

# PLC 实习第一阶段报告

二〇二一年十一月

# 目录

第一章 PLC .....	1
1.1 PLC 简介 .....	1
1.1.1 PLC 定义 .....	1
1.1.2 PLC 工作原理 .....	1
1.1.3 PLC 与 MCU .....	2
1.1.4 PLC 发展历程 .....	3
1.1.5 PLC 的未来 .....	3
1.2 PLC 的硬件和软件 .....	4
1.2.1 PLC 的分类 .....	4
1.2.2 PLC 的硬件 .....	4
1.2.3 PLC 的软件 .....	5
1.3 PLC 市场及应用 .....	6
1.3.1 国内外 PLC 市场 .....	6
1.3.2 PLC 应用 .....	6
第二章 DCS .....	8
2.1 DCS 简介 .....	8
2.1.1 DCS 定义 .....	8
2.1.2 DCS 组成与结构 .....	9
2.1.3 DCS 发展历程 .....	10
2.2 DCS、PLC、FCS .....	11
2.2.1 DCS 与 PLC .....	11
2.2.2 DCS 与 FCS .....	11
2.3 DCS 市场及应用 .....	12
2.3.1 DCS 国内外市场 .....	12
2.3.2 DCS 应用 .....	13
第三章 西门子 PLC 梯形图编程 .....	14
3.1 一元二次方程的解 .....	14
3.1.1 目的与要求 .....	14
3.1.2 实验软硬件环境 .....	14
3.1.3 设计思想与关键环节论述 .....	14
3.1.4 结果展示 .....	17
3.2 十字路口交通灯控制 .....	20
3.2.1 目的与要求 .....	20
3.2.2 实验软硬件环境 .....	20
3.2.3 设计思想与关键环节论述 .....	20
3.2.4 结果展示 .....	22
心得体会 .....	25
参考文献 .....	26

# 第一章 PLC

## 1.1 PLC 简介

### 1.1.1 PLC 定义

Wikipedia 给出了 PLC 相关定义如下：A programmable logic controller (PLC) or programmable controller is an industrial computer that has been ruggedized and adapted for the control of manufacturing processes, such as assembly lines, machines, robotic devices, or any activity that requires high reliability, ease of programming, and process fault diagnosis.<sup>[1]</sup>



即可编程逻辑控制器是一种工业计算机，经过加固并适用于控制制造过程，例如装配线、机器、机器人设备或任何需要高可靠性、易于编程和过程故障诊断。图 1.1.1 展示了 PLC 在制药行业监控系统的应用。

### 1.1.2 PLC 工作原理

PLC 的工作原理为：当 PLC 控制器投入运行后，其工作过程一般分为三个阶段，即输入采样、程序执行和输出刷新三个阶段。完成上述三个阶段称作一个扫描周期。<sup>[2]</sup>具体流程如图 1.2.1 所示，三个阶段具体解读如下：

1. 输入采样：在输入采样阶段，PLC 控制器以扫描方式依次地读入所有输入状态和数据，并将它们存入 I/O 映象区中的相应得单元内。输入采样结束后，转入用户程序执行和输出刷新阶段。
2. 程序执行：PLC 控制器总是按由上而下的顺序依次地扫描用户程序(梯形图)。当扫描用户程序结束后，PLC 控制器就进入输出刷新阶段。
3. 输出刷新：在此期间，CPU 按照 I/O 映象区内对应的状态和数据刷新所有的输出锁存电路，再经输出电路驱动相应的外设。

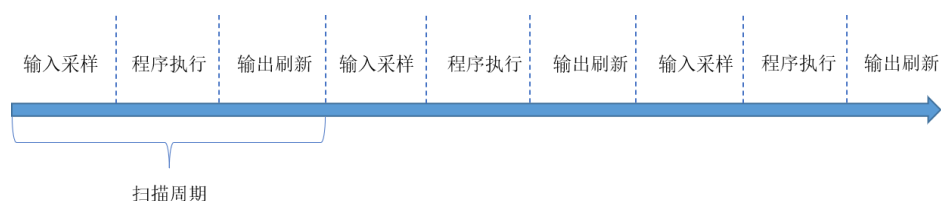


图 1.2 PLC 工作原理示意图

### 1.1.3 PLC 与 MCU

PLC 的基础为单片机，可以理解为 PLC 是 MCU 针对工业环境所特制的产品，其具有 MCU 的特性但是又有不同的特殊功能，使其能够在工业控制领域大放异彩。PLC 的诞生是有其应用背景的：

1. 工业环境下，受周围交流电机启停等的影响，电压可能会有较大的波动。为了应对这种恶劣的环境，必须为 MCU 设计相应的电源模块，使得电压剧烈变动时不会引发 MCU 的工作异常。
2. 工业环境下，传感器的输出多采用 4~20mA、0~10V 的形式，这与 MCU 常用的 0~3.3V 或者 0~5V 的 AD 模块不相符合，因此需要针对工业环境设计传感信号接收模块。
3. 工业环境的输出很多是用来控制继电器（经过继电器隔离后，再去控制电机等的启停），而 MCU 的输出只能控制微型继电器，无法驱动常用的工业继电器，因此，要在 MCU 外围设计具有大驱动能力的 IO 接口。
4. 在实际工业应用过程中：为了保证工业环境下的通讯可靠，需要封装通讯模块支持很多工业数据总线协议；为了能够控制变频器，需要设计相应的变频器控制模块；为了保证一定的防尘，防水，需要设计外壳满足相应的防护等级；为了编程的简便性，需要设计一套应用于工业使用的控制语言。<sup>[3]</sup>

正是以上的种种原因，导致 MCU 的简单产品不再适用于工业现场，必须在单片机的基础上设计一款专门针对工业领域的产品，根据需求 PLC 应运而生，并在时代背景的变更下不断发展，在工业领域大展身手。

### 1.1.4 PLC 发展历程

1968 年美国通用汽车公司提出取代继电器控制装置的要求。1969 年，美国数字设备公司研制出了第一台可编程控制器 PDP-14，在美国通用汽车公司的生产线上试用成功，首次采用程序化的手段应用于电气控制，这是第一代可编程序控制器。

20 世纪 70 年代初出现了微处理器。人们很快将其引入可编程控制器，使 PLC 增加了运算、数据传送及处理等功能，完成了真正具有计算机特征的工业控制装置。

20 世纪 70 年代中末期，可编程控制器进入了实用化发展阶段，计算机技术已全面引入可编程控制器中，使其功能发生了飞跃。

20 世纪 80 年代初，可编程控制器在先进工业国家中已经获得了广泛应用。世界上生产可编程控制器的国家日益增多，产量日益上升。这标志着可编程控制器已步入成熟阶段。

20 世纪 80 年代至 90 年代中期，是 PLC 发展最快的时期。在这时期，PLC 在处理模拟量能力、数字运算能力、人机接口能力和网络能力得到了大幅度提升，PLC 逐渐走入过程控制领域。

