

高等学校试用教材

牵引供电系统继电保护

(第二版)

潘启敬 主编

中国铁道出版社

1993年·北京

前 言

本书是在人民铁道出版社1978年出版的《铁路牵引供电系统继电保护》一书的基础上修订而成的。和第一版相比，这次修订新增了第三章的第四节“备用电源线路的自动投入”、第三章的第五节“线路故障检测”、第四章的第八节“二极管环形相位比较器原理”、第五章的第六节“AT供电系统牵引网保护”、第六章的第八节“AT供电系统牵引变压器的差动保护”、第七章的第五节“AT供电系统牵引母线保护”以及第九章“数字型继电保护”等。

这次修订分工如下：第一、二、四、八章由潘启敬负责，第五、六、七章由张淑琴负责，第三、九章由刘联和负责。全书由潘启敬主编。

在修订编写过程中，得到铁道部电气化工程局勘测设计处、铁道部铁道科学研究院机车车辆研究所以及有关运行、施工单位的大力协助，在此表示衷心感谢。

编 者

一九八五年九月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书根据国内外铁路牵引供电系统的技术发展,结合我国交流电气化铁道的实践经验,全面介绍了牵引变电所高压进线、主变压器、牵引网及动力供电各方面的继电保护问题,包括各种保护的原理分析、整定计算、典型接线及设计计算实例。除了介绍一般保护元件及保护原理外,还介绍了AT供电系统的保护方式及数字型继电保护的基本原理。

本书除作高等学校铁道电气化专业试用教材外,也可供牵引供电和一般电力系统的工程技术人员参考。

高等学校试用教材
牵引供电系统继电保护
(第二版)

*
潘启敬 主编
中国铁道出版社出版、发行
(北京市东单三条14号)
责任编辑 马时亮
北京顺义燕华印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12.5 插页: 1 字数: 302 千
1978年第1版 1993年6月第2版第3次印刷
印数: 2001—3000册

ISBN 7-113-01509-3/U·459 定价: 3.40 元

目 录

第一章 继电保护的一般概念	1
第一节 继电保护的功用.....	1
第二节 对继电保护的基本要求.....	2
第三节 保护原理的概念.....	3
第四节 继电保护的发展概况.....	4
第二章 电流、电压及方向保护	5
第一节 电磁式继电器.....	5
第二节 电流保护.....	11
第三节 电压保护.....	21
第四节 电流方向保护.....	22
第三章 自动装置	29
第一节 自动重合闸的意义及其要求.....	29
第二节 单侧电源的自动重合闸.....	29
第三节 双侧电源的自动重合闸.....	32
第四节 备用电源线路的自动投入.....	34
第五节 线路故障自动检测.....	37
第四章 阻抗继电器及110kV线路保护	42
第一节 距离保护的基本概念.....	42
第二节 阻抗继电器的特性测试与分析.....	43
第三节 整流式阻抗继电器的实际电路.....	52
第四节 感应式方向阻抗继电器.....	57
第五节 距离保护的接线方式及整定校验.....	59
第六节 影响保护正确工作的因素及防止措施.....	61
第七节 零序保护.....	66
第八节 二极管环形相位比较器原理.....	71
第九节 PLH-11/B型保护屏简介.....	73
第五章 交流牵引网保护	78
第一节 交流牵引负荷的特点.....	78
第二节 交流牵引网的距离保护.....	79
第三节 利用牵引负荷特点构成的保护.....	93
第四节 晶体管保护的基本单元电路.....	96
第五节 牵引网馈线成套保护装置.....	102
第六节 AT供电系统牵引网保护.....	113
第七节 牵引网的保护方式及整定计算.....	117

第六章 变压器保护	124
第一节 变压器的故障及不正常工作状态	124
第二节 变压器的瓦斯保护	125
第三节 变压器的电流速断保护	127
第四节 变压器的差动保护	128
第五节 变压器的电流保护	140
第六节 牵引变电所变压器保护举例	142
第七节 晶体管差动保护	146
第八节 AT 供电系统牵引变压器的差动保护	151
第七章 母线保护及线路差动保护	156
第一节 母线保护原理	156
第二节 牵引变电所母线保护实例	157
第三节 高频保护的概念	158
第四节 横联差动保护的概念	160
第五节 AT 供电系统牵引母线保护	161
第八章 继电保护的设计原则及计算举例	165
第一节 概述	165
第二节 继电保护设计中应注意的一些问题	165
第三节 牵引变电所的保护方式	168
第四节 牵引变电所保护整定计算举例	170
第九章 数字型继电保护原理简介	176
第一节 数字型保护概述	176
第二节 数字型保护的算法	178
第三节 数字滤波的概念	180
第四节 数字型距离保护举例	183
附 录	185
一 《电力设计技术规范》对灵敏系数的规定	185
二 主要符号说明	186
三 常用继电器的表示方法	187
四 几种常用继电器的技术数据	188
五 DTK-2 型成套装置调试方法	190
参考文献	193

第一章 继电保护的一般概念

第一节 继电保护的功用

什么是继电保护？它对生产有什么作用？这是首先要说明的问题。

图 1—1 是某电气化区段部分供电系统图。B1及B2是两台主变压器，用来将 110kV 三相电压变换为 27.5kV 单相电压向接触网供电。B3 是一台动力变压器，将 27.5kV 三相电压降为 10kV 三相电压向变电所附近动力用户供电。变电所由 110kV 输电线路从两个三相电源供电。图中的 DL₁~DL₁₂ 都是断路器。

断路器是用来接通及断开电路的，正常送电时断路器是合闸的，当停电时可用手动操作将断路器分闸，如发生短路故障时断路器应当自动跳闸，将短路故障切除。但是，如何才能断定确实发生了短路从而使断路器自动跳

