

高频辅助变流器对车辆设备若干 EMC 干扰问题分析及处理

王延金

江苏新誉阿尔斯通牵引系统有限公司, 江苏 常州 213166

[摘要] 列车高频辅助变流器的推行显著提升了电能变换的性能、效率和系统功率密度, 同时随着频率的提升, 不可避免地会出现与车辆设备之间电磁兼容性问题。文中主要针对高频辅助变流器方案在实际应用中对车辆若干 EMC 干扰的问题进行阐述、分析并根据实测情况提出相应解决方案, 为同类型产品的电磁兼容设计提供参考。

[关键词] 高频辅助变流器; 电磁兼容; BTM; 接地; 滤波

DOI: 10.33142/sca.v7i12.14742

中图分类号: TM46

文献标识码: A

Analysis and Handling of EMC Interference Issues in Vehicle Equipment Caused by High Frequency Auxiliary Inverters

WANG Yanjin

Jiangsu Xinyu Alstom Traction System Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu, 213166, China

Abstract: The implementation of high-frequency auxiliary converters in trains has significantly improved the performance, efficiency, and system power density of electric energy conversion. At the same time, with the increase of frequency, electromagnetic compatibility issues with vehicle equipment are inevitable. The article mainly elaborates and analyzes the EMC interference issues of high-frequency auxiliary inverter solutions in practical applications of vehicles, and proposes corresponding solutions based on actual measurements, providing reference for electromagnetic compatibility design of similar products.

Keywords: high frequency auxiliary inverter; electromagnetic compatibility; BTM; grounding; wave filtering

引言

由中国中车牵头制定的《标准地铁列车研制及试验项目辅助系统简统方案》中对地铁辅助变流器产品明确了高频化方案要求。高频辅助变流器与传统辅助变流器产品主要体现在输入输出隔离策略的高频化。在产品高频化的同时, 不可避免地会出现与车辆其他设备之间电磁兼容的问题。当前列车变流器产品主要依托相关标准和前期应用经验开展设计, 但满足电磁兼容标准并不一定能保证整个系统的电磁兼容^[1], 由于车辆运行环境的恶劣性及整车系统的复杂性, 列车设备之间相互干扰问题可能仍会存在。本文结合高频辅助变流器产品实际装车调试及运行过程中遇到的电磁干扰现象进行问题的阐述、分析及处理方案总结, 用于指导后续类似高频化产品的设计。

1 高频辅助变流器应用过程中的电磁干扰现象描述

现象 1: 进行车辆静态调试期间发现当车辆升弓, 高频辅助变流器工作之后, 全列车车门指示灯在未收到指示信号的情况下异常闪烁。

现象 2: 高频辅助变流器工作后, 观察到车辆司机室的 110V 电压表有异常抖动, 最高会波动到 140V。

现象 3: 车辆动调时, 主控断路器出现 MCCB 跳脱的情况, 同时出现 RIOM 板卡 I/O 口损坏。

现象 4: 在车辆动调时, 发现车辆 BTM 设备受到干扰,

好码率低于标准要求, 无法正常工作。

2 干扰问题调查

针对车门 LED 灯异常点亮、电压表异常抖动、主控断路器出现 MCCB 跳脱的现象及 BTM 设备受干扰现象, 在列车上进行了针对性的调查, 以确认干扰源及干扰路径。

2.1 车门指示灯异常点亮问题调查

为确认异常干扰源, 根据如车门指示灯与门控器连接关系对车辆进行了如下测试工作:

(1) 门控系统空开断开, 升弓后车门指示灯仍有异常点亮现象;

(2) 将门控外壳与车体接地部分全部断开, 列车升弓后, 车门指示灯不再亮;

(3) 在(2)基础上将门控外壳与车体重新连接, 车门指示灯重新异常点亮;

通过以上测试确认, 车上门控指示灯异常点亮现象与车体地之间存在明确的关联, 应为干扰信号通过车体干扰了门控指示灯。

2.2 司机室电压表显示跳变问题调查

针对车辆在升弓后司机室电压表显示跳变问题, 进行针对性问题确认。使用万用表和示波器测试升弓后的 110V 电压, 发现实际蓄电池母线电压无明显波动, 与司机室电压表显示跳变不符, 当测试蓄电池负极对车体地时发现其上存在异常电压, 此电压同样可能通过地回路干扰