20 世纪末，可编程控制器的发展特点是更加适应于现代工业需求。这个时期发展了大型机和超小型机、诞生了各种各样的特殊功能单元、生产了各种人机界面、通信单元，使得应用可编程控制器的工业控制设备的配套更加容易。<sup>[4]</sup>

### 1.1.5 PLC 的未来

不难发现，从 PLC 面世以来，一直与当下相应的技术产物所结合，并不断促进工业控制和自己产品技术的发展，其最大的特点便是与网络相结合，使得工业控制过程变得数字化与智能化，结合当下物联网、大数据、5G 通讯可以大胆推测，PLC 在未来的发展中必然会再次与这些技术进行结合，通过数据挖掘，低延迟数据通讯等方式，从形式和方式上再次发送重要变革，真正的智能工业控制将合理利用数据，与周边产业结合，使得市场发展得更加勃勃生机。

## 1.2 PLC 的硬件和软件

### 1.2.1 PLC 的分类

PLC 在 90 年代已经形成微、小、中、大、巨型多种 PLC。按照 I/O 点数分，可分为：

- 微型 PLC：32 I/O
- 小型 PLC：256 I/O
- 中型 PLC：1024 I/O
- 大型 PLC：4096 I/O
- 巨型 PLC：8195 I/O

近年来有单机支持 300 回路和 65000 点 I/O 的大型系统对应中型 PLC 以上，均采用 16 位~32 位 CPU，微、小型 PLC 原采用 8 位 CPU，现在根据通讯等方面要求，有的也改用 16 位~32 位 CPU。由于 I/O 64 点以下 PLC 销售额占整个 PLC 的 47%，64 点~256 点的占 31%，合计占整个 PLC 销售额的 78%，所以对微、小型 PLC 应多加研究。<sup>[5]</sup>

### 1.2.2 PLC 的硬件

PLC 控制器本身的硬件采用积木式结构，各厂家产品结构大同小异。以日本欧姆龙 C200HE 为例，为总线模板框式结构，基本框架(CPU 母板)上装有 CPU 模板，其它槽位装有 I/O 模板；如果 I/O 模板多时，可由 CPU 母板经 I/O 扩展电缆连接 I/O 扩展母板，在其上装 I/O 模板；另一种方法是配备远程 I/O 从站等。这些都说明了 PLC 厂家将硬件各部件均向用户开发，便于用户选用，配置成规模不等的 PLC，而且这种硬件配置的开放性，为制造商、分销商(代理商)、系统集成商、最终用户带来很多方便，为营销供应链带来很大便利，这是一大成功经验。

PLC 内的 I/O 模板，除一般的 DI/DO、AD/DA 模板外，还发展了一系列特殊功能的 I/O 模板，这为 PLC 用于各行各业打开了出路，如用于条形码识别的 ASCII/BASIC 模板，用于反馈控制的 PID 模板，用于运行控制、机械加工的高速计数模板、单轴位置控制模板、双轴位置控制模板、凸轮定位器模板、射频识别

接口模板等，这在以后还会有很大发展。另外在输入、输出的相关元件、强干扰场合的输入、输出电隔离、地隔离等方面也会更加完善。

PLC 中的 CPU 与存储器配合，完成控制功能。它与 DCS 系统处理温度、压力、流量等参数的系统不同，采用快速的巡回扫描周期，一般为 0.1~0.2s，更快的则选用 50ms 或更小的扫描周期。它是一个数字采样控制系统。<sup>[5]</sup>

### 1.2.3 PLC 的软件

PLC 为了完成控制策略，为了替代继电器，使用户等完成类似继电器线路的控制系统梯形图，而编制了一套控制算法功能块或子程序，称为指令系统，固化在存储器 ROM 中，用户在编制应用程序时可以调用。指令系统大致可以分为两类，即基本指令和扩展指令。细分一般 PLC 的指令系统有：基本指令、定时器/计数器指令、移位指令、传送指令、比较指令、转换指令、BCD 运算指令、二进制运算指令、增量/减量指令、逻辑运算指令、特殊运算指令等，这些指令多是类似汇编语言。另外 PLC 还提高了充足的计时器、计数器、内部继电器、寄存器及存储区等内部资源，为编程带来极大方便。<sup>[5]</sup>

## 1.3 PLC 市场及应用

### 1.3.1 国内外 PLC 市场

目前，世界上 PLC 厂商有 200 多家，各种型号产品几千种。PLC 按照地域分成三个流派，分别是美国产品、欧洲产品、日本产品。美国产品例如 A.B(Allen-Bardley)；欧洲产品例如德国的西门子(Siemens)；日本产品例如欧姆龙(Omron)。此外国内市场上还有韩国、台湾地区的 PLC 产品。<sup>[6]</sup>其中企业商标如下图所示：



图 1.3 国外知名 PLC 产品公司

随着市场的发展，国内也发展出众多的企业参与 PLC 的设计制造，品牌主要包括和利时、信捷、厦门海为、步科电气（凯迪恩）、黄石科威、北京安控、南京嘉华、上海正航、德威林（矩形科技）、欧辰、科威等，我国台湾地区的品牌包括永宏、台达、盟立、士林、丰炜、智国、台安等。

从 PLC 问世至今，一直展现出强大的生命力和高速增长态势，在工业控制领域，PLC 始终处于工业控制自动化领域的主战场，为各式各样的自动化控制设备提供非常可靠的控制方案。

### 1.3.2 PLC 应用

1. **过程控制：**在过程控制领域，因其 PLC 控制系统可以根据实际需要对于控制算法进行灵活的变动，因此该系统的温度、流量、液位、压力和成分等各项参数的变化都是严格按照设定好的系统要求进行变换的，实现较大程度的满足工业自动化生产的要求。
2. **数控机床：**首先，可编程控制器依靠计算机技术和网络系统可以实现信息的



传输反馈和自主计算处理，最终完成对数控机床电气系统的自动化控制，使数控机床生产的自动化程度显著提升。其次，传统数控机床接线复杂，且机械接触点不稳定，调试与调整复杂，自动化程度较低。而 PLC 技术的微处理器在控制中能够提升控制系统的稳定性与流畅度，且减少了维护与调整的投入，极大提升了数控机床生产中的适应性。最后，PLC 技术在数据运算、处理、控制等方面具有较强抗干扰能力，且通过编程可以实现自我检测，这在极大程度上提升了数控机床电气控制系统的整体安全性。<sup>[7]</sup>

3. **开关量逻辑控制：**取代传统的继电器电路，实现逻辑控制、顺序控制，既可用于单台设备控制，也可用于多机群控以及自动化流水线。如注塑机、印刷机、订书机械、包装生产线等。
4. **通信及联网：**PLC 控制器通信含 PLC 控制器间的通信及 PLC 控制器与其它智能设备间的通信。随着计算机控制的发展，工厂自动化网络发展得很快，各 PLC 控制器厂商都十分重视 PLC 控制器的通信功能，纷纷推出各自的网络系统。新近生产的 PLC 控制器都具有通信接口，通信非常方便。

