

电力电子技术在电气工程中的应用

赵楠

天津华冶工程设计有限公司 天津 300270

摘要: 电力电子技术在电气工程领域的应用极为广泛且深入,在发电、输电、配电及节能等关键环节均发挥着重要作用。通过电力电子器件实现电能的精准转换、高效控制和灵活调节,显著提升了电力系统的稳定性、运行效率和可靠性。本文详细探讨了电力电子技术在电气工程中的具体应用,涵盖静止励磁、变频调速、柔性直流输电、电能质量控制、电力电子变换器及补偿技术等方面。同时,深入分析了电力电子技术的发展趋势,包括高效环保、智能化控制、多能源集成以及大数据与人工智能的融合。

关键词: 电力电子技术; 电气工程; 电力系统; 智能化控制

1 引言

在当今科技飞速发展的时代,电力电子技术作为电气工程领域的一项核心技术,正以前所未有的速度改变着电气工程的面貌。电力电子技术借助电力电子器件,对电能进行转换、控制和调节,为电气工程带来了革命性的变革。它不仅提高了电力系统的性能和效率,还推动了电气工程向智能化、自动化、高效化方向发展。深入研究电力电子技术在电气工程中的应用,对于推动电气工程的进一步发展具有重要意义。

2 电力电子技术在电气工程中的具体应用

2.1 发电环节

2.1.1 静止励磁

静止励磁系统采用晶闸管整流自并励方式,摒弃了传统的励磁机这一中间惯性环节。它直接从发电机端获取电压,经过整流后供给发电机励磁绕组。这种方式使得励磁系统的响应速度大大提高,能够快速跟踪发电机的运行状态变化。由于省去了励磁机,静止励磁系统具有结构简单、可靠性高、造价低等诸多优点。在世界各大电力系统中,静止励磁方式得到了广泛应用^[1]。其特有的快速性调节能力,为先进的控制规律提供了充分发挥作用的有利条件,能够显著提高电力系统的稳定性和动态性能。例如,在电力系统发生故障时,静止励磁系统可以迅速调整励磁电流,维持发电机的端电压稳定,防止系统失步。

2.1.2 变频励磁

在水力发电中,传统的直流励磁方式存在一定的局限性。而采用电力电子技术后,将水轮发电机直流励磁转变为低频交流变频励磁。当水流量减少时,通过提高励磁频率,可以将发电频率补偿到额定值,从而延长水轮发电机的发电周期。这一技术解决了水力发电中发

电机工作时间受季节性水流量影响而导致的频率无法调节、浪费较多水能的问题。对于大型水力发电设施来说,具有巨大的经济效益。例如,在某些季节性河流上建设的水电站,在枯水期通过变频励磁技术,仍然能够保持稳定的电力输出,提高了水资源的利用效率。

2.1.3 变速运行

在风力发电中,为了获得最大有效功率,需要使机组变速运行。通过调整转子励磁电流的频率,使其与转子转速叠加后保持定子频率即输出频率恒定。这样,风力发电机组就能够根据不同的风速自动调整转速,实现最大功率点跟踪。提高了风力发电的效率,使其能够更好地适应风速的变化,捕捉最大风能。在风速不断变化的情况下,变速运行技术可以使风力发电机组始终保持在最佳工作状态,大大提高了发电量和经济效益。

2.2 输电环节

2.2.1 直流输电(HVDC)

直流输电具有输电容量大、稳定性好、控制调节灵活等优点。它利用电力电子器件将发电厂输送出来的交流电转换为直流电,然后通过输电线路送至受电终端,再逆变成交流电供用户使用。在直流输电系统中,换流器是关键设备,它能够实现交直流之间的转换。对于远距离输电、海底电缆输电及不同频率系统的联网,高压直流输电拥有独特的优势。它可以降低线路损耗,减少电磁干扰,同时通过控制策略实现电力的精确分配。例如,在跨海输电工程中,直流输电可以避免交流输电中电容电流的影响,提高输电的可靠性和稳定性。

2.2.2 柔性直流输电技术

柔性直流输电技术是一种新兴的输电方式,采用高压直流输电,通过可控硅元件和光伏阵列等装置,实现电能的稳定输送。它具有可快速调节有功和无功功率、

能够独立控制换流站的输出电压和电流等特点。在大规模风力、光伏发电等可再生能源的接入中具有重要意义,可以提高电力系统的灵活性和可靠性。例如,在海上风电场中,柔性直流输电技术可以将风力发电机发出的电能高效地输送到陆地电网,同时能够适应风电功率的波动,保证电网的稳定运行。

