

DOI:10.15923/j.cnki.cn22-1382/t.2018.4.07

电动汽车车载充电机的研究与设计

王 虎, 高桂芬

(上汽通用五菱汽车股份有限公司 技术中心, 广西 柳州 545007)

摘 要: 分析了应用于电动汽车的车载充电机系统结构, 制作了 2 kW 车载充电机样机。试验结果表明, 基于 BOOST 电路的有源校正功率因数达到了 0.987 9, 充电恒流、恒压、恒功率指标满足要求。

关键词: 车载充电机; 有源功率因数校正; LLC 串联谐振全桥

中图分类号: TM 921 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1374(2018)04-0356-06

The research and design on the on-board charger of electric vehicles

WANG Hu, GAO Guifen

(SAIC-GM-Wuling Automobile Co., Ltd. Technology Center, Liuzhou 545007, China)

Abstract: A kind of on-board charger structure for electric vehicle is analyzed first, and then a 2kW on-board charger is designed. The test results show that the active power correction factor is 0.987 9 based on BOOST circuit. The charging indexes such as constant current, constant voltage and constant power meets the needs.

Key words: on-board charger; Active Power Factor Correction (APFC); LLC series resonant full bridge.

0 引 言

随着社会的发展与科技的进步, 机动车辆数量急速上升, 人类对能源的需求也越来越大, 而石油、天然气等非可再生资源随着持续消耗日益呈现短缺, 同时带来了环境污染、生态破坏等严峻问题, 这一矛盾促使发展新型、洁净、可再生能源成为必然趋势。电动汽车以零污染、能源利用率高,

以及夜晚充电有助于平复电网峰谷差、减少谷电浪费等优点成为了新能源汽车发展的主流。

充电机是将交流市电转换为电动汽车动力电池需求电能的关键设备, 根据位置不同可分为非车载充电机与车载充电机, 非车载充电机一般安装在充电站等固定位置, 可对多种动力电池充电, 但限制了电动汽车的活动范围, 不具有便利性; 车载充电机安装在电动汽车上, 匹配动力电池, 具有

收稿日期: 2018-05-20

作者简介: 王 虎(1982—), 男, 汉族, 河南周口人, 上汽通用五菱汽车股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事新能源电动汽车方向研究, E-mail: henry_wang2010@163.com.

针对性与高效性,只要有 220 V 交流市电插座即可充电,大大提高了充电便利性,因此市场应用更为广泛^[1]。

文中提供了一种车载充电机的设计方案,给出了系统硬件结构,阐明了工作原理与控制方式,并进行了相应试验测试。

1 车载充电机系统结构设计

车载充电机系统结构应用最广泛的是前后两级功率架构,即前级 AC/DC 整流校正模块,后级 DC/DC 隔离调压模块。根据前级是否进行功率因数校正(PFC)可将车载充电机分为两种:

1) 不进行功率因数校正的结构,将电网的交流电经过整流电路与滤波稳压电路后转变为直流电,再经过 DC/DC 隔离变换器转换为将电能转换成可以对蓄电池进行充电的电能。这种结构因

功率因数无保证,使用时无功功率较大,如果整机功率设计较大势必对电网有较大污染,甚至造成不稳定影响。因此,该结构多用于低成本、低功率、小型化的充电机,通常适用于铅酸电池的充电^[2]。

2) 结构在整流电路模块加入功率因数校正(PFC)电路,其可提高输入的功率因数并抑制高次谐波,再经过第二级为 DC/DC 变换器,将电能变换为可以对蓄电池进行充电的电能。这种结构对电网污染小,能实现低谐波和高功率因数的需求,满足安全要求,一般体积会较大,成本较高,通常应用于高功率大容量的充电系统^[3]。电动车车载充电机是直接接电网大功率的电力电子设备,对电网质量的影响及电气安全隔离问题需要重点考虑,因此,文中设计采用第二种结构,系统结构如图 1 所示。

