

作者：李延吉

适用课程：机床电气控制与PLC

基于 PLC 的工业电机变频调速控制系统设计与调试

摘要：本案例聚焦工业场景中电机调速控制需求，以某机械加工企业实际项目为蓝本，详述基于 PLC 的工业电机变频调速控制系统从需求分析、方案设计到现场调试的完整流程。借助该案例，助力学习者掌握 PLC 编程、变频调速技术融合应用，理解工业自动化系统设计与调试要点，提升解决实际工程问题的能力。

关键词：PLC；变频调速；工业电机控制；自动化系统调试；

一、背景介绍

在工业生产领域，电机作为动力核心，其调速控制的精准性、高效性直接影响生产效率与能源消耗。传统继电器-接触器控制的电机调速方式，存在调速精度低、能耗高、故障排查难等问题，难以适配现代化工业生产对电机灵活、稳定调速的需求。某机械加工企业的生产线输送系统，因原有电机调速方案无法满足多工况下的速度切换与精准控制，急需对电机调速系统进行自动化升级改造，由此催生基于 PLC 的工业电机变频调速控制系统项目，该项目为电气类专业教学提供了贴合实际工业场景的典型案列。

二、项目案例

（一）项目案例内容

本项目源自机械加工企业的生产线升级改造需求。企业现有生产线输送电机采用继电器控制，仅能实现简单的启停与固定档位调速，无法满足产品加工过程中不同工序（如物料输送、精细加工阶段）对电机转速的差异化、精准化要求，且设备故障率高、能耗大。企业期望新系统实现电机转速 0-1500r/min 连续可调，调速精度达 $\pm 2\text{r/min}$ ，

具备故障自动报警与记录功能，同时降低 15%以上的能耗。

（二）关键点

1. 知识点

理论知识：深入理解 PLC 的扫描工作原理（输入采样、程序执行、输出刷新阶段对系统控制的影响）；掌握变频调速的 V/F 控制方式（电压与频率的匹配关系，实现电机平稳调速）；明晰闭环控制系统的反馈环节设计（编码器反馈转速信号的采集、处理与 PID 调节的关联）；熟悉工业通信总线知识（对比 PROFINET 与 MODBUS 通信协议在本系统中的应用特点与优劣）；了解电机能效等级（IE2/IE3 等）选型标准，结合项目需求合理选型。

拓展知识：探究不同品牌 PLC 与变频器的兼容性 & 通信配置差异；分析电机调速系统中电磁干扰的产生原因与抑制措施（如滤波电路设计、布线优化）；研究多电机协同调速控制策略，为复杂生产线应用做知识储备。

2. 技能点

硬件操作技能：熟练使用万用表检测 PLC 输入输出点的通断、电压信号，判断硬件故障；运用示波器测量编码器脉冲信号，分析信号质量；掌握变频器参数设置方法，如加速时间、最大频率、载波频率等关键参数的调试；规范完成控制系统硬件接线，包含主电路、控制电路接线，做好安全接地、抗干扰处理。

综合技能：能够依据项目需求，独立完成控制系统方案设计与技术文档撰写（如硬件配置清单、程序说明书、调试报告）；具备现场调试经验，遵循“先静态后动态、先空载后满载”的调试流程，高效排查与解决通信中断、转速波动、变频器过流等故障；学会运用甘特图等工具，进行项目任务分工与进度管理，保障项目按时推进。

3. 态度点

团队合作的意识：在项目实施过程中，明确团队内设计组、编程组、调试组等分工，通过定期沟通会议、协同文档编辑等方式，实现任务进度同步，培养团队协作精神。

认真严谨的态度：注重程序修改后的版本管理，清晰标识版本号，记录修改内容与原因；实时、准确记录调试数据（如转速偏差、电流变化），为问题分析与方案优化提供可靠依据；严格遵循电气安装规范、编程标准开展工作，保障系统稳定性与可维护性。

安全意识：在高压柜操作、电机调试等环节，严格遵守验电、挂牌上锁等安全规程；重视电机调试时急停按钮测试，确保突发状况下能迅速停机，保障人员与设备安全。

（三）教学使用

1. 教学组织与引导

在电气类专业课程（如《电气控制与 PLC 应用》《工业自动化系统集成》）教学中，采用“项目驱动+角色扮演”模式开展教学。将学生划分为设计组、编程组、调试组，模拟企业项目团队分工。教学初期，通过项目背景介绍、需求分析，引导学生理解工业现场对电机调速控制的实际需求；随后，围绕硬件选型、程序编写、系统调试等环节，设置问题链（如“不同 PLC 与变频器通信时需注意哪些参数匹配？”“PID 参数如何影响调速精度？”），组织学生分组研讨、方案汇报，教师适时点评与答疑，帮助学生理清设计思路。

2. 过程设计与考核方法

过程设计：教学过程分为知识储备（讲解 PLC、变频调速、闭环控制等理论知识）、方案设计（分组完成硬件选型、控制逻辑设计，提交初步方案）、实践操作（进行硬件接线、程序编写与调试，记录

操作过程与问题）、总结反思（梳理项目实施中的难点与解决方法，撰写项目总结报告）四个阶段。每个阶段设置明确的任务节点与成果要求，保障教学有序推进。

考核方法：采用过程性考核与终结性考核相结合的方式。过程性考核占比 60%，涵盖课堂研讨参与度（10%）、方案设计合理性（20%）、实践操作规范性（20%）、团队协作表现（10%）；终结性考核占比 40%，主要考查学生对项目整体的理解与实操能力（如故障排查、系统优化），通过现场答辩、实操测试等形式进行。

3. 教学效果

通过本案例教学应用，学生在“控制系统设计完整性”“程序调试效率”“故障排查能力”等方面表现显著提升。以近 3 届学生为例，在课程设计环节，能独立完成完整系统设计的学生占比从 41% 提升至 65%；程序调试平均耗时从 8 小时缩短至 5 小时；面对典型故障（如通信中断、转速波动），能快速定位并解决的学生占比从 28% 提升至 52%。企业反馈显示，学生实习时对工业控制系统的适应周期从平均 2.5 周缩短至 1 周，实践能力与工程意识得到有效培养。

（四）其他相关说明和附件

1. 图表资料

硬件接线图（包含主电路、控制电路接线，标注各元件型号、端子编号，体现安全接地设计）；

PLC 程序流程图（展示启停控制、PID 调节、故障报警等子程序的逻辑关系）；

系统调试数据记录表（记录不同工况下转速偏差、电流值、PID 参数设置及调整效果）；

项目甘特图（呈现任务分工与进度安排）。

2. 软件与视频资料

提供 TIA Portal 编程软件、威纶通组态软件的操作演示视频，帮助学生熟悉软件使用；

录制系统硬件接线、程序下载、现场调试（含故障模拟与排查）的实操视频，便于学生复盘学习；

分享 PLC 程序源码（包含梯形图与 SCL 语言实现）、HMI 组态工程文件，供学生参考分析。