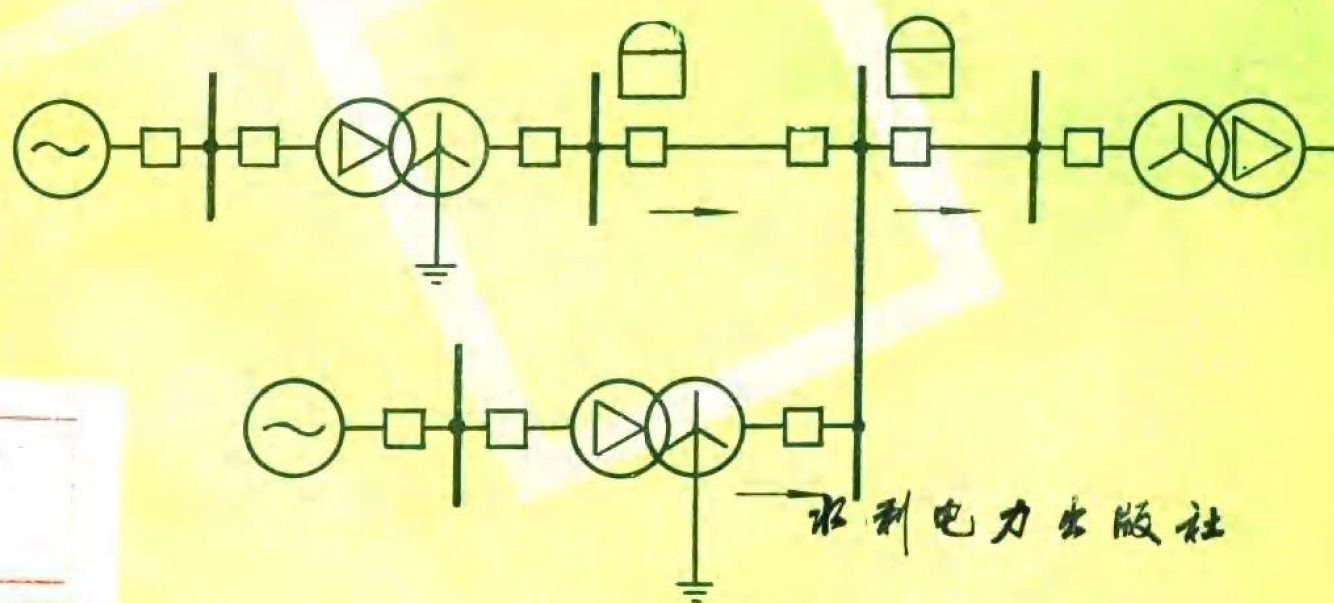


电力系统 继电保护 设计原理

华中工学院 吕继绍 主编



内 容 提 要

本书讲述电力设备及输电线路继电保护的设计原理与方法。

全书共分八章。第一章介绍继电保护设计的一般共同规定。第二、三、四章分别介绍发电机、变压器和发电机变压器组继电保护的配置原则与计算方法。第五、六、七章介绍35~500kV输电线路继电保护的配置原则与计算方法。第八章介绍母线保护与断路器失灵保护。

本书可作为高等学校“电力系统继电保护及自动化”、“电力系统及其自动化”及“发电厂与电力系统”等专业学生进行课程设计及毕业设计的参考书,也可供从事继电保护工作的专业人员参考。

电力系统继电保护设计原理

华中工学院 吕继绍 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 10.5印张 234千字

1986年12月第一版 1986年12月北京第一次印刷

印数0001—8690册 定价2.20元

书号 15143·5979



前 言

本书是根据“电力系统继电保护及自动化”教材编审小组讨论制定的编写计划和审订的编写大纲进行编写的。

全书共分八章。第一章为继电保护设计的一般共同规定。第二、三、四章分别为发电机、变压器和发电机变压器组继电保护的设计原理与计算方法。第五、六章分别为35~66kV和110~220kV输电线路继电保护的设计原理和计算方法。第七章为330~500kV输电线路继电保护的特点和配置原则。第八章为母线保护及断路器失灵保护的设计原理与计算方法。

