

电动汽车非车载快速充电系统^①

刘寒冰, 张亚娟, 王照平

(黄河科技学院 信息工程学院, 郑州 450063)

摘要: 为了满足电动汽车快速充电需求, 设计了一款大功率非车载电动汽车充电系统. 系统采用较为先进数字控制技术、电力电子器件、控制部件、PWM 控制方法、参数与积分分离相结合的 PI 算法, 并附加各种控制、保护和通讯电路, 实现电动汽车的智能充电功能, 并达到了输出大电流、高电压的技术指标, 满足了电动汽车的快速充电要求, 对电动汽车的普及具有一定的推动作用.

关键词: 电动汽车; 大功率; 充电系统; PWM 控制方法; PI 算法

Non-Vehicular Fast Charger System for Electric Vehicles

LIU Han-Bing, ZHANG Ya-Juan, WANG Zhao-Ping

(Department of Computer Science, Huanghe Science & Technology College, Zhengzhou 450063, China)

Abstract: A high power non-vehicular charging system is designed in order to meet the demand of the electric vehicle fast charging. In this system, advanced digital control technology, electronics power switching and controlling technology, PWM control method and the PI algorithm combining parameter and integral separation are applied. And this system also concludes the components of various electric circuits of control, protection and communication to realize the intelligent charging function for electric vehicle. The experimental results indicate that the charging system can output high current and high voltage, so that it can meet the fast charging requirement of electric vehicle and play a key role in the popularity of electric vehicles.

Key words: electric vehicle; high power; charger system; PWM control method; proportional integral algorithm

随着我国电动汽车的快速推广应用, 全国各地也纷纷建立了电动汽车充电设施. 2009 年 11 月, 上海漕溪电动汽车充电站通过专家验收, 这是国内首座电动汽车充电站; 2009 年 12 月底, 深圳正式投入使用两座电动车充电站和 134 个充电桩; 2010 年 3 月, 唐山南湖电动车充电站也正式运营, 这是国家电网系统的第一座大型电动车充电站. 为适应电动汽车的快速发展, 2010 年以来, 从沿海到内地, 以北京和浙江为代表的将近 20 个省市也建立了电动汽车充电站. 随着 2013 年充电站市场政策放开, 国家电网逐渐开放充电站市场运营, 充电站市场将更加市场化^[1-4]. 一般情况下, 一个充电站主要由充电系统、供电系统、监控系统及其他辅助设施组成. 其中, 充电系统主要包括充电桩和充电机, 是充电站的核心部分^[5,6]. 通过对市场的调

研, 目前国内的电动汽车充电站主要以慢速充电为主, 这种状况显然和国内如火如荼的电动汽车市场不相符. 基于上述原因, 本文设计了一款大电流、高电压的大功率非车载电动汽车快速充电系统, 以满足当前电动汽车快速发展的需要.

1 系统工作原理

本系统主要有两部分构成: 非车载充电设备和充电监控系统. 系统与电动汽车的连接如图 1 所示.



图 1 充电装置与电动汽车的连接示意图

^① 基金项目: 郑州市科技局科技发展计划项目(20130671); 河南省基础与前沿技术研究计划项目(162300410193); 郑州市嵌入式系统应用技术重点实验室(121PYFZX177)

收稿时间: 2016-05-31; 收到修改稿时间: 2016-08-25 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005688]

非车载充电设备. 是指固定安装在电动汽车外, 为电动汽车动力电池提供直流电能的充电机和直流充电桩. 非车载充电设备直接输出直流电能给车载动力电池充电, 电动汽车只需提供通信及充电相关接口, 与交流充电设备相比, 它充电功率大, 充电时间较短. 充电时, 不要求电池完全充满, 只要满足续航需要就可以了, 要求充电 20 分钟至 30 分钟内, 使充电电池的电量达到 50%至 80%以上^[7].

充电监控系统: 嵌入在直流充电桩内, 是整个系统的控制核心, 具备对充电设备运行状态的综合测控和保护能力, 如运行状态监测、故障状态监测、充电计量和充电过程的联动控制、短路保护、过流保护等; 具备过/欠压报警、充电接口的连接状态判断等功能; 设置 IC 卡读写器, 支持 IC 卡付费方式, 并配置打印机, 提供票据打印功能; 提供完善的通讯功能, 可根据需要上传充电桩的运行状态参数, 接受远程控制命令.