## 第二章 DCS

### 2.1 DCS 简介

#### 2.1.1 DCS 定义

集散控制系统 (DCS, Distributed Control System) 是指对生产过程集中操作、管理、监视和分散控制的一种全新的分布式控制系统。该系统将若干台微机分散应用于过程控制, 全部信息通过通信网络由上位管理计算机监控, 实现最优化控制, 通过 CRT 装置、通信总线等, 进行集中操作、显示、报警。整个装置继承了常规仪表分散控制和计算机集中管理的优点, 克服了常规仪表功能的单一、人-机联系差, 以及单台微型计算机控制系统危险性高度集中的缺点, 既在管理、操作和显示三方面集中, 又在功能、负荷和危险性三方面分散。DCS 是在 20 世纪七八十年代发展起来的, 是一种新型的控制系统。<sup>[8]</sup>图 2.1.1.1 展示了较为完整的 DCS 系统。

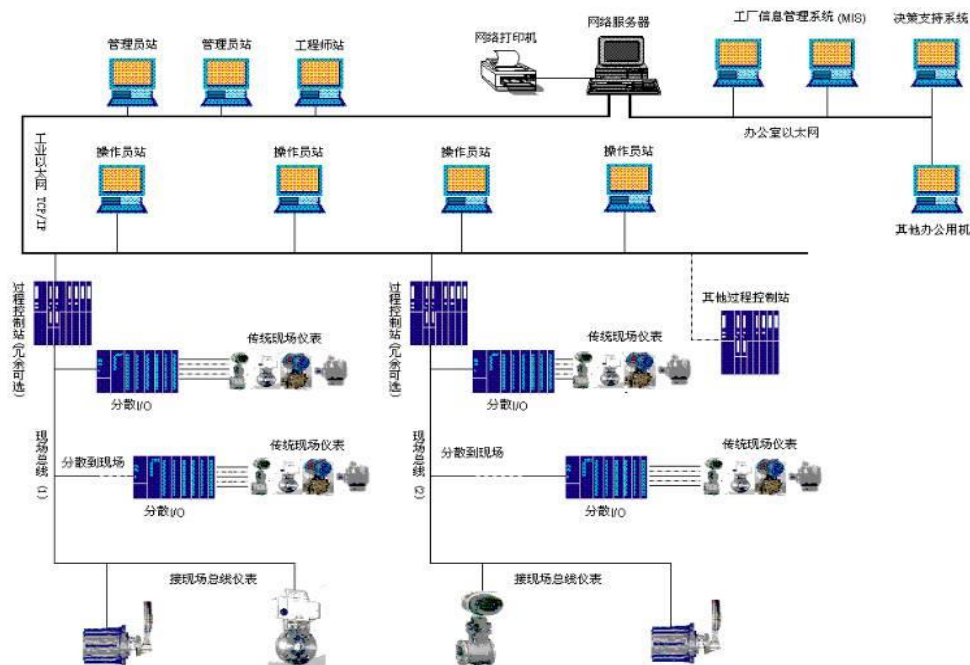


图 2.1 DCS 示意图

## 2.1.2 DCS 组成与结构

集散系统是一种利用控制技术、通信技术、计算机技术和 CRT 技术对生产过程进行集中监视、操作、管理和分赛控制的过程计算机系统。它一般由集中操作与管理系统、分散控制单元和通信系统三部分组成，如图 2.1.2.1 所示。

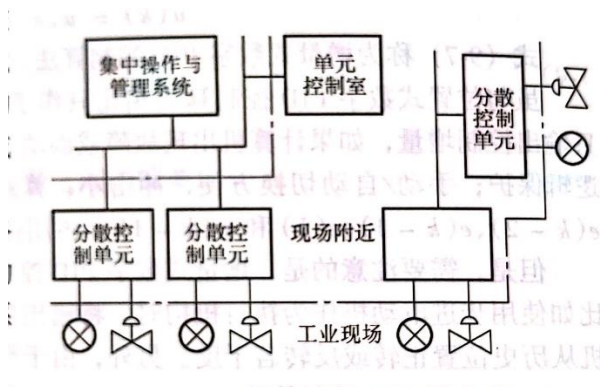


图 2.2 集散控制系统组成结构

分散控制单元是基于微处理器的过程控制单元，实现 DCS 与生产过程的结构，按地理位置分散于控制现场，实现对生产过程的控制。

集中操作与管理系统由系统操作站、各种管理单元和管理计算机组成，用于系统的集中监视与操作、系统的组态与维护以及系统的信息管理和优化控制。

通信系统是 DCS 各单元的内联网络，用于连接系统各单元，完成数据、指令及其他信息的传递。<sup>[9]</sup>

集散控制系统的基本特征是分散控制、集中管理、具有多级递阶结构，即从上而下可以划分为经营管理级、生产管理级、过程管理级和过程控制级四层如图 2.1.2.2 所示。



图 2.3 集散控制系统的分层结构

过程控制级主要负责实时过程数据的采集和处理，设备检测和系统测试与诊断，实施安全习惯、冗余化方面的措施。

过程管理级综合监视系统各控制单元，管理全系统的所有信息，完成集中显示操作、控制回路组态和参数修改等任务。过程管理级主要由操作站、通信设备构成，根据操作人员不同，操作站可以分为操作员站和工程师站。其中操作员站为操作人员提供现场运行状态、参数当前值以及是否有异常；工程师站是面向工程师，提供对生产过程的监控操作，对系统进行离线配置、组态和编程，实现优化控制等功能。

生产管理级根据产品特点，协调各控制单元的参数设定值，对产品生产进行总体协调和控制。

经营管理级完成工程技术、商务事务、人事及经济等方面问题的集体协调和管理任务，实现整个系统的最优化。<sup>[9]</sup>

### 2.1.3 DCS 发展历程

集散控制系统主要经历了三个发展阶段。

第一阶段：从 20 世纪 70 年代中期到后期。集散控制系统保留了直接数字控制的集中监视功能，将控制功能分散到现场去，通过总线将监视和控制两级连成整体，实现信息和数据的交换。

第二阶段：20 世纪 80 年代。随着大规模集成电路的发展，16 位以上微处理技术的成熟，以及局域网技术的应用，逐渐形成了以局域网构建的集散控制系统。系统中的各单元都被堪称网络节点的工作站，从而使通信能力大大增加。

第三阶段：20 世纪 80 年代后。集散系统引入了更多的管理信息，使其成为了过程自动化和管理自动化相结合的综合自动化系统。网络规模也明显扩大，包含服务于控制和监视的底层网和服务与信息管理的上层网。<sup>[9]</sup>

## 2.2 DCS、PLC、FCS

### 2.2.1 DCS 与 PLC

DCS 和 PLC 从发展的根源而言就有所不同，其中 DCS 是从模拟量仪表发展而来，PLC 是从电气继电器发展起来的，这导致了 DCS 更加侧重于模拟量系统的整体控制而 PLC 则侧重于局部的逻辑控制。

