

项目 2 三相异步电动机的 PLC 控制

2.1 相关知识

2.1.1 PLC 的编程语言

在可编程控制器中有多种程序设计语言，它们是梯形图（Ladder Diagram，LD）、指令语句（Instruction List，IL）、顺序功能图（Sequential Function Chart，SFC）、功能块图（Function Block Diagram，FBD）、结构文本（Structured Text，ST）等。其中，梯形图和功能块图为图形语言；指令语句和结构文本为文字语言；顺序功能图是一种结构块控制流程图。

梯形图和语句表是基本程序设计语言，它通常由一系列指令组成，用这些指令可以完成大多数简单的控制功能，例如代替继电器、计数器、计时器完成顺序控制和逻辑控制等，通过扩展或增强指令集，它们也能执行其他基本操作。

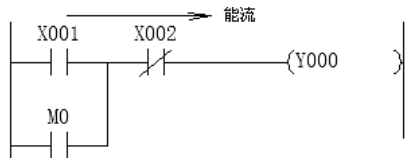
1. 梯形图程序设计语言

梯形图程序设计语言是最常用的一种程序设计语言。它来源于继电器逻辑控制系统的描述。在工业过程控制领域，电气技术人员对继电器逻辑控制技术较为熟悉，因此，由这种逻辑控制技术发展而来的梯形图受到了欢迎，并得到了广泛应用。梯形图与操作原理图相对应，具有直观性和对应性；与原有的继电器逻辑控制技术的不同是：梯形图中的能流不是实际意义的电流，内部的继电器也不是实际存在的继电器，因此，应用时需要与原有继电器逻辑控制技术的有关概念区别对待。梯形图由触点、线圈（主要指 Y、M 等继电器和辅助继电器）和应用指令等组成。线圈通常代表逻辑输出结果和输出标志位。触点代表逻辑输入条件。

（1）梯形图编程的基本概念。

1）能流。在梯形图中为了分析各个元器件之间输入与输出的关系，就会假想一个概念电流，也称为能流（Power Flow）。认为电流按照从左到右的方向流动，这一方向与执行用户顺序时的逻辑运算关系是一致的。如表 2-1 所示，当 X001 与 X002 的触点接通，或者 M0 与 X002 的触点接通时，就会有一个假想的能流流过 Y000 的线圈，使线圈通电。利用能流的这一概念，可以帮助我们更好地理解和分析梯形图。能流只能从左向右流动，层次改变只能从上向下。

表 2-1 梯形图与语句表的基本结构形式

梯形图	语句表		
	序号	操作码	操作数
	0	LD	X001
	1	OR	M0
	2	ANI	X002
	3	OUT	Y000
	4	END	

2）母线。梯形图两侧的垂直公共线称为母线（Bus Bar）。母线之间有能流从左向右流动。通常梯形图中的母线有左右两条，如表 2-1 所示。

3) 软触点。PLC 梯形图中的某些编程元件沿用了继电器这一名称, 如输入继电器、输出继电器、内部辅助继电器等, 但是它们不是真实的物理继电器, 而是一些存储单元, 每个继电器的触点与 PLC 存储器中映像继电器的一个存储单元相对应, 所以这些触点称为软触点。这些软触点的“1”或“0”状态代表着相应继电器触点或线圈的接通或断开。而且对于 PLC 内部的软触点, 该存储器单元如果为“1”状态, 则表示梯形图中对应软继电器的线圈通电, 其常开触点() 接通, 常闭触点() 断开。在继电器控制系统的接线中, 触点的数目是有限的, 而 PLC 内部的软触点的数目和使用次数是没有限制的, 用户可以根据控制现场的具体要求在梯形图程序中多次使用同一软触点。

(2) 梯形图的特点。

PLC 的梯形图源于继电器逻辑控制系统的描述, 并与电气控制系统梯形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。它采用梯形图的图形符号来描述程序设计, 是 PLC 程序设计中最常用的一种程序设计语言。这种程序设计语言采用因果关系来描述系统发生的条件和结果。其中每个梯级是一个因果关系。在梯级中, 描述系统发生的条件表示在左边, 事件发生的结果表示在右边。PLC 的梯形图使用的内部辅助继电器、定时/计数器等都是由软件实现的, 它的最大优点是使用方便、修改灵活、形象、直观和实用。这是传统电气控制的继电器硬件接线所无法比拟的。

关于梯形图的格式一般有如下要求: 每个梯形图网络由多个梯级组成; 每个输出元素可构成一个梯级, 每个梯级可有多支路; 通常每个支路可容纳 11 个编程元素, 最右边的元素必须是输出元素; 一个网络最多允许 16 条支路。

梯形图有以下 8 个基本特点:

- PLC 梯形图与电气操作原理图相对应, 具有直观性和对应性, 并与传统的继电器逻辑控制技术相一致。
- 梯形图中的“能流”不是实际意义的电流, 而是“概念”电流, 是用户程序运算中满足输出执行条件的形象表示方式。“能流”只能从左向右流动。
- 梯形图中各编程元件所描述的常开触点和常闭触点可在编制用户程序时无限引用, 不受次数的限制, 既可常开又可常闭。
- 梯形图格式中的继电器与物理继电器是不同的概念。在 PLC 中编程元件沿用了继电器这一名称, 如输入继电器、输出继电器、内部辅助继电器等。对于 PLC 来说, 其内部的继电器并不是实际存在的具有物理结构的继电器, 而是指软件中的编程元件(软继电器)。编程元件中的每个软继电器触点都与 PLC 存储器中的一个存储单元相对应。因此, 在应用时需要与原有继电器逻辑控制技术的有关概念区别对待。
- 梯形图中输入继电器的状态只取决于对应的外部输入电路的通断状态, 因此在梯形图中没有输入继电器的线圈。输出线圈只对应输出映像区的相应位, 不能用该编程元件直接驱动现场机构, 位的状态必须通过 I/O 模板上对应的输出单元驱动现场执行机构进行最后动作的执行。
- 根据梯形图中各触点的状态和逻辑关系, 可以求出与图中各线圈对应的编程元件的 ON/OFF 状态, 称为梯形图的逻辑运算。逻辑运算按照梯形图中从上到下、从左到右的顺序进行。逻辑运算是根据输入映像寄存器中的值, 而不是根据逻辑运算瞬时外部输入触点的状态来进行的。
- 梯形图中的用户逻辑运算结果可立即被后面用户程序的逻辑运算利用。

- 梯形图与其他程序设计语言有一一对应关系，便于相互的转换和对程序的检查。但对于较为复杂的控制系统，与顺序功能图等程序设计语言比较，梯形图的逻辑性描述还不够清晰。

(3) 梯形图的设计规则。

- 由于梯形图中的线圈和触点均为“软继电器”，因此同一标号的触点可以反复使用，次数不限，这也是 PLC 区别于传统控制的一大优点。
- 每个梯形图由多层逻辑行（梯级）组成，每层逻辑行起始于左母线，经过触点的各种连接，最后结束于线圈，不能将触点画在线圈的右边，只能在触点的右边接线圈。每一逻辑行实际代表一个逻辑方程。
- 梯形图中的“输入触点”仅受外部信号控制，而不能由内部继电器的线圈将其接通或断开，即线圈不能直接与左母线相连接。所以在梯形图中只能出现“输入触点”，而不可能出现“输入继电器的线圈”。
- 在几个串联回路相并联时，应将触点最多的那个串联回路放在梯形图的最上面。在几个并联回路相串联时，应将触点最多的并联回路放在梯形图的最左边。这种安排所编制的程序简洁明了，指令较少。
- 触点应画在水平线上，不能画在垂直分支上。被画在垂直线上的触点，难以正确识别它与其他触点间的关系，也难以判断通过触点对输出线圈的控制方向。因此梯形图的书写顺序是自左至右、自上至下，CPU 也按此顺序执行程序。
- 梯形图中的触点可以任意串联、并联，但输出线圈只能并联，不能串联。

2. 指令语句程序设计语言

语句表程序设计语言是用布尔助记符来描述程序的一种程序设计语言。语句表程序设计语言与计算机中的汇编语言非常相似，采用布尔助记符来表示操作功能。语句表表达式与梯形图有一一对应的关系，由指令组成的程序叫做指令（语句表）程序。在用户程序存储器中，指令按步序号顺序排列。

语句表程序设计语言具有以下特点：

- 采用助记符来表示操作功能，具有容易记忆、便于掌握的特点。
- 在编程器的键盘上采用助记符表示，具有便于操作的特点，可在无计算机的场合进行编程设计。
- 用编程软件可以将语句表与梯形图相互转换，如表 2-1 所示。

3. 功能块图程序设计语言

功能块图程序设计语言是采用逻辑门电路的编程语言，有数字电路基础的人很容易掌握。功能块图指令由输入、输出段及逻辑关系函数组成，如图 2-1 所示。方框的左侧为逻辑运算的输入变量，右侧为输出变量，输入输出端的小圆圈表示“非”运算，信号自左向右流动。

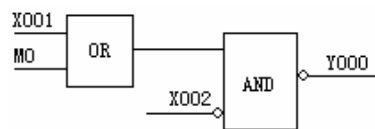


图 2-1 功能块图

4. 顺序功能流程图程序设计

顺序功能流程图程序设计是近年来发展起来的一种程序设计。采用顺序功能流程图的描述，控制系统被分为若干个子系统，从功能入手，使系统的操作具有明确的含义，便于设计人员和操作人员设计思想的沟通，便于程序的分工设计和检查调试。顺序功能流程图的主要元素是步、转移、转移条件和动作。顺序功能流程图及其特点如表 2-2 所示。

表 2-2 顺序功能流程图

顺序功能流程图	顺序功能流程图程序设计的特点
	①以功能为主线，条理清楚，便于对程序操作的理解和沟通 ②对于大型程序，可分工设计，采用较为灵活的程序结构，可节省程序设计时间和调试时间 ③常用于系统规模较大、程序关系较复杂的场合 ④只有在活动步的命令和操作被执行后才对活动步后的转换进行扫描，因此整个程序的扫描时间大大缩短

