

断续控制系统

吕炳仁 童启明 杨纯久 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

断续控制系统

吕炳仁 童启明 杨纯久 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书内容包括常用低压电器,基本电器控制线路,电器控制线路的逻辑设计,顺序控制器,可编程序控制器及电子控制电路的逻辑设计等六章,并附有大量习题。本书除了第一、二章介绍常用低压电器的基本工作原理及基本电器控制线路的常规分析和设计方法之外,其最大特点是重点讲述逻辑设计方法及其应用,并将其贯穿于以后各章的实际应用中,使逻辑设计方法达到了实用化程度。

本书适合电气技术专业、控制专业的专科、本科学生使用。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

断续控制系统/吕炳仁等编. - 北京:电子工业出版社 1999.9

ISBN 7-5053-4174-X

I. 断… II. 吕… III. 离散系统(自动化) IV. TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 18896 号

书 名: 断续控制系统

编 著 者: 吕炳仁 童启明 杨纯久

责任编辑: 高 平

特约编辑: 知 明

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京大中印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14.25 字数: 359 千字

版 次: 1999 年 9 月第 1 版 1999 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-4174-X
TN·1075

印 数: 5000 册 定价: 18.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

前 言

断续控制系统或称开关控制系统是问世最早、迄今仍应用相当普遍的一种控制系统。编著者自 1990 年至今已为电气技术等专业的本、专科学生开设此课达 8 届。本教材即在授课讲义的基础上加工而成。

教材内容包括常用低压电器,基本电器控制线路,电器控制线路的逻辑设计,顺序控制器,可编程序控制器及电子控制电路的逻辑设计等六章,并附有大量习题。本教材除了第一、二两章介绍常用低压电器的基本工作原理及基本电器控制线路的常规分析和设计方法之外,其最大特点是重点讲述第三章中的逻辑设计方法及其应用,并将其贯穿于第四、五、六各章的实际应用之中,使逻辑设计方法达到了实用化程度。另外,本教材涉及面广,视野开阔。从电器控制到电子控制;从元件到系统;从分析到设计;从逻辑设计理论到新技术应用;从技术实现到经济分析等均有涉及。在叙述方法上,由浅入深,通俗易懂,举例丰富,联系实际,便于自学,适应读者面广。与类似教材相比较,本教材在系统性、理论性、实用性等方面均上升至一个较高的层次。既可作为本、专科在校学生的教材,也为工程技术人员提供实用的帮助。

本教材中吕炳仁编写绪论,第四章及第五章;童启明编写第二章及第三章;杨纯久编写第一章及第六章,全书由吕炳仁统稿。

虽然本教材是编著者在从事多年教学、科研、产品开发、社会调研等基础上完成的,但是,编著者深感自己的理论造诣和实际经验方面仍相当欠缺。由于水平所限,书中的缺点、错误恐难避免,敬请读者不吝指正。谢谢!

编著者

绪 论

日新月异的自动控制技术和自动控制系统,在国民经济的各个领域发挥着越来越大的作用。虽然随着电子技术及计算机技术的发展,在许多控制系统中采用了数字计算机,然而由于历史、经济、技术等方面的原因,在许多的场合仍然沿用着以继电器、接触器为核心的电器控制系统。

在工业产品生产制造领域应用自动控制技术,毫无疑问,能够大幅度提高生产效率和产品质量,大幅度地减轻和解脱人的体力劳动及重复性手工操作。比如在半自动转塔车床上,只要预选好加工程序、装卡好待加工毛坯,按动起动按钮之后,车床的前刀架、转塔刀架、后刀架、主轴就会按预选的工作顺序和速度工作,自动地加工出合格的零件。再如塑料注射成型机,只要预选好各工步的速度和压力,装卡好模具且通入冷却水,并将注射筒加热至设定温度、关闭安全门,机器就能自动完成合模、座进、注塑、保压、冷却、预塑、防涎、座退、开模、顶出、顶退等工步,完成一个加工循环之后会自动进入下一个加工循环,塑料制品也就被源源不断地制造出来了。

自动控制系统乍看起来种类繁多,但就控制器的控制机理来分,大致为三类:连续控制系统、数字控制系统和断续控制系统。

在连续控制系统中,控制器的输入量、运算量及输出量均为连续变化的模拟量。比如控制龙门刨床主轴运动的直流调速系统,无论是采用交磁放大机、磁放大器,还是采用直流发电机或晶闸管驱动,皆为连续控制系统。在数字控制系统中,控制器的输入量、运算量和输出量均为数字量。在受控量为模拟量的场合,可以采用模/数及数/模转换器件与控制器相配合实现控制。比如数控机床、数控线切割机及其它一些过程控制系统中的数字控制器等。在断续控制系统中,控制器的输入量、运算量及输出量都是断续变化的开关量,故又有开关控制系统之称。如上述塑料注射成型机的液压驱动继电器逻辑控制系统、半自动转塔车床的顺序控制系统等就是典型的断续控制系统。

断续控制系统的组成如下面框图所示。

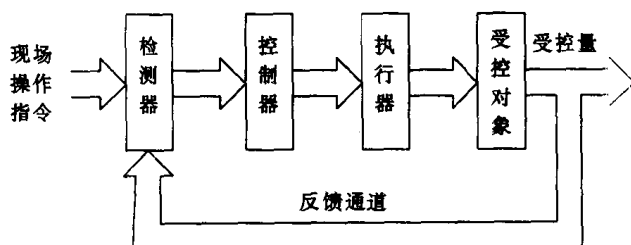


图0-1 断续控制系统框图

其中检测器是由检测元件组成的。它们检测控制系统的现场操作指令及受控量,并负责将模拟量转换为开关量,然后输入到控制器中。常用检测元件如按钮开关、组合开关、主令控制器、行程开关及速度继电器、压力继电器、热继电器、电压继电器、电流继电器等。控制器是由控制元件(或称运算元件)组成的,它接收检测器传来的开关信号,然后进行逻辑运算、定时运算、计数运算等,最后将运算结果送入执行器。常见的控制元件有中间继电器、时间继电器、计数器