2.3 配电环节

2.3.1 电能质量控制

电力电子技术和现代控制技术在配电系统中的应用,即用户电力(Custom Power)技术或称DFACTS技术,是在FACTS各项成熟技术的基础上发展起来的电能质量控制新技术。它采用电力电子装置,如静止无功补偿器(SVC)、动态无功补偿器(SVG)、有源电力滤波器(APF)等,对电能质量进行实时监测和调节。可以改善电力系统中的谐波、电压波动等问题,保障用电设备的正常运行和安全性^[2]。例如,在工业生产中,大量的非线性负载会产生谐波污染,影响设备的性能和寿命。通过安装有源电力滤波器,可以有效滤除谐波,提高电能质量。

2.3.2 电力电子变换器

电力电子变换器技术是电气工程中的核心技术之一,它通过可控硅、IGBT等功率器件,实现电能的直流与交流之间的转换。常见的电力电子变换器有整流器、逆变器、斩波器等。电力电子变换器广泛应用于直流输电、换流站等领域,对电网的稳定性和可靠性起到了关键作用。例如,在电动汽车充电站中,充电桩需要将交流电转换为直流电为电动汽车充电,电力电子变换器的高效转换能力可以提高充电速度和效率。

2.4 节能环节

2.4.1 变频调速技术

通过变频器将交流电源转换为可变频率、可控制的交流电源,实现电机的无级调速。变频器根据电机的负载变化,自动调整输出频率和电压,使电机始终在最佳效率点运行。广泛应用于电梯、水泵、风机等需要调速的设备中,可以显著提高设备的效率和节能效果。例如,在发电厂中,风机水泵耗电量约占火电设备总耗电量的65%,且运行效率低。使用低压或高压变频器,实施风机水泵的变频调速,可以根据实际需求调整风机水泵的转速,降低能耗。

2.4.2 电力电子补偿技术

为了改善电力系统中的功率因数问题而开发的技术,通过静止无功发生器、电容器组等装置,对系统中的无功功率进行补偿。静止无功发生器可以快速、准确

地发出或吸收无功功率,实现无功功率的动态补偿。提高系统的功率因数,减少电能的损耗。例如,在工业企业中,大量的感性负载会导致功率因数降低,增加线路损耗和电费支出。通过安装静止无功发生器,可以提高功率因数,降低线路损耗,提高供电质量。

3 电力电子技术的发展趋势

3.1 高效环保

随着节能环保理念的普及,电力电子技术将朝着高效、环保的方向发展。研究和应用更加高效的功率器件和电力电子转换技术,以减少能源消耗和环境污染。例如,新型电力电子器件如IGBT(绝缘栅双极晶体管)和SiC(碳化硅)半导体的出现,不仅提高了电力转换的效率,还降低了设备的体积和重量,为电力电子系统的小型化和高密度化提供了可能。同时,在电力电子设备的设计和制造过程中,将更加注重环保材料的使用和废弃物的处理,减少对环境的影响。

3.2 智能化控制

电力电子设备中智能化控制技术的应用将会更加广泛。通过智能控制系统,可以实现对电力电子设备的自动调节和优化控制,提高设备的可靠性和效率^[3]。例如,基于机器学习算法的电力电子设备故障预测和健康管理,可以提前识别潜在问题,避免设备故障,延长设备寿命。同时,智能控制系统还可以根据电网的运行状态和用户需求,自动调整电力电子设备的输出,实现电能的优化分配。

3.3 多能源集成

未来电力系统将会更加多元化,包括传统的火电、水电、核电等能源,还有可再生能源、储能系统等。电力电子技术将会发展多能源集成技术,实现不同能源之间的高效转换和互联。例如,在智能电网中,电力电子技术可以实现分布式能源的高效接入和管理,提高能源利用效率和系统的灵活性。通过电力电子技术,可以将太阳能、风能、水能等多种能源进行整合,实现能源的互补和优化利用。

3.4 大数据与人工智能的融合

随着大数据和人工智能技术的进步,电力电子系统正在从传统的基于模型的控制转变为更加自主和自适应的智能控制。这些策略能够根据系统实时状态和环境变化,动态调整电力转换过程,以实现最优的能源利用和系统稳定性。例如,通过大数据分析和人工智能算法,可以实现对电力系统运行状态的实时监测和预测,提前发现潜在的安全隐患,并采取相应的措施进行处理。同时,人工智能还可以优化电力电子设备的控制策略,提

