

继电保护与 二次回路

JIDIAN BAOHU YU
ERCI HUILU

■ 主编 王庆菊



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

继电保护与二次回路

主编 王庆菊



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

继电保护与二次回路/王庆菊主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2015. 4
ISBN 978-7-307-15482-7

I. 继… II. 王… III. ①继电保护—高等职业教育—教材 ②二次系
统—高等职业教育—教材 IV. ①TM77 ②TM645.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 066032 号

责任编辑: 刘小娟 王小倩

责任校对: 方竞男

装帧设计: 吴 极

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 虎彩印艺股份有限公司

开本: 787×1092 1/16 印张: 6.5 字数: 159 千字

版次: 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-15482-7 定价: 20.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购买我社图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

为了贯彻全国职业教育工作会议精神，实现理论实践一体化教学，更好地适应凉山州职业技术学校学生的实际需要，特编写此教材。

本教材根据学生实际就业需要，合理选配知识内容和安排结构，对教材内容的深度、难度作了较大幅度的调整，基础理论课的教学以“必需、够用”为度，弱化了定量分析计算，注重实际动手能力的培养。在编写风格上，力求图文并茂，尽可能使用图片或表格形式将各个知识点形象地展示出来，从而提高了教材的可读性，使学生对教材内容有较为感知的认识。

本教材由凉山州职业技术学校王庆菊主编。在此感谢西华大学张彼德教授对本书提出的宝贵意见，还要感谢参与教材研讨的国网四川省电力公司凉山供电公司副总工程师陈平、大桥水电开发公司凉山漫水湾电厂厂长陈顺权、大桥水电开发公司凉山漫水湾电厂副厂长苏林、安宁河能源开发有限公司三颗树电厂厂长邵尤贵、国网四川省电力公司凉山供电公司高级技师张家芬、凉山州水电设计院副总工程师张天华。

由于编者水平有限，加之时间仓促，教材中难免存在不足和疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2015年1月

目 录

任务一 认识继电保护的基础知识	1
【任务目标】	1
【知识导读】	1
一、电力系统运行状态	1
二、电力系统继电保护的的任务	1
三、电力系统继电保护的要求	2
四、电力系统继电保护的基本原理	3
任务二 认识几种常用继电器	4
【任务目标】	4
【知识导读】	4
一、电流继电器	4
二、电压继电器	9
三、中间继电器	10
四、信号继电器	10
五、时间继电器	11
六、瓦斯继电器	15
任务三 阅读二次回路接线图	17
【任务目标】	17
【知识导读】	17
一、互感器的二次回路	17
二、二次回路原理接线图和安装接线图	21
三、二次回路的图形符号和文字符号	24
四、二次回路标号	31
任务四 阅读断路器的控制回路和信号系统	36
【任务目标】	36
【知识导读】	36
一、断路器控制回路和信号系统的构成	36
二、断路器控制回路和信号系统的基本要求	37

三、灯光、音响监视断路器控制回路和信号系统	37
四、中央信号系统	45
任务五 认识操作电源及自动装置	48
【任务目标】	48
【知识导读】	48
一、操作电源	48
二、通信电源	51
三、绝缘监察装置	55
四、自动装置	56
任务六 认识线路的保护	63
【任务目标】	63
【知识导读】	63
一、保护装置的接线方式	63
二、线路相间故障的三段式电流保护	64
三、距离保护	69
四、纵联差动保护	71
五、高频保护	72
任务七 认识变压器的保护	75
【任务目标】	75
【知识导读】	75
一、变压器的故障和不正常工作状态	75
二、变压器的保护	75
任务八 认识发电机的保护	84
【任务目标】	84
【知识导读】	84
一、发电机的故障、不正常运行状态及保护装设的原则	84
二、发电机的纵联差动保护	86
三、发电机定子绕组匝间短路保护	87
四、发电机定子绕组单相接地保护	88
五、发电机的失磁保护	88
六、发电机的其他保护	89

任务九 认识母线保护	92
【任务目标】	92
【知识导读】	92
一、母线故障	92
二、装设母线保护的基本原则	93
三、单母线完全电流差动母线保护	93
四、断路器失灵保护	94
参考文献	96

