

电 工 学

下 册

广东师范学院物理系编

人民教育出版社

电 工 学

下 册

广东师范学院物理系编

人 民 教 育 出 版 社

电 工 学

下 册

广东师范学院物理系编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

1977年3月第1版 1977年11月第1次印刷

书号 15012·023 定价 1.05 元

关于本书所用汉语拼音字母下标的说明

本书所用下标,除少数国际上通用者外,一律采用汉语拼音字母,现列表如下:

下标	意 义	举 例	下标	意 义	举 例
<i>b</i>	标 准	E_b 标准电势	<i>lj</i>	临 界	C_{lj} 临界电容量
<i>c</i>	传 动	η_c 传动效率	<i>n</i>	内 阻	R_n 等效内阻
<i>cd</i>	充 电	i_{cd} 充电电流	<i>pj</i>	平 均	B_{pj} 主磁通密度平均值
<i>d</i>	短 距	E_d 短距绕组感应电动势	<i>q</i>	起 动	I_q 起动电流
<i>dc</i>	电 磁	P_{dc} 电磁功率	<i>q</i>	线 圈 (绕组)	k_q 线圈的绕组系数
<i>ds</i>	电 枢	E_{ds} 电枢反应电动势	<i>rd</i>	熔 断	I_{rde} 熔断丝的额定电流
<i>f</i>	分 布	E_f 分布绕组感应电动势	<i>s</i>	剩 磁	Φ_s 剩磁通
<i>f</i>	发 电 机	N_f 发电机功率	<i>s</i>	水 轮 机	N_s 水轮机功率
<i>f</i>	分 流	R_f 分流电阻	<i>s</i>	试 验	R_s 试验电阻
<i>f</i>	反 抗	M_f 反抗力矩	<i>sc</i>	输 出	u_{sc} 输出电压
<i>f</i>	反 馈	R_f 反馈电阻	<i>sl</i>	水 流	N_{sl} 水流功率
<i>fd</i>	放 电	i_{fd} 放电电流	<i>sr</i>	输 入	u_{sr} 输入电压
<i>fh</i>	返 回	I_{fh} 返回电流	<i>t</i>	同 步	X_t 同步电抗
<i>fx</i>	非 线 性	R_{fx} 非线性电阻	<i>w</i>	无 功	I_w 无功电流
<i>gd</i>	给 定	U_{gd} 给定电压	<i>xl</i>	限 流	R_{xl} 限流电阻
<i>j</i>	机 械	P_j 机械损耗功率	<i>yf</i>	电 压 反 馈	U_{yf} 电压反馈信号电压
<i>j</i>	交 轴	F_{sj} 电枢反应磁势交轴分量	<i>z</i>	负 载	u_z 负载电压
<i>l</i>	漏 磁	E_l 漏磁电动势	<i>z</i>	直 轴	F_{sz} 电枢反应磁势直轴分量
<i>l</i>	励 磁	I_l 励磁电流	<i>zj</i>	装 机	N_{zj} 装机容量
<i>lf</i>	电 流 反 馈	U_{lf} 电流反馈信号电压			

目 录

关于本书所用汉语拼音字母下标的说明

第八章 电动机的保护与控制线路	899
§ 8-1 概述	899
§ 8-2 鼠笼式电动机的控制线路	903
附录十 灭弧装置的结构和原理	911
§ 8-3 电动机的保护	917
附录十一 简易的过流保护装置	933
§ 8-4 鼠笼式电动机自耦减压起动的控制线路	934
§ 8-5 线绕式电动机起动的自动控制线路	946
§ 8-6 生产机械的限位控制线路	950
实验十三 低压电器认识及电动机控制线路	956
实验十四 QJ 型手动起动补偿器的使用	958
附录十二 电压表换相开关和电流表换相开关	960
第九章 农村小型水电站的电气设备	964
§ 9-1 农村小型水电站发电机的选择	964
§ 9-2 同步发电机的构造和原理	967
§ 9-3 同步发电机的运行特性和能量转换关系	987
§ 9-4 同步发电机的并网运行	1000
实验十五 同步发电机的使用	1018
§ 9-5 同步发电机的励磁装置	1020
§ 9-6 异步发电机	1032
实验十六 异步发电机的使用	1044
§ 9-7 同步发电机的常见故障及检修	1046
§ 9-8 农村小型水电站的发电机控制屏	1048
§ 9-9 农村低压线路	1054
§ 9-10 安全用电	1070

