

3929

中等专业学校試用教科书

电 器 原 理

湘潭电机学院电器教研室編



中国工业出版社

6001649

TM 5

前 言

电器原理是电器制造专业重要专业課之一，也是該专业的理論基础課。我院中专部設置电器制造专业虽已多年，該課程却始終沒有教科书，以致在一定的程度上影响了教学质量。我院电器教研室在1959年就开始酝酿编写这門課程的教科书的工作，1960年正式进行分工編写預定于1961年出版。今年上半年大抓教材，这就加速了这本书的定稿出版工作。

为了使本书的内容适合于中等专业学校学生的程度，现在将电器工作过程中最普遍的物理現象列为七章加以闡述。至于一些不太普遍的物理現象，如非綫性阻抗、双金屬元件及感应式結構等，則未涉及，这部分内容可以在其他課程中去讲。本书所論述的主要是发热、电动力、电弧、电接触联結和电磁鉄等的現象、原理及基本計算方法。

使用本书时，也可以根据各校电器制造专业的重点，对内容加以取舍。如以高压电器为重点，則第七章电磁鉄的动力学，可以少讲；如以低压电器为重点，則第四章电弧等一些較深的内容可以略去。

本书系我院电器教学研究室集体編写的。由于我們的水平不高并缺乏教学經驗，书中缺点及錯誤在所难免，希望各校老师在試用后多提出宝贵意見，以便在再版时改正或补充。

湘潭电机学院中专部电器教研室

1961年4月

目 次

前言	3	2 游离的条件和游离方式	66
緒論	5	3 电器触头間隙中电弧的产生过程及去 游离作用	69
1 电器的定义与分类	5	4 直流电弧	71
2 电器的用途	5	5 交流电弧	73
3 电器工业与社会主义建設的关系, 我 国电器工业的发展, 成就与展望	7	6 熄灭电弧的基本方法	84
4 电器结构的分析	9	第四章 电接触联结	91
5 課程的任务与內容	11	1 概述	91
第一章 热計算基础	12	2 接触电阻	91
1 概述	12	3 影响接触电阻的各种因素	93
2 电器各部分的最大允許溫度	12	4 接触联结的基本結構	98
3 載流导体中的能量損耗	14	5 可分合接触取接工作时的現象分析	105
4 处于交变磁場中的磁性材料所制零件 中的能量損耗	16	6 接触材料	105
5 热体的散热	18	第五章 电磁铁的磁路計算	108
6 均质导体长期連續工作时的热計算	23	1 概述	108
7 短时及間歇負載下的均质导体的发热	26	2 鉄磁材料的特性	110
8 短路时均质导体的发热	28	3 磁路計算的基本概念	111
9 絕緣导体的发热	33	4 磁路中空气隙磁导的計算方法	115
10 綫圈的发热	34	5 直流磁路的計算方法	121
11 导体截面改变时的溫升計算	36	6 交流磁路的計算方法	128
12 电器的热稳定度	37	第六章 电磁铁的吸力特性及反力特性	132
13 用間接方法决定穩定溫升	37	1 概述	132
14 电器溫度的測量法	38	2 直流电磁铁作用在銜鉄上的吸力的計算	132
第二章 电动力計算原理	41	3 交流电磁铁的吸力	136
1 概述	44	4 反作用彈簧計算	140
2 用能量平衡法計算电动力	46	5 反力特性的計算概述及吸力特性与反 力特性的配合	142
3 用比奧-沙瓦定律求电动力	49	第七章 电磁铁的动力学	145
4 計算电动力的图解分析法	52	1 概述	145
5 交流电动力	53	2 直流电磁铁的动力学	146
6 矩形截面导体(图2-33)間的电动力	63	3 交流电磁铁的动力学	160
7 鉄质狹縫中的电动力	63	复习題	163
第三章 电弧产生及熄灭的理論基础	65	参考文献	166
1 概述	65		

緒 論

1 电器的定义与分类

由于电能具有极易转换为其他形式的能和便于调整控制等优点,因此在生产中、生活中及一切科学技术工作领域中获得广泛的应用。然而从电能的产生、输送到应用,这并不是一个简单的过程,而是很复杂的。例如发电机的端电压随负载而变化,必须有稳定电压的设备,才能符合用户的需要。在高压输电系统中,对于雷电的危害必须设法免除,否则将引起供电中断或毁坏电源。当高低压电力系统中出现短路时,数以万安计的电流也可以将电气设备损坏,故需要有迅速切除故障的自动装置。电动机在启动时将产生巨大的启动电流,影响电力系统的稳定,也要设法弥补这一缺点。总之从发电机到负载之间还必需有许许多多的电工装备配合,才能达到顺利地应用电能的目的。凡是对于电能的产生、输送、应用起控制调整与保护作用的电工装备,就称之为电器^①。也就是有了电器,才能解决上述所罗列的许许多多的问题。

由于电器所起的作用不同,应用的条件不同,因此它的外形、尺寸、重量均不一致。以重量来说,一些按钮开关不到半公斤,而多油式断路器可达20吨以上。就外形尺寸来说,一些继电器小巧玲珑,可置诸掌上,而一些断路器则高达十余公尺。从结构来说,简单的如刀开关、熔断器等不过几个零件,而复杂的断路器其零件数以千计。

为了便于学习和研究,我们必需将上述种类繁多的电器,按一定的规律予以分类。分类的方法很多,有的按所起的作用分为控制电器、调整电器和保护电器。有的则按操作方式分为手动电器和自动电器等。本书所采用的分类是按我国生产厂专业分工的方式来分,即是分为高压电器、低压电器和继电器三大类。

高压电器应用于高压电能系统,如发电厂、变电所和输电线。其电压有3、6、10、15、35、110、220、330、400千伏及以上等级。属于这类电器的有隔离开关、断路器、高压熔断器、互感器、避雷器、电抗器、电力电容器、高压成套配电装置等。

低压电器应用于低压配电系统和电机的控制、调整与保护,电压在500伏以下。一般为交流500、380、220伏,直流440、220、110、48伏等等级。属于这类电器的有刀开关、低压熔断器、自动空气断路器、控制器、变阻器、接触器、主令电器与成套配电装置等。