5. 结构文本程序设计

结构文本是为 IEC61131-3 标准创建的一种专用的高级编程语言，如 BASIC、Pascal、C 语言等。它采用计算机的描述语句来描述系统中各种变量之间的运算关系、完成所需的功能或操作。与梯形图相比，它能实现复杂的数学运算，编写的程序非常简洁紧凑。在大中型可编程控制器系统中，常采用结构文本设计语言来描述控制系统中各变量之间的关系，如一些模拟量等。它也被用于集散控制系统的编程和组态。在进行 PLC 程序设计过程中，除了允许几种编程语言供用户使用外，标准还规定编程者可在同一程序中使用多种编程语言，这使编程者能选择不同的语言来适应特殊的工作，使 PLC 的各种功能得到更好的发挥。

2.1.2 FX_{2N} 的软元件

PLC 用于工业控制，其实质是用程序表达控制过程中事物间的逻辑或控制关系。在 PLC 内部设置有各种不同功能、能方便代表控制过程中各种事物的元器件，称为编程元件。编程元件用来完成程序所赋予的逻辑运算、算术运算、定时、计数等功能。PLC 的编程元件从物理实质上讲是电子电路及存储器，考虑到工程技术人员的习惯，常采用继电器电路中的类似器件名称命名，如输入继电器、输出继电器、辅助继电器、状态继电器、定时器、计数器等。为了和普通的硬器件相区别，称 PLC 的编程元件为软元件，是等效概念的模拟器件，并非实际的物理器件。从编程的角度出发，可以不管这些软元件的物理实现，只需注意其功能，在编程中可以像在继电器—接触器电路中一样使用。

每种软元件根据其功能赋予一个名称并用相应的字母表示，如输入继电器 X、输出继电器 Y、辅助继电器 M、状态继电器 S、定时器 T、计数器 C、数据寄存器 D 等。当有多个同类软元件时，在字母的后面加上数字编号，该数字也是元件的存储地址。其中，输入继电器和输出继电器用八进制数字编号，其他均采用十进制数字编号。

1. 输入继电器

输入继电器与 PLC 的输入端子相连，是专门用来接收 PLC 外部开关信号的元件。PLC 通过将外围输入设备的状态（接通或断开状态）转换成输入接口等效电路中输入继电器线圈的通电、断电状态（接通时为“1”状态，断开时为“0”状态，这个过程也称为外围设备状态写入）并存储在输入映像寄存器中。

输入继电器线圈由外部输入信号驱动，只有当外部信号接通时，对应的输入继电器才得电，不能用指令来驱动，所以在程序中只能用触点（该输入继电器的专用数据存储区——输入映像寄存器的状态）而不可用其线圈。由于输入继电器（X）为输入映像寄存器中的状态，因此其触点的使用次数不限。另外，输入继电器的触点只能用于内部编程，无法驱动外部负载。

FX 系列 PLC 的输入继电器采用八进制数字编号,如 X000~X007 和 X010~X017。注意,通过 PLC 编程软件或编程器输入时会自动生成四位八进制的地址编号,因此在标准梯形图中是四位地址编号,但在非标准梯形图中,习惯写成 X0~X7、X10~X17 等,输出继电器 (Y) 的写法与此相同。FX_{2N} 输入继电器的编号范围为 X000~X267 (184 个)。

2. 输出继电器

输出继电器与 PLC 的输出端子相连,用来将 PLC 内部程序运算结果输出给外部负载 (用户输出设备)。输出继电器线圈由 PLC 内部程序的指令驱动,其线圈状态传送给输出单元,再由输出单元对应的硬触点来驱动外部负载。

每个输出继电器在输出单元都对应有唯一一个常开硬触点,但在程序中供编程的输出继电器的常开触点和常闭触点都可以使用无数次。

FX 系列 PLC 的输出继电器采用八进制数字编号,如 Y000~Y007 和 Y010~Y017 等。FX_{2N} 输出继电器的编号范围为 Y000~Y267 (184 个)。

3. 辅助继电器

PLC 内部有很多辅助继电器,它是一种内部的状态标志,相当于继电器控制系统中的中间继电器。它的常开/常闭触点在 PLC 的梯形图内可以无限次地自由使用,但是这些触点不能直接驱动外部负载。辅助继电器采用 M 与十进制数字共同组成编号。

(1) 通用辅助继电器。

FX_{2N} 共有 500 个通用辅助继电器 (M0~M499)。通用辅助继电器在 PLC 运行时,如果电源突然断电,则全部线圈均为 OFF 状态。当电源再次接通时,除了因外部输入信号而变为 ON 状态的以外,其余的仍将保持 OFF 状态,它们没有断电保护功能。通用辅助继电器常在逻辑运算中用于辅助运算、状态暂存、移位等。注意,根据需要可通过程序将 M0~M499 变为断电保持辅助继电器。

(2) 断电保持辅助继电器。

FX_{2N} 共有 2572 个断电保持辅助继电器 (M500~M3071)。与普通辅助继电器不同,它具有断电保护功能,即能记忆电源中断瞬间的状态,并在重新通电后再现其状态。它之所以能在电源断电时保持其原有的状态,是因为电源中断时利用了 PLC 中的锂电池供电来保持其映像寄存器中的内容。注意,根据需要可通过软件设置将 M500~M1023 设定为通用辅助继电器,这时应通过在程序最前面的位置用 RST 或 ZRST 指令进行状态初始化。

(3) 特殊辅助继电器。

PLC 内有大量的特殊辅助继电器,不同的特殊辅助继电器有各自特定的功能。FX_{2N} 系列 PLC 中有 256 个特殊辅助继电器,通常分为触点型和线圈型两类,如表 2-3 所示。

表 2-3 特殊辅助继电器

类型及名称		编号	功能	备注
触点型特殊辅助继电器	运行监视继电器	M8000	当 PLC 处于 RUN 时,其线圈一直得电	其线圈由 PLC 自动驱动,用户只可以利用其触点。用户可读取该触点来监视 PLC 运行状态或获取时钟
		M8001	当 PLC 处于 STOP 时,其线圈一直失电	
	初始化继电器	M8002	当 PLC 开始运行时的第一个扫描周期其线圈得电	
		M8003	当 PLC 开始运行时的第一个扫描周期其线圈失电	
	出错指示继电器	M8004	当 PLC 有错误时,其线圈得电	
		M8005	当 PLC 锂电池电压下降至规定值时,其线圈得电	

续表

类型及名称		编号	功能	备注
触点型特殊辅助继电器	出错指示继电器	M8061	PLC 硬件出错，出错代码为 D8061	
		M8064	参数出错，出错代码为 D8064	
		M8065	语法出错，出错代码为 D8065	
		M8066	电路出错，出错代码为 D8066	
		M8067	运算出错，出错代码为 D8067	
		M8068	当线圈得电时锁存错误运算结果	
	标志继电器	M8020	零标志。当运算结果为 0 时，其线圈得电	
		M8021	借位标志。减法运算的结果为负的最大值以下时，其线圈得电	
		M8022	进位标志。加法运算或移位操作的结果发生进位时，其线圈得电	
	时钟继电器	M8011	产生周期为 10ms 的脉冲	
		M8012	产生周期为 100ms 的脉冲	
		M8013	产生周期为 1s 的脉冲	
线圈型特殊辅助继电器		M8034	禁止全部输出。当 M8034 线圈被接通时，PLC 所有输出自动断开	由用户驱动线圈，PLC 将做出特定动作
		M8039	恒定扫描周期方式。当 M8039 线圈被接通时，PLC 以恒定的扫描方式运行，其扫描周期值由 D8039 决定	
		M8031	非保持型继电器、寄存器状态清除	
		M8032	保持型继电器、寄存器状态清除	
		M8033	PLC 的工作模式由 RUN 转为 STOP 时，输出保持 RUN 前状态	
		M8035	强制运行（RUN）监视	
		M8036	强制运行（RUN）	
		M8037	强制停止（STOP）	

（4）状态继电器。

状态继电器（S）是构成状态转移图的基本要素，是对步进顺序控制进行简易编程的重要软元件，与步进指令 STL 组合使用。状态继电器的常开和常闭触点在 PLC 梯形图内可以自由使用，使用次数不限。不用步进顺序控制指令时，状态继电器可以作为辅助继电器在程序中使用。停电保持用状态继电器能记忆电源停电前一刻的开/关状态，因此能从中途工序开始工作。与辅助继电器 M 一样，利用来自外围设备的参数设定可以改变普通型与断电保持型状态的地址分配。FX_{2N} 的状态继电器有以下 5 种类型：

- 初始状态继电器 S0～S9，共 10 个，用于状态转移图的初始状态。
- 回零状态继电器 S10～S19，共 10 个，在多运行模式控制中用于返回原点的状态。
- 通用状态继电器 S20～S499，共 480 个，用于状态转移图的中间状态。
- 保持状态继电器 S500～S899，共 400 个，具有停电保持功能，用于停电恢复后需要继续执行停电前状态的场合。

- 报警用状态继电器 S900～S999，共 100 个，作为报警元件使用。

注意：当状态继电器作为一般状态使用时，应在程序的起始部分设置区间复位电路，如图 2-2 所示。

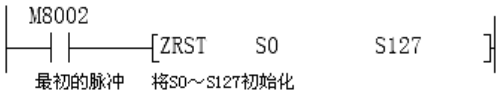


图 2-2 一般用状态继电器的初始化

(5) 定时器。

定时器 (T) 又称计时器，在 PLC 中的作用相当于一个时间继电器，用于时间控制。PLC 中的定时器分为普通定时器和积算定时器两类。工作时，当定时器线圈得电时，定时器对应的时钟脉冲 (100ms、10ms、1ms) 从 0 开始计数，根据设定时间值与当前时间值的比较，当计数值等于设定值时，定时器触点动作。除此之外，也可以将计数器的当前值读取用于控制。定时器可采用程序存储器内的常数 K (立即数) 作为设定值，也可用数据寄存器 D 的内容进行间接指定。另外，不使用的定时器可用作数据寄存器。

FX_{2N} 系列 PLC 的定时器的分类与功能如表 2-4 所示。

表 2-4 FX_{2N} 系列 PLC 的定时器的分类与功能

普通定时器		积算定时器		电位器型 0~255 的数值
100ms 0.1~3276.7s	10ms 0.01~327.67s	1ms 0.001~32.767s	100ms 0.1~3276.7s	
T0~T199 (200 点) 其中 T192~T199 为 子程序和中断程序用	T200~T245 (46 点)	T246~T249 (4 点) 执行中断的保持用	T250~T255 (6 点) 保持用	功能扩展板 8 点

