

面向未来轨道交通的客车供电系统

——三相逆变器与单相逆变器的技术创新

张帝

青岛中车四方轨道车辆有限公司

DOI:10.12238/btr.v7i2.4260

[摘要] 随着城市化进程的加快和交通需求的不断增长,轨道交通作为高效、环保的交通方式,其发展受到了广泛关注。客车供电系统作为轨道交通中的关键组成部分,其性能直接影响到列车的运行效率和安全性。本文旨在探讨面向未来轨道交通的客车供电系统,特别是三相逆变器与单相逆变器的技术创新。通过对比分析两种逆变器的技术特点、应用场景及其在现代轨道交通中的作用,本文提出了一系列创新思路和设计方案。研究方法包括文献回顾、技术对比分析以及案例研究。研究结果表明,三相逆变器在高功率需求和高效率方面具有明显优势,而单相逆变器则在小型化和成本控制方面表现出色。结论强调了技术创新在提升轨道交通供电系统性能中的重要性,并对未来的发展趋势进行了展望。

[关键词] 轨道交通; 客车供电系统; 三相逆变器; 单相逆变器

中图分类号: U213.2 **文献标识码:** A

Bus Power Supply System for Future Rail Transit

——Technological innovation of three-phase inverters and single-phase inverters

Di Zhang

Qingdao CRRC Sifang Railway Vehicles Co., Ltd

[Abstract] With the acceleration of urbanization and the continuous growth of transportation demand, rail transit, as an efficient and environmentally friendly mode of transportation, has received widespread attention for its development. As a key component of rail transit, the performance of the passenger car power supply system directly affects the operational efficiency and safety of trains. This article aims to explore the technological innovation of passenger car power supply systems for future rail transit, especially three-phase inverters and single-phase inverters. By comparing and analyzing the technical characteristics, application scenarios, and their roles in modern rail transit of the two inverters, this article proposes a series of innovative ideas and design schemes. The research methods include literature review, technical comparative analysis, and case studies. The research results indicate that three-phase inverters have significant advantages in high power demand and efficiency, while single-phase inverters perform well in miniaturization and cost control. The conclusion emphasizes the importance of technological innovation in improving the performance of rail transit power supply systems, and looks forward to future development trends.

[Key words] rail transit; Bus power supply system; Three phase inverter; Single-phase inverter

引言

随着全球经济的快速发展和城市化进程的加速,轨道交通作为城市交通系统的重要组成部分,其安全性、可靠性和效率性受到了前所未有的关注。在轨道交通系统中,客车供电系统扮演着至关重要的角色,它不仅保障了列车的动力供应,还直接影响到乘客的舒适度和列车的运行效率。逆变器作为供电系统的核

心设备,其性能的优劣直接关系到整个系统的稳定性和经济性。因此,对逆变器技术的深入研究和创新,尤其是三相逆变器与单相逆变器的技术优化,对于推动未来轨道交通的发展具有重要意义。

1 三相逆变器与单相逆变器技术比较分析

1.1 性能对比

在现代轨道交通客车供电系统中,三相逆变器与单相逆变器各有其独特的性能特点。三相逆变器以其高效率和高功率密度而受到青睐,尤其在需要大功率输出的场合,如高速列车和重载运输车辆中,三相逆变器能够提供稳定且连续的电力供应。其三相平衡输出特性有助于减少电网谐波,从而降低对电网的影响,提高整体系统的能效。此外,三相逆变器在处理突发负载变化时表现出更好的稳定性,这对于确保列车在加速和制动过程中的平稳运行至关重要。

相比之下,单相逆变器在小型化和成本效益方面具有优势。由于其结构简单,单相逆变器在小型车辆和低功率应用中更为常见。尽管单相逆变器在功率输出上不如三相逆变器,但其在轻载或中等功率需求的场合已足够胜任。此外,单相逆变器的设计和制造成本较低,这使得其在成本敏感的应用场景中更具吸引力。

1.2 创新潜力评估

在技术创新潜力方面,三相逆变器的研究方向主要集中在提高功率转换效率和降低系统整体成本上。通过采用先进的功率半导体材料,如硅碳化物和氮化镓,三相逆变器的开关频率得以提高,从而减小开关损耗,提高整体效率。同时,通过优化电路拓扑结构和控制算法,可以进一步提升三相逆变器的性能,如采用多电平技术或交错并联技术来降低输出电压的谐波含量。

单相逆变器的创新潜力则体现在其设计灵活性和控制策略的优化上。例如,通过采用数字信号处理器或现场可编程门阵列实现的复杂控制算法,可以提高单相逆变器在变负载条件下的性能和效率。此外,集成化设计和模块化结构的应用,不仅有助于减少单相逆变器的体积和重量,还能简化生产和维护流程,降低长期运营成本。