第十章 电子技术在电工中的应用	1080
§ 10-1 半导体整流系仪表	1080
§ 10-2 晶体管无触点行程开关	1107
§ 10-3 电动机的晶体管继电保护	1127
§ 10-4 农用黑光灯的直流供电	1148
§ 10-5 可控硅及其开关电路	1154
§ 10-6 直流电动机的可控硅调速系统	1174
§ 10-7 同步发电机的可控硅励磁装置	1200
第八章习题	1219
第九章习题	1222

第八章 电动机的保护与控制线路

内 容 提 要

电动机的继电保护一般分为电磁型与晶体管型继电保护两类,本章只介绍前一种(后一种留待第十章介绍)。本章以几种电动机的起动、保护与控制的线路为线索,并结合一些实际例子,着重介绍交流接触器、熔断器、电流继电器、热继电器、磁力起动器、自动空气断路器、时间继电器、中间继电器、自耦减压起动器、频敏变阻器和按钮、行程开关、万能转换开关等各种低压电器的结构和作用原理。

§8-1 概 述

随着我国社会主义革命和社会主义建设的飞跃发展,工农业生产过程的电气化和自动化程度也日益提高。对工农业生产中大量使用着的电动机,要保证其安全正常运行,除注意正确使用和加强保养外,还需装设必要的控制与保护装置,使电动机在运行过程中万一出现短路、过载等故障时能自动切断电源,以防烧毁电机。其次,在有些生产过程中,还常要求电动机频繁而准确地起动、停止、逆转或调速等,这时用手动控制比较困难。至于生产过程的自动化,就更需要各种各样的控制电器来配合。因此,在生产中了解

和运用各种常见低压控制和保护电器及电动机的基本控制线路，有着十分重要的意义。

解放前，我国没有专业的电器制造工厂，电器工业产品寥寥无几。解放后，在毛主席革命路线指引下，电器工业才得到飞跃的发展，专业制造厂遍布全国各地，并先后设计、制造出一批高水平的电器产品，低压电器产品在技术经济指标、标准化、系列化及通用化的程度等方面也都有了较大幅度的提高。特别经过无产阶级文化大革命后，我国的电器工业又发展到一个新水平，广大工人和革命技术人员在独立自主、自力更生的方针指引下，根据我国的具体条件和长期积累的生产经验，采用了新原理、新结构、新材料、新工艺，先后试制成功了直流快速开关，新型塑料管式熔断器，新系列交流接触器，塑料外壳式自动空气断路器，新系列热继电器等几十个系列的新产品。

低压电器通常指工作电压在交流 1000 伏或直流 1200 伏以下的电气设备。低压电器品种繁多，用途很广，如按其控制的对象来划分，可分为低压控制电器（如继电器、接触器等）和低压配电电器（如刀开关、熔断器、自动开关等）两大类；如按动作性质而分，又可分手动电器和自动电器两类。手动电器是靠手动操纵的，如闸刀开关、转换开关、按钮等；自动电器是按信号（电压、电流、速度、时间等）的变化而动作的，如接触器，继电器等。很多电器，既有控制作用又有保护作用。

将各种电器按其作用原理与电动机适当连结起来，就构成控制线路。控制线路按其电路系统原理可以绘制成电路原理图。在电路原理图中，每一种电器元件及元件的不同部分都采用一个特定的图形符号及文字符号来表示，常用的电工系统图图形符号和文字符号见表 8-1。

