

低压电器产品分类综述

第 二 集

内部资料 注意保存

一机部上海电器科学研究所編
上海科学技术情报研究所印

1963.1

近几年来低压电器产品的设计与制造水平无论在国内外都在不断地发展。为了进一步了解国内外技术水平和动态，并结合我们的研究工作作了一些专题的介绍。因此就我们所搜集到的资料编写本综述。本综述为1960年3月出版“低压电器产品分类综述”的续集。凡前册综述中已述及的问题，在本册中不再重复。

本册包括五篇：快速和限流自动开关；自动灭磁开关；爆炸式限流器；超速短路器及快速熔断器。

本册因编写时间仓促，对情况了解也不够深透，错误之处，希予指正，以匡不逮，借资改进。

目 录

一、快速和限流自动开关.....	1
I 限流过程.....	1
II 快速自动开关.....	4
III 限流式自动开关.....	8
二、自动灭磁开关.....	12
I 各种灭磁方法的分析比较.....	12
1 理想的灭磁方法应具有最小的灭磁过程的持续时间.....	12
2 励磁绕组对不变的有效电阻放电.....	13
3 励磁绕组对多级不变的有效电阻放电.....	14
4 励磁绕组对非线性电阻放电.....	14
5 励磁绕组对电容或动力学容器放电.....	15
6 励磁绕组对反接的励磁机放电.....	16
7 励磁绕组对灭弧栅放电.....	17
II 自动灭磁开关的结构.....	23
三、爆炸式限流器.....	27
I 爆炸式限流器.....	27
II 爆炸式脱扣限流器.....	30
四、超速短路器.....	32
I 用途及对它的要求.....	32
II 分类及其简介.....	32
1 电磁式短路器.....	33
2 爆炸式短路器.....	37
五、快速熔断器.....	42
I 绪言.....	42
II 额定值.....	42
III 构造.....	43
IV 主要特性.....	45
1 “时间-电流”特性.....	45
2 恢复电压.....	46
3 温度特性.....	46
4 分断能力.....	47
V 指示装置.....	48
VI 结语.....	49

快速和限流自动开关

向 馨

最初设计快速自动开关的目的,是用来防止电机整流子上的飞弧和水银整流器上的逆弧。它必须在整流子上的电弧从一个电刷传达另一个电刷以前完成断路,也就是说整个断开时间应小于一个整流片通过两个相邻电刷之间所需的时间。由于断开速度很快,它具有限制短路电流迅速上升的限流作用。

所谓限流作用,是在短路发生以后尽快地产生电弧,利用电弧的电压降来限制短路电流的继续上升。结果在电流未达到稳定值以前,就由于电弧的熄灭而断开。这样使电动力约减少到十分之一或更低,大大地缩小了短路电流的祸害。

目前快速动作的限流作用已经不仅仅限于保护整流设备,由于工业设备中短路电流的日益增大,往往要求断开 200,000~300,000 安的巨大电流。一般自动开关很难胜任这种电流所产生的电动力,具有限流作用以后完全解决了巨大电动力对配电装置所引起的一系列困难。

今天快速自动开关已经成为具有水银整流器的任何一种大型设备的必要附件,把它接在阳极电路中,用来在发生逆弧时防止整个系统断路。否则的话,大型水银整流器便不能可靠地运行。

在采用直流电压达 3,000 伏的电气化铁道和地下铁道中,在某些大型的轧钢设备中,快速自动开关都得到了广泛的应用。

在一般的配电系统中,特别是交流系统中,由于系统的扩展,采用目前形式的快速自动开关还是个值得研究的问题。由于它并不是取得限流作用的唯一办法,因此目前已在发展着限流熔断器和限流式自动开关。

近年来发展了锗硅等半导体整流器和机械整流器,快速自动开关已经不能满足这类整流设备的保护要求。超快速动作的熔断器和爆炸式限流器已经在研究和设计制造。

目前由于船用设备中的短路电流有了巨大增长,所以就产生了设计小体积、大额定电流和有选择作用的快速动作自动开关的问题。

在栅控水银整流器发展以后,有可能在栅控电路中使用快速动作的继电器来保护,以取代庞大笨重的阳极快速自动开关,这是个值得研究的新课题。

I 限流过程

电路中电势 e 、电流 i 、电阻 R 和电感 L 的典型关系为

$$e = Ri + L \frac{di}{dt}$$

在断开过程中产生电弧以后,这个关系转变为

$$e - u_a = Ri + L \frac{di}{dt}$$

这里 u_a 为电弧压降,是电流断开过程中唯一的新参数,因此很明显地可以看出,限流

作用只有来自电弧压降的可能，同时，为了要有限流作用，电弧应该在电流波尚未达到其最大值以前出现。这就是说，自动开关的动作时间应很短，否则就不能保证限流作用。

电弧压降 u_a 为与电流符号相同的反电势，数值决定于电流、电弧长度、阴极和阳极压降以及电弧的冷却条件。因此分析限流作用的大小、不能直接由上述的关系式中求求得电流值，以免遇到 u_a 的复杂关系。

如果在故障发生以后时间 t_a ，产生电弧压降 u_a ，同时在整个燃弧时间中保持不变，即电弧压降为矩形波，则可以得到电流形状的概念。这个假定与实际情况相差不远。

