

城市轨道交通车辆辅助逆变器 离线式诊断系统设计与应用

翁晓韬¹ 冯珏¹ 刘中良² 刘玄目²

(1. 申通南车(上海)轨道交通车辆维修有限公司, 201800, 上海;

2. 悦利电气(江苏)有限公司, 215300, 苏州//第一作者, 工程师)

摘要 随着城市轨道交通车辆运行里程的增加, 车辆电气部件的故障率随之呈现增长态势, 许多车辆相继进入了架修或大修阶段。辅助逆变系统是车辆电气部件必不可少的部分, 其核心部件就是辅助逆变器。从辅助逆变器的工作原理出发, 从科学论证与上机验证的角度介绍了城市轨道交通车辆辅助逆变器离线式诊断系统的设计原理, 着重阐述了直流供电系统模块、预充电和主电路保护模块、负载模块、信号转换模式、控制系统模块的设计方案, 并对该诊断系统的设计进行仿真。该系统经实践验证整体效果良好, 正逐步应用到辅助逆变器的故障修和架修、大修中。

关键词 城市轨道交通; 车辆; 辅助逆变器; 离线式诊断

中图分类号 U270.38⁺1; U237

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.031

Design and Application of the Off-line Diagnose System in Metro Vehicle Auxiliary Inverter

WENG Xiaotao, FENG Jue, LIU Zhongliang, LIU Xuanmu

Abstract With the rapid increase of urban rail transit operation mileage, the growth trend of vehicle electric component fault rate also appeared, many rail transit vehicles have entered the stage of unwheeling repair or overhaul. The auxiliary inverter system is a major part in metro vehicle electric equipment, and the key component of the system is auxiliary inverter. Based on its working principle, the design of auxiliary inverter off-line diagnose system for urban rail transit vehicles is introduced from the angles of scientific demonstration and computer verification. The design schemes of DC power supply system module, load module, signal conversion mode and control system module are emphasized. Finally, the off-line diagnose system is simulated and the result shows that the system has good performance, and is currently applied to the fault repair, unwheeling repair and overhaul of auxiliary inverter.

Key words urban rail transit; vehicle; auxiliary inverter;

off-line diagnose

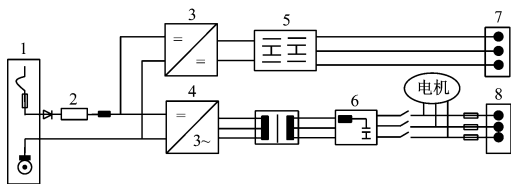
First-author's address Shentong South Railway (Shanghai) Rail Transit Vehicle Maintenance Co., Ltd., 201800, Shanghai, China

据统计, 2020 年上海轨道交通线网车辆总数达 7 200 余辆, 2019 年进入架、大修的车辆为 823 辆, 由此预测到 2025 年将有 1 588 辆车进入架、大修。目前, 上海轨道交通车辆架、大修仍旧采用车辆厂商推荐的计划修方案, 车辆的维修与保障采取完全委外的模式, 将复杂繁琐的维护与保障工作交由专业的公司承担。这样可以很大程度上减少运营单位后期维护的人力与物力成本, 简化备品备件的库存, 从而降低了资金上的压力。设备的离线式诊断方案既可以有助于解决在委外维修和维护时维修效果无法判定的问题, 也是有效检测及验证产品状态、保证一次装车成功的手段, 是运营方和维保方对接时最重要的一环。离线式诊断方案的应用弥补了运营方与维保方之间在产品交接时的空位, 为产品的维修状态提供了可量化的参考依据, 可极大地提升维修车辆在时间和空间上的利用率, 从而达到提高维修效率的目的。

1 辅助逆变器工作原理分析

1.1 辅助逆变器电气结构分析

辅助逆变器直接由受电弓取电, 通常输入电压为 DC 750 V 或 1 500 V。辅助逆变器把由受电弓获取的直流电压通过电子逆变装置转化为以下输出电压: ① 三相 380 V AC 50 Hz 恒定电压, 主要用于向空压机、空调设备、通风装置等用电设备供电; ② 110 V 恒定直流电压, 用于向蓄电池供电电路供电^[1-3]。辅助逆变器包括开关和保护部件、各种监控设备和电力模块, 其电气结构如图 1 所示。