2 系统设计

本系统中采用较为先进的电力电子功率开关器件、控制器件和先进的控制技术, 实现电动汽车快速、安全充电功能, 达到输出大电流、高电压的技术指标.

2.1 直流充电机设计

直流充电机是采用高频开关转换技术将从电网中输入的交流电能经过多重变换, 输出满足电池充电要求的直流能量^[8].

2.1.1 硬件设计

因为直流充电机充电功率大, 在充电过程中会产生高次谐波, 影响供电质量, 干扰同连接点的充电用户, 影响站内充电设备的正常运行, 严重时甚至会烧毁相关设备^[9,10]. 因此, 在直流充电机设计中要考虑谐波抑制.

本设计选择的充电机由高频隔离 DC/DC 变换器和 IGBT 组成的三相电压型 PWM 整流器共同组成, 其典型逻辑结构框图如图 2 所示.

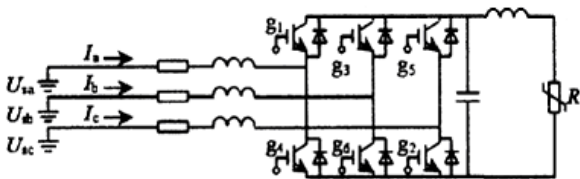


图 2 PWM 整流与 DC/DC 变换充电机逻辑结构图

这类 PWM 整流电路的交流侧电压与电流间相角几乎为零, 且电压电流和波形畸变较小. 因此, 采用 PWM 新式整流充电机, 可以减少电动汽车在充电过程中产生的谐波分量值, 有效提高电网运行电压稳定性和供电电能综合质量水平^[11].

图 3 给出了充电机充电模块的原理框图. 该模块主要由功率变换主电路、输入输出保护电路、采样与控制电路、均流和通信电路几个部分组成. 本节主要介绍功率变换主电路设计和控制电路的设计方案.

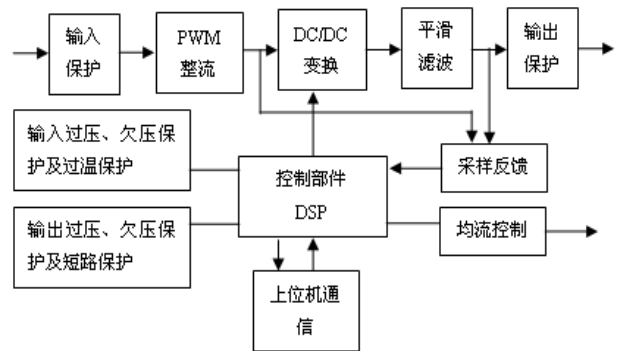


图 3 充电模块的原理框图

(1) 功率变换主电路设计

功率变换主电路设计采用文献[12]中的设计思想. 采用半桥 LLC 串联谐振电路, 如图 4 所示.

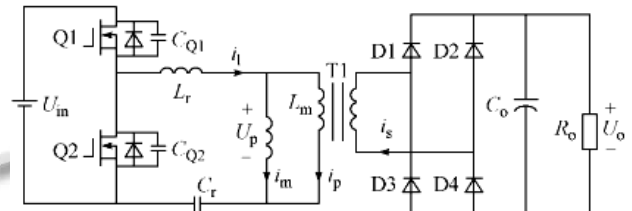


图 4 功率变换主电路图

图 4 中, U_{in} 为三相输入整流后的直流电压值, U_o 为充电模块输出直流电压, 输出整流二极管型号为 DESI60-10A. 该电路拓扑结构简单, 关断电流小, 变换效率高. 因此, LLC 串联谐振 DC/DC 变换器能获得很高的效率及良好的电磁兼容性能, 在直流充电机设计中得到广泛的应用.

(2) 控制电路设计

充电机充电模块的核心控制部件是 DSP, DSP 的工作原理是根据直流侧电流反馈、温度采样、电压反馈情况以及上位机给定的电压、电流, 计算产生功率

所需的 SVPWM 波形,同时根据外部控制信号以及内部和外部的异常信号产生相应的保护动作.为了实现充电控制和空间矢量运算,本设计中采用专为数字控制系统应用的 TMS320F28335 DSP 芯片.其内部具有两个事件管理器(EV),每个 EV 模块都含有极为简化的产生对称空间矢量 PWM 波形的内置硬件电路,以及内置的 A/D、RAM 等,从而外部电路非常简单^[13].具体电路如图 5 所示.

