

The Introduction of One Supercapacitor Charging Device of Energy Storage Typed Tramcar

Xianjin Jiang¹, Huaishen Jiang¹, Jiao Zhang²

¹China CREC Railway Electrification Bureau Group, Beijing

²Creat-Poreen Power Electronics Co., Ltd., Beijing

Email: jiangxianjin@126.com

Received: Jul. 24th, 2015; accepted: Aug. 11th, 2015; published: Aug. 14th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Combined with the actual project, this paper briefly introduces the system structure and the function of one supercapacitor charging device of energy storage typed tramcar jointly developed by our Group Company and Beijing Creat-Poreen Power Electronics Co., LTD and operating successfully in Guangzhou Haizhu line.

Keywords

Energy Storage Type, Tramcar, Charging Device

储能式有轨电车超级电容成套充电装置简介

蒋先进¹, 蒋淮申¹, 张 皎²

¹中国中铁电气化局集团公司, 北京

²北京科锐博润电力电子有限公司, 北京

Email: jiangxianjin@126.com

收稿日期: 2015年7月24日; 录用日期: 2015年8月11日; 发布日期: 2015年8月14日

摘 要

结合工程项目实际, 对我集团公司和北京科锐博润电力电子有限公司联合研制, 在广州海珠线成功运

营的储能式有轨电车超级电容成套充电装置的系统构成、功能进行简要介绍。

关键词

储能式, 有轨电车, 充电装置

1. 概述

1.1. 项目背景

广州海珠环岛有轨电车为广州市第一条有轨电车线路, 线路全长 7.7 公里, 始于万胜围站, 止于广州塔站, 共设 11 座车站, 全为地面站; 平均每站间距 0.784 公里。

广州市海珠环岛有轨电车车辆为世界首列超级电容 100% 低地板有轨电车, 该车采用三动一拖四模块编组, 车辆长度约 36.5 米, 最大载客量为 368 人, 最高运行速度为 70 公里/时。其特点为:

1、全线区间无触网储能运行, 实现从有网到无网的进化

区间无触网, 车辆利用储能装置实现无接触网运行, 车站设有充电受流系统, 当车辆进站时, 通过车辆上的被动式受电器对储能系统进行快速充电, 从最低电压到完全充满的站内最大充电时间(含动态及停车充电)不大于 30S, 现场实际运行测试结果一般在 15 S 左右。

2、能量高效及循环利用

遵循“能量守恒”科学原理, 通过储能动力器件, 实现能量在牵引、制动工况的过程循环转换与循环利用, 制动能量可由超级电容回收, 再生制动能量回收率达到 80% 以上, 与传统有网受电式低地板车辆相比, 系统节能 30% 以上, 做到真正物理意义上的绿色与高效。

3、全贯通式低地板, 实现无障碍移动

采用 100% 低地板技术, 车门口地板距地面仅 325 毫米, 方便老人、小孩、孕妇以及残障人士上下车。

4、对城市环境影响少

1) 噪音低: 采用弹性车轮及整车降噪技术, 结构优化与材料组合技术, 获得轻量化和声学性能最优平衡点, 打造城市路面“静音”公共交通工具;

2) 由于采用了无化学反应的物理性大容量超级电容, 无爆炸、起火危险, 其充放电次数可达 100 万次, 使用寿命可达 10 年。该车节能环保, 可缓解城市交通压力和减少环境污染, “车辆顶部采用进站受电的方式, 可有效消除供电网的视觉污染, 避免暴雨季节漏电的危险”。

5、采用绿色轻量化材料, 车载设备重量轻

采用优化结构设计技术及碳纤维、铝镁合金、铝蜂窝等新型绿色轻量化材料, 严格控制车载设备重量, 车辆轴重不超过 10 t, 达国际领先水平。

6、建设和维护成本低

走行轨不再作为回流通路, 对沿线城建设施无电腐蚀; 相对于常规接触网受流系统, 仅杂散电流一项, 每公里可以节省 30 万元~50 万元整治费用。因其能实现无接触网运行, 全线路无接触网, 线路建设投入和维护成本低。

