

变频器在电力拖动中的谐波分析与抑制策略

张科繁

镇海石化建安工程股份有限公司 浙江 宁波 315000

摘要: 随着电力拖动技术的广泛应用,变频器作为其核心组件,在提高能源效率和调控电机速度方面发挥着重要作用。然而,变频器在运行过程中产生的谐波问题也日益凸显,对电网质量和设备寿命造成了影响。本文旨在深入分析变频器在电力拖动中产生的谐波原因及其影响,并探讨有效的谐波抑制策略,以期为相关领域的研究和应用提供参考。

关键词: 变频器; 电力拖动; 谐波分析; 抑制策略

引言

电力拖动系统在现代工业中占据重要地位,而变频器作为其关键控制设备,能够实现电机的平滑调速和节能运行。但随之而来的谐波问题也不容忽视。谐波不仅会影响电网的稳定性,还可能导致设备损坏和能效下降。因此,对变频器产生的谐波进行深入分析,并研究有效的抑制策略,具有重要的理论意义和实用价值。

1 变频器的工作原理及谐波产生机制

1.1 变频器的工作原理及谐波产生机制

1.1.1 变频器的工作原理

变频器是一种电力电子设备,主要用于控制电机的运行速度。其基本原理是通过改变电源频率来调控电机的转速,以适应不同的工作需求。变频器主要由整流器、逆变器和控制器三个核心部件构成。整流器的作用是将交流电源转换为直流电源。它通常由二极管或可控硅等整流元件组成,能够将交流电压转换成平稳的直流电压,为后续的逆变过程提供稳定的直流电源。逆变器则是将直流电转换成可调频的交流电。它利用高速开关器件(如IGBT、MOSFET等)来控制电流的通断,从而生成所需频率的交流电。通过改变开关器件的通断频率,即可调整输出交流电的频率,进而控制电机的转速。控制器是变频器的“大脑”,负责接收外部指令,并根据这些指令控制整流器和逆变器的工作状态。控制器通常采用微处理器或DSP等高性能芯片,能够实现复杂的控制算法,确保变频器输出的交流电稳定、可靠。

1.1.2 谐波产生机制

在变频器的工作过程中,谐波的产生主要与电力电子器件的非线性特性有关。当变频器中的开关器件(如IGBT)在高速切换时,会产生电流和电压的突变。这些突变在频谱上表现为一系列高频分量,即谐波。具体来说,谐波产生的原因包括:(1)开关器件的非线性特

性:当开关器件快速切换时,其电压和电流波形不再是标准的正弦波,而是包含了许多高频成分。这些高频成分就是谐波。(2)PWM调制方式:变频器通常采用脉冲宽度调制(PWM)方式来控制逆变器中开关器件的通断。PWM调制本身就会产生一系列的脉冲信号,这些脉冲信号在频谱上对应着高频的谐波成分。(3)整流过程的影响:整流器在将交流电转换为直流电的过程中,也会产生一定的谐波。这是因为整流器件(如二极管)在导通和关断过程中,电流和电压的波形会发生畸变,从而产生谐波。这些谐波成分如果未经处理直接注入电网,会对电网的电能质量造成严重影响^[1]。同时,谐波还可能通过电网传播到其他电气设备中,对设备的正常运行造成干扰甚至损害。因此,在变频器的设计和使用过程中,必须充分考虑谐波的抑制和治理问题。

2 谐波对电力拖动系统的影响

2.1 对电网的影响

谐波对电网的影响是多方面的,且这些影响都可能对电网的稳定性和效率产生深远的后果。首先,谐波会导致电网电压和电流的畸变。在理想情况下,电网中的电压和电流应该是标准的正弦波形,但当谐波存在时,这些波形会发生明显的畸变,出现尖峰、毛刺等不规则形状。这种畸变不仅影响了电能的纯净度,还可能对电网中的其他设备造成不良影响。其次,谐波会增加电网的损耗。由于谐波的存在,电网中的电流不再是标准的正弦波,而是包含了多个频率成分。这些额外的频率成分在电网中传输时,会产生额外的热量和能量损失。这种损耗不仅降低了电能传输的效率,还可能加速电网设备的老化,缩短其使用寿命。此外,谐波还会降低电能传输效率。在电能传输过程中,谐波会增加线路的阻抗,导致更多的能量以热能的形式散失在传输线路上。这不仅浪费了能源,还可能使得接收端的电压降低,影