等,通常控制元件也被称为运算元件。随着可编程序控制器的发展,新一代控制器的功能已不局限于逻辑、定时、计数等运算,还可实现逻辑判断、记忆、跳转、移位、数据存储和传送,以及四则运算等多种功能。执行器接收控制器传来的开关信号并驱动受控对象动作,常由接触器、电磁阀、电磁铁、电磁离合器等执行元件组成。受控对象是由能够带动生产机械、设备工作的动力元件、指示元件及报警元件等组成,如电动机、液压缸、指示灯、报警器等。系统受控量的类型、大小是由受控对象的性质及工作状态决定的,而受控量的变化规律则是由控制器控制的。当然控制器如何设计、受控量如何变化取决于机械设备的工艺过程要求。

有一点应该注意,图 0—1 中的反馈通道是将系统受控量,即反映受控对象工作状态的模拟量反馈给检测器,但这里的反馈不同于连续控制系统和数字控制系统中的反馈。后两者反馈的目的是为使系统尽快进入稳定工作状态,也就是说要使受控量跟踪或复现给定量,而断续控制系统中反馈受控量只是为使系统按照预定程序动作。可以说断续控制系统中的反馈与连续控制系统和数字控制系统中的反馈有质的不同。另外,在断续控制系统反馈通道中传输的不仅有正常工作时的受控量,还经常包含有系统出现故障时产生的保护信号。

断续控制系统是三类控制系统中问世最早、迄今应用相当普遍的一类控制系统,其发展过程可大致分为四个阶段。

20 世纪 20~40 年代出现的以按钮开关、继电器、接触器为主体组成的继电器逻辑控制系统(也称为继电接触器控制系统),是第一代断续控制系统,完全采用有触点逻辑控制方式,系统中各元件触点的接通与断开即对应逻辑“1”和逻辑“0”。它首先应用于电力拖动自动控制系统之中,尔后又与电磁阀相结合,形成有触点的液压、气动控制系统。50~60 年代出现了以无触点逻辑元件为主的无触点逻辑控制系统,其中电子器件(如逻辑门、触发器)较为常用,将电平的高低作为逻辑“1”和逻辑“0”,即可实现开关逻辑控制。由于电子技术的飞速发展,电子逻辑器件集成化程度越来越高,选用体积小、功耗低的逻辑芯片构成控制系统也就变得容易可行。70 年代发展起来的顺序控制器是一种由电子元、器件及继电器组成的通用控制器,其逻辑运算是通过二极管矩阵实现的。它与前面两种控制器的根本区别,在于可以通过改变二极管的插接位置来适应不同工艺过程的控制要求,也就是说可以实现硬件编程。70 年代以后出现的可编程序控制系统,它是以微处理器为核心的电子控制器(称为可编程序控制器)进行控制的。由于控制器中采用了计算机技术,能够实现软件编程,所以其控制功能要比前三种丰富很多,是目前断续控制系统的前沿应用技术,发展前景十分广阔。

综上所述,断续控制系统的发展过程,实际上主要是其控制器本身的发展过程。这四种控制方式目前均有应用,以第一种最为普遍,第四种发展最快。

编写本书之目的,主要在于介绍应用广泛的断续控制原理及断续控制系统。与有关方面的文献相比更侧重系统设计和系统综合,以较大篇幅讨论了断续控制系统的逻辑设计方法,详细介绍了可编程序控制器的工作原理及其实用控制程序设计。为兼顾工程技术、维修、管理人员的应用及工科大、中专学生学习之所需,书中列举了比较丰富的应用实例。相信读者在掌握了本书所述的基本内容之后,会对断续控制系统的理论和方法有更全面深入的理解,会对工程实践水平的提高有很大促进。

第一章 常用低压电器

凡是自动或手动接通和切断电路,实现对受控对象切换、控制、保护、检测、变换及调节目的的电气元件统称为电器。工作在交流 1200V 或直流 1500V 以上的电器,称为高压电器,如高压断路器、隔离开关、高压熔断器、避雷器等。工作在交流 1200V 或直流 1500V 以下的电器,称为低压电器。低压电器种类繁多,用途广泛,本章我们对一些常用的低压电器作一些简要的讨论。

第一节 电器的基础知识

一、电器的分类

1. 按用途分类

- ① 控制电器:用于各种控制电路或控制系统的电器。如接触器、控制继电器、控制器、起动器等。
- ② 主令电器:用于发送控制指令的电器。如按钮开关、主令开关、万能转换开关、行程开关等。
- ③ 保护电器:用于保护电路及用电设备的电器。如熔断器、热继电器、各种保护继电器等。
- ④ 配电电器:用于电能输送和分配的电器。如刀开关、自动开关等。
- ⑤ 执行电器:用于完成某种动作或起传动作用的电器。如电磁铁、电磁阀、电磁离合器等。

2. 按动作方式分类

- ① 自动切换电器:根据电量或非电量信号自动完成指令任务的电器。如自动开关、交直流接触器、继电器等。
- ② 手动切换电器:需要人工直接操作才能完成指定任务的电器。如刀开关、转换开关、按钮开关等。

3. 按工作原理分类

- ① 电磁式电器:根据电磁感应原理进行工作的电器。如交直流接触器、电磁式继电器等。
- ② 非电量控制电器:以非电物理量作为控制量进行工作的电器。如按钮开关、行程开关、刀开关、热继电器、速度继电器、压力继电器等。

4. 按断续控制系统组成分类

- ① 检测电器:将电的或非电的模拟量转换为开关量的电器,可看作是模拟量至开关量的变送器。
- ② 控制电器:实现开关量逻辑运算及延时、计数的电器。如中间继电器、时间继电器、计数器等。
- ③ 执行电器:接受控制器发出的开关信号而动作(改变状态),并驱动受控元件的电器。如