1.2. 关键技术

采用全无接触网的超级电容储能电车, 其中需要突破的一个技术关键是高压大功率充电装置。由于超级电容储能电车在站内充电时间仅为 20~25 s, 充电峰值功率可达 1.6 MW, 端口电压也远高于常规电

池储能汽车充电电压，针对无接触网的超级电容储能式轨道交通，不但要解决车辆研制技术，还需要解决高压大功率充电技术及其装置研制，才能实现超级电容储能电车的安全运营。

本文主要针对车辆储能系统快速充电装置“超级电容成套充电装置”的系统构成、功能简单进行介绍。

2. 系统构成及功能

2.1. 系统主要技术参数

充电装置是实现交流直流整流变换和直流充电调压的功能的基本单元，其系统主要包括：整流、直流变换和输出隔离切换控制三部分，其主要技术参数为表 1 所示。

2.2. 系统功能

(1) 移动充电功能，即：

a) 当列车进入车站充电网范围内即可启动充电；

b) 列车正在充电的过程中，若列车启动离站，充电装置能够自动检测迅速停止充电，基本消除燃弧现象的发生；

c) 在充电的过程中若发生燃弧，充电装置能够自我保护功能，保障设备的安全。

(2) 向上行列车和下行列车的分时充电功能，即：

a) 在同一时刻仅对上行或者下行列车充电；

b) 当两列车同时进站时，应先对上行列车充电，然后对下行列车充电；

c) 上行和下行列车充电的切换时间不大于 100 ms；

d) 上行和下行充电切换设置必需的电气安全闭锁，能够有效防止对上行和下行充电网同时送电，有效防止同时停在上行和下行列车在车站通过充电网并联。

Table 1. The main technical parameters of charging device [1]

表 1. 成套充电装置主要技术参数表[1]

序号	项目	参数
1	输入电压	三相 AC 10 kV (-15%~+7%)
2	变压器额定功率 kVA	800 kVA
3	充电方式	恒流、恒功，充电方式可以自动调整
4	输出充电电压	最高输出电压≥950 V，输出电压可在 0~950 V 可调。
5	额定电流	1800 A
6	工作制式	间歇工作制，高峰小时充电 60 S，周期 240 S。
7	输出稳压精度	900 V ± 0.5% (车载储能装置两端电压)
8	效率	>95% (额定输入，输出电流大于 80% 额定电流，输出电压大于 500 V)。
9	工作温度范围	-25℃~55℃
10	系统响应时间	小于 1 s。
11	噪音水平	≤55 dB
12	防护等级	不低于 IP20
13	使用寿命	充电装置应为免维护的成套设备，使用寿命≥30 年。

(3) 充电装置与充电网之间设置隔离开关, 实现维护检修时的电气隔离。隔离开关的状态纳入成套充电装置的监控, 并能够在就地和远方进行控制。

(4) 监测车辆位置信息, 在车辆进入充电区域时方能够对接触网送电; 当车辆离开充电区域时充电装置断电, 确保车站和停车场车辆充电区域处于无电状态;

充电装置设置有必要的安全放电回路, 使得停止充电后, 充电系统的电压在短时间内迅速降至安全电压范围内, 保障乘客和工作人员的安全。

(5) 充电功能对超级电容储能装置具有通用性。当储能装置超级电容的品牌发生变化时, 仅通过调整充电装置中的控制参数和充电策略满足超级电容的充电要求。

(6) 充电装置的输出特性符合下列要求:

a) 纹波系数: 在恒流状态下, 当输出直流电压在规定的电压调节范围内变化时, 在任意数值上保持稳定, 纹波电流有效值系数 $< \pm 0.5\%$, 纹波电流峰值系数 $< \pm 3\%$;

b) 输出电流误差: 在恒流状态下, 输出电流整定误差 $< \pm 0.5\%$;