2 三相逆变器的技术创新

2.1 三相逆变器的技术优势

三相逆变器的核心功能是将直流电转换为三相交流电。这一过程涉及复杂的电力电子控制技术和先进的电路设计。三相逆变器的设计使其能够产生三相平衡的交流电,这种电能形式对于大型电气设备和高速列车的牵引系统尤为重要。三相交流电的平衡输出有助于减少电网的谐波失真,这一点对于提高电能的整体利用效率和减少电网损耗具有重要意义。

在能量转换效率方面,三相逆变器通过优化开关器件的工作状态,实现了高效率的能量转换。这种高效率的转换不仅减少了能量损耗,还降低了系统的运行成本。此外,三相逆变器的设计允许其在高频率下运行,这一特性有助于减小逆变器的体积和重量,从而减轻列车的负载,提高能源利用效率。高频率运行还有助于降低热损耗,进一步提升系统的可靠性和性能。

电能质量的优化是三相逆变器另一显著的技术优势。在轨道交通系统中,电能质量的优劣直接关系到列车运行的平稳性和乘客的舒适度。三相逆变器通过精确控制输出电压和电流的波形,有效降低了电压波动和闪变,保证了电能的稳定性。这种稳定性对于高速列车和重载运输车辆尤为重要,因为它们对电能质量的要求远高于普通电气设备。

三相逆变器的稳定性在处理大功率负载时表现得尤为突出。高速列车和重载运输车辆在启动和加速过程中需要大量的电能,三相逆变器能够提供稳定且连续的电能输出,确保列车的平稳运行。这种稳定性还体现在对负载变化的快速响应上,三相逆变器能够迅速调整输出,以适应不同的运行条件和负载需求,从而保证了供电系统的可靠性。

在系统稳定性方面,三相逆变器的设计考虑了多种保护机制,如过载保护、短路保护和过热保护等。这些保护机制确保了在异常情况下系统的安全运行,减少了故障发生的可能性。此外,三相逆变器的故障诊断和自我修复能力也大大提高了系统的稳定性和可靠性。通过实时监控逆变器的工作状态,系统能够及时发现并处理潜在的问题,从而避免故障的发生。

2.2 技术创新案例分析

技术创新在三相逆变器领域的案例分析揭示了多种提升性能的策略。例如,采用先进的功率半导体器件,如宽禁带半导体材料,可以提高逆变器的开关速度和耐压等级,从而提高能量转换效率。在控制策略上,采用模型预测控制(MPC)等先进算法,可以实现对逆变器输出电压和电流的精确控制,优化系统响应速度和稳定性。此外,通过采用数字双环控制结构,可以实现对逆变器内部参数的实时监测和调整,以适应不同的运行条件和负载变化。

2.3 三相逆变器在轨道交通中的应用前景

三相逆变器在轨道交通中的应用前景十分广阔。随着城市轨道交通网络的不断扩张和新型高速列车的研发,对高效、高可靠性的供电系统的需求日益增长。三相逆变器的技术创新将有助于满足这些需求,特别是在提升列车运行效率、降低能耗和减少维护成本方面。未来,随着无线充电技术、能量存储系统以及智能电网技术的融合,三相逆变器有望在轨道交通领域实现更广泛的集成和应用,为实现绿色、智能的交通系统做出重要贡献。

3 单相逆变器的技术创新

3.1 单相逆变器的技术特点

首先,单相逆变器的设计简化了电力转换过程,通过将直流电源转换为单相交流电源,为客车提供了必要的电力。这种简化不仅降低了制造成本,也减少了维护的复杂性。在轨道交通系统中,这意味着可以更快速地部署新的车辆,同时降低了运营成本。此外,简化的设计也减少了故障发生的概率,提高了系统的可靠性。

其次,单相逆变器的紧凑尺寸使其在空间受限的车辆中具有显著优势。轨道交通车辆通常需要在有限的空间内集成多种设备,单相逆变器的小体积使其能够轻松地安装在车辆的任何位置,而不会对车辆的设计或性能产生负面影响。这种灵活性对于车辆制造商来说是一个重要的考虑因素,因为它允许他们根据不同的应用需求来设计和配置车辆。

在控制策略方面,单相逆变器的简便性为其在客车供电系统中的集成提供了便利。单相逆变器通常采用基于微处理器的

控制系统,这些系统能够实现对输出电压和电流的精确控制。这种精确控制对于保证车辆电气设备的稳定运行至关重要,尤其是在面对不同的负载需求和运行条件时。此外,这种控制策略的简便性也意味着系统可以更容易地进行升级和优化,以适应未来技术的发展。

单相逆变器的另一个技术特点是其对环境适应性的提升。轨道交通车辆在不同的气候和地理条件下运行,这对供电系统提出了严峻的挑战。单相逆变器通常设计有良好的散热性能和防尘防水功能,使其能够在各种恶劣环境下稳定工作。这种环境适应性不仅保证了车辆的可靠性,也减少了因环境因素导致的维护需求。