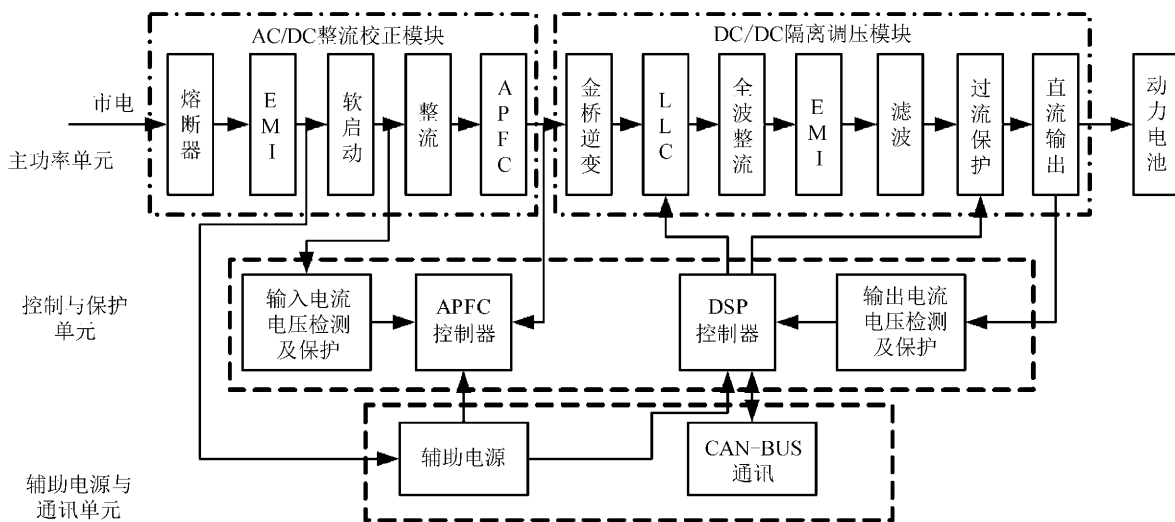


图 1 车载充电机系统结构图

2 车载充电机硬件电路设计

2.1 主功率电路设计

2.1.1 AC/DC 整流校正模块设计

AC/DC 整流模块主要包括以下几个部分:

1) 输入过流保护熔断器。用于防止充电输入电流过大损害后级电路。

2) 电磁干扰(EMI)抑制电路。用于防止充电机与电网之间的谐波相互影响,主要由 X 电容、Y 电容和共模电感组成。

3) 软启动电路。用于防止由自启动和雷电浪涌通过电压、过电流损害后级电路。

4) 整流电路。用于将交流市电转变正弦半波直流电,主要由整流二极管组成。

5) 基于 BOOST 电路的有源功率因数校正(APFC)电路。用于直流升压与电压电流相位差调整,主要由电感、开关管、二极管及电容组成。

交流市电经过以上电路为后级 DC/DC 隔离电路提供稳定可靠的直流电^[4]。

该部分电路中有源功率因数校正(APFC)电路为主要设计难点,BOOST 电路可将电压升高,降低同功率下的电流,从而降低电路损耗与发热量^[5]。通过计算输出电压、输入电流采样值相位

偏差控制开关的驱动脉冲信号,使输入的正弦半波电流与电压相位相同,从而降低对电网造成的无功功率损耗。升压电感可作为滤波器抑制干扰噪声,还可防止电网浪涌电流的高频瞬态冲击^[6]。