c) 输出电压误差: 直流输出电压设定在规定的电压调节范围内, 输出电压整定误差不超过 $\pm 1\%$;

d) 限压特性: 充电机在恒流状态下运行时, 当输出直流电压超过限压整定值时, 应能自动限制其输出电压的增加;

e) 均流不平衡度: 各模块平均输出电流为 100% 额定电流时, 电流不平衡度不超过 $\pm 5\%$;

f) 外特性: 在恒流、恒功等充电模式下实时监控充电网电压, 防止电压超过阈值。

(7) 充电装置的监控功能达到如下目标:

a) 实时监测车站区域内车辆的运行状态及其车载储能装置的状态启动、停止充电功能, 能够自动选择充电参数。充电柜应将其运行状态数据、故障数据和控制参数上传至上位监控系统, 同时能够接受上位监控系统的监控。充电装置的运行参数可以通过就地和远程设定;

b) 充电柜具有自动控制功能, 根据充电柜检测到车辆储能装置的运行状态信息, 自动控制调整充电时间、充电电流和充电限制电压, 即可以选择不同的充电模式, 并将充电柜的运行状态实时反馈至上位监控系统。若储能装置故障时, 装置能够停止充电。充电模式的选择可以在就地和远方控制中心进行设定;

c) 充电柜能够实现自动检测、远方手动投切和现场手动投切, 各种方式之间有可靠的闭锁, 防止发生事故。检测、控制实现完全自动, 可实现无人值守;

d) 具有供值班员使用的参数设置功能, 所有设置的内容不受停电和干扰信号的影响;

e) 控制系统由显示单元、微机监控单元、开关面板、主控单元、采样单元、输入输出单元、及柜内风机和照明等部分组成。

(8) 通讯接口

充电装置采用标准的数据通信口接入变电所综合自动化系统。物理接口采用光纤以太网口(或 RJ45 电口), 通信速率为 10/100 M 自适应, 协议采用 TCP/IP modbus 开放协议;

充电装置微机控制系统上送监控系统的信息带有时标, 时标要求精确到毫秒级, 并具有与上位监控系统进行时钟同步功能, 对时方式为软件对时, 对时精度为毫秒级。

(9) 数据记录、显示功能

实时记录系统数据, 保存 6 个月以上。显示界面具有友好的人机界面、易操作, 可显示如下内容:

a) 主接线, 充电控制参数和运行状态数据;

b) 故障记录;

c) 充电装置各个模块状态监视;

d) 显示当前时间、保护动作时间，显示保护类型、保护动作时间等信息。

现场运行数据的查询和调整采用现场液晶显示与控制。

(10) 保护功能

a) 充电装置具有基本的继电保护功能，包括：输入过压、欠压、过流，输出过压、过流，IGBT 故障，短路，接地，过热保护，内部通讯故障、外部通讯故障等；

b) 充电装置保护装置能够为充电装置本体、充电装置至充电网之间电气故障、过电压和异常运行方式提供有效的保护功能。

2.3. 装置构成

充电机核心部分为变流器，其将来自整流变压器的交流电，变换成电压电流均可调节直流电源。变流装置由 4 套完全一致的装置组成，充电机采用 24 脉动不控整流加后级多相 buck 斩波电路，具有电路简洁、技术成熟、可靠性高的特点，广泛应用于城市轨道交通领域。24 脉动可以有效减小谐波、提高功率因数。

斩波电路采用成熟的 Buck 斩波电路[2]装置由 4 个独立的斩波电路并联，每个斩波电路接入一个变压器副边绕组对应的整流输出。每个斩波电路直流侧的额定电流为 450 A，四组并联实现总电流 1800 A 的充电输出。

图 1 给出了充电装置的电气构成框图。图 2 给出了变流器的电气原理图。

整流变压器低压侧配置软起电路，可以在电路合闸时最大程度的减少电流冲击。斩波电路输出采用 4 相斩波并联，4 相斩波采取移相控制以利于减小输出纹波电压和纹波电流。图 3 为移相斩波输出电流波形。

