

(第2版)

PLC 机电控制系统 应用设计技术

王鑫 李威

鲁远栋 主编
栗园园 副主编
栗思科 审

适用对象

机电专业本科和专科生
机电专业技术培训人员
机电工程技术人员



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

机电一体化技术丛书

PLC机电控制系统 应用设计技术

(第2版)

鲁远栋 主编

王鑫 李威

栗园园 副主编

栗思科 审

组织结构

全书共分为10章。

TP332.3

L815.02

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从实际工程和教学的需要出发,主要以德国西门子 S7—200 系列 PLC 为背景,循序渐进、深入浅出地介绍了可编程控制器的基础知识以及 PLC 应用系统的设计与开发。全书共分为 10 章,包括继电器—接触器控制系统的基本控制电路,可编程控制器基础知识, S7—200 系列 PLC 的系统配置, S7—200 系列 PLC 的基本指令及简单应用实例, S7—200 系列 PLC 的功能指令, S7—200 系列 PLC 的通信和网络, PLC 应用系统的设计、使用和维护, PLC 应用系统设计实例, 常用电动机及数控机床中的 PLC 控制系统以及实验指导书等内容。与其他同类教材相比,本书有自己的独特特点:首先,基础知识讲解透彻;其次,以机电控制为主线,给出了大量实例,对于学习可编程控制器的具体应用有很大帮助;同时为教学需要,还精心组织了 6 项具有代表性的实验指导书,便于老师教学与学生实践。

本书针对实际应用的需要,以系统的开发为主导思想,既有详尽的文字叙述,又有丰富的图表进行说明,使读者能容易、快速、全面地掌握书中所讲述的内容。

本书可作为各类高等学校工业自动化、电气工程及自动化、计算机应用、机电一体化等有关专业的教材,也可供有关工程技术人员使用参考,同时也适合广大从事电气控制技术专业相关技术人员自学参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

PLC 机电控制系统应用设计技术 / 鲁远栋主编. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2010.3

(机电一体化技术丛书)

ISBN 978-7-121-10387-2

I. P… II. 鲁… III. ①可编程序控制器—程序设计②机电系统:自动控制系统—系统设计
IV. TP332.3 TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 025806 号

策划编辑:朱清江

责任编辑:侯丽平

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:25 字数:640 千字

印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

可编程控制器（Programmable Logic Controller, PLC）是以计算机技术、通信技术、微电子技术和继电器控制技术为基础而发展起来的一种新型技术。PLC 功能强大、可靠性高、使用方便，已经广泛应用于工业控制的各个领域。因此，学习和掌握 PLC 应用技术对于工程技术人员来说是相当必要的。

本书特点

本书从工程应用的角度出发，以德国西门子公司的 S7—200 系列 PLC 为基础，深入浅出地介绍了可编程控制器的基础知识，同时通过大量的实例详细介绍了 PLC 应用系统的设计与开发。本书的内容自始至终按照化整为零的思想进行编排，详尽地介绍了 PLC 应用系统设计的相关内容，能够使读者比较容易地理解这些知识，掌握 PLC 应用系统的设计方法。

概括来讲，本书具有如下特点：

- 取材广泛，内容丰富。本书案例涵盖了 PLC 在工业生产和日常生活中的应用，覆盖面广。
- 案例完整，结构清晰。本书选择的案例都是通过由浅入深、循序渐进的方式清晰地对 PLC 应用系统的设计进行介绍的。
- 讲解通俗，步骤详细。每个案例的开发步骤都是以通俗易懂的语言阐述的，并穿插图片和表格，易于读者理解。

组织结构

全书共分为 10 章。第 1 章简单介绍了继电器—接触器控制系统的基本控制电路；第 2 章对 PLC 的基础知识进行了介绍；第 3~5 章详细介绍了 S7—200 系列 PLC 的系统配置和指令系统，对 S7—200 系列的硬件结构、内部资源、基本指令、功能指令以及基本编程方法等进行了说明；第 6 章介绍了 S7—200 系列 PLC 的通信和网络；第 7 章综合介绍了 PLC 应用系统的设计、使用和维护；第 8 章和第 9 章通过大量的实例进一步介绍了 PLC 应用系统的设计；第 10 章为实验指导书。本书附录为 S7—200 系列 PLC 的相关参考资料。

