

工厂供电系统继电保护

韩廷臣 主编

北京科学技术出版社

工厂供电系统继电保护

韩廷臣 主编

北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书重点阐述大、中型工矿企业和城镇网络供电系统中普遍采用的继电保护装置。其内容密切结合生产实际,深浅适度,通俗易懂。

全书共分九章,主要内容有:定时限和反时限过电流保护,无时限和带时限速断保护,电流三段保护;变压器的瓦斯保护、纵联差动保护、低电压闭锁的过电流保护;大、中型工矿企业常用的单相接地保护、方向过电流保护、距离保护;高压电动机保护;同步发电机保护;备用电源自动投入装置(BZT)、自动重合闸装置(ZCH)和自动按频率减负荷装置(ZPJH)。另外,本书还讲述了用继电器接触器和晶体管构成上述保护装置的原理和方法。

本书可作为面向工业生产的高等工业专科学校、职工大学、夜大学、电视大学和函授大学“工业电气自动化”和“电气技术”专业的教学用书;也可作为大、中型工矿企业及城镇网络的中级电气技术人员的学习用书,并可供从事继电保护工作的专业人员和技术工人参考。

工厂供电系统继电保护

韩廷臣 主编

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

北京昌平沙河建华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 13.75印张 335千字

1989年1月第一版 1989年 月第一次印刷

印数1—3000册

ISBN 7-5304-0453-9/T·87 定价:5.70元

前 言

随着工业生产的发展,许多工厂供电系统的容量逐渐增大,电源电压也有所提高,与电力系统的联系更加密切,对继电保护的要求也越来越高。面向工业生产的专科学校,很需要一本深浅适度、结合现场实际、满足现场要求的工厂供电系统继电保护教学用书;在职技术人员和现场专业技术人员,也需要提高继电保护水平,以适应现场工作的需要。

本书所讲的继电保护内容是针对工厂供电系统的,是根据编者多年来从事教学、科研和生产实践的经验,以及自83年以来对全国性大、中型工业企业进行过三次调查的资料,并在经过几年试用的原《工厂供电系统继电保护》一书的基础上编写的。本书在编写过程中注意了紧密结合工厂供电系统的继电保护实际,力求内容精练、文字通俗易懂。

全书共分九章,由韩廷臣任主编。其中,第一章、第三章、第八章和第九章由韩廷臣编写;第二章由于培洲编写;第四章、第六章和第七章由诸伟楠编写;第五章由吴华仁编写。

陕西机械学院苏文成教授、东北工学院耿毅教授、沈阳工业学院李宗纲教授和鞍山大学刘玉林副教授审阅了本书,并提出了许多宝贵的意见。在此一并表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,编写时间仓促,书中难免有缺点和错误,敬希读者批评指正。

编者

88年5月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 工厂供电系统继电保护的作用	1
第二节 继电保护装置的基本要求	2
第三节 继电保护的基本原理	3
第四节 继电器的分类和基本要求	5
第五节 继电保护技术在我国的发展	6
第六节 工厂供电系统继电保护的特点	6
思考题与习题	7
第二章 单电源网络相间短路的电流保护	8
第一节 定时限过电流保护	8
第二节 反时限过电流保护	20
第三节 低电压闭锁的过电流保护	23
第四节 无时限电流速断保护	24
第五节 带时限电流速断保护	25
第六节 三段式电流保护	26
第七节 晶体管过电流及速断保护	28
思考题与习题	34
第三章 电网相间短路的方向过电流保护	35
第一节 概述	35
第二节 功率方向继电器	36
第三节 功率方向继电器的接线方式	47
第四节 方向过电流保护装置的接线图	50
第五节 方向过电流保护的整定计算	51
第六节 电网相间短路方向过电流保护的评价和应用范围	54
思考题与习题	55
第四章 电网的接地保护	57
第一节 中性点直接接地电网的接地保护	57
第二节 中性点不接地系统的单相接地保护	63
思考题与习题	71
第五章 电网的距离保护	72
第一节 距离保护的基本原理	72
第二节 阻抗继电器	72
第三节 距离保护的组成接线	78
第四节 阻抗继电器的接线方式	79

第五节	整流型方向阻抗继电器实例	83
第六节	阻抗继电器的精确工作电流	86
第七节	影响阻抗继电器正确工作的因素及其克服办法	87
第八节	距离保护的整定计算	94
第九节	对距离保护的评价	97
	思考题与习题	97
第六章	电力变压器的继电保护装置	99
第一节	变压器的常见故障和保护装置的特点	99
第二节	变压器的电流保护	99
第三节	变压器的瓦斯保护	105
第四节	变压器的纵联差动保护	107
	思考题与习题	129
第七章	电动机保护	130
第一节	电动机故障和不正常运行状态及相应的保护方法	130
第二节	电动机的相间短路保护和过负荷保护	130
第三节	电动机的低电压保护	133
第四节	同步电动机的保护	137
	思考题与习题	140
第八章	同步发电机的继电保护	141
第一节	概述	141
第二节	发电机的过电流及过负荷保护	142
第三节	发电机的纵联差动保护	148
第四节	发电机的横联差动保护	153
第五节	发电机定子绕组的接地保护	156
第六节	发电机转子回路接地保护	161
第七节	发电机的失磁保护	164
第八节	发电机保护的总接线图	174
	思考题与习题	175
第九章	工厂供电系统的自动装置	179
第一节	概述	179
第二节	备用电源自动投入装置 (BZT)	179
第三节	供电线路的自动重合闸 (ZCH)	186
第四节	自动按频率减负荷装置 (ZPJH)	198
	思考题与习题	203
附 录	几种常用继电器的技术数据	205