本书除介绍各种电气设备与输电线路继电保护的设计原理外，还列举了一些计算实例。

本书由华中工学院袁礼明、吴希再与吕继绍三同志编写，吕继绍同志任主编。

本书由重庆大学叶一麟同志主审。

在编写过程中，曾得到电力系统有关部门及兄弟院校的协助并提供了有关的参考资料，在此表示衷心感谢。

由于编写人员的理论水平及实践经验所限、编写时间仓促，书中难免有缺点和错误，敬希读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 一般规定	1
1-1 主保护、后备保护和辅助保护	1
1-2 对继电保护装置的基本要求	2
1-3 系统运行方式的考虑	5
1-4 电力系统振荡对保护的影响及避免保护误动作的方法	6
1-5 防止电压互感器二次回路电压消失时保护误动作的措施	7
1-6 电流互感器的误差及消除其对保护影响的方法	8
1-7 保护装置的出口回路和信号回路	13
1-8 操作电源	14
第二章 1000kW及以上容量的同步发电机的保护	16
2-1 概述	16
2-2 纵差动保护的整定计算	17
2-3 定子接地保护的整定计算	19
2-4 定子绕组匝间短路保护的整定计算	22
2-5 定子绕组过电压保护的整定计算	24
2-6 相间短路后备保护的整定计算	24
2-7 定子绕组过负荷保护的整定计算	27
2-8 逆功率保护的整定计算	28
2-9 失磁保护的整定计算	29
第三章 6.3MVA及以上电力变压器的保护	34
3-1 概述	34
3-2 电流速断保护的整定计算	35
3-3 纵差动保护的整定计算	36
3-4 相间短路后备保护的整定计算	49
3-5 单相接地保护的整定计算	55
3-6 过负荷保护的整定计算	57
3-7 自耦变压器的保护	57
3-8 差动保护整定计算举例	62
第四章 发电机变压器组的保护	66
4-1 概述	66
4-2 纵差动保护的整定计算	67
4-3 单相接地保护的整定计算	68
4-4 相间短路后备保护的整定计算	69
4-5 发电机变压器组保护的设计举例	69

第五章	35~66kV中性点非直接接地电网中线路的保护	82
5-1	概述	82
5-2	相间短路电流电压保护的整定计算	83
5-3	双回平行线路横差动保护的整定计算	92
5-4	短线路纵差动保护的整定计算	102
5-5	单相接地零序电流保护的整定计算	104
第六章	110~220kV中性点直接接地电网中线路的保护	106
6-1	概述	106
6-2	距离保护的整定计算	107
6-3	高频保护的整定计算	111
6-4	零序电流保护的整定计算	117
6-5	分支线对线路保护设计的影响	125
6-6	220kV电网继电保护设计举例	130
第七章	330~500kV中性点直接接地电网中线路保护的特点	149
7-1	330~500kV输电线路的特点	149
7-2	330~500kV输电线路继电保护的配置方式	149
第八章	母线保护及断路器失灵保护	152
8-1	概述	152
8-2	母线不完全电流差动保护的整定计算	153
8-3	母线完全电流差动保护的整定计算	154
8-4	电流相位比较式母线差动保护的整定计算	155
8-5	断路器失灵保护的整定计算	159
参考文献		161

第一章 一般规定

电力系统继电保护的设计与配置是否合理直接影响到电力系统的安全运行。如果设计与配置不当,保护将不能正确工作(误动或拒动),从而会扩大事故停电范围,给国民经济带来严重的恶果,有时还可能造成人身和设备安全事故。因此,合理地选择保护方式和正确地整定计算,对保证电力系统的安全运行有非常重要的意义。

选择保护方式时,希望能全面满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。当同时满足四个基本要求有困难时,根据电力系统的具体情况,在不影响系统安全运行的前提下,可以降低某一要求。例如,对110kV及以下的单侧电源辐射网络,当采用电流电压保护不能满足速动性或灵敏性要求时,速断保护可无选择性地动作,以满足速动性和灵敏性的要求,但需用自动重合闸来补救,以使停电范围不致扩大。

选择保护方式时,应力求采用最简单的保护装置来满足系统的要求。只有当最简单的保护装置不能达到目的时,才考虑采用较复杂的保护装置。运行经验证明,采用简单的保护装置,不仅调整试验方便,而且运行的可靠性也较高。

设计各种电气设备(发电机、变压器、母线和线路等)的保护时,应对下述各项作综合考虑:(1)电力设备和电力系统的结构特点和运行特性;(2)故障出现的概率及可能造成的后果;(3)电力系统的近期发展情况;(4)经济上的合理性;(5)国内、外的成熟经验。

