

第六届全国高校出版社优秀畅销书一等奖

现代电气控制及 PLC应用技术

(第5版)

王永华 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

第六届全国高校出版社优秀畅销书一等奖

现代电气控制及 PLC 应用技术

(第 5 版)

王永华 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从实际工程应用和便于教学需要出发,介绍和讲解了继电器接触器控制系统和可编程序控制器控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。和其他同类教材相比,本书主要有以下特点:(1)除最基本的常用低压电器外,还介绍了和电气控制技术有关的其他器件和一些新型器件;(2)对传统电气控制系统的内容进行了大幅度删减,简明扼要地讲解了其中最基础的知识,给出并讲解了作者总结提出的电气控制线路和可编程序控制器程序的“简单设计法”;(3)详细讲解了变频器和人机界面 HMI 的基本原理和使用;(4)全面使用新的电气控制系统图形符号和文字符号国家标准;(5)结合大量实例讲解了 S7-200 SMART PLC 的基本指令、功能指令的用法和功能图(SFC)的使用及编程方法;(6)对 PLC 控制系统的网络通信技术以及 S7-200 SMART PLC 的通信功能进行了详细的讲解,并给出了大量实例;(7)有详尽的工程设计案例,并附有相应程序和详细讲解;(8)附有思考题、练习题、实验指导书和课程设计、毕业设计素材指导书;(9)增加了工业控制国际编程语言 IEC 61131-3 的讲解。

本书是在前 4 版的基础上经精心修订和编写而成的,相信它会是一本值得大家使用的教材和学习参考书,也是一本多年来的经典畅销书。

本书可作为高等院校和中职技师院校的自动化、电气工程、机电一体化及相关专业的“电气控制及可编程序控制器”或类似课程的教材,也可供有关工程技术人员参考使用,同时对于广大从事电气控制技术专业相关工作的电工和技术人员来说,本书也是一本很好的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代电气控制及 PLC 应用技术 / 王永华编著. -- 5 版

. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2018.11

ISBN 978-7-5124-2609-2

I. ①现… II. ①王… III. ①电气控制—高等学校—教材②PLC 技术—高等学校—教材 IV. ①TM571.2
②TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 204878 号

郑重声明:未经作者同意和授权,任何人不得抄袭、摘录、借用本书各章节(含附录)中的编排结构、文字内容、图、表、例题、思考题和习题、实验、设计指导书等;否则,将追究侵权者相应的责任。

现代电气控制及 PLC 应用技术(第 5 版)

王永华 编著

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

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:26.75 字数:685 千字

2019 年 1 月第 5 版 2019 年 3 月第 2 次印刷 印数:5 001~15 000 册

ISBN 978-7-5124-2609-2 定价:59.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

“电气控制及可编程序控制器应用技术”是各高等院校电类和机电类专业最重要的专业基础课程之一,它包含传统的“电气控制技术”和“可编程序控制器原理及应用”两门课程的内容。随着科学技术的发展,电气控制技术已发展到了相当的高度。传统电气控制技术的内容也发生了很大变化,虽然有些已被淘汰,但其最基础的部分对任何先进的控制系统来说仍是必不可少的。

可编程序控制器基于继电器逻辑控制系统的原理而设计,它的出现取代了继电器接触器逻辑控制系统,成为当今工业自动化应用领域中不可替代的中心控制器件。作为重要的专业基础课,“电气控制及可编程序控制器应用技术”课程必须包括传统继电器接触器控制系统的内容,更需要精心组织、合理删节,而对于可编程序控制器的原理及应用必须重点讲解。

本书是最早选用 SIEMENS 公司 S7-200 PLC 为对象讲解“可编程序控制器原理及应用”的书籍之一。自从 2002 年第 1 版至今,被 400 余所大专院校和培训机构作为教材,截至 2018 年 9 月,共销售 40 余万册。10 多年来,我去不少学校做过和本课程相关的学术报告,也为一些教师培训班授课;更多情况下,通过电子邮件和近百位高校教师进行学术和教学业务上的交流,此外还回答了许许多多的读者通过电子邮件和电话向我提出的问题。更让我感动的是有 10 多位读者为我指出了书中的错误之处,所有这一切都为本书成为精品教材提供了保证,也使它成为被许多任课教师及广大读者喜爱的好书。

在这几年时间里,和本课程有关的技术和知识有了很大程度的发展和更新。在国际和国内市场上,SIEMENS 公司已逐步淘汰了 S7-200 PLC,推出了换代产品 S7-200 SMART PLC 和 S7-1200 PLC。虽然现在工作十分繁忙,但广大读者的厚爱 and 数十位同行的企盼和鼓励,使我抑制不住发自内心的责任感和使命感,要把自己所掌握的该领域最新的知识和亲身工程实践经验真诚地奉献出来,以使广大的青年学生受益,这是我编写本教材的初衷,同样也是我今天编写新版教材的动力来源。

