

变电运行培训教材

下 册

江苏省电力工业局南通供电局编

水利电力出版社

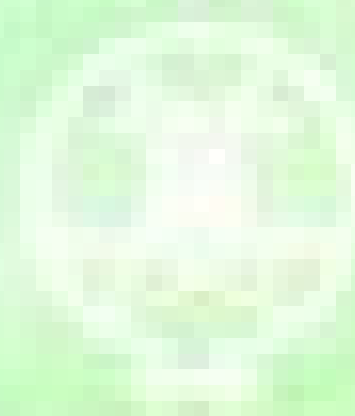


变电运行培训教材

下册

昆明供电局培训中心编

中国电力出版社



内 容 提 要

《变电运行培训教材》分上、下两册。本书为下册（包括第四、五、六、七篇），主要内容有：目前变电所中广泛采用的各种继电保护及自动装置；变电所的二次回路接线及控制、测量、信号、直流系统等回路；变电设备的运行、巡视、倒闸操作、交接、预防性试验的综合判断及变电所的运行、管理、安全等规章制度。

本书内容密切结合实际、由浅入深，文字叙述通俗易懂，可以作为具有初中文化程度的变电所电气运行工培训用教材，也可供变电运行管理人员及电气检修、继电保护和二次接线工参考。

变电运行培训教材

下 册

江苏省电力工业局南通供电局编

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 12.5印张 331千字

1983年10月第一版 1983年10月北京第一次印刷

印数00001—60120册 定价1.20元

书号15143·5144

目 录

第四篇 变电所的继电保护

第二十章 继电保护的基本知识	1
第一节 电力系统的故障和不正常的运行状态	1
第二节 继电保护的基本要求	2
第三节 继电保护的基本原理	4
第四节 变电所常用的继电器	7
第二十一章 输电线路的继电保护	14
第一节 反应相间短路的电流和电压保护	14
第二节 线路的方向过电流保护	30
第三节 输电线路的接地保护	40
第四节 线路的距离保护	48
*第五节 双回线路的横差保护	54
第六节 线路的高频保护简介	61
第二十二章 电力变压器的继电保护	67
第一节 变压器的瓦斯保护	68
第二节 变压器的差动保护	71
第三节 变压器的电流速断保护	81
第四节 变压器的后备保护	82
第五节 变压器的保护接线总图	88
第二十三章 母线保护	94

第五篇 变电所的自动装置

第二十四章 输电线路的自动重合闸 (ZCH) 装置	106
第一节 概述	106
第二节 一次式电气自动重合闸装置	107
第三节 重合闸装置与继电保护的配合	111

第二十五章 备用电源自动投入 (BZT) 装置	115
第一节 概述	115
第二节 备用变压器的自动投入装置	118
第二十六章 自动按频率减负荷 (ZPJH) 装置	123
第一节 自动按频率减负荷装置的原理	123
*第二节 低周率继电器的构成原理	125
*第二十七章 同期装置	128

第六篇 变电所的二次回路

第二十八章 二次回路的接线图和安装图	135
第一节 原理图	135
第二节 展开图	137
第三节 屏面布置图	141
第四节 安装接线图	146
第二十九章 变电所的操作电源	160
第一节 概述	160
第二节 铅酸蓄电池的构造和工作原理	161
第三节 硅整流电容储能的直流系统	172
第四节 复式整流的直流系统	176
第五节 直流系统的绝缘监察和电压监察装置	178
第六节 直流供电网络	182
第三十章 断路器的控制和信号回路	185
第一节 概述	185
第二节 具有灯光监视的电磁式操作机构断路器的控制回路	188
第三节 弹簧操作机构的断路器控制回路	193
第四节 闪光装置	195
第三十一章 变电所的中央信号装置	198
第一节 事故信号	198
第二节 预告信号	204
第三节 保护装置动作和自动重合闸动作信号	208
第三十二章 防止隔离开关误操作的闭锁装置	210
第三十三章 电工仪表及接线	217

第一节	常用电工仪表的标志符号	217
第二节	磁电式仪表及直流电流、电压的测量	219
第三节	电磁式仪表及交流电流、电压的测量	222
第四节	电动式仪表及有功功率、无功功率的测量	225
第五节	电动式功率因数表和频率表	232
第六节	感应式电度表及电能的测量	238
第七节	万用表和摇表(兆欧表)	245
第三十四章	二次回路故障的查找	250
第一节	查找二次回路故障的要求和方法	250
第二节	二次电缆的查对	258
第三节	保险丝的校验	260

