

一机双充 120 kW 电动汽车直流充电机研究

吴伟亮^{1,2}, 封阿明¹, 刘竞^{1,2}, 胡静^{1,2}

(1. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106;

2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要: 电池储能作为动力的电动汽车成为一种新型绿色清洁能源的交通工具。为此介绍 120 kW 电动汽车充电机的系统结构, 具有两路独立的 PWM 整流器和 Buck 变换器, 可以单枪充电, 也可以双枪充电, 提高了充电机的使用率, 能够输出较宽范围的直流电压, 满足电池工作电压。Matlab 仿真和实验结果验证了该充电机能够有效地进行恒流恒压充电。该电动汽车充电机已成功应用于工程项目。

关键词: 一机双充; 电动汽车; PWM 整流器; Buck 变换器

中图分类号: TM910 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd19538

Research on a 120 kW Electric Vehicle DC Charger with Two Charging Guns

WU Weiliang^{1,2}, FENG Aming¹, LIU Jing^{1,2}, HU Jing^{1,2}

(1. NARI Group (State Grid Electric Power Research Institute) Co., Ltd., Nanjing 211106,

Jiangsu, China; 2. NARI Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, Jiangsu, China)

Abstract: Electric vehicle powered by battery is becoming a new green and clean energy vehicle. So the system structure of 120 kW electric vehicle DC charger was introduced. The charger had two independent PWM rectifiers and Buck converters, it could be charged by single gun or two guns, for improving its utilization rate. It could export a wide range of DC voltage to meet the operating voltage of electric vehicle battery. Matlab simulation and experimental results verify that the charger can be efficiently charged by means of constant current or constant voltage mode. The electric vehicle DC charger has been successfully applied to engineering projects.

Key words: a charger with two charging guns; electric vehicle; pulse width modulation rectifier; Buck converter

针对能源短缺、环境污染等问题日益突出, 十九大报告重点提出发展绿色金融, 壮大节能环保、清洁生产、清洁能源产业, 构建清洁低碳、安全高效的能源体系。电池储能作为动力的电动汽车具有低排放、高效节能等优点, 成为节能环保汽车发展的重点方向^[1-3], 而电动汽车充电设施是保障电动汽车发展的关键配置。直流充电机可以将交流电变换为直流电给电动汽车电池充电^[4-10]。

本文设计的一机双充 120 kW 电动汽车充电机具有两路独立的 PWM 整流器和 Buck 变换器, 单枪充电可以输出 120 kW 充电, 双枪充电每路可以输出 60 kW, 提高了充电机的使用率, 能够输出较宽范围的直流电压满足电池工作电压。

1 主回路拓扑结构

图 1 为 120 kW 电动汽车充电机的主回路结构, 包括输入断路器、输入变压器、LC 滤波电路、直流预充电电路、PWM 整流器、直流放电电路、Buck 变换器、输出电抗器、输出电容、防反二极管、直流继电器、直流漏电流检测电路、EMI 滤波器等。

120 kW 电动汽车充电机系统设计参数为: 输入额定电压 380 V, 输入额定电流 183 A, 直流母线电压 700 V, 输出电压范围 0~500 V, 输出电流最大 240 A。

