

电力系统

继电保护

◎ 许建安 主编

DIANLI XITONG

JIDIAN BAOHU



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

电力系统 继电保护

◎ 许建安 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书阐述了继电保护的基本原理,利用故障分量的继电保护检测原理,序分量的计算和获取方法,新型继电保护和故障测距方面的原理等内容。从继电保护反应故障信息的特点出发,介绍了故障识别和处理、利用故障分量的保护及选相方法、自适应继电保护等内容。主要有:电力系统继电保护的作用、线路电流电压保护、线路的距离保护、线路的差动保护、电力变压器保护、电动机保护等。书中内容反映了继电保护方面的最新技术与成果,可读性较强。本书主要强调电力系统故障理论分析,力求重点突出,理论结合实际。图形、文字符号采用最新国家标准。

本书可供继电保护专业技术人员及管理人员阅读,也可供高等院校、高等职业学院相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护/许建安主编. —北京:中国水利水电出版社, 2004

ISBN 7-5084-1733-X

I. 电… II. 许… III. 电力系统-继电保护
IV. TM77

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第087732号

书 名	电力系统继电保护
作 者	许建安 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 14.5印张 344千字
版 次	2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	24.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

电力工业生产发展的需要和新技术的不断出现,是电力系统继电保护原理新技术不断产生的基本源泉。由于微机在继电保护中的应用,使继电保护发生了根本性的变化,并采用了很多新原理和新技术。鉴于此,本书较全面地分析和论述了输电线路、变压器和电动机保护及其近年来的发展和变化。

本书从工作原理入手,系统地介绍了故障信息的识别与处理、利用故障分量继电保护的检测原理、利用故障分量实现的选相方法、利用故障分量的方向式和电流相位比较式的纵联差动保护、故障测距的原理和算法、工频变化量阻抗继电器、反时限电流保护的算法、自适应继电保护等。同时兼顾到我国的实际情况,对传统的保护也进行了分析。

本书分为六章:绪论、输电线路的电流电压保护、线路的距离保护、线路的差动保护、电力变压器保护、电动机保护。在编写过程中,重点阐述继电保护的基本原理和基本知识,理论联系实际,反应继电保护的新技术和新发展,力求概念清楚、问题阐述深入。注意从基本原理入手,便于阅读和理解。

参加本书编写的有陈锦新、黄瑞梅、黄庆丰、许郁煌、郑志萍。本书由许建安任主编并统稿。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不足,请读者批评指正。

作 者

2003年10月

符号说明

一、设备、继电器文字符号

T——变压器；
G——发电机；
QF——断路器；
UR——电抗变换器；
TBL——自耦变流器；
TA——电流互感器；
TV——电压互感器；
U——整流桥；
V——二极管；
KG——气体继电器；
KM——中间继电器；
KCO——保护出口中间继电器；
KA——电流继电器；
KV——电压继电器；
KI——阻抗继电器；
KVI——绝缘监察继电器；
KVN——负序电压继电器；
KE——接地继电器；
KP——极化继电器；
KS——信号继电器；
KT——时间继电器；
KP——功率继电器；
KD——差动继电器；
XB——连接片（切换片）；
YT——跳闸线圈。

二、系数

K_{unp} ——非周期分量系数；
 K_{st} ——电流互感器同型系数；
 f_{er} ——电流互感器误差；
 K_{rel} ——可靠系数；

K_k ——短路类型系数；
 K_{con} ——接线系数；
 K_{re} ——返回系数；
 K_{sen} ——灵敏系数；
 K_{ss} ——自起动系数；
 K_c ——配合系数。

三、符号下角标注

ust——不同时；
arc——弧光；
swi——振荡；
cal——计算；
com——补偿；
as——自适应；
ra——当前；
dir——方向；
pol——极化；
w——工作；
in——插入；
op——动作；
max——最大；
br——制动；
min——最小；
s——闭锁；
set——整定；
eq——等值；
N——额定；
res——剩余、制动；
h——高；
L——低、负荷；
k——短路；
b——平衡、分支。