根据爱尔顿公式，电弧压降为

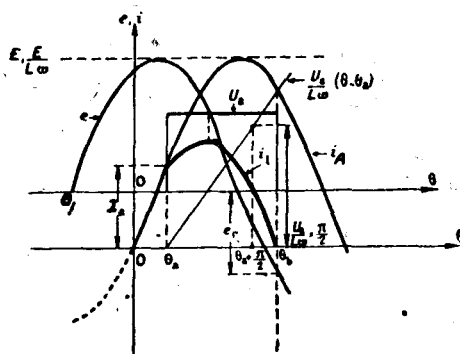
$$u_a = a + b l + \frac{c + dl}{i}$$

在一般电流范围中， $\frac{c + dl}{i}$ 可以忽略不计，电弧压降与每单位长度电弧的电压降 u_b (约为 1.4 伏/毫米)，以及阴极和阳极的电压降 u_c (约为 30 伏) 有关，即

$$u_a = l u_b + n u_c$$

这里 l 及 n 各为电弧长度的毫米数及电弧分段数。对强迫电弧遵循一定路径移动的开关来说，它们基本上是常数。因此 $u_a = \text{常数}$ 。

在已作出的假定下，图 1 为不对称系数为 1.4 的交流单相纯电感性短路时的限流作用。



假定 $\omega L = 1$

图 1

在电弧出现以前，电势 e 在 θ_1 瞬间为零，假定 $\theta = \omega t$, $d\theta = \omega dt$, $e = E \sin (\theta + \theta_1)$, 则

$$e = R i_A + \omega L \frac{di_A}{d\theta}$$

这里 i_A 为预期电流，即没有限流作用时电路中的电流。

当 $R = 0$ 时即纯电感电路， $e = \omega L \frac{di_A}{d\theta}$

$$i_A = \frac{E}{\omega L} [\cos \theta_1 - \cos (\theta + \theta_1)]$$

产生短路后时间 θ_a 时出现电弧，电流为 I_a ，关系式改变为

$$e = u_a + \omega L \frac{di_l}{d\theta}$$

这里 i_l 为允通电流，即为限流作用产生后电路中实际通过的电流。

$$i_l = \frac{E}{\omega L} [\cos \theta_1 - \cos(\theta + \theta_1)] - \frac{u_a}{\omega L} (\theta - \theta_a) = i_A - i_a$$

这里 i_a 为电弧压降的等效电流，这个电流满足于 $u_a = \omega L \frac{di_a}{d\theta}$ 的关系式。 i_a 的图形为与电流轴在 $\theta = \theta_a$ 相交的直线，（时间 θ_a 时， $i_l = i_A$ ， $i_a = 0$ ）直线的另一点座标为 $\theta_a + \frac{\pi}{2}$ ， $\frac{u_a}{\omega L} \times \frac{\pi}{2}$ 。

从图 1 可以清楚地看出，由于电弧压降的存在，一方面限制了电流值，另一方面使电流提前通过零点。

根据 $\frac{di_l}{d\theta} = \frac{e - u_a}{\omega L}$ 可以观察 i_l 的变化情况。当 $e > u_a$ 时， $\frac{di_l}{d\theta}$ 为正值， i_l 增加。 $e < u_a$ 时， $\frac{di_l}{d\theta}$ 为负值， i_l 减小。当 $e = u_a$ 时， $\frac{di_l}{d\theta} = 0$ ，得 i_l 的最大值。

在 e 不变的情况下，增大 u_a 可以使 $e = u_a$ 的时间提前，即提前出现 i_l 的最大值并增大 i_a 的斜率，即减小 i_l 最大值的数值和提前使 $i_l = 0$ 。

不难看出，减小 e 值与增加 u_a 产生同样的后果。

如果 u_a 不变，而提前了出现电弧的时间 θ_a ， i_a 直线的斜率不变而向坐标轴左方移动，也可以收到上述同样的效果。

电流 i_l 提前通过零点，减小了恢复电压 e_r ，同时电弧能量亦有所减小，便于熄灭。

用类似的方法可以分析直流电路的限流作用，图 2 为其示意图。

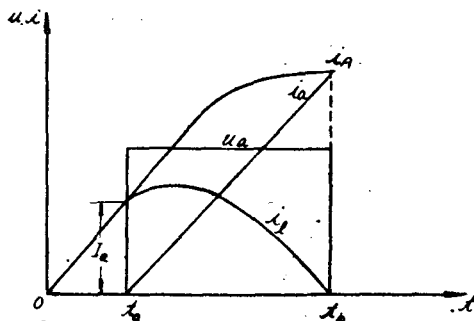


图 2

对交流电路来说，不对称系数对限流作用有着一定的影响，图 3 及图 4 是与图 1 用同一比例绘出，图 3 为完全对称的情况，图 4 为完全不对称的情况。在 u_a 和 I_a （电弧发生时的

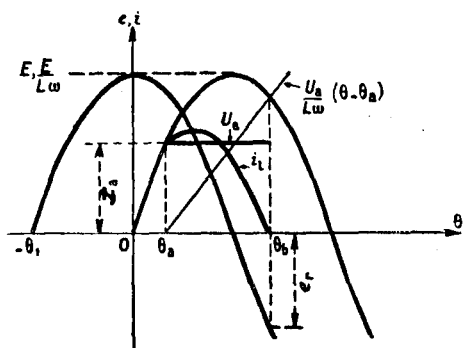


图 3

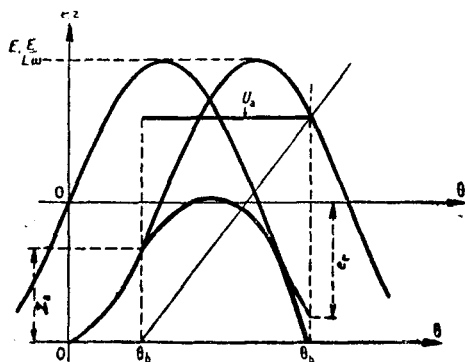


图 4

电流)保持不变时,三个图形的比较为表1所示。

表 1

图	不对称系数	电流通过全部时间 θ_b (毫秒)	燃弧时间 $\theta_b - \theta_a$ (毫秒)	限流系数 k_1
3	0	6.9	4.6	0.65
1	1.44	8.5	6.5	0.57
4	最大	12.5	9	0.51

这里,限流系数 k_1 为允通电流最大值与预期电流最大值之比,即 $k_1 = \frac{I_l}{I_A}$ 。它随不对称系数的增大而减小。但是应该注意,短路愈是对称,电流通过的全部时间,燃弧时间和允通电流的最大值 I_l 均愈小。

电弧压降实际上并不是在电弧产生的瞬间立即出现其最大值,而是随时间的增长而从零上升至最大值。如果用一个斜率与电器及短路条件有关的直线来代表电弧压降的上升过程,更能接近于实际情况。此时 i_a 不再是条直线,而是以 θ_a 为顶点的抛物线。在电弧压降为定值以后,再转变为直线。如图5所示。此时 i_a 的全部曲线在理想直线的右方,将导致较理想情况为差的限流作用和较长的电流通过时间。

