

电气工程中电力电子技术的应用与发展趋势

刘鹏

231083*****5418

摘要：电力电子技术作为电气工程的核心支撑技术，通过电能变换与控制，推动电气工程向高效化、智能化转型。当前部分电气工程存在电能利用效率低，如传统变流设备能耗高；控制精度不足，难以适配复杂工况；与新能源兼容性差，制约清洁能源接入等问题，影响工程整体效能。本文围绕电气工程中电力电子技术展开，系统梳理技术的核心应用领域、关键技术支撑、现存问题，探索优化方向与未来趋势，旨在为电气工程借助电力电子技术提升性能提供思路，推动电气工程向绿色化、智能化高质量发展。

关键词：电气工程；电力电子技术；应用领域；关键技术；现存问题

DOI：10.64216/3080-1508.25.11.042

引言

随着能源结构转型与工业智能化升级，电气工程对电能变换、控制精度、能源兼容性的需求日益提升。传统电气设备如变压器、整流器等，存在电能损耗大、响应速度慢、功能单一等局限，已无法满足现代电气工程对高效、灵活、智能的要求。电力电子技术通过半导体器件、控制算法实现电能的高效变换与精准控制，可有效解决传统设备痛点，如提升新能源并网效率、优化电机驱动性能、改善电能质量。因此，研究电力电子技术在电气工程中的应用要点及发展趋势，成为推动电气工程技术革新、助力能源与工业领域升级的关键。本文从应用领域、关键技术、现存问题、优化方向、发展趋势五个层面构建框架，为电气工程实践提供指引。

1 电力电子技术在电气工程中的核心应用领域

1.1 新能源发电系统中的电力电子技术应用

在光伏发电系统中，电力电子技术通过逆变器将光伏阵列产生的直流电转换为交流电，同时实现最大功率点跟踪，确保光伏组件始终工作在最佳发电状态，提升发电效率。风电系统中，变流器是核心设备，其借助电力电子技术实现风能捕获与电能转换，如在风速变化时，通过调节变流器输出频率与电压，使风机转速适配风速，保证电能稳定输出；同时将不稳定的风电电能转换为符合电网标准的电能，实现平滑并网，避免风电波动对电网造成冲击，为新能源大规模接入电网提供技术支撑。

1.2 电气传动与电机控制中的电力电子技术应用

工业领域中，电力电子技术通过变频器实现电机的精准调速与控制，如在机床、流水线设备中，变频器可根据生产需求灵活调整电机转速，减少机械损耗与电能

浪费，同时提升设备运行精度与稳定性，满足不同工况下的生产要求。电动汽车驱动系统依赖电力电子技术，如电机控制器通过功率半导体器件调节电机输入电能，实现车辆启动、加速、制动等工况的平稳切换；同时，车载充电机利用电力电子变换技术，将电网交流电转换为电池所需直流电，提升充电效率与安全性，推动电动汽车性能升级与普及。

1.3 电能质量治理与电网优化中的电力电子技术应用

有源滤波器基于电力电子技术，可实时检测电网中的谐波、无功电流等电能质量问题，通过产生与谐波电流相反的补偿电流，抵消电网中的谐波成分，同时补偿无功功率，改善电网功率因数，保障敏感设备如精密仪器、医疗设备的稳定运行。柔性输电技术借助电力电子器件如晶闸管、IGBT，实现对电网电压、电流、功率的灵活调控，如静止同步补偿器可快速调节电网无功功率，稳定电网电压；统一潮流控制器能优化电网潮流分布，提升电网输电能力与稳定性，助力构建高效、可靠的现代化电网。

2 支撑电气工程的电力电子关键技术

2.1 高频化、模块化电力电子器件设计与制造技术

高频化技术通过优化半导体器件结构与宽禁带材料选型（如碳化硅、氮化镓等），大幅提升器件开关频率，将开关损耗降低 60% 以上，使电力电子设备体积与重量显著缩减，如高频开关电源相比传统电源，体积可缩小 50% 以上，且适配数据中心、射频基站等高密度集成场景。以氮化镓基 HEMT 器件为例，其在宽温域下仍能保持稳定高频性能，成为极端环境电子系统的核心元

件。模块化设计将电力电子器件、驱动电路、保护电路等集成到标准模块中,实现器件的标准化、通用化,如功率模块可根据不同功率需求灵活组合,降低设备设计与维护成本。

2.2 基于先进控制算法的电能变换与精准调控技术

先进控制算法如模型预测控制、模糊控制及人工神经网络算法等,为电力电子系统的精准调控提供多维支撑。模型预测控制通过建立系统数学模型,预测不同控制策略下的输出结果,选择最优控制方案,实现电能变换的高精度控制,如在逆变器控制中,可将输出谐波含量降至 3% 以下,显著提升电能质量。模糊控制无需精确数学模型,能适应系统参数变化与外部干扰,如在电机调速中,可根据负载变化动态调整控制参数,使转速波动控制在 $\pm 2\%$ 以内,确保电机运行稳定。结合数字化控制平台与 ANN 算法,还能实现器件特性的高精度建模预测,如对 GaN 基器件的性能预测精度超 99%,实现电力电子系统的智能化调控,提升系统响应速度与鲁棒性。

2.3 电力电子系统集成与热管理优化技术

系统集成技术将电力电子器件、控制单元、散热结构等一体化设计,减少部件间连接损耗,提升系统整体效率,如集成式电力电子变换器通过优化电路布局与布线,降低寄生参数影响,提升电能变换效率。热管理优化技术针对电力电子器件工作时产生的大量热量,采用高效散热方案,如液冷散热、热管散热等,相比传统风冷散热,散热效率更高,可有效控制器件温度,避免因过热导致性能下降或故障;同时,通过热仿真分析优化散热结构设计,使热量均匀分布,延长器件使用寿命,保障系统长期稳定运行。

3 电力电子技术在电气工程应用中现存的主要问题

3.1 电力电子器件损耗与散热矛盾,制约系统效率提升的问题

电力电子器件在开关与导通过程中会产生损耗,如 IGBT 的开关损耗与导通损耗,这些损耗转化为热量,导致器件温度升高。为控制温度,需采用散热措施,但传统散热方案如风冷存在散热能力有限的问题,若要提升散热效果,需增加散热设备体积与能耗,形成“损耗 - 散热 - 能耗”的矛盾。这一矛盾制约系统效率提升,如在高功率电力电子设备中,器件损耗占总能耗比例较

高,即使采用高效散热,仍无法完全消除损耗影响,导致系统整体效率难以突破瓶颈,同时增加设备成本与维护难度。

3.2 复杂工况下电力电子系统稳定性不足,易出现故障的问题

电气工程中复杂工况如电网电压波动、负载突变、恶劣环境(高温、高湿度)等,易导致电力电子系统稳定性下降。例如,电网电压骤降时,变流器可能出现过流或过压现象;负载突变时,电机控制器输出参数难以快速适配,导致系统振荡。此外,电力电子系统由多个部件组成,部件间耦合关系复杂,某一部件故障如半导体器件损坏,可能引发连锁反应,导致整个系统瘫痪。当前系统容错与抗干扰能力不足,缺乏有效的故障预警与应急处理机制,难以应对复杂工况挑战,影响电气工程可靠运行。

3.3 电力电子技术与传统电气设备兼容性差,集成难度高的问题

传统电气设备如老旧变压器、电机等,设计标准与控制逻辑较为陈旧,与基于现代电力电子技术的设备在接口、控制协议、工作特性上存在差异,兼容性较差。例如,传统电机采用固定频率供电,无法直接与变频器实现无缝对接,需对电机进行改造或更换,增加集成成本;传统电网保护装置与柔性输电设备在保护逻辑上不匹配,可能导致保护误动作。兼容性问题导致电力电子技术与传统电气设备集成难度高,无法充分发挥协同作用,制约电气工程整体升级改造进程,同时增加系统复杂度与故障风险。

4 提升电力电子技术在电气工程中应用效能的优化方向

4.1 研发低损耗、高可靠性电力电子器件,突破散热瓶颈优化方向

针对器件损耗与散热矛盾,需从器件研发入手,采用新型材料如碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体材料,这类材料具有开关速度快、导通损耗低的特点,可大幅降低器件损耗,从源头减少热量产生。同时,优化器件结构设计,如采用多芯片并联技术提升功率密度,减少单个器件发热;开发高效散热材料与结构,如纳米散热涂层、均热板等,提升散热效率,突破传统散热瓶颈。通过低损耗器件与高效散热技术结合,提升系统效率与可靠性,降低散热设备成本与能耗。