所选用的保护方式要满足电力系统结构和厂、站主接线的要求。并宜考虑电力系统和厂、站运行方式的灵活性。

为便于运行管理和有利于保护性能的配合,同一电力网或同一厂、站内的继电保护型式,不宜品种过多。

继电保护装置的新产品,应按国家规定的要求和程序进行鉴定,合格后方可使用。

本章介绍各种电气设备的保护应共同考虑的问题。它们的保护方式的选择与整定计算将在以后各章介绍。

1-1 主保护、后备保护和辅助保护

在35kV及以上的三相交流电力系统中,所有的电力设备和输电线路均应装设反应短路故障和异常运行情况的继电保护装置。

反应短路故障的保护应有主保护和后备保护,必要时还要增设辅助保护。这些保护均作用于断路器跳闸。

主保护是能满足电力系统稳定及电力设备安全要求,有选择地切除被保护设备和全线路故障的保护。通常采用的主保护有行波保护、高频保护、差动保护、距离保护(I、II段

共同组成)和零序电流电压保护(I、II段共同组成)等。

后备保护是主保护或断路器拒动时,用以切除故障的保护。它分为远后备和近后备两种方式。远后备是主保护或断路器拒动时,由相邻电力设备或输电线路的保护实现后备,通常采用的远后备保护有距离保护第III段和电流电压保护第III段。近后备是主保护拒动时,由本电力设备或输电线路的另一套保护实现后备;断路器拒动时,由断路器失灵保护实现后备。通常采用的近后备保护有高频保护、距离保护I、II段和电流电压保护I、II段等。

辅助保护是为弥补主保护和后备保护的缺陷(例如死区)而增设的简单保护。通常采用无时限电流速断保护作为辅助保护。

反应电力设备异常运行情况的保护通常采用简单的电流电压保护,它延时动作于信号。

1-2 对继电保护装置的基本要求

在电力系统发生故障时,为了保障其非故障部分运行的可靠性,保护装置必须能可靠地、有选择地、灵敏地和快速地将故障设备(包括输电线路,以下同)切除,以保证非故障设备继续运行。因此,在一般情况下,作用于断路器跳闸的继电保护装置必须满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性四项基本要求。对作用于信号的继电保护装置,速动性的要求可以降低一些。

一、可靠性

可靠性是指被保护设备区内发生该保护应该反应的故障时,保护装置能可靠动作(不拒动);系统正常运行或在保护区外故障时,保护应可靠不动作(不误动)。即保护装置该动作时应可靠动作;不该动作时应可靠不动作。

为了提高保护装置动作的可靠性,目前国内外广泛采用了下列措施。

(1)超高压输电线路的主保护采用双重化,并使保护的動作时间短到 $0.03\sim 0.04\text{s}$ 及以下。两套主保护装置分别接在电流互感器的两组次级绕组上。此外,在仅有一台电压互感器或电容式电压互感器时,一般都将两个次级绕组作为两个单独回路,各套保护装置的电压回路分别接到两个次级绕组上。

(2)主保护采用双重化时,两套保护用的继电器应采用不同型式的继电器(例如电磁型与晶体管型);讯号传送分别采用电力线载波与无线电微波方式;分别采用不同的保护方式(例如相差高频保护与高频闭锁距离保护);以及分别采用不同制造厂的产品。

(3)在主保护未采用双重化的超高压线路上,应尽量缩短后备保护装置的動作时间。并应使主保护和后备保护的相应回路彼此独立,使它们没有公用的继电器。

(4)主保护采用静态继电器构成时,应在其中附有保护装置本身发生故障时能防止误动作的闭锁回路、正常监视回路和自动检测装置等。控制电缆应采用静电屏蔽电缆,以提高抗干扰能力。

(5)采用输入量小到 $0.5\sim 0.7\text{A}$ 也能动作的高灵敏继电器,使在长距离、重负荷的

输电线路发生短路时也能可靠动作。

(6) 在断路器的两侧装设电流互感器, 以使母线保护和线路保护的保护区相互重叠, 以消除断路器和电流互感器之间的死区。

(7) 保护装置的交流电压回路应采用自动切换的供电方式, 以防止因忘记手动切换而引起保护误动作。

(8) 断路器的跳闸线圈应实现双重化, 以防止断路器失灵。

(9) 控制用直流回路仅蓄电池本身为公共部分, 其余部分均应双重化。

(10) 在母线保护中, 总差动保护和分段差动保护采用“与”回路输出, 以防误动作。

(11) 在设计和拟制保护方案时, 应选用高质量的继电器和器件(晶体管、电容器等), 采用最简单的接线方式。在满足其他三项基本要求的前提下应采用最简单的保护方式。

(12) 保护装置应便于整定计算、调试和运行维护。

二、选择性

选择性是指电力系统发生故障时, 仅由故障设备的保护装置将故障设备切除。当故障设备的保护或断路器拒动时, 则由相邻设备的保护装置切除故障, 以尽量缩小停电范围。

为保证选择性, 在设计保护时, 对相邻设备有配合要求的保护和同一保护内的两个元件(例如, 起动元件与跳闸元件或闭锁元件与动作元件)之间的灵敏性与动作时间均应相互配合。

在某些情况下, 必须加速切除故障或提高灵敏度时, 允许保护无选择性动作, 但必须采取补救措施(例如采用自动重合闸或备用电源自动投入装置), 以恢复无选择性切除的非故障设备的供电, 缩小停电范围。

