

高等学校教学用书

电器制造原理

布依洛夫著

机械工业出版社

高等学校教学用书



电器制造原理

路浩如 李 汾 译
王士和 孟慶龍

苏联高等教育部审定为动力
学院及电机工程系用的教科書



机械工业出版社

1956

673-3

2

1

高等学校教学用书



电器制造原理

路浩如 李 汾 译
王士和 孟慶龍

苏联高等教育部审定为动力
学院及电机工程系用的教科书



机械工业出版社

1956

007748

出版者的話

本書綜合地研究了电器制造工作的各种理論基礎。它的主要部分是：电弧和电接触，电磁鉄和磁路，短路电流的热效应和力效应，电器的發热等。

本書專供电器制造專業的学生閱讀，但也可供某些其他專業参考，如自动和遙控專業、仪表制造專業等。

本書由哈爾濱工業大学电器教研室路浩如、李汾、王士和及孟慶龍四人合譯，路浩如校訂，並經張冠生同志提供意見。譯者在初校中曾獲得哈爾濱工業大学电器研究生的帮助。

苏联 А. Я. Бунпов 著 'Основы электроаппаратостроения'
(Г. Э. И. 1946 年第一版)

* * *

NO. 1092

1956 年 12 月第一版 1956 年 12 月第一版第一次印刷
850×1168^{1/32} 字数 269 千字 印張 10^{5/8} 0,001— 6,500 册
机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版
机械工業出版社印刷厂印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10)1.60 元

目 次

序言	7
緒論 电器的分类及其基本要求	9
1 概述	9
2 开关电器	10
3 限流电器	17
4 調節电器	17
5 起动調節电器	19
6 繼电器	20
7 互感器	23
8 对电器的基本要求	24
第一章 載流系統內部及其相互間的电动力	26
9 概論	26
10 确定电动力的方法	26
11 圓截面導體間的相互作用	31
12 有限長導體間的相互作用	33
13 不等長導體間的相互作用	34
14 矩形截面導體間的相互作用	36
15 導體和鉄壁間的相互作用	39
16 鉄縫內導體上的力	40
17 互相垂直的導體間的力	42
18 作用在圓形匝上的輻射力	48
19 交流时的电动力	49
20 三相系統導體間的相互作用	53
21 線路中具有短路电流非週期性分量的三相系統	58
22 电流的計算值	61
23 机械共振	63
24 例題	65
第二章 电弧燃燒和熄滅的理論基礎	69

25 在气体中放电的形式	66
26 电弧間隙的游离	71
27 电弧間隙的去游离	77
28 游离与去游离过程之总論	80
29 直流电弧的特性	83
30 直流电弧的熄滅条件	87
31 电弧的电阻、功率及能量	91
32 交流电弧燃燒及熄滅的特点	91
33 工业频率的恢复电压	97
34 不考慮間隙本身影响时的間隙电压增長速度	103
第三章 热計算原理	113
35 电器各部分的最大容許溫度	113
36 載流導体中的能耗	117
37 处于交变磁場中的磁性材料所制零件內的損耗	122
38 發热体的散热	123
39 均質導体随時間之發热与冷却	133
40 短时及間歇負載下導体的發热	142
41 絕緣導体的發热	145
42 線圈的發热	149
43 短路时導体的發热	153
44 已知短路电流随時間的变化曲線时溫昇的确定	159
45 电器的热穩定	164
46 截面变化的載流部分的溫昇計算	166
47 端部溫度不变时導体的短时發热	170
48 几个經驗公式	172
49 以間接法确定穩定溫度值	174
50 例題	176
附錄 电器溫度測量法	177
第四章 电接触	185
51 接触連接的微观結構	185
52 接触电阻	186
53 有关接触电阻的實驗数据	190

