

Analysis and countermeasures of frequency converter anti-shake power technology

Weiwei Yue

Hebei Fengmei Coke Chemical Co., Ltd., Handan, Hebei, 056200, China

Abstract

In modern chemical enterprises, frequency converters, as core control devices, are widely used in various motor drive systems. The "power flicker" phenomenon caused by instantaneous voltage fluctuations in the power grid can lead to incorrect operation and shutdown of frequency converters, further causing interlock interruptions on production lines and even significant impacts on the safety and environmental protection of the entire chemical enterprise. Most current research focuses on hardware redundancy design, while studies on control algorithm optimization and system-level collaborative protection are insufficient. This paper explores a power flicker prevention solution that is both economical and reliable, aiming to enhance the adaptability of industrial equipment to power quality and provide strong technical support for building an intelligent power supply system, with significant economic value and social benefits.

Keywords

frequency converter; anti-flicker technology; analysis; coping strategy

基于变频器防晃电技术的分析与应对策略

岳伟伟

河北峰煤焦化有限公司, 中国·河北 邯郸 056200

摘要

在现代化工企业中,变频器作为核心控制设备广泛应用于各类电机驱动系统,因电网电压瞬时波动所引发的“晃电”现象,致使变频器误动停机,进一步引发生产线连锁中断,甚至对整个化工企业安全环保造成重大影响。当下的诸多研究大多把关注点集中在硬件冗余设计方面,而对于控制算法优化以及系统级协同防护相关的研究还不够充分。本文探索既能具备经济性又能拥有可靠性的防晃电解决方案,目的在于帮助工业设备对电能质量的适应能力得以提升,也可以为构建智能供电体系给予技术方面的有力支撑,具有显著的经济价值和社会效益。

关键词

变频器; 防晃电技术; 分析; 应对策略

1 引言

电力系统运行过程中难以完全避免的电压暂降、短时中断等晃电现象,已成为制约变频器稳定运行的关键因素。现有的防护方案大多依靠增加超级电容、配置不间断电源/双电源切换装置来施行,这些举措尽管能够对短暂供电中断所产生的影响起到一定的缓解,然而却存在诸如成本偏高、维护起来较为复杂等问题。从系统控制这个角度出发去提升变频器自身所具备的抗扰动能力,通过完善供电架构以及控制策略,进而形成多层级的防护体系,无疑成为了一个更具实践意义与价值的研究趋向。本文着重围绕变频器防晃电技术所蕴含的内在机理展开深入探讨,对硬件改造与算法优化二者之间所存在的协同作用机制进行剖析,以此来为设备制

造商以及终端用户提供可以信赖的技术选择方案。

2 变频器与防晃电技术概述

2.1 变频器的定义与工作原理

变频器(Variable-frequency Drive, VFD)是应用变频技术与微电子技术,通过改变电机工作电源频率方式来控制交流电动机的电力控制设备。其主要由整流(交流变直流)、滤波、逆变(直流变交流)、制动单元、驱动单元、检测单元微处理单元等组成。变频器靠内部IGBT的关断来调整输出电压和频率,根据电机的实际需要来提供其所需要的电源电压,进而达到节能、调速的目的。当工频交流电输入后,整流部分利用半导体器件的单向导通特性完成交直流转换,随后中间环节通过电容与电感元件对脉动直流电进行滤波稳压,形成稳定的直流母线电压。逆变阶段的核心任务在于采用脉宽调制技术,借助功率开关器件的高速通断将直流电重新解耦为频率与幅值可控的三相交流电。整个能量转

【作者简介】岳伟伟(1983-),男,中国河北邯郸人,硕士,工程师,从事机电管理及自动化应用研究。

换过程始终遵循电磁感应定律与电力电子控制理论，通过闭环算法实时监测电机参数并调整输出波形，从而维持系统在复杂工况下的稳定运行状态。

2.2 电网电压波动（晃电）对变频器的影响

电网电压的瞬时波动会在变频器内部引发连锁反应，当输入侧电压出现毫秒级跌落时，直流母线电容的快速放电特性将导致母线电压陡降，这种非正常工况容易使内部控制电路产生逻辑误判，进而触发过压或欠压保护机制强制停机；交流侧电压的相位偏移与幅值震荡则会干扰整流模块的正常换相过程，在功率器件导通时序紊乱的状态下，输入电流呈现非对称畸变特征。反复出现的电压扰动事件将促使电解电容长期处于非稳态充放电循环中，其内部电解质的热损耗效应逐渐累积，最终导致关键储能元件提前失效。电压恢复瞬间的相位突变现象若未得到及时补偿，可能引发电机定子磁场与转子转速间的动态失配，这种暂态过程中的转矩脉动会通过机械传动链向负载端传递，形成难以预测的冲击载荷^[1]。