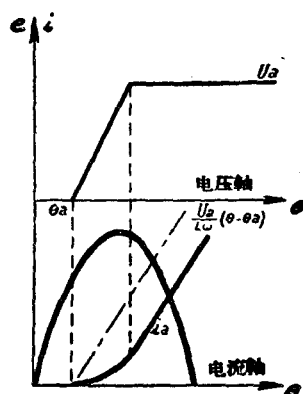


图 5

II 快速自动开关

目前生产的快速自动开关,结构原理大致都相似,是利用一个较大的磁系统来控制,达到快速动作的目的。我国在解放以后先后仿制了苏联 BAB-2 系列和德国的 GP 系列。产品质量长时期未能稳定,这是值得注意改进的问题。为了使快速自动开关的产品质量和技术指标方面达到现代要求的水平,必须迅速加强并组织这方面的科研工作。

自动开关的磁系统,由于操作原理的不同,可以分为极化的和非极化的两种。大部分的结构是极化形式的,它是利用串联线圈的磁通来抵消吸持线圈的磁通,产生快速断开的动作。图6为三十多年前美国奇异公司所生产的快速自动开关示意图。当时苏联生产的 BJA 型也是在这个结构基础上设计的。

此后苏联在1930年设计生产了 BAOД 型,它的磁系统如图7所示。这种磁系统利用电磁力来加

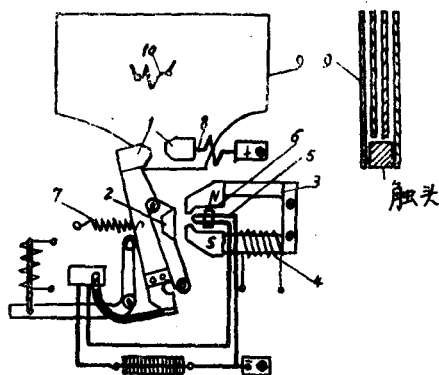


图 6

- 1—动触头 2—衔铁 3—电磁铁
- 4—励磁线圈 5—主电流匝 6—铁芯
- 7—弹簧 8—吹弧线圈 9—灭弧室
- 10—附加线圈

速断开，较БДА型有了改进。1937年设计的BAB-2系列的结构更较完善。图8为其结构示意图。这种开关的固有时间为0.003~0.004秒，短路的断开时间为0.01~0.018秒。1950年苏联又设计制造了“乌拉尔”系列快速自动开关。图9为BAB-10型，专门用在保护水银整流器。它的磁系统为极化型，见图10。图中I为正常工作时，II为逆弧时的磁通情况。这

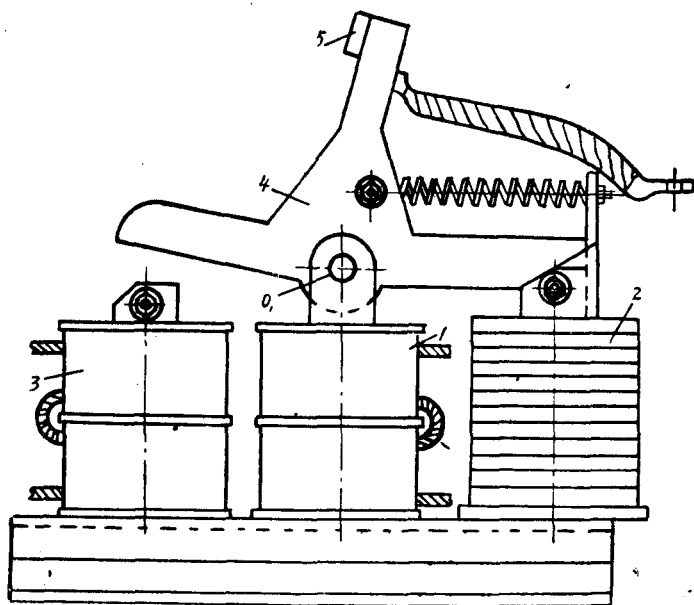


图 7

1—吸持线圈 2—释放线圈 3—合闸线圈 4—衔铁 5—动触头

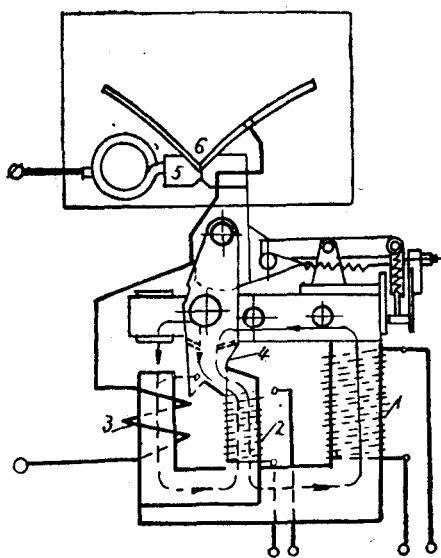


图 8

1—吸持线圈 2—合闸线圈
3—释放线圈 4—衔铁
5、6—触头

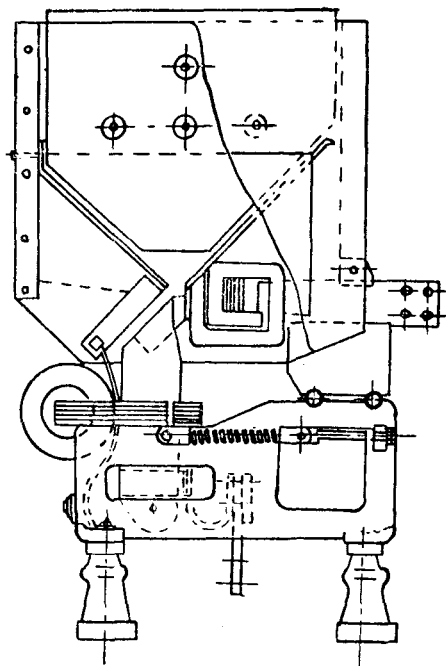


图 9

种开关的固有时间为 $0.0025 \sim 0.003$ 秒，总的时间为 0.02 秒。烏拉尔系列中另一种专门用来保护轧钢设备等直流电路的 BAB-20 型，见图 11。磁系统是非极化型的。同时这两种开关还有个共同点，就是磁系统吸合衔铁的作用是使触头断开。由于 BAB-10 型较 BAB-2 型有着很多优点，在苏联已经停止了 BAB-2 型的生产。