第七篇 变电所的运行和管理

第三十五章	变电设备的运行和巡视检查	262
第一节	主变压器及其附属设备的运行和巡视检查	262
第二节	高压配电装置及防雷设备的运行和巡视检查	270
第三节	控制、保护及自动装置的运行和巡视检查	276
第四节	直流系统的运行	278
第五节	变压器油的运行和监督	279
第三十六章	变电所的倒闸操作	281
第一节	倒闸操作的正确步骤	281
第二节	变电所常见的倒闸操作	285
第三节	变电所常用的调度术语	290
第四节	操作票	294
第三十七章	变电所的事故分析和处理	300
第一节	概述	300
第二节	电力系统事故处理	301
第三节	变电所主变压器事故及其处理	306
第四节	断路器的事故处理	310
第五节	变电所其它电气设备的故障和处理	313
第三十八章	高压电气设备绝缘的交接和预防性试验的 综合判断	321

第一节	电气设备的绝缘试验·····	321
第二节	绝缘油的试验·····	328
第三节	变压器油的气相色谱分析·····	329
第四节	电气设备的预试项目和绝缘定级·····	330
第三十九章	变电所的运行制度·····	345
第四十章	变电所的运行管理和设备管理·····	353
第一节	变电所的运行组织和岗位职责·····	353
第二节	年度运行管理工作的要点·····	358
第三节	变电所应具备的各项规程、资料及记录簿·····	362
第四节	变电所的运行分析和文明生产·····	364
第五节	变电所的设备管理·····	367
第四十一章	变电所的安全运行·····	370
第一节	保证变电所安全运行的组织措施·····	370
第二节	变电所的电气安全和触电急救·····	372

附 录

附录I	本书主要电工名词、计量单位及符号·····	380
附录II	电力系统常用设备的图形符号·····	381
附录III	电力设备的文字符号·····	388
附录IV	电力系统图上的回路标号·····	392
附录V	本书各量的文字、角注符号及意义·····	393

第四篇 变电所的继电保护

第二十章 继电保护的基本知识

第一节 电力系统的故障和

不正常的运行状态

电力系统的故障和不正常的运行状态主要有以下几种：

1. 短路故障

所谓短路故障是指正常运行情况以外的一切相与相间的短接，及中性点直接接地系统中的单相接地。

短路故障主要分为三相短路、两相短路、单相短路三类。这些短路又可分为金属性短路（相间直接短接）和经过渡电阻短路（即相间经电弧电阻、外物电阻、导线落地时的接地电阻、杆塔接地电阻等短接在一起）两种。

三相短路是对称的、最严重的短路，与正常运行的区别是，电流增大、电压下降。其它类型的短路都是不对称的，电压和电流要发生畸变。

短路时，会产生强大的电流，电气设备因此将严重发热和受到很大的电动机械力的作用。设备损害的程度，与短路的性质及其持续时间有关，即短路电流越大、持续时间越长，损害就越严重。短路的另一个危害是电压和频率下降，将影响用户的正常用电；当短路发生在靠近电源处而又持续时间较长时，可能破坏系统的稳定性，造成大面积停电，甚至使系统解列。此外，不对称短路的不平衡电流还会对邻近的通讯线路发生干扰，影响其正常通讯。

2. 不正常的工作状态

（1）单相接地：在中性点不直接接地系统（小电流接地系

统)中的一相金属性接地或经过渡电阻的接地(包括间歇性弧光接地),统称为单相接地。除间歇性弧光接地会产生很高的过电压,并危害较大外,稳定的单相接地的三相线电压基本上是对称的,系统能继续运行,无须将故障线路或设备立即从电网中切除,只要发出信号由值班员进行处理即可(详见第三篇第八章)。

(2)断线:在这里指的是不伴随短路或接地的单电源线路的断线,最常见的是一相断线。这时断线相的电流为零,其它两相仍有电流,但三相的对称性被破坏。

(3)过负荷:设备所带负荷超过其额定值时,称其为过负荷。过负荷时,设备会发热;过负荷保护只作用于信号。

(4)温度过高:即设备的温升超过其允许的温度值。这一般是由于设备过负荷或其本身的故障(如变压器油循环系统或冷却系统故障)造成的。温度过高时,保护装置作用于信号。

此外尚有系统振荡和非同期运行等不正常的运行方式,这里就不多叙述了。

第二节 继电保护的基本要求

为了使继电保护装置能及时、正确地完成它所担负的任务,对其有以下四个基本要求:

一、动作要有选择性

当电力系统某部分发生故障时,继电保护应只切除网络中的故障元件,称为保护装置的选择性。即首先切除靠近故障点的断路器,使停电范围尽量缩小,从而保证非故障部分能正常运行。

如图20-1所示,在各个断路器处都装有保护装置。当 D_3 点故障时,短路电流将经过断路器1、2、3、4、5、6DL流至故障点 D_3 ,各断路器的继电保护都有可能动作。但根据选择性的要求,应首先由断路器6DL处的保护装置6动作,即断开6DL,而使非故障部分能继续正常运行。若不按上述原则,而继电保护装置5首先跳开了断路器5DL时,则线路x-2和变电所C将全部被停止

供电，这种情况称为无选择性的动作，一般是不允许的。同理， D_2 点短路时，应先跳开断路器5DL； D_1 点短路时，应先跳开断路器1DL。

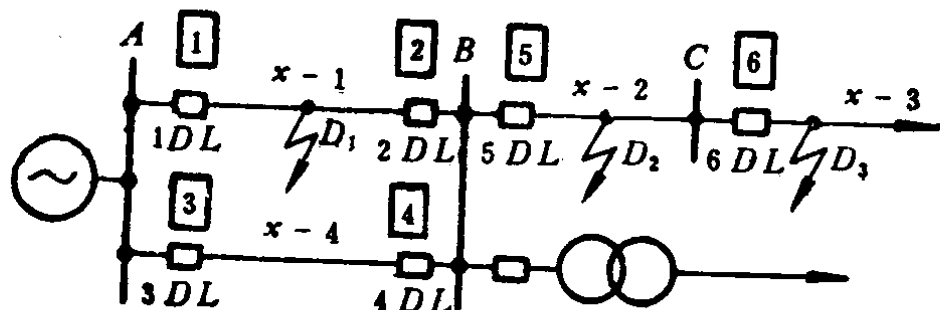


图 20-1 继电保护动作具有选择性例图

二、快速性

快速切除故障可以减轻短路电流对电气设备的损坏程度，加快系统电压的恢复，为电动机自起动创造有利条件，并可提高发电机并列运行的稳定性。

所谓故障切除时间，是指保护装置的动作时间与断路器的跳闸时间之和。

目前，常用的油断路器的跳闸时间为 $0.1 \sim 0.15$ 秒；空气断路器的跳闸时间约为 $0.05 \sim 0.08$ 秒。最快的保护装置动作时间可达 $0.02 \sim 0.04$ 秒。

三、灵敏性

灵敏性是指保护装置对故障和不正常工作状态的反应能力。在继电保护装置的保护范围内，不管短路点的位置和短路的性质如何，保护装置都不应拒绝动作；但在保护区外发生故障时，又都不应该动作。保护装置灵敏与否，一般都用灵敏系数 K_{lm} 来衡量，灵敏系数越高，则越能反应轻微故障。各类保护灵敏系数的大小，都有具体的规定数值，将在以后各章中分别叙述。

四、可靠性

投入运行的保护装置，应随时处在准备状态，当被保护设备发生故障和不正常工作状态时，保护装置应能有选择性的正确动作。若不能满足可靠性的要求时，保护装置本身便成为扩大事故

或直接造成事故的根源。为了保证保护装置动作的可靠性，则要求保护装置的设计原理、整定计算、安装调试正确无误；并要求组成保护的各元件质量要好；运行维护良好；力求简化有效，以提高保护的可靠性。

第三节 继电保护的基本原理

电力系统发生故障时，其特点是电流增大、电压降低、电流与电压间的相位角会发生变化。因此，应用于电力系统中的各种继电保护，绝大多数都是以反应这些物理量的变化为基础的，利用正常运行与故障时各物理量间的差别来实现的。

根据所反应的上述各种物理量的不同，便构成了各种不同原理和类型的继电保护，如：

（1）反应电流改变的，有电流速断、定时过流及零序电流等保护。

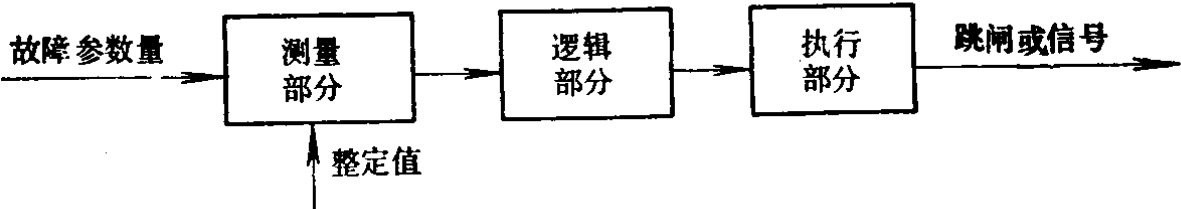
（2）反应电压改变的，有低电压（或过电压）保护。

（3）既反应电流又反应电流与电压间相角改变的，有方向过电流保护。

（4）反应电压与电流的比值，即反应短路点到保护安装处阻抗（或距离）的，有距离保护等。

（5）反应输入电流和输出电流之差的，有变压器差动保护。

继电保护的种类虽然很多，但是在一般情况下它都是由三个基本部分组成的，即测量部分、逻辑部分和执行部分。



各基本部分的作用如下：

（1）测量部分的作用，是测量反映被保护设备工作状态

(正常工作状态、不正常工作状态或故障状态) 的一个或几个有关物理量的。

(2) 逻辑部分的作用, 是根据各测量元件输出量的大小或性质及其组成或出现的顺序, 判断被保护设备的工作状态, 以决定保护是否应该动作。

(3) 执行部分的作用, 是根据逻辑部分所作出的决定, 执行保护的任务 (即给出信号、或跳闸、或不动作) 。

现以输电线路过电流保护为例, 来说明继电保护的基本工作原理及其组成元件。图20-2为过电流保护的原理图。图中的机构及接点状态是按正常运行时绘制的。正常运行时, 断路器 DL 处在合闸位置, 线路中流过负荷电流, 电流互感器 LH 二次侧 (即电流继电器 LJ 线圈中) 流过与一次电流成比例的负荷电流, LJ 不动作。当线路上 (如 D 点) 发生短路时, 短路电流即经 LH 的一次线圈, 传变到二次线圈而流入 LJ 的线圈中。当此电流足够大时, 继电器 LJ 中的铁芯被吸下, 使其接点闭合。于是, 跳闸线圈 TQ 经 LJ 的接点和断路器的辅助接点 DL_1 接通直流操作电源, TQ 的铁芯被吸引向上, 克服搭扣弹簧 2 的拉力, 使杠杆 4 迅速地断开搭扣 3, 在分闸弹簧 5 的作用下 DL 分闸, 故障点 D 就从电网中被切除了。顺便指出, TQ 按规定是不能长时间通电的。所以, 当杠杆 4 反时针旋转, 并使其断路器主触头断开的同时, 辅助接点 DL_1 也打开, 从而将 TQ 回路断开。跳闸按钮 TA 和 LJ 的接点是并联的, 用来进行正常的跳闸操作, 按下按钮 TA ,

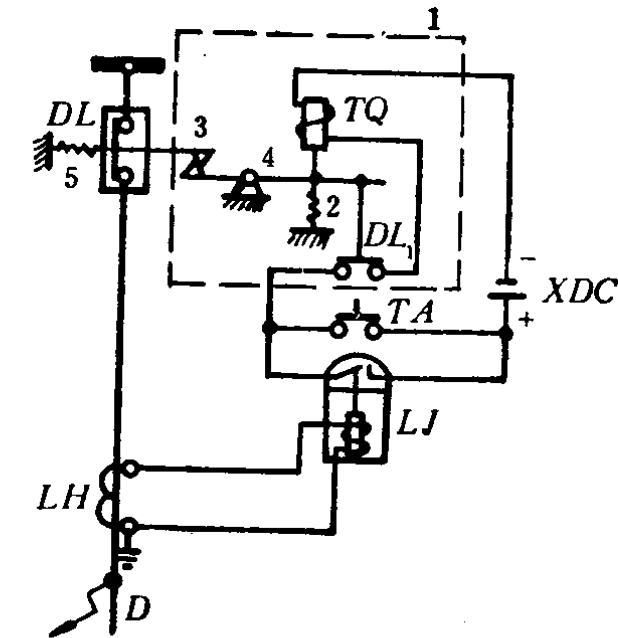


图 20-2 过电流保护的原理图
1—断路器操动机构; 2—搭扣弹簧; 3—搭扣; 4—杠杆; 5—分闸弹簧
 DL 、 DL_1 —断路器及其辅助接点; LH —电流互感器; LJ —电流继电器; TA —跳闸按钮; TQ —跳闸线圈; XDC —蓄电池

