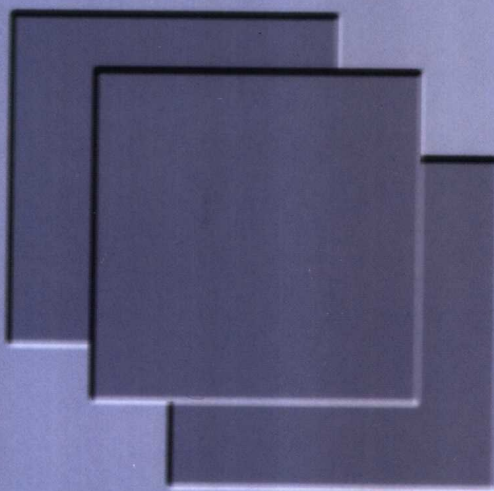




全国高职高专电气类精品规划教材

继电保护技术

主编 许建安 连晶晶



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

全国高职高专电气类精品规划教材

继电保护技术

主 编 许建安 连晶晶

副主编 路文梅 蔡光华 王 晖



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基本原理,序分量的获取方法及作用,微机保护原理,故障识别和处理,利用故障分量的保护原理,自适应保护的实现等内容。主要有:电力系统继电保护概述、继电保护的基本元件、输电线路电流电压保护、输电线路距离保护、输电线路全线快速保护、电力变压器保护、发电机保护、母线保护等。

书中内容反映了继电保护新技术与成果,文字和图形符号采用最新国家标准。

本书可作为高职高专教材,也可供工程技术人员参考,还可作为新型继电保护培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

继电保护技术/许建安,连晶晶主编. —北京:中国水利水电出版社,2004.7
全国高职高专电气类精品规划教材
ISBN 7-5084-2199-X

I. 继... II. ①许...②连... III. 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(2004)第062288号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 继电保护技术
作 者	主编 许建安 连晶晶
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	北京安锐思技贸有限公司
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16开本 19印张 371千字
版 次	2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	29.00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

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线和全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求,可以说,这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求,也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版,是对高职高专教材建设的一次有益探讨,因为时间仓促,教材可能存在一些不妥之处,敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

本教材是根据面向 21 世纪教学改革的目标和高职高专电力系统及其自动化专业的要求编写的,同时本课程是经福建省教育厅立项的精品课程。本教材阐述了电力系统继电保护的构成原理及微机继电保护技术的最新成果。由于微机技术、信息技术和通信技术的发展,使继电保护的原理和技术都发生了深刻的变化。而且,微机继电保护已占据了主导地位,因此,本教材始终将微机保护原理贯穿所有内容。同时,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。本教材重点介绍了继电保护基本概念和要求、保护的基础元件以及微机保护软硬件结构和原理、输电线路电流电压保护、输电线路距离保护、输电线路差动保护和高频保护、变压器保护、发电机保护以及母线保护等,系统介绍了保护原理、性能分析和整定计算方法。

本教材第 1 章、第 4 章和第 5~8 章的微机保护部分由福建水利电力职业技术学院许建安编写;第 2 章及第 3 章的 1~4 节由河北工程技术高等专科学校路文梅编写;第 3 章 5~7 节和第 5 章由长江工程职业技术学院蔡光华编写;第 6 章由南昌工程学院连晶晶编写;第 7 章、第 8 章由四川电力职业技术学院王晖编写。本教材由许建安、连晶晶任主编。

由于作者水平有限,书中的错误和不足在所难免,请读者批评指正。

编 者

2004 年 8 月

符号说明

一、设备、继电器文字符号

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

二、系数

K_{unp} ——非周期分量系数	K_{con} ——接线系数
K_{st} ——电流互感器同型系数	K_{uv} ——电压变换器变换系数
f_{er} ——电流互感器误差	K_{re} ——返回系数
K_{rel} ——可靠系数	K_{sen} ——灵敏系数
K_{ur} ——电抗变换器变换系数	K_{as} ——自起动系数
K_{k} ——短路类型系数	K_{c} ——配合系数

三、符号下角标注

ust——不同时	com——补偿
arc——弧光	as——自适应
swi——振荡	ra——当前
cal——计算	dir——方向

pol——极化
br——制动
w——工作
in——插入
op——动作
max——最大
N——额定
min——最小
s——闭锁
set——整定

eq——等值
res——剩余、制动
h——高
L——低、负荷
k——短路
b——平衡、分支
F——故障
en——允许
er——误差

目 录

序

前言

符号说明

第1章 电力系统继电保护概述	1
1.1 电力系统继电保护的作用	1
1.2 继电保护的基本原理和保护装置的组成	2
1.3 对继电保护的基本要求	4
1.4 继电器	7
1.5 电力系统继电保护的发展	9
小结	11
习题	11
第2章 继电保护的基本元件	13
2.1 电流互感器	13
2.2 变换器	14
2.3 对称分量滤过器	18
2.4 电磁型继电器	22
2.5 微机保护装置硬件原理	26
2.6 微机保护的软件系统配置	45
小结	52
习题	53
第3章 输电线路电流电压保护	55
3.1 单侧电源输电线路相间短路的电流电压保护	55
3.2 双侧电源输电线路相间短路的方向电流保护	70
3.3 输电线路接地故障保护	80
3.4 中性点直接接地系统输电线路接地故障保护	85
3.5 故障信息	92