输入断路器为 AC380 V/250 A, 输入变压器为 120 kV·A/380 V/380 V/380 V (Dyn11yn11), 交

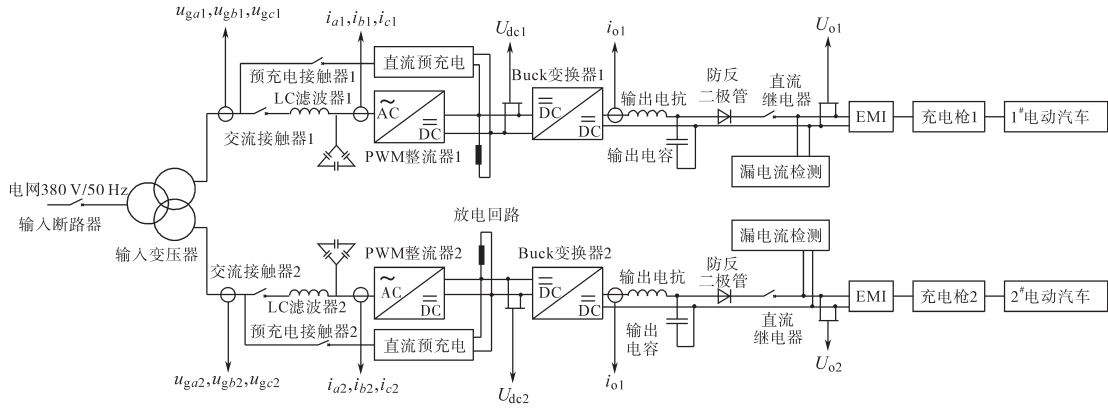


图1 120 kW 电动汽车充电机的主回路结构

Fig.1 The main circuit structure diagram of 120 kW electric vehicle charger

流滤波电感 200 $\mu\text{H}/185\text{ A}$,交流滤波电容 $3 \times 55.7\ \mu\text{F}$,直流放电电阻 $50\ \Omega/200\ \text{W}$,输出电抗器 $2\ \text{mH}/250\ \text{A}$,输出电容 $4.2\ \text{mF}/1\ 100\ \text{V}$,直流继电器 $300\ \text{A}/400\ \text{V}$ 。

图1中 $u_{ga1}, u_{gb1}, u_{gc1}$ 和 $u_{ga2}, u_{gb2}, u_{gc2}$ 分别为 PWM 整流器 1 和 2 回路输入三相电网电压; i_{a1}, i_{b1}, i_{c1} 和 i_{a2}, i_{b2}, i_{c2} 分别为 PWM 整流器 1 和 2 的输入三相电流; U_{dc1} 和 U_{dc2} 分别为 PWM 整流器 1 和 2 回路直流母线电压; i_{o1} 和 i_{o2} 分别为 Buck 变换器 1 和 2 的输出电流, U_{o1} 和 U_{o2} 分别为 1 和 2 回路直流输出电压。

2 控制策略

2.1 PWM 整流器控制策略

PWM 整流器用于控制直流母线电压,主要采用锁相环技术将电网电压矢量定向到 $d-q$ 旋转坐标系的 d 轴上。图2为电网电压锁相环控制及三相输入电流 Park 变换控制。

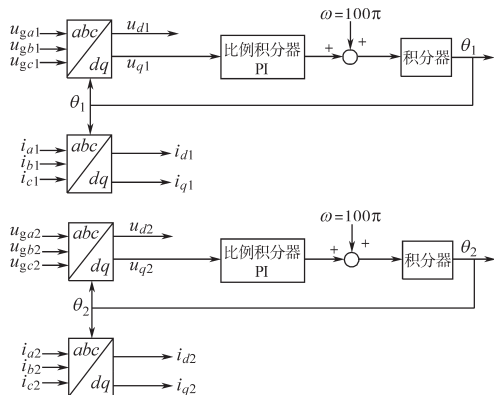


图2 电网电压锁相环控制与三相输入电流 Park 变换控制

Fig.2 Voltage phase locked loop control in power grid and Park conversion control of three phase input current

根据 PWM 整流器数学模型推导出实际的控制电压如下式所示:

$$\begin{cases} v_{d1} = -\frac{k_i(\tau_i s + 1)}{\tau_i s} (i_{d1}^* - i_{d1}) + \omega L i_{q1} + u_{d1} \\ v_{q1} = -\frac{k_i(\tau_i s + 1)}{\tau_i s} (i_{q1}^* - i_{q1}) - \omega L i_{d1} + u_{q1} \\ v_{d2} = -\frac{k_i(\tau_i s + 1)}{\tau_i s} (i_{d2}^* - i_{d2}) + \omega L i_{q2} + u_{d2} \\ v_{q2} = -\frac{k_i(\tau_i s + 1)}{\tau_i s} (i_{q2}^* - i_{q2}) - \omega L i_{d2} + u_{q2} \end{cases} \quad (1)$$

