

全国高职高专机电类专业规划教材

电力系统继电保护

陕春玲 黄少臣 主编

许建安 主审



黄河水利出版社

全国高职高专机电类专业规划教材

电力系统继电保护

主 编	陕春玲	黄少臣
副主编	徐海英	陈春海
	杨堆元	武银龙
主 审	许建安	

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是全国高职高专机电类专业规划教材,是根据教育部对高职高专教育的教学基本要求及中国水利教育协会全国水利水电高职教研会制定的电力系统继电保护课程标准编写完成的。本书阐述了继电保护的基本原理,序分量的获取方法及作用,微机保护原理,故障识别和处理,利用故障分量的保护原理,自适应保护的实现等内容。主要内容包括继电保护的基本元件、输电线路的电流电压保护、输电线路的距离保护、输电线路的全线速动保护、电力变压器的继电保护、发电机的继电保护、母线的继电保护等。书中内容反映了继电保护新技术与成果,文字符号和图形采用最新国家标准。

本书为高职高专机电类发电厂及电力系统等专业教材,也可供相关专业的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/陕春玲,黄少臣主编. —郑州:黄河水利出版社,2013. 1

全国高职高专机电类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0035 - 6

I. ①电… II. ①陕… ②黄… III. ①电力系统 - 继电保护 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 002798 号

组稿编辑:王路平	电话:0371 - 66022212	E-mail:hhsllwlp@126.com
简 群	66026749	w_jq001@163.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllchs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19.25

字数:450 千字

印数:1—4 100

版次:2013 年 1 月第 1 版

印次:2013 年 1 月第 1 次印刷

定价:39.00 元

前 言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的机电类专业规划教材。该套规划教材是在近年来我国高职高专院校专业建设和课程改革不断深化与探索的基础上组织编写的,内容上力求体现高职教育理念,注重对学生应用能力和实践能力的培养;形式上力求做到基于工作任务和工作过程编写,便于“教、学、练、做”一体化。该套规划教材是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。

本书阐述了电力系统继电保护的构成原理及微机继电保护技术的最新成果。微机技术、信息技术和通信技术的发展,使继电保护的原理和技术都发生了深刻变化。而且,微机继电保护已占据了主导地位,因此本书始终将微机保护原理贯穿本教材的所有内容。同时,力求重点突出,理论结合实际。图形、文字符号采用最新国家标准。本书重点介绍了继电保护基本概念和要求、保护的基础元件以及微机保护软硬件结构和原理、输电线路的电流电压保护、输电线路的距离保护、输电线路差动保护和高频保护、变压器保护、发电机保护以及母线保护,系统介绍了保护原理、性能分析和整定计算方法。

本书编写人员及编写分工如下:前言、第3章3.1~3.4节和第7章7.9节由三峡电力职业学院陕春玲编写;第1章、第9章由永安供电公司温一黄编写;第2章2.1~2.4节和第5章由沈阳农业大学高等职业技术学院武银龙编写;第2章2.5、2.6节和第8章由三峡电力职业学院陈春海编写;第3章3.5节由三峡电力职业学院王俊编写;第4章由福建水利电力职业技术学院徐海英编写;第6章由天津机电职业技术学院杨堆元编写;第7章7.1~7.8节由长江工程职业技术学院黄少臣编写。本书由陕春玲、黄少臣担任主编,陕春玲负责全书统稿;由徐海英、陈春海、杨堆元、武银龙担任副主编;由福建水利电力职业技术学院许建安教授担任主审。

本书在编撰过程中得到了许建安教授的大力帮助和指导,在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中的错误和不足在所难免,请读者批评指正。