3.6	利用故障分量的电流保护	96
3.7	自适应电流保护	98
3.8	利用故障分量的方向元件及保护原理	106
	小结	108
	习题	109
第4章	输电线路距离保护	113
4.1	距离保护概述	113
4.2	阻抗继电器	118
4.3	阻抗继电器接线方式	125
4.4	选相原理	134
4.5	距离保护起动元件	141
4.6	距离保护振荡闭锁	149
4.7	断线闭锁装置	159
4.8	影响距离保护正确工作因素	163
4.9	相间距离保护整定计算原则	168
4.10	自适应距离保护	172
4.11	WXB—11 型线路保护装置	177
	小结	185
	习题	186
第5章	输电线路全线快速保护	190
5.1	输电线路的纵联差动保护	190
5.2	自适应纵联差动保护	196
5.3	平行线路差动保护	199
5.4	高频保护	202
	小结	210
	习题	210
第6章	电力变压器的继电保护	212
6.1	电力变压器的故障类型及其保护措施	212
6.2	电力变压器的瓦斯保护	213
6.3	电力变压器电流速断保护	216
6.4	电力变压器的纵差保护	217

6.5	电力变压器相间短路后备保护	235
6.6	电力变压器接地保护	240
6.7	电力变压器微机保护	243
	小结	249
	习题	250
第7章	发电机保护	251
7.1	发电机故障和不正常工作状态及其保护	251
7.2	发电机的纵差保护	252
7.3	发电机的匝间短路保护	257
7.4	发电机定子绕组单相接地保护	260
7.5	发电机励磁回路接地保护	264
7.6	发电机的失磁保护	266
7.7	发电机负序电流保护	270
7.8	发电机—变压器组保护的特点及其配置	274
7.9	发电机微机保护	278
	小结	281
	习题	282
第8章	母线保护	283
8.1	装设母线保护基本原则	283
8.2	完全电流差动母线保护	285
8.3	电流比相式母线保护	287
8.4	双母线同时运行时母线保护	287
8.5	微机母线保护	289
	小结	291
	习题	291
	参考文献	292

电力系统继电保护概述

【教学要求】 通过本章学习理解电力系统继电保护含义、任务；了解继电保护装置基本原理及组成；熟悉对继电保护的基本要求；熟悉继电器的图形符号、文字符号以及型号的表示方法；理解对运行方式、主保护、后备保护、辅助保护等几个重要名词定义；对继电保护的发展历史也应有所了解。

1.1 电力系统继电保护的作用

1.1.1 电力系统故障和异常运行

电力系统由发电机、变压器、母线、输配电线路及用电设备组成。各电气元件及系统整体通常处于正常运行状态，但也可能出现故障或异常运行状态。在三相交流系统中，最常见的，同时也是最危险的故障是各种形式的短路。直接连接（不考虑过渡电阻）的短路一般称为金属性短路。电力系统的正常工作遭到破坏，但未形成故障，称为异常工作状态。

与其他电气元件相比较，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，还可能发生断线或几种故障同时发生的复杂故障。变压器和各种旋转电机所特有的一种故障形式是同一相绕组上的匝间短路。

短路总要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了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。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允许的地步,甚至造成设备损坏和人身伤亡。

在电力系统中,为了提高供电可靠性,防止造成上述严重后果,要对电气设备进行正确地设计、制造、安装、维护和检修;对异常运行状态必须及时发现,并采取措

1.1.2 继电保护的任務

继电保护装置是一种能反映电力系统中电气元件发生的故障或异常运行状态,并动作于断路器跳闸或发出信号的一种自动装置。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,并保证无故障部分迅速恢复正常运行。

(2) 当电力系统被保护元件出现异常运行状态时,继电保护应及时反应,并根据运行维护条件,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。

1.2 继电保护的基木原理和保护装置的组成

1.2.1 继电保护的基木原理

继电保护的基木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. 利用基本电气参数量的区别

发生短路故障后,利用电流、电压、线路测量阻抗、电压电流间相位、负序和零序分量的出现等的变化,可构成过电流保护、低电压保护、距离(低阻抗)保护、功率方向保护、序分量保护等。