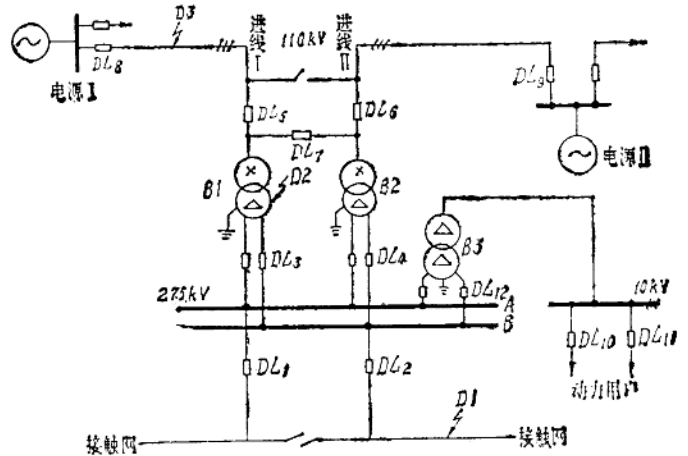


图 1—1 供电系统

闸呢？这就要有一种自动装置，它能够正确地判别正常与短路状态，一旦发生短路就自动地发出跳闸命令，把与短路点直接有关的断路器跳闸，这种自动装置就是继电保护装置，它是由各种继电器及电子元件按一定要求组合而成的。

继电保护对电力系统的正常运行是非常重要的。如图 1—1 所示，一个变电所有十多台断路器，每台都要有专门的继电保护装置来控制。如果没有符合要求的继电保护装置，那么短路故障就不能迅速地排除，从而造成严重的危害：

1. 影响工农业的正常生产。例如接触网短路（图 1—1 中 D1 点短路），电力机车无法运行，造成铁路运输阻塞；同时变电所母线电压降低，影响到动力用户正常供电；
2. 使电气设备损坏或缩短其寿命。例如，变压器内部发生短路（图 1—1 中 D2 点短路），短路回路通过的电流显著增大，使变压器严重发热并在绕组间产生电弧，造成变压器绝缘和导线遭受损坏；
3. 破坏电力系统运行的稳定性。例如，110kV 线路发生短路（图 1—1 中 D3 点短路），可能造成电力系统的解列，影响到整个电力系统的正常运行。

因此继电保护是保证供电系统安全运行和提高供电质量的重要工具，没有它，要想维持正常运行是不可能的。

继电保护除了用来切除短路故障外，也用作发出不正常运行状态的信号。例如，发生变压器过负荷或过热、控制回路断线、绝缘不良等不正常状态时，继电保护给出相应的信号，引起运行人员注意，及时采取措施将不正常状态消除。

继电保护并不单单是消极防御措施，它对于改善供电方案，进一步提高供电质量，具有积极意义。例如，由于有了完善的保护装置可以保证更合理的供电方案的实现。可以在供电线路采用自动重合闸装置等。实践证明，70%左右的短路故障具有自消性质，即在断路器跳闸后可以自行消除，采用自动重合闸装置将断路器重合闸后仍能继续正常供电。对于少数非自消性故障，由于有了完善的保护装置，重合不成功时可以再次迅速切断故障，也不会有什么危害。自动重合闸与继电保护装置配合使用，对进一步提高供电质量很有价值。

第二节 对继电保护的基本要求

根据继电保护在电力系统中所担负的任务，一般情况下，对动作于跳闸的继电保护在技术上有四个基本要求：选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

1. 选择性 发生故障后哪些断路器应当跳闸，哪些断路器不应当跳闸，要有选择性。一般说来，应当仅将与故障部分直接有关的断路器跳闸，将故障部分切除后非故障部分仍能继续正常运行，把停电限制在最小范围。例如，当在图1—1 D_1 点发生短路时，应当只有 DL_2 跳闸，变压器 B_1 及 B_2 仍继续向其余馈线和动力变压器供电。当 D_3 点发生短路时，应当只有 DL_5 、 DL_3 跳闸，进线Ⅱ继续向两台变压器供电。

继电保护的选择性由合理地选择保护方式与正确地整定计算来保证，即与所用的保护原理及各处保护之间的配合有关，后面将详细讨论。

2. 速动性 在发生故障后保护装置应尽快地动作，以便减小用户在电压降低的情况下工作的时间，缩短元件可能受损坏的程度，并有利于提高电力系统并列运行的稳定性。但是速动性不应影响选择性。例如，在图1—1 D_1 点发生短路时，短路电流也同时流过变压器 B_1 及 B_2 ，其保护装置（例如过电流保护）此时的动作时间便不应快于 DL_2 保护装置的动作时间，这样才能保证必要的选择性。

但是，当变压器内部发生短路时（例如图1—1 D_2 点短路），变压器两侧的断路器必须立刻跳闸，否则将使变压器受到严重损坏。可见速动性与选择性之间存在着矛盾。为了同时满足两者的要求，往往必须采用比较复杂的保护装置。

对于发生不正常运行状态时只给信号的保护装置，一般不要求迅速动作，而是按照选择性要求适时给出信号。

3. 灵敏性 继电保护的灵敏性是指保护范围内发生故障或不正常状态时保护装置能敏锐反应并动作的能力，没有因反应不灵敏而拒动的现象。灵敏性一般都用灵敏系数来衡量，其含义以后结合各种保护来介绍。

4. 可靠性 这主要是对保护装置本身提出的要求，要求保护装置的元件及结线等都经常处于良好状态，该动作时能正确动作，不该动作时无误动作。保护装置的可靠性与保护的结构、元件质量、装配工艺及调试维护都有关系，为了提高保护装置的可靠性，必须重视从生产到使用的每一个环节。

