

高职高专机电类专业统编教材
全国水利水电高职教研会组编

SHUIDIANZHAN JIDIAN BAOHU

水电站继电保护

李付亮 周宏伟 主编



黄河水利出版社

PDG

高职高专机电类专业统编教材
全国水利水电高职教研会组编

水 电 站 继 电 保 护

主 编 李付亮 周宏伟
副主编 高汝武 蓝旺英
主 审 路文梅

黄 河 水 利 出 版 社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是高职高专机电类统编教材,是根据全国水利水电高职教研会制定的《水电站继电保护》课程教学大纲编写完成的。全书共分两篇共 13 章。第一篇常规继电保护分为 6 章,分别是常规继电保护装置的基础元件、电网相间短路的电流电压保护、电网的接地保护、电网的距离保护、电力变压器的继电保护、水轮发电机的继电保护;第二篇微机型继电保护分为 7 章,分别是微机继电保护概述、微机继电保护的硬件原理、微机继电保护的软件原理、微机线路保护、微机变压器保护、微机水轮发电机保护和微机继电保护装置运行管理。为配合教学,每章附有习题供学生加强理解。

本书除作为小型水电站及电力网、电力系统自动化技术、水电站机电设备、供用电技术等专业的教材外,还可供其他学习继电保护和从事继电保护工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站继电保护/李付亮,周宏伟主编. —郑州:黄河水利出版社,2008. 9

高职高专机电类专业统编教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 499 - 5

I. 水… II. ①李…②周… III. 水力发电站 - 继电保护 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TV734

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 140830 号

组稿编辑:简群 电话:0371 - 66023343,13608695873 E-mail:w_jq001@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 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:hhslebs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:19

字数:439 千字

印数:1—4 100

版次:2008 年 9 月第 1 版

印次:2008 年 9 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

前 言

本书是根据全国水利水电高职教研会组织的机电类第二轮专业教材编写工作会议精神,按照小型水电站及电力网、电力系统自动化技术等专业水电站继电保护课程大纲编写的。

本书立足高职教育的需要,在“必须、够用”原则的指导下,体现了如下特点:

(1)注重实用性。高职学院培养人才的规格定位在高级技能型,对于这一类人才的培养要注重面向工程实践,培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。因此,在教材的编写过程中,注重引用工程中的实例,培养学生的工程意识和工程应用能力。

(2)加强课程内容的整合。本书在编写过程中,将常规保护与微机保护两部分内容进行了有效整合。另外,不专门介绍线路的纵差保护,把有关内容穿插到变压器的纵差保护中。

(3)体现新颖性。更新教材内容,跟进时代,加入一些新的实用的知识,同时淘汰一些陈旧过时的内容。

(4)院校合作交流的成果。教材由来自全国几所不同水利水电高职学院的教师共同编写而成,反映了参与编写院校的好的经验和做法。

本书由湖南水利水电职业技术学院李付亮编写绪论及第二篇的第一、二、五、六、七章;马威编写第一篇的第三章;四川水利职业技术学院周宏伟编写第一篇的第五、六章;福建水利电力职业技术学院高汝武编写第二篇的第三、四章;安徽水利水电职业技术学院蓝旺英编写第一篇的第一、二章;云南农业大学水利水电职业技术学院来倩编写第一篇的第四章。全书由李付亮统稿。

本书由河北工程技术高等专科学校路文梅教授主审,在审阅过程中提出了许多宝贵意见和建议,在此表示深切感谢!

本书在编写过程中得到了湖南大学周有庆教授的大力指导,在此一并表示感谢。

限于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,恳切希望广大读者批评指正。

编 者

2008年6月

目 录

前 言

绪 论	(1)
第一节 电力系统继电保护的任务和作用	(1)
第二节 对继电保护的基本要求	(3)
第三节 继电保护的工作原理、构成及发展史	(6)
习 题	(10)