注:1. 输入 DC 1 500 V 或 DC 750 V;2. 预充电单元;3. 蓄电池充电器;4. 逆变器;5. EMI(电磁干扰器)滤波器;6. 正统滤波器;7. 输出 DC 110 V;8. 输出 AC 380 V

图1 辅助逆变器的电气结构

1.2 辅助逆变器的工作模式

辅助逆变器接入许可工作电压后,通过控制器发出预充电接触器闭合控制指令,接通预充电接触器,开始内部滤波器电路的预充电。如果输入滤波器内没有故障,将闭合主保护装置,功率逆变模块(见图1的4)开始工作,输出三相 AC 380 V 电压,给列车相关负载供电;当蓄电池电量低时,将启动辅助逆变器,使图1中蓄电池充电器接通电源输出 DC 110 V,给蓄电池进行充电。

1.3 功率逆变模块工作模式

1.3.1 脉宽调制逆变器

脉宽调制器逆变模块将受电弓获取的直流电压逆变成三相 AC 380 V 电压,其结构如图2所示。输入侧电解电容作为中间电路,起滤波和存储能量的作用,逆变部分由6个功率管组成,通过不同的控制算法依次控制 IGBT(绝缘栅双极型晶体管)的导通和关断,将输入直流电压逆变成三相交流电压。

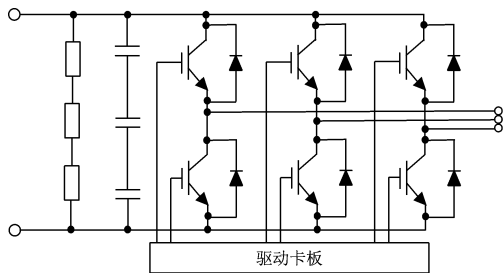


图2 脉宽调制逆变器结构图

1.3.2 蓄电池充电器

蓄电池充电器将受电弓获取的直流电压转为电气隔离的 DC 110 V 输出电压后向蓄电池充电,同时向连接在输出端的负载供电。蓄电池充电器的结构如图3所示,将直流电压通过控制 IGBT 的开通和关断斩波成方波电压,通过隔离变压器,在变压器二次侧将交流电压整流成 110 V 直流电压。

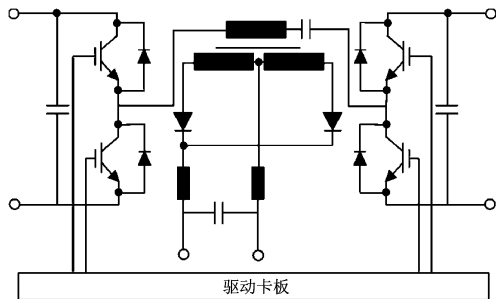


图3 蓄电池充电器结构图

2 离线式诊断系统设计分析

城市轨道交通车辆辅助逆变器的故障集中发生在脉宽逆变调制器和蓄电池充电器模块。当这些模块故障时,可以通过更换新模块快速解决列车故障。但是,由于目前对失效模块的分析手段比较少,故本文提出了针对脉宽逆变调制器和蓄电池充电器模块的离线诊断设计方案^[46]。

2.1 离线式诊断系统的原理

脉宽逆变调制器和蓄电池充电模块与辅助逆变器箱体分开后,需按辅助逆变器的电气结构搭建供电系统、控制系统和负载系统,其原理见图4。

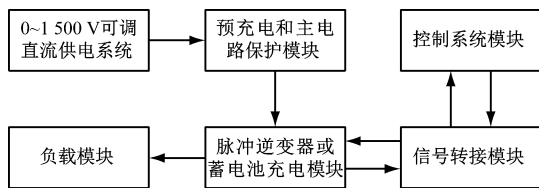


图4 离线式诊断系统原理图

2.2 离线式诊断系统的设计

该诊断系统采用模块化设计,主要分为以下5个模块。

2.2.1 DC 供电系统模块^[1]

采用三相 380 V 交流电压供电,通过调压器输出 0 ~ 1 100 V 交流可调电压,最后通过三相整流输出直流电压。整流输出电压计算公式为:

$$V_{out} = 1.414 \times V_{in} \quad (1)$$

式中:

V_{out} ——输出直流电压;

V_{in} ——输入直流电压。

由式(1)可知,当整流输入电压为 0 ~ 1 100 V 时,输出直流电压为 0 ~ 1 500 V。

2.2.2 预充电和主电路保护模块

该模块主要由预充电接触器、充电电阻和熔断器等组成。直流电压通过充电电阻给模块充电,当电压达到一定值时,控制系统发出预充电接触器吸合指令,将充电电阻旁路。当主电路发生短路故障时,可以通过烧断熔断器进行保护。该模块上还安装有母线电压检测传感器,以实时监测母线电压。

2.2.3 负载模块

脉冲逆变调制模块采用三相阻性与感性负载,蓄电池充电模块采用纯电阻负载。控制系统在完成对模块的自检后,发出信号接通负载。

2.2.4 信号转换模块

信号转换模块的主要作用是实现脉冲调制模块和蓄电池充电模块之间的信号交互处理。通过对辅助逆变器的脉冲调制模块和蓄电池充电器模块的 IGBT 驱动信号分析发现,其驱动电压主要有 5 V 和 15 V 两种信号,在进行信号转换板设计的时候通过拨码开关实现这两种信号的相互切换。此外,信号转接板上还包含了母线电压检测等信号处理电路。其电路设计如图 5、图 6 所示。

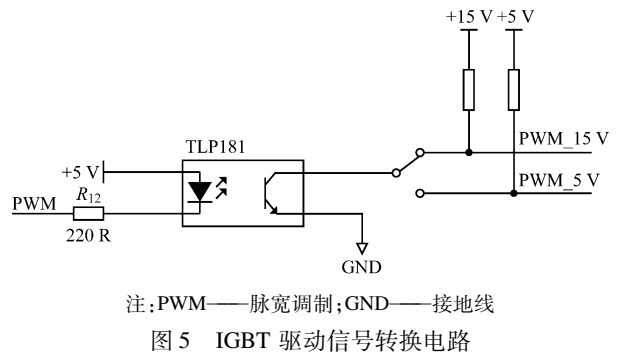


图 5 IGBT 驱动信号转换电路

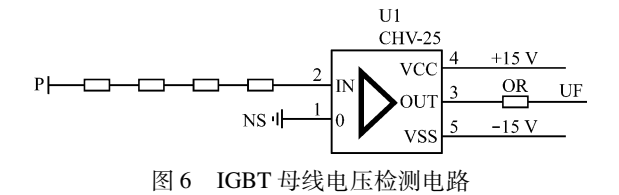


图 6 IGBT 母线电压检测电路

2.2.5 辅助逆变器控制系统模块

控制系统模块以 DSP2812 为控制核心,主要的外围电路包括控制电流检测处理电路、PWM 信号处理电路等,如图 7、8 所示。控制系统和上位机进行通信,通过上位机界面可以实时观察模块的各信号状态。

