

选厂低压供电系统的改善及优化研究

白松波

栾川龙宇铝业公司 河南 洛阳 471500

摘要: 本次论文阐述小庙岭选矿公司低压电力供应体系面临的核心挑战在于其广泛采用变频器驱动的低压设备配置。此类变频器在运行过程中,会不可避免地产生较多的多次谐波成分,这些谐波显著扰乱了交流电的正弦波形,引发波形畸变(即突变与毛刺现象)及电压稳定性下降的问题。针对上述问题,我公司实施对供电系统中多次谐波的有效滤除策略,并引入动态无功功率跟踪补偿机制,成为提升供电质量、增强系统安全稳定性、促进节能环保及节能减排的重要途径。通过技术手段减少谐波污染,可以恢复交流电波的纯净度,减轻电气设备热应力,延长设备使用寿命。

关键词: 谐波; 低压电力供电; 补偿机制

引言: 随着栾川龙宇铝业有限公司生产规模逐渐扩大, 低压电气设备数量的增加, 对我厂低压供电系统造成巨大负荷载量, 特别是大量的非线性负载增加。这些非线性负载在运行过程中, 会向我厂低压电网系统产生大量二次、五次的谐波, 导致我厂电网电压与电流波形产生畸变, 引发一系列供电质量问题。本文为了应对二次、五次谐波对我厂供电系统的污染及影响, 我厂电仪车间技术人员通过引用有源滤波器并为此开展深入并广泛的探讨、实验测试。将其应用于我厂的实际生产活动中, 通过应用前后的数据对比进行一些简单的阐述。

1 当前研究背景

栾川龙宇铝业有限公司目前有变频器设备66台, 其中磨浮车间有43台, 占比65%, 而且功率大部分在37千瓦-250千瓦左右, 变频器属于非线性设备, 而非线性负载产生的多次谐波对供配电系统的影响是非常大的^[1], 由于磨浮车间配有大容量非线性设备, 这些设备产生大量谐波, 使供电系统受到“污染”, 其危害主要有一下几个方面:

(1) 谐波使电网中的电气设备产生了附加的谐波损耗, 降低了用电设备的效率, 大量多次谐波流过中性线时会使线路过热甚至发生火灾。

(2) 谐波影响各种电气设备的正常工作, 谐波对电机的影响除引起附加损耗外, 还会产生机械振动、噪声、和过电压, 是变压器局部严重过热。谐波是电容器、电缆等设备过热、绝缘老化、寿命缩短, 以至损坏。

(3) 谐波会影响选厂35KV变电站局部的并联谐振和串联谐振, 从而使谐波放大, 会使上述的1和2的危害大大增加, 甚至引起严重事故。

(4) 谐波会导致继电保护和自动装置的误动作, 并会使电气测量仪表计量不准确

(5) 谐波会对选厂的通信系统产生干扰, 轻者产生噪声, 降低通信质量, 重者导致数据丢失, 使通信系统无法正常工作。

2 有源滤波装置的工作原理

2.1 电流监测与信号转换

有源滤波装置中的指令电流运算电路会实时监测线路中的电流, 通过电流互感器等设备获取模拟电流信号, 并将其转换为数字信号。

2.2 信号处理与谐波分离

转换后的数字信号被送入高速数字信号处理器(DSP)。DSP依据三相电路瞬时无功功率理论等算法, 对信号进行分析处理, 将其中的谐波与基波分离开来。

2.3 生成驱动脉冲

DSP将处理后得到的谐波信息以脉宽调制(PWM)信号的形式, 向补偿电流发生电路送出驱动脉冲。

2.4 产生补偿电流

补偿电流发生电路中的IGBT或IPM功率模块在驱动脉冲的作用下, 生成与电网谐波电流幅值相等、极性相反的补偿电流。

2.5 注入电网抵消谐波

最后, 将产生的补偿电流注入电网, 与电网中的谐波电流进行补偿或抵消, 从而主动消除电力谐波, 达到净化电网电流、提高电能质量的目的^[1]。

3 有源滤波装置的结构

3.1 补偿主回路

3.1.1 主要组成元件

(1) 断路器: 在电路发生过载、短路等故障时, 能够自动切断电路, 保护设备和人员安全, 确保有源滤波装置与电网的可靠连接和断开。

(2) 快速熔断器：当电路中出现过电流时，快速熔断器的熔体迅速熔断，切断电流，防止故障扩大，保护主回路中的其他元件免受过电流的损坏。

(3) 浪涌保护器：用于限制电路中因雷击、操作过电压等原因产生的瞬态过电压，保护设备免受浪涌电压的冲击，提高系统的稳定性和可靠性。

(4) 主继电器和缓冲继电器：控制电路的通断，实现对主回路的逻辑控制和保护。缓冲继电器还可以在电路切换时，减小电流冲击和电弧产生。

(5) 并网电感：起到限制电流变化率、滤波和储能的作用，有助于稳定电路中的电流和电压，减少谐波的产生，并在一定程度上提高系统的功率因数²⁵。

(6) LC滤波：由电感和电容组成的滤波器，用于滤除主回路中的高频谐波成分，使输出电流更加平滑，接近正弦波，提高电能质量。

(7) IGBT：绝缘栅双极型晶体管，是一种重要的功率半导体器件，作为补偿电流发生电路的核心元件，通过控制其导通和截止，将直流侧的电能转换为与电网谐波电流幅值相等、极性相反的补偿电流注入电网²¹。