表 8-1 本书常用电工系统图图形符号和文字符号*

编号	名 称	图形符号	文字符号	编号	名 称	图形符号	文字符号
1	开关		K	4	交流接触器		C
	单极开关		同上		线圈的一般符号		同上
	三极开关		同上		常开触头		同上
	闸刀开关	同 上	DK		常闭触头		同上
	转换开关	同 上	HK		带灭弧装置的常开触头		同上
	三极自动开关		ZK		带灭弧装置的常闭触头		同上
2	限位开关		XWK	5	热继电器		RJ
	常开触头		同上		热元件		同上
	常闭触头		同上		常闭触头		同上
3	按钮		AN	6	继电器**		J
	起动按钮		QA		信号继电器		XHJ
	停止按钮		TA		中间继电器		ZJ
	复合按钮				时间继电器		SJ

* 图形符号摘自 GB312—64, 文字符号依据 GB315—64。

** 继电器的触头和线圈的引出线, 允许在图中绘制。例如: 有一个动合触头的继电器。

续表 8-1

编号	名 称	图形符号	文字符号	编号	名 称	图形符号	文字符号
6	电流继电器		LJ	6	延时闭合的动合(常开)触头		
	电压继电器		YJ		延时断开的动合(常开)触头		
	控制继电器		KJ		延时闭合的动断(常闭)触头		
	线圈的一般符号				延时断开的动断(常闭)触头		
	电流线圈			7	熔断器		RD
	电压线圈			8	有铁心的单相双绕组变压器		B
	过电流继电器线圈				电力变压器	同 上	LB
	低电压继电器线圈				照明变压器	同 上	ZB
	带时限的电磁继电器线圈				整流变压器	同 上	ZLB
	(1) 缓吸线圈 (延时动合)	(1)			电压互感器	同 上	YH
	(2) 缓放线圈 (延时动断)	(2)			电流互感器		LH
	常开触头			9	有铁心的单相自耦变压器		ZOB
	常闭触头						

续表 8-1

编号	名称	图形符号	文字符号	编号	名称	图形符号	文字符号
10	三相鼠笼式异步电动机		<i>D</i>	11	照明灯		<i>ZD</i>
	三相绕线式异步电动机		同上		指示灯		<i>ZSD</i>

§8-2 鼠笼式电动机的控制线路

在 §7-6 中我们介绍了控制电动机运行及反转的线路，线路中采用最简单的手动闸刀开关及转换开关。可是，由于手动电器的灵活性较差，既费力又不准确，不便作远距离控制，而且不能切断较大的电流。故一般只应用在不经常通、断的小电流交直流电路中，或作隔离开关使用。为了克服手动开关的缺点，常利用电磁吸力来带动开关，控制电路接通或断开，这种控制电器称为接触器。下面介绍几种采用接触器的基本控制电路。

一、电动机点动控制电路

点动控制电路是采用接触器的控制电路中最简单的一种，如图 8-2-1 所示，此电路与图 7-6-4 所示电路的区别是改用了—个接触器 *C* 和增加了一个起动按钮 *QA*，图中 *RD* 为熔断器，对电机起短路保护作用（详见下一节）。下面先介绍接触器和按钮，然后对电路进行分析。

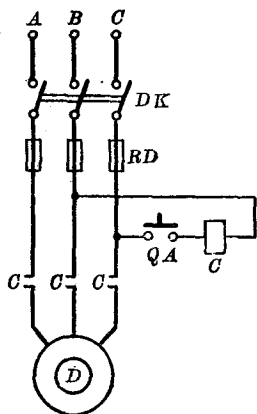
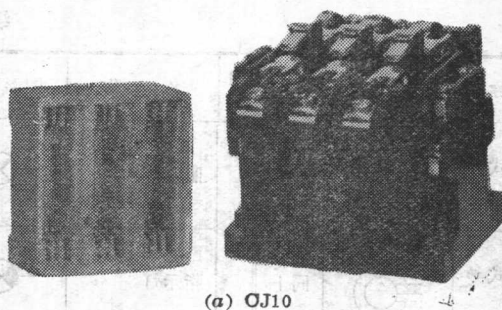


