

交通系统高等学校内部教材

电机与船舶电气设备

下册

高嘉生 编



大连海运学院出版社

电机与船舶电气设备

下 册

(修订版)

高嘉生 编

隋克立 审

大连海运学院出版社

目 录

第二篇 电力拖动的自动控制基础

绪论	(1)
第七章 继电器接触器控制系统	(2)
7-1 继电器接触器控制系统中常用的电器元件	(2)
7-2 自动控制线路图示法	(10)
7-3 电动机的基本控制环节	(12)
7-4 电动机的基本控制原则	(15)
7-5 电动机的保护	(20)
第八章 顺序控制器	(26)
8-1 概述	(26)
8-2 基本逻辑型顺序控制器的组成	(26)
8-3 二极管矩阵逻辑运算原理	(27)
8-4 二极管矩阵板	(29)
8-5 输出和输入设备	(29)
8-6 可编程控制器概述	(31)
8-7 PC 控制系统的组成及其工作原理	(32)
8-8 PC 控制器的结构及工作原理	(33)
8-9 PC 程序表达方式及编程器	(36)
第九章 机舱辅机的自动控制	(38)
9-1 概述	(38)
9-2 泵的自动控制	(39)
9-3 辅助锅炉的自动控制	(44)
9-4 辅助锅炉自动控制系统电路原理介绍	(52)
第十章 甲板机械的电力拖动	(57)
10-1 概述	(57)
10-2 双输出直流 $F-D$ 系统起货机的控制线路	(58)
10-3 交流多速电动起货机的控制线路	(62)
10-4 交流多速电动辅机的控制线路	(69)
第十一章 船舶舵机电力拖动的自动控制	(71)
11-1 舵机的传动机构及其对电力拖动的要求	(71)
11-2 单动操舵的工作原理	(74)
11-3 随动操舵的工作原理	(75)
11-4 自动操舵的工作原理	(76)
11-5 自动舵的控制信号	(78)
11-6 国产 HD-5L 型自动舵	(80)

第三篇 船舶电力系统

第十二章 船舶电力系统总述	(88)
12-1 船舶电力系统的组成及其基本参数.....	(88)
12-2 船舶电力系统的工作环境及对电力系统的基本要求.....	(90)
12-3 船舶电站.....	(90)
12-4 船舶应急电源.....	(96)
12-5 船舶配电装置.....	(97)
12-6 船舶电网.....	(101)
第十三章 同步发电机的自动调压装置	(105)
13-1 概述.....	(105)
13-2 相复励自激恒压装置.....	(106)
13-3 可控相复励自激恒压装置.....	(113)
13-4 无刷同步发电机及其自动调压装置.....	(114)
第十四章 同步发电机并联运行	(116)
14-1 概述.....	(116)
14-2 手动准同步并车方法.....	(118)
14-3 粗同步并车方法.....	(122)
14-4 同步发电机准同步自动并车原理.....	(123)
14-5 并联运行同步发电机之间无功功率的分配.....	(131)
14-6 并联运行同步发电机之间有功功率的分配.....	(134)
14-7 并联运行同步发电机的频率和有功功率自动调整简述.....	(135)
14-8 发电机组并联运行的稳定性 (以柴油机发电机组为例)	(137)
第十五章 船舶电力系统的保护	(139)
15-1 概述.....	(139)
15-2 同步发电机的保护.....	(139)
15-3 船用自动空气断路器.....	(140)
15-4 逆功率保护及逆功率继电器.....	(143)
15-5 自动卸载装置.....	(144)
15-6 船舶电网的保护.....	(145)
15-7 岸电的相序和断相保护.....	(147)
主要参考文献	(150)

第二篇 电力拖动的自动控制基础

绪 论

所谓自动控制是指在没有人直接参与的情况下,利用控制系统,使被控制的对象或生产过程,自动地按预定的规律进行工作。根据系统中是否存在反馈环节,控制系统可分为开环控制系统和闭环控制系统;又根据系统的输出量与输入量之间的关系,是以断续方式进行的,还是以连续方式进行的,将控制系统分为断续(开关)控制系统和连续控制系统。所谓断续控制系统就是由开关元件(继电器、接触器、电子开关元件)组成的控制系统。由于开关元件只具有“通”(或高电位,或1状态)、“断”(或低电位,或0状态)两种截然不同的状态,不能连续反应控制信号的变化,因而它所能实现的控制必然是断续的,也就是说,断续控制是有级控制。所谓连续控制系统,一般来说也就是闭环控制系统,它利用检测元件不断地把控制对象的工作状态(例如发动机的转速,滑油的温度,液位的高度等)检测出来,通过反馈环节,将其与给定量进行比较,一旦输出量(即被调量)与给定量发生了偏差,系统便能自动地进行调整。所以说连续控制系统是无级的,是一个闭环的自动调节系统。

自动控制系统的发展,经历了一个从断续控制到连续控制,又到断续控制的过程,最早的自动控制系统是断续的,大体上约在本世纪的20~30年代。它借助于简单的接触器和继电器等基本控制电器,实现对控制对象的起动、停车以及有级调速等控制,其控制速度慢,精度差。到了40~50年代,出现了电机放大机——电动机控制系统,从而使控制系统从断续控制发展到连续控制,并且促进了闭环控制理论(即自动调节原理)的发展。由于连续控制的快速性及控制精度远远超过了初期的断续控制,并简化了控制系统,减少了系统中的接触点,提高了系统可靠性,因此大大提高了生产率。50~60年代出现了磁放大器——水银整流器控制系统,60年代出现的晶体管放大器——可控硅控制系统,以及发展到今天的集成电路放大器——可控硅控制系统都属于连续控制系统。

自从1948年出现了第一晶体管,1958年出现了第一个可控硅元件之后,半导体电子技术有了飞速的发展,由于半导体器件具有速度快、寿命长、重量轻等一系列优点,它的问世,使得有触点的继电接触控制逐渐被无触点的静止开关元件所组成的控制器所代替。尤其最近出现的可存储程序的可编程序控制器已经在广泛的领域里取代了传统的继电接触控制系统。