高系统的性能和效率。

4 案例分析：北极星直流输电项目

4.1 项目背景

北极星直流输电项目是为了将阿拉斯加的水电资源输送到美国本土而建设的。由于阿拉斯加与美国本土之间距离遥远，且地形复杂，传统的交流输电方式存在线路损耗大、稳定性差等问题。为了解决这些问题，决定采用直流输电技术。

4.2 技术应用

该项目采用了高压直流输电（HVDC）技术，利用电力电子设备将阿拉斯加水电站发出的交流电转换为直流电进行长距离传输。在受电终端，再将直流电逆变成交流电供用户使用。在输电过程中，采用了先进的换流器和控制系统，确保输电的稳定性和可靠性。

4.3 应用效果

通过采用HVDC技术，北极星直流输电项目显著提高了电力传输的效率，降低了线路损耗。同时，由于直流输电的稳定性好、控制调节灵活等优点，该项目还确保了电力供应的可靠性和稳定性。该项目的成功运行，为远距离、大容量输电提供了一种有效的解决方案。

5 电力电子技术在电气工程中应用面临的挑战与应对策略

5.1 面临的挑战

5.1.1 功率器件的寿命与稳定性

电力电子器件在长期运行过程中容易受到温度、电压、电流等因素的影响，导致其寿命和稳定性下降。例如，IGBT等功率器件在高温环境下容易失效，影响电力电子设备的正常运行。此外，功率器件的开关频率和功率密度不断提高，也对其散热和可靠性提出了更高的要求。

5.1.2 设备的安全性和可靠性

电力电子设备在电气工程中承担着重要的电能转换和控制任务，其安全性和可靠性直接关系到电力系统的稳定运行。然而，由于电力电子设备的复杂性，其故障率相对较高，给电力系统的安全运行带来了一定的风险^[4]。例如，电力电子设备的控制系统故障可能导致输出电压和电流异常，影响用电设备的正常运行。

5.1.3 电磁兼容性

电力电子设备在运行过程中会产生电磁干扰，对周围的电子设备和通信系统造成影响。同时，电力电子设备本身也容易受到外部电磁干扰的影响，导致其性能下降或失效。例如，在变电站中，电力电子设备产生的电磁干扰可能影响继电保护装置的正常运行，导致误动作。

5.2 应对策略

5.2.1 加强功率器件的研发与应用

加大对新型功率器件的研发投入，提高功率器件的耐温性、耐压性和耐流性等性能。例如，研发具有更高热导率和更好散热性能的封装材料，提高功率器件的散热能力。同时，加强对功率器件的可靠性测试和评估，确保其在实际应用中的稳定性和可靠性。

5.2.2 提高设备的安全性和可靠性

采用冗余设计、故障预测与健康管理等技术手段，提高电力电子设备的安全性和可靠性。例如，在关键设备中采用冗余功率模块，当一个模块出现故障时，其他模块可以继续工作，保证设备的正常运行。同时，通过实时监测电力电子设备的运行状态和参数变化，及时发现并处理潜在故障，确保设备的正常运行。

5.2.3 加强电磁兼容性设计

在电力电子设备的设计阶段就充分考虑电磁兼容性要求，采用合理的布局、屏蔽和滤波等措施减少电磁干扰的产生和传播。例如，在电路板上合理布局元件，减少信号线的耦合；采用金属屏蔽罩对敏感元件进行屏蔽；在电源输入端和输出端添加滤波器，滤除电磁干扰。同时，加强对电力电子设备的电磁兼容性测试和评估，确保其在实际应用中的电磁兼容性满足要求。

结语

电力电子技术在电气工程中的应用具有广泛的前景和重要的意义。通过电力电子技术的应用，可以显著提高电力系统的稳定性、效率和可靠性，推动电气工程的现代化进程。然而，电力电子技术在应用过程中也面临着一些挑战，需要不断加强技术研发和创新，提高设备的性能和可靠性。展望未来，随着科技的不断进步和电力电子技术的不断创新，电力电子技术在电气工程中的应用将会更加广泛和深入，为人类社会的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]张泽华.电力电子技术在电气工程中的应用[J].电子质量,2025,(01):54-57.
- [2]李庆才,史宇伟.电力电子技术在电气工程中的应用[J].电子技术,2024,53(08):166-167.
- [3]彭慧鹏.基于电力电子技术在电气工程中的实践应用研究[J].模具制造,2024,24(08):135-137.
- [4]王龙法.浅谈电子技术在电气工程中的应用[J].电子元器件与信息技术,2024,8(04):200-202.