三、灵敏性

灵敏性是指保护装置对其保护区内故障的反应能力。保护装置的灵敏性一般用灵敏系数或保护范围来衡量。

反应数值上升的保护装置的灵敏系数为保护区内金属性短路时, 故障参数的最小计算值与保护整定值之比。

反应数值下降的保护装置的灵敏系数为保护整定值与保护区内金属性短路时, 故障参数的最大计算值之比。

故障参数(电流、电压、阻抗等)的最大、最小计算值应根据常见的最不利运行方式、短路类型和短路点来计算。

在设计保护校验灵敏度时, 各类短路保护装置的灵敏系数不应小于表1-1所列的数值。

四、速动性

速动性系指保护装置应快速切除故障。快速切除故障可以提高电力系统运行的稳定性, 限制故障设备的损坏程度, 缩小故障波及的范围, 提高自动重合闸和备用电源或备用设备自动投入的成功率。

在设计保护时, 主保护的動作时间一般必须经过系统稳定计算来决定。有时也可由电力

表 1-1

短 路 保 护 的 最 小 灵 敏 系 数

保 护 分 类	保 护 类 型	组 成 元 件		灵 敏 系 数	备 注
主 保 护	带方向和不带方向的 电流保护或电压保护	电流元件和电压元件		1.3~1.5	200km以上线路不小于1.3；50~200km线路不小于1.4；50km以下线路不小于1.5。 对110kV及以上线路整定时间不超过1.5s
		零序或负序方向元件		2.0	
	距 离 保 护	起 动 元 件	负序和零序 增量元件或负 序分量元件	4	距离保护第III段动作区末端故障灵敏系数大于2
			电 流 和 阻 抗 元 件	1.5	线路末端短路电流应为阻抗元件精确工作电流2倍以上。200km以上线路不小于1.3；50~200km线路不小于1.4；50km以下线路不小于1.5。 整定时间不超过1.5s
		距 离 元 件		1.3~1.5	
	平行线路的横联差 动方向保护和电流平 衡保护	电 流 和 电 压 起 动 元 件		$\frac{2.0}{1.5}$	分子表示线路两侧均未断开前；其中一侧保护按线路中点短路计算的灵敏系数。
		零 序 方 向 元 件		$\frac{4.0}{2.5}$	分母表示一侧断开后，另一侧保护按对侧短路计算的灵敏系数
	高 频 方 向 保 护	跳 闸 回 路 中 的 方 向 元 件		3.0	个别情况下灵敏系数可为1.3
		跳 闸 回 路 中 的 电 流 和 电 压 元 件		2.0	
		跳 闸 回 路 中 的 阻 抗 元 件		1.5	
	高 频 相 差 保 护	跳 闸 回 路 中 的 电 流 和 电 压 元 件		2.0	
		跳 闸 回 路 中 的 阻 抗 元 件		1.5	
	发 电 机、变 压 器、 线 路 和 电 动 机 的 纵 联 差 动 保 护	差 电 流 元 件		2.0	
	母 线 的 完 全 电 流 差 动 保 护	差 电 流 元 件		2.0	
	母 线 的 不 完 全 电 流 差 动 保 护	差 电 流 元 件		1.5	
	发 电 机、变 压 器、 线 路 和 电 动 机 的 电 流 速 断 保 护	电 流 元 件		2.0	按保护安装处短路计算

保护分类	保护类型	组成元件	灵敏系数	备 注
后备保护	远后备保护	电流、电压及阻抗元件	1.2	按相邻电力设备和线路末端短路计算(短路电流应为阻抗元件精确工作电流2倍以上)
		零序或负序方向元件	1.5	
	近后备保护	电流、电压及阻抗元件	1.3~1.5	按线路末端短路计算
		零序或负序方向元件	2.0	
辅助保护	电流速断保护	电流元件	>1.2	按正常运行情况下保护安装处短路计算

- 注 ①主保护的灵敏系数除表中注出者外，均按保护区末端短路计算；
 ②反应故障时增长量的保护装置，灵敏系数为金属性短路计算值与保护整定值之比；反应故障时减少量的保护装置，则为保护整定值与金属性短路计算值之比；
 ③各种类型保护中接于全电流和全电压的方向元件，灵敏系数不作规定；
 ④本表内未包括的其他类型保护装置，灵敏系数另作规定。