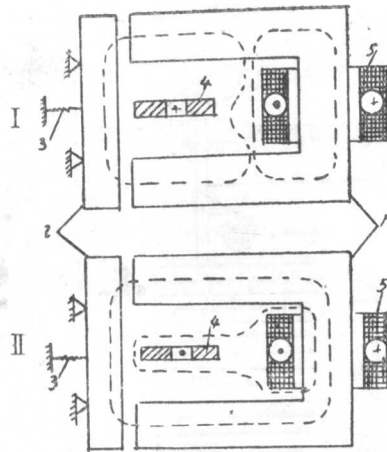


图 10

- 1—导磁体 2—衔铁 3—弹簧
4—母綫 5—綫圈

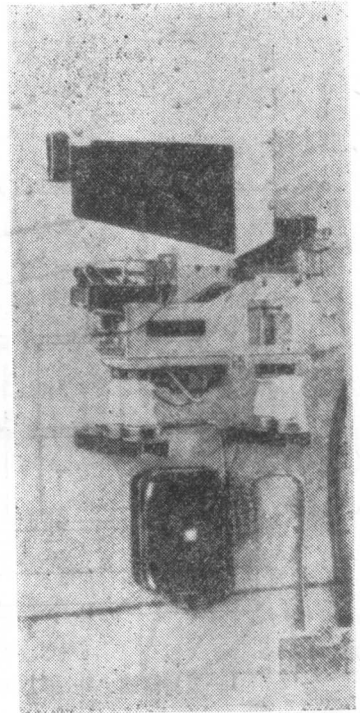


图 11

从上述几种磁系统结构看来，在达到快速动作减小动作时间上采用了很多巧妙的办法，因此固有的机械动作时间在 $0.003 \sim 0.008$ 秒的范围内。但是燃弧时间在 $1,000$ 伏时达 $0.007 \sim 0.008$ 秒， $3,000$ 伏时达 $0.0125 \sim 0.015$ 秒，大大超过了固有时间，这就是说现有的灭弧结构必须加以改进。不但如此，这种原有的沿用在不少开关中的灭弧室，有着向邻近导电或接地零件飞弧的缺点。

1953 年苏联在运输方面使用的 BBII-1 型快速自动开关上，采用了图 12 的喇叭口式迷宫灭弧室。这种结构改善了灭弧室内的气体动力性能，减少了电弧运动的阻力和气体下喷，将电弧限制在灭弧室内熄灭，防止了飞弧的缺点。在这个基础上应更进一步改进结构和材料，以避免大容量短路时电弧运动缓慢的地方被烧损。

单纯改进灭弧室的结构，燃弧时间并不能最大限度的缩短。因为触头的开距较小，往往由于电弧尾部存留的炽热到发光程度的游离气体，容易被恢复电压击穿而使电弧重燃。加强磁吹力或改进灭弧室结构都不能改变触头间的这种情况，必须采用其他更有效的去离子方法。通常采用在 $10,000$ 伏以下自动开关中的压缩空气吹弧可以解决这个问题。由于固有动作时间很短，气阀的自动控制必须用电流的时间函数，使得触头在分离以前空气已吹遍触头，而在电弧熄灭以后使气阀关闭。利用这种装置可以使 $3,000$ 伏时燃弧时间从 0.0238 秒降至 0.009 秒，减少 60% 。

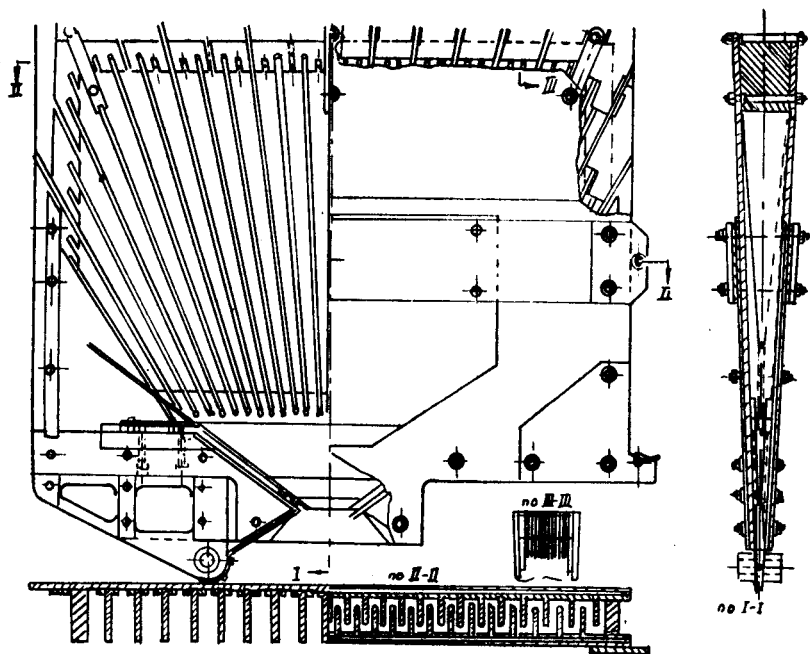


图 12

随着额定电流的增加，要设计制造 5,000 或 10,000 安以上的快速自动开关，此时运动部分的质量将使设计和制造大大复杂化。导电部分采用水冷方法可以解决这个问题，在这种情况下，原设计在自然空气冷却时用的 2,500 安开关可用于 10,000 安，额定电流增加了四倍。

