



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

继电保护

李金英 编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

继电保护

李金英 编
梁平 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

全书分为三篇，共十二章，主要内容包括电力系统继电保护基础知识、微机型继电保护基础知识、电网相间短路的电流保护、电网相间短路的方向电流保护、电网的接地故障保护、电网的距离保护、输电线路的全线速动保护、输电线路的自动重合闸装置、电网的继电保护基本配置及保护的评价、变压器保护、母线保护和发电机的继电保护。每章末均有复习思考题。本书由浅入深地将传统的继电保护和微机保护有机结合，在讲解基本概念的基础上附加应用实例，增强理论与实际的联系。

本书可作为电力生产现场继电保护专业人员的培训用书，又可作为职业教育电气专业学生的专业教材，也可作为电力行业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

继电保护/李金英编. —北京：中国电力出版社，2008

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5083-6216-8

I. 继… II. 李… III. 电力系统—继电保护—职业教育—教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 169176 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 1 月第一版 2008 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 583 千字

定价 36.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

目前电力系统继电保护和自动装置已进入了微型计算机时代，其软件大多已采用了反应故障分量的高速保护原理，而传统的继电保护教材大多内容相对陈旧，还较多地停留在老式装置及原理上。大部分微机保护类教材则偏重于讲解硬件及软件的原理，理论偏深偏难。在电力职业培训教材中，如何将经典的继电保护理论与新型保护原理有机地结合起来，如何在传统的继电保护装置和微机型保护装置之间做一个很好的过渡，以适应电力发展新时期对继电保护工作者的要求，这是摆在电力职业培训教育面前的艰巨任务。作者编写此书，也是想在这方面做一个尝试。

本书力求将近年来继电保护领域的新原理、新技术用通俗的文字介绍给读者。考虑到电磁型和整流型装置易于初学者很好地理解继电保护的基本原理，并且微机保护装置无论其设备多么先进，其保护原理是基本相同的，所以本书在讲述各种继电保护基本原理时先从电磁型和整流型装置入手，让读者建立起各种保护的基本概念，然后再讲述各种保护原理在微机保护里的实现方法。为了让读者建立起成套保护装置的整体概念，在线路保护及变压器、母线、发电机等元件保护的最后还介绍了保护的配置和组屏原则，并且以常用的微机型成套保护装置举例说明，附加了应用实例，增强了理论与实践的联系。考虑到输电线路的自动重合闸装置通常跟输电线路的继电保护相结合，且在微机型成套线路保护中密不可分，故在本书的线路保护篇中编入了第八章“输电线路的自动重合闸装置”。为了便于学员复习，每章后面均设有复习思考题。对于具有一定难度的理论部分，在该内容加“*”号，供选学。

本教材由浅入深地将传统的继电保护和微机保护有机结合，可作为生产现场继电保护专业人员初级工、中级工、高级工、技师的培训用书和供电局（供电公司）、发电厂的中短期电气培训用书（如：跨专业全能值班员培训），又可作为职业教育（中专、技工、高职）电气专业学生的专业教材，也可作为电力行业工程技术人员参考用书。

全书分三篇，共十二章。第一篇继电保护基础篇分两章。第一章为继电保护基础知识，介绍继电保护的基本要求及常用的继电保护元件等；第二章是微机保护装置硬软件的基本工作原理，为后继微机保护方面内容的学习打下基础。第二、三篇分别为线路保护、元件保护篇。

全书由广东省电力工业学校暨广东电网公司培训中心李金英编写，由华南理工大学梁平教授主审。梁平教授在审阅过程中提出了许多宝贵意见，在此深表谢意。

本书编写过程中，得到中国南方电网广东电网公司各市供电局、广东省电力工业学校、广东电网公司培训中心、大唐国际发电股份有限公司、广州珠江电厂、中山嘉明电厂、广州黄埔电厂、海南洋浦电厂、梅州电厂等单位的大力支持，在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限，书中错误与缺点在所难免，诚恳希望专家、读者批评指正！

编者

2007年7月

目 录

前言

第一篇 继电保护基础篇

第一章 电力系统继电保护基础知识	1
第一节 继电保护的任务和继电保护基本原理	1
第二节 电力系统对继电保护的基本要求	3
第三节 继电保护发展简史	6
第四节 常用的几种继电器	7
第五节 互感器的特性及其在继电保护中的应用	21
第六节 对称分量滤过器	31
复习思考题	37
第二章 微机型继电保护基础知识	38
第一节 我国微机保护的发展简史	38
第二节 微机继电保护装置的特点	39
第三节 微机保护的整体原理	40
第四节 微机保护装置硬件系统的典型结构	41
* 第五节 微机保护硬件系统的各组成模块原理	43
第六节 微机保护软件系统的基本知识	56
* 第七节 数字滤波器和微机保护的算法	58
复习思考题	77

