

熊为群 陶然 编

# 继电保护 自动装置 及 二次回路

第二版



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

14

E2

1014089

# 继电保护 自动装置 及 二次回路

**第二版**

---

熊为群 陶然 编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书共分三部分。继电保护部分系统讲述了输电线路、发电机、变压器、母线及电动机常用的、基本的继电保护装置的工作原理与接线；二次回路部分概括介绍了断路器的控制、信号及同期回路；自动装置部分介绍了备用电源自动投入、自动重合闸、自动调节励磁及自动按频率减负荷等装置的工作原理及组成。

本书是1982年版的修订版。除保留了原书深入浅出、通俗易懂的特点外，为适应电力系统发展的需要，还充实、更新了各章的内容，适当加强了大机组保护、自动调节励磁装置及断路器控制回路的内容，删去了晶体管保护部分，增加了集成电路保护的概念。此外，书中所有插图的图形符号、文字符号均采用了最新国家标准。

本书内容全面，可作为电力系统电气运行及继电保护工作人员培训及自学教材，也可作为中等专业学校及技工学校有关专业的教学参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护自动装置及二次回路/熊为群,陶然编. 2版. 北京: 中国电力出版社, 1999

ISBN 7-5083-0045-9

I. 继… II. ①熊…②陶… III. 电力系统-继电保护装置  
IV. TM772

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 16890 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

水利电力出版社印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

1982年7月第一版

2000年1月第二版 2001年8月北京第十二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 34.5印张 355千字

印数 97421—101420册 定价 22.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

# 前 言

本书是以1982年出版陶然、熊为群合编的《继电保护、自动装置及二次回路》一书为基础编写的。这次编写除保留原书深入浅出、通俗易懂的特点外，为适应电力系统发展的需要，特征求了杨奇逊、王梅义等专家的意见，对原书各章节的内容进行了充实和更新，如，适当加强了大机组保护、自动调节励磁装置及断路器控制回路等内容；删去了晶体管保护，增加了集成电路保护的概念等；此外，书中所有插图的图形符号及文字符号均采用最新国家标准。本书内容比较全面，可供电力系统电气运行及继电保护工作人员使用或作培训教材，也可作为中等专业学校及技工学校教学参考书。

本书由李立群、高永昌老师审稿，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免存在不妥和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

1999.3

前言	
<b>第一章 继电保护的基本知识</b> .....	(1)
第一节 继电保护与自动装置的任务.....	(1)
第二节 对继电保护与自动装置的基本要求.....	(2)
第三节 几种常用的电磁式继电器及其表示符号.....	(3)
第四节 静态继电器 .....	(11)
<b>第二章 输电线路的继电保护</b> .....	(17)
第一节 反应相间短路的电流电压保护 .....	(17)
第二节 反应相间短路的方向过电流保护 .....	(36)
第三节 输电线路的接地保护 .....	(44)
第四节 输电线路的距离保护 .....	(52)
第五节 输电线路的差动保护 .....	(81)
第六节 输电线路的高频保护 .....	(87)
<b>第三章 同步发电机的继电保护</b> .....	(95)
第一节 同步发电机的故障、不正常工作状态及其保护方式 .....	(95)
第二节 同步发电机的纵差动保护 .....	(97)
第三节 同步发电机定子绕组的匝间短路保护.....	(104)
第四节 同步发电机定子绕组的单相接地保护.....	(107)
第五节 同步发电机励磁回路的接地保护.....	(112)
第六节 同步发电机相间短路的后备保护及过负荷保护.....	(114)
第七节 同步发电机保护接线全图举例.....	(121)
<b>第四章 电力变压器的继电保护</b> .....	(124)
第一节 电力变压器的故障、不正常工作状态及其保护方式.....	(124)
第二节 电力变压器的瓦斯保护.....	(124)
第三节 电力变压器的电流速断保护.....	(126)
第四节 电力变压器的纵差动保护.....	(126)
第五节 电力变压器相间短路的后备保护及过负荷保护.....	(133)
第六节 电力变压器的接地保护.....	(135)
第七节 电力变压器保护接线全图举例.....	(136)
第八节 发电机—变压器组保护的特点.....	(138)
<b>第五章 母线保护</b> .....	(139)
第一节 母线故障及母线保护的装设原则.....	(139)
第二节 完全电流差动母线保护.....	(140)
第三节 双母线同时运行时的母线保护.....	(141)
<b>第六章 电动机保护</b> .....	(146)
第一节 概述.....	(146)

第二节	反应电动机相间故障、接地及过负荷的保护	(146)
第三节	电动机的低电压保护	(150)
第四节	同步电动机的失步保护	(152)
<b>第七章</b>	<b>断路器的控制回路</b>	(153)
第一节	控制开关	(153)
第二节	控制回路	(154)
<b>第八章</b>	<b>信号回路</b>	(161)
第一节	隔离开关的位置信号	(161)
第二节	事故信号	(161)
第三节	预告信号	(163)
第四节	指挥信号	(165)
<b>第九章</b>	<b>同期装置的基本接线</b>	(167)
第一节	概述	(167)
第二节	同期装置的基本接线	(169)
<b>第十章</b>	<b>备用电源自动投入装置</b>	(172)
第一节	概述	(172)
第二节	备用电源自动投入装置的典型接线	(173)
<b>第十一章</b>	<b>输电线路的自动重合闸装置</b>	(176)
第一节	概述	(176)
第二节	单侧电源线路的三相一次自动重合闸装置	(177)
第三节	双侧电源线路的自动重合闸	(179)
第四节	自动重合闸与继电保护的配合	(182)
第五节	输电线路综合自动重合闸简介	(184)
<b>第十二章</b>	<b>同步发电机自动调节励磁装置</b>	(186)
第一节	概述	(186)
第二节	同步发电机的励磁方式	(186)
第三节	继电强行励磁装置	(188)
第四节	复式励磁装置	(189)
第五节	KFD-3型可控相复励自动调节励磁装置	(192)
第六节	可控硅自动调节励磁装置	(199)
<b>第十三章</b>	<b>按频率自动减负荷装置</b>	(213)
第一节	概述	(213)
第二节	实现按频率自动减负荷装置的基本原则	(213)
第三节	按频率自动减负荷装置	(215)
<b>附录一</b>	<b>常用符号新旧对照表</b>	(218)
<b>附录二</b>	<b>回路标号</b>	(220)
<b>附录三</b>	<b>几种常用继电器的技术数据</b>	(222)