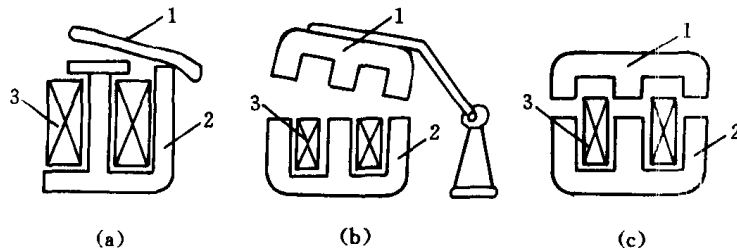
接触器、电磁阀、电磁铁、电磁离合器等。

二、电磁式电器

电磁式电器在控制电路中用量最大、类型最多,但结构原理基本相同。

1. 电磁式电器的电磁机构

电磁机构是电磁式电器的感测部分,其作用是将电磁能转换成机械能,带动执行部分动作,达到接通或断开电路的目的。电磁机构由吸引线圈、铁心、衔铁三部分组成,常见的磁路结构如下图 1-1 所示。



1. 衔铁 2. 铁心 3. 吸引线圈

图 1-1 常用磁路结构

图 1-1(a)所示为衔铁沿棱角转动的拍合式结构,广泛应用于直流电器中;图 1-1(b)为衔铁沿轴转动的拍合式结构,铁心形状有 E 形和 U 形两种,多用于触点容量较大的交流电器中,图 1-1(c)为双 E 型直动式结构,常用于交流接触器、继电器中。

直流电磁铁的铁心用整块钢材或工程纯铁制成,而交流电磁铁的铁心则用硅钢片冲压叠铆而成。因直流电磁铁的铁心不发热,只有线圈发热,所以直流电磁机构中的吸引线圈制成高而薄的瘦高型,且不设线圈骨架,直接绕制在铁心上,以利于散热。而交流电磁铁的铁心中存在磁滞和涡流损耗,使铁心和线圈都发热,故交流电磁机构中,吸引线圈常制成矮胖型,且绕制在骨架上,以利于线圈和铁心同时散热。

2. 电磁式电器特性

(1) 吸力特性

在外加电压一定的情况下,电磁吸力与气隙之间的关系称为电磁机构的吸力特性。记为:

$$F = f(\delta) \quad (1-1)$$

根据麦克斯威尔公式,磁通密度 B 均匀分布时,

$$F = \frac{B^2 S}{2\mu_0} \quad (1-2)$$

或

$$F = \frac{\varphi^2}{2\mu_0 S} \quad (1-3)$$

式中, F ——电磁吸力,单位是牛顿(N);

B ——磁通密度,单位是特斯拉(T),即韦伯/米²(Wb/m²);

φ ——磁通,单位是韦伯(Wb);

S ——气隙面积,单位是平方米(m²);

μ_0 ——空气导磁系数, $4\pi \times 10^{-7}$, 单位是亨/米(H/m);

因此电磁吸力可按式(1-3)近似计算:

$$F = 4 \times 10^5 B^2 S = 4 \times 10^5 \frac{\varphi^2}{S} \quad (1-4)$$

当 S 为常数时, F 与 φ^2 成正比。

对于直流电磁机构, 当外加电压和线圈电阻不变, 线圈中的电流也不变时, 根据安培环路定律有:

$$\varphi = \frac{IN}{R_m} \quad (1-5)$$

式中 R_m ——磁阻。因为 $F \propto \varphi^2$, 所以

$$F \propto \frac{1}{R_m^2} \quad (1-6)$$

即电磁吸力与磁阻的平方成反比, 故这时吸力特性如图 1-2 所示。

对于交流电磁机, 设外加电压 U 为一稳定的正弦交变电压, 则吸引线圈中的磁通也按正弦规律变化, 即有:

$$\varphi = \varphi_m \sin \omega t \quad (1-7)$$

式中, φ_m ——磁通幅值, 单位为韦伯; ω ——磁通变化角频率, 单位为弧度/秒。

$$\varphi_m = \frac{U_m}{2\pi f N} = \frac{U}{\sqrt{2} \pi f N} \quad (1-8)$$

式中, f ——磁通变化频率, 单位为周/秒, 简称赫兹(Hz)。

将式(1-7)代入式(1-3):

$$\begin{aligned} F &= \frac{\varphi^2}{2\mu_0 S} = \frac{\varphi_m^2}{2\mu_0 S} \sin^2 \omega t \\ &= \frac{\varphi_m^2}{4\mu_0 S} - \frac{\varphi_m^2}{4\mu_0 S} \cos 2\omega t \\ &= \frac{F_m}{2} - \frac{F_m}{2} \cos 2\omega t \\ &= F_0 - F_0 \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1-9)$$

式中 F_m ——最大电磁吸力, $F_m = \frac{\varphi_m^2}{2\mu_0 S} = \frac{\varphi_m^2}{S} 4 \times 10^5$; F_0 ——平均电磁吸力, 为 F_m 的一半, $F_0 = \frac{F_m}{2}$

由上式可知, 交流电磁铁的吸力是随时间变化的, 而与气隙 δ 的大小无关。但实际考虑到漏磁的作用, 气隙 δ 减小时, 漏磁减少, 吸力 F 略有增加, 如图 1-3 所示。

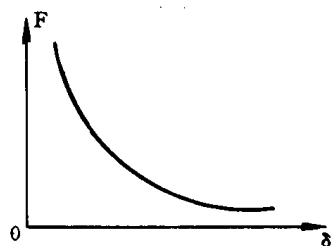


图 1-2 直流电磁机构吸力特性

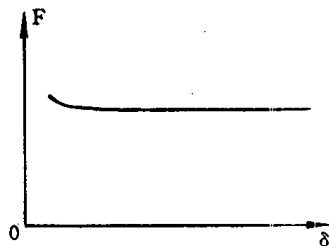


图 1-3 交流电磁机构吸力特性

(2) 反力特性

反作用力与气隙之间的关系,称为电磁机构的反力特性。记为:

$$F_f = f(\delta) \quad (1-10)$$

电磁机构中的反作用力是一种合力,是由释放弹簧及触点弹簧产生的,会因机构设计和安装位置不同而有所区别。图 1-4 为一水平放置的继电器,其反力特性如图 1-5 所示。

