



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 可编程控制器 原理及应用

谢伟红 刘 斌 黄定明 编



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
职业教育电力技术类专业教学用书

# 可编程控制器 原理及应用

谢伟红 刘 斌 黄定明 编  
张明达 喻寿益 主 审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

全书共分为六章,分别介绍了可编程控制器的产生、特点、基本组成、工作原理及基本性能,重点介绍了 FX<sub>2N</sub> 可编程控制器的基本指令和功能指令的功能和应用实例;同时介绍了可编程控制器的编程方法和应用技术,对简易编程器和编程软件的操作和使用也作了介绍;最后,介绍了可编程控制器的工程应用实例。

本书主要作为高等职业技术学院发电厂及自动化、电力系统及自动化、热能动力、火电厂集控、工业自动化、机电一体化、计算机控制及相关专业的教材,也可作为专科、函授教材和工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

可编程控制器原理及应用/谢伟红,刘斌,黄定明编. —北京:中国电力出版社,2006

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7 - 5083 - 3761 - 1

I. 可... II. ①谢... ②刘... ③黄... III. 可编程序控制器—高等学校:技术学校—教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 148068 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2006 年 2 月第一版 2006 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 300 千字

印数 0001—3000 册 定价 18.20 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 前言

---

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的,并列入教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审,又列为全国电力高等职业教育规划教材,作为高等职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标;符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求;具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性;符合职业教育的特点和规律,具有明显的职业教育特色;符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书,也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

可编程控制器(PLC)是一种以微处理器为核心的通用工业自动化装置。它集计算机技术、自动控制技术、通信技术于一体,具有结构简单、高可靠性、灵活通用、易于编程、使用方便等优点,因此,广泛应用于电力、机械制造、化工、汽车、钢铁、建筑、石油及纺织等各行各业,是现代工业生产自动化的三大支柱。

本书以日本三菱公司最新推出新的PLC产品FX<sub>2N</sub>系列为例,对可编程控制器的系统组成、工作原理、指令系统、编程方法、工程应用等内容进行比较详细的介绍。根据高职教育的目的和要求,在各章节介绍中增加许多应用实例,以充分培养实际操作技能和工程应用能力。

本书适用于电力系统、动力工程、工业控制、计算机控制等专业,在教学使用过程中可根据各专业的不同需要,适当地删减内容,有些内容和应用适合学生自学或在课程设计、毕业设计时参考。

全书共分6章,第3、6章由长沙电力职业技术学院谢伟红编写,第2、4、5章由武汉电力职业技术学院刘斌编写,第1章由三峡电力职业技术学院黄定明编写,全书由谢伟红统稿。

本书由中南大学张明达教授喻寿益教授主审,并提出许多宝贵的建议和修改意见。在本书的编写过程中,还参阅和利用了部分兄弟院校编写出版教材的有关内容。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限和时间仓促,书中错误和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2005年10月

# 目 录

## 前言

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| <b>第一章 可编程控制器的工作原理</b> .....                     | 1   |
| 第一节 可编程控制器概述 .....                               | 1   |
| 第二节 可编程控制器的硬件、系统配置及结构 .....                      | 4   |
| 第三节 可编程控制器的工作原理及工作方式 .....                       | 9   |
| 第四节 可编程控制器的性能及软元件 .....                          | 12  |
| 第五节 可编程控制器特殊功能模块 .....                           | 24  |
| 习题 .....                                         | 37  |
| <b>第二章 FX<sub>2N</sub>系列可编程控制器的基本指令及应用</b> ..... | 38  |
| 第一节 可编程控制器的编程语言 .....                            | 38  |
| 第二节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器的基本逻辑指令 .....       | 41  |
| 第三节 常用基本环节的编程及应用举例 .....                         | 51  |
| 第四节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器步进指令编程法 .....       | 58  |
| 第五节 运行方式的选择 .....                                | 63  |
| 第六节 步进顺序控制实例 .....                               | 65  |
| 习题 .....                                         | 72  |
| <b>第三章 FX<sub>2N</sub>系列可编程控制器的功能指令</b> .....    | 76  |
| 第一节 功能指令的表示形式及含义 .....                           | 76  |
| 第二节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器的功能指令说明 .....       | 81  |
| 第三节 功能指令的编程实例 .....                              | 125 |
| 习题 .....                                         | 134 |
| <b>第四章 可编程控制器的编程器及编程软件的使用</b> .....              | 136 |
| 第一节 编程器的使用 .....                                 | 136 |
| 第二节 编程软件的使用 .....                                | 142 |
| <b>第五章 PLC的应用技术</b> .....                        | 153 |
| 第一节 PLC控制系统的设计 .....                             | 153 |
| 第二节 输入/输出接口技术的基本工程问题 .....                       | 162 |
| 第三节 提高 PLC 控制系统可靠性的措施和调试方法 .....                 | 165 |
| 习题 .....                                         | 169 |
| <b>第六章 FX<sub>2N</sub>系列可编程控制器的工程应用</b> .....    | 170 |
| 第一节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器的工程应用分析 .....       | 170 |
| 第二节 FX <sub>2N</sub> 系列可编程控制器的工程应用实例 .....       | 180 |
| 习题 .....                                         | 184 |
| 附录 .....                                         | 185 |
| 参考文献 .....                                       | 191 |

## 可编程控制器的工作原理

### 第一节 可编程控制器概述

#### 一、可编程控制器的定义

可编程控制器 (Programmable Logic Controller) 简称 PLC, 在 PLC 的发展过程中曾简称为 PC, 但与个人计算机 (Personal Computer) 的简称 PC 易混淆, 因此人们将最初用于逻辑控制的可编程控制器叫做 PLC。现代的 PLC 是以微处理器为基础的新型工业控制装置, 是计算机技术在工业控制领域应用的一个成功产品。国际电工委员会 (IEC) 多次发布并修订了有关 PLC 的文件。在 1987 年颁布的 PLC 标准草案中对 PLC 作了如下定义:

“PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器, 用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令, 并能通过数字式或模拟式的输入和输出, 控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应按照易于与工业控制系统形成一个整体, 易于扩展其功能的原则而设计。”

该定义可理解为以下几点:

(1) PLC 是一种计算机控制装置, 具有计算机的基本特征。它是“数字运算操作的电子装置”, 带有“可以编制程序的存储器”, 可以进行“逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算”等。事实上, PLC 无论从内部构造、功能及工作原理上看都是应用计算机技术的控制装置。

(2) PLC 是“为工业环境下应用”而设计的计算机。工业环境和一般办公环境有较大的区别, PLC 采用高可靠性的抗干扰措施, 使它能在高粉尘、高噪声、强电磁干扰和温度变化剧烈的环境下正常工作; 能控制“机械或生产过程”, 且“易于与工业控制系统形成一个整体”。因此 PLC 是一种应用在工业现场环境下的计算机。

(3) PLC 是一种通用的工业控制计算机。它能根据控制对象的不同要求, 让使用者“可以编制程序”, 能控制“各种类型”的工业设备及生产过程。较其以前的工业控制计算机, 如单片机工业控制系统, 具有更大的灵活性, 它可以方便地应用在各种场合和生产系统中。

#### 二、PLC 的历史、发展及现状

在 PLC 诞生之前, 工业控制领域占主导地位的是以继电器、接触器为主体的控制装置。这种继电器控制方式采用大量的继电器、接触器等元件, 通过大量导线不同的连接方式来实现各种控制逻辑。随着工业自动化程度的不断提高, 使用继电器电路构成工业控制系统的不可靠问题日益严重。只要有一个继电器, 一根导线出现故障, 系统就不能正常工作。而继电器触点为机械触点, 工作频率低、使用寿命短, 大大降低了这种接线逻辑控制系统的可靠性。其次是这样的系统维修及改造很不容易, 特别是技术改造, 若要调整工作设备的工作过程或生产任务时, 对继电器控制系统的重新设计和硬件改造, 会造成大量时间和资金浪费。而在 20 世纪 60~70 年代, 社会的进步要求制造业生产出小批量、多品种、多规格、低成

本、高质量的产品以满足市场的需要,不断地提出改善生产机械功能的要求。同时,大型生产企业也在为生产线的改造谋求出路,加上当时电子技术已经有了一定的发展,于是人们开始寻求一种以存储逻辑代替接线逻辑的新型工业控制设备。这为研制出 PLC 提供了广泛的市场需求。

在 1968 年,美国最大的汽车制造商通用汽车公司(GM 公司)为适应汽车行业的发展,取代继电器控制装置,获得技术优势,提出了一种新型控制装置的十项设计技术要求,即:

- (1) 编程简单方便,可在现场修改程序;
- (2) 硬件维护方便,采用插件式结构;
- (3) 可靠性高于继电器控制装置;
- (4) 体积小于继电器控制装置;
- (5) 成本上可与继电器控制系统竞争;
- (6) 输入可以是交流 115V;
- (7) 输出为交流 115V,能直接驱动电磁阀、交流接触器;
- (8) 具有通信功能;
- (9) 通用性强,扩展方便;
- (10) 用户程序存储器容量达到 4KB 以上。

美国数字设备公司(DEC)根据该十项技术要求,在 1969 年研制出世界上公认的第一台 PLC,应用在工业控制领域获得巨大成功。随后,日本、德国等国家相继进入该研究领域,使可编程控制器迅速发展起来。

早期的 PLC 只能完成简单的逻辑控制及定时、计数功能。20 世纪 70 年代初,人们将微处理器引入 PLC,使 PLC 增加了运算、数据传送及处理等功能,成为真正具有计算机特征的工业控制装置。但在 PLC 的编程上采用了和继电器控制电路图相类似的梯形图作为主要的编程语言,在元件的使用和命名上还延用继电器控制的相关概念。因而,PLC 就是把初级的计算机技术和继电器常规控制二者的优点相结合,在继电器控制的基础上发展而来的。

PLC 经过短短 30 多年的发展,现已在机械制造、石油化工、冶金钢铁、汽车、轻工业等领域的应用都得到了广泛的应用,已成为现代工业自动化的主要支柱之一。掌握 PLC 的工作原理,具备程序设计、调试和 PLC 的维护能力,是目前对电气工程控制人员的基本要求。

从 20 世纪 70 年代中后期,计算机技术全面引入 PLC 中,使其功能发生了质的飞跃。更高的运算速度、超小型的体积、高可靠的工业抗干扰设计、模拟量运算、PID 功能及极高的性价比奠定了它在现代工业中的地位。到 20 世纪末期,为适应现代工业控制的需要,又研制开发了各种各样的特殊功能单元,用于压力、温度、转速、位移等各式各样的控制场合;并增加了通信单元,使应用 PLC 于工业控制网络更加容易,增强了 PLC 在控制系统中的应用。

目前,已经形成美国 Rockwell 自动化公司所属的 A-B(Allen-Bradley)公司、GE-Fanuc 公司、日本的三菱公司、欧姆龙(OMRON)公司、德国的西门子(Siemens)公司、法国的 TE(Telemecanique)公司占主导地位的局面。

我国 PLC 的生产也发展较快。从最初的引进、应用 PLC 设备,到目前我国自己已可以生产中小型 PLC。上海东屋电气有限公司生产的 CF 系列、杭州机床电器厂生产的 DKK 及

D 系列、大连组合机床研究所生产的 S 系列、苏州电子计算机厂生产的 YZ 系列等多种产品已具备了一定的规模并在工业产品中获得了应用。此外无锡华光公司、上海香岛公司等中外合资企业也是我国比较著名的 PLC 生产厂家。