第一章 绪 论

第一节 工厂供电系统继电保护的作用

供电系统继电保护装置是能够反应电气设备发生故障或不正常工作状态，并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。

工厂供电系统在运行中，可能发生的各种故障和不正常工作状态，最常见的、同时也是最危险的故障是各种形式的短路。短路故障大都是由于设备绝缘老化、机械损伤、过电压、误操作，鸟、蛇、鼠、猫害以及检修后忘记拆除短路线等原因造成的。系统发生短路时可能产生的后果如下：

(1) 短路点将有很大的短路电流流过，此电流所产生的电弧使故障设备遭到破坏。

(2) 短路电流流过设备时，由于短路电流产生的热和电动力，使设备受到破坏或损伤，以至缩短其使用寿命。

(3) 电力系统中部分地区的电压大幅度下降，使用户不能正常工作，或严重影响产品的质量和产量。

(4) 破坏电力系统并列运行的稳定性，使系统产生振荡，甚至使整个系统瓦解。

所谓不正常工作状态，就是电气元件的正常工作遭到破坏，但还未发展成为故障。例如，负荷电流超过电气元件的额定值（简称过负荷）就是一种最常见的不正常工作状态。长时间的过负荷，会使电气设备的载流部分和绝缘材料的温度超过正常工作所允许的温度，致使绝缘老化加快或损坏，严重时有可能发展成为故障。此外，发电机突然甩负荷所造成的过电压，以及电力系统发生有功缺额所引起的频率降低等，都属于不正常工作状态。

故障和不正常工作状态都可能引起事故。所谓事故，是指系统的部分或全部的正常运行遭到破坏，以致对用户停止供电、减少供电或供电质量变坏到不允许的程度，甚至使设备遭到破坏等。例如，对石油、化工企业来说，大都为单系列连续性生产，一旦停电将发生严重后果，大幅度减产，甚至停产。停电时间拖长，将使催化剂特性遭到破坏。因此，对于石油化工企业的供电，尤其要尽量减少事故。要减少事故，必须提高设计、制造和安装水平，加强设备维修，提高运行水平，加强管理，严格执行各项规章制度，把事故消灭在发生之前。对于一个工厂的供电系统来说，即便采取了积极措施尽可能减少事故发生的可能性，但也不能绝对不发生事故。一旦发生事故，则应尽快将故障元件切除，把事故影响的范围尽量缩小。因为电力系统中各电气设备，都是通过电和磁联系在一起的，某个部分的故障在极短时间内就会使事故扩大，所以切除故障的时间往往要求极短，甚至只有百分之几秒，这么短的时间，值班人员无论如何是作不到的，只有靠装在每个设备上的继电保护装置才能完成。所以继电保护的基本任务是：

(1) 自动地、迅速地、有选择性地故障设备从系统中切除，以免继续遭到破坏，并使其它无故障部分迅速恢复正常运行。

(2) 正确反应电气设备的不正常运行状态, 并根据运行维护条件(例如有无经常性值班人员), 发出信号, 减少负荷或跳开某些设备。因为不正常工作状态对设备的危害, 不像故障时那么严重, 为了减少停电, 对于反应不正常工作状态的继电保护, 通常不要求立即动作, 而是带有一定的延时。

由上可知, 继电保护装置在电力系统中承担着预防事故、缩小事故范围、最大限度地保证安全、可靠供电的重任。所以, 作为未来的电工技术工作者, 都必须掌握一定的继电保护方面的知识。

第二节 继电保护装置的基本要求

动作于跳闸的继电保护装置, 应满足选择性、速动性、灵敏性和可靠性要求。作用于信号的继电保护装置, 有些要求(如速动性等)可以降低。现对四个基本要求分述如下。

一、选择性

所谓选择性就是当系统发生故障时, 继电保护装置动作只将故障设备切除, 使停电范围尽量缩小。

在图 1-1 所示的单电源网络中, 当 d_1 点短路, 保护 4 动作将 4DL 跳开, 变电所 A、B 和 C 除线路 I-4 以外的线路都可以继续工作。

d_2 点短路时, 保护 3 动作; d_3 点短路时, 保护 1 和保护 2 动作。这样, 就能保证停电范围最小, 就是有选择性。假若线路 I-1 的 d_3 点短路, 保护装置 1 和 2 动作将 I-1 切除, 线路 I-2 的保护 5 和 6 也动作将 I-2 也切除了, 这时保护 5 和 6 的动作就是非选择性动作。

