

独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

电气控制及PLC 应用实践教程

主 编 王瑞祥

副主编 郭永吉 李 峰



科学出版社

独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

电气控制及 PLC 应用 实践教程

主 编 王瑞祥

副主编 郭永吉 李 峰

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以拓宽基础、注重应用、提高能力为宗旨,以大量实例为导向,突出强化实际操作技能。全书共分为7章,主要内容为继电器接触器控制、37-200 PLC 指令系统、电动机的 PLC 控制训练、综合设计变频器控制、网络和通信控制及过程控制系统设计。

本书不仅可作为高等院校电类、机电类专业及非机电类专业的实践教材,也可供各类工程人员自学或参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气控制及 PLC 应用实践教程/王瑞祥主编. —北京:科学出版社,2011
独立学院应用型创新人才培养系列规划教材
ISBN 978-7-03-030158-1

I. ①电… II. ①王… III. ①电气控制-高等学校-教材②可编程序控制器-高等学校-教材 IV. ①TM571.2②TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 015808 号

责任编辑:相 凌 潘继敏 / 责任校对:张小霞
责任印制:张克忠 / 封面设计:鑫联必升

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年1月第一次印刷 印张:10 1/4

印数:1—3 000 字数:206 000

定价:24.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书根据教育部 2007 年《关于进一步深化本科教学改革全面提高教学质量的若干意见》，结合独立学院的电类、机电类专业及非机电类专业的教学实际情况编写而成。全书立足于本科应用型人才培养目标，在理论教学的基础上，集实验设计、工程实训、设备调试于一体，突出应用能力、工程设计能力和创新开发能力的培养，使读者具备一定的可编程控制器基础知识并掌握相关的软硬件技术。全书以西门子 S7-200 系列 PLC 为例，介绍了 S7-200 最新产品的硬件结构、编程软件、指令系统、数字量控制梯形图等完整的设计方法和典型的工程应用案例。

本书遵循实用的原则，注重案例教学，在编写上力求由浅入深，以电气控制和 PLC 应用能力培养为根本出发点，在内容安排上，以电气控制线路为基础，包括了 PLC 的组成、基本工作原理、通信、应用场合、常用变频器的应用方式、工作模式、设定方法等，旨在培养常见电路的设计、安装、操作方法和故障排除能力。

本书第 2 章、第 3 章、第 4 章和第 6 章由郭永吉编写；第 1 章、第 5 章和第 7 章由李峰编写；傅龙飞、李晓英、陈智完成了本书实验内容的调试；全书由王瑞祥、李峰统稿。王兴贵教授、谢黎明教授对全部书稿进行了审阅，并提出了许多宝贵的意见和建议；兰州理工大学技术工程学院对本书的编写给予了大力支持，在此表示衷心的感谢！书中部分内容参阅了相关文献。已在参考文献中列出。在此对所有原作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请各位读者批评指正。

编 者

2010 年 7 月

目 录

前言

第 1 章 继电器控制	1
1.1 电动机连续运行控制电路的设计	1
1.2 电动机正反转控制电路的设计	4
1.3 电动机顺起逆停控制电路的设计	7
1.4 自动往返控制线路的设计.....	10
1.5 定子串自耦变压器降压启动控制.....	13
1.6 Y- Δ 降压启动控制线路的设计	17
1.7 延边 Δ 降压启动控制线路的设计.....	20
1.8 串电阻降压启动控制线路的设计.....	24
1.9 能耗制动控制线路的设计.....	27
1.10 反接制动控制电路	30
第 2 章 S7-200 PLC 指令系统	34
2.1 S7-200 PLC 结构的认识	34
2.2 熟悉 STEP7-Micro/WIN32 编程软件.....	35
2.3 逻辑与、或、非指令.....	37
2.4 定时器指令.....	38
2.5 计数器指令.....	39
2.6 移位寄存器指令.....	41
2.7 分频电路.....	42
2.8 闪烁与单稳态电路.....	43
2.9 模拟量数据处理.....	45
第 3 章 电动机的 PLC 控制训练	50
3.1 简单的启动、保持和停止	50
3.2 直接转换的电动机正反转控制.....	52
3.3 电动机的 Y- Δ 降压启动控制	54
3.4 三相感应电动机的串电阻降压启动控制.....	56
3.5 三相感应电动机的串自耦变压器降压启动控制.....	57

