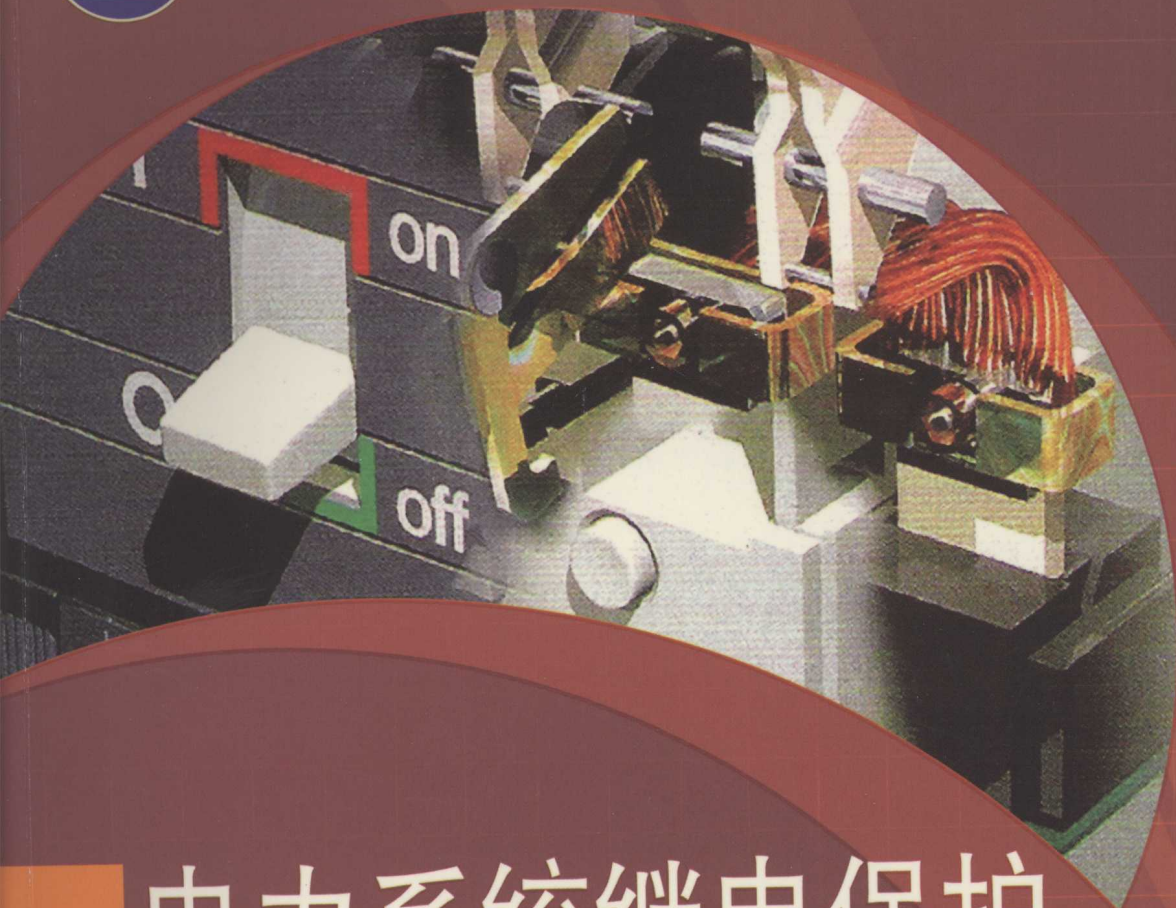




全国高职高专教育“十一五”规划教材



电力系统继电保护

(非继电专业适用)

■ 李火元 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高职高专教育“十一五”规划教材

电力系统继电保护

(非继电专业适用)

李火元 主编



高等教育出版社

内容提要

本书主要内容有:绪论、输电线路的阶段式继电保护原理、微机型继电保护基础知识、输电线路的全线速动保护、输电线路微机型继电保护装置、电力变压器继电保护、同步发电机保护和母线保护。对于线路、发电机-变压器组和母线分别介绍了目前正在推广应用的微机型继电保护装置。

本书可作为高职高专院校、成人高校非继电专业的教材,也适用于五年制高职、中职相关专业,并可作为社会从业人士的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/李火元主编. —北京:高等教育出版社,2007.7

非继电专业适用

ISBN 978-7-04-019660-3

I. 电… II. 李… III. 电力系统-继电保护-高等学校:技术学校-教材 IV. TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 088527 号

策划编辑	刘 洋	责任编辑	李葛平	封面设计	李卫青	责任绘图	吴文信
版式设计	陆瑞红	责任校对	杨凤玲	责任印制	张泽业		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 三河市春园印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 13.5
字 数 330 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 7 月第 1 版
印 次 2007 年 7 月第 1 次印刷
定 价 17.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19660-00