断路器即将自动跳开。

在图20-2的过流保护中，电流继电器 LJ 的线圈回路就是测量部分，它监视被保护设备的工作情况，反应相应的电气量（如电流的大小），只有在被保护设备发生故障或不正常工作情况时，它才会动作。因此，测量部分可处于动作或不动作两种状态，并根据这两种状态确定发出作用于逻辑部分的信号。继电器的接点回路就是逻辑部分，它接受到测量部分送来的信号后，即根据信号的组合和顺序，确定起动或不起动整套保护。起动保护时，即发出信号作用于执行部分。执行部分一般为出口中间继电器，它接到逻辑部分送来的信号后，发出断路器跳闸或动作于信号的脉冲，完成整套保护的動作。但在简单的保护回路中，执行部分和逻辑部分实际上是结合在一起的，难以区分。因此，有时不单独分出执行部分。

逻辑部分由逻辑电路构成，基本的逻辑电路有三种，如图20-3所示：

（1）“或”电路：接点 A 、 B 、 C 并联。其中任一接点闭合，即成通路。

（2）“和”电路：接点 A 、 B 、 C 串联。必须三个接点同时闭合，才能构成通路。

（3）“否”电路： A 是常闭接点。正常运行情况下，允许通路；当出现异常现象时，接点断开，不允许构成通路。

这几种逻辑电路在继电保护回路中都是常见的。逻辑部分有时还包括延时或其它中间回路，在此不详述了。

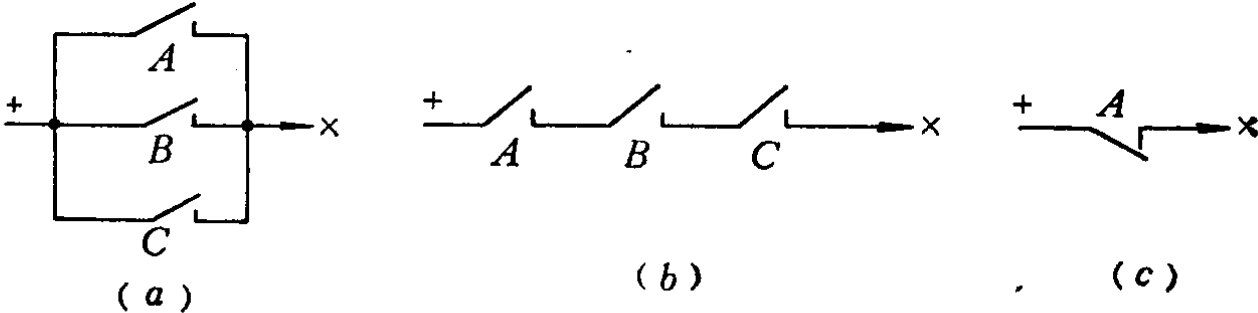


图 20-3 基本的逻辑电路图
（a）“或”电路；（b）“和”电路；（c）“否”电路

第四节 变电所常用的继电器

变电所中常用的继电器有：电磁式电流继电器、电压继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等。下面分别予以介绍：