2.4. 控制原理及其实现

充电装置的调节模式包括恒流模式、恒功率模式与恒压模式，三种模式可单独使用，也可按照预定逻辑自动切换，完成充电过程。自动充电时，充电曲线见图 4 所示，其中 AB：电流上升段；BC：恒流充电段；CD：恒功率充电段；DE：恒压充电段；EF：充电停止。

图 5 为控制框图，左为恒流控制，右为恒压控制框图。

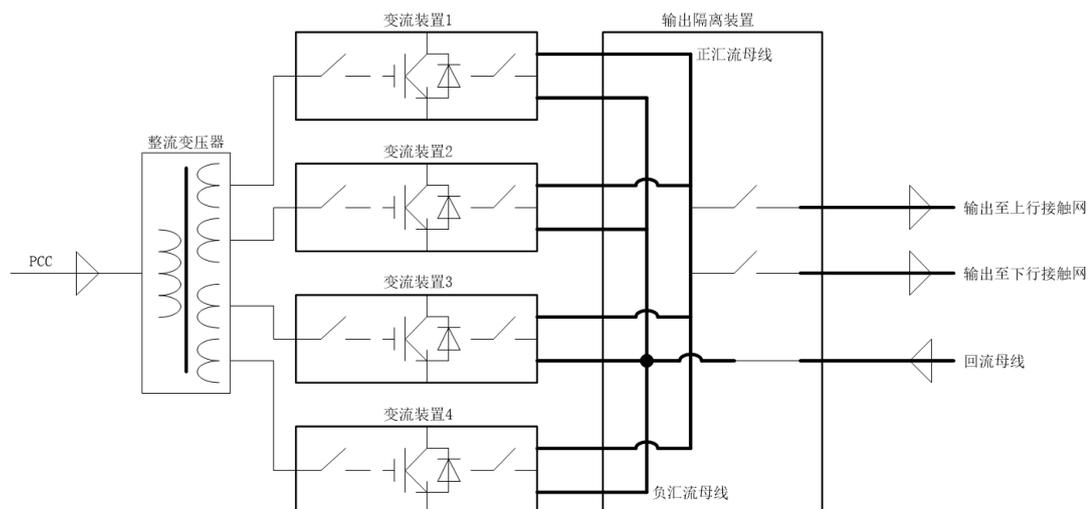


Figure 1. Electrical block diagram of charging device

图 1. 充电装置电气框图

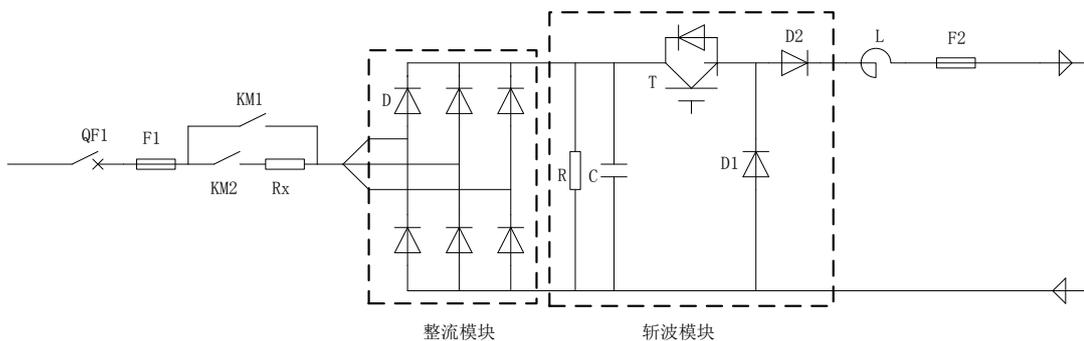


Figure 2. Converter electrical schematic diagram
图 2. 变流器电气原理图

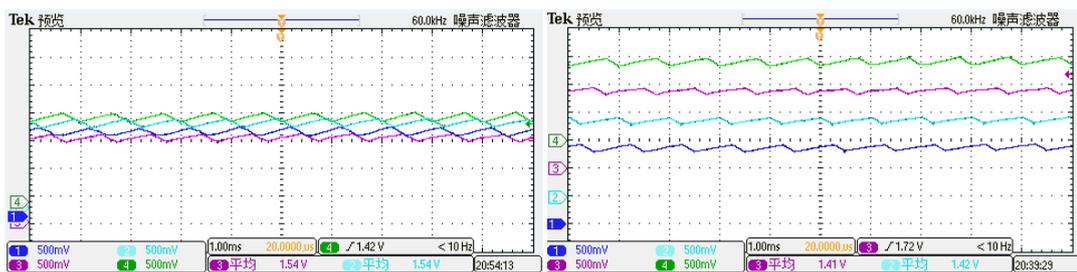


Figure 3. Four phase-shift output current waveform
