

On the Application of Power Electronics Technology in Electric Power System

Huiping Pan

Shandong Electric Group Xineng Technology Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250101, China

Abstract

Power electronics technology is a technology of adjusting and converting electric energy through power electronic components and control methods. With the continuous expansion of the scale and complexity of the power system, the traditional control mode has been unable to meet the needs of the efficient, stable and flexible operation of the modern power system. Power electronics technology has gradually become an indispensable part of modern power system with its efficient energy conversion ability, rapid response speed and accurate control of various parameters in the power grid. From HVDC transmission technology (HVDC) to flexible AC transmission system (FACTS), to smart grid and distributed generation, the application of power electronics technology has penetrated into all levels of the power system, greatly improving the dispatching efficiency and operation stability of the power system. This paper aims to explore the specific application of power electronics technology in power system, and analyze its role in improving the system operation efficiency, optimizing power flow, and enhancing the disturbance resistance of power system.

Keywords

power system; power electronic technology; application

电力系统的电力电子技术应用探讨

潘慧冰

山东电工电气集团新能科技有限公司, 中国 · 山东 济南 250101

摘 要

电力电子技术是通过电力电子元件和控制方法对电能进行调节和转换的技术。随着电力系统的规模不断扩大, 复杂度不断增加, 传统的控制方式已经无法满足现代电力系统的高效、稳定与灵活运行需求。电力电子技术凭借其高效能量转换能力、快速响应速度以及对电网中各类参数的精确控制, 逐渐成为现代电力系统不可或缺的重要组成部分。从高压直流输电技术 (HVDC) 到柔性交流输电系统 (FACTS)、再到智能电网与分布式发电, 电力电子技术的应用已经渗透到电力系统的各个层面, 极大地提升了电力系统的调度效率与运行稳定性。本文旨在探讨电力电子技术在电力系统中的具体应用, 分析其在提高系统运行效率、优化电力流动以及增强电力系统抗扰能力方面的作用。

关键词

电力系统; 电力电子技术; 应用

1 引言

当前全球能源结构逐步发生改变, 电力需求也在与日俱增, 对于电力系统而言其面临的挑战非常严峻。新能源接入、电力负荷波动、运行环境日趋复杂等问题面前, 传统电力系统暴露出的不稳定因素不胜枚举。作为一项关键的创新技术, 电力电子技术逐渐成为解决这些问题的核心手段。其能够电力参数 (如电压、功率、频率等) 的精确调节和实时控制, 有效增强电力系统的稳定性和可靠性, 在高压直流输电 (HVDC)、柔性交流输电系统 (FACTS)、智能电网以及分布式发电等诸多领域获得了有效应用。

2 电力电子技术的定义与基本原理

电力电子技术涵盖各类功率等级的电子设备及系统, 主要是通过半导体器件与电磁电路的能量调控技术来调整、转换及传输控制电能参数, 以达到优化调节电压、频率、波形及功率因数, 以及提高能量利用效率的目的。

用半导体器件导通、断开的特点来有效调节电压、电流和电力, 准确管控开关状态及工作周期是电力电子技术的核心原理。二极管、晶闸管、通用开关管、绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 及金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 等多种电力电子元件是电力电子技术的根本, 该类器件直接影响到了电力的变换以及调控, 在能源转换、工业驱动及电网系统得到了广泛运用, 能够有效提高电能传送以及利用的效率与质量。

【作者简介】潘慧冰 (1994-), 女, 中国山东肥城人, 本科, 助理工程师, 从事电力工程、工程技术研究。

3 电力电子技术在电力系统中的重要性

电力电子技术作为现代电力系统的重要支撑,其在电能转换、传输优化及系统稳定性提升等方面发挥了核心作用。随着电网结构日益复杂化,对电能质量、能量管理以及可再生能源并网的需求不断提高,电力电子技术的应用已成为推动电力系统技术革新的关键。首先,电力电子装置能够实现高效的电能变换与控制,极大地提高了电力系统运行的灵活性。传统电力系统依赖于机械开关与变压器进行能量传输,存在响应速度慢、损耗大等问题,而电力电子器件如高压直流输电(HVDC)换流器、柔性交流输电系统(FACTS)控制器及脉宽调制(PWM)逆变器等,能达到对电压、电流和频率的快速调节,使动力损失得到有效降低,输配电效率得到提高的目的。其次,在电能质量优化方面,通过有源滤波器(APF)、静止无功补偿装置、动态电压恢复器等手段,电力电子技术对谐波进行抑制,并对无功功率进行补偿,维持电网的稳定运行。使用上述装置不但能够维持供电系统稳定,而且还可以提供稳定的电能以供精密工业设备及信息技术基础设施的运行。此外,电力电子技术的应用对于可再生能源高效并网起到了有力的推动作用。风能、光伏等新能源的间歇性和波动性对传统电网的调节能力要求更高,而基于电力电子变换器的能量管理系统可以实现功率平滑调节、储能协同控制,并通过智能变换器对能量流向进行优化,切实提高并网的可靠性与稳定性。