54 触头的电腐蚀和磨损	194
55 触头和接触连接的主要型式	196
56 触头的机械振动	199
57 触头的电动力	209
58 触头的熔焊	210
第五章 磁路計算法	214
59 不考慮漏磁通的磁路計算	214
60 具有截面不变的鉄心和气隙的磁路	217
61 考慮漏磁通的磁路計算	218
62 求数种特殊情况的磁導	225
63 圖解法求空气中的磁導	232
64 交流磁路的計算	235
65 鉄損及电压損失之考慮	241
66 交流磁路的复数計算法	243
67 具有直流激磁的交流磁路	247
68 例題	250
第六章 电磁鉄	253
69 磁場能量与系統电感	253
70 电磁鉄的能量平衡	255
71 电磁鉄吸力的一般公式	259
72 Π 形电磁鉄	261
73 甲殼式电磁鉄	266
74 銜鉄作横向运动的电磁鉄	269
75 磁導体飽和的考慮	273
76 帶有短路匝的电磁鉄	278
77 三相交流电磁鉄	285
78 具有非閉合磁路的电磁鉄	286
79 电磁鉄的动力学	287
80 电磁鉄作用的加速	301
81 电磁鉄線圈	304
82 線圈的漏磁通	308
83 例題	310

第七章 阻尼理論	313
84 运动的一般方程式	313
85 制动力是常值	314
86 制动力和路程成比例	315
87 制动力和速度成比例	319
88 制动力和速度平方成比例	320
89 部件作旋轉运动时的制动	326
第八章 双金屬元件	327
90 概論和使用材料	327
91 决定双金屬元件的变形和弯曲力	330
92 双金屬元件的内应力	333
参考文献	336
中俄名詞对照表	338

序 言

現代電器的設計是以許多科學技術部門的成就作為基礎的。不可能把設計電器時遇到的全部問題作為一本書或者一門課程的研究題目。但是，對大多數電器說來，不管他們工作電壓的大小（低壓、中壓、高壓），電流的類別（直流、交流）等等，其中許多問題是具有共同性質的。關於這些問題有：電弧、電接觸、短路電流的力效應和熱效應、發熱和冷卻、電磁系統、永久磁鐵、阻尼理論和雙金屬元件的部件。經蘇聯高等教育部批准，供動力學院用的「電器製造原理」課程大綱就是按照這樣的綱要制訂的。

感應式和電動力的系統；利用高頻率技術、光技術及其他方面技術的成就所構成的電器都未包括在本課程大綱內，因為這些結構的特殊性和問題的局限性使得它們只能列入電器製造的相應的專門課程里。

本教科書是根據「電器製造原理」課程指定的內容編纂的，其中不包括「永久磁鐵」部分，由於受到篇幅的限制，這部分在本教科書內未加研討。

在本書中包含有「電器溫度測量法」一節。這個題目與「電器製造原理」並沒有直接的關係，可是不論那一門普通課程中都沒有闡述這個問題，但同時對於專門研究電器製造的人卻是十分重要的；假如在敘述各類電器的課程中加以研究，則不可避免地會引起某些重複；因此我們尽可能的把它包括在作為電器製造專業共同基礎的「電器製造原理」這一課程中。建立在這門基礎課上的有：「開關電器」，「繼電器」等專門課程。在這些課程中將對本書闡述過的若干問題作更獨特的發展，例如，「電弧」，「接觸」及其他。

在結語中請允許我向莫斯科動力學院「電器製造」教研室助教

阿布拉莫娃和斯利溫斯卡婭同志表示感謝，感謝他們在整理原稿時所給予的幫助。

作者

緒論 电器的分类及其基本要求

1 概 述

〔电器〕——这是一个非常廣泛的概念。电器——这是用作切換、檢查、控制、保护以及調整电路和电机的設備，也是利用电能來檢查、保护和調整非电过程和非机械与器具的設備。

用作挤牛奶、燙髮的电气設備是电器；大容量高压断路器，手电筒的控制按钮是电器；电气鍊鋼爐，电流的頻率，任何系統中的电机轉数，化学和热的过程，水力和空气动力現象的电气調節器——所有这些都是电器。