### 三、PLC 的特点

#### (一) 可靠性极高, 抗干扰能力强

高可靠性是电气控制设备的关键性能。人们在设计 PLC 时, 在硬件和软件两方面采取了较完善的抗干扰措施。硬件上采取了屏蔽、滤波、隔离技术和模块式结构, 采用现代大规模集成电路技术, 采用严格的生产工艺制造。软件上设计了自诊断功能, 可进行定期的故障检测。检测外界环境, 如掉电、欠电压、强干扰信号等, 以便及时进行处理; 采取信息保护和恢复软件使 PLC 偶发性故障出现时, 将 PLC 内部信息进行保护, 不遭破坏, 故障消失后, 恢复原来的信息, 使之正常工作; 设置警戒时钟 WDT, 当 PLC 程序的循环执行时间超过了规定时间, 就进行报警; 对软件自检, 当程序出错, 立即报警并停止执行。因此现在的 PLC 具有很高的可靠性, 其平均无故障时间可达几十万小时, 目前已不再使用平均无故障时间这个指标来衡量 PLC 的可靠性。

#### (二) 配套齐全, 功能完善, 适用性强

现在的 PLC 已经形成了大、中、小各种规模的系列化产品, 广泛采用模块化结构, 并配备各种功能单元, 使 PLC 可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑处理功能外, 其完善的数据运算能力, 可用于各种数字控制领域。并渗透到了位置控制、温度控制、计算机数字控制等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展, 使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

#### (三) 易学易用, 便于掌握

PLC 作为通用工业控制装置, 是面向工矿企业的工控设备, 针对工程技术人员来说, 其易学易用性是设计时应非常注重的。它接口容易, 其梯形图编程语言易于为工程技术人员接受, 只用 PLC 的少量开关量逻辑控制指令就可以方便地实现继电器电路的功能。为不熟悉电子电路、不懂计算机原理和汇编语言的人使用可编程控制器从事工业控制打开了方便之门。

#### (四) 系统的设计、建造工作量小, 维护方便, 改造容易

PLC 用存储逻辑代替接线逻辑, 大大地减少了控制设备外部接线, 大大缩短了控制系统设计及建造的周期。同时维护也变得容易起来。更重要的是其程序控制的思想, 使得改变其程序就可以改变其生产过程的控制, 很适合多品种、小批量的生产场合。

#### (五) 体积小, 重量轻, 能耗低

以超小型 PLC 为例, 新近出产的品种底部尺寸小于  $100\text{mm}^2$ , 重量小于  $150\text{g}$ , 功耗仅数瓦。由于体积小很容易装入机械内部, 是实现机电一体化的理想控制设备。

### 四、PLC 的应用领域

目前, PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业, 使用情况大致可归纳为如下几类。

#### (一) 开关量的逻辑控制

这是 PLC 最基本、最广泛的应用领域, 它取代传统的继电器电路, 实现了逻辑控制、顺序控制, 既可用于单台设备的控制, 又可用于多机群控及自动化流水线。如注塑机、印刷机、订书机械、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。

## （二）模拟量控制

模拟量指连续变化的量，如温度、压力、流量、液位和速度等。在工业过程控制中还需对模拟量进行闭环控制。针对模拟量信号处理，必须实现模拟量（Analog）和数字量（Digital）之间的 A/D 转换及 D/A 转换。PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法。大中型 PLC 厂家都有配套的 A/D、D/A 转换模块，PID 模块，实现过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合。

## （三）运动控制

PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说，早期直接用开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构，现在一般使用专用的运动控制模块。如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能。广泛地用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

## （四）数据处理

现代 PLC 具有数学运算（含矩阵运算、函数运算、逻辑运算）、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与储存在存储器中的参考值比较，完成一定的控制操作，也可以利用通信功能传送到别的智能装置，或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统，如无人控制的柔性制造系统；也可用于过程控制系统，如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

## （五）通信及联网

PLC 通信含 PLC 间的通信及 PLC 与其他智能设备间的通信。随着计算机控制的发展，工厂自动化网络发展得很快，各 PLC 厂家都十分重视 PLC 的通信功能，纷纷推出各自的网络系统。新近生产的 PLC 都具有通信接口，通信非常方便。

# 第二节 可编程控制器的硬件、系统配置及结构

PLC 的结构有很多种，但其基本组成结构是一样的，都是以微处理器为核心，通过硬件和软件的共同作用来实现其功能的。图 1-2-1 所示为三菱公司 FX 系列 PLC 外观图。

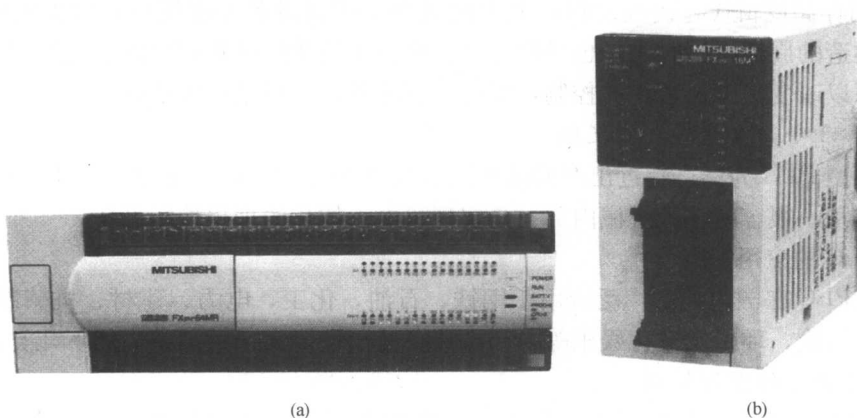


图 1-2-1 三菱 FX 系列 PLC 外观图  
(a) FX<sub>2N</sub>外观图；(b) FX<sub>2NC</sub>外观图

## 一、PLC 的硬件

PLC 主要由中央处理器 (CPU)、存储器 (RAM、ROM)、输入接口和输出接口 (I/O)、稳压电源和编程器等几部分组成, 其结构示意图如图 1-2-2 所示。

