

电力系统谐波的危害及治理

彭柏杰

湖南大学电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082

摘要 : 随着现代社会对电力供应质量和稳定性要求的提升, 电力系统谐波问题逐渐成为影响电网运行和设备可靠性的重要因素。谐波是电力系统中不期望的频率成分, 各类设备在工作过程中产生的非纯正弦波电流, 导致电网中存在频率高于基波的谐波成分, 对电力系统和相关设备带来多方面的不利影响。本文将深入探讨电力系统中谐波的产生机理、影响因素及其治理方法, 旨在为提升电力系统运行安全性、可靠性和经济性提供理论支持和实用指导。

关键词 : 电力系统; 谐波; 危害; 治理措施

The Harm And Governance Of Harmonics In Power Systems

Peng Baijie

School of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha Hunan 410082

Abstract : With the increasing demand for power supply quality and stability in modern society, harmonic problems in the power system have gradually become an important factor affecting the operation of the power grid and equipment reliability. Harmonics are unexpected frequency components in the power system. The non pure sine wave currents generated by various equipment during operation result in harmonic components with frequencies higher than the fundamental wave in the power grid, which brings various adverse effects to the power system and related equipment. This article will delve into the generation mechanism, influencing factors, and governance methods of harmonics in the power system, aiming to provide theoretical support and practical guidance for improving the safety, reliability, and economy of power system operation.

Keywords : power system; harmonics; harm; governance measures

前言:

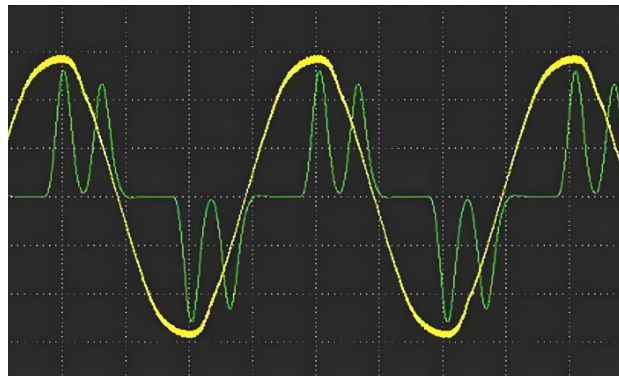
电力系统谐波作为电力质量问题的重要组成部分, 谐波会导致电力设备的过热和损坏, 且电力系统中存在的谐波会使得设备中的电流和电压波形失真, 增加设备内部的损耗, 导致变压器、电机等设备温升过高, 甚至加速设备的老化和损坏, 从而影响电力系统的可靠性和安全性^[1]。对于工业用户而言, 谐波导致其生产设备的故障率提高, 生产效率下降, 甚至造成产品质量问题; 对于居民用户而言, 谐波引起家用电器的异常工作和提前损坏, 影响日常生活的舒适度和安全性。因此, 有效的谐波治理措施是提高电力系统的稳定性和可靠性, 保障电力供应质量, 促进经济社会的可持续发展的关键所在。

一、电力系统谐波的产生原因

电力系统谐波是指在电力传输和分配过程中产生的非基频 (通常为50Hz或60Hz) 整数倍频率的电压或电流波动。其波形特征表现为原始波形的周期性畸变, 包括高频成分的振荡和波形的不规则性。谐波对设备和系统稳定性有潜在影响, 需要通过滤波等措施加以控制和管理^[2]。电力系统谐波的波形特征如图1所示。

(一) 非线性负载设备

在现代电力系统中, 非线性负载设备是产生谐波的重要原



> 图1 电力系统谐波的波形特征

因，各类设备的工作特性导致它们吸收的电流不再是纯正弦波形，而是包含有多个频率的谐波成分。典型的非线性负载设备包括电子变频器、整流器、电弧炉、UPS（不间断电源系统）等，各类设备广泛应用于工业生产、信息技术和电力转换等领域，它们在正常工作时产生的电流波形因其非线性特性而包含了大量谐波。

（二）电弧放电

电弧放电指的是电流通过非常热的离子化空气或介质产生的电弧，这种放电在电力设备如断路器、开关、电弧炉等工作时经常发生。在电力系统中，电弧放电产生的谐波主要与其瞬态特性和高频振荡有关^[9]。当开关或断路器切断电流时，会发生电弧放电现象，这会产生大量高频的谐波。虽然每次电弧放电持续时间较短，但其频繁发生和高能量特性使得电网中存在大量的高次谐波成分。在电弧炉工作时，由于电弧的高温和强烈的电磁场效应，会产生大量高次谐波，这些谐波不仅对电弧炉本身造成影响，还会通过电网传播，对其他电力设备和系统产生干扰和损害。

（三）电力系统的共振与谐振

共振是指电力系统中电感、电容和电阻等元件之间在特定频率下产生的共振现象，这会放大谐波信号。谐振则是在特定频率下，系统中某些元件或者整个系统因为其固有特性而振荡^[10]。共振和谐振通常发生在系统的谐振频率或者其倍数的频率上，所涉及的频率通常与电网的基频（如50Hz或60Hz）有关。在这些频率下，即使谐波的幅值较小，也因为共振放大而对系统产生重大影响。