定时器的定时常数可采用立即数设定，也可用数据寄存器 D 间接寻址方法设定。

立即数设定方法如图 2-3 所示。当 X003=ON 时，将十进制数 K100 赋予定时器 T10 的时间设定值寄存器，同时启动 T10 定时器，对 PLC 内部的 100ms 时基进行计数。



图 2-3 立即数设定方法

间接寻址方法设定如图 2-4 所示。当 X001=ON 时，将十进制数 K100 赋予数据寄存器 D5；当 X003=ON 时，将数据寄存器 D5 的数值 (K100) 赋予定时器 T10 的时间设定值寄存器，同时启动 T10 定时器，对 PLC 内部的 100ms 时基进行计数。

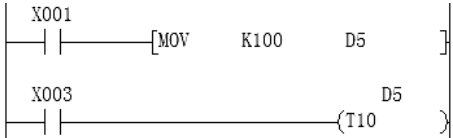


图 2-4 间接寻址方法设定

普通定时器的特点是不具备断电保持功能，即当输入电路断开或停电时定时器复位。

积算定时器具有计算累积的功能。在定时过程中如果断电或定时器线圈在 OFF 状态，积算定时器将保持当前的计数值（当前值），通电或定时器线圈在 ON 状态后继续累积，即其当前值具有保持功能，只有将积算定时器复位，其当前值才变为 0。

（6）计数器。

计数器（C）在程序中用于计数控制，对 X、Y、M、S、T 和 C 等元件的触点通断次数进行计数。计数器与定时器相同，通过设定计数值与当前计数值的比较结果来输出触点信号。此外，也可以将计数器的当前值读取用于控制。不使用的计数器，可用作数据寄存器。当用 MOV 等应用指令将小于当前值寄存器的数据写入设定值寄存器时，在下次计数输入到来时，计数器触点立即接通，当前值寄存器的数值变为设定值。当前值寄存器的最高位为符号位，符号位为 0 时，值为正数；符号位为 1 时，值为负数。

FX_{2N} 系列计数器主要分为 16 位增计数器和 32 位增/减计数器，二者特点如表 2-5 所示，地址号与功能如表 2-6 所示。

表 2-5 16 位计数器和 32 位计数器的特点

项目	16 位计数器	32 位计数器
计数方向	顺序计数	增/减可切换使用
设定值	1~32767	-2147483648~+2147483647
指定的设定值	常数 K 或数据寄存器	常数 K 或数据寄存器（一对）
当前值的变化	顺序计数后不变化	顺序计数后变化（循环计数器）
输出触点	顺序计数后保持动作	顺序计数后保持动作，倒数复位
复位动作	执行 RST 命令时，计数器的当前值为 0，输出触点复位	
当前值寄存器	16 位	32 位

表 2-6 计数器的地址号与功能

计数器	16 位增计数器		32 位增/减计数器	
	普通型	断电保持型	普通型	断电保持型
地址号	C0~C99, 100 点	C100~C199, 100 点	C200~C219, 20 点	C220~C234, 15 点

FX_{2N} 系列计数器分为内部计数器和高速计数器两类。

1) 内部计数器。

内部计数器在执行扫描操作时对内部信号（如 X、Y、M、S、T 等）进行计数。内部输入信号的接通和断开时间应比 PLC 的扫描周期稍长。

16 位增计数器（C0~C199）共 200 个。这类计数器为递加计数，使用前先对其设置一设定值，当输入信号（上升沿）个数累加到设定值时计数器动作，即其常开触点闭合，常闭触点断开。计数器的设定值为 1~32767（16 位二进制）。计数器可以用常数 K 作为设定值，也可以用数据寄存器 D 的内容作为设定值。

普通型 16 位增计数器的工作原理如图 2-5 所示。

32 位增/减计数器（C200~C234）共 35 个。这类计数器与 16 位增计数器的区别在于位数不同，还在于它能够通过控制实现增/减双向计数。设定值范围均为 -2147483648~+2147483647（32 位二进制）。

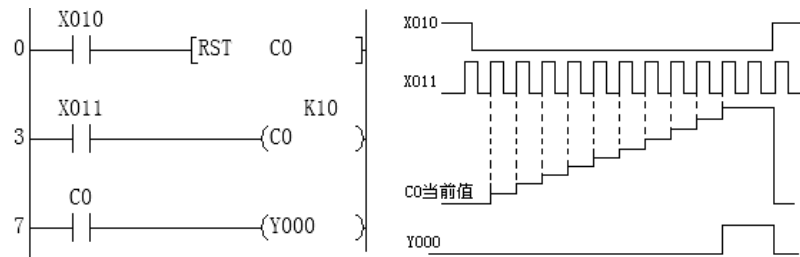


图 2-5 间接寻址方法设定

C200~C234 是增计数器还是减计数器分别由特殊辅助继电器 M8200~M8234 设定, 对应的特殊辅助继电器被置为 ON 时, 为减计数器; 置为 OFF 时, 为增计数器。

计数器的设定值与 16 位计数器一样, 可以直接用常数 K 作为设定值, 也可以间接用数据寄存器 D 的内容作为设定值。在间接设定时, 要使用编号紧连在一起的两个数据寄存器。

如图 2-6 所示, X010 用来控制 M8200, X010 闭合时, 采用减计数方式。X012 为计数输入, C200 的设定值为 5 (可正可负)。将 C200 置为增计数方式 (M8200 为 OFF), 当 X012 计数输入累加由 4 变为 5 时, 计数器的输出触点动作。当前值大于 5 时, 计数器仍为 ON 状态。只有当前值由 5 变为 4 时, 计数器才变为 OFF。只要当前值小于 4, 则输出保持为 OFF 状态。复位输入 X011 接通时, 计数器的当前值为 0, 输出触点也随之复位。

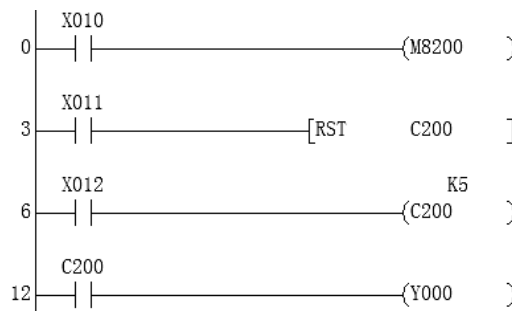


图 2-6 32 位增/减计数器

2) 高速计数器。

高速计数器与内部计数器相比, 除了允许输入频率高之外, 应用也更为灵活。高速计数器共有 21 个 (C235~C255), 均为 32 位增/减计数器, 均有断电保持功能。适合用来作为高速计数器输入的 PLC 输入端口有 X000~X007。X000~X007 不能重复使用, 即如果某一个输入端已被某个高速计数器占用, 则不能再用于其他高速计数器, 也不能作为他用, 不作为高速计数器使用的输入编号可在顺序控制程序内作为普通的输入继电器使用。当 X000~X007 作为高速计数器输入的 PLC 输入端口时, X000、X002、X003 的最高频率为 10kHz; X001、X004、X005 的最高频率为 7kHz; X006、X007 只能用在启动信号而不能用于高速计数。不同类型的计数器可同时使用, 但输入不能共用。例如, 由于 C251、C235、C236、C241、C244、C246、C247、C249、C252、C254 等高速计数器都使用 X000、X001 作为输入端, 因此上述高速计数器中有一个被使用, 则其他的就不能再使用。此外, 对应不作为高速计数器使用的高速计数器编号也可以作为数值存储用的 32 位数据寄存器使用。

高速计数器通过中断方式对特定的输入进行计数 (FX_{2N} 为 X000~X003), 与 PLC 的扫描周期无关。设定值范围为 -2147483648~+2147483647。

高速计数器可分为 3 类，如表 2-7 所示。

表 2-7 高速计数器

分类	编号范围	计数特点
单相单计数输入高速计数器	C235~C245	可进行增/减计数，计数方式取决于 M8235~M8245 的状态
单相双计数输入高速计数器	C246~C250	有两个输入端子，一个递增，一个递减，利用 M8246~M8250 的 ON/OFF 动作可监控 C246~C250 的增计数/减计数动作
双相输入型（A-B 相型）高速计数器	C251~C255	A 相和 B 相信号决定计数器是增计数还是减计数，利用 M8251~M8255 可监控 C251~C255 的增计数/减计数状态

注意：不要用计数器输入端触点作为计数器线圈的驱动触点。

（7）数据寄存器。

PLC 在进行 I/O 处理、模拟量控制、位置控制时，需要许多数据寄存器（D）存储数据和参数。数据寄存器可存储 16 位二进制数（一个字），最高位为符号位，该位为“0”时数据为正，为“1”时数据为负。可用两个数据寄存器合并起来存储 32 位数据（两个字），最高位仍为符号位。FX_{2N} 的数据寄存器有三种类型，如表 2-8 所示。

表 2-8 高速计数器

分类	编号范围	特点
通用数据寄存器	D0~D199	将数据写入通用寄存器后，其值将保持不变，直到下一次被改写。当 M8033 为 ON 时，D0~D199 有断电保护功能；当 M8033 为 OFF 时，无断电保护功能，即当 PLC 的状态由 RUN 改为 STOP 或停电时，数据全部清零
断电数据保存寄存器	D200~D7999	D200~D511 有断电保护功能，可以利用外部设备的参数设置改变通用数据寄存器与有断电保护功能的数据寄存器的分配；D490~D509 供通信用；D512~D7999 的断电保护功能不能用软件改变，但可以用指令清除其内容。通过参数设置可以将 D1000 以上的数据寄存器作为文件寄存器使用
特殊数据寄存器	D8000~D8255	用来监控 PLC 的运行状态，如扫描时间、电池电压等。PLC 上电时，这些数据寄存器被写入默认值。对于未加定义的特殊数据寄存器，用户不能使用