从上边列出的簡短而不完全的电器应用範圍中，应得出結論：虽然大多数电器在結構上具有相似的元件，但是要把全部电器的工作方法和構造方法都綜合起來，却是一件極繁重而复雜的事情。

本書中研究的是为电站、电力網路和电机服务的电器之工作情况与構造方法上的一些共同問題。这些电器結構的許多零件和元件也可以用於其他型式的电器里，但是，今后使用〔电器〕这一術語，我們主要地是指为动力系統和电机服务的电气器具。

这些电器可以依照各种特征來分类。譬如，依照用途可分为：

- 1) 开关电器，其用途是接通与切断电流線路；
- 2) 限流电器，用作限制与調整电流的数值；
- 3) 調節电器，其用途是調節电路的某些参数；
- 4) 起动調節电器，是具有特殊用途的电器——用來調節电机的起动和运轉；

5) 繼电器，其主要功用为檢查电路的情况，如果这种情况超出了許可的限度，繼电器就接通相当的开关电器的控制線路；

6) 互感器，作为測量線路中电流、电压及功率的輔助裝置；也用来供电給保护線路和系統調整線路中的繼电器和調節器。

上述分类是主要的。但是，电器也可以根据其他特征來分类：譬如，根据电压（高压电器、低压电器）；根据外形（防爆式、开啓式、封閉式）等。

这种分类一般用於某一定型式的电器（例如高压开关、低压开关、开啓式刀开关与封閉式刀开关）。

在同一类型範圍內，电器也有按照动作方法來分类的（根据电磁原理与感应原理动作的电磁式与感应式电器等），或者按照其他結構上的許多特点來分类（空气断路器、油断路器等等，——普通的、快动作的；水泥的、木質的、油浸的电抗器及其他等等）。

一切具有可动部分的电器可分为自动的与非自动的兩種。自动电器——这是在線路或电机一定情况下动作的电器；而非自动电器，其动作僅依靠工作人員的意志來決定。

我們將較詳細地把几种类型的电器敘述一下。

2 开关电器

如前所述，开关电器完成控制电路的主要职能是接通和开断。屬於这类电器的有：断路器、隔离开关、熔断器。

断路器用於接通和断开〔帶电流〕的电路，亦即在电路里有电

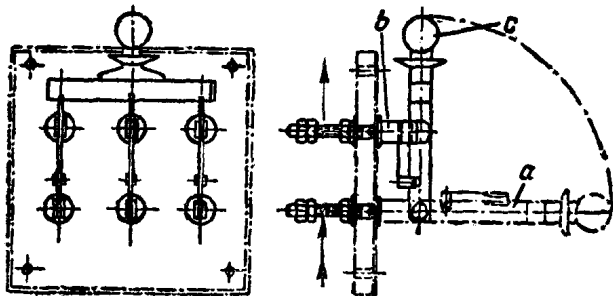


圖1 三相刀开关。

流通过时接通和断开电路。最简单的低压断路器是「刀开关」，主要由刀极（圖1，零件 a ），静触头 b 及手柄 c 組成。操作者借旋轉刀极至垂直位置或水平位置以接通或断开刀开关。刀开关的触头直接放在空气中。

随着工作电压和容量的增加，这种电器已经不能满足运用上的要求而逐渐出现了更为完善的断路器。首先出现了所谓「自动开关」●，它不仅可以按照操作者的意志用手断开，而且在电路里发生一定情况时（例如：不许可的大电流，电压下降，电能反向等）能够自动地将开关断开。为了很好地满足运用上的需要，自动开关的控制开始做成「远距离」控制，即在相当距离之外借助于电磁或压缩空气装置——操作机构，来进行操作。这种断路器和简单的刀开关比较已有许多优点：为了将断路器接通或断开时不一定需要站在它的旁边，因此它可以安装在由运用观点看来最为方便的地方；此外，在发生不许可的情况时，自动开关不等待操作者的参与，即自己切断线路，而把消除线路故障的时间缩减到最低限度。切断带电流的电路时，在开关触头分开的瞬间触头之间产生电弧●，该电弧必需熄灭。为了很好地熄灭电弧，在自动开关里採用各种改善灭弧过程的特殊装置，这些装置被称为「灭弧室」。