目 录

前言

符号说明

第一章 绪论	1
第一节 电力系统继电保护的作用	1
第二节 继电保护基本原理及保护装置的组成	2
第三节 对继电保护的基本要求	3
第四节 继电保护的发展简史	5
第二章 输电线路的电流电压保护	8
第一节 单侧电源输电线路相间短路的电流电压保护	8
第二节 双侧电源线路相间短路的方向电流保护	20
第三节 中性点非直接接地系统中线路单相接地故障保护	31
第四节 中性点直接接地系统中线路接地短路的保护	34
第五节 故障信息	45
第六节 利用故障分量的电流保护	48
第七节 自适应电流保护	49
第八节 利用故障分量的方向元件及保护原理	57
第三章 线路的距离保护	59
第一节 距离保护概述	59
第二节 接地保护阻抗继电器	63
第三节 相间短路保护阻抗继电器的接线方式	81
第四节 选相原理	95
第五节 距离保护起动元件	108
第六节 距离保护振荡闭锁	119
第七节 断线闭锁装置	131
第八节 影响距离保护正确工作的因素	134
第九节 输电线路故障测距	138
第十节 自适应距离保护	145
第十一节 WXB—11 型线路保护装置	152
第四章 线路的差动保护	169
第一节 线路的纵联差动保护	169

第二节	自适应纵联差动保护	174
第三节	平行线路保护	177
第五章	电力变压器保护	183
第一节	电力变压器的故障类型及其保护措施	183
第二节	变压器的瓦斯保护	185
第三节	变压器电流速断保护	187
第四节	变压器的差动保护	188
第五节	变压器相间短路的后备保护	204
第六节	变压器接地保护	208
第七节	变压器微机保护	211
第六章	电动机保护	216
第一节	厂用电动机保护	216
第二节	同步电动机保护	217
第三节	异步电动机微机保护	218
参考文献		222

第一章 绪 论

第一节 电力系统继电保护的作用

一、电力系统的故障和不正常运行状态及引起的后果

电力系统由发电机、变压器、母线、输电线路及用电设备组成。电力系统中，最常见同时也是最危险的故障是相与相或相与地之间的非正常连接，即短路。其中以单相接地短路最为常见，而三相短路是比较少见的。与其他电气元件比较，输电线路所处的条件决定了它是电力系统中最容易发生故障的一环。在输电线路路上，还可能发生断线及几种故障同时发生的复合故障。

短路总要伴随产生很大的短路电流，同时使系统中电压大大降低。短路点的短路电流及短路电流的热效应和机械效应会直接损坏电气设备。电压下降影响用户的正常工作，影响产品质量。短路更严重的后果，是因电压下降可能导致电力系统发电厂之间并列运行的稳定性遭受破坏，引起系统振荡，直至使整个系统瓦解。

最常见的异常运行状态是电气元件的电流超过其额定值，即过负荷状态。长时间的过负荷会使电气元件的载流部分和绝缘材料的温度过高，从而加速设备的绝缘老化，或者损坏设备，甚至发展成事故。此外，由于电力系统出现功率缺额而引起的频率降低，水轮发电机组突然甩负荷引起的过电压以及电力系统振荡，都属于异常运行状态。

故障和异常运行状态都可能发展成系统中的事故。所谓事故，是指整个系统或其中一部分的正常工作遭到破坏，以致造成对用户少送电、停止送电或电能质量降低到不能容许的地步，甚至造成设备损坏和人身伤亡。

电力系统各元件之间是通过电或磁的联系，任一元件发生故障时，都可能立即在不同程度上影响到系统的正常运行。因此，切除故障元件的时间常常要求短到十分之几秒甚至百分之几秒。显然，在这样短的时间内，由运行人员来发现故障元件并将它切除是不可能的。要完成这样的任务，必须在每一电气元件上装设具有保护作用的自动装置。

二、继电保护的 task

继电保护是一种重要的反事故措施，它的基本任务是：

(1) 当电力系统的被保护元件发生故障时，继电保护装置应能自动、迅速、有选择地将故障元件从电力系统中切除，以保证无故障部分迅速恢复正常运行，并使故障元件免于继续遭受损害。

(2) 当电力系统被保护元件出现异常运行状态时，继电保护应能及时反应，并根据运行维护条件，而动作于发出信号、减负荷或跳闸。此时一般不要求保护迅速动作，而是根据对电力系统及其元件的危害程度规定一定的延时，以免不必要动作和由于干扰而引起的

