

电力系统中的谐波分析与治理策略研究

安进城

爱拓环保能源(浙江)有限公司 浙江 嘉兴 314300

摘要: 本次研究从电力系统谐波问题入手,深入地分析谐波的产生机理以及谐波对电力系统稳定运行所造成的影响。研究旨在提出一种行之有效的谐波治理策略来优化电力系统的效率,降低谐波可能造成的危害。通过运用先进数据分析技术,该研究从谐波源辨识,谐波传播特性评价和谐波对电力设备的影响量化分析等方面对电力系统谐波问题进行全面系统的分析。根据分析结果,该研究从滤波器设计,谐波源控制和电力系统运行参数优化等方面提出一系列有针对性的谐波治理策略。这些策略都是为了减少谐波水平、增强电力系统的稳定性、确保电力设备安全运行。

关键词: 电力系统;谐波分析;治理策略;数据分析;稳定性优化

引言

电力系统谐波问题给电网稳定运行及设备寿命带来巨大挑战。在电力电子技术应用越来越广泛、电力负荷越来越复杂化的今天,谐波污染也越来越严重。该污染给电网电能质量,设备性能和通信系统造成明显负面影响。所以,对电力系统谐波现象进行深入探讨,制定行之有效的治理措施无论在理论上还是在实践上都有着极为重要的价值。

研究初始阶段将对电力系统谐波的含义、分类、成因以及所造成的影响等进行详细说明,从而为下文深入分析奠定坚实基础。接下来,我们将详细阐述谐波分析中的核心技术,例如频谱分析、小波转换和快速傅里叶转换等。本研究将对谐波治理的各种策略和技术进行深入探讨,这包括主动和被动的治理手段,并对当前谐波治理技术的发展方向进行分析。结合具体电力系统实例,文章将对谐波治理策略综合运用方案及实施步骤进行详细阐述,并给出谐波治理效果评价方法,以期对谐波治理量化分析有所帮助。

1 谐波分析的基础理论与方法

1.1 谐波的定义与分类

电力系统中非正弦波形电流或者电压的频率成分称为谐波,这些频率成分表现为基波频率的整数倍。谐波不但会干扰电力系统正常工作,而且会破坏电网内的各种设备。谐波根据频率的不同可以分为低次谐波、高次谐波以及时间谐波。低次谐波为频率小于基波频率的整数倍,高次谐波为频率大于基波的整数倍。间谐波频率不等于基波频率整数倍,一般是由于电力系统非线性负载所产生。

所研究的谐波问题涵盖了它的产生、传播、影响和抑制问题。要想有效地解决谐波问题就需要精确地测量

与分析谐波。谐波测量与分析已经成为电力系统监控与控制中至关重要的环节。通过实测与分析可掌握电网谐波分布,频率特性及幅值大小等情况,从而为治理谐波提供了重要信息。

1.2 谐波产生的机理与影响

电力系统的非线性负载,是谐波的主要源头。当电流流过非线性负载时会产生与基波频率不同的谐波电流并向电网扩散,从而影响电网稳定运行。谐波给电网带来了如下影响:

谐波可使电网无功功率损耗加大、功率因数下降,继而造成电压的降低、电能质量的恶化。另外谐波也会诱发电网谐振、放大电压、电流的波动、威胁电网的稳定运行。电网设备,例如变压器和电容器,都可能受到谐波的损害,例如过热和绝缘材料的老化等问题。

谐波对于通信系统的干扰也是如此。由于谐波信号的频率和通信信号的频率比较接近,谐波信号会对通信信号的传输产生干扰,从而造成通信质量的降低,甚至是中断。所以在电力系统当中,必须要采取有效的措施来抑制谐波的生成与扩散,保证电网的稳定以及通信系统的正常运行。

谐波还会显著地影响电力系统内的装置。很多装置对电压、电流波形有着严格的要求,而谐波的出现会使装置的工作状态发生变化,从而影响其性能及寿命。比如谐波的存在会使得变压器的铁损、铜损加大,从而造成温度上升,甚至会造成安全事故的发生。电容器内部的谐波将加速绝缘的老化和寿命缩短。电机、开关设备也将遭受到不同的破坏。

1.3 谐波分析的主要方法

频谱分析由于理论基础深、应用范围广,已成为谐波分析的一种基本而综合应用的手段。它把复杂信号巧

妙地由时间域变换到频率域,使我们可以直观地看到各频率分量在信号中的分布。就电力系统谐波分析而言,频谱分析更发挥着自身特有的优越性,能清楚揭示电网各频率谐波成分,给工程师及研究人员打开了认识谐波分布特征及规律之窗。