圖2表示用于三相交流电路的一种现代自动开关的外形。

此种自动开关用在交流电压为600伏，或直流电压为250伏时，来切断50000安以下的电流。

对于高压电路来说，简单的空气开关已经不能满足运转上的要求。在改进断路器的结构方面首先做的，是把触头放置到变压器油

● 即自动空气断路器。——譯者

● 电弧常称为「伏特」弧，因为它首先得之于「伏特电堆」（串联电池）。某些作者（特别是外国的）认为电弧是台维（Дэви）所发现，他在1810年第一个公布了电弧的实验，但是早在1802年电弧就被俄国科学院院士彼德洛夫（Петров）首先发现了。

中，由此就得到了油断路器。現代的油断路器已經是一種很複雜的裝置，它需要利用科學技術上的許多成就。

圖3中表示「電器」工廠所製「多油式」油断路器一相的略圖它用於電壓為220千伏的線路中。

油断路器斷開時的動作如下：在電弧所產生的高溫作用下，使油分解成氣體，其主要的成分是氫氣；因此電弧在處於運動狀態的氣體介質中燃燒。在介質中，已游離的與未游離的氣體分子，冷分子與熱分子發生了劇烈的混合，並且在電流因為週期性變化而通過零點的一瞬間，電弧就被熄滅。

氣體形成的過程進行得很劇烈，因而在断路器里產生了很大的壓力，並且，假若断路器的設計不正確時，可能發生爆炸。

在具有滅弧室的油断路器里，電弧熄滅得更快，並更無損害。在這裡電弧的能量利用來產生壓力，該壓力使得電弧附近的氣體發生激烈的運動，從而促進電弧的熄滅。滅弧室有各種構造，其作用原理亦各異，但是主要地都是為了達到下列兩個目的之一：1）或者產生油和氣體相對於電弧的運動，2）或者使電弧相對於油及特殊滅弧室的壁而運動。