系统有关部门提供。

在装有管型避雷器的线路上，为了在避雷器放电时，保护不致误动作，保护装置的动作时间应不小于0.08s，保护装置起动元件的返回时间应小于0.02s。

1-3 系统运行方式的考虑

在选择保护方式及对其进行整定计算时，都必须考虑系统运行方式变化带来的影响。所选用的保护方式，应在各种系统运行方式下，都能满足选择性和灵敏性的要求。对过量保护来说，通常都是根据系统最大运行方式来确定保护的整定值，以保证选择性，因为只要在最大运行方式下能保证选择性，在其他运行方式下也一定能保证选择性；灵敏度的校验应根据最小运行方式来进行，因为只要在最小运行方式下，灵敏度符合要求，在其他运行方式下，灵敏度也一定能满足要求。对某些保护（例如电流电压联锁速断保护和电流速断保护），在整定计算时，还要按正常运行方式来决定动作值或计算灵敏度。

1. 最大运行方式

根据系统最大负荷的需要，电力系统中的发电设备都投入运行（或大部分投入运行）以及选定的接地中性点全部接地的系统运行方式称为最大运行方式。对继电保护来说，是短路时通过保护的短路电流最大的运行方式。例如，在图 1-1中，对相间短路保护 5 来说，最大运行方式为：A、B两发电厂的发电机全部投入，且闭环运行的运行方式。对相间短路保护 3 来说，最大运行方式为：A、B两发电厂的发电机全部投入运行，且BC线路断开的运行方式。对接地短路保护 5 和 3 来说，除上述条件相同外，还要加上A、B两发电厂中变压器中性点接地数目最多的运行方式。

2. 最小运行方式

根据系统最小负荷,投入与之相适应的发电设备且系统中性点只有少部分接地的运行方式称为最小运行方式。在有水电厂的系统,要考虑水电厂运行受水能状态限制的运行方式。对继电保护来说,是短路时通过保护的短路电流最小的运行方式。例如,在图 1-1 中,对相间短路保护 5 来说,最小运行方式为: A、B 两发电厂投入运行的发电机容量均为最小,且线路 AC 或 BC 断开的运行方式。对相间短路保护 3 来说,最小运行方式为: A、B 两发电厂投入运行的发电机容量均为最小,且闭环运行的运行方式。对接地保护 5 和 3 来说,除上述条件相同外,还要加上两发电厂的变压器中性点接地数目均为最少的运行方式。

3. 正常运行方式

根据系统正常负荷的需要,投入与之相适应数量的发电机、变压器和线路的运行方式称为正常运行方式。这种运行方式在一年之内的运行时间最长。

对更复杂的系统,最大、最小运行方式的判断是比较困难的,有时需要经过多次计算才能确定。

对于某些特殊运行方式,运行时间很短,对保证保护的选择性或灵敏性有困难时,且在保护拒动或误动不会引起大面积停电的情况下,可不予考虑。

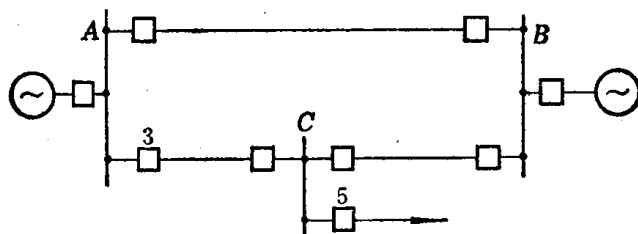


图 1-1 选择系统运行方式的说明图

1-4 电力系统振荡对保护的影响 及避免保护误动作的方法

电力系统振荡,主要是由于短路切除较慢引起系统动态稳定的破坏而造成的。当输电线路输送功率过大,超过静态稳定极限时,也会产生系统振荡。另外,在联系较弱的系统中,由于投入或切除某一重负荷线路或设备,也可能引起系统振荡。电力系统发生振荡后,在自动调节装置的作用下一般可以恢复同步运行。因此,不允许保护误动作,以免扩大事故。即使不能迅速恢复同步运行,还可由解列装置将系统解列,或切除部分负荷或机组来加速恢复同步,在此情况下,保护也不应该误动作。在线路进行非同期重合闸时,一般都要经历一个振荡过程,然后线路两侧系统才逐步拉入同步,此时更不允许保护误动作。因此,必须研究电力系统振荡对各种保护的影响,从而找出避免保护误动作的措施。

经分析电力系统振荡有下列特点:

(1) 保护安装处将流过数值很大的、周期性变化的振荡电流。其最大值可能大于三相短路电流,保护装置的电流测量元件将会误动作。

(2) 被保护线路母线上的电压, 也将发生周期性的变化。当该母线处于振荡中心附近时, 如果系统两侧电源电势幅值相等, 且各电气元件的阻抗角相同, 则保护安装处的电压可能降至接近零电位, 保护装置的低电压元件会误作。

