

用电工程中的谐波治理与无功补偿技术

谢洪龔

杭州市园林绿化股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘要：随着电力电子技术的迅猛发展，非线性用电设备在电网中大量投运，导致电网中谐波污染和无功功率问题日益严重。谐波污染不仅影响供电系统的稳定运行，还增加了电网的供电损耗，干扰电网的保护装置与自动化装置的正常运行。而无功功率的不足则会导致功率因数下降，影响设备的利用率和电网的经济运行。因此，研究用电工程中的谐波治理与无功补偿技术具有重要意义。本文综述了谐波治理与无功补偿的基本原理、技术方案及实际应用，旨在为相关领域的研究和实践提供参考。

关键词：用电工程；谐波治理；无功补偿

引言

在供电系统中，谐波污染和无功功率问题是影响电能质量的重要因素。谐波污染主要来源于非线性用电设备，如变频调速器、整流设备等，这些设备在运行过程中会产生大量的谐波电流注入电网，导致电网电压和电流波形畸变。而无功功率则是指在交流电路中，用于电场和磁场能量交换的那部分功率，它并不直接做功，但会导致电网传输效率下降和功率因数降低。因此，研究谐波治理与无功补偿技术对于提高电能质量、保障电网安全稳定运行具有重要意义。

1 谐波治理技术

1.1 谐波成因与危害

谐波成因复杂且多样，主要可以归结为非线性用电设备的广泛使用、电网结构不合理以及电力电子设备的应用等几个关键方面。非线性用电设备，如变频调速器、整流器、电弧炉等，在其工作过程中由于电压与电流之间不存在线性关系，导致电流波形发生畸变，产生大量的谐波成分。这些设备在现代工业、商业和居民生活中广泛应用，成为谐波的主要来源之一。电网结构的设计和管理也对谐波的产生和传播具有重要影响。不合理的电网结构，如过长的输电线路、过大的变压器容量比、不合理的电网布局等，都可能加剧谐波的传播和放大。同时，电网中的谐振现象也可能导致谐波的放大，使得谐波问题更加突出。此外，电力电子设备的应用也是谐波成因之一。这些设备在开关过程中会产生瞬时的电压和电流变化，从而引发谐波。随着电力电子技术的快速发展和功率的不断提高，电力电子设备在电力系统中的应用越来越广泛，谐波问题也日益严重。谐波对电网和电气设备的危害是多方面的且不容忽视。首先，谐波电流在电网中流动时，会产生额外的电阻损耗和铁芯损耗，

从而增加电网的供电损耗，降低电力系统的效率^[1]。其次，谐波可能干扰保护装置与自动化装置的正常运行，触发误动作，导致电网的故障扩大或不必要的停电，影响电力系统的可靠性和稳定性。再者，谐波可能与电网中的某些元件产生谐振，导致电压和电流的急剧放大，引发电网谐振现象，对电气设备造成损坏。最后，谐波还可能影响电气设备的正常运行，如导致电动机、变压器等设备的振动和噪声增加，影响其性能和使用寿命。因此，必须采取有效的谐波治理措施，确保电力系统的安全、稳定和高效运行。

1.2 谐波治理方法

1.2.1 主动治理

主动治理是从谐波源本身出发，通过改进用电设备，使其不产生或少产生谐波。这种方法直接针对谐波产生的根源，因此是最为理想的治理方式。在电力电子设备的设计和使用中，可以采用增加换流装置的脉动数或相数的方法来减少谐波的产生。例如，在整流装置中，通过增加整流桥的脉波数，可以使得整流后的电流波形更加接近正弦波，从而减少谐波成分。此外，对于某些特定的非线性用电设备，如电弧炉、荧光灯等，也可以通过改进其工作原理或结构设计来减少谐波的产生。除了改进设备本身，还可以通过优化共配电系统来减少谐波的传播和放大。例如，合理布局电网结构，避免过长的输电线路和过大的变压器容量比，可以减少谐波的传输和放大效应。同时，对于电网中的谐振现象，也可以通过调整电网参数或增加阻尼装置来加以抑制。

1.2.2 受端治理

受端治理是从受到谐波影响的设备或系统出发，提高它们抗谐波干扰能力。这种方法主要适用于那些无法或难以对谐波源进行改造的场合。提高设备的抗谐波干

扰能力可以通过多种途径实现。例如,对于电动机、变压器等电气设备,可以采用具有更高耐受谐波能力的绝缘材料和结构设计,以减少谐波对其正常运行的影响。此外,还可以在设备输入端安装谐波抑制器或滤波器,以阻止谐波电流流入设备内部。对于电力系统中的保护装置和自动化装置,也可以通过增加谐波滤波环节或采用更先进的算法来提高其抗谐波干扰能力。例如,在保护装置中增加谐波检测环节,可以实时监测谐波电流的大小和相位,从而避免误动作的发生。在自动化装置中,可以采用更先进的数字信号处理技术来滤除谐波成分,提高测量和控制的准确性。

