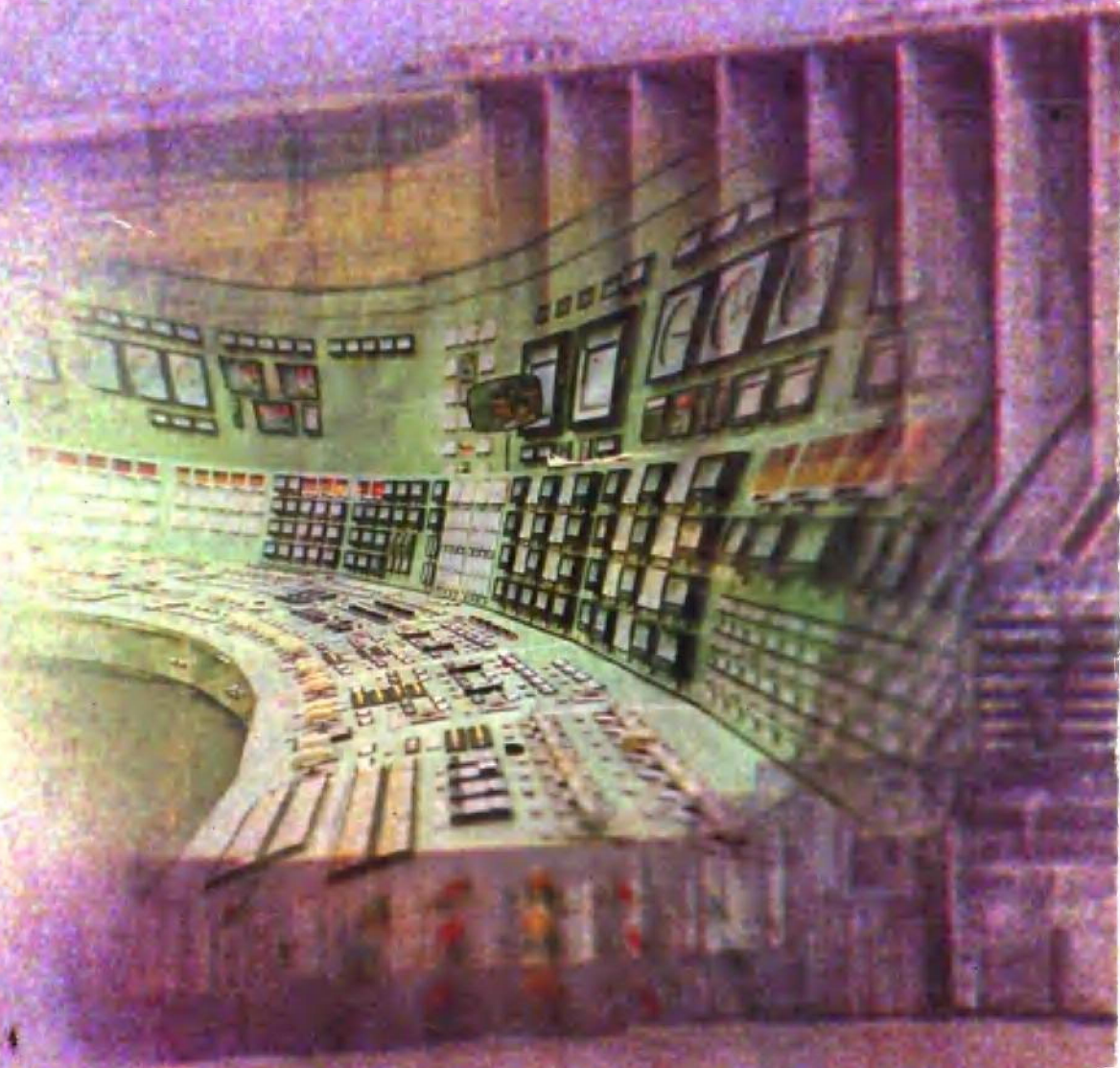


高等学校电气类系列教材

电力系统继电保护

税正中 施怀瑾 主编



重庆大学出版社

电力系统继电保护

税正中 施怀瑾 主编

ND31/05



399148

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书着重阐明继电保护的基本概念,基本原理和分析方法,特别注意介绍继电保护的工程应用。

全书共分十章。第一章讲述继电保护的常用元件与电路,第二章至第六章讲述输电线路的电流电压保护、距离保护、高频保护、自动重合闸,第七至第九章讲述变压器、发电机、母线、电动机、电容器的保护,第十章讲述微机保护基础。

本书可作为高等工科院校电力系统及其自动化专业的教学用书,也可供从事电力工程的工程技术人员参考。

电力系统继电保护

税正中 施怀瑾 主编

责任编辑 韩 洁

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

四川外语学院印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张:20.75 字数:514 千

1997 年 9 月第 1 版 1998 年 6 月第 2 次印刷

印数:6001—11000

ISBN 7-5624-1455-6/TM·58 定价:20.00 元

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区 14 所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编写、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定与支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一、组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学生应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了 50 门课程的编写书目。

