 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i8.11553

Topology and Application of the Main Circuit for 120kW Dual-Gun Integrated DC Charging Pile

Manlin Wang

Tianshui Electric Drive Research Institute Group Co., Ltd., Tianshui, Gansu, 741020, China

Abstract

To address the high-power fast-charging demands of new energy vehicles, this paper proposes a 120 kW single-unit dual-charger DC charging station system. The system employs a combined topology consisting of a three-phase three-level VIENNA rectifier coupled with a full-bridge LLC resonant converter, aiming to achieve independent output from both chargers, wide voltage-range charging capability, and high operational efficiency. The control strategy incorporates a dual closed-loop voltage–current PFC control scheme, a frequency-adjusted LLC control method, and a dual-charger current balancing algorithm based on virtual impedance, thereby enhancing the system's dynamic response and output consistency. Through prototype testing, the system efficiency was verified to be ≥95% and the power factor was ≥0.99; the output current deviation for the dual-charger configuration was <2%, thereby complying with the standard requirements for high-power DC charging equipment. These research findings can serve as a reference for the engineering design of high-power dual-charging charging stations.

Keywords

120kW DC charging pile; dual-gun integrated charging; VIENNA rectifier; LLC resonant converter; current sharing control

120kW 一机双充直流充电桩主电路拓扑与应用

王满林

天水电气传动研究所集团有限公司，中国 · 甘肃 天水 741020

摘　要

针对新能源汽车大功率快充需求，本文设计一款120kW一机双充直流充电桩系统，采用三相三电平VIENNA整流器+全桥LLC谐振变换器组合拓扑，实现双枪独立输出、宽电压范围充电与高效率运行目标。控制策略采用电压电流双闭环 PFC控制、频率调节式LLC控制以及基于虚拟阻抗的双枪均流算法，提升系统动态响应与输出一致性。通过样机测试验证，系统效率≥95%，功率因数≥0.99，双枪输出电流偏差＜2%，满足大功率直流充电设备标准要求。研究结果可为大功率一机双充充电桩工程化设计提供参考方案。

关键词

120kW直流充电桩；一机双充；VIENNA整流器；LLC谐振变换器；均流控制

1 引言

在 “双碳” 目标与新能源汽车产业快速发展背景下，大功率直流充电已成为补能系统核心发展方向。120kW 快充设备可大幅缩短充电时长，满足乘用车型与商用车型充电需求。一机双充架构通过单套功率单元实现双路独立充电输出，提升设备利用率、降低建站成本，成为主流技术路线。

2 系统总体方案设计

2.1 设计内容

完成 120kW 一机双充充电桩系统方案设计；采用前级 VIENNA 整流器 + 后级双路 LLC 谐振变换器的两级式拓扑架构，完成主电路拓扑设计与参数优化；构建有源功率因数校正（PFC）闭环控制策略、LLC 谐振变换器恒压恒流闭环控制策略以及双充电枪输出均流协同控制策略；搭建样机并开展系统性能测试，通过实验结果验证所提拓扑与控制方案的可行性、稳定性与工程应用价值。通过样机测试验证，双枪输出电流偏差＜ 2%，满足大功率直流充电设备标准要求。

2.2 系统整体架构

采用前级三相 VIENNA 整流器 + 后级双路 LLC 谐振变换器的两级式隔离型拓扑方案，实现交流电网到电动汽车负载的高效、安全、可控的能量传输，满足双枪独立快充、单枪满功率输出的应用需求。

三相交流电网输入电能后，送入充电模块内部的前级 VIENNA 整流单元，完成有源功率因数校正（PFC）与 AC-DC 整流变换，输出稳定的高压直流母线电压；母线电

【作者简介】王满林（1989–），男，中国甘肃天水人，本科，工程师，从事电气传动及新能源系统设计研究。

压经中间母线电容滤波稳压后，为后级双路独立 LLC 谐振变换器供电；两路 LLC 变换器分别对应两路充电枪输出，通过闭环控制实现电气隔离、宽范围电压变换与功率分配，最终为电动汽车动力电池（负载）提供符合国标要求的直流充电电能 [1]。

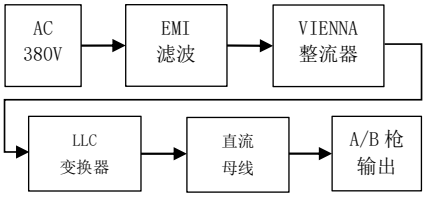


图 1 120kW 一机双充系统整体拓扑框图

2.3 控制策略与系统优势

VIENNA 整流器 PFC 双闭环控制：采用电压外环 + 电流内环的矢量控制架构，实现母线电压稳定、输入电流正弦化、单位功率因数运行，同时附加中点电位平衡控制，消除三电平拓扑的中点偏移问题。

LLC 变换器恒压 / 恒流闭环控制：针对两路 LLC 分别设计 CV/CC 闭环控制，通过调频（PFM）调节工作频率，适配动力电池 “恒流快充 - 恒压补电”的充电特性，保障充电安全。