3.6	电动机的单向能耗制动控制	59
第4章	综合设计	62
4.1	运料小车的程序控制	62
4.2	四级带式输送机的程序控制	65
4.3	深孔钻组合机床的程序控制	68
4.4	节日彩灯的程序控制	72
4.5	十字路口交通灯控制	74
第5章	变频器控制	79
5.1	基本操作面板(BOP)的使用	79
5.2	变频器外部运行操作模式实训	82
5.3	变频器组合运行操作模式	85
5.4	变频器多段速度运行实训	86
5.5	变频器快速调试	88
5.6	闭环 PID 控制	91
第6章	网络和通信控制	94
6.1	PLC 的通信编程	94
6.2	CP243-1 与上位机的连接实现方法	98
6.3	通过电话网编程	104
6.4	USS 协议实现 PLC 对变频器的控制	121
6.5	SIMATIC NET OPC Server 与 S7-200/EM277 的 S7 连接	128
第7章	过程控制系统设计	143
7.1	水池水温的 PID 控制	143
7.2	水塔自动供水系统的程序控制	148
	参考文献	152
	附录1 电气控制与 PLC 应用综合训练指导	153
	附录2 电气控制与 PLC 应用综合训练评分标准	156

第 1 章 继电接触器控制

1.1 电动机连续运行控制电路的设计

1. 目的与要求

(1) 熟悉交流接触器、热继电器、按钮等常用低压电器的文字符号与图形符号。

(2) 具备基本设计和识读电气控制电路图、分析电路工作原理、用万用表检测电气元件好坏的实验技能。

(3) 掌握电气控制电路设计、自锁的概念和元件在电路中按功能布置的位置。

2. 所需器材

(1) 常用电工工具。常用电工工具包括试电笔、钢丝钳、剥线钳、螺丝刀、电工刀、尖嘴钳、斜口钳等。

(2) 万用表、兆欧表。

(3) 绝缘导线。主电路采用 $BV2.0\text{mm}^2$ ，控制电路采用 $BV1.0\text{mm}^2$ ，绝缘等级为 500V 或 1000V。