继电器从所适用的电压来说,本属于低压电器的范围,但是这类电器,在动作原理方面全是一致的。为了更便于研究,把它们另成一类。属于这类电器,有控制继电器和保护继电器。

此外,尚有自动调整器、半导体电器及磁放大器也属于低压电器。

2 电器的用途

根据上述电器的定义,它能对电能的产生、输送、应用起控制调整和保护的作用,因

^① 对非电现象与参数能起控制、调节作用的也称为电器。

此电器应用的范围是很广泛的，除了应用于电力系统与电力拖动之外，还广泛地用在机车、轮船、飞机等运输工具方面，用在国防方面，也用在自动化的装置方面。

为了进一步了解电器的用途与作用，我们可以通过两幅具有代表性的电力系统线路图来看看电器在其中的地位，从而认识电器的具体用途与作用。

我们先来看一幅发电厂的简化线路图（图0-1），在这幅图里包括许多电器（均用阿拉伯字母表示），看看它们的用途是什么？一般发电厂都有几个到十几个汽轮或水轮发电机，图里只画了一个是为了简化线路。从图上看，与发电机紧密联系的1叫做自动电压调整器，它是用来稳定发电机的电压的。在发电机的激磁线路里还有用来改变激磁电流的变阻器2。发电机发出的电能经过断路器5，隔离开关4送到母线。断路器是负责接通与切断电路的。隔离开关是负责隔离电源以便检修的，它不能切断与接通有负载的电路，因为它没有灭弧设备。在这段电路里，还有电流互感器3，可以将电流按比例变小，用普通仪表来测量。

母线是用来分配电能的，电能经多条支路对外输送，如图上所示，有三条支路I、II、III等，母线上也有保护支路，如最上一条安装有避雷器8，使发电机免于受到雷击。母线上还有测量支路，如顺数第二条，接有电压互感器9，可将高压降低用普通仪表来测量，因为直接测量高压是不可能的。母线的电压也就是发电机的电压。

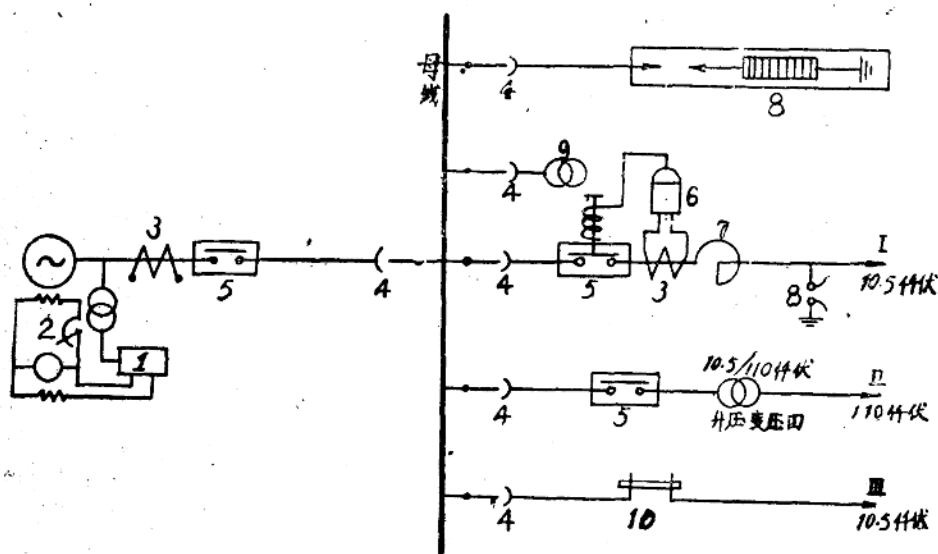


图0-1 发电厂配电线路图。

图中画出了具有代表性的三条电能输送支路。支路I是负载较大的，保护性能要求高（对短路电流的保护），它的断路器配合继电器6不仅能自动断路，而且能自动合闸。电抗器7当电力系统出现短路时有限制电流稳定母线电压的作用。这条支路也有避雷器8。支路II接往一所变电站。在将电能作远距离输送时，为了减低损耗，电压必须很高，可用升压变压器来完成，图中由10.5千伏升到110千伏，这条支路也用了断路器与隔离开关4。支路III是负载小保护性能要求不高的输电线路，它不用断路器而用熔断器10，短路或过载时，

