



21世纪高等院校电气信息类系列教材

Electrical Information ·
Science and Technology

FX 系列 PLC 编程及应用

第②版

廖常初 主编



附赠电子教案

[http:// www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

FX 系列 PLC 编程及应用

第 2 版

廖常初 主编



机械工业出版社

本书介绍了三菱 FX 系列（包括 FX_{3C} 和 FX_{3U} 系列）PLC 的工作原理、硬件结构、指令系统、编程软件和仿真软件的使用方法；介绍了一整套易学易用的开关量控制系统的编程方法；介绍了 PLC 之间、PLC 与计算机及变频器之间通信的编程方法；还介绍了模拟量模块的使用、PID 控制程序的编制方法、PID 参数的整定方法和实验方法、提高系统可靠性的措施和用 PLC 控制变频器的方法。本书附录 A 实验指导书中还提供了 20 多个实验的实施方案。

应用指令是 PLC 学习的难点，本书介绍了 200 多条应用指令的学习方法，通过大量的例程和实验，详细地介绍了常用应用指令的使用方法。

随书光盘提供了中文编程软件、仿真软件、大量的中文用户手册，以及与正文配套的 30 多个例程和多媒体视频教程。

本书可以作为大专院校电气信息类相关专业的教材，也很适合工程技术人员使用。初学者可以阅读作者编写的《跟我动手学 FX 系列 PLC》。

本书配套授课电子课件，需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载，或联系编辑索取（QQ：241151483，电话 010 - 88379753）。

图书在版编目（CIP）数据

FX 系列 PLC 编程及应用/廖常初主编. —2 版. —北京：机械工业出版社，2012. 12

21 世纪高等院校电气信息类系列教材

ISBN 978-7-111-40662-4

I. ①F… II. ①廖… III. ①PLC 技术 - 程序设计 - 高等学校 - 教材
IV. ①TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 293351 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：时 静

责任编辑：时 静 王 琪

责任印制：乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2013 年 1 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.5 印张 · 457 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 40662 - 4

ISBN 978 - 7 - 89433 - 204 - 2（光盘）

定价：43.00 元（含 1DVD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

出版说明

随着科学技术的不断进步，整个国家自动化水平和信息化水平的长足发展，社会对电气信息类人才的需求日益迫切、要求也更加严格。在教育部颁布的“普通高等学校本科专业目录”中，电气信息类（Electrical and Information Science and Technology）包括电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程等子专业。这些子专业的人才培养对社会需求、经济发展都有着非常重要的意义。

在电气信息类专业及学科迅速发展的同时，也给高等教育工作带来了许多新课题和新任务。在此情况下，只有将新知识、新技术、新领域逐渐融合到教学、实践环节中去，才能培养出优秀的科技人才。为了配合高等院校教学的需要，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校电气信息类系列教材”。

本套教材是在对电气信息类专业教学情况和教材情况调研与分析的基础上组织编写的，期间，与高等院校相关课程的主讲教师进行了广泛的交流和探讨，旨在构建体系完善、内容全面新颖、适合教学的专业教材。

本套教材涵盖多层面专业课程，定位准确，注重理论与实践、教学与教辅的结合，在语言描述上力求准确、清晰，适合各高等院校电气信息类专业学生使用。

机械工业出版社

前 言

三菱的 FX 系列 PLC 是国内应用最广、市场占有率最高的小型 PLC 之一。本书自 2005 年出版以来，已 14 次印刷，并于 2007 年获机械工业出版社科技进步奖。作者根据长期的教学实践和读者的反馈意见，对本书作了较大的修订：

1) 目前，业界正处于用 FX_{3U} 和 FX_{3UC} 取代 FX_{2N} 和 FX_{2NC}，用 FX_{3G} 取代 FX_{1N} 的过渡期，FX_{2N} 的基本单元等已停产。本书介绍了 FX_{3G}、FX_{3U} 和 FX_{3UC} 的硬件、通信参数和新增的指令。

2) GX Developer 是三菱全系列 PLC 的编程软件，GX Simulator 是与它配套的仿真软件。后者的功能强大、使用方便，支持 FX 系列 PLC 的绝大部分指令，可以用它模拟硬件 PLC 来执行用户程序。本书详细介绍了 GX Developer 和 GX Simulator 的使用方法，包括生成与调试用户程序，生成与显示注释、声明和注解，使用帮助功能和设置 PLC 参数等。

3) 应用指令是 PLC 学习的难点，本书介绍了 200 多条应用指令的学习方法，通过大量的例程，详细地介绍了常用应用指令的使用方法。做完实验指导书中的十多个实验，就能掌握基本指令和常用的应用指令的功能和使用方法，包括子程序和中断程序的编程方法。