任务一 认识继电保护的基础知识

【任务目标】

- ①了解电力系统的三种运行状态。
- ②了解电力系统发生故障后产生的后果。
- ③掌握电力系统继电保护的任务、要求及基本原理。

【知识导读】

电力系统是电能生产、变换、输送、分配和使用的各种电气设备按照一定的技术与经济要求有机组成的一个联合系统。电气设备内部绝缘的老化、损坏或雷击、外力破坏，以及工作人员的误操作等，都可能使电力系统的运行状态发生变化。

一、电力系统运行状态

根据不同的运行条件，电力系统的运行状态可分为正常运行状态、不正常运行状态和故障状态。电力系统运行控制的目的是通过自动或人工的控制，使电力系统尽快摆脱不正常运行状态和故障状态，能够长期在正常状态下运行。

1. 正常运行状态

在正常状态下运行的电力系统以足够的电功率满足负荷对电能的要求；系统中各发电、输电、变电、配电和用电设备均在规定的长期安全工作限额内运行；电力系统中各母线电压和频率都在允许的偏差范围内。

2. 不正常运行状态

不正常运行状态是指电力系统中电气元件的正常工作遭到了破坏，但还没有发生故障。如过负荷、频率降低、过电压、电力系统振荡等。

3. 故障状态

故障状态是指电力系统的所有一次设备在运行过程中由于外力、绝缘老化、误操作、设计制造缺陷等会发生各种短路和断线等故障。其中单相接地短路占故障的 80% 以上。在发生短路时可能产生以下后果。

- ①通过故障点的过大短路电流和所燃起的电弧，会使故障元件损坏。
- ②短路电流通过非故障元件，由于发热和电动力的作用，会使它们受到损坏或使用寿命缩短。
- ③电力系统部分的地区电压大大降低，破坏用户工作的稳定性或影响工厂产品质量。
- ④破坏电力系统并列运行的稳定性，引起系统振荡，甚至导致系统瓦解。

二、电力系统继电保护的的任务

电力系统继电保护是继电保护技术和继电保护装置的统称。

继电保护技术是一个完整的体系，它主要由电力系统的故障分析、继电保护原理及实现、继电保护配置设计、继电保护运行和维护等技术构成。

当电气设备或电力系统本身发生故障或发生危及安全运行的事件时，需要有向值班人员及时发出警告信号，或直接向所控制的断路器发出跳闸命令，以终止这些事件发生的一种自动化措施，实现这种自动化措施用于保护电力元件的成套硬件设备，称为继电保护装置。

继电保护的的任务如下。

①当被保护的线路或设备发生故障时，能自动、迅速且有选择性地将故障元件从电力系统中切除，保证其他非故障线路迅速恢复正常运行，并且避免故障元件继续遭到破坏。

②当电力系统出现不正常运行状态时，根据保护装置的性能和运行维护条件，有的不正常运行状态作用于信号，如变压器的继电保护、轻瓦斯保护等；有的不正常运行状态经过一段时间不能自行消除时，作用于开关，使开关跳闸，将电路切断，如断路器、自动空气开关保护等。

三、电力系统继电保护的要求

1. 选择性

当电力系统发生短路故障时，继电保护装置动作，只切除故障元件，使停电范围最小，保证系统中无故障部分仍正常工作。如图 1-1 所示，当系统在 k 点发生短路时，应该由保护 3 动作切除故障线路。

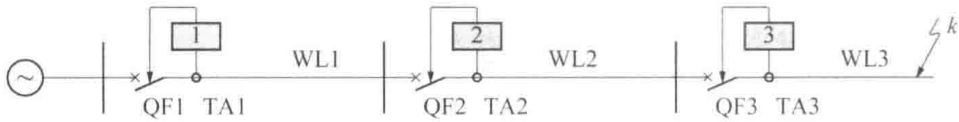


图 1-1 继电保护选择性示意图

动作要有选择性，但同时需要后备保护。若系统在 k 点发生短路，由于某种原因保护 3 拒绝动作，则保护 2 应该动作，此时保护 2 即为保护 3 的后备保护，它在这种情况下的动作也被认为是有选择性的。

为了保证继电保护装置的动作用选择性，上、下两级保护除了在整定值上要进行配合（上级断路器保护整定值应该比下级断路器保护整定值大 1.1 倍以上）外，在动作时限上还应有一个时间级差，通常取 0.7 ~ 1.5s。

