,其中纵轴为电压和电流,电压单位为 V/格,电流为 5 A/格,横轴为充电时间。其充电特性曲线基本符合理想的锂电池分段充电特性曲线,恒流充电阶段电压线性上升,恒压充电阶段电流线性下降,最后进入浮充阶段,电流降为 0.02 C(0.3 A)表示充电结束。据特性图可得,电压达到额定值的时间约为 30 min,达到满充状态也仅 80 min,远低于常规

充电方法,且经过浮充充电后,电池端电压稳定为额定值,充电质量理想,因而证明锂电池在较短的时间内获得了理想的充电效果。

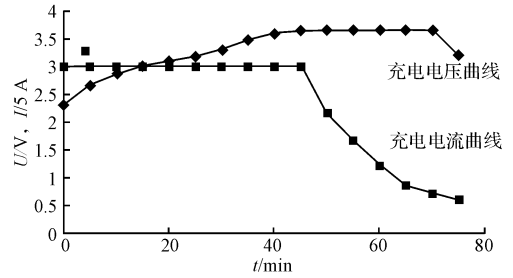


图 8 锂电池充电电压与电流特性图

本研究通过对比试验数据和其他充电方式的相关参数,可以得到如表 1 所示的充电方式特性对比结论。

表 1 充电方式特性对比

充电方式	充电时间	功率损耗	控制难度	充电质量	安全性	充电终止时刻
恒流充电方式	1 h	高	易	差	低	较难判断
恒压充电方式	大于 6 h	较高	易	好	高	充电电流小于 0.02 C
脉冲充电方式	2 h	低	难	较好	高	较难判断
分段充电方式	80 min	低	较易	好	高	充电电流小于 0.02 C

5 结束语

本研究通过对电动汽车电池的比较,选择磷酸铁锂电池作为充电对象。并在分析众多充电拓扑和充电方法的基础上,设计出一种快速可靠的分段充电策略:充电初期采用恒流充电以提高充电效率;当电池端电压达到了充电最大值时,转为恒压充电,从而避免过充;最后采用浮充充电使电池达到满充状态。本研究运用该充电策略,以 DSP 芯片作为控制电路核心,实时监测电池端电压和电流,通过运算比较反馈信号对功率变换器主电路进行控制,使其实现对电池的分段充电。实验表明:分段充电策略比恒流充电方式更为安全,不会过充;比恒压与浮充方式更为高效;比脉冲方式更易于控制,且可靠性更高。它可以实现对磷酸铁锂电池的高效安全充电,且充电质量理想,具有很好的应用前景。

(下转第 900 页)

- [3] 胡兴柳. 基于重复 - 模糊控制的逆变电源控制系统研究 [J]. 电力电子技术, 2009, 43(3): 57-59.
- [4] 王雪丹, 任继伟, 张晓曦. 复合控制算法在逆变器中的应用 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14(4): 99-102.
- [5] LI Ming-zhu, HE Zhong-yi, YAN Xing. Analysis and Design of Repetitive Controlled Inverter System with High Dynamic Performance [C]//IPEMC'06. Beijing: [s. n.], 2006: 1-5.
- [6] HARA S, YAMAMOTO Y. Stability of repetitive control systems [C]//Proceedings of IEEE 24th Conference on Decision and Control. Fort Lauderdale: [s. n.], 1985: 326-327.
- [7] ZHANG Kai, KANG Yong, XIONG Jian, et al. Direct repetitive control of SPWM inverter for UPS purpose [J]. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 2003, 18(3): 784-792.
- [8] BUSO S, FASOLO S. Uninterruptible power supply multi-loop control employing digital predictive voltage and current regulators [J]. **IEEE Transactions on Industrial Applications**, 2001, 37(6): 1846-1854.
- [9] BUSO S, MATAVELLI P. Digital Control in Power Electronics [M]. Morgan & Claypool Publishers, 2006.
- [10] 游志青. 基于重复控制技术的数字式逆变电源的研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学电气工程学院, 2003.
- [11] 张 凯, 康 勇, 熊 建, 等. 基于状态反馈控制和重复控制的逆变电源研究 [J]. 电力电子技术. 2000, 34(5): 9-11.
- [12] BUSO S, FASOLO S. Uninterruptible power supply multi-loop control employing digital predictive voltage and current regulators [J]. **IEEE Transactions on Industrial Applications**, 2001, 37(6): 1846-1854.
- [13] BODE G H, LOH P C, NEWMAN M J, et al. An Improved Robust Predictive Current Regulation Algorithm [C]//PEDS 2003. Singapore: [s. n.], 2003: 1058-1063.

[编辑: 李 辉]

(上接第 890 页)

参考文献 (References):

- [1] CHAN C C. The state of the art of electric and hybrid vehicles [J]. **IEEE**, 2002, 90(2): 1-29.
- [2] RIAZENMAN M J. Engineering the EV future [J]. **IEEE Spectrum**, 1998, 35(11): 18-20.
- [3] HORI Y. Future Vehicle Driven by Electricity and Control Research on Four Wheel Motored "UOT Electric March II" [C]//Proceedings of the IEEE Advanced Motion Control. Slovenia: [s. n.], 2002: 1-14.
- [4] 许锦旋, 苏成悦, 潘永雄. 充电器大功率变压器的设计 [J]. 通信电源技术, 2007, 24(2): 77-79.
- [5] FURLAN S. A Comparative Valuation of External Costs due to Transportation Electric VS Conventional Vehicles [C]//Proceedings of the EVS 17. Canada: [s. n.], 2000: 18-21.
- [6] 徐曼珍. 新型蓄电池原理与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [7] 文 锋, 姜久春, 张维戈. 电动汽车用锂离子电池组充电方法 [J]. 汽车工程, 2008, 30(9): 792-795.
- [8] 张 巍, 王 艳, 殷天明. 基于 DSP 的电动汽车电池管理系统的设计 [J]. 微计算机信息, 2009, 25(2): 238-239.
- [9] CHEN J J, YANG F C, LAI C C. A high-efficiency multi-mode li-Ion battery charger with variable current source and controlling previous-stage supply voltage [J]. **Industrial Electronics**, 2009, 56(7): 2469-2478.

[编辑: 李 辉]