在要求继电保护装置具有动作选择性的同时, 还应考虑到保护装置本身或断路器有拒动的可能性。如图 1-1 所示, 若 d_1 点短路保护 4 或断路器 4DL 拒动, 则保护 3 就应该动作将 3DL 跳开。能起保护 3 这种作用的保护称为相邻元件的后备保护。对大多数保护装置而言, 它们不仅是本段线路(或电气设备)的主保护, 同时还兼作下一级保护的后备保护。图 1-1 中保护 3 是保护 4 的后备保护, 保护 1 和 5 又是保护 3 的后备保护。这种上一级保护作为下一级保护后备保护的后备方式, 称为远后备。

在有些复杂的高压网络中, 当实现远后备在技术上有困难时, 应采用近后备的保护方式。所谓近后备保护方式, 就是在一段线路(或设备)上同时装设两套保护装置, 其中一套作为主保护, 另一套作为主保护的后备保护。当主保护拒绝动作时, 由后备保护动作将故障切除。

两种后备方式相比, 远后备的性能比较完善, 它对相邻元件的保护装置、断路器、二次回路和直流回路所引起的拒动作, 均能起到后备作用, 同时还具有简单、经济和容易实现等优点, 因此, 应当首先采用, 只有当远后备不能满足要求时, 才考虑采用近后备方式。

二、速动性

为了提高电力系统并列运行的稳定性, 减小故障设备的损坏程度, 以及减少用户在低电压下的工作时间, 有利于恢复正常工作, 当发生故障时在保证选择性的前提下, 保护装置应尽快动作将故障切除。再则, 快速切除短路, 有利于短路点电弧的去游离, 从而可以提高自动重合闸的成功率。

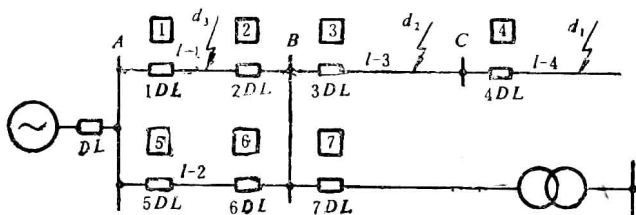


图 1-1 单侧电源网络选择性动作说明

另一方面，动作迅速又能保证选择性的保护装置，一般都结构比较复杂、价格较贵，但供电系统在大多数情况下允许保护装置带一定延时切除故障。因此，对继电保护速动性的要求，应根据具体情况而定，不应要求过高，只有在系统稳定需要、大型元件（如大容量发电机，变压器或电动机）内部短路、或其他不允许延时切除故障的情况下，才采用快速保护。

故障切除时间，是从故障发生起至断路器触头分开并电弧熄灭止的这段时间。它包括继电保护装置动作时间、断路器固有动作时间（断路器跳闸线圈接通至触头分离）和电弧延续时间。所以，快速切除故障除保护装置动作要快外，还要求采用快速断路器。现代电力系统中，快速保护装置的動作时间在 $0.02\sim 0.03\text{s}$ 之间；断路器的最小動作时间在 $0.05\sim 0.06\text{s}$ 之间，一般断路器的動作时间约为 $0.1\sim 0.15\text{s}$ 。要求切除时间过短，会使保护装置和断路器复杂化，所以在对具体保护提出要求时，应通过经济技术比较后确定。对于工业企业供电系统的故障切除时间允许稍长一点，主要取决于负荷允许电压降低的时间，一般约为 $0.5\sim 2.0\text{s}$ 左右。

三、灵敏性

继电保护装置的灵敏性，是指它对保护范围内发生故障和不正常工作状态的反应能力。为了使保护装置能在其保护范围内发生故障时起到保护作用，必须要求保护装置在电力系统各种运行方式下都具有足够的灵敏性。继电保护的灵敏性用灵敏系数来衡量。对于反应故障时参数量增加的保护装置，其灵敏系数为

$$K_{lm} = \frac{\text{保护范围末端金属性短路时故障参量最小计算值}}{\text{保护装置动作值}}$$

对于反应故障时参数量降低的保护装置，其灵敏系数为

$$K_{lm} = \frac{\text{保护装置动作值}}{\text{保护范围末端金属性短路时故障参数最大计算值}}$$

不同作用的保护装置，所要求的灵敏系数不同。《继电保护和自动装置设计技术规程》中对各类保护装置的灵敏系数，都作了具体规定。关于灵敏系数问题，在以后各章中还将分别讨论。

四、可靠性

所谓保护装置的可靠性，就是在规定范围内发生了属于它应动作的故障，它一定要动作；而其它任何不属于它动作的故障，它一定不要动作。

保护装置的動作可靠性是非常重要的。不可靠的保护装置本身就是事故的根源。要提高保护装置的可靠性，首先应该选用高质量的元件、简单的接线和回路中继电器的接点数最少，同时还应该有正确的安装调试和良好的维护运行。

以上四个基本要求是分析研究继电保护的基础，它们是互相联系而有时又是互相矛盾的，对具体的保护装置来说，这四个基本要求应统一考虑，取其经济技术最合理的方案。例如选择性是非常重要的，非选择性动作是绝不允许的，但有时为了保证选择性动作，可能要使保护的動作时间延长而影响到整个系统，在这种情况下就必须暂时牺牲部分选择性而保证速动性。