误动作。

第二节 继电保护基本原理及保护装置的组成

一、继电保护的基本原理

为了完成继电保护所担负的任务，显然应该要求它能够正确地区分系统正常运行与发生故障或异常运行状态之间的差别，以实现保护。

继电保护的基本原理是利用被保护线路或设备故障前后某些突变的物理量为信息量，当突变量达到一定值时，起动逻辑控制环节，发出相应的跳闸脉冲或信号。

1. 利用基本电气参数的变化

发生短路后，利用电流、电压、线路测量阻抗等的变化，可以构成如下保护：

(1) 过电流保护。过电流保护是反应电流的增大而动作，如图 1-1 所示，若在单侧电源线路 BC 段上发生短路，则从电源到短路点 K 之间将流过短路电流 I_k ，使保护 2 反应短路电流而动作于跳闸。

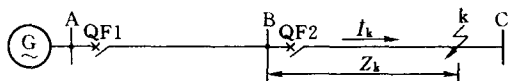


图 1-1 单侧电源线路过电流保护示意图

(2) 低电压保护。反应电压降低而动作，如图 1-1 所示，若在短路点 K 发生三相金属性短路，则短路点的电压 U_k 降到零，各变电所母线上的电压均有所降低，可使保护 2 反应电压降低而动作。

(3) 距离保护（或阻抗保护）。反应短路点到保护安装处之间的距离（或测量阻抗的降低）而动作。以图 1-1 为例，设在短路点发生三相金属性短路，以 Z_k 表示短路点到保护 2 安装处之间的阻抗，则 B 母线上的残余电压 $\dot{U}_{B, rcs} = \dot{I}_k Z_k$ 。此时保护安装处测量到的电流 $\dot{I}_m = \dot{I}_k$ 、电压 $\dot{U}_m = \dot{U}_{B, rcs}$ 。若电流、电压互感器变比为 1，则测量阻抗 $Z_m = \dot{U}_m / \dot{I}_m$ ，即 $Z_m = Z_k$ 就是保护安装处到短路点的阻抗，它的大小正比于短路点到保护 2 之间的距离。

2. 利用内部故障与外部故障时被保护线路两侧电流相位（或功率方向）的差别

如图 1-2 所示双电源线路，按习惯规定电流正方向是从母线流向线路，分析线路 AB 正常运行、外部故障及内部故障的情况。

正常运行时，A、B 两侧电流的大小相等，相位差 180° ；当线路 AB 外部短路时，A、B 两侧电流大小仍相等，相位差 180° ；当 AB 线路内部短路时，A、B 两侧电流一般大小不相等，在理想条件下，两侧电流相位差为 0° ，即同相位。从而可利用电气元件在内部短路、外部短路及正常运行的情况下，两侧电流的相位或功率方向的差别可以构成各种差动原理保护。

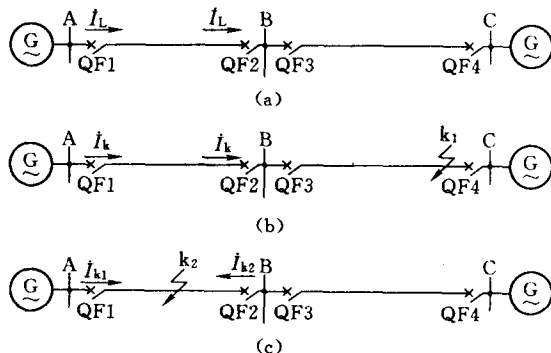


图 1-2 双侧电源网络

(a) 正常运行情况；(b) 外部短路情况；(c) 内部短路情况

3. 利用对称分量变化

电气元件在正常对称运行时，负序分量和零序分量为零或很小，但在发生不对称短路时，一般负序分量较大，接地短路时负序和零序分量较大。因此，根据序分量的变化可以构成负序保护和零序保护。也可以利用正序分量的突变量反应各种短路故障。

4. 反应非电气量保护

反应变压器油箱内部故障时所产生的气体而构成瓦斯保护；反应于温度变化而构成过负荷保护等。

二、继电保护装置的组成

继电保护装置一般情况下，都是由三个部分组成，即测量部分、逻辑部分和执行部分，其原理结构图如图 1-3 所示。

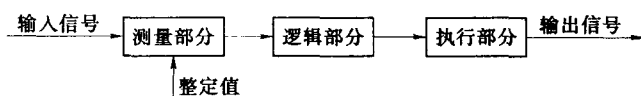


图 1-3 继电保护装置的原理结构图

1. 测量部分

测量部分是测量从被保护对象输入的有关电气量，并与给定的整定值进行比较，根据比较的结果，给出“是”、“非”；“大于”、“不大于”；等于“0”或“1”性质的一组逻辑信号，从而判断保护是否应该起动。

