

电容器组在电力系统中的谐波抑制技术研究

李岩

辽宁红沿河核电有限公司, 辽宁 大连 116000

摘要 : 本文研究了电容器组在电力系统中的谐波抑制技术。首先, 介绍了电力系统中存在的谐波问题, 以及谐波对电力系统运行的影响。随后, 对电容器组的原理和特点进行了详细的阐述。最后, 阐述了电容器组在谐波抑制中的应用。

关键词 : 电容器组; 电力系统; 谐波抑制

Research on the Harmonic Suppression Technology of the Capacitor Bank in the Electric Power System

Li Yan

Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co., Ltd, Liaoning, Dalian 116000

Abstract : This paper study the harmonic suppression technology of capacitor bank in power system. Firstly, introduce the harmonic problem and the influence of harmonic operation in power system. Subsequently, the principle and characteristics of the capacitor bank are expounded in detail. Finally, the application of capacitor banks in harmonic suppression is described.

Key words : capacitor bank; power system; harmonic suppression

引言

随着电力系统的不断发展和电子技术的快速普及, 越来越多的电子设备被广泛应用于电力系统中, 这些设备带来了高效便捷的同时, 也带来了许多谐波问题。谐波是指在电力系统中, 频率为基波的整数倍的电压和电流波形, 它的存在会引起电力系统中的许多问题, 如过热、损耗、噪声等, 给电力系统的稳定运行带来了严重的威胁。为了解决电力系统中的谐波问题, 研究人员提出了许多谐波抑制技术, 其中电容器组技术是一种广泛应用的谐波抑制技术。电容器组是由多个电容器按一定规律组合而成的, 具有良好的谐波抑制能力和高效的功率因数校正能力, 已经被广泛应用于电力系统中。

一、电力系统中的谐波问题

在电力系统中, 谐波问题是一种常见的电磁干扰现象, 它的产生、影响以及抑制技术是电力系统运行和管理中需要重点关注的问题。

(一) 谐波的来源

在现代电力系统中, 谐波的问题已经成为一个严峻的挑战。谐波波形具有高频分量, 可以导致多种问题, 包括线损、设备失效、干扰通信等。因此, 了解谐波的来源和影响对于保障电力系统的可靠性和稳定性至关重要。谐波主要来源于非线性负载。这些设备的工作原理会导致电流或电压波形与基波电流或电压波形不同。例如, 整流器在将交流电转换为直流电时会产生谐波。变频器则通过调节电压和频率来控制电动机的速度和转矩, 但这种方法也会产生谐波。电弧炉的电流波形同样包含谐波成分, 这些成分会导致设备的温度升高, 加速设备的老化。

此外, 电力系统本身也会产生谐波。电力系统的不对称性和非线性特性也会导致谐波的产生。例如, 三相电力系统中的负载不平衡会导致电流谐波。电力系统的非线性元件, 例如变压器、线路、开关等, 也会对基波电压或电流产生非线性影响, 产生谐波。在工业和住宅区, 电力电子设备的广泛应用导致了非线性负载的增加, 使得电力系统中的谐波问题日益严重。尤其是在现代工业中, 大量的电力电子设备用于生产、控制和监测过程, 这些设备会产生大量的谐波。由于谐波的影响, 电力系统中的各种设备都面临着风险。例如, 谐波电流会导致设备的过热和烧坏。谐波还会对电力系统中的保护装置造成误动作, 导致设备的故障保护失效。此外, 谐波会干扰通信系统和引起电磁兼容性问题。

(二) 谐波对电力系统的影响

谐波是电力系统中一种常见的问题, 它会对电力系统的稳定性、安全性和可靠性产生多方面的影响。首先, 谐波会增加电网的电能损耗, 降低电能的质量和效率。谐波电流在传输过程中会