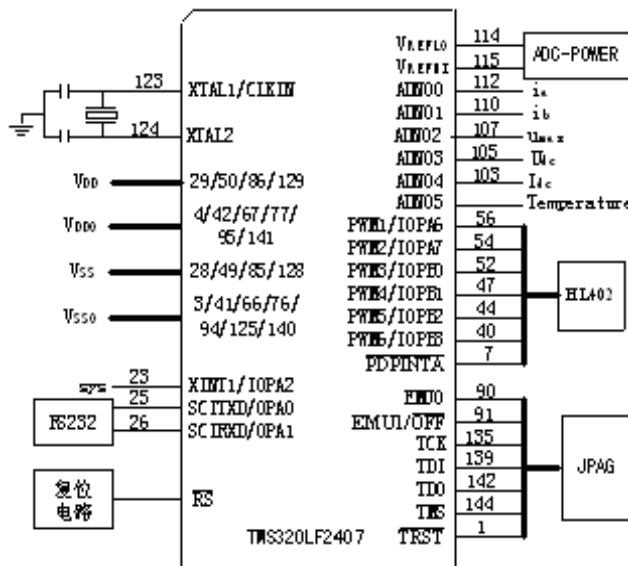


图 5 TMS320F28335 核心电路原理示意图

2.1.2 DSP 控制软件设计

DSP 控制软件采用模块化设计,软件模块结构图如图 6 所示.

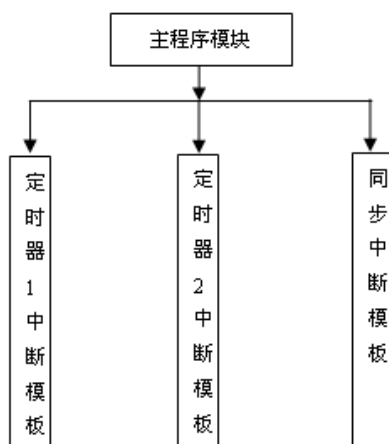


图 6 DSP 软件实现的结构图

主程序首先完成控制软件的初始化,然后调用和协调各子程序实现控制功能;定时器 1 下溢中断实现

各种运算和变换,产生功率所需的 SVPWM 波形;定时器 2 下溢中断实现数据的串行通信,将采集到的和计算得到的数据传送给直流充电桩,并接收直流充电桩传送给的控制参数;同步中断程序强制软件中的初始角度从零开始,逐步达到与输入电压同步.系统采取变参数与积分分离相结合的 PI 算法调节逆变桥的驱动脉宽.

传统数字 PI 调节器的数学模型为:

$$u(k) = k_p e(k) + k_i \sum_{j=0}^k e(j) \quad (1)$$

其增量表达式为:

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) \quad (2)$$

式(1)和式(2)中, $e(k)$ 为第 k 次采样时的偏差值, $e(k-1)$ 为第 $k-1$ 次采样时的偏差值, K_p 为比例系数, K_I 为积分系数.

传统的 PI 调节器,在控制过程中 K_p 和 K_I 为常数,不能实现蓄电池的分级恒流充电,因此,需要根据充电情况对 K_p 和 K_I 进行相应的调整,调整规则是:偏差 $e(k)$ 增大时,适当减小 K_p 值,以防止超调, $e(k)$ 减小时,要增大 K_p 值,以提高系统响应速度; K_I 主要是消除稳态误差, K_I 的值越大,误差消除能力越强但在易出现积分饱和及调节超调量增加的现象,为此,要求 K_I 在误差大时为零,以消除积分饱和现象.

根据上述变参数的控制规则,该系统采取变参数与积分分离相结合的 PI 算法调节逆变桥的驱动脉宽. PI 调节原理图如图 7 所示.