除了频谱分析和小波变换外,快速傅里叶变换(FFT)也是电力系统谐波分析中常用的一种方法。FFT是离散傅里叶变换(DFT)中的一种高速计算方法,它通过降低计算的复杂性,从而增强了谐波分析的速度和准确性。FFT可以把复杂谐波信号分解成一系列正弦波与余弦波叠加而成,然后实现信号各频率成分的抽取与分析。在电力系统谐波分析领域,FFT被综合运用到谐波检测,谐波测量以及谐波分析领域,对电力系统谐波治理工作提供强有力的技术支持。

2 谐波治理的策略与技术

2.1 谐波治理的基本原则与目标

治理谐波的核心是运用科学的方法与技术手段有效地降低谐波源的生成,约束谐波向电网的扩散,缓解谐波给电网、设备及通信系统带来的冲击。其目的就是为了减少电力系统各个频段的谐波含量、促进电能质量的改善、保障电网安全、稳定地运行。谐波治理要坚持的原则是:源头控制和降低谐波源的生成;利用已有的电网设备及技术手段对谐波进行抑制;在兼顾技术经济性的前提下选择合理的治理方案以兼顾治理效果和成本。具体目的是:减小电网谐波电压、谐波电流幅值、缓解电网冲击;改善电网电压波形和增强电能质量等;降低了谐波对装置的危害,提高了装置的使用寿命;降低谐波对通信系统影响,保障通信系统正常运行。

2.2 谐波治理的主动策略

谐波治理主动策略主要集中在治理和减少谐波源上。电力系统谐波源有非线性负载,电力电子设备等。对于如电力变压器、整流器和变频器这样的非线性负载,其产生的谐波主要来源于负载电流的非正弦特性。减小此类谐波源的主要措施有:优化设备设计、采用先进制造工艺及材料、减小非线性特性等;对装置的运行方式进行了改进,例如利用多电平技术,PWM技术等来降低谐波的生成;在电力电子设备中,例如开关电源和逆变器,其产生的谐波与开关部件的高速切换密切相关。减少此类谐波源的主要措施有优化开关器件的选择和选用低谐波特性器件等;对控制策略如软开关技术,谐振技术等进行了改进,以减少开关的次数及谐波的产生。还可以使用有源电力滤波器(APF)等主动补偿装置,实时补偿谐波源,降低谐波在电网中的传播。有源

电力滤波器的工作原理是检测电网中的谐波电流,并产生大小一致但方向相反的补偿电流,从而减少谐波电流对电网的不良影响。

2.3 谐波治理的被动策略

电力系统对已经生成的谐波采取被动策略进行控制。在电网侧采取措施是执行该战略的重点,旨在减少谐波对电网的扩散与冲击。滤波器的使用是治理电网侧谐波的一种重要方法,按其原理可以分为无源与有源2种。无源滤波器是由电容,电感等部件组成谐振电路来吸收并抑制某一频率谐波。有源滤波器能够实时监测电网中的谐波电流,并生成与之相反的补偿电流,从而达到消除谐波的目的。无源滤波器构造简单、造价低,但是滤波效果受到限制;有源滤波器滤波效果显著,但成本较高,且对电网参数变化敏感。

在电网侧谐波治理中,无功补偿装置也得到了运用。无功功率流动影响电网电压稳定性及谐波分布。合理配置电容器和电抗器无功补偿装置可提高电网无功功率平衡和减少谐波含量。另外无功补偿装置可以改善电网功率因数、减少损耗、促进运行效率。

电网侧谐波治理时谐波源的辨识与治理也是关键。非线性负载、电力电子设备等为主要谐波源。对谐波源进行辨识与控制可降低谐波生成与扩散。在非线性负载上,可通过提高工作特性和优化控制策略来减少谐波的生成;对电力电子设备而言,可利用多电平逆变器,PWM技术和其他先进控制技术减小谐波输出。

2.4 谐波治理技术的创新与发展

在电力系统不断发展的过程中,谐波问题越来越严重,谐波治理技术研究和应用呈现出了新的趋势。研究和开发新型谐波治理技术已成为人们关注的焦点。比如将人工智能技术应用到谐波治理当中,通过对电网谐波数据的分析学习来达到智能预测与治理的目的。在谐波控制领域,电力电子技术也得到了广泛的关注。例如,模块化多电平变换器(MMC)技术和基于宽禁带半导体材料的电力电子设备等,都能显著提升谐波控制的效能和成果。谐波治理技术创新要求跨学科整合。电力系统谐波治理涵盖了电力电子、控制理论、信号处理等众多学科。以跨学科合作交流的方式共同促进谐波治理技术创新和发展。滤波器设计中可将控制理论与信号处理知识相结合以实现滤波器的性能优化;对于谐波源的识别与控制,可借用人工智能与机器学习的方法来进行智能识别与控制。

