

电力电气系统中谐波抑制技术的最新进展与应用研究

邓大舸

中国电建集团四川工程有限公司 四川 成都 610031

摘要：电力系统谐波抑制技术对于保障系统稳定运行、提高电能质量、延长设备寿命及节能减排至关重要。最新进展包括谐波源识别技术、谐波抑制装置及智能电容器与智能电网的应用。谐波抑制技术在工业企业、电力配电网及可再生能源发电系统中得到广泛应用。未来趋势呈现多学科融合、大数据与物联网技术应用及智能化与自适应调整等特点。

关键词：电力系统；谐波抑制技术；有源滤波器；无源滤波器；应用研究

引言：随着现代电力系统的快速发展，谐波问题已成为影响系统稳定性和电能质量的关键因素。电力电子设备的大量应用和非线性负载的普及加剧了谐波污染，对电网设备和用户设备造成了严重损害。因此，电力系统谐波抑制技术的重要性日益凸显。本文综述了电力系统谐波抑制技术的最新进展，包括谐波源识别技术、谐波抑制装置以及智能电容器与智能电网在谐波抑制中的应用。同时，本文还探讨了谐波抑制技术在工业企业、电力配电网以及可再生能源发电系统中的实际应用，并展望了其未来的发展趋势。通过多学科融合、大数据与物联网技术的应用以及智能化与自适应调整，谐波抑制技术将不断迈向新的高度，为电力系统的安全稳定运行提供坚实保障。

1 电力系统谐波抑制技术的重要性

在现代社会，电力系统作为支撑经济社会发展的基础设施，其稳定性和可靠性至关重要。然而，随着电力电子设备的大量应用和非线性负载的普及，谐波问题日益凸显，成为影响电力系统性能和电能质量的关键因素。因此，电力系统谐波抑制技术的重要性不言而喻，它在保障电力系统的稳定运行、提高电能质量、延长设备使用寿命以及节能减排等方面发挥着不可替代的作用。（1）保障电力系统的稳定运行。电力系统的稳定运行是确保电力供应连续性和可靠性的基础。然而，谐波的存在却对电力系统的稳定性构成了严重威胁。谐波可能导致电力系统的电压波动，使得电压波形发生畸变，这不仅会影响电力系统的正常运行，还可能引发一系列连锁反应，如保护装置误动作、设备过热甚至损坏等^[1]。因此，抑制谐波是保障电力系统稳定运行的重要措施。通过采用有效的谐波抑制技术，可以降低谐波对电力系统的影响，确保电压波形的稳定和正常，从而保障电力系统的整体运行稳定性和可靠性。（2）提高电能质量。

电能质量是衡量电力系统性能的重要指标之一，它直接关系到用户设备的正常运行和用电体验。谐波作为电能质量的主要污染源之一，其存在会严重影响电能质量。谐波会导致电压和电流的波形畸变，增加电力系统的损耗和噪声，降低电力系统的功率因数，从而影响用户设备的正常运行和用电效率。因此，抑制谐波是提高电能质量的关键手段。通过采用谐波抑制技术，可以有效降低谐波对电能质量的影响，提高电压和电流的波形质量，减少损耗和噪声，提高功率因数，从而为用户提供更加优质、可靠的电力供应。（3）延长设备使用寿命。谐波对电网设备和用户设备都有显著的损害作用。谐波会导致设备过热、振动加剧、绝缘老化等问题，从而缩短设备的使用寿命。特别是对于精密的电子设备和敏感的控制系統，谐波的影响更为显著。因此，抑制谐波是延长设备使用寿命的重要途径。通过采用谐波抑制技术，可以有效降低谐波对设备的损害作用，减少设备的故障率和维修成本，从而延长设备的使用寿命，提高设备的可靠性和经济性。（4）节能减排。谐波不仅会影响电力系统的性能和电能质量，还会增加电力系统的损耗，造成能源浪费和环境污染。谐波会增加电力系统的无功功率和有功功率损耗，降低电力系统的效率。同时，谐波还会引发电网设备的过热和振动等问题，增加设备的能耗和排放。因此，抑制谐波是实现节能减排的有效手段。通过采用谐波抑制技术，可以降低电力系统的损耗和排放，提高电力系统的效率，从而为实现节能减排目标做出贡献。