特别是电子计算机的出现和应用,又使控制系统、控制理论发展到一个新阶段——采样控制,它也是一种断续控制,但与最初的断续控制不同,它的控制间隔(采样周期)比控制对象的变化周期短得多。因此,尽管是断续控制,却能无失真地恢复控制对象的本来面目。在效果上与连续控制相同。由于电子计算机有极高的运算速度,采用采样控制方式后,可以实现一台计算机对多个控制对象进行实时控制。

这一篇我们主要介绍由继电接触器组成的有触点开环断续控制系统。同时,对无触点的顺序控制器的基本概念也作一介绍。

第七章 继电器接触器控制系统

继电器接触器控制是电力拖动最基本、最简单的控制方式。由这种控制组成的控制系统称为继电器接触器控制系统。尽管继电器、接触器是比较陈旧的电器，而且确实存在着工作频率低，触头断开时有火花，经常要维修等缺点，但是由于这种控制系统具有结构简单，造价低，调整维护容易，抗干扰力强等优点，到目前为止，仍然大量应用在造船工业和一般工业中。即使在将来高度自动化后，继电器接触器控制系统仍将在电力拖动中占有一定的地位。

7-1 继电器接触器控制系统中常用的电器元件

一般来说，一个继电器接触器控制系统都可以分成两大部分：一部分是用来断开、接通和控制电动机运行状态的电路系统，称之为主电路。另一部分是根据给定的指令，依照预定的规律和具体生产过程的要求，对主电路进行控制的电路系统，称之为控制电路。任何一个继电器接触器控制系统都是为了完成一定的控制目的，由各种相应的电器元件所构成的。本节重点介绍在系统中常用的交流电器，必要时对某些直流电器的特点予以说明。

一、接触器

接触器是一种在电压电路系统中作频繁接通和切断大电流电路（即主电路）的开关电器，具有迅速熄灭大功率电弧的能力。在电力拖动自动控制系统中多用来远距离开闭动力电路或自动切换动力设备。应用极其广泛，是继电器接触器控制系统中重要的组成元件。

接触器是利用电磁原理通过可动衔铁的运动，带动触头的通断进行工作的。其结构可分为电磁系统（线圈和铁芯）、主触头和灭弧装置以及释放弹簧和辅助触头等三个部分。

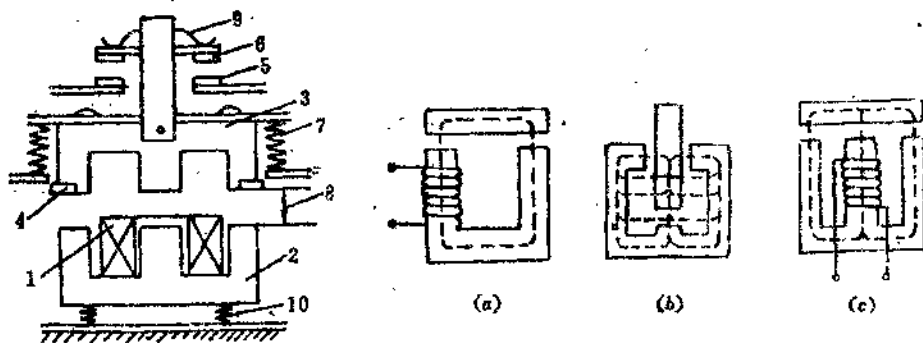


图7-1-1 接触器的结构与常见的铁芯形式

图7-1-1所示为接触器的结构原理图。线圈1通电后，在铁芯2和衔铁3中便产生磁通，吸引衔铁3向下运动，使动触头6和静触头5闭合，电路接通。线圈断电后，吸力消失，借助于反作用弹簧7的作用，使动触头6向上返回，触头分开，电路被切断。

根据线圈所通的电流性质，接触器有交、直流之分，但其基本原理和结构是类似的。下面对交流接触器的各主要部分作一介绍。

(一) 电磁系统

交流接触器的电磁系统由线圈、铁芯和衔铁三部分组成。其作用是当线圈通过交流电时产生必要的吸力，带动触头运动。

交流接触器的线圈一般为电压线圈，即线圈与电源并联，故其线径较细，匝数较多。

为了减小因涡流造成的损耗和温升，一般交流接触器的铁芯和衔铁都用 E 形硅钢片叠成，且片与片之间要保持绝缘。

电磁系统的电磁吸力 F 与磁通密度 B 平方成正比。图7-1-2 (a) 给出了吸力 F 随磁密 B 变化的情况。由图可知吸力是在零到最大值之间作周期性变化的。结果将使衔铁发生颤动 (100次/分)，引起噪音，同时触头容易损坏。

为了消除颤动，可在铁芯端面装置一个短路铜环，如图7-1-2 (b) 所示。由于该环并不包围整个端面，而只包围了一部分 (图中 S_1)，穿过铜环的磁通 ϕ_2 受到阻尼，滞后没有穿过铜环的磁通 ϕ_1 一个电角度 ψ 。这两个磁通各自产生吸力 F_1 和 F_2 ，如图7-1-2 (c) 所示。由图可见，吸力 F_1 和 F_2 不会同时到达零值和最大值，从而大大削弱了颤动，减小了噪音。

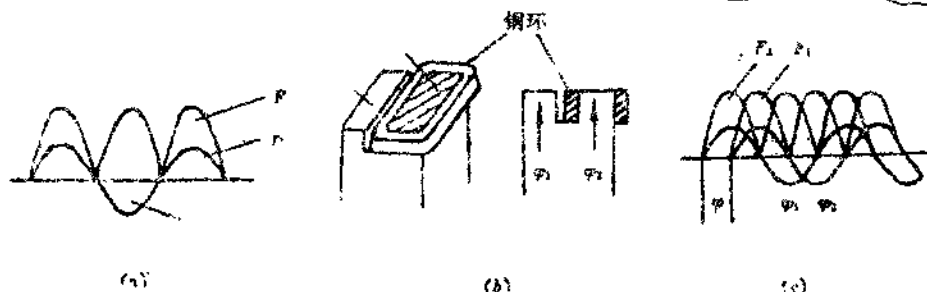


图7-1-2 交流磁系统的分磁环

(二) 触头和灭弧装置

接触器的触头有通过大电流的主触头和通过小电流的辅助触头之分。主触头要求导电性能好，耐高温，强度大。一般用铜钨合金或金属陶瓷材料制成。

为了减小触头的接触电阻，触头闭合后应有足够大的接触压力和接触面积。这些是靠设计触头的形状、接触的方式和设置触头的弹簧来保证的。

接触器的灭弧方式有三种：栅片加灭弧罩，磁吹弧加灭弧罩和桥式触头灭弧。交流接触器一般是利用栅片加灭弧罩来灭弧的。其灭弧原理如图7-1-3所示。当电弧受到装在与电弧轴向垂直方向并在电弧前上端若干彼此绝缘的导磁钢片产生的电磁力的作用下，急速地进入这些钢片之间而被分割成若干段串联的短电弧。这些短电弧一方面被冷却散热，另一方面增加了整个电弧的电压降。当此电压降大于加在触头上的电压降时，电弧就被熄灭。

