

轨道列车辅助变流器供电方式分析

王树宾

(中车长春轨道客车股份有限公司, 130062, 长春//教授级高级工程师)

摘要 介绍了轨道列车辅助变流器的电路拓扑结构、辅助变流器的供电方式及其未来发展趋势。对传统的工频隔离式辅助变流器和单向 DC/DC 变换型高频链逆变器的拓扑结构进行了分析比较,得出两种拓扑结构各自的优缺点。分析对比了轨道列车辅助变流器集中供电和并网供电的优缺点。

关键词 轨道列车; 辅助变流器; 供电方式

中图分类号 U223.5⁺1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.009

Analysis on Power Supply Mode of Rail Vehicle Auxiliary Convert

WANG Shubin

Abstract The circuit topology structure, power supply mode and future development trend of the auxiliary converter installed in rail transit vehicle is briefly introduced. The topology structures of traditional power frequency isolated auxiliary converter and unidirectional DC/DC conversion high-frequency chain inverter are analyzed and compared, the advantages and disadvantages of the two topologies are obtained. The advantages and disadvantages of centralized power supply system and grid-connected power supply system are comparatively analyzed.

Key words rail vehicle; auxiliary converter; power supply mode

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

轨道列车辅助供电系统维持着列车许多重要功能的实现,也关系到乘客的乘坐舒适性,是列车运行不可缺少的部分。辅助供电系统将网侧直流电压逆变成三相 380 V 交流电,提供给列车。列车上除牵引电机以外的负载,包括风机空调、插座、照明、加热器等设备,都是由列车辅助供电系统来维持其正常工作的。随着变频空调等非线性负载的普及,对列车辅助供电系统的性能要求也越来越高,尤其对其可靠性、安全性的要求也逐渐提高。未来的辅助变流供电系统也会在原有基础上得到

大幅度改善,逐渐往高频化、轻量化发展。因此,探索长寿命、高可靠性、高功率密度的辅助变流器,是未来发展的趋势^[1]。

基于轨道列车辅助变流供电系统的基本原理和控制方法,分析辅助变流器的拓扑结构和供电方式,并对未来轨道列车辅助供电的发展提出展望。

1 辅助变流供电系统拓扑结构

目前,轨道列车辅助变流器的主流拓扑结构分为两种:工频隔离式辅助变流器和单向 DC/DC 变换型高频链逆变器。

1.1 工频隔离式辅助变流器

图 1 为典型的工频隔离式辅助变流器的拓扑结构:采用三相四线制,从网侧直流电取电,经过网侧滤波、三相全桥逆变、变压器隔离和变压,输出滤波得到三相 380 V 交流电,给列车上的负载供电。此拓扑结构中,网侧直流电只需 1 次变换,再经变压器的隔离和变压就可以得到想要的电压。其结构简单实用、可靠性高、易于实现,是目前常用的拓扑结构。但是,由于采用工频变压器,故体积庞大,较笨重,变流器整体的功率密度较低^[2-4]。

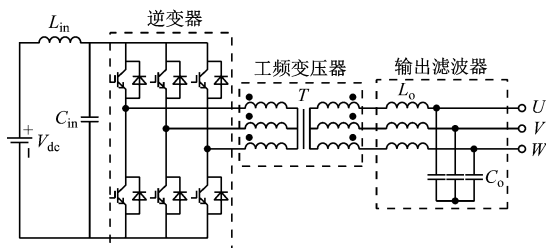


图 1 工频隔离式辅助变流器拓扑结构

1.2 单向 DC/DC 变换型高频链逆变器

图 2 是典型的单向 DC/DC 变换型高频链逆变器。网侧直流电输入,经网侧滤波后进入高频逆变器;高频逆变器将直流电压转换成高频交流电压,通过高频变压器进行隔离变压,经过整流桥得到需要的直流电压;再经直流滤波进入工频三相逆变

器,输出滤波后得到预期的三相交流电。

该拓扑结构采用的高频变压器在体积和质量上大幅度减少,提高了功率密度;且直流滤波的引入使 DC/DC 变换和 DC/AC 变换相对独立,可以根据各自的需要独立进行控制。但是,其缺点也比较明显:由于需要经过三级变换,整体结构更加复杂,控制难度也有所加大;由于采用了不控整流,能量只能单向流动;虽取消了工频变压器,但引入了直流滤波环节,直流滤波电容和电感在系统中仍占有较大空间和质量,不利于模块的轻量化。