（8）变址寄存器。

FX_{2N} 有 16 个变址寄存器 V0~V7 和 Z0~Z7，它们都是 16 位的寄存器。变址寄存器实际上是一种特殊用途的数据寄存器，作用相当于计算机中的变址寄存器，用于改变元件的编号（变址）。例如，当 V0=12 时，数据寄存器 D6V0 相当于 D18（6+12=18）。变址寄存器也可以用来修改常数的值。例如，当 Z0=20 时，K48Z0 相当于常数 68（48+20=68）。变址寄存器可以像其他数据寄存器一样进行读写操作。需要进行 32 位操作时，可将 V、Z 串联使用（Z 为低位，V 为高位）。

（9）指针。

指针（P/I）用来指示分支指令的跳转目标和中断程序的入口标号，与跳转、子程序、中

断程序等指令一起应用。在梯形图中，指针放在左侧母线的左边。FX_{2N} 的指针按用途分为分支用指针 P 和中断用指针 I。

1) 分支用指针 P。分支用指针共 128 个 (P0~P127)，用来指示跳转指令的跳转目标或子程序调用指令调用子程序的入口地址。如图 2-7 所示，当 X001 常开触点接通时，执行跳转指令 CJ P0，PLC 跳到标号为 P0 处之后的程序去执行。

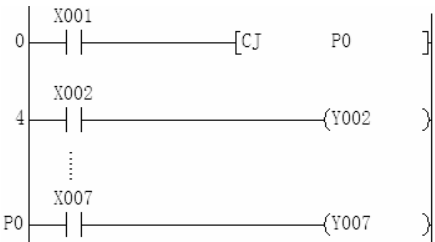


图 2-7 分支用指针应用

2) 中断用指针。中断用指针用来指示某一中断程序的入口位置。执行中断后遇到中断返回指令，则返回主程序。中断用指针有 3 种类型，如表 2-9 所示。

表 2-9 中断用指针

分类	编号范围	特点
外部输入中断用指针	I00□~I50□ 共 6 个	用于指示由特定输入端 (X000~X005) 的输入信号而产生中断的中断服务程序的入口位置，这类中断不受 PLC 扫描周期的影响，可以及时处理外界信息。□表示输入信号的边沿，可在 0 或 1 中选取 (0 为下降沿，1 为上升沿)
定时器中断用指针	I6□□~I8□□ 共 3 个	用于指示周期定时中断的中断服务程序的入口位置，这类中断的作用是 PLC 以指定的周期定时执行中断服务程序，定时循环处理某些任务，处理的时间也不受 PLC 扫描周期的影响。□□表示定时范围，可在 10~99ms 中选取
计数器中断用指针	I0□0~I5□0 共 6 个	用于 PLC 内置的高速计数器中。根据高速计数器的计数当前值与计数设定值的关系确定是否执行中断服务程序，常用于利用高速计数器优先处理计数结果的场合。□表示计数器中断号，可在 1~6 中选取

(10) 常数。

常数有十进制整数和十六进制整数。十进制整数以数据前加 K 来表示，主要用来指定定时器或计数器的设定值及应用功能指令操作数中的数值，其范围：16 位为 -32768~+32767，32 位为 -2147483648~+2147483647。十六进制整数以数据前加 H 来表示，主要用来表示应用功能指令的操作数值，其范围：16 位为 0~FFFF，32 位为 0~FFFFFFFF。

2.1.3 FX_{2N} 基本逻辑指令 (一)

PLC 中用于一般控制系统逻辑编程的指令是基本逻辑指令。FX_{2N} 的基本逻辑指令有 27 条，能解决实际生产中一般的继电器—接触器控制问题。基本逻辑指令可采用指令符和梯形图两种常用语言形式。每条基本逻辑指令都有特定的功能和应用对象。

1. 逻辑取及线圈驱动指令

(1) 指令符与功能。

逻辑取及线圈驱动指令的指令符与功能如表 2-10 所示。

表 2-10 逻辑取及线圈驱动指令的指令符与功能

指令符	名称	功能	梯形图	指令对象
LD	取	常开触点逻辑运算开始		X、Y、M、T、C、S
LDI	取反	常闭触点逻辑运算开始		X、Y、M、T、C、S
OUT	输出	线圈驱动		Y、M、T、C、S

（2）指令使用说明。

LD：取指令，用于常开触点与母线连接。

LDI：取反指令，用于常闭触点与母线连接。

OUT：线圈驱动指令，用于将逻辑运算的结果驱动一个指定线圈。

LD 与 LDI 指令对应的触点一般与左母线相连，若与后面要讲到的 ANB、ORB 指令组合，则可用于串并联电路块的起始触点。

OUT 指令不能直接从左母线输出（应用步进指令控制除外）；不能串联使用；在梯形图中位于逻辑行末尾，紧靠右母线；可以连续使用，相当于并联输出；若未特别设置（输出线圈使用设置），则同名输出继电器的线圈只能使用一次 OUT 指令。

输入继电器 X 不能使用 OUT 指令。

对于定时器的定时线圈或计数器的计数线圈，必须在 OUT 指令后设定常数。

（3）指令应用举例，如表 2-11 所示。

表 2-11 逻辑取及线圈驱动指令的应用举例

梯形图	语句表
	<pre>0 LD X000 1 OUT Y000 2 LDI X001 3 OUT M100 4 OUT T0 K19 7 LD T0 8 OUT Y001 9 END</pre>

案例分析：当 X000 的常开触点闭合时，驱动输出继电器 Y000 的线圈；当 X001 的常闭触点闭合时，驱动辅助继电器 M100 的线圈，同时时间继电器 T0（100ms 普通定时器）的线圈也被驱动，开始计时，1.9s 后 T0 的常开触点闭合，驱动输出继电器 Y001。

2. 触点串联指令

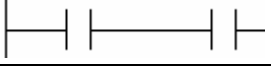
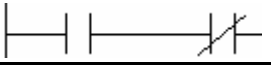
（1）指令符与功能。

触点串联指令的指令符与功能如表 2-12 所示。

（2）指令使用说明。

AND：与指令，用于单个常开触点的串联，完成逻辑“与”运算。

表 2-12 触点串联指令的指令符与功能

指令符	名称	功能	梯形图	指令对象
AND	与	常开触点串联连接		X、Y、M、T、C、S
ANI	与非	常闭触点串联连接		X、Y、M、T、C、S

ANI：与非指令，用于单个常闭触点的串联，完成逻辑“与非”运算。

AND 和 ANI 指令均用于单个触点的串联，串联触点数目没有限制，该指令可以重复多次使用。

OUT 指令后，通过触点对其他线圈使用 OUT 指令称为纵接输出。在顺序正确的前提下，纵接输出可以多次使用。

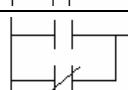
串联触点的数目和纵接的次数虽然没有限制，但由于图形编辑器和打印机功能有限制，因此应尽量做到一行不超过 10 个触点和一个线圈，连续输出总共不超过 24 行。

3. 触点并联指令

(1) 指令符与功能。

触点并联指令的指令符与功能如表 2-13 所示。

表 2-13 触点并联指令的指令符与功能

指令符	名称	功能	梯形图	指令对象
OR	或	常开触点并联连接		X、Y、M、T、C、S
ORI	或非	常闭触点并联连接		X、Y、M、T、C、S

(2) 指令使用说明。

OR：或指令，用于单个常开触点的并联，完成逻辑“或”运算。

ORI：或非指令，用于单个常闭触点的并联，完成逻辑“或非”运算。

OR 和 ORI 指令从该指令的当前步开始，对前面的 LD、LDI 指令并联连接，并联连接的次数没有限制，但是由于图形编辑器和打印机功能有限制，因此并联连接的次数应不超过 24 次。

OR 和 ORI 指令用于单个触点与前面电路的并联，并联触点的左端接到该指令所在的电路块的起始点（LD 点）上，右端与前一条指令对应的触点的右端相连，即单个触点并联到它前面已经连接好的电路的两端（两个以上触点串联连接的电路块并联连接时，要用后面要讲到的 ORB 指令）。

(3) 指令应用举例，如表 2-14 所示。

案例分析：触点串联指令是用来描述单个触点与其他触点或触点（而不是线圈）组成的电路连接关系的。虽然梯形图中的 X003 的触点与 Y003 的线圈组成的串联电路与 Y002 的线圈是并联关系，但是 X003 的常开触点与左边的电路是串联关系，因此对 X003 的触点使用串联指令。

在指令中，OUT Y002 指令后，再通过 X003 的触点对 Y003 线圈使用 OUT Y003 指令，因此，此处为纵接输出。

表 2-14 触点串并联指令应用举例

梯形图	语句表
	<pre>LD X000 AND X001 OUT Y001 LD Y001 ANI X002 OUT Y002 LD X003 OUT Y003 LD X004 OUT Y004 LD X005 ORI X005 OR Y004 AND X006 AND X010 AND X007 AND X011 OR M10 OUT M10</pre>

M10 常开触点前面的 4 条指令已经将 4 个触点串并联为一个整体,因此 OR M10 指令将对应的常开触点并联到该电路的两端。

4. 串联电路块并联指令

(1) 指令符与功能。

串联电路块并联指令的指令符与功能如表 2-15 所示。

表 2-15 串联电路块并联指令的指令符与功能

指令符	名称	功能	梯形图	指令对象
ORB	块或	串联电路块的并联连接		无

(2) 指令使用说明。

ORB: 块或指令,用于串联电路块的并联连接(两个以上的触点串联连接的电路称为串联电路块)。

串联电路块并联时,各电路块分支的开始用 LD 或 LDI 指令,分支的结尾用 ORB 指令。

若需将多个串联电路块并联,则在每个电路块后面加上一条 ORB 指令,并联电路块的个数没有限制。

ORB 指令为不带软元件编号的独立指令。

5. 并联电路块串联指令

(1) 指令符与功能。

并联电路块串联指令的指令符与功能如表 2-16 所示。

(2) 指令使用说明。

ANB: 块与指令,用于并联电路块的串联连接(两个以上的触点并联连接的电路称为并联电路块)。

表 2-16 并联电路块串联指令的指令符与功能

指令符	名称	功能	梯形图	指令对象
ANB	块与	并联电路块的串联连接		无

在使用 ANB 指令之前，应先完成并联电路块的内部连接。并联电路块串联时，并联电路块中各分支开始用 LD 或 LDI 指令，在并联好的电路块后使用 ANB 指令与前面的电路串联。