美国西屋公司生产的 1,200 伏，10,000 安快速自动开关的主触头就采用了水冷方法。电弧靠磁吹线圈吹向灭弧室，灭弧室中装有带 V 形切口的铜瓷片。磁吹线圈和其极板的设计使得整个灭弧区磁场分布均匀。选用了适当的导弧角。并在触头处安装有叠压的铁心以加强产生电弧处的磁场。触头弹簧装在静触头侧，最大限度地减少了运动部分的质量，提高了分断速度。

磁系统的衔铁由 $H=200$ 奥斯特、 $B=2,300$ 高斯的特殊钴合金制成。为了防止在短路时过分磁化，磁系统的设计在当电流达到足以拉开衔铁时饱和。

主触头用银镍合金钎焊，而弧触头用钴银钎焊。

这种开关在 750 伏电压时可于 0.0065 秒内限制 80,000~36,000 安的稳定电流。最大断路电流达 77,000 安，1,000 伏，全部时间为 0.0115 秒。

西德 Calor-Emag 公司生产的 1,000~5,000 安快速自动开关采用爆炸元件来达到快速断开，这是值得注意的结构。它的动作原理简述如下。

爆炸元件装的支持开关于闭合位置时轴的支撑零件内，轴上装着触头及分断弹簧。爆炸时支撑零件破裂而松开弹簧，弹簧以 5 吨重的力量打开主触头，并立即经由特殊机构传至弧触头。电弧用磁吹或者在爆炸时产生的压缩空气来熄灭。爆炸讯号则由接受电子系统脉冲而作用的继电器发出。经过试验，这种开关能在 0.0012 秒内将电流限制在 11,300 安，800 伏以下。必要时，开关上并可安装固有时间 0.003~0.004 秒的电磁脱扣器。

这种开关的结构原理与一般的磁系统快速自动开关完全不同，可以作为限流式自动开关应用于一般配电系统中。

捷克 ČKD 工厂生产 3,000 伏的快速自动开关装有带电动脱扣器的锁扣装置。脱扣器由主电流线圈和相连的铝盘构成。短路时铝盘中产生与线圈电动势方向相反的电动势，产生电力推动铝盘离开线圈。

锁扣由钢套管构成，脱扣杆在套管中穿过，装在绝缘外壳中的脱扣杆的串联线圈安装在套管中，脱扣杆上自由安装着第二个钢套管。铝盘即与此第二个套管紧固地连接在一起。第一个套管的端部有三个孔，内装钢滚珠。

当开关闭合接通电路时，铝盘被驱动装置拉向线圈。脱扣杆上的槽位于钢滚珠孔的对面，滚珠滚入槽内，此时第二个套管堵塞着滚珠的出口，锁扣便处于闭锁状态。

短路时铝盘移动第二套管，受分断弹簧作用的脱扣杆沿着槽的斜坡推走滚珠，然后离开，将触头打开。

这种脱扣器的动作时间随 $\frac{di}{dt}$ 的变化而异，同时仅适用于直流电路中。

电弧是在狭缝迷宫式灭弧室中熄灭。这里迷宫的齿呈 T 形，切口位于电弧进入缝隙之处。迷宫的宽度决定于灭弧室顶端垫在齿尖与齿根间的绝缘垫片的厚度。迷宫中由齿柱构成的较宽部分接有管子，以利热气体排出。管中装有去离子隔板。

由于电流的增长速度不同，开关的固有时间在 0.0015~0.005 秒之间变化，对于 $\frac{di}{dt}$ 来说，0.0015 秒相当于 $2 \cdot 10^6$ 安/秒。试验时在 0.023 秒内完成了 4,200 伏，11,000 安电流的断开。开关的外形尺寸较一般常见的减少 3/5。

III 限流式自动开关

最简单的限流作用可以由限流熔断器获得。现代所发展的有填料式熔断器都具有这种特性，熔体的截面越小限流作用越大，因此目前生产的限流熔断器都采用导电率良好的银质熔体。

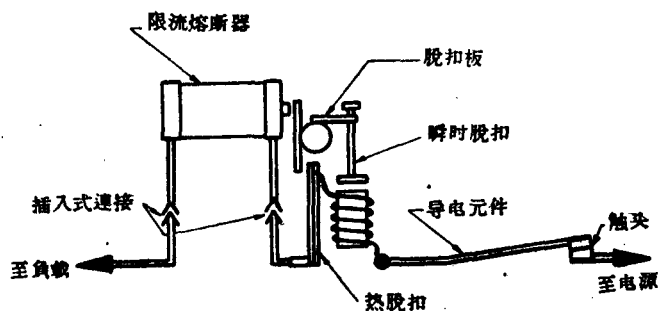


图 13

在一般自动开关上串联限流熔断器是满足上述要求的最经济方案。美国、日本和法国都先后生产了这类组合产品，图 13 为其结构原理。图 14 和图 15 分别为美国和法国的产品结构。这种配合方式在美国达到了 1,000 安额定电流值(1,000 安自动