第二篇 线路保护篇

第三章 电网相间短路的电流保护	78
第一节 瞬时电流速断保护	78
第二节 限时电流速断保护	79
第三节 定时限过电流保护	81
第四节 阶段式电流保护装置	83
第五节 电流保护的接线方式	88
第六节 对电流保护的评价和应用	91
第七节 电流电压联锁速断保护	91
复习思考题	95

第四章 电网相间短路的方向电流保护	96
第一节 方向电流保护的基本原理	96
第二节 功率方向继电器	97
第三节 方向电流保护的接线	103
第四节 阶段式方向电流保护整定计算的特殊问题	105
复习思考题	107
第五章 电网的接地故障保护	108
第一节 大电流接地系统的接地保护	108
第二节 小电流接地系统的接地保护	120
复习思考题	127
第六章 电网的距离保护	129
第一节 距离保护的基本原理	129
第二节 阻抗继电器的接线方式	132
第三节 阻抗元件的构成原理	135
第四节 工频变化量阻抗元件	150
第五节 影响阻抗继电器正确工作的因素及克服影响的方法	154
第六节 阶段式距离保护整定计算	165
第七节 工频变化量距离保护逻辑举例	167
复习思考题	169
第七章 输电线路的全线速动保护	171
第一节 短线路的纵联差动保护	171
第二节 平行线路的横联方向差动保护	174
第三节 高频保护的基本原理	178
第四节 高频闭锁方向保护	183
第五节 相差高频保护	189
第六节 微机型纵联方向闭锁保护举例	192
第七节 输电线路的光纤保护	194
第八节 光纤保护应用举例	198
复习思考题	201
第八章 输电线路的自动重合闸装置	202
第一节 输电线路自动重合闸的作用及分类	202
第二节 单侧电源线路的三相一次 ARC	203
第三节 双侧电源线路三相自动重合闸	207
第四节 自动重合闸与继电保护的配合	211
第五节 微机型三相一次重合闸逻辑	213
第六节 单相重合闸与综合重合闸	216
复习思考题	221
第九章 电网的继电保护基本配置及保护的评价	222
第一节 10~35kV 中性点非直接接地电网中输电线路的继电保护基本配置及保护的评价	222

第二节	110~220kV 中性点直接接地电网中输电线路的继电保护基本配置及保护的评价	225
第三节	330~500kV 中性点直接接地电网中线路的继电保护基本要求和保护的基本配置	228
第四节	高压线路的保护配置和组屏方案举例	230
第五节	微机 RCS-900 型成套线路保护举例	231
	复习思考题	248

第三篇 元件保护篇

第十章	变压器保护	249
第一节	变压器的故障和不正常工作状态及保护配置	249
第二节	变压器的瓦斯保护	250
第三节	变压器的差动保护	253
第四节	变压器接地故障的后备保护	276
第五节	变压器相间短路的后备保护	282
第六节	变压器的其他保护	287
第七节	变压器的保护配置和组屏原则及数字式成套保护装置举例	291
	复习思考题	301
第十一章	母线保护	302
第一节	母线保护概述	302
第二节	单母线完全电流差动保护	304
第三节	低阻抗式母线差动保护	305
第四节	中阻抗式母线差动保护	309
第五节	母线复式比率差动保护	314
第六节	BP-2A 型微机母线保护举例	317
第七节	断路器失灵保护	322
	复习思考题	326
第十二章	发电机的继电保护	328
第一节	发电机的故障、不正常工作状态及其保护方式	328
第二节	发电机定子绕组相间故障的保护	330
第三节	发电机的匝间短路保护	337
第四节	发电机定子绕组单相接地保护	345
第五节	发电机的后备保护及过负荷保护	352
第六节	发电机励磁回路接地保护	356
第七节	发电机的失磁保护	359
第八节	发电机的逆功率保护	365
第九节	发电机—变压器组继电保护的特点及配置	367
	复习思考题	370
	参考文献	372

第一篇 继电保护基础篇

第一章 电力系统继电保护基础知识

第一节 继电保护的任务和继电保护基本原理

一、电力系统继电保护的作用和任务

电力系统运行中可能发生各类故障和不正常运行状态。其中，故障是指各类相间短路、接地短路和断线；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破坏，但没有发生故障。例如，过负荷、电力系统发生振荡、系统中出现功率缺额引起频率降低、发电机突然甩负荷而产生的过电压等，都属于不正常运行状态。

无论电力系统发生故障或不正常工作状态，都应及时地正确处理，否则都可能导致在电力系统中引起事故。事故是指系统或其中一部分的正常工作状态遭到破坏，并造成对用户少送电或电能质量恶劣到不能容许的地步，甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏。

继电保护的作用就是在电力系统发生故障和不正常运行时，迅速而有选择性地切除故障元件，保证非故障部分能继续安全运行并及时发出报警信号。因此，继电保护装置的基本任务有两个方面。