第二、通过主编会议审定了 50 门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三、规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学生的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;
2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要;
3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;
4. 减少不必要的数理论证和数学推导;
5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;
6. 教材中应配备习题、复习思考题、实验指示书等,以方便组织教学;
7. 教材应做到概念准确,数据正确,文字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四、由出版社聘请学术水平高、教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项浩大的工程。经过一年多的艰苦努力,系列专科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区 14 所院校专科教育的办学经验,是西部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本要求和教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通过教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

前 言

本书是根据西部地区工科院校 90 年代教材编审出版规划,参照有关教学大纲编写的。

书中着重阐明继电保护方面的基本概念、基本原理和分析方法,其次是在此基础上的工程实践与应用,对现代继电保护方面的一些新技术也作了简单介绍。在编写的取材方面有下列特点:

1. 网络保护的电压等级以 110kV 和 220kV 为主。保护装置方面兼顾机电型、整流型、集成电路型、微机型。

2. 为配合集成电路型保护的学习,在第一章中对集成电路保护的常用电路作了介绍。可作为学生学习时的参考。

3. 为培养学生工程应用的能力,在书中的电流电压保护、距离保护、变压器保护三章中列举了相应的三个较详的整定计算范例。

4. 在“微机保护基础”一章中,除以微机距离保护为例外,对国内近十年迅速实施的变电站的综合自动化也作了相应介绍。

参加本书编写的有贵州工业大学施怀瑾(第一、十章),陈生贵(第四、五、八、九章),四川工业学院税正中(绪论、第三章),云南工业大学胡大金(第六、七章),陕西工学院李士秀(第二章)。由税正中、施怀瑾担任主编、统稿。

本书由重庆大学叶一麟教授主审。

在编写过程中,得到了所在地区的电力系统有关部门(如四川电力局、贵州电力局、云南电力局等)及有关各院校的大力支持和协助,对此表示衷心的感谢。

由于编写者的理论水平和实践经验所限,编写时间仓促,书中缺点和错误在所难免,敬希读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 继电保护装置的常用元件与基本电路	(8)
第一节 继电保护装置的常用的互感器与测量变换器	(8)
第二节 继电保护装置常用的对称分量滤过器	(15)
第三节 静态继电保护装置的常用电路	(23)
第四节 集成电路构成的继电保护基本电路	(37)
第二章 电网的电流电压保护	(49)
第一节 电磁型继电器	(49)
第二节 静态继电器	(53)
第三节 相间短路的电流电压保护	(56)
第四节 相间短路的方向电流保护	(78)
第五节 电网接地保护	(94)
第三章 距离保护	(108)
第一节 距离保护的原理	(108)
第二节 阻抗继电器	(111)
第三节 整流型方向阻抗继电器	(120)
第四节 集成电路型方向阻抗继电器简介	(131)
第五节 阻抗继电器的接线方式	(133)
第六节 影响距离保护正确动作的因素及其对策	(140)
第七节 距离保护的整定计算	(153)
第八节 距离保护的应用及其评价	(159)
第四章 输电线的纵联保护	(168)
第一节 概述	(168)
第二节 输电线的纵联差动保护	(168)
第三节 输电线高频保护	(173)
第四节 微波保护简述	(185)
第五章 电力线路的自动重合闸	(187)
第一节 概述	(187)
第二节 单侧电源线路三相一次自动重合闸	(189)
第三节 双侧电源线路三相一次自动重合闸	(192)
第四节 重合闸的参数选择及重合闸与保护的配合	(198)
第五节 单相自动重合闸、综合重合闸、接相重合闸简介	(201)

第六章 电力变压器的保护	(207)
第一节 电力变压器的故障、异常运行状态及其保护方式	(207)
第二节 变压器的瓦斯保护	(208)
第三节 变压器纵差动保护	(209)
第四节 变压器相间短路的后备保护和过负荷保护	(222)
第五节 变压器的零序保护	(228)
第七章 同步发电机的保护	(233)
第一节 同步发电机的故障、异常运行状态及其保护方式	(233)
第二节 发电机的纵差动保护	(234)
第三节 发电机定子绕组的匝间短路保护	(238)
第四节 发电机定子绕组单相接地保护	(241)
第五节 发电机励磁回路接地保护	(246)
第六节 发电机的失磁保护	(252)
第七节 发电机负序电流保护	(258)
第八节 发电机变压器组的保护	(261)
第八章 母线保护	(267)
第一节 母线的故障及其保护	(267)
第二节 母线差动保护	(268)
第三节 双母线同时运行时的母线差动保护	(274)
第四节 断路器失灵保护简介	(278)
第九章 异步电动机和电容器的保护	(280)
第一节 异步电动机的保护	(280)
第二节 电力电容器的保护	(287)
第十章 微机保护导论	(292)
第一节 引言	(292)
第二节 微机保护的硬件构成原理	(294)
第三节 微机保护的软件基础	(302)
第四节 微机距离保护举例	(308)
第五节 提高微机保护可靠性的措施	(311)
第六节 变电站微机综合自动化系统简介	(313)
参考文献	(322)