在这次改版之前,我和近百位任课老师进行了交流,咨询大家该选择什么样的 PLC 为背景进行讲解,如何把新版教材编写得更好。为感谢各位老师的热心支持,在他们意见和建议的基础上,结合高校相关实验室建设情况和国内 PLC 应用情况,确定了本次编写的基调和原则。

本教材力求做到语言通畅、叙述清楚、讲解细致,所有的内容都为了便于实际应用和教学,并尽可能多地融进自己的工作经验和科研成果。

本版教材全面继承了前几版的精华。既包含全新的传统电气控制技术的内容,也包含对 PLC 精深透彻的讲解;既包含工业自动化常用设备,如变频器、HMI 和工业组态软件的详细介绍,也深度讲解了 PLC 通信联网技术。第 5 版教材继续保留大量例题和课程设计、毕业设计课题素材。

第 5 版教材的主要修订和修改之处

(1) 考虑到技术进步和工程实际应用情况,对第 1 章和第 2 章传统电气控制技术的内容

进行了较多删减和重新编排。

(2) 删除了原版第 4 章,其相关内容合并到新版教材的第 3 章、第 4 章和第 5 章。对原版第 3 章进行了较大幅度的改编。

(3) 考虑到目前高校实验室和国内 PLC 应用的实际情况,特别是学生学习 PLC 时更容易入门的需要,本教材基于 SIEMENS S7-200 SMART PLC 进行可编程序控制器的讲解,这也是近 80% 被调查的老师所给出的建议。

(4) 恢复了第 3 版中的“工业控制领域国际标准编程语言 IEC 61131-3”一章,为需要该部分内容的老师进行教学服务,并为广大的社会读者提供方便。

(5) 由于以太网技术开始大量在工业自动化领域广泛应用,本教材对“PLC 网络通信技术应用”一章进行了较大幅度的修订,增加了与以太网技术相关的基础知识和应用技术的讲解。对 PLC 通信网络技术的深度讲解是本教材的特色之一。

(6) “编程软件的使用”不再单独成章,而是给出相关编程软件学习的相关电子资源链接,学生可以提前预习或者下载。

本书是国内第一本全面采用新的电气系统中常用文字符号的国家标准(GB/T 5094 和 GB/T 20939)的教材。新国标的采用,以及 IEC 61131-3 国际标准编程语言的补充,使本教材继续保持了在电气控制及 PLC 应用技术教学方面的先进性。

本书的具体结构

本书共分四大部分,总共 9 章内容和 3 个附录。

第一部分:电气控制技术基础知识

本部分包括绪论和前 2 章内容。在绪论中简单介绍了电气控制技术的发展历程和最新情况,介绍了学习本课程的主要任务。第 1 章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理以及使用方法等有关知识,同时根据电器发展状况,介绍了一些新型电器元件;最后对一些常用的检测、执行器件进行简单的介绍。第 2 章全面讲解了电气制图最新图形符号和文字符号的国家标准,讲解了电气线路图的绘制原则,然后主要介绍广泛应用的三相笼型异步电动机的基本控制线路和一些典型控制线路,其中重点讲解变频器的使用。

根据电气应用技术的发展和多年的教学及应用实践,作者对现代电气控制线路的设计总结出一种方法——简单设计法,并对其进行详细的讲解。

第二部分:核心内容

本部分是本书的中心,主要讲解可编程序控制器的原理及其应用技术,它包括第 3 到第 8 章的 6 章内容。第 3 章介绍了可编程序控制器的产生和发展,重点讲解它的组成、工作原理和工作方式。第 4 章基于 SIEMENS S7-200 SMART PLC,用举例的形式讲解其基本逻辑指令系统及其使用方法,然后介绍常用典型电路及环节的编程,最后深入浅出地讲解 PLC 程序的简单设计法;本章是学习 PLC 的重点,也是本书最重要的章节。第 5 章详细讲解 S7-200 SMART PLC 的功能指令,重点讲解子程序、中断、高速计数和 PID 的应用,本章给出了大量的例题。第 6 章重点讲解顺序功能图(SFC)的基本概念,以及它在 S7-200 SMART PLC 中的具体使用方法;把 SFC 放在单独的一章讲解是本书的特色之一。第 7 章首先介绍了一些工业通信网络基础知识,重点讲解各种通信协议和网络配置,通过举例介绍了 S7-200 SMART PLC 通信指令的使用。第 8 章首先讲解如何设计一个 PLC 控制系统,然后讲解了 PLC 控制

系统中不可或缺的设备——人机界面和变频器,以及工业自动化监控系统。本章提供了 2 个非常翔实的 PLC 控制系统的例子,通过例子大家可以更进一步了解和深入学习 PLC 控制系统的设计,最后讲解了实际工程项目中必须注意和遵守的安装技术和规范。

第三部分:工业控制国际标准编程语言——IEC 61131-3

本部分作为最重要的课程补充内容,可使学生和读者全面了解工业控制领域国际标准编程语言,为后续的学习和工作打下基础。

第四部分:重要附录

本部分包括 3 个主要的附录。附录 A 中列出了 12 个实验,这是这门应用性很强的课程所必须具备的内容;每个实验都包括实验目的、使用设备及装置、实验内容和实验报告要求等;该部分可为任课教师开设实验提供指导。附录 B 提供了 8 个可用于课程设计或毕业设计课题的素材,供任课教师选用。附录 C 是有关 S7-200 SMART PLC 的常用信息速查表。