(3) 距离保护的测量阻抗也将发生周期性的变化。当它小于阻抗元件的动作阻抗时, 阻抗元件将误动作。

(4) 三相对称, 因此不会出现零序和负序分量。利用零序和负序分量构成的保护装置不会误动作。

(5) 根据统计资料, 系统失去稳定后, 两侧电势夹角由正常工作角摆到 180° 所经历的时间一般不短于 0.4s 。振荡过程中最短的振荡周期一般为 $0.1\sim 0.15\text{s}$ 。在系统恢复同步前最后一个振荡周期最长, 一般约为 3s 。因此, 可以认为电力系统的振荡周期为 $0.1\sim 3\text{s}$ 。运行经验证明, 当保护装置的动作时间大于 1.5s 时, 一般就不会误动作。

根据上面所述, 电力系统振荡时, 避免保护装置误动作的方法有下述几种:

(1) 利用保护装置的动作整定值躲开系统振荡对保护的影响。例如, 令无时限电流速断保护的动作电流大于最大振荡电流, 则系统振荡时, 保护就不会误动作。

(2) 利用保护装置的动作延时躲开系统振荡对保护的影响。例如, 电流电压保护和距离保护的第III段的延时一般均大于 1.5s , 因此系统振荡时, 这些保护装置就不会误动作。

(3) 利用保护的作用原理躲开系统振荡对保护装置的影响。例如, 零序电流电压保护、负序电流保护、纵差动保护、相差高频保护等, 在系统振荡时都不会误动作。

(4) 另外一些保护(例如距离保护第I、II段、高频闭锁方向保护、高频闭锁距离保护等)在系统振荡时, 是会误动作的。解决这些保护在系统振荡时误动作的方法, 通常是采用振荡闭锁装置。即在系统振荡时, 振荡闭锁装置动作, 使保护装置短时退出工作, 避免保护误跳闸。实现振荡闭锁首先必须区分短路与振荡。区分的方法有两种: 一是利用电气量变化速度不同来区分; 二是利用有无负序分量及其增量来区分。具体的实现方法请参阅文献1、2。

1-5 防止电压互感器二次回路电压 消失时保护误动作的措施

继电保护装置的电压回路是接在电压互感器的二次侧。当电压互感器内部故障时, 其高压侧的保护设备或熔断器将动作或熔断; 电压互感器的二次回路短路时, 其低压侧的熔断器将熔断; 此外, 接线螺丝也可能松脱。因此, 在系统正常运行情况下, 出现上述故障时, 都会使电压互感器二次侧的相电压或线电压下降至零。但保护装置的电流回路仍有负荷电流。电压互感器二次侧电压消失对各种保护装置的影响如下:

(1) 对电流电压保护 这种保护是由电流元件与低电压元件共同组成, 两者组成“与”门电路。当电压互感器二次侧电压消失时, 低电压元件处于动作状态。此时, 如果系统运行方式发生变化使负荷电流增大或保护区外短路时, 此保护就会误动作。

(2) 对距离保护 距离保护的阻抗测量元件会误动作。如保护采用阻抗元件作为起动元件, 则保护装置会立即误动作; 如采用电流元件作为起动元件, 则在保护区外短路时, 保护也会误动作。

(3) 对方向电流保护 当负荷功率因数较大(例如 $\cos\varphi=0.95$), 功率方向继电器的内角又取较小值($\alpha=30^\circ$)时, 功率方向继电器可能误动作。如此时, 电流元件由于某一原因也动作, 则保护就会误跳闸(参考文献1)。

为了在电压互感器二次侧电压消失时, 防止保护误动作, 通常采用的措施是由保护装置发出电压消失信号, 同时将保护闭锁。电流电压保护是利用低电压元件直接发信号和闭锁保护。方向电流保护及距离保护则需用闭锁装置来完成这两种任务。

闭锁装置可利用零序电压继电器、零序电压磁平衡原理和综合磁平衡原理构成。它们的作用原理和原理接线图可参阅文献1。

1-6 电流互感器的误差及消除其对保护影响的方法

用于继电保护装置的电流互感器, 变比容许误差为10%, 角度容许误差为 7° 。计算时, 利用电流互感器的10%误差曲线, 可以使电流互感器的变比误差限制在10%以内。电流互感器的10%误差曲线是其变比误差固定为10%时, 电流倍数 m 与二次负荷阻抗 Z_{fh} 的关系曲线。 Z_{fh} 愈大, 容许的 m 愈小; m 愈大, 容许的 Z_{fh} 也愈小。此曲线与电流互感器的型号、容量和变比有关, 由制造厂家提供。电流互感器计算的目的是:

(1) 已知电流互感器的各种参数时, 决定二次连接导线的截面;