电路原理如图 2 所示。

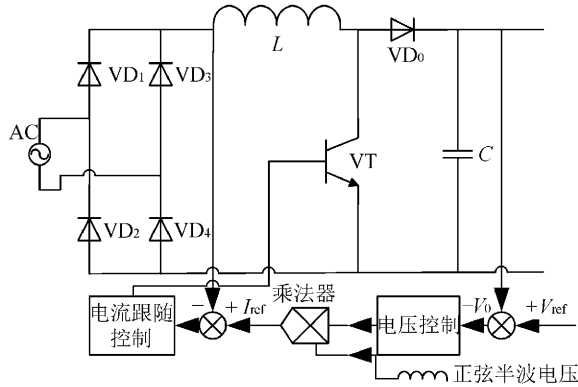


图 2 基于 BOOST 电路 APFC 电路图

2.1.2 DC/DC 隔离调压模块设计

DC/DC 隔离调压模块的作用有两条,一是实现输入输出电气隔离;二是调节直流电压到动力

电池需求的电压。全桥拓扑兼具较高的功率密度和功率传输能力,因而被广泛采用为 DC/DC 变换器拓扑,DC/DC 变换器的运行效率对车载充电机总体效率起着决定性作用,因此控制变换器开关器件运行在软开关状态以降低开关损耗,是保证车载充电机总体效率的关键。

移相全桥直流变换器和 LLC 串联谐振全桥 DC/DC 变换器是目前最常见的 DC/DC 变换器全球拓扑。前者有宽输入/宽输出范围、低输出纹波等优点,但存在轻载时难于实现滞后桥臂零电压开关(ZVS)、副边整流二极管存在反向恢复等问题^[7];后者有高效率、全负载范围实现 ZVS 软开关等优点,但存在谐振电感变压器设计较难、难实现宽输入和宽输出范围等问题。鉴于电动汽车动力电池组充电的特殊应用需求,LLC 串联谐振全桥 DC/DC 变换器能更好地实现在恒流—恒压(CC—CV)宽负载范围内的高效运行,是文中选择的设计方案。

LLC 串联谐振全桥 DC/DC 变换器电路如图 3 所示。

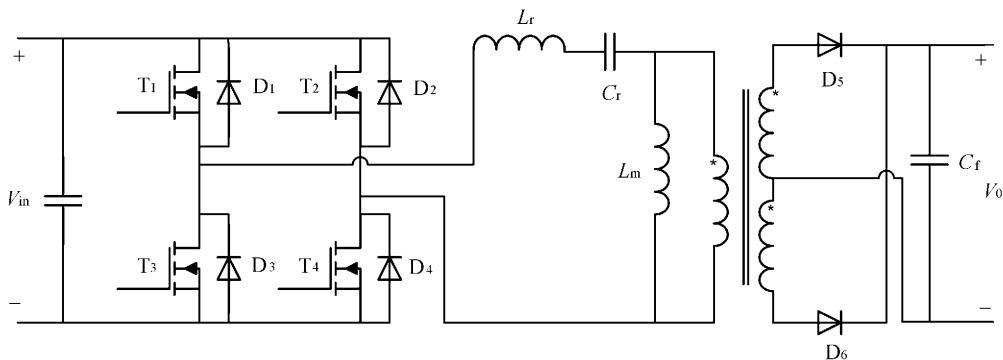


图 3 LLC 串联谐振全桥 DC/DC 变换器电路图

MOS 管 $T_1 \sim T_4$ 构成全桥逆变电路,工作时分为两组, T_1 、 T_4 为一组, T_2 、 T_3 为一组,每组为同一驱动信号,两组驱动信号相反,即一组导通时,另一组关断,在切换过程驱动信号之间保留一定死区,所以驱动信号占空比小于但接近 50%。 $D_1 \sim D_4$ 为 MOS 管的寄生二极管, L_r 谐振电感、 C_r 谐振电容、 L_m 激磁电感与二次侧反射过来的负载共同组成串联谐振网络, D_5 、 D_6 构成全波整流电路, C_f 为滤波电容^[8]。

2.2 控制与保护电路设计

控制与保护电路主要包括信号采集、逻辑运算、驱动输出三部分,对采集电路相关位置的电流

与电压信号,按照设定的逻辑运算,输出对相应开关管与继电器的驱动信号,实现对动力电池进行高效、智能的充电与保护控制。由于该部分电路较为简单,文中不再对此进行赘述。

2.3 辅助电源与通讯电路设计

辅助电源电路为车载充电机内部低压电路如控制芯片、通讯结构等提供低压电源,包括 24、12、5、3.3、1.8 V 等多种电压值供电电源,是将 220 V 交流电转化为低电压的低功率整理调压电路。车载充电机需求的低压电源是从 220 V 交流电转换,而不是从整车 12 V 低压蓄电池转换,这样设计符合车载充电机只有在充电时才工作的工

