

21世纪应用型本科规划教材

电气控制与PLC 应用技术

主 编 张乐平 徐猛华



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

21 世纪应用型本科规

电气控制与 PLC 应用技术

主 编 张乐平 徐猛华

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

为培养对电气控制电路的阅读分析能力和电气控制装置的初步开发与设计能力,本书介绍了常用低压电器、电气图的基本知识、控制电路基本环节与典型环节、电路分析与设计的基本方法。为培养可编程控制器的应用能力,本书概略地介绍了 PLC 的基本组成、工作原理及编程语言等,并以西门子公司 S7-200 小型 PLC 为例,深入介绍了 S7-200 PLC 的基础知识、基本指令与应用、顺序控制程序设计法、功能指令、通信与网络、控制系统综合设计与应用实例、编程软件与系统开发等内容,特别是系统地介绍了根据顺序功能图设计梯形图程序的方法。

本书可作为普通高等教育工科院校工业自动化、电气工程及自动化、机械工程及自动化、机电一体化及与控制相关专业的教材,也可供高职、高专相关专业及其他专业的研究生选用,并可作为电气技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC 应用技术 / 张乐平, 徐猛华主编. --
北京: 北京航空航天大学出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5124-2321-3

I. ①电… II. ①张… ②徐… III. ①电气控制—高等学校—教材②PLC 技术—高等学校—教材 IV.
①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 289314 号

版权所有,侵权必究。

电气控制与 PLC 应用技术

主 编 张乐平 徐猛华

责任编辑 杨 昕

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpess@263.net 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本: 710×1 000 1/16 印张: 20 字数: 426 千字

2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5124-2321-3 定价: 39.80 元

编 委 会

主 编 张 乐 平 徐 猛 华

副主编 涂 绪 坚 黄 永 忠

郭 泉 江 胡 开 明

序

人生在世,总想为周围的人或为社会做点实事,这样,生命才充实、人生才有意义。

感谢江西理工大学对本教材建设的重视与立项;感谢东华理工大学徐猛华老师的鼎力支持,辛勤完成了多章内容的组织和编写,并做了大量协调工作;感谢东华理工大学涂绪坚老师、黄永忠老师、胡开明老师和江西理工大学郭泉江老师,正是有了各位的荣誉加盟,才使得我们实现了多年愿望。

作者从事电气控制技术、可编程控制课程教学二十余年,人生可谓过半,却始终在参悟。本书的编写,特别注意以下几个方面。

(1) 电气控制部分的内容

电气控制部分的内容突出考虑三个方面:

① 规范。电路图与建筑制图、机械制图不同,其使用的是文字符号与图形符号,显然标准和规范是交流的基础,书中从第1章开始就有序地介绍了各电器的图形符号和文字符号,特别突出标准和规范的重要。

② 阅读分析能力。引导学习者逐步掌握阅读分析方法。能正确地分析和阅读电气图是电气技术人员最基本的必备能力,因此书中尽量突出对该方法的介绍与运用。

③ 初步设计能力。内容由浅入深,强化对初学者进行简单电路的设计训练,使其初步具备对较简单设备的电气系统的设计能力,是本书的另一主要目标。

(2) PLC 部分的内容

PLC 部分的内容主要是两个兼顾:

① 考虑到 PLC 的广泛性与多样性,在主要介绍西门子公司 S7-200 PLC 的基础上,兼顾介绍了各类 PLC 的共同特点及产品特点。

② PLC 软、硬件两个方面的兼顾,硬件是软件开发的基础和边界。本书在详细地介绍了 S7-200 各相关硬件组成的同时,重点介绍了其程序的编辑与分析,突出介绍了时序波形分析、顺序控制设计法(根据顺序

功能图设计出梯形图是一种先进的设计方法,很容易被初学者接受,对于有经验的工程师,也会提高设计的效率,程序的调试、修改和阅读也很方便)、网络与通信等。所有这些既是我们一致的认知和想法,更是我们力求的特色,希望对广大读者有益。

此外,本书在编写过程中,始终不忘几个宗旨:一是务求知识的更新,电气控制技术在当下发展速度非常惊人,我们的知识描述应该有所反映;二是将“应用”与“系统”两点感悟寓于心中,落实在编写的内容上;三是对教学规律的遵循与敬畏,始终谋求学习者对知识和能力的高效而准确的把握。