（四）不对称负载

不对称负载通常由于电力系统中的单相负载或者三相负载不平衡引起，这是由于负载的类型、运行状况或接入方式等因素导致的。在三相系统中，如果负载不平衡，即三相电流不相等或相位差较大，会导致谐波的产生和传播。这是因为不对称负载会引起电流的非对称性，使得电流波形不再是对称的正弦波，而是包含谐波成分的波形。

二、电力系统谐波的危害

（一）设备损坏与过热

谐波是指在电力系统中频率是电网基频（如50Hz或60Hz）整数倍的电压或电流分量，其主要来源包括非线性负载设备、电弧放电、系统的共振与谐振以及不对称负载等。具体而言，设备在设计时通常考虑的是正弦波形电压和电流下的工作条件，但谐波会导致电流和电压波形变形，特别是高次谐波会对设备产生直接的损害^[6]。且非线性负载设备如电子变频器、整流器和UPS等，因其工作原理导致电流含有大量高次谐波成分，所涉及各类谐波不仅会导致设备内部的电压和电流不稳定，还会产生附加的电磁热效应，使设备内部部件的温度升高，进而加速设备的老化和损坏。

（二）电网稳定性问题

电网稳定性是电力系统中关键的运行指标，而谐波对电网稳

定性的影响导致系统运行异常甚至崩溃。谐波会引起电压和电流的波动，特别是在高谐波水平下，这些波动会产生多种不利后果，大部分不正常的谐波会增加电网的电压失真，使得供电质量下降。电网中的谐波信号在系统中造成电压波动和电流不平衡，这些现象会引起供电设备的过载或失效。特别是在大型工业设备和关键生产设施中，电压波动和电流不稳定会导致设备停机和生产中中断，对生产效率和经济损失造成重大影响^[6]。当系统的电感、电容和电阻等元件在特定频率下共振时，谐波信号被放大，这会引发系统的不稳定和振荡。共振导致设备的不正常运行或损坏，甚至造成系统的大范围故障。电力系统谐波对电网稳定性的影响如表1所示。

表1 电力系统谐波对电网稳定性的影响

频率	谐波含量 (THD, %)	影响效果
50 Hz	1.5%	对电网稳定性影响较小，不会引起明显问题。
150 Hz	3.2%	引起轻微电压波动，导致部分敏感设备工作异常。
250 Hz	5.8%	导致电网电压不平衡，增加系统运行不稳定性风险。
350 Hz	8.6%	引发电网频率波动，导致设备短时性能下降。
450 Hz	11.3%	严重影响电网稳定性，引发系统内部振荡和频率不一致。

（三）通信和控制系统的干扰

现代电力系统中广泛应用的通信设备和自动控制系统，对电力质量有着较高的要求，谐波的存在会对这些系统的正常运行产生严重影响^[7]。特别是在高频谐波信号存在的情况下，它们与通信信号频带重叠，导致信号失真、丢失或误解析，对于需要高可靠性和数据精确度的通信系统，如电信设备、广播设备以及网络控制系统等，会导致通信中断或系统性能下降。

除此之外，自动控制系统通常依赖于精确的传感器信号和准确的控制指令，而谐波的存在导致传感器测量误差增加或控制指令失效。这会严重影响生产过程的自动化程度和控制系统的可靠性，对生产效率和产品质量产生负面影响。

三、电力系统谐波的治理方法

（一）滤波器的合理布局

在设计电力系统时，首先需要进行系统分析，了解谐波的来源、频率成分和传播路径。根据系统的谐波特性，确定需要安装谐波滤波器的位置和类型，谐波源头附近的设备如非线性负载设备、电子变频器等是主要的谐波发生点，因此在这些设备的电源线路上安装谐波滤波器能够有效控制谐波的注入^[8]。在布置阶段，需考虑在电网中的关键点布置谐波滤波器，如电容补偿设备、配电变压器等接入点附近，以防止谐波的传播和扩散。通过系统的定位分析和谐波特性测量，能够为滤波器的合理布局提供科学依据。不同滤波器单一使用对谐波治理的效果如表2所示。

表2 不同滤波器单一使用对谐波治理的效果

类型	谐波降低率 (%)
被动 LC 滤波器	63.2%
主动滤波器	82.6%
混合滤波器	91.7%

除此之外，根据不同的谐波频率成分，选择合适类型的谐波滤波器。常见的谐波滤波器包括被动 LC 滤波器、主动滤波器和混合滤波器等。被动 LC 滤波器适用于消除低次谐波，主动滤波器则能够对高次谐波进行动态补偿，具有更好的谐波抑制效果。布置完成后，在选择滤波器的参数时，需要考虑其额定电压、电流容量、谐波抑制效果以及对系统基频正常运行的影响^[9]。滤波器的设计应充分考虑系统的工作条件和环境因素，确保其在各种操作情况下能够稳定可靠地工作。