绪 论

一、继电保护的作用

电力系统的运行要求安全可靠、电能质量高、经济性好。但是,电力系统的组成元件数量多,结构各异,运行情况复杂,覆盖的地域辽阔。因此,受自然条件、设备及人为因素的影响,可能出现各种故障和不正常运行状态。故障中最常见,危害最大的是各种型式的短路。发生短路时可能造成的危害是:

1. 故障点的很大的短路电流燃起的电弧,使故障设备损坏。
2. 从电源到短路点间流过短路电流,它们引起的发热和电动力将造成在该路径中有关的非故障元件的损坏。
3. 靠近故障点的部分地区电压大幅度下降,使用户的正常工作遭到破坏或影响产品质量。
4. 破坏电力系统并列运行的稳定性,引起系统振荡,甚至使该系统瓦解和崩溃。

所谓不正常运行状态是指系统的正常工作受到干扰,使运行参数偏离正常值,如一些设备过负荷、系统频率或某些地区电压异常、系统振荡等。

故障和不正常运行状态若不及时处理或处理不当时,就可能在电力系统中引起事故。事故是指人员伤亡和设备损坏、对用户停电或少送电、电能质量降低到不能容许的程度。

故障和不正常运行情况常常是难以避免的,但事故却可防止。电力系统继电保护装置就是装设在每一个电气设备上,用来反应它们发生的故障和不正常运行情况,从而动作于断路器跳闸或发出信号的一种有效的反事故的自动装置。它的基本任务是:

(1)自动、有选择性、快速地将故障元件从电力系统中切除,使故障元件损坏程度尽可能减轻,并保证该系统中非故障部分迅速恢复正常运行。

(2)反应电气元件的不正常运行状态,并依据运行维护的具体条件和设备的承受能力,发出信号、减负荷或延时跳闸。

应该指出,要确保电力系统的安全运行,除了继电保护装置外还应该设置电力系统安全自动装置。后者是着眼于事故后和系统不正常运行情况的紧急处理,以防止电力系统大面积停电和保证对重要负荷连续供电及恢复电力系统的正常运行。如自动重合闸、备用电源自动投入、自动切负荷、快关汽门、电气制动、远方切机、在选定的开关上实现系统解列、过负荷控制等。

随着电力系统的扩大,对安全运行的要求也更高。为此,还应设置以各级计算机为中心,用分层控制方式实施的安全监控系统,它能对包括正常运行在内的各种运行状态实施控制。这样才能更进一步地确保电力系统的安全运行。

二、对电力系统继电保护的基本要求

为实现其目标,作用于跳闸的继电保护装置在技术性能上必须满足以下四个基本要求:

1. 选择性 其基本含义是保护装置动作时,仅将故障元件从电力系统中切除,使停电范围尽量减小,以保证系统中非故障部分继续安全运行。如图 0-1 所示。

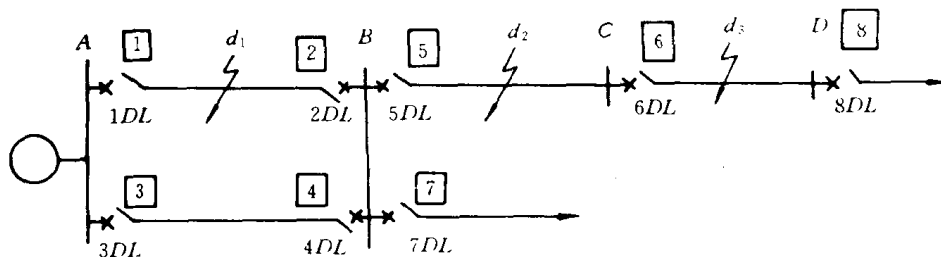


图 0-1 电网保护选择性动作

当 d_3 故障,故障元件是 CD 线,则应由保护 6 动作切除 $6DL$,仅使 D 站停电,停电范围最小,其余非故障部分可继续运行。这是有选择性动作。若 d_1 点故障,由保护装置 1 和 2 动作,断路器 $1DL$ 、 $2DL$ 跳闸以切除故障线路,也满足选择性的要求。若此时断路器 $3DL$ 或 $4DL$ 也跳闸,则扩大了电网停电范围,这种情况就属于非选择性动作。

但是,当 d_3 点发生短路,如果保护 6 或断路器 $6DL$ 由于某种原因拒绝动作,而由保护 5 动作使断路器 $5DL$ 跳闸,从而切除故障线路 CD ,也是有选择性的。此时虽然切除了一部分非故障线路,但在 $6DL$ 或保护 6 拒动的情况下,达到了尽可能限制故障的扩展,缩小停电范围的目的。因此把它称为下一段线路 CD 保护或断路器拒动的“远后备”保护。

