



国家骨干高等职业院校
重点建设专业(电力技术类)“十二五”规划教材

继电保护技术

JIDIAN BAOHU JISHU

主编◎沈诗佳 程琳

主审◎赵自刚



内 容 提 要

全书共分为 8 个教学项目,内容包括继电保护技术基础知识、电网电流保护、电网距离保护、电网全线速动保护、变压器保护、发电机保护、母线保护和二次接线技术。每个项目均由若干个来自实际生产、相互关联而又相对独立的典型工作任务组成。在每个任务中,按照任务的工作过程,由简到繁、由易到难、循序渐进、深入浅出地进行论述,启发读者用所学理论知识解决实际应用问题。

本书为高职高专院校电力技术类专业课程教材,也可作为电力行业工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

继电保护技术/沈诗佳,程琳主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2013. 3

ISBN 978-7-5650-1208-2

I. ①继… II. ①沈…②程… III. ①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 017807 号

继电保护技术

沈诗佳 程琳 主编

责任编辑 汤礼广 马成勋

出 版 合肥工业大学出版社

版 次 2013 年 3 月第 1 版

地 址 合肥市屯溪路 193 号

印 次 2013 年 3 月第 1 次印刷

邮 编 230009

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16

电 话 理工编辑部:0551—62903087

印 张 29.75

市场营销部:0551—62903198

字 数 650 千字

网 址 www.hfutpress.com.cn

印 刷 合肥现代印务有限公司

E-mail hfutpress@163.com

发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-5650-1208-2

定价:58.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

基于工作过程系统化的课程要求，紧密结合生产实际进行设计，培养适应岗位需求及专业发展需要的人才，兼顾职业教育和人本教育，这是高等职业教育课程改革所要达到的目的。目前，高等职业教育课程改革的具体方法是：在学习专业知识和技能的基础上，以同性质的典型工作任务为同一学习领域（课程），以整合完整的工作任务过程为同一学习情境（篇章），以完成总体工作过程时的具体工作环节为单元（节次），结合工作环节的任务进行跨学科知识与技能的重构。其中，课程任务的安排依照完整的工作过程，情境排列依照从简单到复杂的认知规律。本书正是按照上述基于工作过程导向的职业技术教育课程改革思路，为发电厂及电力系统专业的继电保护技术课程编写的配套教材。

本书分继电保护技术基础知识、电网电流保护、电网距离保护、电网全线速动保护、变压器保护、发电机保护、母线保护和二次接线技术8个项目，按照企业中继电保护技术工作过程划分任务单元，将继电保护、继电保护调试技术及现场管理等传统课程有机整合，结合行动导向进行编写，因此，本书具有鲜明的职业教育特色。

参加本书编写的有安徽电气工程职业技术学院程琳（编写项目一、项目八）、合肥供电公司高浩宇（编写项目二、项目三、项目四）、安徽电气工程职业技术学院沈诗佳（编写项目五）、合肥发电厂宣翠明（编写项目六）、安徽电气工程职业技术学院陈晶（编写项目七）。全书由沈诗佳、程琳担任主编，高浩宇、宣翠明、陈晶担任副主编，沈诗佳统稿。

河北省电力公司调度中心主任赵自刚（教授级高级工程师）担任本书主审。赵自刚主任在百忙之中，抽出大量宝贵时间，对本书进行了认真审读，并提出了不少宝贵意见和建议，在此对其表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者



目 录

项目一 继电保护技术基础知识·····	(1)
任务一 继电保护基础知识·····	(2)
任务二 微机保护基础知识·····	(14)
任务三 二次回路基础知识·····	(37)
项目二 电网电流保护·····	(50)
任务一 单侧电源电网相间短路的电流保护·····	(50)
任务二 电网相间短路的方向性电流保护·····	(69)
任务三 中性点直接接地电网中接地短路的零序电流及方向保护·····	(82)
任务四 中性点非直接接地系统单相接地保护·····	(97)
项目三 电网距离保护·····	(109)
任务一 电网距离保护·····	(109)
任务二 影响距离保护正确工作的因素及防止方法·····	(141)
项目四 输电线路全线速动保护·····	(163)
任务一 高频保护·····	(163)
任务二 光纤纵联电流差动保护·····	(183)
项目五 变压器保护·····	(213)
任务一 变压器非电量保护·····	(213)
任务二 变压器差动保护·····	(221)
任务三 变压器相间短路的后备保护·····	(258)
任务四 变压器接地短路的后备保护·····	(276)
项目六 发电机保护·····	(301)
任务一 发电机纵差保护·····	(301)
任务二 发电机定子绕组单相接地保护·····	(314)
任务三 发电机定子绕组匝间短路保护·····	(327)
任务四 发电机励磁回路接地保护·····	(339)
任务五 发电机后备保护·····	(347)
任务六 发电机其他保护·····	(357)



