

地铁牵引供电系统双向变流装置直流短路研究

孙仁盛, 侯欣延, 吕潇涵

(中车大连电力牵引研发中心有限公司, 辽宁 大连 116000)

摘要 地铁系统的电力供应必须具备高度的稳定性, 以确保列车的安全运行和准时到站。双向变流装置是地铁系统中用于将交流电源转换为直流电源并将能量回馈到电网的关键组件。然而, 在实际运行中, 双向变流装置可能会面临直流短路问题, 这可能导致系统故障和列车运行中断。因此, 本文深入研究地铁牵引供电系统中双向变流装置的直流短路问题, 以为为同行业人员提供借鉴。

关键词 地铁牵引供电系统; 双向变流装置; 直流短路; 保护配置

中图分类号: U231

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)11-0013-03

地铁系统作为一种重要的城市交通工具, 其可靠性和安全性至关重要。地铁牵引供电系统中的双向变流装置起着关键作用, 它将交流电源转换为直流以供牵引系统使用。然而, 在地铁系统运行中, 直流短路事件难免会发生, 严重威胁系统的稳定性和设备的安全。

1 地铁牵引供电系统

1.1 电源接入点

电源接入点是地铁牵引供电系统的起始关键环节, 通常是通过连接到城市的电力网络来获取电能。电力网络通常提供来自电站的高压交流电源, 以确保足够的电能供应地铁系统。为适应地铁系统的要求, 电源必须经过变压器降压处理, 将高压电源转换为适用于地铁牵引系统的低压电能。这个降压过程不仅确保了电压的安全性, 还有助于满足列车牵引系统所需的电能规格, 从而为地铁列车的安全、高效运行提供了可靠的电源基础。

1.2 整流器

整流器在地铁牵引供电系统中扮演着关键的角色。它是电力系统的第二步, 负责将来自电力网络的交流电源转换为列车驱动系统所需的直流电源。这一转换过程通常依赖于半导体二极管或可控整流器等电子元件, 以确保电能以可控、可靠的方式被转化。在整流器中, 交流电源经过二极管或可控整流器, 其负责将电流方向从正负交替的交流状态转换为单一方向的直流电流。这个过程涉及将电流波形的负半周或正半周去掉, 得到了稳定的直流电源。这个直流电源将在后

续的阶段中继续被平滑、稳压和分配, 以供应地铁列车的牵引系统。整流器通常使用半导体器件, 如硅控整流器 (SCR) 或可控整流桥 (IGBT), 来将交流电源转换为直流电源。这些器件可以控制电流参数, 确保直流电的稳定性。此外, 整流器包括电流传感器、保护电路和冷却系统等, 以维护其正常运行并确保安全性^[1]。

1.3 电容器和滤波器

电容器在地铁牵引供电系统中具有关键的功能。它们主要用于电能的储存和电压的平滑, 具体表现如下。

1.3.1 电压平滑

电容器能够有效吸收电源中的电压波动, 如来自电网的瞬时电压变化, 这使得它们能够输出更为稳定的电压给列车驱动系统。这种稳定性对于列车驾驶和设备运行至关重要, 因为它防止了电压波动对系统产生不利影响, 有助于确保列车平稳运行。

1.3.2 峰值电流吸收

地铁列车在运行中需要瞬间大量电能, 尤其是在加速和制动等操作中。电容器具备储存电能并快速释放的能力, 以满足这些瞬间的功率需求。这有助于确保列车在需要时获得足够的电流, 以支持运行操作的顺利执行^[2-3]。

滤波器在地铁牵引供电系统中扮演着至关重要的角色。它们的主要任务是减少电磁干扰 (EMI) 和谐波, 以确保电能的质量和稳定性。

综上所述, 电容器和滤波器的设计需要考虑电流、电压、频率和谐波的特性, 以满足地铁牵引供电系统的需求。它们的合理配置和维护对于确保供电系统的

高效稳定运行至关重要,有助于提高地铁列车的牵引性能和乘客的出行舒适性。

1.4 逆变器

逆变器是地铁牵引供电系统中的重要组件,其任务是将直流电源再次转换为可控的交流电源,以满足地铁列车的牵引需求。通常,地铁列车的电动机需要交流电源才能运行,而地铁系统的电源是以直流形式提供的,因此逆变器在中间起到了桥梁的作用。逆变器通过使用半导体开关器件来控制电流的方向和大小,将直流电源转换为可调节的交流电源。这可以实现对电流的频率和电压进行精确调整,以适应列车在不同速度和牵引需求下的变化。逆变器的控制系统可以根据列车的操作指令动态调整输出电流的参数,确保列车在加速、减速和保持稳定速度等情况下都能够得到适当的电力供应。逆变器的设计和性能对地铁系统的牵引效率和响应速度至关重要。它们不仅允许列车以可控的方式运行,还有助于提高能源利用效率,减少能源浪费。