第三节 继电保护的基本原理

系统发生故障时，通常情况下总是伴随有电流的增大、电压的降低、线路端测量阻抗的

减小以及电压与电流之间的相位发生变化。因此，利用正常工作时与发生故障时这些基本参数的变化，就可以构成各种不同原理的继电保护装置。例如：反应故障时电流增大的过电流保护；反应故障时电压降低（或升高）的低电压（或过电压）保护；反应故障时电流和电压相位变化的方向保护；反应故障时保护安装处到短路点测量阻抗减小的距离保护。

除上述反应电气量变化的保护装置外，还有反应非电量的保护装置。例如：反应变压器内部故障时，产生气体的瓦斯保护；反应过负荷时温度升高的温度保护。

一般情况下，继电保护装置由三个部分组成，其原理框图如图 1-2 所示。现分述如下：

一、测量部分

测量部分的作用是测量被保护元件工作状态（正常工作，不正常工作或故障状态）的一个或几个有关的物理量。

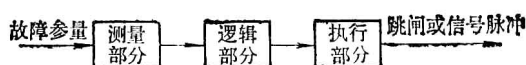


图 1-2 继电保护装置的原理框图

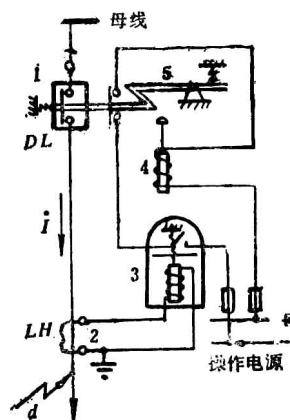


图 1-3 过电流保护原理示意图

1—高压断路器开闸弹簧；2—电流互感器；3—过电流继电器；4—高压断路器跳闸线圈；5—锁闭机构

二、逻辑部分

逻辑部分的作用是根据测量部分输出量的大小、性质、组合方式或出现次序判断被保护元件的工作状态，以决定保护装置是否应当动作。

三、执行部分

执行部分的作用是根据逻辑部分作出的决定，执行保护装置的任务（不动作、发出信号或将故障元件切除）。

现以过电流保护装置为例来说明继电保护各组成部分的工作原理。如图 1-3 所示，当线路 d 点发生短路时，线路电流突然增大，电流互感器 2 的二次电流亦相应增大，当短路电流大于继电器动作电流时，继电器就动作，吸下衔铁使接点闭合，断路器跳闸线圈 4 的回路被接通，铁芯被吸入线圈，顶脱锁闭机构 5，断路器在其开闸弹簧作用下实现跳闸。

在图 1-3 的过电流保护中，电流继电器的线圈回路是保护的测量部分，它起着监视被保护线路工作状态的作用，只有当测得的电流大于预先整定的电流时，继电器才动作。继电器的接点回路是逻辑部分，它接到从测量部分送来的信号后，根据信号的大小决定起动或不起动，起动时就给执行部分发出信号。执行部分一般由中间继电器担任，它接到信号后即发

出信号或使断路器跳闸的脉冲，从而完成整套保护的動作。如图 1-3 所示的简单保护回路中，执行部分和逻辑部分实际上是结合在一起的，很难区分，所以，一般也不单独划分出执行部分。

第四节 继电器的分类和基本要求

一、继电器的分类

按其反应物理量的不同，继电器可分为电量和非电量的两类。属于非电量的有瓦斯继电器、温度继电器、转速继电器等。反应电量的继电器种类比较多，一般分类如下：

1. 按動作原理分

电磁型、感应型、整流型和晶体管型等。

2. 按反应的物理量分

电流继电器、电压继电器、功率方向继电器、阻抗继电器和周波继电器等。

3. 按继电器的作用分

中间继电器、时间继电器和信号继电器等。

目前，在工厂供电系统中用的比较多的是电磁型和感应型继电器，但在有些类型的保护装置中已被整流型和晶体管型所代替。

二、对继电器的基本要求

1. 机构应完好并经常处于准备動作状态

机构不完好的原因，一般都是由于某个部件发生故障，如轴承、轴和固定部分生锈或过脏等引起，为了避免上述原因应经常保持继电器外壳密封防尘，并经常检查、小心维护和定期检修。

2. 继电器動作值的误差应尽量小

因保护装置的灵敏度与動作值的误差有关。误差越小，继电器的動作灵敏度就越高。

3. 接点要可靠并有足够的负荷能力

接点的负荷能力通常用下述指标衡量：

1) 容许持续电流的大小；

2) 容许短时（一般为一秒）闭合电流的大小；

3) 允许断开电流和功率的大小。

当接点断开和闭合电流（或功率）不超过允许值时，不应发生烧伤、粘住或熔结现象。

继电器接点可靠工作的基本条件是不受振动，接点不会粘住，接点弹簧压力适当。

4. 继电器動作后的返回时间要短（有特殊要求者除外）

因为当某元件发生故障时，其主保护和远后备保护都要起动，当主保护動作切除故障后，后备保护应立即返回。若在主保护和后备保护動作过程中故障消除，则二者都应立即返回，否则就会发生错切元件而造成不应有的停电。另外，当继电器動作过程中故障消除，若不能迅速返回，第二次再发生故障时，保护装置就不能正确動作。