图 8-2-1 点动控制线路图



(a) CJ10

(b) CJ12(图中拆除了右边两个灭弧罩)

图 8-2-2 交流接触器外形图

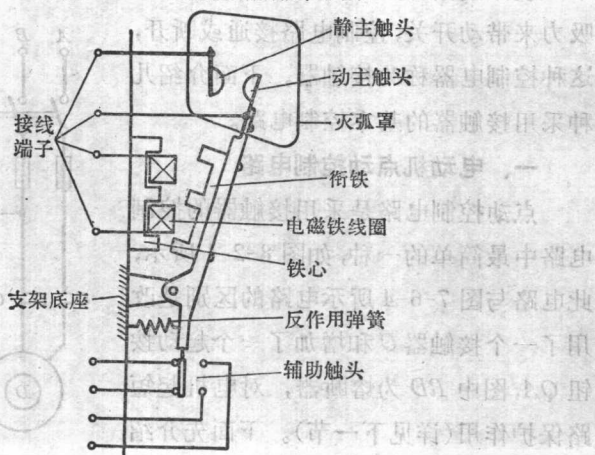


图 8-2-3 交流接触器的结构原理图

接触器是在按钮或继电器的控制下，自动接通或断开带有负载的强电流主回路(一般多用于控制电动机)的控制电器。实际上就是一个远距离控制的电动开关。接触器可分交流接触器和直流接触器两类。二者的工作原理相同，不同的只是由于一个采用交流电，一个采用直流电，带来了结构上的一些差异。这里只介绍交流接触器，其外形如图 8-2-2 所示，一般包括以下四个主要组成部分(参看图 8-2-3)：

(1) 电磁系统：包括电磁铁线圈、铁心和衔铁。在铁心磁路的端面上，还装有短路环，其作用原理在 § 4-8 中已经讲过，这里不再重复。

(2) 触头系统：包括几对动、静主触头和若干对辅助触头(图中只画出一对主触头和常开、常闭辅助触头各一对)。主触头起接通或开断主电路的作用，允许通过较大的电流，使用时分别串联在主电路内。辅助触头的作用后面将要谈到，它们允许通过较小的电流，使用时一般接在控制电路中。触头按未通电时的状态分为“常开触头”和“常闭触头”两种。常开触头是指线圈未通电时，其动、静触头是分开的，线圈通电时才闭合(所以又称动合触头)；常闭触头(又称动断触头)则正好相反。两种触头一般是联动的，即当常开触头断开时，常闭触头就闭合；反之，常开触头闭合时，常闭触头就断开。

(3) 灭弧装置：其作用是迅速熄灭主触头开断时产生的电弧。其结构、原理参看附录十。

(4) 其他部分：包括反作用弹簧(当线圈断电时使触头复位)、支架底座、接线端子等。此外，为了增加触头压力，减小接触电阻，接触器还装有触头压力弹簧；为减小接触器动作时对底座的直接冲击力，还装有缓冲弹簧(这两个弹簧在图 8-2-3 中均未画出)。

交流接触器的动作原理如下：当电磁线圈接通电源时，衔铁被

吸合, 带动动主触头向静主触头处移动, 使动、静主触头接触, 主电路接通, 此时, 一方面反作用弹簧形变产生反作用弹力, 另一方面常开辅助触头同时接通。在电磁铁吸合过程中, 衔铁同时受两种相反的作用力 (电磁吸力与弹簧弹力), 二者形成一对矛盾, 且在衔铁运动的过程中, 两个力的大小都是变化的, 但前者始终是矛盾的主要方面, 否则衔铁不能吸合; 当电磁线圈断电时, 电磁力消失, 衔铁因受弹力作用而回复到释放的位置。