在按照以上四个基本要求选择继电保护方式时，还应当考虑到经济条件，在满足基本要求的前提下应尽量采用简便的保护方式。

第三节 保护原理的概念

电力工人及技术人员在长期的生产实践基础上创造和总结出许多行之有效的保护装置。按保护原理分，有电流、电压、方向、距离、差动保护等；就使用的继电器元件分，有电磁型、感应型、整流型、晶体管型等；从用途来说，有线路保护、母线保护、变压器保护、牵引网馈线保护等。这些保护方式将分别加以介绍，这里先概括地介绍一下继电保护作用原理的概念。

图 1—2 所示是最简单的过电流保护作用示意图。发生短路时电流互感器的一次电流 I_D 增大，因而二次侧流入继电器 J 中的电流 I_j 也增大，如果超过给定值（在继电保护中叫整定值），则继电器的接点闭合，使断路器的跳闸线圈 TQ 受电，铁心被向上吸动，撞开脱扣机构，使断路器跳闸。断路器跳闸后，它的辅助接点 DL 断开， TQ 断电。在正常运行下 I_j 小于整定值，继电器不动作。

可见继电保护的核心是继电器，它由电流互感器受电，经常测量着电流的数值，并与整定值进行比较，一旦超过整定值就动作，向断路器跳闸机构送出跳闸命令。

有时继电器（例如采用晶体管继电器时）不能直接与电流互感器连接，需要经过变换电路；有的继电器（例如阻抗继电器），它测量的是 $Z = \frac{U}{I}$ ，需要同时与电流互感器和电压互感器连接。因而继电保护装置可概括地画成图 1—3 所示的结构方框图。变换电路将电流互感器及电压互感器二次侧的电流、电压变换为测量比较元件所需要的形式。测量比较元件就是电流、阻抗等继电器。当被测量值符合事先由人规定的整定值要求时，测量比较元件动作。操作电路是实现一定控制要求的直流操作电路，经过它去接通所需要的跳闸电路及信号电路。

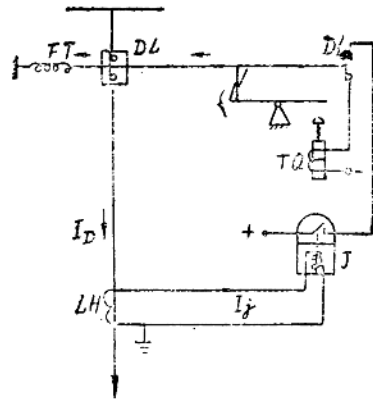


图 1—2 过电流保护作用示意
DL—断路器；FT—分闸弹簧；TQ—跳闸线圈；
J—继电器；LH—电流互感器。

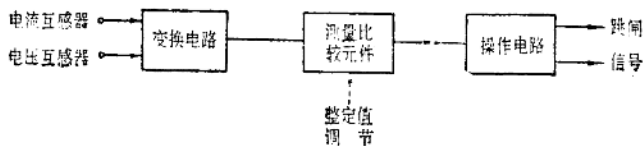


图 1—3 保护装置结构方框

若测量比较元件反应的是电流 I ，当短路时电流超过整定值，保护动作，这就是过电流保护。

若测量比较元件反应的是电压 U ，当短路时 U 低于整定值，保护动作，这就是低电压保护。

若测量比较元件反应的是阻抗 $Z = \frac{U}{I}$ ，当短路时 I 增大 U 降低，于是 Z 降低， Z 低于

整定值时保护动作，这就是距离保护。

若测量比较元件反应的是变压器或线路两端的电流之差，当变压器或线路内部发生短路时两端电流之差增大，保护动作，这就是差动保护。

在双侧电源线路中为了判别短路的方向，以便进行有选择地跳闸，常常在测量比较元件之外，增加方向元件，或使测量比较元件本身具有方向性，从而构成具有方向性的保护装置。

另外还应用着反应某一对称分量（例如零序分量或负序分量）的保护，这时在变换电路中应包括对称分量过滤器，以获得所需要的相序分量。当发生单相或两相短路时会有大的零序或负序出现，使测量元件动作。

各种测量元件及操作电路均可以用电磁式继电器或晶体管继电器构成。目前电磁式继电器仍广泛采用，感应式继电器也有应用，但感应式阻抗继电器将逐渐被整流式阻抗继电器所代替。晶体管继电器具有灵敏度高、速度快、体积小、耐震动、易于组成各种复杂保护等优点，是今后发展的方向。

第四节 继电保护的发展概况

长期以来，保护装置采用的是电磁式继电器和感应式继电器这些机电型元件。1901年出现了利用感应式电流继电器构成的电流保护。1908年提出了电流差动保护。从1910年起开始采用电流方向保护，应用于感应式功率方向继电器。1920年应用了感应式阻抗继电器构成的距离保护。1927年以后开始应用输电线路的高频保护，应用了电子管构成的高频发送与接收电路。

随着半导体技术的迅速发展，应用半导体整流元件的保护装置及晶体管保护装置从六十年代以来逐渐受到重视。现在在某些继电保护中已大量采用。晶体管保护装置与机电型元件保护装置相比，有动作迅速、灵敏度高、体积小、功率损耗小、没有接点、无机械磨损等优点。其主要缺点是离散性大，抗干扰能力较差。因此，推广晶体管保护的应用是当前继电保护中应该着重研究的课题。我国电气化铁道牵引馈线的晶体管保护已在普遍应用。从1976年开始，一个全套晶体管继电保护的变电所也已投入运行。

随着电子计算技术的飞速发展，电子计算机将普及到国民经济及科学技术的各个方面。电子计算机具有高速逻辑判断能力，大容量存储记忆作用，综合分析和计算功能，能更好地满足保护装置所要求的选择性、快速性、灵敏性等基本要求，而且能用软件（程序）代替复杂的硬设备。