# 第一章 继电保护的基本知识

## 第一节 继电保护与自动装置的任务

在电力系统中，继电保护和自动装置是保证电力系统安全运行和提高电能质量的重要工具。

电力系统运行中，由于风、雨、雷电的影响、设备的缺陷和绝缘老化、运行维护不当和操作错误等原因，致使组成电力系统的电气元件（发电机、变压器、母线、输电线路、电动机等）可能发生各种故障和不正常工作状态。电力系统发生的故障主要是各种类型的短路，包括三相短路、两相短路、两相接地短路、单相接地短路，以及发电机、变压器同一相绕组的匝间短路。此外，还有输电线路的断线，以及短路与断线组合的复故障等。常见的不正常工作状态主要是过负荷、系统振荡和频率降低等。故障的危害是：

- (1) 故障点的电弧可能烧坏故障设备。
- (2) 故障回路中的设备，由于短路电流产生的热效应和电动力的作用，会遭受破坏或损伤。
- (3) 电力系统部分地区的电压大幅度下降，影响用户的正常生产。
- (4) 破坏电力系统并列运行的稳定性，引起系统振荡，甚至使整个系统瓦解，造成大面积停电。

因此，任何电力系统在设计和运行时，必须考虑到系统中可能发生的故障和不正常工作状态，并利用继电保护装置予以消除，以保证电力系统正常运行。

早期的电力系统采用熔断器作为电气设备的保护装置。目前农村线路和小型变电所中仍广泛采用。随着电力系统的发展，容量的增大，电压的升高，使系统接线越来越复杂。仅采用简单的熔断器既不能满足快速、有选择性地切除故障的要求，又不能安全可靠地切除强大的短路电流引起的电弧，因此采用了具有灭弧装置的断路器来切除短路故障。伴随着断路器的采用，作用于断路器跳闸机构的继电保护装置得到了迅速的发展。

继电保护装置的任务是：

- (1) 当被保护的电气元件发生故障时，保护装置迅速动作，使断路器跳闸，将故障的电气元件从电力系统中切除，使其损坏程度减至最小，并保证无故障部分继续正常运行；
- (2) 当被保护的电气元件出现不正常工作状态时，保护装置发出信号，告诉运行人员予以处理。在无人值班的变电所，保护可作用于减负荷或延时跳闸。

电力系统的安全自动装置一方面配合继电保护装置提高供电的可靠性（如自动重合闸、备用电源自动投入装置）；另一方面不断调整系统电压与频率，以保证供电质量及并列运行机组间功率的合理分配。

电力系统的发展，特别是超高压电网和大容量机组的出现，对继电保护和自动装置提出了更高的要求；电工理论和元件制造技术的进步，特别是微电子学和计算机技术的新成就在继电保护和自动装置中的实际应用，为继电保护和自动装置的技术更新、适应要求提供了必要的条件。

因此，在继电保护方面目前除有触点的机电型继电保护仍被继续使用外，集成电路保护、微机保护正处于方兴未艾阶段。自进入 90 年代以来，集成电路继电保护装置已代替了晶体管型继电保护装置，成为静态型继电保护装置的主要形式；数字型微机继电保护装置已在我国得到大量的应用，成为继电保护装置的重要形式。

在自动装置方面，除常规的自动装置仍在电力系统中发挥着重要作用外，电子计算机的应用，大大提高了某些自动装置性能，加快了电力系统的安全自动控制和电网调度自动化的实现和发展。

## 第二节 对继电保护与自动装置的基本要求

为了使继电保护装置（以下简称保护装置）能及时、正确地完成它所担负的任务，对反应短路故障的保护装置有以下四个基本要求：选择性、快速性、灵敏性和可靠性。

### 1. 选择性

选择性指的是保护装置选择故障元件的能力。当被保护的电气元件发生故障时，保护装置动作并通过断路器只将故障元件从系统中切除，以保证无故障部分继续运行，使故障影响限制在最小范围内。

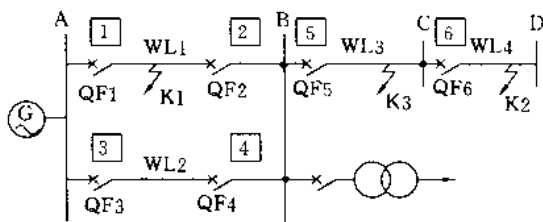


图 1-1 继电保护动作具有选择性图例

以图 1-1 为例，在各个断路器处均装有保护装置。当线路 WL4 上 K2 点发生故障时，因为短路电流将经过断路器 1、2、3、4、5、6 流至故障点 K2，则相应的保护都有可能动作。但根据选择性的要求，应首先由保护 6 动作跳开断路器 QF6，切除故障线路 WL4。若此时保护 5 首先动作跳开断路器 QF5，则变电所 C 和 D 都将停电，这种