(4) 2.2kW 三相异步电动机。

(5) 电气元件：断路器、交流接触器、常开按钮、常闭按钮、熔断器、热继电器等。

3. 具体电路

(1) 电动机连续运行控制电路。电动机连续运行控制电路如图 1.1.1 所示。

(2) 线路工作原理。按图 1.1.1 完成接线，并检查正确无误后，合上电源开关断路器 QF。

启动时，按下启动按钮 SB2，KM1 线圈得电，其主触头闭合，辅助触头实现自锁，电动机连续运转。

停止时，按下停止按钮 SB1，KM1 线圈失电，自锁触头跟着复位（断开），电动机停止运转。

将电动机的轴堵转，使之过载时，热继电器动作，串联在控制回路中的常闭触头 FR 断开，使接触器线圈 KM1 断电，电动机停止运转。

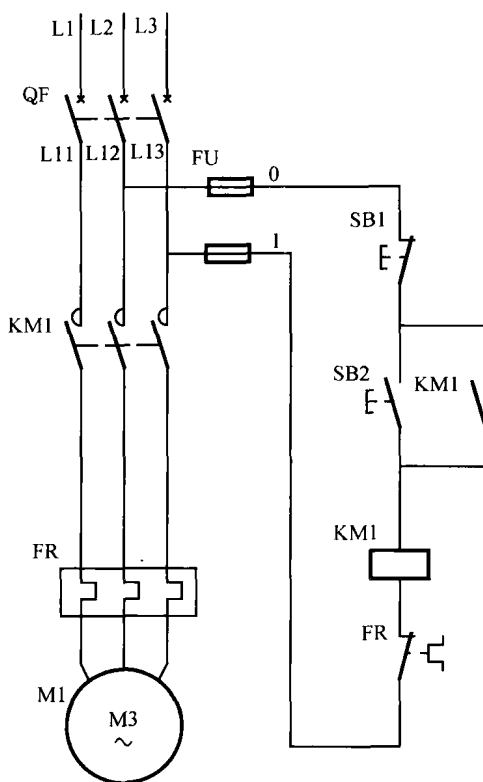


图 1.1.1 电动机连续运行控制线路原理图

4. 步骤

- (1) 实验开始前，应先画好电气原理图，分析工作原理，写出控制过程。
- (2) 根据电动机功率的大小选配电器元件的规格，并填在表 1.1.1 中。

表 1.1.1 元件明细表

代号	名称	型号	规格	数量
M	三相异步电动机			
QF	三相断路器			
FU	管式熔断器			
KM	交流接触器			
SB	按钮			
XT	接线端子			
FR	热继电器			

其计算方法是根据工程经验粗略估计，即每千瓦的电动机功率，需要 2A 的驱动电流，而每平方毫米的导线能长期经受 3A 左右的电流，据此可确定电路中

元件的额定参数和导线的截面面积。

- (3) 清点各元件的规格和数量, 检查各电气元件是否完好无损。
- (4) 根据原理图, 设计并画出实际的安装图, 作为接线安装的依据。
- (5) 按图接线, 接线要求符合安装规范, 且工艺美观、线路正确。
- (6) 接线完毕, 用万用表检测无误后方可通电校验。

5. 应注意的问题

(1) 安装电路应注意遵循“先主后控、从上到下、从左到右”的原则, 按照功能布置元件位置。

(2) 布线应注意走线工艺, 要求横平竖直, 变换走向应垂直, 避免交叉, 多线集中并拢, 严禁损伤线芯。

(3) 导线与接线端子或线桩连接时, 应不压绝缘层、不打圈及不漏铜过长, 并做到同一元件、同一回路的不同接点的导线间距保持一致。每个接线端不得超过两根导线, 按钮要求出线最少。

(4) 热继电器的整定电流必须按电动机的额定电流进行调整。

(5) 电动机和按钮的金属外壳必须可靠接地。使用兆欧表依次测量电动机绕组与外壳间及绕组间的绝缘电阻值, 检查绝缘电阻值是否符合要求。

(6) 要文明操作, 注意用电安全, 需要通电时, 应在老师的指导下进行。

6. 电路检查

1) 主电路的检查 (设电动机的接法为 Y 接法)

(1) 将万用表挡位拨到 $R \times 1$ 挡或数字表的 200Ω 挡取出控制电路中的保险管, 将表笔放在主电路 L11、L12 处和 L13、L12 处, 模拟 KM 获电吸合 (按下 KM 主触头), 此时万用表的读数应为电动机两绕组的串联电阻值。

(2) 将表笔放在主电路 L11、L13 处和 L12、L13 处, 模拟 KM 获电吸合 (按下 KM 主触头), 数值应同上, 为两绕组串联阻值。

2) 控制电路的检查

(1) 将万用表的挡位拨到 $R \times 10$ 挡、 $R \times 100$ 挡或数字的 $2k\Omega$ 挡, 取出控制电路中的保险管, 将表笔放在控制电路的 0、1 两端, 此时万用表读数应为无穷大, 按下 SB2, 读数为 KM1 线圈的电阻值。

(2) 用螺丝刀或尖嘴钳压下 KM1, 模拟 KM1 得电动作, 万用表读数应为 KM1 线圈的电阻值, 若在同时按下 SB1, 则读数应为无穷大。

7. 思考题

(1) 三相异步电动机的接触器自锁控制线路除了能使电动机连续运行外,还具有哪些保护作用? 分别说明各种保护的概念。

(2) 热继电器如何进行选择, 怎样调整整定值? 在线路中能否用来作短路保护?

