

 高职高专“十一五”规划示范教材

电气控制与PLC

主编 刘永华 副主编 孙佳海 王进满
主审 朱 校

 北京航空航天大学出版社



高职高专“十一五”规划示范教材

电气控制与 PLC

主编 刘永华

副主编 孙佳海 王进满

主审 朱 校

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书分上、下两篇,共9章。上篇为继电器—接触器控制系统部分,主要介绍常用低压电器的基本结构、工作原理和技术性能;电气控制系统中电动机启动、制动、运行的基本控制环节;典型机械设备电气控制系统的电路分析以及电气控制系统的设计方法等。下篇为可编程控制器篇,主要介绍可编程控制器的结构组成、工作原理等基本知识;西门子 S7-200 和松下 FP1 两种系列 PLC 的基本指令和功能指令;PLC 控制系统的常用设计方法以及应用实例分析等。

本书理论联系实际,注重实用,便于教学,可作为高职高专院校机电一体化、数控技术、自动化等相关专业的教材,也可给从事机电、自动化技术的工程技术人员作为参考用书。

本书配有教学课件,请发送邮件至 bhkejian@126.com 或致电 010-82317027 申请索取。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC/刘永华主编. —北京:北京航空航天大学出版社, 2007.9

ISBN 978-7-81124-128-0

I. 电… II. 刘… III. ①电气设备—自动控制—可编程序
控制器—程序设计 IV. TM621 TP32.3

中国版本图书馆 CIP 数据



电气控制与 PLC

主 编 刘永华

副主编 孙佳海 王进满 主 审 朱 校

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:19.25 字数:493 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-128-0 定价:29.00 元

前 言

“电气控制与可编程序控制器(PLC)”是高职高专电气、机电类专业的重要专业课。本书分上、下两篇,共9章。上篇为继电器—接触器控制系统,下篇为可编程序控制器。第1章为常用低压电器,第2章为电气控制基本环节,第3章为典型机械设备电气控制系统,第4章为电气控制系统设计,第5章为PLC基本知识,第6章为西门子S7-200系列PLC,第7章为松下FP1系列PLC,第8章为PLC的设计及应用,第9章为S7-200 PLC编程软件。

随着科学技术的迅速发展,电气控制技术已由继电器、接触器硬接线的常规控制转向以计算机为核心的软件控制。PLC以其可靠性高、灵活性强以及使用方便等优势,逐渐成为电气控制的核心。

本书综合有关院校的教学改革与实践经验,编写时力求结合工程实际、突出技术应用。在编排上兼顾电气控制与可编程序控制器的知识连贯性,使两者有机结合。其中可编程控制器主要介绍当今比较流行的西门子S7-200和松下FP1两种系列,包括PLC的硬件组成、工作原理、基本指令和功能指令,PLC常用设计方法和工程应用实例分析等。在内容上由浅入深,层次分明,通俗易懂,便于自学。

本书参考学时为60~80课时,其中第6、7章内容可根据具体情况选讲其中一章。

本书由刘永华担任主编,孙佳海、王进满任副主编。书中第1章由汤承江编写,第2章、第4章由孙佳海编写,第3章由王进满编写,绪论、第5章、第6章、第8章的8.1~8.4节、第9章由刘永华编写,第7章、第8章的8.5~8.8节由姜秀玲编写,全书由刘永华负责统稿。本书由南京跃进汽车集团研究员级高工朱校主审,并提出了许多宝贵意见。

本书在编写过程中参考了有关文献资料,在此,对参考文献的作者表示衷心感谢。由于编者水平有限,难免有错误和疏漏,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2007-5-30

绪 论

工业生产中的各种机械设备,如机床、起重机械、自动化生产线等都是由电动机来拖动的。这种拖动方式称为电力拖动。电力拖动具有生产效率高、使用方便,可以远距离测量和控制,便于集中管理,容易实现自动化等优点,因此在工业生产中获得了广泛的应用。