电子教案的内容及特点

本书提供电子教案。电子教案使用 PowerPoint 软件制作，内容清晰明确，紧密联系日

常教学，对日常教学和读者的学习能够起到一定的辅助作用。

读者对象

- 高等学校工业自动化、电气工程及自动化、计算机应用、机电一体化等有关专业学生。
- 电气控制技术专业相关技术人员。

编者与致谢

本书由鲁远栋任主编，王鑫、李威、栗园园任副主编，栗思科审。参与本书编写工作的还有：邹素琼、赵秋云、赵继军、彭艺、曲辉辉、周章、蒋波、徐留旺、曹振宇等，在此一并表示感谢。

配套服务

为充分体现本书的特点，帮助读者深刻理解本书的编写意图和内涵，进一步提高对本书教学的使用效率，欢迎读者将本书使用过程中的问题与建议反馈给我们，我们将竭诚为您服务。同时，由于作者水平所限，加之时间仓促，本教材的覆盖面广，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

我们的联络方式：china_54@tom.com。我们将提供本书的配套服务工作，举办“PLC机电控制系统设计与应用技术”培训，欢迎联络。同时，为方便老师教学和同学学习，本书为授课教师配备了电子教案，具体可从电子工业出版社华信教育资源网上下载。

作 者

2010年1月

目 录

第 1 章 继电器—接触器控制系统的基本控制电路	(1)
1.1 电气控制线路的图形、文字符号及绘图原则	(1)
1.1.1 常用的电气图形符号和文字符号	(1)
1.1.2 电气控制线路原理图的绘图规则	(2)
1.2 直流电动机的基本控制电路	(3)
1.2.1 直流电动机的励磁方式	(3)
1.2.2 直流电动机的启动控制	(4)
1.2.3 直流电动机的调速控制	(6)
1.2.4 直流电动机的制动控制	(7)
1.3 三相异步电动机的基本控制电路	(9)
1.3.1 三相异步电动机的启动控制线路	(9)
1.3.2 三相异步电动机的正反转控制线路	(15)
1.3.3 三相异步电动机的制动控制线路	(17)
1.3.4 三相异步电动机的顺序控制线路	(22)
1.3.5 三相异步电动机的多地点控制线路	(23)
1.4 本章小结	(23)
第 2 章 可编程控制器基础知识	(24)
2.1 PLC 的基本组成	(24)
2.1.1 PLC 的硬件组成	(24)
2.1.2 PLC 的软件组成	(28)
2.2 PLC 的定义及工作原理	(28)
2.2.1 PLC 的定义	(29)
2.2.2 PLC 的工作原理	(29)
2.3 PLC 的特点及发展趋势	(31)
2.3.1 PLC 的特点	(31)
2.3.2 PLC 的分类	(33)
2.3.3 PLC 的发展趋势	(34)
2.3.4 PLC 的应用	(39)
2.4 PLC 的功能与性能	(40)
2.4.1 PLC 的主要功能	(40)
2.4.2 PLC 的性能指标	(42)