前 言

目前,我国的继电保护技术在国际上处于领先水平,它使我国较薄弱的电力网得以安全运行。但是,继电保护教材的内容却没跟上继电保护技术的发展,主要体现在内容陈旧、原理与应用脱节。大多数学校仍然以讲授传统内容为主,补充微机型继电保护相关知识为辅,教材也分成两本编写。在传统内容中,一些已停产多年的继电器还在向学生讲授。在微机型继电保护教学方面,一是学时少,二是内容偏重于理论,与高职高专培养应用型人才的目标相矛盾。因此,很有必要编写一本综合继电保护传统内容与微机型继电保护技术的、既能反映当代继电保护技术水平又能体现高职高专学校培养目标的教材。

继电保护技术的先进性,一是体现在反映变化量特别是工频变化量继电保护原理的发明与应用上,二是采用了计算机技术和先进的通信技术来实现保护的原理上。目前,我国主网、新建发电厂和变电站的继电保护已完全微机化,智能型继电保护的雏形已经形成且有试运行的装置,再加上计算机理论上可以实现各种原理的继电保护,继电保护技术已进入到一个崭新阶段。

继电保护装置的微机化,使得广大的继电保护工作者改变了设计思想,更新了继电保护装置的运行维护观念。学校的继电保护教学必须根据继电保护技术的发展建立新的体系,继电保护的教学内容必须重新整合,那些已经过时的内容要坚决删除;重点、难点必须重新确认,如传统内容中接线方式是职业技术学校继电保护课程教学中重点的重点,学生只有掌握了接线方式,毕业后才有可能做好与继电保护相关的工作。而微机保护的接线,只要将电流、电压按正确的相序接入就行了,没有以前那么复杂。重点、难点的转移,要求继电保护课程必须在教学结构上重新编排。

随着微机型继电保护技术的成熟和普遍应用,为继电保护的制造技术与应用技术的分开创造了条件。在布线逻辑的继电保护装置时代(传统的继电保护装置时代),广大的继电保护应用者必须懂得继电保护的制造技术,否则无法对继电保护装置进行维护和调试。对继电保护应用者增加了无形的压力,也大大降低了继电保护装置运行的可靠性。

微机型继电保护原理是由软件(程序)实现的,用户是无法知道的。同时微机型继电保护装置的维护和调试工作量远远小于布线逻辑的继电保护装置。原则上,微机型继电保护装置只要上电时不出问题即可,用户没有必要做特性试验,即使特性不合格用户也无法修改。“特性”应该由制造厂家保证,特性不合格用户不会采用。因此,继电保护应用者没有必要懂得继电保护的制造技术,这就可以大大降低对继电保护应用者掌握继电保护知识的要求。在教学内容安排上,除“电力系统继电保护及自动化”专业之外的其他电气类专业可做大幅度删减。

高职高专的办学目标是培养高级应用型人才。作为高等教育的一部分,一定深度的理论基础是必需的。作为应用型人才,要求掌握和应用现代继电保护应用技术又是必然的。因此,教材在理论和实践的结合点上有更多的工作要做。

要编写出一本满意的继电保护教材,眼前很难做到。但我们还是尽最大努力向“满意”靠

扰。书中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。为了处理好理论与实践的结合问题,本教材组织内容的出发点是:理论为装置(继电保护装置,下同)服务,装置以应用为主。

本书中标“*”的部分为选学内容。

全书包括绪论和7章,李火元担任主编并统稿,黄梅主审。第1章由刘利华编写,第5章、第6章的前8节和第7章由李凤荣编写,其余部分由李火元编写(中性点非直接接地系统的单相接地信号装置放在《变电站综合自动化》教材中)。黄梅同志在审阅过程中提出了不少宝贵意见,在此深表谢意。

由于编者水平所限,书中的错漏之处恳请读者批评指正。

编 者

2007年3月9日于武昌

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话: (010) 58581897/58581896/58581879

传 真: (010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址: 北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编: 100011