4) 全面介绍了用顺序功能图语言 (SFC) 编程和用仿真软件调试程序的方法。

5) 介绍了用仿真软件的 I/O 系统设定功能模拟被控对象的实例。

6) 视频教程以编程软件和仿真软件的操作为主，帮助读者快速掌握软件的使用方法。本书介绍了作者总结的一整套先进完整的开关量控制系统的梯形图设计方法，这些设计方法易学易用，用它们可以得心应手地设计出复杂的开关量控制系统的梯形图，包括含有多种工作方式的控制系统的梯形图，从而节约大量的设计时间。

本书还介绍了 PLC 之间、PLC 与计算机和变频器之间的数据链接通信和无协议通信的编程方法；模拟量模块的使用；PID 控制程序、PID 参数整定的方法和实验方法；提高系统可靠性的措施和用 PLC 控制变频器的方法。为了方便教学，本书还增加了大量的习题。

本书的随书光盘提供了中文版编程软件 GX Developer V8.86，中文版仿真软件 GX Simulator V6-C 和 FX 各系列的中文版硬件使用手册、编程手册和样本；还有与正文配套的 30 多个例程和多媒体视频教程。

本书可以用做大专院校电气信息类专业的教材，也很适合工程技术人员使

用。初学者可以阅读作者编写的《跟我动手学 FX 系列 PLC》。

本书由廖常初主编，周林、范占华、关朝旺、张学锋、余秋霞、申敏、郑连清、罗盛波、李远树、郑群英、陈晓东、侯世英、左源洁、孙明渝、廖亮、文家学、张军参加了编写工作。

因作者水平有限，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

作者 E-mail: liaosun@cqu.edu.cn。欢迎读者访问作者在中华工控网的博客。

重庆大学 廖常初

2012年8月28日

目 录

出版说明

前言

第 1 章 概述	1	3.3.1 安装软件	34
1.1 PLC 的结构与特点	1	3.3.2 编程软件使用入门	35
1.1.1 PLC 的基本结构	1	3.3.3 生成与显示注释、声明和注解	42
1.1.2 PLC 的特点	2	3.3.4 指令的帮助信息与 PLC 参数设置	44
1.1.3 PLC 的应用领域	3	3.3.5 仿真软件使用入门	46
1.2 逻辑运算与 PLC 的工作原理	4	3.4 FX 系列 PLC 的基本指令	49
1.2.1 继电器	4	3.4.1 与触点线圈有关的指令	49
1.2.2 逻辑运算	5	3.4.2 电路块串并联指令与多重 输出指令	50
1.2.3 PLC 的工作原理	6	3.4.3 边沿检测指令与微分输出指令	52
1.3 习题	9	3.4.4 其他基本指令	54
第 2 章 FX 系列 PLC 的硬件	10	3.4.5 编程注意事项	56
2.1 FX 系列 PLC 的硬件结构	10	3.5 定时器/计数器应用例程	57
2.2 FX 系列 PLC 性能简介	11	3.6 习题	61
2.2.1 FX 各子系列性能简介	11	第 4 章 FX 系列 PLC 的应用指令	63
2.2.2 FX _{1S} 、FX _{1N} 、FX _{1NC} 、FX _{2N} 与 FX _{2NC} 系列	13	4.1 应用指令概述	63
2.2.3 FX _{3G} 、FX _{3U} 和 FX _{3UC} 系列	14	4.1.1 应用指令的表示方法	63
2.3 I/O 模块与特殊功能模块	16	4.1.2 数据格式与数制	65
2.3.1 开关量输入模块与开关量 输出模块	16	4.1.3 怎样学习应用指令	67
2.3.2 特殊功能模块	18	4.1.4 软元件监视功能	68
2.4 程序的下载与上传	20	4.2 数据处理指令	71
2.5 习题	22	4.2.1 比较指令	71
第 3 章 FX 系列 PLC 编程基础	23	4.2.2 传送指令	74
3.1 PLC 的编程语言	23	4.2.3 数据转换指令	76
3.2 FX 系列 PLC 的软元件	24	4.2.4 循环移位指令与移位指令	77
3.2.1 位软元件	24	4.2.5 数据处理指令	80
3.2.2 定时器	27	4.3 四则运算指令与逻辑运算指令	83
3.2.3 内部计数器	29	4.3.1 四则运算指令	83
3.2.4 高速计数器	30	4.3.2 四则运算指令应用举例	85
3.2.5 数据寄存器、指针与常数	32	4.3.3 逻辑运算指令	86
3.3 编程软件与仿真软件使用入门	34	4.4 浮点数指令	89
		4.4.1 浮点数	89
		4.4.2 浮点数转换指令	90