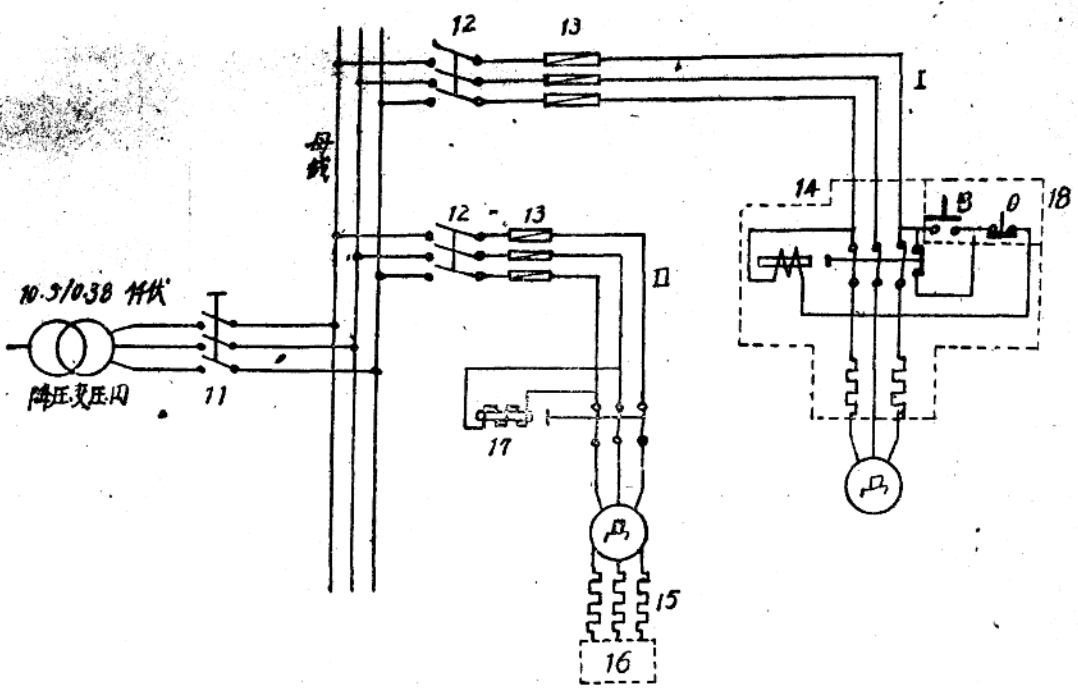


图0-2 工业企业配电所线路示意图。

熔断器熔件熔断，电路就切断。

我們再来看一幅工业企业配电路简化图，这里也包括許多电器，看看它們有那些用途（图0-2）？

从发电厂或变电所用高压輸送来的电能到了用戶（这里是工业企业单位），先用降压变压器降至工作电压380伏或220伏，然后送至母线。低压系統的总开关采用自动空气断路器11，它有与高压断路器一样的用途与性能。从母线分出的支路可分为动力和照明两类，图中未画出照明，只画出了两条动力支路，它們的負載都是异步电动机。在支路I中电能經過刀开关12，熔断器13、磁力启动器14到达电动机。有了磁力启动器就可以用按钮18来开动或停止电动机，代替了人用手操作刀开关。在支路II中，电动机为繞綫式异步机，同样有刀开关12，熔断器13，但磁力启动器为接触器17所代替。接触器有自动启閉作用，但没有过载保护作用。这里的电动机比較大，不能直接启动，故在它的轉子里接入电阻器15及控制器16，控制器就是用来启动电动机及作調速和反向之用的。

根据上述两个綫路图，总的來說，电器是什么？有何用途？用在什么地方？就会有一个初步的概念了。

3 电器工业与社会主义建設的关系，我国电器工业的发展、成就与展望

我国現在正进行着史无前例的大規模的社会主义建設，全国人民在党中央和毛主席的英明领导下，在三面紅旗的光輝照耀下，鼓足干劲、力爭上游、多快好省地以高速度建設

我們偉大的祖國，力爭早日擺脫一窮二白的面貌，迅速發展成為具有現代工業、現代農業和現代科學文化的偉大的社會主義國家。為了實現這一宏偉的理想，在積極實現黨中央於1958年提出黨的社會主義建設的總路綫的同時，積極實現技術革命和文化革命；在技術革命方面的主要任務是：……，使一切能夠使用機器的勞動都使用機器，實現全國城市和農村的電氣化……。並且於1960年又開展了一個以四化（機械化、半機械化、自動化、半自動化）為中心的技術革新和技術革命的群眾運動。

不管是電氣化、機械化或自動化，都離不開電能。因此發展電力工業是一項重要的工作，所以我們把電力工業稱之為“先行”之一，這就是說，電力是開路先鋒。大躍進以來，電力工業的發展極為迅速，生產技術有了相應的提高，根本改變了解放前的落後的狀況，許多大型的水電站正在興建中。

前面已經談到，電能的產生到應用還需要大量的電器來配合，否則電氣化和自動化就無法實現。根據統計，每一萬仟瓦發電設備，高壓電器方面需要高壓斷路器和隔離開關500~600台，還不包括保護設備的電器。低壓電器方面需要電器元件1200件，還沒有包括簡單的電器如刀開關、按鈕等在內。可見對電器的需要是十分大的。因此在發展國民經濟中大力發展電器製造工業是十分重要的。我們的黨和政府在建國一開始就對發展電器工業給予了很大的重視，十二年來已取得巨大的成就，到今天已能基本上適應各方面的需要。

解放以前，我國是沒有電器製造工業的，只是在一些電機廠附帶做些修配工作，或者生產一些電器。但數量甚微，技術水平極低，容量很小，規格混亂。解放以後，由於黨的領導，逐步把電器工業發展起來，首先興辦了一批國營的專業電器工廠，作為全國主要的生產和技術基地。隨着，各省市自治區也辦了許多電器廠。大躍進以後發展更快。這樣，我國電器工業就從無到有，日益成長壯大起來了。

建國十二年來，特別是大躍進以來，在黨的正確領導下，經過全體電器工業職工的努力，以及蘇聯和其他社會主義國家熱情的幫助，電器工業取得了輝煌的成就，可分下列兩方面來談：

（1）高壓電器方面，1955年已製成110仟伏多油斷路器，斷流容量2500兆伏安，1957年製成4000兆伏安、110仟伏壓縮空氣斷路器，1958年躍進到220仟伏5000兆伏安的多油和壓縮空氣斷路器，同時在220仟伏這一電壓等級下，其他高壓電器如隔離開關、互感器、避雷器等均亦製成，因此對於220仟伏電力系統的需要已基本自給，標志着高壓電器技術水平向世界先進水平邁進了一步，而且速度遠遠超過了任何資本主義國家。1960年以來，某些自行設計的高壓電器已達到了世界水平。

（2）低壓電器方面（包括繼電器）1957年已完成最常見的100多個系列200多種新產品以及少數特殊電器，基本上滿足了我國國產大型水火電站設備、變電站、冶金工業、重型機床、交通運輸等成套電器控制設備和自動化電力拖動用控制設備的需要。大躍進以後，新產品進一步增加，複雜的750/550瓩鋼軌控制磁力站，1513米³大高爐控制屏等都已制出來。同時，自行設計的產品也不斷試制成功，如DWO系列萬能式自動空氣斷路器，RTO系列有填料熔斷器、CJO交流接觸器等等，不僅提高了容量減小了體積，而且也大大節約了原材料降低成本。我國電器工業已從仿制進入自行設計製造階段，標志着技術水平已大為提高。