购书请拨打电话: (010)58581118

目 录

绪论	1	小结	80
复习思考题		复习思考题	80
第1章 输电线路的阶段式继电保护	6	第4章 输电线路微机型继电保护装置	82
1-1 阶段式继电保护的基本原理	6	4-1 微机型阻抗保护的特性分析及算法	82
1-2 阶段式电流保护	9	4-2 工频变化量测量元件	97
1-3 阶段式零序电流保护	23	4-3 零序方向保护的算法及特性分析	102
1-4 阶段式阻抗保护	28	4-4 微机保护装置举例	105
1-5 方向问题的提出及解决方法	33	小结	131
小结	37	复习思考题	131
复习思考题	37	第5章 电力变压器继电保护	133
第2章 微机型继电保护基础知识	40	5-1 电力变压器的故障类型、正常运行状态及其相应的保护配置	133
2-1 微机型继电保护输入信号的处理	40	5-2 变压器的纵差动保护	135
2-2 微机型继电保护的基本算法与数字滤波	48	5-3 变压器相间短路故障的后备保护和过负荷保护	144
小结	55	5-4 变压器的接地保护	148
复习思考题	55	5-5 变压器的过励磁保护	150
第3章 输电线路的全线速动保护	56	5-6 气体保护	152
3-1 输电线路导引线纵联电流差动保护	56	小结	154
3-2 双回输电线路横联方向差动保护与电流平衡保护	63	复习思考题	154
3-3 高频通道与高频保护的基本原理	66	第6章 同步发电机保护	156
3-4 高频闭锁方向保护	73	6-1 发电机的故障类型、不正常运行状态和保护方式	156
3-5 相差高频保护	77	6-2 发电机纵差动保护	158
		6-3 同步发电机定子绕组匝间短路保护	161

6-4 发电机定子绕组的接地 保护	165	第7章 母线保护	192
6-5 同步发电机的负序电流 保护和过负荷保护	168	7-1 利用供电元件后备保护实现 的母线保护	192
6-6 发电机定子绕组相间短路 的后备保护	170	7-2 母线差动保护	193
6-7 同步发电机的失磁保护	171	7-3 母联电流相位比较式母线 保护	198
6-8 同步发电机转子回路接地 保护	178	7-4 断路器失灵保护	200
6-9 大型发电机-变压器组继电 保护配置	183	7-5 微机型母线保护举例	201
小结	190	小结	207
复习思考题	191	复习思考题	207
		参考文献	208

绪 论

一、电力系统继电保护的作用与任务

电力系统继电保护(以下简称继电保护)是电力系统安全、稳定运行的可靠保证。

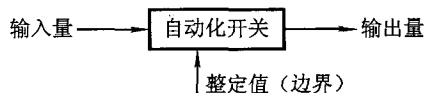
电力系统是发(发电机)、供(变压器、线路)、用电的总称。电力系统由于受自然的(如雷击、风灾等)、人为的(如设备制造上的缺陷、误操作等)因素影响,不可避免地会发生各种形式的短路故障(以下简称故障)和不正常工作状态。故障和不正常工作状态,都可能在电力系统中引起事故。事故是指系统或其中的一部分正常工作遭破坏,造成对用户的少送电或人身伤亡和设备损坏。前者称为停电事故,后者称为人身和设备事故。

为了减轻故障和不正常工作状态造成的影响,继电保护的任务是:当电力系统出现故障时,给控制主设备(如输电线路、发电机、变压器等)的断路器发出跳闸信号,将发生故障的主设备从系统中切除,保证无故障部分继续运行;当电力系统出现不正常工作状态时,继电保护发出信号,运行人员根据继电保护发出的信号对不正常工作状态进行处理,防止不正常工作状态发展成故障而造成事故。例如:某变压器过载了,运行人员就应相应地减轻该变压器的负载,使该变压器恢复正常运行。

二、对继电保护的四项基本要求

继电保护装置的功能,就是将检测到的电气量与整定值或设定的边界进行比较,在越过整定值或边界时就动作。这里的越过有两层含义:对于反映被测量的量增加而动作的保护装置,是指测量的量大于整定值或越过边界到界外;对于反映被测量的量减小而动作的保护装置,是指测量的量小于整定值或越过边界进入界内。

继电保护装置的功能可用一个等效的自动化开关来描述,其逻辑框图如图 0-1 所示。



被保护的设备正常运行时,输入量不会越过整定值或边界,自动化开关是打开的,没有输出量,保护装置不动作;当被保护设备发生故障或出现不正常工作状态时,输入量就会越过整定值或边界,自动化开关自动闭合,有输出量及保护装置动作。

图 0-1 继电保护装置功能等效框图

在继电保护技术中,将继电保护装置的自动化开关特性称为继电特性,即当控制量(输入量)变化到某一定值(整定值或边界)时被控量(输出量)发生突变。因此,凡能实现继电特性的技术,均可引用到继电保护技术中来,如电磁技术、电子技术、集成电路技术、微机技术等。这样就构成了电磁型、电子型、集成电路型、微机型等不同技术实现的继电保护装置。