况需求, 避免了对整车静态电流与 CAN 总线负荷率的负面影响。

CAN-BUS 通信主要是车载充电机与电池管理系统(BMS)及整车控制单元(VCU)之间的通信, 实现对充电操作上下电逻辑执行及对 BMS

电池特性进行实时监测, 从而选择最优的电池充电曲线, 实现对电池进行高效快速充电。CAN 通讯接口电路也是比较成熟通用型电路, 详细电路如图 4 所示。

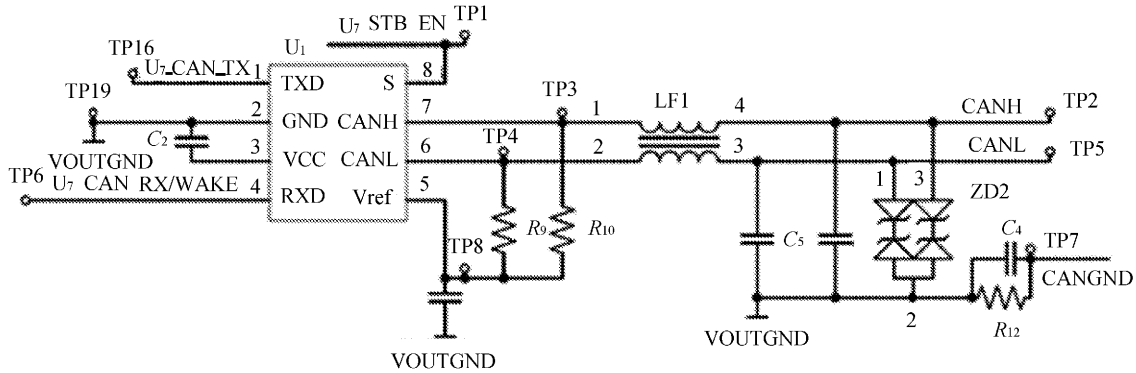


图 4 CAN 通讯接口电路

3 车载充电机控制系统

3.1 车载充电机充电控制方式

为了提高动力电池的循环使用寿命与电池组的充电效率, 充电方式必须符合动力电池的充电特性, 其中恒功率—恒流—恒压方式充电策略应用最为广泛, 即充电机工作时以额定功率或不超过额定功率工作, 充电前期输出电压高出负载动力电池固定压差, 从而保持恒流充电, 充电后期输出电压随着负载动力电池电压上升达到上限值后不再上升, 维持恒定电压输出, 即恒压模式, 而动力电池作为充电机的负载也逐渐由满载拉载变为空载, 充电电流同步下降, 直至充电结束。此外, 当充电机输出电压达到限值前如果功率达到了额定功率值, 充电电流也要下降, 以保证电压能继续上升及功率恒定。

3.2 基于 BOOST 电路的 PFC 控制流程

PFC 控制程序如图 5 所示。

3.3 LLC 串联谐振控制方式

谐振 LLC 电路采用变频控制来实现谐振参数增益的变化, 进而改变输出范围, 为实现谐振 LLC 宽输入/输出范围, 采用的控制策略是结合调频调宽调制(PFM+PWM), 在高电压输出下谐振变频工作, 当输出电压降低和开关频率到达最高限制频率的时候, 转换为调宽 PWM 工作完成低电压输出目的。