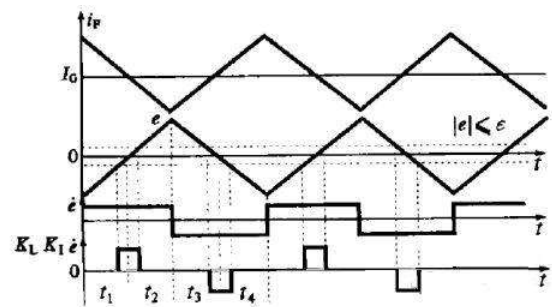


图 7 PI 调节原理图

其控制思想是根据充电电流误差 $e(k)$ 的正、负及上升、下降趋势,将反馈电流一个周期的波动分为 4 个区间: $0 \sim t_1$, $t_1 \sim t_2$, $t_2 \sim t_3$, $t_3 \sim t_4$. 控制过程中在不同的区间调用不同的 PI 参数,从而实现最佳 PI 调节.在此基础上又引进积分分离 PI 控制算法,既保持了积分作用,又减小了超调量,使得控制性能有较大的改善.

实现方法是：根据系统实际情况，人为设定一阈值 $\varepsilon > 0$ ；当 $|e(k)| > \varepsilon$ 时，去掉积分环节，当 $|e(k)| \leq \varepsilon$ 时，加入积分环节；在区间 1 和 3 中，系统输出在调节器的作用下向给定充电电流值接近；在区间 2 和 4 采用小比例调节系数 K_P ，以降低电流反馈值偏离给定值的速度。根据上述理论分析，推出控制量 $\Delta u(k)$ 的数学表达式为：

$$\Delta u(k) = \begin{cases} K_{P1}\dot{e}(k) + K_L K_I \sum_{j=0}^k e(j), & e(k) \dot{e}(k) > 0 \\ K_{P2}\dot{e}(k) + K_L K_I \sum_{j=0}^k e(j), & e(k) \dot{e}(k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$K_L = \begin{cases} 1 & |e(k)| < \varepsilon \\ 0 & |e(k)| \geq \varepsilon \end{cases} \quad (4)$$