继电保护装置一般由三个部分组成,即测量部分、逻辑部分和执行部分,其原理框图如图 0-2 所示。

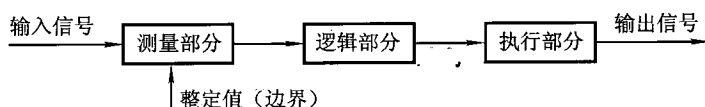


图 0-2 继电保护装置逻辑框图

从被保护设备来的输入信号通过测量部分形成有关量,与给定的整定值或设定的边界进行比较,判断出保护是否起动;逻辑部分根据测量部分输出量的大小、性质、出现的顺序或它们的组合,按规定的逻辑关系工作,确定是否将断路器跳闸或发出信号,并将命令转送给执行部分;执行部分根据逻辑部分转送的信号,完成保护装置的任务。如果被保护的设备发生故障,动作于断路器跳闸;如果被保护的设备处在不正常状态,就发出相应的信号。继电保护装置工作的好坏用四个基本要求来衡量。

1. 可靠性

电力系统正常运行时,继电保护装置应可靠地不动作;当被保护设备发生故障或不正常工作状态时,继电保护装置应可靠地动作。前者称为安全性,如果电力系统正常运行时继电保护装置动作了,误发信号或误将某设备切除,非但起不到保护作用,反而由于误动作造成了电力系统的不安全;后者称为可依赖性,如果被保护设备发生故障或出现不正常工作状态时,继电保护装置拒绝动作,就没有起到保护作用,该保护不可依赖。由此可见,继电保护必须满足可靠性的要求。

2. 迅速性

迅速性又可称为快速性,是指继电保护装置的動作速度。理论上讲,继电保护装置的動作速度越快越好;但是实际应用中,为防止干扰信号造成保护装置的误动作及保证保护间的相互配合,继电保护不得不人为地设置一动作时限。

目前继电保护的動作速度完全能满足电力系统的要求。最快的继电保护装置的動作时间约为 5 ms。

3. 选择性

选择性是指电力系统出现故障时,继电保护装置发出跳闸命令仅将故障设备切除,使停电范围尽可能减小,保证无故障部分继续运行。如图 0-3 中 K1 点发生故障,断路器 QF1 和 QF2 的保护动作,切除发生在线路 L1 上的故障,保证无故障部分继续运行。

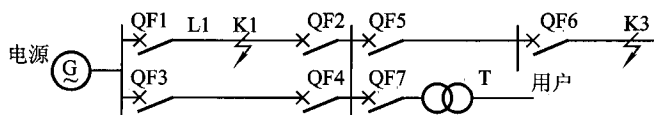


图 0-3 选择性说明图

在图 0-3 中 K3 点发生故障时,根据选择性的要求应该由断路器 QF6 切除故障,若出现 QF6 上的继电保护装置拒动或者是断路器自身拒动,则由 QF5 切除 K3 点故障。这是很必要的,称断路器 QF5 是断路器 QF6 的后备,它们的继电保护装置也是如此。这样停电范围虽然有所扩大,但故障总是能被切除。

4. 灵敏性

灵敏性指的是继电保护装置反应故障的能力。灵敏性一般用灵敏系数 K_{sen} 来衡量,不同的

继电保护装置对灵敏系数的要求也不相同,校验灵敏性的方法也不一样,这将在以后各具体的继电保护装置中分析。

以上四个基本要求,贯穿整个继电保护内容的始终。要注意四个基本要求间的矛盾与统一,例如强调快速性时,可能会影响到可靠性和选择性;强调选择性时可能会影响到快速性。可以想象,同时满足四个基本要求的继电保护装置,其造价一定昂贵。所以,对具体的被保护对象,装设怎样的继电保护装置,在满足技术条件的同时,还要分析其经济性。

继电保护发展到今天,它的构成原理已形成了两种逻辑:一为布线逻辑,二为数字逻辑。布线逻辑的继电保护装置,其功能靠接线来完成,不同原理的继电保护装置其接线也不同(及硬件不相同);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是由计算(程序)来实现的;因此,可实现特性完善的装置。

三、继电保护的现状与发展

1. 继电保护的现状

继电保护是一门新学科,从形成概念到现在刚过百年。但其技术却有飞速发展,从初期的机电型发展到今天的微机型,经历了四代的更新。与其他技术不同的是,新技术不能完全取代“老”技术;电力系统中运行的继电保护可以说是“四世同堂”。形成这一特点的原因可用表 0-1 来说明。

表 0-1 不同类型的继电保护性能比较

保护类型	优 点	缺点及存在的问题
机电型 (1901 发明)	简单、可靠、价廉、技术成熟、耐浪涌性强	动作速度慢,不易实现复杂的装置
晶体管型 (1960 发明)	动作速度较快,可以实现复杂的装置,比较经济,易于掌握	抗干扰能力差,元器件多,易发生特性变化和元件损坏
集成电路型 (1970 发明)	动作速度快,易实现较为复杂的装置,有自检功能	元器件较多,接线复杂,抗干扰能力差,价格高
微机型 (1972 发明)	动作速度快,易实现复杂的装置,自检功能完善,有很好的附加功能,调试方便	技术跨度大,厂家对软件保密,用户检修难度大,价格高

