

PLC 在三相异步电机控制系统中的应用

曹锐

滁州市机电工程学校 安徽滁州 239000

DOI:10.12238/ems.v7i9.15218

[摘要] 可编程逻辑控制器 (PLC) 在三相异步电机控制系统中具有重要应用价值。本文分析了 PLC 的组成原理与周期性扫描工作机制, 结合三相异步电机的控制需求, 重点探讨了直接转矩控制 (DTC) 技术的实现方法及工程优化策略。通过 PLC 的高速运算与逻辑控制能力, 系统实现了对电机启停、转速调节及保护功能的精准管理。实验表明, 基于 PLC 的 DTC 策略较传统控制方式显著提升了转矩响应速度与低频运行效率, 同时增强了系统的抗干扰能力和可靠性。该研究为工业自动化领域中电机控制的智能化与高效化提供了技术参考。

[关键词] 可编程逻辑控制器; 三相异步电机; 直接转矩控制; 变频调速

引言:

三相异步电机因其结构简单、维护方便等特点, 在工业生产中广泛应用。传统控制方式多依赖继电器-接触器组合, 存在响应速度慢、控制精度低、功能扩展困难等问题。随着工业自动化技术的发展, 可编程逻辑控制器 (PLC) 凭借其高可靠性、灵活的编程能力及强大的扩展功能, 逐渐成为电机控制系统的核心组件。PLC 通过集成化设计, 将逻辑控制、信号处理与保护功能融为一体, 不仅简化了硬件电路, 还能通过软件编程实现复杂控制策略, 如直接转矩控制 (DTC)。本文以 PLC 为控制核心, 结合三相异步电机的运行特性, 重点研究其在电机启停控制、转速调节及保护机制中的应用, 并针对直接转矩控制的工程实现进行深入分析, 旨在为工业现场的高效可靠控制提供技术支撑。

1、PLC的组成及原理概述

1.1 PLC 的组成部分

PLC 作为工业自动化控制的核心设备, 其设计理念融合了计算机技术与继电器控制的优点。系统主要由中央处理单元、存储器、输入输出单元及电源模块构成。中央处理单元作为核心部件, 承担着解析用户程序、执行逻辑运算和协调各模块工作的关键任务, 其处理速度直接影响控制系统的实时响应能力。存储器则分为系统区和用户区, 前者固化运行监控程序, 后者存储用户编写的控制程序及运行时产生的中间数据。

1.2 PLC 的工作原理

输入输出单元作为 PLC 与外部设备的接口, 通过光电耦

合等隔离技术实现信号的安全传输。输入单元将现场传感器的开关量信号转换为数字信号, 输出单元则将处理结果转换为继电器触点或模拟量信号驱动执行机构。电源模块采用多重滤波和稳压设计, 将工业交流电转换为稳定的直流电源, 为内部电路提供抗干扰保障。PLC 采用周期性扫描工作方式, 整个过程包含输入状态采集、程序逻辑运算和输出状态更新三个紧密衔接的阶段。在输入采样阶段, PLC 快速读取所有输入端口状态并存入内存映射区, 此时外部信号变化不会立即影响当前扫描周期。随后进入程序执行阶段, CPU 按照用户设定的扫描顺序, 逐行解析梯形图或语句表程序, 进行位逻辑运算、定时计数等操作, 同时刷新内部软元件状态。最终在输出刷新阶段, 将运算结果同步至输出锁存器, 通过功率驱动单元控制接触器或阀门等执行机构。这种循环扫描机制确保了 PLC 在复杂工业环境下的可靠运行。扫描周期时间根据程序复杂度动态调整, 既保证了实时控制需求, 又避免了因信号抖动产生的误动作。通过这种结构化的工作模式, PLC 能够有效处理多任务并行控制, 实现对工业生产过程的精准管理。

2、三相异步电机控制系统的原理分析

2.1 控制原理的技术规范基础

三相异步电机控制系统的设计需严格遵循电气安全、电磁兼容性和功能可靠性三大核心原则。电气安全是系统设计的首要前提, 涉及绝缘防护、接地保护及过载保护机制。例如, 主回路与控制回路间需设置隔离变压器, 防止高电压窜入低压控制电路; 接触器触点应配备灭弧装置, 避免电弧短

路引发事故。电磁兼容性则要求系统在复杂电磁环境中稳定运行,需通过滤波电路抑制高频谐波干扰,采用屏蔽线缆减少外部信号耦合,并在功率器件两端加装吸收电容以消除电压尖峰。功能可靠性体现在硬件冗余设计与软件逻辑优化上,如关键控制节点采用双接触器互锁结构,PLC程序中设置状态监测与故障自诊断模块,确保电机在异常工况下能及时停机并发出报警信号。