上述导磁钢片也叫灭弧栅片。灭弧栅片以等距离安装在陶瓷做成的罩子内，组成栅片灭弧装置。

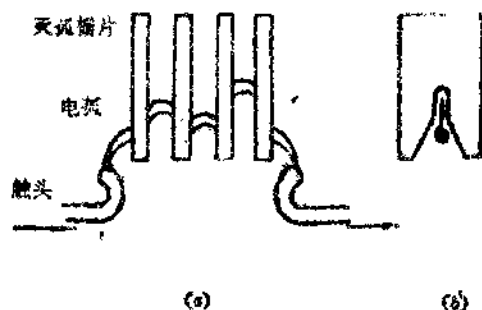


图7-1-3 栅片灭弧原理

(三) 接触器的型号及其使用

我国交流接触器的型号规定为



考虑到船舶的工作环境，将陆用交流接触器稍加改进，则派生出了船用交流接触器，常用的有CT91，CJ193等系列。

接触器的选择和使用

1. 根据用电系统或设备的种类、性质和任务，选定接触器的系列。
2. 根据用电系统额定电压和额定电流，确定接触器的容量（指主触头允许流过的最大电流）。
3. 选定线圈电压。
4. 接触器在使用过程中决不允许任意调换或取下灭弧罩，要经常注意电磁机构运动的灵活可靠。

对于一定的接触器，由于所使用的材料、结构型式、主触头电流性质、大小及灭弧方式等均已确定，如果交、直流互换使用，就可能导致灭弧困难。对于两者的线圈，直流的不能通以交流，但交流的若串一适当的电阻，也可以通以直流。另外对于交流接触器，在其吸合过程中，线圈中的电流变化很大，其磁阻随着气隙减小而减小，线圈的电感和感抗增大，因而电流逐渐减小。因此，如果由于某种机械故障，使得可动部分卡住，通电后衔铁吸合不上，线圈中就因为流过较大的电流而使线圈严重发热，甚至烧毁。

二、继电器

继电器是一种根据电气量（电压、电流）或非电气量（时间、温度、压力、转速等）的变化而接通或断开控制电路，从而自动控制和保护电力拖动装置的电器。

继电器的用途很广，种类繁多，本节将重点介绍在自动控制系统中用得较多的电磁式继电器、时间继电器、热继电器以及速度继电器。

（一）电磁继电器

这种继电器的结构类似接触器，所不同的是继电器在控制电路中使用，通过的电流很小，所以不需要灭弧系统，体积小，反应灵敏，动作迅速。

电磁式继电器是通过电磁线圈来反映电信号的。电信号既可能是电压信号，也可以是电流信号。当反映电压信号时，线圈应与电源并联，当反映电流信号时，线圈应与电源串联。

此种继电器也有交、直流之分。交流继电器的线圈通过的是交流电，其铁芯由硅钢片叠成，且磁极端面装有短路环。直流继电器的铁芯是整块软钢也无短路环。

1. 电磁式继电器的主要参数

额定电压和额定电流：反映电压信号的继电器，称之为电压继电器，其线圈的额定电压即为继电器的额定电压。反映电流信号的继电器，称之为电流继电器，其线圈的额定电流即为继电器的额定电流。

吸合值和释放值：使继电器可动衔铁开始运动时的线圈电压（对电压继电器）或线圈电

流（对电流继电器）之值称为吸合值。反之，使继电器可动衔铁开始返回时的线圈电压或线圈电流的值称之为释放值。

返回系数：释放值与吸合值之比，即

$$\text{返回系数} = \frac{\text{释放值}}{\text{吸合值}}$$

2. 吸合值和释放值的整定

电磁式继电器的结构如图7-1-4所示。反作用弹簧对衔铁产生一个逆时针方向的力矩。欲使衔铁吸合，吸引线圈产生的吸力矩必须大于这个作用力矩。吸合后欲使衔铁释放，则线圈产生的吸力矩应小于反作用力矩。由此可见，线圈的吸合电压（电流），释放电压（电流）的大小，均受到反作用弹簧松紧程度的影响。

在与铁芯端面接合处的衔铁上装置了一层非导磁材料做成的垫片。垫片的厚度不同，衔铁被吸合后的磁阻也就不同，从而可借以改变继电器释放电压（电流）的大小。

所以，改变反作用弹簧的松紧程度和非磁性垫片的厚度就能整定线圈的吸合电压（电流）和释放电压（电流）。

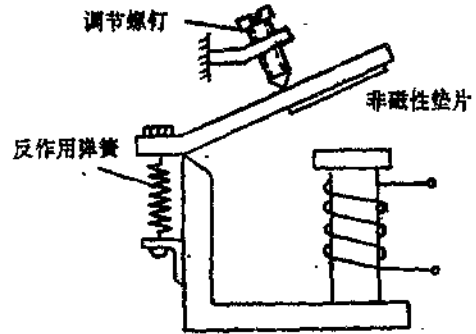


图7-1-4 电磁式继电器的主要结构

3. 几种常用的电磁式继电器

如前所述，继电器可根据加在线圈上的电信号分为电压继电器和电流继电器。电压继电器按其在系统中的功能又可分为过电压和欠电压两种。过电压继电器是指在正常情况下，衔铁不动作，当电压超过某一值时，衔铁才被吸上。此种电器常用于保护电器设备免受高压的破坏。反之，欠压继电器是指当电压低于某一值时，衔铁被释放。其作用是避免大电流烧坏电器设备，起到欠压保护作用。电流继电器一般都做成过电流继电器，即当电流超过某一值时，继电器动作，发出切断或改接主电路的信号，它可作为电抗的过流保护。中间继电器也是属于电压继电器的一种，其特点是触头对数较多，起扩大控制范围或传送信号的作用。