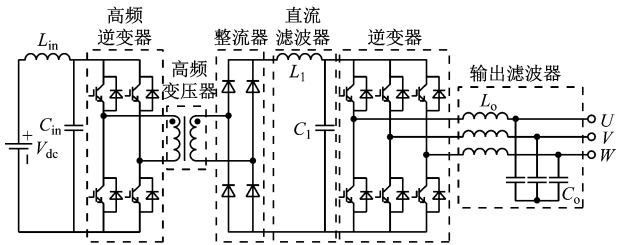


图 2 单向 DC/DC 变换型高频逆变器拓扑结构

1.3 两种拓扑结构的比较

对比以上两种不同的拓扑结构可见:作为传统拓扑结构的工频隔离式辅助变流器在可靠性上具有优势,整体结构更加简单可靠,但工频变压器的体积和质量太大,不节能,也不符合轻量化的标准,需要改进^[5]。

单向 DC/DC 高频逆变器,使用软开关技术,提高了功率器件的工作频率,使用高频变压器取代了工频变压器,变压器占系统的空间大大减小;高频化也使滤波电感和电容的体积减小,使整个系统的体积和质量减小,符合轨道列车轻量化的趋势,提高了逆变器的功率密度,且更加节能和环保^[6]。

表 1 两种拓扑结构的对比

对比项目	工频隔离式辅助变流器	单向 DC/DC 变换型高频逆变器
拓扑结构	简单可靠	较复杂
控制方式	简单	较复杂
工作频率	工频 50 Hz	高频
开关方式	硬开关	软开关
体积、重量	整体笨重	轻量化
能量密度	低	高
工作效率	低	高

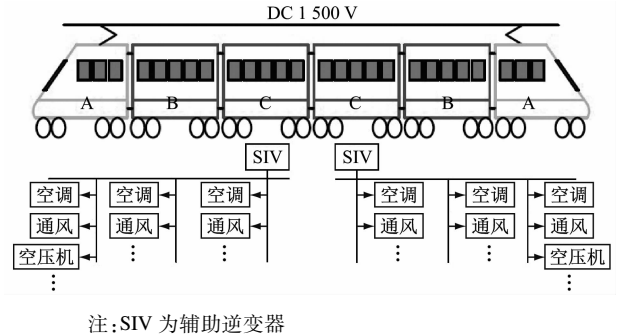
2 辅助变流供电系统供电方式

辅助变流供电系统从供电方式上可分为集中

供电和并网供电两种方式。

2.1 集中供电方式

采用集中供电模式的辅助变流供电系统如图 3 所示。每列车分为 2 个及 2 个以上的单元,每个单元由单独的辅助逆变器供电,单元彼此没有联系。在正常情况下,每台辅助逆变器单独输出 AC 380 V 电压给本单元的负载供电。一旦有辅助逆变器发生故障,首先系统检测出哪一台逆变器发生故障,通过断开接触器使发生故障的逆变器与系统隔离;然后通过拓展接触器将其他单元的辅助逆变器引入此单元,即一个辅助逆变器给 2 个单元的负载供电。但是,由于逆变器的容量不够,在保证列车正常运行以及最大化满足乘客舒适度的前提下,需要切除系统中不重要的负载,以确保辅助逆变器在额定容量范围内运行^[7]。



注:SIV 为辅助逆变器

图 3 采用集中供电模式的辅助变流供电系统

2.2 并网供电方式

并网供电(见图 4)即每列车有多台逆变器并网给负载供电。并网供电要求各台逆变器的输出电压幅值、频率和相位一致,否则会使逆变器之间存在环流,导致效率下降甚至整个系统解列崩溃。所以,并网运行对每台逆变器的同步和控制有更严格的要求。