(1) 当被保护的电力系统元件发生故障时，由该元件的继电保护装置迅速准确地给距离故障元件最近的断路器发出跳闸命令，使故障元件及时从电力系统中断开，以最大限度地减少对电气元件本身的损坏，保证系统其他无故障部分继续运行，并满足电力系统的某些特定要求（如保持电力系统的暂态稳定性等）。

(2) 反应电气设备不正常运行状态，一般通过发出报警信号，提醒值班人员处理。在无人值班情况下，继电保护装置可视设备承受能力作用于减负荷或延时跳闸。由此可见，继电保护是电力系统中的一种反事故自动装置，它在电力系统中的地位十分重要。电力系统的发展离不开继电保护，同时也促进了继电保护技术的发展。

二、继电保护的基本原理

(一) 电力系统故障状态的基本特征

电力系统中任何电气设备发生故障时，必然出现一些故障状态的基本信息，电力系统故障状态的基本特征是继电保护工作的判据。电力系统故障时的基本特性有四个方面。

- (1) 电流增大，即连接短路点与电源的电气设备中的电流增大。
- (2) 电压下降，即故障点附近电气设备上的电压降低，而且距故障点的电气距离越近，电压下降越严重，甚至降为零。
- (3) 线路始端电压、电流间的相位差将发生变化。正常运行时，其相位差为负荷功率因数角，一般约为 20° 左右；三相短路时，则变为线路的正序阻抗角（对于架空线路，约为 $60^\circ \sim 85^\circ$ ）。
- (4) 线路始端电压与电流的比值，即测量阻抗发生变化。正常运行时，测量阻抗为负荷阻抗，数值较大；而故障时，测量阻抗为短路阻抗，数值较小。

根据以上电力系统故障时的基本特征，可构成不同原理的保护，举例如下。

- (1) 反映故障时电流上升的过电流保护。

- (2) 反映故障时电压下降的低电压保护。
- (3) 反映故障线路始端测量阻抗下降的阻抗保护，也称距离保护。
- (4) 反映短路时始端电压、电流间的相位关系的方向保护等。

除上述反应各种工频电气量（及其变化量）的保护以外，还有反应非电气量的保护，如变压器主保护中反应于变压器油分解所产生的气体而构成的瓦斯保护。这里瓦斯气体的参数就是故障的一种基本特性。



图 1-1 继电保护装置的原理结构

(二) 继电保护装置的构成

从一般情况来讲，整套继电保护装置总是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成，其原理结构如图 1-1 所示。

1. 测量部分

测量部分是测量被保护对象输入的各类故障信息，并与给定的整定值进行比较，根据比较的结果，给出模拟或数字的输出信号，以供保护逻辑部分判断使用。

2. 逻辑部分

逻辑部分是依据测量部分各输出量的组合，使保护装置按一定的逻辑关系工作，最后确定是否应该使断路器跳闸或发出信号，并将有关命令传给执行部分。继电保护中常用的逻辑元件有“或”、“与”、“否”、“延时”、“记忆”等。

3. 执行部分

执行部分是依据逻辑部分传送的信号，完成保护装置最终的跳闸动作和发告警信号。

应该指出，这 3 个组成部分对任何继电保护装置都适用，对不同的保护装置所不同的仅仅是构成这 3 个部分的结构及原理。例如，对微机保护而言，逻辑部分主要由软件的程序实现，而常规保护装置的逻辑部分由硬件组成的逻辑回路实现。

继电保护发展到今天，它的构成原理已形成了两种逻辑：①布线逻辑；②数字逻辑。布线逻辑的继电保护装置，其功能靠接线来完成，不同原理的装置其接线也不同（其硬件也不相同）；数字逻辑的继电保护装置其功能由计算（程序）来完成，不同原理的装置计算方法（程序）不相同，但硬件基本相同。布线逻辑的装置要实现一种完善的特性（如四边形阻抗边界），接线将十分复杂，有些边界还不可能实现；数字逻辑的装置其原理由计算（程序）来实现，因此可实现特性完善的装置。

三、继电保护的分类

通常按如下方法对继电保护装置进行分类。

(1) 按所反映的物理量分类，有电流保护、电压保护、方向电流保护、距离保护以及差动保护、高频保护等。其中差动保护反映被保护设备两端电流的大小和相位的差异，而高频保护则借助于高频通道来比较被保护线路两端的电气量（如电流相位、功率方向等）。

(2) 按所保护的對象可分为输电线保护、发电机保护、变压器保护、电动机保护以及母线保护等。

(3) 按所反映的故障类型分类，一般有相间短路保护和接地保护等。在发电机中，还有匝间短路保护、失磁保护等。

(4) 按结构型式及组成元件分类，主要有机电型、整流型、晶体管型、微机型继电保护四大类。

(5) 按继电保护所起的作用又可分为主保护、后备保护以及辅助保护等。主保护是电气设备(或输电线路)的主要保护,因此要求有尽可能快的动作时间,而其保护范围一般不超出所保护的设备及线路之外。后备保护是指当主保护或断路器拒绝动作时,起后备作用的保护,它允许以较长的时间切除故障。辅助保护则是指为了弥补主保护性能的不足而专门装设的一些简单保护。