式中: v_{d1}, v_{q1} 和 v_{d2}, v_{q2} 分别为 PWM 整流器 1 和 2 回路的控制电压 d, q 轴分量; i_{d1}, i_{q1} 和 i_{d2}, i_{q2} 分别为 PWM 整流器 1 和 2 回路输入三相电流的 d, q 轴分量; i_{d1}^*, i_{q1}^* 和 i_{d2}^*, i_{q2}^* 分别为 PWM 整流器 1 和 2 回路输入三相电流的 d, q 分量参考值; u_{d1}, u_{q1} 和 u_{d2}, u_{q2} 分别为 PWM 整流器 1 和 2 回路输入三相电网电压的 d, q 轴分量; ω 为 $314\ \text{rad/s}$; k_i, τ_i 为 PI (Proportion Integral) 调节器参数; L 为输入滤波电感。

两路 PWM 整流器通过三绕组变压器隔离,因此相互独立运行, $d-q$ 同步坐标系中的双闭环 PI 控制系统原理图如图3所示。

两路独立的 PWM 整流器直流电压经过外环 PI 调节器后输出 i_{d1}^*, i_{d2}^* , 作为交流电流 d 轴分量参考值, 而交流电流 q 轴分量参考值 i_{q1}^*, i_{q2}^* 设为 0。 i_{d1}^*, i_{q1}^* 和 i_{d2}^*, i_{q2}^* 分别与实际采样电流 i_{a1}, i_{b1}, i_{c1} 和 i_{a2}, i_{b2}, i_{c2} 坐标变换得到的 i_{d1}, i_{q1} 和 i_{d2}, i_{q2} 一同输入到内环 PI 调节器中, 内环 PI 调节器的输出量加上解耦量、电网电压前馈量构成控制电压 u_{d1}, u_{q1} 和 u_{d2}, u_{q2} , 再经过 SVPWM 调制后驱动 PWM 整流器正常工作。

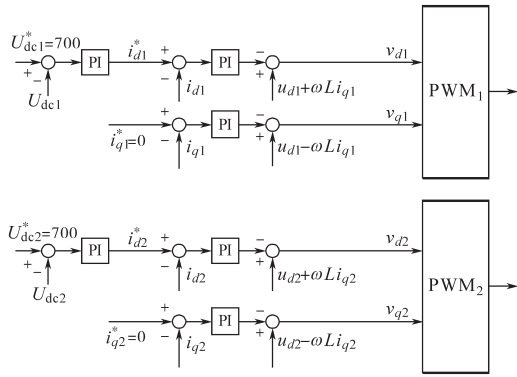


图3 PWM整流器双闭环控制原理图
Fig.3 Schematic diagram of PWM rectifier with double closed loop control

2.2 Buck变换器控制策略

Buck变换器用于将直流母线电压 U_{dc} 降压为输出平均电压 U_o , 以满足超级电容工作电压范围。 U_o 与 U_{dc} 之间的关系如下式所示:

$$U_o = \frac{t_{on}}{T_s} U_{dc} = D U_{dc} \quad (2)$$

式中: t_{on} 为 Buck 变换器中功率开关管工作周期内导通时间; T_s 为功率开关管工作周期; D 为功率开关管导通占空比。

可以通过改变占空比 $D(0 \leq D \leq 1)$ 来控制输出平均电压 U_o , 实现方式为控制输出占空比信号与三角载波作比较, 得到驱动信号触发功率开关器件导通与关断。

Buck 变换器给电动汽车电池充电有恒流充电和恒压充电 2 种方式, 其控制原理图如图 4 所示。

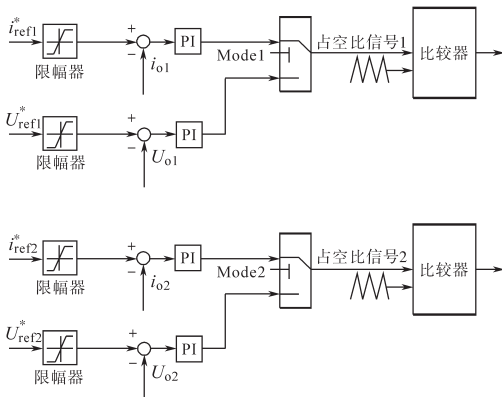


图4 Buck变换器充电控制原理图
Fig.4 Schematic diagram of Buck converter with charging control

图4中 i_{ref1}^* 为1#电动汽车电池管理系统(BMS)发送的充电电流需求值, U_{ref1}^* 为1#电动汽车BMS发送的充电电压需求值, Mode1 为1#电动汽车BMS发送的充电方式, i_{ref2}^* 为2#电动汽车BMS发送的充