随着工业高速度的发展与人民公社的建立，巨型的水电站和超高压大容量的电力网将不断出现，工业自动化与农业电气化将要日益发展，对于电器工业就提出了新的要求。电压的等级要求达到 330 千伏，500 千伏以上。党的八届九中全会还明确指出必须努力提高产品质量和增加产品品种，因此电器工业的任务是艰巨的也是光荣的。我们坚信，在党的正确领导下，在总路线的光辉照耀下，坚持政治挂帅、鼓足干劲、自力更生、发愤图强，一定能胜利地完成任务，满足国民经济的需要，保证不断跃进，迅速地建成社会主义。

4 电器结构的分析

为了对电器的结构有一个初步的认识，以便学习电器的基本原理，我们从高压电器、低压电器和继电器中各举一例进行分析。

(1) SN2-10 少油式断路器。

这是一种高压电器，它的结构如图 0-3 所示，图 0-3 是电器的整体结构，油箱 1 用两个绝缘子 2 装在钢架 11 上，各相有一个油箱，内装灭弧室及静触头等。电路接通时，导电杆下降与静触头接触，这时电流经软连接 5 及动静触头而流出，油箱是带电的，靠绝缘子 2 与钢架绝缘。分闸后，导电杆上升，动静触头离开，由于绝缘套管 3 的存在，油箱不带电。19 为操作机构，用以分合闸及自由脱扣。

(2) DW2-200/2 自动空气断路器。

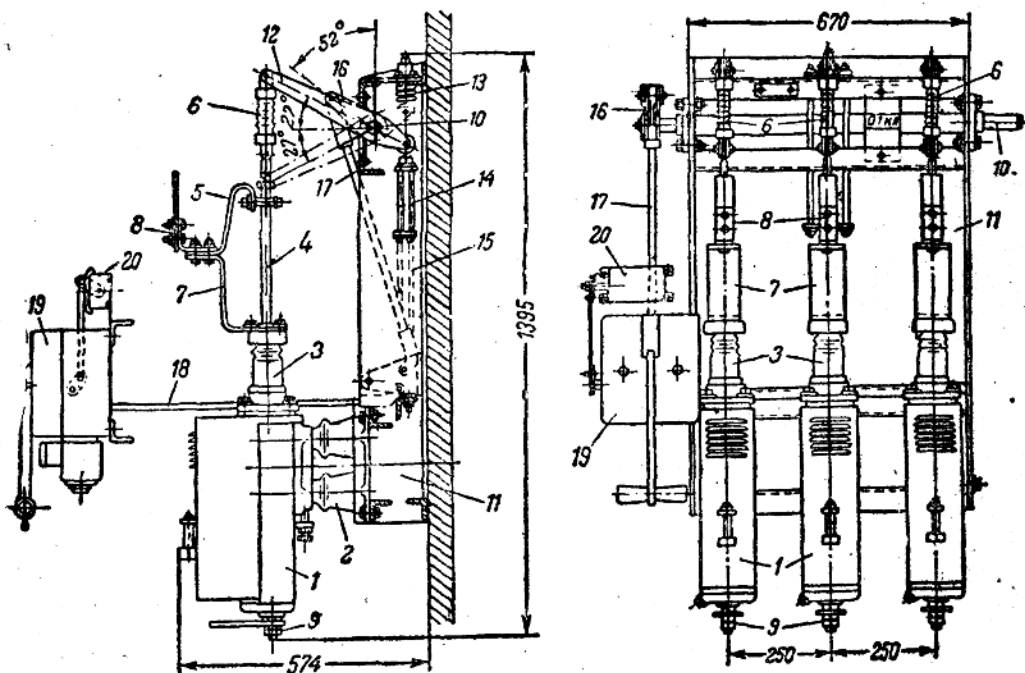


图0-3 600安、10千伏的SN2-10少油器：

- 1—油箱；2—绝缘子；3—瓷套管；4—导电杆；5—软连接；6—拉杆瓷瓶；7—支板；8、9—接头；10—轴；
11—钢架；12—双臂连杆；13—弹簧缓冲器；14—油缓冲器；15—断路弹簧；16—拐臂；
17、18—牵引杆；19—操作机构；20—信号联锁触头。

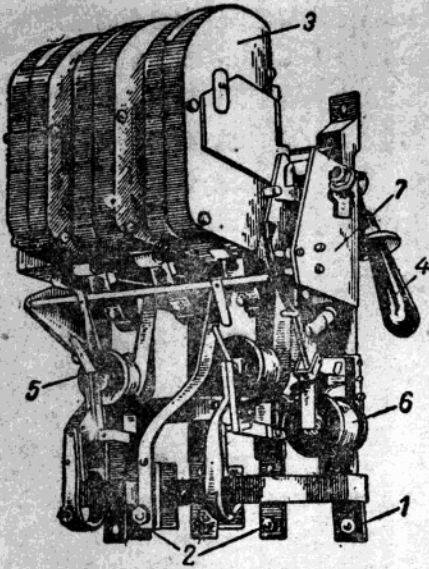


图0-4 A2010自动空气断路器:

- 1—鋼架；2—用来联接汇流排（导线）的接头；
3—灭弧腔；4—柄；5—过载脱扣器；6—失压脱扣器；7—自由脱扣机构。

这是一种低压电器，用于低压电力系统，除了用手操作以断、通电路外，还可以在系统出现短路或过载时自动切断电路，有些厂也称之为自动开关。

图0-4为它的结构图，系由下列主要部件组成。

a. 触头系统：每相一套，它位于灭弧罩内，分为主、付、弧三对，真正负责切断与接通以及长期运转的是主触头，付、弧触头是为了保护主触头而设。当接通时，弧付触头先接通，主触头后接通，在打开时则反之。因此电弧不产生在主触头上，不致遭受烧损。

b. 灭弧罩：它的用途是迅速熄灭电弧，保证触头受到较小的损伤。也因有它，可以把巨大的短路电流迅速予以切断。

c. 脱扣器：自动空气断路器有两种脱扣器，一为欠压脱扣器，只有一只。二为过载脱扣器，一般为两个，但也有三个的，视低压配电系统有无中线而定。两者都是当电路出现异常情况时（即电压过低或电流过大）产生动作，使开关自动打开。