电压表的显示。示波器测得的蓄电池母线负极对车体的电压有效值为 49V 左右,且此电压为高频交流电压。

对车载 4 台高频辅助变流器进行逐台切除,随着高频辅助的切除,蓄电池母线负极对车体地之间的电压值逐渐下降,表现出了与高频辅助系统的强相关性。

2.3 主控断路器 MCCB 跳脱问题调查

针对 MCCB 跳脱问题,故障排查过程中发现牵引安全列车线在未被激活时就存在异常电压,且此电压是在高频辅助变流器工作之后才开始出现。根据以上现象,分析当牵引安全列车线被激活后,列车 RIOM 板卡上应该收到了车体地线上的干扰信号,导致蓄电池电压叠加了异常的对车体的干扰电压,从而超出 RIOM 板卡承受能力,造成输入点损坏,并形成对地短路情况,从而导致断路器 MCCB 跳脱。

2.4 BTM 设备受干扰调查

车辆上采用的 BTM 产品由 BTM 主机和 BTM 天线两部分组成,BTM 主机位于车载机柜内,通过天线电缆与 BTM 天线相连。正常情况下 BTM 主机功率电路将频率为 27MHz 的应答器激励信号通过天线电缆不间断地传输到 BTM 天线上。BTM 通过谐振电路将应答器激励信号通过空气间隙接口发送出去。当列车经过应答器时,应答器接收到激励信号立即向 BTM 天线发送位置等信息。应答器的传输信号制式为 FSK 信号,工作信号的中心频率为 4.3MHz,其中上下边缘分别为 3.95MHz 和 4.52MHz^[2]。

车辆在动调试验时,升弓后,BTM 主机接收地面应答器正常工作指示灯 B1/B2 在地面应答器无应答时出现异常常亮。根据 BTM 设备信号要求,采集信号的好码率至少为 90%,为此使用专业设备对 BTM 信号好码率进行测试确认,好码率仅为 87%,说明 BTM 设备收到了严重的干扰。

经过在现场一系列的验证,当高频辅助变流器产品工作时,此干扰才会存在,确认 BTM 设备应收到高频辅助变流器产品的电磁干扰。通过断开 TC1 车靠近车载天线附近的接地回流线,并将 BTM 主机从机架中拿出来并与车体地进行隔离后,BTM 主机信号灯变为正常闪烁状态,且采样好码率才能超过 90%。由此明确了高频辅助变流器产品应通过车辆的高压回流线电磁干扰影响了 BTM 设备的正常工作。测试排查图片如下图 1 所示。

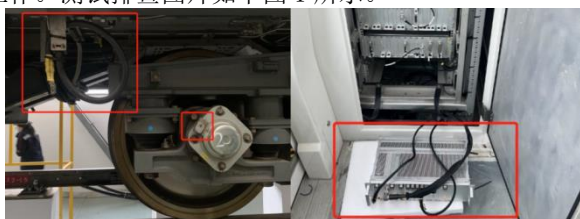


图 1 BTM 干扰排查

经与 BTM 厂家沟通和查阅厂家提供的相关资料确认:

(1) BTM 主机通过车载天线向下发送 27MHz 能量激

活地面应答器,接收和处理应答器向车载天线返回的 4.23MHz 上行链路信号,得到应答器报文数据,并将数据传输给车载主机单元;

(2) 安装 BTM 位置附近有干扰磁场强度的频率范围为 2.5MHz~6.0MHz 时,需要低于-60dBm;

(3) BTM 主机信号在低速动车时的采样好码率必须超过 90%。

使用频谱分析仪对高压接地回流线周围测试,发现在列车升弓后高频辅助变流器正常运行,接地回流线周围 2.5~6MHz 的干扰强度为-57dBm,高于-60dBm,已超出 BTM 主机正常工作的要求,如图 2 所示。



图 2 接地回流线电磁信号测试情况

3 故障分析及处理措施

经过排查确认,以上 4 种干扰现象,经排查均与高频辅助系统存在关联性,应通过改进高频辅助系统产品的对外干扰解决相应干扰问题。通常,电源线是电磁干扰传入设备和传出设备的主要途径,通过电源线,电网上的干扰可以传入设备,干扰设备的正常工作。同样,设备的干扰也可以通过电源线传到电网上,对电网上的其他设备造成干扰^[3]。因此,可重点对辅助变流器主回路电源线进行处理,以降低对车辆电网上其他设备的电磁干扰。正确而合理的滤波是解决电磁干扰的非常重要的技术方法。