作 者

2012年10月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 电力系统继电保护的作用	(1)
1.2 继电保护的基本原理和保护装置的组成	(2)
1.3 对继电保护的基本要求	(4)
1.4 继电器与继电特性	(6)
1.5 电力系统继电保护的发展	(8)
小 结	(9)
习 题	(10)
第2章 继电保护的基本元件	(11)
2.1 电流互感器	(11)
2.2 变换器	(12)
2.3 对称分量滤过器	(15)
2.4 电磁型继电器	(18)
2.5 微机保护装置硬件原理	(21)
2.6 微机保护的软件系统配置	(40)
小 结	(46)
习 题	(47)
第3章 输电线路的电流电压保护	(48)
3.1 单侧电源输电线路相间短路的电流电压保护	(48)
3.2 双侧电源输电线路相间短路的方向电流保护	(62)
3.3 中性点非直接接地系统输电线路接地故障保护	(72)
3.4 中性点直接接地系统输电线路接地故障保护	(76)
3.5 自适应电流保护	(84)
小 结	(87)
习 题	(88)
第4章 输电线路的距离保护	(91)
4.1 距离保护概述	(91)
4.2 阻抗继电器	(95)
4.3 阻抗继电器接线方式	(100)
4.4 选相原理	(108)
4.5 距离保护启动元件	(114)
4.6 距离保护振荡闭锁	(121)

4.7	断线闭锁装置	(131)
4.8	影响距离保护正确工作因素	(134)
4.9	相间距离保护整定计算原则	(139)
4.10	工频故障分量距离保护	(142)
4.11	WXB-11 型线路保护装置	(147)
	小 结	(154)
	习 题	(155)
第 5 章	输电线路的全线速动保护	(158)
5.1	输电线路的纵联差动保护	(158)
5.2	平行线路差动保护	(164)
5.3	基于故障分量的分相阻抗差动保护	(166)
5.4	输电线路综合阻抗纵联差动保护新原理	(170)
5.5	高频保护	(174)
	小 结	(181)
	习 题	(181)
第 6 章	电力变压器的继电保护	(182)
6.1	电力变压器的故障类型及其保护措施	(182)
6.2	电力变压器的瓦斯保护	(183)
6.3	电力变压器的电流速断保护	(185)
6.4	电力变压器的纵差保护	(186)
6.5	变压器微机保护	(194)
6.6	电力变压器相间短路后备保护	(201)
6.7	电力变压器接地保护	(205)
6.8	电力变压器微机保护举例	(209)
	小 结	(216)
	习 题	(217)
第 7 章	发电机的继电保护	(218)
7.1	发电机故障和不正常工作状态及其保护	(218)
7.2	发电机的纵差保护	(219)
7.3	发电机的匝间短路保护	(223)
7.4	发电机定子绕组单相接地保护	(225)
7.5	发电机励磁回路接地保护	(228)
7.6	发电机的失磁保护	(231)
7.7	发电机负序电流保护	(234)
7.8	发电机微机保护	(236)
7.9	WFBZ-01 型微机保护装置简介	(239)
	小 结	(252)

习 题	(252)
第8章 母线的继电保护	(254)
8.1 装设母线保护基本原则	(254)
8.2 完全电流差动母线保护	(256)
8.3 电流比相式母线保护	(257)
8.4 微机母线保护	(258)
8.5 典型微机母线保护	(263)
小 结	(269)
习 题	(269)
第9章 继电保护整定计算实例	(271)
9.1 电流电压保护计算实例	(271)
9.2 距离保护计算实例	(279)
9.3 变压器保护计算实例	(292)
9.4 发电机保护计算实例	(295)
参考文献	(300)

第 1 章 绪 论

1.1 电力系统继电保护的作用

1.1.1 电力系统故障和异常运行

电力系统由发电机、变压器、母线、输电线路及用电设备组成。各电气元件及系统整体通常处于正常运行状态,但也可能出现故障或异常运行状态。在三相交流系统中,最常见同时也是最危险的故障是各种形式的短路。直接连接(不考虑过渡电阻)的短路一般称为金属性短路。电力系统的正常工作遭到破坏,但未形成故障,称为异常工作状态。