### (一) 中央处理单元 (CPU)

中央处理器是 PLC 的核心, 它在系统程序的控制下, 完成逻辑运算、数学运算、协调系统内部各部分工作等任务。PLC 中常用的中央处理器 (CPU) 主要是通用微处理器 (8080、8086、80286、80386)、单片机 (8031、8096) 和双极型位片式微处理器 (AM2900、AM2901、AM2903) 三种类型。PLC 的档次越

高, CPU 的位数也越多, 运算速度也越快, 功能指令也越强, 现在常用的是 8 位或 16 位的 CPU FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 使用的微处理器是 16 位的 8096 单片机。

### (二) 存储器

PLC 配有两种存储器, 即系统程序存储器和用户程序存储器。系统程序存储器是只读存储器存放系统管理程序, 用户程序存储器是随机存储器 (RAM), 用来存放用户编制的控制程序。小型 PLC 的存储器容量一般在 8K 字节以下。

在系统 RAM 存储器中划分了输入/输出映像区和内部软元件 (如辅助继电器、定时器、计数器、数据寄存器、状态继电器、变址寄存器等) 的存储区, 用来存储各种元件的状态, 方便用户在编程中使用和程序执行时调用。存储各种元件状态的存储单元称为映像寄存器。用来存放输入信号和输出信号状态的寄存器, 分别称为输入映像寄存器和输出映像寄存器。存储内部软元件的存储单元, 亦相应称为内部软元件的映像寄存器。

用户程序存储器的容量一般以字 (每个字由 16 位二进制数组成) 为单位, 三菱 FX 系列 PLC 的用户程序存储器以程序步为单位。

### (三) 输入接口电路

PLC 的输入接口电路用来接收生产过程的各种信号, 把信号电平转换为 CPU 能处理的标准电平信号, 要求有良好的电隔离和滤波作用。连接到 PLC 输入接口的输入器件是各种开关、按钮、传感器等。

各种 PLC 的输入电路大都相同, 通常有三种类型, 如图 1-2-3 所示。图 1-2-3 (a)、(b) 是直流 12~24V 输入电路, 图 1-2-3 (c) 是交流 100~120、200~240V 输入电路, 图 1-2-3 (d) 是交直流输入电路。

输入电路中有滤波电路及光耦合器隔离, 并设有 RC 滤波器, 用以消除输入触点的抖动和外部噪声的干扰。当输入开关闭合时, 输入电路中流过电流, 输入指示灯亮, 光耦合器被激励, 三极管由截止状态变成饱和导通状态, 信号经内部电路传送给 CPU, 完成数据采集过程。

表 1-2-1 为 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 输入接口电路技术指标。

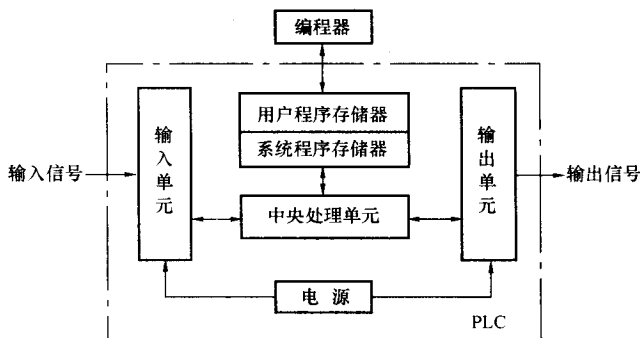


图 1-2-2 PLC 结构示意图

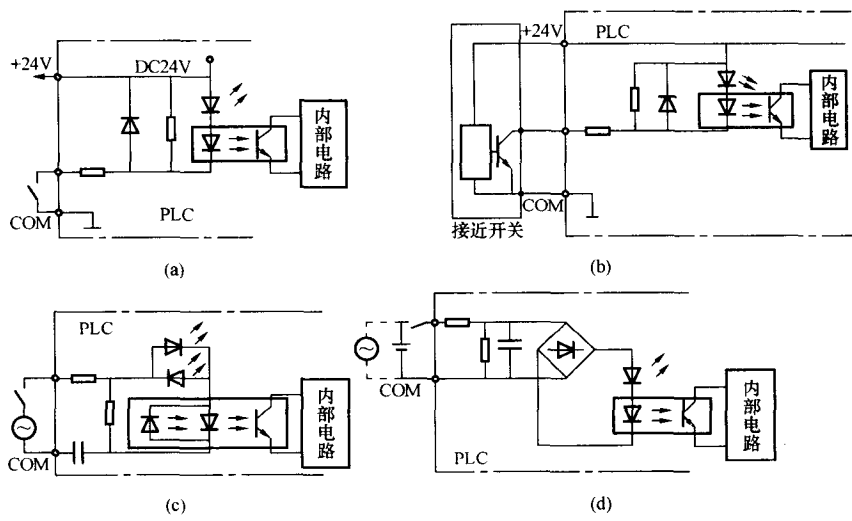


图 1-2-3 PLC 输入电路

(a) 直流 12~24V 输入电路；(b) 直流 12~24V 输入电路；(c) 交流输入电路；(d) 交流/直流输入电路

表 1-2-1

FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 输入接口电路技术指标

| 项 目       | DC 输入                                            |                       |
|-----------|--------------------------------------------------|-----------------------|
| 品 种       | FX <sub>2N</sub> 基本单元                            | FX <sub>2N</sub> 扩展单元 |
| 输入信号电压    | DC24V±10%                                        |                       |
| 输入信号电流    | 7mA/DC24V (X10 以后 5mA/DC24V)                     | 5mA/DC24V             |
| 输入 ON 电流  | 4.5mA 以上 (X10 以后 3.5mA/DC24V)                    | 3.5mA 以上              |
| 输入 OFF 电流 | 1.5mA 以下 (X10 以后 1.5mA/DC24V)                    | 1.5mA 以上              |
| 输入响应时间    | 约 10ms, X0~X17 内含数字滤波器, 可在 20~60ms 内转换, 但至少 50μs |                       |
| 输入信号形式    | 无电压触点或 NPN 集电极开路晶体管                              |                       |
| 电路隔离      | 光耦合隔离                                            |                       |
| 输入动作显示    | 输入 ON 时, LED 灯亮                                  |                       |