从系统的可拓展性和兼容性的方面来说，DCS 发展的过程中，虽然各厂自成体系，但是大多数系统的内部通讯协议不尽相同，便于添加节点数量和布置节点位置。对 PLC 而言，很少有拓展的需求，因为 PLC 系统一般针对设备来使用，而且 PLC 采用专用的网络结构，但是随着科技的发展，PLC 的拓展性也在逐渐变强。

### 2.2.2 DCS 与 FCS

现场总线是在过程自动化和制造自动化中，实现智能化现场设备与高层设备之间互连、全数字、串行、双向传输、多分支结构的通信系统，广泛应用于制造业、交通、楼宇等自动化系统中。

从结构而言，现场总线允许一对多即一对传输线接多台仪表，双向传输多个信号，而 DCS 为一对一模式即一对传输线接一台仪表，单向传输一个信号。可靠性而言，FCS 采用数字信号传输，抗干扰能力强精度高，DCS 采用模拟信号不仅精度低还容易收到干扰。在失控状态下，操作员在控制室既可以了解现场设备工作情况，也能对设备进行参数调节，还可以预测或寻找故障，使设备始终处于操作员的过程监控与可控状态之中，DCS 的操作员在控制室则了解不了模拟仪表的工作情况也无法进行调节。从控制角度而言，FCS 的控制功能分散到各个智能仪器中，DCS 则是把所有的控制功能集中在了控制站。从仪器的互换性而言，FCS 用户可以自由选择不同制造商提供的性能加个比最优的现场设备和仪表，并将不同品牌的仪表互连使用，但是 DCS 系统大部分技术参数由制造厂自定，致使不同品牌的仪表互换性差。<sup>[10]</sup>

## 2.3 DCS 市场及应用

### 2.3.1 DCS 国内外市场

国外 DCS 系统具有悠久的历史，其技术发展非常迅速。国外 DCS 系统已将现场总线技术有机地融入其基本系统结构中，并且与之对应的组态软件、人机界面和应用软件发展也很成熟。同时国外 DCS 生产企业不断开发和向用户提供增值软件产品。在运行处理经验上国外大公司对常有变化的各种大型石化项目工艺十分熟悉，并已经发展到拥有了专业的 SOLUTION 公司，擅长于处理检测控制设备与工艺的结合。主要企业包括 Honeywell、ABB、Emerson 等，商标如图 2.3.1.1 所示。



图 2.4 DCS 国外主要品牌

国内在原来 DDC 直接数字控制技术自行研发和工控机应用的基础上，在对国外 DCS 的工程应用及技术引进的基础上，逐渐形成了独立自主的 DCS 产业，特别是在大型火力发电厂中的应用国产 DCS 已取得了可喜的业绩，已经达到或接近国际先进水平。且近年来我国国产 DCS 实现了首台最大容量 60 万千瓦超临界循环流化床机组 DCS 的突破，和被称为核电站“神经中枢”的核电站全数字化仪控系统实现自主研发。主要企业包括中控技术、和利时、上自仪等，商标如图 2.3.1.2 所示。



图 2.5 DCS 国内主要品牌

从 DCS 控制系统行业各企业市场份额来看，内资以中控技术、和利时为主，两家龙头市场份额分别占比 27% 与 16%。外资以艾默生、霍尼韦尔、ABB、西门子、横河电机等巨头为主，市场份额分别占比 16%、10%、6%、7%、6%。外资累计市占率过半，进口替代仍会是未来主旋律。<sup>[11]</sup>

### 2.3.2 DCS 应用

DCS 在实际的过程控制以及工程生产中得到了广泛的应用，由于 DCS 所需要的财力成本较高，往往应用于大型的生产现场以及大型的控制系统，一下列举出了两个典型的生产以及控制例子。

1. DCS 系统在制药厂的应用。制药工业领域是 DCS 系统推广的一个重要方面，应用 DCS 系统能够极大地提高制药厂的产品质量，增强产品品控性。医药产品对于生产过程的参数精确化、标准化有着极强的要求，而这种需求正是 DCS 系统的优势所在。DCS 系统能够将末端控制节点分布于生产过程的每个环节，使其整个生产过程可以达到参数化、标准化，将品控工作落实到每个细节；而其优秀的管理集成性又帮助生产者有效、全面的掌握生产动向。这些优势与需求的碰撞，使得 DCS 系统在制药工业领域得到广泛的推崇。
2. DCS 系统在电厂的应用火力发电厂的 DCS 控制系统，主要采用基于客户/服务器模式下的以太网上，其控制管理网络应用双层结构，利用星形连接的高效性控制网络的冗余信息逸散。在其终端控制系统层采用总线方式连接，便于不同硬件间的通信。<sup>[12]</sup>

## 第三章 西门子 PLC 梯形图编程

### 3.1 一元二次方程的解

#### 3.1.1 目的与要求

输入三个浮点数，编写梯形图程序计算出其构成的一元二次方程的复数解，需要考虑错误情况以及解的个数情况。

#### 3.1.2 实验软硬件环境

运行环境为 Vmware 中安装的 Windows10 x64 专业版，使用变成软件为 Portal，版本为 15.1。

#### 3.1.3 设计思想与关键环节论述

##### ● 解的多种情况

只含有一个未知数，并且未知数项的最高次数是 2 的整式方程叫做一元二次方程，其形式一般可以整理为：

$$ax^2 + bx + c = 0, (a \neq 0)$$

并可以写出一元二次方式的解为：

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

以上解的得出是基于  $a \neq 0$  的理想情况，但是在实际的计算过程中可能出现  $a = 0$  或者  $b = 0$  的情况，因此，需要对特殊情况进行讨论，针对不同参数情况下的解的情况大不相同，程序中需要做出相应的体现，可以建立 int 类型的 flag 变量，利用 flag 的不同取值来表征当前解的情况，参数选取情况列举以及相应的 flag 取值如表 3.1 所示。



表 3.1 参数选取情况列举表

参数选取	解的情况	flag 取值
$a \neq 0, b^2 - 4ac = 0$	$x_{1,2} = \frac{-b}{2a}$	3
$a \neq 0, b^2 - 4ac < 0$	$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{4ac - b^2}i}{2a}$	2
$a \neq 0, b^2 - 4ac > 0$	$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	1
$a = 0, b \neq 0$	$x = \frac{-c}{b}$	0
$a = 0, b = 0, c \neq 0$	无解	-1
$a = 0, b = 0, c = 0$	无穷多解	-2

### ● FB 块使用

由于一元二次方程的求解需要区分的种类较多，为了方便主函数的编写，使用 FB 块进行编程，使用相对地址，避免了绝对地址的使用，封装为一个函数块，在主函数中进行调用，如图所示：