目前，国外电力系统中已大量研究、应用电子计算机，取得了肯定的成果。日本电气化铁道于1982年在一个牵引变电所投入了一套微型机保护系统，执行电流、电压保护和接地故障方向判别功能。我国电力系统在微型机继电保护方面也已展开了研究，取得了显著进展。

计算机技术在继电保护中的应用是继电保护技术的重要发展方向，我们应当积极开展这方面的研究。

第二章 电流、电压及方向保护

第一节 电磁式继电器

继电器是组成继电保护的基本元件。电磁式继电器是目前最广泛应用的一种。在这一节我们只介绍电流、电压保护所用的继电器，其他继电器在以后再讲。

一、电磁式继电器的原理

电磁式继电器的种类很多，有电流继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等，但它们的基本作用原理都是相同的，可用图 2—1 说明。

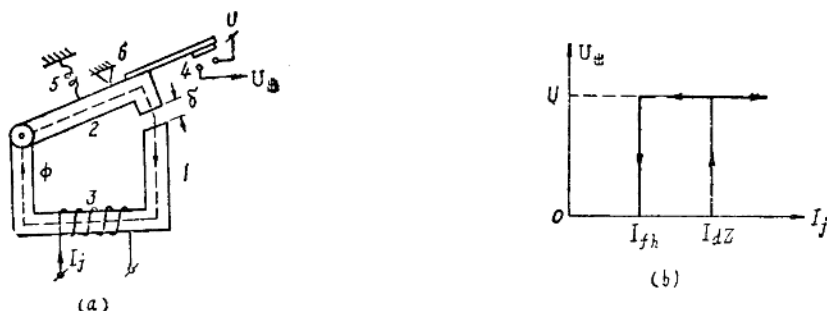


图 2—1 电磁继电器作用原理

(a) 结构图；(b) 动作特性图。

1—铁心；2—衔铁；3—线圈；4—接点；5—弹簧；6—止挡。

当在继电器线圈中有电流 I_j 时，铁心中产生磁通 ϕ ，磁通经空气隙 δ 及衔铁而成回路，因而在铁心与衔铁间产生电磁吸力 F_{dc} 。 F_{dc} 的大小与 ϕ 的平方成正比，而 ϕ 又与磁动势成正比，与磁阻成反比，即

$$F_{dc} = K_1 \phi^2 = K_1 \left(\frac{W_j I_j}{R_c} \right)^2 \approx K_2 \left(\frac{W_j I_j}{\delta} \right)^2 \quad (2-1)$$

式中 W_j ——继电器线圈的匝数；

R_c ——磁通 ϕ 所经过磁路的磁阻，与空气隙 δ 近似地成正比（因为铁心磁阻与空气隙磁阻相比可以忽略不计）；

K_1 、 K_2 ——比例系数，当磁路不饱和时为常数。

当电流 I_j 较小时，电磁吸力在衔铁上产生的吸合转矩还不足以克服弹簧拉力及摩擦力所产生的阻力矩，继电器仍然不动作。继续增大 I_j ，当 $I_j = I_{dc}$ 时，吸合转矩等于阻力矩，于是衔铁被吸动，空气隙 δ 减小，因而吸力更增大，一下就把衔铁吸过去，继电器的接点立刻闭合，把输出电路接通。可见继电器具有跳变特性，如图 2—1 (b) 中所示。

能使电流继电器动作的最小电流值 I_{dc} ，叫做该继电器的动作电流（或起动电流）。

令吸合转矩 M_{dc} 等于阻力矩 M_z ，并以 I_{dz} 代替（1—1）式中的 I_i ，可得

$$M_{dc} = K \left(\frac{W_j I_{dz}}{\delta} \right)^2 = M_z$$

即

$$I_{dz} = \frac{\delta}{W_j} \sqrt{\frac{M_z}{K}} \quad (2-2)$$

由（2—2）式可以看出，要改变继电器的动作电流，可以采取以下方法：

1. 改变继电器线圈的匝数 W_j ；
2. 改变弹簧的阻力矩；
3. 改变空气隙 δ 。

继电器动作之后， I_i 继续增大对输出电路并无影响， I_i 减小一点对继电器也无影响，因为动作之后 δ 较小，只要较小的电流就能维持继电器于动作状态。如果继续减小 I_i ，当 $I_i = I_{fh}$ 时，吸合转矩开始小于弹簧的作用力矩（即弹簧的作用力矩等于吸合转矩及摩擦力矩之和），则衔铁被弹簧拉回原来位置。因为衔铁只要被拉开一点， δ 增大， F_{dc} 减小，衔铁更易于返回，所以继电器返回也是瞬时即完成，如图2—1（b）所示。

能使电流继电器返回的最大电流值 I_{fh} ，叫做该继电器的返回电流。继电器的返回电流与动作电流之比叫做返回系数，用 K_{fh} 表示，即

$$K_{fh} = \frac{I_{fh}}{I_{dz}} \quad (2-3)$$

动作电流与返回电流的差别主要是由空气隙 δ 的变化及衔铁转动时的摩擦阻力引起的。动作前的 δ 比动作后的大。另外，动作过程中摩擦力的作用方向与电磁吸力相反，而返回过程中摩擦力的作用与电磁吸力一致。所以，动作电流总比返回电流大，即 $K_{fh} < 1$ 。对于作为保护起动元件的继电器，在满足可靠性的基础上，要求 K_{fh} 尽可能接近于1，这样可使保护装置获得较高的灵敏度。因此就需要改善磁路系统的结构以减小 δ 的变化，并采用坚硬的轴承以减小摩擦力。这也就是为什么过电流继电器等作为起动元件的继电器采用了图2—2所示的结构型式。而图2—1的结构型式主要用于返回系数要求不高的中间继电器和信号继电器。