d. 自由脱扣与操作机构：它有两个作用，其一是用手操作，使开关通断，其二是当欠压、过载或短路发生时，无论手柄在任何位置均可以使开关自动打开。

柄在任何位置均可以使开关自动打开。

(3) JT3 型时间继电器。

这是一种继电器，广泛地用在自动化电力拖动的装置中，它的性能是能延时打开它的触头，造成两相速的生产动作或其他动作所需要的时间间隔。

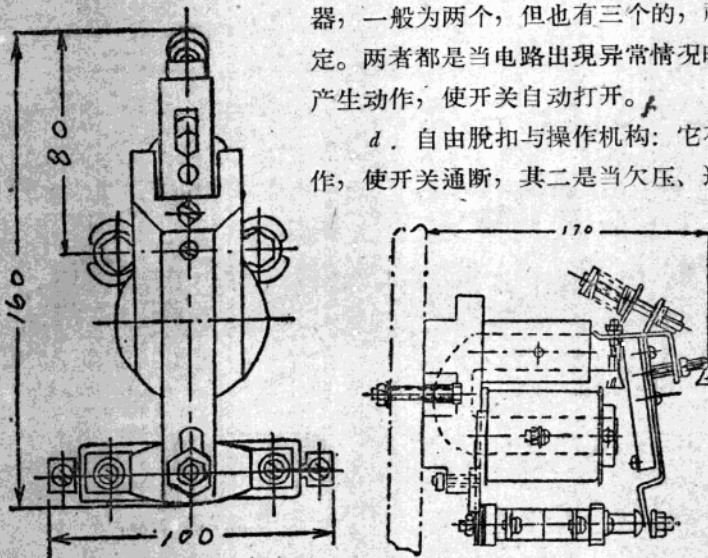


图0-5 JT3型继电器外形图。

其结构如图0-5所示，包括下列几个主要的部件：

a. 磁系统：由衔铁和铁心组成，材料是导磁优良的工程纯铁，铁心为“U”形，固定于铝座上。

b. 线圈：具有一个电磁线圈组，用以产生主磁通。通电以后，能吸引衔铁，使触头闭合。还有两个铝筒，当电磁线圈断电后，因涡流作用，使衔铁延时打开，亦即使触头延时打开。

• B. 触头系統：采用 VSK 标准部件，有常分触头及常合触头，它們接入控制綫路中，产生电力拖动的自动化。

• P. 断开彈簧：当繞組断电后，靠此彈簧的反作用力，使銜鉄打开，恢复到原来的地位。

根据上面所举的三个电器的例子，我們对于电器的結構，已有一个輪廓的概念。为了保证电器的质量不影响工业企业生产的正常进行必須滿足以下几条基本要求：

- (1) 必須能可靠和准确的工作。
- (2) 长期工作下，电器因发热上升的溫度不超过額定的溫升，同时在短路发生时，在一定的時間內能忍受热的作用，不致使电器损坏。
- (3) 当短路发生时，巨大电流所产生的电动力，电器应能抵抗，不致产生变形或损坏的現象。
- (4) 具有足够的絕緣能力。
- (5) 能迅速可靠地熄灭电弧，最大限度地降低电弧对触头及其他部件的損害。
- (6) 尽可能地縮小尺寸，减小重量，降低成本。并且要求维护簡單，寿命长。

5 課程的任务与內容

电器原理这门課程的任务是闡述电器的基本原理，使学习者对电器所联系到的物理現象能有一个較完整的認識，为学习高低压电器的結構应用、計算設計和制造工艺打好基础。

按照上面所举的三个典型电器产品的結構与性能要求，电器工作过程中都有下列几种主要的物理現象：

- (1) 发热現象：这起源于电能因損耗轉化为热能。
- (2) 电动力現象：因电器中具有許多載流导体，短路时它們之間产生巨大电动力。
- (3) 电弧現象：当电器的触头打开，不可避免地产生电弧放电。
- (4) 电接触联結：为了接通与断开电流，电器具有各种触头及导体联結的方式。
- (5) 电磁鉄吸合与打开現象：大部分电器都有电磁鉄这一部件，因此对它的动作原理必須加以研究。电器原理就是要将上述各种現象加以分析研究，并探索其計算与設計的方法。

第一章 热計算基础

1 概 述

工作中的电器，将有部分电能以不同方式轉化为热能，使电器各部分温度上升。

除通过电流的导体中有能量損耗外，处于交变磁场中用磁性材料制成的零件内有磁滞及渦流損耗；处于交变磁场中的非磁性导电材料制成的零件中有渦流損耗；处于交变电场中的絕緣材料制成的零件中有介质損耗。举凡这些損耗都以热能的形式表现出来，即使电器发热。

温度升高，对于电器的各部分产生一系列不良影响，金属零件在高温下由于退火而机械强度下降，例如铜和鋁长期处于 300°C 高温之下，其机械强度下降为常温下的58%。这样，在短路时由于极大的电动力作用，可能使载流导体变形或損坏。

电接触联结，由于机械强度的下降，接触压力减小，結果使接触电阻增加；由于温度过高，引起接触表面强烈氧化，也使接触电阻增加。接触电阻的增加，引起温度繼續升高，这样，即造成所謂「恶性循环」，可能导致接触联结的熔接。

絕緣材料的介质損耗随温度增加而增加，引起其絕緣强度下降，工作寿命减少。例如瓷的击穿电压在 120°C 时下降为常温时的50%；有机絕緣材料的絕緣强度下降更为显著。

电器载流导体及各部分的热計算，是为了校驗电器各元件的发热温度是否超过保証其安全运行的允許温度。

2 电器各部分的最大允許温度

电器各部分的最大允許温度，决定于上述各种材料所制零件的耐热能力。絕緣材料零件常为电器中耐热能力最差的薄弱环节。由于近代不断出現新的高耐热能力的絕緣材料，这一問題已得到一定程度的解决。这时电接触联结的氧化問題就可能成为限制允許温度提高的主要原因了。