(四) 输出接口电路

PLC 的输出接口电路是用来把内部的标准电平信号转换成现场执行机构所需要的各种信号。PLC 的各种输出控制对象一般是电磁阀、接触器、继电器等, 而继电器、接触器有交流型和直流型、高电压型和低电压型、电压型和电流型之分。

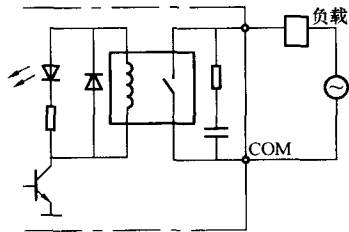


图 1-2-4 交直流输出型

PLC 的输出有三种形式, 即继电器输出、晶体管输出、晶闸管输出。下面介绍几种形式的 PLC 输出接口电路。

交直流输出型(继电器输出型)最常用, 如图 1-2-4 所示。它既可以带直流负载, 也可以带交流负载。继电器输出方式利用了继电器的触点将 PLC 的内部电路与外部负载电路实现了电气隔离。

直流输出型(晶体管输出型)是通过光耦合使晶体管截

止或饱和，以控制外部负载电路的通和断，它只能接直流负载，如图 1-2-5 所示。

交流输出型（双向晶闸管输出型），采用了光触发型双向晶闸管来进行控制，它只能接交流负载，如图 1-2-6 所示。

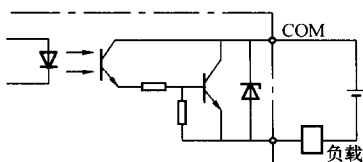


图 1-2-5 晶体管输出型

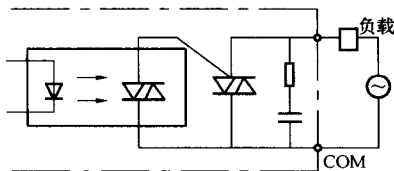


图 1-2-6 双向晶闸管输出型

负载所需的电源由用户提供。实际应用中，输出电流额定值与负载性质有关。负载电流一般不超过 2A。实际应用中，输出电流额定值与负载性质有关。其具体性能指标如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 FX 系列 PLC 输出接口电路技术指标

| 输出形式         |               | 继电器输出                 | 晶体管输出                 | 晶闸管输出                          |
|--------------|---------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 外部电源         |               | AC 250V, DC 30V 以下    | DC 5 ~ 30V            | AC 85 ~ 242V                   |
| 最大负载         | 电阻负载<br>(A/点) | 2A/1 点                | 0.5A/1 点<br>0.8A/4 点  | 0.3A/1 点<br>0.8A/4 点           |
|              | 感性负载          | 80VA                  | 12W/DC 24V            | 15VA/AC 100V<br>30VA/AC 240V   |
|              | 灯负载           | 100W                  | 1.5W/DC 24V           | 30W                            |
| 开路漏电流        |               | —                     | 0.1mA/DC 30V          | 1mA/AC 100V<br>2.4mA/AC 200V   |
| 最小负载         |               | DC5V 2mA <sup>①</sup> | —                     | 0.4VA/AC 100V<br>1.6VA/AC 240V |
| 响应时间<br>(ms) | OFF 至 ON      | 约 10ms                | 0.2ms 以下              | 1ms 以下                         |
|              | ON 至 OFF      | 约 10ms                | 0.2ms 以下 <sup>②</sup> | 最大 10ms                        |
| 回路隔离         |               | 继电器隔离                 | 光电耦合器隔离               | 光电晶闸管隔离                        |
| 动作显示         |               | 继电器通电时, LED<br>灯亮     | 光电耦合器驱动时,<br>LED 灯亮   | 光电晶闸管驱动时,<br>LED 灯亮            |

① 当外接电源不大于 24V 时，尽量保持 5mA 以上的电流。

② 响应时间 0.2ms 是在条件 24V、200mA 时，实际所需时间为电路切断负载电路到电流为 0 的时间，可用并接续流二极管的方法改善响应时间。如果希望响应时间短于 0.2ms，应保证电源为 24V、60mA。

通常 PLC 开发商为用户提供多种用途的 I/O 单元。从输入信号上有开关量和模拟量；从电压上有直流和交流；从速度上有低速和高速；从距离上有本地和远程等。而且 I/O 的点数配置极其灵活。

#### （五）稳压电源

PLC 的供电电源是一般市电，也有用直流 24V 供电的。PLC 对电源稳定度要求不高，一般允许电源电压额定值在 +10% ~ -15% 的范围内波动。PLC 内有一个稳定电源用于 PLC 的 CPU 单元和 I/O 单元供电，小型 PLC 电源往往和 CPU 单元合为一体，中大型 PLC 都有

专门电源单元。有些 PLC 电源部分还有 24VDC 输出, 用于对外部传感器供电, 但电流往往是毫安级的。

#### (六) 编程器

编程器是 PLC 的最重要外围设备。利用编程器将用户程序送入 PLC 的存储器, 还可以用编程器检查程序、修改程序、监视 PLC 的工作状态。编程器一般分简易型手操式编程器、专用图形编程器和专用的编程软件。