2. 速动性

当电力系统发生短路故障时，继电保护装置应能尽快动作，切除故障线路，以减小故障引起的损失，提高电力系统的稳定性。

如果故障线路能在 0.2s 内切除，一般正在工作的电动机不会停转。故障切除的时间等于保护装置和断路器动作时间的总和，一般保护装置的动作为 0.06 ~ 0.12s，最快的可达 0.01 ~ 0.04s；一般断路器的动作时间为 0.06 ~ 0.15s，最快的可达 0.02 ~ 0.06s。

3. 可靠性

继电保护在其所规定的保护范围内，发生故障或不正常运行时动作准确，不拒动作；发生任何保护不应动作的故障或不正常运行，不应误动作。如图 1-1 所示系统在 k 点发生短路，保护 3 不应拒动作，保护 1 和保护 2 不应误动作。

4. 灵敏性

灵敏性是指继电保护在其保护范围内，对发生故障或不正常运行状态的反应能力。在继电保护的保护范围内，不论系统的运行方式、短路的性质和短路的位置如何，保护都应正确动作。继电保护的灵敏性通常用灵敏度 K_s 来衡量，灵敏度越高，反应故障的能力越强，灵敏度可按式计算：

$$K_s = \frac{\text{保护范围内的最小短路电流}}{\text{保护装置一次侧动作电流}} = \frac{I}{I_{\max}}$$

不同作用的保护装置和被保护设备，所要求的灵敏度是不同的，在《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006)中都有规定。

四、电力系统继电保护的基本原理

电力系统中具有多种保护装置，但基本上都是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成的，如图 1-2 所示。

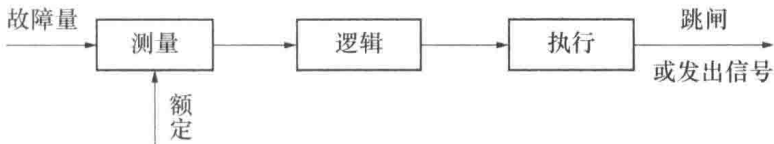


图 1-2 电力系统继电保护的基本原理图

①测量部分：测量被保护设备的某物理量，与保护装置的整定值进行比较，判断被保护设备是否发生故障、保护装置是否应该启动。

②逻辑部分：根据测量部分输出量的大小、性质、出现的顺序，使保护装置按一定的逻辑关系工作，输出信号到执行部分。

③执行部分：根据逻辑部分信号驱动保护装置动作，使断路器跳闸或发出信号。

任务二 认识几种常用继电器

【任务目标】

- ①了解电流、电压、信号等几种常用继电器的基本结构。
- ②能识别电流、电压、信号等几种常用继电器实物。
- ③掌握电流、电压、信号等几种常用继电器的工作原理。
- ④认识并能画出电流、电压、信号等几种常用继电器的电路图形符号。
- ⑤能用仪表检测电流、电压、信号等几种常用继电器的好坏。
- ⑥会调整电流、电压及时间继电器的动作值。

【知识导读】

继电器是一种电子控制器件，它具有控制系统(又称输入回路)和被控制系统(又称输出回路)。它通常应用于自动控制电路中，实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“自动开关”。故其在电路中起自动调节、安全保护、转换电路等作用。

按作用不同，继电器分为测量继电器和辅助继电器两大类。测量继电器是直接反映控制量变化的继电器，主要有电流继电器、电压继电器、功率继电器、阻抗继电器、频率继电器、差分继电器和瓦斯继电器等。辅助继电器是为主继电器服务的继电器，有中间继电器、舌簧继电器、时间继电器和信号继电器等。

一、电流继电器

电流继电器是以电流为作用量的继电器，广泛应用于发动机、变压器、线路和各种电气设备，起保护作用。电流继电器的线圈的匝数少而线径大，使用时其线圈与负载串联。

电流继电器型号很多，一般可分为电磁式和感应式两类。电磁式继电器有定时限(时限与作用量无关)特性，感应式继电器既有定时限又有反时限(其时限随着作用量的增大而减小)特性。按动作电流的大小，电流继电器又可分为过电流继电器和欠电流继电器。

