

高压变频器在发电厂中的智能控制与故障诊断技术

吴伟东

华润电力(锡林郭勒)有限公司 内蒙古 锡林郭勒 026200

摘要: 通过探讨高压变频器在发电厂中的智能控制与故障诊断技术,文章概述了高压变频器的工作原理、结构及其在发电厂中的应用场景。详细介绍了高压变频器智能控制技术,包括模糊控制算法、神经网络控制算法和专家系统控制算法,以及智能控制系统的设计与仿真实验。分析了高压变频器的故障类型与机理,介绍了基于多源数据融合的故障诊断方法和深度学习在故障诊断中的应用,以及故障预警与健康管理系统。通过实际应用案例分析,评估了智能控制与故障诊断技术的应用效果,并展望了其未来发展前景。

关键词: 高压变频器; 发电厂; 智能控制; 故障诊断技术

1 高压变频器在发电厂中的应用概述

1.1 高压变频器的工作原理与结构

高压变频器是实现高压电机调速运行的核心设备,其工作原理基于交-直-交变频技术。在主电路结构上,常见的拓扑形式包括单元串联多电平型、中性点钳位型(NPC)等。以单元串联多电平型为例,其通过多个低压功率单元串联的方式,实现高压输出。每个功率单元内部包含整流、直流滤波和逆变电路,多个单元的输出电压在变压器耦合下叠加,形成满足电机需求的高压交流。控制电路作为高压变频器的“大脑”,主要由控制芯片、信号处理电路和驱动电路组成。控制芯片负责执行各种控制算法,根据输入的指令和反馈信号,生成合适的PWM(脉冲宽度调制)信号。信号处理电路对传感器采集的电机电流、电压、转速等信号进行滤波、放大和模数转换,为控制芯片提供准确的数据。驱动电路则将控制芯片输出的PWM信号进行功率放大,驱动功率器件(如IGBT)的开通与关断,从而实现输出电压和频率的精确控制。

1.2 在发电厂中的应用场景

在发电厂中,高压变频器有着广泛的应用场景,尤其是在风机、水泵和压缩机等设备的调速控制上。对于引风机和送风机而言,传统的挡板调节方式存在较大的节流损耗,而采用高压变频器调速后,可根据锅炉负荷实时调整风机转速,使风量与负荷相匹配,有效降低了电能消耗。据实际运行数据统计,在某300MW火电机组中,引风机采用高压变频器调速后,节电率可达20%-30%。水泵设备在发电厂的循环水系统、凝结水系统中起着关键作用^[1]。通过高压变频器控制水泵转速,不仅能实现节能运行,还可减少水泵启停时的机械冲击,延长设备使用寿命。在循环水系统中,可根据环境温度和机

组负荷调节水泵流量,避免水资源浪费和能源损耗。压缩机作为发电厂压缩空气系统的核心设备,采用高压变频器调速后,可实现软启动,降低启动电流对电网的冲击,同时根据实际用气需求精确调节排气量,提高系统运行的稳定性和经济性。

2 高压变频器在发电厂中的智能控制技术

2.1 智能控制算法

2.1.1 模糊控制算法

模糊控制算法基于模糊集合理论,无需建立精确的数学模型,特别适用于高压变频器调速系统这种具有非线性、时变性和不确定性的复杂系统。其基本原理是将输入量(如转速偏差、偏差变化率)进行模糊化处理,转化为模糊语言变量(如“大”“中”“小”),然后依据预先制定的模糊控制规则进行推理,得出模糊输出量,最后通过解模糊操作得到实际的控制量(如PWM信号的占空比)。在高压变频器调速控制中,模糊控制算法能够快速响应负载变化,有效抑制转速波动。例如,当风机负载突然增加时,模糊控制器可迅速调整输出电压和频率,使电机转速快速稳定在目标值附近,相比传统PID控制,具有更好的动态性能和鲁棒性。

2.1.2 神经网络控制算法

神经网络控制算法模仿生物神经网络的结构和工作原理,通过大量神经元的相互连接和权值调整,实现对复杂系统的建模和控制。常见的神经网络结构包括多层感知器(MLP)、递归神经网络(RNN)及其变体LSTM(长短期记忆网络)等。在高压变频器控制中,神经网络可用于建立电机转速、电流、电压等参数与控制信号之间的非线性映射关系。通过对大量运行数据的学习和训练,神经网络能够自适应地调整控制策略,以应对不同工况下的运行需求。例如,在电机启动过程中,神经