第一篇 常规继电保护

第一章 常规继电保护装置的基础元件	(11)
第一节 电流互感器和电压互感器	(11)
第二节 测量变换器	(15)
第三节 对称分量滤过器	(18)
第四节 电磁式继电器	(23)
习 题	(34)
第二章 电网相间短路的电流电压保护	(35)
第一节 单侧电源网络相间短路的电流保护	(35)
第二节 电流保护的接线方式	(46)
第三节 阶段式电流保护	(52)
第四节 电流电压联锁保护	(56)
第五节 双侧电源网络的电流保护	(58)
习 题	(73)
第三章 电网的接地保护	(75)
第一节 电网的接地方式及其保护特点	(75)
第二节 大电流接地系统的零序电流保护	(76)
第三节 方向性零序电流保护	(81)
第四节 小电流接地系统的单相接地保护	(83)
习 题	(86)
第四章 电网的距离保护	(87)
第一节 距离保护的基本原理	(87)
第二节 阻抗继电器	(90)
第三节 阻抗继电器的接线方式	(101)
第四节 距离保护的整定计算	(105)

第五节	影响距离保护正确工作的因素	(112)
习 题	.....	(121)
第五章	电力变压器的继电保护	(123)
第一节	电力变压器的故障、异常工作状态及保护装置	(123)
第二节	变压器的瓦斯保护	(125)
第三节	变压器的电流速断保护	(128)
第四节	变压器的纵联差动保护	(129)
第五节	变压器相间短路的后备保护和过负荷保护	(140)
第六节	电力变压器接地保护	(144)
第七节	变压器保护装置的整定计算实例	(147)
第八节	电力变压器保护全图举例	(152)
习 题	.....	(154)
第六章	水轮发电机的继电保护	(155)
第一节	水轮发电机的故障、异常运行方式和继电保护装置	(155)
第二节	水轮发电机的纵联差动保护	(158)
第三节	水轮发电机定子匝间短路保护	(164)
第四节	水轮发电机的电流电压保护	(165)
第五节	发电机定子接地保护	(170)
第六节	发电机转子绕组的接地保护	(173)
第七节	水轮发电机的失磁保护	(175)
第八节	水轮发电机保护回路接线图举例	(175)
第九节	发电机—变压器组的继电保护	(179)
习 题	.....	(184)

第二篇 微机型继电保护

第一章	微机继电保护概述	(185)
习 题	.....	(187)
第二章	微机继电保护的硬件原理	(188)
第一节	微机保护装置的硬件结构	(188)
第二节	微机保护的数据采集系统(模拟量输入系统)	(189)
第三节	保护 CPU 插件部分	(197)
第四节	开关量输入输出回路原理	(199)
第五节	DSP 技术的应用	(201)
第六节	微机继电保护装置的抗干扰措施	(204)
习 题	.....	(209)
第三章	微机继电保护的软件原理	(210)
第一节	微机保护系统程序流程	(210)

第二节	微机保护算法	(218)
第三节	数字滤波器概述	(228)
习 题	.....	(230)
第四章	微机线路保护	(231)
第一节	微机线路保护装置	(231)
第二节	WXH-823 微机线路保护装置	(231)
第三节	WXH-811 微机线路保护装置	(238)
习 题	.....	(250)
第五章	微机变压器保护	(251)
第一节	微机变压器保护的配置	(251)
第二节	WBH-812 微机变压器保护装置	(251)
第三节	WBH-813 微机变压器保护装置	(257)
第四节	WBH-814 微机变压器保护装置	(266)
习 题	.....	(267)
第六章	微机水轮发电机保护	(268)
第一节	微机水轮发电机保护配置	(268)
第二节	WFB-821 微机发电机保护装置	(269)
第三节	WFB-822 微机发电机保护装置	(271)
习 题	.....	(279)
第七章	微机继电保护装置运行管理	(280)
第一节	人机界面及操作	(280)
第二节	微机保护装置的运行维护	(286)
习 题	.....	(290)
附录 1	常用文字符号	(291)
附录 2	短路保护的最小灵敏系数	(294)
参考文献	.....	(296)

绪 论

教学目标 通过教学,使学生掌握电力系统为什么要装设继电保护装置;掌握对继电保护装置四“性”要求的内涵及其相互关系;掌握继电保护的一般组成与基本原理;了解继电保护的发展史。