开关串联 4,000~6,000 安限流熔断器)。

非常可惜的是：这种组合在大额定电流时是不经济的，而且限流作用也显著地下降，这是受到了限流熔断器本身限流作用下降的限制。不难想象粗截面的导体熔断的时间总比较迟

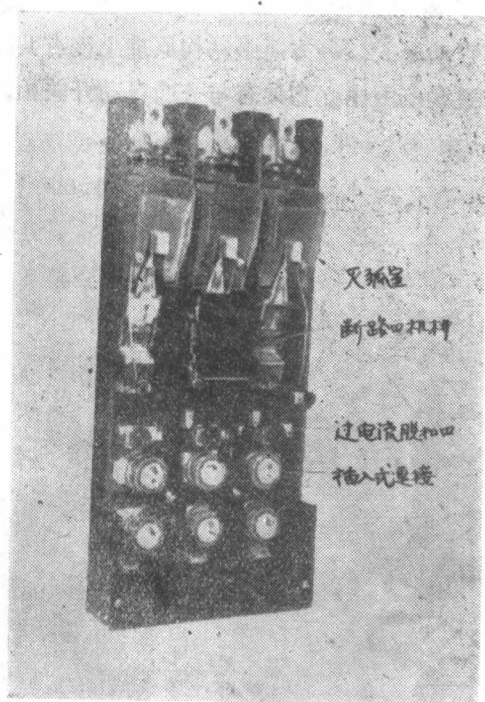


图 14

能保证触头在斥开以后不致由于电流下降而重新闭合，避免发生触头焊接。这样高的动作速度要求有关的运动部分的质量很小，因此这些零件应采用铝合金等轻金属材料制造。

缓。照法国 Delle 厂分析的结果，额定电流在 320 安以下时，这种组合方有高的经济实用价值。

新的限流式自动开关完全在新的结构概念上设计制造。一般自动开关为了提高断流能力，保持在大短路电流下工作的稳定性，避免触头受电动力而斥开，采用电动补偿装置。而限流式自动开关却正是利用大短路电流所产生的巨大电动力来使触头斥开，达到提早产生电弧而限制电弧电流的继续上升，产生限流作用。同时电弧被引入 U 形灭弧栅组成的灭弧室，迅速熄灭。

单靠电动力斥开触头还不能保持触头于斥开位置，必须另有快速脱扣器来配合动作。快速脱扣器的全部动作时间必须小于 5 毫秒，方

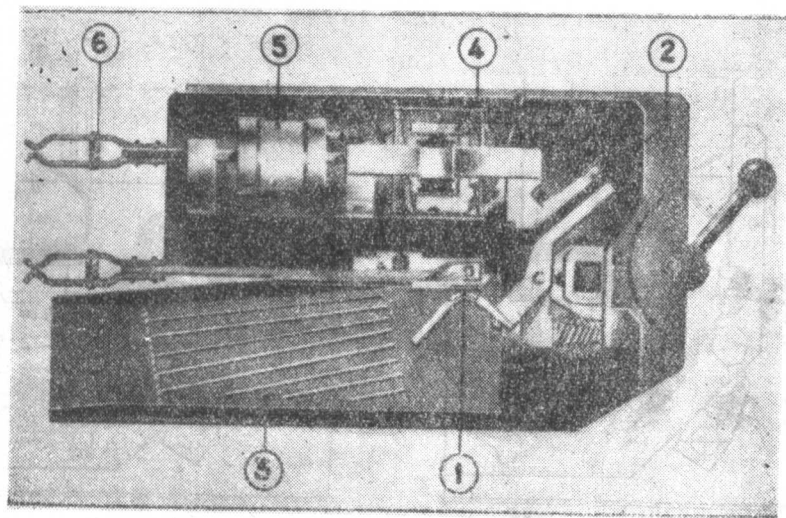
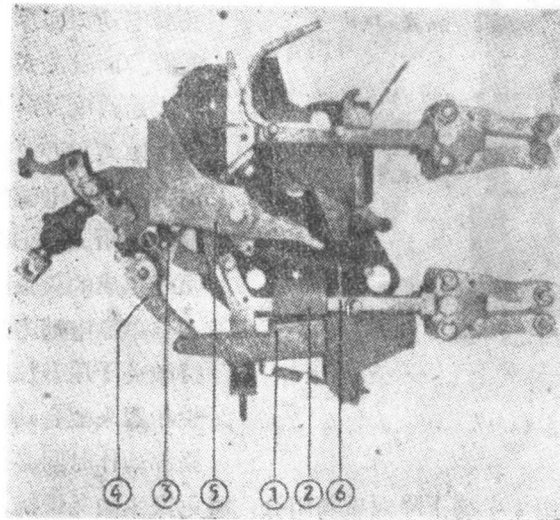


图 15

- | | | |
|--------|----------|---------|
| 1—触头 | 2—电动补偿装置 | 3—灭弧室 |
| 4—脱扣装置 | 5—熔断器 | 6—插入式接触 |

图 16 为限流式自动开关触头和快速脱扣器的结构关系，图 17 至图 19 为其闭合、脱扣和再扣位置的示意图。这种开关不同于快速自动开关，一方面是结构原理上没有共同之处，另一方面在快速脱扣器动作电流以下的广大过载范围中，它具有与一般自动开关相同的动作特性。



- 1—脱扣器衔铁
- 2—铁芯
- 3—钩住机构
- 4—脱扣臂
- 5—触头支架
- 6—弹簧

图 16

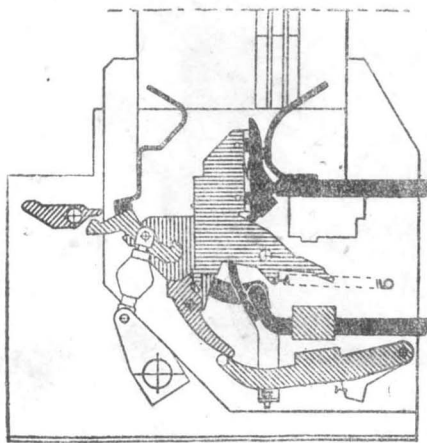


图 17

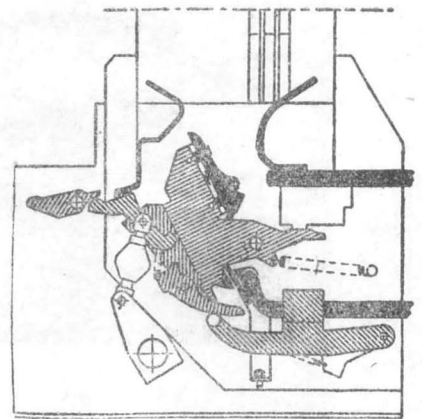


图 18

目前生产的限流式自动开关产品有法国 Delle 厂的 DL 系列, 额定电流 500~2,000 安, 额定电压 500 伏, 闭合电流达 260,000 安(峰值), 能将 242,000 安短路电流限制在 80,000 安断开。图 20 为 2,000 安 DL 型自动开关的外形。这个系列的体积及重量等数据见图 21 及表 2。这里所列出的断流容量数值为断开时电弧电流的实际有效值。