后备保护又分远后备和近后备两种实施方式。所谓远后备是指当主保护或断路器拒绝动作时,由靠近电源侧的相邻线路保护来实现后备保护作用的保护。例如在图 1-2 中,当线路 L2 发生短路而其主保护 2 或断路器 QF2 拒绝动作时,由装在 L1 的保护 1 动作并断开断路器 QF1,从而将故障从系统中切除,这就是远后备方式。后备保护的另一种方式是近后备,即除了主保护之外,在本线路装设另一套保护作为主保护的后备。图 1-2 中 L2 上如采用近后备方式,则在发生故障而主保护拒动时,将由装在本线路的后备保护 2 动作而使断路器 QF2 跳闸。需要指出,当断路器 QF2 失灵拒动时,这种近后备将失去作用,为此常需装设专门的断路器失灵保护来切除故障,从而使保护复杂化并增加了设备的投资。另外,当后备保护和主保护的公共回路(如互感器回路)发生故障时,这种近后备保护也不能发挥其应有的作用。所以在电力系统中,一般多采用远后备保护方式。

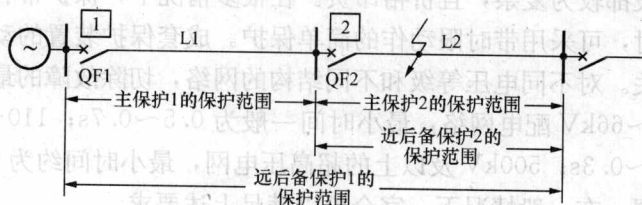


图 1-2 主保护及后备保护的 protection 范围

第二节 电力系统对继电保护的基本要求

对于反应电力系统故障而要作用于断路器跳闸的继电保护,在基本性能方面要求具有选择性、快速性、灵敏性和可靠性。

一、选择性

继电保护的选择性是指继电保护动作时,仅将故障的元件或线路从电力系统中切除,使系统无故障部分继续运行。如果最靠近故障点的继电保护装置或断路器因故拒绝动作而不能断开故障元件时,应能由紧邻的电源侧继电保护动作将故障切除。

如图 1-3 所示的电网中,当线路 L4 上 k2 点发生短路时,保护 6 动作跳开断路器 QF6,将 L4 切除,继电保护的这种动作称为有选择性。k2 点故障时,若保护 5 抢先于保护 6 动作,将 QF5 跳开,则变电所 C 和 D 都将停电,继电保护的这种动作即为无选择性动作。同理,k1 点故障时,保护 1 和保护 2 动作跳开 QF1 和 QF2,将故障线路 L1 切除,这也是有选择性动作。

如当出现 k3 点故障,而保护 5 或断路器 QF5 因故拒绝动作时,应由保护 1 和保护 3 动作跳开 QF1 和 QF3,将故障切除,这也为选择性动作。此种情况虽然扩大了停电范围,但如果保护不具备这种选择性动作性能,必将造成更为严重的后果。此时,保护 1 和保护 3 的动作实现的功能是远后备功能。

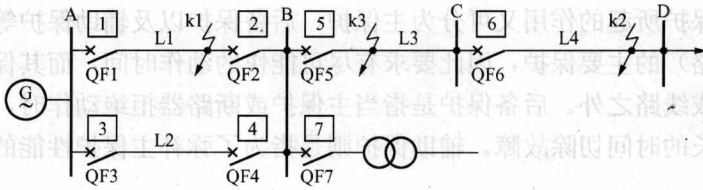


图 1-3 继电保护选择性动作说明图

二、快速性

继电保护的快速性是指继电保护以允许而又可能的最快速度动作于断路器的跳闸，断开故障元件或线路。继电保护快速动作可以减轻故障元件的损坏程度，提高线路故障后自动重合闸的成功率，特别有利于故障后的电力系统同期运行的稳定性。

切除故障的时间取决于继电保护的动作时间和断路器的分闸时间（快速为 0.04~0.05s，一般为 0.1~0.15s）之和。要保证快速切除故障，就必须减少上述两个动作时间。应当指出，不是任何情况下都要求采用快速保护。实现快速保护往往要受到技术和经济条件的限制。因此，应根据具体情况，对保护装置的快速性提出合理要求。动作既迅速又能保证选择性的保护，一般都较为复杂，且价格昂贵。在很多情况下，保护带有延时动作仍能满足系统稳定性的要求时，可采用带时限动作的简单保护。成套保护装置的动作时间与所在输电线路的电压等级有关。对不同电压等级和不同结构的网络，切除故障的最小时间有不同的要求。例如，对于 35~66kV 配电网络，最小时间一般为 0.5~0.7s；110~330kV 高压电网，最小时间约为 0.15~0.3s；500kV 及以上的超高压电网，最小时间约为 0.1~0.12s。目前，国产的继电保护装置，在一般情况下，完全可以满足上述要求。