教学重点 继电保护的作用;对继电保护的基本要求的内涵及其相互关系;继电保护的一般组成。

教学难点 对继电保护的基本要求的内涵及其相互关系。

第一节 电力系统继电保护的任务和作用

一、电力系统的正常工作状态

电力系统是电能生产、变换、输送、分配和使用的各种电力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。一般将电能通过的设备称为电力系统的一次设备,如发电机、变压器、断路器、母线、输电线路、电动机及其他用电设备等。对一次设备的运行状态进行监视、测量、控制和保护的装置,称为电力系统的二次设备。当前电能一般还不能大容量的存储,生产、输送和消费是在同一时间完成的。因此,电能的生产量应每时每刻与电能的消费量保持平衡,并满足质量要求。由于一年内夏、冬季的负荷较春、秋季的大,一星期内工作日的负荷较休息日的大,一天内的负荷也有高峰与低谷之分,电力系统中的某些设备,随时都有因绝缘材料的老化、制造中的缺陷、自然灾害等原因出现故障而退出运行。为满足时刻变化的负荷用电需求和电力设备安全运行的要求,致使电力系统的运行状态随时都在变化。

电力系统的运行状态是指电力系统在不同运行条件(如负荷水平、出力配置、系统接线、故障等)下系统与设备的工作状况。根据不同的运行条件,可以将其分为正常状态、不正常状态和故障状态。电力系统运行控制的目的是通过自动的和人工的控制,使电力系统尽快摆脱不正常状态和故障状态,并能够长时间在正常状态下运行。

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需求;电力系统中各发电、输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均在允许的偏差范围内,提供合格的电能。一般在正常状态下的电力系统,其发电、输电和变电设备还保持一定的备用容量,能满足负荷随机变化的需要,同时在保证安全的条件下,可以实现经济运行;能承受常见的干扰(如部分设备的正常和故障操作),从一个正常状态和不正常状态、故障状态通过预定的控制连续变化到另一个正常状态,而不至于进一步产生有害的后果。

二、常见的不正常工作状态及其危害

介于正常运行状态与故障状态之间的电力系统工作状态,称为不正常运行状态。例如,因负荷潮流超过电力设备的额定上限造成的电流升高(又称过负荷)、系统中出现功率缺额而引起的频率降低、中性点不接地系统和非有效接地系统中的单相接地引起的非接地相对地电压的升高以及电力系统发生振荡等,都属于不正常运行状态。

过负荷将使电力设备的载流部分和绝缘材料的温度超过散热条件的允许值而不断升高,造成载流导体的熔断或加速绝缘材料的老化和损坏,可能发展成故障。电压的升高有可能超过绝缘介质的耐压水平,造成绝缘损坏,酿成短路;照明设备的寿命明显缩短;变压器和电动机由于铁芯饱和,损耗和温升都将增加。频率变化将引起异步电动机转速变化,使由此驱动的纺织、造纸等机械制造的产品质量受到影响,甚至出现残次品;电动机转速和功率的降低,导致传动机械的出力降低;工业和国防部门使用的测量、控制等电子设备将因频率的波动而影响其准确性和工作性能,甚至无法工作;频率降低还可能导致系统不稳定,甚至出现频率崩溃。

因此,必须识别电力系统的不正常工作状态,并通过自动和人工的方式消除这种不正常现象,使系统尽快恢复到正常运行状态。

三、故障状态及其危害

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、过电压、误操作、设计制造缺陷等原因会发生短路、断线等故障。最常见的同时也是最危险的故障是发生各种类型的短路。

电力系统中发生短路故障时,可能会产生严重后果:①数值较大的短路电流通过故障点时,引燃电弧,使故障设备损坏或烧毁;②短路电流通过非故障设备时,发热并产生电动力,使其绝缘遭受到破坏或缩短设备使用年限;③电力系统中部分地区电压值大幅度下降,将破坏电能用户正常工作或影响产品质量;④破坏电力系统中各发电机之间并联运行的稳定性,使系统振荡,从而使事故扩大,甚至使整个电力系统瓦解。

短路包括三相短路、两相短路、两相接地短路和单相接地短路。不同类型的短路发生的概率是不同的,不同类型的短路电流的大小也不同,一般为额定电流的几倍到几十倍。大量的现场统计数据表明,在高压电网中,单相接地短路次数占所有短路次数的85%以上。2002年我国220 kV电网共有输电线路3 884条,线路总长度150 026 km,共发生故障1 487次,故障率为0.99次/(100 m·a)。表0.1给出了2002年我国220 kV电网输电线路各种类型故障发生的次数和百分比。

表0.1 2002年我国220 kV电网输电线路故障统计

故障类型	三相短路	两相短路	两相接地短路	单相接地短路	其他故障
故障次数	17	28	91	1 319	32
故障百分比(%)	1.14	1.88	6.12	88.7	2.16