3 变频器防晃电技术的原理与分类

3.1 防晃电技术的原理

电网电压的异常波动触发防晃电机机制时，实时监测单元捕捉到输入电压的瞬态特征后，控制算法立即介入调整PWM调制波的占空比与相位角，这种动态修正能够维持直流母线电压在预设的安全区间内波动。整流侧配置的预充电回路与动态制动单元协同作用，通过调节输入阻抗匹配度缓解电流冲击对功率模块的损伤风险。对于深度电压跌落事件，储能电容与超级电容组成的混合储能系统依据母线电压衰减速率分级释放储备电能，在控制系统尚未触发保护阈值前完成能量补给。电压相位突变引发的谐波干扰则依赖锁相环算法的快速追踪能力，结合坐标变换技术重构三相电压的对称性特征，确保逆变器输出频率与电机转速的同步精度。多层次防护机制在毫秒级时间尺度内形成的闭环控制，既抑制了电压暂降引发的电磁转矩震荡，又避免了传统方案中单纯依赖硬件冗余导致的响应迟滞问题。

3.2 常见防晃电技术的分类与特点

在工业电力系统遭遇电压暂降或短时中断的异常工况下，变频器防晃电技术依据能量补偿与控制策略的差异主要形成四类解决方案。动态电压恢复技术依托电力电子装置构建旁路能量通道，当检测到主回路电压跌落时瞬时注入补偿电压，维持直流母线能量供给的连续性。飞轮储能与超级电容组成的混合储能系统通过物理旋转体或电化学元件暂存动能与电能，在电网电压异常期间释放储备能量缓冲负载冲击，其优势在于应对秒级晃电事件时具备更高的能量吞吐效率。基于电机反电势特性的惯性运行控制技术利用变频器内部算法重构虚拟磁场，使电机在断电瞬间依靠机械惯性维持短暂滑行状态，该方式无需额外硬件却对负载转动惯量存在天然依赖性。相位跟踪与频率自整定技术则通过锁相环实时

捕捉电网残余电压的相位信息，在电压恢复瞬间自动调整输出波形与电网保持同步，避免重启过程中产生的电流冲击，此类方法对周期性晃电具有显著适应性但需解决相位突变引发的谐波干扰问题^[2]。

4 变频器防晃电技术的应用策略

4.1 优化变频器的供电系统

在现阶段工业场景中，变频器防晃电技术的实际部署呈现出多技术路线并行的格局，动态电压恢复装置已在高精度制造产线的关键设备中形成规模化应用，例如石油化工行业针对毫秒级电压跌落普遍采用预充电容与快速切换电路结合的补偿方案，利用电力电子器件的高速响应特性填补瞬时能量缺口。冶金、矿山等重载领域更倾向于采用飞轮储能与超级电容并联的复合式架构，这类系统在应对秒级晃电时可发挥物理储能介质的高功率密度优势，有效缓解大惯性负载停机造成的机械冲击。部分中小型制造企业则侧重软件层面的优化策略，通过在变频器控制算法中嵌入惯性补偿模块，利用电机转子残余动能构建短暂的能量自治状态，这种方案因硬件改造成本较低而在风机、水泵等转动惯量较大的设备中获得推广。当前技术迭代方向正从单一能量补充向多参数协同控制演进，例如将超级电容的瞬态补偿能力与电机参数辨识算法结合，形成针对不同晃电模式的动态防御体系。

4.2 采用先进的防晃电装置

在工厂日常运维过程中，维护人员需定期核查变频器供电线路的绝缘性能与连接紧固度，发现电缆表皮龟裂或接线端子氧化迹象立即更换老化部件，避免接触电阻增大引发意外压降。设备工程师可对车间配电柜加装多级电源滤波器，针对电焊机、行车等冲击性负载产生的谐波污染进行源头治理，同时将变频器直流母线电容的均压电阻阻值调整至合理区间，防止电容组因个体差异导致储能效率衰减。对于存在多台变频器并联运行的场景，电气管理员应在变压器二次侧配置隔离稳压装置，采用星三角交错供电方式分散单相接地故障风险，并在各支路设置独立断路器避免故障范围扩散。操作人员每月使用红外热像仪扫描变频器输入输出端子的温升情况，结合历史数据绘制温度变化曲线，当检测点温差超过安全阈值时启动预防性检修流程。技术人员可为关键设备加装具备毫秒级响应的双电源快速切换开关，利用机械联锁机构确保主备电源转换期间变频器不断电，同时升级控制柜散热风扇的启停逻辑，依据环境温度自动调节通风量以维持功率器件工作温度稳定。智能监测系统实时采集电网电压波形并与变频器内部参数进行交叉验证，当识别出电压凹陷或相位偏移特征时触发预警信号，提示值班人员提前切换至稳压模式运行。