(二) 选择高效的元件设备

电力系统中谐波的治理不仅依赖于滤波器的合理布局，还需要选择高效的元件设备来降低谐波的产生和传播，选择设计先进、技术成熟的电力设备对于控制谐波至关重要。例如，现代电子变频器和整流器通常具有改进的 PWM 控制技术和谐波抑制功能，能够在工作时减少高次谐波的生成。这些设备在设计和制造时考虑到了谐波对系统的影响，通过优化电路结构和控制算法，有效降低了非线性负载产生的谐波水平。

一方面，在选择电力设备时，需要考虑设备的谐波抑制能力和符合的标准要求。根据电力质量标准的要求，设备应满足特定的谐波限制和电磁兼容性要求，以确保设备在各种工作条件下稳定可靠地运行，同时不对周围设备和系统产生干扰^[10]。另一方面，在设计和运行电力系统时，需要考虑负载的特性和平衡问题。合理平衡负载，避免过载和电流突变率过高的情况，能够减少谐波的生成和传播。通过优化负载配置和平衡控制策略，可以有效降低系统中谐波的水平，提升系统的整体电力质量。

(三) 调整设备的运行模式

现代电力设备如变频器、整流器和 UPS 系统等，广泛应用了先进的控制技术，能够显著降低谐波的生成。具体而言，可以采用 PWM（脉宽调制）控制技术的变频器，可以通过调整开关频率和占空比，减少高次谐波的产生。此外，采用矢量控制和 DTC

技术的电机驱动系统，能够进一步提高电机的运行效率和控制精度，减少由非线性负载引起的谐波问题。此外，可以调整整流器的控制方式，采用相位控制和同步控制技术，可以减少整流过程中的谐波生成。同时，优化变频器的调速曲线和工作频率，避免在谐波频率上产生共振，减少谐波的注入，且合理设置负载的启动和停机策略，避免电流突变和高峰值电流的产生，也有助于降低谐波水平。

(四) 构建实时监测与诊断系统

在电力系统的关键节点和谐波源附近，安装高精度的谐波监测设备和电力质量分析仪，所涉及的各种设备能够实时采集电压和电流信号，准确测量谐波的幅值、频率和相位等参数，在此基础上通过数据采集和处理系统的应用，将监测数据传输到中央控制室或监控平台，实现对系统谐波状态的实时监控和分析。

建立数据采集与分析系统，采用先进的数据采集技术和通信技术，将实时数据传输到数据中心进行集中处理和分析，在此基础上构建实时报警和远程控制系统，设置报警阈值和预警机制，当谐波水平超出安全范围时，系统能够自动发出报警信号，提示操作人员采取措施。同时，支持远程控制功能，允许操作人员通过监控系统远程调整设备的运行参数和控制策略，及时响应和解决谐波问题，减少设备损害和系统故障。

结语

综上所述，随着电力系统的自动化水平不断提高，电力系统中的元件设备的数量不断增加，电力系统谐波带来的危害日益增加，从谐波的产生原因入手，非线性负载设备、电弧放电、系统的共振与谐振以及不对称负载是主要的谐波源头，需要通过设备选择优化、滤波器的合理布局和高效率元件设备的选用来有效控制。其次，调整设备的运行模式和构建实时监测与诊断系统是关键手段，通过优化控制技术、实时数据采集分析及远程控制，可以有效降低谐波水平，提升系统的稳定性和电能质量。总而言之，电力系统谐波治理需要综合运用技术手段、合理布局设备以及严格遵守标准要求，以确保电网安全稳定运行，减少设备损坏和运行故障的风险，进而提高电力系统的整体效率和可靠性。

参考文献:

[1] 黄伟, 陈诚, 周家琛, 等. 舰船综合电力系统谐波的产生、危害及其治理 [J]. 船舶, 2022, 33(5): 122-127.
 [2] 田显贵. 油田电力系统中高次谐波的产生、危害及治理措施 [J]. 石化技术, 2019, 26(4): 293.
 [3] 王耕, 谢宇. 大功率广播发射系统的电力谐波危害及治理 [J]. 电子质量, 2017(8): 87-94
 [4] 杨颖昭. 电力系统谐波的来源与危害性分析及治理对策 [J]. 区域治理, 2017(7): 164, 167.
 [5] 丁佳镡. 电力系统中谐波的危害及治理方法 [J]. 大众用电, 2019, 34(3): 37-38.
 [6] 王闽南. 钻井平台电网中高次谐波的危害及控制方法 [J]. 数字化用户, 2022(18): 199-201.
 [7] 林丽娟, 贾清泉, 田书娅, 等. 基于一致性算法的配电网谐波分布式治理策略 [J]. 电力系统自动化, 2022, 46(2): 9.
 [8] 左宝峰, 李俊, 黄子莹, 徐浩东, 程林. 基于 LVRT 策略和故障谐波足迹的微电网继电保护方案 [J]. 制造业自动化, 2023, 45(8): 17-21.
 [9] 马晓刚. 浅析电力系统中的谐波治理技术 [J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2022(4): 3.
 [10] 曾裕良. 民用建筑电气系统设计中谐波的危害及抑制方法 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2022(4): 4.