对于反应不正常工作状态的保护，一般无需要求迅速，而应按选择性条件，带延时发出信号。

三、灵敏性

继电保护的灵敏性是指继电保护对设计规定的保护范围内发生故障及异常运行状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置，应该是在事先规定的保护范围内故障时，不论短路点的位置、短路的类型及系统运行方式如何，都能灵敏反应。

继电保护的灵敏性，可以用定量分析来衡量，通常以通入继电保护装置的故障量和给定的继电保护装置起动值进行比较，其比值作为考核继电保护灵敏性的具体指标。该指标称为继电保护的灵敏系数 K_{sen} 。

对于反应故障参数上升而动作的过量保护装置，其灵敏系数表达式为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区范围内发生金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置的動作参数整定值}} \quad (1-1)$$

对反应故障参数降低而动作的保护装置，其灵敏系数表达式为

$$K_{sen} = \frac{\text{保护装置的動作参数整定值}}{\text{保护区范围内发生金属性短路时故障参数的最大计算值}} \quad (1-2)$$

式中，故障参数的计算值应根据实际情况合理地采用最不利于保护动作的系统运行方式和故障类型来选定。

在进行继电保护整定计算时，常用到最大运行方式和最小运行方式。所谓的最大运行方式是指流过保护装置的短路电流为最大时的运行方式。所谓的最小运行方式是指流过保护装

置的短路电流为最小时的运行方式。

在颁布的 GB14285—1993《继电保护和安全自动装置技术规程》中，对各类保护的最小灵敏系数都作了规定。对于各种保护的灵敏系数的校验，将在各保护的整定计算中分别讨论，从而加深对保护灵敏性要求的理解。应该说，灵敏系数 K_{sen} 越大（要求 $K_{sen} > 1$ ），保护越灵敏，越能可靠地反应要求动作的故障或异常状态；但同时，也越易于在非要求动作的其他情况下发生误动作。因而保护的灵敏性与选择性相互矛盾，需要协调处理。

四、可靠性

继电保护的可靠性是对电力系统继电保护的最基本要求，包括两个方面，即可信赖性与安全性。

可信赖性要求继电保护在设计要求它动作的状态下，能够准确地完成动作；安全性要求继电保护在非设计要求它动作的其他所有情况下，能够可靠地不动作。简言之，前者是要求保护在应动作时，不拒动；后者是要求保护在不应动作时，不误动。

可信赖性和安全性，都是继电保护必备的性能，但在保护所采取的防拒动和防误动措施方面往往相互矛盾。例如，采用两套保护分别作用于同一出口跳闸回路，即保护装置双重化，实现二中取一的跳闸方式。这样，可提高继电保护的可靠性，但却增加了保护误动作的可能性，使其安全性下降。而采用两套保护以“与”方式作用于出口跳闸回路，有利于防止其误动，但不利于防止其拒动。因此，在设计与选用继电保护时，需要依据被保护对象的具体情况，对这两方面的性能要求适当地予以协调。例如，传送大功率的输电线路保护，一般宜于强调安全性，即不误动；而对于其他线路保护，则往往宜于强调可信赖性，即不拒动。至于大型发电机组的继电保护，无论它的拒绝动作或误动作跳闸，都会引起巨大的经济损失，需要精心设计和合理配置保护装置，兼顾这两方面的要求。

提高继电保护的安全性措施，主要采用元件及工艺质量优良的装置并对其经过全面的分析论证及试验运行，以确认其技术性能满足要求，以及采取必要的检测、闭锁等措施。而提高继电保护的可靠性，除采用上述措施外，重要的还可以采用装置双重化，实现二中取一的跳闸方式。此外，保护装置接线简单，便于整定、调试和运行维护，对于保证可靠性也具有重要作用。

上述的四个基本要求是分析研究继电保护性能的基础，也是贯穿继电保护学科的一个基本线索。四个基本要求之间既有在一定条件下统一的一面，又有矛盾的一面。以下就对这四个基本要求的相互关系作一简要分析。

继电保护的可靠性是电力系统对保护装置最基本的性能要求。为了提高可靠性，防止继电保护或断路器拒动的可能性，就需要设置后备保护。因此，保护设备的主保护和后备保护之间及各后备保护之间就存在灵敏系数的相互配合问题，只有正确地计算保护整定值和校验其灵敏系数，才能使得各继电保护的動作具有选择性。可见，继电保护的可靠性与选择性和灵敏性是相辅相成的。