导致线路和变压器的额外损耗，这会增加电力系统的线损率。此外，谐波会导致电能的失真，使电压和电流波形发生扭曲，从而降低电能的质量。这些问题都会导致电力系统的效率降低，从而增加了电能的成本。其次，谐波可能会对电力设备产生破坏性影响，如变压器过热、电缆绝缘老化、保护设备误动作等，严重威胁电力系统的稳定和安全运行。谐波电流会导致设备的过热和烧坏，同时谐波电压会使设备的绝缘受到损坏。特别是在高频谐波环境下，设备的破坏更加严重。此外，谐波还可能干扰电力系统的保护装置，导致设备的故障保护失效，从而对电力系统的稳定性产生威胁。除此之外，谐波还可能干扰电力系统的通信设备，影响其正常工作。例如，谐波会引起无线电干扰，干扰无线电通信和广播设备的正常工作。此外，在数字化的电力系统中，谐波可能会导致通信设备的误码率增加，从而影响数据传输的可靠性。

（三）现有的谐波抑制技术

面对谐波问题，人们开发了许多谐波抑制技术。其中，被广泛应用的有源滤波器、有源电力滤波器（APF）和谐波抑制变压器等。无源滤波器是利用电感、电容等元件，通过谐振或阻塞方式抑制特定频率的谐波。而有源电力滤波器则是通过实时监测和生成与谐波等效但相位相反的电流，以达到消除谐波的目的。谐波抑制变压器通过特殊的磁路设计，可以抑制谐波电流的产生，从源头上减少谐波的产生。

除了无源滤波器、有源电力滤波器和谐波抑制变压器之外，现有的谐波抑制技术还包括其他一些方法。一种方法是使用多电平逆变器。多电平逆变器可以通过使用多个电平来产生近似于正弦波形的电压，从而减少谐波的产生。这种方法可以在不需要滤波器的情况下有效地降低谐波，同时还可以提高电力系统的效率和可靠性。另一种方法是使用谐波阻尼器。谐波阻尼器是一种被动电路，可以用于减少由非线性负载产生的谐波。谐波阻尼器通过在负载端串联电阻和电感来减少谐波电流的幅值和频率。谐波阻尼器的优点在于它不需要外部电源，可以降低谐波的成本，同时可以保持电力系统的稳定性和可靠性。还有一种方法是使用分布式电容。分布式电容可以将谐波抑制分布在整个电力系统中。这种方法可以在不需要额外的滤波器的情况下有效地减少谐波，并且可以通过改变分布式电容的参数来控制谐波的抑制效果。

除了上述方法之外，人们还在开发其他的谐波抑制技术。例如，基于深度学习的谐波抑制技术可以通过分析电力系统的数据，实时预测和控制谐波的产生。这种方法具有高效性和自适应性，可以在不同的电力系统中应用。

二、电容器组的原理及特点

（一）电容器组的组成和工作原理

电容器组是电子工程中常见的元件之一，它的使用范围涉及电力、电子、通讯、汽车等多个领域。电容器组的基本原理是通过存储电荷来储存电能，并在需要时释放电能。在电容器组中，多个电容器以串联、并联或混合连接的方式组合在一起，以满足

不同的电气需求。

电容器是由两个导电材料之间夹着一层介质构成的，通常被称为电容器的“板”。当电压被施加到电容器的两个板上时，电场就会在板间形成，导致正负电荷在板上积累，从而储存能量。电容器的电容量（C）取决于电容器的几何尺寸和介质的介电常数（ ϵ ）。具体而言，电容量与板的面积（A）和板之间的距离（d）成反比，与介电常数成正比。因此，为了增加电容量，可以增加板的面积、减小板之间的距离或使用介电常数更大的介质。