（二）时间继电器

时间继电器是自控系统中使用很广泛的电器元件之一。按它的工作原理可分为电磁式、空气阻尼式、电子式、钟摆式和电动式等多种。这里介绍电磁式、空气阻尼式和电子式时间继电器。

1. 直流电磁式时间继电器：这种时间继电器的结构之一就是在直流电磁式电压继电器的磁路上套一个短路铜套，其结构如图7-1-5所示。当电磁吸引线圈1与额定直流电压接通时，衔铁6瞬时吸合并带动触点5瞬时动作（常开的闭合，常闭的打开）。当线圈断电时，磁路2中磁通将要消失，于是在短路铜套4中将产生感应电流，力图维持磁路中的磁通，因而使磁通按图7-1-6所示的指数规律衰减。当磁通衰减到使电磁吸力小于释放弹簧9的作用力时衔铁释放。故从线圈断电到衔铁释放（触点恢复常态）之间有一段延时时间。这段延时时间可以通过调节螺帽8改变释放弹簧预紧力的大小来调整。若在一定的弹簧预紧力下所对应的释放磁通为 ϕ_{f1} ，其延时时间为 t_1 ，那么把预紧力调小后，与之对应的释放磁通变为 ϕ_{f2} ，相应的延时时间为 t_2 ，从图中的曲线1可见，延时时间加长。另外也可以在衔铁与铁芯之间加非磁性垫片（一般为磷铜片），改变气隙大小，从而改变磁通的衰减速度以达

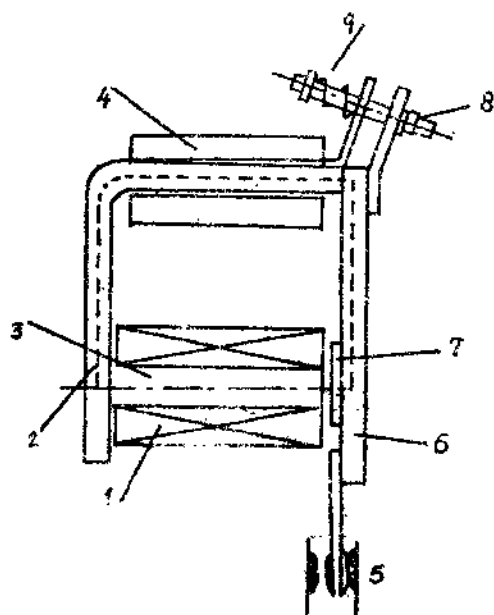


图7-1-5 电磁式时间继电器

- 1—电磁线圈；2—磁路；3—铁芯；4—短路铜套；
5—触点；6—衔铁；7—铜片；8—调节螺帽；
9—释放弹簧

到调整延时的目的。图中曲线2比曲线1的垫片厚度薄，空气隙小，释放前的磁通大（即 $\phi_{20} > \phi_{10}$ ），故在释放弹簧预紧力相同的前提下，如两者释放磁通都为 ϕ_{sf1} ，则垫片薄的延时时间为 t_1 ，显然 $t_1 > t_2$ ，达到了调整延时的目的。

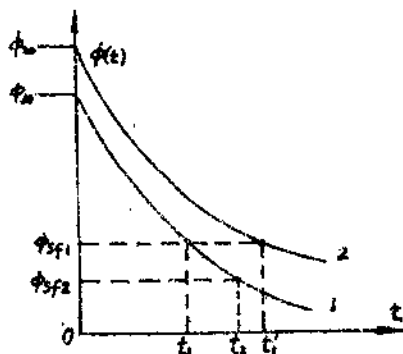


图7-1-6 磁通衰减过程

直流电磁式时间继电器只能在线圈断电时延时，而且没有瞬时动作触点，延时范围在0.13~16s。虽然这种时间继电器的电磁机构是直流的，但价格便宜，所以有时也用在交流控制线路中，但必须注意应用整流器把交流电压整流成直流电压后才能加在这种电器的线圈上。

2. 空气阻尼式时间继电器：在交流控制线路中常用空气阻尼式时间继电器。它的结构示意图如图7-1-7所示。空气阻尼式时间继电器电磁系统与交流电压继电器相同，即用硅钢片迭成铁芯（以减小铁损），磁上也装有短路环（以消除噪声）。其动作原理如下：当电磁线圈2通交流电后，衔铁3连同托板5一起被吸下，伞形活塞8、活塞杆12和胶木撞块13在弹簧6的作用下一起向下移动。由于活塞下部空间覆盖着橡皮膜7，活塞下移时空气室内的空气只能由狭窄的进气孔10缓慢进入，因而就在活塞上部空间与下部直通大气的空间之间造成一个气压差，所以活塞只能随空气的缓慢进入上部气室而缓慢下移。当胶木撞块下移到位时，拨动微动开关14，使之开关状态改变。从而获得了从线圈通电到开关状态改变有一时间间隔，即延时。延时长短可通过延时调节螺钉11，改变进气孔10

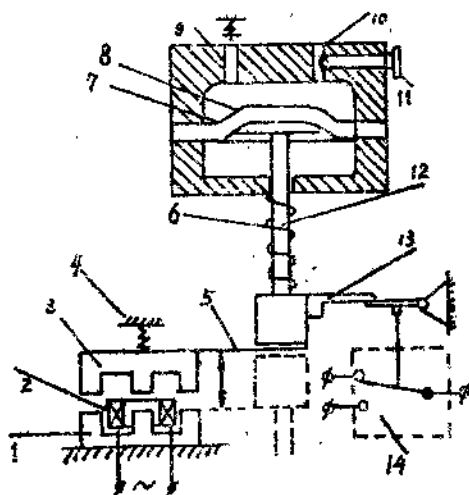


图7-1-7 空气阻尼式时间继电器

- 1—静铁芯；2—电磁线圈；3—衔铁；4—恢复弹簧；5—托板；6—弹簧；7—橡皮膜；8—伞形活塞；9—排气孔；10—进气孔；11—延时调节螺钉；12—活塞杆；13—胶木撞块；14—微动开关