响用电设备的正常运行。

2.2 对设备的影响

谐波对电力设备，特别是电机的影响是显著的。当电网中存在谐波时，电机可能会受到多方面的不利影响。首先，谐波可能导致电机过热。由于谐波电流的存在，电机内部的绕组会产生额外的热量。这些热量如果不能及时散发，将会导致电机温度升高，进而影响电机内部的绝缘材料和其它组件的寿命。长时间的高温运行，会加速电机内部材料的老化，严重时甚至可能引发故障。其次，谐波还可能引起电机的振动和噪声增加。谐波电流产生的磁场与电机的旋转磁场相互作用，可能导致电机产生不规则的振动。这种振动不仅会影响电机的运行稳定性，还可能通过机械传递影响到与之相连的其它设备。同时，振动会增加电机运行时的噪声，这不仅会影响工作环境的舒适度，还可能掩盖其它潜在的故障声音，给设备的维护和检修带来困难。最后，谐波的存在会缩短设备的使用寿命。由于谐波引起的过热、振动等问题，电机及其它相关设备的机械和电气部件会受到额外的应力，从而加速磨损和老化。这种长期的累积效应会显著缩短设备的设计使用寿命，增加维护成本和更换设备的频率。

2.3 对控制系统的干扰

在电力拖动系统中，控制系统是确保整个系统稳定运行的核心。然而，谐波的存在可能对控制系统的正常运行造成显著干扰，进而影响整个系统的性能和稳定性。首先，谐波可能导致控制系统的控制精度下降。控制系统中往往包含许多精密的传感器和执行器，它们对电压和电流的稳定性要求极高。谐波会导致电压和电流的波动，进而影响到传感器采集数据的准确性。这种数据的不准确性会传递到控制系统中，导致控制指令的误差增大，最终使得控制精度下降。其次，谐波还可能引发控制系统的稳定性问题。控制系统中的许多电子元件，如微处理器、放大器等，对电源质量非常敏感。谐波造成的电压和电流畸变可能导致这些元件工作不稳定，甚至引发故障^[2]。此外，谐波还可能通过电磁干扰（EMI）的形式对控制系统的信号传输造成干扰，导致信号失真或误码，进一步影响系统的稳定性。最后，需要特别注意的是，谐波还可能对控制系统中的通信模块造成干扰。在现代化的电力拖动系统中，各个组件之间通常通过通信模块进行数据交换和指令传输。谐波可能导致通信信号的质量下降，增加数据传输的误码率，严重时甚至可能导致通信中断，从而影响整个系统的协同工作。

3 电力拖动中谐波抑制策略研究

3.1 优化变频器设计

在电力拖动系统中，优化变频器设计是抑制谐波产生的关键策略之一。通过深入研究和改进变频器的拓扑结构和控制算法，可以有效减少谐波的产生，提高电能质量和设备运行的稳定性。首先，针对变频器的拓扑结构进行优化是重要的一步。传统的变频器拓扑结构可能存在一些固有的问题，如开关器件在高速切换过程中产生的谐波。为了降低这些谐波，可以考虑采用多电平拓扑结构。多电平变频器通过增加电平数，使得输出电压波形更接近正弦波，从而减少了谐波的含量。此外，多电平拓扑结构还能降低单个开关器件的电压应力，提高系统的可靠性。其次，优化控制算法也是抑制谐波的重要手段。传统的PWM控制算法虽然能够实现电机速度的调节，但可能在切换过程中产生大量的谐波。因此，研究并应用更先进的控制算法，如空间矢量PWM（SVPWM）或特定谐波消除PWM（SHEPWM），可以有效降低谐波的产生。这些算法通过优化开关器件的切换序列，使得输出电压和电流的波形更加平滑，减少谐波分量。除了拓扑结构和控制算法的优化，还可以考虑减少开关器件的切换次数和切换速度来降低谐波。通过合理设计开关频率和占空比，可以减少开关器件的动作次数，从而降低谐波的产生。同时，降低开关速度也可以减少开关过程中产生的电压和电流突变，进一步抑制谐波。

3.2 使用滤波器

在电力拖动系统中，使用滤波器是抑制谐波的有效手段。滤波器能够有针对性地滤除或减小谐波成分，从而保障电网和设备的稳定运行。具体来说，可以在变频器的输出端安装适当的滤波器，如LC滤波器或有源滤波器。LC滤波器由电感（L）和电容（C）组成，它利用电感和电容的储能特性，对特定频率的谐波进行滤除。当变频器输出的电流中包含谐波成分时，LC滤波器可以将其中的高频谐波滤除，只允许基波和低次谐波通过，从而有效净化电源，保护电机和其他设备免受谐波的干扰。而有源滤波器（Active Power Filter, APF）则更为先进，它不仅能够滤除谐波，还能对电网进行无功补偿，提高电网的功率因数。有源滤波器通过实时监测电网中的电流和电压波形，计算出需要补偿的谐波和无功电流，并生成相应的补偿电流注入电网，从而实现谐波的滤除和无功的补偿。这种滤波器具有响应速度快、补偿精度高、能够动态跟踪谐波变化等优点，因此在谐波治理中得到了广泛应用。在选择滤波器时，需要根据实际