二、电流及电压继电器

电流继电器 图2—2是我国目前广泛采用的DL-10系列电流继电器，为了提高返回系数，继电器的衔铁采用旋转的Z型舌片，这样以来动作前后空气隙的变化较小，而且由于铁片薄，易于饱和，动作后磁通的增加不会太大，因此返回系数较高，一般在0.85以上。并且动作快，消耗功率小。缺点是接点容量小，不能直接作用于开关跳闸。

继电器有上、下两组线圈，可以根据需要并联或串联。不论并联或串联，对于一定继电器在调整手把一定时，动作安匝是一定的，即每个线圈流过的动作电流是一定的，所以并联时从外部所需的动作电流是串联时的两倍。动作电流还可以用调整把手改变弹簧的拉力来平滑调节。在接法不变时，调整手把在最大刻度值时的动作电流为最小刻度值时的两倍。因此考虑线圈串、并联接法后继电器的动作电流可在最小刻度值的1~4倍范围内平滑调节。例如DL-11/10型继电器（11指接点方式为具有一对常开接点，10指最大动作电流为10A），当两线圈串联时，动作电流可在2.5~5A间调节；并联时可在5~10A间调节。

电压继电器 目前我国广泛采用的是DJ-100系列。其结构型式与DL-10系列电流继电器完全一样，不同的只是它的线圈匝数多而且导线截面细，线圈阻抗大。电压继电器可以直接接到电压互感器副边，它动作与否取决于电压互感器电压的大小。而电流继电器是接到电流互感器的副边，其动作与否取决于电流互感器电流的大小。图2-3是两者与互感器连接示意图，以便比较。

电压继电器常用于当母线电压降低时起动保护装置。这种继电器叫做低电压继电器。它实际是用常闭接点(注)起动保护装置的电压继电器，如图2-3(b)所示，当母线电压为正常值时，继电器受着较高电压(100V左右)，它的衔铁处于被吸状态，常闭接点打开；当有短路故障时，母线电压下降，衔铁返回，常闭接点闭合，将保护装置起动；短路切除后，母线电压升高，常闭接点又打开，保护装置返回。所以保护的起动电压低于返回电压，返回系数为

$$K_{fh} = \frac{U_{fh}}{U_{dz}} > 1 \quad (2-4)$$

式中 U_{fh} ——返回电压；
 U_{dz} ——动作电压(起动电压)。
 一般低电压继电器的 K_{fh} 应不大于1.2。

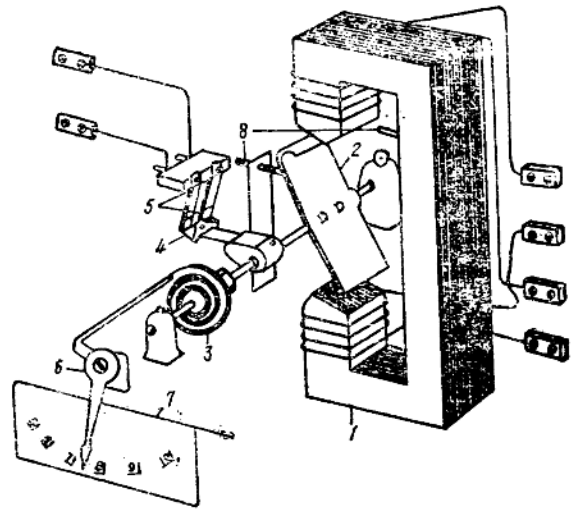


图 2-2 DJ型继电器结构

1—铁心；2—Z型舌片；3—弹簧；4—可动接点；5—静接点；6—调整手把；7—刻度盘；8—限制螺杆。

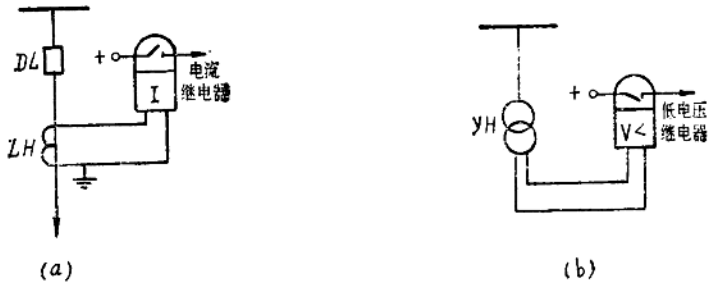


图 2-3 继电器与互感器的连接
 (a) 电流继电器与电流互感器的连接；(b) 电压继电器与电压互感器的连接。
 DL—断路器；LH—电流互感器；YH—电压互感器。

三、时间继电器

图 2-4 所示为DS-110型时间继电器的结构图。线圈1通电流后继电器的衔铁3瞬

注：继电器未受电时，即衔铁未被吸之前，处于闭合的接点，叫做常闭接点，处于断开的接点叫常开接点。

被吸入，曲柄9失去支持，瞬时接点7打开，8闭合，扇形齿轮10在弹簧11的作用下顺时针转动，并传给齿轮13，使它与同轴的摩擦离合器14逆时针方向转动。摩擦离合器转动后使外层的套圈14D紧卡主传动轮15，因此传动轮就随着转动。此轮传动钟表机构的轴轮16和17经中间轮18而使摆轮19与摆卡20的齿接触，使之停止转动，但在摆轮的压力下摆卡偏转而离开摆轮，所以摆轮就转过一个齿。如此往复进行就限制了动接点的轴为一定速度。当线圈中电流消失后，在弹簧4的作用下，继电器的衔铁和杠杆又返回到原始位置。同时扇形齿轮也立即复原，因顺时针旋转时摩擦离合器14已与转动轮脱开，故钟表机构不起作用，这就保证了继电器返回是瞬时的。

