

燃机电厂电气设备的谐波分析与抑制方法

毛 利

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 丰城 331100

摘 要：随燃机电厂装机规模扩大与电力电子设备广泛应用，电气设备运行中产生的谐波污染问题愈发凸显。本文聚焦燃机电厂电气设备的谐波问题。首先剖析了谐波产生的原因，涵盖电力电子设备广泛应用、变压器非线性特性以及发电机自身因素等。接着阐述了谐波带来的多方面危害，包括对电气设备、电能质量、电力系统稳定性及计量准确性的不良影响。最后介绍了多种谐波抑制方法，如无源滤波器、有源滤波器的应用，多脉冲整流技术的采用，优化电气设备运行方式以及使用新型电力电子器件等，旨在为燃机电厂有效应对谐波问题提供理论支持与实践参考。

关键词：燃机电厂；电气设备；波的危害；抑制方法

引言：在当今能源领域，燃机电厂凭借其高效、灵活等优势，在电力供应中占据重要地位。然而，随着燃机电厂电气设备不断更新换代，大量非线性负载的接入，谐波问题日益凸显。谐波不仅会降低电气设备的使用寿命和性能，还会对电能质量造成严重干扰，影响电力系统的稳定运行，甚至导致计量不准确，给电厂带来经济损失。因此，深入研究燃机电厂电气设备的谐波产生原因、危害以及有效的抑制方法具有重要的现实意义，有助于保障燃机电厂的安全、稳定、高效运行，提升电力供应的质量和可靠性。

1 燃机电厂电气设备谐波产生原因

1.1 电力电子设备的广泛应用

在燃机电厂中，电力电子设备的应用愈发广泛，这是谐波产生的重要源头之一。像变频器、整流器等设备，其工作原理基于电力电子器件的快速开关动作。以变频器为例，它通过改变电机供电频率来调节电机转速，在整流和逆变过程中，由于开关器件的非线性导通和关断特性，使得输入电流波形发生畸变，不再是标准的正弦波，从而产生大量谐波。这些谐波会注入电网，随着电力电子设备数量的增多和容量的增大，谐波污染问题也愈发严重，对燃机电厂电气系统的稳定运行构成威胁。

1.2 变压器的非线性特性

变压器作为燃机电厂电气系统中的关键设备，其非线性特性是谐波产生的一个因素。变压器铁芯具有磁饱和特性，当变压器所带负载变化，尤其是处于过载或轻载等非正常运行状态时，铁芯中的磁通密度会发生变化。在磁饱和区域，磁通与电流不再呈线性关系，导致励磁电流发生畸变，产生谐波。而且，不同结构、型号的变压器，其非线性程度也有所差异。此外，变压器绕

组中的漏抗等因素也会影响电流波形，进一步加剧谐波的产生，影响电力系统的电能质量。

1.3 发电机自身因素

发电机自身的一些特性也会导致谐波的产生。在燃机电厂中，发电机定子和转子之间的气隙磁场分布通常并非完全均匀的理想状态。由于制造工艺、安装精度等方面的限制，气隙磁场会出现一定程度的畸变，这种畸变的磁场会在定子绕组中感应出非正弦的电动势，进而产生谐波电流。另外，发电机的励磁系统如果调节不当，也会使发电机的输出电压和电流波形发生畸变，产生谐波。同时，发电机在运行过程中，随着负载的变化，其内部电磁关系会发生改变，也可能引发谐波问题，影响电力系统的正常运行。

2 燃机电厂电气设备谐波的危害

2.1 对电气设备的影响

谐波对燃机电厂电气设备危害显著。变压器受谐波影响，其铜损和铁损大幅增加，致使变压器温度升高，加速绝缘材料老化，降低绝缘性能，缩短使用寿命，甚至可能引发绝缘击穿故障。电动机在谐波作用下，会产生额外的转矩脉动，造成电机振动加剧、噪声增大，影响其正常运行精度。同时，谐波增加电机附加损耗，降低效率，长期运行会使电机过热，损坏绕组绝缘。电容器与系统中谐波可能发生谐振，导致电容器过电流、过电压，使其绝缘迅速劣化，甚至发生爆炸。电缆在谐波环境下，集肤效应加剧，有效电阻增大，载流量降低，且谐波会加速电缆绝缘老化，增加线路故障风险，影响电气设备的可靠供电，给燃机电厂生产带来不稳定因素。

2.2 对电能质量的影响

谐波严重破坏了燃机电厂的电能质量。电压波形因谐波而畸变，出现电压偏差、波动和闪变等问题。电压

畸变会使照明设备闪烁,影响视觉舒适度和工作效率;对精密电子设备,可能导致其工作异常或损坏。谐波还会干扰电力系统的频率控制,使频率偏离额定值,影响电能传输的稳定性。三相电压和电流在谐波作用下不平衡,中性线电流增大,增加线路损耗,降低电网传输效率。此外,谐波产生的电磁干扰会影响通信设备的正常运行,导致信号失真、误码率增加等问题,降低整个电力系统的供电质量,影响燃机电厂及周边用户的用电体验。