4.4.3	浮点数运算指令	92	5.2.3	有向连线与转换条件	140
4.5	程序流程控制指令	94	5.2.4	顺序功能图的基本结构	141
4.5.1	条件跳转指令	94	5.2.5	顺序功能图中转换实现的 基本规则	143
4.5.2	子程序指令与子程序应用例程	96	5.3	使用 STL 指令的编程方法	144
4.5.3	中断的基本概念与中断指令	100	5.3.1	控制程序的典型结构	144
4.5.4	中断程序例程	102	5.3.2	STL 指令	145
4.5.5	循环程序与监控定时器指令	103	5.3.3	单序列的编程方法	146
4.6	高速处理指令	105	5.3.4	选择序列的编程方法	149
4.6.1	与输入/输出有关的指令	105	5.3.5	并行序列的编程方法	151
4.6.2	高速计数器指令	107	5.4	使用顺序功能图语言的编程方法	153
4.6.3	脉冲密度与脉冲输出指令	108	5.4.1	单序列的编程方法	154
4.7	方便指令	109	5.4.2	包含选择序列的顺序功能图 的画法	158
4.7.1	与控制有关的指令	109	5.4.3	包含并行序列的顺序功能图 的画法	159
4.7.2	其他方便指令	111	5.5	使用置位、复位指令的编程方法	161
4.8	外部 I/O 设备指令	114	5.5.1	单序列的编程方法	161
4.8.1	数据输入/输出指令	114	5.5.2	选择序列与并行序列的编程 方法	162
4.8.2	其他设备指令	115	5.6	具有多种工作方式的系统的 编程方法	166
4.9	外部设备指令	116	5.6.1	机械手控制的工作方式	166
4.10	其他指令	118	5.6.2	使用置位、复位指令编程 的方法	168
4.10.1	时钟运算指令	118	5.6.3	使用置位复位指令编程的 仿真实验	173
4.10.2	定位控制与模块读写指令	121	5.6.4	使用 STL 指令的编程方法	175
4.11	FX _{3U} 、FX _{3UC} 和 FX _{3C} 系列增加的 应用指令	122	5.7	习题	180
4.11.1	FX _{3U} 、FX _{3UC} 和 FX _{3C} 的应用 指令新增的表示方法	122	第 6 章 PLC 的通信与计算机通信 网络		184
4.11.2	FX _{3U} 、FX _{3UC} 和 FX _{3C} 系列 增加的应用指令	124	6.1	计算机通信方式与串行通信接口	184
4.12	习题	128	6.1.1	计算机通信方式与传输速率	184
第 5 章 开关量控制系统梯形图设计 方法		131	6.1.2	串行通信接口标准	185
5.1	梯形图的经验设计法与继电器 电路转换法	131	6.2	计算机通信的国际标准	186
5.1.1	梯形图中的基本电路	131	6.2.1	开放系统互连模型	186
5.1.2	经验设计法	133	6.2.2	IEEE 802 通信标准	187
5.1.3	根据继电器电路图设计 梯形图	135	6.2.3	现场总线及其国际标准	189
5.2	顺序控制设计法与顺序功能图	138	6.3	FX 系列 PLC 的通信功能	190
5.2.1	顺序控制设计法	138			
5.2.2	步与动作	138			

6.3.1	数据链接与无协议通信	191	7.1.2	模拟量输入模块的应用	229
6.3.2	开放式通信网络	193	7.1.3	模拟量输出模块的应用	232
6.4	计算机链接通信协议	195	7.2	PID 闭环控制系统与 PID 指令	233
6.4.1	串行通信的参数设置	195	7.2.1	模拟量闭环控制系统	233
6.4.2	计算机链接通信协议的数据 传输格式	197	7.2.2	PID 控制器与 PID 指令	235
6.4.3	控制协议各组成部分的说明	198	7.3	PID 控制器的参数整定方法	238
6.5	计算机链接通信协议中的命令	203	7.3.1	PID 参数的物理意义	238
6.5.1	计算机读写 PLC 软元件的 命令	203	7.3.2	PID 参数的整定方法	242
6.5.2	下位请求通信功能	207	7.3.3	PID 控制器参数整定的实验	243
6.5.3	其他命令	209	7.4	习题	246
6.5.4	计算机链接通信协议应用 实例	210	第 8 章	PLC 应用中的一些问题	247
6.6	PLC 之间的链接通信和 PLC 与 变频器的通信	212	8.1	PLC 控制系统的可靠性措施	247
6.6.1	N: N 链接通信协议	212	8.1.1	硬件可靠性措施	247
6.6.2	N: N 网络编程举例	214	8.1.2	故障的检测与诊断的编程	250
6.6.3	并联链接	215	8.2	PLC 在变频器控制中的应用	251
6.6.4	PLC 与变频器的通信	217	8.2.1	电动机转速与旋转方向 的控制	251
6.7	无协议通信方式与 RS 通信指令	219	8.2.2	变频电源与工频电源的切换	252
6.7.1	无协议通信	219	8.2.3	电动机的多段转速控制	254
6.7.2	无协议通信编程举例	221	8.3	仿真软件的 I/O 系统设定功能 的应用	255
6.8	PLC 串口通信调试软件及其应用	223	8.3.1	I/O 系统设定功能	255
6.8.1	串口通信调试软件的功能与 使用方法	223	8.3.2	I/O 系统设定功能的 仿真实验	259
6.8.2	串口通信调试软件应用实例	224	8.4	习题	261
6.9	习题	225	附录		262
第 7 章	模拟量模块与 PID 闭环 控制	227	附录 A	实验指导书	262
7.1	模拟量 I/O 模块的使用方法	227	附录 B	FX 系列应用指令简表	278
7.1.1	模拟量 I/O 模块	227	附录 C	ASCII 码表	282
			附录 D	随书光盘内容简介	283
			参考文献		286

