

新能源并网下电力系统谐波抑制技术优化分析

作者：李佳琴

身份证号：530113198008311127

摘要：随着新能源（风电、光伏等）产业的快速发展，大规模新能源并网已成为电力系统发展的必然趋势。但新能源发电依赖电力电子变流器，其非线性特性会产生大量谐波，导致电力系统波形畸变、电能质量下降，威胁系统稳定运行。本文梳理新能源并网下电力系统谐波的产生机理与危害，剖析当前谐波抑制技术应用中的突出问题，提出针对性的优化策略，为提升新能源并网电力系统电能质量、保障系统安全稳定运行提供技术参考。

关键词：新能源并网；电力系统；谐波抑制；技术优化；电能质量

一、引言

在“双碳”目标引领下，新能源发电技术快速普及，风电、光伏等新能源机组大规模并网，推动电力系统向清洁化、低碳化转型。但新能源发电系统中，光伏逆变器、风电变流器等电力电子装置的非线性特性，是新能源并网后电力系统谐波产生的主要来源。谐波的存在会导致电力系统中变压器、电抗器等设备损耗增加，影响保护装置正常工作，甚至引发系统谐振，威胁电力系统安全稳定运行。当前，传统谐波抑制技术已难以适应新能源并网带来的复杂谐波问题，如何优化谐波抑制技术、提升抑制效果，成为保障新能源并网电力系统安全高效运行的关键课题。因此，深入分析新能源并网下谐波产生的特点，探索谐波抑制技术的优化路径，具有重要的工程应用价值。

二、新能源并网下电力系统谐波的产生机理与危害

（一）谐波产生机理

新能源并网下电力系统谐波的产生，核心源于电力电子装置的非线性工作特性，同时受新能源发电波动性、电网结构变化等因素影响。一方面，风电、光伏等新能源发电过程中，需通过整流、逆变等电力电子变换环节实现并网，

变流器的开关动作会导致电流、电压波形畸变，产生大量奇次谐波与偶次谐波，其中3次、5次、7次谐波含量最高；另一方面，新能源发电出力具有随机性、波动性，会导致并网电流不稳定，进一步加剧谐波畸变程度。此外，电网中不对称负载、电弧放电等因素，也会叠加产生谐波，形成复杂的谐波污染。

（二）谐波主要危害

谐波对电力系统的危害贯穿发电、输电、配电全环节，严重影响系统安全与电能质量。一是加剧设备损耗，谐波会导致变压器、电动机等电力设备产生额外的涡流损耗和磁损耗，缩短设备使用寿命，增加运行成本；二是干扰系统控制与保护，谐波会影响继电保护装置、自动控制系统的正常工作，可能导致保护误动、控制失灵，引发电力系统故障；三是影响电能传输效率，谐波电流会增加输电线路的线损，降低电力传输的经济性；四是干扰周边电子设备，谐波会通过电网传播，对通信设备、精密仪器等产生电磁干扰，影响设备正常运行。

三、新能源并网下电力系统谐波抑制技术现存问题

（一）传统抑制技术适配性不足

当前电力系统中广泛应用的无源滤波技术、有源滤波技术等传统谐波抑制技术，难以适配新能源并网的复杂场景。无源滤波技术结构简单、成本较低，但滤波特性固定，难以应对新能源出力波动带来的谐波频率、幅值变化，易出现滤波失效或谐振问题；有源滤波技术抑制精度高、响应速度快，但存在成本较高、抗干扰能力弱的缺陷，在大规模新能源并网场景下，易受电网电压波动影响，抑制效果下降。

（二）滤波装置运行稳定性差

新能源并网后，电网电压、电流的波动性显著增加，导致谐波滤波装置运行稳定性下降。部分滤波装置缺乏有效的自适应调节能力，无法根据谐波含量、频率的变化实时调整工作参数，导致滤波效果不稳定；同时，滤波装置的元器件易受谐波冲击损坏，维护成本较高，且故障排查难度大，影响谐波抑制工作的连续性。