情况称为无选择性动作。同理，K1 点故障时，保护 1 和保护 2 动作跳开断路器 QF1 和 QF2，将故障线路 WL1 切除，才是有选择性的。

应该指出，保护装置和断路器都可能因失灵而拒动，如在 K3 点故障时，保护 5 或断路器 QF5 拒动，保护 1 和保护 3 动作跳开 QF1 和 QF3 切除故障，保护这样动作也是有选择性的，保护 1 和保护 3 起了线路 WL3 的后备保护作用。由于这种后备作用是在远处实现的，称为远后备保护。后备保护也可采用近后备方式，即在被保护元件上装设两套保护，一套主保护拒动时，由另一套后备保护动作切除故障，但近后备方式不能在断路器失灵时起后备作用，故还必须装设断路器失灵保护。

远后备保护方式具有简单、经济，且对相邻元件的保护或断路器拒动均能起后备作用等优点。但应指出，对于后备保护的配置，应按《继电保护和安全自动装置技术规程》的要求来进行。3~10kV 和 35kV 及以上电压中性点非直接接地系统线路采用远后备方式，110kV 线路宜采用远后备方式；220kV 及以上电压线路则宜采用近后备方式等。

### 2. 快速性

快速切除故障可以减小故障元件的损坏程度，加快非故障部分电压的恢复，为电动机自启动创造有利条件，更重要的是可以提高超高压电网系统运行的稳定性。



保护切除故障的时间，等于保护装置动作时间与断路器跳闸时间之和。为了快速切除故障，应采用与快速断路器相配合的快速保护装置。

目前保护动作时间最快的约为 0.02~0.04s，包括快速断路器跳闸灭弧在内的切除故障时间，最快约为 0.1s 左右。但是，应当指出，并不是任何情况下，均要求保护以此最快时间来切除故障的，而应当根据系统及保护元件的不同情况，按技术经济条件，对保护的快速动作时间提出适当的要求。在许多情况下，电力系统允许保护装置带一定的延时切除故障。

### 3. 灵敏性

灵敏性是指保护装置对被保护电气元件可能发生的故障的反应能力。灵敏性通常用灵敏系数  $K_{sen}$  衡量，灵敏系数应根据对保护装置动作最不利的条件进行计算。

对于反应故障时参数值增大（如过电流）而动作的保护装置，其灵敏系数为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置整定动作值}} \quad (1-1)$$

对于反应故障时参数值减小（如低电压）而动作的保护装置，其灵敏系数为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护装置整定动作值}}{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值}} \quad (1-2)$$

考虑到故障可能是非金属性短路等因素，因此要求  $K_{sen} > 1$ 。在《继电保护和安全自动装置技术规程》中，对各种保护装置的最小灵敏系数都有具体规定。一般对主保护要求灵敏系数不小于 1.5~2；对后备保护则要求不小于 1.2~1.5。

### 4. 可靠性

可靠性是指在保护装置应该动作时，它不应拒动；而在不应该动作时，它不应误动。

可靠性与保护装置本身的设计、制造、安装质量有关，也与调试、运行维护水平有关。保护装置组成元件的质量越好、接线越简单、回路中继电器的触点数和接插件数越少，保护装置的工作就越可靠。此外，正确的调整试验、良好的运行维护对提高保护装置工作的可靠性有着重要的作用。

上述四个基本要求是设计、配置和评价保护装置性能的基础。它们之间是相互联系的，既存在矛盾的一面，又有在一定条件下统一的一面。因此，必须正确地了解被保护对象，明确矛盾的主次，取得具体问题的矛盾统一。此外，在满足技术要求的前提下，尚需考虑经济性。

对安全自动装置，同样应满足对它提出的可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。即自动装置该动作时应可靠动作，不该动作时应可靠不动作；能有选择性地按预期实现控制作用；装置的起动元件和测量元件在系统故障和异常运行时能可靠起动和正确判断；装置应动作迅速，以满足系统稳定和限制事故影响的要求。且根据运行的需要，考虑设备投资、维护费用、使用效果和利用率等因素，尽量采用简单、有效的装置以提高电能质量和供电的可靠性。

## 第三节 几种常用的电磁式继电器及其表示符号

### 一、电磁式继电器的工作原理

电磁式继电器的结构型式主要有三种：螺管线圈式、吸引衔铁式及转动舌片式，见图 1-2。每种结构皆包括五个组成部分，即铁心 1、可动衔铁或舌片 2、线圈 3、触点 4、及反作用

弹簧 5 和止档 6。

当电磁铁的线圈中通过电流  $I_K$  时，在导磁体中就立即建立起磁通  $\Phi$ ，该磁通经过电磁铁的导磁体、空气隙和衔铁而形成闭合磁路。由于可动衔铁在磁场中被磁化，产生电磁力  $F_{em}$  或电磁力矩  $M_{em}$ ，使图 1-2 (a) 中衔铁 2 被吸向上，图 1-2 (b) 中衔铁 2 被吸向左；图 1-2 (c) 中舌片 2 顺时针旋转。当然只有电磁力（或电磁力矩）大于弹簧及轴承摩擦所产生的反作用力（或力矩）时，上述情况才能发生，并使触点接通。