如果有多个并联电路块串联，依次以 ANB 与前面的支路连接，支路数量没有限制。

ANB 指令为不带软元件编号的独立指令。

(3) 指令应用举例，如表 2-17 所示。

表 2-17 触点串并联指令的应用举例

梯形图	语句表
	<pre>LD X000 AND X001 LD X002 AND X003 LD X004 AND X005 ORB ORB ORB AND X010 AND X011 LD X012 AND X013 OR X014 AND X015 AND X016 OR X017 OUT Y001 LD X000 AND X001 LD X002 AND X003 LD X004 AND X005 ORB ORB ORB AND X010 AND X011 LD X012 AND X013 OR X014 AND X015 AND X016 OR X017 OUT M10</pre>

案例分析：梯形图中 X000 与 X001 的触点、X002 与 X003 的触点、X004 与 X005 的触点分别组成串联电路块，然后串联电路块再并联。

X010 与 X011 的触点、X012 与 X013 的触点、X014 的触点共同组成一个并联电路块，X015 与 X016 的触点共同组成另一个并联电路块，然后两个并联电路块再串联。

由于 X014 的触点、X017 的触点分别为单个触点，因此它们与其他电路的并联只能使用 OR 指令。

2.2 项目实施

2.2.1 连续带点动且具有过载保护的电动机单向运行的 PLC 控制

1. 连续带点动且具有过载保护的电动机 PLC 控制的 I/O 配置

连续带点动且具有过载保护的电动机 PLC 控制的 I/O 配置如表 2-18 所示。

表 2-18 PLC 的 I/O 配置

序号	类型	设备名称	信号地址
1	输入	停止按钮	X000
2		连续运行起动按钮	X001
3		点动运行起动按钮	X002
4		过载保护	X003
5	输出	接触器	Y000

2. 梯形图程序设计

梯形图程序设计如图 2-8 所示。

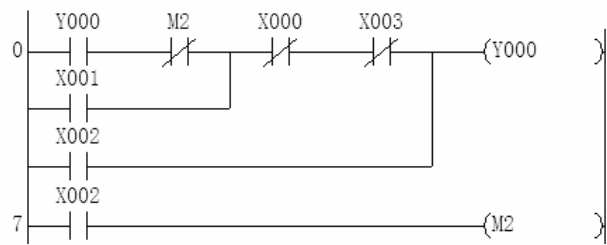


图 2-8 梯形图设计

2.2.2 自动循环控制电路的 PLC 控制

1. 自动往返继电器－接触器控制线路

自动往返继电器－接触器控制线路如图 2-9 所示。

2. 自动往返 PLC 控制的 I/O 配置

自动往返 PLC 控制的 I/O 配置如表 2-19 所示。

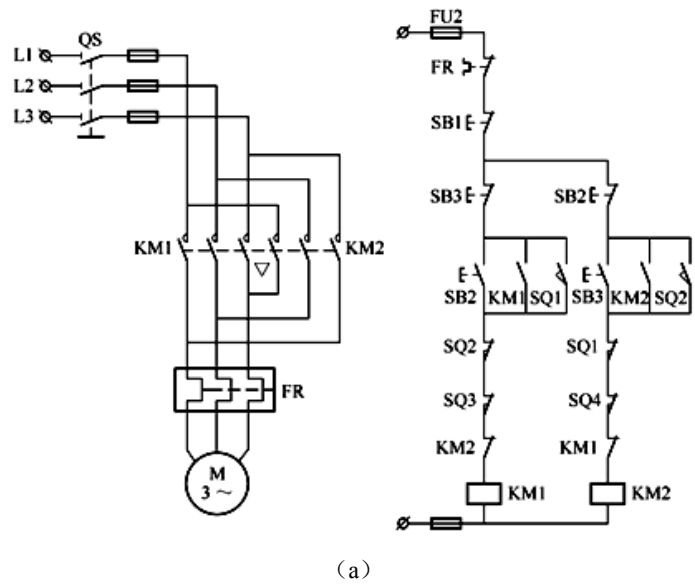


图 2-9 自动往返继电器－接触器控制线路

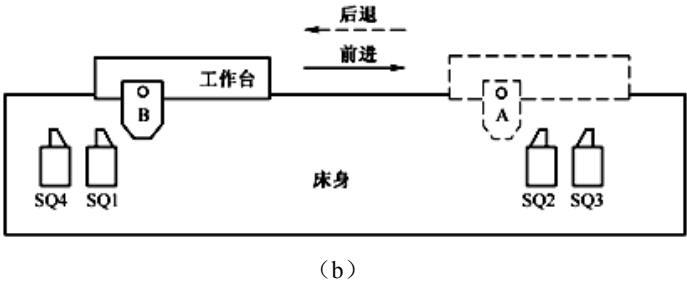


图 2-9 自动往返继电—接触器控制线路（续图）

表 2-19 PLC 的 I/O 配置

序号	类型	设备名称	信号地址	编号
1	输入	停止按钮	X000	SB1
2		正转起动按钮	X001	SB2
3		反转起动按钮	X002	SB3
4		过载保护	X003	FR
5		正转限位	X005	SQ2
6		反转限位	X004	SQ1
7		正转极限	X006	SQ3
8		反转极限	X007	SQ4
9	输出	电动机正转接触器	Y000	KM1
10		电动机反转接触器	Y001	KM2

3. 自动往返 PLC 控制的输入/输出接线

PLC 的 I/O 接线图如图 2-10 所示。

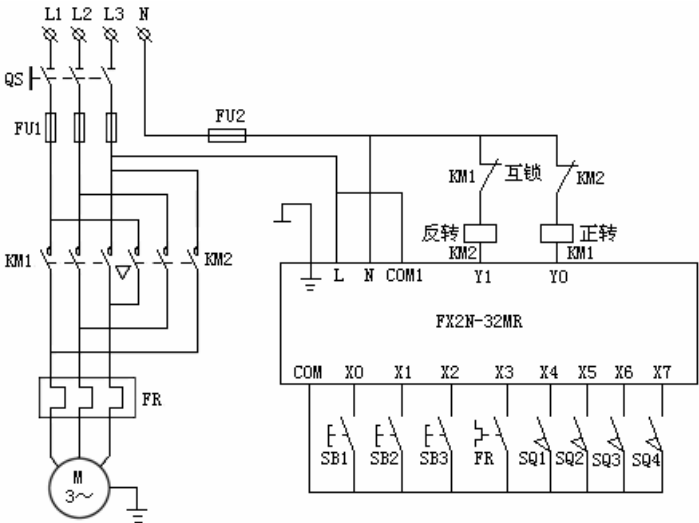


图 2-10 PLC 的 I/O 接线图

4. 自动往返 PLC 控制的梯形图程序设计

梯形图程序设计如图 2-11 所示。

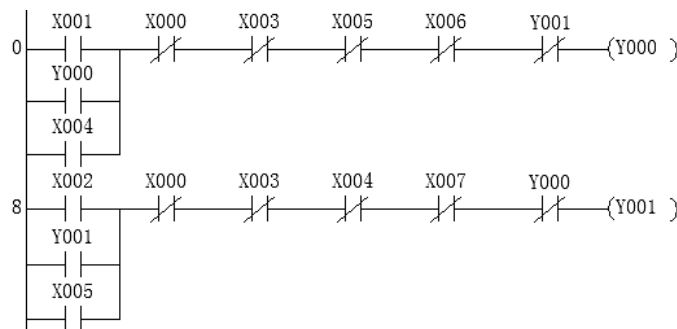
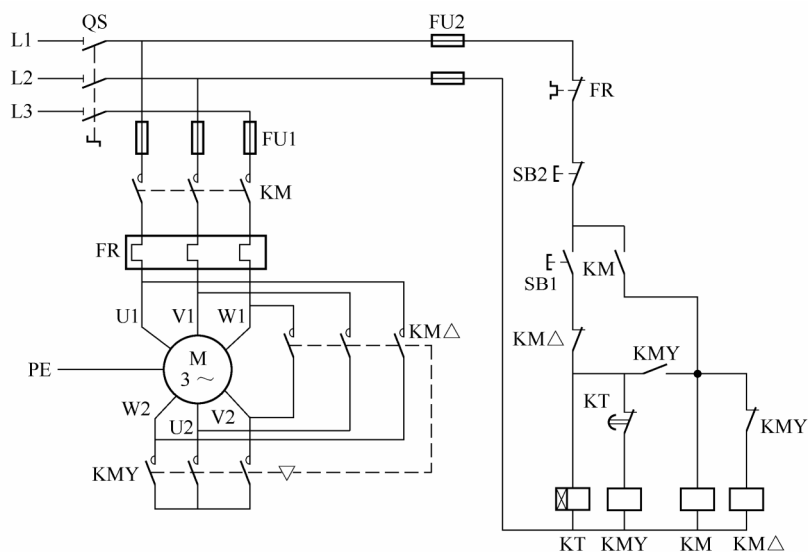


图 2-11 梯形图程序设计

2.2.3 电动机 Y— Δ 降压起动的 PLC 控制

1. Y— Δ 降压起动继电器—接触器控制线路

有些生产机械设备,要求加工时采用 Y— Δ 降压起动方式的三相鼠笼型电动机来拖动。如图 2-12 所示的电路能实现 Y— Δ 降压起动过程。三相鼠笼型电动机由 $KM\Delta$ 和 KMY 两个接触器来控制 Y— Δ 转换。

图 2-12 Y— Δ 降压起动继电器—接触器控制线路

工作原理: 按下起动按钮 $SB1$, KT 、 KMY 、 KM 通电并自保, 电动机接成 Y 形起动, 3s 后, KT 延时断开的常闭触点动作, 使 KMY 断电, $KM\Delta$ 通电吸合, 电动机接成 Δ 形运行。按下停止按钮 $SB2$, 电动机停止运行。

2. Y— Δ 降压起动 PLC 控制的 I/O 配置

Y— Δ 降压起动 PLC 控制的 I/O 配置如表 2-20 所示。

3. Y— Δ 降压起动 PLC 控制的输入/输出接线

PLC 的 I/O 接线图如图 2-13 所示。

4. Y— Δ 降压起动 PLC 控制的梯形图程序设计

因为 $KM3$ 和 $KM2$ 不能同时吸合, 所以, 在程序设计过程中应充分考虑由星形向三角形

切换的时间，即当电动机绕组从星形切换到三角形时，由 KM2 完全断开（包括灭弧时间）到 KM3 接通这段时间应锁定住（如 T38），以防电源短路，该梯形图程序设计如图 2-14 所示。