与其他电气元件相比较,输电线路所处的条件决定了它是电力系统中最容易发生故障的一环。在输电线路,还可能发生断线或几种故障同时发生的复杂故障。变压器和各种旋转电机所特有的一种故障形式是同一相绕组上的匝间短路。

短路总要产生很大的短路电流,同时使系统中电压大大降低。短路点的电流及短路电流的热效应和机械效应会直接损坏电气设备。电压下降影响用户的正常工作,影响产品质量。短路更严重的后果是因电压下降可能导致电力系统发电厂之间并列运行的稳定性遭受破坏,引起系统振荡,直至整个系统瓦解。

最常见的异常运行状态是电气元件的电流超过其额定值,即过负荷状态。长时间的过负荷会使电气元件的载流部分和绝缘材料的温度过高,从而加速设备的绝缘老化,或者损坏设备,甚至发展成事故。此外,由于电力系统出现功率缺额而引起的频率降低、水轮发电机组突然甩负荷引起的过电压以及电力系统振荡,都属于异常运行状态。

故障和异常运行状态都可能发展成系统中的事故。所谓事故,是指整个系统或其中一部分的正常工作遭到破坏,以致对用户少送电、停止送电或电能质量降低到不能容许的地步,甚至造成设备损坏和人身伤亡。

在电力系统中,为了提高供电可靠性,防止造成上述严重后果,要对电气设备进行正确的设计、制造、安装、维护和检修;对异常运行状态必须及时发现,并采取措施予以消除;一旦发生故障,必须迅速并有选择性地切除故障元件。

1.1.2 继电保护的任務

继电保护装置是一种能反映电力系统中电气元件发生的故障或异常运行状态,并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。它的基本任务是:

(1)当电力系统的被保护元件发生故障时,继电保护装置应能自动、迅速、有选择地将故障元件从电力系统中切除,并保证无故障部分迅速恢复正常运行。

(2)当电力系统被保护元件出现异常运行状态时,继电保护应能及时反应,并根据运

行维护条件,发出信号、减负荷或跳闸。此时,一般不要求保护迅速动作,而是根据对电力系统及其元件的危害程度规定一定的延时,以免不必要动作和由于干扰而引起的误动作。

1.2 继电保护的基本原理和保护装置的组成

1.2.1 继电保护的基本原理

继电保护的基本原理是以被保护线路或设备故障前后某些突变的物理量为信息量,当突变量达到一定值时,启动逻辑控制环节,发出相应的跳闸脉冲或信号。

1.2.1.1 利用基本电气参数量的区别

发生短路故障后,利用电流、电压、线路测量阻抗、电压电流间相位、负序和零序分量的出现等的变化,可构成过电流保护、低电压保护、距离(低阻抗)保护、功率方向保护、序分量保护等。

1. 过电流保护

反映电流增大而动作的保护称为过电流保护。如图 1-1 所示,若在 BC 线路上三相短路,则从电源到短路点 K 之间将流过短路电流 i_K ,可以使保护 1 或 2 反映到这个电流,首先由保护 2 动作于断路器 QF2 跳闸。

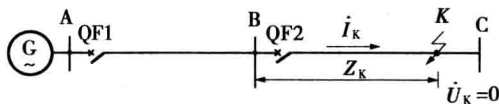


图 1-1 单侧电源线路

2. 低电压保护

反映电压降低而动作的保护称为低电压保护。如图 1-1 所示,BC 线路 K 点发生三相短路时,短路点电压降到零,各母线上的电压都有所下降,保护 1、2 都能反映到电压下降,首先由保护 2 动作于允许跳闸信号。

3. 距离保护

距离保护也称低阻抗保护,反映保护安装处到短路点之间的阻抗下降而动作的保护称为低阻抗保护。在图 1-1 中,若以 Z_K 表示保护 2 到短路点之间的阻抗,则母线 B 上残余电压 $\dot{U}_{res} = \dot{I}_K Z_K$,保护 2 的测量阻抗 $Z_m = \dot{U}_{res} / \dot{I}_K = Z_K$,它的大小等于保护安装处到短路点间的阻抗,正比于短路点到保护 2 之间的距离。