另外,在每一章的最后都有对本章内容进行回顾和总结的“本章小结”,以及丰富的“思考题与练习题”。

如何分配课时和授课内容

本书既可以作为相关专业本科生、高职高专和中职技师院校学生的教材,也可以作为电气工程师、电工等有关技术人员的参考资料和培训教材。层次不同,所需要的授课内容、课时进度和实验项目也会不同。本书既可以供少学时(如 46 学时)使用,也可以供多学时(如 100 学时)使用。两者的区别在于是对某些章节作简单介绍,还是详细讲解。另外实验的多少也有不同。下表给出一些指导性的建议,供授课教师参考。下表中一个课时为 50 分钟,每个实验所使用的课时数为 2 个,实验个数和实验内容请根据实际情况在附录 A 中选择,给学生布置的“思考题和练习题”也可进行适当选择。选用本教材的教师可根据自己学校的实际情况对课程设计和毕业设计的内容进行调整和安排。教师也可以根据自己的实际需要教材中的内容进行取舍,比如以普通知识为主,则多讲一些前 5 章的内容;以提高为主,则多讲一些后 4 章的内容,当然这只是一种建议。

范围	绪论	第 1 章	第 2 章	第 3 章	第 4 章	第 5 章	第 6 章	第 7 章	第 8 章	第 9 章	实验	总课时
本科院校教学	1	4	6	5	8	4	4	2	2	自学	10	46
高职高专教学	1	6	10	8	11	12	8	6	8	2	28	100
中职院校教学	2	8	14	10	14	14	8	8	10	4	28	120
技术人员培训		1	3	4	8	6	4	2	2	自学	16	46

致 谢

感谢中国机械科学研究所的郭汀研究员,2007 年她给我提供了国家标准(GB/T 20939),没有她的帮助,本书电气控制线路的文字符号不可能在第 2 版就使用新的国家标准。

感谢数十位给我提出编写建议的高校老师!这些意见和建议是打造精品教材的保证!

感谢我的学生吕新磊高级工程师和工作助手江豪副教授,以及课程团队的老师和科研团队的成员,还有我指导的研究生,他们提出了许多具体的修订意见,并和我一起完成了全书的校对工作。

在写作时,本书部分章节个别段落的内容参考了一些已出版的文献,这些文献已在书后的参考文献中一一列出,在此向这些文献的作者表示衷心的感谢!

最后要真诚地感谢我的家人,他们所给予我的最无私的爱是我不断前行的精神力量,一想起这些,我就不敢有丝毫的懈怠,只有更加刻苦勤奋地学习和工作。

我相信,以自己深厚熟练的写作功底、对 PLC 应用及其发展前沿的深入理解和把握、以及全面的应用经验为基础而完成的新版《现代电气控制及 PLC 应用技术》(第 5 版)会是一本值得大家使用的教材和参考资料。本书还配有电子教案,限于时间和精力,该教案只向高等院校和培训机构中使用本教材的任课教师提供。

该书的修订和改版工作花费了半年多时间,虽然经过认真仔细的修改、校对,但由于作者工作繁忙,以及在学术水平上的局限性和写作过程中的疏漏,书中肯定还会有不正确、不准确的地方,不管是大错还是小错,我都希望广大的读者能给我指出来,以便再次印刷时改正。也欢迎大家来 E-mail 就高校电气控制技术、PLC 应用和现场总线技术(工业控制网络技术)实验室建设问题,以及相关课程的教学问题进行交流和探讨。

江豪、李秀芳、兑幸福、李娜、宋玉琴、赵庭兵等参加了部分章节的编写工作。

本教材的电子信息资源如下所列,诸如“视频课程资料”“SMART PLC 系统手册”“Micro/WIN SMART 使用手册”“勘误信息”等都可以在以下相关网站找到,有些可以下载。

- 作者电子信箱:wyh@zzuli.edu.cn
- 本教材精品课程网站:dqkzplc.zzuli.edu.cn/
- 本课程在线开放课程网站:www.icourse163.org/course/ZZULI-1002123026
- 工业控制网络工程中心网站:zzictec.zzuli.edu.cn
- 郑州天启自动化系统有限公司网站:tianqiauto.com

王永华

2018 年 11 月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第 1 章 电气控制系统常用器件

1.1 电器的基本知识	4
1.1.1 电器的定义和分类	4
1.1.2 电磁式低压电器的基本 结构和工作原理	5
1.2 接触器	11
1.2.1 接触器的用途及分类	11
1.2.2 接触器的结构及工作原理	12
1.2.3 接触器的技术参数	13
1.2.4 接触器的选择	13
1.3 继电器	14
1.3.1 电磁式继电器	15
1.3.2 热继电器	15
1.3.3 时间继电器	18
1.3.4 速度继电器	19
1.3.5 固态继电器	20
1.4 低压断路器	21
1.5 熔断器	24
1.5.1 熔断器的结构和分类	24
1.5.2 熔断器的保护特性	25
1.5.3 熔断器的技术参数	26
1.5.4 熔断器的选择	26
1.6 主令电器	27
1.6.1 控制按钮	27
1.6.2 转换开关	28
1.6.3 行程开关	30
1.6.4 接近开关	30