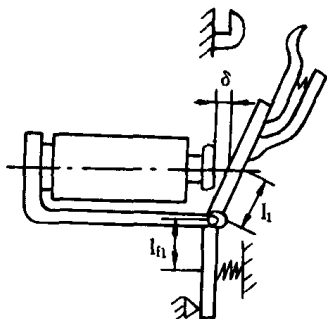


图 1-4 电磁机构示意图

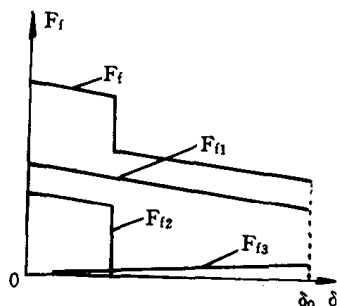


图 1-5 反力特性示意图

图 1-5 中的 F_{f1} 曲线为反力弹簧反力 F_{f0} 归化到铁心中心线而得,即:

$$F_{f1} = \frac{l_{f1}}{l_1} F_{f0}$$

图中 F_{f2} 为触点弹簧反力的归化曲线, F_{f3} 为机构中运动部分(衔铁、动触头)重力的归化曲线,归化方法与 F_{f1} 相同。

(3) 吸力特性与反力特性的配合

为保证电磁机构正常工作,衔铁吸合过程(即气隙 δ 随时间减小过程)中,吸力特性要高于反力特性,即电磁吸力始终大于反力。但太大也没有好处,尤其在吸合的后半程,吸力过大会造成较大的冲击,不但引起振动、发出噪声,而且将减短机械寿命和电气寿命。另外为提高吸力,就需消耗较多的能量。因此在保证吸合的前提下,吸力特性越接近反力特性越好。当吸力特性低于反力特性时,毫无疑问衔铁将会释放。

3. 电磁式电器返回系数

电磁式电器的返回电压 U_f 或电流 I_f (称为返回值)与动作电压 U_c 或电流 I_c (称为动作值)之比称为返回系数。记为:

$$\beta = \frac{U_f}{U_c} \quad \text{或} \quad \beta = \frac{I_f}{I_c} \quad (1-11)$$

返回系数是一个描述电磁机构动作灵敏程度的参数,它反映的是电磁机构吸合后再释放的能力。现在我们对该参数的性质作一些讨论和分析,同时对其调整方法作一些说明。

图 1-6 所示为典型拍合式电磁机构的吸力特性与反力特性曲线。在初始气隙 δ_0 时,其反力为 F_{f1} (其中包括重力及复位弹簧反力等)。当线圈电流达到动作值 I_c 时,电磁吸力 F_1 与 F_{f1} 相等,衔铁开始动作而吸合。到达最终气隙 δ_2 时,反力增至 F_{f2} ,而在 I_c 不变时吸力增至 F_2 。

当线圈电流降低至返回值 I_f 时,电磁吸力降为 $F_3 (= F_{f2})$,衔铁即可返回到打开位置。

在气隙为 δ_2 时,有:

$$F_2 = KI_c^2, \quad F_3 = F_{f2} = KI_f^2$$

式中, $F \propto \varphi^2 \propto I^2$, 故取一比例常数 K 。这样得到:

$$I_c = \sqrt{\frac{F_2}{K}}, \quad I_f = \sqrt{\frac{F_3}{K}} = \sqrt{\frac{F_{f2}}{K}}$$

因而有:

$$\beta = \frac{I_f}{I_c} = \sqrt{\frac{F_{f2}}{F_2}}$$

由图 1-6 可知: $F_{f2} = F^2 - F'$, 所以得到:

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{F'}{F_2}} \quad (1-12)$$

由上式可知 β 始终小于 1, 若要提高返回系数值, 必须减小 F' , 即要使吸力特性与反力特性尽量一致, 反之即会降低返回系数 β 的值。

对返回系数的不同要求是根据不同的应用场合提出的。保护电器应该反应灵敏, 电压电流的波动不能超过一定范围, 这时就要求 β 要大一些 (一般要求大于 0.8); 而对于控制电器来说, 要求有一定的自保持能力, 希望电压或电流在有较大下降时才返回, 因此要求 β 小一些 (一般要求不大于 0.3)。

下面我们具体讨论一下改变返回系数的方法。

(1) 改变衔铁行程

图 1-7 表示的是相同吸力特性和反力特性的情况下, 改变衔铁行程对 β 的影响。在图 1-7 (a) 中, 当增大终止气隙 δ_z 到 δ'_z 时, 衔铁释放时对应的吸力特性曲线有所提高 (如图中 F'_{if} 曲线所示), 即线圈中电流无需降至 I_f 衔铁即被释放。因这时动作值 I_c 不变 (即衔铁吸合时的吸力特性不变), 所以使返回系数 β 增大。再看图 1-7 (b), 终止气隙 δ_z 不变, 而减小初始气隙 δ_0 到 δ'_0 , 这时返回值 I_f 不变, 而衔铁吸合时的吸力特性曲线下降 (如图中 F'_{ic} 曲线所示), 即线圈电流未达到 I_c 时衔铁就开始吸合, 同样也使 β 增大。