全书共分10章。第1章由郭泉江老师编写,第2~4章及附录由张乐平老师编写,第5章和第7章由涂绪坚老师编写,第8章由徐猛华老师编写,第6和第9章由黄永忠老师编写,第10章由胡开明老师编写,全书由张乐平老师负责统稿。

本书的编写虽力求用心、严肃,但因编者水平有限,书中仍难免有不足与疏漏之处,敬请各位不吝赐教,批评指正。

张乐平

2016年10月于江西理工大学

目 录

第 1 章 常用低压元器件	1
1.1 低压电器的基本知识	1
1.1.1 低压电器的分类	1
1.1.2 低压电器的选用与安装	1
1.2 图形符号、文字符号及接线端子标记	3
1.2.1 图形符号	3
1.2.2 文字符号	4
1.3 接触器	5
1.3.1 接触器的用途与分类	5
1.3.2 交流接触器	6
1.3.3 直流接触器	7
1.3.4 接触器的选择与安装	8
1.3.5 接触器的维护	9
1.4 继电器	10
1.4.1 继电器的用途与分类	10
1.4.2 电压继电器	11
1.4.3 电流继电器	12
1.4.4 中间继电器	13
1.4.5 时间继电器	13
1.4.6 热继电器	15
1.4.7 速度继电器	17
1.5 主令电器	18
1.5.1 控制按钮	18
1.5.2 万能转换开关	20
1.5.3 行程开关	21
1.5.4 接近开关	22
1.5.5 指示灯	22
1.6 熔断器、低压刀开关及低压断路器	23
1.6.1 熔断器	23
1.6.2 低压刀开关	27

1.6.3 低压断路器	28
1.7 其他常用执行器件	31
1.7.1 电磁铁	31
1.7.2 电磁阀	31
1.7.3 电磁制动器	32
1.7.4 漏电保护器	33
1.7.5 启动器	34
本章小结	35
习 题	35
第 2 章 电气控制系统的典型电路及应用	37
2.1 电气图的基本知识	37
2.1.1 接线端子标记	37
2.1.2 电气图	38
2.2 三相笼型感应电动机的基本控制电路	41
2.2.1 单向旋转控制电路	41
2.2.2 点动控制电路	43
2.2.3 多地控制电路	44
2.2.4 顺序控制电路	45
2.2.5 可逆旋转控制电路	46
2.3 三相异步电动机的典型应用控制电路	47
2.3.1 具有自动往返的可逆旋转电路	47
2.3.2 定子绕组串接电阻的减压启动控制	48
2.3.3 自耦变压器减压启动控制	49
2.3.4 星-三角(Y-D)减压启动控制电路	51
2.3.5 转子绕组串电阻启动控制电路	52
2.3.6 三相异步电动机的变极调速控制电路	53
2.3.7 三相异步电动机能耗制动控制电路	54
2.3.8 三相异步电动机反接制动控制电路	55
2.3.9 电路图的阅读分析方法	57
2.4 三相异步电动机的变频调速	58
2.4.1 变频调速	58
2.4.2 变频器	60
2.5 电气控制电路的设计方法	68
2.5.1 分析设计法	68
2.5.2 逻辑设计法	72

2.6 典型生产机械的电气控制实例	74
2.6.1 机床结构及控制特点	74
2.6.2 电路工作情况	77
本章小结	78
习 题	79
第3章 PLC 概述	82
3.1 PLC 的定义、特点及应用	82
3.1.1 PLC 的产生、发展及其定义	82
3.1.2 PLC 的主要特点	83
3.1.3 PLC 的应用	84
3.2 PLC 的结构与工作原理	85
3.2.1 PLC 的基本结构	85
3.2.2 PLC 的工作原理	89
3.3 PLC 分类	90
3.3.1 按硬件结构形式分类	90
3.3.2 按功能分类	91
3.3.3 按控制规模(I/O 点数)分类	92
3.4 PLC 的编程语言	92
3.5 PLC 的典型产品介绍	94
3.5.1 美国的 PLC 产品	94
3.5.2 欧洲的 PLC 产品	96
3.5.3 日本的 PLC 产品	98
3.5.4 我国的 PLC 产品	99
本章小结	100
习 题	101
第4章 西门子 S7-200 PLC 的基础知识	102
4.1 S7-200 PLC 概述	102
4.2 S7-200 PLC 的硬件组成与功能	104
4.2.1 CPU 模块	104
4.2.2 数字量输入与数字量输出	107
4.3 S7-200 PLC 的内部资源	110
4.3.1 S7-200 PLC 编程软元件	110
4.3.2 软元件的类型和功能	111
4.4 S7-200 PLC 的外部扩展模块	115