因此,逆变器在地铁牵引供电系统中扮演着至关重要的角色,确保列车能够以安全、高效的方式在轨道上运行。

2 地铁牵引供电系统双向变流装置

双向变流装置是地铁牵引供电系统中的核心组件,它担负着关键的任务,即实现交流电源到直流电源和直流电源到交流电源的双向转换。这一功能使地铁牵引供电系统更加灵活多样,能够适应不同的操作模式和电力需求。在地铁系统中,列车需要直流电源来驱动牵引电动机以推动列车行驶。然而,来自电力网络的供电通常是交流电源。这就需要双向变流装置发挥作用,将交流电源转换为直流电源,以供应列车的牵引系统。同时,在列车制动时,电动机产生的电能可以通过反馈系统回馈到电网中,这就需要将直流电能转换为交流电能,以实现能源的回馈和再利用。双向变流装置通过半导体开关器件和控制系统实现这一双向转换过程。它能够确保电能在不同形式之间高效地转换,以满足列车系统的动力需求,并实现能源的回馈和再分配。这种灵活性使地铁系统能够更好地适应不同操作情景和电力网络的变化,从而提高了系统的可靠性和效率。

总的来说,双向变流装置是地铁牵引供电系统中的关键组件,其双向转换功能使地铁系统更加灵活,能够适应不同的电能需求和运行模式。它为地铁系统的

可靠性、效率和可持续性提供了关键支持。

3 双向变流装置直流短路特性

3.1 直流电容放电阶段

在直流电容放电阶段,当发生直流短路事件时,地铁牵引供电系统中的电容开始释放储存的电能,导致电容器电压急剧下降。这一过程的发生是由于电容器内储存了一定数量的电荷,当直流电路突然短路时,电容器迅速释放其中的电荷以满足电路的需求,这导致了电压迅速下降的现象。直流电容放电阶段的时间非常短暂,通常只有几毫秒到数十毫秒,但在这短暂的时间内,电容器释放的电能是相当巨大的。这种短时高能量释放可能对系统内的电子元件和设备造成严重的电压和电流冲击,因此需要采取措施来保护系统,防止损坏或故障的发生。为此,通常需要在电路中设计一些保护装置,以限制电容器放电引起的电压峰值,确保系统的稳定性和安全性^[4]。

3.2 反并联二极管放电阶段

在反并联二极管放电阶段,当直流短路事件发生时,系统中的反并联二极管迅速导通,允许电流继续流动,以有效地防止过大的电流冲击。这一过程的关键在于反并联二极管的作用,它们被设计成具有低电压降的特性,以确保在直流电容放电导致电压急剧下降时,电流仍能够顺利流动而不受阻碍。反并联二极管的导通实际上提供了一条“绕道”路径,使电流能够绕过直流电容器,从而减轻了电容放电引起的电压下降。这种二极管导通的速度非常快,通常在微秒级别内完成,因此迅速地响应了直流短路事件。通过这一机制,系统能够有效地限制电流的上升速度,防止电流冲击对电子元件和设备产生损害,同时保持系统的稳定性。反并联二极管在地铁牵引供电系统中扮演着非常重要的保护角色,确保了系统在直流短路事件发生时的安全和可靠运行。这个阶段的操作是系统中电路保护的关键组成部分,有助于维护系统的稳定性和设备的完整性。

3.3 不控整流阶段

在不控整流阶段,当电容放电完成后,电流继续由不控整流器流动。这个阶段的关键任务是采取措施来限制电流,确保它在可控范围内,以防止电流超过系统和设备的额定值而引发潜在的损害。不控整流器通常是半导体电子元件,其导电性质受到电压和电流的影响,因此需要对其进行控制以维持稳定的电流输

出。在这个阶段,可能会采用一些电流限制器或电流调节器来确保电流保持在合适的水平。这可以通过监测电流并在需要时调整不控整流器的导通状态来实现。这种控制可以帮助防止电流过大,从而保护系统免受潜在的损害。不控整流阶段的目标是在电容放电后维持电流的稳定性,以确保系统的正常运行并防止不必要的压力和电流冲击。通过这种方式,地铁牵引供电系统可以更好地管理电能的流动,确保电流在可控范围内,并维护系统的安全性和稳定性。