继电保护的这些技术特点,给从事继电保护工作的工程技术人员提出了很高的要求。

目前,各种原理采用不同技术实现的继电保护层出不穷,无法统计。小型水、火电厂和配电、变电站仍在大量使用电磁型继电保护,如 BCH-2 差动继电器。在配电线路上仍在普遍采用电磁型三相一次重合闸。在大用户的配电变压器上,仍在广泛采用晶体管型比例制动原理的差动保护。主网和新建的由大机组和大型变压器构成的发电厂和变电站的继电保护已完全微机化。除此以外,少量的发电机、变压器和输电线路还有采用集成电路保护的。智能型继电保护的维

形已经形成且有试运行的装置。而计算机理论上可以实现各种原理的继电保护。所以,从原理层面来分类更是繁多。这些给从事继电保护工作的工程技术人员掌握现代的继电保护技术增加了难度。

2. 继电保护技术的未来趋势是向微机化、网络化、一体化方向发展

继电保护的微机化是不可逆转的发展趋势。电力系统对继电保护的要求不断提高,除了装置本身的基本功能外,还应具有大容量故障信息和数据的长期存放空间,快速的数据处理功能,强大的通信能力,与其他继电保护和调度联网共享信息和网络资源的能力。

计算机网络作为信息和数据通信工具已成为信息时代的技术支柱。要保证系统安全稳定地运行,就要求各个继电保护共享全系统的运行和故障信息的数据,各个继电保护在分析这些信息和数据的基础上协调动作,确保系统的安全稳定运行。显然,实现这种功能的基本条件是将全系统继电保护用计算机网络连接起来,亦即实现继电保护的网络化。这在当前的技术条件下是完全可能的。

在实现继电保护的微机化和网络化的条件下,继电保护可从网上获取电力系统运行和故障的任何信息和数据,也可将自身所获得的信息和数据传送给网络控制中心或任一终端。因此,每个继电保护不但可完成自身的基本功能,而且在无故障正常运行情况下还可完成测量、控制、数据通信功能,亦即实现保护、控制、测量、数据通信一体化。

3. GPS 技术应用于继电保护

GPS(Global Positioning System)技术被广泛应用于军事、电力、交通等领域,在电力系统中的应用也显示出其独特的优势以及广泛的应用前景。在电力系统继电保护中,应用 GPS 技术将使传统的自动监视和控制功能得到进一步提高,使原来不可能做到的控制和测量精度,以及故障分析、装置试验、特殊参数的采集都可以在 GPS 条件下得以实现。GPS 除了本身可用于全球定位功能外,另一个显著的特点就是精确的时间传递,电力系统可以利用 GPS 的这个特点,使电力系统继电保护能够在 $1\ \mu\text{s}$ 的分辨率下进行电网时钟统一和同步采集,以实现各种动态测量。

统一电力系统的时钟。GPS 接收机在任何时刻都能在同一时刻接收到同一个信号,其误差不超过国际标准时间 $1\ \mu\text{s}$ 。因此可以很方便地实现全国电力系统时间的真正统一。与传统方法相比,具有精度高(微秒级)、范围广、不需要通信联络、不受地理和气候条件限制等优点,是理想的统一全网时钟的首选方案。

同步采样。继电保护都需要对测控对象进行采样,不仅需要本地信息,而且还需要远方信息,这些信息要求是同步采集,同时将采集结果进行比较处理,不用 GPS 是很难解决这个问题。由于 GPS 有许多优点,故障定位、线路的电流纵差动保护、保护装置的试验以及相量测量等的应用都可以利用它得到很好的解决。比如,当输电线路发生故障时,故障点将产生向线路两端以光速传输的行波。如果能在同一时间基准下记录两端接收到的行波的时刻,则很容易确定出故障的位置,这就是行波故障测距。数字式纵差电流保护在实现上有两大困难,一是通信问题,二是线路两端电流的同步采样。前者可以利用光纤数字通信,后者可利用 GPS 很好地解决。由于保护装置安装在不同的站端,因此需要一种同步装置来完成试验信号的同步输入,GPS 可以很好地解决上述时间同步问题。相量测量的准确性是比相式保护装置能否正确工作的关键。相量测量就是同步采样直接测量电网中的各种母线电压和相位。GPS 可以准确测量不同电站母线电压之间的相位关系。