图 3. 四重移相斩波输出电流波形

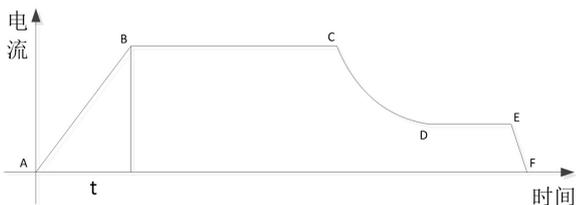


Figure 4. Charge control curve
图 4. 充电控制曲线

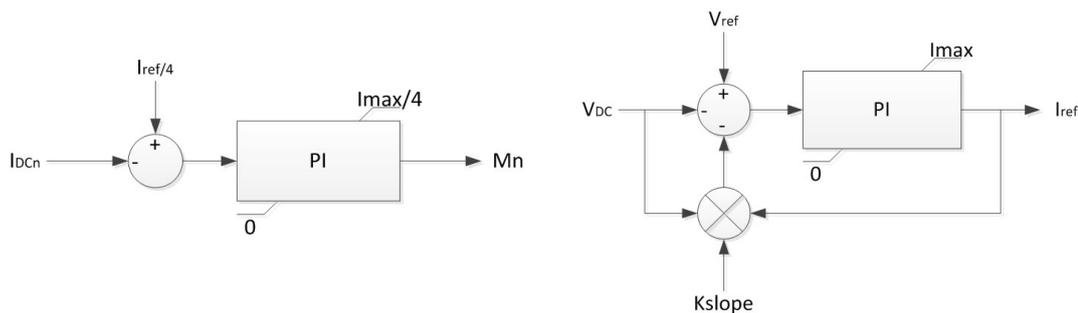


Figure 5. Control block diagram
图 5. 控制框图

采用以上控制模型，使用 PSCAD 软件建模，对控制特性进行仿真，图 6 为仿真模型，图 7 为仿真电流电压波形。

实测的装置 1800 A 输出特性见图 8 所示，从实测波形与仿真波形对比，可见控制函数可以满足应用要求。

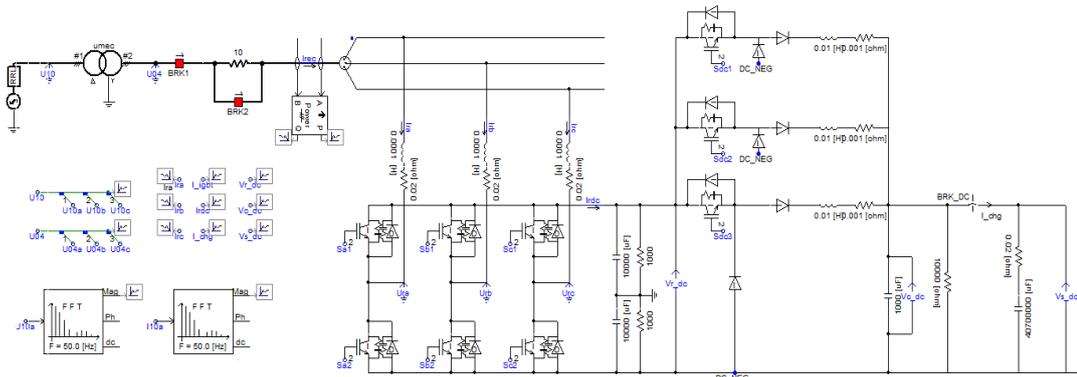


Figure 6. Main circuit of simulation model
图 6. 仿真模型主电路

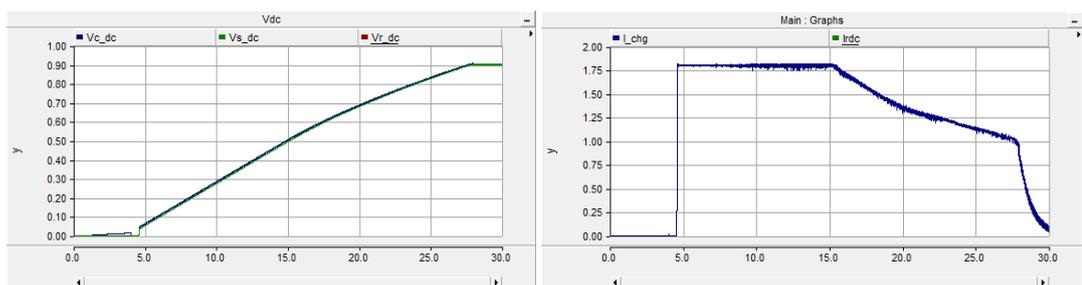


Figure 7. Simulation waveform (left voltage, right current)