在此,我们阐明在继电保护的配置上和所起作用方面的几个基本概念。

主保护 反应被保护元件自身的故障并以尽可能短(符合要求)的时限切除故障的保护。

后备保护 当主保护拒动时起作用从而动作于相应断路器以切除故障元件。在继电保护技术中后备保护有两种构成方式。

(1) 远后备 在每个设备构成的一套保护中有分别起主保护、后备保护作用的两部分。作为后备保护的部分既可作为本设备主保护拒动的后备,更主要是作为相邻下一设备断路器和保护拒动的后备。如图 0-2(a) 所示。

(2) 近后备 对每个被保护设备(或称元件)上装设着分别起主保护和后备保护作用的独立的两套保护,后备作用的实现的特点有二,一是“就近”实现,不依靠相邻的上一个元件处的保护;二是主保护拒动,由本处的后备保护起作用。断路器拒动则由本站装设的断路器失灵保护(也称后备结线)动作切除联结在该段母线上的其它断路器。如图 0-2(b) 所示。

显然,远后备保护的功能比较完备,它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流电源故障所引起的拒动都能起到后备作用,同时它比较简单、经济。因此,宜优先采用。只有当远后备保护不能满足灵敏度要求时,再考虑采用“近后备”的方式。

辅助保护 为补充主保护某种保护性能的不足(如方向性元件的电压死区)或加速切除某部分故障而装设的简单保护,例如无时限电流速断。

2. 速动性 速动性是指继电保护装置应以尽可能快的速度断开故障元件。这样就能减轻故障设备的损坏程度,减少用户在低电压情况下工作的时间,提高电力系统运行的稳定性。

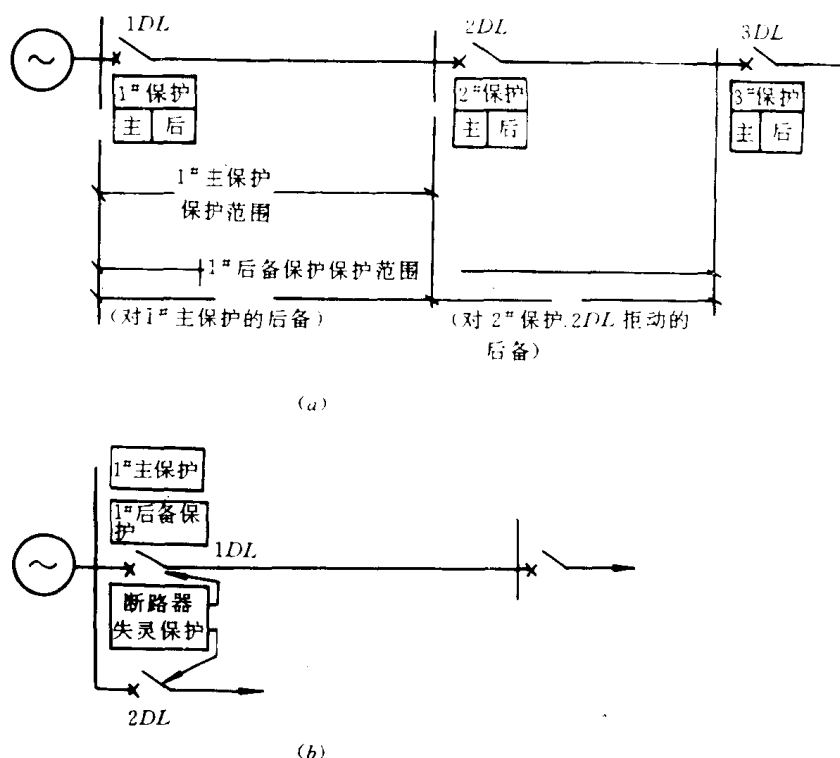


图 0-2 后备保护的构成方式

(a) 远后备保护

(b) 近后备保护

故障切除时间等于保护装置和断路器动作时间之和。目前保护动作速度最快的约 0.02 秒,加上快速断路器的动作时间,故障可在 0.1 秒以内切除。

应考虑不同电网对故障切除时间的具体要求和经济性、运行维护水平等条件以便确定合理的保护动作时间。

3. 灵敏性 保护装置对其保护范围内的故障或不正常运行状态的反应能力称为灵敏性(灵敏度)。灵敏性常用灵敏系数来衡量。它是在保护装置的测量元件确定了动作值后,按最不利的运行方式、故障类型、保护范围内的指定点校验,并满足有关规定的标准(参见附录二)。

4. 可靠性 可靠性是指在保护装置规定的保护范围内发生了它应该反应的故障时,保护装置应可靠地动作(即不拒动)。而在不属于该保护动作的其它任何情况下,则不应该动作(即不误动)。

可靠性取决于保护装置本身的设计、制造、安装、运行维护等因素。一般说来,保护装置的组成元件质量越好、接线越简单、回路中继电器的触点和接插件数越少,保护装置就越可靠。同时,保护装置的恰当的配置与选用、正确地安装与调试、良好的运行维护,对于提高保护的可靠性也具有重要的作用。