项目七 母线保护.....	(384)
任务一 母线电流差动保护.....	(384)
任务二 断路器失灵保护.....	(405)
项目八 二次接线技术.....	(417)
任务一 发电厂、变电站操作电源	(418)
任务二 断路器控制回路.....	(432)
任务三 发电厂、变电站中央信号系统	(456)
参考文献.....	(470)



项目一 继电保护技术基础知识

【项目描述】

通过对本项目的学习,了解电力系统的故障和不正常工作状态;了解继电保护技术的基本任务和基本要求;了解微机保护的基本概念、硬件结构等基本知识;掌握一次设备、二次设备与二次回路基本知识。

【学习目标】

1. 知识目标

- (1)了解电力系统的故障和不正常工作状态;
- (2)了解继电保护的发展历史;
- (3)掌握继电保护的基本任务和基本要求;
- (4)了解继电保护的组成和基本原理;
- (5)熟悉常用电磁型继电器的分类与符号;
- (6)了解微机保护的基本概念;
- (7)了解微机保护装置的基本硬件结构;
- (8)了解微机保护的算法;
- (9)了解二次回路常用设备的符号;
- (10)熟悉二次回路的基本概念和分类。

2. 能力目标

- (1)熟悉各种电磁型继电器的结构和动作过程;
- (2)掌握电磁型电流、电压继电器动作特性试验方法;
- (3)了解微机保护装置的硬件系统;
- (4)了解微机保护装置定值调整的步骤;
- (5)熟悉二次回路识绘图方法;
- (6)能看懂基本的二次回路图。

【学习环境】

为了完成上述教学目标,要求具有与现场相似的微机保护实训场所(或微机保护一体化教室),具有微机线路保护、微机变压器保护等基本的微机保护装置,具有二次接线实训室。同时应具有微机保护装置检验调试所需的仪器仪表、工器具、相关材料等,具有电磁型继电器、常规保护装置、调压器、滑线变阻器、电流表等常规试验仪器设备,具有可以开展一体化教学的多媒体教学设备。



任务一 继电保护基础知识

学习目标

通过对电流继电器等电磁型继电器的讲解和检验,使学生在完成本任务的学习过程中达到以下3个方面的目标:

1. 知识目标

- (1)了解电力系统的故障和不正常工作状态;
- (2)了解继电保护的基本任务;
- (3)掌握对继电保护的基本要求;
- (4)了解继电保护的基本原理;
- (5)了解常用电磁型继电器的分类与符号;
- (6)了解各种电磁型继电器的结构和动作过程。

2. 能力目标

- (1)具有测试常规电磁型继电器特性的能力;
- (2)具有使用常规试验仪器、仪表的能力。

3. 态度目标

- (1)不旷课,不迟到,不早退;
- (2)具有团队意识、协作精神;
- (3)积极向上努力按时完成老师布置的各项任务;
- (4)责任意识,安全意识,规范意识。

任务描述

在教师的指导下对常规继电保护装置外观进行检查,认识电磁型继电器,按图连接试验电路,观察电磁型电流继电器的动作现象,测定和校验电磁型继电器的启动电流,测定返回电流并计算返回系数。