在电力拖动控制过程中,按照生产工艺的要求,需要对电动机进行启动、制动、调速和正反转等控制。采用各种控制元器件和控制装置对生产设备进行的控制,称为电气控制。电气控制设备主要是由各种电器开关、熔断器、继电器、接触器、交磁放大机等元器件通过控制线路组成的。

1. 电气控制技术的发展

电气控制技术是随着科学技术的进步而不断发展的。从手动控制发展到自动控制,从简单的控制设备发展到复杂的控制系统,从有触点的继电器—接触器控制系统发展到以计算机为核心的软件控制系统,电气控制技术是随着元器件的不断更新和计算机技术的发展,并且综合应用了计算机、自动控制、电子技术、精密测量等先进科技成果而迅速发展起来的。现在可编程控制器(PLC)、计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、机器人技术(ROBOT)已成为现代制造业技术的三大技术支柱。

继电器—接触器控制系统由于具有结构简单、价格低廉、抗干扰能力强等优点,所以至今仍在机床和许多机械设备中广泛采用。但由于这种控制系统是采用固定接线方式,所以存在着控制灵活性差,动作频率低,触点易损坏,可靠性差等缺点。

20 世纪 60 年代初期利用电子技术研制出矩阵式顺序控制器和晶体管逻辑控制系统来代替继电器—接触器控制系统,对于复杂的自动控制系统则采用电子计算机控制。由于这些装置本身存在某些不足,均未能获得广泛的应用。1969 年美国数字设备公司(DEC)根据通用汽车公司对自动化生产柔性控制的要求,研制出世界上第一台可编程序控制器(以下简称 PLC),并在 GM 公司汽车自动装配线上试用,获得成功。PLC 技术从最初的逻辑控制为主发展到能进行模拟量控制,具有数据运算、数据处理和通信联网等多种功能。PLC 可靠性很高,平均无故障运行时间可达 1×10^5 h 以上,可以大大减少设备维修费用和停产造成的经济损失。当前 PLC 已经成为电气控制系统中应用最为广泛的核心装置,在工业自动控制领域占有十分重要的地位。

2. 本课程的性质与任务

本课程是一门实用性很强的专业课。主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电器—接触器控制系统和 PLC 控制系统的工作原理、典型机械的电气控制线路以及电气控制系统的设计方法。当前 PLC 控制系统应用十分普遍,已经成为实现工业自动化的主要手段,是教学的重点所在。继电器—接触器控制系统仍然是机械设备最常用的电气控制方式,而且控制系统所用的低压电器正在向电子化、小型化、多功能、长寿命方向发展,出现了功能多样的电子式电器,使继电器—接触器控制系统的性能不断提高,因此它在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位。同时,PLC 是计算机技术与传统控制技术相结合的产物,PLC

的输入、输出仍然与低压电器密切相关,因此继电器—接触器控制技术是学习和掌握 PLC 应用技术所必需的基础。

本课程着重培养学生实际操作和应用的能力,具体要求如下:

- (1) 熟悉常用低压电器的基本结构与工作原理、用途,了解其型号规格并能够正确选用;
- (2) 熟练掌握继电器—接触器控制线路的基本环节,能够独立分析电气控制线路的工作原理;
- (3) 熟悉典型设备电气控制系统,具有从事电气设备安装调试、维修管理的能力;
- (4) 掌握 PLC 的基本原理及编程方法,能够根据工艺过程和控制要求进行系统设计和编制应用程序;
- (5) 具有设计和改进一般机械设备电气控制线路的基本能力;
- (6) 具有调试、维护 PLC 控制系统的能力。