电力系统中发生不正常运行状态和故障时,都可能引起系统事故。事故是指系统或其中一部分的正常工作遭到破坏,造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的程度,甚至造成人身伤亡和电气设备损坏。

系统事故的发生,除自然因素(如遭受雷击等),一般都是由设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当引起的,因此应提高设计和运行水平,并提高制造与安装质量,这样可能大大减小事故发生的几率。但是不可能完全避免系统故障和不正常运行状态的发生,故障一旦发生,故障量将以近似于光速的速度影响其他非故障设备,甚至引起新的故障。为防止系统事故扩大,保证非故障部分仍能可靠地供电,并维持电力系统运行的稳定性,要求迅速而有选择性地切除故障元件。切除故障的时间有时要求短到十分之几秒到百分之几秒(即分数秒),显然,在这么短的时间内,由运行人员发现故障设备,并将故障设备切除是不可能的。因此,只有借助于安装在每一个电气设备上的自动装置,即继电保护装置,才能实现。

四、继电保护装置

继电保护装置是指安装在被保护元件上,反映被保护元件故障或不正常运行状态并作用于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。继电保护装置最初是以机电式继电器为主构成的,现代则已发展成以电子元件或微型计算机或可程序控制器为主构成。“继电保护”一词泛指继电保护技术或由各种继电保护装置组成的继电保护系统。

五、继电保护装置的基本任务

继电保护装置的基本任务如下:

(1)自动、迅速、有选择性地将被保护元件从电力系统中切除,使故障元件免于继续遭到破坏,并保证其他非故障元件迅速恢复正常运行。

(2)反映电气元件不正常运行情况,并根据不正常运行情况种类和电气元件维护条件,发出信号,由运行人员进行处理或自动地调整或将那些继续运行会引起事故的电气元件予以切除。反映不正常运行情况的继电保护装置允许带有一定的延时动作。

综上所述,继电保护在电力系统中的主要作用是通过预防事故或缩小事故范围来提高运行的可靠性。继电保护装置是电力系统中重要的组成部分,是保证电力系统安全和可靠运行的重要技术措施之一。在现代化的电力系统中,如果没有继电保护装置,就无法维持电力系统的正常运行。

第二节 对继电保护的基本要求

对于动作于跳闸的继电保护,在技术上一应满足选择性、速动性、灵敏性和可靠性四条基本要求。这四条基本要求紧密联系,既矛盾又统一,必须根据具体电力系统运行的主要矛盾和矛盾的主要方面,配置、配合、整定每个电力元件的继电保护。充分发挥和利用继电保护的科学性、工程技术性,使继电保护为提高电力系统运行的安全性、稳定性和经济性发挥最大效能。

一、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继续运行,尽量缩小停电范围。

图 0.1 所示为单侧电源网络,母线 A、B、C、D 代表相应变电所,在各断路器处都装有继电保护装置 1~7。当线路 A—B 上 K_1 点短路时,应由短路点 K_1 最近的保护装置 1、2 跳开断路器 QF_1 和 QF_2 ,故障被切除。而在线路 C—D 上 K_3 点短路时,应由短路点 K_3 最近的保护装置 6 跳开断路器 QF_6 ,变电所 D 停电。故障元件上的保护装置如此有选择性地切除故障,可以使停电的范围最小,甚至不停电。

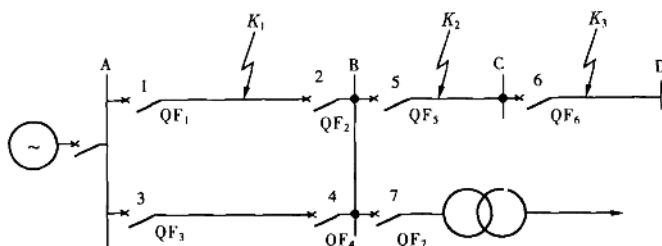


图 0.1 单侧电源网络中有选择性动作的说明图

对继电保护动作有选择性要求时,同时还必须考虑继电保护装置或断路器由于自身故障等原因而拒绝动作(简称拒动)的可能性,因而需要考虑后备保护的问题。如图 0.1 所示,当 K_3 点发生短路时,应由继电保护装置 6 动作跳开 QF_6 ,将故障线路 C—D 切除,但由于某种原因造成断路器 QF_6 跳不开,相邻线路 B—C 的保护 5 动作跳开断路器 QF_5 ,将故障切除,相对的停电范围也是较小的,保护的動作也是具有选择性的。