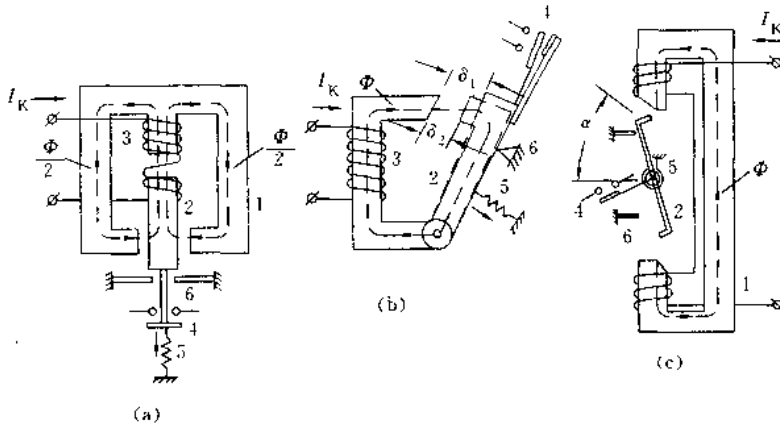


图 1-2 电磁式继电器的结构型式

(a) 螺管线圈式；(b) 吸引衔铁式；(c) 转动舌片式

根据电磁学的原理可知，电磁力  $F_{em}$  与磁通  $\phi$  的平方成正比，即

$$F_{em} = K_1 \Phi^2 \quad (1-3)$$

当磁路未饱和时，磁通  $\phi$  与继电器线圈中通过的电流  $I_K$  有以下关系

$$\Phi = \frac{I_K W}{R_m} \quad (1-4)$$

式中  $W$  ——继电器线圈的匝数；

$R_m$  ——磁通  $\Phi$  所经过的磁路的磁阻，与气隙  $\delta$  成正比。

将式 (1-4) 代入式 (1-3)，得

$$F_{em} = \frac{K_1 W^2}{R_m^2} I_K^2 = K_2 I_K^2 \quad (1-5)$$

式中  $K_2$  ——常数， $K_2 = \frac{K_1 W^2}{R_m^2}$ 。

电磁力矩  $M_{em}$  为

$$M_{em} = F_{em} L = K_2 I_K^2 L = K_3 I_K^2 \quad (1-6)$$

式中  $L$  ——电磁力的力臂；

$K_3$  ——常数， $K_3 = K_2 L$ 。

从式 (1-5) 及式 (1-6) 可以看出，系数  $K_2$ 、 $K_3$  与磁阻  $R_m$  有关。作用于继电器衔铁（或舌片）的吸力和力矩，是与继电器线圈中通过的电流  $I_K$  的平方成正比的，而与电流流经线圈的方向无关。所以，电磁式继电器，可以制成直流的或交流的。

## 二、几种常用的电磁式继电器

### (一) 电流继电器

DL-10 系列电流继电器的结构如图 1-3 所示。

#### 1. 继电器的动作电流、返回电流和返回系数

为了弄清电流继电器的特性，取 DL 11/20 型电流继电器按图 1-4 的接线图作实验。

将继电器的动作电流调整把手对准 10A 处，继电器两线圈串联，调压器把手指在零处。合上开关 Q，慢慢旋转自耦调压器，然后减小可调电阻（细调），使通入继电器的电流  $I_k$  慢慢增大。当  $I_k$  小于 10A 时，继电器舌片不动，它的动合（常开）触点仍然断开，指示灯不亮。继续增加通入继电器的电流，当  $I_k$  增大到 10A 时，继电器的 Z 形舌片迅速吸向磁极，使触点接通，指示灯亮。再增加电流（大于 10A），继电器触点仍维持接通状态，灯仍然亮。以上过程叫做继电器的动作过程。能使继电器的 Z 形舌片由原始位置转向到被磁极吸引后的动作位置，即继电器刚好动作（动合触点由断开变为接通）时的最小电流，叫做继电器的动作电流，用  $I_{act.k}$  表示。上述实验中  $I_{act.k} = 10A$ 。

继续进行实验，将大于 10A 的电流慢慢减小，当电流减小到 10A 时，继电器仍处于动作状态，触点仍接通，指示灯仍然亮。再慢慢减小电流，当减小到 8.5A 时，Z 形舌片回到原始位置，触点断开，指示灯熄灭。以上过程叫做继电器的返回过程。能使继电器的 Z 形舌片由动作位置返回到原始位置，即继电器刚好返回（动合触点由接通变为断开）时的最大电流，叫做继电器的返回电流，用  $I_{r.k}$  表示。上述实验中  $I_{r.k} = 8.5A$ 。

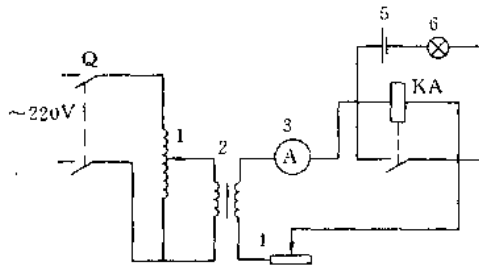


图 1-4 DL-10 系列电流继电器实验接线图  
1—自耦调压器；2—大电流发生器（行灯变压器代）；  
3—电流表；4—可调电阻；5—电池；6—指示灯

对于反应参数增加而动作的继电器， $K_r$  恒小于 1。上述实验中  $K_r = \frac{8.5}{10} = 0.85$ 。

#### 2. 继电器动作电流与返回电流的分析

为什么对于反应参数增加而动作的继电器，返回电流一定小于动作电流、返回系数恒小于 1 呢？

由电磁式继电器的工作原理知道，电磁力矩  $M_m$  是继电器的动作力矩。对于转动舌片式继电器，在继电器动作和返回过程中，电磁力矩是随舌片与水平线之间的夹角  $\alpha$  变化的。当继电器

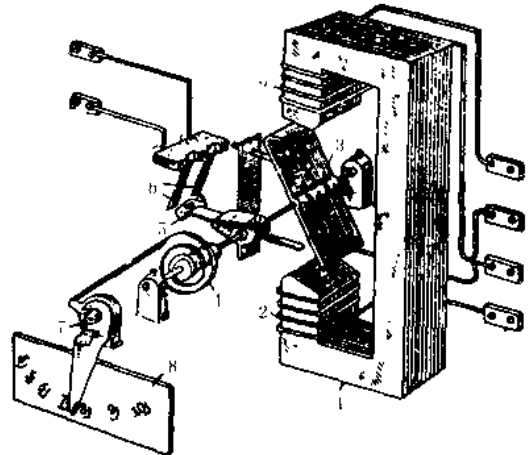


图 1-3 DL-10 系列电流继电器的构造  
1—铁心；2—线圈；3—可动舌片；4—反作用弹簧；  
5—动触点；6—静触点；7—动作电流调整把手；  
8—刻度盘