目 录

绪 论

上篇 继电器—接触器控制系统

第 1 章 常用低压电器	3
1.1 低压电器的基本知识	3
1.1.1 低压电器的概念及分类	3
1.1.2 低压电器的基本结构	4
1.1.3 灭弧系统	6
1.2 刀开关	7
1.2.1 刀开关的结构	7
1.2.2 刀开关的型号及主要技术参数	8
1.2.3 刀开关的选用与安装	9
1.3 熔断器	10
1.3.1 熔断器的结构及工作原理	10
1.3.2 熔断器的保护特性	10
1.3.3 常用熔断器	10
1.3.4 熔断器的型号和主要技术参数	12
1.3.5 熔断器的选择	13
1.4 接触器	13
1.4.1 电磁式交流接触器的结构和工作原理	13
1.4.2 接触器的主要技术参数及型号	14
1.4.3 接触器的选用	16
1.5 继电器	16
1.5.1 电磁式继电器	17
1.5.2 时间继电器	18
1.5.3 热继电器	20
1.5.4 速度继电器	22
1.5.5 干簧继电器	22
1.5.6 固态继电器	23
1.6 低压断路器	24
1.6.1 结构和工作原理	24

1.6.2 低压断路器典型产品及型号	25
1.6.3 低压断路器的选用	26
1.7 主令电器	27
1.7.1 控制按钮	27
1.7.2 行程开关	28
1.7.3 万能转换开关	30
1.7.4 接近开关	31
1.7.5 主令控制器	32
思考题及习题	33
第2章 电气控制系统的基本环节	34
2.1 电气控制系统图的类型及有关标准	34
2.1.1 电气控制系统图概述	34
2.1.2 电气图形符号和文字符号	34
2.1.3 电气原理图	35
2.1.4 电器元件布置图	37
2.1.5 电气安装接线图	38
2.1.6 阅读和分析电气原理图的方法	38
2.2 三相异步电动机直接启动控制线路	39
2.2.1 电动机启动的要求	39
2.2.2 手动开关直接启动控制	39
2.2.3 连续运转控制	40
2.2.4 点动与连续运转控制	40
2.2.5 多地控制	41
2.2.6 顺序控制	41
2.3 三相异步电动机可逆运转控制线路	42
2.3.1 手动开关可逆运转控制线路	42
2.3.2 接触器互锁控制线路	43
2.3.3 双重互锁控制线路	43
2.3.4 行程控制线路	44
2.4 三相笼型异步电动机降压启动控制线路	45
2.4.1 定子串电阻降压启动控制线路	45
2.4.2 星形—三角形降压启动控制线路	46
2.4.3 自耦变压器降压启动控制线路	46
2.5 三相绕线式异步电动机的启动控制线路	48
2.5.1 转子绕组串电阻启动控制线路	48
2.5.2 转子绕组串频敏变阻器启动控制线路	49
2.6 三相异步电动机的制动控制线路	50
2.6.1 电磁抱闸制动控制线路	50

2.6.2 电气制动控制线路	52
2.7 三相异步电动机的调速控制线路	53
2.7.1 三相笼型异步电动机变极调速控制线路	53
2.7.2 三相绕线式异步电动机转子串电阻调速控制线路	54
2.7.3 调压调速	55
2.7.4 变频调速	55
思考题及习题	56
第3章 典型机械设备电气控制系统	58
3.1 CA6140 车床电气控制线路	58
3.1.1 CA6140 车床结构、运动形式和控制要求	58
3.1.2 CA6140 卧式车床电气控制系统分析	59
3.1.3 CA6140 型普通车床常见故障及维修	61
3.2 M7130 磨床电气控制线路	62
3.2.1 M7130 磨床结构、运动形式和控制要求	62
3.2.2 M7130 型平面磨床电气控制系统分析	63
3.2.3 M7130 型平面磨床常见故障及维修	66
3.3 摇臂钻床电气控制线路	67
3.3.1 Z3040 摇臂钻床结构、运动形式和控制要求	67
3.3.2 Z3040 摇臂钻床电路分析	68
3.3.3 Z3040 摇臂钻床常见故障及维修	71
3.4 X62W 型万能铣床电气控制线路	72
3.4.1 X62W 型万能铣床结构、运动形式和控制要求	72
3.4.2 X62W 型万能铣床电路分析	73
3.4.3 X62W 型万能铣床常见故障及维修	76
3.5 T68 镗床电气控制线路	78
3.5.1 T68 镗床结构、运动形式和控制要求	78
3.5.2 T68 镗床电路分析	79
3.5.3 T68 镗床常见故障及维修	83
3.6 桥式起重机的电气控制线路	84
3.6.1 电动葫芦	84
3.6.2 桥式起重机	85
思考题及习题	100
第4章 电气控制系统的设计	102
4.1 电气控制系统设计的基本内容	102
4.1.1 电气控制系统设计的基本内容	102
4.1.2 电力拖动方案确定的原则	103
4.2 电气原理图的设计方法与步骤	103