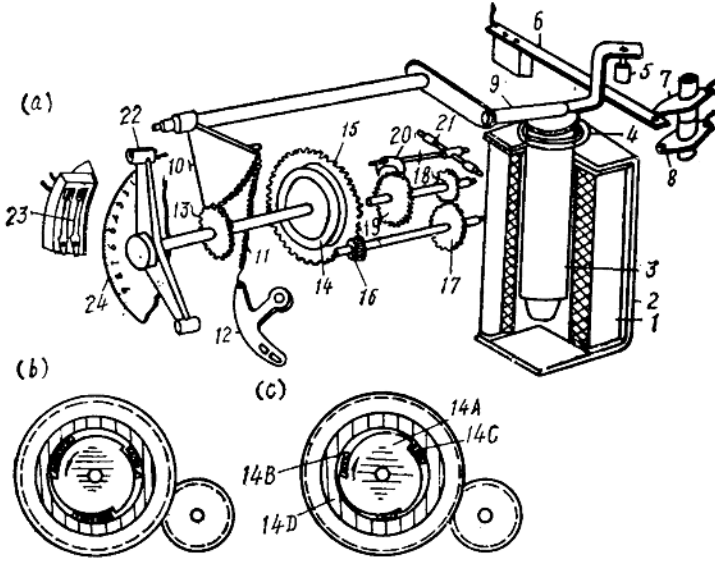


图 2-4 DS-110型时间继电器

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

1—线圈；2—外壳；3—铁心；4—弹簧；5—触头；6—可动的瞬时接点；7和8—瞬时静接点；9—杠杆；10—扇形轮；11—反作用弹簧；12—调整弹力的机件；13—齿轮；14—摩擦离合器（14A—星形轮；14B—滚珠；14C—弹簧；14D—套圈）；15—主传动轮；16、17—轴轮；18—中间轮；19—摆轮；20—摆卡；21—平衡锤；22—可动的延时接点；23—延时静接点；24—刻度盘。

改变接点23的位置，即改变动接点22走到23之间的距离，就可以调节时间继电器的时限。

时间继电器的符号如图 2-5 所示。当时限较长时，为了避免继电器线圈发热，在动作后给线圈串入一个附加电阻 R 。在继电器动作之前，附加电阻 R 被常闭接点 1 旁路，继电器动作后，接点 1 断开，将电阻 R 串入线圈电路，使线圈中的电流减小。

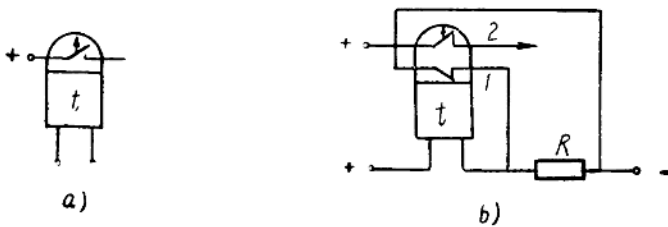


图 2-5 时间继电器的符号
(a) 一般符号；(b) 附加电阻的接法。

四、信号继电器与中间继电器

信号继电器 是当继电保护动作时给出保护动作的信号。图 2—6 为 DX-11 型 电磁式信号继电器。当电流通过线圈 2 时，衔铁 3 被电磁铁 1 吸引，信号牌 6（掉牌）因一端失去支持而落下。同时，与信号牌相联的固定轴随着旋转 90° 角，使固定在转轴上的可动接点 4 与固定接点 5 接触，因而接通灯光或音响信号回路。值班员查看信号牌的位置可确认是哪一套保护装置动作，随后用手转动恢复杠杆 8，将继电器复位。

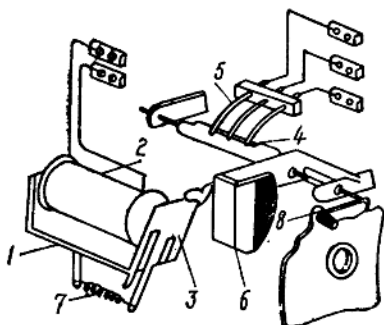


图 2—6 DX-11 型信号继电器

1—铁心；2—线圈；3—衔铁；4—可动接点；
5—固定接点；6—掉牌；7—弹簧；8—复位手柄。

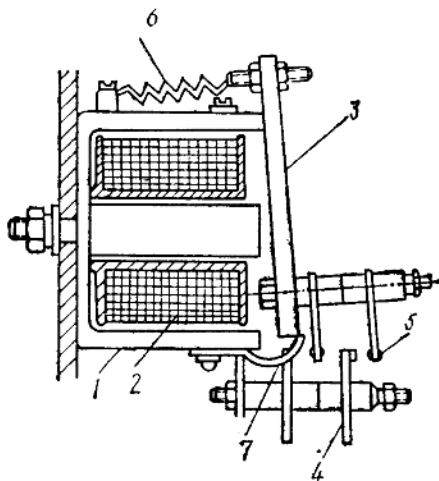


图 2—7 DZ 型中间继电器

1—铁心；2—线圈；3—衔铁；4—固定接点；
5—可动接点；6—弹簧；7—衔铁行程限制器。

中间继电器 是为了扩大接点数量和容量的一种辅助继电器。它的结构图示于图 2—7 中。中间继电器的接点较多，当同时需要控制多个回路时可借助中间继电器来完成，如图 2—8 所示。另外，电流、电压继电器的接点容量较小，不能直接接通跳闸电路，也需要经过中间继电器来完成。

