

一种模拟地铁环境的能馈试验系统

刘洪德¹, 王宇¹, 桑静波², 杜海源²

(1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;

2. 石家庄轨道交通有限责任公司, 河北 石家庄 050000)

摘要:地铁能馈系统可以将地铁制动时的能量回收到电网,极大节约电能。然而地铁能馈系统试验过程中缺少地铁频繁启动、制动的试验环境,文中设计了一套背靠背的再生电能回馈试验系统,S1逆变器模拟地铁自动的启动、制动,S2逆变器检测满足解锁或待机条件自动进入回馈或者待机状态。试验结果表明该试验系统在模拟地铁制动过程时快速解锁,同时稳定直流电压,在模拟地铁启动过程时快速闭锁进入待机状态,为地铁能馈系统现场挂网运行提供了试验支撑。

关键词:能馈; 逆变器; 模拟地铁环境

中图分类号:U260.359

文献标志码:B

文章编号:2096-3203(2018)03-0151-04

0 引言

随着我国大城市交通问题的日益突出,大力发展城市轨道交通已成为城市交通发展的必然选择^[1-5]。地铁再生制动能量的吸收方式主要有电阻消耗、电容储能、逆变回馈、飞轮储能等。其中,基于逆变方式的能量回馈变流器的节能效果好,且系统简单、投资小,得到越来越多的关注与应用^[6-10]。北京千骊驭、湖南恒信、许继电气、时代电气、株洲所等国内厂家都已研制兆瓦级逆变型能馈装置,然而如何模拟地铁频繁的启动、制动工况,为能馈装置提供试验环境,国内一直未见相关报道。

文中设计了由背靠背2台逆变器组成的再生电能回馈试验系统。该试验系统中一台逆变器控制有功功率,模拟地铁的启动和制动,使得直流网压升高或降低。另一台逆变器工作在能馈模式,在直流网压高于能馈门槛值时解锁,把功率输送到交流电网中,同时稳定直流电压;在直流网压低于能馈门槛值时闭锁进入待机状态。该系统为地铁能馈系统现场挂网运行提供了有力的试验支撑。

1 能馈系统工作原理

能馈系统在地铁供电系统的接入方案见图1,地铁供电系统是由并联的2个12脉动的整流器构成24脉波整流器。能馈系统可以将地铁刹车后直流母线的能量回馈到10 kV/35 kV交流系统中。

(1) 能馈系统解锁。能馈系统检测直流电压,当其大于启动门槛时,立即开启脉宽调制(pluse width modulation,PWM)脉冲信号,并将直流电压控制

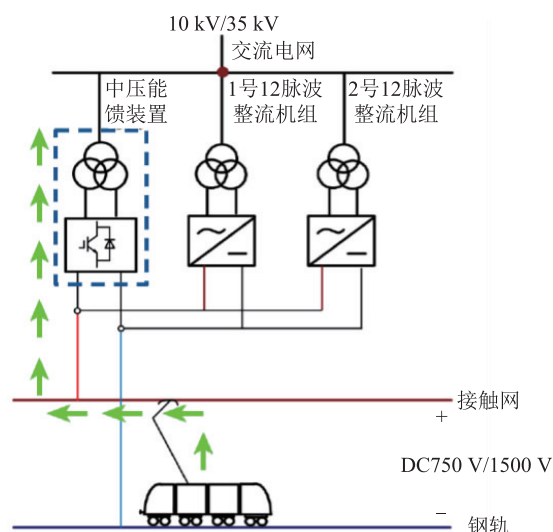


图1 能馈系统接入方案示意

Fig.1 Experimental access scheme

到特定控制目标,使地铁刹车制动能量快速回馈到电网。该特定控制目标要大于二极管整流器空载电压,以防止二极管整流器与系统形成环流^[11-13]。

(2) 能馈系统待机。能馈系统检测到交流电流小于特定值或者直流电流反向,表明地铁刹车已结束或地铁已启动,能馈系统立即闭锁PWM脉冲信号,进入待机状态。

2 能馈试验系统研究

2.1 能馈试验平台设计

地铁能馈试验平台构成的总体拓扑如图2所示,由2台三相半桥逆变器S1、S2和一个三绕组变压器组成,2台逆变器的直流母线并联。S1为模拟刹车逆变器,S2为能馈逆变器,S1、S2通过变压器两副边绕组形成功率环流^[14-17]。

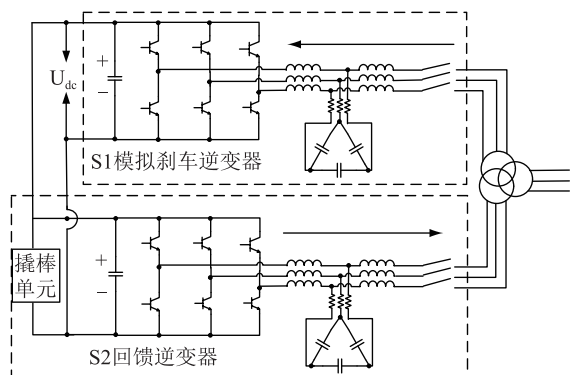


图2 试验平台总体拓扑图

Fig.2 Experimental overall topology

2.2 能馈系统试验方法

图3为模拟地铁环境的能馈系统试验流程。S1和S2分别交流充电进入待机状态。以有功功率为控制目标解锁S1,该功率方向为S1流向S2,指令为脉冲型(30 s为1.2 MW,90 s为0 MW),功率指令斜率为1.2 MW/s。S2检测到直流电压升高超过能馈启动门槛1600 V后,以直流电压为控制目标解锁S2,直流电压指令1500 V。等待直流电压稳定,且持续90 s后,控制S1的功率指令为0 MW,此时回馈过程结束,逆变器2闭锁进入待机状态。重复以上步骤,可以校核逆变器S1和S2器件温升情况。

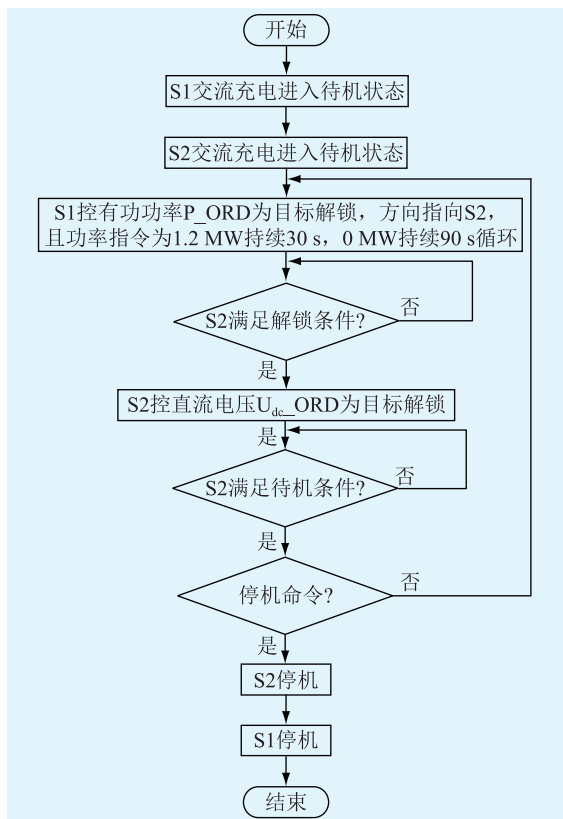


图3 试验流程

Fig.3 Experimental flow

3 试验研究

试验平台的主电路参数如表1所示,按照图3的试验方法,S2由待机进入解锁时网侧有功功率波形如图4所示,直流电压波形如图5所示。

表1 主电路参数

Tab.1 Main circuit paramers

参数名	参数值
容量/MW	1.2
直流电压/V	1500~1900
直流电流/A	632~800
交流电压/V	950
交流电流/A	729
IGBT 型号	5SNA1500E330305
电容值/mF	8
电抗器/mH	0.7
滤波电容/ μ F	200

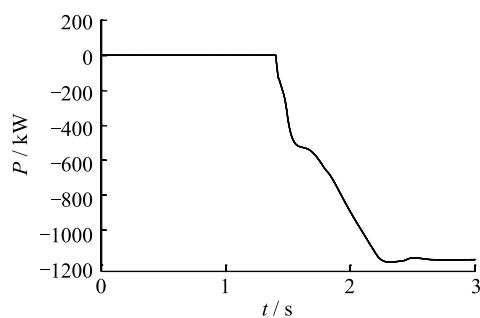


图4 S2解锁时网侧有功功率

Fig.4 Input power (S2 deblock)

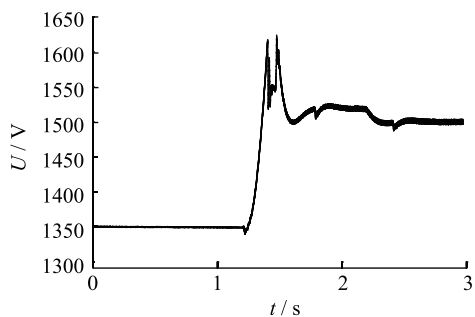


图5 S2解锁时直流电压

Fig.5 DC voltage (S2 delock)