4.2.1	电气原理图的设计方法	103
4.2.2	经验设计法的基本步骤	103
4.2.3	经验设计法举例	104
4.2.4	设计控制线路时应注意的问题	106
4.3	电路设计中元器件的选择	108
4.3.1	电动机的选择	108
4.3.2	常用低压电器的选择	110
4.4	电气控制装置的工艺设计	113
4.4.1	电气设备总装图的设计	113
4.4.2	电器元件布置图的设计	113
4.4.3	绘制电气控制装置的接线图	113
4.4.4	电气箱及非标准零件图的设计	114
4.4.5	各类元器件及材料清单的汇总	114
4.5	电气控制系统设计举例	114
4.5.1	CW6163 卧式车床的主要结构及设计要求	114
4.5.2	电动机的选择	115
4.5.3	电气原理图的设计	115
4.5.4	电器元件的选择	116
4.5.5	绘制电器元件布置图和电气安装接线图	117
	思考题及习题	119

下篇 可编程序控制器

第 5 章	PLC 的基本知识	123
5.1	PLC 的产生、定义及发展	123
5.1.1	PLC 的产生与定义	123
5.1.2	PLC 的发展	124
5.2	PLC 的特点及应用	124
5.2.1	PLC 的主要特点	124
5.2.2	PLC 的主要应用	125
5.3	PLC 的分类、主要技术指标及生产厂家	126
5.3.1	PLC 的分类	126
5.3.2	PLC 的主要性能和技术指标	128
5.3.3	PLC 的主要生产厂家	129
5.4	可编程控制器的结构组成和工作原理	129
5.4.1	PLC 的结构组成	129
5.4.2	PLC 的工作原理	131
5.5	PLC 的软件及编程语言	132
5.5.1	系统软件	132

5.5.2 PLC 的编程语言	133
思考题及习题	134
第 6 章 S7-200 可编程序控制器	136
6.1 S7-200 系列 PLC 的组成及性能	136
6.1.1 CPU226 型 PLC 的组成	136
6.1.2 S7-200 可编程控制器的主要技术指标	138
6.2 S7-200 PLC 的内部元器件和寻址方式	139
6.2.1 存储器中的数据类型	139
6.2.2 数据存储区	139
6.2.3 寻址方式	143
6.3 PLC 基本逻辑指令系统	145
6.3.1 指令格式	145
6.3.2 语句表的基本逻辑指令	147
6.3.3 STL 对较复杂梯形图的描述方法	148
6.3.4 取非与空操作指令	151
6.3.5 置位、复位指令	151
6.3.6 边沿触发指令	152
6.4 定时、计数和比较指令	153
6.4.1 定时器	153
6.4.2 计数器指令	156
6.4.3 比较指令	158
6.5 算术、逻辑运算	159
6.5.1 算术运算指令	159
6.5.2 逻辑运算指令	161
6.6 数据处理指令	162
6.6.1 单数据传送指令	162
6.6.2 数据块传送指令	163
6.6.3 移位指令	163
6.7 程序控制类指令	165
6.7.1 系统控制类指令	165
6.7.2 跳转、循环指令	166
6.7.3 顺序控制指令	168
6.8 中断指令	169
6.8.1 中断源	170
6.8.2 中断控制	170
6.8.3 中断程序	172
思考题及习题	172