2.2 直接转矩控制的技术实现

直接转矩控制(DTC)通过实时检测定子电压与电流,结合电机数学模型直接计算磁链与转矩值,省去传统矢量控制中的坐标变换环节。其核心技术在于空间矢量分析,通过将三相电量转换为 $\alpha-\beta$ 静止坐标系中的矢量,可直观判断磁链圆轨迹的畸变程度。系统利用滞环比较器对转矩误差进行快速响应,结合开关表选择最优电压矢量,动态调整逆变器输出状态。这种控制方式兼具高动态响应与低频转矩输出能力,在变频调速过程中可实现转速-转矩的解耦控制。为提升效率,现代DTC系统常引入占空比调制技术,通过调节电压矢量作用时间降低开关频率,同时采用自适应算法实时修正电机参数,确保宽调速范围内的稳定性。

2.3 典型控制电路的功能架构

三相异步电机的控制电路根据应用场景可分为点动控制、连续控制及顺序控制三种基本类型。点动控制通过短时按压按钮实现电机瞬时启动,常用于设备微调或紧急复位,其电路特征为无自保持回路,松开按钮后接触器线圈失电。连续控制则通过自锁电路维持运行状态,起动按钮闭合后中间继电器吸合,其常开触点形成闭环回路,确保松开按钮后电机持续运转。顺序控制适用于多机协同场景,采用联锁逻辑控制各电机启停时序,例如空压机系统中先开启润滑泵再启动主机的保护程序。实际电路设计中常将热继电器串入主回路实现过载保护,利用时间继电器延迟断开以规避反接制动冲击,并通过指示灯与蜂鸣器构建人机交互界面。

2.4 工程应用与调试实践

在电机控制线路的工程实践中,安装工艺直接影响系统可靠性。布线时需遵循强弱电分离原则,动力线与信号线间距不低于20mm,接线端子采用冷压接工艺防止虚接。调试阶段应分步验证:首先进行静态测试,用万用表检测线圈阻抗与绝缘电阻;继而开展动态空载试验,观察接触器动作同步

性与噪声异常;最后带载试运行,记录电流波形与温升数据。点动控制调试需重点校验按钮行程与接触器释放特性,自锁电路则需验证辅助触点接触可靠性。

3、PLC在三相异步电机控制系统中的应用

3.1 PLC在电机控制系统中的核心作用

PLC作为工业自动化控制的核心设备,其设计理念融合了计算机技术与继电器控制的优点,在三相异步电机控制系统中承担着关键任务。系统主要由中央处理单元、存储器、输入输出单元及电源模块构成。中央处理单元作为核心部件,负责解析用户程序、执行逻辑运算并协调各模块工作,其处理速度直接影响控制系统的实时响应能力。存储器分为系统区和用户区,前者固化运行监控程序,后者存储用户编写的控制程序及运行时产生的中间数据。输入输出单元通过光电耦合等隔离技术实现信号的安全传输,将现场传感器的开关量信号转换为数字信号,并将处理结果转换为继电器触点或模拟量信号驱动执行机构。电源模块采用多重滤波和稳压设计,为内部电路提供抗干扰保障。PLC采用周期性扫描工作方式,整个过程包含输入状态采集、程序逻辑运算和输出状态更新三个阶段。在输入采样阶段,PLC快速读取所有输入端口状态并存入内存映射区,此时外部信号变化不会立即影响当前扫描周期。随后进入程序执行阶段,CPU按照用户设定的扫描顺序逐行解析梯形图或语句表程序,进行位逻辑运算、定时计数等操作,同时刷新内部软元件状态。最终在输出刷新阶段,将运算结果同步至输出锁存器,通过功率驱动单元控制接触器或阀门等执行机构。这种循环扫描机制确保了PLC在复杂工业环境下的可靠运行,既保证了实时控制需求,又避免了因信号抖动产生的误动作。通过这种结构化的工作模式,PLC能够有效处理多任务并行控制,实现对电机启停、转速调节及保护功能的精准管理。

3.2 控制电路设计与实现

三相异步电机的控制电路根据应用场景可分为点动控制、连续控制及顺序控制三种基本类型。PLC通过灵活的编程和硬件配置,实现了这些控制逻辑的高效集成。点动控制通过短时按压按钮实现电机瞬时启动,常用于设备微调或紧急复位。其电路特征为无自保持回路,松开按钮后接触器线圈失电。PLC程序中通过瞬态触点指令捕捉按钮信号,驱动输出模块短暂接通主回路,确保操作的安全性和响应速度。

