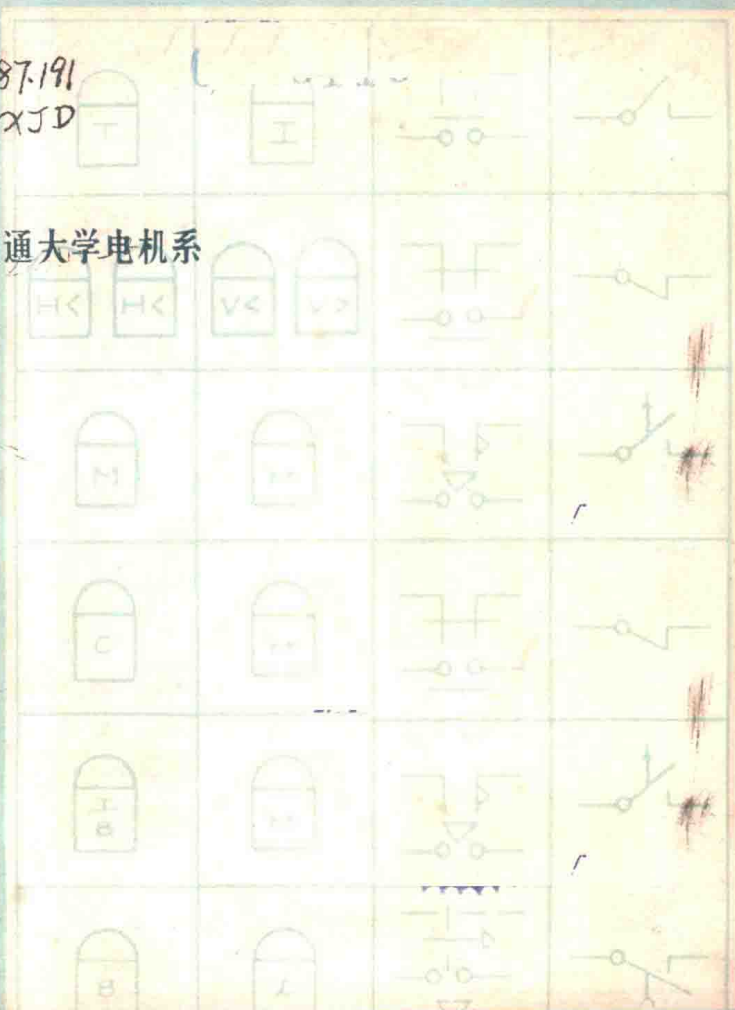


87.191
XJD

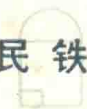
西南交通大学电机系



铁路牵引供电系统继电保护



人民铁道出版社



铁路牵引供电系统 继电保护

人民铁道出版社

1978年·北京

内 容 简 介

继电保护是保证供电系统可靠供电及安全运行的重要技术装备。本书根据我国铁路牵引供电系统有关部门的实践经验，全面地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、试验调试、典型接线及设计计算实例。除介绍最常用的各种电磁型继电器外，在四、五章中重点介绍了整流型阻抗继电器和晶体管保护的基本原理及其在牵引供电系统中的应用。

读者对象：牵引供电系统有关部门的工人、技术员及大专院校铁路供电专业学员。一般电力工人及技术人员可作参考。

铁路牵引供电系统继电保护

西南交通大学电机系

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张：8.125 插页：4 字数：209千

1978年3月第1版 1978年3月第1次印刷

统一书号：15043·5074 定价：0.73元

前 言

本书是根据我国铁路电气化正在迅速发展的迫切需要，结合我国铁路牵引供电系统目前广泛应用和正在试运行的各种继电保护装置进行编写的。编写中既着重阐述各种保护方式及元件的基本原理及整定计算，又介绍了各种主要元件及装置的测试及调整方法，对于新型保护装置也作了较详细的介绍，以便读者通过这本书能对牵引供电系统继电保护这门技术有一个较为深入、系统和全面的了解。