电电流需求值, U_{ref2}^* 为2#电动汽车BMS发送的充电电压需求值, Mode2 为2#电动汽车BMS发送的充电方式。

当只有1#电动汽车充电, 且 Mode1 为 0 时, 则充电机 1 回路按照 $\min(i_{ref1}^*, 240 \text{ A})$ 恒流充电, 当 Mode1 为 1 时, 充电机 1 回路按照 $\min(U_{ref1}^*, 500 \text{ V})$ 恒压充电。

当1#和2#电动汽车同时充电, Mode1 为 0 时, 充电机 1 回路按照 $\min(i_{ref1}^*, 120 \text{ A})$ 恒流充电, Mode1 为 1 时, 充电机 1 回路按照 $\min(U_{ref1}^*, 500 \text{ V})$ 恒压充电。 Mode2 为 0 时, 充电机 2 回路按照 $\min(i_{ref2}^*, 120 \text{ A})$ 恒流充电, Mode2 为 1 时, 充电机 2 回路按照 $\min(U_{ref2}^*, 500 \text{ V})$ 恒压充电。

3 仿真结果与分析

在 Matlab 环境中搭建了一机双充 120 kW 电动汽车充电机带电阻负载的仿真模型。 AC/DC 系统参数为: 交流输入电压 380 V, 开关频率 2.9 kHz, 滤波电感 200 μH , 滤波电容 $3 \times 55.7 \mu\text{F}$ 。 DC/DC 系统参数为直流输入电压 700 V, 直流输出电压 0~500 V, 直流输出电流最大为 240 A, 输出电感为 2 mH, 输出电容为 4.2 mF。

图 5 为充电机单回路带 2 Ω 电阻负载电流爬坡转恒流充电过程仿真波形。

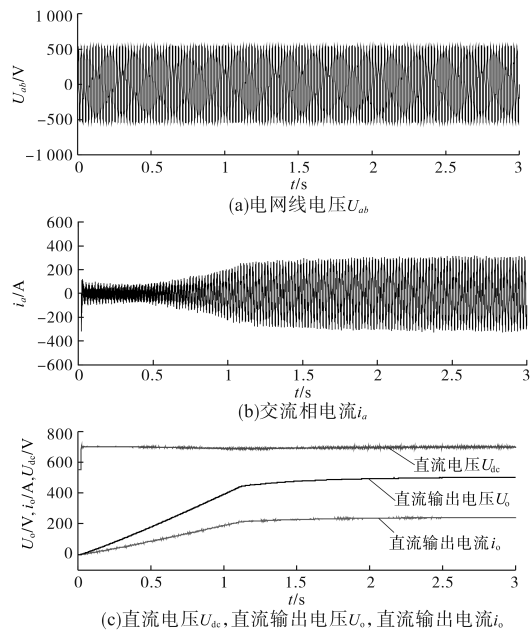


图5 电流爬坡转恒流充电过程仿真波形

Fig.5 Simulation waveforms of current ramp to constant current charging process

图 6 为充电机双回路带 3.9 Ω 电阻负载电

流爬坡转恒压充电仿真波形,其中充电机1回路恒压值为460 V,充电机2回路恒压值为420 V。

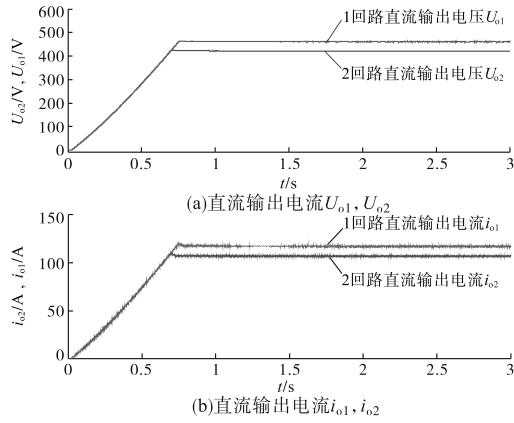


图6 电流爬坡转恒压充电过程仿真波形
Fig.6 Simulation waveforms of current ramp to constant voltage charging process