的开度来整定。这种延时继电器的延时调整范围为0.4~60(或180)s。当电磁线圈2断电后,在恢复弹簧4作用下,衔铁连同托板迅速上移,把胶木撞块和活塞等部件推到原位,上部空间的气体从排气孔9迅速排出,微动开关立即复位。图7-1-7中的常开触点称为常开延时闭合触点;常闭的称为常闭延时断开触点。

另外,如果将胶木撞块以上的机构安装在托板以下,如图7-1-7中虚线所示,就可以做成线圈断电后触点延时动作的时间继电器。

3. 电子式时间继电器: 由于电子技术的发展,晶体管时间继电器应用得越来越广泛。它的电路形式很多,但大多是利用具有按指数函数进行充放电的RC电路作定时环节,经过晶体管放大器或触发器带动继电器或可控硅动作的。图7-1-8示出了由可控硅KZ、单结晶体管BT等电子元件和交流(低)电压继电器J所组成的时间继电器。图中虚线以左是主电路部分,可控硅KZ在触发脉冲到来时导通(起开关作用),主回路的交流负载是交流(低)电压继电器的线圈阻抗。虚线以右是触发电路部分,它是由 R_1 、 C_1 定时单元和单结晶体管BT所组成的弛张振荡器。当在1、2输入端接入低压(例如20V)交流电源后,可控硅通过继电器J的线圈和桥式整流器ZLQ得到正向电压,同时通过 R_1 对 C_1 进行充电(充电的直流电压就是稳压管W的反向击穿电压,这里继电器J线圈的阻抗就是稳压管的限流电阻)。当 C_1 上电压达到单结管的峰点电压 U_p 时,单结管的 eb_1 间电阻突然变小, C_1 上的电荷就经 b_1 向 R_2 放电,在 R_2 上产生脉冲,加于可控硅控制极,使之导通。于是交流电压继电器J线圈通电动作,它的两个输出触点 J_1 (3—4)延时闭合, J_2 (5—6)延时断开。这里所谓延时是指从低压交流电源加入后到可控硅被触发脉冲触发所经历的一段时间间隔。调整可变电阻 R_1 的阻值,可改变这一延时的长短。J动作后,它的两个内部常开触点 J_3 闭合,保持继电器J的线圈继续通电,同时关断可控硅,并使单结管直流电压消失; J_1 闭合,使电容器 C_1 迅速放电,维持每次通电后延时的准确性。

(三) 热继电器

热继电器是利用电流的热效应原理起保护作用的。它的结构主要部件是由两片膨胀系数不同的金属做成的。

众所周知,两种膨胀系数不同的金属焊在一起,受热后就会向膨胀系数小的那一边弯曲,热量越大,弯曲越大。两种金属膨胀系数相差越大,受热后弯曲得也越大。

通常用作双金属片的两种金属为低膨胀系数的不锈钢和膨胀系数大的铁、镍、康铜等。

1. 热继电器的工作原理

图7-1-9(a)是热继电器的结构原理图。膨胀系数不同的双金属片2一端固定,一端被扣板7卡住,触头4处于闭合状态。当负载电流流过发热元件1时,它产生热量使双金属片(因上层的膨胀系数小、下层的大)受热向上弯曲(弯曲程度随发热量即负载电流的增大而增大),于是扣板7在弹簧8的作用下,带动绝缘牵引板3,将弹簧板上的常闭保持触头4断开,发出信号,使被保护对象的电源被切断。

热继电器动作后,经自然冷却,双金属片恢复原状,按下复位按钮5,继电器触头恢复闭合。

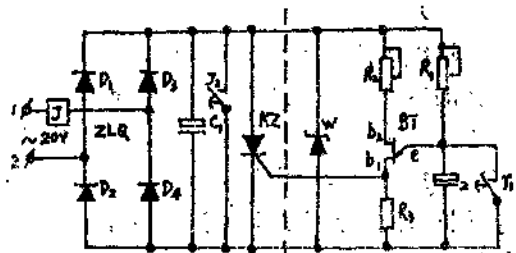


图7-1-8 晶体管时间继电器

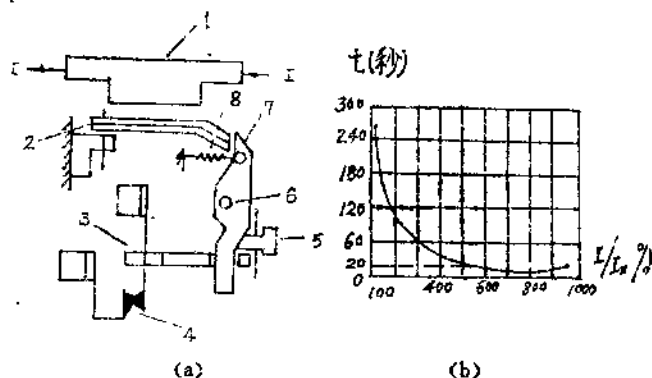


图7-1-9 热继电器的结构原理及安秒特性

a、结构原理；

b、安秒特性

由于双金属片的弯曲需要一定的时间，故热继电器的动作也有一定的时限，负载电流小，弯曲慢，动作时间长。电流大则弯曲快，动作时间短。其安秒特性如图7-1-9(b)所示。

2. 热继电器的选择使用

发热元件上允许流过多大电流即其额定值，在热继电器的铭牌上有说明。并且也允许在其额定值一定的范围内可以整定其动作电流。

热继电器大都作为电动机过载保护。在选择时，对于长期运行的电动机，当热继电器与该电动机环境温度相同时，可按电动机的额定电流选择发热元件。当电动机比热继电器的环境温度高 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 时，可按电动机额定电流降低一个等级选择发热元件。反之，当电动机比热继电器的环境温度低 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 时，可按电动机额定电流高一个等级选择发热元件。