一般地,被保护元件同时装有主保护和后备保护。把反映被保护元件严重故障,快速动作于跳闸的保护装置称为主保护,而把在主保护拒动或断路器操动机构失灵时备用的保护装置称为后备保护。

后备保护又分为近后备保护和远后备保护。把下级电力元件的后备保护安装在上级(近电源侧)元件的断路器处,称为远后备保护。装在本元件断路器处的后备保护装置称为近后备保护。由于远后备保护是一种完善的后备保护方式,它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源引起的拒动均能起后备保护作用,同时,它的实现既简单又经济,因此应优先采用。只有当远后备保护不能满足要求时,才考虑采用近后备保护方式。

值得指出的是,为了改善保护的性能,有时还在主保护和后备保护的基础上装设辅助保护。辅助保护不是一种独立的保护,不能单独使用。

二、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的情况下的工作时间,以及缩小故障元件的损坏程度。因此,在发生故障时,应力求保护装置能迅速动作,切除故障。

动作迅速而同时又满足选择性要求的保护装置,一般结构都比较复杂,价格也比较贵。在一些情况下,允许保护装置带有一定时限切除发生故障的元件。因此,对继电保护速动性的具体要求,应根据电力系统的接线以及被保护元件的具体情况来确定。下面列举一些必须快速切除的故障:

- (1) 根据维持系统稳定性的要求,必须快速切除高压输电线路上的故障。
- (2) 使发电厂或重要用户的母线电压低于允许值(一般为0.7倍额定电压)的故障。
- (3) 大容量的发电机、变压器以及电动机内部发生的故障。
- (4) 1~10 kV线路导线截面过小,为避免过热不允许延时切除的故障等。
- (5) 可能危及人身安全,对通信系统或铁路信号系统有强烈电磁干扰的故障等。

故障切除的总时间等于保护装置和断路器动作时间之和。一般快速保护的動作时间为0.06~0.12 s,最快的可达0.02~0.04 s;一般断路器动作时间为0.06~0.15 s,最快的为0.02~0.06 s。

三、灵敏性

继电保护的灵敏性是指对于保护范围内发生故障或不正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部发生故障时,不论运行方式大小、短路点的位置远近、短路的类型如何以及短路点是否有过渡电阻等,都能敏锐感觉且正确反应,即要求不但在系统最大运行方式下三相短路时能可靠动作,而且在系统最小运行方式下经过较大的过渡电阻两相或单相短路故障时也能可靠动作。

所谓系统最大运行方式,是指发生短路故障时,系统等效阻抗最小,通过保护装置的短路电流最大的运行方式;系统最小运行方式是指发生短路故障时,系统等效阻抗最大,通过保护装置的短路电流最小的运行方式。

保护装置的灵敏性,通常用灵敏系数(K_{sen})来衡量,它决定于被保护元件和电力系统的参数和运行方式。在《继电保护和安全自动装置技术规程》(GB/T 14285—2006)中,对各类保护的灵敏系数的要求都做了具体规定(见附录2)。关于灵敏系数问题在以后各章中将分别进行讨论。

四、可靠性

保护装置的可靠性是指在其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,而在任何其他该保护不应该动作的情况下,则不应该错误动作。

继电保护装置误动作和拒动作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有所不同,因而提高保护装置可靠性的重点在不同情况下有所不同。例如,当系统中有充足的旋转备用容量(热备用)、输电线路很多、各系统之间以及电源与负荷之间联系很紧密时,若继电保护装置发生误动作使某发电机、变压器或输电线路切除,给电力系统造成的影响可能不大;但如果发电机、变压器或输电线路故障时继电保护装置拒动,将会造成设备损坏或破坏系统稳定运行,造成巨大损失。在此情况下,提高继电保护装置不拒动的可靠性比提高不误动的可靠性更加重要。反之,系统旋转备用

容量较少,以及各系统之间和电源与负荷之间的联系比较薄弱时,继电保护装置发生误动使某发电机、变压器或某输电线路切除,将会引起对负荷供电的中断,甚至造成系统稳定性的破坏,造成巨大损失;而当某一保护装置拒动时,其后备保护仍可以动作,并切除故障。在这种情况下,提高保护装置不误动的可靠性比提高其不拒动的可靠性更为重要。由此可见,提高保护装置的可靠性要根据电力系统和负荷的具体情况采取适当的对策。