第1章 概述

1.1 PLC 的结构与特点

随着微处理器、计算机和数字通信技术的飞速发展，计算机控制已经广泛地应用在所有的工业领域。现代社会要求制造业对市场需求做出迅速的反应，生产出小批量、多品种、多规格、低成本和高质量的产品，为了满足这一要求，生产设备和自动生产线的控制系统必须具有极高的可靠性和灵活性，可编程序控制器（Programmable Logic Controller, PLC）正是顺应这一要求出现的，它是以微处理器为基础的通用工业控制装置。

PLC 的应用面广、功能强大、使用方便，已经成为当代工业自动化的主要支柱之一，广泛地应用在各种机械设备和生产过程的自动控制系统中。PLC 在其他领域（如民用和家庭自动化）的应用也得到了迅速的发展。

国际电工委员会（IEC）在 1985 年的 PLC 标准草案第 3 稿中，对 PLC 作了如下定义：“可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数字式、模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。可编程序控制器及其有关设备，都应按易于使工业控制系统形成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。”从上述定义可以看出，PLC 是一种用程序来改变控制功能的工业控制计算机，除了能完成各种各样的控制功能外，还有与其他计算机通信联网的功能。

本书以三菱公司的 FX 系列小型 PLC（包括 FX_{3U}、FX_{3UC} 和 FX_{3C}）为主要讲授对象。三菱的 FX 系列 PLC 以其极高的性能价格比，在国内占有很大的市场份额，还有很多国产的 PLC 与 FX 系列兼容。

1.1.1 PLC 的基本结构

PLC 主要由 CPU 模块、输入模块、输出模块和编程设备组成（见图 1-1）。PLC 的特殊功能模块用来完成某些特殊的任务。

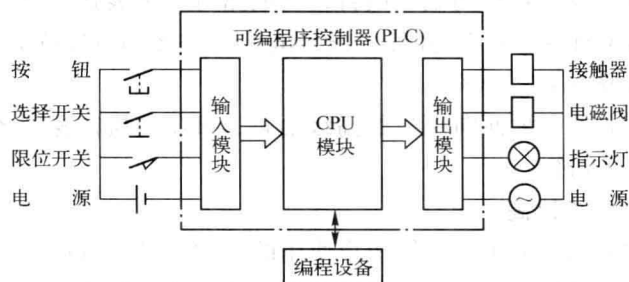


图 1-1 PLC 控制系统示意图

1. CPU 模块

CPU 模块主要由微处理器（CPU 芯片）和存储器组成。在 PLC 控制系统中，CPU 模块相当于人的大脑和心脏，它不断地采集输入信号，执行用户程序，刷新系统的输出；存储器用来储存程序和数据。

2. I/O 模块

输入（Input）模块和输出（Output）模块简称为 I/O 模块，它们是系统的眼、耳、手、脚，是联系外部现场设备和 CPU 模块的桥梁。

输入模块用来接收和采集输入信号，开关量输入模块用来接收从按钮、选择开关、数字拨码开关、限位开关、接近开关、光电开关、压力继电器等传送来的开关量输入信号；模拟量输入模块用来接收电位器、测速发电机和各种变送器提供的连续变化的模拟电流、电压信号。开关量输出模块用来控制接触器、电磁阀、电磁铁、指示灯、数字显示装置和报警装置等输出设备，模拟量输出模块用来控制调节阀、变频器等执行机构。

CPU 模块的工作电压一般是 5V，而 PLC 的输入/输出信号电压较高，如直流 24V 和交流 220V。从外部引入的尖峰电压和干扰噪声可能损坏 CPU 模块中的元器件，或使 PLC 不能正常工作。在 I/O 模块中，用光耦合器、光电晶闸管、小型继电器等器件来隔离 PLC 的内部电路和外部的 I/O 电路，I/O 模块除了传递信号外，还有电平转换与隔离的作用。

3. 编程设备

编程设备用来生成用户程序，并用它来进行编辑、检查、修改和监视用户程序的执行情况。早期使用的手持式编程器已基本被编程软件替代。

使用编程软件可以在计算机的屏幕上直接生成和编辑梯形图或指令表程序，并可以实现不同编程语言之间的相互转换。程序被编译后下载到 PLC，也可以将 PLC 中的程序上传到计算机。程序可以存盘或打印，通过网络，还可以实现远程编程和传送。

4. 电源

PLC 一般使用 220V 交流电源或 24V 直流电源。内部的开关电源为各模块提供 DC5V、±12V、24V 等直流电源。小型 PLC 可以为输入电路和外部的电子传感器（如接近开关）提供 24V 直流电源，驱动 PLC 负载的直流电源一般由用户提供。