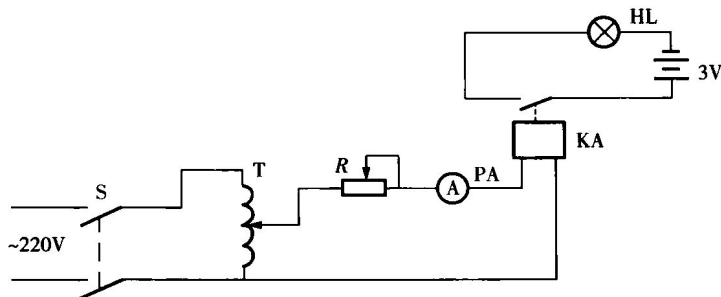


图 1-1 电磁型电流继电器的动作特性试验接线图



任务准备

1. 工作准备

学习阶段	工作(学习)任务	工作目标
入题阶段	明确学习任务目标及主要学习内容	明确任务
	介绍继电保护的发展史、基本概念等	获取相关基础知识
准备阶段	划分小组,规划任务,制订工作计划;围绕学习目标准备考察学习的议题	明确工作计划、目的
分工阶段	在实训室参观继电保护装置,了解继电保护的发展史和基本组成	获取直观感性认识
	每组分工,分组按图连线	接线正确

2. 主要设备(每组)

序 号	符 号	名 称	数 量
1	T	单相自耦调压器	1 台
2	R	滑线变阻器	1 台
3	PA	电流表	1 只
4	KA	电流继电器	1 只
5	HL	指示灯	1 只
6	E	1.5V 干电池	2 只

任务实施

(1)按图 1-1 实验接线图接好线,电流整定值调整好。

(2)使调压器的指针处于最低位,使滑线电阻器处于最高电阻值,准备测量动作电流及返回电流。

(3)接通电源,通过改变调压器和滑线电阻,增大电流达到使继电器动作的最小电流称为动作电流,此时继电器接点闭合(指示灯 HL 亮),读取此动作电流。

(4)通过改变调压器的调整把手,减小电流,待触点打开为止(指示灯 HL 灭),此电流为返回电流,读取此返回电流。

(5)重新测量动作电流、返回电流,每个整定值测三次,取平均值。返回系数要在 0.85~0.90 才算合格。

(6)填写继电器特性测试记录表格。



表 1-1 电磁型过电流继电器动作特性试验数据表

整定电流值	实测次数	实测动作电流	实测返回电流	返回系数
1.8A				
2.4A				
平均值				

相关知识

继电保护基础知识

一、继电器

继电器是构成继电保护的基本元件。继电器按组成元件分为机电型(包括电磁型和感应型)、晶体管型、集成电路型、微机型等。本项目所涉及的常规继电器主要指的是电磁型和感应型继电器,一般用于 35kV 及以下电网和工厂供电系统。

继电器输入量和输出量之间的关系,如图 1-2 所示。图中 X 是加于继电器的输入量, 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。当输入量 X 增加到动作量 X_{OP} 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 $X > X_r$ 的过程中,输出量保持不变。当输入量 X 减小到 X_r 时,输出量 Y 突然由最大 Y_{max} 变到最小 Y_{min} ,称为继电器返回。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。返回值 X_r 与动作值 X_{OP} 之比称为继电器的返回系数,以 K_r 表示,则 $K_r = X_r / X_{OP}$ 。

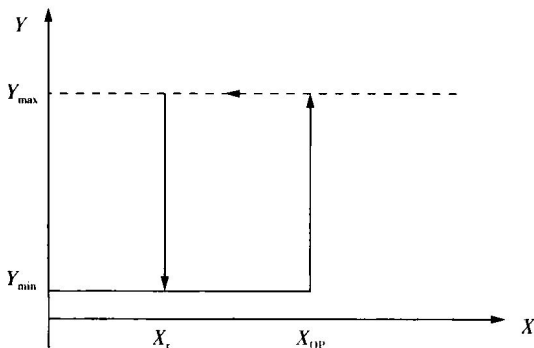


图 1-2 继电特性

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



国产保护继电器,一般用汉语拼音字母表示它的型号。型号中第一个字母表示继电器的工作原理。第2(或第3)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。常用继电器型号中字母的含义见表 1-2。

表 1-2 常用保护继电器型号中字母的含义

第一个字母	第二、三个字母	
D—电磁型	L—电流继电器	Z—阻抗继电器
L—整流型	Y—电压继电器	FY—负序电压继电器
B—半导体性	G—功率方向继电器	CD—差动继电器
J—极化型或晶体管型	X—信号继电器	ZB—中间继电器