一、电磁式电流和电压继电器

1. 基本结构、接线和型号

常用的DL-10系列电磁式电流继电器，如图20-4所示。其内

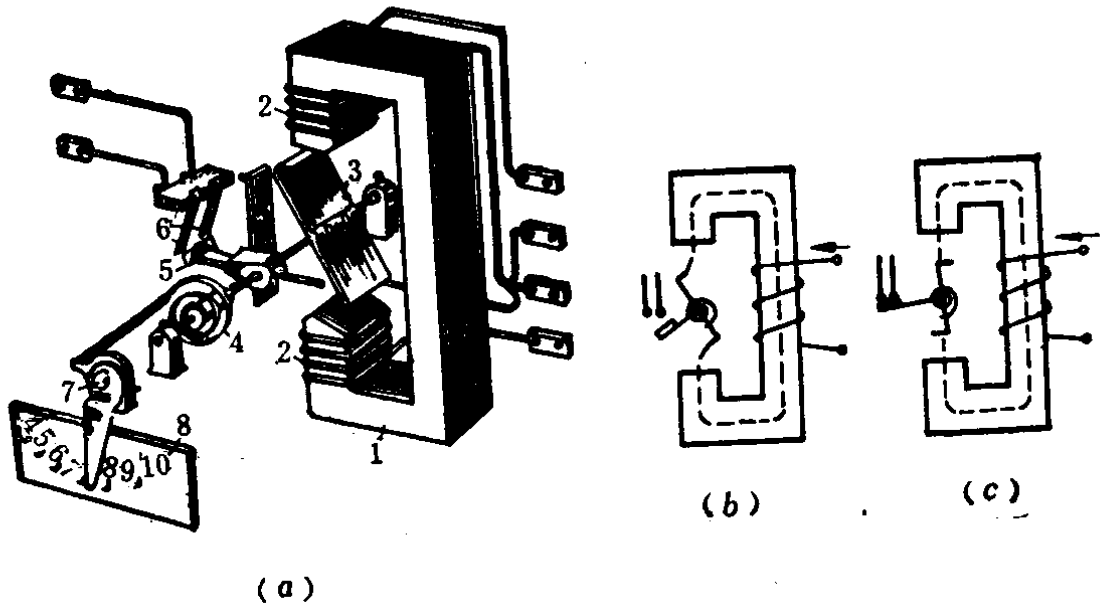


图 20-4 DL-10系列电磁式电流继电器图

(a)结构图；(b)通入电流较小时，继电器不动作；(c)通入电流较大时，继电器动作

1—电磁铁，2—线圈，3—钢舌片，4—反作用弹簧，5—动接点，6—静接点，7—调整把手，8—刻度盘

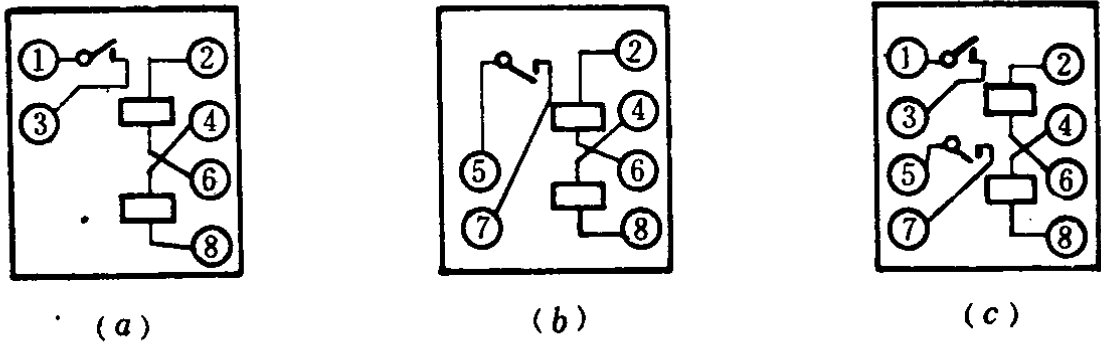
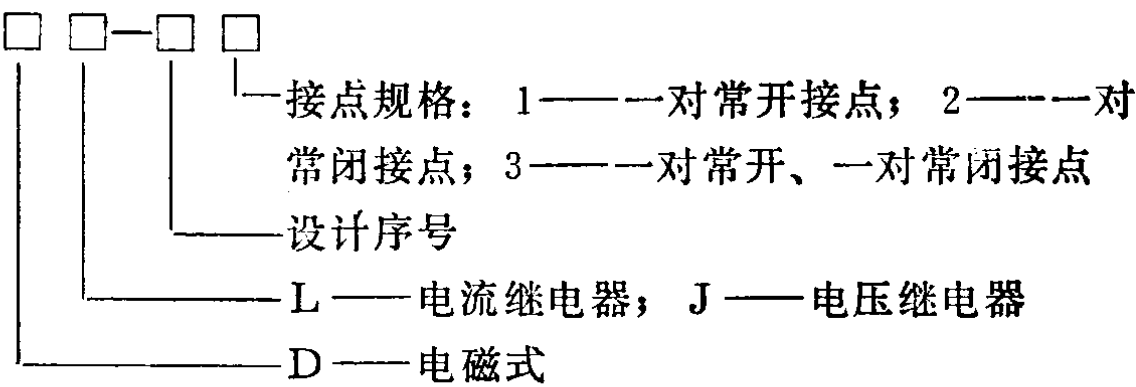


图 20-5 DL-10系列电磁式电流继电器的内部接线图

(a)DL-11型(一对常开接点)，(b)DL-12型(一对常闭接点)，(c)DL-13型(一对常开、一对常闭接点)

部接线，如图20-5所示。

电磁式电流和电压继电器的型号表示如下：



其他继电器型号的表示方法，与此类似。

2. 工作原理

当继电器线圈 2 通过电流时，在电磁铁 1 中产生的磁通力图使Z型的钢舌片 3 向凸出的磁极偏转。与此同时，轴上的反作用弹簧 4 又力图阻止钢舌片 3 偏转。当继电器线圈中的电流增大到电磁铁 1 使钢舌片所受的转矩大于弹簧的阻力矩时，钢舌片便被吸近磁极，使常开接点闭合，而常闭接点断开，继电器即处于动作（或起动）状态。