1.2.1.2 利用两侧电流相位(或功率方向)的比较

如图 1-2 所示的双侧电源网络,规定电流的正方向是从母线指向线路。正常运行时,线路 AB 两侧的电流大小相等,相位差为 180° ;当在线路 BC 的 K_1 点发生短路故障时,线路 AB 两侧电流大小仍相等,相位差仍为 180° ;当在线路 AB 内部的 K_2 点发生短路故障时,线路 AB 两侧短路电流大小一般不相等,相位相同(不计阻抗的电阻分量时)。从分析可知,若两侧电流相位(或功率方向)相同,则判为被保护线路内部故障;若两侧电流相位(或功率方向)相反,则判为区外短路故障。利用被保护线路两侧电流相位(或功率方

向),可构成纵联差动保护、相差高频保护、方向保护等。

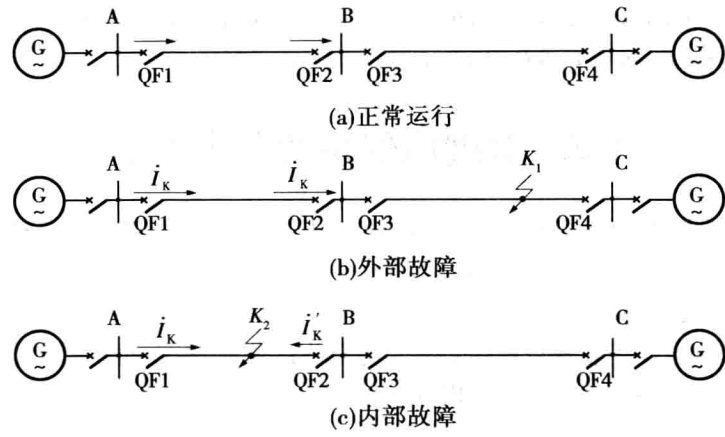


图 1-2 双侧电源网络

1.2.1.3 反映序分量或突变量是否出现

电力系统在对称运行时,不存在负序、零序分量;当发生不对称短路时,将出现负序、零序分量;无论是对称短路,还是不对称短路,正序分量都将发生突变。因此,可以根据是否出现负序、零序分量构成负序保护和零序保护;根据正序分量是否突变构成对称短路保护、不对称短路保护。

1.2.1.4 反映非电量保护

反映非电量保护有反映变压器油箱内部故障时所产生的瓦斯气体而构成的瓦斯保护,反映绕组温度升高而构成的过负荷保护等。

1.2.2 继电保护装置的组成

继电保护的构成原理虽然很多,但是在一般情况下,整套继电保护装置是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成的,其原理结构如图 1-3 所示。

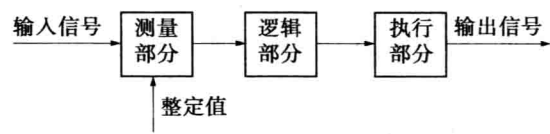


图 1-3 继电保护装置的原理方框图

1.2.2.1 测量部分

测量部分是测量从被保护对象输入的有关物理量,并与给定的整定值进行比较,根据比较的结果,给出“是”或“非”性质的一组逻辑信号,从而判断保护是否应该启动。

1.2.2.2 逻辑部分

逻辑部分是根椐测量部分各输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合,使保护装置按一定的逻辑关系工作,然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回路有“或”、“与”、“否”、“延时启动”、“延时返回”以及“记忆”等回路。

1.2.2.3 执行部分

执行部分是根据逻辑部分传送的信号,最后完成保护装置所担负的任务。如故障时,动作于跳闸;异常运行时,发出信号;正常运行时,不动作等。

1.3 对继电保护的基本要求

电力系统各电气元件之间通常用断路器互相连接,每台断路器都装有相应的继电保护装置,可以向断路器发出跳闸脉冲。继电保护装置是以各电气元件或线路作为被保护对象的,其切除故障的范围是断路器之间的区段。