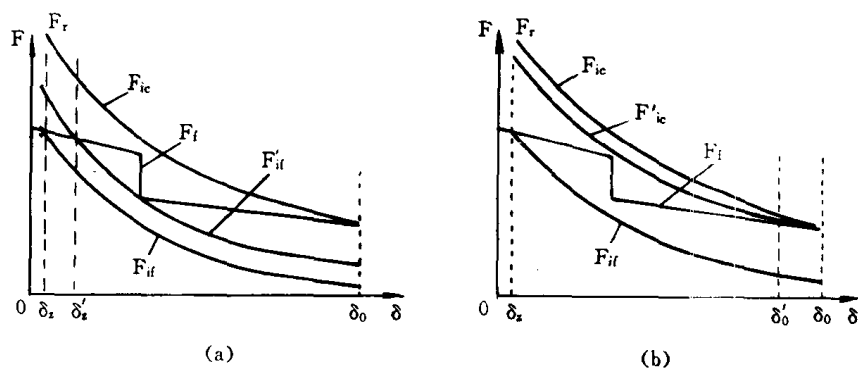


图 1-7 改变衔铁行程对返回系数的影响

总之, 当衔铁离铁心近时, 较小的电流就可使之吸合; 吸合之后的气隙较大时, 电流稍有下降, 衔铁即被释放。也就是说, 减小衔铁行程, 返回系数增大; 反之, 返回系数减小。由式 (1-11) 也可知, I_c 不变时, β 随 I_f 增大而增大; I_f 不变时, β 随 I_c 减小而增大。

(2) 整定反力特性 (即使反力特性上下平移)

如图 1-8 所示的两条反力特性曲线, 调紧反力弹簧时曲线 F_f 即上升为 F'_f 。

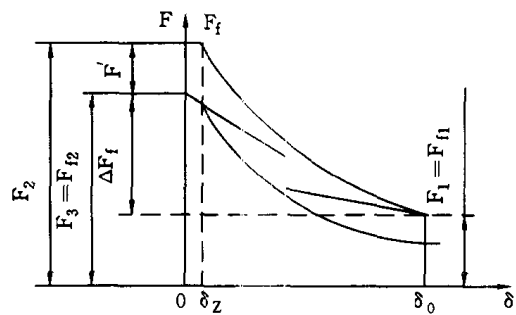


图 1-6 拍合式电磁机构吸力特性和反力特性

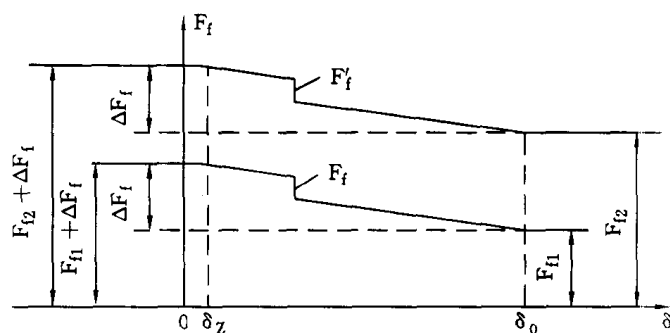


图1-8 整定反力特性对返回系数的影响

当 $\delta = \delta_0$ 时, 曲线 F_f 对应的动作电流为 I_{c1} , F'_f 对应的动作电流为 I_{c2} , 因而衔铁吸合时它们之间的关系为:

$$\frac{F_{f1}}{F_{f2}} = \left(\frac{I_{c1}}{I_{c2}} \right)^2$$

而当 $\delta = \delta_z$, 衔铁返回时, 曲线 F_f 对应的返回值为 I_{f1} , F'_f 对应的返回值为 I_{f2} , 这时:

$$\frac{F_{f1} + \Delta F_f}{F_{f2} + \Delta F_f} = \left(\frac{I_{f1}}{I_{f2}} \right)^2$$

因为:

$$\beta_1 = \frac{I_{f1}}{I_{c1}}, \quad \beta_2 = \frac{I_{f2}}{I_{c2}}$$

所以:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} \right)^2 &= \left(\frac{I_{f1}}{I_{c1}} \cdot \frac{I_{c2}}{I_{f2}} \right)^2 \\ &= \frac{F_{f1} + \Delta F_f}{F_{f2} + \Delta F_f} \cdot \frac{F_{f2}}{F_{f1}} \\ &= \frac{1 + \Delta F_f / F_{f1}}{1 + \Delta F_f / F_{f2}} \end{aligned} \quad (1-13)$$

由图 1-8 知, $F_{f2} > F_{f1}$, 所以 $(\beta_1 / \beta_2)^2 > 1$, 即 $\beta_1 > \beta_2$ 。这就是我们要得到的结论, 即调整反力弹簧, 整定反力特性时, 会使返回系数发生改变。反力特性提高, β 值减小; 反力特性下降, β 值增大。这说明由磁机构中, 调紧反力弹簧, 动作灵敏度下降, 而若放松反力弹簧, 灵敏度提高。

(3) 改变反力弹簧刚度

图 1-9 所示为吸力特性不变时, F_{f1} 曲线是刚度较大反力弹簧的反力特性, F_{f2} 是刚度较小反力弹簧的反力特性。对应 F_{f1} 的返回值是 I_{f1} , 对应 F_{f2} 的为 I_{f2} 。因为动作值同为 I_c , 而 $I_{f1} > I_{f2}$, 所以采用刚度大的反力弹簧具有较大的返回系数, 反之返回系数较小。

(4) 改变吸力特性与反力特性的配合

图 1-10 表示了反力特性一定, 吸力特性与反力特性的配合发生变化时的情况。由图可知, 衔铁吸合时, $I_{c2} > I_{c1}$, 释放时, $I_{f2} < I_{f1}$, 因为

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{I_{f1}}{I_{c1}} \text{ 及 } \beta_2 = \frac{I_{f2}}{I_{c2}} \\ \frac{\beta_1}{\beta_2} &= \frac{I_{f1}}{I_{c1}} \cdot \frac{I_{c2}}{I_{f2}} = \frac{I_{f1}}{I_{f2}} \cdot \frac{I_{c2}}{I_{c1}} \end{aligned}$$