电流继电器的返回电流与动作电流的比值，叫做返回系数，用  $K_r$  表示。

$$K_r = \frac{I_{r.k}}{I_{act.k}} \quad (1-7)$$

器的电流达到  $I_{act.k}$  时，即使电流保持不变， $M_{em}$  也会随  $\alpha$  作如图 1-5 所示曲线 1 的变化。

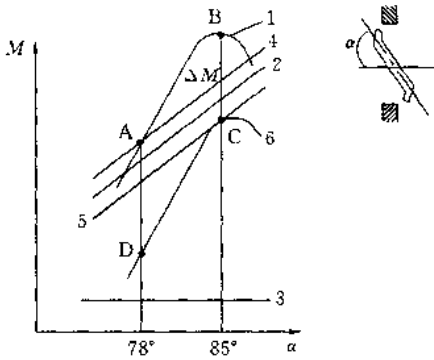


图 1-5 DL-10 系列继电器的力矩曲线

作用在继电器上的反抗力矩有：弹簧的反作用力矩  $M_{el}$  和摩擦阻力矩  $M_f$ 。 $M_{el}$  与  $\alpha$  成正比，见曲线 2。 $M_f$  是常数，与  $\alpha$  无关，见曲线 3。反抗力矩的总和为  $M_{el} + M_f$ ，见曲线 4。继电器处于初始状态时， $\alpha = 78^\circ$ ，动作终了时， $\alpha = 85^\circ$ 。

当  $I_k = I_{act.k}$  时， $M_{em} = M_{el} + M_f$  (A 点)，继电器起动，舌片顺时针方向转动。在  $\alpha$  由  $78^\circ$  到  $85^\circ$  的整个过程中，由于电磁转矩  $M_{em}$  随舌片与磁极间的气隙  $\delta$  减小而急剧增加，故始终是  $M_{em} > M_{el} + M_f$ ，使舌片的转动是由  $M_{em}$  曲线的 A 点加速进行到达 B 点，动合触点接通，继电器动作。一般舌片的行程很短，故

动作时间也很短，所以可以认为继电器是瞬时动作的。在  $\alpha = 85^\circ$  时， $M_{em}$  比  $(M_{el} + M_f)$  大一个  $\Delta M$ ， $\Delta M$  叫做剩余力矩，这个  $\Delta M$  是必要的，它产生动触点对静触点的压力，使触点接触可靠，避免抖动。

在继电器的返回过程中，同样有三个力矩  $M_{em}$ 、 $M_{el}$ 、 $M_f$  存在。 $M_{em}$ 、 $M_{el}$  方向不变，而  $M_f$  则企图阻止 Z 形舌片向初始位置运动。要使继电器返回，只有减小  $I_k$  以减小电磁力矩，使之满足  $M_{em} \leq M_{el} - M_f$ 。

当电流  $I_k = I_{r.k}$  时， $M_{em}$  随  $\alpha$  变化的曲线如曲线 6 所示。在 C 点， $M_{em} = M_{el} - M_f$ ，继电器开始返回。在由 C 点到 D 点的整个行程中，由于电磁转矩随气隙  $\delta$  增大而急速减小，故总是  $M_{em} < M_{el} - M_f$ ，使舌片的返回也是瞬时加速完成。

通过对图 1-5 的分析，可以看出：由于剩余力矩  $\Delta M$  及摩擦力矩  $M_f$  的存在，决定了返回电流必然小于动作电流，即  $K_r < 1$ 。 $K_r$  不应太小，否则将降低过电流保护的灵敏性（见第二章第一节）。返回系数  $K_r$  的大小与  $\Delta M$  和  $M_f$  有关。要提高返回系数，必须减小剩余力矩  $\Delta M$ ，也就是使  $M_{em}$  与  $M_{el}$  的特性曲线尽量靠近，同时尽量减小继电器转动系统轴承内的摩擦，以减小  $M_f$ 。但返回系数太大也不好，因为  $\Delta M$  太小，将使触点接触不可靠。一般要求返回系数不小于 0.85。

### 3. 动作电流的调整

DL-10 系列电流继电器常作为电流保护的起动元件，需要整定动作电流。其动作电流的调整方法有二：

(1) 改变调整把手的位置。改变调整把手的位置，即改变弹簧的反作用力矩，可平滑地调整动作电流（最大刻度值为最小刻度值的 2 倍）。

(2) 改变两线圈的连接方式。如图 1-6 所示，用连接片可以将两个线圈串联（图 1-6, a）或并联（图 1-6, b）。当调整把手位置一定时，两个线圈并联时的动作电流为串联时动作电流的 2 倍。

上述两种方法同时使用，可调整的最大动作电流为最小动作电流的 4 倍。例如 DL-11/20 型电流继电器，分母的数字表示最大可整定的动作电流为 20A，则该继电器动作电流的可调范围为 5~20A。当调整把手放在最右边的 10A 刻度位置、且两个线圈并联时，动作电流为 20A；当调整把手放在最左端的 5A 刻度位置、且两个线圈串联时，动作电流为 5A。