1.1.2 PLC 的特点

1. 编程方法简单易学

梯形图是使用得最多的 PLC 的编程语言，其电路符号和表达方式与继电器电路原理图相似。梯形图语言形象直观、易学易懂，熟悉继电器电路图的电气技术人员只需花几天时间就可以熟悉，并用来编制用户程序。

梯形图语言实际上是一种面向用户的高级语言，PLC 在执行梯形图程序时，将它“翻译”成汇编语言后再去执行。

2. 功能强，性能价格比高

一台小型 PLC 内有成百上千个可供用户使用的编程元件，可以实现非常复杂的控制功能。与相同功能的继电器系统相比，PLC 具有很高的性能价格比。PLC 还可以通过联网通信，实现集中管理、分散控制。

3. 硬件配套齐全，用户使用方便，适应性强

PLC 产品已经标准化、系列化、模块化，配备有品种齐全的各种硬件装置供用户选用，用户能灵活方便地进行系统配置，组成不同功能、不同规模的系统。PLC 的安装接线也很方便，一般用接线端子连接外部接线。PLC 有较强的带负载能力，可以直接驱动一般的电磁阀和中小型交流接触器。通过修改用户程序，可以方便快速地适应工艺条件的变化。

4. 可靠性高，抗干扰能力强

传统的继电 - 接触器控制系统中使用了大量的中间继电器、时间继电器，容易因触点接触不良出现故障。PLC 用软元件取代中间继电器和时间继电器，仅剩下与输入和输出有关的少量硬件元器件，接线可以减少到继电 - 接触器控制系统的 $1/10 \sim 1/100$ ，因为触点接触不良造成的故障大为减少。

PLC 使用了一系列硬件和软件抗干扰措施，具有很强的抗干扰能力，平均无故障时间达到数万小时以上，可以直接用于有强烈干扰的工业生产现场，PLC 已被广大用户公认为最可靠的工业控制设备之一。

5. 系统的设计、安装、调试工作量少

PLC 用软件功能取代了继电 - 接触器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，使控制柜的设计、安装、接线工作量大大减少。

PLC 的梯形图程序可以用顺序控制设计法来设计。这种编程方法很有规律，很容易掌握。对于复杂的控制系统，如果掌握了本书介绍的设计方法，设计梯形图的时间比设计继电器系统电路图的时间要少得多。

PLC 的用户程序可以在实验室进行模拟调试，输入信号用小开关来模拟，通过 PLC 上的发光二极管观察输出信号的状态。现场调试过程中发现的大多数问题可以通过修改程序来解决，系统的调试时间比继电 - 接触器控制系统少得多。

6. 维修工作量小，维修方便

PLC 的故障率很低，且有完善的自诊断和显示功能。PLC 或外部的输入装置和执行机构发生故障时，可以根据 PLC 上的发光二极管或编程软件提供的信息方便地查明故障的原因，用更换模块的方法可以迅速地排除故障。

7. 体积小，能耗低

控制系统使用 PLC 后，可以减少大量的中间继电器和时间继电器，小型 PLC 的体积仅相当于几个继电器的大小，因此开关柜的体积比原来的小得多。

1.1.3 PLC 的应用领域

在我国，PLC 已经广泛地应用在不同的工业部门，随着其性能价格比的不断提高，应用范围不断扩大，主要有以下几个方面：

1. 开关量逻辑控制

PLC 用“与”、“或”、“非”等逻辑指令来实现触点和电路的串、并联，代替继电器进行组合逻辑控制、定时控制与顺序逻辑控制。开关量逻辑控制可以用于单台设备，也可以用于自动生产线，其应用领域已遍及各行各业，甚至深入到家庭。

2. 运动控制

PLC 使用专用的指令或运动控制模块，对直线运动或圆周运动的位置、速度和加速度进

行控制，使运动控制与顺序控制有机地结合在一起，有的可以实现单轴、双轴、3轴和多轴位置控制。PLC的运动控制功能广泛地用于各种机械，如金属切削机床、金属成形机械、装配机械、机器人、电梯等。

3. 闭环过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等连续变化的模拟量的闭环控制。PLC通过模拟量 I/O 模块，实现模拟量 (Analog) 和数字量 (Digital) 之间的 A-D 转换与 D-A 转换，并对模拟量实行闭环 PID (比例-积分-微分) 控制。PID 闭环控制可以用 PID 指令或专用的 PID 模块来实现，PID 闭环控制功能已经广泛地应用于塑料挤压成型机、加热炉、热处理炉、锅炉等设备，以及轻工、化工、机械、冶金、电力、建材等行业。

4. 数据处理

现代的 PLC 具有数学运算 (包括四则运算、矩阵运算、函数运算、字逻辑运算、求反码、循环、移位和浮点数运算等)、数据传送、转换、排序和查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析和处理。这些数据可以与储存在存储器中的参考值比较，也可以用通信功能传送到别的智能装置，或者将它们打印制表。