表 2-20 PLC 的 I/O 配置

序号	类型	设备名称	信号地址	编号
1	输入	起动按钮	X000	SB1
2		停止按钮	X001	SB2
3		过载保护	X002	FR
4	输出	电动机接通电源接触器	Y000	KM1
5		星形接法	Y001	KM2
6		三角形接法	Y002	KM3

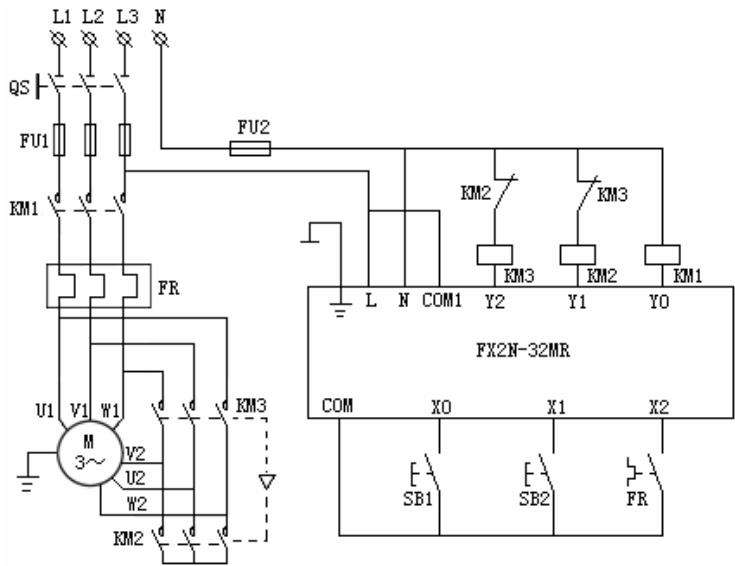


图 2-13 PLC 的 I/O 接线图

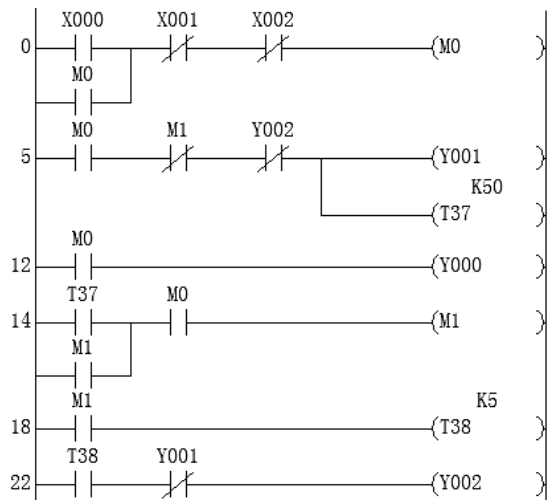


图 2-14 梯形图程序设计

2.3 知识拓展

PLC 程序设计常用的方法主要有经验设计法、继电器控制电路转换为梯形图法、逻辑设计法、顺序控制设计法等。

2.3.1 编程规则

数字量控制系统又称开关量控制系统，继电器控制系统就是典型的数字量控制系统。

可以用设计继电器电路图的方法来设计比较简单的数字量控制系统的梯形图，即在一些典型电路的基础上，根据被控对象对控制系统的具体要求，不断地修改和完善梯形图。有时需要多次反复地调试和修改梯形图，增加一些中间编程元件，最后才能得到一个较为满意的结果。

这种方法没有普遍的规律可循，具有很大的试探性和随意性，最后的结果不是唯一的，设计所用的时间、设计的质量与设计者的经验有很大的关系，所以有人把这种设计方法叫做经验设计法，它可以用于较简单的梯形图的设计。

PLC 的梯形图程序是在继电器触点控制的基础上发展起来的一种编程语言。继电器控制电路是从左到右、从上到下同时工作的，而 PLC 是按照逐行扫描方式工作的。因此，在编写梯形图程序时，不可以完全按照继电器线路的设计方法进行，必须按照 PLC 的梯形图设计原则和规律进行。在 PLC 梯形图程序中，元器件或触点排列顺序可能会对程序执行带来很大影响，有时甚至使程序无法运行。

1. 继电器线圈可使用、梯形图不能（不宜）使用的情况

虽然 PLC 的梯形图功能要远远强于继电器触点控制线路，但并非可以完全、无条件地照搬全部继电器触点控制线路，有的线路必须通过必要的处理才能用于 PLC 梯形图中。下面两种情况在继电器控制回路中可以正常使用，但在 PLC 中需要经过必要的处理。

（1）“桥接”支路。

在梯形图中，不允许进行“垂直”方向的触点编程，这违背 PLC 的指令执行顺序。在图 2-15（a）、（b）、（c）所示的继电器控制线路中，为了节约触点，常采用“电桥型连接”（简称“桥接”支路）交叉实现对线圈 KM1、KM2 的控制。但在 PLC 梯形图控制程序中，只能采用图 2-15（e）、（f）、（g）所示的程序。图中，K1 对应 X001；K2 对应 X002；K3 对应 X003；K4 对应 X004；K5 对应 X005；KM1 对应 Y001；KM2 对应 Y002。

（2）“后置触点”的处理。

在图 2-15（d）所示的继电器控制回路中，可以在继电器线圈后使用“后置触点”。但在 PLC 梯形图中，不允许在输出线圈后使用“后置触点”，必须将输出线圈后“触点”移到线圈前，如图 2-15（h）所示。

2. 梯形图能使用、继电器线路不能实现的情况

（1）线圈。

在继电器控制回路中，继电器线圈是不能重复使用的。在 PLC 梯形图程序中，一般情况下不允许出现双线圈输出，但因编程需要，有时使用线圈重复输出（同一输出线圈重复使用）。合理使用双线圈输出可以解决程序设计中的一些问题，还可以减少执行程序的时间。如图 2-16（a）所示的梯形图中，输出线圈 Y003 重复使用（编程时可能提示线圈重复错误），Y003 的最终输出状态以最后执行的程序处理结果（第二次输出）为准。对于第二次输出前的程序段，

Y003 的内部状态为第一次的输出状态。运行时序如图 2-16 (b) 所示。

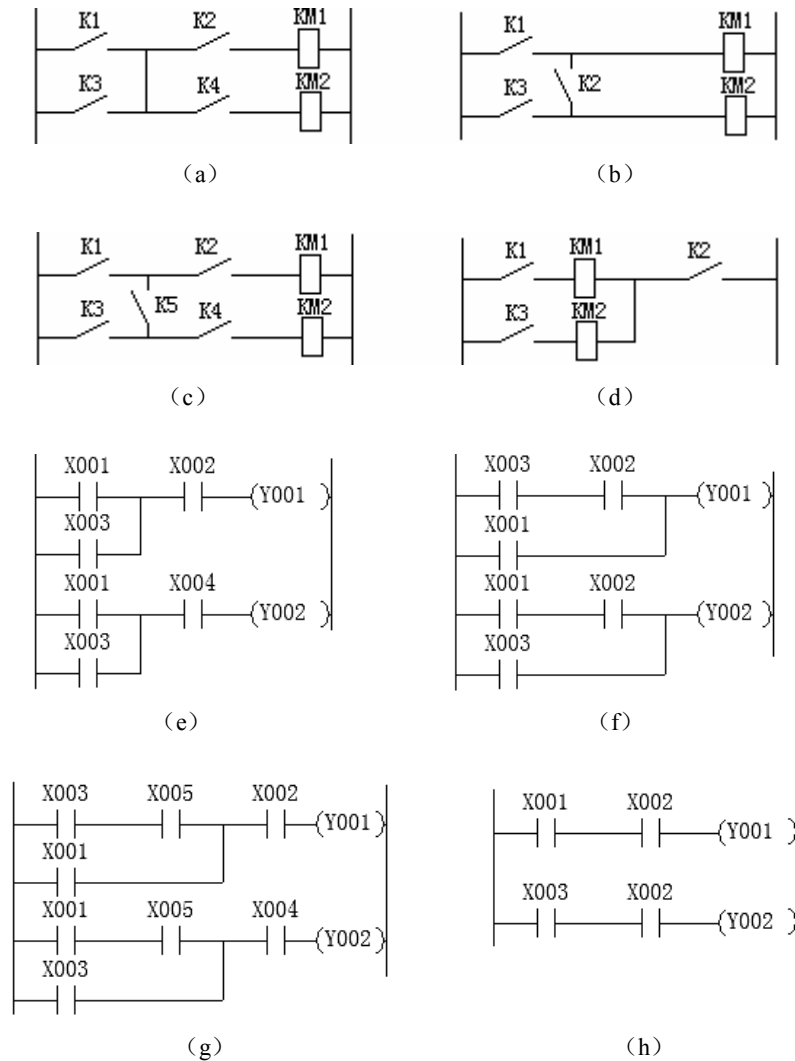


图 2-15 梯形图编程规则实例

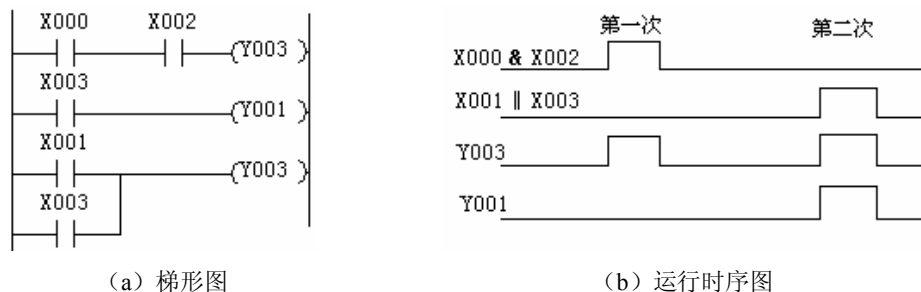


图 2-16 线圈重复输出的梯形图及其运行时序

另外，在以下 3 种特定的条件下允许双线圈输出：

- 在跳步条件相反的两个程序段（如自动程序和手动程序）中，允许出现双线圈现象，

即同一元件的线圈可以在两个程序段中分别出现一次。

- 在调用条件相反的两个子程序中，允许出现双线圈现象，即同一元件的线圈可以在两个子程序中分别出现一次。与跳步指令控制的程序段相同，子程序中的指令只是在该子程序被调用时才执行，没有调用时不执行，因为调用它们的条件相反，在一个扫描周期内只能调用一个子程序，实际上只执行正在处理的子程序中双线圈元件的线圈输出指令。
- 如果使用三菱 PLC 的 STL（步进梯形）指令，由于 CPU 只执行活动步对应的 STL 触点驱动的电路块，使用 STL 指令时允许双线圈输出，即不同时闭合的 STL 触点可以分别驱动同一编程元件的一个线圈。