2. 逻辑部分

逻辑部分是根据测量部分各输出量的大小、性质、输出的逻辑状态、出现的顺序或它们的组合，使保护装置按一定的逻辑关系工作，然后确定是否应该使断路器跳闸或发出信号，并将有关命令传给执行部分。继电保护中常用的逻辑回路有“或”、“与”、“否”、“延时起动”、“延时返回”以及“记忆”等回路。

3. 执行部分

执行部分是根据逻辑部分传送的信号，最后完成保护装置所担负的任务。如故障时，动作于跳闸，异常运行时，发出信号；正常运行时，不动作等。

第三节 对继电保护的基本要求

电力系统各电气元件之间通常用断路器互相连接，每台断路器都装有相应的继电保护装置，可以向断路器发出跳闸脉冲。继电保护装置是以各电气元件或线路作为被保护对象的，其切除故障的范围是断路器之间的区段。

对电力系统继电保护的基本性能要求是有选择性、速动性、灵敏性、可靠性。基本要求之间，有的相辅相成，有的互相制约，需要针对不同的使用条件，分别地进行协调。

一、选择性

作用于跳闸的保护装置的选择性是指保护装置动作时，仅将故障元件从电力系统中切除，使停电范围尽量缩小，以保证电力系统中的无故障部分仍能继续安全运行。如图 1-4 所

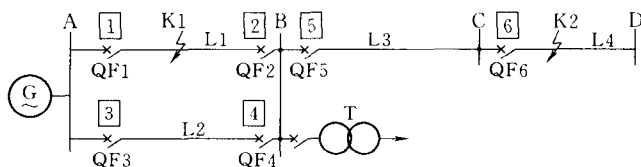


图 1-4 单侧电源网络中，保护选择性动作说明图

示的网络中，当线路 L4 上 K2 点发生短路时，保护 6 动作跳开断路器 QF6，将 L4 切除，继电保护的这种动作是有选择性的。K2 点故障，若保护 5 动作于将 QF5 断开，则变电所 C 和 D 都将停电，继电保护的这种动作是无选择性的。同样 K1 点故障时，保护 1 和保护 2 动作于断开 QF1 和 QF2，将故障线路 L1 切除，才是有选择性的。

如果 K2 点故障，而保护 6 或断路器 QF6 拒动，保护 5 动作于断开 QF5，将故障切除，这种情况虽然是越级跳闸，但却是尽量缩小了停电范围，限制了故障的发展，因而也认为是选择性动作。

运行经验表明，架空线路上发生的短路故障大多数是瞬时性的，线路上的电压消失后，短路会自行消除。因此，在某些条件下，为了加速切除短路，允许采用无选择性的保护，但必须采取相应措施，例如采用自动重合闸或备用电源自动投入装置予以补救。为了保证选择性，对相邻元件有后备作用的保护装置，其灵敏性与动作时间必须与相邻元件的保护相配合。

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情况下的工作时间，限制故障元件的损坏程度，缩小故障的影响范围以及提高自动重合闸装置和备用电源自动投入装置的动作成功率等。因此，在发生故障时，应力求保护装置能迅速动作切除故障。

动作迅速而同时又能满足选择性要求的保护装置，一般结构都比较复杂，价格比较贵。因此，应根据电力系统的实际情况，对保护的速动性提出合理的要求。一般情况下，电力系统允许保护装置带有一定的延时切除故障。

故障切除时间 t 等于保护装置的动作时间与断路器的动作时间之和。目前，世界上正式投入运行的保护，动作速度最快的为 0.02s，断路器的动作时间最快的为 0.05~0.06s。因此，最快切除故障时间为 0.07~0.08s。

上述对作用于跳闸的保护装置的基本要求，一般也适用于反映异常运行状态的保护装置。只是对作用于信号的保护装置不要求快速动作，而是按照选择性要求延时发出信号。

三、灵敏性

保护装置的灵敏性是指保护装置对其保护区内发生故障或异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规定的保护区内短路时，不论短路点的位置、短路形式及系统的运行方式如何，都能灵敏反应。保护装置的灵敏性一般用灵敏系数 K_{sen} 来衡量，对于反应故障时参数增大而动作的保护装置，其灵敏系数是