1.6.5 光电开关	31
1.7 信号电器	33
1.8 常用执行器件	33
1.8.1 电磁执行器件	34
1.8.2 常用驱动设备	35
1.9 常用检测仪表	36
1.10 常用电气安装附件	38
本章小结	40
思考题与练习题	40

第 2 章 电气控制线路基础 ...

2.1 电气控制系统图的图形、文字 符号及绘制原则	42
2.1.1 常用电气图形符号和文字 符号	43
2.1.2 电气控制系统图的绘制 原则	54
2.2 三相笼型异步电动机基本 控制线路	57
2.2.1 全压启动控制线路	57
2.2.2 正反转控制线路	58
2.2.3 点动控制线路	59
2.2.4 多点控制系统	60
2.2.5 顺序控制线路	60
2.2.6 自动循环控制线路	61
2.3 三相笼型异步电动机启动和 制动控制线路	62
2.3.1 星形-三角形降压启动 控制线路	62
2.3.2 反接制动控制线路	63
2.4 变频器及其使用	65
2.4.1 调速基本概念	65
2.4.2 变频器的类型	66
2.4.3 变频器的组成	68

2.4.4 变频器的主要技术参数	69	3.6 PLC 的分类	97
2.4.5 变频器的选择	70	3.7 PLC 的系统组成	98
2.4.6 变频器的主要功能	70	3.8 PLC 的内部资源	102
2.4.7 变频器的操作方式	72	3.8.1 软元件(软继电器)	102
2.4.8 变频器应用举例	72	3.8.2 软元件介绍	103
2.5 电气控制线路的简单设计法	73	3.9 PLC 的编程语言	105
2.5.1 概述	73	3.10 PLC 的工作原理	107
2.5.2 简单设计法介绍	74	3.10.1 PLC 的工作方式	107
2.5.3 简单设计法应用举例	76	3.10.2 PLC 工作过程的核心 内容	109
2.6 典型生产机械电气控制线路 分析	77	3.10.3 PLC 对输入/输出的 处理原则	110
2.6.1 电气控制线路分析基础	77	3.11 西门子小型 PLC 概述	110
2.6.2 C650 卧式车床电气控制 线路分析	79	3.11.1 为什么选择 S7-200 SMART PLC 为讲授 对象	110
本章小结	83	3.11.2 S7-200、S7-200 SMART 及 S7-1200 PLC 的 主要区别	111
思考题与练习题	84	3.11.3 S7-200 SMART PLC 硬件系统基本构成	112
第 3 章 可编程序控制器概述	85	3.11.4 I/O 点数扩展和编址	114
3.1 PLC 的产生和定义	85	本章小结	116
3.1.1 PLC 的产生	85	思考题与练习题	116
3.1.2 PLC 的定义	86	第 4 章 PLC 基本指令及程序 设计	118
3.2 PLC 的发展	87	4.1 寻址方式	118
3.2.1 PLC 的发展历史	87	4.1.1 数据类型	118
3.2.2 PLC 的发展趋势	88	4.1.2 直接寻址	119
3.3 PLC 的应用领域	91	4.1.3 间接寻址	122
3.4 PLC 的特点	92	4.2 SMART PLC 编程时的两点 说明	123
3.5 PLC 与其他典型控制系统的 区别	94	4.3 PLC 的基本逻辑指令	124
3.5.1 与继电器控制系统的 区别	94	4.3.1 逻辑取及线圈驱动指令	124
3.5.2 与单片机控制系统的 区别	95	4.3.2 触点串联指令	125
3.5.3 与 DCS、FCS 控制系统 的区别	96		

4.3.3	触点并联指令	125
4.3.4	置位、复位指令	126
4.3.5	RS 触发器指令	127
4.3.6	立即指令	127
4.3.7	边沿脉冲指令	129
4.3.8	逻辑堆栈操作指令	130
4.3.9	比较指令	133
4.3.10	定时器	135
4.3.11	计数器	140
4.4	程序控制指令	143
4.4.1	结束及暂停指令	143
4.4.2	看门狗复位指令	143
4.4.3	跳转及标号指令	144
4.4.4	循环指令	145
4.4.5	获取非致命代码指令	146
4.5	PLC 初步编程指导	147
4.5.1	梯形图编程的基本规则	147
4.5.2	LAD 和 STL 编程语言之间的转换	148
4.6	典型简单电路和环节的 PLC 程序设计	149
4.6.1	延时脉冲产生电路	149
4.6.2	瞬时接通/延时断开电路	150
4.6.3	延时接通/延时断开电路	151
4.6.4	计数器的扩展	152
4.6.5	长定时电路	153
4.6.6	闪烁电路	154
4.6.7	报警电路	155
4.7	PLC 程序的简单设计法及应用举例	156
4.7.1	PLC 程序的简单设计法	156
4.7.2	应用举例	158
	本章小结	161
	思考题与练习题	161