变参数积分分离 PI 算法实现的程序流程图如图 8 所示。

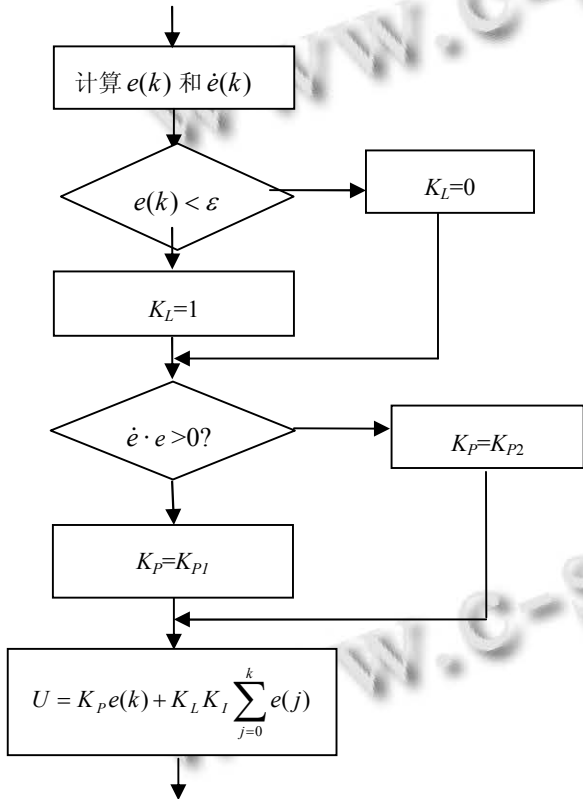


图 8 变参数积分分离 PI 算法程序流程图

2.2 直流充电桩设计

直流充电桩是充电机为电动汽车快速充电的辅助设备，提供充电接口、人机接口等功能，对电动汽车的充电进行控制。

2.2.1 硬件设计

硬件系统主要由主控板、监控板、触摸屏、IC 卡

读写器、直流电表、小型打印机、指示灯、内置小键盘等组成。硬件系统的结构图如图 9 所示。

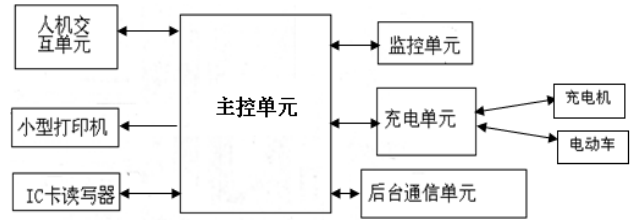


图 9 直流充电桩硬件系统结构图

人机交互单元主要由触摸屏、内置键盘、指示灯组成，主要是实现人机交互、信息显示的功能。

主控板是硬件系统核心部分，完成充电过程的运行和监控。为了实现智能充电功能，保证计量准确，采用 Atmel 公司的 ARM9 处理器作为主控制器。其主要功能特点是：具有 5 个串口，两个从 USB 接口，一个主 USB 接口，一个以太网接口，动态 SDRAM 控制器，NAND 控制器，以及多路 I/O 口，工业级的温度范围，完全符合本系统设计的要求^[14]。

充电单元主要由与直流充电机连接的进线开关、与电动汽车电池连接的充电输出接口，直流电表组成。充电输出接口采用防触电的电磁封锁装置，进线开关采用具有漏电保护功能的开关，直流电表采用单相电子式电能表，通过采用 RS-485 对电表进行数据传输。

监控单元是该系统的重要组成部分，负责实时监测充电桩的运行状态，一旦出现异常，能够及时切断电源，保护电动汽车电池、充电机及充电桩的安全。

通信单元主要实现与直流充电机及后台监控中心通信，传送充电控制参数给充电机、传送充电交易信息及直流充电桩的状态信息给监控中；接收充电机上传的数据和监控中心发出的控制指令。

2.2.2 监控软件系统设计

通过触摸屏实现交互式控制，监控系统的主要功能模块分为主控模块、IC 卡读写器模块、计量计费模块、打印模块、通讯模块和安全监控模块，监控系统功能模块图如图 10 所示。

主控模板是整个软件系统的核心部分，主要实现系统配置信息的加载和各子模块之间的通信。主控程序采用多线程实现与各模板的通信交互，完成用户信息采集、充电数据采集、流程控制、电量电费统计、安全监控和远程通信功能。人机交互模块根据主控模块发出的控制命令进行界面切换，并显示相应的实时数据信息，人机交互通过触摸屏实现^[15,16]。