(3) 试画出“电动机点动与连续运行”控制电路的原理图, 并将上述电路进行改动且检查无误后, 通电校验。

1.2 电动机正反转控制电路的设计

1. 目的与要求

- (1) 熟悉电气元件的图形符号和文字符号, 掌握电气元件的结构及拆装。
- (2) 识读电动机正反转控制电路图, 并分析工作原理。
- (3) 掌握电动机正反转控制电路的设计和接线。

2. 所需器材

- (1) 常用电工工具。常用电工工具包括试电笔、钢丝钳、剥线钳、螺丝刀、电工刀、尖嘴钳、斜口钳等。
- (2) 万用表、兆欧表。
- (3) 绝缘导线。主电路采用 $BV2.0\text{mm}^2$, 控制电路采用 $BV1.0\text{mm}^2$, 绝缘等级为 500V 或 1000V。
- (4) 三相异步电动机。
- (5) 电气元件: 交流接触器、按钮、常开按钮、常闭按钮、熔断器、热继电器等。

3. 具体电路

(1) 电动机正反转控制线路。电动机正反转控制线路如图 1.2.1 所示。

(2) 电路工作原理。按图 1.2.1 完成接线, 并检查正确无误后, 合上电源开关断路器 QF。

正向启动时, 按下启动按钮 SB1, KM1 线圈得电, 其主触头闭合, 辅助常开触头实现自锁, 辅助常闭触头实现互锁, 电动机正向连续运转。

欲反向启动时, 先按下停止按钮 SB3, KM1 线圈失电, 其主触头断开, 辅助常开触头恢复断开, 辅助常闭触头恢复闭合, 电动机正向停止运转。接着再按

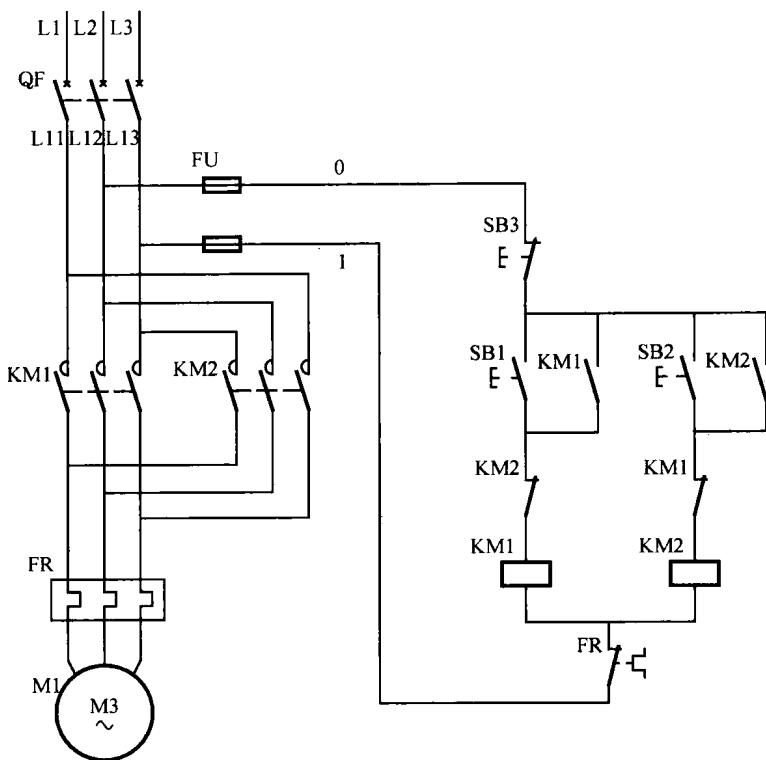


图 1.2.1 电动机正反转控制线路原理图

下启动按钮 SB2, KM2 线圈得电, 其主触头闭合, 辅助常开触头实现自锁, 辅助常闭触头实现互锁, 电动机反向连续运转。

停止时, 按下停止按钮 SB3, 不论电动机是正转还是反转, 电动机都将停止运转。

将电动机的轴堵转, 使之过载时, 热继电器动作, 串联在控制回路中的常闭触头 FR 断开, 使得电的接触器线圈断电, 电动机停止运转。

4. 步骤

- (1) 实验前, 应先画好电气原理图, 分析工作原理, 并写出控制过程。
- (2) 根据电动机功率的大小选配元件的规格, 并填在表 1.2.1 中。

表 1.2.1 元件明细表

代号	名称	型号	规格	数量
M	三相异步电动机			
QF	三相断路器			
FU	管式熔断器			

续表

代 号	名 称	型 号	规 格	数 量
KM	交流接触器			
SB	按钮			
XT	接线端子			
FR	热继电器			

其计算方法是根据工程经验粗略估计,即每千瓦的电动机功率,需要 2A 的驱动电流,而每平方毫米的导线能长期经受 3A 左右的电流,据此可确定电路中元件的额定参数和导线的截面面积。