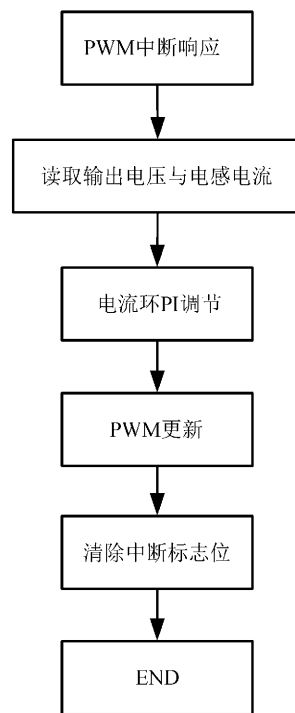


图 5 PFC 控制程序流程图

4 样机试验测试

根据上述设计方案制作出一台 2 kW 车载充电机样机, 进行台架测试功率因数。国标 QC/T 895 要求车载充电机功率因数不得低于 0.92, 样机测试结果为 0.987 9, 满足国标要求。

功率因数测试如图 6 所示。

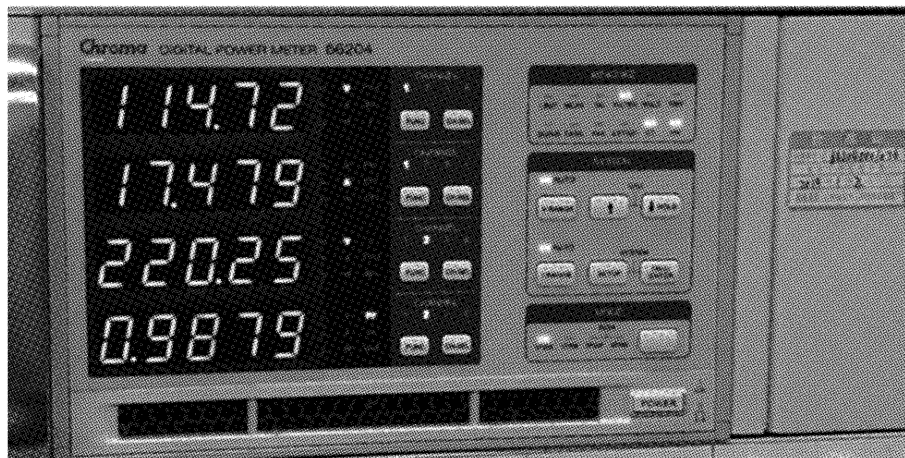


图 6 功率因数测试

装配实车上对某型号动力电池进行充电全程测试(SOC20%~SOC100%),测试结果表明,充电过程中是恒功率工作,输出电压随着动力电池SOC与电压的上升同步上升,输出电流在一定的压差下保持恒流。充电机输出功率在进入后期的涓流充电前一直都是满功率充电,即以额定功率

2 kW 进行充电,随着输出电压的上升,输出电流反比下降。为保护动力电池避免过充损坏,后期进入涓流充电阶段,充电效率与充电电流受限降低。试验记录数据如图 7~图 9 所示(为了便于分析,图中功率单位为 0.1 kW)。