其中: $(I_{f1} / I_{f2}) > 1$, 且 $(I_{c2} / I_{c1}) > 1$, 所以: $\beta_1 / \beta_2 > 1$, 即 $\beta_1 > \beta_2$ 。这说明, 吸力特性与反力特性配

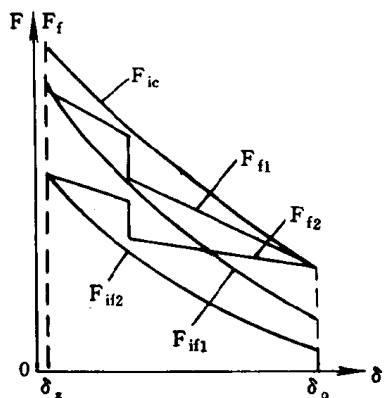


图 1-9 不同弹簧刚度的特性配合

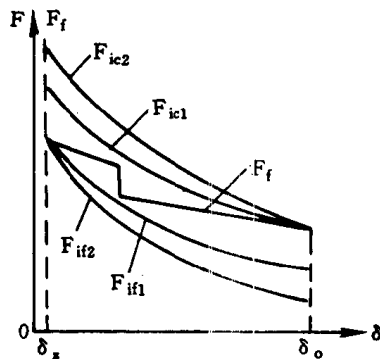


图 1-10 不同特性配合对返回系数的影响

合紧密可得到较大的返回系数,也就是电磁机构动作更灵敏。

返回系数是电磁式电器的重要参数,应根据应用需要合理选择调整。

4. 交流电磁机构中短路环的作用

由式(1-9)已知,交流电磁吸力包含有两个分量,一是恒定分量 F_0 ,即平均电磁吸力;二是交变分量 $F_0 \cos 2\omega t$ 。由图 1-11 所示交流电磁机构的实际吸力曲线可以看出,总的电磁吸力在 0 到 F_m 的范围内变化。

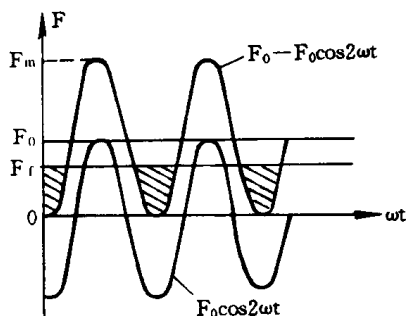


图 1-11 交流电磁机构的实际吸力曲线

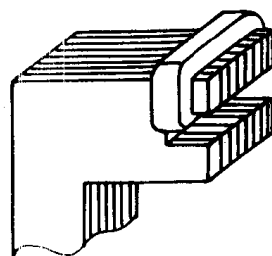


图 1-12 短路环结构

电磁机构在工作中,衔铁始终受反力弹簧、触头弹簧等反力 F_f 的作用,尽管平均电磁吸力 F_0 大于 F_f ,但电磁吸力的瞬时值有时小于 F_f ,如图中阴影线部分。当 $F < F_f$ 时,衔铁开始释放,当 $F > F_f$ 时,衔铁又被吸合,如此反复,衔铁产生振动发出噪声。因此,必须采取有效措施,消除振动和噪声。

具体的办法是在铁心端部开槽,槽内嵌入称为短路环(或称为分磁环)的铜环,如图 1-12 所示。短路环相当于变压器中的副绕组,当线圈通电后,铁心中产生主磁通 φ ,该磁通分为两部分 φ_1 和 φ_2 ,其中 φ_1 在环外, φ_2 在环内。 φ_2 在短路环上产生感应电流 I_k , I_k 所产生的磁势阻滞 φ_2 变化,使 φ_2 在相位上落后于 φ_1 ,这样 φ_1 、 φ_2 不同时为零,由它们产生的电磁吸力 F_1 、 F_2 也不会同时为零。只要合力 $F_1 + F_2$ 的最小值超过反力 F_f ,就能消除振动和噪声。

三、电器的触头形式和灭弧装置

触头(或触点)是有触头(或触点)电器的执行部分,起着接通及分断电路的作用。因此要求

触头具有良好的导电、导热性能,所以一般用铜材制成。但铜表面易被氧化,氧化铜不是良导体,会增大触头的接触电阻,使触头的损耗增大,温度上升。为克服这种缺点,在小容量电器中常采用银质材料制成触头,这不仅在导电、导热性能上优于铜质触头,更主要的是氧化银的电阻率与纯银相近(而氧化铜的电阻率可达纯铜电阻率的十余倍以上),且在较高温度下才会形成,又容易粉化。所以,银质触头具有较低和较稳定的接触电阻。对于大中容量低压电器,触头设计常采用滚动接触方式,这样有利于去除氧化膜,因而也常采用铜质触头。

触头的结构型式主要有桥式和指形两种,如图 1-13 所示。

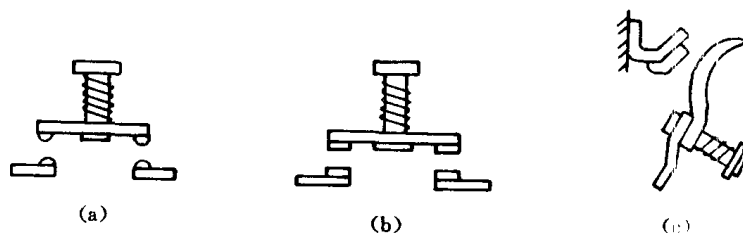


图 1-13 触头的结构型式

图 1-13(a)为点接触的桥式触头,图 1-13(b)为面接触的桥式触头,两个触头串接在同一电路中,电路接通与分断由两个触头共同完成。

图 1-13(c)所示为指形触头,接触区为一直线,触头接通或分断时产生滚动摩擦,以利于去掉氧化膜。为使触头接触更加紧密,减小接触电阻,并消除开始接触时产生的振动,故在触头上装有接触弹簧,使触头接触时产生初压力,并随触头闭合增大触头间的互压力。