许多学者称不误动的可靠性为“安全性”,称不拒动和不会非选择性动作的可靠性为“可信赖性”。安全性和可信赖性属于可靠性的两个方面。为提高可信赖性可采取二者取一的双重化方案,但此方案降低了安全性。为同时提高可信赖性和安全性(例如大容量发电机组的保护),可采用三者取一的双重化方案或双倍的二者取一双重化方案。

可靠性主要针对保护装置本身的质量和运行维护水平而言,一般来说,保护装置组成元件的质量越高,接线越简单,回路中继电器的触点数量越少,保护装置的可靠性就越高。同时,正确的设计和整定计算,保证安装、调整试验的质量,提高运行维护水平,对于提高保护装置的可靠性也具有重要作用。对于一个确定的保护装置在一个确定的系统中运行而言,在继电保护的整定计算中用可靠系数来校核是否满足可靠性的要求。在国家或行业制定的继电保护运行整定计算规程中,对各类保护的可靠性系数都做了具体规定。

以上四条基本要求是分析研究继电保护性能的基础,也是贯穿全课程的一个基本线索。在它们之间,既有矛盾的一面,又有在一定条件下统一的一面。继电保护的科学研究、设计、制造和运行的绝大部分工作是围绕着如何处理好这四条基本要求之间的辩证统一关系而进行的。在学习这门课程时应注意学习和运用这样的分析方法。

选择继电保护方式时除应满足上述四条基本要求,还应考虑经济条件。应从国民经济的整体利益出发,按被保护元件在电力系统中的作用和地位来确定其保护方式,而不能只从保护装置本身投资考虑,因为保护不完善或不可靠而给国民经济造成的损失,一般都超过即使是最复杂的保护装置的投资。但要注意对较为次要的数量多的电气元件(如小容量电动机等),则不应装设过于复杂和昂贵的保护装置。

第三节 继电保护的工作原理、构成及发展史

一、继电保护的工作原理

为了完成继电保护所担负的任务,要求它能正确区分电力系统正常运行状态与故障状态或不正常运行状态。因此,可以电力系统发生故障或不正常状态前后电气物理量的变化特征为基础构成继电保护装置。

电力系统发生故障后,工频电气量变化的主要特征如下:

(1) 电流增大。短路时故障点与电源之间的电气元件上的电流,将由负荷的电流值增大到大大超过负荷电流。

(2) 电压降低。系统相间短路或接地短路故障时,系统各点的相间电压或相电压值均下降,且越靠近短路点,电压下降越多,短路点电压最低可降至零。

(3) 电压与电流之间的相位角发生改变。正常运行时,同相的电压与电流之间的相

位角即负荷的功率因数角,一般约为 20° ;三相金属性短路时,同相电压与电流之间相位角即阻抗角,对于架空线路,一般为 $60^\circ \sim 85^\circ$;而在反方向三相短路时,电压与电流之间相位角为 $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

(4)测量阻抗发生变化。测量阻抗即为测量点(保护安装处)电压与电流相量之比值,即 $Z = U/I$,以线路故障为例,正常运行时,测量阻抗为负荷阻抗;金属性短路时,测量阻抗为线路阻抗;故障后测量阻抗模值显著减小,而阻抗角增大。

(5)出现负序和零序分量。正常运行时,系统只有正序分量;当发生不对称短路时,将出现负序和零序分量。

(6)电气元件流入和流出电流的关系发生变化。对任一正常运行电气元件,根据基尔霍夫定律,其流入电流应等于流出电流,但元件内部发生故障时,其流入电流不再等于流出电流。

利用故障时电气量的变化特征,可以构成各种作用原理的继电保护。例如,根据短路故障时电流增大,可构成过流保护和电流速断保护;根据短路故障时电压降低,可构成低电压保护和电压速断保护;根据短路故障时电流与电压之间相角的变化可构成功率方向保护;根据电压与电流比值的变化,可构成距离保护;根据故障时被保护元件两端电流相位和大小的变化,可构成差动保护;高频保护则利用高频通道来传递线路两端电流相位、大小和短路功率方向信号的一种保护;根据不对称短路故障出现的相序分量,可构成灵敏的序分量保护。这些继电保护既可以作为基本的继电保护元件,也可以通过它们做进一步逻辑组合,构成更为复杂的继电保护,例如,将过流保护与方向保护组合,构成方向电流保护。