（2）边沿信号处理。

在 PLC 梯形图程序中可以实现边沿信号输出。在继电器控制回路中，类似回路的设计没有任何意义。

2.3.2 编程技巧

1. 基本方法

PLC 使用与继电器电路图极为相似的梯形图语言，如果用 PLC 改造继电器控制系统，根据继电器电路图来设计梯形图是一条捷径。这是因为原有的继电器控制系统经过长期的使用和考验，已经被证明能完成系统要求的控制功能，而继电器电路图又与梯形图有很多相似之处，因此可以将继电器电路图“翻译”成梯形图，即用 PLC 的外部硬件接线图和梯形图程序来实现继电器系统的功能。

这种设计方法一般不需要改动控制面板，保持了系统原有的外部特性，操作人员不用改变长期形成的操作习惯。比如本章项目实施中就是用这种方法设计的。

在分析 PLC 控制系统的功能时，可以将 PLC 想象成一个继电器控制系统中的控制箱，其外部接线图描述了这个控制箱的外部接线，梯形图是这个控制箱的内部“线路图”，梯形图中的输入位（X）和输出位（Y）是这个控制箱与外部世界联系的“接口继电器”，这样就可以用分析继电器电路图的方法来分析 PLC 控制系统。在分析时可以将梯形图中输入位的触点想象成对应的外部输入器件的触点，将输出位的线圈想象成对应的外部负载的线圈。外部负载的线圈除了受梯形图的控制外，还可能受外部触点的控制。

将继电器电路图转换成功能相同的 PLC 的外部接线图和梯形图的步骤如下：

（1）了解和熟悉被控设备的工艺过程和机械的动作情况，根据继电器电路图分析和掌握控制系统的工作原理，这样才能做到在设计和调试控制系统时心中有数。

（2）确定 PLC 的输入信号和输出负载，以及与它们对应的梯形图中的输入位和输出位的地址，画出 PLC 的外部接线图。

（3）确定与继电器电路图的中间继电器、时间继电器对应的梯形图中的位存储器（M）和定时器（T）的地址。这两步建立了继电器电路图中的元件和梯形图中编程元件的地址之间的对应关系。

（4）根据上述对应关系画出梯形图。

2. 梯形图程序的优化

梯形图和继电器电路虽然表面上看起来差不多，实际上有本质的区别。继电器电路是全

部由硬件组成的电路，而梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序。在继电器电路图中，由同一个继电器的多对触点控制的多个继电器的状态可能同时变化。而 PLC 的 CPU 是串行工作的，即 CPU 同时只能处理一条与触点和线圈有关的指令。

根据继电器电路图设计 PLC 的外部接线图和梯形图时应注意以下问题：

(1) 应遵守梯形图语言中的语法规则。

(2) 设置中间单元。在梯形图中，若多个线圈都受某一触点串并联电路的控制，为了简化电路，在梯形图中可以设置用该电路控制的位存储器（如 M0），它类似于继电器电路的中间继电器。

(3) 尽量减少 PLC 的输入信号和输出信号。

PLC 的价格与 I/O 点数有关，每一输入信号和每一输出信号分别要占用一个输入点和一个输出点，因此减少输入信号和输出信号的点数是降低硬件费用的主要措施。

与继电器电路不同，一般只需要同一输入器件的一个常开触点给 PLC 提供输入信号，在梯形图中，可以多次使用同一输入位的常开触点和常闭触点。

在继电器电路图中，如果几个输入器件的触点的串并联电路总是作为一个整体出现，可以将它们作为 PLC 的一个输入信号，只占 PLC 的一个输入点。

某些器件的触点如果在继电器电路图中只出现一次，并且与 PLC 输出端的负载串联（例如有锁存功能的热继电器的常闭触点），不必将它们作为 PLC 的输入信号，可以将它们放在 PLC 的外部输出回路，仍与相应的外部负载串联，如图 2-19 中的 FR 所示。

继电器控制系统中某些相对独立且比较简单的部分可以用继电器电路控制，这样同时减少了所需 PLC 的输入点和输出点。

(4) 设立外部联锁电路。为了防止控制正反转的两个接触器同时动作造成三相电源短路，应在 PLC 外部设置硬件联锁电路。图 2-10 中的 KM1 与 KM2 线圈不能同时通电，除了在梯形图中设置与它们对应输出位的线圈串联的常闭触点组成的联锁电路外，还在 PLC 外部设置了硬件联锁电路。

如果在继电器电路中有接触器之间的联锁电路，在 PLC 的输出回路也应采用相同的联锁电路。

(5) 梯形图的优化设计。为了减少语句表指令的指令条数，在串联电路中单个触点应放在右边（左重右轻），在并联电路中单个触点应放在下面（上重下轻），如图 2-17 所示。

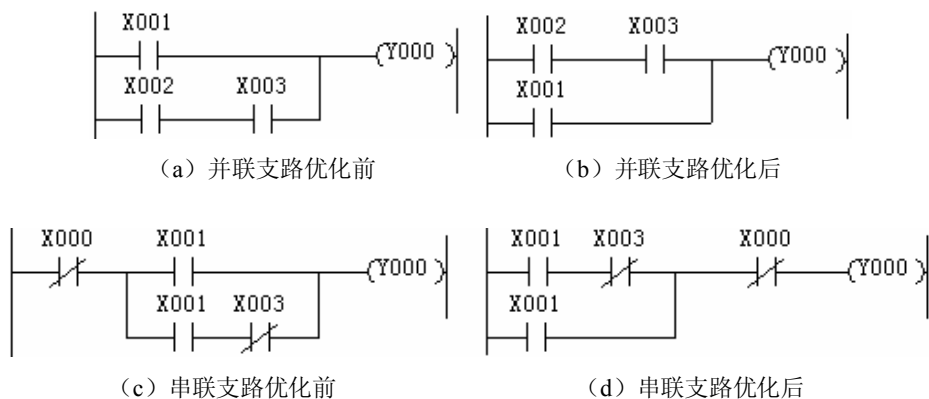
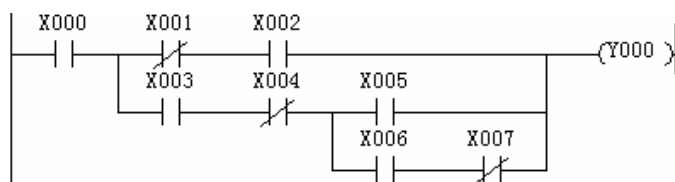
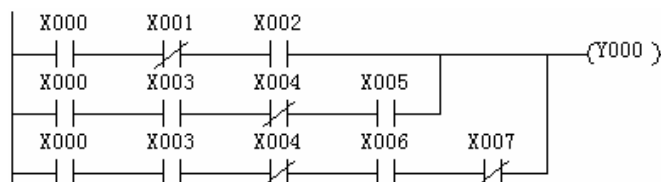


图 2-17 并联、串联支路及复杂逻辑梯形图优化



(e) 复杂逻辑梯形图优化前



(f) 复杂逻辑梯形图优化后

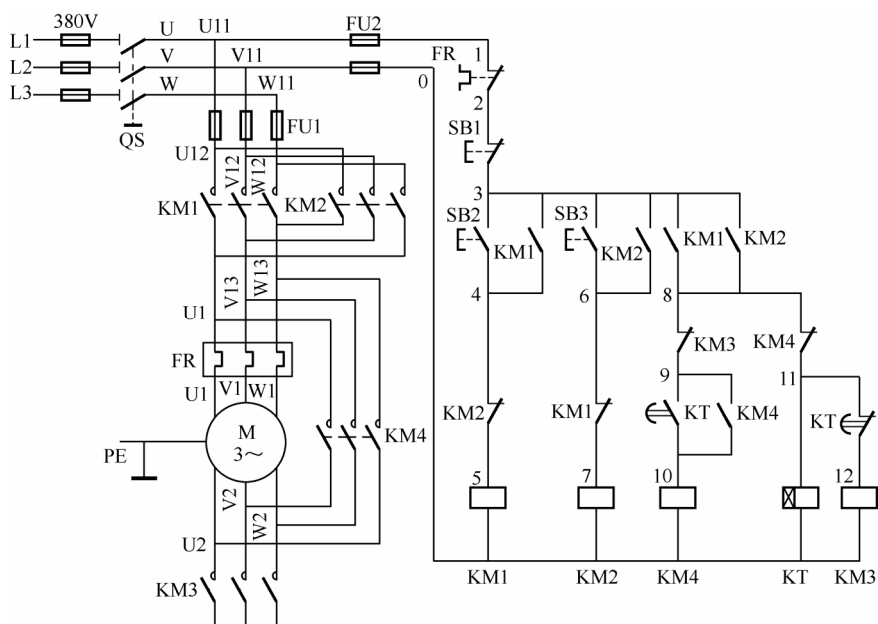
图 2-17 并联、串联支路及复杂逻辑梯形图优化（续图）

(6) 外部负载的额定电压。PLC 的继电器输出模块和双向晶闸管输出模块只能驱动额定电压最高为 AC220V 的负载，如果系统原来的交流接触器的线圈电压为 380V，应将线圈换成 220V 的，或者设置外部中间继电器。

2.3.3 电动机正反转 Y— Δ 降压起动的 PLC 控制

1. Y— Δ 降压起动继电器—接触器控制线路

有些生产机械设备，要求加工时正反转均采用 Y— Δ 降压起动方式的三相鼠笼型电动机来拖动。如图 2-18 所示的电路能实现正、反两个方向的 Y— Δ 降压起动过程。三相鼠笼型电动机的正反转分别由 KM1 和 KM2 两个接触器来控制，KM3 和 KM4 来完成 Y— Δ 转换。