第 5 章 PLC 功能指令及应用

		164
5.1	程序结构	165
5.2	子程序	166
5.2.1	建立子程序	166
5.2.2	子程序的调用	166
5.2.3	带参数的子程序调用	167
5.3	中 断	169
5.3.1	几个基本概念	169
5.3.2	中断指令	172
5.3.3	中断程序	173
5.4	传送、移位和填充指令	174
5.4.1	传送类指令	175
5.4.2	移位与循环指令	176
5.4.3	字节交换指令	179
5.4.4	填充指令	179
5.5	运算和数学指令	179
5.5.1	加法指令	179
5.5.2	减法指令	180
5.5.3	乘法指令	180
5.5.4	除法指令	180
5.5.5	数学函数指令	182
5.5.6	增/减指令	184
5.5.7	逻辑运算指令	185
5.6	表功能指令	187
5.7	转换指令	191
5.7.1	数据类型转换指令	191
5.7.2	编码和译码指令	194
5.7.3	段码指令	194
5.7.4	ASCII 码转换指令	195
5.7.5	字符串转换指令	198
5.8	字符串指令	200
5.9	时钟指令	202
5.10	高速计数器指令	204
5.10.1	高速计数器基本概念	204
5.10.2	高速计数器指令	206

5.10.3 高速计数器的使用 方法.....	206
5.11 高速脉冲输出指令.....	212
5.11.1 几个基本概念.....	213
5.11.2 高速脉冲指令及特殊 寄存器.....	213
5.11.3 PTO 的使用	215
5.11.4 PWM 的使用	219
5.12 PID 回路指令	222
5.12.1 PID 算法	222
5.12.2 PID 回路指令及使用	224
本章小结.....	228
思考题与练习题.....	229

第 6 章 PLC 顺序控制指令 及其使用

6.1 功能图的产生及基本概念	231
6.1.1 功能图的产生	231
6.1.2 功能图的基本概念	231
6.1.3 功能图的构成规则	232
6.2 顺序控制指令	233
6.2.1 顺序控制指令介绍	233
6.2.2 举例说明	234
6.2.3 使用说明	235
6.3 功能图的主要类型	235
6.3.1 单流程	235
6.3.2 可选择的分支和连接	236
6.3.3 并行分支和连接	236
6.3.4 跳转和循环	238
6.4 顺序控制指令应用举例	240
6.4.1 选择和循环电路举例	240
6.4.2 并行分支和连接电路 举例	243
6.4.3 选择和跳转电路举例	246

本章小结.....	249
思考题与练习题.....	249

第 7 章 PLC 网络通信技术及 应用.....

7.1 工业网络结构	250
7.2 工业通信网络基础知识	251
7.2.1 数据通信方式(数据流动 方向).....	252
7.2.2 数据传输方式	252
7.2.3 差错控制	253
7.2.4 传送介质	254
7.2.5 主要拓扑结构	255
7.2.6 通信接口	256
7.2.7 通信协议	257
7.3 SMART PLC 的通信接口 及网络连接	262
7.3.1 通信接口、协议及网络 配置	262
7.3.2 SMART PLC 的网络 连接	265
7.4 SMART PLC 的通信指令 及应用	269
7.4.1 网络读/网络写指令及 应用	269
7.4.2 基于自由口模式的发送 和接收指令及应用	271
7.4.3 基于以太网的开放式 协议指令库	284
7.4.4 Modbus 库指令及应用	289
7.4.5 USS 协议	295
本章小结.....	298
思考题与练习题.....	298

第 8 章 PLC 控制系统综合 设计.....