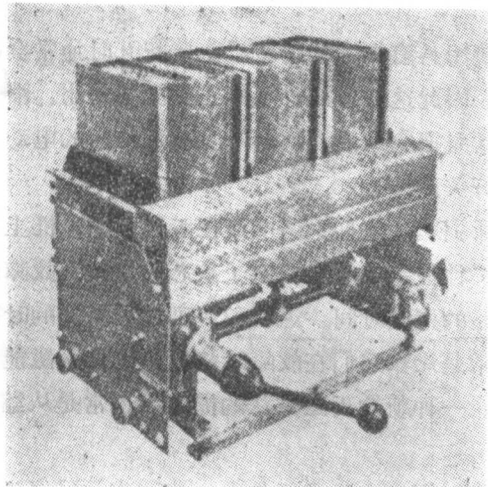


图 20

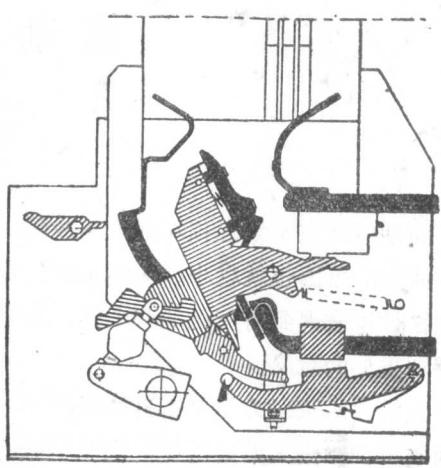


图 19

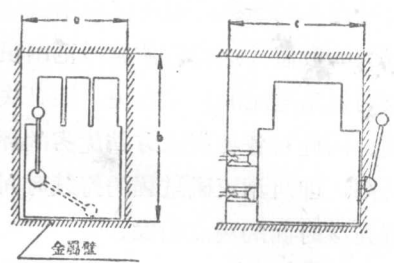


图 21

表 2

额定电流 (安)	550 伏及 $\cos \varphi = 0.1$ 时 断流容量(安)	安 装 尺 寸 (毫 米)				重 量 (公 斤)	
		A (三极)	B		C	手 动	电 动
			手 动	电 动			
500	100,000	400	600	780	500	48	58
1,000	100,000	480	600	780	500	70	80
2,000	100,000	610	600	780	500	94	104

在研究和设计限流式自动开关时, 需要断流容量达 30 万安的试验设备和每秒拍摄 7,000 次以上的快速摄影机等特殊设备, 这些都是我国科研工作需要解决的问题。

参 考 文 献

- 1 Состояние и перспективы развития конструкций низковольтных аппаратов, ГЭИ 1959.
- 2 Аппараты распределительных устройств низкого напряжения, Р. С. Кузнецов.
- 3 Низковольтные электрические аппараты, О. Б. Брон, Москва, 1958.
- 4 Электрические аппараты(том 2), М. А. Бабинов.
- 5 限流式自动空气断路器, 向骥、王自琦, 电工技术报导, 1959 第三期。

自动灭磁开关

向 馨

同期电机定子绝缘损坏而发生故障，灭磁是限制故障范围的唯一办法。灭磁过程越迅速，故障的范围也就越小。所谓灭磁过程，是迅速消灭电机的激磁磁通。在正常运转情况中，往往也会遇到有灭磁的必要性。可是对引起电机内部绝缘故障的危急情况，这种过程具有特别重要的意义。

最简单的灭磁方法是断开励磁绕组。但是绕组具有很大的电感，直接断开时通常会在绕组两端出现相当大的过电压，引起绝缘的击穿。因此这种方法并不能在实际中采用。消除这些过电压必须及时移走贮存在磁场的能量，通常是把它放泄在放电电阻或反作用的电动力等耗能设备上，执行此种操作的电器为自动灭磁开关。

电机内部的绝缘故障可能由出线端子短路所引起，这种短路电流在近代巨型电机上可能达到巨大的数值。这就常使故障范围很快扩大，往往造成绕组和定子铁芯的烧毁。故障的范围不仅与短路电流的数值有关，而且决定于短路的持续时间。这就和灭磁过程所需的时间直接有关。因此对各种灭磁方法优劣的评定，通常是比较它们在故障时能取走电机励磁能量的那段时间，即所谓灭磁过程的持续时间。同时，一种新的灭磁方法的提出，也常是从缩短灭磁过程持续时间的观点出发。

过去最通行的灭磁方法是励磁绕组适当地对固定电阻进行放电。这种方法已经沿用了几十年，目前仍在中小型同期电机上广泛采用。但是对新的发展情况来说，同期电机的单机容量达到几万到几十万伏安，在远程输电线路上广泛采用强行励磁，以提高变电站的稳定工作。这些措施都使得在电机磁场中贮藏的能量有了很大的增加，增加了灭磁过程的复杂性。上述的放电电阻灭磁方法是不能满足需要的，它的灭磁过程的持续时间有时达到10秒。同时旧有的自动开关不能断开大电感电路，触头上会出现持久的电弧，烧毁触头并造成与底壳的弧络。

四十余年来，各国对巨型电机的最迅速灭磁问题，进行着很多研究，长时期没有找到理想的答案。最近几年中苏联研究设计成功了利用旋转电弧作为吸收磁场能量的新型自动灭磁开关。找到了近于理想的灭磁方法。新的产品系列已经投入了生产。

I 各种灭磁方法的分析比较

如上所述，灭磁方法的优劣，取决于灭磁过程持续时间的长短。为了便于分析比较，先从电感 L 不变的情况着手，也就是铁芯未饱和的情况。同时不考虑电机阻尼线圈的作用。然后再用这些因素的变化影响来加以校正。

1 理想的灭磁方法应具有最小的灭磁过程的持续时间 经过计算证明，当励磁绕组上的电压 U_m 在整个灭磁过程中保持不变，并等于由绝缘强度所决定的最大允许值，通常为试验电压的80%，灭磁过程最短。这时，非饱和电机励磁绕组的电流，以及饱和电机的磁通都是循直线变化从开始的 I_0 或 ϕ_0 值下降至零。图1为理想灭磁条件的示意线路及其电流变化曲线。