2 电力系统谐波抑制技术的最新进展

2.1 谐波源识别技术

（1）谐波源识别是谐波抑制工作的前提和基础。通过精确识别谐波源，可以针对性地采取抑制措施，提高谐波抑制的效果。目前，谐波源识别技术主要包括基于

信号处理的方法和基于模式识别的方法。(2) 基于信号处理的方法通过采集电力系统的电压、电流等信号,利用傅里叶变换、小波变换等信号处理技术,对信号进行频域分析,从而识别出谐波源的频率和幅值。这种方法具有高效、准确的特点,能够实时监测电力系统的谐波状况,为谐波抑制提供及时、可靠的数据支持。(3) 基于模式识别的方法则通过构建谐波源特征库,利用机器学习、神经网络等算法对谐波源进行识别。这种方法能够处理复杂的谐波源识别问题,提高识别的准确性和鲁棒性。随着大数据和人工智能技术的不断发展,基于模式识别的谐波源识别技术将在未来得到更广泛的应用。

2.2 谐波抑制装置

谐波抑制装置是实现谐波抑制的关键设备。目前,常用的谐波抑制装置包括无源滤波器、有源滤波器和混合型滤波器等。(1) 无源滤波器通过串联或并联电感、电容等元件,对特定频率的谐波进行吸收或旁路,达到抑制谐波的目的。这种装置结构简单、成本低廉,但只能对特定频率的谐波进行抑制,对于频率变化的谐波效果不佳。(2) 有源滤波器则利用电力电子器件和先进的控制算法,对大小和频率都变化的谐波进行动态补偿。这种装置具有响应速度快、补偿精度高的特点,能够实现谐波的全频段抑制^[2]。随着电力电子技术的不断进步,有源滤波器的性能将得到进一步提升,其在谐波抑制方面的应用也将更加广泛。(3) 混合型滤波器结合了无源滤波器和有源滤波器的优点,既能够实现对特定频率谐波的抑制,又能够应对频率变化的谐波。这种装置具有更广泛的应用范围,能够满足不同电力系统对谐波抑制的需求。

2.3 智能电容器与智能电网

智能电容器是一种结合了电容器与智能控制技术的先进设备,旨在提升电力系统的谐波处理能力。通过精确地补偿电力系统中的谐波,智能电容器能够改善电能质量,降低电力损耗。同时,智能电容器还具备实时监测电力参数的功能,能够根据电力系统的实际情况进行动态调整,实现对谐波的精确控制。此外,智能电网的发展为谐波抑制提供了新的平台。智能电网通过集成先进的信息通信技术、自动化技术和电力电子技术,实现了电力系统的高效、可靠、安全 and 环境友好运行。谐波抑制技术可以与智能电网的控制策略相结合,实现谐波抑制方案的动态优化和调整。通过智能电网的实时监测和数据分析功能,可以及时发现并处理电力系统中的谐波问题,提高谐波抑制的效率和准确性。

3 电力系统谐波抑制技术的应用研究

3.1 工业企业中的应用

在工业企业中,电力消耗大且复杂,往往伴随着高度的瞬时性和波动性。这种特性使得谐波问题尤为突出,对生产设备的安全稳定运行构成了严重威胁。谐波不仅会导致设备过热、振动加剧,还可能引发保护装置误动作,甚至损坏设备,严重影响生产的连续性和安全性。因此,在工业企业中应用谐波抑制技术显得尤为重要。通过采用谐波抑制技术,如安装有源滤波器、无源滤波器或混合型滤波器等设备,可以显著减少因谐波引发的设备故障,提高设备的可靠性和使用寿命。同时,谐波抑制技术还能够优化电力系统的功率因数,降低无功功率损耗,从而帮助企业减少电费开支,提高经济效益。此外,随着智能化技术的发展,一些工业企业还开始尝试将谐波抑制技术与智能电网相结合,通过实时监测和动态调整,实现更高效的谐波抑制和能源管理。

3.2 电力配电网中的应用

电力配电网作为电力系统的关键环节,其稳定性和效率直接关系到整个系统的运行质量。然而,由于负载的多样性,如非线性负载、冲击性负载等,配电网中的谐波问题尤为复杂。谐波不仅会增加电网的损耗,降低电能质量,还可能引发电网振荡、电压波动等不稳定现象,严重影响电网的安全运行。为了应对这一挑战,电力配电网中广泛采用了谐波抑制技术。通过实时监测电网中的谐波成分,利用滤波器、动态无功补偿装置等设备对谐波进行动态补偿和抑制,可以显著提高电网的运行效率和稳定性。同时,谐波抑制技术还能够优化电网的功率因数,减少无功功率的流动,降低电网损耗,提高电能质量。此外,随着智能电网技术的不断发展,电力配电网中的谐波抑制技术将更加智能化、自动化,为电网的安全稳定运行提供更加有力的保障。