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最小计算值}}{\text{保护装置的动作参数}}$$

对于反应故障时参数降低而动作的保护装置，其灵敏系数是

$$\text{灵敏系数} = \frac{\text{保护装置的動作参数}}{\text{保护区末端金属性短路时故障参数的最大计算值}}$$

实际上，短路大多情况是非金属性的，而且故障参数在计算时会有一定误差。因此，必须要求 K_{sen} 符合部颁《继电保护和安全自动装置技术规程》的规定，《继电保护和安全自动装置技术规程》对各类短路保护装置的灵敏系数最小值都作了具体要求。

四、可靠性

保护装置的可靠性是指在规定的保护区内发生故障时，它不应该拒绝动作，而在正常运行或保护区外发生故障时，则不应该误动作。

可靠性主要指保护装置本身的质量和运行维护水平而言。不可靠的保护本身就成了事故的根源。因此，可靠性是对继电保护装置的最根本要求。

为保证可靠性，一般来说，宜选用尽可能简单的保护方式；应采用由可靠的元件和简单的接线构成的性能良好的保护装置，并应采取必要的检测、闭锁和双重化等措施。此外，使保护装置便于整定、调试和运行维护，对于保证其可靠性也具有重要的作用。

上述基本要求是互相联系而又互相矛盾的。例如，对某些保护装置来说，选择性和速动性不可能同时实现，要保证选择性，必须使之具有一定的动作时间。

可以这样说，继电保护这门技术，是随着电力系统的发展，在不断解决保护装置应用中出现的基本要求之间的矛盾，使之在一定条件下达到辩证统一的过程中发展起来的。因此，基本要求是分析研究各种继电保护装置的基础。

在电力系统中，当确定继电保护装置的配置和构成方案时，还应当适当考虑经济上的合理性。应综合考虑被保护元件与电力网的结构特点、运行特点及故障出现的概率和可能造成的后果等因素，依此确定保护方式，而不能只从保护装置本身的投资来考虑。因保护不完善或不可靠而给国民经济造成的损失，一般会大大超过即使是最复杂的保护装置的投资。

实践表明，继电保护装置或断路器有拒绝动作的可能性，因而需要考虑后备保护。实际上，每一电气元件一般都有两种继电保护装置，主保护和后备保护。必要时还另外增设辅助保护。

反映整个被保护元件上的故障并能以最短的延时有选择性地切除故障的保护称为主保护。

主保护或其断路器拒绝动作时，用来切除故障的保护称为后备保护。后备保护分近后备和远后备两种：主保护拒绝动作时，由本元件的另一套保护实现后备，谓之近后备；当主保护或其断路器拒动时，由相邻元件或线路的保护实现后备的，谓之远后备。

为补充主保护和后备保护的不足而增设的简单的保护称为辅助保护。

第四节 继电保护的发展简史

电力系统继电保护技术是随着电力系统的发展而发展的。首先是与电力系统对运行可靠性要求的不断提高密切相关的。熔断器就是最初出现的简单过电流保护。这种保护时至今日仍被广泛应用于低压线路和用电设备。熔断器的特点是融保护装置与切断电流的装置

于一体,因而最为简单。由于电力系统的发展,用电设备的功率、发电机的容量不断增大,发电厂、变电所和供电网的接线不断复杂化,电力系统中正常工作电流和短路电流都不断增大,单纯采用熔断器保护就难以实现选择性和快速性要求。于是出现了作用于专门的断流装置,19世纪90年代出现了装于断路器上并直接作用于断路器的一次式的电磁型过电流继电器。20世纪初随着电力系统的发展,继电器开始广泛应用于电力系统的保护,这个时期可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得到应用,在此时期也出现了将电压与电流相比较的保护原理,并导致了20世纪20年代初距离保护装置的出现。随着电力系统载波通信的发展,在1927年前后,出现了利用高压输电线路上高频载波电流传送和比较输电线路两端功率方向或电流相位的高频保护装置。在20世纪50年代,微波中继通信开始应用于电力系统,从而出现了利用微波传送和比较输电线路两端故障电气量的微波保护。早在20世纪50年代就出现了利用故障点产生的行波实现快速继电保护的设想,经过20余年的研究,终于诞生了行波保护装置。显然,随着光纤通信在电力系统中的大量采用,利用光纤通道的继电保护也必将得到广泛的应用。