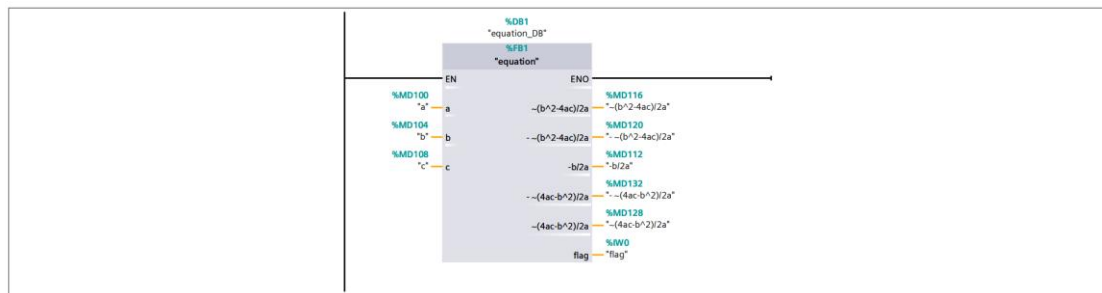


图 3.1 一元二次方程 FB 块

其中 a, b, c 三个输入分别为一元二次方程的三个输入。输出部分根据 flag 的取值不同需要观察不同输出端口的输出值，当输出口不被使用时均置为 0。

1. flag = -2 均置为 0
2. flag = -1 均置为 0
3. flag = 0 使用输出口 -b/2a
4. flag = 1 使用输出口  $\sim(b^2-4ac)/2a$ ,  $\sim(b^2-4ac)/2a$
5. flag = 2 使用输出口 -b/2a,  $\sim(4ac-b^2)/2a$ ,  $\sim(4ac-b^2)/2a$
6. flag = 3 使用输出口 -b/2a

- 无穷多解  $a = 0, b = 0, c = 0$

针对  $a = 0, b = 0, c = 0$  的情况下，判断条件满足后，可以直接将 flag 置为-2，梯形图编程如下图所示：

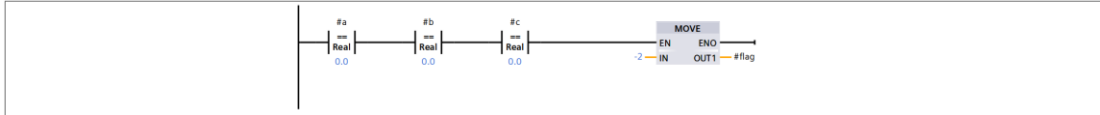


图 3.2 无穷多解情况求解

- 无解  $a = 0, b = 0, c \neq 0$

针对  $a = 0, b = 0, c \neq 0$  的情况下，判断条件满足后，可以直接将 flag 置为-1，梯形图编程如下图所示：

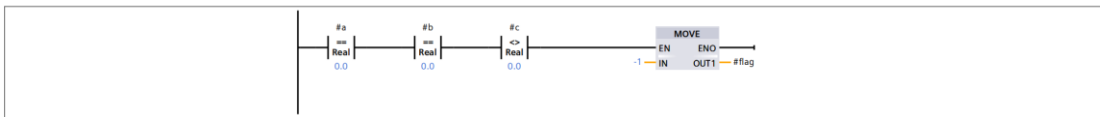


图 3.3 无解情况求解

- 一次函数情况  $a = 0, b \neq 0$

针对  $a = 0, b \neq 0$  的情况下，在判断条件满足后，通过出乘法、除法以及 MOVE 操作实现最终结果计算，梯形图编程如下图所示：

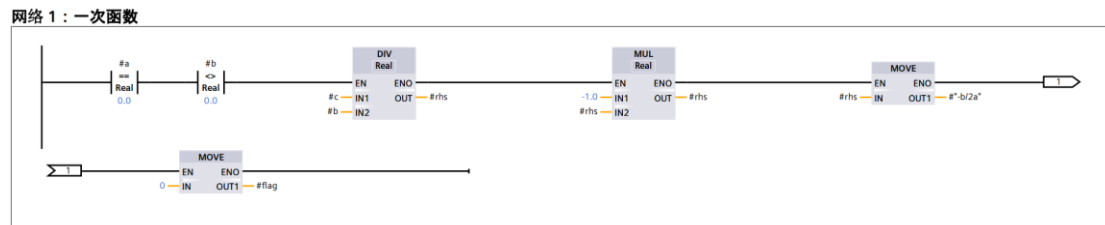


图 3.4 一次函数情况求解

- 针对实根和虚数跟判断

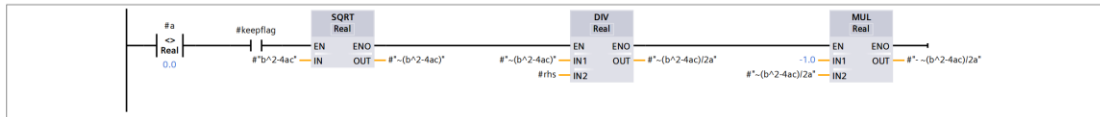
在  $a \neq 0$  的情况下，计算  $b^2 - 4ac$  的值，并通过其正负相应幅值给 keepflag 和 verseflag 两个 bool 类型变量，其中 keepflag 为 1 表示  $b^2 - 4ac > 0$ ，可以直接对  $b^2 - 4ac$  进行开方操作，如果 verseflag 为 1 表示  $b^2 - 4ac < 0$ ，需要将  $b^2 - 4ac$  乘以-1 后进行开方操作。

- 两个不相同的实根  $a \neq 0, b^2 - 4ac > 0$

针对  $a \neq 0, b^2 - 4ac > 0$  的情况下，通过判断条件，具体计算如图所示：



网络 10：



网络 11：输出清零

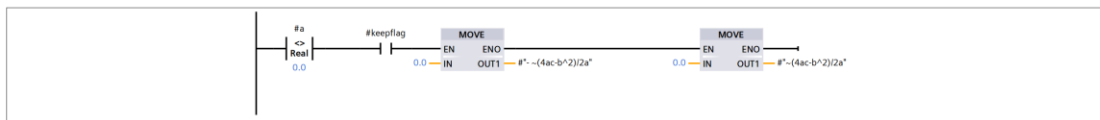


图 3.5 两个不相同的实根情况求解

- 两个虚数根  $a \neq 0, b^2 - 4ac < 0$

针对  $a \neq 0, b^2 - 4ac < 0$  的情况下，通过判断条件，具体计算如图所示：

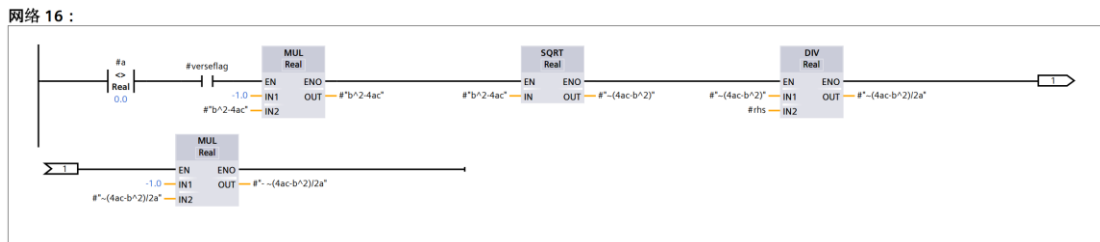


图 3.6 两个虚数根情况求解

- 重根  $a \neq 0, b^2 - 4ac = 0$

针对  $a \neq 0, b^2 - 4ac = 0$  的情况下同理可得

### 3.1.4 结果展示

- 无穷多解  $a = 0, b = 0, c = 0$

针对  $a = 0, b = 0, c = 0$  的情况下，输出符合预期，输出结果如下图所示：

名称	地址	显示格式	监视值	修改值
"a"	%MD100	浮点数	0.0	0.0
"b"	%MD104	浮点数	0.0	0.0
"c"	%MD108	浮点数	0.0	0.0
"-(b^2-4ac)/2a"	%MD120	浮点数	0.0	
"-(b^2-4ac)/2a"	%MD116	浮点数	0.0	
"-(4ac-b^2)/2a"	%MD132	浮点数	0.0	
"-(4ac-b^2)/2a"	%MD128	浮点数	0.0	
"-b/2a"	%MD112	浮点数	0.0	
"flag"	%IWO	带符号十进制	-2	