- (3) 清点各元件的规格和数量,检查各电气元件是否完好无损。
- (4) 根据原理图,设计并画出实际的安装图,作为接线安装的依据。
- (5) 按图进行安装接线。
- (6) 接线完毕,经检查无误后方可通电检验。

5. 应注意的问题

- (1) 在主电路中, KM1、KM2 的主触点必须换相,否则误操作时会造成相间短路。
- (2) 在控制电路中, KM1、KM2 必须相互串联对方的常闭触点,起互锁作用。
- (3) 用电阻测量法检测电路是否正确时,必须断开电路的两个熔断器,以免在检查时影响操作者对电阻变化的判断。
- (4) 通电时,需注意从正转到反转的时间,最好是当转速下降到差不多时才进行转换,防止发生因突然反转带来的电流过大,烧坏元器件。
- (5) 热继电器的整定电流必须按电动机的额定电流进行调整。
- (6) 电动机和按钮的金属外壳必须可靠接地。使用兆欧表依次测量电动机绕组与外壳间及绕组间的绝缘电阻值,检查绝缘电阻值是否符合要求。
- (7) 文明操作,注意用电安全,需要通电时,应在老师的指导下进行。

6. 电路检查

1) 主电路的检查 (设电动机的接法为 Y 接法)

- (1) 将万用表挡位拨到 $R \times 1$ 挡或数字表的 200Ω 挡,取出控制电路中的保险管,将表笔放在主电路 L11、L12 处和 L13、L12 处,模拟 KM1 获电吸合 (用改锥按下 KM1 主触头),此时万用表的读数应为电动机两绕组的串联电阻值。
- (2) 将表笔放在主电路 L11、L13 处和 L12、L13 处,模拟 KM1 获电吸合 (用改锥按下 KM1 主触头),数值应同上,为两绕组串联阻值。

2) 控制电路的检查

(1) 将万用表的挡位拨到 $R \times 10$ 挡、 $R \times 100$ 或数字表的 $2k\Omega$ 挡, 取出控制电路中的保险管, 将表笔放在 0、1 两端, 此时万用表读数应为无穷大, 按下 SB1 或 SB2, 读数为 KM1 或 KM2 线圈的电阻值; 若同时按下 SB1、SB2, 万用表读数应比单独按下 SB1 或 SB2 时小 (因为这时两电阻线圈并联)。

(2) 用螺丝刀或尖嘴钳分别按下 KM1、KM2, 模拟 KM1、KM2 得电动作, 万用表读数应为 KM1 或 KM2 线圈的电阻值; 若同时按下 KM1 和 KM2, 则读数应为无穷大 (联锁触点互锁)。

7. 思考题

- (1) 电动机启动正反转后, 按下 SB2 能实现反转吗?
- (2) 若去掉原理图中 KM1 和 KM2 的辅助常闭触点, 对电路有什么影响?
- (3) 试设计一个能够“直接进行正反转操作”的控制线路, 并在此基础上增加实现该功能的电路接线。