4.4.1	数字量扩展模块	115
4.4.2	模拟量输入模块	116
4.4.3	模拟量输出模块	117
4.4.4	称重模块与位置控制模块	118
4.4.5	STEP 7 - Micro/WIN 编程软件与显示面板简介	119
4.4.6	I/O 地址分配与外部接线	120
4.5	S7 - 200 PLC 的数据类型与寻址方式	122
4.5.1	S7 - 200 PLC 的数据类型	123
4.5.2	S7 - 200 PLC 的寻址方式	125
4.6	S7 - 200 PLC 的编程语言与程序结构	127
4.6.1	S7 - 200 PLC 的编程语言	127
4.6.2	S7 - 200 的程序结构	128
4.6.3	PLC 的操作模式	128
4.7	S7 - 1200 系列 PLC	129
本章小结		130
习 题		131
第 5 章 西门子 S7 - 200 PLC 的基本指令与应用		132
5.1	S7 - 200 PLC 的基本逻辑指令	132
5.1.1	触点指令	132
5.1.2	输出指令与其他指令	137
5.2	定时器与计数器指令	139
5.2.1	定时器指令	139
5.2.2	计数器指令	142
5.3	S7 - 200 PLC 简单控制电路的编程与应用	144
5.3.1	有记忆功能的电路	144
5.3.2	定时器应用电路	144
本章小结		146
习 题		147
第 6 章 西门子 S7 - 200 PLC 顺序控制程序设计		150
6.1	顺序功能图概述	150
6.1.1	顺序控制设计法	150
6.1.2	步与动作	151
6.1.3	有向连线与转换条件	153
6.1.4	顺序功能图的基本结构	154

6.1.5 顺序功能图中转换实现的基本规则	156
6.2 使用启保停电路的顺序控制梯形图设计方法	158
6.2.1 单序列的编程方法	159
6.2.2 选择序列与并行序列的编程方法	160
6.2.3 应用举例	163
6.3 以转换为中心的顺序控制梯形图设计方法	166
6.3.1 单序列的编程方法	166
6.3.2 选择序列的编程方法	167
6.3.3 并行序列的编程方法	168
6.3.4 应用举例	169
6.4 使用 SCR 指令的顺序控制梯形图设计方法	169
6.4.1 顺序控制继电器指令	169
6.4.2 单序列的编程方法	171
6.4.3 选择序列与并行序列的编程方法	173
6.4.4 应用举例	174
6.5 具有多种工作方式的系统的顺序控制梯形图设计方法	176
6.5.1 系统的硬件结构与工作方式	176
6.5.2 使用启保停电路的编程方法	179
6.5.3 以转换为中心的编程方法	186
本章小结	188
习 题	188
第 7 章 西门子 S7-200 PLC 的功能指令及应用	189
7.1 S7-200 的指令规约	189
7.1.1 使能输入与使能输出	189
7.1.2 梯形图中的网络与指令	190
7.1.3 其他规约	191
7.2 程序控制指令	191
7.3 子程序指令(局部变量表与子程序)	194
7.3.1 局部变量表	194
7.3.2 子程序的编写与调用	196
7.4 数据处理类指令	200
7.4.1 比较指令	200
7.4.2 数据传送指令	201
7.4.3 移位与循环指令	202
7.4.4 数据转换指令	204

7.4.5 表功能指令	208
7.4.6 读/写实时时钟指令	211
7.4.7 字符串指令	213
7.5 数学运算指令	214
7.5.1 算术运算指令	214
7.5.2 浮点数函数运算指令	217
7.5.3 逻辑运算指令	217
7.6 中断程序与中断指令	219
7.6.1 中断程序	219
7.6.2 中断事件与中断指令	220
7.6.3 中断优先级与中断队列溢出	222
7.7 高速计数器与高速脉冲输出指令	224
7.7.1 编码器	225
7.7.2 高速计数器的工作模式与外部输入信号	226
7.7.3 高速计数器的程序设计	228
7.7.4 高速脉冲输出与开环位置控制	230
本章小结	234
习 题	234
第 8 章 S7-200 的通信与网络	236
8.1 通信的基本知识	236
8.1.1 基本概念和术语	236
8.1.2 差错控制	237
8.1.3 传输介质	239
8.1.4 串行通信接口标准	241
8.2 工业局域网基础	242
8.2.1 局域网的拓扑结构	242
8.2.2 网络协议和体系结构	244
8.2.3 现场总线	244
8.3 S7-200 通信部件介绍	245
8.3.1 通信端口	245
8.3.2 PC/PPI 电缆	246
8.3.3 网络连接器	248
8.3.4 PROFIBUS 网络电缆	248
8.3.5 网络中继器	249
8.3.6 EM277 PROFIBUS-DP 模块	249