4 实验结果与分析

本实验第1部分为一机双充120 kW电动汽车充电机单回路带电阻负载实验,测试恒流恒压充电功能;第2部分为充电机给电动汽车电池负载充电实验。交流输入电压380 V,直流电压为700 V,直流输出电压为0~500 V,直流输出电流最大为240 A。

图7为充电机单回路带电阻负载电流爬坡转恒流充电过程,当直流输出电流爬坡控制达到240 A,进入恒流充电,此时直流输出电压为500 V。图8为充电机单回路带电阻负载电流爬坡转恒压充电过程,开始为电流爬坡充电,当直流输出电压达到设定电压切换值420 V时,进入恒压充电,此时直流输出电压为420 V。由图7、图8可知,恒流、恒压充电及切换过程中直流输出电流、输出电压均无较大波动。

充电实验中电动汽车锰酸铝电池基本参数为:额定容量66 A·h,额定电压360 V,单体最高电压4.2 V,允许充电电流115 A,标称总能量21.6 kW·h,允许最高电压405 V。

图9为充电机给电动汽车锰酸铝电池充电过程,从电池荷电状态SOC为67%时开始充电,初始时充电电流快速爬坡至115 A,进行快速充电,直流输出电压增大,随着荷电状态SOC逐渐增大时,直流输出电压非常缓慢地增大,充电电流逐渐减小,进行慢速充电,从而保护电池。

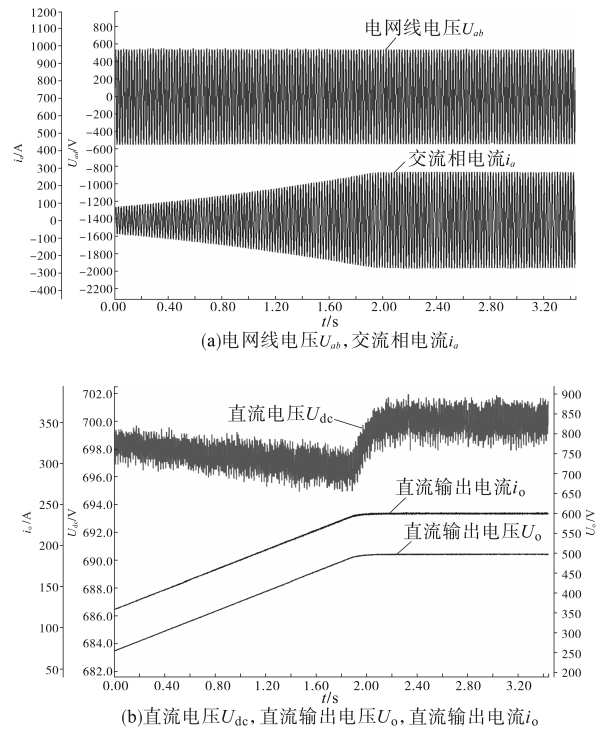


图7 电流爬坡转恒流充电过程实验波形
Fig.7 Experimental waveforms of current ramp to constant current charging process

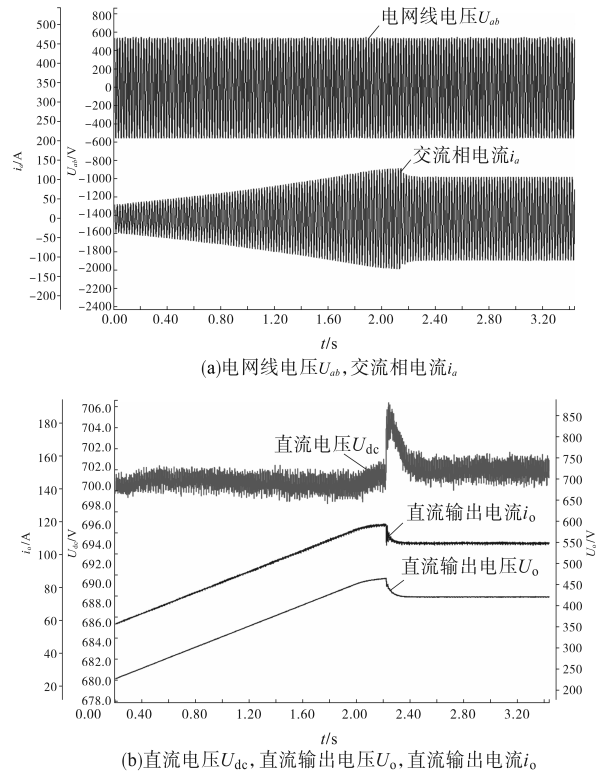


图8 电流爬坡转恒压充电过程实验波形
Fig.8 Experimental waveforms of current ramp to constant voltage charging process