1.3 电动机顺启逆停控制电路的设计

1. 目的和要求

- (1) 熟悉电气元件的图形符号和文字符号, 掌握自动控制的工作原理。
- (2) 掌握电动机控制电路的安装操作技能, 熟悉电路的工作原理分析及故障检测方法。

2. 所需器材

- (1) 常用电工工具。常用电工工具包括试电笔、钢丝钳、剥线钳、螺丝刀、电工刀、尖嘴钳、斜口钳等。
- (2) 万用表、兆欧表。
- (3) 绝缘导线。主电路采用 $BV2.0\text{mm}^2$, 控制电路采用 $BV1.0\text{mm}^2$, 绝缘等级为 500V 或 1000V。
- (4) 2.2kW 三相异步电动机。
- (5) 电气元件: 交流接触器、按钮、熔断器、热继电器等。

3. 具体电路

- (1) 电动机顺启逆停控制电路。电动机顺启逆停控制电路如图 1.3.1 所示。

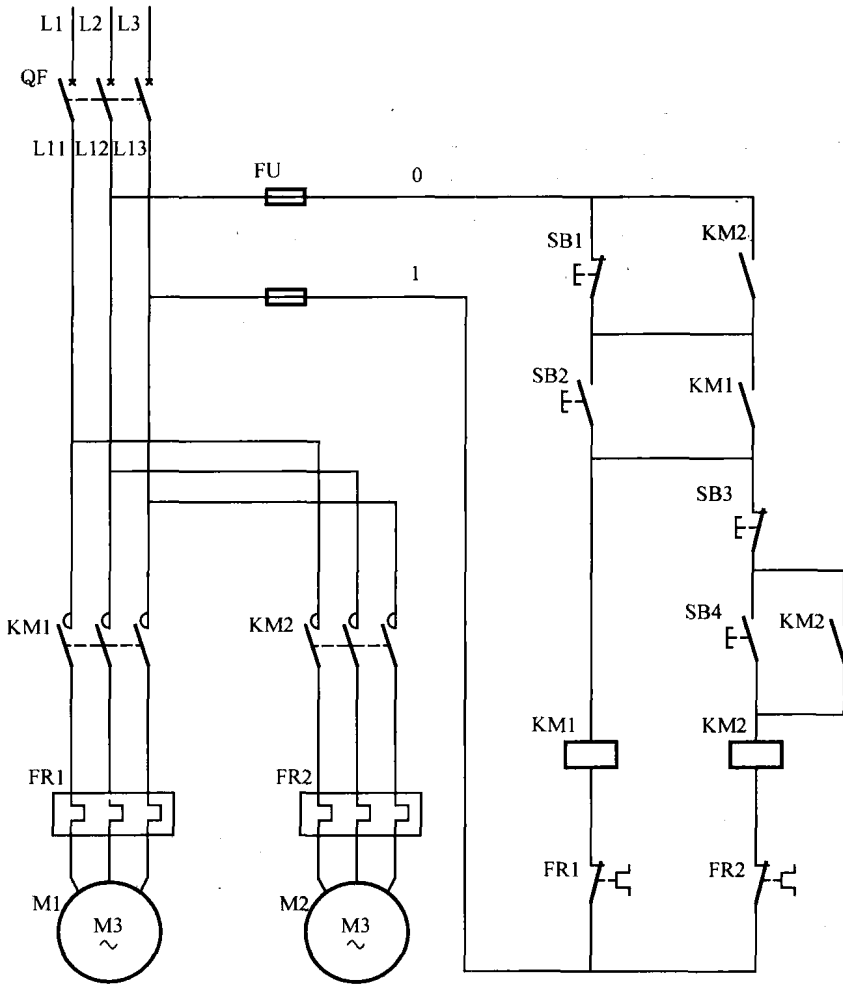


图 1.3.1 电动机顺启逆停控制电路原理图

(2) 电路工作原理。按图 1.3.1 完成接线，并检查正确无误后，合上电源开关断路器 QF。

启动时，按下启动按钮 SB2，KM1 线圈得电，其主触头闭合，辅助常开触头实现自锁，为第二台电动机启动做准备，电动机连续运转。

按下 SB4，KM2 线圈得电，KM2 主触头闭合，电动机 M2 运转，KM2 自锁触头闭合（自锁）。KM2 常开触头闭合（为逆序停车做准备）。

按下停止按钮 SB3，KM2 线圈失电，KM2 主触头复位，第二台电动机停止运行。按下停止按钮 SB1，KM1 线圈失电，KM1 主触头复位，第一台电动机停止运行，实现了逆序停止。