图 3.7 无穷多解求解结果

- 无解  $a = 0, b = 0, c \neq 0$

针对  $a = 0, b = 0, c \neq 0$  的情况下，输出符合预期，输出结果如下图所示：

名称	地址	显示格式	监视值	修改值
"a"	%MD100	浮点数	0.0	0.0
"b"	%MD104	浮点数	0.0	0.0
"c"	%MD108	浮点数	2.0	2.0
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD120	浮点数	0.0	
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD116	浮点数	0.0	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD132	浮点数	0.0	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD128	浮点数	0.0	
" $-b/2a$ "	%MD112	浮点数	0.0	
"flag"	%IWO	带符号十进制	-1	

图 3.8 无解情况求解结果

- 一次函数情况  $a = 0, b \neq 0$

针对  $a = 0, b \neq 0$  的情况下，输出符合预期，输出结果如下图所示：

名称	地址	显示格式	监视值	修改值
"a"	%MD100	浮点数	0.0	0.0
"b"	%MD104	浮点数	2.0	2.0
"c"	%MD108	浮点数	2.0	2.0
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD120	浮点数	0.0	
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD116	浮点数	0.0	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD132	浮点数	0.0	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD128	浮点数	0.0	
" $-b/2a$ "	%MD112	浮点数	-1.0	
"flag"	%IWO	带符号十进制	0	

图 3.9 一次函数情况求解结果

- 两个不相同的实根  $a \neq 0, b^2 - 4ac > 0$

针对  $a \neq 0, b^2 - 4ac > 0$  的情况下，输出符合预期，输出结果如下图所示：

名称	地址	显示格式	监视值	修改值
"a"	%MD100	浮点数	1.0	1.0
"b"	%MD104	浮点数	4.0	4.0
"c"	%MD108	浮点数	2.0	2.0
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD120	浮点数	-3.414214	
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD116	浮点数	-0.5857865	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD132	浮点数	0.0	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD128	浮点数	0.0	
" $-b/2a$ "	%MD112	浮点数	0.0	
"flag"	%IWO	带符号十进制	1	

图 3.10 两个不相同的实根情况求解结果

- 两个虚数根  $a \neq 0, b^2 - 4ac < 0$

针对  $a \neq 0, b^2 - 4ac < 0$  的情况下，输出符合预期，输出结果如下图所示：

名称	地址	显示格式	监视值	修改值
"a"	%MD100	浮点数	1.0	1.0
"b"	%MD104	浮点数	4.0	4.0
"c"	%MD108	浮点数	5.0	5.0
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD120	浮点数	0.0	
" $\sim(b^2-4ac)/2a$ "	%MD116	浮点数	0.0	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD132	浮点数	-1.0	
" $\sim(4ac-b^2)/2a$ "	%MD128	浮点数	1.0	
" $-b/2a$ "	%MD112	浮点数	-2.0	
"flag"	%IWO	带符号十进制	2	

图 3.11 两个虚数根情况求解结果

- 重根  $a \neq 0, b^2 - 4ac = 0$

针对 $a \neq 0, b^2 - 4ac = 0$ 的情况下，输出符合预期，输出结果如下图所示：



名称	地址	显示格式	监视值	修改值
"a"	%MD100	浮点数	1.0	1.0
"b"	%MD104	浮点数	4.0	4.0
"c"	%MD108	浮点数	4.0	4.0
"- ~(b^2-4ac)/2a"	%MD120	浮点数	0.0	
"~(b^2-4ac)/2a"	%MD116	浮点数	0.0	
"- ~(4ac-b^2)/2a"	%MD132	浮点数	0.0	
"~(4ac-b^2)/2a"	%MD128	浮点数	0.0	
"-b/2a"	%MD112	浮点数	-2.0	
"flag"	 %IWD	带符号十进制	 3	

图 3.12 重根情况求解结果

## 3.2 十字路口交通灯控制

### 3.2.1 目的与要求

设计一个十字路口交通灯控制系统，控制效果与实际马路红绿灯一致。需要有倒计时功能，闪灯功能。可重复运行。

### 3.2.2 实验软硬件环境

运行环境为 Vmware 中安装的 Windows10 x64 专业版,使用变成软件为 Portal, 版本为 15.1。

### 3.2.3 设计思想与关键环节论述

- 红绿灯情况分析

选取周期为 50s 的红绿灯，则红灯点亮时间为 25s。可以对南北方向进行分析，在前 25s 南北红灯亮，绿灯黄灯均灭，红灯会在最后五秒进行倒计时随后绿灯点亮，在绿灯最后 5s 时也就是 42s 时开始闪烁，闪烁后黄灯开始闪烁黄灯闪烁后红灯重新亮起进入下一个周期如此循环往复。流程示意图如图 3.12 所示。

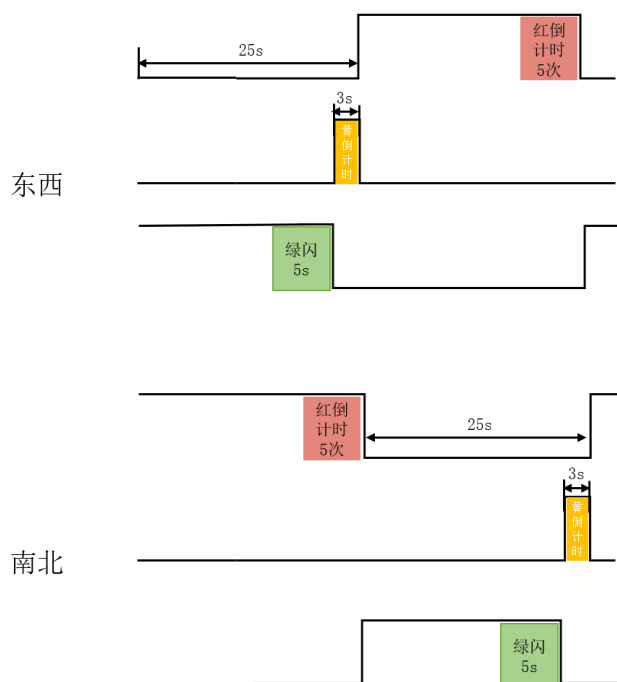
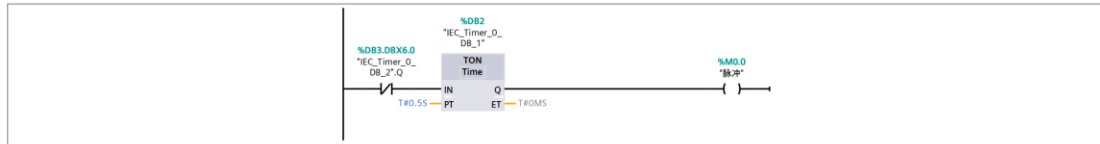