简易编程器至少包括一个键盘, 一些数码字符显示器。这里的键盘是直接表示可编程控制器指令系统的键盘, 使用很方便。这种编程器的缺点就是无法以梯形图图形的方式输入并编辑程序和监控运行。

专用图形编程器就像一台便携式计算机, 本身带有 CRT、软盘驱动器, 还有许多接口 (如打印机接口、串行接口等), 程序编辑功能也极强。它还可以作为工作站使用, 即把它挂在可编程控制器网络上, 对各站进行监控、管理、调试等工作。

随着个人计算机的日益普及, 在个人计算机上使用专用的编程软件 (如三菱的 FXGP-WIN 编程软件、GX Developer 编程软件) 实现图形编程器的功能, 已经成为一个新的发展趋势。这种编程手段的特点是可以充分利用个人计算机的资源 (如硬盘、打印及各种接口), 大大降低编程器的成本。

### 二、PLC 的软件

PLC 还需要软件支持才能进行工作。在 PLC 中, 软件程序分为系统监控程序和用户程序两大部分。

#### (一) 系统监控程序

系统监控程序是系统程序, 它由 PLC 的厂家编制的, 用于控制 PLC 本身的正常运行。系统监视程序的好坏决定了 PLC 的性能。系统监控程序主要包括系统管理程序、用户指令解释程序和标准程序模块。系统管理程序的主要功能是进行运行时间的管理、存储空间的管理、实现 PLC 内部自诊断等; 用户指令解释程序的主要功能是将梯形图程序、用户指令转换为计算机能识别的机器码; 标准程序模块的主要功能是一系列由厂家设计好的具有一定控制功能的程序, 可方便系统进行调用。

#### (二) 用户程序

用户程序是用户所编制的针对控制问题的控制程序, 采用 PLC 的编程语言编写。用户程序存储在监控程序指定的存储区间内, 它的最大容量由监控程序所决定。

### 三、PLC 的硬件结构

PLC 的硬件结构按便于在工业现场安装, 便于扩展、接线的原则通常采用单元式和模块式, 以及将这两种形式结合起来的叠装式结构。

#### (一) 单元式

单元式 PLC 亦称整式, 一般小型 PLC 采用这种结构。单元式 PLC 将所有的电路集中在一个模块内, 构成一个整体, 可直接装入机床或其他设备的电控柜中。这种 PLC 结构紧凑、体积小、重量轻、成本低、安装方便, 但输入输出点数是固定的。为了达到输入输出点数灵活配置且易于扩展的目的, PLC 的产品通常都有不同点数的基本单元 (M)、扩展单元 (E) 和扩展模块三部分来搭配使用。

基本单元 (M): 亦称主机, 内有 CPU 与存储器, 为必用装置。

扩展单元 (E): 增加 I/O 点数用的装置, 内无 CPU。

扩展模块: 与扩展单元不同, 它内部无电源, 需由基本单元或扩展单元供给 DC24V 电源, 其端子排也非可卸式而是固定式。

### (二) 模块式

大、中型 PLC 多采用模块式结构, 采用搭积木的方式组成系统, 在一块基板上插上 CPU、电源、I/O 模块及特殊功能模块, 构成一个总 I/O 点数很多的大规模综合控制系统。

这种结构形式的特点是 CPU、输入、输出都是独立模块, 配置很灵活, 可以根据不同的系统规模选用不同档次的 CPU 及各种 I/O 模块、功能模块。其模块尺寸统一、安装整齐, 对于 I/O 点数很多的系统选型、安装调试、扩展、维修等都非常方便。

### (三) 叠装式

以上两种结构各有特色。前者结构紧凑, 安装方便, 体积小巧, 易于与机床、电控箱连接成一体。后者点数配置灵活, 各种模块选择余地大, 维护方便。又易于构成较多点数的大型系统, 但尺寸较大, 难于与小型设备相连接。为此, 三菱公司开发出叠装式结构, 采用各种单元、CPU 自成独立的模块, 但安装不用基板, 仅用电缆进行单元间连接, 且各单元可以一层层地叠装。这样, 既达到了配置灵活的目的, 又可以使 PLC 体积小巧。

## 第三节 可编程控制器的工作原理及工作方式

### 一、PLC 的工作原理

PLC 有两种基本的工作状态, 即运行 (RUN) 状态和停止 (STOP) 状态。在运行状态, PLC 要顺序完成不同任务, 即按分时操作原理运行, 每段时间分别执行不同操作任务, 包括内部处理、通信服务、输入处理、程序执行、输出处理等任务并循环执行, 是典型的循环扫描工作方式。将整个工作顺序扫描执行一遍, 为一个扫描周期。其扫描过程如图 1-3-1 所示。在运行状态下, PLC 按扫描周期一个周期一个周期顺序地执行上述操作任务, 以完成控制。在 PLC 停止状态只执行内部处理和通信服务。在内部处理阶段, PLC 通过自诊断程序检查 CPU 模块的硬件是否正常, 复位监视定时器等。在通信服务阶段, PLC 与一些智能模块通信、响应编程器键入的命令、更新编程器的显示内容等。下面主要介绍与用户程序运行有关的输入处理、程序执行、输出处理三个过程。