四、学习继电保护时应注意的几个问题

学习继电保护要注意学习方法。应在学完电工基础、电机学、电子技术、微机原理、发电厂变电站电气设备、电力系统等课程的基础上进行学习。在对继电保护进行理论(基本原理、工作原理、工作特性等)分析时,首先应分析被保护或被控制的主设备(如发电机、变压器、输电线路等)的特点,特别是要分析它们在不正常工作状态和故障情况时的特征,找出特征量或被控量;接着分析判别这些特征量或被控量的继电器;再分析继电保护的工作原理、工作特性。要掌握继电保护这门技术,实训操作是必不可少的。在进行实训操作时,要充分模拟主设备不正常状态和故障情况,观察装置的动作情况,记录动作特性(特别是外特性),结合理论知识分析动作的正确性。

继电保护课程的理论性、实践性都很强,初学者往往感觉起点高,入门难。但入门之后,就会发现该课程逻辑推理严密、系统性强、层次分明、前后知识关联,越学越有趣。所以初学者要知难而进,掌握了学习方法,深入到理论和实践中,就会发现继电保护内部世界的“精彩”之处,就会自觉地克服学习中的困难,掌握继电保护这门技术。

学习本课程,难点在两个方面:其一是“层次”问题,例如,要求仅有小学文化程度的人去解微分方程,无论多么简单的微分方程他都无法解,因为他的知识没有达到解微分方程这个层次;其二是“繁”及复杂。为了快速切除故障,继电保护的动作时间以毫秒记。因此,对电磁暂态方面的知识要求较高。但在电机学、电力系统等课程中,对暂态方面的知识介绍有限,在学习继电保护时往往不够用;这就需要在学本课程时加以适当的补充。对于这类“层次”方面的难题,将概念搞清即可,没有必要追求理论推导的完整性。学习继电保护感到“繁”是很多初学者的感受。要解决“繁”的问题,应从目的出发,结合对每一种装置的基本要求去衡量这些装置是否达到设定目标。在分析过程中可采用“积木”式的分析方法,将一个复杂的大问题(总装置)化为若干小问题进行分析,加之多观察、多动手,难题也容易解决。对于那些结构十分复杂的装置(如微机保护的硬件电路),初学时,可将它的内部结构看成一个“黑匣子”,先搞清它的外特性,学会使用,必要时再去研究其内部结构。

第1章 输电线路的阶段式继电保护



要求

建立完整的继电保护概念,掌握各段保护的作用及工作原理和相互间在保护范围、动作时间、动作值之间的配合。



知识点

阶段式继电保护原理;

阶段式电流保护;

阶段式阻抗保护。



重点和难点

阶段式电流保护。

阶段式继电保护是继电保护原理的精髓,是继电保护所独有的理论(其他的保护原理在基础课和专业基础课中一般能找到理论根据。如差动保护原理是建立在基尔霍夫第一定律之上的;而各种变化量保护的原理则是建立在叠加定理之上的),是继电保护的基础。

输电线路的工作环境,决定了它是电力系统中最易发生故障的部分。输电线路故障与正常运行情况相比,最明显的特征是:在线路首端测得的电气量要发生各种变化。如电流会增加;电压会降低;阻抗的幅值会变小,阻抗角会变大;如果是非对称故障,还会出现较大的负序和零序分量;如果线路的两端接有电源(含等效电源),线路输送功率的方向还有可能改变。为了保证电力系统的安全稳定运行,借助输电线路故障时电气量变化的特征,可以装设各种不同原理的继电保护装置,将故障线路切除,保证无故障部分继续运行。输电线路应用最为广泛的继电保护方式是阶段式继电保护装置。

1-1 阶段式继电保护的基本原理

输电线路为什么要采用阶段式保护?简单的回答是为满足“四个基本要求”。具体分析可从两方面理解:一是测量误差,即被保护线路故障时保护测得的故障量会出现误差;二是为防止线路故障时主保护及Ⅰ、Ⅱ段保护由于某种原因拒动,而增设的后备保护及第Ⅲ段保护。

阶段式保护要解决的问题主要是配合问题,即保护范围的配合、动作时间的配合和整定值(边界)的配合。

一、各段保护间保护范围和动作时间的配合

设在图1-1所示系统中采用阶段式继电保护,以断路器 QF1 上的保护为分析对象。

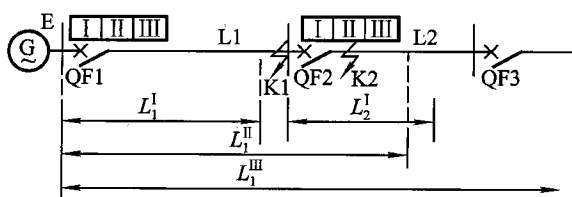


图 1-1 阶段式继电保护范围的配合说明图

图中：I II III 分别表示第 I 段、第 II 段和第 III 段保护；

L_1^I 、 L_1^{II} 、 L_1^{III} 分别为线路 L_1 的第 I 段、第 II 段和第 III 段保护的的保护范围；

L_2^I 为 L_2 第 I 段保护的的保护范围。

第 I 段保护又称为瞬时速断保护，其保护范围被限制在被保护线路全长的 85% 以内。理想情况下，保护范围内故障，保护动作，瞬时切除故障；保护区外故障，保护有选择地不动作。下面讨论为什么不能让第 I 段保护的的保护范围更长一点，甚至保护线路的全长。