1. 电磁型电流继电器

电流继电器的文字符号为 KA,其图形符号如图 1-3 所示。图中方框表示电流继电器的线圈,方框上面的符号表示电流继电器的动合触点。在电流保护中常用 DL-10 型电流继电器,它是一种转动舌片式瞬时动作的电磁型继电器,当电磁铁线圈中有电流通过时,衔铁克服反作用力矩而处于动作状态。当电流升高至整定值(或大于整定值)时,继电器立即动作,常开接点闭合,常闭接点断开;当电流降低小于返回电流时,继电器立即返回,常开接点断开、常闭接点闭合,结构如图 1-4 所示。



图 1-3 电流继电器的图形符号

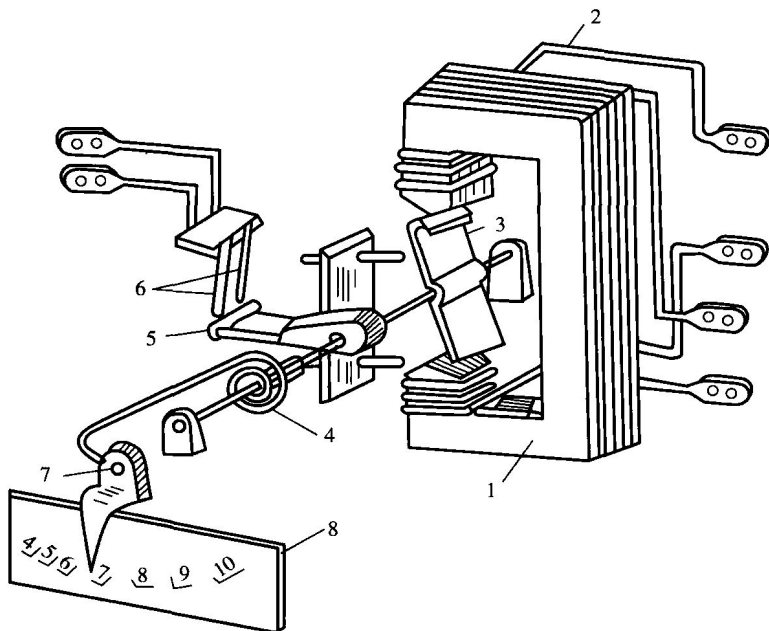


图 1-4 DL-10 型电磁型电流继电器的结构图

1—电磁铁;2—绕组;3—Z形舌片;4—弹簧;5—动触点;6—静触点;7—整定值调整把手;8—刻度盘

过电流继电器线圈中使继电器动作的最小电流,称为继电器的动作电流用 I_{OP} 表示。使继电器由动作状态返回到起始位置的最大电流,称为继电器的返回电流用 I_r 表示。继电



器的返回电流与动作电流的比值称为继电器的返回系数用 K_r 表示, 即 $K_r = I_r / I_{OP}$ 。对于过量继电器(例如过电流继电器) K_r 总小于 1。

2. 电磁型电压继电器

电压继电器的文字符号为 KV。电压继电器分为过电压继电器和低电压继电器两种, 其图形符号分别如图 1-5a、b 所示。



图 1-5 电压继电器的图形符号

a) 过电压继电器 b) 低电压继电器

图 1-5 中方框表示电压继电器的线圈, 过电压继电器一般配有动合触点, 低电压继电器一般配有动断触点。

过电压继电器线圈中使继电器动作的最小电压, 称为继电器的动作电压, 用 U_{OP} 表示。使继电器由动作状态返回到起始位置的最大电压, 称为继电器的返回电压用 U_r 表示。继电器的返回电压与动作电压的比值称为继电器的返回系数, 用 K_r 表示, 即 $K_r = U_r / U_{OP}$ 。

低电压继电器线圈中使继电器动作的最大电压, 称为继电器的动作电压, 用 U_{OP} 表示。使继电器由动作状态返回到起始位置的最小电压, 称为继电器的返回电压, 用 U_r 表示。低电压继电器的返回系数仍为返回电压与动作电压的比值, 但返回系数 K_r 总大于 1。

3. 电磁型时间继电器

时间继电器在继电保护装置中用来使保护装置获得所要求的延时。时间继电器的文字符号为 KT, 其图形符号如图 1-6 所示, 图中方框表示时间继电器的线圈, 时间继电器一般配有瞬时打开延时闭合的动合触点。