2.3 对电力系统稳定性的影响

谐波对燃机电厂电力系统稳定性构成严重威胁。谐波可能使电力系统中的保护装置误动作,如继电保护装置因谐波干扰误判故障,发出错误跳闸信号,导致部分设备或线路停电,破坏系统正常运行。同时,谐波增加电力系统的无功功率,降低功率因数,使电网传输能力下降,影响电力系统的经济运行。在特定条件下,谐波还可能引发电力系统谐振,产生过电压和过电流,对电气设备造成严重损坏,甚至引发连锁故障,导致电力系统瓦解,造成大面积停电事故。

2.4 影响计量准确性

谐波干扰使燃机电厂电气设备计量准确性大打折扣。传统电能计量仪表基于正弦波设计,当电网存在谐波时,无法准确计量谐波功率。对于感性负载,谐波会使电能表转速加快,多计电量;容性负载则可能使电能表少计电量,造成计量误差。这种误差影响燃机电厂电费结算的准确性,给电厂带来经济损失。功率因数表也会受谐波干扰,测量值不准确。不准确的功率因数数据会影响电厂对无功补偿设备的合理配置和运行调整,无法有效提高功率因数,降低线路损耗^[1]。

3 燃机电厂电气设备谐波抑制方法

3.1 无源滤波器的应用

无源滤波器是燃机电厂抑制电气设备谐波的常用有效手段,其通过合理设计电路参数,为特定频率的谐波提供低阻抗通路,从而将谐波电流分流,避免其流入电网或其他设备。(1)无源滤波器安装便捷且成本较低。它主要由电容器、电抗器和电阻器等无源元件构成,结构相对简单,在燃机电厂现有电气系统中易于加装。与其他复杂的谐波抑制设备相比,其采购和安装成本较低,对于预算有限的电厂改造项目具有较大吸引力,能在经济可行的前提下改善谐波状况。(2)无源滤波器可针对性地抑制特定次数谐波。根据燃机电厂电气设备产生的谐波特征,设计出与之匹配的无源滤波器,如单调谐滤波器可对单一频率谐波进行有效滤除,高通滤波器则能抑制多次谐波。通过合理组合不同类型的无源滤

波器,可实现对多种谐波的综合治理,提高电能质量。

(3)无源滤波器运行稳定可靠。它不依赖外部电源,仅依靠自身的无源元件特性工作,受外界因素干扰较小。在燃机电厂复杂多变的运行环境下,能长期稳定运行,持续发挥谐波抑制作用,减少因谐波引发的设备故障和停电事故,保障电厂电气系统的安全稳定运行,为燃机电厂的正常生产提供有力支持。

3.2 有源滤波器的使用

有源滤波器在燃机电厂电气设备谐波抑制中发挥着关键作用,它是一种动态抑制谐波的新型电力电子装置,能对谐波进行实时跟踪与补偿。(1)有源滤波器具有高度的实时性和精准性。它通过外部电流互感器实时监测负载电流,并利用内部控制系统迅速分析出谐波成分,然后产生一个与该谐波电流大小相等、方向相反的补偿电流注入电网,实现对谐波的精准抵消。与无源滤波器相比,它不受电网阻抗、频率变化等因素的影响,能够快速响应负载电流中谐波的动态变化,确保在不同工况下都能有效抑制谐波,大大提高了电能质量。(2)有源滤波器具备多功能补偿特性。除了能抑制谐波外,它还可以同时补偿无功功率,提高功率因数,减少电网的无功损耗。在一些对电能质量要求较高的燃机电厂设备中,如精密电子仪器、变频调速装置等,有源滤波器能够为其提供稳定的电源环境,保障设备的正常运行,延长设备使用寿命。(3)有源滤波器安装灵活且维护方便。它体积相对较小,可根据燃机电厂的实际布局和需求,灵活安装在合适的位置。而且,其采用模块化设计,当某个模块出现故障时,可方便地进行更换和维修,减少了设备的停机时间,降低了维护成本,提高了电厂的运行效率^[2]。