在电容器组中，电容器可以以串联、并联或混合连接的方式进行组合。串联连接的电容器将电容器连接在一起，使它们形成一个串联电路，其中正极连接到负极，而并联连接的电容器则将电容器连接在一起，使它们形成一个并联电路，其中正极连接到正极，负极连接到负极。混合连接则是串联和并联连接的组合。对于串联连接的电容器，电容器组的总电容量（C）等于各个电容器电容量的倒数之和，即 $C = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$ ，其中 C_1 、 C_2 、...、 C_n 分别表示电容器组中的电容器电容量。因为电容器是连接在一起的，所以它们的电荷量相同，总电荷量等于各个电容器电荷量之和。对于并联连接的电容器，电容器组的总电容量等于各个电容器电容量之和，即 $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ ，其中 C_1 、 C_2 、...、 C_n 分别表示电容器组中的电容器电容量。因为电容器是并联连接的，它们的电势相同，总电势等于各个电容器电势之和。通过改变电容器组内电容器的连接方式，可以改变电容器组的总电容量，以满足不同的电气需求。

（二）电容器组的特点及优势

一是灵活性和可定制性，电容器组的一个主要优点是它们的灵活性和可定制性。通过选择不同类型和规格的电容器，以及改变它们的连接方式，可以设计出满足特定应用需求的电容器组。二是可靠性，电容器组通过使用多个电容器来提高系统的可靠性。如果某个电容器出现故障，其他电容器可以继续工作，从而避免整个系统的故障。三是扩展性，电容器组可以随着需求的增加进行扩展。例如，如果需要更大的电容，可以简单地添加更多的电容器。四是提高电网质量，在电力系统中，电容器组常用于改善电网的功率因数，从而提高电网的能源利用效率。

三、电容器组在谐波抑制中的应用

谐波抑制是电力系统优化中的重要问题，尤其在现代工业环境中，由于非线性负载的广泛存在，谐波问题越来越严重。电容器组在谐波抑制中的应用具有显著效果，可以有效提高电力系统的功率因数，降低能源损失，并避免电力设备的过早老化。

（一）电容器组的谐波抑制原理

在电力系统中，谐波主要是由非线性负载产生的。这些非线性负载会导致电流与电压之间的相位差变化，从而产生谐波电流。谐波电流会对电力系统的稳定性和正常运行产生影响，因此需要对其进行抑制。

电容器组的谐波抑制原理可以理解为利用谐振电路的特性来吸收谐波电流。当电容器组与电力系统中的其他元件形成并联谐

振电路时，可以在特定的谐波频率处形成谐振，从而实现谐波电流的吸收和抑制。当电容器组吸收了谐波电流后，其电容电流会产生相应的反向谐波电流，这些反向谐波电流与谐波电流相互抵消，从而实现谐波的抑制。

为了实现电容器组的谐波抑制，需要选择合适的电容器组参数和谐振电路的频率。此外，为了避免谐振电路对电力系统的影响，还需要对电容器组和谐振电路进行优化和调整。在实际应用中，可以采用谐波滤波器等装置对电容器组进行谐波抑制，从而提高电容器组的抑制效果。

（二）电容器组在电力系统中的谐波抑制应用

在电力系统中，电容器组的谐波抑制应用十分广泛。在许多工业生产的过程中，如电炉、电焊等，由于其工作原理使得电源电路上产生大量的谐波。这些谐波不仅会引起电力系统的不稳定，还会导致电力设备的过早老化。因此，需要在这些设备的电源电路上安装电容器组，以吸收并消除这些谐波。

除此之外，电容器组也被广泛应用于可再生能源系统，如风力发电和光伏发电。这些系统的功率转换器由于工作原理的原因，会在电网中产生大量的谐波。通过在这些系统的电源电路上安装电容器组，可以有效地吸收并消除这些谐波，提高系统的稳定性和电能的利用效率。电容器组还可以用于减少电力系统中的电力损耗和提高电力质量。由于电容器组能够提高电力系统的功率因数，从而减少了电力系统中的无功功率流动，降低了电力损耗，提高了电力系统的效率。同时，电容器组还能够提高电力系统的电压稳定性，减少电压的波动和闪烁，从而提高电力质量，保障电力设备的正常运行。