选好热继电器后，还应根据系统的保护要求，将电流作具体的整定。

(四) 速度继电器

速度继电器是一种能反映转速大小的电器元件。其结构有两种：一种是利用电磁感应原理工作的感应式速度继电器；另一种是利用离心力作用原理工作的离心式速度继电器。

1. 感应式速度继电器：感应式速度继电器的工作原理与感应电动机的很相似。其结构如图7-1-10所示。它由转子2、定子3和触点7三部分组成。转子是一个永久磁铁，其转子轴与电动机（或其他生产机械）的轴1机械连结在一起，定子为一空心圆铁芯，内部嵌有铜条（绕组）4并在端部用铜环短路。定子也能在一定角度范围内绕转轴偏转。当转子跟随电动机轴一起旋转时，定子上的短路铜条切割转子磁通，产生感应电势和电流，该电流与转子磁通相作用，产生与旋转方向相同的转矩，使定子跟转子旋转方向而偏转。转子转速越高，定子转矩越大。当转子速度达到某一值后，定子转矩克服弹簧8的反作用力，使定子偏转（因转矩很小，又有定位装置，所以只能偏转，而不是旋转）一个角度，于是定子柄5碰撞动触点簧片6，从而改变触点的状态。当转子转速低于 100r/min 时，定子转矩小于弹簧的反作用力，定子柄居于中间位置，触点恢复常态。转子反转时，另一侧的触点状态将根据转速而发生变化。

2. 离心式速度继电器：图7-1-11是机械离心式速度继电器。当转轴转速 n 增大，则重锤6的离心力 F 也增大，重锤通过连杆1带动滑动套筒2。重锤6的离心力克服弹簧5的反作用力，使滑动套筒向下移。当转速升高到某一定值时，滑动套筒带动触点连杆4使触头

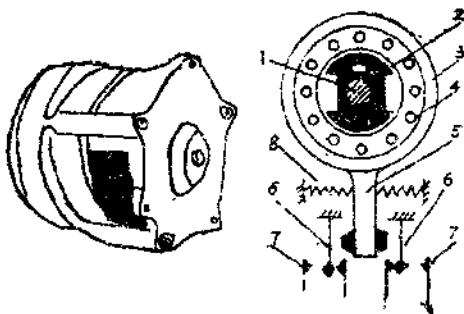


图7-1-10 感应式速度继电器

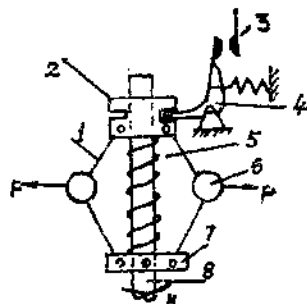


图7-1-11 离心式速度继电器

3 动作。这种离心式速度继电器的触头开闭状态的变化与转子转向无关。

(五) 主令控制器

主令控制器，又称操作开关。它是在控制线路中按预定程序可以频繁切换控制线路的一种手动主令电器。

主令控制器是利用凸轮动作原理做成的。图7-1-12为其结构示意图。凸轮片5装在方轴6上，转动方轴上的手柄凸轮片也跟着转动。当凸角碰到动触点1上的滑轮8后，在弹簧7的作用下，支架3绕定轴4偏转，从而使动触点1与静触点2迅速接通（或断开）。主令控制器在方轴轴线方向上有若干层凸轮片和相应的动、静触点。由于凸轮形状不同或凸角位置不同，所以转动手柄可以使某些触点依次接通或断开，得到不同的触点开关状态。

在型号为 LK 系列的国产主令控制器中，最简单的只控制两条电路，即手柄工作位置为一档（零位、左右各一档，共三个位置）。最多的可控制十八条电路。

主令控制器在控制电路中表示方法：图7-1-13给出了手柄位置仅有一档的主令控制器图

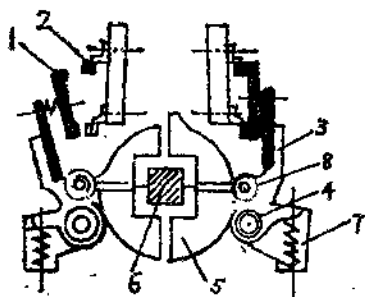


图7-1-12 主令控制器的结构

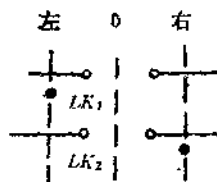


图7-1-13 主令控制器的图示法

示法。用纵向虚线表示控制手柄的不同位置，黑点表示手柄扳到该位置时对应触头应闭合。LK₁、LK₂ 分别为两条控制电路。

表7-1-1 主令控制器触头闭合表

主令控制器对各条电路的控制也可用触头闭合表来表示，如表 7-1-1 所示。表中“×”表示触头所在的相应电路被接通。

触 头	位 置		
	左	0	右
LK ₁	×		
LK ₂			×

思考题与习题

7-1-1 在线圈额定电压(或电流)相同的前提下,交流电器与直流电器能否互相代用(例如额定值为220V的交流接触器能否用在220V的直流控制系统中,或相反)?为什么?

7-1-2 两个线圈额定电压为110V同型号的交流接触器能否串联之后工作于220V的交流电源上?若是直流的行不行?为什么?

7-1-3 交流电器的短路铜环有何作用?一个三相绕组通三相交流电的电磁铁需不需要在铁芯上装短路环?为什么?

7-1-4 某些控制线路常常将同一电器的两个常开(或常闭)触点串联起来使用,这是为什么?是不是多余的?

7-1-5 交(直)流电器是指它的电磁机构是交(直)流的,那么它的触点可否用在直(交)流的控制系统中呢?

7-1-6 把电磁线圈额定电压为220V交流电磁式时间继电器(即空气阻尼式时间继电器)用于电压为220V直流控制线路中,或把电磁线圈额定电压为220V的直流电磁式时间继电器不经整流直接用于电压为220V的交流控制线路中,行不行?会产生什么现象和引起什么后果?

7-1-7 图7-1-14是直流低压(24V)电子式时间继电器(JS-12),试分析其延时动作的原理,并在两个输出触点 J_3 、 J_4 上加表示延时的符号,如果把它用于220V交流控制线路中,应该怎么办?

