

高等院校电气信息类规划教材

电气控制与 S7-300 PLC 原理及应用

张军 樊爱龙 主编 何学俊 姜连志 副主编



化学工业出版社

高等院校电气信息类规划教材

电气控制与 S7-300 PLC 原理及应用

张 军 樊爱龙 主 编
何学俊 姜连志 副主编



化学工业出版社

本书从工程应用的角度出发,突出应用性和实践性,介绍了常用低压电器、继电器—接触器控制系统、PLC 的结构和工作原理、S7-300 的指令系统及编程、S7 系列结构化程序设计、S7 的组织块和中断处理、WinCC 简介和 S7-300 系列 PLC 应用设计。通过大量有针对性的工程实例,详尽介绍工程上常用的 PLC 控制系统的设计思想、设计步骤及设计方法。

本书可作为高等院校工业电气自动化、机电一体化、计算机应用等相关专业的教学用书。对于广大电气工程技术人员来说,也是一本非常有价值的参考书和技术手册。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 S7-300 PLC 原理及应用 / 张军, 樊爱龙主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 11

高等院校电气信息类规划教材

ISBN 978-7-122-22032-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 235804 号

责任编辑: 刘青 王听讲

装帧设计: 张辉

责任校对: 宋玮

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 437 千字 2015 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

自动控制技术在各行业的应用越来越广泛，构成自动控制的控制器 PLC 技术也成为自动化相关专业很重要的核心内容。但 PLC 不是一个独立使用的器件，它必须与传感器、电气控制主电路、人机界面等设备配合使用，才能构造功能齐全、方便的自动控制系统。很多高校将“低压电气控制技术”和“PLC 原理及应用”两门紧密相关的课程合并成一门课程，本书正是在充分考虑电气控制技术的实际应用和发展的情况下而编写的。

本书共分为 4 个部分：低压电气控制技术、PLC 部分、WinCC 基本功能概述及附录。

在低压电气控制技术部分，主要介绍常用低压电器及其控制电路。在控制电路中介绍了常用的交直流电机的启动、制动及简单调速控制线路，同时较为详细地讲述了绘制电气原理图的原则、方法及注意事项。

在 PLC 部分，重点介绍了 S7 家族的 S7-300 PLC 的硬件组态、指令系统、中断控制、现场总线以及结构化编程工程应用。

在 WinCC 基本功能概述部分，简单介绍了 WinCC 的基本功能及组成，较为详细地讲述了通过变量编辑器和图形编辑器构成简单 WinCC 组态监控画面的过程。

附录部分涉及 3 个部分的内容，首先介绍了 3 种其他常用 PLC 机型的指令系统；然后，列出了 S7-300 PLC 的语句表指令功能表，以便查找和应用；最后，重点讲述了本书以上部分所涉及的相关实验。只有将理论与实验相结合，才能掌握本门课的精髓。

本书由辽宁科技学院张军、樊爱龙主编，何学俊、姜连志副主编。张军负责编写绪论和第 5 章、第 6 章和第 7 章，樊爱龙负责编写第 2 章、第 3 章和第 4 章，何学俊负责编写第 8 章和第 9 章，姜连志负责编写第 10 章及附录。书中部分内容的编写参照了有关文献，恕不一一列举，谨对书后所有参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请广大专家、同仁、读者批评指正。

编 者

2014 年 11 月

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 电气系统的接触器—继电器控制	1	1.2.2 PLC 控制的基本原理	3
1.2 电气系统的 PLC 控制	2	1.2.3 PLC 的生产厂家	4
1.2.1 PLC 的由来	2	1.3 PLC 控制的意义、要求及课程任务	5

第 2 章 常用低压电器

2.1 低压电器的作用与分类	7	2.4.3 熔断器的安秒特性	20
2.1.1 电器的定义及作用	7	2.4.4 熔断器的选择	21
2.1.2 低压电器的分类	7	2.4.5 图形符号、文字符号及型号	21
2.2 电磁式低压电器	7	2.5 低压断路器	22
2.2.1 电磁式电器的基本构成	8	2.5.1 用途	22
2.2.2 电磁式接触器	11	2.5.2 结构与工作原理	22
2.3 继电器	13	2.5.3 图形符号、文字符号及型号 含义	22
2.3.1 电磁式继电器	13	2.6 低压隔离器	23
2.3.2 热继电器	15	2.6.1 刀开关	23
2.3.3 时间继电器	16	2.6.2 组合开关	23
2.3.4 速度继电器	17	2.7 主令电器	24
2.3.5 液位继电器	18	2.7.1 控制按钮	24
2.3.6 温度继电器	19	2.7.2 位置开关	25
2.3.7 压力继电器	20	本章小结	26
2.4 熔断器	20	习题	27
2.4.1 用途	20		
2.4.2 熔断器的结构与工作原理	20		

第 3 章 继电器—接触器控制系统

3.1 电气控制线路的图形符号、文字符号及 绘制原则	28	规律	33
3.1.1 常用电气设备图形符号和文字 符号	28	3.2.1 电气联锁控制规律	34
3.1.2 电气控制线路图的绘制原则	31	3.2.2 控制过程变化参数的控制规律	35
3.1.3 电气原理图	31	3.3 三相笼型异步电动机的常用控制 电路	37
3.1.4 电气元件布置图	32	3.3.1 全压启动控制线路	37
3.1.5 电气安装接线图	32	3.3.2 降压启动控制线路	41
3.2 继电器—接触器控制电路组成的基本 规律	33	3.3.3 三相异步电动机的制动控制线路	44