(2) 已知二次连接导线的截面时, 选择电流互感器的各种参数。

本节讨论的电流互感器的计算, 适用于中性点直接接地系统的相间短路保护和接地短路保护, 以及中性点非直接接地系统的相间短路保护。

电流互感器的角度误差, 除个别情况外(见高频保护整定计算), 一般均可忽略不计。

一、电流互感器二次负荷阻抗的计算式

电流互感器的二次负荷阻抗由下式决定:

$$Z_{fh} = U/I \quad (1-1)$$

式中 U ——电流互感器二次绕组端子上的电压, 由通过电流互感器二次负荷阻抗的电流在其上产生的电压降决定;

I ——通过电流互感器二次负荷阻抗的电流。

系统发生各种短路时, 电流保护和纵差动保护各种基本接线方式的电流互感器二次负荷阻抗的计算式, 分别列于表1-2及表1-3中。应当注意, 必须选取所用接线方式中 Z_{fh} 最大者作为实用计算值。

表1-2及表1-3的特点如下:

(1) 在电流保护方式中, 如保护安装处与短路点之间有 Y/Δ 接线变压器时, 仅列

表 1-2

各种电流保护基本接线方式的电流互感器二次负荷阻抗的计算式

顺序	继电器的接线图	故障类型	向量图	Z_{fh} 的计算式
1		三相短路		$Z_{fh} = Z_L + Z_J$
		两相短路		
		单相接地或两重接地		$Z_{fh} = 2Z_L + Z_J + Z_{j0}$
2	注：设短路发生在Y/△变压器后面时，通过A相和C相电流互感器的电流大小相等，方向相同	三相短路		$Z_{A \cdot fh} = (1.5 + j0.866) \times Z_L + Z_J$ $Z_{C \cdot fh} = (1.5 - j0.866) \times Z_L + Z_J$
		A、C相间短路		$Z_{fh} = Z_L + Z_J$
		A、B及B、C相间短路，单相接地或两重接地		$Z_{fh} = 2Z_L + Z_J$
		在Y/△变压器后面两相短路		$Z_{fh} = 3Z_L + Z_J$
3	注：设短路发生在Y/△变压器后面时，通过A相电流互感器的电流为通过C相电流互感器的两倍，方向相反	三相短路		$Z_{A \cdot fh} = (1.5 - j0.866) \times (2Z_L + Z_J)$ $Z_{C \cdot fh} = (1.5 + j0.866) \times (2Z_L + Z_J)$
		AC相间短路		$Z_{fh} = 4Z_L + 2Z_J$
		AB及BC相间短路，单相接地及两重接地		$Z_{fh} = 2Z_L + Z_J$
		在Y/△变压器后面两相短路		$Z_{A \cdot fh} = 3Z_L + 1.5Z_J$ $Z_{C \cdot fh} = 6Z_L + 3Z_J$

表 1-3 各种纵差动保护基本接线方式的电流互感器二次负荷阻抗的计算式

序号	保护装置名称	继电器接线图	故障类型	Z_{fh} 计算式
1	发电机纵差动保护		三相短路 两相短路	$Z_{fh} = Z_L$
2	Y/Y/Δ三线圈变压器纵差动保护(带制动线圈) (I侧中性点直接接地)		三相及两相短路 电源在变压器 III 侧时, 在 I 侧单相接地	$Z_{fh \cdot I} = 3Z_L + 3Z_Z$ $Z_{fh \cdot II} = 3Z_L + 3Z_P$ $Z_{fh \cdot III} = Z_L + Z_P$ $Z_{fh \cdot I} = 2Z_L + 2Z_Z$ $Z_{fh \cdot III} = Z_L + Z_Z$
3	母线纵差动保护		三相及两相短路 单相接地	$Z_{fh} = Z_L$ $Z_{fh} = 2Z_L$

入电流互感器的最大负荷阻抗计算式(表1-2的2、3项);

(2) 在纵差动保护接线方式中, 仅列入在保护区外短路时, 电流互感器二次负荷阻抗的算式;

(3) 在所有差动保护方式中, 均认为每组星形接线的电流互感器的二次侧用四条连接线引到保护盘上; 而每组三角形接线的电流互感器的二次侧则用三条连接线引到保护盘上;