4. 操作步骤

- (1) 开始实训前, 应先画好电气原理图, 分析工作原理。
- (2) 根据电动机功率的大小选配元件的规格, 并填在表 1.3.1 中。

表 1.3.1 元件明细表

代号	名称	型号	规格	数量
M	三相异步电动机			
QF	三相断路器			
FU	管式熔断器			
KM	交流接触器			
SB	按钮			
XT	接线端子			
FR	热继电器			

其计算方法是根据工程经验粗略估计, 即每千瓦的电动机功率需要 2A 的驱动电流, 而每平方毫米的导线能长期经受 3A 左右的电流, 据此可确定电路中元件的额定参数和导线的截面面积。

- (3) 清点各元件的规格与数量, 并检查各元件是否完好无损。
- (4) 根据原理图, 设计并画出实际安装图, 作为接线安装的依据。
- (5) 按图安装接线, 工艺符合安装的有关规程。
- (6) 接线完毕经检查无误后方可通电考核。

5. 应注意的问题

- (1) 控制电路中, KM2 控制支路中串联 KM1 的常开辅助触点, KM2 常开辅助触点应并联在 KM1 的停止按钮 SB1 的两端。
- (2) 接线工艺应符合工艺要求。
- (3) 热继电器的整定电流必须按电动机的额定电流进行调整。
- (4) 电动机和按钮的金属外壳必须可靠接地。使用兆欧表依次测量电动机绕组与外壳间及各绕组间的绝缘电阻值, 检查电阻值是否符合要求。
- (5) 实训中要求文明操作, 注意用电安全, 需要通电时, 应在实训老师指导下进行。

6. 电路检查

1) 主电路的检查 (设电动机的接法为 Y 接法)

- (1) 将万用表挡位拨到 $R \times 1$ 挡或数字表的 200Ω 挡, 取出控制电路中的保险管, 将表笔放在主电路 L11、L12 处和 L13、L12 处, 模拟 KM1 获电吸合 (用

改锥按下 KM1 主触头), 此时万用表的读数应为电动机两绕组的串联电阻值。

(2) 将表笔放在主电路 L11、L13 处和 L12、L13 处, 模拟 KM1 获电吸合(用改锥按下 KM1 主触头), 数值应同上, 为两绕组串联阻值。

2) 控制电路的检查

(1) 将万用表的挡位拨到 $R \times 10$ 挡、 $R \times 100$ 挡或数字表的 $2k\Omega$ 挡, 将表笔放在 0、1 两端, 取出控制电路中的保险管, 此时万用表读数应为无穷大, 按下 SB2, 读数应为接触器 KM1 线圈的电阻值; 再按下 SB4 时, 电阻为两个线圈电阻并联。

(2) 用螺丝刀或尖嘴钳按下 KM1, 万用表读数应为 KM1 线圈的电阻值; 若同时按下 KM1 和 KM2, 则阻值变小 (KM1、KM2 线圈并联)。

7. 思考题

(1) 在原理图中, 若电动机 M1、M2 同时启动, 则有可能是哪个接线点错了?

(2) 上面的线路为基础, 试画出一个 M1、M2 顺序启动、顺序停止的控制线路。

1.4 自动往返控制线路的设计

1. 目的与要求

(1) 熟悉位置开关的种类, 掌握位置开关的结构原理。

(2) 了解位置开关在电路中的作用, 掌握自动往返控制线路的原理分析及安装接线技能。

2. 所需器材

(1) 常用电工工具。常用电工工具包括试电笔、钢丝钳、剥线钳、螺丝刀、电工刀、尖嘴钳、斜口钳等。

(2) 万用表、兆欧表。

(3) 绝缘导线。主电路采用 $BV2.0\text{mm}^2$, 控制电路采用 $BV1.0\text{mm}^2$, 绝缘等级为 500V 或 1000V。