4. 电磁型信号继电器

信号继电器在继电保护和自动装置中作为装置动作的信号指示, 标示装置所处的状态或接通灯光信号(音响)回路。根据信号继电器发出的信号指示, 运行维护人员能够方便地分析事故和统计保护装置正确动作次数。信号继电器的触点为自保持触点, 应由值班人员手动复归或电动复归。信号继电器的文字符号为 KS, 其图形符号如图 1-7 所示, 图中方框表示信号继电器的线圈, 信号继电器一般配有动合触点。

5. 电磁型中间继电器

中间继电器是保护装置中不可少的辅助继电器, 与电磁式电流、电压继电器相比具有如下特点: 触点容量大, 可直接作用于断路器跳闸; 触点数目多, 可同时断开或接通几个不同的回路; 可实现时间继电器难以实现的延时。中间继电器的文字符号为 KM。其图形符号如图 1-8 所示。图中方框表示中间继电器的线圈, 中间继电器一般配有多个动合触点或动断触点。

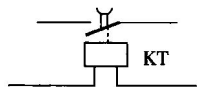


图 1-6 时间继电器图形符号

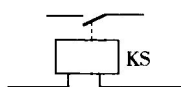


图 1-7 信号继电器图形符号图

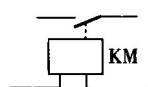


图 1-8 中间继电器图形符号



二、继电保护装置的基本任务

电力系统由发电机、变压器、母线、输配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、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。

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

(1)当电力系统中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)当电力系统中被保护元件出现异常工作状态时,继电保护装置应能及时反应,并根据运行维护条件,动作于发出信号、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,以免不必要的动作和由于干扰而引起的误动作。

三、继电保护的发展历史

继电保护技术是随着电力系统的发展而发展起来的。电力系统中的短路是不可避免的,短路必然伴随着电流的增大,因而为保护电气设备免受短路电流的破坏,首先出现了反应电流超过一预定值的过电流保护。熔断器就是最早的、最简单的过电流保护。这种保护方式时至今日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、变电站和供电网的接线不断复杂化,电力系统中正常工作电流和短路电流都不断增大,熔断器已不能满足选择性和快速性的要求,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。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(直接反应于一次短路电流)的电磁型过电流继电器。20世纪初随着电力系统的发展,继电器才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年出现感应型过电流继电器,1908年提出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流与电压相比较的保护原理,并促使20世纪20年代初距离保护装置的出现。随着电力系统载波通信的发展,在1927年前后,出现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,从而出现利用微波传送和比较输电线两端故障电气量的微波保护。早在20世纪50年代就出现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,终于诞生的行波保护装置。随着光纤通信将在电力系统中的大量采用,利用光纤通道的继电保护得到广泛应用。

以上是继电保护原理的发展过程。与此同时,构成继电保护装置的元件、材料、保护装置的结构型式和制造工艺也发生了巨大的变革。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很广的保护装置。但这种保护装置体积大、消耗功率大、动作速度慢,机械转动部分和触点容易磨损或粘连,调试维护比较复杂,不能满足超高压、大容量电力系统的要求。

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。晶体管保护装置易受电力系统中或外界的电磁干扰的影响而误动或损坏,当时其工作可靠性低于机电式保护装置。但经过 20 余年长期的研究和实践,抗干扰问题从理论上和实践上都得到满意的解决,使晶体管继电保护装置的正确动作率达到了和机电式保护装置同样的水平。20 世纪 70 年代是晶体管继电保护装置在我国大量采用的时期,满足了当时电力系统向超高压、大容量发展的需要。

由于集成电路技术的飞速发展,人们有可能将数十个或更多晶体管集成在一个半导体芯片上,从而出现体积更小,工作更加可靠的集成运算放大器和其他集成电路元件。这促使静态继电保护装置向集成电路化方向发展。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。20 世纪 90 年代开始向微机保护过渡。目前,微机保护装置已取代集成电路式继电保护装置,成为静态继电保护装置的主要形式。微机保护具有强大的计算、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原理。微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,微机保护可用同一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。微机保护除保护功能外,还兼有故障录波、故障测距、事件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,已成为继电保护装置的主要型式,成为电力系统保护、控制、运行调度及事故处理的统一计算机系统的组成部分。