接触器的种类很多, 常用的有 CJ10, CJ12 (或 CJ12B) 等, 这些都是我国自行设计的新系列产品, 是目前国内外较为先进的接触器之一, C 表示接触器, J 表示交流 (Z 表示直流), 数字 10 或 12 表示设计序号, B 为派生代号, 表示结构有改进 (原 CJ12 是采用磁吹灭弧的, 而 CJ12B 则改用灭弧栅灭弧)。CJ10 系列一般有三对常开主触头, 主要供 50 赫、电压 500 伏、电流从 5~150 安 (分为七级, 例如 CJ10-20, 表示其额定电流为 20 安) 的电路之用。CJ12B 系列则供 50 赫、电压 380 伏、电流 100~600 安 (分为五级) 的电路之用, 主触头极数分为二极、三极、四极、五极四种。

在图 8-2-1 所示的线路中, QA 表示起动按钮。按钮属主令电器之一, 主要用于远距离

操纵接触器、继电器等。起动按钮具有常开触头。此外还有一种具有常闭触头的按钮, 叫停止按钮, 用 TA 表示。按钮内的触头数目常不止一对。同时具有常开与常闭触头的按钮称为复合按钮。图 8-2-4 是一种复合按钮的剖面图, 它包括两对触

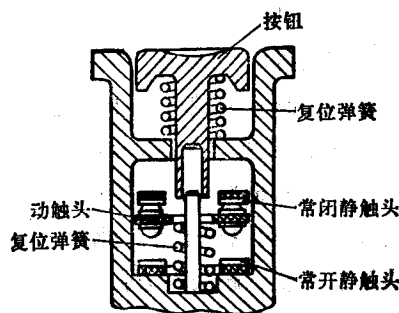


图 8-2-4 复合按钮剖面图

头,即一对常开触头和一对常闭触头,两对触头也是联动的(手指按下按钮时,动触头与常开静触头接触而与常闭静触头分开,放开手指后,复位弹簧使按钮复原)。

在分析各种控制电路之前,还要指出一点,因为接触器 C (见图8-2-1)的线圈与触头是在不同的电路系统中起作用的,因此在图中分别画在不同的位置,但用同一文字符号 C 标明,表明这两部分构成接触器的整体。这种情况在低压控制电器的电路中是经常看到的,必须注意。下面我们来分析图8-2-1所示的电路原理。

图8-2-1的电路可以分成两个电路:一个是三相电源 A 、 B 、 C 经电源开关 DK ,熔断器 RD 和接触器 C 的三对主触头到电动机 D ,这个电路是电动机的工作电路,称为主电路。主电路中通过的是电动机的工作电流(这个电流较大),在线路图中用粗线表示;另一个是跨接在 B 、 C 两相电源线之间、由按钮 QA 和接触器 C 的线圈组成的电路,它是控制主电路的通断的,称为控制电路。由于接触器线圈具有较大的交流阻抗,因此,流过控制电路的电流较小(只有零点几安培)。控制电路在线路图中用细线表示。

当合上电源开关 DK 后,因接触器主触头尚未闭合,电动机不会运转。如果将起动按钮 QA 按下,使控制电路接通,接触器 C 的线圈通电,由于电磁吸力的作用,接触器衔铁被吸合,主触头闭合,主电路接通,电动机便起动运转。当手松开按钮 QA 时,接触器线圈断电,衔铁被释放,主触头断开,主电路不通,电动机就停转。这种当按钮按下时电动机便运转,手松开按钮时电动机便停转的控制方法称为“点动”控制。生产中,如各种电动绕线机等有“点动”要求的,便可采用这种点动控制线路。

二、具有自锁的电动机单向运转的控制电路

上述的接触器及其控制电路,只能实现点动控制。但是,许多生产过程还要求电动机起动后能连续运转,只在必要时才停车。要

实现这种控制方式，可以利用接触器的常开辅助触头，把它并联在起动按钮的两端，如图 8-2-5 所示。为了控制停车，在控制电路上再串联一只停车按钮 TA （常闭按钮）。这种控制电路的控制作用如下：