网络控制算法可根据电机的负载特性和电网条件,优化启动曲线,实现平滑启动,降低启动电流和机械应力^[2]。

2.1.3 专家系统控制算法

专家系统控制算法是基于领域专家的知识和经验构建的智能控制系统。它主要由知识库、推理机、综合数据库和人机接口等部分组成。知识库中存储了高压变频器控制领域的专家知识,包括控制规则、故障诊断经验等;推理机根据输入的运行数据,在知识库中进行推理,得出相应的控制决策;综合数据库用于存储系统的实时运行数据和推理过程中的中间结果;人机接口方便操作人员与专家系统进行交互。在高压变频器控制中,专家系统可根据不同的运行工况和设备状态,提供优化的控制策略。例如,当系统检测到电网电压波动时,专家系统可依据知识库中的知识,自动调整变频器的输出电压和频率,确保电机稳定运行,同时最大限度地提高电能转换效率。

2.2 智能控制系统设计

2.2.1 系统架构设计

基于智能控制算法的高压变频器控制系统硬件架构主要包括控制器、传感器、执行器和通信模块。控制器通常采用高性能的DSP(数字信号处理器)或FPGA(现场可编程门阵列)作为核心处理单元,以满足智能控制算法对计算速度和实时性的要求。传感器负责采集电机的电流、电压、转速、温度等运行参数,并将模拟信号转换为数字信号输入控制器。执行器主要为功率器件(IGBT)及其驱动电路,根据控制器输出的控制信号调节电机的运行状态。通信模块用于实现控制器与上位机、其他设备之间的数据交互,方便操作人员对系统进行监控和管理。

2.2.2 软件功能实现

控制系统软件主要包括数据采集模块、控制算法模块、人机交互模块和通信模块。数据采集模块负责定时采集传感器数据,并进行滤波和预处理,提高数据的准确性和可靠性。控制算法模块是软件的核心部分,实现模糊控制、神经网络控制或专家系统控制等算法,根据采集到的数据计算出合适的控制信号。人机交互模块为操作人员提供直观的操作界面,可实现参数设置、运行状态监控、故障报警显示等功能。通信模块遵循Modbus、Profibus等通信协议,实现与上位机、PLC等设备的数据通信,便于集成到发电厂的自动化控制系统中。

2.2.3 仿真实验与结果分析

利用MATLAB/Simulink仿真平台对基于模糊控制、神经网络控制的高压变频器调速系统进行建模与仿真。

在仿真实验中,设置不同的负载变化和电网扰动工况,对比传统PID控制与智能控制算法的控制效果。结果表明,模糊控制算法在抑制转速超调、提高系统响应速度方面表现出色;神经网络控制算法在复杂工况下能够实现更精确的转速控制,且具有较强的自适应能力。通过仿真实验,验证了智能控制算法在高压变频器调速系统中的有效性和优越性。

3 高压变频器的故障诊断技术

3.1 故障类型与机理分析

3.1.1 主电路故障

高压变频器主电路常见的故障包括功率器件(IGBT)损坏、直流电容故障和线路短路等。功率器件损坏主要是由于过电压、过电流、散热不良等原因引起。当电网电压突变或电机堵转时,会产生过高的电流,超过IGBT的额定电流,导致器件烧毁;长时间运行使IGBT温度过高,若散热系统失效,也会加速器件老化和损坏。直流电容在长期运行过程中,会因电解液干涸、介质损耗增大等原因导致容量下降,影响变频器的正常工作。线路短路故障可能是由于接线端子松动、绝缘老化等因素造成,短路会引发过电流保护动作,甚至损坏其他电气设备^[3]。

3.1.2 控制电路故障

控制电路故障主要涉及控制器故障、传感器故障和信号传输故障。控制器故障可能是由于芯片损坏、程序运行错误等原因导致,会使变频器无法正常接收和处理控制信号。传感器故障如电流传感器、电压传感器精度下降或失效,会导致采集的数据不准确,影响控制算法的正常运行。信号传输故障包括连接线松动、接触不良、电磁干扰等,会造成信号丢失或畸变,使变频器控制出现异常。

3.1.3 其他故障

除主电路和控制电路故障外,高压变频器还可能出现散热系统故障和电磁干扰问题。散热系统故障如风扇损坏、散热片堵塞等,会导致功率器件和控制电路温度过高,降低设备的可靠性和使用寿命。电磁干扰主要来源于变频器内部的高频开关器件和外部电磁环境,干扰信号会影响控制电路的正常工作,导致变频器出现误动作或故障报警。