保护的误动和拒动都会给电力系统造成严重的危害,尤其是对于超高压大容量系统往往是造成系统大面积停电的重要原因,因此应予以足够的重视。在保护方案的构成中,防止保护误动与防止其拒动的措施常常是互相矛盾的。例如采用“二中取二”的双重化措施,无疑提高了不误动的可靠性,但却降低了不拒动的可靠性。在考虑提高保护装置可靠性同时,应根据电力系统和负荷的具体情况来处理。例如系统有充足的旋转备用容量、各元件之间联系十分紧密的情况下,由于某一元件的保护装置误动而给系统造成的影响较小;但保护装置的拒动给系统造成的危害却可能很大。此时,应着重强调提高不拒动的可靠性。又如对于大容量发电机保护,

应考虑同时提高不拒动的可靠性和不误动的可靠性,对此可采取“三中取二”的双重化方案或双倍的“二中取一”双重化方案。

在有些文献中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”。

对继电保护装置的四项基本要求是分析研究继电保护的基础,也是贯穿全书的主线,必须反复的深刻领会。要注意的是这四项基本要求之间,往往有矛盾的一面,例如既有选择性而又速动的保护,其装置结构都比较复杂,可靠性就比较低;提高保护的灵敏性,却增加了误动的可能性,降低了可靠性。因此必须从被保护对象的实际情况出发,明确矛盾的主次,采取必要的措施,取得对具体问题的矛盾的统—,使得继电保护能全面地满足这四个要求。通过本课程的学习,通过实践是可以逐步掌握的。

除以上四项基本要求外,还应该考虑经济性与可维护性。经济性是指保护装置购置、安装、调试及运行维护等费用。但经济性首先要着眼于国民经济的整体利益,而不应只着眼于节省继电保护装置的投资。另一方面,对于那些次要而数量很多的电气设备,如异步电动机的保护,也不应装设复杂而昂贵的继电保护装置。

可维护性则是指保护装置的正常运行维护及定期维护,应该比较方便。

三、继电保护的基本原理及保护装置的组成

继电保护装置要起到反事故的自动装置的作用,必须正确区分“正常”与“不正常”运行状态、被保护元件的“外部故障”与“内部故障”,以实现继电保护的功能。对此,通过检测各种状态下被保护元件所反应的各种物理量的变化予以鉴别。依据反应的物理量的不同,保护装置可以构成下述各种原理的保护。

1. 反应一端电气量的保护

电力系统发生故障时,通常伴有电流增大、电压降低以及电流与电压间相位角改变等现象。因此,在被保护元件的一端装设的各种变换器可以检测、比较并鉴别出故障时这些基本参数与正常运行时的差别,就可以构成各种不同原理的继电保护装置。例如,反应电流增大构成过电流保护;反应电压降低(或升高)构成低电压(或过电压)保护;反应电流与电压间的相位角变化构成方向保护;反应电压与电流的比值的变化构成的距离保护……。

现以图0-3及表0-1进一步说明。图0-3中(a)图是正常运行状态,(b)图给出了两种故障状。

表 0-1 根据一端电气量的变化所构成的保护

一 端 电 气 量	运 行 情 况		判 据	构成的保护
	正常运行	内部相间故障		
I (电流)	$I_{f,2}$ (负荷电流)	I'_d (短路电流)	$I \uparrow$	过电流保护
U (电压)	$U_{\oplus} = [1 \pm (5 \sim 10)\%] U_e$	$U_{\oplus, \sigma}$	$U \downarrow$	低电压保护
$\dot{U} \dot{I}$	$\dot{U}_f \dot{I}_{f,2} = \varphi_f$ ($U_{\oplus} = \dot{U}_f$)	$d \quad U_{\oplus} \dot{I}'_d = \varphi_d < 90^\circ$ $d \quad \dot{U}_{\oplus} \dot{I}''_{d,1} = 180^\circ + \varphi_d > 90^\circ$	$\dot{U} \dot{I}$ 变化	功率方向保护
$\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = Z$	$\frac{\dot{U}_{\oplus}}{\dot{I}_{f,2}} = Z_f$	$\frac{\dot{U}_{\oplus, \sigma}}{\dot{I}'_d} = Z_d$	$Z \downarrow$	低阻抗保护

表中 $\dot{U}_B$ ——变电站 B 的母线电压 φ_L ——负荷的功率因数角
 U_e ——该级电网额定电压 φ_d ——故障回路的阻抗角
 U_f, I_f, Z_f ——故障电压、故障电流、故障阻抗
 Z_d ——故障点与保护安装点间的阻抗