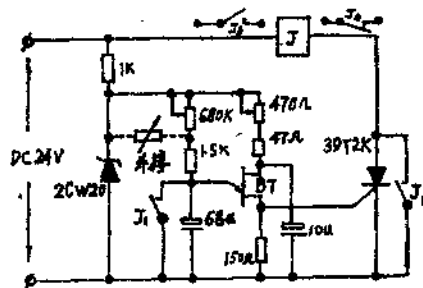


图7-1-14 JS-12型直流延时继电器

7-2 自动控制线路图示法

一、电气线路中电器和元件的图形符号和文字符号

继电接触器控制系统由各种继电器、接触器、按钮、开关、其他电器及电机组成。每个电器又包含若干个元件,如主触头、辅助触头、绕组、电阻等。将有关元件用导线接成一定的电气线路,便组成了一个控制系统。为分析、设计和维护时阅图方便,国家统一规定了电工系统图形符号和文字符号来表示各种电工元器件。因此,在绘制电气线路图时,必须用规定的标准图形符号,图中的电机、电器等电器元件的名称、代号也应按规定的文字符号标注。章末附录一和二列出了国家标准BG312—64和BG315—64的部分电工图形符号和标准文字符号。

二、电气线路图

电气线路图可以分为两部分:主电路和辅助(控制)电路。电动机、发电机等通过大电流的电路属于主电路,其他均属于辅助电路。辅助电路主要是控制、保护、报警等作用的电路,它包括接触器和继电器的线圈、接触器的辅助触头、继电器和其他控制电器的触头及自动装置的其他元件。

根据需要,电气线路图可以绘制成两种不同的形式:

(一) **原理图** 它是说明该电气装置的简单工作原理。它不管电气元件的实际安装位置 and 实际连线情况, 只是把各元件按接线顺序用符号展开在平面上, 用直线将各元件连起来。这种线路图能够清楚地表明电路的功能, 对分析电气系统的工作原理是十分方便的。

(二) **安装图** 又称接线图, 它是将线路图上的电器按照它们的实际布置位置画出来的。这种图是供施工与检修时使用的。

图7-2-1示出了异步电动机直接起动控制原理图与安装图。

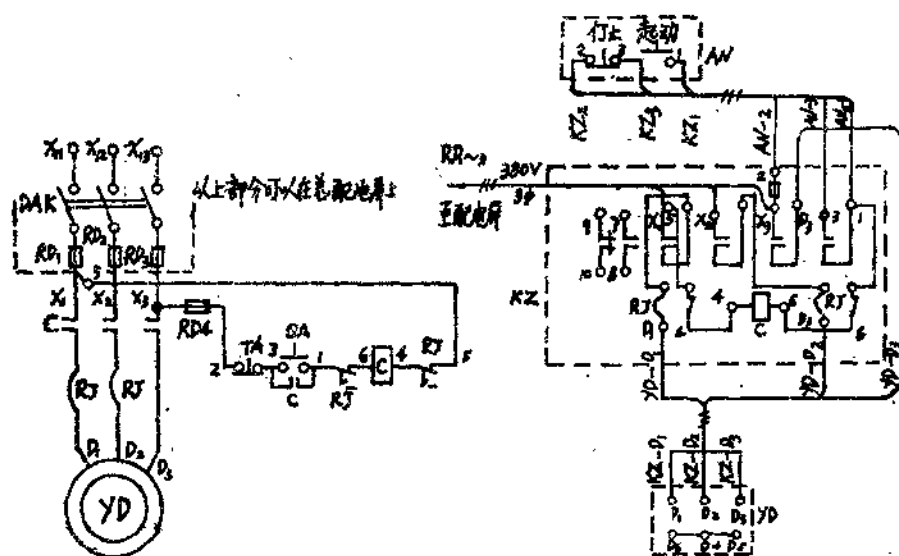


图7-2-1 异步电动机直接起动控制原理图与安装图

三、绘制原理图的规则

绘制原理图的规则也就是阅读原理图的方法。其主要规则归纳如下:

1. 控制系统内的全部电机、电器和其他带电部分都应在原理图中按国家规定的图形符号和文字符号绘制和标注。
2. 同一电器的不同元件可以画在原理图的不同地方, 但必须用同一的文字符号来表示。例如一个接触器的线圈、主触头、辅助触头等都用 C 来表示。
3. 若原理图中有几个同样用途的电器时, 可在同一文字符号前加数字予以区别。例如, 起动电机有 3 个加速继电器, 就可用 $1JJ$ 、 $2JJ$ 、 $3JJ$ 来表示。
4. 图中电器触头的开闭状态以线圈未通电、手柄置于零位、按钮没有受外力作用或生产机械在原始位置的状态作为“正常”状态。例如, 线圈未通电时, 触头呈“断开”状态的称为常开触头, 触头呈“闭合”状态的称为常闭触头。
5. 主电路用粗线绘制。辅助电路用细线绘制。
6. 线路均水平平行排列, 其先后次序则尽量与系统动作的次序相一致。
7. 如将线路由水平变成垂直排列时, 一般是把图形符号逆时针转 90° 角。

思考题与习题

- 7-2-1 根据图7-2-2所示的电器图形符号及文字标号, 说出它们的名称及动作原理。
- 7-2-2 把图7-2-3所示的某设备的电器安装图, 按规范要求绘制成原理图。

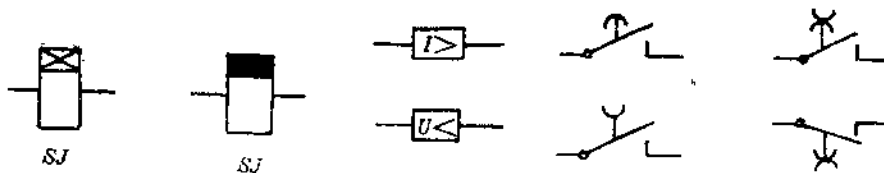


图7-2-2 思考题7-2-1图

7-3 电动机的基本控制环节

任何一个复杂的控制系统，乍看上去元件繁多，结构复杂，然而通过仔细分析和解剖，就不难看出它们总是由一些最基本的控制环节和保护环节，根据生产工艺的要求，按照一定的规律组合起来的。因此掌握这些基本环节是学习电器控制线路的基础。本节首先介绍基本控制环节。