如上所述，不与絕緣物接触的导体（非接触联结）比絕緣导体允許温度較高，主要决定于机械强度与氧化。

电器的最大允許温度，过去采用苏联国家标准 OCT 8555/1472 的規定。苏联从1957年开始采用新的标准，ГОСТ 8024-56；我国根据自己的具体情况，参考苏联的新标准，已制定了电器最大允許温度的国家标准（草案）如表1-2所示。

各种絕緣材料的耐热能力不同，現有的絕緣材料按其耐热能力分为七級：Y、A、E、B、F、H及C級。各級材料的定义与耐热温度載于表1-1。

其中如硅有机混合物、合成胶、玻璃纖維及环氧树脂等新材料，不但耐热温度高，而且有良好的机械电气性能。

表1-2所列允許温度，适用于周圍介质温度从 -30°C 到 $+40^{\circ}\text{C}$ 以及长期連續工作或間歇工作情况下的，电压大于1000伏的电器。低压电器有各种单独規定的允許温度（参考

表 1-1

耐热温度及标志符号		定 义
Y级	90°C	Y级绝缘材料包括棉、丝、电工绝缘纸板及其他经过试验能作用在此温度范围内的各种材料
A级	105°C	A级绝缘包括浸渍或在液体电解质（如油）中浸渍过的棉、丝、电工绝缘纸板以及其他经过试验能作用在此温度范围内的各种材料
E级	120°C	E级绝缘包括耐热温度高于A级耐热温度15°C的一切经过试验能作用在此温度范围内的各种材料
B级	130°C	B级绝缘材料包括云母、玻璃纤维、石棉等粘合材料及其他有机材料经过试验能作用在此温度范围内的各种材料
F级	155°C	F级绝缘材料包括B级绝缘材料及耐热温度高于B级25°C的一切经过试验能在此温度范围内工作的各种材料
H级	180°C	H级绝缘材料包括硅有机、云母、玻璃纤维、石棉等，用硅有机、树脂粘合的材料，以及其他经过试验能作用在此温度范围内的各种材料
C级	大于180°C	C级绝缘材料包括云母、陶瓷、玻璃及石英，用或不用无机的粘合材料，以及其他经过试验能作用在高于H级温度范围内的各种材料。这一级绝缘材料的特点是有可靠的物理、化学及电气性能

表1-2 交流高压电器在长期工作时的最大允许温度（摘自国家标准草案）

项 号	电 器 各 部 分 名 称	最大允许发热温度		在周围介质温度为+40°C的温升	
		在空气中 °C	在 油 中 °C	在空气中 °C	在 油 中 °C
1	不与绝缘材料接触的载流和不载流的金属部分	115	90	75	50
2	与绝缘材料接触的载流和不载流的金属部分以及由绝缘材料制成的零件，当绝缘材料的等级为：Y A E, B, F, H和C	85 100 115	— 90 90	45 60 75	— 50 50
3	最上层变压器油： A. 作为灭弧介质时。 B. 只作为绝缘介质时。	— —	80 90	— —	40 50
4	接触连接： A. 由铜或其合金制造，没有银的复盖层。 1) 用螺栓、螺紋、螺釘和其他能保证紧密连接的方法压紧的。 2) 用彈簧压紧的。 B. 用鋼和其他合金制成，有銀鍍层。 C. 由銀制成或表面帶有焊接的銀片。	85 75 90 105	85 80 90 90	45 35 50 65	45 40 50 50

- 附注 1. 在绝缘性和接触部件附近，以及最上层油的发热符合本表的第2、3和4项的要求的条件下，表中的最大温度才是允许的。
2. 当采用由不同等级的绝缘材料组合而成的绝缘件时，应符合本表第2项对每一绝缘材料的要求。
3. 项A、B所示的所有银鍍层的接触连接的发热温度，对于银鍍层不致被电弧损坏，并且按照各种电器本身的标准或技术条件（在没有标准时）的要求，以多次分、合的方法进行机械强度试验而接触的银鍍层不被擦掉是允许的。否则，该接触连接按无银复盖层处理。
4. 金属陶制品（粉末冶金）和铝的接触连接的允许温度，规定在各种电器本身标准或技术条件（在没有标准时）中。
5. 当用E、B、F、H和C级材料作绝缘时，且金属部分仅作为导电而不作为机械固定用时，其最大允许发热温度允许达到此绝缘材料本身耐热性低5°C的数值。

“中华人民共和国第一机械工业部电工专业标准低压电器”。

对于短时（如短路）工作，国家标准没有规定其最大允许温度。按照旧的绝缘等级有一些实验数据可供参考，如表1-3所示：

表1-3 短路电流所引起短时发热的最大容许温度

	电 器 部 分	最 大 容 许 温 度			
		铜	黄铜与青铜	铝	钢
		°C	°C	°C	°C
1	未绝缘及未与绝缘接触的带电流部分	300	300	200	400
2	a) 包括以绝缘或与下列等级绝缘接触的带电流部分				
	O	200	200	200	200
	A	250	250	200	250
	B	300	300	200	400
	C	300	300	200	400
	6) 在油中未绝缘的带电流部分	250	200	200	250
	8) 在绝缘混合物中未绝缘的带电流部分	250	200	200	200
3	不动接触联结	某温度不应超过对未绝缘带电流部分所规定的限值, 这种联结的最大容许温度			
4	可动接触联结	应当使触头不致发生熔焊与金属的熔化或飞溅			

旧的绝缘等级, 共分为 O、A、B 与 C 四种等级。O 级包括纱、纸与其他未经浸油的纤维材料, 其允许温度为 80°C; A 级——浸油的纤维材料, 允许温度为 95°C; B 级——由云母、石棉所制带有粘合剂 (虫胶、沥青胶等) 材料, 允许温度 110°C; C 级——云母、瓷、玻璃、石英等, 允许温度 110°C。

电器中还常用到允许温升的概念, 电器温度与周围空气温度之差叫做电器的温升。电器的允许温升是指电器的允许温度减去周围空气温度的上限 (40°C)。根据这样的允许温升所制造的电器的温度, 保证在任何低于 +40°C 的周围空气温度时, 低于最大允许温度。