5. 通信联网

PLC 的通信包括主机与远程 I/O 之间的通信、多台 PLC 之间的通信、PLC 与其他智能控制设备 (如计算机、变频器、数控装置) 之间的通信。PLC 与其他智能控制设备一起，可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统。

1.2 逻辑运算与 PLC 的工作原理

PLC 是从继电器控制系统发展而来的，它的梯形图程序与继电器系统电路图相似，梯形图中的某些软元件也沿用了继电器这一名称，例如输入继电器、输出继电器等。

这种用计算机程序实现的“软继电器”，与继电器系统中的物理继电器在功能上有某些相似之处。由于以上原因，在介绍 PLC 的工作原理之前，首先简要介绍物理继电器的结构和工作原理。

1.2.1 继电器

图 1-2a 是继电器结构示意图，它主要由电磁线圈、铁心、触点和复位弹簧组成。继电器有两种不同的触点，线圈断电时处于断开状态的触点称为常开触点 (如图 1-2 中的触点 3、4)，处于闭合状态的触点称为常闭触点 (如图 1-2 中的触点 1、2)。

线圈通电时，电磁铁产生磁力，吸引衔铁，使常闭触点断开，常开触点闭合。线圈电流消失后，复位弹簧使衔铁返回原来的位置，常开触点断开，常闭触点闭合。图 1-2b 是继电器的线圈、常开触点和常闭触点在电路图中的符号。一个继电器可能有若干对常开触点和常闭触点。在继电器电路图中，用同一个由字母、数字组成的名称 (如 KA2) 来标注同一个继电器的线圈和触点。

图 1-3 是用交流接触器控制异步电动机的主电路、控制电路和有关的波形。接触器的结构和工作原理与继电器的基本相同，区别仅在于继电器触点的额定电流较小，而接触器是用来控制大电流负载的，例如它可以控制额定电流为几十安至几千安的异步电动机。按下起

动按钮 SB1，它的常开触点闭合，电流经过 SB1 的常开触点和停止按钮 SB2、作过载保护用的热继电器 FR 的常闭触点，流过交流接触器 KM 的线圈。接触器的衔铁被吸合，使主电路中的 3 对常开触点闭合。异步电动机的三相电源被接通，电动机开始运行，控制电路中接触器 KM 的辅助常开触点同时接通。

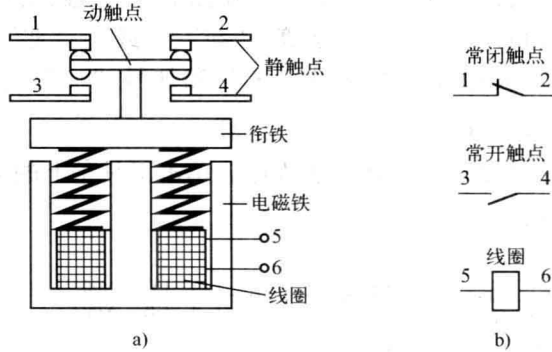


图 1-2 继电器示意图

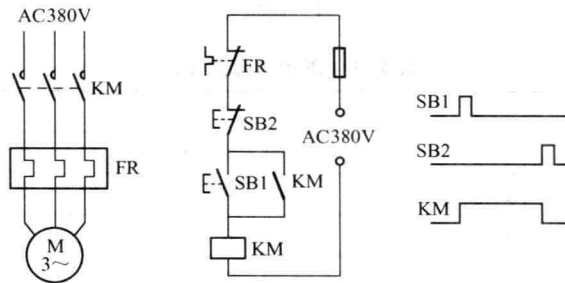


图 1-3 异步电动机控制电路

放开起动按钮后，SB1 的常开触点断开，电流经 KM 的辅助常开触点和 SB2、FR 的常闭触点流过 KM 的线圈，电动机继续运行。KM 的辅助常开触点实现的这种功能称为“自锁”或“自保持”，它使继电器电路具有类似于 RS 触发器的自锁功能。

在电动机运行时按停止按钮 SB2，它的常闭触点断开，使 KM 的线圈失电，KM 的主触点断开，异步电动机的三相电源被切断，电动机停止运行，同时控制电路中 KM 的辅助常开触点断开。松开停止按钮 SB2，其常闭触点闭合后，KM 的线圈仍然失电，电动机继续保持停止运行状态。图 1-3 给出了有关信号的波形，图中用高电平表示 1 状态（线圈通电、按钮被按下），用低电平表示 0 状态（线圈断电、按钮被放开）。

图 1-3 中的控制电路具有记忆功能，在继电器系统和 PLC 的梯形图中被大量使用，它被称为“起动-保持-停止”电路，或简称为“起保停”电路。


1.2.2 逻辑运算

某些物理量只有两种相反的状态，例如电平的高、低，接触器线圈的通电和断电等。它们被称为开关量。二进制数的 1 位 (bit) 只能取 0 和 1 这两个不同的值，可以用它们来表示开关量的两种状态。梯形图中的位软元件（如辅助继电器 M 和输出继电器 Y）的线圈