(8) 直流储能电容：存储直流电能，为IGBT等功率器件提供稳定的直流电源，保证补偿电流的正常产生，并在电网电压波动时，维持直流侧电压的稳定，确保有源滤波装置的可靠运行。

3.2 驱动电路

3.2.1 主要作用

接收来自指令电流运算电路的PWM信号，并将其进行功率放大和隔离处理，以驱动IGBT或IPM等功率模块的导通和关断，从而产生与电网谐波电流幅值相等、极性相反的补偿电流注入电网，实现对谐波的补偿和无功的调节。

3.2.2 主要组成部分

(1) 电源隔离转换电路²¹：将输入的电源电压进行转换和分压，为驱动电路提供稳定的、相互隔离的多路驱动电压。例如，常见的是将24V电源电压通过隔离变压器转换为+16V和-14V的驱动电压，其中+16V用于IGBT的导通信号，-14V用于IGBT的关断信号，以保证IGBT的可靠工作。

(2) 驱动元件测温电路：一般包括多个测温元件及相应的比较电路，用于实时监测驱动电路中关键元件（如隔离变压器、功率器件等）的温度，并与预设的基准电压进行比较，当温度超过设定阈值时，输出相应的温度电平信号，以实现驱动电路的过温保护。

(3) PWM隔离输出电路：这是驱动电路的核心部分，主要由光耦隔离器件、逻辑门电路、驱动放大器等组成。它接收来自指令电流运算电路的PWM信号以及驱

动元件测温电路输出的温度电平信号，对PWM信号进行隔离、整形和放大处理后，输出具有足够驱动能力的信号来控制IGBT或IPM功率模块的通断。

3.3 控制板

3.3.1 主要功能

(1) 谐波检测与分析：实时监测电网中的电流信号，通过先进的算法快速、准确地检测出其中的谐波成分，包括各次谐波的幅值、频率等参数，并对谐波数据进行分析处理，为后续的补偿控制提供依据。

(2) 补偿指令生成：根据谐波检测与分析的结果，结合预设的控制策略和目标，生成相应的补偿电流指令信号。这些指令信号精确地控制着有源滤波柜中功率器件的动作，以产生与电网谐波电流幅值相等、极性相反的补偿电流。

(3) 控制与保护逻辑：实现对有源滤波柜整体运行的控制和保护。它能够根据电网的运行状态、设备的工作情况以及预设的保护阈值，自动调整有源滤波柜的工作模式，确保设备在安全、稳定的状态下运行。同时，当出现过流、过压、过热等故障时，控制板能够迅速发出保护信号，切断电路，保护设备免受损坏。

(4) 通信与监控功能：配备通信接口，可与外部设备进行数据通信，如与上位机监控系统连接，实现远程监控和集中管理。通过通信功能，操作人员可以实时了解有源滤波柜的运行参数、工作状态，还可以对设备进行远程控制和参数设置，方便设备的运维和管理³¹。

3.3.2 主要组成部分

(1) 微处理器：作为控制板的核心，负责执行各种控制算法、数据处理和逻辑判断。常见的微处理器有DSP（数字信号处理器）、FPGA（现场可编程门阵列）等，它们具有强大的运算能力和快速的数据处理速度，能够满足有源滤波柜对实时性和精度的要求。

(2) 信号采集电路：主要由电流互感器、电压互感器、采样电阻等组成，用于采集电网中的电流、电压信号，并将其转换为适合微处理器处理的弱电信号。信号采集电路的精度和稳定性直接影响到谐波检测的准确性和控制效果。

(3) PWM信号生成电路：根据微处理器生成的补偿电流指令信号，将其转换为PWM（脉冲宽度调制）信号，以控制有源滤波柜中的IGBT等功率器件的导通和关断，从而产生所需的补偿电流。PWM信号生成电路需要具备高精度、高稳定性和快速响应的特点，以确保补偿电流的质量和跟踪速度。

(4) 存储单元：用于存储控制程序、运行参数、历

史数据等信息。存储单元可以是闪存、EEPROM等非易失性存储器,确保在设备断电后数据不会丢失,方便设备的下次启动和参数恢复。

(5) 通信接口电路:实现控制板与外部设备之间的通信连接,常见的通信接口有RS485、以太网、CAN总线等。通信接口电路负责将控制板的数据发送出去,并接收来自外部设备的指令和数据,保证设备之间的正常通信。