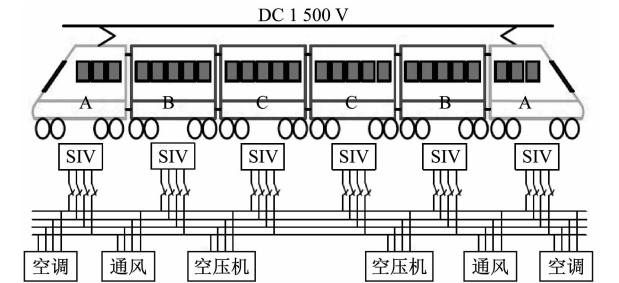


图 4 采用并网供电模式的辅助变流供电系统

2.3 两种供电方式的对比

对比两种供电方式,从表 2 可以看出:并网供电的性能整体上比集中供电优越,并网供电的单台容

量更小,供电的冗余程度更好,在单台逆变器发生故障的情况下系统受到的影响最小。但是,并网供电也存在一些缺陷,例如:从列车控制角度出发控制算法更加复杂,对逆变器的同步和功率分配等要求较高;同时,多台逆变器并网整体上增加了辅助供电系统的质量,维修保养的费用也相应提高^[8-9]。

表 2 两种供电方式的对比

项目	集中供电	并网供电
单台容量	大	小
单台质量	重	轻
单台尺寸	大	小
总质量	轻	重
供电冗余度	较差	好
维修保养费用	少	多
轴重均衡性	差	好
列车级控制复杂度	简单	复杂

3 未来发展趋势

3.1 高效化

轨道列车辅助逆变器的功率密度一直是业内关注的重点,其中功率开关器件和隔离变压器的损耗是逆变器最大的损耗。因此,要想提高辅助变流器的功率密度,必须降低两者的损耗。其中:开关器件的损耗可以使用软开关技术得到优化;工频隔离器变压器的体积、质量大,损耗也大,可以通过高频化使用高频隔离变压器来降低变压器上的损耗。因此,通过高频化和软开关技术可以提高系统的整体功率密度,使整个系统高效化^[10]。

3.2 模块化

目前,逆变器模块化程度不高,不同的辅助逆变器有着不同的电压、电流参数,可替换性较差。若能统一逆变器的接口标准,统一电气参数,如统一输入电压、电流和输出电压、电流的参数指标,则可以提高系统的可替换性,方便安装和维护。

3.3 轻量化

若采用高频变压器取代传统的工频隔离式变压器,则系统的整体体积和质量都会大幅度降低,从而实现轻量化。除此以外,采用新材料如碳化硅

或者氮化镓的新型功率开关器件来取代传统的硅基开关器件也能相应提高系统的轻量化。这种新材料的开关器件,在同等功率下,散热性能比传统器件有所提升,能够节省散热模块的体积,从而提高系统的整体效率,实现系统的轻量化。

4 结论

通过对比分析传统工频隔离式辅助变流器和单向 DC/DC 变换型高频链逆变器的拓扑结构,认为单向 DC/DC 变换型高频链逆变器更适合轨道列车辅助变流器系统。通过对比分析集中供电和并网供电两种辅助变流供电方式,认为并网供电方式更加优越,更适合轨道列车辅助供电系统。未来轨道列车辅助变流供电系统一定会向着高效化、模块化和轻量化发展。

参考文献

[1] DIAO L J, DU H Q, SHU Z, et al. A comparative study between AI-HM and SPD-HM for railway auxiliary inverter with pulsating DC link[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018(7):5816.

[2] 贾波. 地铁辅助变流器的设计研究[D]. 北京交通大学,2011.

[3] 付尧. 双动力动车组辅助供电系统并联技术研究[D]. 北京交通大学,2015.

[4] 夏炎. 混合动力动车组辅助变流器设计与研究[D]. 北京交通大学,2014.

[5] WANG K R. High-frequency quasi single stage(QSS) isolated AC-DC and DC-AC power conversion[D]. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.

[6] CHEN D L, LI L. Novel static inverters with high frequency pulse DC link[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2004, 19(4):971.

[7] 杜求茂, 陈中杰, 彭驹. 城轨车辆辅助供电系统的比较分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2011, 34(4):53.

[8] 黄海界, 李晓龙, 尹力明, 等. 浅谈地铁车辆并网供电及其节能优势[J]. 装备机械, 2010(2): 12.

[9] 龚文斌, 张卫东. Alstom 地铁列车中压辅助供电形式的性能比较及优化[J]. 仪表技术, 2011 (1): 57.

[10] 陈恒谦. 城轨车辆辅助逆变器设计选型与发展趋势[J]. 电力机车与城轨车辆, 2012(4):55.

(收稿日期:2018-10-11)