除了反映各种工频电气量的保护,还有反映非工频电气量的保护,如超高压输电线路的行波保护和反映非电气量的电力变压器的气体(瓦斯)保护、过热保护等。对于反映电气元件不正常运行情况的继电保护,主要根据不正常运行情况时电压和电流变化的特征来构成。

二、继电保护装置的构成

一般继电保护装置由测量比较元件、逻辑判断元件和执行输出元件三部分组成,如图 0.2 所示。现分述如下:

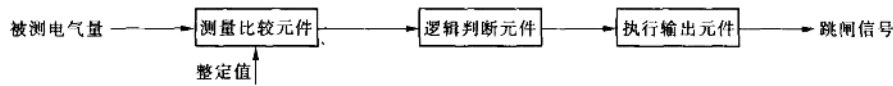


图 0.2 继电保护装置的组成方框图

(一)测量比较元件

测量比较元件通过被保护的电力元件的物理参量,并与给定的值进行比较,根据比较的结果,给出“是”、“非”、“0”或“1”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有一个或多个测量比较元件。常用的测量比较元件有:①被测电气量超过给定值动作的过量继电器,如过电流继电器、过电压继电器、高周波继电器等;②被测电气量低于给定值动作的欠量继电器,如低电压继电器、阻抗继电器、低周

波继电器等;③被测电压、电流之间相位角满足一定值而动作的功率方向继电器等。

(二) 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部分。

(三) 执行输出元件

执行输出元件根据逻辑判断部分传来的指令,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。

三、继电保护的工作回路

要完成继电保护的任务,除需要继电保护装置外,必须通过可靠的继电保护工作回路的正确工作,才能最后完成跳开故障元件的断路器、对电力系统或电力元件的不正常运行状态发出警报、正常运行时不动作的任务。

在继电保护的工作回路中一般包括:①将通过一次系统的电流、电压线性地转变为适合继电保护等二次设备使用的电流、电压,并使一次设备与二次设备隔离的设备,如电流、电压互感器及其与保护装置连接的电缆等;②断路器跳闸线圈及与保护装置出口间的连接电缆,指示保护装置动作情况的信号设备;③保护装置及跳闸、信号回路设备的工作电源等。图 0.3 以过电流保护为例,展示了一个简单的保护工作回路的原理接线。

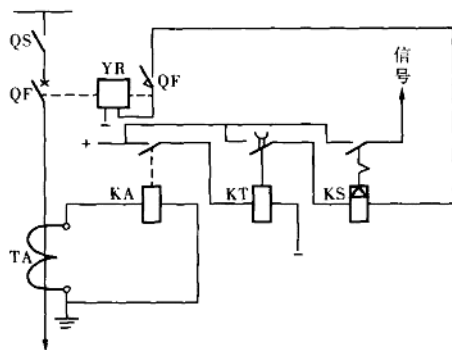


图 0.3 线路过电流保护装置单相原理接线图

电流互感器 TA 将一次额定电流变换为二次额定电流 5 A 或 1 A,送入电流继电器 KA(测量比较元件),当流过电流继电器的电流大于其预定的动作值(即可调整的整定值)时其输出启动时间继电器 KT(逻辑部分),经预定(可调整)的延时(逻辑运算)后,时间继电器的输出接通断路器的跳闸回路,同时使信号继电器 KS 发出动作信号。在正常运行时,由于负荷电流小于电流继电器的整定电流,电流继电器不动作,整套保护不动作。当被保护的线路发生短路后,线路中流过的短路电流一般是其额定负荷电流的数倍至数十倍,电流互感器二次侧输出的电流线性增大,流过电流继电器的电流大于整定电流而动作,启动时间继电器,经预定的延时后,时间继电器的触点闭合,由于断路器 QF 处于合闸位置时,其位置触点 QF 是闭合的,跳闸回路接通,使断路器的跳闸线圈 YR 带电,在电磁