3.3.4 异步电动机调速控制线路	48	3.6.1 采用查线阅读分析法阅读、分析电气原理图的步骤	60
3.4 其他典型控制环节	53	3.6.2 电气原理图阅读和分析举例	61
3.4.1 直流电动机常用控制电路	53	本章小结	62
3.4.2 三相绕线电机启动控制	56	习题	62
3.5 电气控制线路的常用保护环节	58		
3.6 电气控制线路的阅读和分析方法	60		

第4章 PLC的结构和工作原理

4.1 PLC的基本结构	64	4.4 SIMATIC S7-300 PLC的硬件组成及硬件组态	75
4.1.1 PLC的硬件系统	64	4.4.1 S7-300系列PLC系统硬件组成	75
4.1.2 可编程控制器的软件系统	68	4.4.2 S7-300的模块简介	76
4.2 PLC的工作原理	69	4.4.3 S7-300系列PLC的编程元件	83
4.2.1 PLC的等效工作电路	69	4.4.4 S7-300的组态	86
4.2.2 PLC的工作过程	70	本章小结	92
4.3 PLC的编程语言和程序结构	71	习题	93
4.3.1 PLC的编程语言	71		
4.3.2 PLC的程序结构	73		

第5章 S7-300的指令系统及编程

5.1 指令及其结构	94	5.5.1 算术运算指令	126
5.1.1 指令的组成	94	5.5.2 字逻辑运算指令 (Word Logic)	130
5.1.2 操作数	95	5.5.3 数据运算指令应用举例	131
5.2 位逻辑指令	95	5.6 移位指令	132
5.2.1 位逻辑运算指令	95	5.6.1 移位指令 (Shift/Rotate) 简介	132
5.2.2 位操作指令	97	5.6.2 移位指令应用 (编辑步进架)	134
5.2.3 跳变沿检测指令	103	5.7 累加器操作和地址寄存器指令	136
5.3 定时器与计数器指令	105	5.8 控制指令	138
5.3.1 定时器指令 (Timers)	105	5.8.1 逻辑控制指令	138
5.3.2 时钟存储器 (Clock Memory)	113	5.8.2 程序控制指令	143
5.3.3 计数器指令 (Counter)	115	5.8.3 主控继电器指令	144
5.3.4 定时器与计数器的配合使用	120	本章小结	146
5.4 数据处理功能指令	120	习题	146
5.4.1 装入和传送指令 (MOV)	120		
5.4.2 转换指令 (Converter)	122		
5.5 运算指令	126		

第6章 S7系列结构化程序设计

6.1 结构化编程	149	6.2.1 变量声明表 (局部数据)	152
6.2 功能块的编程及调用	152	6.2.2 功能块的编辑及调用举例	154

6.3 程序结构化设计应用举例	156	本章小结	163
6.3.1 程序结构设计	156	习题	164
6.3.2 程序设计实例	157		

第 7 章 S7 的组织块和中断处理

7.1 组织块概述	166	7.4.2 异步故障中断组织块	174
7.2 循环执行的组织块	166	7.4.3 同步故障中断 (OB121、	
7.3 定期执行的组织块和中断处理	167	OB122)	176
7.3.1 日期时间中断	167	7.5 启动组织块和中断处理	176
7.3.2 循环中断组织块 (OB30~		7.6 背景组织块	177
OB38)	170	本章小结	178
7.4 事件驱动的组织块和中断处理	173	习题	178
7.4.1 延时中断组织块	173		

第 8 章 PLC 的通信及网络

8.1 PLC 网络基础	179	8.4 PROFIBUS 现场总线	184
8.1.1 PLC 网络含义	179	8.4.1 PROFIBUS 的结构与硬件	184
8.1.2 PLC 网络的结构	179	8.4.2 S7 系统中的 PROFIBUS-DP 及	
8.2 PLC 通信简介	180	组态	186
8.2.1 基本概念和术语	180	8.5 AS-I 总线	190
8.2.2 串行通信接口标准	181	8.5.1 AS-I 概述	190
8.2.3 开放系统互连模型	182	8.5.2 AS-I 主站模板 CP343-2	191
8.3 西门子 PLC 网络	183	本章小结	202
8.3.1 生产金字塔结构模型	183	习题	203
8.3.2 西门子的几种通信网络	184		

第 9 章 WinCC 简介

9.1 WinCC 概述	204	ement)	210
9.2 组态第一个 WinCC 工程	205	9.3.2 创建和编辑变量	211
9.2.1 建立项目	205	9.4 创建过程画面	212
9.2.2 组态项目	206	9.4.1 WinCC 图形编辑器	212
9.2.3 WinCC 运行	208	9.4.2 使用图形、对象和控件	213
9.2.4 使用变量模拟器	209	9.4.3 使用图形编辑器的一些例子	216
9.3 组态变量	210	本章小结	220
9.3.1 变量管理器 (Tag Manag-		习题	220