5. 继电器的消耗功率要小

继电器消耗功率小，可以减小电流互感器的二次负载。继电器的消耗功率通常用其线圈额定（额定电压或电流）状态的功率消耗表示。电流（电压）继电器则以其最小整定值时的功率消耗表示。

3. 热稳定和电动力稳定要好

继电器的热稳定性是用在一定时间内继电器线圈能承受而不会发生损坏的电流来表示的,产品样本上通常给出继电器的一秒钟热稳定电流和长期热稳定电流。电压线圈的热稳定性用其长期能承受的电压来表示。继电器的电动力稳定性用其能承受而不致使其线圈或可动部分遭受机械损伤的电流值表示。现代继电器的电动力稳定性一般都比热稳定性高。

7. 经济

其构造简单、运行维护方便、价格便宜。

第五节 继电保护技术在我国的发展

在19世纪90年代以前,电力系统的保护主要靠熔断器。随着系统的发展,设备和系统容量越来越大,系统接线也越来越复杂,在很多情况下熔断器已不能满足要求。在19世纪90年代初期,开始出现了安装在断路器上的直接动作电磁式继电器,并用它构成过电流保护。1901年起出现了利用感应型继电器构成的过电流保护。1908年出现了以比较保护范围两端电流差为基础的差动保护。1910年开始采用方向保护。1920年初制成了距离保护。1927~1928年开始利用沿被保护线路传送高频载波电流的高频保护。

过去采用的机电型继电器构成的保护装置,基本上满足了220~330kV以下电力系统对保护的要求。500kV以上超高压输电线路出现后,电力系统的容量也不断增大,为了保证系统稳定运行,继电保护的动作时间被迫压低到 $1\sim 1.5\text{Hz}$ 以下,这样高的动作速度是机电式继电保护装置不可能达到的。因此,国外500kV以上输电线路的保护全部由晶体管继电保护承担。自40年代末,第一台全晶体管式高频收发讯机出现以来,晶体管式继电保护的发展经历了长期而曲折的道路。

我国的继电保护技术,在建国以来有了飞速的发展。全国各主要电力系统都有较完善的保护。一些新的保护技术,如整流型距离保护、晶体管高频保护、电流差动微波保护、行波功率方向保护、微型计算机继电保护等,有些已广泛使用,有些正在大力研制。特别是微机继电保护,世界上60年代末期才有人写文章提出设想,七十年代后半期才出现用微型机做成的保护装置。目前,美国、加拿大、澳大利亚、日本、西德、英国等主要工业国,已都有若干套装置在不同运行环境中进行试运行。国内70年代后期一些高校和研究所开始注意到国外继电保护专业这一新的发展,并组织力量开展工作,迄今华北电力学院、南京工学院、水电部南京自动化研究所、上海交通大学等单位都有自己研制出的微机保护装置,有的已形成产品,总的来说与国外差距不大。可以相信,随着工业技术的进步,我国的继电保护技术将得到更高速度的发展。

第六节 工厂供电系统继电保护的特点

工厂供电系统继电保护的特点由工厂供电系统的特点决定。工厂供电系统的特点如下:

一、电压低,容量小

工厂供电的高压配电系统一般为6kV到35kV的中性点不接地系统,少数电源进线为110kV,高于110kV的很少。低压配电系统,绝大多数为380V/220V的三相四线系统。

二、线路较短且电缆线路较多

绝大部分工厂,范围有限,加之变电所大都靠近负荷中心,线路长度多在2、300m以下,超

过 1 kA 的很少。现代企业的供电网络大都用电缆线路构成，特别是一些引进的大、中型企业，几乎全部都是电缆线路。

三、大多数线路为单电源的辐射式线路和树干式线路

在工厂的高压线路中就每一条具体线路来说，大多数为单电源的辐射式线路，虽有一些工厂的高压配电系统为单电源的环式系统，但为了简化继电保护和限制短路电流，多数为开环运行。

四、变压器容量较小

工厂供电系统中的变压器容量一般都较小，只有一些产品电能消耗大的大、中型工厂的总降压变电所才有大容量的变压器（ 20000 kVA 或更大）。

由于工厂供电系统的这些特点，决定了工厂供电系统继电保护的下列特点：

1) 低压线路大都用熔断器或自动空气断路器保护，对电动机线路可用电动机综合保护继电器进行保护。容量较大的重要线路亦可用反时限过电流保护。

2) 高压配电线路的相间短路以过电流保护为主，特别是反时限过电流保护，广泛用于容量不太大的高压电动机和变压器回路。电流速断装置常用于灵敏度能满足要求的线路。

3) 大容量变压器和高压电动机，常用纵联差动保护作为主要保护，以过电流保护作为后备保护。

4) 只有当高压配电系统为双电源辐射型线路或单电源环形线路时，才装设方向过电流保护。因此，这种保护使用较少。

5) 高压配电系统中的单相接地故障，由于允许短时运行，常用绝缘监察发出预告信号。当接地电容电流较大或出线较多、用短时断电法寻找故障线操作过于复杂、或线路不允许短时停电时，可装设专用的单相接地保护。