4 仿真分析

4.1 不同工况下的直流短路仿真

通过进行不同工况下的直流短路仿真分析,我们可以深入了解地铁牵引供电系统在各种情况下对直流短路事件的响应以及可能发生的损坏程度。这种仿真分析是至关重要的,因为它可以为我们提供关于系统行为的宝贵见解,帮助我们识别潜在的问题,并为改进系统的设计和保护措施提供基础。在仿真中,我们可以模拟不同的工况,如系统负载变化、电压波动、设备故障等,然后观察直流短路事件的发生和演化。我们可以分析系统中各个关键组件的响应,包括电容器、反并联二极管、不控整流器等,以了解它们在直流短路情况下的工作状态和性能。此外,仿真还可以帮助我们量化电流、电压和功率等参数的变化,从而评估系统中可能发生的电压陡升、电流超额等问题,以及它们对设备和电子元件的潜在损害。这种仿真分析可以为我们提供有关如何改进系统保护措施、优化电容容量、增加反并联二极管数量等方面的建议,以增强系统的抗干扰性和安全性。总的来说,不同工况下的直流短路仿真分析是一种有力的工具,有助于深入理解系统的行为和性能,并为系统的设计和维护提供宝贵的指导和建议,以确保地铁牵引供电系统的可靠性和安全性。

4.2 双向变流装置直流短路保护配置方案

为了有效保护双向变流装置免受直流短路的潜在损害,我们提出以下配置方案,即增加桥臂二极管和增大直流侧电抗。这两项措施旨在提高系统的稳定性和安全性,减轻直流短路事件可能对设备和电子元件造成的不利影响。

首先,增加桥臂二极管的数量或容量可以显著改善系统的电流路径。这些二极管在直流短路事件发生时迅速导通,为电流提供了可控的通道,降低了电容放电引起的电压下降速率。通过增加二极管的数量或

容量,我们可以更有效地分散电流负载,减轻二极管的负担,从而提高了系统的抗电流冲击能力。这可以减少设备受损的可能性,同时维护系统的运行稳定性。

其次,增大直流侧电抗有助于限制直流电流的增长。电抗器在直流电路中的作用类似于电阻,它们通过提供电阻性反抗,限制了电流的快速增加。通过增大电抗器的大小,我们可以有效地减少电流在直流短路事件期间的剧烈波动,防止电流超过设备的承受能力。这个配置方案可以降低系统的潜在风险,保护设备免受电流过载的威胁^[5]。

综上所述,增加桥臂二极管和增大直流侧电抗是有效地保护双向变流装置免受直流短路事件损害的配置方案。它们协同作用,提高了系统的抗干扰性和稳定性,确保了地铁牵引供电系统在各种工况下的可靠运行,从而维护城市交通的安全和效率。

5 结语

通过对地铁牵引供电系统中双向变流装置直流短路问题的研究和分析,我们不仅深入了解了直流短路事件的特性,还提出了有效的保护配置方案,包括增加桥臂二极管和增大直流侧电抗。这些方案有助于提高系统的稳定性、可靠性,保障地铁系统的安全运行。地铁系统作为现代城市交通的支柱,其可靠性和安全性对城市居民的出行至关重要。通过我们的研究和工程改进,可以进一步提高地铁牵引供电系统的性能,减少直流短路事件对系统的影响。这将有助于确保城市交通的可持续性,为乘客提供更安全、更高效的出行体验。未来,我们将继续努力,不断优化系统设计和保护机制,以适应不断变化的城市交通需求,为城市的可持续发展和乘客的出行提供更好的支持。

参考文献:

- [1] 王公伟.城市轨道交通供电系统中双向变流器功能验证[J].交通世界,2023(03):33-35.
- [2] 西安许继电力电子有限公司,许继集团有限公司,许继电气股份有限公司.一种地铁牵引供电系统及双向变流装置:CN201910008955.4[P].2020-07-31.
- [3] 刘陆洲,张国红,刘伟,等.城轨交通地面超级电容储能系统容量配置[J].智慧轨道交通,2023,60(01):44-49.
- [4] 张戢,刘炜,周瑞兵,等.基于双向变流装置的城市轨道交通牵引供电系统潮流计算[J].中国铁道科学,2020,41(01):92-98.
- [5] 李波.新时期下地铁牵引供电系统可靠性和安全性分析[J].运输经理世界,2021(05):137-138.