(6) 电源电路:为控制板上的各个元件提供稳定的电源供应。电源电路需要将输入的市电或直流电源转换为不同电压等级的直流电源,满足各元件的工作电压要求,并具备良好的稳压、滤波性能,以防止电源波动对控制板的影响。

3.4 电源系统

(1) 输入电源:通常为交流电网电源^[3],其电压等级一般有380V、400V、690V等常见规格,频率为50Hz或60Hz。输入电源为有源滤波柜的整个电路系统提供原始的电能输入,是有源滤波柜正常工作的基础能源供应。

(2) 电源变压器:电源变压器用于将输入的电网电压变换为适合有源滤波柜内部各电路工作的不同电压等级。例如,将380V的输入电压变换为220V、110V、24V等不同等级的电压,为控制电路、驱动电路、保护电路等提供相应的工作电压,确保各部分电路能够稳定、可靠地运行。

(3) 整流电路:整流电路的主要作用是将输入的交流电压转换为直流电压。一般采用二极管整流桥等方式实现,将交流电源的正负半周分别转换为直流电压的正负极性,为后续的滤波和稳压电路提供直流输入。常见的整流电路有单相整流电路和三相整流电路,根据有源滤波柜的功率和应用场景不同进行选择。

(4) 滤波电路:滤波电路用于滤除整流后直流电压中的纹波成分,使输出的直流电压更加平滑稳定。通常采用电容滤波、电感滤波或LC滤波等方式。电容滤波是利用电容的充放电特性,将电压中的高频纹波成分旁路到地;电感滤波则是利用电感对电流变化的阻碍作用,抑制电压中的纹波电流;LC滤波则是结合了电容和电感的滤波特性,能够更有效地滤除纹波,提高直流电压的质量。

(5) 稳压电路:稳压电路的功能是在输入电压波动或负载变化的情况下,保持输出直流电压的稳定。常用的稳压芯片或稳压模块能够自动调整输出电压,使其保持在设定的稳定值范围内。例如,采用线性稳压芯片或开关稳压芯片等,根据不同的应用需求和功率要求选择合适的稳压电路,为有源滤波柜内部的电子元件提供稳定的电源供应,确保其正常工作不受电压波动的影响。

(6) 电源监测与保护电路:电源监测与保护电路实

时监测电源系统的各项参数,如电压、电流、温度等。当监测到异常情况时,如过压、过流、过热等,保护电路会迅速采取措施,如切断电源、发出报警信号等,以保护有源滤波柜内部的元件免受损坏,确保设备和人员的安全。常见的保护电路有过压保护电路、过流保护电路、过热保护电路等,通过熔断器、继电器、热敏电阻等元件实现相应的保护功能。

(7) 辅助电源:辅助电源用于为有源滤波柜中的一些特殊电路或元件提供额外的电源支持。例如,为控制芯片的时钟电路、复位电路、存储芯片等提供稳定的低电压电源,确保这些元件能够正常工作。辅助电源通常采用小型的开关电源或线性稳压电源等,根据具体的需求进行设计和配置。

4 有源滤波装置的应用

4.1 目的和意义

(1) 通过加装滤波柜,消除磨浮供电系统多次谐波,改善电网质量,提供良好的供电环境;(2) 消除多次谐波,提供功率因数,减少电流损耗,达到节约电能的效果;(3) 利用新产品与我们供电系统的对接,实现了根据自身实际的自主改造,为以后供电系统改造提供了依据。

4.2 内容及实施过程

(1) 测量磨浮1#、2#、4#变压器功率因数和持续运行电流;(2) 根据磨浮1#、2#、4#变压器所带负荷情况,选择有源滤波柜和低压无功补偿模块型号;(3) 拆除现有电容器及相关电气元件;(4) 加装磨浮车间变压器低压侧整套无功补偿模块;(5) 加装磨浮车间1#、2#、4#变压器低压侧有源滤波柜。

结束语

我公司通过对供电滤波系统,无功补偿的自助改造,针对厂区所带负荷性质的不同,对产生多次谐波的区域进行单独治理,降低了用电费用。此次改造提高了变压器、电动机、电力电缆设备的使用寿命,改善功率因数及谐波治理,变压器、电动机、电力电缆设备的运行温度降低,消除了电气设备发热的安全隐患。对公司生产扩能改造供配电、提高电网功率因数积累了宝贵的技术经验。

参考文献

- [1]田知华.矿山供电系统优化及技术改造研究[J].内蒙古煤炭经济,2021,(06):63-64.
- [2]王玉胜.矿山供电系统优化及技术改造分析[J].电力设备管理,2020,(10):95-96.
- [3]张琛.煤矿供电系统技术优化及效果分析[J].矿业装备,2019,(14):168-169.