保护的选择性除了通过故障量参数的整定来获取外，还需要通过保护动作时限的整定来配合。这种保护动作的时限，使得保护装置为了获取选择性而牺牲了保护的速动性。反之，凡是瞬时动作的保护，显然不具备后备保护功能。为了提高整套保护装置的可靠性，瞬动的保护还必须配有后备保护，以构成完整的保护装置。可见，保护的“快速性”与保护的“选择性”、“可靠性”之间是相互制约的。

第三节 继电保护发展简史

电力系统继电保护技术是随电力系统的发展而发展起来的一门专业技术。电力系统的发展,使发电设备容量和供电范围不断扩大,电压等级不断提高,电力系统的网络也越来越复杂。这对于保证电力系统安全、可靠、稳定运行必不可少的继电保护技术,便提出了越来越高的要求,从而也就有了电力系统继电保护原理和装置从简单到复杂的发展过程。

从继电保护原理的发展过程来看,由简单的过电流保护开始,相继出现了方向电流保护、距离保护、差动保护、高频保护、微波保护和行波保护等。如在1927年后研制了利用高压输电线上高频载波电流传送和比较输电线两端功率方向信号或电流相位信号的高频保护装置。20世纪50年代,微波中继通信开始应用于电力系统,从而出现了利用微波传送和比较输电线两端电气量信号的微波保护。又经过20年的努力,诞生了利用故障点产生的行波原理实现的快速行波保护装置。继电保护从反应全电气量的保护到反应相序分量的保护,从反应工频电气量的保护到反应工频电气变化量的保护等。继电保护的性(四项基本要求)在不断完善,较好地适应了电力系统的发展。

从继电保护装置的发展过程来看,在20世纪70年代以前,继电保护装置一直使用机电型装置(由机电型继电器构成)。19世纪末和20世纪初先是出现了电磁型的过电流继电器、感应型过电流继电器及功率方向继电器。到1920年后又出现了电磁型的距离保护装置。这些继电保护装置都是由电磁型、感应型、电动型继电器组成,而这些继电器都具有机械转动部件,统称为机电式继电器。

20世纪50年代,由于半导体技术的发展,促使了继电保护从机电型向电子型静态保护装置过渡。第一代静态继电保护装置是晶体管型继电保护装置。由于晶体管保护易受电力系统中或外界的电磁干扰的影响而误动或损坏,当时工作可靠性低于机电式保护装置。经过长达20余年的研究和实践,抗干扰问题从理论和实践上都得到满意的解决,20世纪70年代晶体管型继电保护装置开始在我国大量采用,为后来静态继电器的发展奠定了基础。

第二代静态继电保护装置是集成电路型的继电保护装置,它是由集成度高、功耗小、动作速度快的集成电路替换晶体管电路的保护装置。它的出现使静态继电保护装置的可靠性大大提高,因此在20世纪80年代后期很快就取代了晶体管保护装置。

第三代静态继电保护装置是微机型继电保护装置。它是由微处理器及超大规模集成电路芯片组成的继电保护装置。由于微机型继电保护具有强大的计算功能及存储记忆等主要特性,因此它可完成性能完善、复杂的保护原理;同时由于可连续不断地自检,其工作可靠性很高。目前的微机型继电保护装置除了保护功能外,还兼有故障录波、故障测距、事件顺序记录等功能,还能与变电所微机监控系统通信联络,使微机型继电保护装置具有远方监控的特点,因此微机型继电保护装置已融入电力系统综合自动化系统内,成为电力系统保护、控制、运行调度及事故处理的综合自动化系统中一个重要组成部分。所以在20世纪末它就很快地取代了集成电路型继电保护装置。

目前,从机电型到微机型继电保护装置,这四代产品在我国电力系统中仍然各占一定比例,并不能完全以“新”代“老”。因为它们各自都有着自身的特点。如电磁型继电保护装置简单、可靠、价廉、技术成熟,但动作速度慢,实现复杂保护困难。晶体管型继电保护装

置动作速度快,可实现较复杂保护,比较经济,但抗干扰能力差,电子元件多,容易发生因元件特性变化和损坏而造成保护拒动和误动。集成型继电保护装置有晶体管性能方面的优点,且调试较方便,有自检功能,但价格较高,抗干扰能力较差。微机型继电保护装置动作速度快,易实现复杂原理的保护,具有打印、记忆、测距等附加功能,调试十分方便,并有自检功能。前3种属模拟式保护装置,由于大规模集成电路的产生,使分立元件的晶体管保护逐渐被集成电路保护所取代外,模拟式保护装置仍在各自所适应的保护对象中发挥着作用。而微机型继电保护装置属于数字式保护装置,采用不同的软件可以在同一硬件配置中实现不同的保护功能,在继电保护新原理的创新领域中,微机保护比传统模拟式保护有着无可比拟的优势。我国高压、超高压输电线路的微机保护及发电机、变压器等元件的微机保护正以极快的速度在推广使用。