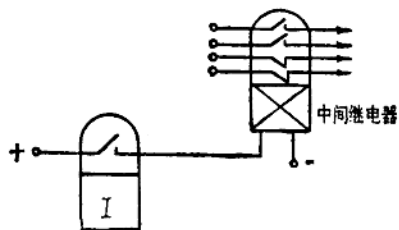


图 2—8 用中间继电器扩大接点数量

有时也利用中间继电器本身的动作时间获得短时间的延时，而避免采用专门的时间继电器。

五、继电器主要参数的测试

（一）动作值及返回值

测试接线示于图 2—9 中，要求：

1. 在试验动作电流（电压）及返回电流（电压）时应缓慢平滑地调整电流（电压）；
2. 每一刻度至少应复测三次，每次动作值与刻度值误差不应超过 $\pm 5\%$ ；
3. 继电器在动作过程中不应有动作迟缓及中途停顿等现象；
4. 过电流继电器的返回系数应为 $0.85 \sim 0.95$ 。低电压继电器的返回系数应为 $1.05 \sim$

1.2;

5. 验收、改装及运行中常需改变定值者，应作全部刻度测试校验。定期检验时仅校验定值。

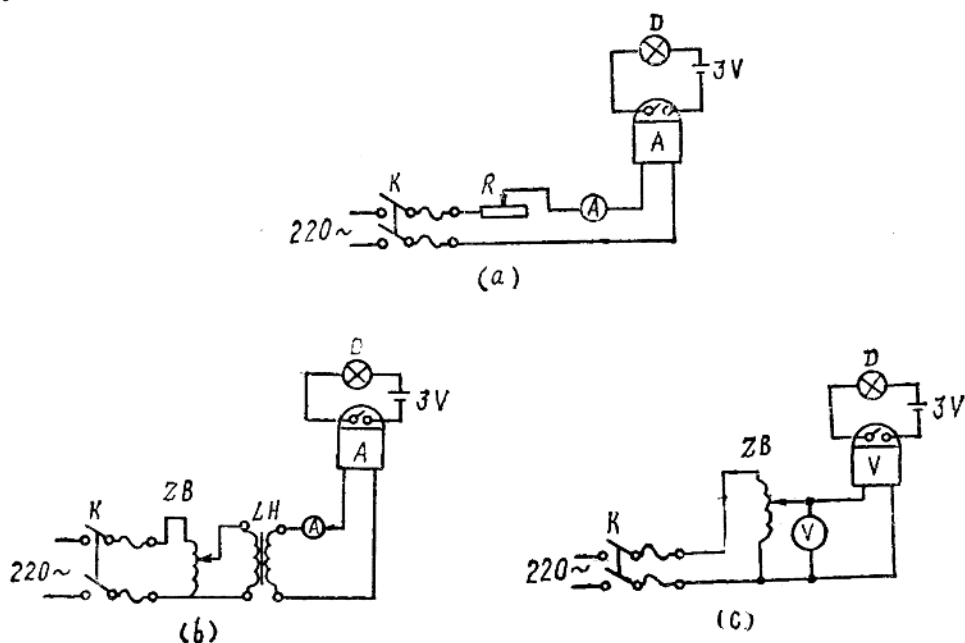


图 2-9 动作值及返回值测试接线
(a)、(b) 测试电流继电器；(c) 测试电压继电器。
R—滑线电阻；ZB—自耦变压器；LH—变流器。

(二) 动作时间及返回时间

测量电磁式继电器的动作时间及返回时间一般用电秒表。它的原理及用法见图 2-10。当在端子 1—4 之间加 220V 交流（或在端子 1—3 之间加 110V 交流）时，电动机 D 转动，带动电秒表刻度盘上的指针转动。当被测继电器的接点闭合时，端子 1—2 被短接，电动机停止。从指针转过的刻度数即可读出被测时间。注意，在测试时，电秒表与被测继电器必须同时加电压，这样才能测到继电器的动作时间。

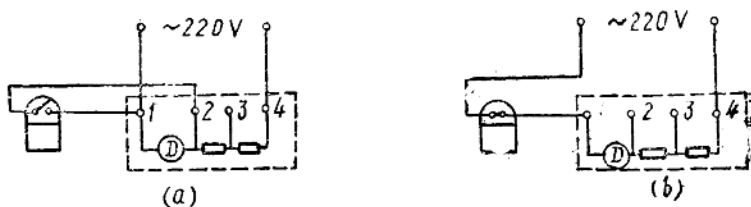


图 2-10 电秒表接线
(a) 接点闭合时停止电秒表；(b) 接点打开时停止电秒表。

如果用继电器的常闭接点停止电秒表，可采用图 (b) 的接线，当常闭接点打开时，电动机的供电电路被切断，电机停转。

图 2-11 为测量时间继电器动作时间的接线图。测试时，合上电源，调整滑线电阻使继电器所受电压达到额定值，然后断开电源，将电秒表置于零位置，再合上电源（交直流必须同时合上）。为了避免由于刀闸各极不同时接触而引起误差，有时可用中间继电器代替刀闸。

额定电压下测量继电器动作时间，每点应不少于五次，其整定点误差为 $\pm 0.05 \sim \pm 0.12$

s。

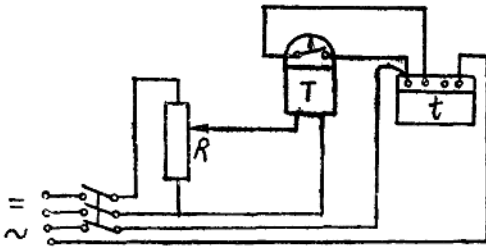


图 2-11 测量时间继电器动作时间接线
T—时间继电器；t—电秒表；R—滑线电阻。

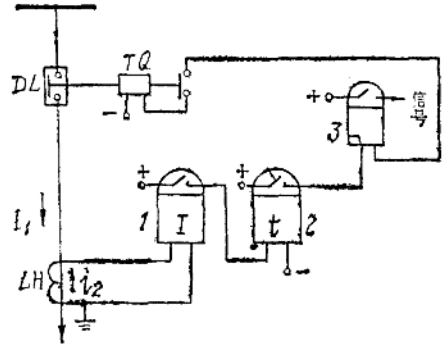


图 2-12 过电流保护原理
1—电流继电器；2—时间继电器；3—信号继电器。

第二节 电流保护

我们已经了解继电保护的功用及基本要求，也了解了电磁继电器的原理，那么如何实现继电保护呢？在这一节中我们将解决牵引变电所 10kV 动力馈线的保护问题，同时也涉及到过电流保护的一般原理及整定校验，为变压器及其它线路的过电流保护打下基础。