总之，电容器组在电力系统中的谐波抑制应用具有十分广泛的应用前景。通过在电力系统中合理地应用电容器组，不仅可以消除谐波污染，提高电力系统的稳定性和可靠性，还可以降低电力损耗，提高电力质量。因此，对于电力系统的运行和维护，电容器组的谐波抑制应用是一项重要的技术手段。

（三）电容器组的谐波抑制效果分析

电容器组是一种用于补偿电力系统中无功功率的设备，能够提高电力系统的功率因数并减少电力系统的谐波污染。然而，在实际运行中，电容器组也可能对电力系统产生谐波干扰，因此需要对其谐波抑制效果进行分析。

首先，电容器组能够对电力系统的基波电压进行补偿，提高功率因数，降低电力系统的谐波污染。电容器组通过提供电容电流，与电力系统中的感性电流相互抵消，从而减少了电力系统中的无功功率，提高了功率因数。当电容器组补偿电力系统的无功功率时，也会降低电力系统中的谐波电流，从而减少了谐波污染。

其次，电容器组也可能对电力系统产生谐波干扰。电容器组的谐波干扰主要来自两个方面：一是电容器组本身的非线性特性，二是电容器组与电力系统中的其他负载之间的相互作用。电容器组本身存在的非线性特性，如电容器的内阻和漏电流等，会导致电容器组对电力系统中的谐波电流产生非线性响应，从而产生谐波干扰。此外，当电容器组与电力系统中的其他负载之间存在共同模式的相互作用时，也会导致电容器组产生谐波干扰。

最后，为了提高电容器组的谐波抑制效果，可以采取以下措施：一是选择合适的电容器组参数，尽量减小电容器组的非线性响应；二是采用谐波滤波器等装置对电容器组进行谐波抑制；三是控制电容器组的运行状态，避免电容器组与电力系统中的其他负载之间产生共同模式的相互作用。

四、结语

总之，电容器组是一种重要的谐波抑制设备，在电力系统中具有广泛的应用。对电容器组的谐波抑制效果进行分析可以帮助我们更好地理解电容器组的工作原理，同时也为电力系统的谐波控制提供了重要的参考。

参考文献：

- [1] 曹杭涛, 周娟, 马浩, 郭钰婷. 框架式并联电容器组不平衡保护与分析应用 [J]. 电气开关, 2023, 61(02): 60-62+66.
- [2] 张利, 刘永乾, 王哲, 王善晓. 变电站 10 kV 高压并联电容器熔断器频繁熔断的分析 [J]. 上海电气技术, 2023, 16(01): 77-80.
- [3] 甘景福, 李昕朔, 王月, 李永刚, 潘建铭, 李爱民, 周磊. 基于电网谐波阻抗估计的并联电容器组优化配置方案 [J]. 河北工业科技, 2023, 40(02): 102-110.
- [4] 刘志远, 史磊, 韦鹏, 等. 基于稳态电流的内熔丝电力电容器在线监测算法的研究 [J]. 电力电容器与无功补偿. 2018, (6).
- [5] 胡睿智, 王芬, 饶斌斌, 等. 特高压变电站 110kV 电抗器、电容器组过电压波形实测与仿真计算研究 [J]. 江西电力. 2023, 47(1).
- [6] 周则翌. 不平衡保护技术在集合式电力电容器中的应用 [J]. 科学技术创新. 2022, (6).
- [7] 解冲, 郭燕. 10kV 较大容量并联电容器组的不平衡保护选型 [C]. 2020.
- [8] 徐庆锋, 岳陈照. 并联电容器组不平衡保护配置原则与方法 [J]. 广西水利水电. 2022, (3).
- [9] 姜宪彬. 串补站电容器不平衡电流的调整及测试方法 [J]. 广西电力. 2020, (2).
- [10] 黄银龙, 罗光辉, 董超群, 等. 电容器组不平衡电流调平方法 [J]. 电力电容器与无功补偿. 2020, (5).