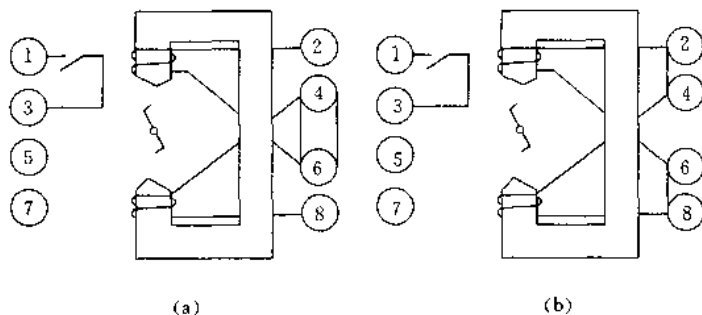


图 1-6 DL-10 系列电流继电器内部接线图

(a) 线圈串联; (b) 线圈并联

目前采用的电磁式电流继电器,除 DL-10 系列外,还有 DL-20C、DL-30 系列。这两种系列的继电器为组合式继电器,在成套保护屏上用的较多,其结构见图 1-7。它们的工作原理和 DL-10 系列相同,只是结构上用电工钢制成的铁心代替了硅钢片制成的铁心,并且触点系统也作了某些改进,使其体积比 DL-10 系列缩小了。

### (二) 电压继电器

DJ-100 系列电压继电器的构造和 DL-10 系列电流继电器的构造大致相同。不同之处是:

(1) 继电器线圈的匝数多,导线细;

(2) 刻度盘上标示出来的是继电器的动作电压而不是动作电流。

电压继电器分过电压继电器和低电压继电器两种。

DJ-111 型和 DJ-131 型为过电压继电器。前者有一对动合触点,后者有一对动合触点和一对动断(常闭)触点。过电压继电器动作和返回的定义与电流继电器一样,它的返回系数为

$$K_r = \frac{U_{r,k}}{U_{act,k}} < 1 \quad (1-8)$$

DJ-122 型为低电压继电器,它的用途尤为广泛。它具有—对动断触点,当继电器线圈两端加上正常工作电压时,Z 形舌片处于被吸到磁极的位置,继电器触点处于断开状态。当电压下降到使电磁力矩小于弹簧的反作用力矩时,Z 形舌片被释放,其触点接通。这个过程叫作低电压继电器的动作过程。它的“动作过程”相当于过电压继电器的“返回过程”。能使低电压继电器刚好动作(即舌片释放,动断触点接通)的最大电压称为动作电压,用  $U_{act,k}$  表示。在低电压继电器动作以后,线圈电压增加到一定值时,舌片被吸起,称为继电器返回。能使舌片刚好被吸向磁极(动断触点断开)的最低电压称为返回电压,用  $U_{r,k}$  表示。因此,低电压继电器的返回系数

$$K_r = \frac{U_{r,k}}{U_{act,k}} > 1 \quad (1-9)$$

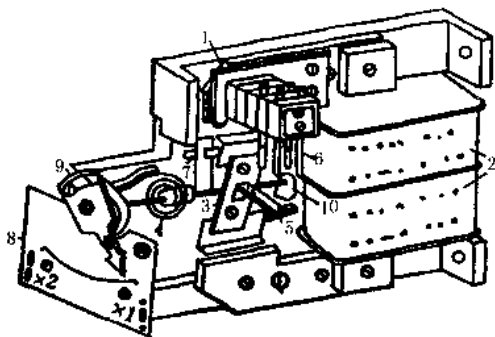


图 1-7 DL-20C、DL-30 系列电流继电器的结构图

1—电磁铁铁心; 2—线圈; 3—Z 形舌片; 4—弹簧;  
5—动触点; 6—静触点; 7—限制螺杆; 8—刻度盘;  
9—定值调整把手; 10—轴承

一般要求  $K$  不大于 1.2。

电压继电器动作电压的调整方法与电流继电器相同，但两个线圈并联时的动作电压为串联时的  $\frac{1}{2}$ 。

目前除 DJ-100 系列电压继电器外，体积较小的 DY-20C、DY-30 系列电压继电器已在不少保护屏上采用，它们的构造与 DL-20C、DL-30 系列电流继电器相同。

### (三) 时间继电器

时间继电器在继电保护装置和自动装置中用作时限元件，用以建立必要的动作时限。图 1-8 为 DS-110 系列时间继电器的结构。它由螺管线圈式的电磁机构和一套钟表机构组成。它的动作过程是：当线圈 1 接入电压后，衔铁 3 即被瞬时吸入电磁线圈中，依附在衔铁上的杠杆 9 被释放。在弹簧 11 的作用下使扇形齿轮 10 顺时针方向转动，并带动齿轮 13，动触点 22 及与它同轴的摩擦离合器 14 也开始逆时针方向转动，通过主齿轮 15 传动钟表机构，因此控制了动触点轴的旋转角速度，于是动触点经过一定行程去接通静触点 23 就需要一定的时间，从而起到了延时的作用。

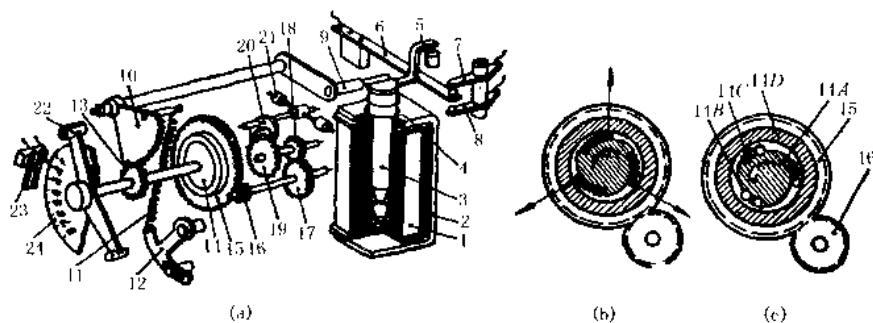


图 1-8 DS-110 系列时间继电器的结构

(a) 继电器的结构图；(b) 工作情况下的摩擦离合器；(c) 返回情况下的摩擦离合器

1-线圈；2-磁路；3-衔铁；4-返回弹簧；5-轧头；6-可动瞬时触点；7、8-固定瞬时触点；9-曲柄销；10-扇形齿轮；11-主弹簧；12-改变弹簧拉力的卡板；13-齿轮；14-摩擦离合器 (14.1-凸齿轮；14B-钢球；14C-弹簧；14D-套环)；15-主齿轮；16-钟表机构的齿轮；17、18-钟表机构的中间齿轮；19-摆轮；20-摆卡；21-重锤；22-可动触点；23-固定触点；24-标度盘