對於此類断路器說來，操作機構已不是和断路器在構造上組成

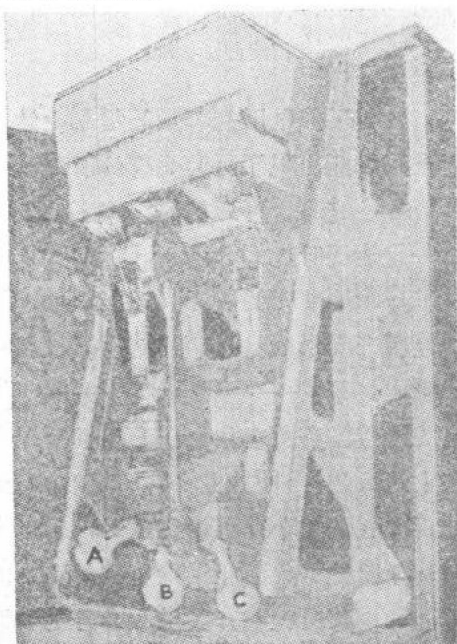


圖2 現代的自動開關：

A—帶有電動機的電器傳動機構；B—自動開關的手操縱機構；C—輔助開斷裝置；觸頭和自動開關的滅弧部分放在上面，且被封閉着。

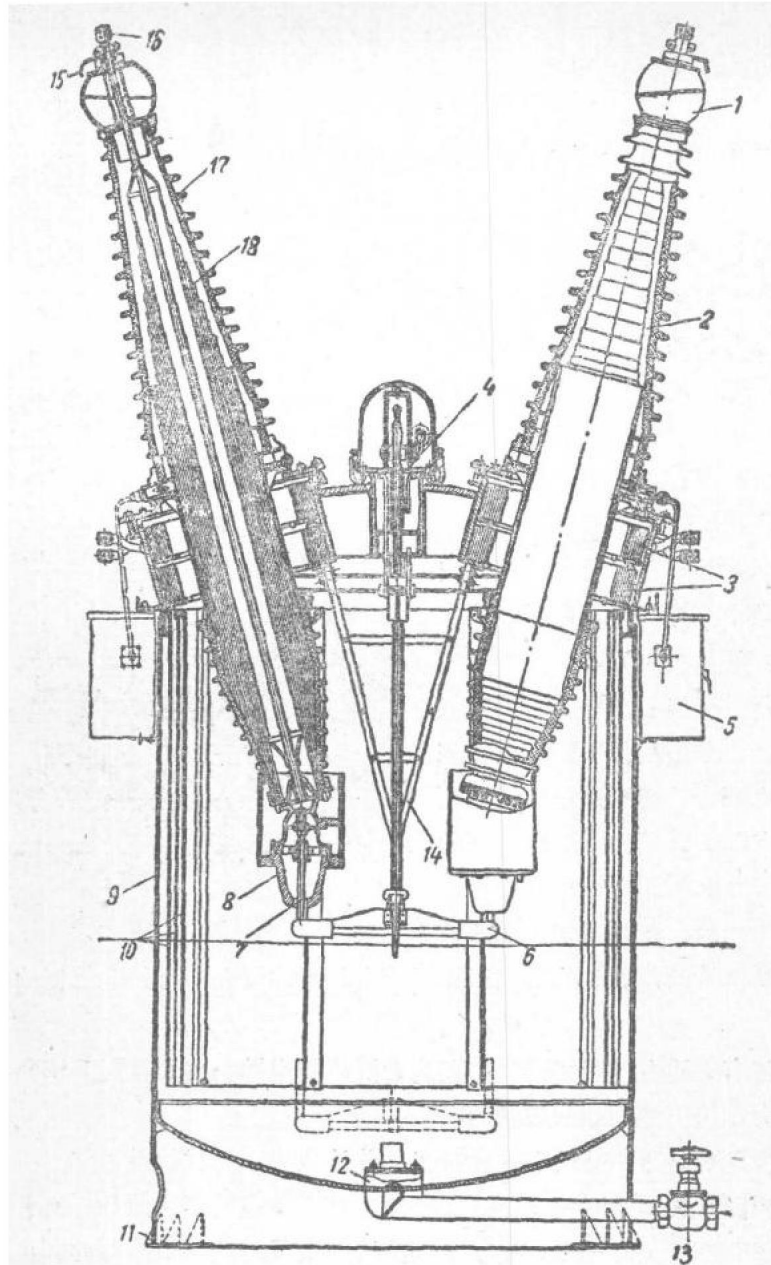


圖 3 220 千伏油断路器:

1—套管的油标——玻璃罩，可以看見其中油的高度；2—充油式絕緣套管；3—裝在断路器內的电流互感器；4—联系操作机構与断路器可动部分的傳动机構；5—測量电压用的特殊设备；6—上下移动（在接通和断开时）並帶有动触头的横担；7, 8—滅弧室；9—內部圍有絕緣的铁桶；10, 11—固定到地基上去的脚板；12—油缓冲器，緩和断开时横担的冲击；13—油箱的放油閥；14—横担运动的導向裝置；15—套管的出气管；16—把电流導入断路器的地方；17 和 18—絕緣套管的零件。

一个整体：多数情况下，操作机构在构造上是同断路器分开而单独做成的，并且利用特殊机构和断路器联接起来。

最近 15 年来，出现了许多新型的高压断路器，排挤着多油式断路器。譬如：「贫油式」断路器，在其中使用瓷筒式外壳，故接触部分与外壳之间不需要特别的绝缘，并且油量也很少。图 4 表出这些型式里的一种的外形：三相全部装置在铁箱上，铁箱内装有操作机构。断路器的接触部分与灭弧部分装在瓷筒内，筒的直径约数十公分（代替高压多油式断路器的数公尺）。