（三）控制策略优化滞后

谐波抑制的控制策略未能及时适配新能源并网的特性，导致抑制精度不足。传统控制策略多基于固定参数设计，难以应对新能源出力波动、电网结构变化带来的动态谐波问题；同时，控制算法的响应速度较慢，无法快速跟踪谐波变化，难以实现谐波的实时抑制，尤其在多新能源机组同时并网时，易出现谐波叠加，进一步降低抑制效果。多-functional grid-connected inverters 可实现谐波与无功电流的协同抑制，提升电力系统电能质量，但当前此类控制策略的工程应用仍存在优化空间。

四、新能源并网下电力系统谐波抑制技术优化策略

（一）优化无源滤波技术参数

针对传统无源滤波技术适配性不足的问题，通过优化滤波参数、改进拓扑结构，提升其适配能力。结合新能源并网谐波的频率特性，精准设计滤波电抗器、电容器的参数，优化滤波支路配置，实现对主要谐波分量的精准抑制；采用混合型无源滤波拓扑，结合串联滤波与并联滤波的优势，拓宽滤波频段，提升对波动谐波的适应能力，同时避免谐振风险，降低设备损耗。

（二）改进有源滤波技术性能

针对有源滤波技术成本高、抗干扰能力弱的缺陷，进行技术改进与优化。采用新型功率器件，降低有源滤波装置的成本与损耗，提升装置的运行效率；引入自适应控制算法，让滤波装置能够根据电网谐波含量、频率的变化，实时调整控制参数，增强抗干扰能力，提升运行稳定性；将有源滤波装置与新能源变流器协同设计，实现谐波抑制与功率调节的双向赋能，提升整体抑制效果。

（三）完善混合滤波协同控制

构建无源滤波与有源滤波协同工作的混合滤波系统，发挥两者优势，提升谐波抑制精度与稳定性。无源滤波装置负责抑制含量较高的固定频率谐波，降低有源滤波装置的工作负荷；有源滤波装置负责抑制动态谐波、残余谐波，实现精准补偿，两者协同配合，形成优势互补。同时，优化协同控制策略，实现

两者的无缝衔接，提升系统对新能源出力波动的适应能力，确保谐波抑制效果的稳定性。

（四）引入智能控制算法

结合人工智能、大数据等技术，引入模糊控制、模型预测控制等智能控制算法，优化谐波抑制控制策略。通过采集新能源并网后的谐波数据，利用大数据分析技术挖掘谐波变化规律，实现谐波的提前预判与精准抑制；采用模糊控制算法，提升控制策略的自适应能力，应对新能源出力波动、电网结构变化带来的动态谐波问题，缩短响应时间，提升抑制精度，实现谐波的实时、高效抑制。

五、结论

新能源并网下，电力电子装置的非线性特性导致电力系统谐波污染问题日益突出，严重影响电能质量与系统稳定运行。当前谐波抑制技术存在适配性不足、运行稳定性差、控制策略滞后等问题，制约了谐波抑制效果的充分发挥。通过优化无源滤波参数、改进有源滤波性能、完善混合滤波协同控制、引入智能控制算法等优化策略，能够有效提升谐波抑制精度与稳定性，适配新能源并网的复杂场景。未来，需进一步推动谐波抑制技术与新能源发电技术的深度融合，结合智能电网建设，研发高效、低成本、高可靠的谐波抑制技术，为新能源并网电力系统的安全高效运行提供有力支撑。

参考文献

- [1] 曾正. 可再生能源分散接入用先进并网逆变器研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(24): 1-12.
- [2] 赵清林, 郭小强, 邬伟扬. 单相逆变器并网控制技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(16): 60-65.
- [3] 陈增禄, 班培刚, 史强强. 抑制并网逆变器电流谐波的带通调节器研究[J]. 电网技术, 2013, 37(6): 1706-1712.

[4] 张兴, 曹仁贤. 太阳能光伏并网发电及其逆变控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.

[5] 黄朝霞. 单相电力电子负载关键技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.