由图4、图5可见,直流电压达到能馈启动门槛1600 V时,S2迅速解锁,功率1 s内由0 kW到-1200 kW。

S2由解锁进入待机时网侧有功功率波形如图6所示,直流电压波形如图7所示。由图6、图7可知,网侧功率变小时,交流电流小于门槛值40 A后,S2迅速闭锁,功率1 s内由-1200 kW到0 kW。

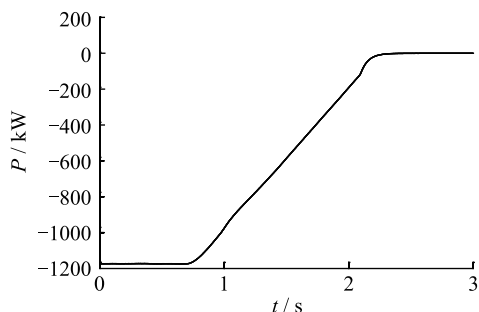


图6 S2待机时输入功率

Fig.6 Input power (S2 standby)

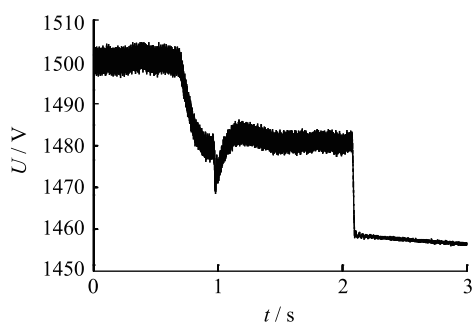


图7 S2待机时直流电压

Fig.7 DC voltage (S2 standby)

4 结语

文中设计了一套模拟地铁环境的能馈试验系统,并通过搭建试验平台完成了能量回馈试验,试验结果表明该试验系统可以模拟地铁启动和制动的过程,模拟地铁制动车时,能馈设备快速解锁回馈能量,模拟地铁启动时,能馈设备快速闭锁。试验系统可以为能馈设备提供真实的工作环境,试验方法对能馈设备的出厂试验具有较大的指导意义。

参考文献:

- [1] 于松伟,杨兴山.城市轨道交通供电系统设计原理与应用[M].成都:西南交通大学出版社,2008.
YU Songwei, YANG Kingshan. Design principle and application of urban rail transit power supply system[M]. Chengdu: Xi'an Jiao Tong University press, 2008.
- [2] 牛化鹏,张海龙,桑福环,等.地铁列车模块化再生制动能量回馈变流器的研制[J].城市轨道交通,2015(6):87-89.
NIU Huapeng, ZHANG Hailong, SANG Fuhuan, et al. Design of metro regenerative braking energy feedback converter based on vehicle modulization[J]. Urban Mass Transit, 2015(6):87-89.
- [3] 庞艳凤,袁月赛.地铁再生能量利用方案比较[J].机车电传动,2014(1):77-79.
PANG Yanfeng, YUAN Yuesai. Comparison of regenerating energy utilization schemes in urban rail system[J]. Electric Drive for Locomotives, 2014(1):77-79.
- [4] 陈德胜.城轨新型能馈式牵引供电集成技术研究及实现[D].北京:北京交通大学,2014.
CHEN Desheng. Research and realization of integration technology for the new energy feedback traction power supply in the urban rail transit [D]. Beijing: Beijing jiaotong University, 2014.
- [5] 鲁玉桐,赵小皓,赵叶辉.再生制动能量吸收装置在北京地铁中的应用[J].机电工程,2014,27(4):105-112.
LU Yutong, ZHAO Xiaohao, ZHAO Yehui. Application of regenerative braking energy absorption devices in Beijing subway [J]. Journal of Mechanical and Electrical Engineering, 2014, 27(4):105-112.
- [6] 陈勇,刘承志,郑宁,等.基于逆变回馈的地铁再生制动能量吸收的研究[J].城市轨道交通研究 2011(3):36-39.
CHEN Yong, LIU Chengzhi, ZHENG Ning, et al. Reserch of metro regenerative braking energy feedback equipment [J]. Urban Mass Transit, 2011(3):36-39.
- [7] 刘国华,洪丹,王瑞.双馈风机转子侧变流器不平衡控制策略[J].江苏电机工程,2015,34(2):5-9.
LIU Guohua, HONG Dan, WANG Rui. A control method for rotor-side convertor of DFIG under unbalanced grid voltage condition [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(2):5-9.
- [8] 连鹏飞.深圳地铁2号线工程再生制动能量吸收装置设置方案研究[J].铁道工程学报,2007,105(6):85-89.
LIAN Pengfei. Research on the setting proposal of regenerative braking energy absorbing equipment for Shenzhen metro line 2 [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 105(6):85-89.
- [9] 王军,江平,杨海英.城市轨道交通制动能量逆变回馈系统研究[J].城市轨道交通研究,2007,8(12):23-27.
WANG Jun, JIANG Ping, YANG Haiying. On brake-reproduced energy inverter system in UMT [J]. Urban Mass Transit, 2007, 8(12):23-27.
- [10] 夏景辉,郑宁,左广杰.地铁车辆逆变型再生制动能量回馈方案与装置的研究[J].城市轨道交通研究,2013,16(6):42-45.
XIA Jinghui, ZHENG Ning, ZUO Guangjie. Research on regenerative braking energy feedback scheme and device for inverted metro vehicles [J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(6):42-45.
- [11] 李洁,郑伊飞,郑月宾,等.地铁再生制动能量回馈装置软并网技术研究[J].城市轨道交通研究,2015(10):89-92.
LI Jie, ZHENG Yifei, ZHENG Yuebin, et al. Soft cut-in method for metro regenerative braking energy feedback equipment [J]. Urban Mass Transit, 2015(10):89-92.
- [12] 全恒立.城市轨道交通混合式牵引供电装置关键技术与性能优化研究[D].北京:北京交通大学,2013.
QUAN Hengli. Research on key techniques and performance optimization of hybrid traction power equipment for urban rail transit [D]. Beijing: Beijing jiaotong University, 2013.
- [13] 桑福环,张海龙,王林,等.地铁能量回馈装置的无功补偿控制策略[J].城市轨道交通研究,2016,19(5):117-120.
SANG Fuhuan, ZHANG Hailong, WANG Lin, et al. Control