第 10 章 S7-300 系列 PLC 应用系统设计

10.1 PLC 应用系统设计的内容和		10.2 PLC 应用系统的硬件设计	224
步骤	221	10.2.1 PLC 选型	224
10.1.1 系统设计的原则与内容	221	10.2.2 PLC 容量估算	226
10.1.2 系统设计和调试的主要步骤	222		

10.2.3 I/O 模块的选择	226	10.3.2 PLC 应用系统的软件设计	
10.2.4 分配输入/输出点	227	步骤	229
10.2.5 外部接线设计	227	10.4 PLC 应用系统设计实例	230
10.2.6 安全回路设计	228	本章小结	234
10.3 PLC 应用系统的软件设计	228	习题	235
10.3.1 PLC 应用软件设计的内容	228		

附录 A 其他主要 PLC 型号及指令介绍

A.1 三菱 PLC 简介	236	A.3 西门子 S7-200PLC 简介	240
A.2 欧姆龙 PLC 简介	238		

附录 B STEP7 语句表指令一览表

附录 C 实验指导书

实验一 STEP7 编程软件的熟悉及基本		实验六 移位指令练习	255
指令联系	249	实验七 数据处理指令练习	256
实验二 异步电动机可逆运行控制	250	实验八 结构化编程应用	257
实验三 异步电动机 Y- Δ 降压启动		实验九 S7-300 组织块与中断	257
控制	252	实验十 现场总线应用	258
实验四 异步电动机反接制动控制	253	实验十一 简单的 WinCC 项目的组态和	
实验五 定时器、计数器功能实验	254	监控	259

参考文献

第 1 章 绪 论

本章介绍电气控制与 PLC 控制技术的基本知识和基本问题，为学习本课程奠定基础。首先，沿着电气控制的发展，简介典型的电气控制线路的接触器—继电器控制线路的基本知识；然后，重点讲述 PLC 控制方式的发展历程、系统组成及基本控制理念；最后，扼要说明电气控制与 PLC 控制技术的意义、发展、要求及本课程需要完成的任务。

1.1 电气系统的接触器—继电器控制

电气控制技术是将以各类电动机为动力的传动装置与系统作为对象，用于实现生产过程自动化的控制技术。电气控制系统是其中的主干部分，在国民经济各行业中的许多部门得到广泛应用，是实现工业自动化的重要手段。

自 1836 年发明电磁继电器以来，人们就开始用导线把各种继电器、接触器、定时器、计数器及其接点和线圈连接起来，并按一定的逻辑关系控制各种生产机械。这种以硬件接线方式构成的继电器—接触器控制系统，至今仍然使用。

继电器—接触器控制系统至今仍是许多生产机械设备广泛采用的基本电气控制形式，也是学习更先进电气控制系统的基础。它主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成。由于其控制方式是断续的，故称为断续控制系统。它具有控制简单、方便实用、价格低廉、易于维护、抗干扰能力强等优点。但其接线方式固定，灵活性差，难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要，且工作频率低，触点易损坏，可靠性差。三相笼型异步电动机正反转控制电气原理图如图 1-1 所示。

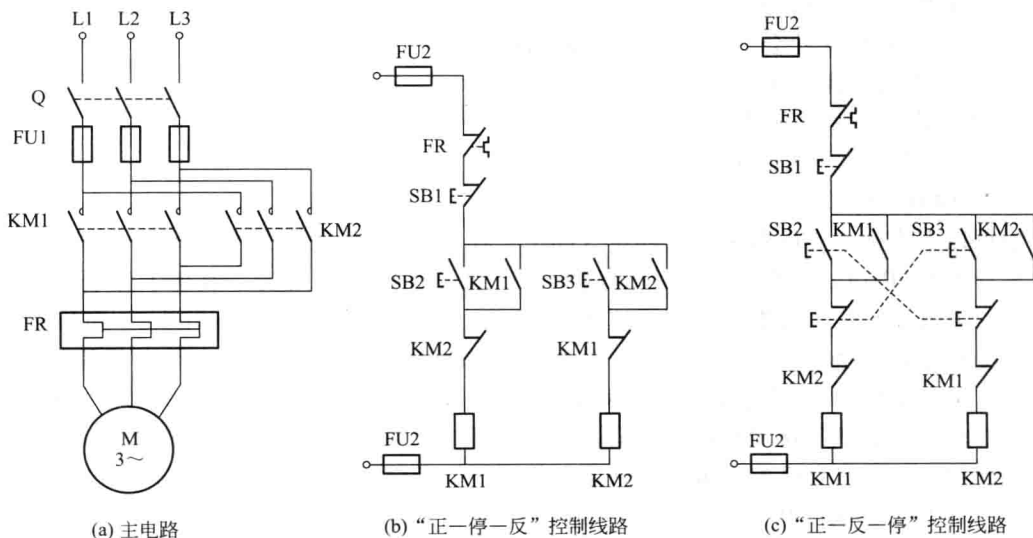


图 1-1 三相笼型异步电动机正反转控制电气原理图

接触器—继电器控制方式具有控制简单、方便实用、价格低廉、易于维护、抗干扰能力强等优点。以各种继电器为主要元件的电气控制线路，占据了半个多世纪的生产过程自动控

制主导地位。但是,继电器控制系统的缺点是显而易见的,即体积庞大,可靠性差,响应慢,功耗高,噪音大,功能简单,配线复杂而固定,不易检查和维修。这些缺点在 20 世纪 60 年代的汽车生产工业凸显出来,如图 1-2 所示。