整个监控系统主程序流程图如图 11 所示。

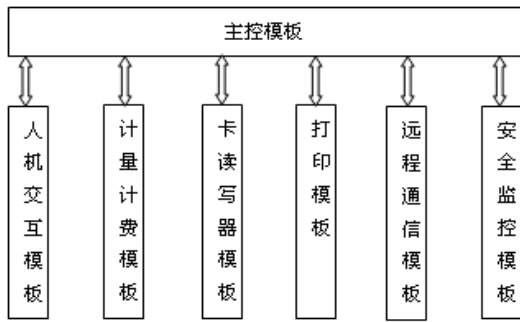


图 10 监控系统模块结构图

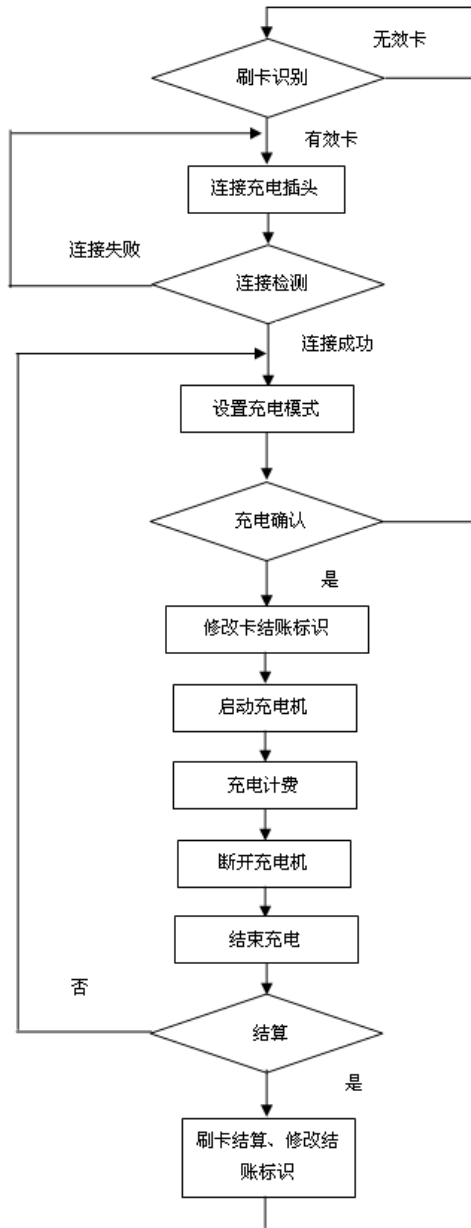


图 11 监控系统主程序流程图

当用户需要充电时，通过 IC 卡读卡器读卡激活充电桩，如果卡有效，充电桩显示屏将提示用户，将电动汽车与充电桩相连接准备充电，然后主控程序检测充电连接情况，如果连接不正常则提示报警。用户确定要充电，需要再次刷卡进行用户身份识别，识别完成后，用户可选择充电模式(按设定时间充，按设定电量充、按设定金额充、充满为止)，当充电模式选择后，系统向充电机发送启动指令，进行正常充电过程，在充电过程中，显示屏会显示当前用户卡信息和充电相关数据等有效信息，并管理输出接触器，实现对充电输出的控制。充电结束后，通过显示屏显示已充电信息，并用文本记录本次充电信息。再次刷卡进行充电结算，结算成功后向主机传递本次充电信息，用户可选择打印此次充电的相关信息及用户余额，用户离开后，充电桩自行锁定，等待下一用户激活充电。

3 系统测试

整个充电系统完成后，对系统进行了测试。经过测试，电动汽车充电系统运行状况良好，能够满足快速充电的要求，并且具备充电过程实时监测功能，充电过程中发现异常，能够及时切断电源，保护电动汽车电池及充电设备的安全。主要测试界面如图 12 所示。



图 12 测试结果

4 结语

根据电动汽车充电系统技术规范,研制了一种安全、实用的电动汽车快速充电系统。运行结果表明,该系统操作简单、运行可靠,能对电动汽车进行快速充电,并具有安全检测功能,具备较强的电网适应能力,达到了电网绿色充电标准,具有一定的推广价值。

参考文献

- 1 江秀道.电动汽车智能充电系统研究[硕士学位论文].南昌:南昌大学,2011.
- 2 鲁莽,周小兵,张维.国内外电动汽车充电设施发展状况研究.华中电力,2010,23(5):16-20.
- 3 赵瑞.电动汽车交流充电桩的设计与研究[硕士学位论文].苏州大学,2013.
- 4 申燕.电动汽车充电站市场:探索发展中的竞争新格局.中国科技投资,2015,(1):69-71.
- 5 周逢权,连湛伟,王晓雷,等.电动汽车充电站运营模式探析.电力系统保护与控制,2010,38(21):63-66.
- 6 陈良亮,张蓓蓓,周斌,等.电动汽车非车载充电机充电模块的研制.电力系统自动化,2011,35(7): 81-85.
- 7 我国电动汽车充电桩市场发展情况.百度文库,2012-7-19.
- 8 丁心志,毕志周,曹敏,等.电动汽车非车载充电机技术分析与试验研究.电测与仪表,2012,49(4):14-17.
- 9 王晓毛.电动汽车充电站谐波影响分析和控制.广东电力,2011,24(12):54-57.
- 10 马玲玲,杨军,付聪,等.电动汽车充放电对电网影响研究综述.电力系统保护与控制,2013,41(3):140-148.
- 11 黄望军,曾志刚.电动汽车充电对电网的影响及智能充电装置研究.制造业自动化,2012,34(1):99-102.
- 12 陈良亮,张蓓蓓,周斌,等.电动汽车非车载充电机充电模块的研制.电力系统自动化,2011,35(7):81-85.
- 13 徐丽华,郭世明.基于 DSP 的机车蓄电池充电系统的研究.电源世界,2005,(5):62-64.
- 14 王涛,张东华,贺智轶,等.电动汽车充电桩的控制系统研究与设计.湖北电力,2011,(1):11-12.
- 15 孟祥军,梁涛,王兴光.电动汽车智能充电桩的设计与实现.信息技术与信息化,2011,(6):58-61.
- 16 王旭,齐向东.电动汽车智能充电桩的设计与研究.机电工程,2014,31(3):393-396.