态：即保护安装处正方向 BC 线路上发生内部故障(d 点)及保护安装处背侧的 AB 线路上 d_1 点故障(外部故障)。两种工况下的各电气量如图所示。

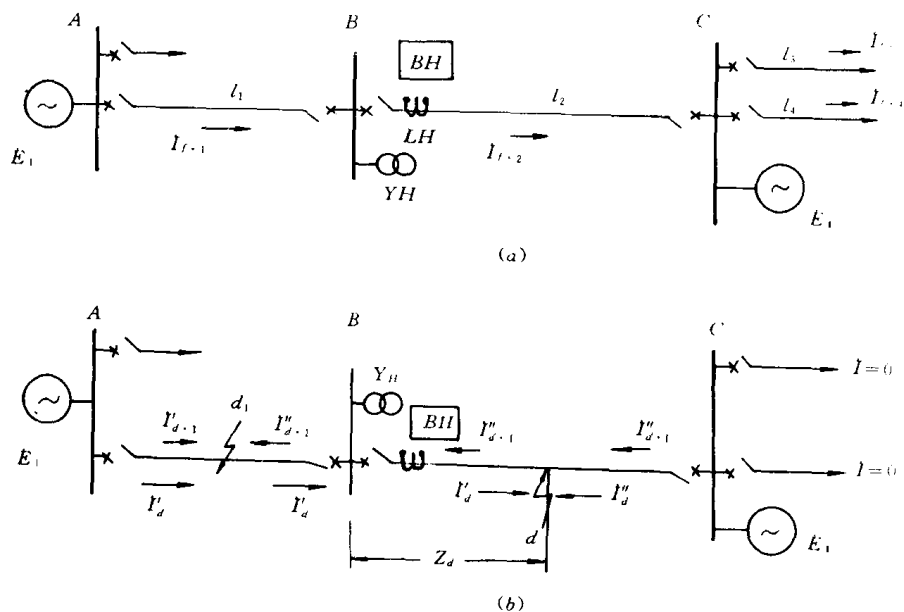


图 0-3 反应一端电气量的保护及其运行工况

(a) 正常运行状态 (b) 故障状态

将正常运行及故障两种状态的各种电气参数列于表 0-1 中,进行比较并进而找出构成保护的判据和相应的保护。

表中给出的为相间故障的特点及其构成的保护。对于接地故障,也可作相似的分析,构成相似的反应接地故障的保护。

这一大类的保护是立足于被保护元件的一端,对比两种运行状态的某一电气量的变化并依此特点构成保护,即反应一端电气量的保护。

2. 反应两端电气量的保护

如果同时检测并比较在内部故障与外部故障(包括正常运行状态)两种工况下的两端电气量,可以发现它们间有明显的区别,从而以这些差别作为判据即可构成反应两端电气量的保护。

对于图 0-4 中的输电线 BC,在其内部 d 点与外部 d_1 点故障时,同时检测两端的各种电气量及依据其差别建立的判据从而构成的保护举例列于表 0-2 中。

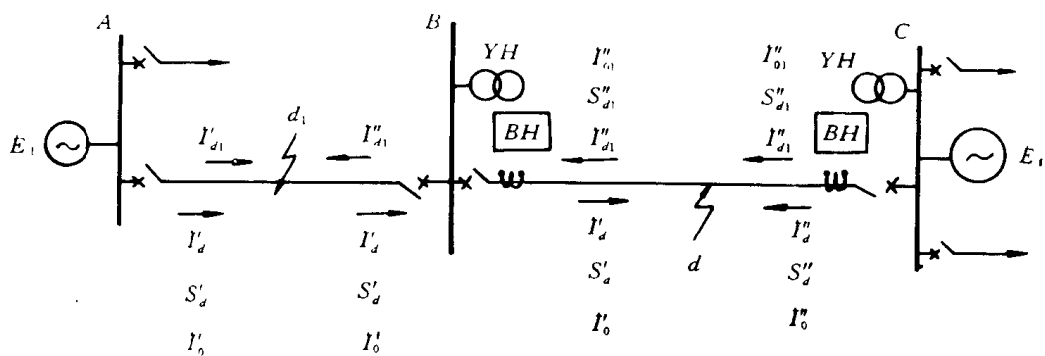


图 0-4 反应两端电气量的保护的运行工况

I, S, I_0 ——由头标及脚标区分的相应的电源侧及故障点的相电流、功率、零序电流

表 0-2 两端电气量的比较及其保护

被比较的 两端电气量	运 行 状 态		相应构成的保护
	正常运行及外部故障(d_1)	内部故障(如 d 点)	
两端全电流 (幅值、相位)	大小相等 相位相反	大小不等 相位相同	完全电流 纵差动保护
两端电流的相位	一正一负	同为正	相差高频保护
两端功率方向	一正一负	同为正	高频闭锁方向保护
两端阻抗方向	一正一负	同为正	高频闭锁距离保护

3. 反应非电气量的保护

如反应温度、压力、流量等非电气量变化的可以构成装设在电力变压器的瓦斯保护、温度保护等。

继电保护相当于一种在线的开环的自动控制装置,依控制过程信号性质的不同,可以分为模拟型(它又分为机电型和静态型)和数字型两大类。对于常规的模拟型继电保护装置,一般包括测量部分、逻辑部分和执行部分。见图 0-5,测量部分从被保护对象输入有关信号,再与给定的整定值比较,以判断是否发生故障或不正常运行状态;逻辑部分依据测量部分输出量的性质,出现的顺序或其组合,进行逻辑判断,以确定保护是否应该动作;执行部分依据前面环节判断得出的结果予以执行;跳闸或发信号。

