

高频电力电子变换器在新能源接入电网中的应用效能分析

张科武

兰州科进易安辐射科技有限公司 甘肃兰州

【摘要】在全球能源转型浪潮下，新能源大规模接入电网成必然趋势。高频电力电子变换器作为关键接口，在电能转换、传输及并网调控中表现卓越。它通过高频开关运作，提升电能转换精准度，高效适配光伏、风电等新能源的间歇性输出。不仅能削减谐波、优化功率因数，保障电能质量，还能灵活调控功率，增强电网稳定性，为新能源并网的可靠、高效实现提供坚实支撑，助力构建可持续能源体系。

【关键词】高频电力电子变换器；新能源并网；电能质量；功率调控；电网稳定

【收稿日期】2025 年 1 月 18 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250043

Performance analysis of high frequency power electronic converter in new energy grid connection

Kewu Zhang

Lanzhou Kejin Yian Radiation Technology Co., Ltd, Lanzhou, Gansu

【Abstract】In the global energy transition, large-scale integration of new energy into the grid has become an inevitable trend. High-frequency power electronic converters, as key interfaces, excel in power conversion, transmission, and grid regulation. By operating at high frequencies, they enhance the accuracy of power conversion and efficiently adapt to the intermittent output of new energy sources such as photovoltaic and wind power. Not only do they reduce harmonics and optimize power factor, ensuring power quality, but they also flexibly adjust power output, enhancing grid stability. This provides solid support for the reliable and efficient integration of new energy into the grid, contributing to the development of a sustainable energy system.

【Keywords】High frequency power electronic converter; New energy grid connection; Power quality; Power regulation; Power grid stability

引言

当今世界，环境问题与能源危机促使全球加速迈向绿色能源时代，新能源以其清洁、可持续的特性成为能源发展的主力军。在此背景下，高频电力电子变换器崭露头角，作为连接新能源发电单元与电网的核心枢纽，其凭借独特优势在提升电能质量、优化功率传输以及保障系统稳定性等诸多方面发挥关键作用，深入探究其应用效能对于推动新能源广泛并网、实现能源结构深度调整意义非凡。

1 高频变换器并网优势

在全球积极推动能源转型的大背景下，新能源于能源结构中的占比持续上扬。太阳能、风能等新能源的大规模接入，对电网电能转换与传输效率提出了极为严苛的要求。传统变换器长期在低频工作模式下运行，其固有特性决定了在面对新能源出力

特性复杂多变，如太阳能受光照强度与时间影响、风能受风速与风向制约等状况时，在快速响应与高效转换方面存在诸多局限，难以满足新能源并网的实际需求^[1]。而高频电力电子变换器依托高频率开关运作，能实现更为精准且快速的电能控制与转换。凭借这一独特优势，它在新能源并网这一极具挑战与潜力的领域迅速崛起，逐渐成为核心支撑技术。

高频率开关的显著作用之一，便是促使磁性元件如变压器、电感等实现小型化与轻量化。在分布式新能源系统，诸如屋顶光伏或是小型风电场项目中，这一特性带来了极大便利。以小型分布式光伏电站为例，高频变换器的应用使得逆变器的体积大幅缩小，相较于传统逆变器，安装空间节省了约 30%。这不仅降低了前期建设过程中因设备占地所产生的成本，还让设备的安装过程更加简便，后期

维护的难度也随之降低。在维护环节,更小的设备体积意味着更易于检修与保养,无论是人力投入还是时间成本都得到了有效控制。

在并网的关键瞬间,高频变换器展现出卓越的快速动态响应能力。它能够依据新能源实时的出力情况,迅速对输出电压、电流参数进行调整。以风电并网场景来说,风速具有瞬息万变的特点,这导致风机输出功率呈现剧烈波动。高频变换器凭借其先进的控制算法与高速的硬件响应,能够在毫秒级的时间内精准跟踪功率变化^[2]。通过快速调整自身的输出特性,使其与电网电压、频率要求实现精准匹配,进而将并网瞬间产生的冲击电流控制在极小范围。据实际项目数据统计,相较于传统并网方式,采用高频变换器后,电能转换效率可提升 10% - 15%,真正实现了新能源电力与电网主潮流的无缝融合,保障了电网运行的稳定性与高效性。