6) 有极少数工厂，它们的总降压变电所和电力系统中的枢纽变电所合而为一，在这种情况下，才会装设距离保护。

思考题与习题

1. 何谓继电保护装置？它的基本任务是什么？
2. 对继电保护装置的基本要求是什么？每项要求是什么意思？有何意义？
3. 影响继电保护装置可靠性的因素有哪些？
4. 何谓远后备和近后备？
5. 继电保护装置的灵敏性用什么来表示？
6. 反应故障时参量增加和减小的保护装置灵敏系数有何不同？
7. 试述继电保护装置的工作原理。
8. 工厂供电系统的继电保护装置有什么特点？

第二章 单电源网络相间短路的电流保护

工业企业内部配电网一般 3、6、10kV 电压，中性点不接地的单电源辐射网络。它的相间短路保护有：定时限及反时限过电流保护；为提高灵敏度而改进的低电压闭锁的过电流保护；瞬时电流速断及时限电流速断保护。上述保护可以由机电型继电器及晶体管继电器构成。本章就上述各类保护的组成接线、整定计算、保护范围等内容进行讨论。

第一节 定时限过电流保护

一、电流互感器的 10% 误差及其和继电器的连接方式

(一) 电流互感器的变比误差

由于电流继电器接于电流互感器的二次侧，若要求它能准确反应网络的一次侧电流，则必需要求电流互感器二次电流能跟随一次电流按线性规律变化。实际上，电流互感器是有误差的，由变压器原理可知，电流互感器的误差首先同它的二次负载有关，当二次阻抗 Z_k 增大时，这时若要获得同样的二次电流，则所需要的 E_2 就要增大，铁芯的交变磁通 Φ 增大，引起励磁电流 I_0 的增大。当一次电流一定时，势必引起电流互感器二次电流的减少，使变比误差增大。

其次，当二次负载一定时，电流互感器误差和它的一次电流倍数有关。一次电流倍数是指电流互感器一次侧电流 I_1 与其一次侧额定电流 I_{1n} 之比，即 $m = \frac{I_1}{I_{1n}}$ 。当 m 增大到一定值后，铁芯趋于饱和，其励磁电抗减少，引起励磁电流 I_0 增大。当一次电流一定时，引起二次电流的减少，使电流互感器变比误差增大。当二次负荷 Z_k 一定时，电流互感器二次电流和其一次电流倍数之间的关系曲线，如图 2-1 所示。

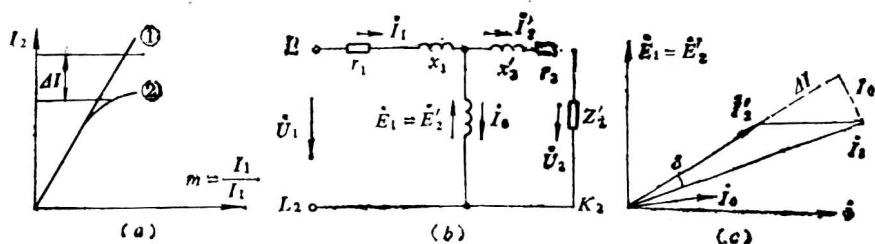


图 2-1 电流互感器等值电路及误差
(a) 变比误差；(b) 等值电路；(c) 角误差相量图

曲线①是理想情况下二次电流和一次电流倍数 m 间的关系。曲线②为实际情况下，由于铁芯饱和使二次电流 I_2 比理想条件下的二次电流要小，两条曲线之差为电流互感器的误差 ΔI 。由上述可知，从使用角度看，电流互感器的误差 ΔI 和二次阻抗 Z_k 及一次电流倍数 m 两因数有关。对继电保护而言，要求当其一次侧电流达到保护装置启动电流值时，电流互感器的角误差小于 7° ，电流互感器变比误差 ΔI 不超过 10%。而这 10% 的误差则在整定继电保护时加

以考虑。

(二) 电流互感器的角误差

电流互感器的角误差会影响到与电流相位有关的保护装置动作的正确性(如方向过电流保护等)。电流互感器的角误差是折算后互感器原边电流 $\dot{I}_1$ 和副边电流 $\dot{I}_2$ 的相位差。

由相量图可知, δ 即为电流互感器的角误差。当 $\dot{I}_2$ 超前 $\dot{I}_1$ 时, δ 值为正; 当 $\dot{I}_2$ 滞后 $\dot{I}_1$ 时, δ 值为负, 励磁电流 $\dot{I}_0$ 影响角误差。

由于电流互感器的二次负荷及一次电流倍数影响了励磁电流 $\dot{I}_0$, 它们也就影响了角误差。

(三) 10%误差曲线及其应用

为使保护用电流互感器有一定准确度级, $\Delta I\% \leq 10$ 、角误差 $\delta \leq 7^\circ$, 应该从限制二次负载 $Z_{2\lambda}$ 和一次电流倍数 m 两个方面去考虑。制造厂给出了变比误差 $\Delta I\% \leq 10$ 、角误差 $\delta \leq 7^\circ$ 条件下一二次电流倍数 m 和二次负载 $Z_{2\lambda}$ 关系曲线, 该曲线称电流互感器10%误差曲线, 如图2-2所示。