根据选择性的要求，下级线路故障，应由下级线路的继电保护装置动作将故障切除；若上级线路第 I 段保护的的保护范围为线路的全长，则在下级线路的首端发生故障时，由于测量误差，上级线路的第 I 段保护有可能与下级线路的第 I 段保护同时动作，这样，上级线路的第 I 段保护就失去了选择性；为了满足选择性，第 I 段保护就不能保护线路的全长，即必须缩短保护范围。缩短的范围，理论上应该视测量误差的大小而定。从保护线路的角度出发，在保证选择性的前提下，缩短的范围应该越短越好；根据工程统计，缩短的范围一般为线路全长的 15%，即第 I 段保护的的保护范围为线路全长的 85% 就能满足要求。

第 II 段保护又称为带时限速断保护。第 II 段保护的作用是保护第 I 段保护保护不到的部分，即第 II 段保护必须保护线路的全长。由上述分析可知，要保护线路的全长，由于测量误差的存在，第 II 段的保护范围必然会延伸到下级线路。这样，上级线路的第 II 段保护就要考虑与下级线路上的保护配合。首先考虑与下级的第 I 段保护配合，即上级第 II 段的保护范围不能超过下级第 I 段的保护范围；一般在下级第 I 段保护范围的基础上再缩短 15%。为了满足选择性，第 II 段保护必须带时限；如果不带时限，当故障发生在下级线路上时，上级的第 II 段就有可能同下级的第 I 段同时动作。从快速性的要求出发，保护带的时限应尽可能短，但必须保证：在下级第 I 段保护范围内发生故障时，下级第 I 段保护动作，将故障切除，故障切除后，上级的第 II 段有足够的返回时间。用公式表示为

$$t^{II} = t^I + \Delta t \quad (1-1)$$

式中： t^{II} ——第 II 段保护的的动作时间；

t^I ——第 I 段的固有动作时间，约为零；

Δt ——时间级差，我国取 0.5 s。

当上级的第 II 段保护的的保护范围或灵敏度满足不了要求时，可考虑与下级的第 II 段配合；即上级第 II 段的保护范围不能超过下级第 II 段的保护范围；一般在下级第 II 段保护范围的基础上再缩短 15%。动作时间为

$$t_{上级}^{II} = t_{下级}^{II} + \Delta t \quad (1-2)$$

第Ⅲ段保护是后备保护。后备分近后备和远后备,近后备是作本断路器上其他保护的后备;远后备是作下级断路器上所有保护的后备和下级断路器的后备,即当下级的保护或断路器由于某种原因拒动时,上级的后备保护动作,将故障切除。第Ⅲ段保护由于要作下级的后备保护,因此,它的保护范围应该包括下级线路的全长。为了满足选择性,第Ⅲ段保护必须带延时,即

$$t_{\text{上级}}^{\text{III}} = t_{\text{下级}}^{\text{III}} + \Delta t \quad (1-3)$$

式中: $t_{\text{下级}}^{\text{III}}$ ——下级母线上各被保护设备中最长的第Ⅲ段保护动作时间。

例1-1 已知条件如图1-2所示,整定 QF1、QF3 第Ⅲ段保护动作时间。

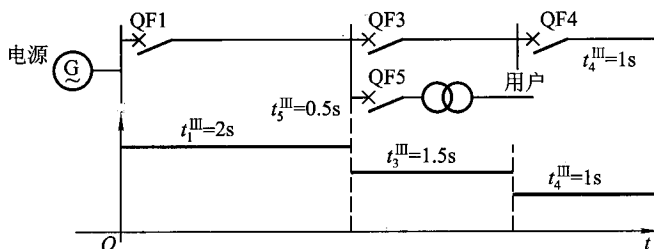


图1-2 例1-1图

$$\text{解: } t_3^{\text{III}} = t_4^{\text{III}} + \Delta t = 1 \text{ s} + 0.5 \text{ s} = 1.5 \text{ s}$$

$$t_1^{\text{III}} = t_3^{\text{III}} + \Delta t = 1.5 \text{ s} + 0.5 \text{ s} = 2 \text{ s}$$