(4) 在所列算式中, 均未考虑接触电阻, 因此在所有情况中, 应把二次负荷阻抗的

计算值增加 0.05Ω ，以包括接触电阻；

(5) 为简化计算，在电流互感器二次负荷阻抗的算式中，均容许用继电器的阻抗与二次导线的电阻算术相加；

(6) 其他保护方式的电流互感器的二次负荷阻抗的计算式与电流保护方式的算式相同。

二、电流倍数的计算式

1. 定时限电流保护

为保证电流继电器动作时，电流互感器的变比误差不超过10%，因此，其电流倍数的计算式为

$$m = KI_{dz}/I_e K_{fx} \quad (1-2)$$

式中 K ——考虑电流互感器的10%误差，一次侧电流倍数大于二次侧电流倍数的系数，取为1.1；

I_{dz} ——电流继电器的动作电流；

I_e ——电流互感器二次侧额定电流；

K_{fx} ——接线系数。

短路类型应选择 Z_{fh} 最大而 K_{fx} 最小者。当两者不能一致时，则必须进行并行计算。

2. 距离保护

进行电流互感器计算的目的在于使阻抗测量元件不致因电流互感器的变比误差而引起误动作。电流倍数的计算式为

$$m = KI_d/I_e \quad (1-3)$$

式中 K ——考虑电流互感器在短路的过渡过程中饱和的系数，对于动作时间为1s左右的保护取为1，对于第一段动作时为0.3s左右的保护取为1.5，对于第一段动作时间为0.1s左右的保护取为2；

I_d ——第一段末端短路时，一次侧短路电流周期分量的计算值；

I_e ——电流互感器一次侧的额定电流。

短路类型应选择 Z_{fh} 和 I_d 均为最大者。当两者不一致时，应进行并行计算。

3. 差动保护

对差动保护来说，进行电流互感器计算的目的在于不致因电流互感器的变比误差过大而产生过大的不平衡电流使保护误动作。即当电流互感器通过最大穿越短路电流时，它的变比误差不应超过10%。因此，电流倍数的计算如下：

(1) 对于纵差动保护

$$m = KI_{d\max}/I_e \quad (1-4)$$

式中 $I_{d\max}$ ——外部短路时，通过电流互感器一次侧的最大短路电流的周期分量；

I_e ——电流互感器一次侧的额定电流；

K ——系数，与式(1-3)相同。

(2) 对于横差动保护， m 的计算按式(1-4)进行，但式中的 $I_{d\max}$ 应选用外部最大短路电流周期分量的一半。

(3) 对于平行线路的方向横差动保护, m 的计算按式(1-4)进行, 但式中的 $I_{d\max}$ 应选用在保护安装处发生短路时的最大短路电流。

短路类型的考虑与距离保护相同。

三、按10%误差曲线进行电流互感器计算的步骤

1. 已知电流互感器的型式及变比, 决定二次连接导线的截面

(1) 确定计算短路类型, 并根据表1-2及表1-3所示的保护方式, 写出电流互感器 Z_{fh} 的计算式。

(2) 根据保护方式写出电流倍数 m 的计算式。

(3) 根据电流互感器的型式及变比所决定的10%误差曲线, 决定电流互感器的容许二次负荷阻抗值 Z_{fh} 。

(4) 计算二次连接导线的容许电阻值 r_L 。

(5) 由下式求出二次连接导线的截面:

$$s = \rho l / r_L \quad (\text{mm}^2) \quad (1-5)$$

式中 l ——二次连接导线的长度(m);

r_L ——二次连接导线的容许电阻值(Ω);

ρ ——二次连接导线的电导率。

为了保证二次连接导线的机械强度, s 应不小于 2.5mm^2 。

(6) 如果计算结果使导线截面过大时, 可采用下列补救办法:

1) 选用其他型式或变比较大的电流互感器;

2) 如有足够数量的套管式电流互感器时, 可将两组电流互感器串联使用, 此时, 二次负荷阻抗的容许值 Z_{fh} 为按10%误差曲线所决定者的两倍;

3) 采用能使电流互感器二次负荷阻抗较小的保护接线方式。

2. 已知二次导线的截面, 选择电流互感器的型式及变比

(1) 确定计算短路类型及电流倍数的计算方法(与前述同)。

(2) 根据已知的二次导线及继电器的阻抗, 以及通过继电器的电流计算值, 决定在第1条所确定的短路类型下, 电流互感器的二次负荷阻抗。

(3) 按照10%误差曲线, 由第2条所求出的二次负荷阻抗, 决定容许通过上述电流倍数计算值的电流互感器的型式及变比。

四、计算举例

选择电流速断保护的二次连接导线的截面, 已知: 1) 电流互感器的型号为LRD-35, 变比为300/5; 2) 保护采用不完全星形接线方式; 3) 电流继电器的阻抗 $Z_J = 0.18\Omega$; 4) 保护的動作电流 $I_{dz} = 67\text{A}$; 5) 电流互感器二次连接导线的长度 $l = 50\text{m}$ 。

计算步骤

(1) 根据给定的保护接线方式, 选用的计算短路类型应为AB或BC两相短路(图1-2), 此时

$$Z_{fh} = 2Z_L + Z_J$$

(2) 按式(1-2)计算电流倍数