该曲线的使用方法是: 先计算继电保护装置起动时其一次电流倍数 $m = \frac{1.1 I_{dz}}{I_{1e}}$ (I_{dz} 为保护装置的一次动作电流, I_{1e} 为电流互感器的一次额定电流), 再根据所采用电流互感器的型号和变比, 求出在倍数 m 下变比误差 $\Delta I\% \leq 10$ 、角误差 $\delta \leq 7^\circ$ 时最大二次允许阻抗 Z_2 , 然后再计算出实际使用条件下的二次阻抗 Z'_2 值。若 $Z'_2 \leq Z_2$, 表明该电流互感器能保证在继电保护装置起动时其变比误差小于10%、角误差 $\delta \leq 7^\circ$ 。若 $Z'_2 > Z_2$, 则为保证电流互感器的准确度级可采用以下措施: 首先, 限制二次负载 $Z_{2\lambda}$, 因电流互感器二次导线也属于其二次负载, 为此可增大二次导线截面以减少连接导线的电阻; 其次, 可增大电流互感器变比, 使其一次电流倍数 m 减小; 再则, 可将每相两电流互感器的二次绕组串联。这样二次负载两端的电压 $I_2 Z_{2\lambda}$ 将由两个串联使用的电流互感器共同负担, 对每个电流互感器来说各

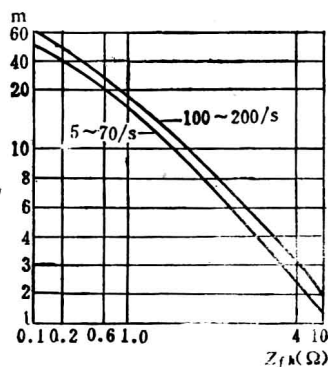


图 2-2 LGC型电流互感器10%误差曲线

自的二次电压为 $\frac{1}{2} I_2 Z_{2\lambda}$, 其二次负载只有串联前的 $\frac{1}{2}$ 。

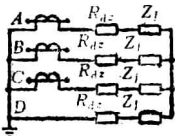
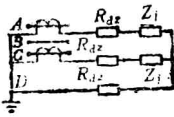
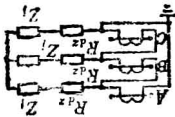
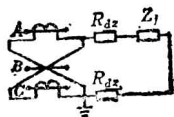
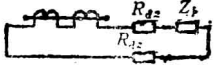
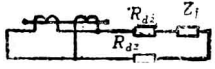
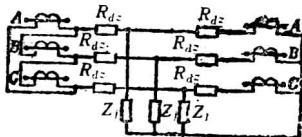
如何计算电流互感器的二次负载 Z'_2 呢? 计算时, 先假定在某种类型短路情况下互感器的二次电流为 $\dot{I}_2$, 根据接线系数求出流过继电器的电流 $K_{re} \dot{I}_2$, 然后计算电流互感器 K_1 、 K_2 端的电压 $\dot{U}_2$, 根据欧姆定律 $Z_2 = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2}$, 可得出电流互感器的二次阻抗 Z'_2 。

对某种接线方式, 由于短路类型不同, 则计算出的 Z'_2 也不同。但在校验电流互感器二次负载时, 取可能情况下的最大 Z'_2 值。对各种不同的接线方式、不同类型的短路, 其二次阻抗如表2-1所示。为简化计算, 将电流互感器的复数阻抗取算术和。对保护装置而言, 这样偏于安全。

(四) 电流互感器和继电器的接线方式

相间短路电流保护用继电器和电流互感器的接线通常有完全星形、不完全星形及两相电流差三种接线方式。

电流互感器二次负荷计算公式

顺序	接线方式	短路型式	$K_{1x} = \frac{I_1}{I_{LH}}$	二次负荷 Z_{fh} 计算公式
1		三相及两相	1	$Z_{fh} = R_{1x} + Z_f$
		Y/△变压器后两相	1	$Z_{fh} = 2R_{1x} + Z_f + Z_{f0}$
		单相	1	
2		三相	1	$Z_{fh} = \sqrt{3} R_{1x} + Z_f$
		AC相	1	$Z_{fh} = R_{1x} + Z_f$
		AB相、BC相及单相	1	$Z_{fh} = 2R_{1x} + Z_f$
		在Y/△-11变压器后面AB相短路(最不利)时,一次侧AC相电流相等且方向相同	1	$Z_{fh} = 3R_{1x} + Z_f$
3		三相	$\sqrt{3}$	$Z_{fh} = 3(R_{1x} + Z_f)$
		两相	?	
		Y/△变压器后两相	1.5	$Z_{fh} = 2(R_{1x} + Z_f)$
		单相	1	
4		三相	$\sqrt{3}$	$Z_{fh} = \sqrt{3}(2R_{1x} + Z_f)$
		AC相	2	$Z_{fh} = 4R_{1x} + 2Z_f$
		AB相、BC相及单相	1	$Z_{fh} = 2R_{1x} + Z_f$
		在Y/△-11变压器后面AC相短路(最不利)时,一次侧A相电流为C相电流的二倍,且二者方向相反	1.5	$Z_{fhA} = 3R_{1x} + 1.5Z_f$
			3	$Z_{fhC} = 6R_{1x} + 3Z_f$
5		—	1	$Z_{fh} = 1/2(2R_{1x} + Z_f)$
6		—	2	$Z_{fh} = 2(2R_{1x} + Z_f)$
7		外部三相及两相短路		$Z_{fh\Delta} = 3R_{1x1}, Z_{fhY} = R_{1x2}$
		2侧为电源侧,内部三相及两相短路	1	$Z_{fh} = R_{1x} + Z$
		1侧为电源侧,内部三相及两相短路	$\sqrt{3}$	$Z_{fh} = 3(R_{1x} + Z_f)$