“通电”时，其常开触点接通，常闭触点断开，以后称该软元件为 1 状态，或称该软元件为 ON。位软元件的线圈和触点的状态与上述的相反时，称该软元件为 0 状态，或称该软元件 OFF。

使用继电器电路或 PLC 的梯形图可以实现开关量的逻辑运算。

梯形图中触点的串联可以实现“与”运算（见图 1-4），触点的并联可以实现“或”运算，用常闭触点控制线圈可以实现“非”运算。“与”、“或”、“非”逻辑运算的输入/输出关系见表 1-1，逻辑运算表达式中的乘号“·”和加号“+”分别表示“与”运算和“或”运算。 $\overline{X4}$ 的上划线表示对 IO.4 作“非”运算。

图 1-4 各梯形图的右边是对应的指令表程序。单击工具条上的  按钮，可以在梯形图和指令表显示方式之间切换。

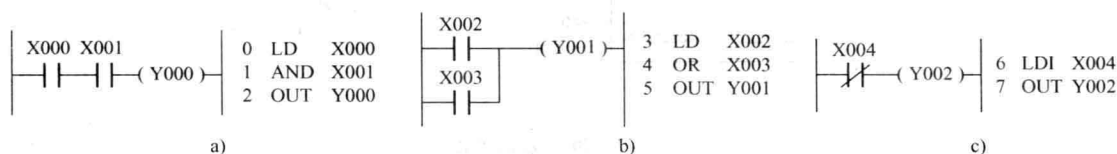


图 1-4 逻辑运算

表 1-1 逻辑运算关系表

与			或			非	
$Y0 = X0 \cdot X1$			$Y1 = X2 + X3$			$Y2 = \overline{X4}$	
X0	X1	Y0	X2	X3	Y1	X4	Y2
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		

多个触点的串、并联电路可以实现复杂的逻辑运算，图 1-3 中的继电器电路实现的逻辑运算可以用逻辑代数表达式表示为

$$KM = (SB1 + KM) \cdot \overline{SB2} \cdot \overline{FR}$$

与普通算术运算“先乘除后加减”类似，逻辑运算的规则为先“与”后“或”。为了先作“或”运算（触点的并联），用括号将“或”运算式括起来，括号中的运算优先执行。

1.2.3 PLC 的工作原理

1. 扫描工作方式

PLC 有两种工作模式，即运行（RUN）模式与停止（STOP）模式。在运行模式，PLC 通过反复执行反映控制要求的用户程序来实现控制功能。为了使 PLC 的输出及时地响应随时可能变化的输入信号，用户程序不是只执行一次，而是不断地重复执行，直至 PLC 停机或切换到 STOP 工作模式。

除了执行用户程序之外，在每次循环过程中，PLC 还要完成内部处理、通信服务等工作，一次循环分为 5 个阶段（见图 1-5）。PLC 的这种周而复始的循环工作方式称为扫描工作方式。由于计算机执行指令的速度极快，从外部输入、输出关系来看，处理过程似乎是同时完成的。

在内部处理阶段，PLC 检查 CPU 模块内部的硬件是否正常，将监控定时器复位，以及完成一些其他内部工作。

在通信服务阶段，PLC 与其他带微处理器的控制设备通信，响应编程设备输入的命令，更新编程设备的显示内容。

当 PLC 处于停止（STOP）模式时，只执行以上的操作。PLC 处于运行（RUN）模式时，还要完成另外 3 个阶段的操作。

PLC 的存储器中设置了两片区域用来存放输入信号和输出信号的状态，它们分别称为输入映像区和输出映像区。梯形图中的其他软元件也有对应的映像存储区。

在输入处理阶段，PLC 把所有外部输入电路的接通/断开状态读入输入映像区。

外部输入电路接通时，对应的输入映像存储器为 1 状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点闭合，常闭触点断开。外部输入电路断开时，对应的输入映像存储器为 0 状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点断开，常闭触点闭合。

某一软元件对应的映像存储器为 1 状态时，称该软元件为 ON；对应的映像存储器为 0 状态时，称该软元件为 OFF。

在程序执行阶段，即使外部输入电路的状态发生了变化，输入映像区的状态也不会随之变化，输入信号变化了的状态只能在下一个扫描周期的输入处理阶段被读入。

PLC 的用户程序由若干条指令组成，指令在存储器中按步序号顺序排列。在没有跳转指令时，CPU 从第一条指令开始，逐条顺序地执行用户程序，直到用户程序结束之处。在执行指令时，从输入映像区或别的软元件映像区中将有关软元件的 0、1 状态读出来，并根据指令的要求执行相应的逻辑运算，运算的结果写入对应的软元件映像存储器中，因此，各软元件映像区（输入映像区除外）的内容随着程序的执行而变化。