4 电力系统中电力电子技术的应用

4.1 高压直流输电(HVDC)技术

作为电力传输的重要途径,高压直流输电(HVDC)技术在现代电力系统中,尤其是在长距离、大容量以及跨区域电能传输中发挥着非常重要的作用。

HVDC技术主要是使用换流器转换交流电(AC)成直流电(DC),并利用直流线路来完成远距离输送,最后再利用逆变器转换直流电成交流电并提供给用户。该项技术通过电力电子装置的换流与逆变过程来高效转换交流电和直流电,优越性十分显著。相对于传统的交流输电(AC),在进行长距离输电中HVDC系统可将线路的电能损耗和电压衰减大幅降低。因为直流电流没有皮肤效应,所以不会损耗过电流,所以即便是传输距离非常长,HVDC技术的输电效率也比交流输电高得多。

此外,在电力网络互联系统中,HVDC技术起到了关键性的作用。HVDC系统在连接跨国或跨省电网中,能够稳定互联不同的电网间,从而避免了由于交流网频率不匹配而导致的不良问题。将HVDC链接引入不同电网,可以实现电力的自由流动,且不会对各自电网稳定性产生影响。这一技术特别是适用于跨海电缆输电等电网频率差异较大的区域。凭借换流器的可控性HVDC系统可以在电网运行过程中结合电网负荷情况来进行动态调整。VDC系统的快速

响应能力,可以在电网发生故障或极端气候的情况下,将电力中断的风险降到最低,确保电力系统运行的安全与稳定。

4.2 柔性交流输电系统(FACTS)

柔性交流输电系统(FACTS)是基于电力电子技术的一种先进电网控制设备,广泛应用于现代电力系统中,以增强电网的稳定性和调度能力。FACTS技术通过动态调节电网的无功功率、改善电压控制及提高电力传输能力,从而提升系统的可靠性和稳定性。其核心优势在于实时调节输电线路的功率流和电网电压,解决了传统电力系统中存在的频繁波动和过载问题。

FACTS系统主要是由静止无功补偿器(SVC)、静止同步补偿器(STATCOM)、统一潮流控制器(UPFC)等设备构成,也正是如此可以对无功功率和电压水平调节,并实现电网运行状态的管控。SVC和STATCOM调节电网电压的方式是提供或吸收无功功率,以增强系统的稳定性。而UPFC则融合了无功与有功的电力控制功能,在调节电压的同时,也能对电力流动进行优化,提升线路的输送能力。在电网运行中,一旦出现电网中负荷变化或系统故障,FACTS装置就能够在短时间内响应,进而防止过载、频率波动及电压崩溃等状况发生。如果电网负荷出现波动,STATCOM可以马上进行电压调节;UPFC能够科学分配每一输电线路的功率,避免出现线路拥堵,增强输电能力。FACTS技术通过这些动态调节,使电网适应性得到提高,从而在突发事件中和复杂的运行环境中,电力系统可以应付各种故障和运行环境。此外,随着大规模并网的可再生能源,FACTS技术在调节新能源发电的波动性方面也扮演着不可缺少的角色。风能、太阳能等能源的不可预测性和间歇性对电网稳定性提出了挑战,而FACTS设备可以通过优化电网调度,平衡新能源输出的波动,从而提高电网的运行效率和稳定性,在新能源并网过程中提供必要的支持。

4.3 电力控制技术

电力控制技术原理在于利用现代化电力电子装置和控制策略来对电能的生成、传输和分配过程进行优化。其原理在于应用电力电子装置来精确控制与调节电压、电流、功率等电网中的各类参数,以保证电力系统的稳定性、可靠性及高效运行,是现代电力系统中的一个重要技术支撑。电力控制技术在电力系统的智能化发展下获得了广泛的运用,并且在提高系统稳定、优化功率流以及强化负荷管理方面成果非常显著。