8.1 PLC 控制系统设计步骤及 内容	300
-------------------------------	-----

8.1.1	分析评估控制任务	300	8.6.1	工艺过程	333
8.1.2	PLC 的选型	301	8.6.2	系统控制要求	333
8.1.3	I/O 地址分配	302	8.6.3	PLC 选型	334
8.1.4	分解控制任务	302	8.6.4	控制系统的 I/O 点及 地址分配	334
8.1.5	系统设计	302	8.6.5	电气控制系统原理图	334
8.1.6	安全电路设计	303			
8.1.7	系统调试	303	8.7	PLC 在实际工程应用中的 安装技术	338
8.1.8	文档编制	304	8.7.1	PLC 的安装	338
8.2	HMI 及其使用	304	8.7.2	电源的设计	338
8.2.1	HMI 概述	304	8.7.3	系统的接地	339
8.2.2	HMI 在 S7-200 SMART PLC 控制系统中的使用	306	8.7.4	电缆设计与铺设	340
8.3	变频器和 PLC 之间的配合	311	8.7.5	PLC 输入信号的接线	341
8.3.1	变频器和 PLC 的关系	311	8.7.6	PLC 输出端的接线及 特殊处理	342
8.3.2	MM440 变频器	311	本章小结		343
8.3.3	MM440 变频器的功能 方框图	312	思考题与练习题		343
8.3.4	变频器和 PLC 典型应用 举例	314	第 9 章 标准工业控制编程语言 IEC 61131-3		344
8.4	工业自动化监控系统及应用	316	9.1	IEC 61131-3 概述	344
8.4.1	概 述	316	9.1.1	IEC 61131 产生的原因和 发展历程	344
8.4.2	WinCC 和 PC Access 的 应用举例	318	9.1.2	IEC 61131-3 简介	347
8.5	双恒压无塔供水控制系统 设计	321	9.1.3	IEC6 1131-3 的突出特点	348
8.5.1	工艺过程	321	9.2	IEC 61131-3 基础	349
8.5.2	系统控制要求	322	9.2.1	程序组织单元 POU	349
8.5.3	控制系统的 I/O 点及 地址分配	322	9.2.2	简单语言元素	350
8.5.4	PLC 系统选型	323	9.2.3	数据类型	352
8.5.5	电气控制系统原理图	323	9.2.4	变 量	356
8.5.6	系统程序设计	325	9.2.5	系统配置	359
8.6	电热锅炉供热控制系统设计	332	9.3	标准函数及功能块	361
			9.3.1	标准函数	362
			9.3.2	标准功能块	366
			9.4	编程语言及使用举例	368

9.4.1 梯形图(LD)	368	附录 B 课程设计和毕业设计课	
9.4.2 结构化文本(ST)	371	题素材指导	405
9.4.3 指令表 IL	378	B-1 机械臂分拣装置控制系统	
9.4.4 顺序功能图 SFC	381	设计	405
9.4.5 SFC 程序设计举例		B-2 PLC 高速脉冲计数系统	
.....	390	设计	406
本章小结	391	B-3 使用网络读写指令设计	
思考题与练习题	392	通信控制系统	406
附录 A 实验指导书	394	B-4 双恒压供水控制系统	
A-1 异步电动机可逆运行实验		设计	407
.....	394	B-5 电热锅炉供热控制系统	
A-2 SMART PLC 编程软件		设计	408
使用实验	395	B-6 SMART PLC 在小规模工	
A-3 标准工业报警电路实验		业控制网络中的应用(1)	
.....	396	409
A-4 使用简单设计法编制电动		B-7 SMART PLC 在小规模工	
机顺序启停控制程序实验		业控制网络中的应用(2)	
.....	396	409
A-5 抢答器程序设计实验 ...	397	B-8 SMART PLC 在小规模工	
A-6 人行道按钮控制交通灯程		业控制网络中的应用(3)	
序设计实验	398	410
A-7 使用顺序功能图编制电动机		附录 C S7-200 SMART PLC	
顺序启停控制程序实验	400	快速参考信息	411
.....	400	C-1 标准型(SR/ST)PLC 的	
A-8 PID 程序设计实验	400	CPU 规范	411
A-9 S7-200 SMART PLC 网络		C-2 标准型 PLC 的 CPU 存储	
通信实验	401	器范围和特性总汇	412
A-10 HMI 简单应用实验 ...	402	C-3 常用特殊继电器 SMB0 和	
A-11 IEC 61131-3 编程实验 1		SMB1 的位信息	413
.....	403	参考文献	415
A-12 IEC 61131-3 编程实验 2			
.....	403		

绪 论

1. 电气控制技术的发展

说到电气控制技术,首先要明白几个概念。

电气是一个工程词汇,电子、电器和电力都属于电气工程,它是一个抽象的概念,不是具体指某个设备或器件,而是指整个系统和电子、电器和电力的范畴。

电气就是以电能、电气设备和电气技术为手段来创造、维持与改善限定空间和环境的一门科学,涵盖电能的转换、利用和研究三方面,包括基础理论、应用技术、设施设备等。

电气控制技术是一门以继电器接触式控制系统、电子技术、计算机应用技术为基础,以计算机控制技术为核心,综合可编程控制技术、单片机技术、计算机网络技术,从而实现生产技术的精密化、生产设备信息化、生产过程的自动化及机电控制系统的最佳化的专门学科。

电气控制技术是随着科学技术的不断发展及生产工艺不断提出新的要求而得到飞速发展的。在控制方法上,主要是从手动控制到自动控制;在控制功能上,是从简单的控制设备到复杂的控制系统;在操作方式上,由笨重到轻巧;在控制原理上,从有触点的继电器接触式控制系统到以计算机为核心的“软”控制系统。随着新的电器元件的不断出现和计算机技术的发展,电气控制技术也在持续发展。现代电气控制技术正是综合了计算机、自动控制、电子技术和精密测量等许多先进科学技术成果,并得到飞速发展。

工业生产的各个领域,无论是过程控制系统还是电气控制系统,都有大量的开关量和模拟量信号。开关量又称为数字量,如电动机的启停、阀门的开闭、电子元件的置位与复位、按钮及位置检测开关的状态和定时器及计数器的状态等。模拟量又称为连续量,如温度、流量、压力和液位等。实现电气控制系统的各种控制功能就要按一定的逻辑规则对这些信号进行处理。