 注 R_{dz} ——一相的二次连接导线阻抗;

 Z_f ——相线上继电器线圈阻抗;

 Z_{f0} ——接在零线上的继电器线圈阻抗。

1. 三相三继电器的完全星形接线 (图2-3)

很明显这种完全星形接线能反应两相、三相及单相短路等各类故障, 这时流入继电器中的电流与电流互感器二次电流之比为1。流入继电器的电流和电流互感器二次电流之比称接线系数, 用 $K_{jx} = \frac{I_j}{I_2}$ 表示。完全星形接线的接线系数 $K_{jx} = 1$ 。

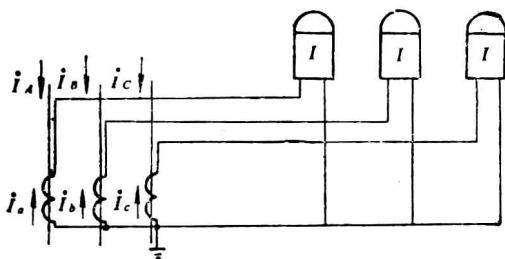


图 2-3 电流互感器和继电器的完全星形接线

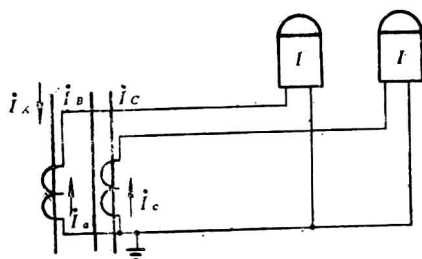


图 2-4 电流互感器的不完全星形接线

2. 两相两继电器不完全星形接线 (图2-4)

这种接线方式能反应 AB 、 BC 、 AC 、 ABC 等各种相间短路故障, 但不能反应单相短路故障。故这种接线适用于 $6 \sim 10\text{kV}$ 等中性点不接地系统作为相间短路保护用。其接线系数 $K_{jx} = \frac{I_j}{I_2} = 1$ 。

3. 两相一继电器的两相电流差接线方式 (图2-5)

采用这种接线方式时流入继电器中的电流 $\dot{I}_j = \dot{I}_a - \dot{I}_c$ 。正常或三相短路时, $\dot{I}_j = \dot{I}_a - \dot{I}_c = \sqrt{3} \dot{I}_a$; AC 两相短路时, $\dot{I}_j = \dot{I}_a - \dot{I}_c = 2\dot{I}_a$; AB 、 BC 两相短路时, $\dot{I}_j = \dot{I}_a$ ($\dot{I}_j = \dot{I}_c$)。图2-6所示为这种接线在各种类型短路时的电流相量图。

因此这种两相电流差的接线方式, 当短路相别不同时, 流入继电器的电流不同, 接线系数也不同。对于正常或三相短路时, 其接线系数为 $\sqrt{3}$; 装电流互感器的两相(例 AC 相)短路时, 接线系数为2; 其它情况下的相间短路接线系数为1。所以, 采用这种接线方式所构成的电流保护, 短路相别不同时, 保护装置具有不同的灵敏度。

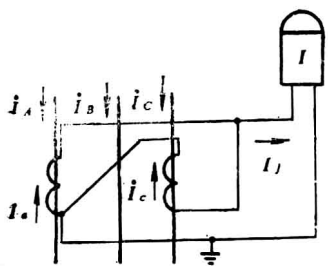


图 2-5 电流互感器的两相电流差接线

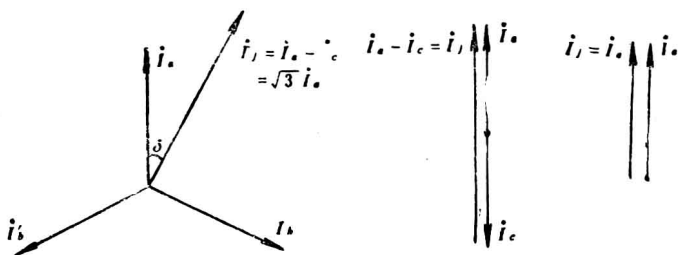


图 2-6 两相电流差接线在各种类型短路时电流相量图

上述接线方式对于工业企业内部配电网作为相间短路保护时, 若线路末端带有 Y/Y_0 接线的变压器, 保护装置将不能反应变压器低压侧的单相短路。若线路末端带有 Y/Δ 接线的变压器时, 保护装置将不能反应变压器低压侧的两相短路。此外, 采用不完全星形接线