一、电动机的点动控制和连续控制

生产机械常常需要试车或调整，还有一些机械设备在运行过程中，必须有人监

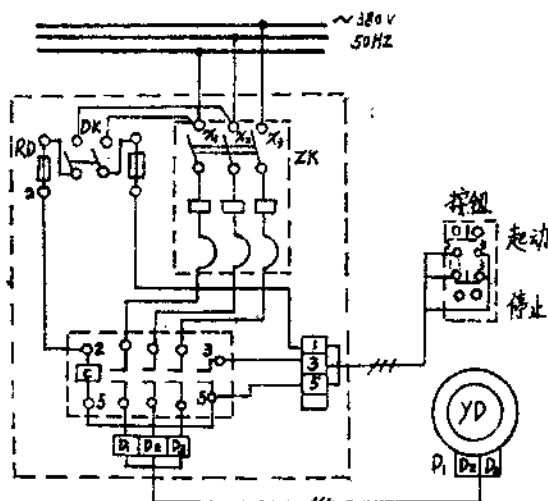


图7-2-3 思考题7-2-2图

督，例如机舱的盘车机，甲板上的救生艇起落机、扶梯起落机等等都需要有“点动”控制环节。图7-3-1 (a) 为最简单的点动控制线路。按下点动按钮 DA ，接触器 C 线圈通电，异步电动机 YD 运转，手放开，电动机停止。而图 (b) 由于采用一个双层按钮，则既可以点动操纵，又可以连续运行。按点动按钮 DA ，其常开（上层）触点闭合，接触器 C 线圈通电，

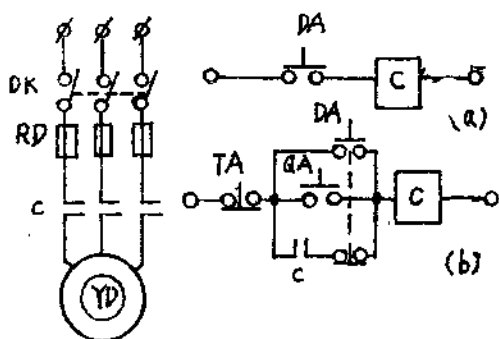


图7-3-1 点动控制线路

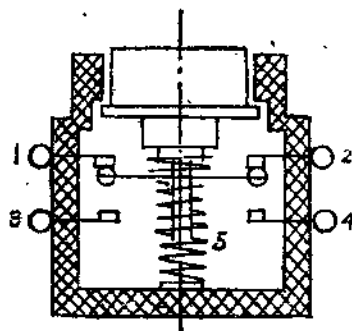


图7-3-2 双层按钮

电动机运转，同时其常闭（下层）触点断开，将接触器自保电路切断而不能自保，因而实现了“点动”操纵。如果松开，按 QA ，则因 DA 常闭（下层）触点恢复闭合，接触器常开辅助触点也闭合（实现自保），所以电动机连续运行。

双层按钮的示意机构如图7-3-2所示。由图可知，按下按钮时，常闭触点（1—2）先开，常开触点（3—4）后闭。

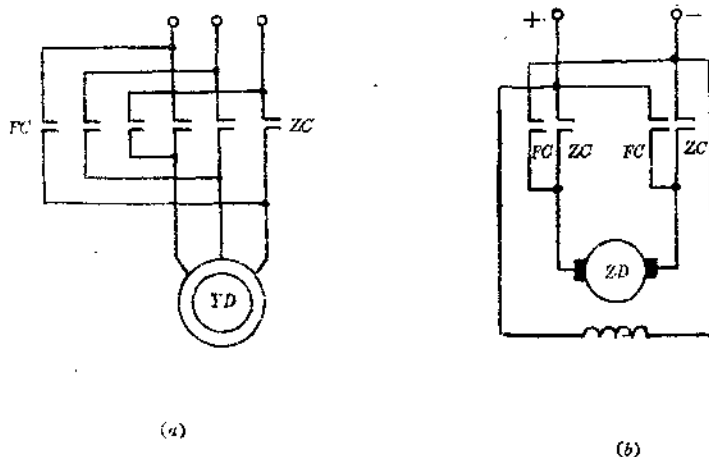


图7-3-3 电动机的可逆(转)主电路
a、异步电动机的可逆主回路；b、直流电动机可逆主回路

二、电动机的可逆(转)主电路

机舱的盘车机，修理间中的设备(如机床)以及很多甲板机械，例如锚机、绞缆机、起货机、救生艇起落机等都要求既可以正转也能反转。图7-3-3示出了异步电动机和直流电动机的可逆主电路。图(a)是通过两个方向接触器ZC(正转接触器)、FC(反转接触器)中的一个“接通”，另一个“断开”，或相反，从而改变加于异步电动机定子三相绕组上电源电压的相序，以实现异步电动机反转的主电路。图(b)也是通过两个方向接触器，改变加于直流电动机电枢绕组两端电压的极性(但磁场电流方向不变)，以实现反转的主电路。

必须指出，如果从正转接触器ZC断开后，反转接触器FC立即接通，电动机就进入反接制动工作状态。这对于直流电动机和大容量异步电动机都是不允许的，解决办法详见反接制动的控制内容。

三、连锁和互锁控制环节

1. 连锁控制环节：生产机械或生产自动线都由许多部件组成。不同的运动部件之间是互相有联系的，而又是相互有制约的。例如某些机床的主轴必须在润滑油泵起动，使齿轮箱有充分的润滑油后才能起动。这种要求可用图7-3-4所示的连锁控制环节加以实现。

图(a)中接触器1C的自锁触点又是连锁接触器2C的连锁触点。只有在接触器1C线圈通电，润滑油泵电动机起动后，接触器2C线圈才能通电，主轴才能运转。如果1C线圈断电，润滑油泵停止泵油，则由于其辅助触点1C打开，接触器2C线圈立即断开，主轴立即停止运转。图(b)是用1C的另一常开辅助触点串入2C的线圈中，同样能满足上述连锁要求。图中YD1为润滑油泵电动机，YD2为主轴电动机。

2. 互锁控制环节：如果要求1C和2C不得同时工作，则应利用互锁环节进行制约。将1C的常闭辅助触点串联在2C的线圈电路之中，将2C的常闭辅助触点串联在1C的线圈电路之中，如图7-3-5所示。这样当接触器1C工作时，其常闭辅助触点断开，接触器2C线圈不能通电。同理若2C工作时，1C也不能工作，实现了互锁。

互锁控制环节常用于电动机的正反转、异步电动机的星—三角形起动、异步电动机的能耗制动、异步电动机采用变极对数的调速等控制线路中。图7-3-5(b)是异步电动机实现正反转的控制线路。该控制线路保证了正向接触器ZC和反向接触器FC线圈不能同时通电