再者,改善电能质量是高频变换器在新能源并网应用中的又一重要使命。由于新能源发电受自然因素影响较大,功率波动频繁,这常常会引发谐波问题,对电网造成污染。高频变换器运用先进的 PWM 控制技术,通过高频次切换开关状态,能够实时对无功功率进行补偿。在某工业区域附近的光伏电站,由于工业设备运行对电能质量要求较高,高频变换器的应用效果显著。通过其持续稳定的控制作用,将接入点的功率因数稳定在 0.95 以上,电流谐波畸变率控制在 5% 以内。

2 不同新能源适配运用

在风电接入电网的复杂过程中,风力天然的随机性使得风机输出功率如同汹涌海浪般起伏不定。其波动范围之大、变化速度之快,犹如脱缰野马难以驾驭。这种不稳定的功率输出,会导致电网电压大幅波动、频率偏移,甚至引发系统振荡,对电网的稳定性构成了极大挑战。而高频变换器在这一棘手场景中扮演着“定海神针”的关键角色^[3]。它凭借自身快速响应的特性,能够迅速对风机输出功率的变化做出反应,通过精准的调节机制,将不稳定的功率转化为符合电网接入标准的稳定电能,有效抑制功率波动对电网的不良影响。

高频变换器内部集成了先进的矢量控制模块,该模块能够依据风速风向监测系统实时反馈的数据迅速启动工作。当风速突然骤升,风机转速随之加

快,输出功率瞬间飙升时,高频变换器凭借其灵敏的感知能力,能够在极短时间内捕捉到这一变化,并快速调整功率转换策略。具体而言,通过精确调节逆变器输出电压、电流的相位,将风机输出功率稳定在额定功率的 80% - 120% 区间内^[4]。这一举措有效地平缓了功率峰谷差,避免了因功率大幅波动对电网频率稳定造成的冲击。在低风速区域,高频变换器同样发挥着重要作用。它通过优化自身的控制参数,采用最大功率点跟踪技术,对风速区间进行细致划分,精准匹配发电曲线。

在光伏领域,光照强度与温度的变化犹如“阴晴不定的天空”,时刻左右着光伏发电的效率与功率输出。高频变换器内置的智能 MPPT 功能成为解决这一难题的关键所在。该功能以极高的频次对光伏板的输出特性进行采样分析,每秒采样次数可达上千次。无论光照是缓慢渐变还是突然骤变,它都能够迅速定位光伏板的最大功率点。而到了正午,烈日当空,温度急剧升高,这会导致光伏板输出功率下滑。此时,高频变换器又能迅速微调各项参数,维持功率输出的稳定性。以某大型荒漠光伏电站为例,在应用高频变换器后,全天平均发电效率提升了 8% - 10%。

3 变换器系统稳定性提升

当高频电力电子变换器深度融入电网,系统稳定性面临着诸多严峻挑战。其中,多台变换器并联运行时出现的环流问题尤为突出,如同“暗流涌动”,威胁着系统的安全稳定运行。由于各变换器在生产制造过程中存在参数差异,这极易引发电流分配不均的情况,进而导致局部过载风险加剧。

为有效化解这一危机,行业内采用 droop 控制结合虚拟阻抗技术。该技术通过对变换器输出功率、电压等关键参数进行实时监测与分析,动态地为每台变换器分配电流,实现了“量身定制”的电流分配策略。在大型商业综合体的分布式能源系统中,多台高频变换器协同工作^[5]。借助 droop 控制结合虚拟阻抗技术,将环流成功抑制在 5% 以内。这一成果保障了并联系统能够稳定均衡地供电,避免了因局部过热、过载引发的设备故障,显著延长了设备的使用寿命,同时也极大地增强了电网供电的可靠性,为商业综合体的稳定运营提供了坚实的电力保障。