8.4 S7-200 PLC 的通信	251
8.4.1 概 述	251
8.4.2 利用 PPI 协议进行网络通信	253
8.4.3 利用 MPI 协议进行网络通信	255
8.4.4 利用 PROFIBUS 协议进行网络通信	255
8.4.5 利用 ModBus 协议进行网络通信	259
本章小结	262
习 题	262
第 9 章 现代 PLC 控制系统的综合设计	263
9.1 PLC 控制系统的设计步骤及内容	263
9.1.1 分析评估及控制任务	264
9.1.2 PLC 的选型	264
9.1.3 I/O 地址分配	265
9.1.4 系统设计	265
9.1.5 系统调试	266
9.2 PLC 与变频器之间的接口	266
9.2.1 变频器和 PLC 的关系	266
9.2.2 MM440 变频器	267
9.2.3 MM440 变频器的功能方框图	268
9.2.4 变频器和 PLC 典型应用举例	270
9.3 双恒压无塔供水控制系统设计	272
9.3.1 工艺过程	272
9.3.2 系统控制要求	273
9.3.3 控制系统的 I/O 点及地址分配	273
9.3.4 PLC 系统选型	274
9.3.5 电路图	275
9.3.6 系统程序设计	277
9.4 PLC 在工程应用中要注意的一些实际问题	284
9.4.1 PLC 的安装	284
9.4.2 电源设计	284
9.4.3 系统接地	285
9.4.4 电缆设计与铺设	286
9.4.5 PLC 输出负载的保护	287
本章小结	287
习 题	287

第 10 章 西门子 S7 - 200 PLC 编程软件与系统开发	288
10.1 S7 - 200 PLC 编程软件 STEP 7 的安装与设置	288
10.2 编程软件 STEP 7 的基本软件功能	290
10.3 S7 - 200 PLC 的程序编辑、编译与调试运行	294
本章小结	296
附录 A S7 - 200 的特殊存储器 (SM) 标志位	297
附录 B S7 - 200 的 SIMATIC 指令集简表	300
参考文献	306

第 1 章 常用低压元器件

本章要点

- 低压电器的基本知识；
- 常用低压电器的组成结构、工作原理；
- 常用低压电器的图形与文字符号及使用。

低压元器件是电力拖动控制系统、低压供配电系统的基本组成元件,其性能的优劣直接影响着系统的可靠性、先进性和经济性,是电气控制技术的基础。因此,必须熟练掌握低压电器的结构、工作原理并能正确使用。本章主要介绍低压元器件的作用、分类、结构、工作原理、技术参数、选用原则等内容。

1.1 低压电器的基本知识

1.1.1 低压电器的分类

电器是指能够根据外界的要求或所施加的信号,自动或手动地接通或断开电路,从而连续或断续地改变电路的参数或状态,以实现对电路或非电对象的切换、控制、保护、检测和调节的电气设备。简单地说,电器就是接通或断开电路,调节、控制、保护电路和设备的电工器具或装置。电器按工作电压高低可分为高压电器和低压电器两大类。

低压电器通常是指用于交流 50 Hz(60 Hz)、额定电压 1 200 V 及以下、直流额定电压 1 500 V 及以下的电路内,起通断、保护、控制或调节作用的电器。