第一、二章的重点是继电保护的基本原理、基本元件及过电流保护。第三章是自动重合闸。第四章的重点是整流型阻抗继电器及距离保护。第五章的重点是晶体管牵引网成套保护，以及牵引网保护方式的选择与整定计算。第六章的重点是变压器差动保护，包括应用 BCH-2 型差动继电器的差动保护及晶体管差动保护。第七章是母线差动保护及高频与线路差动保护一般概念的介绍。第八章是牵引供电系统各种继电保护的设计整定方法的一个总结及举例。

本书初稿在教学中曾试用过两次，在征求有关单位的意见后作过修改。但不妥之处定还不少，希读者给予指正。

在收集资料及编写过程中曾得到铁道部电化工程局勘测设计处、铁道部科学研究院车辆所及有关运行、施工单位的大力协助，特此表示感谢。

编 者

一九七七年十一月

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 | 3 |
| 第三节 保护原理的概念 | 4 |
| 第二章 电流、电压及方向保护 | 7 |
| 第一节 电磁式继电器 | 7 |
| 第二节 电流保护 | 18 |
| 第三节 电压保护 | 36 |
| 第四节 电流方向保护 | 38 |
| 附录一 感应继电器的转矩公式 | 49 |
| 附录二 常用继电器的表示符号 | 51 |
| 附录三 几种常用继电器的技术数据 | 52 |
| 第三章 自动重合闸 | 56 |
| 第一节 自动重合闸的意义及其要求 | 56 |
| 第二节 单侧电源的自动重合闸 | 57 |
| 第三节 双侧电源的自动重合闸 | 60 |
| 第四章 阻抗继电器及 110 千伏线路保护 | 66 |
| 第一节 距离保护的基本概念 | 66 |
| 第二节 阻抗继电器的特性测试与分析 | 68 |
| 第三节 整流式阻抗继电器的实际电路 | 85 |
| 第四节 感应式方向阻抗继电器 | 94 |
| 第五节 距离保护的接线方式及整定校验 | 96 |
| 第六节 影响保护正确工作的因素及防止措施 | 101 |
| 第七节 零序保护 | 109 |
| 第八节 PLH-11/B 型保护屏简介 | 116 |
| 第五章 牵引网保护 | 121 |

| | | |
|------|----------------------------|-----|
| 第一节 | 交流牵引网保护的特点 | 121 |
| 第二节 | 晶体管保护的基本单元电路 | 122 |
| 第三节 | DTK 成套保护装置作用原理 | 132 |
| 第四节 | DTK-2 型成套装置调试 | 139 |
| 第五节 | ZKH-1 型成套保护装置 | 144 |
| 第六节 | 牵引网的保护方式及整定计算 | 156 |
| 附录 | 复线供电臂末端并联时测量阻抗的计算公式 | 166 |
| 第六章 | 变压器保护 | 169 |
| 第一节 | 变压器的故障及不正常工作状态 | 169 |
| 第二节 | 变压器的瓦斯保护 | 170 |
| 第三节 | 变压器的电流速断保护 | 175 |
| 第四节 | 变压器的差动保护 | 176 |
| 第五节 | 变压器的电流保护 | 198 |
| 第六节 | 牵引变电所变压器保护举例 | 203 |
| 第七节 | 晶体管差动保护 | 210 |
| 第八节 | BCH-2 型差动继电器的参数及试验方法 | 218 |
| 第七章 | 母线保护及线路差动保护 | 226 |
| 第一节 | 母线保护原理 | 226 |
| 第二节 | 牵引变电所母线保护实例 | 228 |
| 第三节 | 高频保护的概念 | 232 |
| 第四节 | 横联差动保护的概念 | 234 |
| 第八章 | 继电保护的设计原则及计算举例 | 236 |
| 第一节 | 概述 | 236 |
| 第二节 | 继电保护设计中应注意的一些原则问题 | 237 |
| 第三节 | 牵引变电所的保护方式 | 241 |
| 第四节 | 牵引变电所保护整定计算举例 | 246 |
| 附录 1 | 《电力设计技术规范》对灵敏系数的规定 | 252 |
| 附录 2 | 主要符号说明 | 253 |