图 2-1 所示为 DL-10 系列电磁式电流继电器结构图，电磁式继电器一般由铁芯、线圈、衔铁、触点、游丝等组成。铁芯 2 的磁极上绕着两个电流线圈 1(线圈可串联也可并联)。只要在线圈两端加上一定的电压，线圈中就会流过一定的电流，从而产生电磁效应，Z 形衔铁 3 就会在电磁力吸引的作用下克服游丝 5 的拉力吸向铁芯，从而带动衔铁的动触点 8 与静触点 7 吸合。当线圈断电后，电磁的吸力也随之消失，衔铁就会在游丝 5 的反作用力作用下返回原来的位置，使处于闭合状态的动、静触点释放。这样吸合、释放，从而达到导通、切断电路的目的。

对于过电流继电器，工作时负载电流流过线圈，一般选取线圈额定电流(整定电流)等于最大负载电流。当负载电流不超过整定电流时，衔铁不产生吸合动作。当负载电流大于整定电流时，衔铁产生吸合动作。过电流继电器在电路中起过电流保护作用，特别是对于冲击性过电流具有很好的保护效果。

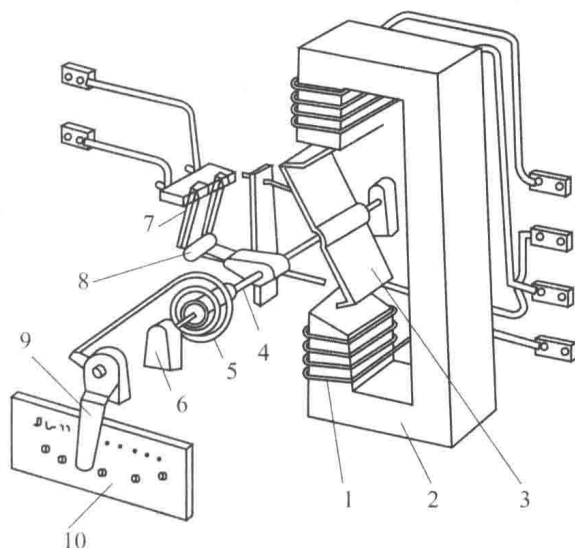


图 2-1 DL-10 系列电磁式电流继电器结构图

1—线圈；2—铁芯；3—衔铁；4—轴；5—游丝；6—轴承；7—静触点；8—动触点；9—调整杆；10—刻度盘

对于欠电流继电器，当线圈电流达到或大于动作电流值时，衔铁产生吸合动作。当线圈电流小于动作电流值时，衔铁立即释放。正常工作时，由于负载电流大于线圈动作电流，衔铁处于吸合状态。当电路的负载电流降至线圈释放电流值以下时，衔铁释放。欠电流继电器在电路中起欠电流保护作用。

1. 电流继电器的返回系数

(1) 欠电流继电器的返回系数

动作电流 I_{op} 是使其动作的最高电流。

返回电流 I_{re} 是使其返回的最低电流。

返回系数

$$K_{re} = \frac{I_{re}}{I_{op}}$$

返回系数大于 1，不大于 1.25，通常为 1.05 ~ 1.1。

(2) 过电流继电器的返回系数

动作电流 I_{op} 是使其动作的最低电流。

返回电流 I_{re} 是使其返回的最高电流。

返回系数

$$K_{re} = \frac{I_{re}}{I_{op}}$$

返回系数小于 1，不小于 0.8，通常为 0.85 ~ 0.9。

返回系数不满足要求时应予以调整。影响返回系数的因素较多，如轴间的光洁度、轴承清洁情况、静触点位置等。但影响较显著的是舌片端部与磁极间的间隙和舌片的位置。

(3) 电流继电器返回系数的调整方法

①调整舌片的起始角和终止角。调节继电器右下方的舌片起始位置限制螺杆，以改变舌片起始位置角，此时只能改变动作电流，而对返回电流几乎没有影响。故可用改变舌片的起始角来调整动作电流和返回系数。舌片起始位置与磁极的距离越大，返回系数越小；反之，返回系数越大。调节继电器右上方的舌片终止位置限制螺杆，以改变舌片终止位置角，此时只能改变返回电流而对动作电流无影响。故可用改变舌片的终止角来调整返回电流和返回系数。舌片终止角与磁极的间隙越大，返回系数越大；反之，返回系数越小。