使继电器动作的最小电流叫做继电器的动作电流，用 I_{dz} 表示。

在继电器动作后，当线圈电流减小到一定值时，钢舌片在反作用弹簧的作用下将返回到起始位置。

使继电器由动作状态返回到起始位置的最大电流，叫做继电器的返回电流，用 I_f 表示。

继电器的返回电流与动作电流的比值，叫做继电器的返回系数，用 K_f 表示，即

$$K_f = \frac{I_f}{I_{dz}}$$

对于过电流继电器， K_f 总小于 1，但大于 0.8。 K_f 越接近于 1，继电器越灵敏。

这种继电器的动作行为取决于网络电流，所以叫做电流继电

器。由于继电器通过的电流较大，所以线圈导线较粗，而匝数较少。其线圈一般由两段组成，可以并联也可以串联，动作电流可成倍的变化。动作电流还可通过调整把手 7 改变反作用弹簧 4 的拉力来平滑地调节。继电器的动作时间为 0.02~0.04 秒；当动作电流整定值为最小时，消耗功率为 0.1 伏安。

3. 电压继电器

电压继电器的线圈一般通过电压互感器接在网络电压上，可反应网络电压的大小。继电器动作与否取决于网络电压的高低。电压继电器的结构和电流继电器相同，由于电压继电器是并接在网络电压上的，所以线圈的匝数多而导线细。为了改善返回系数，减少系统频率和环境温度的变化对继电器工作的影响，电压继电器的线圈一般采用电阻线绕制，或在线圈中串联一个由温度系数很小的电阻线（如康铜线）绕制的阻值较大的附加电阻。

电压继电器有过电压继电器（如 DJ-111）和低电压继电器（如 DJ-121）两种，一般低电压继电器用得较多。图 20-6 为电压继电器的内部接线图。

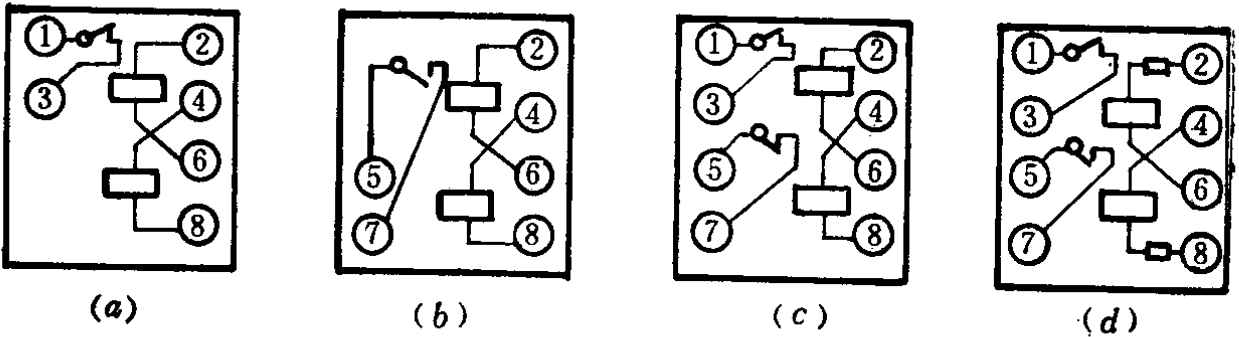


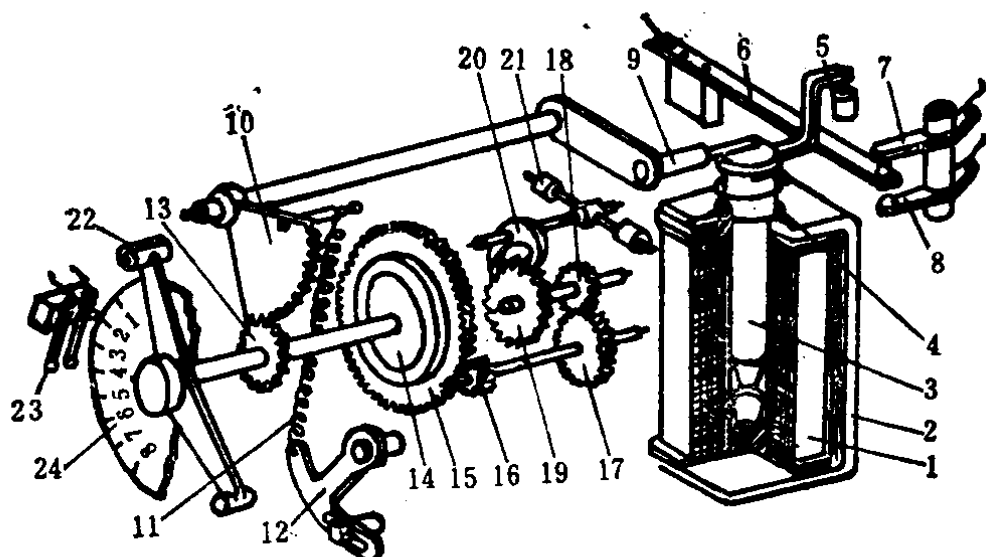
图 20-6 电压继电器的内部接线图
(a)DJ-111、112型；(b)DJ-121、122型；(c)DJ-131、132型；
(d)DJ-131/60CN型