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？我们首先来说一下这个问题。

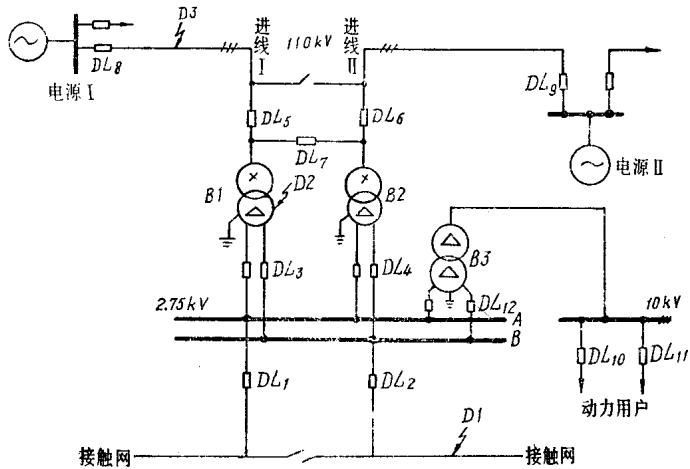


图1-1 供电系统图

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110千伏三相电压变换为27.5千伏单相电压向接触网供电。B3是一台动力变压器，将27.5千伏三相电压降为10千伏三相电压向变电所附近动力用户供电。变电所由110千伏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 D_1 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 D_2 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，110 千伏线路发生短路（图 1-1 中 D_3 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，也用作发出非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、绝缘不良等非正常状态时，继电保护给出相应的信号，引起运行人员注意，及时采取措施将非正常状态消除。

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 1-1D1 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_6 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 1-1D1 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 1-1D2 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或特殊的保护原理。

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，该动作时能正常动
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，这不但节约投资，而且从维护简便和提高可靠性方面也有好
处。因此，必须有全局观点，应当根据被保护设备的重要程度，
系统网络的结构情况等，采用合适的保护方式。

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

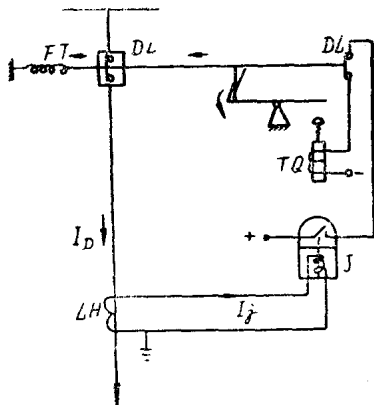


图1-2 过电流保护作用示意图

DL—断路器；FT—分闸弹簧；TQ—跳闸线圈；J—继电器；LH—电流互感器

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，铁芯被向上吸动，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。

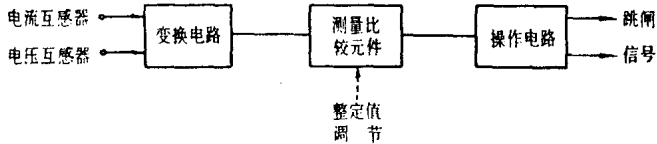


图1-3 保护装置结构方框图

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。

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（因为线路距离与阻抗成正比，故叫做距离保护）。

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。近几年来，特别是无产阶级文化大革命以来，在毛主席革命路线指引下，我国工人及技术人员已经在研制及使用晶体管保护方面取得了很大成绩。在牵引变电所馈线保护中已经投入不少台晶体管成套保护，晶体管变压器保护及110伏线路保护也正在现场试运行中。