②不调整舌片的起始角和终止角位置，而变更舌片两端的弯曲程度以改变舌片与磁极间的距离，也能达到调整返回系数的目的。该距离越大，返回系数越大；反之，返回系数越小。

③适当调整触点压力也能改变返回系数，但应注意触点压力不宜过小。

2. 电流继电器整定值的调节

①粗调：DL-10 系列电磁式电流继电器内部有两个线圈，它们可串联也可并联，采用并联接线时，可使整定电流值加倍。

②细调：调节游丝的反作用转矩(调节调整杆改变刻度盘指示)。

DL-10 系列电磁式电流继电器的内部接线如图 2-2 所示，图形符号如图 2-3 所示。

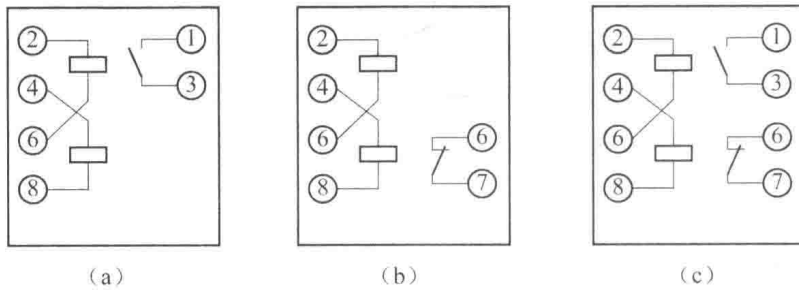


图 2-2 DL-10 系列电磁式电流继电器内部接线图
(a)DL-11 型；(b)DL-12 型；(c)DL-13 型

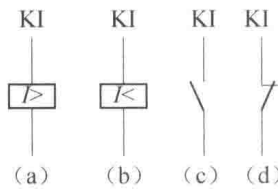


图 2-3 DL-10 系列电磁式电流继电器图形符号

(a)过电流继电器线圈；(b)欠电流继电器线圈；(c)电流继电器常开触点；(d)电流继电器常闭触点

对于继电器的常开、常闭触点，可以这样来区分：继电器线圈未通电时，处于断开状态的静触点称为常开触点，处于接通状态的静触点称为常闭触点。

过电流继电器的测试

1. 绝缘测试

单个过电流继电器在新安装投入使用前或经过解体检修后,必须进行绝缘测试,对于额定电压为 100V 及 100V 以上者,应用 1000V 兆欧表测定绝缘电阻;对于额定电压为 100V 以下者,则应用 500V 兆欧表测定绝缘电阻。

测定绝缘电阻时,应根据过电流继电器的具体接线情况,把不能承受高压的元件(如半导体元件、电容器等)从回路中断开或将其短路。

本实验是用 1000V 兆欧表测定导电回路对铁芯的绝缘电阻及不连接的两回路间的绝缘电阻。图 2-4 所示为过电流(电压)继电器内部接线图。测量要求如下。

- ①全部端子对铁芯或底座的绝缘电阻应不小于 $50M\Omega$ 。
- ②各线圈对触点及各触点间的绝缘电阻应不小于 $50M\Omega$ 。
- ③各线圈间绝缘电阻应不小于 $50M\Omega$ 。