第四节 常用的几种继电器

由于电磁型、晶体管型、集成电路型继电器这3种模拟式继电器各自都有着自身的特点,在我国电力系统中仍然各占一定的比例,并不能完全以微机型的继电保护装置代替,并且学习继电保护原理从模拟式装置入手比较容易理解。本节对电磁型、晶体管型、集成电路型继电器这3种模拟式继电器的结构、原理作一分析。

一、电磁型继电器

电磁型继电器的结构类型主要有螺管线圈式、吸引衔铁式及转动舌片式3种,如图1-4所示。由图1-4可见,每一种结构都包括有6个组成部分,即电磁铁1、可动衔铁或舌片2、线圈3、触点4、反作用弹簧5和止档6。

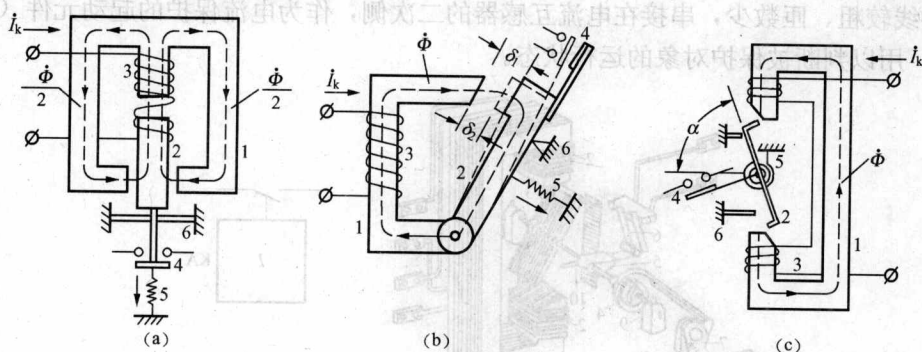


图1-4 电磁型继电器类型及结构

(a) 螺管线圈式; (b) 吸引衔铁式; (c) 转动舌片式

1—电磁铁; 2—可动衔铁或舌片; 3—线圈; 4—触点; 5—反作用弹簧; 6—止档

当电磁铁的线圈中通过电流 I_k 时,在导体中就立即建立起磁通 $\dot{\Phi}$,该磁通经过电磁铁的导磁体、气隙和衔铁形成闭合回路。由于可动衔铁被磁化,产生了电磁力 F_e 或电磁力矩 M_e 使衔铁被吸引或舌片转动。

根据电磁学原理,电磁力 F_e 与磁通 Φ 的平方成正比,即

$$F_e = K_1 \Phi^2 \quad (1-3)$$

当磁路未饱和时,磁通 Φ 与线圈中通过的电流 I_k 成正比,即

$$\Phi = \frac{I_k W_k}{R_m} \quad (1-4)$$

式中： W_k 为继电器线圈的匝数； R_m 为磁通 Φ 所经磁路的磁阻，主要是气隙磁阻； K_1 为比例常数。

由式 (1-3)、式 (1-4) 可得

$$F_e = \frac{K_1 W_k^2 I_k^2}{R_m^2} = K_2 I_k^2 \quad (1-5)$$

$$M_e = F_e L = K_2 I_k^2 L = K_3 I_k^2 \quad (1-6)$$

式中： K_2 和 K_3 均为比例常数，它们与线圈的匝数、气隙的大小、铁芯的截面积及铁芯的长度有关。

由式 (1-5) 和式 (1-6) 可见，作用于继电器衔铁的吸力 F_e 和力矩 M_e 与继电器线圈中通过的电流 I_k 的平方成正比，而和电流的方向无关。所以，电磁型继电器既可制成直流型，又可制成交流型。

当继电器线圈中通过的电流 I_k 足够大，使电磁力 F_e （或电磁力矩 M_e ）大于弹簧的反作用力 F_s （或力矩 M_s ）及轴摩擦力 F_f （或力矩 M_f ）之和时，上述衔铁被吸引或舌片转动至最终位置，使触点闭合，继电器动作，即继电器的动作条件是

$$M_e > M_s + M_f \quad (1-7)$$

电磁型的电流、电压、时间和中间继电器等都是根据上述原理制成的。

(一) 电磁型电流继电器

1. 结构和工作原理

电流继电器的作用是测量电流的大小。电流继电器的结构和图形符号如图 1-5 所示。其线圈导线较粗、匝数少，串接在电流互感器的二次侧，作为电流保护的起动元件（或称测量元件），用以判断被保护对象的运行状态。