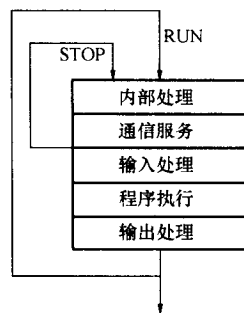


图 1-3-1 PLC 扫描过程

### 二、PLC 的工作过程

PLC 按顺序执行输入处理、程序执行、输出处理三个工作过程, 如图 1-3-2 所示。

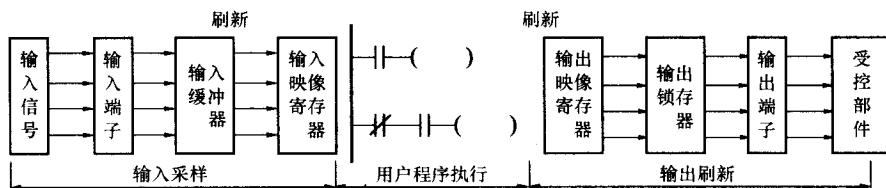


图 1-3-2 PLC 三个工作过程

### (一) 输入处理

输入处理也叫输入采样。在此阶段, PLC 顺序读入所有输入端子所接的外部输入信号的通断状态, 并将读入的输入信号的状态存入存储器中对应的输入映像寄存器。输入信号的通/断状态对应用输入映像寄存器中的“1”、“0”二进制信号表示, 用“1”表示通, 用“0”表示断, 来完成输入信号的采集和存储。存入输入映像寄存器的状态会保持一个扫描周期, 直到下次对输入端子的通断状态进行扫描时, 才刷新输入映像寄存器的状态。即不在 CPU 输入处理阶段时, 即使输入信号发生变化, 其映像寄存器的内容也不会发生变化, 只有在下一个扫描周期的输入处理阶段才能被读入信息。

### (二) 程序执行

根据 PLC 梯形图程序扫描原则, 按先左后右、先上后下的步序, 逐句扫描, 执行程序。但遇到程序跳转指令, 则根据跳转条件是否满足来决定程序的跳转地址。执行程序时若涉及到输入信号的状态, PLC 从输入映像寄存器中读出前阶段采集的对应输入信号的状态, 其他元件的状态从其对应存储器中读出。根据用户程序进行逻辑运算, 运算结果再存入有关元件的存储器中。对每个器件而言, 元件映像寄存器中所寄存的内容, 会随着程序执行过程而变化。

### (三) 输出处理

输出处理也叫输出刷新。程序执行完毕后, 将输出映像寄存器, 即元件映像寄存器中的

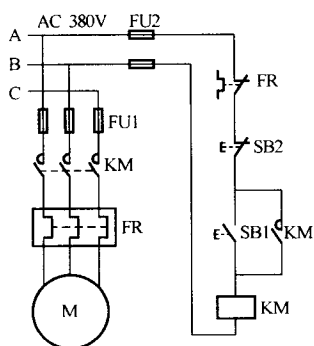


图 1-3-3 电动机主控制电路

Y 寄存器的状态, 在输出处理阶段转存到输出锁存器, 通过隔离电路, 驱动功率放大电路, 使输出端子向外界输出控制信号, 驱动外部负载。同样道理, 输出锁存器中的输出信号状态的刷新只在输出处理阶段进行, 在刷新之前, 其状态保持一个扫描周期。

下面用异步电动机启/停控制来说明 PLC 的输入采样、程序执行和输出刷新过程及 PLC 工作方式。图 1-3-3 是用交流接触器控制三相异步电动机运行的主控制电路。按下启动按钮 SB1, 交流接触器线圈 KM 通电, KM 辅助动合触点动作闭合, 形成“自保持”或“自锁”, 同时 KM 三对主触点动作闭合,

接通电动机三相交流电源, 使电动机开始运行。当需停机时, 按下停止按钮 SB2, 其动断触点动作断开, 接触器线圈 KM 失电, KM 主触点复位断开, 电动机断电停机。

将该控制用 PLC 实现。输入信号启动按钮 SB1 和停止按钮 SB2（使用动合触点）分别接在 PLC 的输入端子 X0、X1 端口, 输出信号 KM 接触器线圈接在输出端子 Y0 端口。并编写梯形图程序如图 1-3-4 所示。

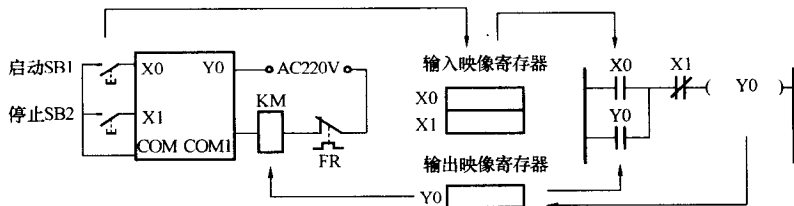


图 1-3-4 电动机控制梯形图程序

在输入处理阶段，CPU 将采集 SB1、SB2 的通/断状态，并存入输入映像寄存器。

在执行程序阶段，CPU 顺序扫描梯形图，按照从左向右，从上到下的顺序，先从输入映像寄存器读 X0 信号的状态，再按顺序从输出映像寄存器读 Y0 的状态，并与 X0 按照并联关系进行“或”运算，将结果存入运算结果存储器，再读输入映像寄存器 X1 的状态，与前电路的运算结果按串联关系进行“与”运算，结果存入运算结果存储器。最后将运算结果存储器中的二进制数存入输出映像寄存器 Y0 中，完成对 Y0 的控制。

在输出处理阶段，CPU 将输出映像寄存器 Y0 中的二进制数对应转存至输出锁存器，由其驱动外部负载。如锁存器状态为“1”，对应 Y0 端口的 KM 接触器线圈将通电，反之断电。