在输出处理阶段，CPU 将输出映像区的 0、1 状态传送到输出锁存器。梯形图中某一输出继电器的线圈“通电”时，对应的输出映像存储器为 1 状态。信号经输出模块隔离和功率放大后，继电器型输出模块中对应的硬件继电器的线圈通电，其常开触点闭合，使外部负载通电工作。

若梯形图中输出继电器的线圈“断电”，对应的输出映像存储器为 OFF，在输出处理阶段之后，继电器型输出模块中对应的硬件继电器的线圈断电，其常开触点断开，外部负载断电，停止工作。

2. 扫描周期

PLC 在 RUN 工作模式时，执行一次图 1-5 所示的扫描操作所需的时间称为扫描周期，其典型值为 10 ~ 100 ms。扫描周期与用户程序的长短、指令的种类和 CPU 执行指令的速度有很大的关系。当用户程序较长时，指令执行时间在扫描周期中占相当大的比例。扫描周期

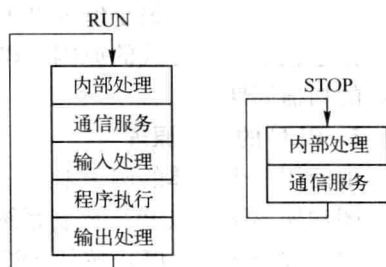


图 1-5 扫描过程

的当前值、最大值和最小值可以用编程软件读取。

由于扫描工作方式的原因，PLC 可能检测不到窄脉冲输入信号。输入脉冲宽度应大于 PLC 的扫描周期。

3. PLC 的工作原理

下面用一个简单的例子来进一步说明 PLC 的扫描工作过程。图 1-6 给出了 PLC 的外部接线图和梯形图，该 PLC 控制系统与图 1-3 所示的继电器电路的功能相同。

起动按钮 SB1、停止按钮 SB2 和热继电器 FR 的常开触点分别接在编号为 X0 ~ X2 的 PLC 的输入端，交流接触器 KM 的线圈接在编号为 Y0 的 PLC 的输出端。图的中间是这 4 个输入/输出变量对应的输入/输出映像存储器和梯形图。但是应注意，梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序。梯形图中的软元件 X0 与接在输入端子 X0 的 SB1 的常开触点和输入映像存储器 X0 相对应，软元件 Y0 与输出映像存储器 Y0 和接在输出端子 Y0 的 PLC 内部的输出电路相对应。

梯形图以指令的形式储存在 PLC 的用户程序存储器中，图 1-6 中的梯形图与下面 5 条指令相对应，“//”之后是该指令的注释。

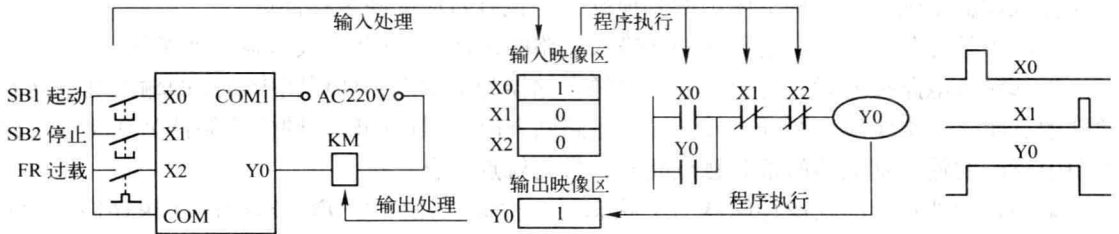


图 1-6 PLC 外部接线图与梯形图

LD	X0	//接在左侧母线上的 X0 的常开触点
OR	Y0	//与 X0 的常开触点并联的 Y0 的常开触点
ANI	X1	//与并联电路串联的 X1 的常闭触点
ANI	X2	//与并联电路串联的 X2 的常闭触点
OUT	Y0	//Y0 的线圈

图 1-6 中的梯形图完成的逻辑运算为

$$Y0 = (X0 + Y0) \cdot \overline{X1} \cdot \overline{X2}$$

在输入处理阶段，CPU 将 SB1、SB2 和 FR 的常开触点的状态读入相应的输入映像存储器，外部触点接通时读入的是二进制数 1，反之读入的是二进制数 0。

执行第 1 条指令时，从 X0 对应的输入映像存储器中取出二进制数并保存起来。执行第 2 条指令时，取出 Y0 对应的输出映像存储器中的二进制数，与 X0 对应的二进制数相“或”，电路的并联对应“或”运算，运算结果被暂时保存。

执行第 3 条和第 4 条指令时，分别取出 X1 或 X2 对应的输入映像存储器中的二进制数，因为是常闭触点，自动取反（作“非”运算，即 1→0，0→1）以后与前面的运算结果作“与”运算，运算结果被暂时保存。电路的串联对应于“与”运算，

执行第 5 条指令时，将二进制数运算结果送入 Y0 对应的输出映像存储器。