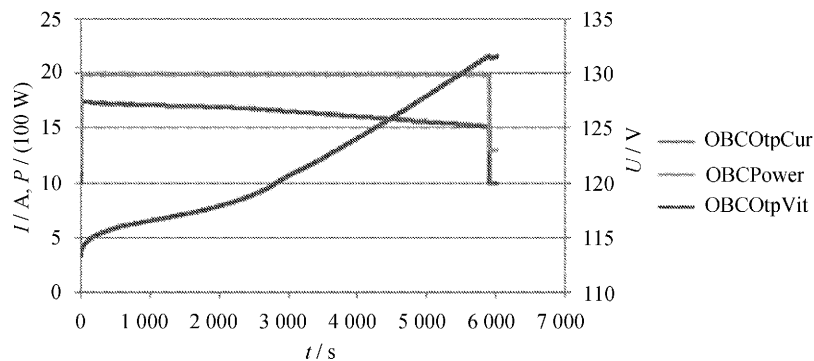


图 7 充电全程记录图

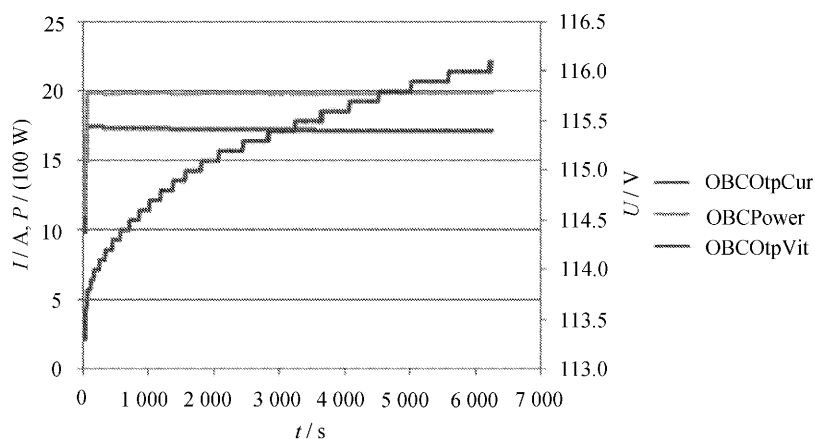


图 8 充电前期记录图

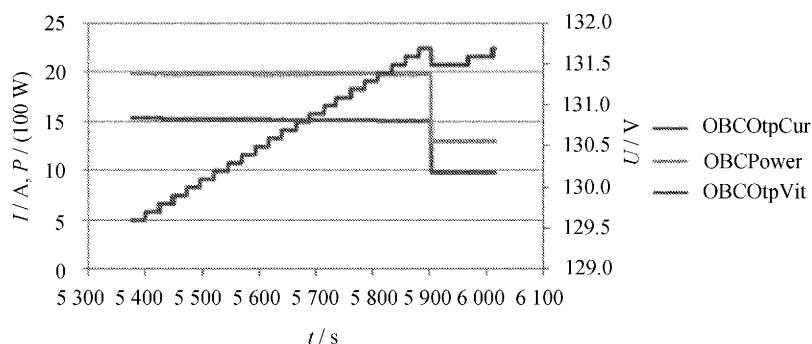


图9 充电后期记录图

5 结 语

提出了一种电动汽车车载充电机的设计方案,详细介绍了基于BOOST型有源功率因数校正电路的设计与LLC串联谐振全桥DC/DC变换器主电路的设计,对控制电路与控制方案进行了阐述,并按照本方案制作了1台2kW样机。对实验样机进行实车充电全程测试,测试结果与预期相符,证明车载充电机的设计方案合理可行,可以满足市场需求。

文中设计方案仅用于制作了一台2kW车载充电机,对于6.6kW等市场需求量大的高功率车载充电机没有进行试验制作,大功率车载充电机对电子元器件、功率元器件的选型上会有所不同,对热平衡的实现也会更困难,还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 张军,杨瑞.电动汽车车载充电机的研究及设计[J].电子设计工程,2016,24(20):133-136.
- [2] 李红梅,张恒果,崔超.车载充电PWM软开关DC-DC变换器研究综述[J].电工技术学报,2017,32(24):59-70.
- [3] 邱慧,蔡群英.车载充电机拓扑结构对比[J].电子技术与软件工程,2017(8):244-245.
- [4] 刘红丽,马正来,聂鹏.4kW电动汽车车载充电机的研究与实现[J].电气传动,2017,47(2):20-23.
- [5] 范佳春,付虹,刘洪柳.功率因数校正技术仿真研究[J].长春工业大学学报,2016,37(2):145-149.
- [6] 赵子睿,王艳,刘湘.基于boost电路的车载充电机系统设计[J].电子设计工程,2017,25(2):101-104.
- [7] 王志惠.基于可变直流母线电压车载充电机的研究与实现[J].电力电子技术,2016,50(11):88-90.
- [8] 官力.LLC串联谐振全桥DC/DC变换器的研究[D].武汉:华中科技大学,2006.