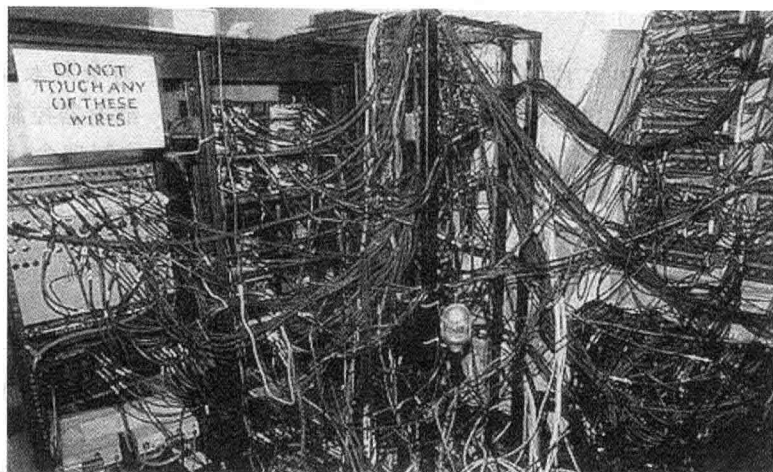


图 1-2 继电器复杂的接线

1.2 电气系统的 PLC 控制

1.2.1 PLC 的由来

1968 年,美国最大的汽车制造商——通用汽车公司(GM)为满足市场需求,适应汽车生产工艺不断更新的需要,将汽车的生产方式由大批量、少品种,转变为小批量、多品种。为此,要解决因汽车不断改型而重新设计汽车装配线上各种继电器的控制线路问题,需要寻求一种比继电器更可靠,响应速度更快,功能更强大的通用工业控制器。GM 公司提出了著名的 10 条技术指标在社会上招标,其核心为以下 4 点:

- ① 用计算机代替继电器控制盘。
- ② 用程序代替硬件接线。
- ③ 输入/输出电平可与外部装置直接连接。
- ④ 结构易于扩展。

根据以上指标,美国数字设备公司(DEC)在 1969 年研制出世界上第一台可编程控制器,型号为 PDP-14,并在 GM 公司的汽车生产线上首次应用成功,取得了显著的经济效益。当时人们把它称为可程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller,简称 PLC)。

可编程控制器这一新技术的出现,受到全球工程技术界的极大关注,各公司纷纷投入力量研制。第一个把 PLC 商品化的是美国的哥德公司(GOULD),时间也是 1969 年。1971 年,日本从美国引进了这项新技术,研制出日本第一台可编程控制器。1973~1974 年,德国和法国相继研制出自己的可编程控制器。德国西门子公司(SIEMENS)于 1973 年研制出欧洲第一台 PLC。我国从 1974 年开始研制,1977 年开始工业应用。

早期的 PLC 主要由分立式电子元件和小规模集成电路组成。它采用了一些计算机的技术,指令系统简单,一般只具有逻辑运算的功能,但它简化了计算机的内部结构,使之能够很好地适应恶劣的工业现场环境。随着微电子技术的发展,20 世纪 70 年代中期以来,由于大规模集成电路(LSI)和微处理器在 PLC 中的应用,PLC 的功能不断增强。它不仅能执

行逻辑控制、顺序控制、计时及计数控制，还增加了算术运算、数据处理、通信等功能，具有处理分支、中断、自诊断的能力，使得 PLC 更多地具有了计算机的功能。目前世界上著名的电气设备制造厂商几乎都生产 PLC 系列产品，并且使 PLC 作为一种独立的工业设备，成为主导的通用工业控制器。

可编程控制器从产生到现在，尽管只有四十几年的时间，由于其编程简单、可靠性高、使用方便、维护容易、价格适中等优点，发展迅猛，在冶金、机械、石油、化工、纺织、轻工、建筑、运输、电力等部门广泛应用。

1.2.2 PLC 控制的基本原理

PLC 控制系统的等效工作电路分为 3 个部分，即输入部分、内部控制电路部分和输出部分。输入部分的功能是采集输入信号，输出部分是系统的执行部件。这两部分与继电器控制电路相同。内部控制电路是通过编程方法实现的控制逻辑，用软件编程代替继电器电路的功能。其等效工作电路如图 1-3 所示。