2.5	西门子 PLC 简介	(43)
2.5.1	S7—200 系列 PLC 简介	(43)
2.5.2	S7—300 系列 PLC 简介	(44)
2.5.3	S7—400 系列 PLC 简介	(44)
2.6	其他常用 PLC 简介	(45)
2.6.1	三菱公司的 PLC	(45)
2.6.2	欧姆龙公司的 PLC	(46)
2.6.3	A-B 公司的 PLC	(46)
2.7	本章小结.....	(47)
第 3 章	S7—200 系列 PLC 的系统配置	(48)
3.1	概述.....	(48)
3.2	S7—200 系列 PLC 的硬件结构	(50)
3.2.1	S7—200 系列 PLC 的基本硬件单元	(50)
3.2.2	S7—200 系列 PLC 的接口模式	(53)
3.2.3	S7—200 系列 PLC 的扩展模块及功能模块	(53)
3.2.4	S7—200 系列 PLC 的相关辅助设备	(58)
3.3	S7—200 系列 PLC 内部资源	(58)
3.3.1	S7—200 系列 PLC 数据存储区及元件功能	(58)
3.3.2	S7—200 系列 PLC 数据存储类型及其寻址方式	(59)
3.4	S7—200 系列 PLC 的主要技术性能	(66)
3.4.1	一般性能	(66)
3.4.2	输入特性	(67)
3.4.3	输出特性	(68)
3.5	S7—200 系列 PLC 的编程方式	(68)
3.5.1	梯形图语言 (LAD)	(69)
3.5.2	语句表语言 (STL)	(69)
3.5.3	功能块图语言 (FBD)	(70)
3.6	本章小结.....	(71)
第 4 章	S7—200 系列 PLC 的基本指令及简单应用实例	(72)
4.1	S7—200 系列编程的基本概念与约定	(72)
4.1.1	编程语言	(72)
4.1.2	数据类型	(74)
4.1.3	用户程序的结构	(75)
4.1.4	编程的一般约定	(76)
4.2	基本逻辑指令.....	(77)
4.2.1	位逻辑指令	(77)
4.2.2	定时器和计数器指令	(83)

4.2.3	逻辑堆栈指令	(87)
4.2.4	比较操作指令	(88)
4.3	程序控制指令	(88)
4.3.1	空操作指令	(88)
4.3.2	结束和暂停指令	(89)
4.3.3	警戒时钟刷新指令	(89)
4.3.4	跳转指令及标号指令	(90)
4.3.5	子程序指令	(91)
4.3.6	循环指令	(91)
4.3.7	顺序控制继电器指令	(92)
4.4	PLC 初步编程指导	(93)
4.4.1	软件设计概述	(93)
4.4.2	梯形图和语句表编程简介	(95)
4.5	简单程序编制	(97)
4.5.1	闪烁电路	(97)
4.5.2	报警电路	(97)
4.5.3	启动保持和停止电路	(98)
4.5.4	延时通断电路	(99)
4.5.5	脉冲宽度可控制电路	(99)
4.5.6	长定时电路	(100)
4.6	本章小结	(101)
第 5 章	S7—200 系列 PLC 的功能指令	(102)
5.1	基本功能指令	(102)
5.1.1	传送类指令	(102)
5.1.2	比较指令	(106)
5.1.3	数字运算类指令	(108)
5.1.4	逻辑运算指令	(117)
5.1.5	移位指令	(119)
5.1.6	表功能指令	(124)
5.1.7	转换指令	(129)
5.1.8	字符串指令	(136)
5.2	程序控制类指令	(139)
5.2.1	循环指令	(139)
5.2.2	跳转指令	(140)
5.2.3	子程序指令	(142)
5.2.4	中断指令	(145)
5.3	特殊功能指令及其应用	(150)

5.3.1	高速计数及脉冲指令	(150)
5.3.2	高速脉冲输出指令	(158)
5.3.3	PID 回路指令	(165)
5.3.4	时钟指令	(173)
5.4	本章小结	(174)
第 6 章	S7—200 系列 PLC 的通信和网络	(175)
6.1	通信网络的基础知识	(175)
6.1.1	数据通信方式	(175)
6.1.2	网络概述	(177)
6.1.3	串行通信接口标准	(178)
6.1.4	小结	(180)
6.2	西门子 PLC 网络	(180)
6.2.1	西门子 PLC 网络概述	(180)
6.2.2	S7—200 西门子 PLC 网络的连接	(182)
6.3	S7—200 系列 PLC 的通信与网络	(183)
6.3.1	网络主站与从站	(183)
6.3.2	S7—200 系列 PLC 支持的通信协议	(183)
6.3.3	S7—200 系列 PLC 组网的硬件支持及性能参数	(185)
6.3.4	网络参数的设置	(187)
6.4	S7—200 系列 PLC 的通信指令	(191)
6.4.1	网络读/网络写指令	(191)
6.4.2	发送和接收指令	(193)
6.4.3	USS 通信指令	(198)
6.5	本章小结	(198)
第 7 章	PLC 应用系统的设计、使用与维护	(199)
7.1	PLC 应用系统设计的基本原则和步骤	(199)
7.1.1	PLC 应用系统设计的基本原则	(199)
7.1.2	系统设计和调试的主要步骤	(200)
7.2	PLC 应用系统的硬件设计	(203)
7.2.1	PLC 型号的选择	(203)
7.2.2	I/O 模块的选择	(207)
7.2.3	输入/输出点的配置	(211)
7.3	PLC 应用系统的软件设计及实例	(215)
7.3.1	PLC 应用系统的软件设计	(215)
7.3.2	设计举例	(217)
7.4	PLC 的安装	(225)
7.4.1	PLC 安装应遵守的技术规范	(225)

7.4.2	S7—200 安装的一般要求	(227)
7.4.3	S7—200 的安装工艺	(229)
7.4.4	通信网络元器件的安装	(231)
7.5	PLC 的维护与故障诊断	(232)
7.6	提高 PLC 控制系统可靠性的措施	(236)
7.6.1	对电源的处理	(236)
7.6.2	对感性负载的处理	(237)
7.6.3	PLC 安装和布线的注意事项	(237)
7.6.4	PLC 的接地	(238)
7.6.5	PLC 与计算机的连接	(239)
7.6.6	冗余系统和热备用系统	(240)
7.6.7	PLC 控制系统的必要保护措施	(241)
7.7	本章小结	(241)
第 8 章	PLC 应用系统设计实例	(243)
8.1	PLC 在全自动洗衣机控制系统中的应用	(243)
8.1.1	全自动洗衣机控制系统功能说明	(243)
8.1.2	全自动洗衣机控制系统硬件设计	(245)
8.1.3	全自动洗衣机控制系统软件设计	(248)
8.2	PLC 在中央空调控制系统中的应用	(257)
8.2.1	中央空调控制系统功能说明	(257)
8.2.2	中央空调控制系统硬件设计	(259)
8.2.3	中央空调控制系统软件设计	(263)
8.3	PLC 在饮料自动售货机控制系统中的应用	(269)
8.3.1	饮料自动售货机控制系统功能说明	(269)
8.3.2	饮料自动售货机控制系统硬件设计	(271)
8.3.3	饮料自动售货机控制系统软件设计	(274)
8.4	PLC 在花式喷泉控制系统中的应用	(278)
8.4.1	花式喷泉控制系统功能说明	(278)
8.4.2	花式喷泉控制系统硬件设计	(280)
8.4.3	花式喷泉控制系统软件设计	(283)
8.5	PLC 在汽车自动清洗机控制系统中的应用	(293)
8.5.1	汽车自动清洗机控制系统功能说明	(293)
8.5.2	汽车自动清洗机控制系统硬件设计	(293)
8.5.3	汽车自动清洗机控制系统软件设计	(295)
8.6	PLC 在液体搅拌机控制系统中的应用	(297)
8.6.1	液体搅拌机控制系统功能说明	(297)
8.6.2	液体搅拌机控制系统硬件设计	(298)

8.6.3	液体搅拌机控制系统软件设计	(300)
8.7	本章小结	(305)
第 9 章	常用电动机及数控机床中的 PLC 控制系统	(306)
9.1	常用三相异步电动机的基本控制环节及控制实现	(306)
9.1.1	启动、停车和点动	(306)
9.1.2	电动机的正转、反转和停止控制	(308)
9.1.3	电动机正/反转连锁控制	(309)
9.1.4	多速三相异步电动机控制电路程序	(310)
9.2	PLC 在步进电动机控制系统中的实现	(313)
9.2.1	步进电动机控制系统功能说明	(313)
9.2.2	步进电动机控制系统硬件设计	(314)
9.2.3	步进电动机控制系统软件设计	(315)
9.3	交流伺服电动机运动控制系统	(318)
9.3.1	交流伺服电动机运动控制系统功能说明	(319)
9.3.2	交流伺服电动机运动控制系统硬件设计	(319)
9.3.3	交流伺服电动机运动控制系统软件设计	(320)
9.4	直流电动机速度控制系统	(321)
9.4.1	直流电动机速度控制系统功能说明	(321)
9.4.2	直流电动机速度控制系统硬件设计	(321)
9.4.3	直流电动机速度控制系统软件设计	(322)
9.5	多台电动机顺序控制系统	(325)
9.5.1	多台电动机顺序控制系统功能说明	(325)
9.5.2	多台电动机顺序控制系统硬件设计	(325)
9.5.3	多台电动机顺序控制系统软件设计	(327)
9.6	可编程控制器在常用机床中的应用实例	(327)
9.6.1	全自动导轨除锈磨光机控制系统	(327)
9.6.2	半自动液压机床控制系统	(331)
9.6.3	车床电气控制系统	(336)
9.6.4	多工步转塔车床控制系统	(340)
9.6.5	摇臂钻床控制系统	(347)
9.6.6	龙门刨床控制系统	(351)
9.7	本章小结	(359)
第 10 章	实验指导书	(360)
10.1	三相异步电动机可逆运行控制设计	(360)
10.2	S7—200 型 PLC 编程软件使用实验	(362)
10.3	抢答器程序设计实验	(363)
10.4	十字路口交通灯控制设计	(366)

10.5 水塔水位自动控制实验	(367)
10.6 彩灯控制程序设计实验	(368)
附录 A 常用电气符号	(370)
附录 B S7—200 系列可编程控制器指令集	(376)
附录 C 错误代码	(381)
附录 D 特殊存储器 SM0 和 SM1 的位信息	(384)
参考文献	(385)

第 1 章 继电器—接触器控制 系统的基本控制电路

知识点

- 电气控制线路的图形、文字符号及绘图原则
- 直流电动机的基本控制电路
- 三相异步电动机的基本控制电路

本章导读

继电器—接触器控制系统是由继电器和接触器等有触点电器组成的控制电路，它是应用最早的控制系统，具有结构简单、直观形象、容易掌握、维护方便、价格低廉、抗干扰能力强、能够进行远距离控制等优点。由于继电器—接触器控制系统所采用的控制电器结构简单、性价比高、能满足一般的工业控制领域的需求，因此目前在工业企业中继电器—接触器控制系统应用仍十分广泛，而且继电器—接触器控制系统是其他自动化控制系统的基础。因此，掌握继电器—接触器控制系统的基本控制电路对于机床的数控改造以及数控系统的设计等都有十分重要的作用。本章将简单扼要地对电气控制线路的图形、文字符号及绘图原则，直流电动机的基本控制电路和三相异步电动机的基本控制电路进行介绍。

1.1 电气控制线路的图形、文字符号及绘图原则

电气控制线路主要由各种电气元件（如接触器、继电器、按钮、电阻）和用电设备（如电动机等）组成。为了设计、分析研究、安装维修时阅读方便，在绘制电气控制线路图的时候必须使用国家统一规定的电气图形符号和文字符号，并且必须符合一定的绘图原则。

1.1.1 常用的电气图形符号和文字符号

在绘制电气线路图时，电气控制线路中的图形和文字符号必须符合国家标准。目前我国电气设备有关国家标准主要有 GB4728—1985《电气图常用图形符号》、GB6988—87《电气制图》、GB715987《电气技术中的文字符号制订通则》、GB5226—85《机床电气设备通用技术条件》和 GB/T6988—1997《电气技术通用文件的编制》等。常用电气图的图形符号和常用电气设备文字符号见附录 A。

1.1.2 电气控制线路原理图的绘图规则

1. 电气控制线路表示方法

电气控制线路的表示方法共有以下三种。

1) 电气原理图

电气原理图一般由主电路、控制电路和辅助电路等组成。电气原理图表示电气控制线路的工作原理以及各电气元件的作用和相互关系,但不考虑电气元件实际安装位置 and 实际连线情况。主电路由电动机、组合开关、热继电器等元件组成,是电气控制线路中强电流通过的部分;控制电路由按钮、接触器、继电器的吸引线圈和辅助触点以及热继电器的触点等组成;辅助电路包括保护电路、显示电路和报警电路等,辅助电路中通过的电流较小。这种线路能够清楚地表明电路的功能,对于分析电路的工作原理十分方便。

2) 电气设备安装图

电气设备安装图是能够表示各种电气设备在机械设备和电气控制柜中的实际安装位置的一种电气控制线路图。各电气元件的安装位置是由机械设备的结构和工作要求决定的,如电动机要和被拖动的机械部件放在一起,行程开关应放在要取得信号的地方,操作元件放在操作方便的地方,一般电气元件应放在控制柜内。

3) 电气设备接线图

电气设备接线图是能够表示各电气设备之间的实际接线情况的一种电气控制线路图。绘制电气接线图时应注意要把各电气元件的各个部分(如触头与线圈)画在一起;文字符号、元件连接顺序、线路号码编制都必须与电气原理图一致。电气设备安装图和接线图是用于安装接线、检查维修和施工的。

2. 电气原理图的绘图规则

绘制电气原理图一般遵循下列规则:

- 原理图可以分为主电路、控制电路和辅助电路。主电路是从电源到电动机的大电流通过的路径。控制电路是接触器和继电器线圈等小电流线路。辅助电路是保护、显示、报警等小电流线路。主电路用粗线画出,一般画在原理图的上方或左方。控制电路和辅助电路用细线画出,一般画在原理图的下方或右方。
- 主电路的电源电路绘成水平线,电动机等受电的动力装置及其保护电气支路一般应垂直于电源电路示出。控制电路和辅助电路应垂直于水平电源线,且位于两条水平电源线之间。线圈、电磁阀等耗能元件应垂直连接在接地的水平电源线上,而控制触头、信号灯和报警元件应连接在上方水平电源线与耗能元件之间。
- 电气控制线路中所需的全部电气元件都应用国家统一规定的标准的图形符号和文字符号在图中表示出来。
- 原理图中所有元器件和设备的可动部分均以自然状态绘出,即电气元件应以未通电的状态绘出,机械开关应以动作开始前的状态绘出。例如,吸引线圈为未通电状态;二进制逻辑元件为置“0”时的状态;手柄置于“0”位;设备处于没有受外力作用的原始位置时的状态。

- 采用电气元件展开图的画法。同一电气元件的各部分（如接触器的线圈和触头）可以不画在一起，但需用同一文字符号标出。若有多个同一种类的电气元件，可在文字符号后加上数字序号以示区别，如 KM_1 、 KM_2 。
- 在表达清楚的前提下，尽量减少线条，尽量避免交叉线的出现。两线交叉连接时需用黑色实心圆点表示，两线交叉不连接时需用空心圆圈表示。
- 原理图上应标注出各个电源电路的电压值、极性、频率及相数；某些元器件的特性；不常用电气元件的操作方式和功能。