一、过电流保护原理

短路故障和正常运行之间有什么明显的区别？这是我们实现继电保护时必须首先要分析研究的问题。

短路故障时的一个普遍特点就是短路回路电流显著增大。例如，某一牵引网馈线电流，在正常情况下不超过 400A，而牵引网短路时最小在 800A 以上；又如图 1-1 中动力用户馈线的正常负荷不超过 50A，而 10kV 母线附近短路时的电流则在 500A 以上。因此，可利用短路与正常情况下电流数值上的差别构成继电保护。这种反应短路时电流增大的保护叫做过电流保护，其基本原理如图 2-12 中所示。图中 LH 为电流互感器，TQ 为断路器的跳闸线圈。正常情况下流过电流继电器的电流较小，电流继电器不动作，其接点是断开的，后面的时间继电器及信号继电器均不动作。当发生短路时， I_1 增大， i_2 成比例增大，电流继电器动作，其接点闭合，使时间继电器动作，经过规定的时限后，时间继电器的接点闭合，将信号继电器与跳闸线圈的串联电路接通，断路器跳闸，信号继电器给出保护动作信号。

为什么要用时间继电器呢？主要是为了保证选择性。现以图 1-1 中动力变压器及动力供电线路的过电流保护为例加以说明。为了方便起见，把它画成图 2-13 的形式。图中下方为各处过电流保护的时限图。设用户处保护的最大时限为 t_1 ，则 DL_{10} 保护的时限应比 t_1 大出 Δt ，以便在用户处发生短路时那里的保护装置先动作，将故障切除， DL_{10} 处的保护不至于发生非选择的动作。同理， DL_{12} 处的过电流保护应比 DL_{10} 处的过电流保护的时限又大 Δt 。 Δt 的数值是根据断路器的跳闸时间，时间继电器的误差及一定的裕度确定的。例如，设断路器的跳闸时间为 0.15s，时间继电器的误差为 $\pm 0.05s$ ，当离电源较远的一级时限为正误差（偏大）相邻较近一级为负误差时，时间总误差为 0.1s。所以要保证选择性必须取 $\Delta t >$

0.15+0.1,考虑一定裕度后, Δt 一般取0.3~0.5s。例如某变电所采用的时限为: $t_I=0.1s$; $t_{II}=0.4s$; $t_{III}=0.7s$ 。这里采用了较小的 Δt 值是为了主变压器的过电流保护的时限不至于过长。

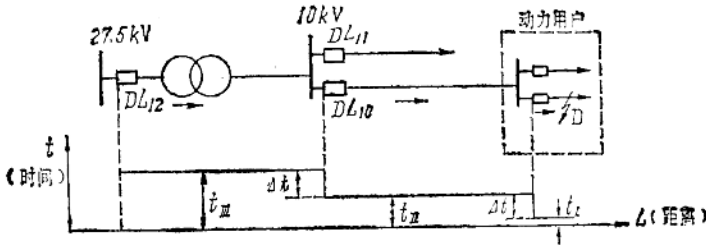


图 2—13 过电流保护的时限配合

图 2—13所示的时限特性在整定好之后是固定不变的,所以叫定时限保护。另外,在低压网络及电动机保护中还应用一种反时限特性的过电流保护,其原理如图 2—14所示。它的动作时间与继电器中流过的电流大小成反比。反时限保护的主要优点是当短路电流大时动作时限自动缩短,因此当故障发生在近电源端时,由于短路电流大因而切除故障的时限就快,而当故障在远点时,由于短路电流减小,其动作时限增大,又能够保证动作的选择性。这种保护的缺点除整定配合比较复杂外,当系统在最小运行方式下,远处短路,或短路点存在有较大的电弧电阻时,由于短路电流较小,保护的时限可能很长。因此在10kV以上网络中一般都不采用。下面我们只讲定时限保护。

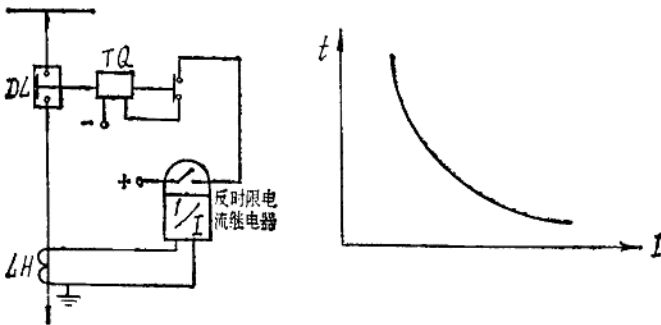


图 2—14 反时限保护原理

二、过电流保护的整定校验

如前所述,保护装置在正常运行时不应动作,发生短路时应可靠动作。显然,过电流保护的整定值必须大于线路上可能出现的最大负荷电流 $I_{F.D}$ 。此外,还必须考虑到外部短路故障切除后,保护是否能够返回的问题。例如在图 2—15中,当D点发生短路之后,断路器 DL_1 应先跳闸。在它跳闸之前, DL_{10} 处的保护因有短路电流流过也被起动,母线B的电压因有短路而下降,因而由此母线供电的电动机被制动。当 DL_1 切除故障后,母线电压恢复,电动机自起动,自起动电流 I_{Z0} 也流过 DL_{10} ,如果 I_{Z0} 大于 DL_{10} 的保护的返回电流,那么保护