双枪均流协同控制：基于两路输出电流采样信号，设计动态功率分配与均流控制算法，实现双枪同时充电时的功率均衡，以及单 / 双枪工作模式的无缝切换，避免切换过程中的电压 / 电流冲击。

2.4 系统核心优势

本 120kW 一机双充直流充电桩采用 “前级 VIENNA PFC 整流 + 后级双路 LLC 隔离 DC-DC”的两级式拓扑架构，通过完善的闭环控制与均流策略，实现双枪独立快充、单枪满功率输出，满足国标要求，具备高效率、高功率因数、高可靠性的核心优势，可广泛应用于公共快充站、场站补能等场景 [2]。

3 主电路拓扑设计

3.1 前级三相三电平 VIENNA 整流器拓扑

VIENNA 整流器为 Boost 型三电平 PFC 拓扑，具有开关电压应力低、效率高、谐波小等优势，适合大功率应用。

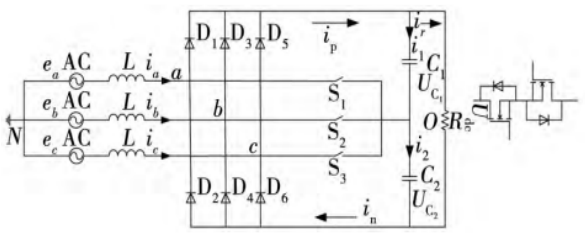


图 2 三相三电平 VIENNA 整流器拓扑

如图 2 所示是三相三电平 VIENNA 整流器示意图。为了方便分析，电网侧等效为 Y 型连接，e_a、e_b 和 e_c 为电源电压，i_a、i_b 和 i_c 是电源电流，L 是线路滤波电 感，C1 和 C2 是直流母线电容，S1、S2 和 S3 是双向开关。VIENNA 整流器作为系统的有源功率因数校正（PFC）核心单元，承担三相交流输入的整流、功率因数校正、母线电压稳定三大核心功能，相较于传统三相六开关整流拓扑，VIENNA 整流器仅需 3 组双向开关，具备开关器件数量少、导通损耗低、EMI 干扰小、三电平输出特性优的核心优势，可在宽电网电压波动范围内实现单位功率因数运行。

3.2 后级全桥 LLC 谐振变换器拓扑工作原理与电压增益特性

后级双路 LLC 谐振变换器（DC-DC 级）

作为系统的隔离型 DC-DC 变换核心单元，采用两路独立 LLC 谐振变换器并联架构，分别对应两路充电枪输出，LLC 谐振变换器可实现全负载范围内的软开关（ZVS/ZCS）运行，开关损耗极低，适配国标 200V ~ 1000V 宽输出电压范围，满足不同车型动力电池的充电需求。

双路独立架构支持双枪 60kW+60kW 均衡输出、单枪 120kW 满功率输出两种核心工作模式，两路输出独立控制、互不干扰，同时可通过双枪均流控制策略实现动态功率分配，适配一机双充的应用场景。

LLC 可实现全负载范围软开关，大幅降低损耗，适配宽输出电压场景，通过改变开关频率调节电压增益 ，实现输出电压大范围调节。

LLC 变换器恒压 / 恒流闭环控制：针对两路 LLC 分别设计 CV/CC 闭环控制，通过调频（PFM）调节工作频率，适配动力电池“恒流快充 - 恒压补电”的充电特性，保障充电安全。如图 3 所示。

电压增益关系：Vo=Vbus · G（fs）

开关频率 fs<fr（谐振频率）G>1 升压区：750V ~ 1000V

开关频率 fs=fr G≈1 效率最高点

开关频率 fs>fr G<1 降压区：750V ~ 200V

因此，母线 750V 固定，输出可覆盖 200 ~ 1000V，完美适配不同电压平台动力电池充电需求。

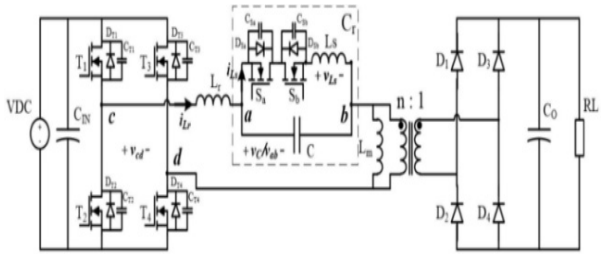


图 3 全桥 LLC 谐振变换器拓扑结构

4 控制策略设计

4.1 前级 VIENNA 整流器双闭环控制

针对 120kW 一机双充直流充电桩的前级 VIENNA 整流器，设计了电压外环 - 电流内环的双闭环矢量控制策略，结

合 SVPWM 调制技术，实现了单位功率因数运行与直流母线电压的精准稳定控制。电压外环以母线电压参考值 Vref 与实际值 Vdc 的误差为输入，通过 PI 调节器生成电流内环的有功电流指令；电流内环实现三相输入电流的正弦化跟踪，校正功率因数；最终通过 SVPWM 调制驱动 VIENNA 整流器主电路，完成 AC-DC 变换，为后级 LLC 变换器提供稳定直流输入[3]。