3.2 基于多源数据融合的故障诊断方法

多源数据融合故障诊断方法通过整合高压变频器运行过程中的多种数据信息,如电流、电压、温度、振动等信号,提高故障诊断的准确性和可靠性。常用的数据融合方法包括加权平均法、D-S证据理论和卡尔曼滤波

等。以D-S证据理论为例,首先对不同传感器采集的数据进行特征提取,得到各个证据体;然后根据证据理论的合成规则,将多个证据体进行融合,计算出不同故障模式的信任度和似然度;最后依据决策规则,判断故障类型。通过多源数据融合,能够充分利用各传感器信息的互补性,有效识别早期故障和复杂故障,克服单一传感器诊断的局限性。

3.3 深度学习在故障诊断中的应用

深度学习具有强大的特征学习和模式识别能力,在高压变频器故障诊断领域得到了广泛应用。常用的深度学习模型包括卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体LSTM等。以CNN为例,其通过卷积层、池化层和全连接层的组合,自动从原始数据中提取故障特征。将高压变频器的电流、电压波形数据作为CNN的输入,经过多层卷积和池化操作,提取出具有代表性的故障特征,再通过全连接层进行分类,实现对不同故障类型的识别。与传统故障诊断方法相比,深度学习方法无需人工提取特征,能够适应复杂的故障模式,具有更高的诊断准确率和泛化能力。

3.4 故障预警与健康管理(PHM)

故障预警与健康管理系统通过对高压变频器运行数据的实时监测和分析,预测设备的故障发展趋势,评估设备的健康状态。该系统主要包括数据采集、状态监测、故障预测和维护决策等模块。数据采集模块实时采集变频器的各种运行参数和状态信息;状态监测模块利用信号处理和数据分析技术,对设备的运行状态进行实时评估;故障预测模块基于机器学习和统计分析方法,预测设备未来的故障概率和剩余使用寿命;维护决策模块根据故障预测结果,制定合理的维护计划,实现设备的预防性维护,降低故障发生概率和维护成本。

4 高压变频器智能控制与故障诊断技术的实际应用

4.1 应用案例分析

在某大型火电厂中,对6台引风机高压变频器进行了智能控制与故障诊断技术改造。智能控制系统采用模糊-神经网络复合控制算法,故障诊断系统融合了多源数据融合和深度学习技术。改造后,引风机在不同负荷工况下均能实现高效节能运行,平均节电率达到25%以上。在故障诊断方面,系统成功预测并提前处理了多起潜在故障,如功率器件过热、传感器异常等,避免了因设备故障

导致的停机事故,提高了机组运行的可靠性和稳定性^[4]。

4.2 应用效果评估

通过对实际应用案例的运行数据统计和分析,从节能效果、可靠性提升和经济效益等方面对高压变频器智能控制与故障诊断技术的应用效果进行评估。在节能方面,相比改造前,设备平均能耗降低显著;在可靠性方面,故障停机时间大幅减少,设备可用率提高;在经济效益方面,不仅节省了大量的电费支出,还降低了设备维修成本和停机损失,投资回收期较短,具有良好的经济收益。

4.3 应用前景展望

随着人工智能、物联网和大数据技术的不断发展,高压变频器智能控制与故障诊断技术将迎来更广阔的发展空间。未来,智能控制算法将更加智能化和自适应化,能够更好地适应复杂多变的运行工况;故障诊断技术将实现多系统、多设备的协同诊断和预测性维护,进一步提高设备的可靠性和安全性。同时,与发电厂数字化、智能化建设的深度融合,将使高压变频器成为智能电厂的重要组成部分,为发电厂的高效、安全、绿色运行提供有力支撑。

结束语

随着科技的不断进步,高压变频器在发电厂的智能控制与故障诊断技术将日益成熟和完善。通过智能控制算法的应用,可以实现对高压变频器的精确调速与节能运行,提升发电厂的能效水平。同时,故障诊断技术的发展将进一步提高设备的可靠性和安全性,降低维修成本和停机损失。展望未来,智能控制与故障诊断技术将与发电厂的数字化、智能化建设深度融合,共同推动电力行业的可持续发展。

参考文献

- [1]梁剑,黄志鸿,张可人.基于多尺度引导滤波和决策融合的电力设备热故障诊断方法研究[J].红外技术,2022:1344-1350.
- [2]刘清峰.变频器故障诊断技术研究与分析[J].中国新通信,2020,(13):135-136.
- [3]王雪.变频器故障诊断技术研究[J].无线互联科技,2020,(05):160-161.
- [4]金光力.发电厂变频器典型故障分析及处理[J].科学与财富,2019(22):33-35.