(1) 电机起动：首先闭合三相闸刀开关 DK ，并按下起动按钮 QA ，接触器 C 的线圈有电流通过（电流由 1 经常闭按钮 TA 、起动按钮 QA 和线圈 C 到 2）。接触器的衔铁被吸合，主触头接通，电动机 D 起动运转。

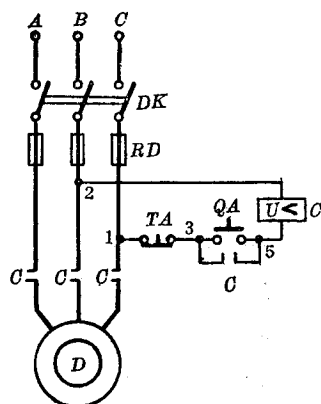


图 8-2-5 具有自锁的电动机单向运转的控制线路

当手松开起动按钮 QA 时，电动机继续运转。这是由于在按下按钮 QA 时，不但主触头闭合，而且接触器 C 并联在 QA 两端的常开辅助触头 3-5 也同时闭合，因此松开按钮 QA 后，控制电路保持接通，接触器 C 主触头仍在吸合位置。

这种当起动按钮松开后仍能自行保持接通的控制作用叫做“自锁”（或“自保持”），与 QA 并联的这一副常开辅助触头叫做“自锁（或自保持）触头”。

(2) 电机停转：当要停止电机运转时，可按下停车按钮 TA ，此时接触器线圈断电，衔铁释放，接触器主触头断开，电机停转。此时，自锁触头也随之断开。

(3) 电机保护：由第七章知道，电源电压显著降低时，会引起过电流而损坏电动机。有自锁作用的控制线路就具有在低电压下自动切断主电路以保护电机的作用（即欠压保护）。这是由于电压下降到额定值的 85% 以下时，接触器的铁心线圈所产生的电磁吸力克服不了反作用弹簧的弹力作用，不能吸住衔铁使触头保持闭

合, 因而主电路断开, 电动机停转。还有一种情况, 即生产机械(例如车床等)运转时, 若由于某种原因引起瞬时断电, 车床停转, 车刀将卡在工件表面上, 当恢复供电时, 如电动机自行起动运转, 则可能引起工件报废或折断车刀等事故, 而对于需要降压起动的电动机, 这种情形还会造成全压起动的危险。具有自锁作用的控制线路, 在电源断电后又恢复供电时, 电动机未经人工操作不会自行起动, 因而具有失压(或零压)保护作用。这是由于断电时接触器的自锁触头也随之断开, 控制电路不通, 只有重新按下起动按钮, 电动机才能起动运转。

三、电动机可逆运转的控制线路

上面讨论的两种控制线路, 只能控制电动机的单向运转。有些生产机械, 常要求电动机能可逆(正、反方向)运转, 此时可采用图 8-2-6 所示的可逆运转控制线路。这种线路有两只接触器(正

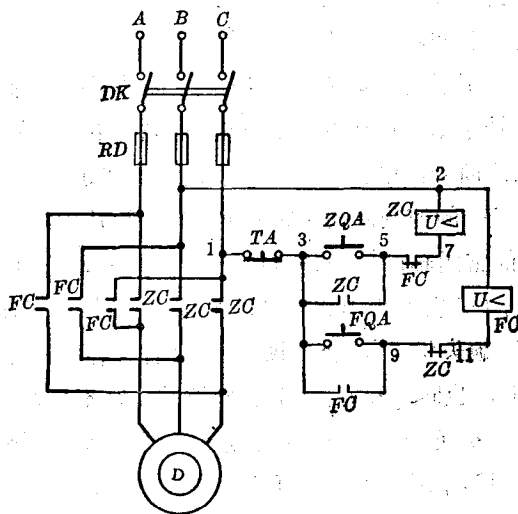


图 8-2-6 电动机可逆运转的控制线路