图 3.13 红绿灯流程示意图

## ● 系统时钟与脉冲时钟

考虑到程序在运行中需要根据当前时间进行相应的操作，需要有一个主时序，可以采用 TON 模块，并设置时间为 50s。由于程序在运行过程中由红灯的倒计时，黄灯倒计时以及绿灯的闪烁，可以设置一个 1s 振荡器用于在特定时间调用，解决闪烁和倒计时问题。梯形图编程如图所示：



网络 17：

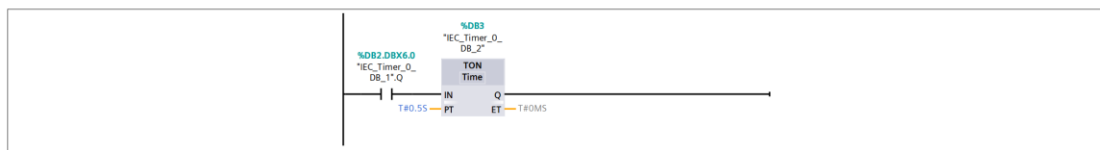


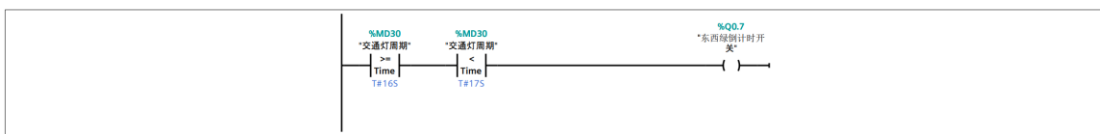
图 3.14 振荡器

## ● 东西绿灯与绿灯倒计时

当时间从 0-22s 时需要保证绿灯的正常点亮，在 16 的时候开启绿灯倒计时，倒计时采用 CTD 计数模块，用脉冲信号作为使能信号输入，保证每一秒进行一次计数，设置初始值为 5 则会总共计数五次，梯形图编程如下图所示：



网络 3：



网络 4：

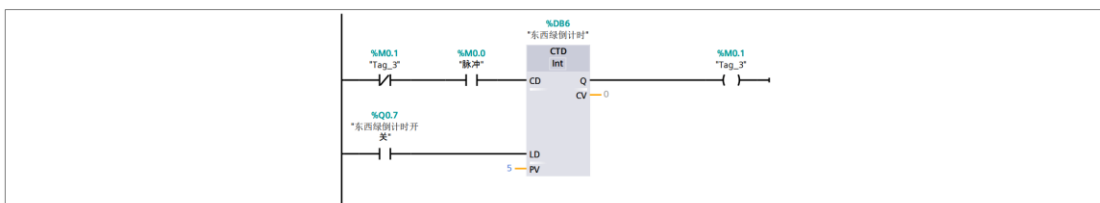


图 3.15 东西绿灯倒计时梯形图

## ● 东西黄灯闪烁

当时间从 22-25s 时需要黄灯开始闪烁，在此期间可以直接使用脉冲信号来控

制黄灯的亮灭从而达到效果，梯形图编程如下图所示：

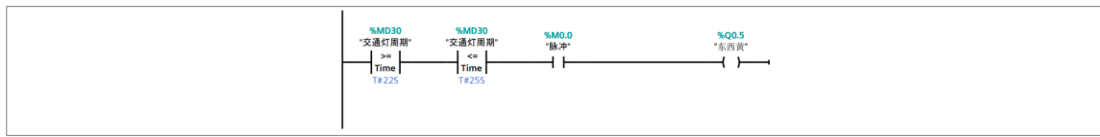
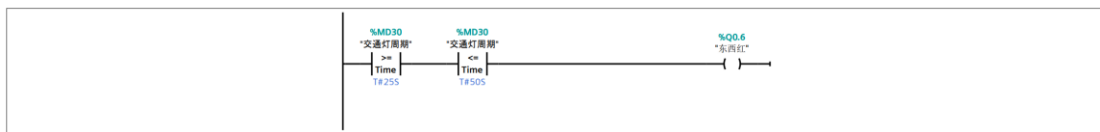


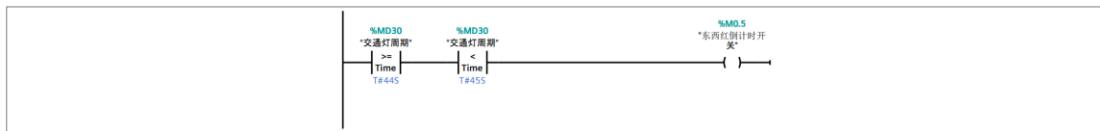
图 3.16 东西黄灯闪烁梯形图

### ● 东西红灯倒计时

当时间从 45s 开始需要东西的红灯开始进行倒计时操作，与绿灯倒计时采用同样的思想，梯形图编程如下图所示：



网络 14：



网络 15：

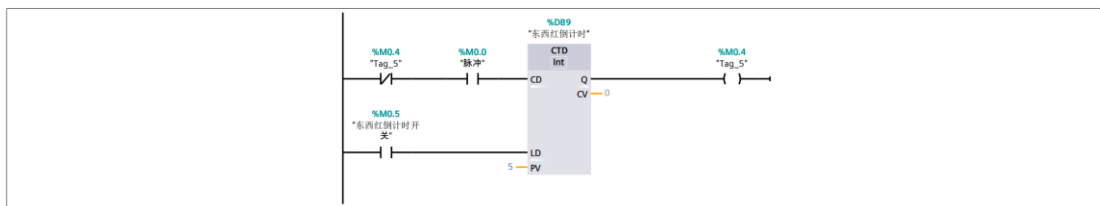


图 3.17 东西红灯倒计时梯形图

### ● 南北红绿灯

由于南北红绿灯与东西红绿灯相对应，可以采用类似得思路写出，具体可以参照流程图进行编写，在此不再赘述。

## 3.2.4 结果展示

由于代码部分讨论的是东西方向的红绿灯，在结果部分就以南北方向进行展示。

### ● 东西红灯南北绿灯

当时间为 32s 左右时，红绿灯呈现东西为红灯，南北为绿灯的情况，仿真结果如下图所示，符合预期。



名称	地址	显示格式	监视值
"东西红"	%Q0.6	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"东西红倒计时" ....	%DB9.DBW6	带符号十进制	0
"东西黄"	%Q0.5	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿"	%Q0.4	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿倒计时" ....	%DB6.DBW6	带符号十进制	0
"南北红"	%Q0.2	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北红倒计时" ....	%DB7.DBW6	带符号十进制	0
"南北黄"	%Q0.1	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北绿"	%Q0.0	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"南北绿倒计时" ....	%DB8.DBW6	带符号十进制	0
"交通灯周期"	%MD30	时间	T# 325_678MS