### 三、PLC 扫描周期

扫描周期是 PLC 一个很重要的指标，它是 PLC 顺序完成一遍内部处理、通信操作、输入处理、程序执行、输出处理等过程所需的时间。因此，PLC 的扫描时间取决于扫描速度和用户程序长短。三菱 FX<sub>2N</sub> 型 PLC 指令运算处理速度达到微秒级。如基本指令执行速度为  $0.08\mu\text{s}/\text{指令}$ ，应用功能指令为  $1.52\sim 100\mu\text{s}/\text{指令}$ ，程序容量为 8K 步。其输入响应时间为 10ms，输出响应时间中，继电器输出方式最大，约为 10ms。所以小型 PLC 的扫描周期一般为十几毫秒到几十毫秒。毫秒级的扫描时间对于一般工业设备通常是可以接受的。但是对某些 I/O 快速响应的设备，则应采取相应的处理措施。如选用高速 CPU 提高扫描速度，采用快速响应模块、高速计数模块以及不同的中断处理等措施减少滞后时间。

### 四、输入/输出滞后时间

由于 PLC 是扫描工作方式，按顺序执行，因此，在程序执行阶段即便输入发生了变化，输入状态映像寄存器的内容也不会变化，要等到下一周期的输入采样处理阶段才能改变。在输出刷新处理阶段，CPU 才集中将这些暂存于输出映像寄存器中的输出信号全部转存输出锁存器，刷新输出端口。由此可以看出，全部输入输出状态的改变，需要一个扫描周期。换言之，输入输出的状态均需保持一个扫描周期。即从输入变化到相应的输出变化，会有一个滞后时间，这是由 PLC 的扫描工作方式造成的。若需在程序执行过程中刷新输入/输出映像寄存器的内容时，必须使用输入/输出刷新指令。

影响 I/O 滞后的其他原因还有：输入滤波器滤波时间、输出继电器方式下触点动作的机械滞后时间、程序设计不当等。PLC 制作好后，输入滤波器滤波时间、输出机械滞后时间以及扫描工作方式是不可改变的。因此，对用户来说，合理的编制程序是缩短响应时间的关键。

图 1-3-5 为程序编写顺序造成的滞后。图 1-3-5 (a) 为合理程序，图 1-3-5 (b) 为顺序不当的程序。分析比较两程序，(b) 程序的输出 Y1 比 (a) 程序滞后一个扫描周期。

在 PLC 梯形图程序设计中，应注意程序编写顺序对程序执行结果的影响。应避免图 1-3-5 中所反映的因程序编写顺序而造成的人为滞后问题。但在某些特殊控制问题中，却需要利用 PLC 扫描工作方式所引起的元件状态改变的滞后，来实现控制。如图 1-3-6 所举例子，图中当输入信号通电时，在第一个扫描周期，由于扫描到 Y1 动断触点时，Y1 输出还未被驱动，所以从输出映像寄存器读出的 Y1 动断触点状态为闭合。因此在第一扫描周期结束，Y0、Y1 被驱动接通。但在第二个扫描周期，第二次读取 Y1 动断触点状态时，因前一周期 Y1 输出被驱动，此时从输出映像寄存器读出的 Y1 动断触点状态为动作后断开的状

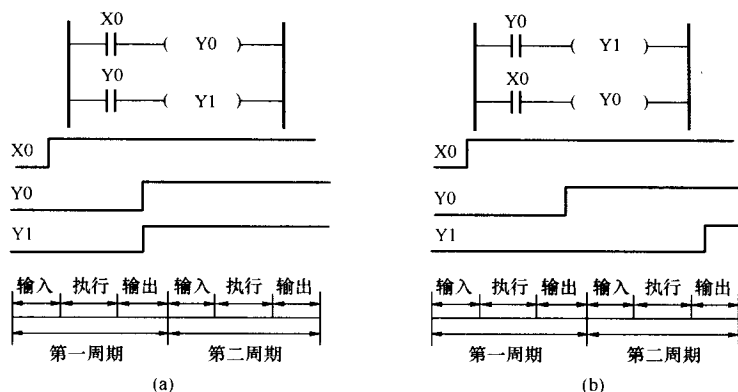


图 1-3-5 程序编写顺序造成的滞后

(a) 合理程序；(b) 顺序不当的程序

态。因此，此周期输出 Y0 断电。即 Y0 维持通电时间仅为一个扫描周期，Y0 输出得到的是宽度为一个扫描周期的单脉冲信号。此即利用 PLC 扫描执行方式得到的。

### 五、PLC 控制与继电器控制的区别

循环扫描的工作方式是 PLC 的一大特点，也可以说 PLC 是“串行”工作的，这和传统的

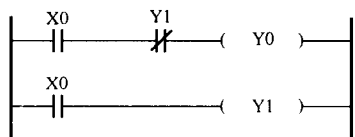


图 1-3-6 单脉冲输出电路

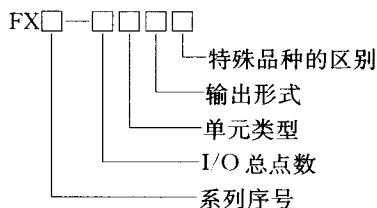
继电器控制系统“并行”工作有质的区别。如图 1-3-6 所示电路，在 PLC 的串行工作方式下可得到 Y0 单脉冲输出，而在继电器控制中是不行的。因为在 PLC 中是软元件的状态在存储器中的存储和调用，而继电器控制电路中是实际电流，存在触点竞争和时序失配的问题。

继电器控制采用实际硬件和硬接线，导线的不同连接实现控制逻辑的控制方式，通常称为接线逻辑。PLC 采用用存储器状态表示的软元件和软件编程，利用软元件间的逻辑运算实现控制逻辑，即程序存储、元件状态调用的控制方式，通常称为存储逻辑。

## 第四节 可编程控制器的性能及软元件

### 一、FX 系列 PLC 型号的含义

日本三菱电机公司研制的 FX 系列 PLC 是目前国内外较新，并且有代表性的微型 PLC。FX 系列 PLC 型号命名的基本格式为



系列序号：0，0S，0N，1，2，2C，1S，2N，2NC。

I/O 总点数：14~256。

单元类型：M——基本单元；

E——输入输出混合扩展单元及扩展模块；