当加在线圈上的电压消失后，在返回弹簧 4 的作用下，杠杆 9 立即使扇形齿轮恢复原位。因为返回时动触点轴是顺时针方向转动的，摩擦离合器与主齿轮脱开（见图 1-8, c），这时钟表机构不参加工作，所以返回是瞬时的。

改变静触点的位置，也就是改变动触点的行程，即可调整时间继电器的动作时间。

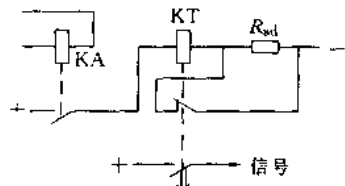


图 1-9 时间继电器接入附加电阻的电路图

为了缩小时间继电器的尺寸，它的线圈一般均按短时间通过电流来设计。因此，当需要在时间继电器线圈上较长时间（大于 30s）加电压时，例如作用于信号的保护所用的时间继电器，需选用带有附加电阻的时间继电器，并按图 1-9 接线。在时间继电器线圈上没有加电压时，附加电阻  $R_{ad}$  被继电器的动断触点短接。因此当电压加入继电器线圈的最初瞬间，全部直流电压加到时间继电器的线圈上，保证继电器

器动作。一旦继电器动作后，其瞬动的动断触点断开， $R_{ad}$ 串入线圈回路，使电流减小，保证了继电器的热稳定。

#### (四) 中间继电器

中间继电器作为辅助继电器，被广泛用于保护装置和自动装置中。它的特点是触点对数多，触点容量大。因此常用来扩展前级继电器的触点对数或触点容量。

图 1-10 示出了 DZ-10 系列中间继电器的结构。当线圈 2 加上 70% 以上额定电压时，衔铁 3 就会被吸到电磁铁的磁极，其上的动触点 5 与静触点 4 接通。失电后，衔铁受弹簧 6 的拉力而返回原位。中间继电器的动作和返回都是瞬时的，在额定电压下，动作时间不应大于 0.05s。若在铁心顶部套上铜质短路环，继电器的动作和返回都将具有延时。若短路环置于根部，继电器启动时，气隙大，短路环产生的磁通都成为漏磁通，因此对继电器的动作时间几乎没有影响。但是失电后，继电器的返回是在衔铁被吸持、磁路无气隙的情况下开始的，因此短路环产生的磁通将通过衔铁而闭合，使通过衔铁的磁通延缓减小，继电器延时返回。

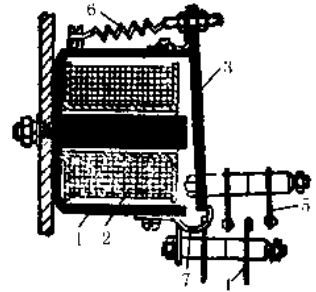


图 1-10 DZ-10 系列中间继电器的结构

1—电磁铁；2—线圈；3—衔铁；4—静触点；5—动触点；6—反作用弹簧；7—衔铁行程限制器

#### (五) 信号继电器

信号继电器在继电保护和自动装置中用来作动作指示器，每种保护都需装一个信号继电器，以指示该保护的動作。当信号继电器动作后，一方面继电器本身有掉牌指示，从而知道是哪一种保护动作，便于进行事故分析；同时动合触点接通灯光信号回路或音响信号回路，引起值班人员注意。任务完成后，需由值班人员转动信号继电器上的复归旋钮，信号掉牌和触点才能复归原位。

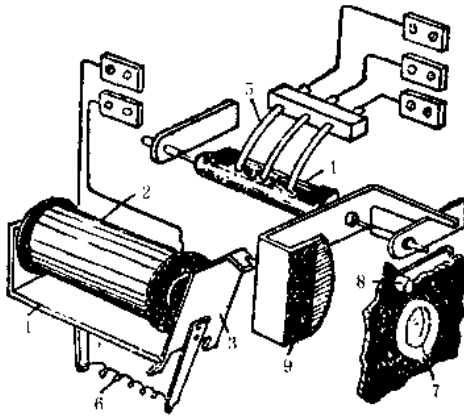


图 1-11 DX-11 型信号继电器的结构

1—电磁铁；2—线圈；3—衔铁；4、5—动、静触点；6—弹簧；7—显示信号牌窗口；8—复归旋钮；9—信号牌

图 1-11 为 DX-11 型信号继电器的结构。正常情况下，继电器线圈中没有电流通过，衔铁 3 被弹簧 6 拉住，用手转动复归旋钮 8，使信号牌 9 转至水平位置，这时衔铁的边缘支持着信号牌，并且使它保持在这个位置。

当信号继电器线圈中流过电流时，电磁力吸引衔铁而释放信号牌，信号牌由于本身的重量而下落，并且停留在垂直位置。这时在继电器外面的玻璃孔上可以看见带颜色的标志。在信号牌下落时，固定信号牌的轴同时转动 90°，使动触点 4 与静触点 5 接通，从而接通灯光或者音响信号回路。

信号继电器通常可分为串联信号继电器（电流型信号继电器）和并联信号继电器（电压型信号继电器）两种。它们的接线见图 1-12。选用电流型信号继电器时，应注意它的额定电流，如 DX-11/0.025、DX-11/1 型等的信号继电器，分母数字为其额定电流；选用电压型信号继电器时，应注意它的额定电压，如 DX-11/110、DX-11/220 型等的信号继电器，分母数字为其额定电压。