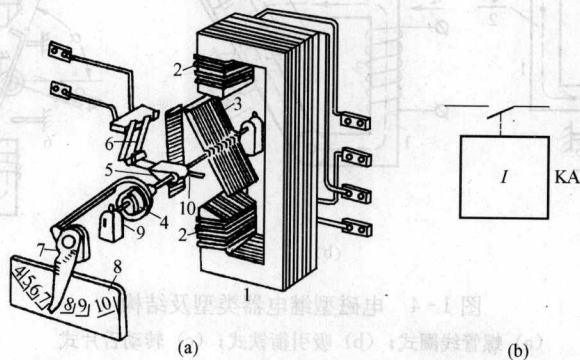


图 1-5 电磁型电流继电器

(a) 结构图；(b) 图形符号

- 1—电磁铁；2—线圈；3—Z形舌片；4—螺旋弹簧；5—动触点；6—静触点；
7—整定值调整把手；8—刻度盘；9—轴承；10—止档

电磁型电流继电器由铁芯线圈、固定在转轴上的 Z 形舌片和螺旋弹簧及动触点、静触点等构成。通过继电器的电流产生电磁力矩 M_e ，作用于 Z 形舌片，螺旋弹簧产生反作用力矩 M_s ，作用于转轴。当 M_e 大于 M_s 时，使 Z 形舌片转动（忽略轴与轴承的摩擦力矩 M_f ），触

点状态改变（如由断开变为闭合），称之为继电器动作。继电器动作之前处在断开状态，动作时闭合的触点称为动合触点（亦称常开触点）。动合触点在继电器线圈不通电或通电不足时是断开的。使继电器动作的最小电流称为动作电流，用 I_{op} 表示。

当通入继电器的电流 I_k 达到动作电流 I_{op} 时，其动作力矩使舌片克服轴承摩擦力矩和弹簧反力矩而旋转。由于力矩 M_e 和气隙磁阻 R_m 的平方成反比，舌片旋转过程中力矩 M_e 随气隙减小及气隙磁阻 R_m 的减小而迅速增大，从而使电磁力矩大于反力矩一个剩余力矩 ΔM 。由于剩余力矩的存在，使舌片转至终止位置时，动触点压力较大，保证了触点接触可靠。

继电器动作后，若通过继电器的电流 I_k 减小，则电流产生的电磁力矩 M_e 亦随之减小。当电磁力矩 M_e 小于螺旋弹簧产生的反作用力矩 M_s 时（忽略轴与轴承的摩擦力矩 M_f ），Z 形舌片在 M_s 的作用下回到动作前的位置，动合触点断开，称之为继电器的返回。继电器的返回条件为

$$M_e < M_s - M_f \quad (1-8)$$

$$\text{或} \quad M_s > M_e + M_f \quad (1-9)$$

使继电器返回的最大电流称为返回电流，用 I_r 表示。由于动作前后 Z 形舌片的位置不同，动作后磁路的气隙变小，故返回电流 I_r 总是小于动作电流 I_{op} 。

返回电流 I_r 与动作电流 I_{op} 的比值称为返回系数 K_r ，即

$$K_r = \frac{I_r}{I_{op}} \quad (1-10)$$

K_r 太大或太小对继电器的特性均不利，太小会影响继电器动作后的返回，太大则使加在触点上的剩余力矩太小，触点闭合不牢，易发生抖动。一般来说， $K_r = 0.85 \sim 0.95$ 。

2. 继电器特性

由以上分析可见，当 $I_k < I_{op}$ 时，继电器不动作，而当 $I_k \geq I_{op}$ 时，继电器能够突然迅速动作，使动合触点闭合。在继电器动作后，继续加大输入的电流 I_k ，继电器仍然保持在动作状态。只有当 $I_k \leq I_r$ 时，继电器才能突然地返回到原来位置，动合触点才重新被打开。无论动作还是返回，继电器触点从起始位置到最终位置都是突发性的，不可能停留在中间的任何某一个位置上。这种当给继电器所加的控制量（如通过的电流）变化到某一数值时，其触点的状态发生突变的动作特性，称为继电特性，如图 1-6 所示。由图可见，继电器的状态只有两个：“0”和“1”。无论动作还是返回，动作均明确干脆，且起动电流不等于返回电流（即存在电流差 $\Delta I_k = I_{op} - I_r$ ）。

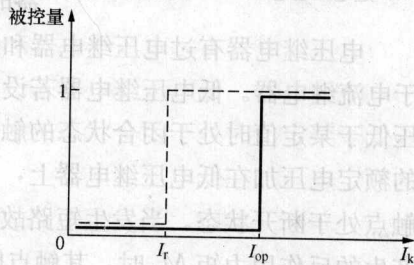


图 1-6 继电特性

3. 继电器动作电流的调整

继电器动作电流调整的一般方法有两种。一是改变弹簧力矩。旋转调整把手，即可改变弹簧力矩。按反时针方向旋转，弹簧力矩增大，整定值增大。顺时针旋转则相反。二是改变两个线圈的连接方式。如图 1-7 所示，用连接片可以将两个线圈串联 [如图 1-7 (a) 所示] 或并联 [如图 1-7 (b) 所示]。当调整把手处于一定位置时，线圈并联时的动作电流是串联时动作电流的 2 倍。整定值的刻度为两个线圈串联时的动作值。