由于计算机网络的发展和在电力系统中的大量采用给微机保护提供了不可估量的发展空间。微机硬件和软件功能的空前强大,变电站综合自动化和调度自动化的兴起和电力系统光纤通信网络的逐步形成使得微机保护不能也不应再是一个个孤立的、任务单一的、“消极待命”的装置,而应是积极参与,共同维护电力系统整体安全稳定运行的计算机自动控制系统的基本组成单元。因而 1993 年前后出现了测量、保护、控制和数据通信一体化的设想和研究工作。在此设想中,微机保护作为一体化装置将就近装设在室外变电站被保护设备或元件的附近,直接采取其电流和电压,将其数字化后一方面用于保护功能的计算,一方面通过计算机网络送到本站主机和系统调度。同时,微机保护不仅根据故障情况实行被保护设备的切除或自动重合,还作为自动控制系统的终端,接受调度命令实行跳、合闸等控制操作,以及故障诊断、稳定预测、安全监视、无功调节、负荷控制等监控功能。

此外,由于计算机网络提供的数据信息共享的优越性,微机保护可以占有全系统的运行数据和信息,应用自适应原理和人工智能方法使保护原理,性能和可靠性得到进一步的发展和提高,使继电保护技术沿着网络化、智能化、自适应和保护、测量、控制、数据通信一体化的方向不断前进。

继电保护是电力科学中最活跃的分支,在 20 世纪 50 至 90 年代的 40 年时间有机电式、整流式、晶体管式、集成电路式和微机式五个发展阶段。电力系统的快速发展为继电保护技



术提出了艰巨的任务,电子技术、计算机技术、通信技术又为继电保护技术的发展不断注入新的活力,因此可以预计,继电保护学科必将不断发展,达到更高的理论和技术高度。

四、继电保护的组成

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比较元件、逻辑判断元件和执行输出元件三部分组成,如图 1-9 所示。



图 1-9 继电保护装置的组成方框图

1. 测量比较元件

测量比较元件测量通过被保护电力元件的物理参量,并与给定值进行比较,根据比较结果,给出“是”或“非”性质的一组逻辑信号,从而判断保护装置是否应该启动。根据需要,继电保护装置往往具有一个或多个测量比较元件。常用的测量比较元件有:被测电气量超过给定值而动作的继电器,如过电流继电器、过电压继电器等;被测电气量低于给定值而动作的欠量继电器,如低电压继电器、阻抗继电器等;被测电压、电流之间相位角满足一定值而动作的继电器,如功率方向继电器等。

2. 逻辑判断元件

逻辑判断元件根据测量比较元件输出逻辑信号的性质、先后顺序、持续时间等,使保护装置按一定的逻辑关系判定故障的类型和范围,最后确定是否应该使断路器跳闸、发出信号或不动作,并将对应的指令传给执行输出元件。

3. 执行输出元件

执行输出元件根据逻辑判断元件传来的指令,发出跳开断路器的跳闸脉冲及相应的动作信息、发出警报或不动作。

五、继电保护的基本原理

要完成电力系统继电保护的基本任务,继电保护装置就必须能够正确区分电力系统的正常工作状态、不正常工作状态和故障状态,必须能够正确甄别发生故障和出现异常的元件。继电保护的基本原理就是寻找电力元件在这三种运行状态下的可测参量(主要是电气量)的差异,依据这些差异就可以实现对正常工作、不正常工作和故障元件的正确而又快速的甄别。依据可测电气量的不同差异,就可以构成不同原理的继电保护装置。发现并正确利用能可靠区分三种运行状态的可测参量或参量的新差异,就可以形成新的继电保护原理。

目前已经发现不同运行状态下具有明显差异的电气量主要有:流过电力元件的相电流、序电流、功率及其方向,元件的运行相电压、序电压,元件的电压与电流的比值即“测量阻抗”,电压与电流之间的相位,故障时的突变量等。

1. 利用基本电气参数量的区别

(1)过电流保护。反应电流增大而动作的保护称为过电流保护。如图 1-10 所示,在正常运行时,线路上流过由它供电的负荷电流。若在 BC 线路上发生三相短路,则从电源到短路点 K 之间将流过短路电流 $\dot{I}_k$,可以使保护 1、2 反应到这个电流,首先由保护 2 动作于断