3 载流导体中的能量损耗

导体中通以电流时将有能量损耗。

在直流时, 电阻为常数, 单位时间内之损耗 (功率) 为

$$P = I^2 R (\text{瓦})。 \quad (1-1)$$

其中 R ——欧姆电阻 (欧姆); I ——电流 (安培);

在交流时的损耗为:

$$P = K_0 I^2 R (\text{瓦}) \quad (1-2)$$

式中 I ——电流有效值 (安培);

R ——欧姆电阻 (欧姆);

K_0 ——附加损耗系数, 考虑到由于趋表效应与邻近效应使电阻增大的系数。

趋表效应——一条相当粗的导体可以想像由无数条细丝合成 (图1-1)。当直流电流通过此导体时, 在导体全部截面上电流是均匀分布的; 而当交流电流通过时, 则分布不均匀, 表面多, 里面少, 叫做趋表效应。

这是因为: 电流通过导体时, 产生许多磁通, 环绕该导体; 导体外面的磁通包围全部细丝, 而导体内部的磁通却只包围一部分细丝, 愈靠近中心部分的细丝被愈多的磁通包围, 故各部细丝的电感 L ($L = \phi / I$) 是不同的, 从而各个细丝的感抗 x_L ($x_L = \omega L$) 也不相同, 中心部分的大, 边缘部分的小。因此中心部分的电流密度比边缘部分的小, 这现象即趋表效应。

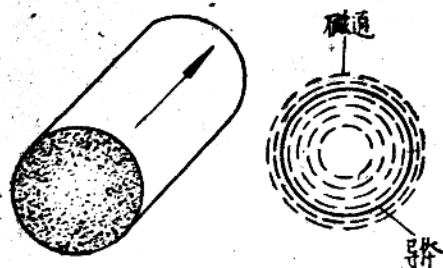


图1-1 趋表效应。

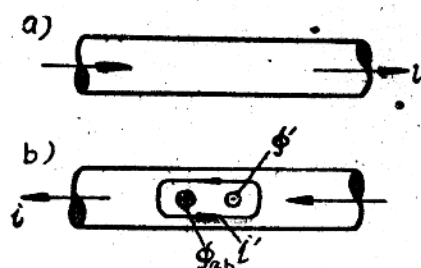


图1-2 邻近效应。

由于电流分布不均匀，导体的截面没有充分利用，有效面积减小，故电阻增大。增大的倍数以 K_n 表示，称为趋表效应系数。

导体的直径愈大，或电流的频率愈高，或电导系数愈大，或导磁率愈大则 K_n 愈大。

邻近效应：当两根（或多根）载流导体互相靠近时，由于两导体所产生磁通的互相影响，使导体中电流集中于导体的边缘，称为邻近效应。

设二平行导体中有方向相反的电流流过（图1-2）导体 a 在导体 b 的地方所产生的磁通 ϕ_{ab} 其方向如图所示，由于交变磁通的作用，在磁通的周围感应出电势 E ，将在导体 b 中产生电流 i' （如图）。显然， i' 相当于变压器中的付边电流，而该电流所产生的磁通 ϕ' ，应与 ϕ_{ab} 相位相反，这就决定了 i' 的方向必须如图1-2所示。由图可见导体 b 中的电流 i' ，在导体内侧与主电流相加，而在外侧则相抵，结果使内侧电流密度大，即电流向内侧集中。若二导体中电流方向相同，可以证明电流向外侧集中。

不管电流是向内侧或向外侧集中，在使电阻增加这一点是一致的。由于邻近效应而使电阻增加的倍数以 K_δ 表示，称为邻近效应系数。

电流频率愈高，或导体之间距离愈近，或导体电导系数愈大，则 K_δ 之值愈大。

附加损耗系数 K_θ 等于趋表效应系数 K_n 与邻近效应系数 K_δ 之积，

$$K_\theta = K_n \cdot K_\delta.$$

图1-3表示非磁性实心圆导线的趋表效应系数 K_n ，它是 $\frac{d}{20} \sqrt{\frac{\pi f}{\rho}}$ 的函数（ d ——导线直径，毫米； f ——频率，赫芝； ρ ——电阻系数，欧·平方毫米/米）。

空心圆导线的 K_n ，见图1-4，是 $\frac{d}{10} \sqrt{\frac{\pi f \Delta}{\rho d}}$ 的函数（ Δ ——管壁厚度，毫米； d ——导线外径，毫米）。

矩形截面铜导线的 K_n ，可从表1-4查出，其值与宽度 b 对厚度 Δ 的比值及参数 $\sqrt{\frac{fq}{4\rho \times 10^5}}$ （ q ——导线截面，平方毫米）有关。

二平行圆铜线的邻近效应系数 K_δ 列于表1-5。

图1-5表示二矩形导线的邻近效应系数 K_δ 。由图可见：当二导线大边垂直放置时， K_δ 之值小于1，这是因为邻近效应减小了由趋表效应所造成的电流分布不均匀现象。图中 f ——频率（赫芝）； R ——100米长导体之欧姆电阻（欧姆）。