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，其他继电器在以后有关部分再讲。

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 来说明。

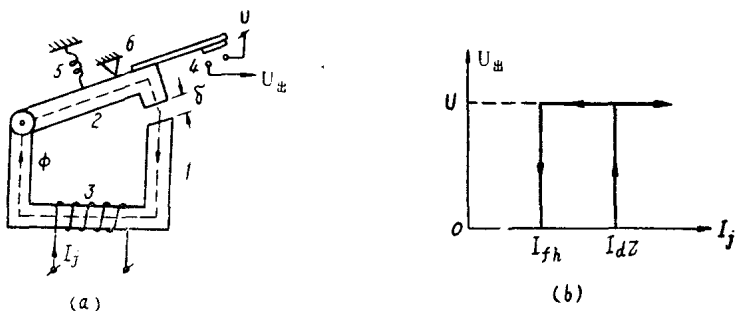


图2-1 电磁继电器作用原理图

(a)结构图；(b)动作特性图

1—铁芯；2—衔铁；3—线圈；4—接点；5—弹簧；6—止挡

图 (a) 是原理结构图；图 (b) 是动作特性图。当在继电器线圈中有电流 I_j 时，铁芯中产生磁通 ϕ ，磁通经空气隙 δ 及衔铁而成回路，因而在铁芯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（因为铁芯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 $I_j = I_{dz}$ 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_{dz} ，叫做该继电器的动作电流（或起动作电流）。

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_j ，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_j 继续增大对输出电路并无影响，如图2-1 (b) 所示； I_j 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_j ，当 $I_j = I_{fh}$ 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所引起的。动作前的 δ 大于动作之后；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要大，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、信号继电器中。

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。

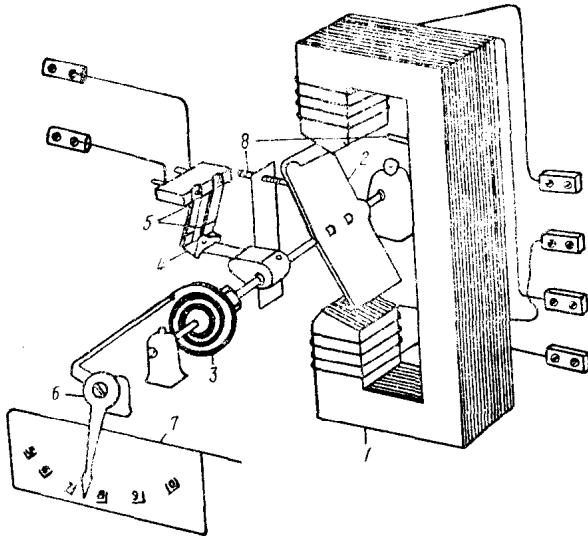


图2-2 DJ型继电器结构图

- 1—铁芯；2—Z型舌片；3—弹簧；4—可动接点；5—静接点；6—调整把手；7—刻度盘；8—限制螺杆

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把手一定时，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2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，调整把手在最大刻度值时的动作电流为最小刻度值时的2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10安），当两线圈串联时，动作电流可在2.5~5安间调节；并联时可在5~10安间调节。

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，线圈阻抗很大。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的示意图，以便比较。

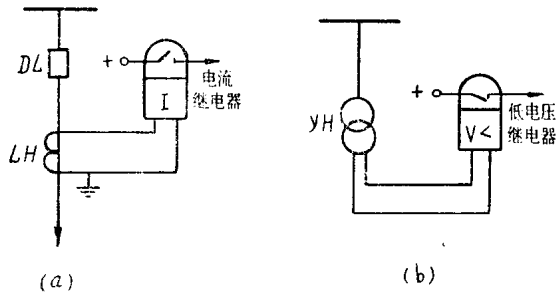


图 2-3 继电器与互感器的连接示意图

(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

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（100 伏左右），它的衔铁处于被吸状态，它的常闭接点是打开的；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。

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。