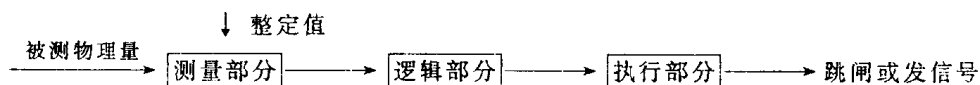


图 0-5 继电保护装置组成方框图

数字型的计算机保护的构成见第十章。

四、电力系统继电保护的特点及学习方法

1. 电力系统继电保护对于电力系统的安全运行影响很大,国内外多次系统崩溃造成的大面积停电都与保护有关。对此,学习和从事继电保护工作者对此应有充分的认识。

2. 继电保护的 control 对象是一个紧密联系的庞大而复杂的系统,对该系统的监控又是由众多的二次系统来实施的。因此,要做好继电保护工作必须了解各种电气设备的原理、结构、性

能、参数选择、故障特点。对电力系统的运行以及电力系统的控制、监测、调整、保护、通讯、远动等二次系统的有关知识也要有足够的了解。

3. 继电保护与多门电类学科有紧密联系。它以电工基础、电机学、电子技术、电力系统理论为基础,它的装置和技术又与计算机和微处理机、通讯工程、信息传输理论等新技术密切相关。它是反应新技术进展最敏锐的、综合性很强的学科。为此,如何根据电工、电力系统的基本理论,运用有关的新技术、新理论去解决电力系统继电保护面临的新的挑战,是摆在我们面前的紧迫的任务。

4. 继电保护技术强调理论与实践并重,要求掌握理论,这是基础;更要求掌握实验技术和技能,才能具体的实现和完成继电保护的任务。

学习继电保护的主要目的是了解和掌握保护的原理和工程应用。为此,可以采用纵向的认识、学习与横向联系对比、深化学习的方法。

纵向的认识过程与方法:

故障的特点 → 保护装置的工作原理 → 保护装置的主要元件及其原理 → 保护的主要元件参数选择(整定计算) → 保护的接线 → 对该保护的评价(优、缺点及应用范围)。

横向的联系对比与深化:

对各种保护纵向认识的基础上,将相同类型或原理相同的保护联系起来,作横向的比较,找出它们的共性与特殊性。这将使我们深化认识、牢固掌握知识。如对于阶段式相间电流保护 — 阶段式零序电流保护 — 阶段式相间距离保护 — 阶段式接地距离保护。其共同点是 ① 构成保护的判据是反应一端相应电气量的变化。② 因而只具有“相对”的选择性。③ 构成阶段式以较好地满足保护的基本要求;其区别在于:① 反应的电气量各是相电流 — 零序电流 — 相间电压与同名相电流差之比 — 相电压与带零序电流补偿的同名相电流之比。② 保护范围或灵敏度受运行方式影响的大小不同。③ 整定计算与接线方式不同。④ 可靠性(拒动、误动)不同,等等。这种系列很多,又如完全电流纵差动保护的原理和应用在发电机 — 变压器 — 电动机 — 母线 — 线路,同样可经比较后找出其异同。再如中性点不接地电网的接地保护 — 发电机定子回路单相接地保护等等。

总之,继电保护这门学科有其自身的特殊的规律,只要我们很好的认识和采用一些行之有效的方法去学习是不难掌握的。

第一章 继电保护装置的常用元件与基本电路

本章将讨论的内容是继电保护装置的常用元件与基本电路,其中有继电保护装置的常用的互感器与测量变换器,对称分量滤过器以及在静态继电器中常用的基本电路。为了适应继电保护技术的飞速发展的需要,我们在书中加入了集成电路继电保护的相关内容,为了便于理解这些内容,在书中对一些集成电路的基本知识作了简明的说明。

第一节 继电保护装置的常用的互感器与测量变换器

一、继电保护用电流互感器与电压互感器

1. 电流互感器的极性和误差

电流互感器按一定比例将电力系统一次电流变为二次电流,以满足测量和保护的需要。常用的电流互感器二次额定电流为 5A 和 1A。运行中电流互感器的二次绕组不能开路,否则将形成高电压,造成人身与设备事故。为了安全,电流互感器的二次回路必须有一点接地。

电流互感器一次和二次绕组的绕向用极性符号表示。常用的电流互感器极性都按减极性原则标志,即当电流同时通入一次和二次绕组同极性端子时,铁心中由此产生的磁通同方向,因此,当系统一次电流从同极性端流入时,电流互感器二次电流从二次绕组的同极性端流出。常用的一次绕组端子注有 L_1 和 L_2 ,二次绕组端子有 K_1 和 K_2 ,其中 L_1 和 K_1 为同极性端子。如只需识别一次和二次绕组相对极性关系时,在同极性端注以符号“*”,如图 1-1 所示。