(4) 2.2kW 三相异步电动机。

(5) 电气元件: 交流接触器、位置开关、按钮、熔断器、热继电器等。

3. 具体电路

(1) 自动往返控制电路。自动往返控制电路如图 1.4.1 所示。

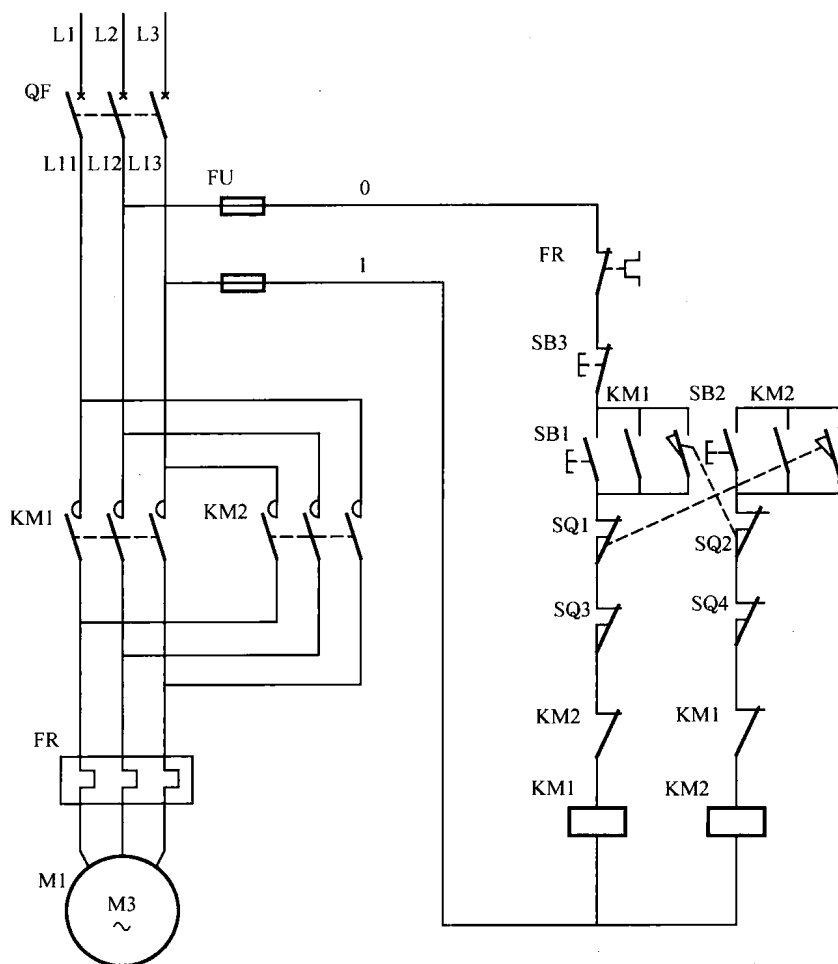


图 1.4.1 自动往返控制电路

(2) 电路的工作原理。按图 1.4.1 完成接线，并检查正确无误后，合上电源开关断路器 QF。

右行启动时，按下右行启动按钮 SB1，KM1 线圈得电，其主触头闭合，辅助常开触头实现自锁，辅助常闭触头实现互锁，电动机正向连续运转，拖动负载向右运行。到右端安装限位开关处，挡铁碰上限位开关 SQ1，其常闭触点 SQ1 断开，使电动机正向接触器 KM1 线圈断电，同时，其常开触点 SQ1 闭合，使电动机反向接触器 KM2 得电，其主触头闭合，辅助常开触头实现自锁，辅助常闭触头实现互锁，电动机反向连续运转，拖动负载向左运行。到左端安装限位开关处，挡铁碰上限位开关 SQ2，其常闭触点 SQ2 断开，使电动机反向接触器 KM2 线圈断电，同时，其常开触点 SQ2 闭合，使电动机正向接触器 KM1 得电，电动