2.3 离线式诊断系统的设计仿真

用 PSIM(电力仿真软件)搭建仿真系统,对供

电模块和输出负载电流等进行仿真。脉冲逆变调制器和蓄电池充电器工作时,供电模块的输出电压波形和负载输出电流波形如图 9、10 所示。

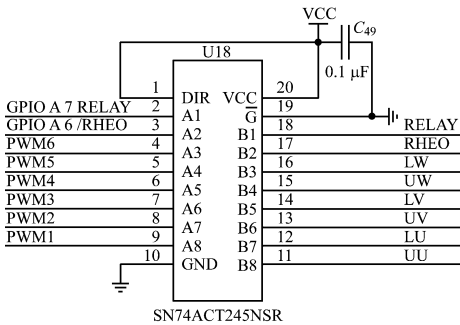


图 7 电流检测信号处理电路

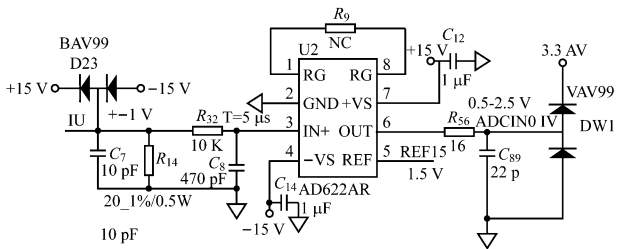


图 8 PWM 信号处理电路

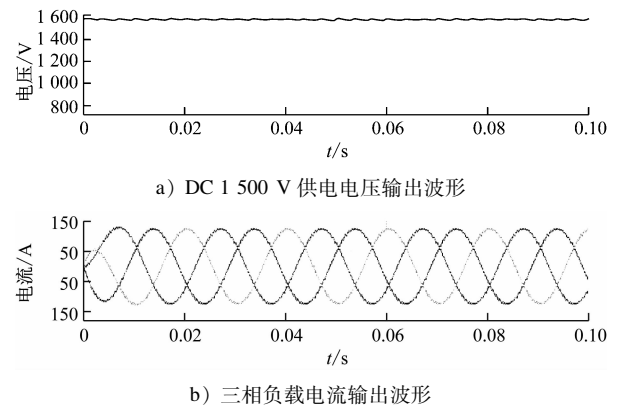


图 9 DC 1 500 V 供电电压和三相负载电流输出波形

3 离线式诊断系统的应用

目前,该离线式诊断系统已用于上海轨道交通 11 号线西门子辅助逆变器的故障件维修中。通过该系统可以快速地诊断出模块的故障点,并在完成故障维修后,再通过该系统确认模块是否可以正常工作。据统计,在已经完成维修的 11 号线故障件中,该系统的装车成功率为 100%。随着城市轨道交通车辆陆续进入大、架修阶段,该系统可以明显提高车辆的维修效率和成功率。

(下转第 138 页)