目前有些保护屏上采用 DXM-2A 型信号继电器代替 DX-11 型信号继电器。

DXM-2A 型信号继电器采用干簧触点,用磁力自保持代替机械自保持,用灯光指示代替信号掉牌,可以远方复归。

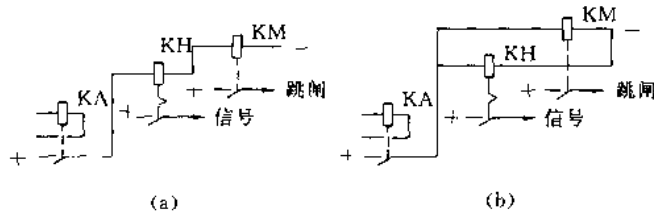


图 1-12 信号继电器的接线方式

(a)串联型信号继电器;(b)并联型信号继电器

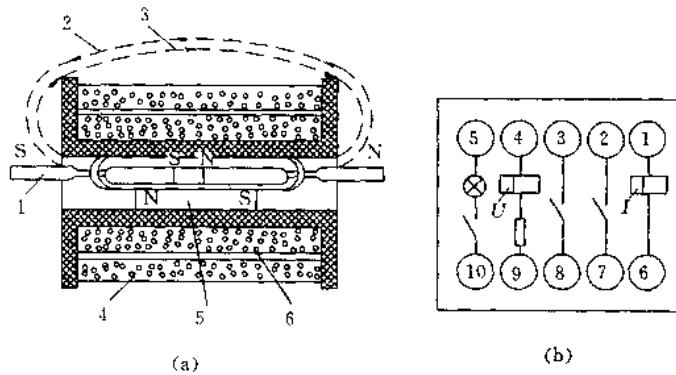


图 1-13 DXM-2A 型信号继电器

(a)结构图;(b)接线图

1—干簧触点;2—工作线圈磁通;3—释放线圈磁通;4—释放线圈;5—永久磁铁;6—工作线圈

电流起动的 DXM-2A 型信号继电器的结构和内部接线如图 1-13 所示。当继电器的工作

线圈 6 通过电流时,电流所产生的磁通 2 与放置在线圈内的永久磁铁 5 的磁通方向相同,两磁通相加,干簧触点相吸接通,信号指示灯亮。在工作线圈失电后,借助永久磁铁的作用可使干簧触点保持接通位置。复归时,借助复归按钮给释放线圈 4 加上电压,因其所产生的磁通 3 与永久磁铁的磁通方向相反而互相抵消,使触点返回原位,指示灯灭,并准备下次动作。

#### (六) 极化继电器

极化继电器是一种以磁电原理为基础、具有方向性的小型直流磁电式继电器。在整流型保护装置中,广泛用作执行元件。

极化继电器的结构如图 1-14 所示。当工作线圈 2 通入电流  $I_w$  时,产生工作磁通  $\phi_w$  从左向右穿过气隙  $\delta_1$  和  $\delta_2$ 。永久磁铁 3 产生的极化磁通  $\phi_{P1}$ 、 $\phi_{P2}$  由 N 极出发,经衔铁 4、气隙  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  构成通路。 $\delta_1$  中的磁场因  $\phi_w$  与  $\phi_{P1}$  相减而较弱; $\delta_2$  中的磁场因  $\phi_w$  与  $\phi_{P2}$  相加而较强,因此吸力  $F_2 > F_1$ ,衔铁被吸向右侧,动触点与左侧的静触点接通。

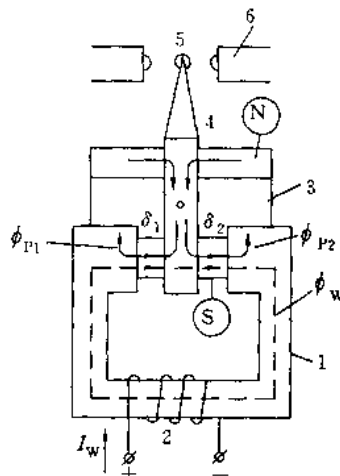


图 1-14 极化继电器的结构

1—铁心;2—线圈;3—永久磁铁;  
4—衔铁;5—动触点;6—静触点



当电流  $I_w$  的方向改变时,动触点即与右侧的静触点接通。因此极化继电器的动作具有方向性。下面将继电器、继电器线圈及其触点表示符号的新旧对照列于表 1-1、表 1-2 中。

表 1-1 常用继电器的表示符号

名称	图形符号		文字符号		名称	图形符号		文字符号	
	新	旧	新	旧		新	旧	新	旧
电流继电器			KA	LJ	时间继电器			KT	SJ
低电压继电器			KV	YJ	中间继电器			KM	ZJ
功率方向继电器			KW	GJ	信号继电器			KH	XJ

表 1-2 继电器线圈及触点的图形符号

名称	图形符号		名称	图形符号	
	新	旧		新	旧
般线圈			动合(常开)触点		
交流继电器的线圈			动断(常闭)触点		
具有两个线圈的继电器线圈			延时闭合的动合触点		
电流线圈			延时断开的动合触点		
电压线圈			延时闭合的动断触点		
极化继电器的线圈			延时断开的动断触点		

## 第四节 静态继电器

静态继电器主要利用无机运动的电子元器件构成。它包括由分立元件构成的晶体管型继电器及由集成运算放大器实现的集成电路型继电器。

### 一、晶体管型继电器

现以图 1-15 所示的晶体管电流继电器原理接线为例说明晶体管型继电器的构成和工作原理。

该继电器的测量回路包括电压形成回路和比较回路两部分。电压形成回路由电流变换器  $UM$ 、电阻  $R_1$ 、整流桥  $BU$  及滤波用的  $C_1$ 、 $C_2$ 、 $R_2$  组成,电压形成回路的输出电压  $U_1$  与输入