4.3 软件算法优化与控制策略

工程师需要根据负载特性重新整定变频器PID参数，“参数跟着负载走”正是这个道理，遇到轻载与重载交替工

况时采用模糊控制替代传统比例调节。技术员调试谐波抑制算法时要盯着示波器屏幕观察电流波形，当三次谐波幅值超过基波三分之一时需要调整陷波器中心频率，老厂区电网阻抗大的场合还得补偿相位延迟。设备维护班组升级变频器固件后必须重做自整定程序，特别是转矩观测器参数需要匹配实际传动比，否则会发生电机转速抖动现象。工艺主管协调生产节奏时为变频器设置柔性加减速曲线，搬运易碎品时选择 S 型速度曲线避免急停急启造成机械冲击。自动化部门开发故障预测模型时需采集三个月以上的运行数据，将电流

波动特征与历史晃电记录做相关性分析，训练出提前两秒预警的识别算法。调试工程师在现场测试电压跌落补偿功能时，故意短接三相电源模拟晃电场景，观察矢量控制算法能否在八个周波内重建旋转磁场。维修班长建议新员工随身携带参数备份卡，遇到控制板更换情况时直接导入原有频率-转矩特性曲线，省去重新标定的麻烦。研发团队改进空间矢量调制策略时考虑散热器温度对 IGBT 开关损耗的影响，高温环境下适当降低载波频率防止功率模块过热保护。具体如图 1 所示：

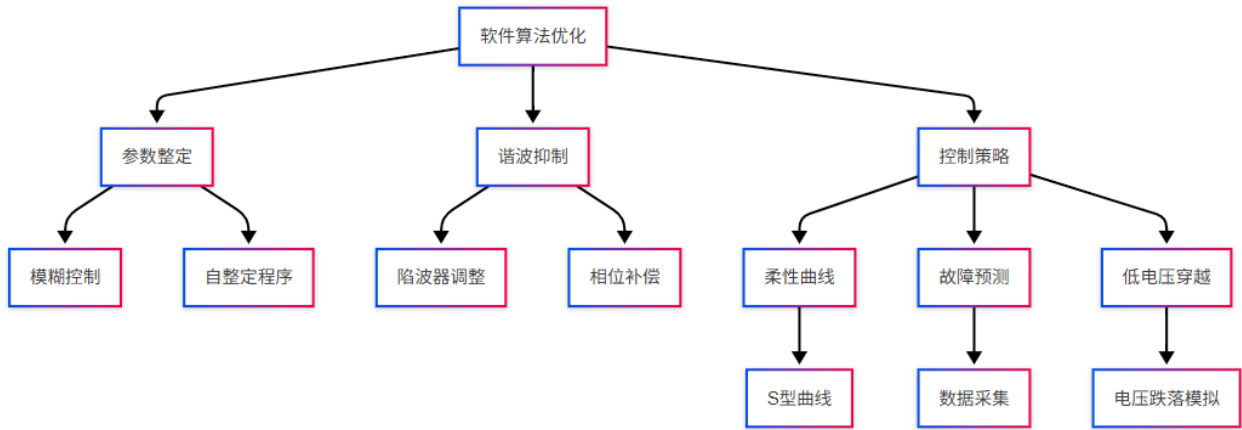


图 1 变频器软件算法优化与控制策略架构图

4.4 系统集成与协同控制策略

在工业生产现场，设备工程师将多台变频器的直流母线并联后接入公共储能单元，设计基于负载优先级的能量调度算法，在电网电压波动时自动分配备用电能，重点保障空压机、冷却泵等核心设备的持续运行。电气管理员为车间不同区域的变频器群配置统一的通信协议，通过 Modbus 或 Profinet 网络实时交换运行状态数据，使中央控制器能根据总负荷变化动态调整各节点输出功率。操作员在交接班时查看电能质量监测仪记录的电压波动历史曲线，结合生产计划预判高负荷时段，提前降低非关键设备的运行频率以留出电压调节裕度。技术人员开发的多变量预测算法可依据电机温度、环境湿度及电网谐波含量建立动态模型，当检测到供电线路存在三相不平衡趋势时，自动触发变频器输出电流限制功能防止过载跳闸^[3]。

5 结语

变频器防晃电技术的有效实施离不开硬件改造和智能

控制的深度融合，其中既要确保供电系统的动态补偿能力，更要将控制系统的抗扰动性能提升。对基于母线电压预测的算法进行优化，能够让变频器对晃电的耐受阈值显著增强，而供电回路阻抗匹配设计则可使电压跌落速度得到有效延缓。在设备选型阶段，建议将防晃电功能设计成内置化，借助标准化接口来达成防护装置的模块化扩展。未来，防晃电技术会朝着智能化预判的方向不断演进，通过结合电网状态的感知以及设备运行数据的实时分析，进而形成主动式防护体系。

参考文献

- [1] 冯叶亮,杨帅. 基于变频器防晃电技术的分析与应对策略 [J]. 设备管理与维修, 2017, (08): 139-140. DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2017.07.69.
- [2] 焦海平. 变频器防晃电技术探讨 [J]. 电工技术, 2017, (02): 3-4+12.
- [3] 刘玉杰,周博,张玉星. 变频器防晃电改造方案探讨 [J]. 科技信息, 2013, (17): 116-117.