图 7. 仿真波形(左电压, 右电流)

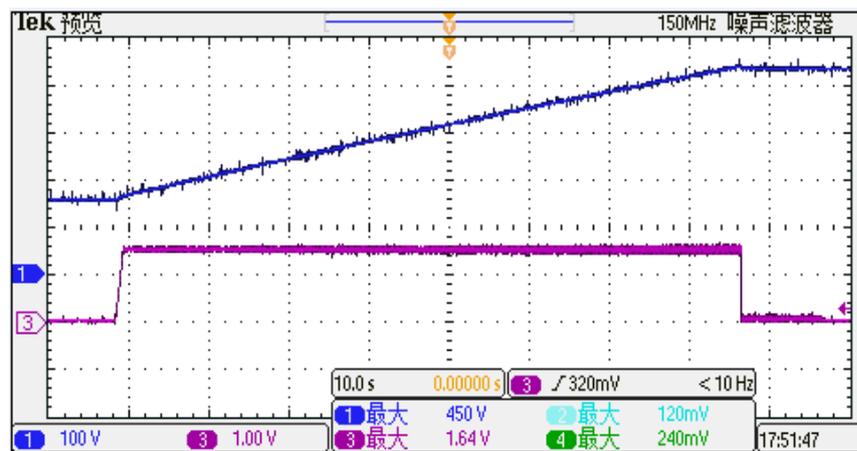


Figure 8. Simulation waveform (left voltage, right current)
图 8. 仿真波形(左电压, 右电流)

3. 结束语

在城市交通拥堵不断加剧的形势下，优先发展公共交通已经成为我国和世界各国解决城市交通问题的共同选择，预计未来相当长的一段时间都将是城市轨道交通建设的快速增长期。

由于现代有轨电车具备节能环保、中等运能、舒适人性化、环境适应性强和建设灵活度高的特点，加之地铁和轻轨建设的运营成本、审批门槛较高，因此我们预计，在新型城镇化对于完善的城市轨道交通的需求下，将掀起新型有轨电车的建设热潮。

参考文献 (References)

- [1] 王兆安 (2009) 电力电子技术. 第五版, 西安交通大学, 西安.
- [2] 广州地铁公司 (2014) 广州海珠环岛有轨电车超级电容成套充电装置技术规格书.