图 3.18 东西红灯南北绿灯

- 东西红灯倒计时南北黄灯闪烁

当时间为 47s 左右时,红绿灯呈现东西红灯倒计时,南北为黄灯闪烁的情况,仿真结果如下图所示,符合预期。

名称	地址	显示格式	监视值
"东西红"	%Q0.6	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"东西红倒计时" ....	%DB9.DBW6	带符号十进制	2
"东西黄"	%Q0.5	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿"	%Q0.4	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿倒计时" ....	%DB6.DBW6	带符号十进制	0
"南北红"	%Q0.2	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北红倒计时" ....	%DB7.DBW6	带符号十进制	0
"南北黄"	%Q0.1	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"南北绿"	%Q0.0	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北绿倒计时" ....	%DB8.DBW6	带符号十进制	0
"交通灯周期"	%MD30	时间	T# 475_483MS

图 3.19 东西红灯倒计时南北黄灯闪烁

- 东西黄灯闪烁南北红灯倒计时

当时间为 22s 左右时,红绿灯呈现东西为黄灯闪烁,南北为红灯倒计时的情况,仿真结果如下图所示,符合预期。

名称	地址	显示格式	监视值
"东西红"	%Q0.6	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西红倒计时" ....	%DB9.DBW6	带符号十进制	0
"东西黄"	%Q0.5	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿"	%Q0.4	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿倒计时" ....	%DB6.DBW6	带符号十进制	0
"南北红"	%Q0.2	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"南北红倒计时" ....	%DB7.DBW6	带符号十进制	3
"南北黄"	%Q0.1	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北绿"	%Q0.0	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北绿倒计时" ....	%DB8.DBW6	带符号十进制	0
"交通灯周期"	%MD30	时间	T# 225_111MS

图 3.20 东西黄灯闪烁南北红灯倒计时

- 东西红灯南北绿灯倒计时

当时间为 42s 左右时,红绿灯呈现东西为红灯,南北为绿灯倒计时的情况,仿真结果如下图所示,符合预期。

名称	地址	显示格式	监视值
"东西红"	%Q0.6	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"东西红倒计时" ....	%DB9.DBW6	带符号十进制	0
"东西黄"	%Q0.5	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿"	%Q0.4	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿倒计时" ....	%DB6.DBW6	带符号十进制	0
"南北红"	%Q0.2	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北红倒计时" ....	%DB7.DBW6	带符号十进制	0
"南北黄"	%Q0.1	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北绿"	%Q0.0	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"南北绿倒计时" ....	%DB8.DBW6	带符号十进制	4
"交通灯周期"	%MD30	时间	T# 425_441MS

图 3.21 东西红灯南北绿灯倒计时

● 东西绿灯南北红灯

当时间为 1s 左右时，红绿灯呈现东西为绿灯，南北为红灯的情况，仿真结果如下图所示，符合预期。

名称	地址	显示格式	监视值
"东西红"	%Q0.6	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西红倒计时" ....	%DB9.DBW6	带符号十进制	0
"东西黄"	%Q0.5	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"东西绿"	%Q0.4	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"东西绿倒计时" ....	%DB6.DBW6	带符号十进制	0
"南北红"	%Q0.2	布尔型	<input checked="" type="checkbox"/> TRUE
"南北红倒计时" ....	%DB7.DBW6	带符号十进制	0
"南北黄"	%Q0.1	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北绿"	%Q0.0	布尔型	<input type="checkbox"/> FALSE
"南北绿倒计时" ....	%DB8.DBW6	带符号十进制	0
"交通灯周期"	%MD30	时间	T# 747MS

图 3.22 东西绿灯南北红灯

## 心得体会

这个学期是我第一次接触过程控制也是第一次接触 PLC，通过第一阶段的学习我从原理到使用上都对 PLC 有了从无到有，从前入深的理解。在对 PLC 和 DCS 的调研过程中，我深刻体会到了 PLC 的无处不在，无论是工业的进一步转型升级或者是智能制造的提出和发展，这些制作业的创新和发展无不是工业自动化水平的提高，而这些都离不开工业中非常常用的 PLC 控制器，无疑也凸显了这门实习的重要性。在对西门子的梯形图编程中，学习了相关的逻辑结构并针对具体问题进行编程练习最后仿真验证，相信无论是 PLC 的使用方法和技巧还是 PLC 编程的思想与流程都会对我的学习由莫大的帮助，也期待着下阶段的 PLC 实习，当然，最后也需要感谢何老师的辛勤指导和帮助！

## 参考文献

- [1] Wikipedia.Programmable logic controller [EB/OL].[Programmable logic controller - Wikipedia](#)
- [2] 工控拖拉机.01 PLC 的工作原理[EB/OL]. [01 PLC 的工作原理【从零开始系列文章】 - 知乎 \(zhihu.com\)](#)
- [3] 易哥.单片机 MCU 与可编程逻辑器件 PLC 详解与对比[EB/OL].[单片机 MCU 与可编程逻辑器件 PLC 详解与对比 - 知乎 \(zhihu.com\)](#)
- [4] admin.PLC 的发展历史和趋势[EB/OL].[PLC 的发展历史和趋势 - PLC 论坛\\_电工学习网 \(diangon.com\)](#)
- [5] 工程师周亮.PLC 的发展历史, 及未来发展趋势[EB/OL].[PLC 的发展历史, 及未来发展趋势 - 工业控制 - 电子发烧友网 \(elecfans.com\)](#)
- [6] 百度文库.国内外 PLC 市场分析及国产 PLC 现状[EB/OL].[国内外 PLC 市场分析及国产 PLC 现状 - 百度文库 \(baidu.com\)](#)
- [7] 林彬锋.PLC 技术在数控机床电气控制系统中的应用研究[J].数字技术与应用,2019,37(12):10-11
- [8] 李公法,黄永杰,邹燕秋.机械设备电器控制原理及应用[M].北京:中国水利水电出版社,2014:252-260
- [9] 郭一楠.过程控制系统[M].机械工业出版社:北京,2013:7
- [10] 易维通.3 分钟搞定 FCS、DCS、PLC 的区别到底是啥! [EB/OL].[3 分钟搞定 FCS、DCS、PLC 的区别到底是啥! \(qq.com\)](#)
- [11] 张鑫.2019 年中国 DCS 控制系统行业市场现状及竞争格局分析, 内资“两家独大” [EB/OL].[2019 年中国 DCS 控制系统行业市场现状及竞争格局分析, 内资“两家独大”「图」\\_趋势频道-华经情报网 \(huaon.com\)](#)
- [12] DCS 系统的应用与展望[J]. 李意斌. 企业技术开发. 2016(25)