由于上级第Ⅲ段保护动作的时间总是比下级母线上各被保护设备中最长的第Ⅲ段保护动作时间还要长 Δt , 将 Δt 看成一个阶梯, 这种时限特性称为阶梯时限特性。

二、各段保护间整定值(边界)的配合

各种保护的保护区, 实际上是由保护的整定值来决定的。保护之间的保护区配合, 由整定值的配合来实现。

1. 整定值(边界)的一般概念

简单的保护装置, 整定值是一个标量, 其动作边界表示在直角坐标平面上为一根直线, 如图1-3所示。

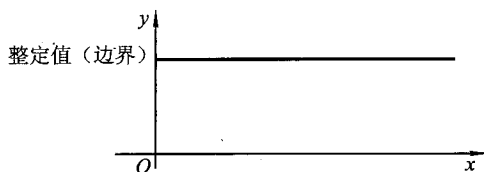


图1-3 动作量为标量的继电保护装置动作边界图

整定值是保护动作与不动作的分界线(边界)。如果保护的原理是反映测量量增加而动作的, 则测量量大于或等于整定值时保护动作, 测量量小于整定值时保护不动作。如果保护的原理是反映测量量减小而动作的, 则测量量小于或等于整定值时保护动作, 测量量大于整定值时保护不动作。

复杂的保护装置, 整定值是一个或几个矢量, 其动作边界表示在复坐标平面上为直线、圆或其他几何图形, 如图1-4所示。

对于反映测量量增加而动作的保护, 边界外为保护的保护区; 对于反映测量量减小而动作的保护, 边界内为保护的保护区。

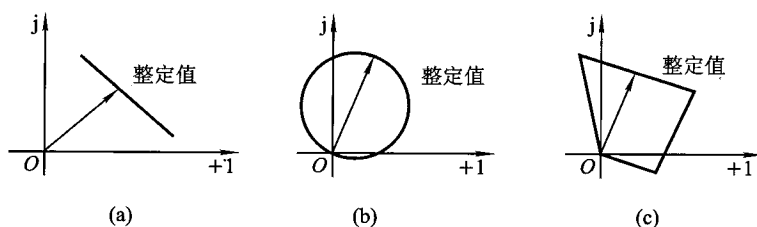


图 1-4 动作量为矢量的继电保护装置动作边界图

(a) 直线边界; (b) 圆特性边界; (c) 多边形边界

2. 各段保护间整定值(边界)的配合

设 D^I 、 D^{II} 、 D^{III} 分别为第 I 段、第 II 段和第 III 段保护的整定值, 同一断路器上反映测量量增加而动作的保护:

$$D^I > D^{II} > D^{III} \quad (1-4)$$

反映测量量减小而动作的保护:

$$D^I < D^{II} < D^{III} \quad (1-5)$$

当上级保护的保护区伸到了下级时, 上级保护的整定值必须与下级保护的整定值进行配合。保护的原理不同, 配合的方式也不相同。怎样配合, 将结合具体的保护讲解。

1-2 阶段式电流保护

一、阶段式电流保护的构成原理

线路正常运行时流过的是负荷电流, 发生故障, 电源向故障点提供比负荷电流大很多的短路电流, 系统的正常运行遭到破坏, 利用线路短路故障时电流增大的特点, 构成阶段式电流保护, 将故障切除, 保证系统非故障部分的正常运行。阶段式电流保护的逻辑框图如图 1-5 所示。

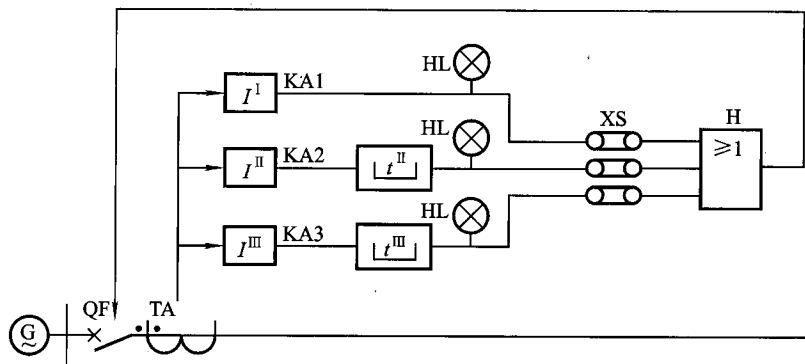


图 1-5 阶段式电流保护的逻辑框图

图中: TA——电流互感器;

I^I 、 I^{II} 、 I^{III} ——I、II、III 段电流保护的电流测量元件;

HL——信号元件;

XS——连接片, 投退各段保护;