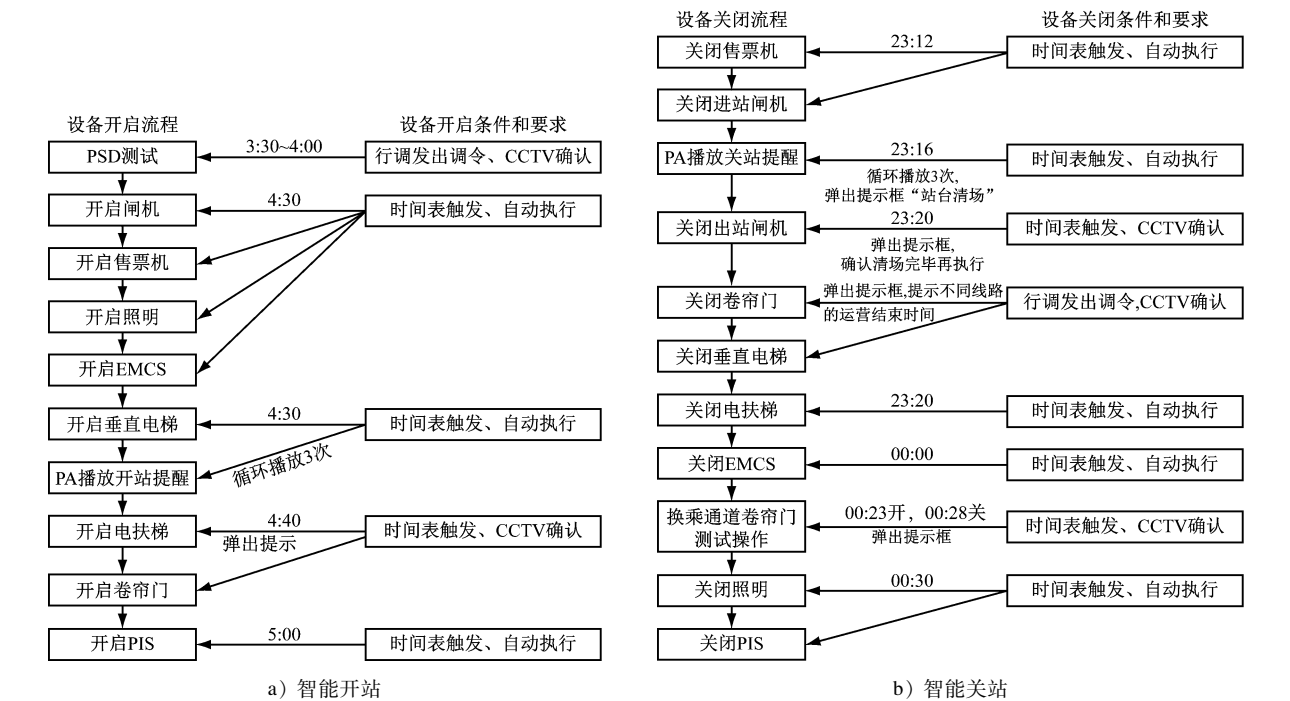


图 3 智能开关站控制流程

参考文献

[1] 中国信息通信研究院, 中国电信集团公司. 新理念新模式新动能-新型智慧城市发展与实践研究报告[R]. 北京: 中国电信集团公司, 2018.

[2] 孙章. 努力为智慧地铁贡献智慧[J]. 城市轨道交通研究, 2017(增刊1): 彩 4.

[3] 陈菁菁. 城市轨道交通客流检测技术的特征及其应用分析[J]. 城市轨道交通研究, 2018(1): 137.

[4] 陈菁菁, 江志彬. 基于 Wi-Fi 嗅探数据的地铁网络客流分析技术[J]. 城市轨道交通研究, 2018(5): 153.

(收稿日期: 2019-02-13)

(上接第 134 页)

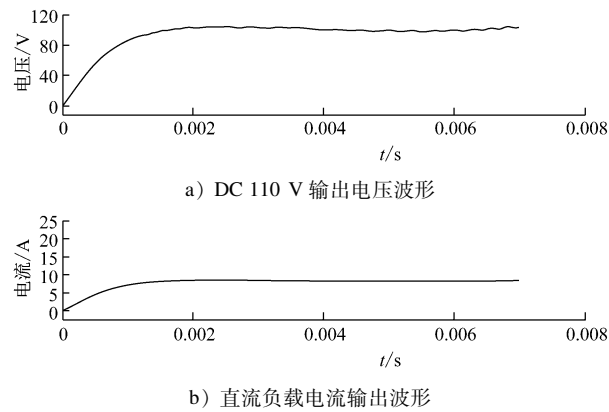


图 10 DC 110 V 输出电压和直流负载电流输出波形

4 结语

离线式诊断系统经实践验证整体效果良好, 系统表现出良好的稳定性与有效性, 检测后达到了 100% 的装机成功率。离线式诊断系统填补了检测

手段上的空缺, 相信其在大规模、批量化的车辆检测中将会体现出更为重要的价值。

参考文献

[1] 李红, 左鹏, 刘伟志, 等. 地铁车辆辅助逆变电源分析研究[J]. 中国铁道科学, 2004(1): 53.

[2] 宋袁雁. 地铁辅助逆变器原理及故障分析[J]. 科技创新与应用, 2018(30): 123.

[3] 王二小, 鞠峰. 地铁辅助电源模拟系统关键部件设计[J]. 现代制造技术与装备, 2016(9): 26.

[4] GUANG W, JING L, LING Z, et al. Detection and diagnosis of urban rail vehicle auxiliary inverter using wavelet packet and RBF neural network[J]. Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, 2013, 5(4): 211.

[5] 李德翀, 李莉, 王沁竹. 地铁辅助逆变器数学模型的分析与研究[J]. 科技创新与应用, 2018(25): 26.

[6] 郭佳. 电力机车辅助变流器三相逆变器的控制研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.

(收稿日期: 2019-07-30)