此外,单相逆变器在能效方面也表现出色。尽管其输出功率相对较小,但通过优化的电路设计和高效的开关器件,单相逆变器能够实现高效率的能量转换。这种高效率不仅减少了能量损耗,还有助于降低车辆的能耗,从而实现更加环保的运营。

在安全性方面,单相逆变器同样表现出其技术优势。现代单相逆变器通常配备有过电压、过电流和短路保护功能,这些功能能够在异常情况下迅速切断电源,保护车辆和乘客的安全。同时,一些先进的单相逆变器还具备故障自诊断和报警功能,能够在出现问题时及时通知维护人员,从而减少潜在的安全风险。

3.2 技术创新与成本效益分析

在技术创新方面,单相逆变器的研究重点在于提高效率、降低成本并增强可靠性。通过采用新型功率半导体器件,如高效率的绝缘栅双极晶体管和智能功率模块,可以提高逆变器的开关频率,从而减少开关损耗,提高整体效率。同时,通过优化逆变器的热管理设计,可以有效降低散热成本,延长逆变器的使用寿命。在成本效益分析方面,单相逆变器的简化设计和较低的材料成本使其在大规模应用中具有显著的经济优势。

3.3 单相逆变器在轨道交通中的实践应用

单相逆变器在轨道交通实践中的应用主要集中在轻型车辆和城市轨道交通系统中。例如,在有轨电车和城市地铁系统中,单相逆变器被广泛应用于为车辆的牵引驱动系统和辅助电源系统提供稳定的电力。此外,随着电动汽车和混合动力汽车在轨道交通中的应用日益增多,单相逆变器也被用于为这些车辆的电池充电系统提供电力。在这些应用中,单相逆变器的高效率和可靠性得到了充分地验证,同时也推动了轨道交通行业向更加绿色和可持续的方向发展。

4 技术创新对轨道交通客车供电系统的影响

4.1 性能提升与能效优化

技术创新在轨道交通客车供电系统中起到了至关重要的作用,特别是在性能提升和能效优化方面。随着功率半导体技术的进步,如宽禁带半导体材料的应用,逆变器的开关速度得到显著提高,从而降低了开关损耗,提升了系统的能效。此外,通过采用

先进的控制策略和算法,如模型预测控制和直接功率控制,逆变器能够更精确地调节输出电压和电流,以适应不同的负载需求,进一步优化能效。

4.2 安全性与可靠性的增强

技术创新同样对提高轨道交通客车供电系统的安全性和可靠性起到了关键作用。通过引入故障检测和隔离技术,如在线监测和故障预测技术,可以实时监控逆变器的运行状态,及时发现并处理潜在的故障,从而避免系统停机和事故的发生。同时,采用冗余设计和自愈技术,即使在部分组件发生故障的情况下,系统仍能维持基本运行,保障列车安全。

4.3 轨道交通的可持续发展

技术创新对于推动轨道交通的可持续发展具有深远影响。通过提高逆变器的效率和性能,不仅能够降低能耗,减少对环境的影响,还能够提升系统的使用寿命,降低维护成本,从而实现经济和环境的三重可持续性。此外,技术创新还有助于轨道交通系统更好地集成可再生能源,如太阳能和风能,进一步推动绿色交通的发展。随着未来技术的进步,轨道交通客车供电系统将更加智能化、高效化,为实现低碳交通和智慧城市做出重要贡献。

5 结论

技术创新对于轨道交通客车供电系统的整体性能提升具有显著影响。无论是三相还是单相逆变器,通过不断的技术优化和创新,都能够提高系统的能效,增强安全性与可靠性,并推动轨道交通向更加绿色和智能的方向发展。未来,随着新材料、新工艺和先进控制理论的应用,我们期待轨道交通客车供电系统能够实现更高效的能量转换,更稳定的电力供应,以及更广泛的可再生能源集成,为构建未来智能交通系统奠定坚实基础。

[参考文献]

- [1]沈坤,南晨晨,杜保强.基于多FPGA的三相逆变器实时仿真系统研究[J].计算机仿真,2024,41(01):129-134.
- [2]董成武,牛芳,夏林伟.两级式单相光伏逆变器并网过电压抑制策略研究[J].电网与清洁能源,2023,39(11):134-141+150.
- [3]晋秉义,于凯,李强.基于超螺旋滑模控制的LCL三相逆变器离网扰动抑制策略[J].东北电力大学学报,2023,43(05):43-52.
- [4]胡存刚,王海涛,朱文杰.三相逆变器数字孪生系统的参数辨识研究[J].电力系统保护与控制,2023,51(11):177-187.
- [5]李静.三相逆变器故障诊断及定位方法研究[D].吉林大学,2023.
- [6]程巍,茆美琴,汪海军.新型单相光伏逆变器电流连续控制集模型预测功率解耦控制[J].中国电机工程学报,2023,43(24):9655-9668.
- [7]叶中豪,戴瑜兴,彭子舜.单相逆变器目标函数优化控制[J].温州大学学报(自然科学版),2022,43(01):43-50.