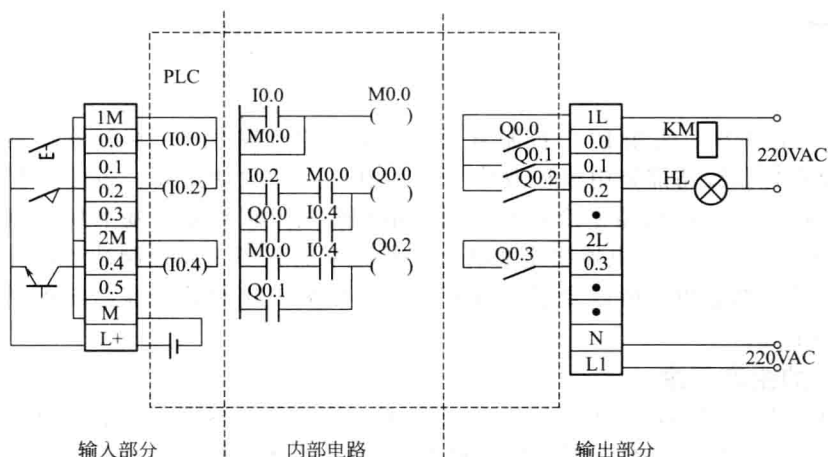


图 1-3 PLC 的等效工作电路

(1) 输入部分

外部输入信号经 PLC 输入接线端子驱动输入继电器的线圈。当外部的输入元件处于接通状态时，对应的输入继电器逻辑为“1”（线圈“得电”）；输入回路使用的电源可以采用 PLC 内部提供的 24V 直流电源（其带负载能力有限），也可由 PLC 外部独立的交流或直流电源供电。

需要强调的是，输入继电器的线圈只能由来自现场的输入元件（如控制按钮、行程开关的触点、各种检测及保护器件的触点或动作信号等）驱动，而不能用编程的方式来控制。因此，在梯形图程序中，只能使用输入继电器的触点，不能使用输入继电器的线圈。

(2) 内部控制电路部分

所谓内部控制电路，是指由用户程序来代替硬件继电器的控制逻辑。它的作用是按照用户程序规定的逻辑关系，对输入信号和输出信号的状态进行检测、判断、运算和处理，得到相应的输出。

(3) 输出部分

输出部分是由在 PLC 内部，且与内部控制电路隔离的输出继电器的外部动合触点、输出接线端子和外部驱动电路组成，用来驱动外部负载。

(4) PLC 实现的正反转控制

PLC 支持多种编程语言，其中梯形图语言与继电器控制系统线路图的基本思想是一致

的，只是在使用符号和表达方式上有一定区别，而且各个厂家 PLC 梯形图的符号存在差别，但总体来说大同小异。由 S7-300 PLC 控制的电动机正反转控制线路如图 1-4 所示。

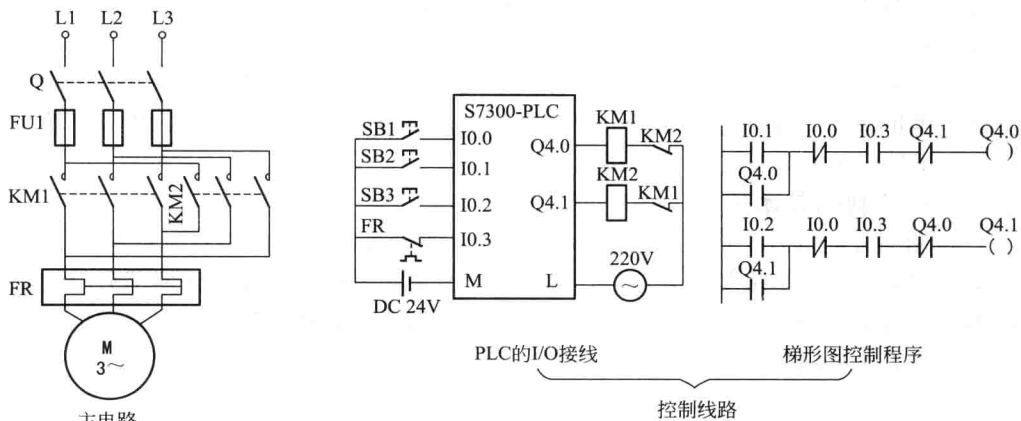


图 1-4 用 S7-300 PLC 实现的正反转控制

由图 1-4 可以看出，采用 PLC 控制方式，保留了原有继电器—接触器控制方式的主电路部分，只是在控制线路部分用编程取代了各种电气元件的硬接线。还可以看出，在 PLC 中通用的梯形图语言与继电器—接触器控制线路在形式上很相似，基本具有相同的逻辑关系。即 PLC 是在接触器—继电器线路基础上发展起来的新型工业控制装置，并继承了原有的主电路及相关控制思想。所以要想学习 PLC，一定要对接触器—继电器控制线路进行较全面的了解和掌握。

1.2.3 PLC 的生产厂家

PLC 的生产厂家很多，每个厂家生产的 PLC，其点数、容量、功能各有差异，但都自成系列，指令及外设向上兼容。因此在选择 PLC 时，若选择同一系列的产品，可以使系统构成容易，操作人员使用方便，备品配件的通用性及兼容性好。

(1) 西门子的可编程控制器

德国西门子公司是世界上生产 PLC 的主要厂商之一，其产品涵盖了微型、小型、中型和大型等各种类型的 PLC。西门子的产品不断推陈出新，目前主要流行 SIMATIC S7-200、SIMATIC S7-300 和 SIMATIC S7-400 等三大系列 PLC 产品。

S7-200 系列 PLC 是紧凑型可编程控制器，系统由 CPU 模板（主机）和各种功能丰富的扩展模块组成。CPU 模块包括 CPU221、CPU222、CPU224、CPU226 和 CPU226XM。S7-200 系列 PLC 功能强大，应用领域极为广泛，适用于各行各业、各种场合中的检测、监控及控制自动化，是各种小型控制任务理想的解决方案。S7-200 PLC 是小型 PLC 中的佼佼者。