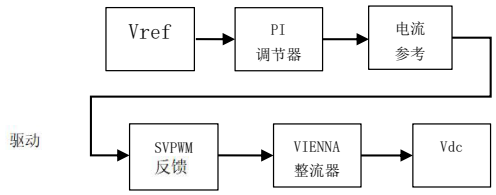


图 4 PFC 双闭环控制框图

4.2 后级 LLC 闭环控制

高效率软开关运行，变频控制始终围绕谐振频率附近调节，保障全负载范围软开关，开关损耗极低，单路 LLC 变换效率可达 98% 以上，整机 DC-DC 效率满足充电桩能效国标要求。精准匹配电池充电特性：CV/CC 双模式控制完美适配动力电池的两阶段充电曲线，兼顾充电速度与电池寿命。宽输出电压适应性：通过变频调节实现宽范围电压增益，可覆盖不同电压等级的动力电池，适配一机双充的多车型充电场景。

4.3 一机双枪均流控制

采用基于虚拟阻抗的无通信均流算法，自动调节双路输出电流，实现高精度均流。

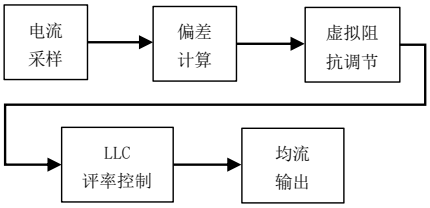


图 5 双枪均流控制框图

4.4 安全保护控制

包含硬件过流保护、母线过压保护、过温保护、绝缘监测及 BMS 通信流程，满足 标准。

5 样机测试

额定工况下系统效率 95.8%，功率器件温升 ≤45℃，功率因数 ≥0.99，双枪输出电流偏差＜ 2%。

直流输出功率计算

A 枪：Pa=495.1 × 39.6 ÷ 1000≈19.61kW

B 枪：Pb=494.4 × 39.6 ÷ 1000≈19.58kW

双枪总输出功率：$P_{总}$=494.28 × 80.08 ÷ 1000≈39.58kW

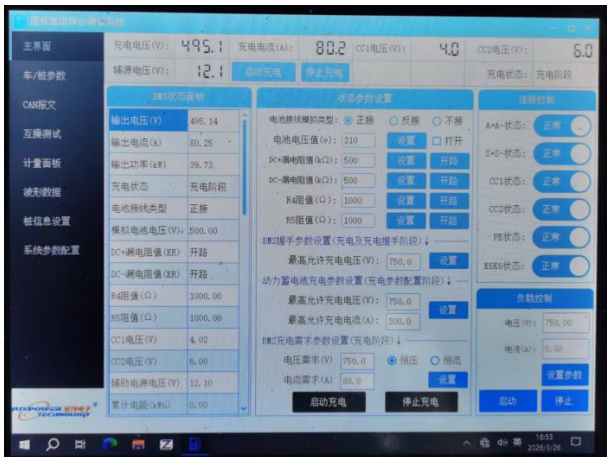


图 6 双枪测试结果

双枪输出电流偏差计算

双枪理想均分电流

$$I_{avg}=80.08\div2=40.04A$$

单枪电流绝对偏差

$$\triangle I_A=\triangle I_B=|I_A-I_{avg}|=0.44A$$

单枪相对偏差

$$\delta_A=\frac{\triangle I_A}{I_{avg}}\times100\%\approx1.10\%$$

$$\delta_B=\frac{\triangle I_B}{I_{avg}}\times100\%\approx1.10\%$$

B 枪之间电流偏差

$$\triangle I_{A-B}=0A$$

$$\delta_{A-B}=\frac{|I_A-I_B|}{\max(I_A,\ I_B)}\times100\%=0\%$$

双枪电流相对偏差约 1.10%，负载分配均匀。

6 结语

本文完成 120kW 一机双充直流充电桩系统，实现高效率、高功率因数、高均流精度的充电输出，实现双枪独立输出、宽电压范围充电与高效率运行目标。系统效率 ≥95%，功率因数 ≥0.99，双枪输出电流偏差＜ 2%，满足工程应用要求。

参考文献

[1] 张兴,曹仁贤，余畅舟.三相三电平 VIENNA 整流器的建模与控制策略[J].中国电机工程学报，2022, 42 (18): 6321-6330.

[2] 郭殿林，杨 成，于孟然.高功率密度充电桩前级VIENNA整流器的双闭环设计[J].黑龙江科技大学学报，2019, 29 (2): 167-173.

[3] 李建林，惠东，胡书举.基于 SiC MOSFET的LLC谐振变换器宽电压输出控制方法[J].电力系统自动化，2023, 47 (10): 158-165.