实践表明,继电保护装置或断路器有拒绝动作的可能性,因而需要考虑后备保护。实际上,每一电气元件一般都有两种继电保护装置:主保护和后备保护。必要时,还另外增设辅助保护。

反映整个被保护元件上的故障并能以最短的延时有选择性地切除故障的保护称为主保护。主保护或其断路器拒绝动作时,用来切除故障的保护称为后备保护。后备保护分近后备和远后备两种:主保护拒绝动作时,由本元件的另一套保护实现后备的,谓之近后备;当主保护或其断路器拒动时,由相邻元件或线路的保护实现后备的,谓之远后备。为补充主保护和后备保护的不足而增设的简单的保护称为辅助保护。

电力系统继电保护装置应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的基本要求。这些要求之间,需要针对不同使用条件,分别进行综合考虑。

1.3.1 可靠性

保护装置的可靠性是指在规定的保护区内发生故障时,保护装置不应该拒绝动作,而在正常运行或保护区外发生故障时,则不应该误动作。

可靠性主要是针对保护装置本身的质量和运行维护水平而言。不可靠的保护本身就成了事故的根源。因此,可靠性是对继电保护装置的最根本要求。

为保证可靠性,一般来说,宜选用尽可能简单的保护方式及有运行经验的微机保护产品;应采用由可靠的元件和简单的接线构成的性能良好的保护装置,并应采取必要的检测、闭锁和双重化等措施。当电力系统中发生故障而主保护拒动时,靠后备保护的動作切除故障,有时不仅扩大了停电范围,而且拖延了切除故障的时间,从而给电力系统的稳定运行带来很大危害。此外,保护装置应便于整定、调试和运行维护,这对保证其可靠性也具有重要的作用。

1.3.2 选择性

保护装置的选择性是指保护装置动作时,仅将故障元件从电力系统中切除,使停电范围尽量缩小,以保证电力系统中的无故障部分仍能继续安全运行。在图 1-4 所示的网络中,当线路 L4 上 K_2 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是有选择性的。 K_2 点故障,若保护 5 动作于将 QF5 断开,则变电所 C 和 D 都将停电,继电保护的这种动作是无选择性的。同样, K_1 点故障时,保护 1 和保护 2 动作于断

开 QF1 和 QF2,将故障线路 L1 切除,才是有选择性的。

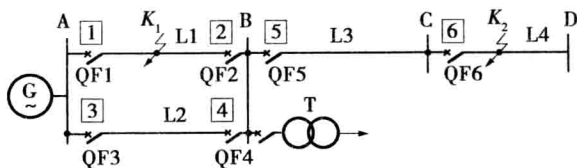


图 1-4 单侧电源网络中保护选择性动作说明图

如果 K_2 点故障,而保护 6 或断路器 QF6 拒动,保护 5 将断路器 QF5 断开,故障切除,这种情况虽然是越级跳闸,但却是尽量缩小了停电范围,限制了故障的发展,因而也认为是有选择性动作。

运行经验表明,架空线路上发生的短路故障大多数是瞬时性的,线路上的电压消失后,短路会自行消除。因此,在某些条件下,为了加速切除短路,允许采用无选择性的保护,但必须采取相应措施,例如采用自动重合闸或备用电源自动投入装置予以补救。

为了保证选择性,对相邻元件有后备作用的保护装置,其灵敏性与动作时间必须与相邻元件的保护相配合。

1.3.3 灵敏性

保护装置的灵敏性是指保护装置对其保护区内发生故障或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规定的保护区内短路时,不论短路点的位置、短路形式及系统的运行方式如何,都能灵敏反应。保护装置的灵敏性一般用灵敏系数 K_{sen} 来衡量。

对于反映故障时参数增大而动作的保护装置,其灵敏系数是

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时保护安装处测量到的故障参数的最小计算值}}{\text{保护整定值}}$$