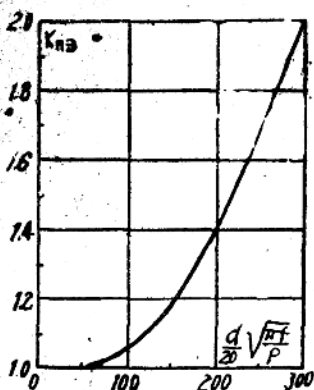


图1-3 非磁性圆导线的趋表效应系数。

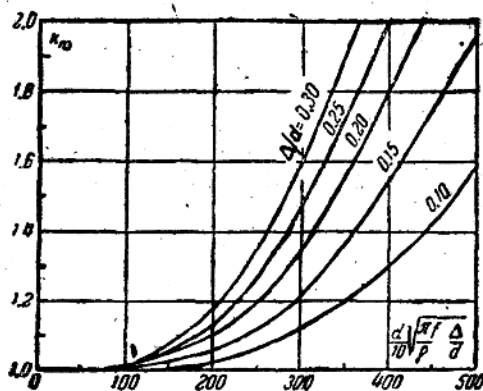


图1-4 非磁性空心圆导线的趋表效应系数。

表1-4 矩形截面的 K_n 值

$\frac{h}{\Delta}$	$\sqrt{\frac{fq}{4\rho \times 10^5}}$											
	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
1:1	1.18	1.36	1.55	1.74	1.93	2.1	2.28	2.46	2.68	2.84	3.02	3.22
2:1	1.13	1.30	1.49	1.67	1.84	2.03	2.21	2.40	2.58	2.77	2.96	3.16
4:1	1.12	1.28	1.38	1.49	1.58	1.78	1.94	2.10	2.24	2.39	2.56	2.70
6:1		1.26	1.36	1.46	1.57	1.68	1.79	1.90	2.09	2.20	2.36	2.54
8:1			1.34	1.43	1.51	1.60	1.70	1.79	1.90	2.04	2.20	2.37
12:1				1.40	1.48	1.56	1.63	1.71	1.79	1.87	1.97	2.06

表1-5 两平行圆铜线的邻近效应系数 K_6

导 线 直 径 (毫米)	导 线 轴 心 线 间 距 离 (毫 米)							
	25	50	75	100	125	150	175	200
25	1.20	1.05	1.02	1.01	1.00	—	—	—
50	—	1.50	1.20	1.09	1.07	1.05	1.03	1.01
75	—	—	1.80	1.40	1.14	1.10	1.08	1.05

4 处于交变磁场中的磁性材料所制零件中的能量损耗

由电工原理可知：处于交变磁场中的磁性物质中有涡流与磁滞现象所引起的损耗。

1. 涡流损耗：当磁通随时间而变化时，按照法拉第定律，必产生感应电势，此电势就在导体中产生涡流。交流继电器、接触器等的导磁体中都有涡流。为了减少其损耗，导体由厚0.35~0.5毫米的硅钢片叠成。

在金属片中的涡流损耗，可由下式算出：

$$P_f = \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{\rho} K^2 \cdot f^2 \cdot d^2 \cdot B_m^2 \cdot V (\text{瓦}) \quad (1-3)$$

式中 ρ ——电阻系数 (欧·厘米)；

K ——波形系数，对正弦电势， $K=1.11$ ；

f ——频率 (赫芝)；

d ——片厚 (厘米);

B_m ——磁感应强度最大值 (韦伯/平方厘米);

V ——金属片的体积 (立方厘米)。

圆截面导线中的涡流损耗为:

$$P_f = \frac{1}{2\rho} K^2 \cdot f^2 \cdot d^2 \cdot B_m^2 \cdot V \text{ (瓦)} \quad (1-4)$$

式中 d ——金属丝直径 (厘米)。

在实际计算中,常常是从零件的重量出发而用下式计算涡流损耗。

$$P_f = \sigma_f \left(\frac{f}{100} \times \frac{B_m}{10000} \right)^2 G \text{ (瓦)} \quad (1-5)$$

式中 σ_f ——与材料的性质、厚度有关的系数 (见表1-7);

B_m ——磁感应强度最大值 (高斯);

G ——材料重量 (公斤)。

2. 磁滞损耗: 当磁性物质交变磁化时,由于磁滞现象而损耗能量,它以热的形式出现。

磁滞损耗可由许登密兹公式计算:

$$P_r = \eta B_m^{1.6} V \times 10^{-7} \text{ (瓦)} \quad (1-6)$$

式中 η ——许登密兹系数,其值查表1-6;

B_m ——磁感应强度最大值 (高斯);

V ——体积 (立方厘米)。

试验指出:该公式当 $B_m > 10000$ 高斯时误差很大。

表 1-6

材 料 名 称		η	材 料 名 称		η
铸	铁	0.11~0.16	铁	皮	0.004
软	钢	0.003~0.012	碳	素 钢	0.02
锻	钢	0.015~0.025	碳	素 铸 钢	0.012

在实际计算中,常从磁性物质的重量出发当 $B_m < 10000$ 高斯时,用下式

$$P_r = \left[a \frac{f}{100} \frac{B_m}{10000} + b \frac{f}{100} \left(\frac{B_m}{10000} \right)^2 \right] G \text{ (瓦)} \quad (1-7)$$

式中 a 、 b ——系数,见表1-7;

表 1-7

钢 的 类 别	普 通 电 机 钢			高 硅 钢	
片 厚 (毫米)	1	0.5	0.35	0.5	0.35
σ_f	22.5	5.9	3.0	1.3	0.7
a	0.9	0.9	0.9	0.4	0.3
b	3.5	3.5	3.8	2.6	2.1
σ_f	4.4	4.4	4.7	3.0	2.4

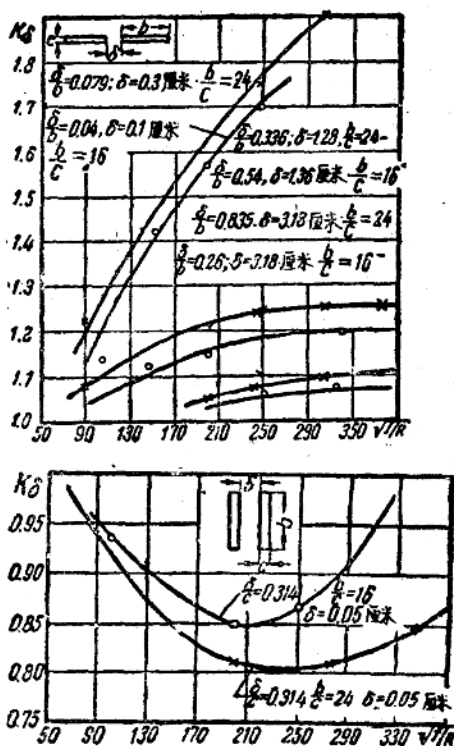


图1-5 矩形导线的邻近效应系数。