与此同时,构成继电保护装置的元件、材料,保护装置的结构型式和制造工艺也发生了巨大的变革。20世纪50年代以前的继电保护装置都是由电磁型、感应型或电动型继电器组成的。这些继电器都具有机械转动部件,统称为机电式继电器。由这些继电器组成的继电保护装置称为机电式保护装置。机电式继电器所采用的元件、材料、结构型式和制造工艺在近40余年来,经历了重大的改进,积累了丰富的运行经验,工作比较可靠,因而目前电力系统中仍应用这种保护装置。但这种保护装置体积大,消耗功率大,动作速度慢,机械转动部分和触点容易磨损或粘连,调试维护比较复杂,不能满足超高压、大容量电力系统的要求。

20世纪50年代,由于半导体晶体管的发展,开始出现了晶体管式继电保护装置。这种保护装置体积小,功率消耗小,动作速度快,无机械转动部分,称为电子式静态保护装置。晶体管保护装置易受电力系统中或外界的电磁干扰的影响而误动或损坏,当时其工作可靠性低于机电式保护装置。但经过长期的研究和实践,抗干扰问题从理论上和实践上都得到了满意的解决,使晶体管继电保护装置的正确动作率达到了和机电式保护装置同样的水平。20世纪70年代是晶体管继电保护装置在我国大量采用的时期,满足了当时电力系统向超高压、大容量方向发展的需要。

由于集成电路技术的发展,可以将数十个或更多的晶体管集成在一个半导体芯片上,从而出现了体积更小、工作更加可靠的集成运算放大器和集成电路元件。这促使静态继电保护装置向集成电路化方向发展。20世纪80年代后期,标志着静态继电保护从第一代(晶体管式)向第二代(集成电路式)的过渡。目前,集成电路静态继电保护装置已成为静态继电保护装置的主要形式。

在20世纪60年代末,就提出用小型计算机实现继电保护的设想。因为当时小型计算机价格昂贵,难以在实用上采用。但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继电保护的发展奠定了理论基础。随着微处理器技术的迅速发展及其价格

急剧下降，在 20 世纪 70 年代后半期，出现了比较完善的微型计算机保护样机，并投入到电力系统中试运行。20 世纪 80 年代微型计算机保护在硬件结构和软件技术方面已趋成熟，并已在一些国家推广应用，这就是第三代的静态继电保护装置。微型计算机保护具有巨大的计算、分析和逻辑判断能力，有存储记忆功能，因而可用以实现任何性能完善且复杂的保护原理。微型计算机保护可连续不断地对本身的工作情况进行自检，其工作可靠性很高。此外，微型计算机保护可用同一个硬件实现不同的保护原理，这使保护装置的制造大为简化，也容易实行保护装置的标准化。微型计算机保护除了保护功能外，还有故障录波、故障测距、事故顺序纪录和调度计算机交换信息等辅助功能，这对简化保护的调试、事故分析和事故后的处理等都有重大意义。由于微型计算机保护装置的巨大优越性和潜力，因而受到运行人员的欢迎，进入 20 世纪 90 年代以来，在我国得到大量应用，将成为继电保护装置的主要型式。可以说微型计算机已经成为电力系统保护、控制、运行调度及事故处理的统一计算机系统的组成部分。

第二章

输电线路的电流电压保护

输电线路发生短路时，电流突然增大，电压降低。利用电流突然增大使保护动作而构成的保护装置，称为电流保护。利用电压降低构成的保护，称为电压保护。电流、电压保护在 35kV 及以下输电线路中被广泛采用。