strategy of reactive power compensation applied in metro energy-feedback drvice [J]. Urban Mass Transit, 2016, 19 (5):117-120.

[14] 王 宇,杨 浩,方太勋,等. 地铁再生电能回馈系统试验研究[J]. 电力电子技术,2016,50(6):86-87,90.
WANG Yu, YANG Hao, FANG Taixun, et al. Experimental research on renewable energy feedback system for subway[J]. Power Electronics, 2016, 50(6): 86-87,90.

[15] 黄志高,刘洪德,连建阳,等. 地铁能量回馈系统充电回路的优化方案[J]. 电力工程技术,2017,36(1):95-97.
HUANG Zhigao, LIU Hongde, LIAN Jianyang, et al. Optimized method of charging loop for the subway energy feedback system [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017,36(1):95-97.

[16] 施 焯,吴在军,阚沁怡. 基于改进卡尔曼滤波器的 LCL 逆变器电流控制[J]. 江苏电机工程,2016,35(1):28-36.
SHI Ye, WU Zaijun, KAN Qinyi. A current controller for LCL

inverter based on improved kalman filter [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(1):28-36.

[17] 许爱国,谢少军. 城市轨道交通牵引供电 PWM 变流器的研究[J]. 电力电子技术,2009,43(12):7-9.
XU Aiguo, XIE Shaojun. Study on a PWM converter for traction power supply of the urban rail transit[J]. Power Electronics, 2009,43(12):7-9.

作者简介:



刘洪德

刘洪德(1986—),男,硕士,工程师,从事柔性直流输电及大功率电力电子应用工作(E-mail:liuhd@nrec.com);

王 宇(1984—),男,硕士,工程师,从事柔性直流输电及大功率电力电子应用工作(E-mail:wangyu@nrec.com);

桑静波(1983—),男,本科,工程师,从事轨道交通机电设备管理及直流供电配电技术工作(E-mail:18603111906@163.com)。

A Energy Feedback Experimental System of Simulated Subway Environment

LIU Hongde¹, WANG Yu¹, SANG Jingbo², DU Haiyuan²

(1. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China; 2. Shijiazhuang Metro, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: The energy feedback system can be used to recycle the subway braking power, can greatly save energy. But in the experiment process of the energy feedback system, the subway starting and braking environment is lacked. This paper designs a renewable energy feedback experimental system consisting of two back to back inverters, and S1 simulates subway frequent starting and braking, S2 detects unblock or blocked conditions, automatically enter the feedback or standby state. The test results show that the test system quickly unlocks during simulation of the braking process of the subway, stabilizes the DC voltage at the same time, and quickly locks into the standby state during the simulation of the subway start-up process, providing experimental support for the on-site operation of the subway energy feeding system.

Key words: renewable energy; simulated subway environment

(编辑 方 晶)