S7-300 系列 PLC 具有紧凑的、无槽位限制的模块化、无排风扇结构，它能满足中等性能要求的应用。系统基本组成为：电源模块 PS、CPU 模块、接口模块 IM、信号模块 SM、通信处理器 CP、功能模块 FM 等。各种单独的模块之间可以广泛组合，以满足不同的控制要求。

S7-400 PLC 是用于中、高档性能范围的 PLC。由于采用冗余技术，其可靠性极高；模块化无风扇的设计，使其坚固耐用；它易于扩展，并具有强大的通信能力，容易实现分布式结构以及简洁、友好的操作。它是中、高档性能控制领域中首选的理想解决方案。

总之，西门子的 PLC 以其极高的性价比在我国占据了最大的市场份额。

(2) AB公司的可编程控制器

在国际自动控制领域中享有盛名的 AB (Allen Bradley) 公司是世界上最大的 PLC 生产商之一。20 世纪 90 年代初期, AB 公司就占领了美国国内 PLC 市场销售总额的 50%。AB 公司提供各种类型的 PLC, 以适应从单机到大型工厂自动化方面的不同需求。丰富的指令集和强大的软件功能以及灵活方便的扩展功能, 是 AB 公司 PLC 的显著特点。

(3) 通用电气公司的可编程控制器

美国通用电气公司是世界上最早研制和生产 PLC 的主要厂商之一。其 PLC 产品的主要系列有: 90-Micro PLC (小型 PLC)、Field Control IO、Genius IO 系统、90-30PLC (中型 PLC) 和 90-70PLC (大型 PLC) 等等。Field Control IO 和 Genius IO 系统可增加 CPU, 成为独立控制器, 最大可扩展 8 个模块, 支持多种网络接口, 可以通过手持编程器组态, 使用灵活。

(4) 施耐德公司的可编程控制器

法国施耐德电气 (Schneider) 公司也是世界上最早研制和生产 PLC 的主要厂商之一。它拥有 160 多个世界发明专利, 其产品包括小型、中型和大型 PLC。最大 I/O 点数的范围为 24~3100 点。

NANO 系列属于小型 PLC, 本地最大数字量 I/O 点数为 24 点, 模拟量通道数为 1AI/1AO, 2 个 RS-485 端口, 总线上最多可带 4 个 NANO, 长度可达 200m。Momentum 开放系统是高性价比的分布式 I/O, 可安装 CPU, 成为独立控制器, 固定式模板设计有多种型号可选, 最大 I/O 点数 32 点, 或 4AI/2AO 和 4DI/DO。Momentum 可连接在不同网络上, 成为分布式 I/O 或从站。面向应用的 COMPACT 系列属于中型 PLC, 最大 I/O 点数为 512 点。

(5) 三菱公司的可编程控制器

日本三菱公司是世界上生产 PLC 产品的主要厂商之一。该公司研制的 PLC 在产品微型化及低成本方面颇具特色。早在 1981 年, 三菱公司就推出了 F 系列 PLC。之后, 公司陆续推出了功能更强的 F1、F2 系列 PLC, K 系列 PLC 和 A 系列 PLC, 以及 FX 系列 PLC 产品。

(6) 立石公司的可编程控制器

日本欧姆龙 (OMRON) 公司是世界上生产 PLC 的著名企业之一, 其销售额在日本仅次于三菱公司而位居第二。该公司生产的 PLC 产品有早期的 C20、C40P、C120、C200H 等型号, 还有近期的 CPM1A、CPM2A、CP1E、CP1H 及 CJ 系列机型。其控制点数从微型的十几点, 到大型系统的最大控制点数达 2048 点。

1.3 PLC 控制的意义、要求及课程任务

在自动化领域, 可编程控制器与 CAD/CAM、工业机器人并称为加工业自动化的三大支柱, 其应用日益广泛。可编程控制器技术是以硬接线的继电器—接触器控制为基础, 逐步发展为既有逻辑控制、计时、计数, 又有运算、数据处理、模拟量调节、联网通信等功能的控制装置。它可通过数字量或者模拟量的输入、输出, 满足各种类型机械控制的需要。可编程控制器及有关外部设备, 均按既易于与工业控制系统联成一个整体, 又易于扩充其功能的原则设计。可编程控制器成为生产机械设备中开关量控制的主要电气控制装置。

目前在国内 PLC 市场上, 各供应商在产品规模上的组合定位是不同的。比如, 三菱公司重点定位是在微型和小型 PLC 市场, 而且试图以大规模的销售和广泛的服务网络来达成

低廉的成本；西门子公司重点在工厂集成能力、广泛的产品范围和电子商务能力的整合；欧姆龙公司在中型以下 PLC 市场取得了领先地位；罗克韦尔公司瞄准大型高端市场，定位于从工厂底层到管理顶层的制造业解决方案提供商；日本光洋公司集中于微型和小型 PLC，但在 PC 兼容的 PLC 方面也有不俗表现；施耐德公司专注于为用户提供完整的集成方案，产品建立在中型和大型 PLC 上，它对于过程工业有深入的了解，并提供完整的解决方案。

各个厂家的 PLC 语言及硬件互不兼容，但编程思想基本相同，指令意义也基本相同，只是各有不同的编程环境、编程语言及表达方式。只要对一种 PLC 控制有较全面的了解，就可以举一反三，触类旁通。