情况确定滤波器的类型和参数^[3]。例如,需要考虑电网的电压等级、谐波的成分和含量、设备的负载特性等因素。此外,还应注意滤波器的安装位置和接线方式,以确保其能够有效发挥作用。除了安装滤波器外,还可以采取其他措施来进一步抑制谐波。例如,可以优化电力设备的布局和接线方式,减少谐波的传播路径;加强电网的监测和管理,及时发现并处理谐波问题;推广使用节能型电力设备和绿色能源技术,降低谐波的产生等。

3.3 采用多电平技术

在电力拖动系统中,采用多电平技术是降低谐波产生的有效方法之一。多电平技术通过增加电平数目,使得变频器输出的电压波形更加接近正弦波,从而显著减少谐波的产生。多电平技术的基本原理是将高压直流电源分割成多个低压直流电源,然后通过这些低压电源的组合来逼近正弦波。这种方法不仅降低了单个开关器件的电压应力,还使得输出电压的阶梯数增加,波形更加平滑,进而减少了谐波分量。具体来说,多电平变频器通常由多个相同的单元串联而成,每个单元都包含一个直流电源和相应的开关器件。通过控制这些开关器件的通断,可以实现多个电平的输出。与传统的两电平变频器相比,多电平变频器在输出电压的阶梯数上有显著提升,因此其输出的电压波形更加接近理想的正弦波。多电平技术的优点不仅在于减少谐波的产生,还包括提高电能质量、降低开关损耗、提高系统效率等。此外,由于多电平变频器中的开关器件承受的电压较低,因此可以选择耐压较低的器件,从而降低了成本。在实际应用中,多电平技术有多种实现方式,如二极管钳位型多电平、飞跨电容型多电平以及级联H桥型多电平等。这些不同的实现方式各有优缺点,需要根据具体的应用场景和需求进行选择。值得注意的是,虽然多电平技术可以有效降低谐波的产生,但在实际应用中仍需综合考虑其他因素,如系统的复杂性、成本以及可靠性等。此外,为了充分发挥多电平技术的优势,还需要配合适当的控制策略和滤波器设计。

3.4 谐波补偿技术

谐波补偿技术是电力拖动系统中抑制谐波的重要手

段之一。其核心原理是通过注入与谐波电流相位相反、幅值相等的补偿电流,从而有效地抵消原电路中的谐波成分,达到抑制谐波、净化电源的目的。在实际应用中,谐波补偿技术主要依赖于先进的电力电子设备和精确的控制算法。这些设备能够实时监测电网中的电流波形,快速准确地检测出谐波成分,并生成相应的补偿电流。控制算法则确保补偿电流的精确性和实时性,使其能够有效地抵消谐波。具体来说,谐波补偿装置通常包括谐波检测单元、控制单元和补偿电流发生单元。谐波检测单元负责实时监测电网电流,提取出其中的谐波成分。控制单元则根据检测到的谐波信息,计算出需要注入的补偿电流的大小和相位^[4]。最后,补偿电流发生单元根据控制单元的指令,生成与谐波相反的电流,并将其注入到电网中,从而抵消谐波。谐波补偿技术的优点在于其主动性和灵活性。与传统的滤波方法相比,它不仅能够适应各种复杂的谐波环境,还能在谐波成分发生变化时迅速作出调整,确保电网的稳定运行。此外,谐波补偿技术还能在一定程度上改善电网的功率因数,提高电能的使用效率。

结语

变频器在电力拖动系统中的应用为工业生产带来了便利和效益,但谐波问题也不容忽视。本文通过分析谐波产生的原因和影响,提出了一系列有效的谐波抑制策略。这些策略的实施将有助于提高电网质量,保护电气设备,确保电力拖动系统的稳定运行。未来研究可进一步关注谐波抑制技术的优化和创新,以适应不断变化的工业需求。

参考文献

- [1]杨忠安,甘海云,朱春伟.变频器在电力拖动系统中的应用[J].机电工程技术,2019,48(02):97-99.
- [2]李强.电力系统谐波分析与抑制技术研究[J].电力系统自动化,2019,43(1):95-102.
- [3]王磊,张华.电力系统谐波源识别与抑制策略[J].电网技术,2018,42(3):767-773.
- [4]赵敏,刘洋.基于现代电力系统的谐波抑制方法研究[J].电力自动化设备,2020,40(2):150-157.