20世纪70年代以前,电气自动控制的任務基本上都由继电器接触式控制系统完成。该系统主要由继电器、接触器和按钮等组成,它取代了原来的手动控制方式。由于这种控制系统具有结构简单、价格低廉、抗干扰能力强等优点,所以当时使用得十分广泛,至今仍在许多简单的机械设备中应用。但这种控制系统的缺点也是非常明显的,它采用固定的硬接线方式来完成各种控制逻辑,实现系统的各种控制功能,所以灵活性差;另外,由于机械式的触点工作频率低,易损坏,因此可靠性低。

社会的发展和进步对各行各业均提出了越来越高的要求。制造业企业为了提高生产效率和市场竞争力,采用了机械化流水线作业的生产方式,对不同的产品零件分别组成自动生产线。产品不断地更新换代的同时,也要求相应的控制系统随之改变。因为硬连接方式的继电器接触式控制系统成本高,设计、施工周期长,在这种情况下,就不能满足控制系统经常更新的要求了。

随着大规模集成电路和微处理器的发展和应用,在1969年出现了世界上第一台以软件手段来实现各种控制功能的革命性控制装置——可编程序逻辑控制器(PLC)。它把计算机的功能完备、通用性和灵活性好等优点和继电器接触式控制系统的操作方便、简单易懂、价格低廉等优点结合起来,因此它是一种适应于工业环境的通用控制装置。后来的可编程序控制器陆续

增加和完善了算术运算、数据转换、过程控制、数据通信等功能,可以完成大型而且复杂的控制任务。可编程控制器作为工业自动化的技术支柱之一,在工业自动控制领域占有十分重要的地位。

学习现代电气控制技术,还需要学习在工业自动化控制系统普遍使用的其他控制装置,如变频器和人机界面等。变频器在运动控制和调速系统中发挥出不可替代的作用,而人机界面 HMI 在 PLC 控制系统中的参数设定和实时显示方面扮演着重要角色。

现在电气控制系统中越来越多地融入了过程控制的内容,如压力、流量、温度、物位等模拟量参数,以及 PID 控制等参数也经常出现,有的还占有相当大的比例,所以学习电气控制技术,还要结合一些过程控制的知识。

数控技术也是电气自动控制的一个重要分支。它综合了计算机、自动控制、伺服驱动系统、精密检测与新型机械结构等多方面的最新技术成就。机电一体化、机电光仪一体化等交叉学科的发展,使得数控技术也得到了飞速的发展。因此,在机械制造、电气控制及自动控制领域内相继出现了直接数字(DDC)系统、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(SIMS)、综合运用计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、集散控制系统(DCS)、智能机器人和智能制造等高新技术。这些高新技术把整个自动控制和自动制造技术推到了更高的水平。

说到自动控制技术的发展,必须提及现场总线控制系统(Fieldbus Control System, FCS)。FCS 是在计算机网络技术、通信技术和微电子技术飞速发展的基础上,与自动控制技术相结合的产物。它是继集散控制系统(DCS)之后的新一代控制系统,也是现代工业自动化技术的研究开发和应用热点之一。现场总线是用于现场仪表、设备之间以及现场与控制系统之间的一种全数字、双向串行、多节点的通信系统。它把具有数字计算和通信能力的现场仪表和执行器件连接成网络系统,按公开、规范的通信协议,在现场与上位机或网络之间实现数据传输和信息交换,FCS 适应了工业自动控制系统向分散化、智能化和网络化发展的方向,它的出现导致了传统的自动化仪表和控制系统在结构和功能上的重大变革。电气控制系统作为 FCS 中底层网络的重要组成部分,要求新型的检测器件、执行器件和智能控制器(如 PLC)必须具备和现场总线通信的能力。FCS 的发展和越来越多的应用宣告了工业自动控制系统一个革命性时代的到来。

最后,还想给大家介绍一下在工业自动化技术发展历程中的一项重要成果 IEC 61131-3/IEC 61944。

我们知道不同公司的 PLC,甚至是同一家公司不同系列的 PLC,它们的编程语言、编程方法和规定都存在着这样或那样的区别,这给广大技术人员和一般的操作者带来了极大的不便,同时也为 PLC 在使用上的开放性、互换性设置了障碍。IEC 61131-3 标准最开始是为规范 PLC 的编程方法而制定的,但现在其作用和意义已远远超出了这个范围。它现在还全面地指导着其他的可编程工业控制设备,如回路调节器、DCS 和现场总线控制系统。PLCopen 这个国际组织负责 IEC 61131-3 的推广等工作。

IEC 61131-3 标准的目的在于使 PLC 编程标准化、简单化,减轻用户重复学习的负担,同时也能更好地把 PLC 和 DCS 融合到一起。现场总线的程序设计和标准程序功能块都是用 IEC 61131-3 来实现的。为了适应向网络化、分布式控制系统发展的编程需要,IEC 制定 IEC 61499 标准作为 IEC 61131-3 的补充。IEC 61499 标准对系统分层的模型是“系统—设备—资源—应用—功能块”,它可以完成以图形方式显示程序的拓扑分布、程序的总体结构以及