第一节 单侧电源输电线路相间短路的电流电压保护

一、电磁型继电器

电磁式继电器的结构形式主要有三种，即螺管线圈式、吸引衔铁式及转动舌片式，如图 2-1 所示。

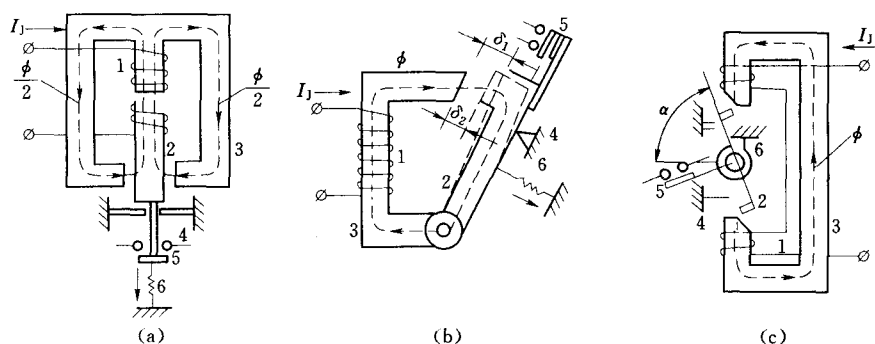


图 2-1 电磁式继电器三种基本结构形式

(a) 螺管线圈式；(b) 吸引衔铁式；(c) 转动舌片式

1—线圈；2—可动衔铁；3—电磁铁；4—止档；5—接点；6—反作用弹簧

电磁式继电器是利用电磁铁的铁芯与衔铁间的吸力作用而工作的继电器。

电流继电器在电流保护中作测量和起动元件，它是反应电流超过某一整定值而动作的继电器。电磁型继电器是利用电磁原理工作的，现以转动舌片式继电器为例进行分析，如图 2-1 所示。

当继电器线圈通入电流 I_r 时，则产生与电流成正比的磁通 Φ ，磁通经铁芯、可动舌片和气隙形成回路，使舌片磁化与铁芯的磁极产生电磁吸力，其大小与 Φ^2 成正比，此时作用在舌片上的电磁转矩 M_e 可表示为

$$M_e = K_1 \Phi^2 = K_2 \frac{I_r^2}{\delta^2} \quad (2-1)$$

式中 K_1 、 K_2 ——比例系数；

δ ——电磁铁与可动铁芯之间的间隙。

当铁芯未饱和且间隙不变时, K_1 、 K_2 为常数。实际上, 继电器衔铁运动时, 间隙会发生变化。如果舌片转动时, 保持线圈中的电流不变, 则间隙的减小将引起磁通 Φ 的增加, 从而电磁转矩增大, 有利于继电器动作。

在舌片转动的过程中, 除了克服弹簧的反作用力矩 M_s 外, 还必须克服摩擦力矩 M_f , 因此, 为使继电器动作, 加入继电器的电流 I_r , 必须满足下式

$$M_e \geq M_s + M_f \quad (2-2)$$

能满足式 (2-2) 的条件, 使继电器动作的最小电流值, 称为继电器动作电流 (起动电流) I_{op} 。

继电器动作后, 当加入继电器的电流减小时, 继电器在弹簧的力矩作用下将返回。为使继电器返回, 弹簧的作用力矩 M_s 必须大于电磁力矩 M_e 及摩擦力矩 M_f 之和, 即

$$M_s \geq M_e + M_f \quad (2-3)$$

满足式 (2-3) 条件, 使继电器返回到初始位置的最大电流, 称为返回电流 I_{re} 。

返回电流与动作电流的比值, 称为返回系数 K_{re} , 可表示为

$$K_{re} = \frac{I_{re}}{I_{op}} \quad (2-4)$$

二、无时限 (瞬时) 电流速断保护

在满足可靠性和保证选择性的前提下, 当所在线路保护范围内发生短路时, 反应电流而瞬时动作切除故障的电流保护, 称为无时限电流速断保护。

1. 工作原理及整定计算

无时限电流速断保护为了保证选择性, 一般情况下只能保护被保护线路的一部分, 其工作原理可用图 2-2 来说明。

在单侧电源辐射形电网各线路的始端装设有瞬时电流速断保护。当系统电源电势 E_s 一定, 线路上任一点发生短路时, 短路电流 I_k 的大小与短路点至电源之间的电抗 X_Σ (忽略电阻 R_Σ) 及短路类型有关, 三相短路和两相短路时, 流过保护安装地点的短路电流 I_k 可用下式表示

$$I_k^{(3)} = \frac{E_s}{X_s + X_1 l} \quad (2-5)$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{E_s}{X_s + X_1 l} \quad (2-6)$$

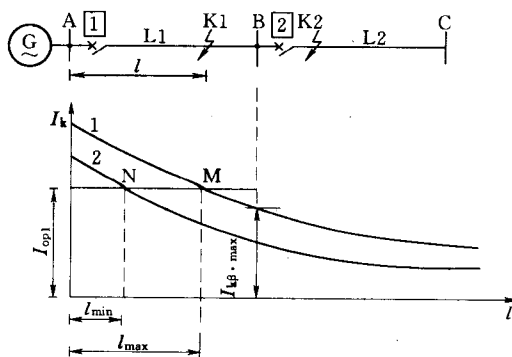


图 2-2 无时限电流速断保护动作特性分析

式中 E_s ——系统的等值计算相电势, V;