第 7 章 松下 FP1 系列可编程序控制器	173
7.1 松下 FP1 系列 PLC 技术性能	173
7.1.1 FP1 系列产品类型及构成	173
7.1.2 FP1 产品的硬件组成	174
7.1.3 FP1 系列 PLC 的技术性能	175
7.1.4 FP1 的内部寄存器及 I/O 配置	176
7.2 FP1 系列可编程序控制器的基本指令	179
7.2.1 基本顺序指令	179
7.2.2 基本功能指令	187
7.2.3 控制指令	191
7.2.4 比较指令	197
7.3 FP1 系列可编程控制器的的高级指令	200
7.3.1 高级指令的类型	200
7.3.2 高级指令的结构形式	200
7.3.3 数据传输指令	201
7.3.4 算术运算指令	203
7.3.5 运算指令举例	207
7.3.6 数据比较指令	208
7.3.7 逻辑运算指令	211
7.3.8 数据转换指令	212
7.3.9 数据移位指令	214
7.3.10 位操作指令	214
7.3.11 特殊指令	215
思考题及习题	216
第 8 章 PLC 控制系统的设计及应用实例	218
8.1 PLC 控制系统的设计	218
8.1.1 PLC 控制系统的设计内容和设计步骤	218
8.1.2 PLC 程序设计方法	219
8.2 PLC 在组合机床控制中的应用	229
8.2.1 双面单工位液压传动组合机床的继电器控制系统	229
8.2.2 双面单工位液压传动组合机床的 PLC 控制方案	231
8.3 自动往返小车的 PLC 控制	234
8.3.1 控制要求	234
8.3.2 设计方案	234
8.4 机械手的 PLC 控制	239
8.4.1 控制要求与 PLC 选型	239
8.4.2 系统的硬件设计	240
8.4.3 系统的软件设计	241
8.5 多种液体自动混合控制	245

8.5.1 控制要求和 I/O 分配表	245
8.5.2 设计 PLC 梯形图	246
8.6 抢答器控制程序设计	247
8.6.1 抢答器控制要求和 I/O 分配表	247
8.6.2 设计 PLC 梯形图	248
8.7 四层楼电梯控制	251
8.7.1 电梯各部件功能简介	251
8.7.2 电梯的控制要求	251
8.7.3 电梯的控制程序设计	252
8.8 自动售货机控制系统	259
8.8.1 自动售货机动作要求	259
8.8.2 设计步骤	259
思考题及习题	263
第 9 章 S7-200 PLC 编程软件	264
9.1 编程软件安装	264
9.1.1 系统要求	264
9.1.2 软件安装	264
9.1.3 硬件连接	264
9.2 STEP 7-Micro/WIN 编程软件功能介绍	265
9.2.1 基本功能	265
9.2.2 STEP-Micro/WIN32 主界面各部分的功能	265
9.3 程序编制及运行	268
9.3.1 用户程序创建	268
9.3.2 梯形图编辑器	269
9.4 程序的调试及运行监控	271
9.4.1 选择扫描次数	271
9.4.2 监控、调试程序	272
9.4.3 运行模式下的编辑	273
9.4.4 程序监视	273
附 录	276
附录 A 电气控制线路中常用图形符号和文字符号	276
附录 B 常用低压电器技术数据	279
附录 C S7-200 系列 PLC 部分特殊存储器(SM)标志位	284
附录 D S7-200 的 SIMATIC 指令集简表	285
附录 E 松下 FP1 的特殊内部继电器	290
参考文献	292

上 篇

继电器—接触器控制系统

- 常用低压电器
- 电气控制系统的基本环节
- 典型机械设备电气控制系统
- 电气控制系统的设计

第 1 章 常用低压电器

本章主要介绍各种常用低压电器的结构、工作原理、用途及电气符号等知识。通过本章学习,重点是要掌握低压电器的结构、工作原理,学会电气符号的表示方法,从而能够正确选择和合理使用常用电器,为后继章节的学习打下基础。

1.1 低压电器的基本知识

1.1.1 低压电器的概念及分类

电器是指根据特定的信号和要求,能通断电路,改变电路参数,实现对电路的控制、切换、保护、检测和调节作用的电气设备。电器可分为高压电器和低压电器两大类。我国现行标准是将工作在交流 1 200 V(50 Hz)以下、直流 1 500 V 以下的电气设备称为低压电器。