二、电磁式时间继电器

时间继电器的作用是，可使继电保护和自动装置获得一定的延时。

1. 基本结构、接线和型号

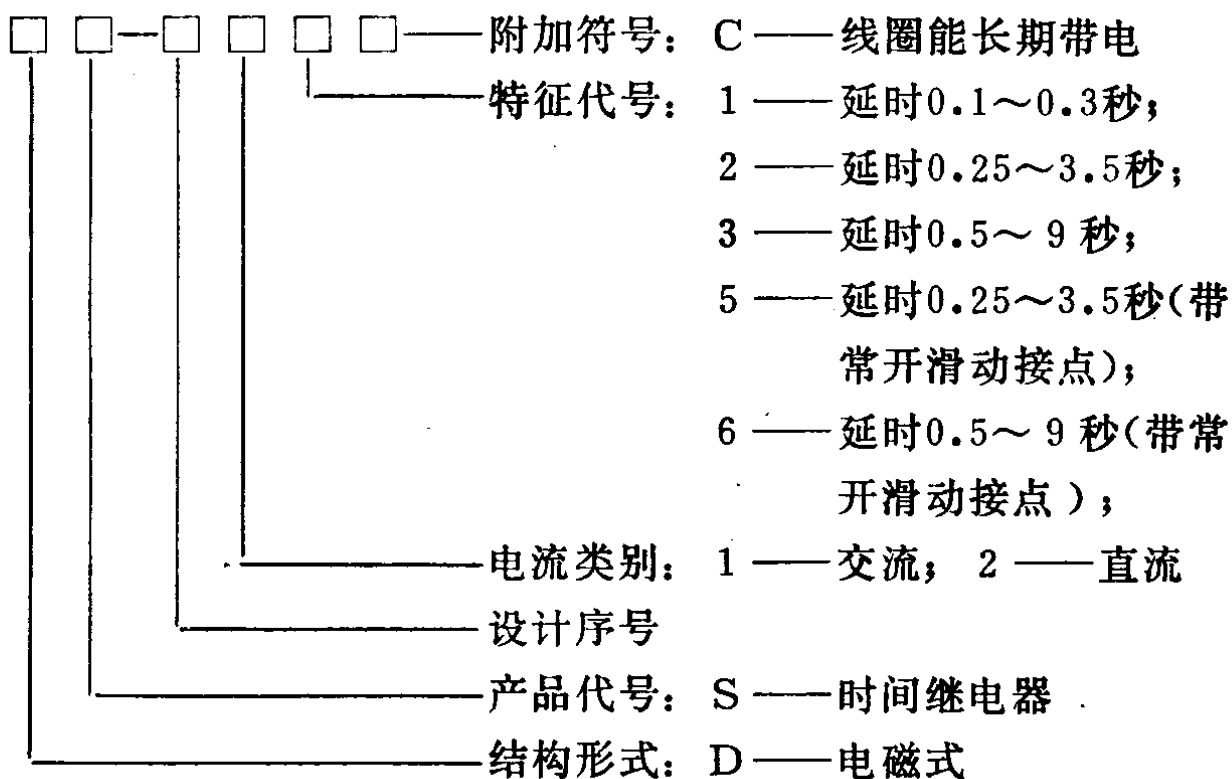
变电所中常用的 DS- $\frac{1}{2}$ 系列电磁式时间继电器的基本结构，

图 20-7 DS- $\frac{11}{12}$ $\frac{10}{20}$ 系列电磁式时间继电器的结构图

1—线圈；2—磁路；3—铁芯；4—返回弹簧；5—轧头；6—可动瞬动接点；
7、8—固定瞬动接点；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；15—主齿轮；16—钟表机构
齿轮；17、18—钟表机构中间齿轮；19—制齿；20—卡钉；21—重锤；22—
动接点；23—静接点；24—标度盘

如图20-7所示。图20-8为它的内部接线图。

电磁式时间继电器的型号表示如下:



2. 动作原理

当线圈 1 接入电压后, 铁芯 3 即被瞬时吸入电磁线圈中, 因