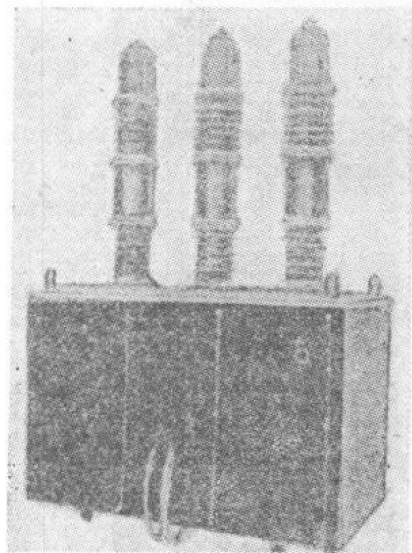


圖 4 30 仟伏貧油式油断路器。

然后应当着重提出压缩空气断路器，其中利用压缩空气流来熄滅电弧。这类断路器有一系列的优点，并逐渐淘汰其他类型的断路器。其操作机构也是由压缩空气作用的，但是操作机构的控制则是电气的。图 5 为现代三相压缩空气断路器在接通的位置的照片。

还有「冲击油断路器」，在这种断路器中触头间的电弧是依靠在压力作用下形成油流熄滅的。

现代断路器的结构形式非常多，此处我们不再详细描述它。

隔离开关也是开关电器；但不用在带电流情况下接通和切断电路（在例外情况时可以切换很小电流，这电流对于每种类型的隔离开关都有专门的规定），隔离开关照例是制造成空气式的，亦即触头简单地放置在空气中，因为对于隔离开关的主要要求之一是：其触头可以被直接看到，以便可以无误地确定隔离开关究竟是已接通

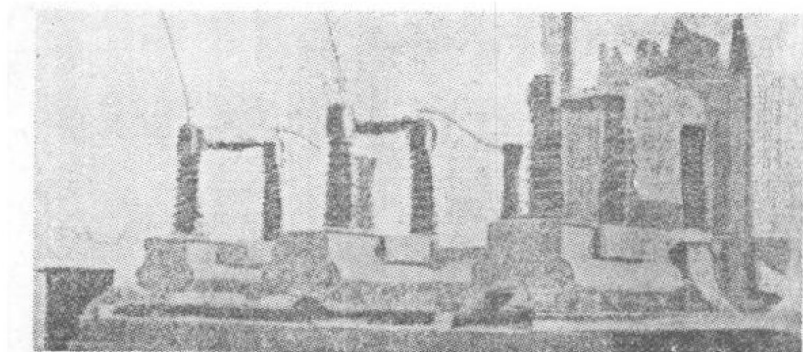


圖 5 110 仟伏的压缩空气断路器。

还是已开断。

其实，隔离开关就是当线路的两个部分之间电流不能通过的时候，用来接合（或断开）这两个部分的电器。隔离开关的结构和刀开关的结构很相似，只是相应于较高的工作电压，而有相当大的尺寸，传动系统也比刀开关复杂得多。

圖 6 表示工作电压为 150 仟伏的隔离开关一相的外形。旋轉中柱时（成双的）隔离开关的刀或接合或分开隔离开关的电流输入端与输出端。圖 6 中隔离开关的角的目的在於改善可能有的电弧的熄滅，但远非在所有隔离开关中都具有。

在網絡中隔离开关在电源侧和断路器串联，只有在断路器已经断开时，才可以合上与分开它。

熔断器，更精确地说就是[熔断保险器]，是由熔片、封闭装置和灭弧装置所组成。和以前两种开关电器的区别在于熔断器是自动电器，但它是不能被控制的：只在通过熔片的电流达到能够使熔片熔化的值时，它才切断电流电路；对线路中的任何其他情况熔断器均不反应。

因此，熔断器不允许线路中的电流超过某一定值，并且如果发生这种情况时，熔片即熔化，同时在装熔片的地方发生电弧，电弧熄灭之后，电流电路即中断。