1.2.3 被动治理

被动治理是通过安装电力滤波器来阻止谐波源产生的谐波注入电网,或者阻止电力系统的谐波流入负载端。这种方法是谐波治理中最为常用和有效的方法之一。无源滤波器是一种通过电感、电容和电阻的巧妙组合而设计的滤波电路,能够有效滤除特定次或多次的谐波。其中,最常用的无源滤波器结构是电感与电容的串联,这种结构能够为主要的次谐波(如3、5、7次谐波)提供低阻抗的旁路,从而使得谐波电流被分流到滤波器中,减少其注入电网的量。无源滤波器具有结构简单、成本低廉、维护方便等优点,因此在实际应用中得到了广泛应用。然而,无源滤波器也存在一些局限性^[2]。例如,它只能滤除特定次数的谐波,对于其他次数的谐波可能无效;同时,无源滤波器的滤波效果受到其参数和电网阻抗的影响,可能存在谐振现象等。因此,在实际应用中需要根据具体情况进行选择和调整。有源滤波器是一种利用现代电力电子技术设计的滤波装置,它通过实时监测电力线路中的谐波成分,并产生一个与谐波大小相等、相位相反的补偿电流,从而抵消掉谐波的影响。有源滤波器具有更高的灵活性和补偿效果,能够实时跟踪谐波的变化并进行补偿,因此在实际应用中得到了越来越广泛的应用。然而,有源滤波器的成本相对较高,需要专业的技术人员进行维护和调试。除了无源滤波器和有源滤波器外,还可以通过其他方法来治理谐波。例如,隔离谐波是一种有效的方法,可以通过在谐波源和电网之间设置隔离变压器或隔离装置来阻止谐波的传播。保持三相电流平衡也是减少谐波的一种方法,可以通过调整负载的分配或采用三相平衡装置来实现。此外,合适的接地也是减少谐波影响的重要措施之一,可以通过设置合理的接地系统和接地电阻来降低谐波对地的干扰。

2 无功补偿技术

2.1 无功功率与功率因数

在交流电路中,电能的传输和转换不仅涉及有功功率,还涉及无功功率。有功功率是实际做功的功率,它转化为机械能、热能等其他形式的能量,而无功功率则是指在交流电路中,用于电场和磁场能量交换的那部分功率。这部分功率并不直接做功,但在电力系统中却是不可或缺的。无功功率的存在,主要是由于电路中的电感元件(如变压器、电动机的线圈)和电容元件(如电力电容器)在交流电的作用下,会产生交变的磁场和电场。这些磁场和电场在不断地建立和消失过程中,需要消耗一定的电能,这部分电能就是无功功率。无功功率的流动,会导致线路和变压器中产生额外的电流,从而增加线路的损耗和变压器的发热。功率因数,是衡量电气设备效率的重要指标之一。它表示电路中有功功率与视在功率的比值,用公式表示为:功率因数 = 有功功率 / 视在功率。视在功率是电路中电压和电流的乘积,它包含了有功功率和无功功率两部分。当功率因数较低时,意味着电路中用于交变磁场转换的无功功率占比较大,而有功功率的占比相对较小。功率因数较低会带来一系列的问题。首先,它会影响电气设备的利用率。由于无功功率的流动,线路和变压器中的电流会增大,导致设备的容量得不到充分利用。其次,功率因数较低会增加线路供电损失。无功电流的流动会产生额外的线路损耗,使得电力系统的传输效率降低。此外,功率因数较低还可能对电力系统的稳定性产生影响,导致电压波动和电能质量下降。

2.2 无功补偿方法

2.2.1 电容补偿

电容补偿是一种传统且广泛应用的无功补偿方法。它是通过串联或并联电容器来提供无功功率,从而补偿电路中因电感元件(如变压器、电动机线圈)产生的无功需求,提高功率因数。电容补偿技术方案相对简单,成本低廉,且无功补偿效果较好。它适用于对电网无功功率负荷波动较小的场所,如稳定的工业生产线、居民区等。在这些场所,无功需求相对稳定,电容补偿能够提供持续、稳定的无功支持,有效提高电力系统的运行效率。然而,电容补偿也存在一些局限性。由于电容器的补偿效果与电网电压的平方成正比,当电网电压波动较大时,电容补偿的效果也会受到影响^[3]。此外,电容器在投入和退出时可能会产生较大的涌流,对电网造成冲击。因此,在实际应用中需要根据具体情况进行选择和调整。