对于反映故障时参数降低而动作的保护装置,其灵敏系数是

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路故障时保护安装处测量到的故障参数的最大计算值}}{\text{保护整定值}}$$

实际上,短路大多情况是非金属性的,而且故障参数在计算时会有一定误差,因此必须要求 $K_{sen} > 1$ 。在部颁的《继电保护和安全自动装置技术规程》中,对各类短路保护装置的灵敏系数最小值都作了具体规定。对于各种保护装置灵敏系数的校验方法,将在各保护的整定计算中分别讨论。

1.3.4 速动性

快速地切除故障可以提高电力系统并列运行的稳定性,减少用户在电压降低情况下的工作时间,限制故障元件的损坏程度,缩小故障的影响范围以及提高自动重合闸装置和备用电源自动投入装置的动作成功率等。因此,在发生故障时,应力求保护装置能迅速动作切除故障。

上述对作用于跳闸的保护装置的基本要求,一般也适用于反映异常运行状态的保护

装置。只是对作用于信号的保护装置不要求快速动作,而是按照选择性要求延时发出信号。

继电保护的基本要求是互相联系而又互相矛盾的。例如,对某些保护装置来说,选择性和速动性不可能同时实现,要保证选择性,必须使之具有一定的动作时间。

可以这样说,继电保护这门技术,是随着电力系统的发展,在不断解决保护装置应用中出现的基本要求之间的矛盾,使之在一定条件下达到辩证统一的过程中发展起来的。因此,继电保护的基本要求是分析研究各种继电保护装置的基础,是贯穿本课程的一条基本线索。在本课程的学习过程中,应该注意学会按保护基本要求的观点,去分析每种保护装置的性能。

1.4 继电器与继电特性

继电器是各种继电保护装置的基本组成元件。一般来说,按预先整定的输入量动作,并具有电路控制功能的元件称为继电器。继电器的工作特点是,用来表征外界现象的输入量达到整定值时,其输出电路中的被控电气量将发生预定的阶跃变化。

继电器的输入量和输出量之间的关系如图 1-5 所示。图中 X 是加于继电器线圈的输入量, Y 是继电器触点电路中的输出量。当输入量 X 从零开始增加时,在 $X < X_{op}$ 的过程中,输出量 $Y = Y_{min}$ 保持不变 ($Y_{min} \approx 0$);当输入量等于启动量时,输出量突然由最小 Y_{min} 变到最大 Y_{max} ,称为继电器动作;当输入量减小时,在 $X > X_{re}$ 的过程中,输出量保持不变。当输入量减小到 X_{re} 值时,称为继电器返回。返回值与动作值之比称为继电器的返回系数,以 K_{re} 表示,即

$$K_{re} = \frac{X_{re}}{X_{op}} \quad (1-1)$$

图 1-5 所示的这种输入量连续变化,而输出量总是跃变的特性,称为继电特性。

通常,继电器在没有输入量(或输入量未达到整定值)的状态下,断开着的触点称为常开触点,闭合着的触点称为常闭触点。常开触点也称动合触点,常闭触点又称动断触点。

使继电器的正常位置时的功能产生变化,称为启动。继电器完成所规定的任务,称为动作。继电器从动作状态回到初始位置,称为复归。继电器失去动作状态下的功能,称为返回。电力系统继电保护装置用的继电器,称为保护继电器,按输入物理量的不同分为电气继电器与非电气继电器两类;按功能可分为测量继电器与逻辑继电器。

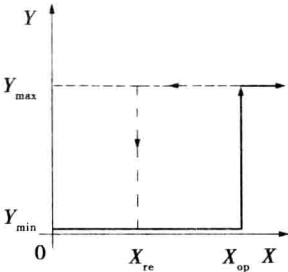


图 1-5 继电特性

国产的保护继电器,一般用汉语拼音字母表示出它的型号。型号中第一个字母表示继电器的工作原理。第二(或第三)个字母表示继电器的用途。例如,DL 代表“电”磁型电“流”继电器,LCD 代表整“流”型“差动”继电器。常用继电器线圈及触点的表示方法如表 1-1 所示,常用测量继电器和保护装置示例如表 1-2 所示。