目前,低压电器在工农业生产和人们的日常生活中有着非常广泛的应用,低压电器的特点是品种多、用量大、用途广。

低压电器的种类很多,按不同的分类方式有着不同的类型。低压电器按用途分类如表 1-1 所列。

1.1.2 低压电器的选用与安装

1. 低压电器的选用原则

由于低压电器具有不同的用途和使用条件,因而有着不同的选用方法。选用低压电器一般应遵循以下基本原则。

表 1-1 低压电器按用途分类

电器名称		主要品种	用 途
配电电器	刀开关	刀开关、熔断器式刀开关、开启式负荷开关、封闭式负荷开关	主要用于电路隔离,也能接通和分断额定电流
	转换开关	组合开关、换向开关	用于两种以上电源或负载的转换和通断电路
	断路器	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	用于线路过载、短路或欠压保护,也可用作不频繁接通和分断电路
	熔断器	半封闭插入式熔断器、无填料熔断器、有填料熔断器、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
	继电器	电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、热继电器等	主要用于控制系统中,控制其他电器或作主电路的保护
	启动器	电磁启动器、减压启动器	主要用于电动机的启动和正反向控制
	控制器	凸轮控制器、平面控制器、鼓形控制器	主要用于电气控制设备中转换主回路或励磁回路的接法,以达到电动机启动、换向和调速的目的
	主令电器	控制按钮、行程开关、主令控制器、万能转换开关	主要用于接通和分断控制电路
	电磁铁	起重电磁铁、牵引电磁铁、制动电磁铁	用于起重、操纵或牵引机械装置

① 安全原则。选用的低压电器必须保证安全、准确、可靠地工作,必须达到规定的技术指标,以保证人身安全、系统及用电设备的可靠运行,这是对任何开关电器的基本要求。

② 经济原则。在考虑符合安全标准和达到技术要求的前提下,应尽可能选择性能比较高、价格相对较低的产品。

2. 低压电器的选用注意事项

① 应根据控制对象的类别(电机控制、机床控制等)、控制要求和使用环境来选用合适的低压电器。

② 应了解电器的正常工作条件,如环境空气温度和相对湿度、海拔高度、允许安装的方位角度、抗冲击振动能力、有害气体、导电尘埃、雨雪侵袭、室内还是室外工作等。

③ 根据被控对象的技术要求确定技术指标,如控制对象的额定电压、额定功率、电动机启动电流的倍数、负载性质、操作频率、工作制等。

④ 了解低压电器的主要技术性能(技术条件),如用途、分类、额定电压、额定控

制功率、接通分断能力、允许操作频率、工作制、使用寿命、工艺要求等。

⑤ 被选用低压电器的容量一般应大于被控设备的容量。对于有特殊控制要求的设备,应选用特殊的低压电器(如速度和压力要求等)。

3. 低压电器的安装原则

① 低压电器应水平或垂直安装,特殊形式的低压电器应按产品使用说明书的要求进行安装。

② 低压电器应安装牢固、整齐,其位置应便于操作和检修。在振动场所安装低压电器时,应有防振措施。

③ 在有易燃、易爆、腐蚀性气体的场所,应采取防爆等特殊类型的低压电器。

④ 在多尘、潮湿、人易触碰到露天场所,应采用封闭型的低压电器;若采用开启式的,则应加保护箱。

⑤ 一般情况下,低压电器的静触头应接电源,动触头接负荷。

⑥ 落地安装的低压电器,其底部应高出地面 100 mm。

⑦ 在安装低压电器的盘面上,一般应标明安装设备的名称及回路编号或路别。

4. 低压电器安装前的主要检查项目

① 检查低压电器的铭牌、型号、规格是否与要求相符。

② 检查低压电器的外壳、漆层、手柄是否有损伤或变形现象。

③ 检查低压电器的磁件、灭弧罩、内部仪表、胶木电器是否有裂纹或伤痕。

④ 所有螺钉等紧固件应拧紧。

⑤ 具有主触头的低压电器,触头的接触应紧密,两侧的接触压力应均匀。

⑥ 低压电器的附件应齐全、完好。

1.2 图形符号、文字符号及接线端子标记

1.2.1 图形符号

目前,我国已有一整套图形符号(graphical symbol)国家标准 GB 4728.1~GB 4728.13《电气图用图形符号》,在绘制电气图时必须遵循。在该标准中,除分专业规定了各类图形符号外,还规定了符号要素、限定符号和常用的其他符号。有些符号规定了几种形式,有的符号分优选形和其他形,在绘图时可根据需要选用。对符号的大小、取向、引出线位置等可按照使用规则作某些变化,以达到图面清晰、减少图线交叉或突出某个电路的目的。对标准中没有规定的符号,可选取 GB 4728 中给定的符号要素、限定符号和一般符号,按其中规定的原则进行组合。