3.1 高频辅助变流器与列车的连接方式处理

故障排查和定位后,确定高频辅助变流器为异常现象的主要干扰源,结合用电设备及高频辅助变流器内部电路对干扰路径原理进行分析。

以车门指示灯为例,如下图 3 为门控器内部车门指示灯供电电路干扰回路示意图。当前门控器内部存在对地的 Y 电容,如下图 4 的 C1,当其他设备(此处主要是高频辅助变流器)对地释放干扰时,会通过 Y 电容(如图 4 中 C1)将干扰信号耦合进用电设备,造成用电设备表现异常甚至报出故障。

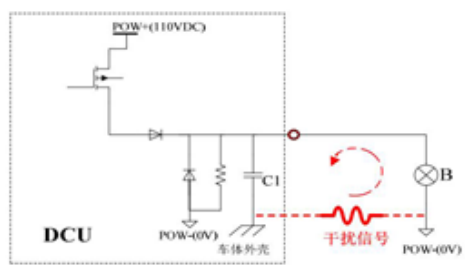


图3 门控器内部车门指示灯供电电路干扰回路示意图

对高频辅助变流器电路拓扑进行分析,如下图为部分高频辅助变流器设备的系统框图,当前在高频辅助变流器内部存在对地的Y电容,如下图4红色图框,此Y电容位于高频谐振相关部分,是高频辅助逆变器与常规逆变器主要差异点,也是最容易出现干扰的位置。当高频辅助变流器设备工作在开关模式下,高 di/dt 和高 du/dt 的工作特性将产生显示的发射频谱分量。

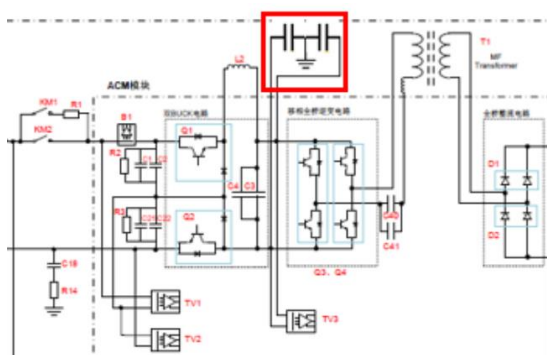


图4 部分高频辅助变流器系统框图

车体地作为整车的公共参考零电位,通常可作为车载设备的干扰的泄放通道。接地是一致早上,防止干扰的主要方法。每个电路最终都要有一个参考接地源,这是无法选择的事实,电路设计之初就应首先考虑接地设计^[4]。在列车上,不论牵引变流器产品、辅助变流器产品还是BTM设备或门控指示灯等设备,都会选择以不同方式连接到车体地。

图4处就是高频辅助变流器产品对车体地连接的Y电容,其作用是降低高频变换对充电机输出及交流输出EMC干扰。由于此处的高频谐振频率高,能量强,势必会成为较强的干扰源,增加此对车体地Y电容后,会将部分高频干扰通过车体地进行泄放,从而保证高频辅助变流器对外输出线上的干扰符合标准要求。如下图5为输出电源线上频谱测试结果,符合标准要求^[5]。

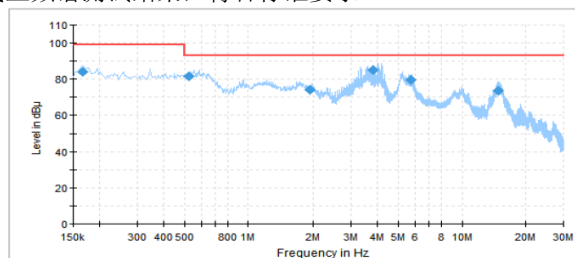


图5 输出频谱测试结果

当前确认高频辅助变流器内部的此Y电容会将高频辅助变流器高频变压器部分产生的干扰耦合到车体地上,造成用电设备的干扰,但与此同时,又无法将此电容直接进行取消,取消后会导致直流母线及输出上的高频干扰存在于输出线上,不满足标准测试要求。为此需在高频辅助变流器内部将此干扰信号处理掉,如下图6为提出的新的电容连接方案,原来的Y电容将不再直接连接到车体地上,而是跨接到三相交流输出电容的中性点上。经验证确认,按此方案整改后高频辅助变流器的输出侧质量均未受到影响,且消除了车体地与110V-之间异常电压问题,列车门控指示灯异常闪烁、MCCB异常断开及司机室内电压表读数跳变问题都得到解决。