表 1-1 常用继电器线圈及触点的表示方法

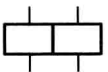
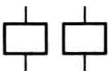
名称	图形符号	说明	名称	图形符号	说明
继电器线圈		= IEC	机械保持继电器的线圈		= IEC
具有两个线圈的继电器		= IEC 组合表示法	极化继电器的线圈		= IEC
		= IEC 分离表示法	动合(常开)触点		= IEC
缓慢释放继电器的线圈		= IEC	动断(常闭)触点		= IEC
缓慢吸合继电器的线圈		= IEC	先合后断的转换触点		= IEC
快速继电器的线圈		= IEC	被吸合时延时闭合的动合触点		= IEC

表 1-2 常用测量继电器和保护装置示例

名称	图形符号	说明	名称	图形符号	说明
低电压继电器		= IEC	瞬时过电流保护		
过电压继电器		= IEC	延时过电流保护		
低功率继电器		= IEC	低电压启动的过电流保护		
低阻抗继电器		= IEC	复合电压启动的过电流保护		
功率方向继电器			线路纵联差动保护		
接地距离保护			距离保护		

续表 1-2

名称	图形符号	说明	名称	图形符号	说明
定子接地保护	$S_{\downarrow}$		差动保护	I_d	
转子接地保护	$R_{\downarrow}$		零序电流 差动保护	I_{d0}	

1.5 电力系统继电保护的发展

电力系统继电保护技术是随着电力系统的发展而发展的,是与电力系统对运行可靠性要求的不断提高密切相关的。熔断器就是最初出现的简单过电流保护。这种保护至今仍广泛应用于低压线路和用电设备。熔断器的特点是融保护装置与切断电流的装置于一体,因而最为简单。由于电力系统的发展,用电设备的功率、发电机的容量不断增大,发电厂、变电所和供电电网的结线不断复杂化,电力系统中正常工作电流和短路电流都不断增大,单纯采用熔断器保护就难以实现选择性和快速性要求,于是出现了作用于专门的断流装置(断路器)的过电流继电器,利用继电器和断路器的配合来切除故障设备。19 世纪 90 年代出现了装于断路器上并直接作用于断路器的一次式的电磁型过电流继电器。20 世纪初,随着电力系统的发展,继电器开始广泛应用于电力系统的保护。这个时期可认为是继电保护技术发展的开端。

1901 年出现了感应型过电流继电器,1908 年提出了比较被保护元件两端电流的电流差动保护原理。1910 年方向性电流保护开始得到应用,在此时期也出现了将电压与电流相比较的保护原理,并导致了 20 世纪 20 年代初距离保护装置的出现。随着电力系统的载波通信的发展,在 1927 年前后,出现了利用高压输电线路上高频载波电流传送和比较输电线路两端功率方向或电流相位的高频保护装置。在 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路两端故障电气量的微波保护。利用故障点产生的行波实现快速继电保护的设想,经过 20 余年的研究,20 世纪 70 年代诞生了行波保护装置。显然,随着光纤通信在电力系统中的大量采用,利用光纤通道的微机继电保护也将得到更为广泛的应用。

20 世纪 50 年代以前的继电保护装置都是由电磁型、感应型或电动型继电器组成的。这些继电器都具有机械转动部件,统称为机电式继电器。由这些继电器组成的继电保护装置称为机电式保护装置。机电式继电器所采用的元件、材料、结构型式和制造工艺在近 30 余年来,经历了重大的改进,积累了丰富的运行经验,工作比较可靠,因而目前仍是电力系统中应用的保护装置。

20 世纪 50 年代,由于半导体晶体管的发展,开始出现了晶体管式继电保护装置。这种保护装置体积小,功率消耗小,动作速度快,无机械转动部分,称为电子式静态保护装置。