2.2.2 SVC与STATCOM

SVC(静止无功发生器)和STATCOM(静态同步

无功发生器)是两种先进的无功补偿设备,它们具有响应速度快、补偿效果好等优点,适用于电网无功功率负荷波动较大的场所或对电压稳定性要求较高的场所。SVC是通过调节阻抗来提供无功功率的一种补偿方式。它通常由可控硅阀(晶闸管)控制的电抗器(或电容器组)组成,能够根据电网的无功需求快速调节其阻抗值,从而提供或吸收无功功率。SVC的响应速度较快,能够在毫秒级的时间内完成无功补偿,有效抑制电网中的电压波动和闪变。它适用于大型工业用户、风电场、变电站等场所,能够提高电力系统的稳定性和可靠性。STATCOM则是通过调整电压来提供无功功率的一种补偿方式。它采用全控型电力电子器件(如IGBT)作为开关元件,通过控制开关的通断来调节输出电压的幅值和相位,从而提供或吸收无功功率。STATCOM具有响应速度快、无功补偿效果好、谐波含量低等优点。它适用于对电压稳定性要求较高的场所,如精密加工设备、医疗设备、数据中心等。在这些场所,电压的微小波动都可能对设备造成严重影响,因此需要采用具有高精度和快速响应能力的无功补偿设备^[4]。

2.3 无功补偿的安装方式

无功补偿的安装方式主要包括集中补偿、分散补偿和就地补偿三种,它们各自具有独特的优点和适用场景。集中补偿通常装设在企业或地方总变电所的母线上。这种方式可以减少高压线路的无功损耗,因为通过集中补偿,可以使得变电所输出的无功功率更加接近负荷所需的无功功率,从而减少无功功率在高压线路上的流动。同时,它还能提升本变电所的供电电压质量,使得电压更加稳定,减少电压波动和闪变。此外,集中补偿的管理和维护也相对方便,因为补偿装置集中在变电所内,便于进行统一的监控和维护。然而,对于远离变电所的负荷点,无功补偿的效果可能会受到一定影响,且如果负荷的无功需求波动较大,集中补偿可能需要较大的无功容量,从而增加投资成本。分散补偿则主要装设在功率因数较低的车间或村镇终端变、配电所的高压或低压母线上。这种方式可以根据负荷的实际情况进行灵活补偿,使得无功功率的流动更加合理,同样能减少线路损耗,提高供电电压质量。与集中补偿相比,分散

补偿的无功容量通常较小,因为每个补偿点只需要满足局部负荷的无功需求。分散补偿的适用性较广,特别适用于负荷分布较为分散、无功需求波动较大的场所。然而,其管理和维护相对复杂,因为补偿装置分布在多个地点,需要进行分别的监控和维护^[5]。就地补偿是将补偿装置直接装设在异步电动机或感性用电设备附近进行补偿。这种方式可以最大限度地减少无功功率在线路上的流动,因为补偿装置直接安装在负荷点附近,可以即时满足负荷的无功需求。同时,它既能提高用电设备的供电回路功率因数,又能改善其电压质量,使得电压更加稳定,减少电压波动对设备的影响。就地补偿特别适用于对电压稳定性要求较高、无功需求波动较大的用电设备,如异步电动机、电焊机等。然而,其投资成本相对较高,因为每个用电设备都需要安装补偿装置。此外,就地补偿的管理和维护也相对复杂,需要定期对补偿装置进行检查和维护。

结束语

用电工程中的谐波治理与无功补偿技术是提高电能质量、保障电网安全稳定运行的重要手段。通过综述谐波治理与无功补偿的基本原理、技术方案及实际应用,本文为相关领域的研究和实践提供了参考。未来,随着电力电子技术的不断发展和智能电网建设的深入推进,谐波治理与无功补偿技术将朝着更加智能化、高效化和集成化的方向发展。同时,研究能够同时实现谐波治理与无功补偿的新型装置和技术也将成为未来的重要研究方向。

参考文献

- [1]李颖.广播电视工程中无功补偿与谐波治理探讨[J].通信电源技术,2021,38(04):246-248.
- [2]易长君.广播电视工程中无功补偿与谐波治理的技术研究[J].中国新通信,2018,20(15):141-142.
- [3]戴巍.电气自动化技术在电力系统运行中的运用研究[J].无线互联科技,2021,18(07):94-95.
- [4]曹爽.当前我国电力系统运行中的自动化技术的应用[J].电子技术,2021,50(03):74-75.
- [5]王云龙.电力系统运行中电气自动化技术的应用策略[J].电子测试,2021,(02):139-140.