本课程是一门实用性很强的专业课，主要以电动机或其他执行电器为控制对象，介绍接触器—继电器控制系统和 S7-300 PLC 控制系统的工作原理、指令系统功能及应用。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，这是教学的重点所在。但是，一方面，接触器—继电器控制系统由于自身在不断发展，并且功能日益强化，使其在今后的电气控制技术中仍然占有相当重要的地位；另一方面，PLC 是计算机技术与接触器控制技术相结合的产物，PLC 的输入、输出仍然与低压电器相关，而且 PLC 控制只替代了接触器—继电器控制系统的控制线路部分，原有的主电路基本保留。因此，掌握接触器—继电器控制技术是学习和掌握 PLC 应用技术必需的基础。考虑到 PLC 的应用完整性，本书将用较少的篇幅介绍与 S7-300 配合应用的组态软件 WinCC 的基本功能，较全面、系统地构建起 PLC 控制系统的知识体系。同时，本书在附录部分设置了和 PLC 控制系统相关的实验项目。通过实验、实训，便于学生更全面地掌握 PLC 控制系统的编程方法及调试方法，为今后从事电气控制技术工作奠定基础。

第 2 章 常用低压电器

本章主要讲述接触器、继电器、熔断器、低压断路器、低压隔离器、主令电器等低压电器的用途、基本结构、工作原理及其主要参数和图形符号，以便后续章节灵活运用。

2.1 低压电器的作用与分类

2.1.1 电器的定义及作用

凡是能自动或手动接通或断开电路，以及对电路或非电对象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气元件系统统称为电器。由此定义可以看出，电器的作用是接通和断开电路，对电路或非电路对象进行切换、控制、保护、检测、变换和调节。

电器的种类繁多，构造各异。根据其工作电压的高低，分为高压电器和低压电器。1985年我国修订的低压电器标准规定：交流电压为 1200V，直流电压为 1500V 以下者，属低压电器。《低压配电设计规范》GB50054—2011 规定：交流电压为 1000V，直流电压为 1500V 及以下者，属低压电器。

2.1.2 低压电器的分类

(1) 按动作原理分

① 手动电器：指需要人直接操作才能完成指令任务的电器，如按钮、转换开关、隔离开关等。

② 自动电器：指不需要人操作，而是按照电信号或非电信号自动完成指令任务的电器，如接触器、继电器、电磁阀等。

(2) 按应用场合分

分为一般工业用电器、特殊工矿用电器（如防爆电器）、农用电器、其他场合用电器（如航空及船舶用电器）。

(3) 按用途分

① 控制电器：用于各种控制电路和控制系统的电器，主要用于电力拖动控制系统，如接触器、继电器电动机启动器等。对这类电器的主要技术要求是有一定的通断能力，操作频率高，电器和机械寿命要长。

② 配电电器：用于输送和分配电能的电器，如刀开关、断路器、隔离开关及母线等。对这类电器的主要要求是分断能力强，限流效果好，动稳定及热稳定性能好。

③ 主令电器：用于自动控制系统中发送控制命令的电器，如按钮、主令开关、转换开关等。对这类电器的主要技术要求是操作频率高，抗冲击，电器和机械寿命要长。

④ 执行电器：用于某种完成动作或传送功能的电器，如电磁阀、电磁离合器等。

⑤ 保护电器：用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器、电压继电器、电流继电器和避雷器等。对这类电器的主要要求是有一定的通断能力，反应要灵敏，可靠性要高。

2.2 电磁式低压电器

电磁式低压电器是低压电器中最典型，也是应用最广泛的一种电器。控制系统中的接触

器和继电器就是两种最常用的电磁式电器。虽然电磁式电器的类型很多,但其工作原理和构造基本相同。其结构大都是由两个主要部分组成,即电磁机构(感应部分)和触头系统(执行部分),还包含灭弧装置和其他辅助部件。

2.2.1 电磁式电器的基本构成

电磁式电器的工作原理是利用电磁铁吸力及弹簧反作用力配合动作,使触头接通或断开。当吸引线圈通电时,铁芯被磁化,吸引衔铁向下运动,使得常闭触头断开,常开触头闭合。当线圈断电时,磁力消失,在反力弹簧的作用下,衔铁回到原来的位置,使触头恢复到原来的状态。

2.2.1.1 电磁机构

电磁机构由线圈、动铁芯(衔铁)和静铁芯组成,其作用是将电磁能转换成机械能,产生电磁吸力,带动触头动作。

电磁机构的结构形式根据铁芯形状和衔铁运动方式,分为三种:衔铁直线运动螺旋式[如图 2-1(a)、(b)、(c)所示]、衔铁绕棱角转动拍合式[如图 2-1(d)所示]、衔铁绕轴转动拍合式[如图 2-1(e)所示]。电磁结构按电磁线圈的种类,分为直流线圈和交流线圈两种。