3.3 多脉冲整流技术

脉冲整流技术是燃机电厂抑制谐波、提升电能质量的关键手段,其核心原理是通过增加整流脉冲数,使输入电流波形更接近正弦波,从而降低谐波含量。(1)多脉冲整流技术通过变压器移相实现谐波抵消。以12脉冲整流器为例,其采用移相变压器将三相输入电压转换为多组相位差为30°的三相电压,分别供给两组三相整流桥。两组整流桥的输出电流在相位上相互错开,叠加后可使输入电流中的5次、7次等低次谐波相互抵消,谐波含量较传统6脉冲整流器降低50%以上。若采用24脉冲整流器,谐波抑制效果更显著,可满足更严格的电能质量标准。(2)该技术能提升功率因数并降低设备损耗。多脉冲整流技术通过优化输入电流波形,使电流与电压相位差减小,从而提高功率因数,减少无功功率损耗。同

时,谐波含量的降低可减少变压器、电机等设备的附加损耗和局部过热现象,延长设备使用寿命,降低维护成本。(3)多脉冲整流技术适用性强且经济性好。该技术可根据燃机电厂的实际需求,灵活选择12、18、24等脉冲数,在谐波抑制效果与设备复杂度之间取得平衡。相较于有源滤波器等复杂技术,多脉冲整流器结构简单、成本较低,且无需额外控制算法,运行稳定可靠,在大功率场合中具有显著优势。

3.4 优化电气设备运行方式

优化电气设备运行方式是燃机电厂抑制谐波、提升系统稳定性的重要途径,通过科学合理的运行策略,可从源头减少谐波产生并降低其影响。(1)合理调整设备启停顺序与运行时间。在燃机电厂中,部分电气设备如大型电机、变频器等在启动瞬间会产生较大谐波电流。通过合理安排设备的启动顺序,避免多台大功率设备同时启动,可防止谐波叠加导致电网电压畸变加剧。同时,根据生产需求优化设备运行时间,让设备在负荷低谷时段进行调试或非关键操作,减少谐波对主电网的冲击。(2)平衡三相负载。三相负载不平衡会引发额外的谐波问题,导致中性线电流过大,增加线路损耗和设备发热。定期对厂内电气设备进行三相负载检测与调整,确保各相负载尽可能均衡分配。对于一些单相大功率设备,可采用分散布置或配备专用变压器的方式,降低其对三相平衡的影响,从而减少因负载不平衡产生的谐波。(3)根据设备特性选择合适的运行模式。例如,对于变频器等电力电子设备,可根据负载变化调整其输出频率和电压,避免设备长期在低效、高谐波工况下运行。同时,加强对设备运行状态的监测与分析,及时发现异常运行情况并采取措施,如调整参数、切换备用设备等,确保电气设备在最优状态下运行,有效抑制谐波的产生与传播^[3]。

3.5 采用新型电力电子器件

在燃机电厂电气设备谐波抑制方面,采用新型电力电子器件是极具潜力与成效的重要举措,能从器件层面提升电力电子装置性能,进而有效减少谐波产生。(1)新型电力电子器件具有更高的开关频率。传统器件开关

频率较低,在整流、逆变等过程中,电流波形与正弦波差异较大,谐波含量高。而新型器件如碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)功率器件,其开关频率可达传统器件的数倍甚至数十倍。高频开关使得电流波形更接近正弦波,从源头上大幅降低了谐波的产生,提高了电能质量。

(2)新型器件具备更低的导通损耗和开关损耗。在燃机电厂中,大量电力电子设备长时间运行,损耗问题突出。低损耗特性使新型器件在运行过程中发热减少,效率提高。这不仅降低了设备自身的能耗,还减少了因损耗产生的热量对设备性能的影响,使设备能更稳定地工作,间接降低了因设备不稳定运行而产生的谐波。(3)新型电力电子器件的快速响应能力更强。它能在更短的时间内完成开关动作,对负载变化的适应能力更好。在燃机电厂复杂的工况下,负载频繁波动,新型器件可快速调整输出,避免因负载突变而产生谐波尖峰,有效抑制了谐波的动态变化,保障了电力系统的稳定运行。

结束语

燃机电厂电气设备的谐波问题,犹如隐藏在电力系统中的“隐形杀手”,对设备安全、电能质量、系统稳定及计量准确性等多方面均构成严重威胁。通过深入剖析谐波产生机理与危害,我们认识到抑制谐波的紧迫性与重要性。文中探讨的无源滤波器、有源滤波器、多脉冲整流技术、优化运行方式以及采用新型电力电子器件等抑制方法,各有其独特优势与适用场景。在实际应用中,需综合考量电厂的具体情况,灵活组合运用这些方法,构建多层次的谐波抑制体系,以实现高效、经济地解决谐波问题,保障燃机电厂电气系统的安全、稳定、高效运行。

参考文献

- [1]肖湘宁,徐永海.电能质量问题剖析[J].电网技术,2021,25(3):65-69
- [2]黄国涛.发电厂电气设备安全运行的管理及维护[J].中国高新技术企业,2016(19):66-67
- [3]胡铭,陈珩.电能质量及其分析方法综述[J].电网技术,2021,24(2):36-38