

声 明

本电子书由中国轻工业出版社出版,相关权利归中国轻工业出版社所有。读者、著作权人和(或)依法可以行使著作权的权利人如有疑问,请与中国轻工业出版社联系:

地址:北京市东长安街6号

邮编:100740

电话:85119838

Email: xnxltm@yahoo.com.cn

中国轻工业出版社

高等学校轻工专业试用教材

食品机械自动控制

伍水顺 张裕中 主编

中国轻工业出版社

(京)新登字034号

内 容 提 要

本书内容分两篇。第一篇介绍食品机械电气控制技术,包括食品机械常用电器控制电路分析与设计、顺序控制器、晶闸管-直流电动机调速系统和温度、压力、流量等工艺参数的检测方法。第二篇介绍微处理器在食品机械中的应用,包括接口技术、常用控制程序的设计、单片机和可编程控制器以及微机在食品机械的应用举例。

本书选材注重实用性和先进性,对电气控制和微机控制技术都给予重视。书中选编了不少食品机械自动控制的实例。

本书可作为高等工业院校食品机械类本科专业的教材,也可作为专科学校、职工大学相近专业教材或教学参考书,还可供企业工程技术人员参考。

高等学校轻工专业试用教材

食品机械自动控制

伍水顺 张裕中 主编

责任编辑 孟寿萱

*

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

北京市顺新印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米1/16印张: 18.75 插页: 1 字数: 434千字

1994年4月 第1版第1次印刷

印数: 1—5,000 定价: 9.15元

ISBN7-5019-1552-0/TS·1022

序 言

在广泛应用自动化技术的时代,食品机械类等非电专业的工程技术人员迫切需要了解掌握一些自动化技术的基本知识。根据高等院校轻化工机械与设备(含食品机械)教材委员会在天津、北京两次会议为《食品机械自动控制》所制订的教学大纲,结合福州大学、无锡轻工业学院《食品机械自动控制》课程教学实践和讲义编写了这本教学用书。

本教材在内容安排上既考虑我国目前食品机械设备的自动化水平,又注意吸收国外先进技术,充分考虑微机控制技术已在我国推广应用及其对未来食品机械设备的影晌。课本选材注重实用性和先进性,对电气控制和微机控制技术都给予重视。第一篇主要介绍食品机械设备常用电气控制技术和工艺参数的检测方法,包括食品机械电气控制电路分析与设计、矩阵板式顺序控制器、晶闸管-直流电动机调速系统及温度、压力、流量、液位等工艺参数的检测方法。第二篇介绍微机技术在食品机械设备中的应用,包括微机接口技术、典型控制程序的设计、可编程控制器和单片机技术以及微处理器在食品机械控制中的应用举例。

本书可作为高等工业院校食品机械专业及其相近专业的教材,也可作为高等专科学校、职工大学专业教材或教学参考书,还可供工厂、设计院、研究所工程技术人员参考。

本书由伍水顺和张裕中主编。编写人员有伍水顺(绪论,第一章的§2和§3,第三章),吴亦锋(第一章的§1和§4,第二章)、许巧玲(第四章),张裕中(第五章~第八章及绪论三的初稿)。

负责本书主审的是轻工部杭州轻工机械设计研究所的程秉忠高级工程师。

在本书编写过程中,得到了福州大学轻工业系和无锡轻工业学院机械系领导的热情支持。在大纲制订及书稿讨论修改时,陆振曦、牛景汉、须文波、徐茂成等同志提出了许多宝贵意见。杨诗斌同志帮助描绘第二篇插图。本书还参考了兄弟院校的有关教材,在此一并表示衷心感谢。

鉴于编者水平有限,书中缺点错误难免,恳请读者批评指正。

编者

目 录

绪论	1
一、自动化技术	1
二、顺序控制和反馈控制	2
三、食品机械自动控制的现状和发展趋势	3
第一篇 食品机械电气控制技术	5
第一章 电器控制系统	5
§ 1.1 继电接触控制基本电路	5
一、电动机起停控制电路	5
二、电动机正反转控制电路	8
三、电动机制动控制电路	10
四、多速电动机控制电路	14
五、继电接触式步进控制电路	16
六、其它控制电路	17
§ 1.2 继电接触控制电路的分析方法	18
一、查线读图法	18
二、逻辑代数分析法	21
三、控制过程图示法	24
§ 1.3 继电接触控制电路的设计	27
一、合理选择电气控制方案	27
二、组成继电接触控制电路的基本规律	28
三、电气控制电路经验设计方法	31
四、电气控制电路原理图的绘制	33
五、常用控制电器的选择	36
§ 1.4 糖果包装机控制电路设计举例	40
一、传动方式	40
二、电气控制电路的设计	40
三、电器元件的选择	41
四、制定电器元件明细表	42
思考题与习题	42
第二章 顺序控制器	46
§ 2.1 基本逻辑型顺序控制器	46

一、基本原理	46
二、“与”、“或”、“非”基本逻辑电路	47
三、二极管矩阵	49
四、基本逻辑型顺序控制器工作原理	50
§ 2.2 步进型顺序控制器	52
一、步进顺序控制的基本概念	52
二、步进型顺序控制器的基本工作原理	53
三、步进型顺序控制器的组成部件	55
§ 2.3 步进型顺序控制器的程序编制	60
一、编制程序的步骤	60
二、简单程序编制举例	61
思考题与习题	64
第三章 直流调速系统	66
§ 3.1 工作机械的速度调节	66
一、机械和电气调速方法	66
二、恒转矩和恒功率负载调速	68
三、扩大调速范围的途径	71
§ 3.2 负反馈控制的基本概念	73
一、负反馈控制应用实例	73
二、负反馈控制的基本概念	76
§ 3.3 晶闸管-直流电动机调速系统	78
一、晶闸管-直流电动机调速系统的组成	78
二、晶闸管-直流电动机调速系统的静态特性	83
三、有差直流电动机调速系统的参数计算	87
§ 3.4 负反馈控制系统的过渡过程和品质	89
一、自动调速系统的过渡过程	89
二、负反馈控制系统的品质	93
§ 3.5 PID 调节器及其应用	96
一、比例-积分和比例-微分调节器	96
二、比例-积分-微分调节器	102
三、比例、积分、微分参数的整定方法	103
思考题与习题	105
第四章 工艺参数检测	107
§ 4.1 温度检测	107
一、热电偶	108
二、热电阻和热敏电阻	110
三、温度变送器	111
§ 4.2 压力检测	114

一、弹性式压力计	115
二、电气式压力计	117
三、电动差压变送器	117
四、压力表的选择与安装	119
§ 4.3 流量检测	120
一、基本概念	120
二、节流流量计	121
三、其它流量计	123
§ 4.4 液位检测	123
一、玻璃液位计	124
二、浮力式液位计	124
三、静压式液位计	124
四、电容式液位计	126
§ 4.5 显示仪表	127
一、动圈式指示仪	127
二、自动平衡式记录仪	129
思考题与习题	133
第二篇 食品机械微机控制技术	135
第五章 微机控制系统接口技术	135
§ 5.1 微机控制系统简介	135
一、微机控制系统的组成	135
二、微机控制系统的特点	137
三、微机控制系统的一些概念	138
§ 5.2 输入/输出(I/O)接口的数据传送	139
一、无条件传送方式	139
二、查询传送方式	141
三、中断传送方式	144
四、DMA传送方式	151
§ 5.3 数字显示器、键盘与微机的接口	151
一、数字显示器与微机的接口	151
二、键盘与微机的接口	154
§ 5.4 D/A转换器及其与CPU的接口	157
一、D/A转换器工作原理与特性指标	157
二、D/A转换器与CPU的接口	159
三、D/A转换的程序设计	161
§ 5.5 A/D转换器及其与CPU的接口	164
一、A/D转换器工作原理与特性指标	164
二、A/D转换器与CPU的接口	166

三、A/D转换的程序设计	167
第六章 典型微机检测与控制程序设计	170
§ 6.1 参数巡回检测程序	170
一、巡回检测原理简介	170
二、巡回检测系统的组成	172
三、巡回检测程序设计	172
§ 6.2 温度控制程序	176
一、温度控制系统组成	176
二、温度控制方法	177
三、温度控制程序设计	178
§ 6.3 产品计数控制程序	183
一、产品计数系统简介	183
二、产品计数系统接口电路	184
三、产品计数控制程序设计	187
§ 6.4 步进电机控制程序	190
一、步进电机工作原理及主要参数	190
二、步进电机控制系统组成	192
三、步进电机控制程序设计	193
§ 6.5 直流电机控制程序	199
一、直流电机控制原理简介	199
二、直流电机开环控制程序设计	199
三、直流电机闭环控制程序设计	203
第七章 单片机与可编程序控制器	209
§ 7.1 单片微型计算机	209
一、MCS-51单片机概述	209
二、MCS-51指令系统	215
三、MCS-51系统的扩展	217
§ 7.2 可编程序控制器 (PC)	220
一、PC简介	220
二、PC指令及定义号	225
三、PC编程方法	229
第八章 微机控制系统应用实例	248
§ 8.1 微机控制系统基本设计方法	248
一、确定总体方案的原则	248
二、主要设计步骤与注意点	249
三、抗干扰的基本措施	249
§ 8.2 微机应用实例	252
一、啤酒生产中的微机控制	252

二、定位钻孔装置的微机控制.....	261
三、自动包装机的单片机控制.....	265
四、气体压缩机的单片机控制.....	268
五、种子加工设备的PC控制.....	271
附录1 电气设备常用图形符号.....	274
附录2 电气技术中常用电器的文字符号.....	281
附录3 镍铬-镍硅热电偶分度表.....	285
附录4 标准化热电阻分度简表.....	287
参考文献.....	289

绪 论

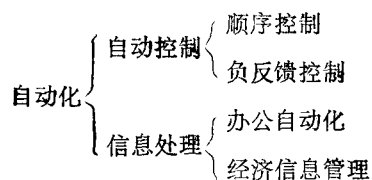
一、自动化技术

近几十年来，自动化科学技术日新月异，在广度和深度上都有重大的进展。它已从单机自动化向车间、工厂、公司综合自动化发展；从工程技术领域向社会经济、生态环境领域发展；从常规仪表自动调节向人工智能、模式识别、机器人控制系统发展。

自动化技术对于工农业生产和科学技术的发展具有十分重要的意义。它不仅是宇航航行、导弹制导、核技术以及现代武器控制系统等高技术不可缺少的技术，而且在冶金、化工、食品等工业生产中也具有重要的作用。

现在工业生产规模愈来愈大，过程愈来愈复杂，而人的生理条件总有一定的限度。无论是动作速度、分辨能力，还是处理复杂问题的本领都存在一定的局限性。为追求高产高质以及低耗低成本，人们需要借助于自动化技术手段。

自动化是指无需人的直接参与而又能完成人们预定目标的一种技术方法。以实现无人化生产为目的的自动控制技术和以计算机技术为核心的信息处理技术是自动化技术的两个主要分支。



自动控制是一种由控制装置代替人脑和手脚功能而实现自动化的技术。它可替代人类繁琐紧张的劳动和使人摆脱危险场所的作业，在某种意义上减轻了人的体力和脑力劳动。自动控制包括机械操作的开关量顺序控制和模拟量的反馈控制。机械操作顺序控制是机械装置或设备一步步顺序操作的自动控制。模拟量或工艺参数的反馈控制是利用负反馈技术，连续检测被控对象的工作状态，一旦被控参数偏离原给定值就进行自动调节，使被控制的物理量不因干扰的影响而连续地达到所要求的给定值。从开关量控制发展到反馈控制实际上是从定性控制过渡到定量控制。在工农业生产中，两者都有广泛的应用领域，但就整个自动化学科而言，后者占据中心位置。自本世纪 50 年代后，负反馈控制已形成比较独立完整的理论体系。目前称为自动控制原理的书籍，一般都只介绍有关负反馈控制系统的理论问题。

信息处理包括信息的检测、处理及控制。它不但在办公自动化、商业业务管理等领域中获得广泛的应用，而且也是负反馈控制、顺序控制领域中不可缺少的技术。它同自

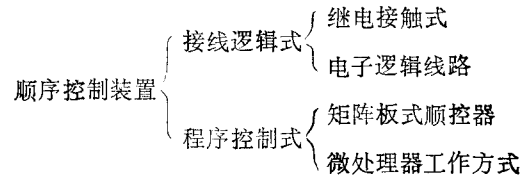
动控制系统一样，需要硬件的支持和进行软件的开发。

二、顺序控制和反馈控制

1. 顺序控制

机械操作顺序控制包括产品加工、装配、搬运及包装储存等作业的自动控制。它是工业生产设备中的最基本的控制形式之一。尽管机械品种繁多，应用领域包罗万象，但从自动控制角度分析，其操作控制过程不外乎是一些断续开关动作或动作组合，它们按照预定的时间先后顺序进行逐步开关操作。机械操作自动控制又称顺序控制，由于它所处理的信号是一些开关信号，顺序控制系统又称开关量控制系统。顺序控制系统的理论基础是逻辑电路原理，其数学工具是布尔代数。

随着生产的发展和电子技术的进步，顺序控制装置的结构和使用的元器件不断改进和更新。在我国食品机械设备中，目前仍然使用着各种不同电路结构的顺序控制装置或开关量控制装置如下所示：



继电器接触式控制器：用继电器、接触器等有触点的电器元件组成控制电路。它具有结构简单、价廉、抗干扰能力强等优点。但它是固定接线方式，灵活性差。

电子逻辑电路系统：电路系统的构成元件是晶体管、中小规模集成电路和大规模集成电路。根据系统的规模和复杂程度又分为固定接线式电路系统如各种数字逻辑电路装置和程序控制系统如矩阵板式顺序控制器及可编程控制器。

可编程控制器（PC）是集微电子、计算机技术发展起来的新型控制装置。具有通用、灵活、可编程、多功能、小体积、高可靠性等优点。它是机电一体化的重要技术手段，并代表着顺序控制的发展方向。

顺序控制装置的应用范围广泛，被控对象千差万别。简单的控制装置只需几个电器元件，而复杂系统需将顺序操作产生的现场信息代入数学模型求解，然后选择最佳的控制状态，它实际上是一个微计算机顺序控制系统。设计顺序控制系统时，应根据实际情况，选择不同的电路结构。下表列出不同电路结构顺序控制器的功能特点。

技术性能	适用 范围	电路形式	接线逻辑方式	程序控制方式
	用 途 控制规模 变更工艺条件 维修保养 订制时间 经济性			专 用 中小规模 难 难 数 月 小规模有利

2. 反馈控制

在生产和科学实践中，各种工作环境和工艺条件不可能是一成不变的。如在大规模的食品生产线上，各种设备都是互相依赖，互相关联的，其中某一工艺条件或参数发生偏离变化，都可能破坏正常的生产条件。因此，必须采取技术手段，对生产中的关键参数进行调节控制，使其在受到外界扰动而偏离正常状态时，能自动恢复到规定的数值范围之内。如要求电动机的转速不因负载变化而维持恒定转速值；要求食品烘炉的炉温按指定的升、保温规律变化而不受环境温度变化及供电电压波动的影响；要求电网电压不受负载大小影响而维持恒定不变等等。实现诸如转速、温度、压力、流量等工艺参数的调节控制一般采用负反馈控制系统。其基本特点是通过测量元件把被控制量反馈到输入端，并与代表目标值的给定量进行比较，利用比较结果得到的偏差信号对被控对象实施控制，以纠正或消除偏差，使被控制量或被控制参数不受干扰影响，保持在预定的范围或按预定规律变化。分析和设计负反馈控制系统的基本理论称自动控制原理，又称经典控制论。它以传递函数为数学工具，采用频率法或根轨迹法研究单变量线性反馈控制系统设计问题。为便于分析研究负反馈控制系统，人们从不同角度对负反馈控制系统进行不同的分类。如按给定信号形式的不同，把负反馈控制系统分为恒值调节系统，随动控制系统及程序控制系统等。

至本世纪 50 年代，经典控制论已趋成熟，并在工程实践中获得广泛的应用。60 年代后，由于宇航技术、微电子技术及计算机科学的高速发展，也由于工程实践的迫切需要，研究多变量、非线性控制系统的现代控制论也迅速发展起来，并在高、精、尖科学技术领域取得一系列重大成就。它充分显示自动控制理论和自动控制技术的无可估量的发展前景和巨大潜力。

应该指出，一个大型复杂的自动控制系统往往同时兼有开关量控制和模拟量的控制问题。但由于两者的信号形式，系统组成结构及理论基础相差悬殊，且各自都有丰富的内容并形成完整独立的体系，已经无法在一本教材中同时系统介绍它们的基础理论及设计技术。在理工科教材中，自动控制学科一般分设电气自动控制、自动控制原理、现代控制论等多门课程，不同专业根据教学大纲的要求设置一门或几门相应课程。依照高等院校轻工机械教材委员会制订的教学大纲，《食品机械自动控制》主要介绍自动控制的基本知识及轻工食品机械常用控制电路的分析设计方法。其选材注重实用性和先进性，对继电接触器控制和微机技术应用都给予重视。特别对迅速发展的微机技术在食品机械中的应用，书中用较多篇幅进行介绍。

三、食品机械自动控制的现状和发展趋势

食品工业化生产一般为连续性大批量生产，产品质量与加工过程中工艺参数的控制密切相关。一旦参数发生变化，也会使食品营养品质及感观特性（如色泽、香气、味道和口感）变差，从而对消费者可接受程度产生不良影响，不利于市场销售及竞争。

我国食品工业起步晚，规模小，技术水平还不高。食品加工企业多属于中小型厂家，自动化、机械化水平较低，工序间的衔接多靠人工操作。许多食品加工或包装过程控制主要采用继电器接触器电路和仪表控制方法。操作工人凭经验改变工艺参数。一些大型

食品加工包装生产线及食品机械厂家设计制造的食品加工包装机械，迄今仍然采用开关电路板或电动单元组合仪表控制方式，它说明我国食品机械自动控制目前仍处在较低的水平。在现阶段，继电器接触器和仪表控制方法在食品机械中仍占有相当的比重，掌握好电器仪表控制技术不但具有现实意义，也是使用设计先进食品机械的基础。

但必须注意到，随着经济的发展和水平的提高，人们将不再满足于一般的初级食品，他们将对食品工业提出更新、更高的要求。国际上食品工业迅猛发展也推动着我国食品工业的进步，传统食品在市场上的主导地位正被快速发展起来的健康食品，营养食品，方便食品等新一代食品所替代。食品加工正朝着产品专门化、生产规模化方向发展。常规电器仪表控制难以适应现代食品加工的精密、复杂控制要求。为生产高质量的新一代食品，必须采用先进的控制技术，提高生产过程的自动化水平，使各个工序严格按工艺要求实现最佳组合。

微电子技术和传感器技术的发展给食品机械自动控制提供了物质基础。现代食品机械已不仅仅是各种机械构件、容器管道、电气仪表等的简单组合，而是机械学、电子学、食品工艺学、信息科学等不同学科有机结合的优化技术。它将从根本上改变传统食品机械的面貌，有力促进食品工业的发展。在工业发达国家，微处理器已广泛用在食品机械中，这种新型电子机械产品一般具有工艺参数自动检测、控制和故障自动诊断等功能。例如面包生产机械，微处理器通过流量计，重量计、速度计等仪表采集工艺参数，经数据处理后直接控制工序的起、停及各种配料的浓度和混合比；在方便面加工机械中，微处理器对加工过程中的温度、油炸程度、损耗、包装等多道工序实现有效的控制；在罐头食品杀菌中，微处理器控制杀菌釜的温度、压力、蒸汽量等工艺参数。为减少人与食品接触，保证食品质量、卫生和安全，利用微处理器对各道工序进行集中控制，从物料输送，参数检测控制直到产品成型、包装，整个生产实现了连续化，无人化的全自动过程。

80年代后，我国开始引进新型食品机械，它有力地促进了我国食品机械工业的技术进步。国内近年仿制或自行设计的高水平食品机械也开始采用微机控制技术，部分产品已达国外80年代末水平。微机控制技术正在我国食品机械自动控制中发挥愈来愈重要的作用。

为适应我国食品工业现状和将来的发展，对继电器接触器和仪表控制方式及微机控制技术都应给予重视。在设计食品机械时应尽可能从提高食品机械性能价格比，可靠性以及节约能源、降低原料消耗和劳动强度等方面考虑，采用先进的，自动化程度较高的控制系统；同时又要根据劳动力使用，操作者素质，能耗投资等因素选择适用的控制技术，以满足不同层次、不同水平的食品加工厂的需要。

第一篇 食品机械电气控制技术

第一章 电器控制系统

机械设备大都以电动机作为动力，而且多数是采用继电器、接触器、按钮开关等电器元件所组成的电路对电动机进行控制。电器控制电路的作用是根据生产工艺过程的要求，对电力拖动系统的起动、制动、正反转、调速等工作状态和动作程序进行控制。此外，还应对拖动系统实施保护，以保证生产过程安全可靠地进行。各种机械的加工对象和生产工艺要求不同，控制电路也就不同。有的比较简单，也有的相当复杂。任何复杂的电器控制电路也都是由一些比较简单的基本环节组合而成。

在这一章里首先介绍常用电器控制电路的基本环节，然后介绍继电接触控制系统分析与设计的一般规律和方法，并结合食品机械给出分析与设计的示例。

§ 1.1 继电接触控制基本电路

具有接通和断开两种状态的元器件都可以用来构成开关控制系统。这些元器件包括继电器、接触器、晶体管及集成电路。用继电器、接触器构成的继电接触系统是最早被采用的开关量控制系统，它具有结构简单、抗干扰能力强以及使用维护方便等优点，目前仍然是工业生产中广泛采用的控制方式之一。各种继电接触控制电路的结构和功能千差万别，但归纳起来都是由一些最典型的基本电路环节组成。本节介绍一些最基本的电路环节。

一、电动机起停控制电路

三相异步电动机有全电压直接起动和降压起动两种方式。直接起动时，电动机的起动电流很大，可达额定电流的4~7倍。如果所起动的电动机容量较大，很大的起动电流会引起电网电压过分降低，从而影响其它设备的稳定运行。同时，由于电压 U 降落太多时，也会影响电动机的起动转矩 T （因为 $T \propto U^2$ ），严重时会导致电动机无法起动。所以，当电动机容量较大时，一般采用降压起动方法。

三相鼠笼式异步电动机能否进行直接起动，除考虑电动机本身的容量外，还取决于供电电网的容量。一般认为，电动机容量在10kW以下者，可直接起动（直接起动的容

量不得超过供电变压器容量的30%，经常起停的电动机可直接起动的容量为变压器容量的20%）；10kW以上时，若电网容量较大，并符合下式要求，也允许电动机直接起动：

$$\frac{I_{st}}{I_N} \leq \frac{3}{4} + \frac{\text{电源变压器容量(kVA)}}{4 \times \text{某台电动机功率(kW)}}$$

式中 I_{st} ——电动机全电压起动电流(A)

I_N ——电动机额定电流(A)

如果不能满足上式要求，则必须采用降压起动方式。通过降压，把起动电流限制到允许的数值。有时，为了限制起动电流和减少起动转矩对机械设备的冲击作用，符合直接起动要求的电动机，也可采用降压起动方式。

1. 全电压直接起停控制线路

用接触器等组成的线路来直接起停电动机是最基本最广泛应用的控制线路，如图1-1所示。该线路可对电动机的起动、停止进行控制。此外，它还具有必要的保护措施，如短路、过载、零压等保护。

在图1-1的电器控制线路中，交流异步电动机和由其拖动的机械运动系统为控制对象。通过由接触器、熔断器、热继电器和按钮所组成的控制装置对控制对象进行控制。控制装置可根据生产工艺过程对控制对象所提出的基本要求实现控制作用。

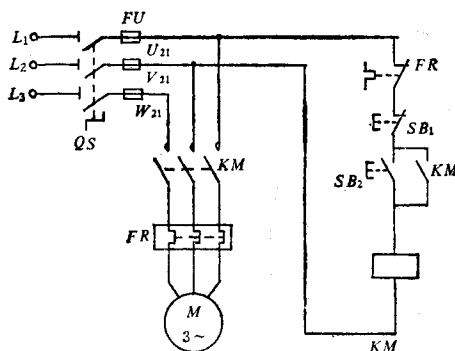


图 1-1 用接触器直接起动线路

合上开关 QS ，按下起动按钮 SB_2 ，接触点 KM 线圈通电，其主触点 KM 吸合，电动机起动。由于接触器辅助触点 KM 与起动按钮并联，因此当松开起动按钮后，接触器线圈 KM 通过其辅助触点可以保持通电，维持吸引状态。这个辅助触点通常称为自锁触点。按下停止按钮 SB_1 ，接触器线圈 KM 失电，其主触点断开，电动机失电停转。

线路保护包括短路保护、过载保护和零压保护。当发生短路时，通过熔断器 FU 的熔体熔断来切断主电路。过载保护通过热继电器 FR 实现。当发生过载运行时， FR 动作，其常闭触点将控制回路切断，线圈 KM 失电，切断电动机主电路。零压保护是通过接触器 KM 的自锁触点实现。当电网供电中断而又重新恢复时，要求电动机及其拖动的运动机构不能自行起动，以确保操作人员和设备的安全。由于自锁触点 KM 的作用，当电网停电后，不重新按起动按钮电动机就不会起动。

通过上述电路的分析可以看出，电器控制的基本方法是通过按钮发出命令信号，而由接触器通过对输入能量的控制来实现对控制对象的控制。继电器则用以测量和反映控制过程中有关物理量的变化，如热继电器反映被控对象的温度变化，并在适当的条件下发出控制信号使接触器实现对主电路的各种必要的控制。

2. 降压起动控制线路

大容量电动机一般均采用降压起动的方式。所谓降压起动，是在电动机起动瞬间，加在定子绕组上的电压低于它的额定值。经过一段时间后，再将定子绕组上的电压提高

到额定值，使电动机稳定运行。由于电动机的起动电流与定子绕组上的电压成正比，所以利用降压起动的方法，可以减小电动机的起动电流。

(1) 定子串电阻降压起动控制线路：这种起动方法是在定子电路中串入电阻，起动时利用串入的电阻起降压作用，限制起动电流。待电动机转速升到一定值时，再将电阻切除，使电动机在额定电压下稳定运行。

串电阻起动的控制电路如图 1-2 所示。线路的动作过程为：合上电源开关 QS ，按下起动按钮 SB_2 ，接触器 KM_1 线圈和时间继电器 KT 线圈同时通电。 KM_1 的主触点使电动机定子绕组经起动电阻 R 与电源接通，电动机定子绕组在低于额定电压下起动，与此同时， KM_1 的辅助触点自锁。由于 KT 线圈的通电，经过整定时间后，其触点延时闭合，使接触器 KM_2 线圈通电，其主触点将起动电阻 R 短接，使电动机稳定运行在额定电压下。 SB_1 为停止按钮。图 (b) 与图 (c) 两电路的不同点是，图 (b) 中电机正常运行时，时间继电器 KT 及接触器 KM_1 仍有电，而图 (c) 电路就克服了上述缺点。

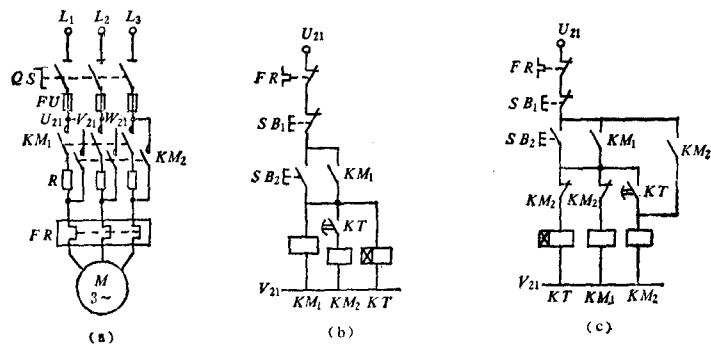


图 1-2 电动机定子串电阻起动控制线路

(2) 星—三角降压起动控制线路：凡是正常运行时 Δ 接法的电动机，可采用 $Y-\Delta$ 起动法。即起动时绕组作 Y 形连接，待转速升高到一定程度时，改为 Δ 形连接，直到稳定运行。采用这种方法起动时，可使每相定子绕组所受的电压在起动时降到额定电压的 $1/\sqrt{3}$ ，所以这种起动方法只能适用于空载或轻载起动的场合。

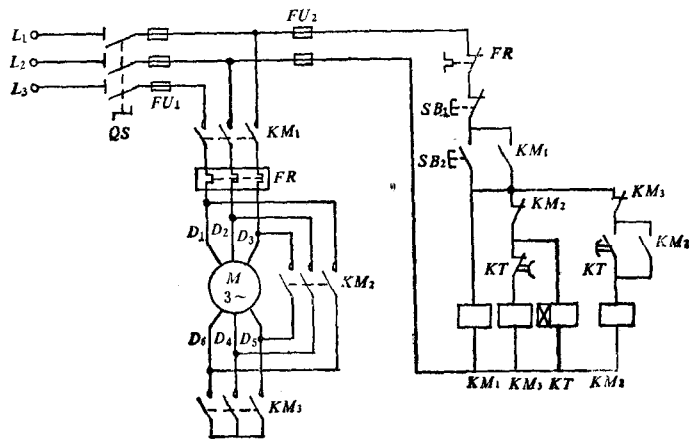


图 1-3 $Y-\Delta$ 降压起动控制线路

Y- Δ 起动控制线路如图 1-3 所示。从主电路可知，当 KM_2 接触器的主触点闭合， KM_3 接触器主触点断开时，则电动机定子接成三角形；当 KM_3 主触点闭合， KM_2 主触点断开，则电动机定子接成星形。利用时间继电器 KT 来实现 Y- Δ 转换。当按下起动按钮 SB_2 ， KM_1 和 KM_3 同时通电，电动机在星形连接下作降压起动。由于时间继电器 KT 也同时通电，经过一定时间后，其延时动断触点断开，使 KM_3 失电，此时， KT 的延时动合触点闭合，使 KM_2 通电，即电动机定子绕组由星形连接自动换接成三角形而正常运转。 KM_2 通电后其动断触点断开，使 KT 失电。 KM_2 的辅助触点形成自锁，保持 KM_2 的通电。

此外，还有自耦变压器降压起动法，其特点是起动时能提供较大的起动转矩。但自耦变压器成本高而体积大，且不允许频繁起动，因此在频繁起动场合应用很少。

二、电动机正反转控制电路

许多生产机械常常要求具有上下、左右、前后等相反方向的运动，这就要求电动机能正反向工作。对于交流异步电动机，可用正反向接触器改变定子绕组通电电流的相序来实现。其线路如图 1-4 所示。

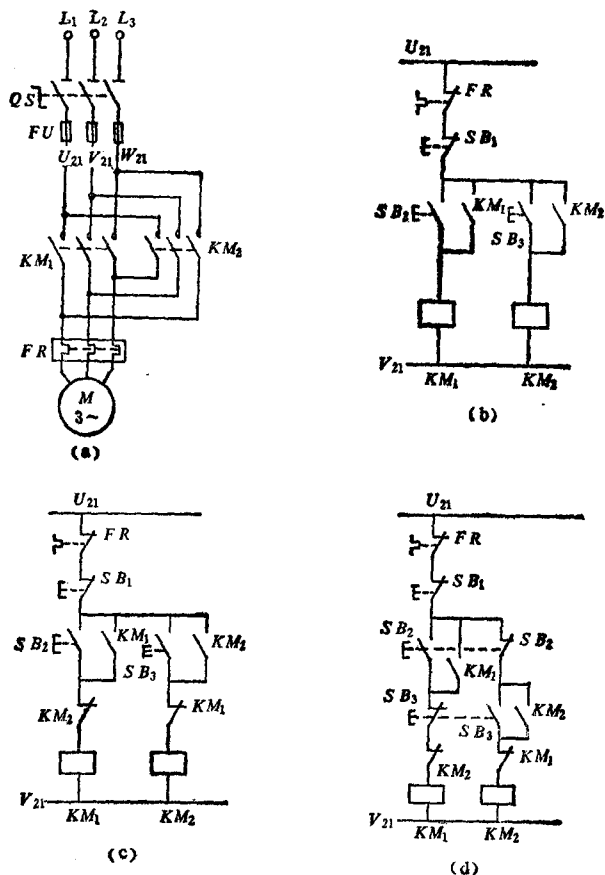


图 1-4 异步电动机正反向控制线路

(a) 主电路 (b) 无联锁，易造成电源短路 (c) 接触器联锁正反转控制电路
(d) 双重联锁的正反转控制电路