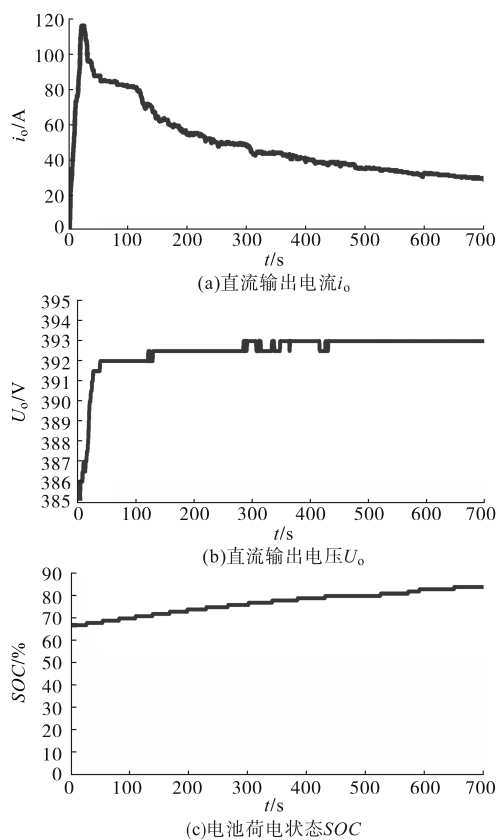


图9 充电机给电池充电过程实验波形

Fig.9 Experimental waveforms of charging process for battery by charger

5 结论

本文介绍了一机双充120 kW电动汽车充电机系统主回路拓扑结构和系统控制策略,通过仿真和实验验证了该充电机具备2路独立的充电回路,能

够实现恒流充电、恒压充电,恒流切换至恒压充电,且3个过程中直流输出电压、电流均无明显波动,对电池损害较小。该充电装置具有较好的实用性和较高的可靠性,已成功应用于上海某电动汽车充电站,对城市绿色环保交通起到促进作用。

参考文献

- [1] 刘坚,言艳辉,王畅,等. A市2017~2021年电动汽车充电基础设施规划的研究[J]. 电工技术,2018(5): 38-39,43.
- [2] 张秀钊,陈姝敏,王志敏,等. 城市快速路口充电站多目标规划[J]. 广东电力,2018,31(4): 79-83.
- [3] 朱金卫,郑正仙,苏芳,等. 储能型电动汽车充电站研究进展[J]. 浙江电力,2017,36(10): 7-10.
- [4] 李林林,王翼,董全智,等. 电动汽车储能式直流快速充电站系统集成设计研究[J]. 电气自动化,2017,39(5): 37-40.
- [5] 单栋梁,李彩生,王聪慧,等. 高速公路电动汽车充电系统设计[J]. 电气传动,2017,47(2): 69-72.
- [6] 宋鹏,潘峰,林国营,等. 电动汽车充电纹波对直流电能计量影响分析[J]. 电测与仪表,2018,55(1): 46-52.
- [7] 秦岭,孔笑笑,谢少军,等. 大型停车场用无电解电容直流充电桩鲁棒PI控制器设计[J]. 中国电机工程学报,2018,38(15): 4514-4525.
- [8] 赵丽平,郑强,刘明杰. 电动汽车充电对电网的谐波影响研究[J]. 电气自动化,2017,39(5): 34-36,40.
- [9] 唐亮,崔海超,刘爱忠,等. 电动汽车充电机充电控制策略[J]. 电工技术,2016(8): 37-39.
- [10] 徐伟凡,高文根. 基于STM32的直流充电桩控制系统设计[J]. 四川理工学院学报(自然科学版),2018,31(3): 43-48.

收稿日期:2018-09-25

修改稿日期:2018-12-11