在电路的接通分断过程中,触头要经历如下四个工作状态:

①在断开位置:这时触头间要承受电压,因而要求触头间有良好的绝缘强度以保证可靠地断开电路。

②接通过程:触头在动作电流下接通电路,要求避免触头振动,否则触头易被熔焊在一起,即触头部分熔化而粘合使触头不能再打开。

③在闭合位置:这时电路接通,就要尽量减小触头本身的电阻及触头之间的接触电阻,以减小触头的发热。

④分断过程:触头分断电路时,电压在 10~20V 以上,电流在 80~100mA 以上,触头打开的间隙就会产生电弧。

电弧对于电器及电路的不利影响主要在于:第一,由于电弧的存在,使应分断的电路实际未被分断;第二,电弧的温度很高,易使触头熔化;第三,电弧向周围喷射,会损坏电器设备,还可能造成短路故障。

电弧是一种气体放电现象,就是触点间隙中的气体被游离产生大量的电子和正离子,于是绝缘的气体变成了导体,电流通过这个游离区时所消耗的电能转变为热能和光能,产生光和热效应。

产生电弧的原因首先是强电场发射:触点开始分离时,间隙很小,电路的全部电压几乎都加在这个很小的间隙上,电场强度很高,将阴极表面的电子拉出来,即所谓强电场发射。其次是热电子发射:正离子撞击阴极使阴极发热,在高温下,阴极金属中的电子能量增加,当达到一定值的时候,电子便从金属表面逸出。第三是撞击游离:触点间隙中的自由电子在电场力作用下,不断加速,获得足够动能后撞击中性分子,使其外层的电子被游离出来。第四是高温游离:当电弧间隙中气体的温度升高时,气体分子的强烈运动造成的碰撞,使中性分子游离为电子和正离子。

电弧间隙中产生游离的同时,还存在消游离。消游离有复合与扩散两种方式。

所谓复合,是指正离子和电子接近时,异性电荷相吸,结合成中性分子。另外,电子附着在中性原子上成为负离子,负离子与正离子相遇也会复合为中性分子。这种复合只在离子运动速度较低时才可能发生,故利用液体或气体冷却电弧,或将电弧挤入绝缘壁做成的窄缝中,使电弧内部热量迅速导出,离子运动速度降低,可以加速复合过程。

所谓扩散,是指弧柱内的电子、正负离子从浓度大、温度高的地方扩散到周围的冷介质中,扩散出来的电子、离子互相结合成为中性分子。降低弧柱周围的温度或减小电弧的直径,可使电弧内部电子、离子的浓度增加,浓度越大,扩散作用越强。

游离和消游离速度相等时,电弧稳定燃烧,若消游离速度大于游离速度时,电弧就可熄灭。所以熄灭电弧可以从两方面考虑,一方面要尽量减少输入电弧的能量以减弱游离作用,另一方面是尽量把电弧中的能量快速导出,加强消游离作用。为达到上述目的,基本方法有:

- ①迅速拉长电弧;
- ②用电磁力使电弧在冷却介质中运动;
- ③将电弧挤入绝缘壁组成的窄缝中的加以冷却;
- ④将电弧分成许多串联的短弧;
- ⑤将电弧密封在高气压的容器中。

常用的灭弧装置有以下几种:

1. 电动力吹弧

图 1-14 所示为桥式结构双断口触头系统,触头开断时在断口中会产生电弧。这时触头之间的磁场方向如图中“+”所示,根据左手定则,电弧电流受到指向外侧的电动力作用,这样电弧会向外运动并被拉长,从而穿过冷却介质被冷却并被熄灭。

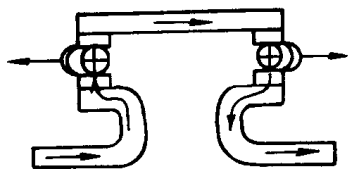
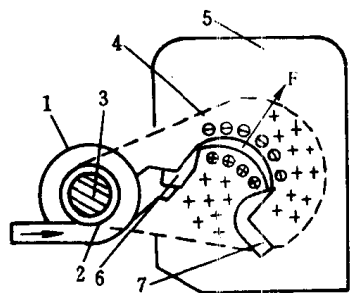


图 1-14 双断口电动力吹弧



1. 磁吹线圈 2. 绝缘套 3. 铁芯
4. 导磁夹板 5. 灭弧罩 6、7. 触头

图 1-15 磁吹灭弧装置示意图

2. 磁吹灭弧

其原理如图 1-15 所示。在触头电路中串入磁吹线圈,它产生的磁通如图中“+”所示。当触头在分断过程中产生电弧后,电弧电流受力方向如图所示,被拉入灭弧罩内。这种方法的优点是:当电流方向改变时,磁场的方向也随之改变,但电弧受力方向并不改变。其缺点是:电弧电流越小,磁场强度越弱,电弧受力越小,灭弧能力越差。

3. 窄缝灭弧

这种方法是在灭弧罩内设有纵缝结构,上窄下宽,如图 1-16 所示。触头分断时,电弧在电动力作用下进入缝内,窄缝将弧柱直径压缩,使电弧同缝壁紧密接触,加强冷却和消游离作用,加快灭弧。目前,已普遍采用多纵缝灭弧室,可将电弧引入灭弧室后使其分为若干段直径很小的电弧,以增强消游离作用。