4.2 引入智能控制与故障诊断技术, 增强系统稳定性优化方向

引入人工智能、大数据等智能技术, 提升电力电子系统抗干扰与容错能力。智能控制技术如自适应控制、强化学习, 可使系统实时调整控制参数, 适应复杂工况变化, 如电网电压波动时, 自动优化变流器控制策略, 避免系统不稳定。故障诊断技术通过传感器采集系统运行数据, 结合算法分析数据特征, 实时识别器件老化、参数异常等潜在故障, 如通过分析 IGBT 的电压、电流波形, 预判器件故障风险, 并及时发出预警; 同时, 构建容错控制机制, 当某一部件故障时, 系统自动切换至备用方案, 确保核心功能正常运行, 增强系统稳定性与可靠性。

4.3 构建“电力电子 - 传统电气”协同集成体系, 降低适配难度优化方向

为解决兼容性问题, 需构建协同集成体系, 制定统一的接口标准与控制协议, 如开发通用通信接口, 使电力电子设备与传统电气设备实现数据互通与控制协同; 建立标准化集成方案, 针对不同类型传统电气设备, 提供定制化改造与适配方案, 如为老旧电机设计专用变频器接口模块, 减少改造工作量与成本。同时, 开展“电力电子 - 传统电气”联合仿真与测试, 在集成前验证系统兼容性, 提前发现并解决适配问题; 推动传统电气设备升级, 融入现代电力电子技术理念, 从根本上提升两者兼容性, 实现协同运行与效能最大化。

5 电气工程中电力电子技术的未来发展趋势

5.1 面向碳中和的电力电子技术绿色化发展趋势

在碳中和目标推动下, 电力电子技术将向低能耗方向发展, 通过优化器件设计、控制算法与系统集成, 进一步降低电能损耗, 如采用全碳化硅器件构建的变流器, 能耗可降低 30% 以上。同时, 技术将更注重清洁能源适配, 如开发高效光伏逆变器、风电变流器, 提升新能源发电效率; 研发新型储能变流器, 实现新能源与储能系统协同运行, 促进清洁能源消纳, 减少化石能源依赖, 助力构建以新能源为主体的新型电力系统, 推动电气工程绿色低碳转型。

5.2 融合人工智能的电力电子系统智能化发展趋势

人工智能技术将深度融入电力电子系统, 实现自主调控与智能运维。自主调控方面, 系统可通过机器学习

算法分析历史运行数据与实时工况, 自动优化控制策略, 如根据电网负荷变化调整新能源并网策略, 实现电能供需平衡; 预测维护方面, 借助大数据与 AI 算法分析器件运行状态数据, 精准预测器件寿命与故障风险, 提前制定维护计划, 避免突发故障, 如预测 IGBT 的老化程度, 在失效前及时更换, 减少停机损失, 推动电力电子系统从“被动维护”向“预测维护”转变, 提升运行效率与可靠性。

5.3 适应分布式电网的电力电子技术模块化、去中心化发展趋势

随着分布式电网如微电网、用户侧储能的快速发展, 电力电子技术将向模块化、去中心化方向发展。模块化技术使设备可根据分布式电网容量与需求灵活组合, 如模块化逆变器可通过增减模块数量适配不同规模的光伏电站, 降低设备投资与扩容成本。去中心化技术支持分布式电源如户用光伏、小型风电的自主运行与协同控制, 无需依赖集中式电网调度, 如微电网中的电力电子设备可自主实现电能分配与负荷管理, 提升分布式电网的灵活性与抗干扰能力, 适应未来电网分布式、多元化发展需求。

6 结论

电力电子技术作为电气工程的核心支撑, 在新能源并网、电机控制、电能质量治理等领域发挥关键作用, 但其应用仍面临器件损耗、系统稳定性、兼容性问题。通过研发低损耗器件、引入智能技术、构建协同集成体系, 可有效提升技术应用效能。未来, 随着绿色化、智能化、模块化趋势的推进, 电力电子技术将进一步推动电气工程向高效、低碳、灵活方向发展, 为能源结构转型与工业智能化升级提供有力支撑。这一发展不仅能提升电气工程整体性能, 还将助力实现碳中和目标, 推动能源与工业领域可持续发展。

参考文献

- [1] 朱成云. “电力电子技术”课程设计教学探索[J]. 科技风, 2025, (25): 34-36.
- [2] 刘梓涵. 电力电子技术在新型配电网中的应用分析[J]. 光源与照明, 2025, (07): 233-235.
- [3] 明启贵. 智能电网中电力设备及其技术发展分析[J]. 科技视界, 2025, 15(21): 64-66.
- [4] 谢治军, 魏祥伟. 电力电子与智能控制融合的充电技术研究[J]. 汽车电器, 2025, (07): 7-9.