路器 QF2 跳闸。

(2)低电压保护。反应电压降低而动作的保护称为低电压保护。如图 1-10 所示,正常运行时,各母线上的电压一般都在额定电压 $\pm(5\sim 10)\%$ 范围内变化。若在 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 都能反应到电压下降,首先由保护 2 动作于断路器 QF2 跳闸。

(3)距离保护。反应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,也称为距离保护。如图 1-10 所示,在正常运行时,线路始端的电压与电流之比反应的是该线路与供电负荷的等值阻抗及负荷阻抗角(功率因数角),其数值一般较大,阻抗角较小。若在 BC 线路 K 点发生短路时,BC 线路始端的电压与电流之比反应的是该测量点到短路点之间线路段的阻抗 Z_k ,其值较小,一般正比于该线路段的距离(长度),阻抗角为线路阻抗角,其值较大。

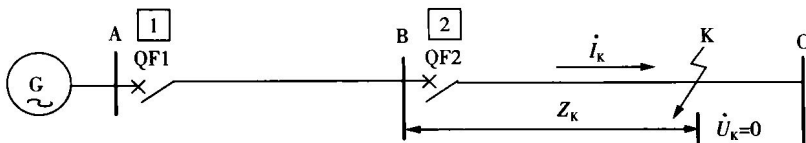


图 1-10 单侧电源线路

2. 利用比较两侧的电流相位(或功率方向)

如图 1-11 所示的双侧电源网络,若规定电流的正方向是从母线指向线路,如图 1-11a 所示。在正常运行时,线路 AB 两侧的电流大小相等相位差为 180° ,如图 1-11b 所示;当在线路 BC 的 K_1 点发生短路故障时,线路 AB 两侧的电流大小仍相等相位差仍为 180° ,如图 1-11c 所示;当在线路 AB 内部的 K_2 点发生短路故障时,线路 AB 两侧的短路电流大小一般不相等,相位相同。由此可见,若两侧电流相位(或功率方向)相同,则判定为被保护线路内部故障;若两侧电流相位(或功率方向)相反,则判定为区外短路故障。利用比较被保护线路两侧电流相位(或功率方向),可以构成纵联差动保护、相差高频保护、方向保护等。

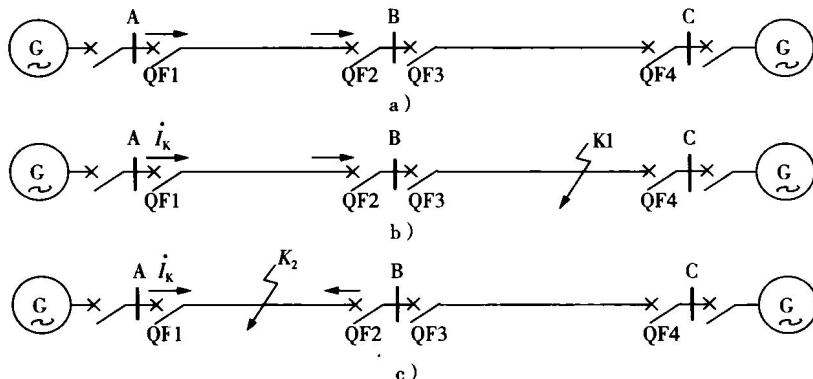


图 1-11 双侧电源线路

a) 正常运行 b) 外部故障 c) 内部故障

3. 反映序分量或突变量是否出现

电力系统在对称运行时,不存在负序和零序分量;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、不对称短路保护。

4. 反映非电量保护

除反映上述各种电气量变化特征的保护外,还可以根据电力元件的特点实现反映非电量特征的保护。例如,当变压器油箱内部的绕组短路时,反映于变压器油受热分解所产生的气体构成瓦斯保护;反映绕组温度升高构成的过负荷保护等。