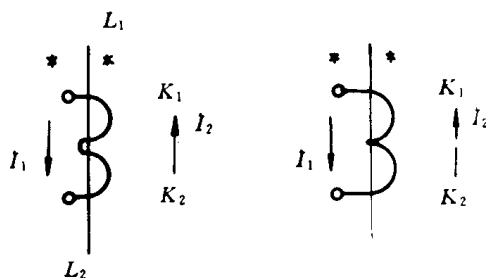


图 1-1 电流互感器极性标志

继电保护用的电流互感器一次绕组电流 I_1 和二次绕组电流 I_2 的正方向,系按照认为铁心中的合成磁势等于一次绕组和二次绕组磁势向量差的方法确定,若忽略电流互感器的空载电流,则有

$$W_1 \dot{I}_1 - W_2 \dot{I}_2 = 0 \quad (1-1)$$

即

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 W_1 / W_2 = \dot{I}'_1$$

这样, I_2 和 I_1 大小相等,相位相同。这种表示法,进入一次绕组电流方向和进入二次侧绕组负载电流方向一致,好像一次电流直接流入负载一样,较为直观。电流互感器的变流比 n_{IH} 等于额定一次电流 I_1 与额定二次电流 I_2 之比,由于空载电流远小于负载电流,因此变流比可以近似地认为等于二次绕组与一次绕组的匝数比,即

$$n_{LH} = I_{1e} / I_{2e} \approx W_2 / W_1 = I_1 / I_2$$

但实际上空载电流是存在的,考虑空载电流 I_0 后,式(1-1)应改写为

$$W_1 \dot{I}_1 - W_2 \dot{I}_2 = W_1 \dot{I}_0 \quad (1-2)$$

这意味着空载电流会使电流互感器的一次电流和二次电流间出现数值和相位的偏差,即数值(变化)误差和角度误差。

1) 数值误差用 f_i 表示。定义为一次电流与折合到一次侧的二次电流之差对一次电流之比的百分数。即

$$f_i = [(n_{LH} I_2 - I_1) / I_1] \times 100\%$$

2) 角度误差指一次电流和折合到一次侧的二次电流的相角差,数值较小。

为了提高电流互感器的准确度,减小误差,一般可以采取如下措施:

1) 采用高导磁材料做铁心,或增大铁心截面,缩短磁路长度,以降低空载电流。

2) 减小二次负载阻抗,增加二次导线截面,或者利用电流互感器两个二次绕组顺向串联。

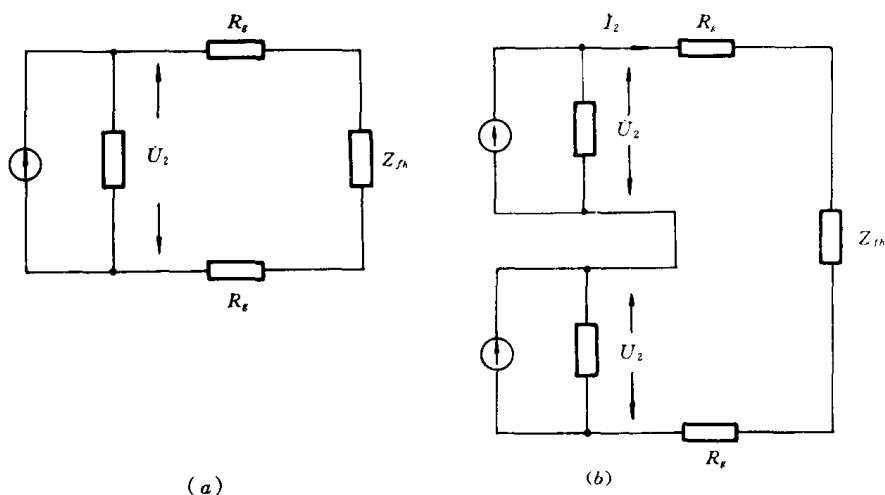


图 1-2 电流互感器连接负载时的等值电路

(a) 单个二次绕组 (b) 两个二次绕组串联

图 1-2 给出电流互感器接上负载时的等值电路。利用一个电流互感器二次绕组供给负载阻抗 Z_{fh} 的等值电路。图中 R_g 为连接导线电阻和端子接触电阻之和。为简化计算,二次回路各元件阻抗的相位差不予考虑,因此二次绕组端子上电压为

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 (Z_{fh} + 2R_g)$$

电流互感器的二次负载阻抗为

$$Z_{LH} = \dot{U}_2 / \dot{I}_2 = Z_{fh} + 2R_g$$

图 1-2 还给出两个电流互感器二次绕组按顺向串联时的等值电路。此时每个电流互感器的二次等效负载阻抗为

$$Z_{LH} = (Z_{fh} + 2R_g) / 2$$

即在二回路负载阻抗不变的情况下,应用两个电流互感器二次绕组按顺向串联将比应用一个电流互感器二次绕组时,每个电流互感器的负载阻抗减小一半,从而误差减小。

3) 适当减小电流互感器一、二次绕组的匝数比 W_2/W_1 。如将二次绕组的匝数 W_2 减少,则二次电流可适当增大,电流误差可以减小。