在这种情况下，灭磁过程的持续时间由下式决定

$$t_m = \frac{\tau}{K+1}$$

这里 $\tau = \frac{L}{\gamma}$ 为励磁绕组的时间常数， $K = \frac{U_m}{U_0}$ 为允许的过电压比例。

其中 U_0 为励磁绕组两端的额定电压。

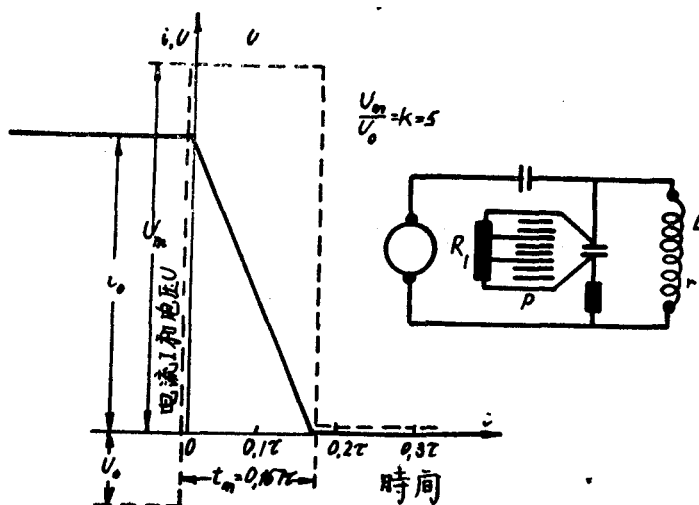


图 1

2 励磁绕组对不变的有效电阻放电 这种方法简单易行，获得了广泛的应用。图 2 为其原理图，放电时在放电电阻 R 上电流的变化为

$$i = \frac{U_0}{\gamma} \cdot e^{-\frac{R+\gamma}{L}t} = I_0 e^{-\frac{R+\gamma}{L}t} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$

这里可以看出，提高 R 值可以加速灭磁过程。但是由于 $I_0 R < U_m$ ， R 的增高有着一定的

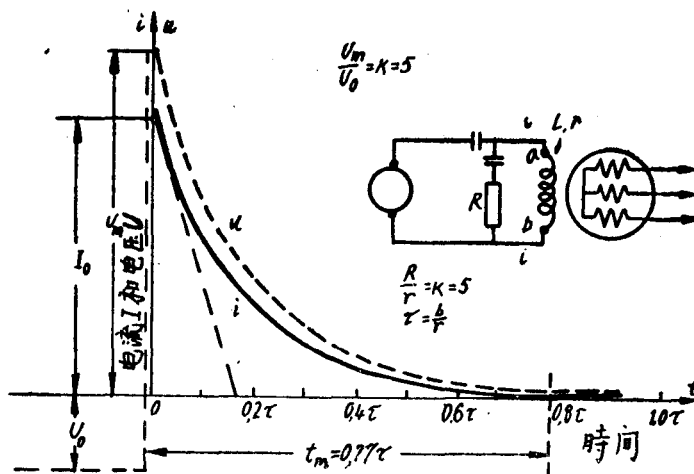


图 2

极限, 即 $R < \frac{U_m}{I_0}$ 。同时 $K = \frac{U_m}{U_0} = \frac{R}{\gamma}$, 则 $\tau_1 = \frac{1}{R + \gamma} = \frac{\tau}{K + 1}$ 。灭磁过程的持续时间则为

$$t_m = \frac{\tau}{K + 1} \ln \frac{I_0}{i} = \frac{\tau}{K + 1} \ln p$$

p 值的取定与电机的参数有关。一般当定子电势降低到 500 伏以下时, 可以认为灭磁过程已告结束。此时定子电势由转子的剩磁和励磁电流所引起, 如若剩磁产生的电势为 300 伏, 则励磁电流产生的电势为 200 伏。巨型同期电机的定子电压为 13,500 ~ 15,000 伏。在铁芯未饱和时, 定子电压和励磁电流成正比, 即在灭磁过程 t_m 时间内, 励磁电流应减少的倍数,

$$\text{即 } p = \frac{15,000 \sqrt{2}}{200} = 105。$$

以 $p = 105$ 代入上式, 得

$$t_m = 4.6 \frac{\tau}{K + 1}$$

与理想的灭磁方法比较, 放电电阻的灭磁过程持续时间超过了 4.6 倍。

3 励磁绕组对多级不变的有效电阻放电 这是用人为的控制办法改变灭磁过程中的电阻值, 级数很多时可以接近于理想的灭磁条件。不过这种控制方法极为复杂, 而且可靠性差, 不切合实用。五级放电电阻时灭磁过程的持续时间为理想条件的 1.49 倍。

4 励磁绕组对非线性电阻放电 为了加速灭磁, 维持励磁绕组电压近乎不变, 放电电阻值随电流的减少而增加。碳化硅(金刚石)制成的电阻(维利特)具有这种性质, 它在避雷器中用得很多。这种电阻的伏安特性近似地可以用下式表示

$$i = AU^n, \quad U = \left(\frac{i}{A} \right)^{\frac{1}{n}}$$

当 $n = 3 \sim 5$ 时, A 为常数。由此得

$$R = \frac{U}{i} = \frac{U}{AU^n} = \frac{1}{A} U^{1-n}$$

或

$$R = \frac{1}{A} \left(\frac{i}{A} \right)^{\frac{1-n}{n}} = Bi^{\frac{1-n}{n}}$$

图 3 为这种灭磁方法的原理图。励磁绕组对碳化硅电阻 R_L 放电时, 得

$$L \frac{di}{dt} + R_L i + \gamma i = 0$$

在灭磁过程的最后阶段 $R_L \gg \gamma$, 故可将 γ 忽略不计, 并将上述伏安特性表示式代入, 得

$$L \frac{di}{dt} + Bi^{\frac{1}{n}} = 0$$

积分并当 $t = 0$ 时, $i(0) = I_0$, 得

$$i^{\frac{n-1}{n}} = I_0^{\frac{n-1}{n}} - \frac{n-1}{n} \frac{B}{L} t$$