当电网故障突发,如出现电压跌落、暂态冲击等极端情况时,高频变换器迅速变身成为“电网卫士”。凭借其快速的控制能力,能够在极短时间内迅速切入低电压穿越(LVRT)模式。在该模式下,高频变换器主要通过两种方式保障电网稳定:一是利用内部储能元件瞬间释放能量,为电网提供必要的功率支撑;二是通过先进的控制算法紧急调整自身工作状态,短时间内向电网注入无功功率,以维持电网电压稳定^[6]。以某沿海风电场遭遇台风引发电网电压跌落为例,高频变换器在检测到电压异常后的20毫秒内迅速响应,通过注入无功功率,成功将连接点电压稳定在0.8倍额定电压以上。这一快速响应确保了新能源发电系统在极端工况下不解列,持续为电网恢复正常运行提供助力,显著提升了整个电力系统面对故障时的韧性,为电网的安全稳定运行筑牢了坚实防线。

4 新型变换器技术前瞻

当下,高频电力电子变换器技术正处于蓬勃发展的创新阶段。在拓扑结构创新领域,软开关技术异军突起,成为提升变换器性能的重要突破口。传统硬开关在导通、关断瞬间,会产生高额的损耗以及强烈的电磁干扰,这在很大程度上限制了变换器性能的进一步提升^[7]。而软开关技术通过引入谐振电路,巧妙地利用电容、电感的谐振特性,实现了开关在零电压或零电流条件下的切换。

大量实验数据表明,采用软开关技术的变换器,其开关损耗可降低约30%-40%。这意味着在相同功率输出条件下,变换器的能耗显著降低,能源利用效率大幅提升。电磁干扰强度减弱50%以上,这为高功率密度应用场景,如海上风电柔性直流输电,开辟了崭新的道路。在海上风电项目中,由于设备安装空间有限且对系统可靠性要求极高,软开关技术的应用能够有效提升系统整体效率与可靠性,降低设备维护成本,保障海上风电项目的稳定高效运行。

材料革新在推动高频变换器技术变革的进程中扮演着举足轻重的角色,成为不可或缺的重要驱动力。近年来,新型碳化硅(SiC)、氮化镓(GaN)等宽禁带半导体材料犹如闪耀的新星,在相关领域逐渐崭露头角,并有逐步取代传统硅材料的趋势^[8]。这类新型材料具备诸多显著优势,其电子迁移率远

高于传统材料,意味着电子在其中能够更高效地移动,大大提升了器件的工作速度;它们的击穿电场强,这一特性使材料能够承受更高的电压与温度。以碳化硅MOSFET为例,与传统的硅基器件相比,其耐压能力实现了质的飞跃,提升幅度高达3-5倍。

5 结语

展望未来,新能源蓬勃发展之势不可阻挡,高频电力电子变换器作为其间关键一环,前景无限广阔。随着新型宽禁带半导体材料深度开发与广泛应用,变换器损耗将持续降低、开关频率进一步跃升,性能边界不断拓展,设备体积重量有望再创新低,成本效益显著优化。智能控制算法与大数据、人工智能紧密融合,依据海量实时电网运行数据与精准新能源预测信息,变换器运行参数将实现毫秒级自适应优化,达成能源与电网精准匹配,宛如智能电网中的灵动音符。

参考文献

- [1] 刘千啸,陈小强,王英,等.基于体积优化的之字形电力电子变压器并联多脉波整流技术研究[J].电气工程学报,2025,20(01):108-118.
- [2] 汤建,邹志翔,薛明军,等.电力电子变换器并联系统的稳定控制策略及参数设计[J].电力自动化设备,2025,45(03):102-108.
- [3] 陈仁钊,李惠祝,夏岩,等.接入光伏发电系统的PET控制策略研究[J/OL].四川电力技术,1-9[2025-04-11].
- [4] 李驰,叶之菁,舒文彬,等.用于分布式光伏制氢的高效紧凑多端口电力电子变换器[J/OL].电网技术,1-11[2025-04-11].
- [5] 侯方宇,郑云.分布式电源接入电网的接口技术分析[J].集成电路应用,2024,41(12):30-31.
- [6] 施云鹏,胡长生,张俊哲,等.多工作模式LLC变换器同步整流控制[J].电工技术,2024,(23):18-23.
- [7] 薛腾跃,李凯,原亚雷,等.基于一体化高频变压器的电力电子变压器拓扑及其控制策略[J].高电压技术,2024,50(10):4499-4511.
- [8] 孙宗辉,郭希铮,王诗楠,等.基于开关状态预测矫正的高频电力电子变换器实时仿真建模方法研究[J].中国电机工程学报,2024,44(21):8618-8629.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS