

机械设计制造及其自动化专业系列教材

机电传动控制

刘治平 章青 编

机电传动控制



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

机械设计制造及其自动化专业系列教材

机电传动控制

刘治平 章 青 编



内 容 提 要

本书系统地介绍了生产机械的电气传动控制的有关问题,包括机电传动控制原理、典型控制电路及控制电路设计等方面的内容。这是机械电子工程技术工作者需要掌握的重要专业知识。

全书共分五章,分别讲述继电器接触器控制、可编程控制器控制、机电系统的速度控制、伺服电动机及其控制、步进电动机及其控制。

本书可作为高等学校机械设计制造及其自动化专业 40~50 学时教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制/刘治平,章青编. —天津:天津大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-5618-2519-8

I. 机... II. ①刘... ②章... III. 电力传动控制设备—设计—高等学校—教材 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 122250 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 迁安万隆印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 12.75
字 数 350 千
版 次 2007 年 9 月第 1 版
印 次 2007 年 9 月第 1 次
印 数 1—2 000
定 价 20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

为适应机械设计制造及其自动化专业的教学需要,作者在长期从事教学实践及参阅了大量最新资料的基础上编写了本书。机电控制是实践性很强的基础知识,在编写过程中遵循从实际应用出发、理论为实践服务的原则,力求做到通俗易懂,便于自学。

全书共分五章。第一章继电器接触器控制,介绍了各种基本继电器接触器控制电路,对几种常用的机电设备的控制电路进行了较为详尽的分析,在此基础上介绍了有关继电器接触器控制电路的设计原则和设计方法。第二章可编程序控制器控制,介绍了可编程序控制器硬件组成、工作原理及应用举例。因可编程序控制器有各种不同类型的编程语言,即使同一种编程语言在不同类型的可编程序控制器上又有不同的表示方法,因各制造厂家的可编程序控制器指令功能及表示方法均存在一定差异,目前还没有一种能适应于各种可编程序控制器的通用编程语言的指令系统。本书是选用日本某公司最新产品 Q 系列可编程序控制器进行介绍的。第三章机电系统的速度控制,介绍了调速的基本概念及直流、交流调速控制。直流调速控制是基础,但由于目前交流变频调速应用越来越广泛,本章对交流电动机的标量控制变频调速和矢量控制变频调速作了较为深入的介绍。第四章伺服电动机及其控制,在对伺服电动机的基本要求及其类型特点简略介绍的基础上,重点介绍了直流伺服电动机和交流伺服电动机以及它们的速度控制。第五章步进电动机及其控制,步进电动机是一种将电脉冲转换为直线或角位移的执行元件,广泛应用于简易数控系统,本章介绍了其基本结构、工作原理、静态和运行特性、驱动电路及步进电动机的开环控制系统。

本书绪论和第一、第三章由刘治平编写,第二、第四、第五章由章青编写。

由于编者水平有限,难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2007 年 3 月

目 录

绪 论	(1)
第一章 继电器接触器控制	(4)
第一节 基本控制电路	(4)
第二节 继电器接触器控制电路分析	(17)
第三节 继电器接触器控制电路设计	(28)
思考题与习题	(45)
第二章 可编程序控制器控制	(47)
第一节 概述	(47)
第二节 可编程序控制器的组成及工作原理	(50)
第三节 可编程序控制器中的软元件	(55)
第四节 可编程序控制器指令系统	(58)
第五节 梯形图绘制原则和程序设计步骤	(72)
第六节 可编程序控制器的应用	(74)
思考题与习题	(80)
第三章 机电系统的速度控制	(82)
第一节 概述	(82)
第二节 直流调速控制	(85)
第三节 交流调速控制	(102)
思考题与习题	(133)
第四章 伺服电动机及其控制	(135)
第一节 概述	(135)
第二节 直流伺服电动机及速度控制	(137)
第三节 交流伺服电动机及速度控制	(143)
思考题与习题	(150)
第五章 步进电动机及其控制	(151)
第一节 步进电动机的工作原理和基本结构	(151)
第二节 步进电动机的特性	(155)
第三节 步进电动机驱动电路	(160)
第四节 步进电动机开环控制	(172)
思考题与习题	(175)
附录 A 电气图常用文字、图形符号	(176)
附录 B Q 系列可编程序控制器指令	(182)
附录 C 伺服电动机主要技术数据	(193)
附录 D 反应式步进电动机主要技术数据	(196)
参考文献	(198)

绪 论

随着生产技术和生产力的发展,要求机电设备具有更高的精度和自动化程度。科学技术尤其是微电子技术的发展为机电传动控制的进步创造了良好的必备条件,现代机电设备在控制上应用了计算机技术、电子技术、传感技术及伺服驱动技术等许多先进的科学成果。尤其是微机的广泛应用,使机电设备自动化程度、精度、效率及可靠性有了很大提高,近年来出现的各类机电设备无一不是机电控制进步的结果。

“机电传动控制”主要研究与生产机械电气传动有关的问题,讲授机电传动控制原理、实际控制电路、控制电路设计等技术,是机电设计者必须掌握的基础知识。

生产机械一般由三个基本部分组成,包括原动机、传动机构和工作机构。当原动机为电动机时,即电动机驱动传动机构带动工作机构工作时,称为电力拖动。一般说来,电力拖动系统是将电能转换为机械能。为使工作机构按操作者的意图工作,还必须有电气控制装置。一般把电动机以及与电动机有关联的传动机构一起称为“电力拖动”部分;把满足工作要求而使电动机起动、制动、换向、调速及精确定位等电气控制和电气操作部分称为“电气自动控制”部分,具体装置称为电气自动控制装置。由这两部分组成了电力拖动系统。实现自动控制的手段很多,可以用电气的方法,也可以用机械的、液压的方法等,但由于当今机电设备主要用交、直流电动机作为动力源,因此电气自动控制是现代机电设备主要的控制手段。

随着科学技术的发展,电气控制装置在不断更新进步。在控制方法上从手动到自动;在控制功能上从简单到复杂;在操作上由笨重到灵巧,不断提出新的控制要求,促进了电气控制技术的发展,而新型电器、电子器件的出现又为电气控制技术的进步开辟了新的途径。从机电设备应用的电器控制方法看,起先是采用手动电器来控制执行电器。但手动控制只适用于容量小、操作单一的场合,以后发展为采用自动控制电器的继电器接触器控制系统。

继电器接触器控制系统是由按钮开关、行程开关、继电器、接触器等电器元件用硬导线连成的控制系统。优点是元器件的工作原理和结构都很简单、价格低廉、维修方便,因此广泛用于各类机械设备上。该类系统不仅能容易地实现控制自动化,而且还可以实现集中控制和远程控制。目前继电器接触器控制系统仍是最基本的电气控制形式之一。但这类系统功能有限,难于实现连续的轮廓控制。因这种系统为硬连接,一旦设计组装完成后,就很难再改变控制功能,通用性很差。又由于采用有触点的开关动作,工作频率低,触点容易受损,尤其是复杂庞大的系统可靠性更差。

在各类工业生产中,大多数生产过程是按照一定的规律进行的,控制系统要按照预先规定的逻辑顺序和条件进行。又由于生产工艺及流程经常变化,因而前述继电器接触器控制电路就不能满足要求了,于是由集成电路组成的顺序控制器便应运而生。顺序控制器工作原理比较简单,结构也不复杂,最突出的是具有了存储记忆功能,且程序存储量大,编程容易,通用性强,广泛应用于各类机电设备及自动生产线上。

可编程序控制器(PLC)是微机技术与继电器常规控制技术相结合的产物,是在顺序控制器和微机控制器基础上发展起来的新型控制器,是以微机为核心专门用于工业控制的专用计

算机。可编程序控制器自 1969 年问世以来,迄今已近四十年了,它不仅充分利用微处理器的优点来满足各种工业领域的实时控制要求,同时也照顾到现场电气操作维修者的技能与习惯,采用独具风格的以继电器梯形图为基础的形象编程语言和模块化的软件结构,使用户程序的编制清晰直观。可编程序控制器由大规模集成电路、电子开关、功率晶体管等组成,内有 CPU、存储器、输入输出组件及电源。它可靠性高,抗干扰能力强,能适应车间的工作环境。它逻辑功能强,通用性强,施工接线简单,体积小、功耗低,又可在线修改程序,具有远程通信联网功能,易于与计算机连接,能对模拟量进行控制。它以其突出特点,逐步取代传统的继电器接触器控制系统,在机械、石油化工、冶金、电力、汽车、轻工等多个领域得到广泛应用,是近年来发展最迅速、应用最广泛的工业控制器之一。目前世界各先进工业国都在竞相开发各类 PLC 产品。我国在引进国外产品的同时,也引进了该项技术,并进行了产品开发,使这种解决工业控制便捷、有效的控制装置形成了自己的产业。

机电传动速度连续调节控制(即调速)是指在一定的控制下,工作机构能实现任意连续的速度变化(即无级调速)。调速的方法通常有机械的、电气的、液压的、气动的几种。仅就机械与电气调速方法而言,也可采用机械和电气相配合的方法来实现。在用纯机械方法调速的设备中,驱动用电动机一般运行在固定机械特性的一个转速上,速度的调节是通过变速齿轮、带轮等实现的。在纯电气方法调速的设备中,电动机能运行在固有特性或人为特性上,在一定负载下,电动机可获得多种转速。这时机械变速机构很简单,只有一级降速或电动机直接带动。在电气与机械配合的调速设备中,可用电动机来得到多种转速,同时又可用机械机构变速。电气调速的优点很多,既可简化机械机构,易于无级调速,又便于远程控制和自动控制。电气调速根据被调电动机不同又可分为直流调速和交流调速。直流电动机既可采用调压调速的方法调速,又可采用调磁调速的方法调速;交流电动机常用的调速方法有变级调速、转子附加电阻调速、采用电磁转差离合器调速及变频调速等。所谓交流电动机变频调速,就是通过改变电动机定子供电频率以改变电动机同步转速来实现转速调节的。

在电动机调速领域中,直流调速方案一直占主导地位。这主要是由于直流电动机具有良好的调速性能和宽广的调速范围,尤其在调速性能指标要求较高的场合,直流调速系统得到广泛应用。20 世纪 60 年代以后,随着电子技术的发展,使得采用半导体变流技术的交流调速系统得以实现。特别是 20 世纪 70 年代以后,大规模集成电路和计算机控制技术的发展,为交流电力传动进一步开发创造了有利的条件。交流调速技术不仅具有优良的调速性能,而且还可节约能源、减少维护费用,尤其是在大容量或工作于恶劣环境时更较直流调速优越。而且交流电动机结构简单、价格低廉、运行可靠,在机电传动中得到越来越广泛的应用。异步电动机采用变频调速方法,可使其调速范围广、系统效率高。因此交流异步电动机变频调速是交流调速的主要发展方向。

随着自动控制理论的发展,伺服系统的理论与实践越来越成熟,并得以广泛应用。近几十年来,在新技术飞速发展的推动下,伺服技术也得到迅速发展,其应用遍及多个领域。伺服系统在机械制造业中的应用最为普遍,各种机电设备运动部分的速度控制、运动轨迹控制、位置控制,多是依靠各种伺服系统来实现的。它们不仅能实现转动控制、直线运动控制,而且依靠多坐标伺服系统的配合,又可完成复杂的空间曲线运动控制。

伺服系统是根据输入指令值与输出物理量之间的偏差进行运动控制的。大多数伺服系统具有检测反馈回路,伺服系统不断检测在各种扰动下被控对象输出量的变化并与指令值进行

比较,再依两者的偏差值对系统进行自动调节,使被控对象的输出量始终跟踪输入的指令值,从而获得准确的位置、速度或力的输出。伺服系统的种类很多,既有位置、速度、力伺服系统,又有电气、液压、气动等伺服系统。按控制方法的不同又有开环、闭环、半闭环等伺服系统。开环伺服系统中无检测反馈元件,结构简单,但精度低;闭环伺服系统直接对输出量进行监测和反馈,并根据差值进行控制,故精度高,但结构复杂、成本高。根据系统中使用伺服电动机的不同,又可分为直流伺服系统和交流伺服系统。

步进电动机是一种将电脉冲信号转换为直线或角位移的执行元件。每当输入一个脉冲,其转子转过一个角度,称为一步。通过控制输入脉冲数量,可以控制直线或角位移的大小;通过改变脉冲频率,可控制电动机转速的高低;通过改变输入脉冲的通电相序,又可控制步进电动机的转向,进而控制被驱动部件的运动方向。步进电动机驱动系统主要用于开环位置控制系统,由于不加反馈环节,系统控制较容易实现,且系统简单、维修方便,同时控制是全数字化的。步进电动机广泛应用于简易数控系统中。

第一章 继电器接触器控制

为实现对机械设备的控制,采用各种有触头的接触器、继电器、按钮、行程开关等电器组成的控制电路,是最基本的电气控制形式之一。由于这类控制系统结构简单、价格低廉、维护方便,而且可以实现集中控制和远距离控制,所以,也是较早设计的电气控制系统主要采用的控制形式之一。本章首先介绍继电器接触器控制系统的基本控制电路,在对各种典型设备电气控制电路分析的基础上,再介绍继电器接触器控制电路设计的相关知识。

第一节 基本控制电路

电气控制系统是由许多电气元件按一定要求连接而成的。为了表达机械设备电气控制系统的结构、原理等设计意图,同时又便于施工及维修,需要将电气控制系统中各电气元件及其连接用一定的图形表达出来,这种图就叫电气控制原理图。

电气控制系统的图纸一般有三种,即电气原理图、电器布置图及电气安装接线图。绘制电气控制系统图必须依据国家统一规定的图形符号和文字符号。我国从1990年起使用的国家标准是GB 4728—84《电气图用图形符号》、GB 7159—87《电气技术中的文字符号制定通则》。本书附录中给出了部分常用图形符号及文字符号,供读者设计电气图时参考。

电气原理图是用图形符号和文字符号绘制的,表示各电器元件连接关系,描述全部或部分电气控制原理的图形。为了便于阅读和分析控制电路,根据简单清晰的原则绘制。在电气原理图中只包括所有电气元件的导电部分和接线端点之间的相互关系,并不按电气元件实际位置、实际形状和尺寸来绘制。电气原理图采用电气元件展开的形式绘制,结构简单,层次分明,便于设计和阅读。

电气元件布置图主要用来表明各电气元件及设备在机械设备和电气控制柜、操纵台上的具体位置。如操纵元件要放在操纵台上;行程开关应放在能取得位置信号的地方;电动机要与被拖动的机械部件连在一起;非执行和检测的电气元件一般放在电气柜中。

电气安装接线图表示各电气设备间的实际接线情况。

电气元件布置图和电气安装接线图是电气施工及维修用图。本章主要介绍电气原理图及其设计。下面首先介绍电气原理图的绘制原则。

①电气原理图应布局合理,表达准确,图面清晰,易于识别。

②电气控制系统一般包括电源电路、动力电路(主电路)、控制电路及信号、照明电路。在电气原理图中,电源电路从左上角起水平画,动力电路垂直地画在左下方,控制电路、信号照明电路画在右侧,而且垂直地画在两电源线之间。

③电气原理图中,电器的线圈和下电源线间不要有触头,所有控制触头都画在线圈与上电源线间。

④电气原理图中,所有电器的触头都按没有通电或没有外力作用时的开、闭状态画。

⑤电气原理图中,同一电器的各个部分(如线圈及触头)可不画在一起,分别画在它们完成功能的地方。而且当使用多个同类电器时,可用在文字符号后带不同序号的下角来区分。

⑥为了读图方便,电气原理图的上方有用途栏,用以标明电气原理图各部分的功能。同时在下方向为若干图区,并用阿拉伯数字予以编号。在接触器和中间继电器线圈下方,还用附图标明其触头所在图区的位置。对于接触器,附图的左竖线的左侧为主触头所在图区号,两竖线间为动合辅助触头所在图区号,右竖线右侧为动断辅助触头所在图区号。对于中间继电器只有一条竖线,其左侧为动合触头图区号,右侧为动断触头图区号。备用触头用×表示。

图 1-1 为 Y3150 型滚齿机电气原理图。

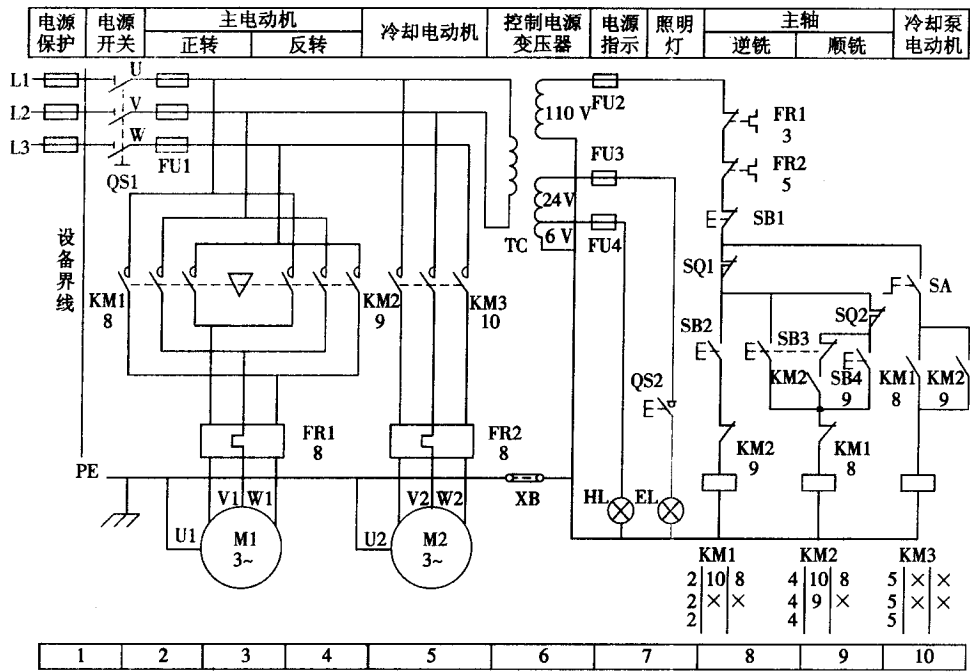


图 1-1 Y3150 型滚齿机电气原理图

一、三相异步电动机起动控制电路

三相异步电动机全压起动时,起动电流 I_{st} 可达电动机额定电流 I_e 的 4 至 7 倍。过大的起动电流会使电网电压下降,影响其他用电设备。所以,电动机能否全压直接起动,起动前要用下式进行判断:

$$I_{st}/I_e \leq \frac{3}{4} + \frac{\text{电源变压器容量}}{4 \times \text{电动机功率}}$$

若此式满足,电动机可以全压直接起动,否则必须采用减压起动的控制形式。

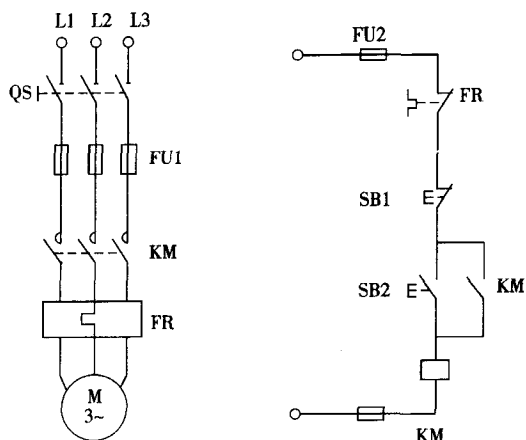


图 1-2 接触器全压直接起动控制电路

1. 全压起动控制电路

笼型异步电动机可采用开关全压直接起动,如小型台式钻床和砂轮机。另一种全压直接起动是采用接触器全压直接起动,如图 1-2 所示。

见图 1-2,按下 SB2,接触器 KM 线圈通电,其主触头闭合,电动机与电源接通,直接全压起动。同时,KM 辅助动合触头闭合,于是手抬起 SB2 后,KM 线圈仍能继续通电,电动机能保持运行。这种依靠自身触点使其线圈保持通电状态的功能称为自锁。按下 SB1 按钮,接触器 KM 线圈断电,其主触头断开电动机,使其停止运行,且自锁解除,以便

再次起动。

2. 减压起动控制电路

常用的减压起动控制电路有星—三角减压起动、定子绕组串电阻减压起动及自耦变压器减压起动控制等。

凡是正常运行时,定子绕组接为三角形的三相异步电动机,都可采用星—三角减压起动控制方式。在电动机起动时,定子绕组先接为星形,当电动机起动后,再转接为三角形接法,以便正常运行。若采用定子绕组串电阻起动控制方式,电动机在起动时,定子绕组串接电阻,当电动机起动后,再把串入定子绕组的电阻短路,使电动机正常运行。这种起动方式不受电动机正常运行时接线形式的限制,简单易行。对于容量较大的正常运行时定子绕组接为星形的笼型异步电动机,可采用自耦变压器减压起动方式。起动时,电动机定子绕组经自耦变压器。起动后,将自耦变压器从电网上切除,电动机全压正常运行。

(1) 星—三角减压起动控制电路

图 1-3 为星—三角减压起动控制电路,当按下起动按钮 SB2,接触器 KM 的线圈通电,其主触头闭合,电动机三相绕组入端与电源接通,同时辅助动合触头闭合形成自锁。这时由于接触器 KM2 线圈通路中的时间继电器触头为动合延时闭合触头,故起动开始时,KM2 线圈不会立即通电。其接在接触器 KM1 线圈和时间继电器 KT 线圈电路中的动断触头就不会断开。所以,当按下 SB2 按钮时,在 KM 线圈通电的同时,KM1 和 KT 线圈也通电了。于是三相绕组的出端接在一起,定子绕组星接起动。时间继电器 KT 延时时间到,其动断触头断开接触器 KM1 线圈,而动合触头接通接触器 KM2 线圈。于是,电动机三角形接法正常运行。起动过程结束。

(2) 定子绕组串电阻减压起动控制电路

图 1-4 为定子绕组串电阻减压起动控制电路。按下起动按钮,接触器 KM1 线圈通电,其主触头闭合,电动机三相绕组中接入电阻 R 实现减压起动。同时,时间继电器 KT 线圈也通电。当电动机起动后(即时间继电器延时时间到),其动合延时闭合触头闭合,接触器 KM2 线圈通电,主触头闭合,将电阻 R 短路,电动机全压运行,起动结束。又时间继电器 KT 线圈电路中 KM2 动断触头在起动后将 KM1、KT 线圈断电,减少了正常工作时通电线圈的数量,提高了控制电路的可靠性。而在接触器 KM2 通路中,时间继电器动合触头延时闭合又重新释放后,由其

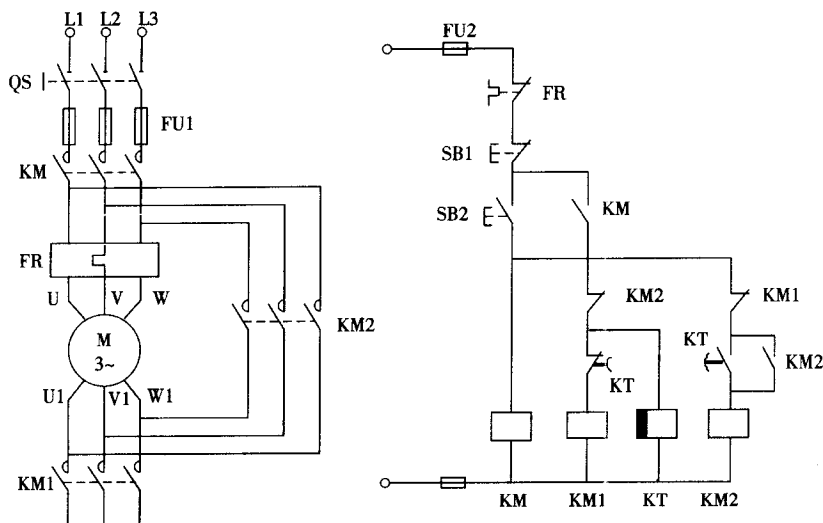


图 1-3 星—三角减压起动控制电路

并联的 KM2 的自锁触头保持接触器 KM2 线圈通电。图中与起动按钮 SB2 并联的 KM1 动合触头为接触器 KM1 的自锁触头。

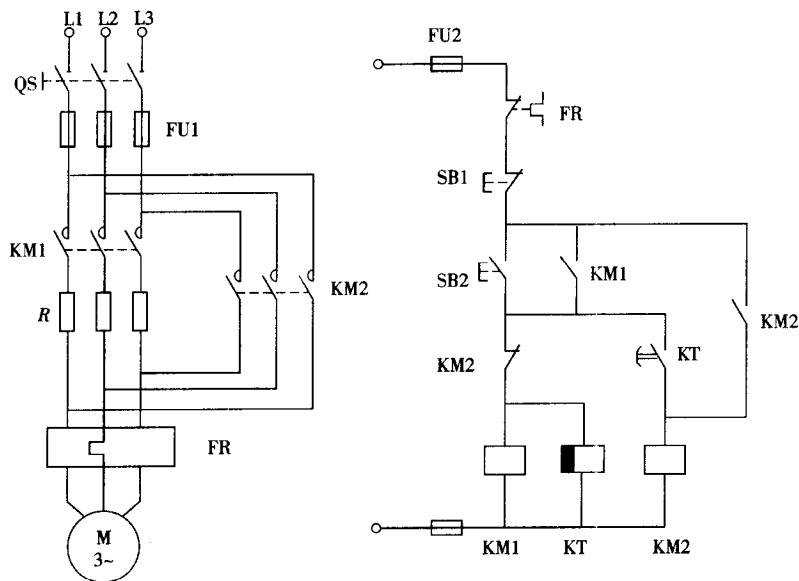


图 1-4 定子绕组串电阻减压起动控制电路

(3) 自耦变压器减压起动控制电路

图 1-5 为自耦变压器减压起动控制电路。按下起动按钮 SB2, 接触器 KM1 线圈通电, 自耦变压器 T 为星连接。KM1 动合辅助触头闭合, 使 KM2 线圈通电, 其主触头闭合, 将电动机定子绕组经自耦变压器接至电源。定子绕组得到的电压是自耦变压器的二次电压, 电动机减压起动。电动机起动后, 时间继电器 KT 的动断延时开触头断开 KM1 线圈电路, 进而 KM2 线圈也

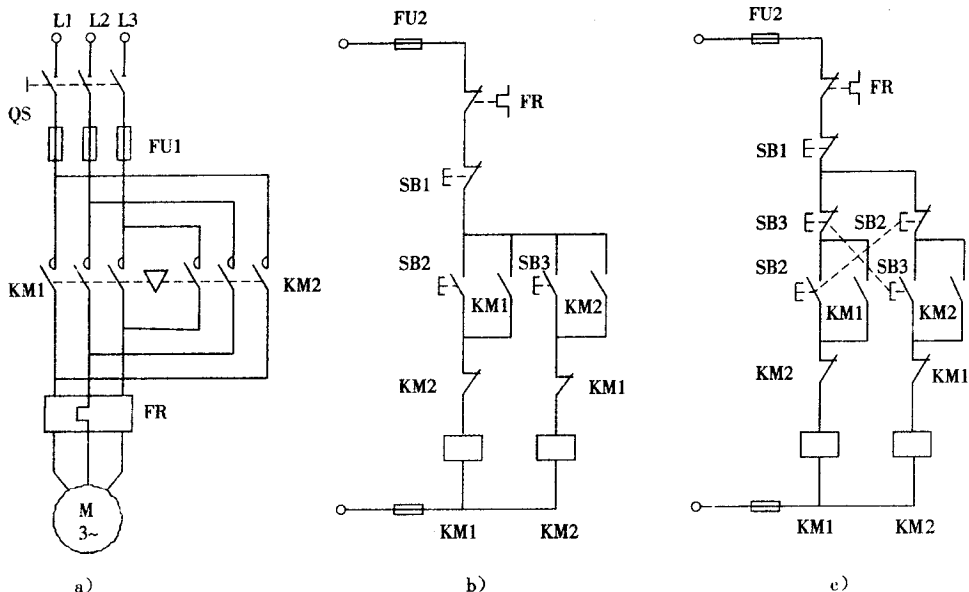


图 1-6 按钮实现的电动机正反向控制电路

a)动力电路;b)单按钮实现;c)复合按钮实现

路。这时不论按正转按钮 SB2 使接触器 KM1 线圈通电,还是按反转按钮 SB3 使接触器 KM2 线圈通电,都可先断开通电接触器线圈的电源,而不必先按停止按钮。这样,就使得改变转向的控制操作方便且快捷。

2. 自动循环控制电路

机械设备的运动部件的自动往复运动,可以由电动机正反向旋转实现。而往复的起始和终止位置,可由位置传感器(如行程开关)检测来改变电动机正反转接触器线圈的通断电,以控制电动机的转向,这样的控制电路即自动循环控制电路。图 1-7 为由行程开关实现的工作台自动循环控制电路。按下 SB2,接触器 KM1 线圈通电,电动机正转,工作台前进。当前进到需要的位置时,挡块压下行程开关 SQ2,其动断触头断开,KM1 失电。动合触头闭合,接触器 KM2 线圈通电,电动机反转,工作台后退。当后退到原位时,挡块压下原位行程开关 SQ1,KM2 线圈失电停止后退,SQ1 动合触头闭合又使 KM1 线圈通电,电动机又正转运转,工作台又前进。这样,操作者只要按下起动按钮后,工作台就在 SQ1 和 SQ2 两个行程开关确定的始、终点位置之间自动连续地往复运动。当需要工作台停止时,只要按下 SB1 停止按钮即可。行程开关 SQ3、SQ4 安置在工作台往复运动的极限位置上,当行程开关 SQ1、SQ2 失灵时,能及时切断电源,防止工作台超程及故障发生。

三、三相异步电动机电气制动控制电路

三相异步电动机定子绕组切断电源后,其转子由于惯性的作用,并不会立即停止转动,而是转速逐渐下降慢慢停转的。而许多机械设备要求运动部件能迅速停车且准确定位,这就要求驱动电动机能实现制动控制。制动控制方式有机械制动和电气制动两种。机械制动即机械抱闸。电气制动又分能耗制动及反接制动。

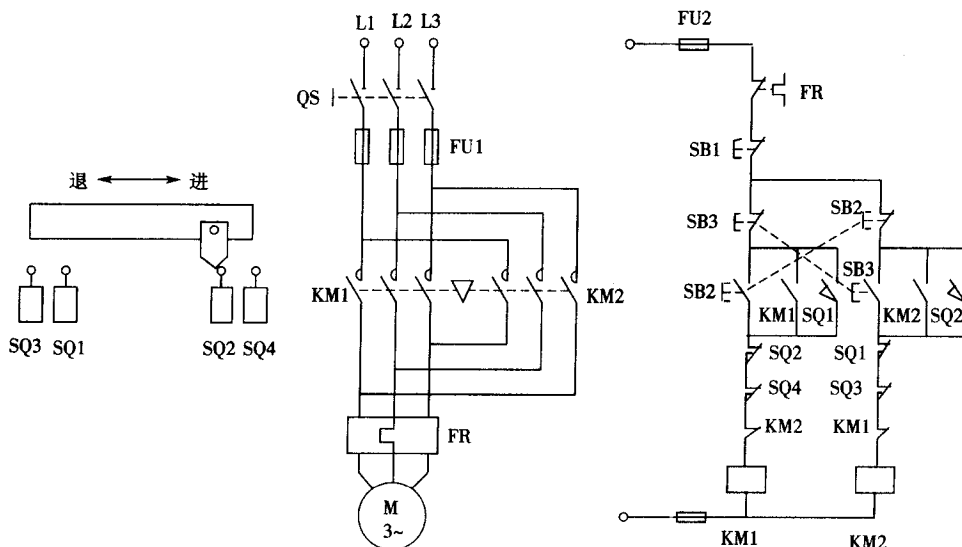


图 1-7 自动循环控制电路

能耗制动的原理是在电动机断开三相交流电源之后,将定子绕组中通入直流电以产生一个恒定磁场,由于惯性运转的转子绕组切割磁感线,而产生制动转矩使电动机转子迅速停转。

反接制动的原理是停车时改变电动机定子绕组中三相电源的相序,使定子绕组产生与转子转向相反的旋转磁场,进而产生与转子旋转方向相反的转矩而产生制动作用的。为了防止电动机制动结束后又反向运转起来,必须在电动机转子转速下降到接近零时,及时切断反接电源。这一任务则由与电动机同轴联接的速度继电器完成。

1. 能耗制动控制电路

图 1-8 为单向能耗制动控制电路。三相交流电是由接触器 KM1 主触头闭合,通入电动机定子绕组的。而制动时,直流电是由控制变压器降压后经整流得到,当接触器 KM2 主触头闭合通入电动机定子绕组的。按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电,电动机运行,停车时按下停止按钮 SB1,KM1 线圈失电,电动机停止交流电通入。又 SB1 复合按钮的动合触头闭合,接触器 KM2 线圈通电,电动机定子绕组通入直流电而产生能耗制动作用。这时时间继电器 KT 线圈也得电,经延时后,其动断延时开触头断开 KM2 线圈,能耗制动结束。

图 1-8 为单向能耗制动控制电路,即电动机仅有一个转向工作。能实现正反转运行且两个转向都能实现能耗制动的控制电路如图 1-9 所示。接触器 KM1、KM2 完成正、反转控制,接触器 KM3 和时间继电器 KT 实现能耗制动控制。

2. 反接制动控制电路

图 1-10 为单向反接制动控制电路。按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈得电,其主触头闭合,电动机起动运行。此时,接触器 KM2 线圈通路中的速度继电器 KS 的动合触头闭合,为 KM2 接触器线圈得电做准备。停车时,按下停止按钮 SB1,KM1 线圈失电,其自锁触头断开,同时其互锁触头闭合,接触器 KM2 线圈得电,电动机反接制动。当电动机转速下降到接近零(一般低于 100 r/min)时,速度继电器 KS 的动合触头断开,KM2 失电,制动过程结束。

由于反接制动电流大,一般较大容量的电动机,反接制动电路中应接入电阻,以限制制动

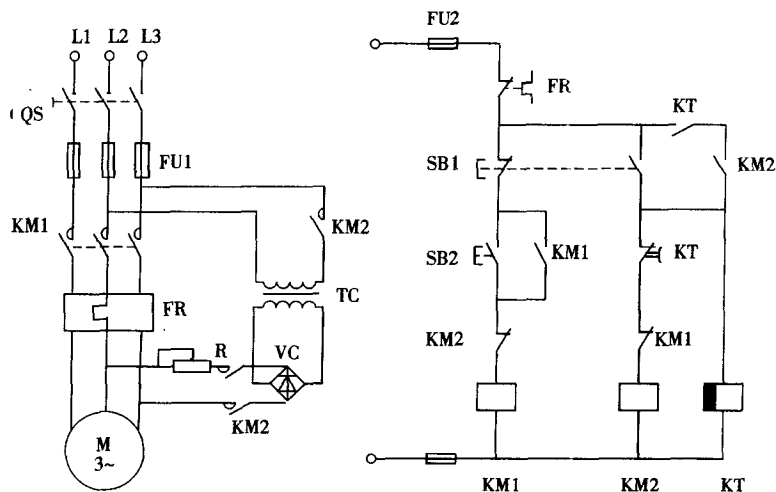


图 1-8 单向能耗制动控制电路

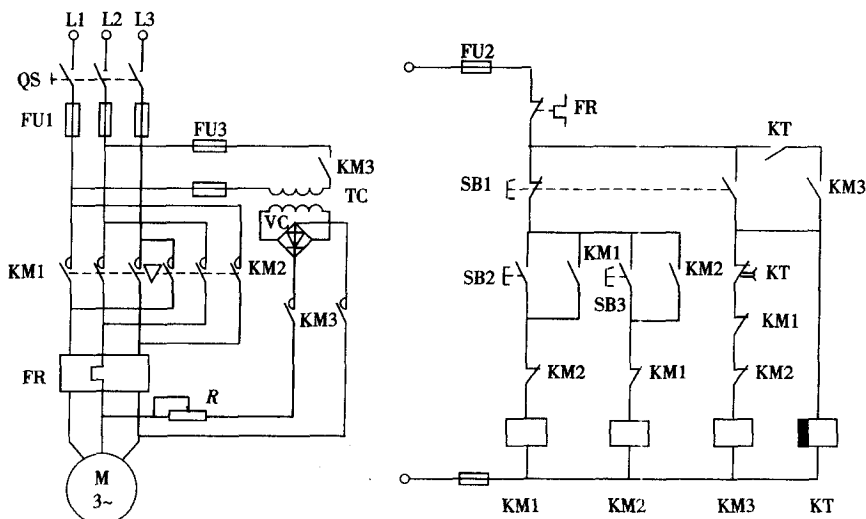


图 1-9 双向能耗制动控制电路

电流。

双向反接制动电路较复杂,读者可参阅本章第二节中 C650-2 型普通车床主电动机 M1 的控制电路。

四、双速电动机变速控制电路

由电工学原理知,三相异步电动机的同步转速公式为

$$n_0 = \frac{60f}{p}$$

所以,改变电动机的极对数 p ,即可改变电动机的转速。极对数 p 减少一半,同步转速 n_0 提高一倍,转子的转速也接近提高一倍。这种方法称为变极调速。

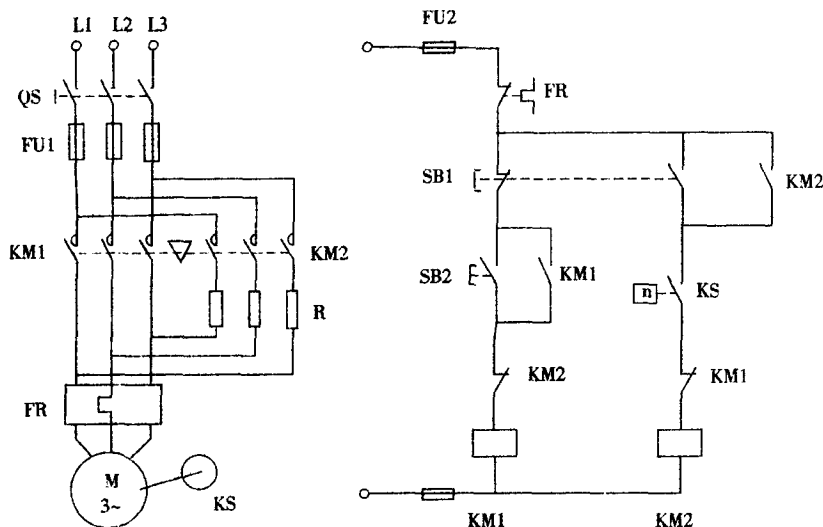


图 1-10 单向反接制动控制电路

如何改变极对数呢？通常的方法是将每相定子绕组分为两组，而这两组定子绕组并联时为串联时极对数的一半。这样，由控制电路实现串、并联的转换，即可使双速电动机输出两种转速了。

图 1-11 为双速电动机变极调速原理图。图 a) 是将一相绕组 A1X1 和 A2X2 的 X1 端 A2 端相联，即串联，电流 A1 入、X2 出，极对数 $p = 2$ 。图 b) 是 A2 端与 X1 端相联，电流流入，A1 端与 X2 端相联，电流流出，这时两组绕组并联，极对数 $p = 1$ 。图 c) 是将三相定子绕组的 U1、V1、W1 与三相交流电源 L1、L2、L3 连接，而绕组的 U2、V2、W2 悬空，这时定子绕组的每相绕组的两组线圈串联，三相绕组为三角形接法，极对数 $p = 2$ ，电动机输出低转速。图 d) 是将三相定子绕组的 U2、V2、W2 接电源 L1、L2、L3，而将定子绕组的 U1、V1、W1 接在一起。这时，每相定子绕组的两组线圈都是并联，而三相绕组接成双星形，极对数 $p = 1$ ，电动机输出高转速。

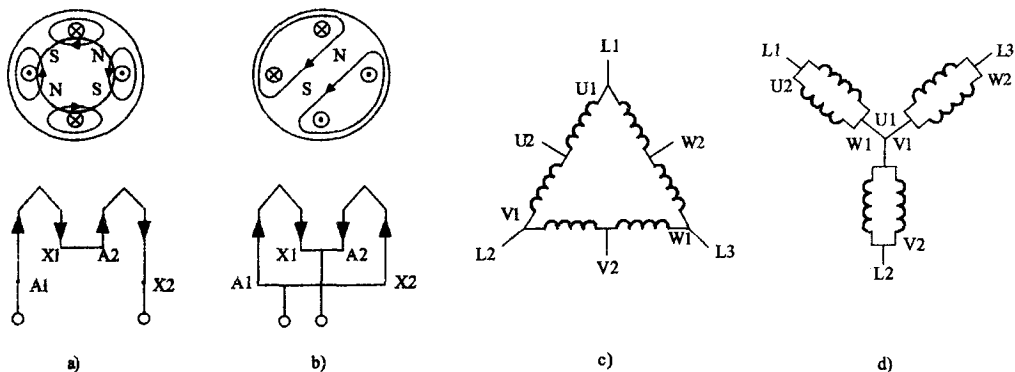


图 1-11 双速电动机变极调速原理

a) 串联; b) 并联; c) 三角形接法; d) 双星形接法

双速电动机控制的动力电路见图 1-12a)。接触器 KM1 主触头 KM1 闭合，定子绕组接为三