图 2-18 正反转 Y— Δ 降压起动继电器—接触器控制线路

要求：电动机开始起动时接成 Y 形，延时一段时间后，自动切换到△形连接运行。

2. Y - △降压起动 PLC 控制的 I/O 配置

Y - △降压起动 PLC 控制的 I/O 配置如表 2-21 所示。

表 2-21 PLC 的 I/O 配置

序号	类型	设备名称	信号地址	编号
1	输入	停止按钮	X000	SB1
2		正转起动按钮	X001	SB2
3		反转起动按钮	X002	SB3
4	输出	电动机正转接触器	Y000	KM1
5		电动机反转接触器	Y001	KM2
6		星形接法	Y002	KM3
7		三角形接法	Y003	KM4

3. Y - △降压起动 PLC 控制的输入/输出接线

PLC 的 I/O 接线图如图 2-19 所示。

4. 电动机正反转 Y - △降压起动 PLC 控制的梯形图程序设计

梯形图如图 2-20 所示。

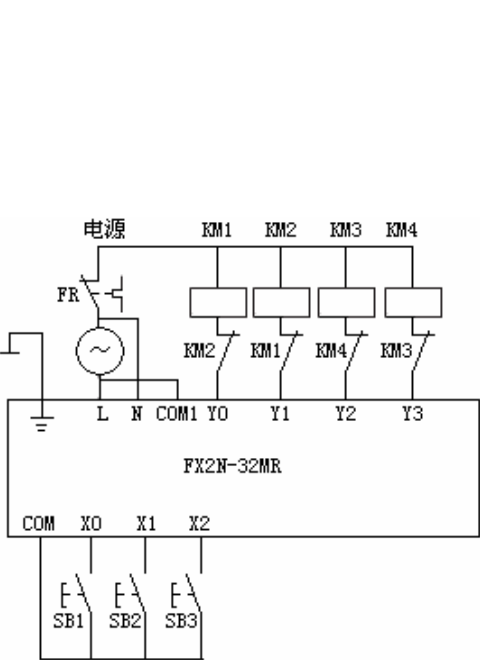


图 2-19 PLC 的 I/O 接线图

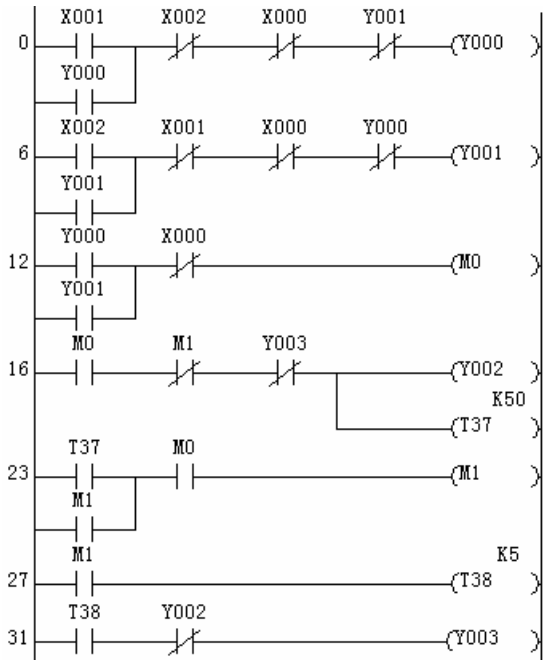


图 2-20 梯形图设计

2.4 技能实训

2.4.1 基本指令应用设计与调试

1. 实训目的

- (1) 掌握常用基本逻辑指令的使用方法。
- (2) 学会用基本逻辑与、或、非等指令实现基本逻辑组合电路的编程。
- (3) 熟悉编译调试软件的使用。

2. 实训器材

PC 机一台、PLC 实训箱一台、编程电缆一根、导线若干。

3. 实训内容

本次实训进行常用基本指令 LD、LDI、AND、ANI、OR、ORI、ORB、ANB、OUT 等指令的编程操作训练。

4. 实训步骤

(1) 实训前，先用下载电缆将 PC 机串口与 PLC 端口连好，然后对实训箱通电，并打开电源开关。主机和电源的指示灯亮，表示工作正常，可进入下一步实训。

(2) 进入编译调试环境，用指令符或梯形图输入下列练习程序。

(3) 根据程序进行相应的连线（接线可参见项目 1 中的“输入/输出端口的使用方法”）。

(4) 下载程序并运行，观察运行结果。

练习 1，梯形图程序及指令表如图 2-21 所示。

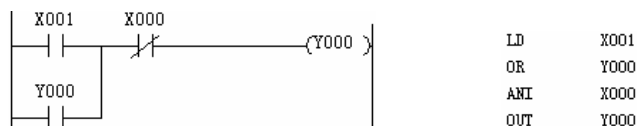


图 2-21 练习 1 图

练习 2，梯形图程序及指令表如图 2-22 所示。

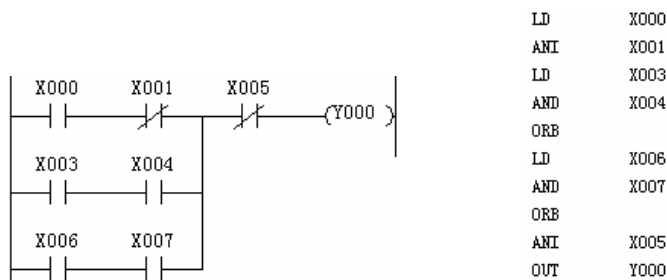


图 2-22 练习 2 图

2.4.2 典型电动机控制实训

1. 实训目的

- (1) 掌握 PLC 功能指令的用法。
- (2) 掌握用 PLC 控制交流电动机的可逆起动控制电路及星形—三角形起动的电路。

2. 实训器材

PC 机一台、PLC 实训箱一台、编程电缆一根、导线若干。

3. 实训内容及步骤

设计要求：

(1) 设计通过 PLC 控制电动机的 Y— Δ 起动电路的程序。

电动机星形—三角形控制示意图如图 2-18 所示。

当按下正转起动按钮时，电动机正转（继电器 KM1 控制），并运行在 Y 形接法（低速运行，继电器 KM4 控制）。过 3s 后 KM4 断开，电动机运行在 Δ 接法（全速运行，继电器 KM3 控制）。

当按下停止按钮时，电动机停转。

当按下反转起动按钮时，电动机反转（继电器 KM2 控制），并运行在 Y 形接法（低速运行，继电器 KM4 控制）。过 3s 后 KM4 断开，电动机运行在 Δ 接法（全速运行，继电器 KM3 控制）。

- (2) 确定输入、输出端口，并编写程序。
- (3) 编译程序，无误后下载至 PLC 主机的存储器中，并运行程序。
- (4) 调试程序，直至符合设计要求。
- (5) 参考 I/O 分配接线图如图 2-19 所示。

思考与练习

- 1. 定时器有几种类型？各有何特点？
- 2. 计数器有几种类型？各有何特点？
- 3. 写出图 2-23 所示梯形图的语句表程序。

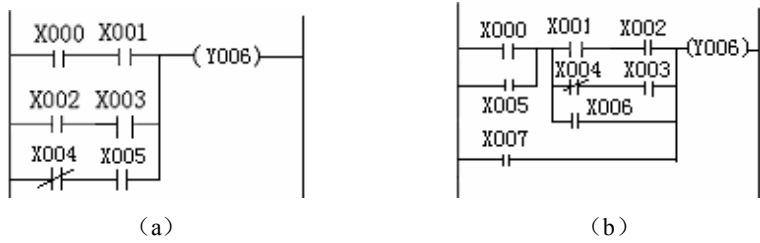


图 2-23 题 3 图

4. 请将下列指令表转化为对应的梯形图。

```
(1) LD      X000
    OUT     Y000
    LDI     X001
    OUT     M100
    OUT     T000 K19
    LD      T000
    OUT     Y001
    END
```

```

(2) LD    X000
      OR    X005
      LD    X001
      AND   X002
      LDI   X004
      AND   X003
      ORB
      OR    X006
      ANB
      OR    X007
      OUT   Y006
      END

```

5. 画出图 2-24 中 Y000 的波形图。

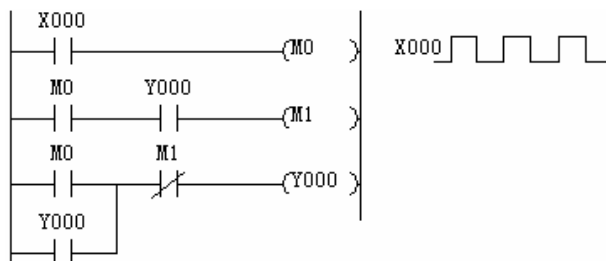


图 2-24 题 5 图

6. 设计满足图 2-25 所示时序图的梯形图。

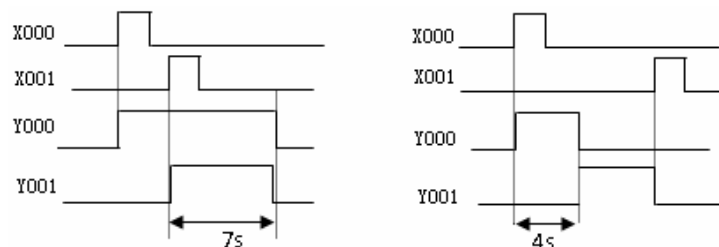


图 2-25 题 6 图

7. 画出三相异步电动机既可点动又可连续运行的电气控制线路由 PLC 控制，画出 PLC 的 I/O 端子接线图，并写出梯形图程序。

8. 画出三相异步电动机三地控制（即三地均可起动、停止）的电气控制线路。由 PLC 控制，画出 PLC 的 I/O 端子接线图，并写出梯形图程序。

9. 为两台异步电动机设计主电路和控制电路，要求如下：

- (1) 两台电动机互不影响地独立操作起动与停止。
- (2) 能同时控制两台电动机的停止。
- (3) 当其中任意一台电动机发生过载时，两台电动机均停止。

试由 PLC 控制，画出 PLC 的 I/O 端子接线图，并写出梯形图程序。