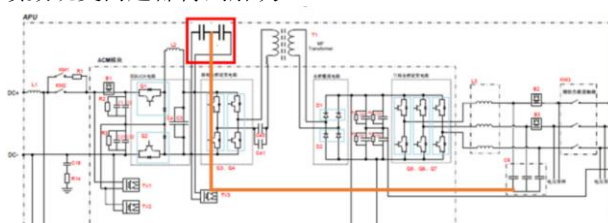


图6 整改方案示意图

3.2 输入电磁干扰滤波处理

根据前期干扰排查,BTM受干扰主要是高频辅助变流器产品内部的干扰通过1500V输入线传导到接地回流线上,造成了BTM的干扰。

对此部分干扰可考虑通过滤波方式实现与其他设备的电磁兼容。滤波是用来降低电子器件传导繁荣和提高电磁抗扰度的基本方式。轨道交通车辆上一般采用低通滤波器对电源进行滤波^[6]。根据此思想,在高频辅助变流器输入侧增加低通滤波器件,方式如下图7:1500输入高压正负输入线一同穿入磁环,高压输入正负线分别对箱体增加滤波电容,形成低通LC滤波器,降低通过输入线对外的干扰。

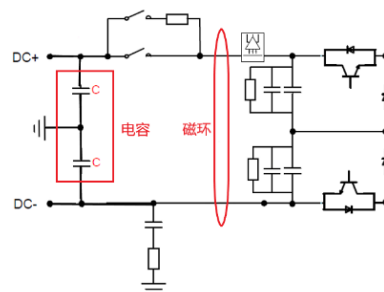


图7 APU内部改进措施

通过以上滤波处理,车辆升弓后高频辅助系统正常工作,此时BTM主机接收板B1/B2指示灯为闪烁状态,使用频谱分析仪测试高压接地回流线附近的信号强度已低于-60dBm,如下图8,测得的干扰强度约-65dBm。列车进入试车线高速运行,采集码率为99%,已满足BTM设备的要求。

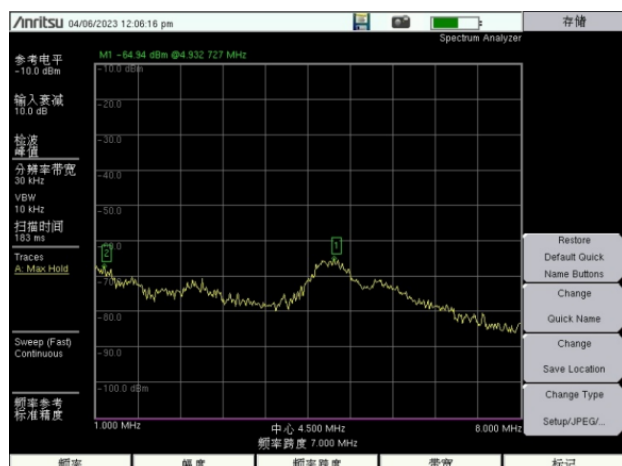


图8 改进之后接地回流线附近的信号强度

4 结束语

列车上所有的电气设备是一个整体,在产品设计初期,除了应考虑产品自身的功能和性能外,还需要综合考虑与车辆其他设备之间的连接及电磁兼容等问题。

本文结合高频辅助变流器产品运用过程中的 EMC 干扰案例,详细阐述问题现象、排查方案、原因分析及处理措施,对后续同类产品的设计开发是宝贵的经验。

[参考文献]

- [1] 支永健. 轨道交通牵引系统电磁兼容技术研究及应用[J]. 安全与电磁兼容, 2024, 12(3): 12-13.
 - [2] 李鹏飞. 某地铁车辆辅助你不与信号 BTM 天线电磁干扰分析及改进[J]. 铁道车辆, 2023, 12(4): 22-23.
 - [3] 张峰. EMC 的分析与可靠性设计[J]. 电子质量, 2024, 12(3): 24-25.
 - [4] 郑军奇. EMC(电磁兼容)设计与测试案例分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
 - [5] GB/T 24338.4-2018 轨道交通 电磁兼容 第3-2部分: 机车车辆 设备[S]. 2018.
 - [6] 齐万明, 陈小琳, 穆晓彤. 复杂电磁环境下轨道交通车辆正常抗电磁干扰设计[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2021, 12(2): 22-23.
- 作者简介: 王延金(1987—), 毕业院校: 西南大学, 所学专业: 自动化(控制方向), 当前就职单位: 江苏新誉阿尔斯通牵引系统有限公司, 职务: 硬件研发工程师, 职称级别: 电子中级工程师。