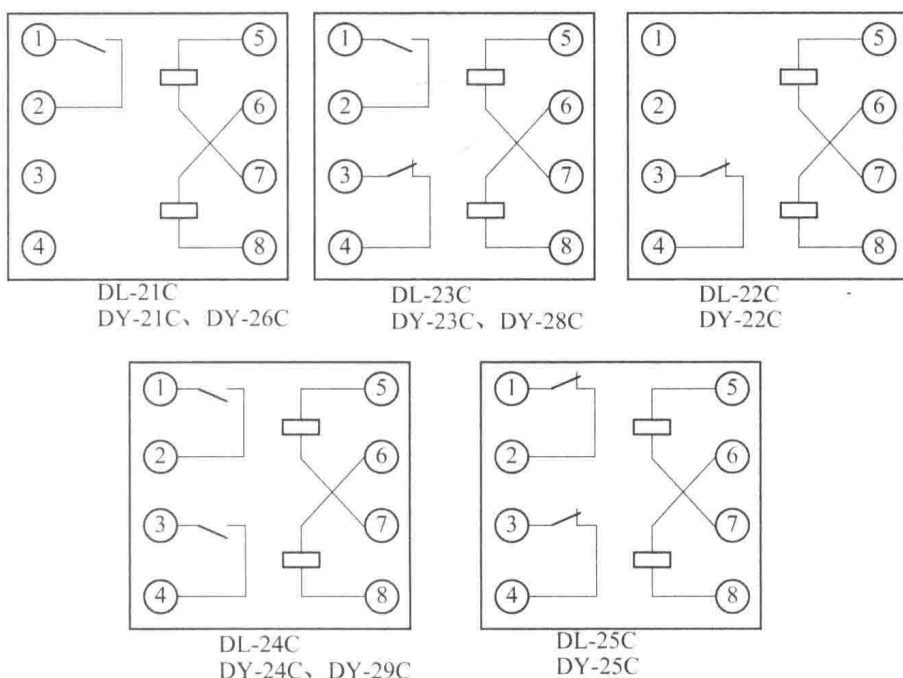


图 2-4 过电流(电压)继电器内部接线图

将测得的数据记入表 2-1,并作出绝缘测试结论。

2. 返回系数测试

①选择 ZB11 继电器组件中的 DL-24C/6 型过电流继电器,确定动作值并进行初步整定。本实验整定值为 2A 及 4A 两种工作状态,见表 2-2。

②根据整定值要求确定继电器线圈接线方式(串联或并联),图 2-5 所示为过电流继电器实验接线图。

表 2-1 过电流继电器绝缘测试记录表

编号	测试项目	过电流继电器	
		电阻值/MΩ	结论
1	铁芯—线圈⑤		
2	铁芯—线圈⑥		
3	铁芯—接点①		
4	铁芯—接点③		
5	线圈⑤—线圈⑥		
6	线圈⑤—接点①		

表 2-2 过电流继电器返回系数测试记录表

整定电流 I/A	2			继电器 两个线 圈的接 线方式:	4			继电器 两个线 圈的接 线方式:
测试序号	1	2	3		1	2	3	
实测动作电流 I_{op}/A								
实测返回电流 I_{re}/A								
返回系数 K_{re}								
每次实测电流与整定 电流间的误差/%								

③按图 2-5 接线，检查无误后，调节自耦调压器及变阻器，增大输出电流，使过电流继电器动作。读取能使过电流继电器动作的最小电流值，即使常开触点由断开变成闭合的最小电流，记入表 2-2；动作电流用 I_{op} 表示。继电器动作后，反向调节自耦调压器及变阻器，降低输出电流，使触点开始返回至原来位置时的最大电流称为返回电流，用 I_{re} 表示，读取此值并记入表 2-2，计算返回系数。过电流继电器的返回系数为 0.85 ~ 0.9，当返回系数小于 0.85 或大于 0.9 时，应进行调整。