3.3 可再生能源发电系统中的应用

随着全球能源结构的转型和可再生能源的快速发展,可再生能源发电系统在电力系统中的比重不断增加。然而,由于可再生能源发电系统的特殊性和复杂性,其产生的谐波问题也日益凸显。谐波不仅会影响可再生能源发电系统的稳定运行,还可能对电网造成污染和干扰。为了解决这一问题,研究人员开始探索基于可再生能源的谐波抑制技术。像利用太阳能、风能等可再生能源产生的电能进行谐波抑制,通过设计合理的滤波器和控制策略,将可再生能源发电系统产生的谐波进行有效吸收和补偿^[3]。这种技术不仅可以提高谐波抑制效果,还可以实现能源的可持续利用和环境保护。此外,随着储能技术的发展和智能微电网的建设,可再生能源发电系统中的谐波抑制技术将更加多元化和智能化,为

可再生能源的广泛应用提供更加有力的支撑。

4 电力系统谐波抑制技术的发展趋势

在电力系统领域,谐波抑制技术作为保障电能质量和系统稳定性的重要手段,正面临着前所未有的发展机遇与挑战。随着电力系统复杂性的增加、新技术的不断涌现以及环保与能效要求的提高,谐波抑制技术正呈现出多学科融合、大数据与物联网技术应用、智能化与自适应调整等发展趋势。

4.1 多学科融合

面对日益复杂的电力系统,单一学科的谐波抑制技术已经难以满足实际需求。未来的谐波抑制技术将更加注重多学科之间的融合与交叉。电力系统、电子技术、控制理论、材料科学等多个学科的知识将被综合运用,形成综合性的解决方案。例如,通过结合电力系统的稳态与动态分析技术,可以更准确地评估谐波对系统的影响;利用先进的电子器件和电路设计技术,可以开发出更高效、更可靠的谐波抑制装置;而控制理论的引入,则可以实现谐波抑制方案的动态优化与调整。这种多学科融合的趋势将推动谐波抑制技术向更高层次发展,为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

4.2 大数据与物联网技术的应用

大数据技术的快速发展为谐波抑制带来了新的机遇。通过收集和分析大量的电力系统数据,包括电压、电流、功率因数等,可以更准确地识别谐波源、评估谐波污染程度,并优化谐波抑制方案。大数据技术的应用还可以帮助电力系统实现更精准的运维管理,预测和防范潜在的谐波问题。与此同时,物联网技术的普及也为谐波抑制提供了实时监测和控制的手段。通过部署传感器和智能设备,可以实时监测电力系统的运行状态和谐波情况,实现远程监控和故障预警。这种实时监测和控制的手段将大大提高谐波抑制的实时性和准确性,为电力系统的稳定运行提供更加有力的支持。

4.3 智能化与自适应调整

随着人工智能技术的不断进步,谐波抑制技术的智能化已成为研究的热点。通过引入机器学习、深度学习等先进技术,可以实现谐波抑制方案的自动优化和自适应调整。机器学习算法可以从大量的数据中学习谐波抑制的规律,预测未来的谐波趋势,并自动调整谐波抑制装置的工作参数^[4]。深度学习技术则可以更深入地挖掘数据中的潜在信息,提高谐波识别的准确性和精度。这种智能化与自适应调整的趋势将使得谐波抑制技术更加灵活、高效,能够更好地适应电力系统的动态变化。

结束语

综上所述,电力系统谐波抑制技术在保障系统稳定运行、提升电能质量、延长设备寿命及促进节能减排等方面发挥着举足轻重的作用。随着技术的不断进步和电力系统复杂性的增加,谐波抑制技术正朝着多学科融合、大数据与物联网技术应用以及智能化与自适应调整等方向发展。这些新兴技术的应用将极大地提升谐波抑制的效率和精度,为电力系统的安全稳定运行提供更加可靠的保障。未来,随着可再生能源的广泛接入和智能电网的深入发展,谐波抑制技术将面临更多的挑战与机遇。因此,持续加强谐波抑制技术的研究与应用,推动技术创新与升级,将是电力行业发展的重要课题。通过不断探索和实践,我们有理由相信,电力系统谐波抑制技术将为构建更加绿色、高效、智能的电力系统作出更大的贡献。

参考文献

- [1]姚伟平.电力谐波对电力系统的影响及治理措施[J].大科技,2019,(28):63-64.
- [2]王国涛.浅析电力系统谐波危害及治理措施[J].计量与测试技术,2019,(9):73-74.
- [3]潘博,王健.矿山电力系统谐波的危害与治理[J].山东工业技术,2019,(8):95-106.
- [4]庄吉运.电力电子变压器及其控制策略研究[D].长春工业大学,2020.11-19