3 谐波治理策略的综合应用与评估

3.1 谐波治理策略的综合应用

综合运用谐波治理策略时，最重要的任务就是深入分析电力系统谐波状况，确定谐波源及其传播路径。根据分析结果并根据电力系统实际状况制定了有针对性的谐波治理策略。策略制定需考虑电源侧，电网侧及设备侧谐波治理方式，从而达到有效治理谐波源及有效抑制谐波传播。

电源侧可采用多电平逆变器，PWM技术和其他先进电力电子技术降低谐波源。这些技术以优化电力电子设备控制策略来减少非线性负载给电网带来谐波污染。同时在电源侧合理地设计滤波器能进一步降低谐波源输出。

电网侧通常采用装设滤波器和无功补偿装置来治理谐波。该滤波器能有效地滤除电网谐波成分，降低谐波对电网及设备造成的冲击。无功补偿装置有助于优化电网的功率因数，减少电网的谐波阻抗，进而降低谐波传播的可能性。另外，对电网运行模式进行优化，如利用分频输电和柔性直流输电还可以有效降低电网谐波水平。

从设备的角度看，面对非线性的负载，我们可以使用有源电力滤波器（APF）等工具来进行谐波的管理。APF对电网谐波电流进行实时监测并生成对应补偿电流来抵消谐波电流给电网造成的污染。对主要装置，可使用隔离变压器和其他装置，使装置从电网中分离出来，以降低谐波对装置的冲击。

3.2 谐波治理效果的评估方法

谐波测量仪器可用于电网谐波实时监控与测量。通过实测数据可了解电网谐波水平及变化规律，从而对治理效果进行评价；通过仿真分析，该方法还可应用于谐波治理策略评价。通过搭建电力系统仿真模型对不同治理策略进行了仿真，并对谐波水平变化趋势以及治理效果进行了分析。该方法能够评价并优化治理策略而不影响电网实际运行；电力质量的评价标准，例如电压的总谐波畸变率（THD）和电流的总谐波畸变率（THDi），同样适用于评定谐波管理的成效。这些指标可以反映电网谐波水平，电能质量状况等信息。治理前与治理后评估指标对比可对治理效果优劣进行定量评估。

3.3 谐波治理策略的案例分析

为验证谐波治理策略是否有效可行，文中结合实际案例。在一定区域电网内，随着电力电子设备大量应用，电网谐波问题也逐步严峻。针对此电网中存在的谐

波，拟定了由电源侧，电网侧以及设备侧组成的谐波综合治理策略。电源侧采用多电平逆变器及PWM技术对电力电子设备控制策略进行优化以降低谐波源。电网侧通过设置滤波器及无功补偿装置有效滤除电网谐波成分，减小谐波对电网及设备的冲击。在装置方面，针对主要装置使用隔离变压器和其他装置，使装置和电网分离开来，降低谐波对装置的冲击。推行综合谐波治理策略之后，电网谐波水平明显下降。通过实时监测与实测数据表明：电网谐波畸变率显著降低，电能质量明显改善。电网运行稳定，设备使用寿命也有了切实保证。

4 结束语

电力系统谐波问题对系统稳定性和设备寿命具有深远影响，这一点在学术界已形成共识。通过对国内外学者研究结果的梳理与对比，了解谐波分析方法对于了解谐波成因，影响领域及治理效果等方面起到了至关重要的作用。在治理策略的制定与实施过程中，除寻求技术进步外，还要对经济与现实的可行性进行权衡。在未来的电力系统谐波管理研究中，我们需要更多地关注新技术和新方法的运用，如人工智能和大数据技术，从而提高治理工作的智能化和自动化程度。另外，还离不开加强国际之间的交流合作，有利于共同迎接电力系统谐波治理所带来的挑战，保障电力系统安全高效运行。

参考文献

- [1]孙红晓.电力系统中的谐波分析与抑制技术研究[J].电力设备管理,2024(6):29-31.
- [2]莫巧灵.基于加窗插值的电力系统谐波分析方法影响因素研究[J].广西电力,2022(2):29-35.
- [3]赵帅旗,肖辉,李文俊,等.基于多谱线插值法和复调制细化法的电力系统谐波分析[J].电测与仪表,2019(18):10-1524.
- [4]王同勋,李寒,周胜军,等.面向谐波分析的电力系统数字仿真系统研究[J].计算机工程与科学,2018(2):304-312.
- [5]康家玉,曹志威,王旭,等.基于改进的小波变换电力系统谐波分析[J].现代电子技术,2018(19):49-53.
- [6]周强,张瑞瑞,陈晗.基于时-频分析方法的具有时变特性电力系统谐波分析方法研究[J].陕西科技大学学报,2018(4):147-152.