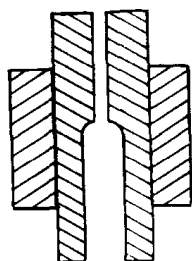


图 1-16 窄缝灭弧原理示意图

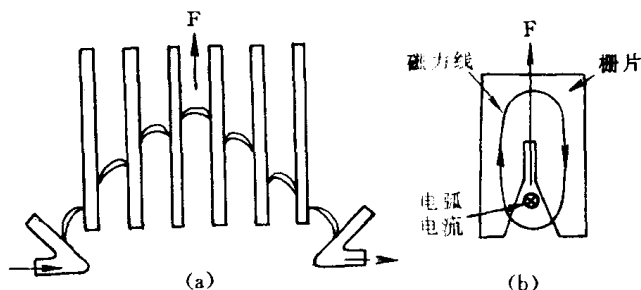


图 1-17 栅片灭弧原理示意图

4. 栅片灭弧

图 1-17 为栅片灭弧原理示意图。当触头分断时,产生的电弧在电动力 F 的作用下被推入一组静止的铁片中,这组铁片称为栅片,彼此间相互绝缘。电弧进入栅片后,被分割成若干串联的短弧,如图 1-17(a)所示。每片铁片对电弧的作用力方向如图 1-17(b)所示。每两片栅片可被视为一对电极,每对电极之间都有 $150\sim 250\text{V}$ 的绝缘强度,使整个灭弧栅的绝缘强度大大加强。而每个栅片间的电压不足以达到电弧燃烧电压,同时栅片吸收电弧热量,使电弧迅速冷却,故电弧进入灭弧栅后能很快熄灭。

利用栅片熄灭交流电弧时,还可充分利用“阴极效应”。所谓阴极效应指的是:在分断交流电路时,电弧电流过零瞬间,间隙中的电子和离子的运动方向要随电极极性的变化而改变。由于正离子的质量比电子大许多,所以当极性变化,阳极变阴极,阴极变阳极时,原来阳极附近的电子能很快地回头朝相反方向运动(向改变后的阳极),而正离子几乎还停留在原来的地方。由于电子跑向阳极,使阴极附近缺少电子而只剩下正离子(如图 1-18 所示),缺少电子就会中断电流,促使电弧熄灭。因为交流电流在一个周期内两次过零,即两次改变极性,使阴极效应更明显。这也就是交流电器宜采用栅片灭弧的原因之一。

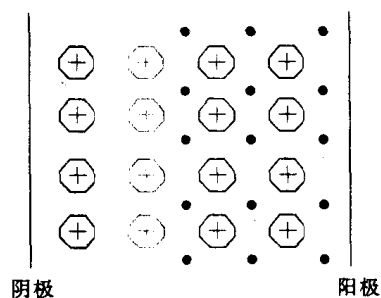


图1-18 阴极效应

第二节 检测电器

在以下几节中,我们根据低压电器在断续控制系统中的分类及基本用途,对常用低压电器设备进行一些简要介绍。

检测电器的作用是将模拟量转换为开关量。输入量可以是电流、电压等电量,也可以是温度、行程、速度、压力等非电量,而输出则是触点通、断的开关量。

实际在控制系统中实现模拟量到开关量转换过程的可以是一个完整独立的电器元件,也可能只是其中的一部分。

一、按钮开关

作为一种接通或分断小电流电路的主令电器,按钮开关结构简单、应用广泛。在低压控制电路中,远距离操纵接触器、继电器等电磁式电器时就经常使用按钮开关发出控制信号。

按钮开关由按钮帽、复位弹簧、桥式触点和外壳等组成。典型结构如图 1-19 所示,按下按钮时,动断触点先分断,动合触点再闭合。松开按钮时,在复位弹簧的作用下,触点恢复原状。

为标明各按钮作用,避免误操作,通常将按钮帽做成不同的颜色来区别,如以红色作为停止按钮,绿色作起动按钮等。图 1-20 为按钮开关的图形符号和文字符号。

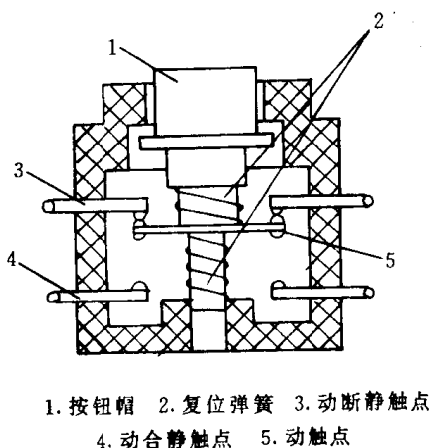


图 1-19 按钮开关结构示意图

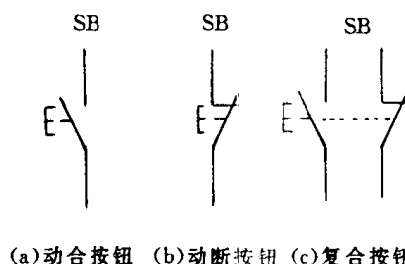


图 1-20 按钮开关的图形和文字符号

二、行程开关

行程开关又称为限位开关,是一种利用生产机械的某些运动部件的碰撞将机械量的模拟信号变换为开关量电信号,来发出控制指令的主令电器。通常用于反映机构的运动方向或所在位置,可实现行程控制以及极限位置的保护。

行程开关的工作原理和按钮开关类似,按结构可分为直动式、滚轮式和微动式三种。行程开关通常由操作头、触头系统和外壳组成。操作头为感测部分,它接受机械设备发出的动作信号,将其传递到触头系统。触头系统是执行部分,它将操作头传来的机械信号,通过自身转换动作变换为电信号,输出到有关控制回路。

图 1-21 为滚轮式行程开关的内部结构原理图。如图所示,当滚轮 1 被向左推动时,上转臂 2 以中间支点为中心向左转,由盘形弹簧 3 带动下转臂 4 向右转动。于是小滑轮 5 向右滚动,此时弹簧 7 被压缩而存贮能量。当下转臂 4 转过中点推开右压板 8 时,推杆 6 在压缩弹簧 7 的作用下,迅速作顺时针转动,使动断触点 10 迅速断开而动合触点 11 迅速闭合。当滚轮 1 被放松时,在复位弹簧 9 的作用下恢复原状。适当调整 9 的刚度,则行程开关不能自行复原,需外力再向右推动时方可复原,成为“双稳状态”。

图 1-22 为行程开关的图形和文字符号。