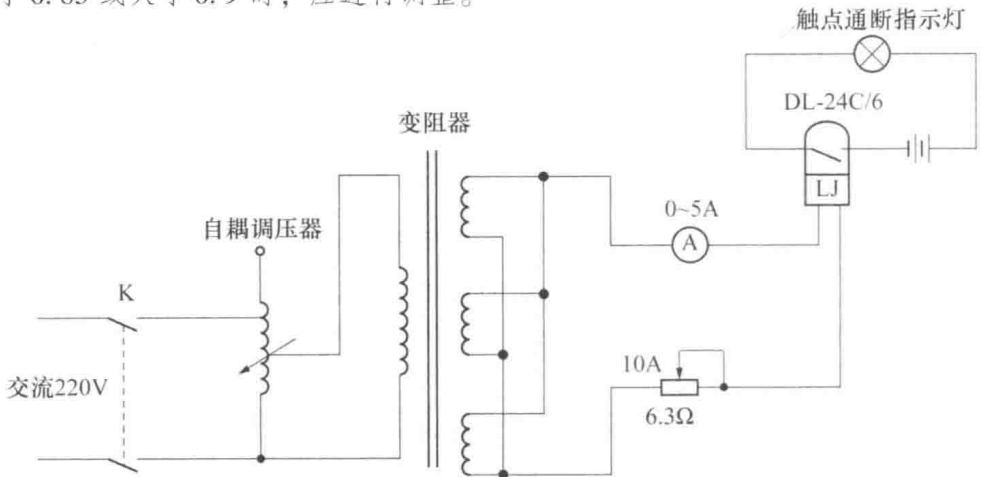


图 2-5 过电流继电器实验接线图

二、电压继电器

电压继电器是根据电压信号工作的，根据线圈电压的大小来决定触点动作。电压继电器线圈的匝数多而线径小，使用时其线圈与负载并联。其按线圈电压的种类可分为交流电压继电器和直流电压继电器，按动作电压的大小又可分为过电压继电器和欠电压继电器。DJ 型电磁式电压继电器实物如图 2-6 所示。



图 2-6 DJ 型电磁式电压继电器实物图

对于过电压继电器，当线圈电压为额定值时，衔铁不产生吸合动作。只有当线圈电压大于额定电压时，衔铁才产生吸合动作。交流过电压继电器在电路中起过压保护作用。而直流电路中一般不会出现波动较大的过电压现象，因此，在产品中没有直流过电压继电器。

对于欠电压继电器，当线圈电压达到或大于线圈额定值时，衔铁产生吸合动作。当线圈电压小于线圈额定电压时，衔铁立即释放。欠电压继电器有交流欠电压继电器和直流欠电压继电器之分，在电路中起欠压保护作用。

电压继电器的动作电压、返回电压和过电压继电器、欠电压继电器等概念，均与 DL 型电流继电器相似，其构造、安装和维修与 DL 型电流继电器类似。

电压继电器的返回系数：

(1) 欠电压继电器的返回系数

动作电压 U_{op} 是使其动作的最高电压。

返回电压 U_{re} 是使其返回的最低电压。

返回系数

$$K_{re} = \frac{U_{re}}{U_{op}}$$

返回系数大于 1，不大于 1.25，通常为 1.05 ~ 1.1。

(2) 过电压继电器的返回系数

动作电压 U_{op} 是使其动作的最低电压。

返回电压 U_{re} 是使其返回的最高电压。

返回系数

$$K_{re} = \frac{U_{re}}{U_{op}}$$

返回系数小于 1，不小于 0.8，通常为 0.85 ~ 0.9。

电压继电器的图形符号如图 2-7 所示。

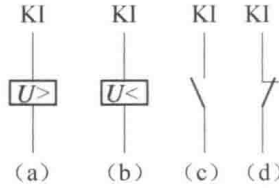


图 2-7 电压继电器图形符号

(a)过电压继电器线圈；(b)欠电压继电器线圈；(c)电压继电器常开触点；(d)电压继电器常闭触点

三、中间继电器

中间继电器是一种瞬时动作的辅助继电器，其触头容量较大，触头数量较多，在继电保护装置中用于弥补主继电器触头容量或触头数量的不足。其结构与 DL 型电流继电器相似。图 2-8 所示为 DZ-10 型中间继电器的内部接线及图形符号图。

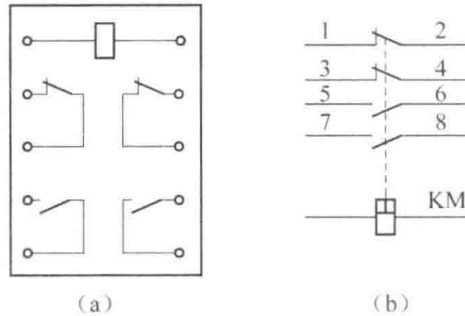


图 2-8 DZ-10 型中间继电器内部接线及图形符号

(a)内部接线；(b)图形符号

四、信号继电器

信号继电器在继电保护中用作信号元件，指示保护装置已经动作。电力系统中常用的 DX-11 型电磁式信号继电器有电流型和电压型两种，两者线圈阻抗和反映参数量不同，电流型可串联在二次回路中而不影响其他二次元件的动作，电压型因线圈阻抗大，必须并列在二次回路中。

DX-11 型电磁式信号继电器内部结构如图 2-9 所示，信号继电器在正常状态时，信号牌 9 被衔铁 3 支持住。当继电器线圈 2 通电时，衔铁被吸向电磁铁 1 而使信号牌掉下，显