具体而言,电压控制、功率流调节以及频率调节等都是电力控制技术在电力系统中的应用。其中,电压控制技术是为了避免电压偏差导致设备损坏或电力供应中断而对电网中各个节点的电压水平进行调节的一项技术。现代电力系统中,一旦电网电压出现波动,那么能够凭借静止同步补偿器(STATCOM)、可控串联补偿器(TCSC)等电力电子装置来及时响应,维持电压始终处于安全范围当中。另外,

在调节电网运行状态、优化功率流向等方面，电压控制技术起着至关重要的作用。功率流控制技术则侧重于优化电力系统中各条输电线路的负荷分配，通过调节功率流向减少线路过载或避免线路拥塞。基于电力电子技术的统一潮流控制器（UPFC）和灵活交流输电系统（FACTS）广泛应用于功率流调节，通过控制无功功率、提高系统的输电能力，提升电力系统的整体效率与稳定性。频率控制则主要针对电力系统中频率的稳定性，尤其是在系统负荷波动或发生故障时。电力系统中的频率调节装置，如自动发电控制（AGC），能够实时调整发电机的输出功率，以确保电网频率维持在额定值附近，从而保证系统的长期稳定运行。在可再生能源接入日益增多的背景下，频率控制技术的挑战更加复杂，电力电子技术的引入为频率调节提供了更加精确的控制手段。

电力系统的响应速度、稳定性和可靠性通过这些电力控制技术的应用得到了显著的提高，保证了电力供应的持久和安全，尤其是电力控制技术在面对负荷需求变化和电力环境复杂的情况下，提供了电力系统高效运行所必需的技术保证

4.4 微网并网

作为一种新兴的电力系统架构，微网技术通过其独立的电力生产和消费能力，使电网中的局部地区可以以更自主的方式运行。在微网中，常见的电源包括太阳能、风能、燃气发电机等分布式能源，同时也整合了确保能源稳定可靠的储能装置。为适应负荷需求的不断变化和发电方式的多样化，要求电力电子装置必须具备高效的能量转换和精确控制能力。

微网并网的核心在于电力电子技术的应用，尤其是逆变器、直流变换器和多端并联技术。逆变器作为微网并网中的关键设备，能够将直流电转化为交流电，并且实现与主电网的同步。这一过程不仅要求逆变器具备高精度的频率和电压控制能力，还需确保微网在不同运行模式下（如孤岛模式和并网模式）能够平稳切换。电力电子装置在并网过程中，还需要能够实现功率因数的调节，以便与电网进行无缝连

接，防止不必要的扰动影响到电网的稳定性。

除了传统的逆变器外，在微网的并网过程中，需要充分结合储能系统与电力电子技术。储能系统不但可以让电力供需维持平衡，而且能够提供必要的调节能力以应对电力波动或外部干扰。储能装置可以通过电力电子控制器自动进行充放电调节，以保证在并网情况下微网运行的稳定与持久。另外微电网并网技术还强调了通信与智能控制系统的融合性，通过对数据的实时采集和分析，智能控制系统可以对微电网的能量管理进行优化，提高资源利用率。如若系统出现故障，也能够自动完成孤岛模式的切换，防止电力供应的中断。在微网和电网并网的过程中，电力电子技术的应用不仅保证了各个发电源在微网中的协同运行，而且提高了电力系统适应可再生能源的波动性和间歇性的能力。

5 结语

随着电力电子技术的不断发展与创新，其在电力系统中的应用领域和技术深度也在不断拓展。高压直流输电、柔性交流输电、智能电网等技术的广泛应用，不仅解决了传统电力系统中存在的许多瓶颈问题，还为实现能源结构的转型和可持续发展目标提供了新的思路与方法。然而，随着电力需求的持续增长以及可再生能源的不断接入，电力系统面临的挑战也愈加复杂。因此，未来电力电子技术仍需要在提高控制精度、系统灵活性和智能化水平方面进行更深入的研究与创新，以适应更加多样化和复杂的电力运行需求。

参考文献

- [1] 安生建. 电力电子技术在智能电力系统中的应用价值分析[J]. 新潮电子, 2024(1):91-93.
- [2] 侯力媛. 电力电子技术在智能电力系统检测中的应用[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(23):32-35.
- [3] 申菲. 智能电网中电力电子技术应用研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2023(4):72-75.
- [4] 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(8):135-137.