由于集成电路技术的发展,可以将数十个或更多的晶体管集成在一个半导体芯片上,

从而出现了体积更小、工作更加可靠的集成运算放大器和集成电路元件。20 世纪 80 年代后期,标志着静态继电保护从第一代(晶体管式)向第二代(集成电路式)的过渡。

在 20 世纪 60 年代末,就提出了用小型计算机实现继电保护的设想。因为当时小型计算机价格昂贵,难以实际采用。但由此开始了对继电保护计算机算法的大量研究,这对后来微型计算机式继电保护的发展奠定了理论基础。随着微处理器技术的迅速发展及其价格急剧下降,在 20 世纪 70 年代后半期,出现了比较完善的微型计算机保护样机,并投入到电力系统中试运行。20 世纪 80 年代微型计算机保护在硬件结构和软件技术方面已趋成熟,并已在一些国家推广应用,这就是第三代的静态继电保护装置。微型计算机保护具有巨大的计算、分析和逻辑判断能力,有存储记忆功能,因而可用以实现任何性能完善且复杂的保护。微型计算机保护可连续不断地对本身的工作情况进行自检,其工作可靠性很高。此外,微型计算机保护可用同一个硬件实现不同的保护原理,这使保护装置的制造大为简化,也容易实行保护装置的标准化。微型计算机保护除保护功能外,还有故障录波、故障测距、事故顺序记录和调度计算机交换信息等辅助功能,这对简化保护的调试、事故分析和事故后的处理等都有重大意义。由于微型计算机保护装置的巨大优越性和潜力,因而受到运行人员的欢迎,进入 20 世纪 90 年代以来,在我国得到大量应用,将成为继电保护装置的主要型式。可以说,微型计算机保护代表着电力系统继电保护的将来,将成为未来电力系统保护、控制、运行调度及事故处理的统一计算机系统的组成部分。

小 结

电力系统虽然经常是处于正常运行状态,但一旦发生故障,电力系统的正常运行就被破坏,将对正常供电、人身安全和设备造成危害。因此,要求电力系统一旦发生短路故障,应将故障部分切除,以保证正常部分恢复正常运行。发生异常运行状态一般动作于信号,以便分析处理。

短路故障最明显的特征是电流增大、电压降低,因此可以通过电流或电压的变化构成电流保护、电压保护。在发生不对称短路故障时,将出现负序分量;发生接地短路故障时,将出现零序分量。可利用负序、零序分量构成反映序分量原理的保护;根据被保护线路阻抗的变化可构成距离保护;线路内部和外部短路故障时,被保护线路两端电流的相位不同,可构成差动保护;利用故障分量的特点,可构成各种利用分量原理的继电保护。

继电保护的基本要求是衡量继电保护装置性能的重要指标,也是评价各种原理构成的继电保护装置的主要依据。简单地说,可靠性就是在保护区内发生短路故障时,保护不拒动;在正常运行或保护区外发生短路故障时,保护不误动。灵敏性是判别保护装置反映故障能力的重要指标,不满足灵敏性要求的保护装置,是不允许设置的。继电保护的基本要求是互相联系而又互相矛盾的,继电保护技术是在不断解决保护装置应用中出现的基本要求之间的矛盾,使之在一定条件下达到辩证统一的过程中发展起来的。因此,继电保护的基本要求是分析研究各种继电保护装置的基础,是贯穿本课程的一条基本线索。

习 题

1. 何谓电力系统的“故障”、“异常运行状态”与“事故”？
2. 何谓继电保护装置？它的作用是什么？
3. 何谓主保护、后备保护及辅助保护？何谓近后备和远后备？
4. 何谓继电器与继电特性？为什么要求保护继电器必须具有继电特性？
5. 继电器的常开触点与常闭触点如何区分？
6. 继电保护装置一般有哪些组成部分？各部分有何作用？
7. 说明“继电器”、“继电保护装置”和“继电保护”的含义与区别。