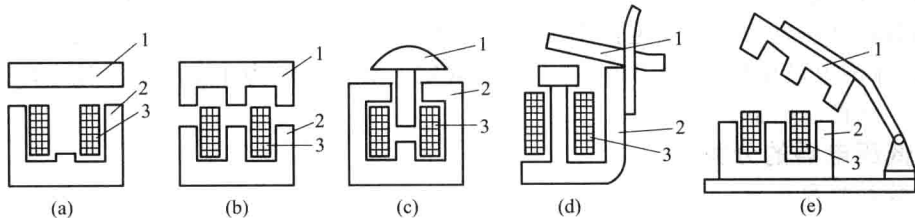


图 2-1 电磁机构

1—衔铁; 2—铁芯; 3—线圈

电磁机构的工作特性常用吸力特性和反力等特性来表示。

(1) 吸力特性

电磁机构的电磁吸力与气隙的关系曲线称为吸力特性。吸力特性随励磁电流的种类(交流或直流)、励磁线圈的链接方式(并联或串联)不同而不同。电磁吸力可近似地按下式求得:

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S$$

式中, F 为吸力特性, B 为气隙磁感应强度, S 为铁芯截面积。

当铁芯截面积 S 为常数时,电磁吸力 F 与 B^2 成正比;也可以认为 F 与气隙磁通 ϕ^2 成正比,即 $F \propto \phi^2$ 。励磁电流的种类对吸力特性有很大的影响。通常,直流电磁铁的铁芯是用整块钢材或工程纯铁制成的,而交流电磁铁的铁芯是用硅钢片叠铆而成。所以,下面对交、直流电磁机构的吸力特性分别讨论。

① 交流电磁机构的吸力特性

如果线圈外加电压 U 不变,交流电磁线圈的阻抗主要决定于线圈的电抗,电阻忽略不计,外加电压 U 近似等于线圈感应电压,则

$$U \approx E = 4.44 f \phi N, \quad \phi = \frac{U}{4.44 f N}$$

当电源频率 f 、电磁线圈匝数 N 和外加线圈电压 U 为常数时,气隙磁通 ϕ 也为常数,则电磁吸力 F 也为常数,即 F 与气隙 δ 大小无关。实际上,考虑到漏磁的影响,电磁吸力 F 随气隙 δ 的减小略有增加,如图 2-2 所示。

由于交流电磁机构的气隙磁通 ϕ 不变, IN 与气隙 δ 成正比变化, 所以 $I \propto \delta$ 。它具有以下特点:

- 交流电磁机构的吸力特性与气隙 δ 大小无关。但考虑到漏磁通的影响, 其吸力幅值随气隙的减小略有增加。

- 衔铁吸合后, 电流很小, 即不需要多大电流, 就可以维持衔铁吸合。

- 衔铁吸合前、后, 线圈电流变化很大。衔铁吸合前, 电流将达到吸合后额定电流的5~6倍(U形结构); E形衔铁铁心结构可高达10~15倍。如果衔铁卡住不能吸合, 或者频繁动作, 线圈可能被烧坏, 故交流接触器不宜频繁动作。

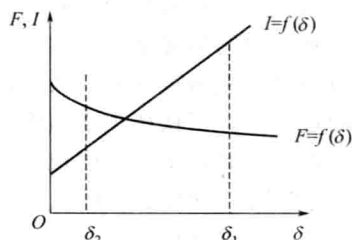


图 2-2 交流电磁机构的吸力特性

② 直流电磁机构的吸力特性

因线圈外加电压 U 和线圈电阻不变, 流过线圈的电流 I 也为常数, 即不受气隙 δ 变化的影响。根据磁路定律,

$$\phi = \frac{IN}{R_m} \propto \frac{1}{R_m}$$

式中, R_m 为气隙磁阻, 则

$$F \propto \phi^2 \propto \frac{1}{R_m^2} \propto \frac{1}{\delta^2}$$

即电磁吸力 F 与气隙 δ 的平方成正比。直流电磁机构的吸力特性如图 2-3 所示。它具有以下特点:

- 衔铁吸合前、后, 吸力变化很大。
- 线圈电流为一个常数, 与气隙大小无关。

在一些要求可靠性较高或操作频繁的场所, 一般不采用交流电磁机构, 而采用直流电磁机构。

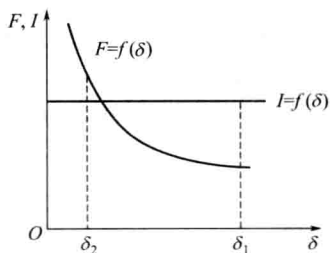


图 2-3 直流电磁机构的吸力特性

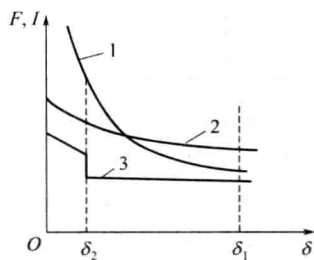


图 2-4 吸力特性和反力特性

1—直流电磁机构的吸力特性曲线; 2—交流电磁机构的吸力特性曲线; 3—反力特性曲线

(2) 反力特性

电磁系统的反作用力与气隙的关系曲线称为反力特性。反作用力包括弹簧力、衔铁自身重力、摩擦阻力等。图 2-4 中所示曲线 3 即为反力特性曲线。

为了保证衔铁能牢牢吸合, 在整个吸合过程中, 吸力必须大于反作用力, 但不能过大或过小。在实际应用中, 可调整反力弹簧或触头压力, 或者改变反力特性, 使之与吸力特性有良好的配合。