图 1-1 所示为拖动电动机与润滑泵电动机的连锁控制线路原理图。

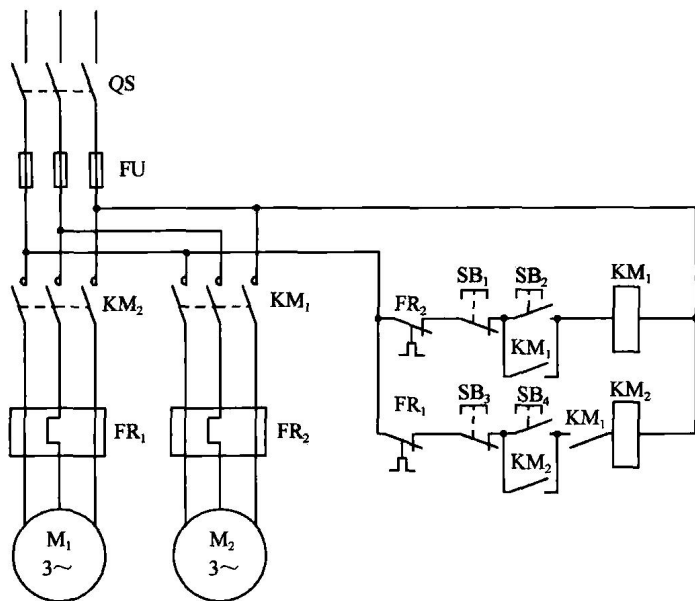


图 1-1 拖动电动机与润滑泵电动机的连锁控制线路原理图

1.2 直流电动机的基本控制电路

继电器—接触器控制系统典型的应用是电动机的拖动系统。电动机按其通过的电流可分为直流电动机和交流电动机，本节主要介绍直流电动机的基本控制电路。

1.2.1 直流电动机的励磁方式

励磁方式就是励磁绕组在电路中的连接方式，按照励磁方式直流电动机分为他励、并励、串励、复励 4 种。励磁绕组是电动机定子主磁极上所绕的线圈。励磁绕组通电后使主磁极产生主磁通。下面分别介绍这 4 种励磁电动机。

- 他励电动机：励磁绕组和电枢绕组分别由不同的直流电源供电，如图 1-2 (a) 所示。
- 并励电动机：励磁绕组和电枢绕组并联接入电路，由同一个直流电源供电，输入电动机的电流等于励磁电流和电枢电流之和，如图 1-2 (b) 所示。

- 串励电动机：励磁绕组和电枢绕组串联后接直流电源，电枢电流即为励磁电流，如图 1-2 (c) 所示。
- 复励电动机：励磁绕组由串励绕组与并励绕组两部分组成，串励绕组与电枢绕组串联在一起，并励绕组与电枢绕组并联在一起，如图 1-2 (d) 所示。

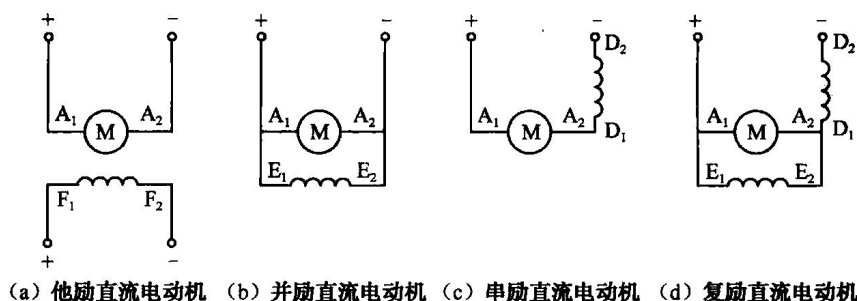


图 1-2 直流电动机的励磁方式

1.2.2 直流电动机的启动控制

1. 电动机的启动要求

直流电动机在带有一定负载的情况下，从静止状态到以某一稳定运行速度运行的整个过程称为启动过程。对于直流电动机的启动过程，通常要考虑的问题主要有启动电流的大小、启动转矩的大小、启动时间的长短、启动过程是否平滑、启动过程能量损耗和发热量的大小以及启动设备是否简单可靠。

在以上要考虑的问题中，重点是在保证足够大的启动转矩的情况下，尽可能地减小启动电流。直流电动机启动时启动冲击电流大，一般可达额定电流的 10~20 倍，过大的启动电流会引起电网电压的波动，影响电网上其他用户的正常用电，造成电动机的换向器和电枢绕组的损坏，同时产生较大的启动转矩，对机械的传动部件也将产生强烈的冲击。所以，除了小型直流电动机外一般不允许直接启动。

直流电动机启动的最根本原则是确保有足够大的启动转矩和限制启动电流，启动电流要足够大但是又不能超出限制范围，才能保证电动机在满足生产要求的前提下安全启动。直流电动机最常用的启动方法有电枢串电阻启动和减压启动两种。

2. 并励直流电动机的启动控制线路

并励直流电动机的启动控制线路如图 1-3 所示。图中 R 为电枢回路启动电阻；KOC 为过电流继电器，串接在电枢回路中，作为直流电动机的短路和过载保护；KUC 为欠电流继电器，串接在励磁绕组回路中，作为直流电动机失磁和弱磁保护。