低压电器的种类繁多,分类方法也有多种,较常用的低压电器分类及用途如表 1-1 所列。

表 1-1 常用低压电器的分类及用途

电器名称	主要品种	用 途
配电电器	刀开关 大电流刀开关 熔断器式刀开关 开关板用刀开关 负荷开关	主要用于隔离电源,也能接通和分断额定电流
	转换开关 组合开关 换向开关	用于电源或负载的各种转换以及电路的通断
	断路器 框架式(万能式)断路器 塑料外壳式断路器 限流式断路器 漏电保护断路器	可不频繁接通和分断电路,具有过载、短路、欠压或漏电等保护
	熔断器 有填料熔断器 无填料熔断器 快速熔断器 自复熔断器	用于线路或电气设备的短路和过载保护
控制电器	接触器 交流接触器 直流接触器	主要用于远距离频繁启动或控制电动机,以及接通和分断正常工作的电路
	控制继电器 电流继电器 电压继电器 时间继电器 中间继电器 热继电器	主要用于控制系统中,控制其他电器或做主电路的保护
	启动器 磁力启动器 减压启动器	主要用于电动机的启动和正反转控制

续表 1-1

电器名称		主要品种	用 途
控制 电 器	控制器	凸轮控制器 平面控制器	主要用于通断电路或转换电路,以达到电动机启动、换向和调速的目的
	主令电器	按 钮 行程开关(限位开关) 微动开关 万能转换开关	主要用于接通和分断控制电路
	电阻器	铁基合金电阻	用于改变电路的电压、电流等参数或变电能为热能
	变阻器	励磁变阻器 启动变阻器 频敏变阻器	主要用于发电机调压以及电动机的减压启动和调速
	电磁铁	起重电磁铁 牵引电磁铁 制动电磁铁	用于起重、操纵和牵引机械装置

低压电器按用途和控制对象不同,可分为配电电器和控制电器。低压配电电器用于配电系统,要求灭弧能力强,分断能力好、热稳定性能好和限流准确等。低压控制电器则要求动作可靠、操作频率高和寿命长并具有一定的负载能力。

本章主要介绍控制系统中常用的低压电器元件,如接触器、继电器、自动空气断路器、主令电器等。

1.1.2 低压电器的基本结构

按工作原理的不同,低压电器可分为电磁式电器和非电量电器。电磁式电器结构上都具有两个基本组成部分,即感测部分与执行部分。感测部分接受外界输入的信号,并通过转换、放大、判断,使执行部分动作,输出相应的指令,实现控制目的。对于有触头的电磁式电器,感测部分大都是电磁机构,而执行部分则是触头。对于非电磁式的自动电器,感测部分因其工作原理不同而各有差异,但执行部分仍是触头。

1. 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的主要组成部分之一。它将电磁能转换成机械能,带动触点动作,使电路接通或断开。电磁机构由吸引线圈、铁芯和衔铁三个基本部分组成。电磁铁的结构形式大致有如下几种。

(1) 衔铁绕棱角转动的拍合式铁芯 如图 1-1(a)所示,衔铁绕铁轭的棱角而转动,磨损较小;铁芯用整块铸铁或铸钢制成。这种形式广泛应用于直流电器中。

(2) 衔铁绕轴转动的拍合式铁芯 如图 1-1(b)所示,衔铁绕轴转动,铁芯用硅钢片叠成,其形状有 E 型和 U 型两种。此种结构多用于触点容量较大的交流电器中。

(3) 衔铁沿直线运动的双 E 型直动式铁芯 如图 1-1(c)所示,衔铁在线圈内作直线运动。此类结构多用于交流接触器、继电器中。

对于单相交流电磁机构,由于磁通是交变的,当磁通过零时吸力也为零,此时的衔铁在反力弹簧的作用下将被拉开;磁通过零点后吸力又重新增大,当吸力大于反力时,衔铁又吸合。由于交流电源频率的变化,衔铁的吸力随之每个周期二次过零,致使衔铁产生强烈振动与噪声,甚至使铁芯松散。解决的办法是在铁芯端面安装一个铜制的短路环(或称分磁环),如