六、对继电保护的基本要求

动作于跳闸的继电保护,在技术上一般应满足四条基本要求,即选择性、速动性、灵敏性和可靠性。

1. 选择性

选择性是指继电保护装置动作时,仅将故障元件从电力系统中切除,保证系统中非故障元件仍然能够继续安全运行,使停电范围尽量缩小。

如图 1-12 所示,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,这种动作是有选择性的。若 K₂ 点故障,保护 5 动作将 QF5 断开,变电所 C 和 D 都将停电,这种动作是无选择性的。同样 K₁ 点故障时,保护 1 和保护 2 动作断开 QF1 和 QF2,将故障线路 L1 切除,这种动作也是有选择性的。若 K₂ 点故障,保护 6 或断路器 QF6 拒动,保护 5 动作将断路器 QF5 断开,故障切除,这种情况虽然是越级跳闸,但却尽量缩小了停电范围,限制了故障的发展,这种动作也是有选择性的。

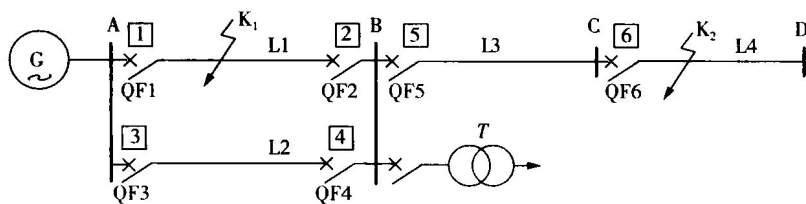


图 1-12 单侧电源网络中保护选择性动作说明图

2. 速动性

速动性是指尽可能快地切除故障,以减少设备及用户在大短路电流、低电压下的运行时间,降低设备的损坏程度,提高系统并列运行的稳定性以及自动重合闸和备用电源自动投入装置的动作成功率。

3. 灵敏性

灵敏性是指保护装置对其保护范围内发生的故障或不正常工作状态的反应能力。满足灵敏性要求的保护装置应该是在规定的保护范围内部故障时,在系统任意的运行条件下,无论短路点的位置、短路的类型如何,以及短路点是否有过渡电阻,当发生短路时都能灵敏反应。

灵敏性通常用灵敏系数 K_{sen} 或灵敏度来衡量。

对于反映故障时参数增大而动作的保护装置,其灵敏系数为:



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

对于反映故障时参数减小而动作的保护装置,其灵敏系数为:

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

在国家标准 GB14285—1993《继电保护和安全自动装置技术规程》中,对各类保护灵敏系数的要求都作了具体规定。

4. 可靠性

可靠性是指在该保护装置规定的保护范围内发生了它应该动作的故障时,它不应该拒绝动作,而在发生任何其他该保护不应该动作的故障时,则不应该误动作。

保护装置的可靠性主要依赖于保护装置本身的质量和运行维护水平。一般来说,保护装置的组成元件质量越高、接线越简单、回路中继电器的触点数量越少,可靠性越高。同时,精细的制造工艺、正确的调整试验、良好的运行维护以及丰富的运行经验,对于提高保护的可靠性也具有重要的作用。

保护装置的误动和拒动都会给电力系统造成严重的危害。但提高其不误动的可靠性和不拒动的可靠性的措施常常是互相矛盾的。由于电力系统的结构和负荷性质的不同,误动和拒动的危害程度也有所不同,因而提高保护装置可靠性的着重点在各种具体情况下也应有所不同。

以上四个基本要求是分析研究继电保护性能的基础。在它们之间既有矛盾的一面,又有统一的一面。可以这样说,继电保护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对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,在本课程的学习过程中,应该注意学会按对保护基本要求的观点,去分析每种保护装置的性能。

拓展训练

电磁型电压继电器电气特性试验

电磁型电压继电器分为过电压继电器与低电压继电器两类,其动作特性不同。

一、过电压继电器的动作特性试验

过电压继电器动作特性试验接线如图 1-13 所示。过电压继电器属于过量继电器,动作电压和返回电压的检验程序类似电流继电器。试验设备主要有单相自耦调压器、电压表、过电压继电器(DY-21C)、指示灯、干电池等。

试验时,缓慢调节调压器 T,使电压从零开始均匀增加,直到继电器动作(指示灯 HL 亮),记录动作电压,然后逐渐减小电压使继电器返回(指示灯 HL 灭),记录返回电压。如此重复 3 次,每次测量的动作值与整定值误差不应大于 $\pm 3\%$,然后取其 3 次平均值,并计算出返回系数。相关试验数据填入表 1-3 中。