X_s ——归算至保护安装处网络电压的系统等值电抗, Ω ;

X_1 ——线路单位公里长度的正序电抗, Ω/km ;

l ——短路点至保护安装处的距离, km。

从式 (2-5)、式 (2-6) 可看出, 当系统运行方式一定时, X_s 也一定, 这样短路点从线

路末端逐渐移向电源时, 由于 l 的减小, 短路电流 I_k 随之增大。因此, 可以作出不同点短路时流过保护安装处的短路电流曲线。当系统运行方式改变及故障类型变化时, 即使是同一点短路, 短路电流的大小也会发生变化。在继电保护装置的整定计算中, 一般考虑两种极端的运行方式, 即最大运行方式和最小运行方式。最大运行方式是指在被保护对象末端短路时, 系统的等值阻抗最小 ($X_s = X_{s \cdot \min}$), 流过保护安装处的短路电流最大的运行方式; 最小运行方式是指在同样的短路情况下, 系统的等值阻抗最大 ($X_s = X_{s \cdot \max}$), 流过保护安装处的短路电流最小的运行方式。图 2-2 中曲线 1 表示在最大运行方式下, 流过保护安装处三相短路电流随短路点变化的曲线, 曲线 2 表示在最小运行方式下, 流过保护安装处的最小两相短路电流曲线。

假定在线路 L1 和线路 L2 上分别装设瞬时电流速断保护 1 和保护 2。根据选择性的要求, 瞬时电流速断保护的動作范围不能超出被保护线路, 即对保护 1 而言, 在相邻线路 L2 首端 K2 点短路时, 不应动作, 而应由保护 2 动作切除故障。因此, 瞬时电流速断保护 1 的動作电流应大于 K2 点短路时流过保护安装处的最大短路电流。由于在相邻线路 L2 首端 K2 点短路时的最大短路电流和本线路 L1 末端 B 母线上短路时的最大短路电流相等。故保护 1 瞬时电流速断保护的動作电流可按大于本线路末端短路时流过保护安装处的最大短路电流来整定, 即

$$I_{op1}^I > I_{kB \cdot \max}$$

写成等式

$$I_{op1}^I = K_{rel}^I I_{kB \cdot \max} \quad (2-7)$$

式中 I_{op1}^I ——保护装置 1 瞬时电流速断保护的動作电流, 又称一次動作电流;

K_{rel}^I ——可靠系数, 考虑到继电器的整定误差、短路电流计算误差和非周期分量的影响等而引入的, 取 1.2~1.3;

$I_{kB \cdot \max}$ ——被保护线路末端 B 母线上三相短路时流过保护安装处的最大短路电流, 一般取次暂态短路电流周期分量的有效值。在确定最大短路电流时, 应考虑系统运行方式、短路类型、短路点位置及电网连接形式。

動作电流按式 (2-7) 整定后, 不反应本线路以外的故障, 所以说瞬时电流速断保护是利用動作电流的整定来获得选择性的。由于動作电流整定后是不变的, 与短路点的位置无关, 从图 2-2 上可以看出, 保护動作电流与曲线 1 和 2 分别有一个交点为 M 和 N 点, 在交点到保护安装处的一段线路上发生短路故障时, $I_k > I_{op1}^I$, 保护 1 会动作。在交点以后的线路上发生短路故障时, $I_k < I_{op1}^I$, 保护 1 不会动作。因此, 瞬时电流速断保护不能保护本线路的全长。同时从图 2-2 中还可看出, 瞬时电流速断保护范围随系统运行方式和短路类型而变。在最大运行方式下三相短路时, 保护范围最大, 为 $l_{\max}$; 在最小运行方式下两相短路时, 保护范围最小, 为 $l_{\min}$ 。

保护范围既可以用图解法求得的, 也可以用计算法求的。当保护的動作电流 I_{op1}^I 确定后, 可求得最大保护范围 $l_{\max}$ 和最小保护范围 $l_{\min}$ 。

图 2-2 中在最大保护区末端 (交点 M) 发生短路故障时, 短路电流等于由式 (2-7) 所决定的保护的動作电流, 即