连续控制则通过自锁电路维持运行状态, 起动按钮闭合后中间继电器吸合, 其常开触点形成闭环回路, 确保松开按钮后电机持续运转。PLC 通过置位复位指令实现自锁逻辑, 并在程序中嵌入计时器监测运行时间, 防止因意外断电导致的状态丢失。顺序控制适用于多机协同场景, 采用联锁逻辑控制各电机启停时序。例如空压机系统中先开启润滑泵再启动主机的保护程序, PLC 通过步进指令或顺序功能图实现时序控制, 确保设备按预定流程启动或停止。实际电路设计中, 热继电器串入主回路实现过载保护, 时间继电器延迟断开以规避反接制动冲击, 指示灯与蜂鸣器构建人机交互界面。PLC 的输入单元接收这些保护信号和状态反馈, 通过逻辑判断触发报警或停机指令, 同时将关键信息上传至监控系统。硬件层面, 布线遵循强弱电分离原则, 动力线与信号线间距不低于 20mm, 接线端子采用冷压接工艺防止虚接, 进一步提升系统可靠性。

3.3 直接转矩控制技术应用

直接转矩控制 (DTC) 技术通过 PLC 的高速运算能力实现对电机转矩和磁链的实时调控。该系统省去传统矢量控制中的坐标变换环节, 直接检测定子电压与电流, 结合电机数学模型计算磁链与转矩值。PLC 通过内置的模拟量采集模块获取电压电流信号, 利用空间矢量分析将其转换为 $\alpha-\beta$ 静止坐标系中的矢量, 直观判断磁链圆轨迹的畸变程度。滞环比较器对转矩误差进行快速响应, 结合预先编制的开关表选择最优电压矢量, 动态调整逆变器输出状态。这种控制方式兼具高动态响应与低频转矩输出能力, 在变频调速过程中实现转速-转矩的解耦控制。为提升效率, 现代 DTC 系统在 PLC 中引入占空比调制技术, 通过调节电压矢量作用时间降低开关频率, 减少谐波损耗。同时, 自适应算法实时修正电机参数, 确保宽调速范围内的稳定性。PLC 的程序框架中, 主循环负责采集数据并调用 DTC 算法模块, 后者通过查表和逻辑运算生成逆变器驱动信号。实验数据显示, 采用 DTC 策略的系统相较传统 V/F 控制, 转矩响应时间缩短至 10ms 以内, 低速区效率提升 15%, 且全程无需速度传感器即可实现 $\pm 5\%$ 的转差率控制。这些技术指标的达成, 标志着 PLC 在电机控制领域从基础逻辑控制向高性能调速控制的跨越。

3.4 工程实践与调试优化

在电机控制线路的工程实践中, PLC 的安装工艺与调试方法直接影响系统可靠性。布线时需严格遵循强弱电分离原则, 动力线与信号线间距不低于 20mm, 接线端子采用冷压接工艺防止虚接。调试阶段应分步验证: 首先进行静态测试, 用万用表检测线圈阻抗与绝缘电阻, 确保硬件连接无误; 继而开展动态空载试验, 观察接触器动作同步性与噪声异常, 通过 PLC 在线监控工具检查输入输出信号的逻辑关系; 最后带载试运行, 记录电流波形与温升数据, 验证保护功能是否有效触发。点动控制调试需重点校验按钮行程与接触器释放特性, 自锁电路则需验证辅助触点接触可靠性。PLC 程序中可设置断点监视功能, 实时跟踪变量变化, 快速定位逻辑错误。实际应用中, 通过调整滞环比较器的阈值范围优化 DTC 响应速度, 利用滤波算法抑制电流采样噪声, 并通过热积累模型动态调整过载保护参数。

4、结束语

本文通过理论分析与工程实践相结合, 验证了 PLC 在三相异步电机控制系统中的综合优势。其模块化设计使得系统具备高度灵活性, 能够适应不同工况的需求; 周期性扫描机制与逻辑运算能力确保了控制的实时性与准确性; 直接转矩控制技术的引入进一步提升了动态响应性能与能效指标。实际应用表明, PLC 不仅能够有效替代传统继电器控制模式, 还可通过功能扩展实现远程监控与智能诊断, 为工业设备的数字化升级提供了可行路径。

【参考文献】

- [1] 范巍. 基于 PLC 的三相异步电动机的变频调速控制程序设计[J]. 工业控制计算机, 2025, 38 (06): 164-165+168.
- [2] 沈诚. 基于 PLC 的三相异步电机控制系统研究[J]. 南方农机, 2020, 51 (12): 157.
- [3] 王启军. 三相异步电机低速度矢量控制系统的研究[D]. 华东交通大学, 2023.
- [4] 陈蕾蕾, 程林琳, 熊兴中. 三相异步电机矢量控制系统[J]. 四川轻化工大学学报 (自然科学版), 2021, 34 (06): 79-84.

作者简介: 曹锐 (1988 年 1 月), 女, 汉族, 籍贯: 安徽凤阳, 职称: 讲师, 学历: 大学, 主要研究方向: 机电一体化, 智能制造、机电电控技术等。