与分布式自动化项目中其他部分的互连等任务。

关于现场总线技术及应用方面的知识,请参考作者的另外一本力作《现场总线技术及应用教程》(第3版)。

2. 本课程的性质、内容和任务

(1) 本课程的性质

- ① 是一门实用性很强的课程;
- ② 是电气工程师的基础课程;
- ③ 是连接未来自动控制技术的基础课程。

电气控制技术在生产过程、科学研究和其他各个领域的应用十分广泛。本课程的主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,讲解继电器接触式控制系统和可编程序控制器控制系统的工作原理、设计方法和实际应用。

学好 PLC 非常重要,因为它是现代电气控制技术的基础,掌握了最基础的东西,其他相关知识也就容易学习了。另外学好 PLC 也可以为学习现场总线技术、实时以太网技术打下坚实基础。

本课程的重点是可编程序控制器,但这并不意味着继电器接触式控制系统就不重要了。这是因为:首先,继电器接触式控制在简单的电气系统中还普遍使用,而且它是组成电气控制系统的基础;其次,尽管可编程序控制器取代了继电器,但它取代的主要是逻辑控制部分,而电气控制系统中的信号采集和输出驱动部分仍然要由电气元器件及控制电路来完成。所以对继电器接触式控制系统的学习是非常必要的。

该课程的目标是让学生掌握一门非常实用的技术,培养和提高学生的实际应用和动手能力。在国家日益重视“工程师”培养的今天,本课程显得更为重要。

(2) 学习本课程的具体要求

① 熟悉常用控制电器的工作原理和用途,达到正确使用和选用的目的,同时要了解一些新型元器件的用途。

② 熟练掌握电气控制线路的基本环节,掌握电气控制线路的简单设计法并具备阅读和分析电气控制线路的能力,使之能设计简单的电气控制线路,熟悉电气设备及常用器件的图形符号和文字符号的新国家标准。

③ 熟悉可编程序控制器的基本概况,深刻领会可编程序控制器的工作原理。

④ 熟练掌握可编程序控制器的基本指令系统和典型电路的编程,掌握可编程序控制器的程序设计方法;熟练掌握功能图的编程方法。熟悉可编程序控制器功能指令的使用。

⑤ 掌握和了解可编程序控制器的网络和通信原理,会编制简单的通信程序。

⑥ 掌握 HMI 和变频器的使用。

⑦ 了解可编程序控制器的实际应用程序的设计步骤和方法。

第 1 章 电气控制系统常用器件

本章重点

- 电器基本知识、电磁机构工作原理
- 常用低压电器(接触器、继电器、断路器、主令电器等)工作原理
- 常用执行电器和检测仪表

低压电器、传感器和执行器件是工业电气控制系统的基本组成元件。本章主要介绍常用低压电器的结构、工作原理以及使用方法等有关知识;同时根据电器发展状况,介绍一些新型电器元件;最后对一些常用的检测、执行器件进行简单的介绍,使大家对工业电气自动化系统先建立起一个感性的认识,以便后续章节的学习。不管电气控制系统发展到什么水平,本章所讲解和介绍的内容都是其最基础的必不可少的组成部分。

1.1 电器的基本知识

1.1.1 电器的定义和分类

电器就是根据外界施加的信号和要求,能手动或自动地断开或接通电路,断续或连续地改变电路参数,以实现对电或非电对象的切换、控制、检测、保护、变换和调节的电工器械。低压电器通常指工作在交流电压 1 200 V 以下、直流电压 1 500 V 以下的电器。采用电磁原理完成上述功能的低压电器称做电磁式低压电器。

电器的种类很多,分类方法也很多。常见的分类方法如图 1-1 所示。

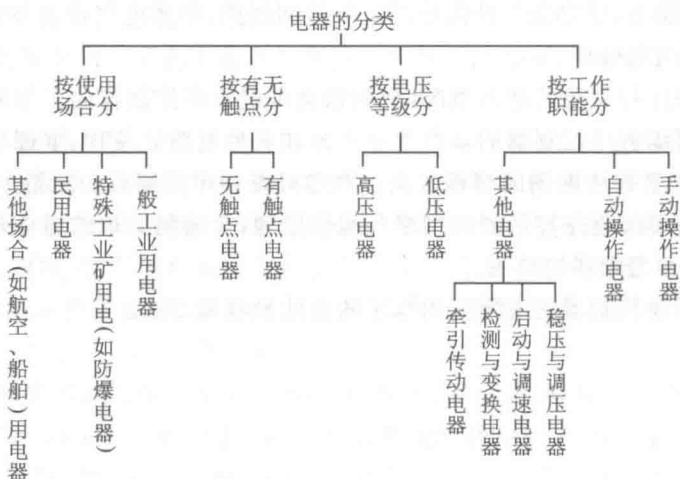


图 1-1 电器的分类