力的作用下使脱扣机构释放,断路器跳闸,故障设备被切除,短路电流消失,电流继电器返回,整套保护装置复归,做好下次动作的准备。

四、继电保护的发展简史

继电保护科学和技术是随着电力系统的发展而发展起来的。电力系统发生短路是不可避免的,伴随着短路,电流增大。为避免发电机被烧坏,最早采用熔断器串联于供电线路中,当发生短路时,短路电流首先熔断熔断器,断开短路的设备,保护发电机。这种保护方式,由于简单,时至今日仍广泛应用于低压线路和用电设备中。由于电力系统的发展,用电设备的功率,发电机的容量增大,电力网的接线日益复杂,熔断器已不能满足选择性和快速性的要求,1890年后出现了直接装于断路器上反应一次电流的电磁型过电流继电器。19世纪初,继电器才广泛用于电力系统的保护,被公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应用,并出现了将电流与电压相比较的保护原理,促使了1920年后距离保护装置的出现。随着电力线载波技术的发展,在1927年前后,出现了利用高压输电线路载波传输输电线路两端功率方向或电流相位的高频保护装置。在1950年稍后,就提出了利用故障点产生的行波实现快速保护的设想,在1975年前后诞生了行波保护装置。1980年左右反映工频故障分量(或称工频突变量)原理的保护被大量研究,1990年后该原理的保护装置被广泛应用。

与此同时,随着材料、器件、制造技术等相关学科的发展,继电保护装置的结构型式和制造工艺也发生着巨大的变化,经历了机电式保护装置、静态继电保护装置和数字式继电保护装置3个发展阶段。

机电式保护装置由具有机械传动的部件带动触点开、合的机电式继电器,如电磁型、感应型和电动型继电器所组成,由于其工作比较可靠不需要外加工作电源,抗干扰性能好,使用了相当长的时间,特别是单个继电器目前仍在电力系统中广泛使用。但这种保护装置体积大、动作速度慢、触点易磨损和粘连,难以满足超高压、大容量电力系统的需要。

20世纪50年代,随着晶体管的发展,出现了晶体管式继电保护装置。这种保护装置体积小,动作速度快,无机械传动部分,无触点。经过20余年的研究与实践,晶体管式保护装置的抗干扰问题从理论和实践上得到了满意的解决。20世纪70年代,晶体管式保护在我国被大量采用。集成电路技术的发展,可以将众多的晶体管集成在一块芯片上,从而出现了体积更小、工作更可靠的集成电路式继电保护装置,成为静态继电保护的主要形式。

20世纪60年代末,已有了用小型计算机实现继电保护的设想,但由于小型计算机当时价格昂贵,难以实际采用。由此开始了对继电保护计算机算法的大量研究,为后来微型计算机式保护的发展奠定了理论基础。随着微处理器技术的快速发展和价格的急剧下降,在20世纪70年代后期,出现了性能比较完善的微机保护样机并投入系统试运行。20世纪80年代微机保护在硬件和软件技术方面已趋于成熟,进入90年代,微机保护已在我国大量应用,主运算器由8位机、16位机,发展到目前的32位机;数据转换与处理期间由模数转换器(A/D)、电压频率转换器(VFC),发展到数字处理器(DSP)。这种由计算机技术构成的继电保护称为数字式继电保护。这种保护可用相同的硬件实现不同原理的保

护,使制造大为简化,生产标准化、批量化,硬件可靠性高;具有强大的存储、记忆和运算功能,可以实现复杂原理的保护,为新原理保护的发展提供了实现条件;除了实现保护功能,还可兼有故障录波、故障测距、事件顺序记录和保护管理中心计算机以及调度自动化系统通信等功能,这对于保护的运行管理、电网事故分析以及事故后的处理等有重要意义。另外,它可以不断地对本身的硬件和软件自检,发现装置的异常情况并通知运行维护中心,工作的可靠性很高。

20 世纪 90 年代后半期,在数字式继电保护技术和调度自动化技术的支撑下,变电所自动化技术和无人值守运行模式得到迅速发展,融测量、控制、保护和数据通信为一体的变电所综合自动化设备,已成为目前我国绝大部分新建变电所的二次设备,继电保护技术与其他学科的交叉、渗透日益深入。

习 题

1. 什么是正常运行状态、不正常运行状态和故障?
2. 什么是继电保护装置?
3. 继电保护的基本任务是什么?
4. 什么是主保护?什么是近后备保护?什么是远后备保护?
5. 对继电保护的基本要求有哪些?各基本要求的内涵是什么?举例说明各基本要求之间的关系。
6. 继电保护装置由哪些基本元件组成?各元件的作用是什么?