启动过程如下：合上电源开关 Q，励磁绕组接通直流电源，产生主磁场；KUC 线圈得电，KUC 动合触头闭合；同时时间继电器 KT 线圈得电，KT 延时闭合的动断触头瞬时断开，保证接触器 KM₂ 线圈不得电，电阻 R 投入启动。

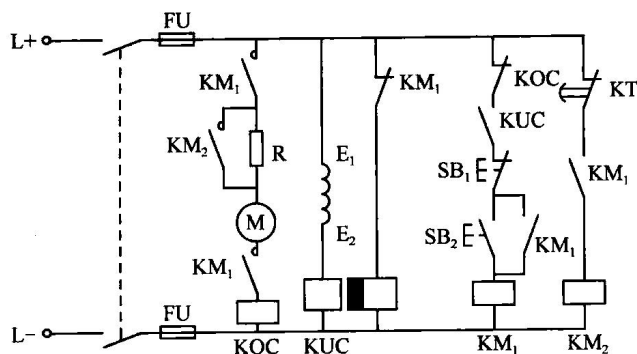


图 1-3 并励直流电动机的启动控制线路

按下启动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 线圈得电， KM_1 自锁触头闭合；松开 SB_2 ， KM_1 主触头闭合，电阻 R 开始启动。 KM_1 动合辅助触头闭合，为 KM_2 接电做准备； KM_1 动断辅助触头分断， KT 线圈失电。当电动机速度按要求的升高到一定程度之后， KT 延时闭合的动断触头延时闭合，使 KM_2 线圈得电， KM_2 主触头闭合，电阻 R 被短接，电动机在全压下运行。

按下停止按钮 SB_1 ，接触器 KM_1 线圈失电， KM_1 主触头断开，电动机停止转动。

3. 他励直流电动机的启动控制线路

他励直流电动机的启动控制线路如图 1-4 所示。此图为电枢串二级电阻通过时间继电器控制的启动控制线路图，其中 KT_1 、 KT_2 为时间继电器， KM_2 、 KM_3 为短接启动电阻接触器。

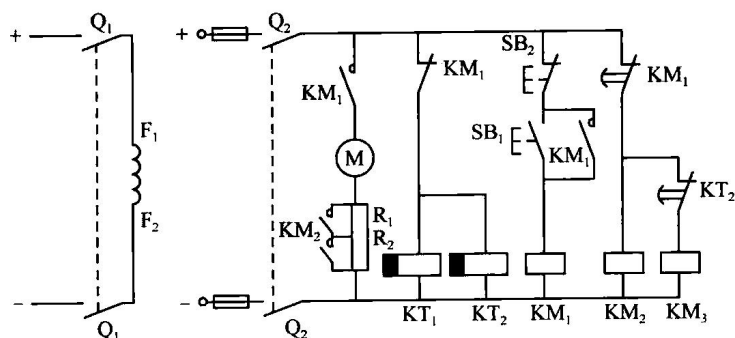


图 1-4 他励直流电动机的启动控制线路

合上电源开关 Q_1 和 Q_2 ，励磁绕组 F_1 、 F_2 通过励磁电流产生主磁场。时间继电器 KT_1 、 KT_2 线圈得电，则 KT_1 、 KT_2 延时闭合的动断触头分断。短接启动电阻接触器 KM_2 、 KM_3 线圈不得电，则 KM_2 、 KM_3 动合触头断开，电阻 R_1 、 R_2 接入主电路。按下手动按钮 SB_1 ， KM_1 线圈得电， KM_1 自锁触头闭合，松开 SB_1 ；同时 KM_1 主触头闭合，电动机串接电阻 R_1 和 R_2 启动； KM_1 动断触头断开，使时间继电器 KT_1 、 KT_2 线圈失电。经过一段时间，随着转速的升高， KT_1 延时闭合触头首先闭合，短接启动接触器 KM_2 线圈得电，则 KM_2 动合主触头闭合，电阻 R_1 被短接，启动电阻减小，电枢电流增大，启动转矩也随之增大。电动机继续加速，然后 KT_2 动断延时闭合触头延时闭合，接触器 KM_3 线圈通电，使 KM_3