(1) 过电流保护。反映电流增大而动作的保护称为过电流保护。如图 1-1 所示,若在 BC 线路上三相短路,则从电源到短路点 K 之间将流过短路电流 I_k ,可以使保护 1 或 2 反映到这个电流,首先由保护 2 动作于断路器 QF2 跳闸。



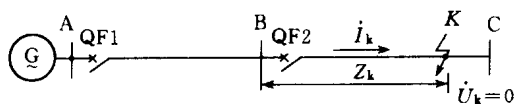


图 1-1 单侧电源线路

(2) 低电压保护。反映电压降低而动作的保护称为低电压保护。如图 1-1 所示, BC 线路 K 点发生三相短路时, 短路点电压降到零, 各母线上的电压都有所下降, 保护 1、2 都能反映到电压下降, 首先由保护 2 动作于允许跳闸信号。

(3) 距离保护。距离保护也称低阻抗保护, 反映保护安装处到短路点之间的阻抗下降而动作的保护称为低阻抗保护。在图 1-1 中, 若以 Z_k 表示保护 2 到短路点之间的阻抗, 则母线 B 上残余电压 $\dot{U}_{res} = \dot{I}_k Z_k$, 保护 2 的测量阻抗 $Z_m = \dot{U}_{res} / \dot{I}_k = Z_k$, 它的大小等于保护安装处到短路点间的阻抗, 正比于短路点到保护 2 之间的距离。

2. 利用比较两侧的电流相位(或功率方向)

如图 1-2 所示的双电源网络, 若规定电流的正方向是从母线指向线路。正常运行时, 线路 AB 两侧的电流大小相等相位差为 180° ; 当在线路 BC 的 K_1 点发生短路故障时, 线路 AB 两侧电流大小仍相等相位差仍为 180° ; 当在线路 AB 内部的 K_2 点发生短路故障时, 线路 AB 两侧短路电流大小一般不相等, 相位相同(不计阻抗的电阻分量时)。从分析可知, 若两侧电流相位(或功率方向)相同, 则判为被保护线路内部故障; 若两侧电流相位(或功率方向)相反, 则判为区外短路故障。利用被保护线路两侧电流相位(或功率方向), 可构成纵联差动保护、相差高频保护、方向保护等。

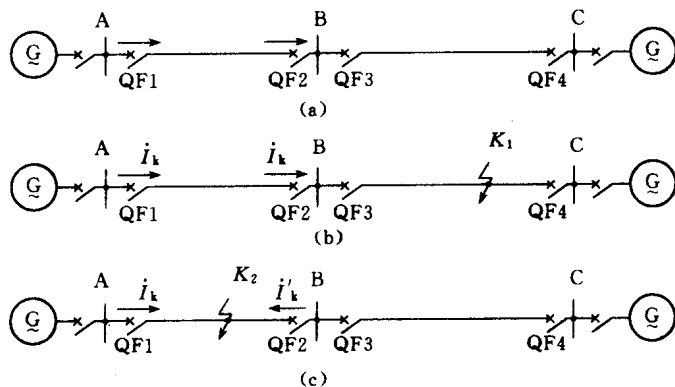


图 1-2 双侧电源网络

(a) 正常运行; (b) 外部故障; (c) 内部故障



3. 反映序分量或突变量是否出现

电力系统在对称运行时,不存在负序、零序分量;当发生不对称短路时,将出现负序、零序分量;无论是对称短路,还是不对称短路,正序分量都将发生突变。因此,可以根据是否出现负序、零序分量构成负序保护和零序保护;根据正序分量是否突变构成对称短路、不对称短路保护。

4. 反映非电量保护

反映变压器油箱内部故障时所产生的瓦斯气体而构成瓦斯保护;反映绕组温度升高而构成的过负荷保护等。

1.2.2 继电保护装置的组成

继电保护的构成原理虽然很多,但是在一般情况下,整套继电保护装置是由测量部分、逻辑部分和执行部分组成的,其原理结构如图 1-3 所示。

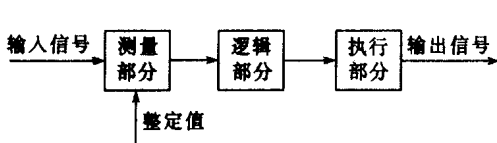


图 1-3 继电保护装置的原理方框图

1. 测量部分

测量部分是测量从被保护对象输入的有关物理量,并与给定的整定值进行比较,根据比较的结果,给出“是”或“非”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。

1.3 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。

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比较简单保护称为辅助保护。

对于电力系统继电保护装置应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的基本要求。这些要求之间，需要针对不同使用条件，分别地进行综合考虑。

1.3.1 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及有运行经验的微机保护产品；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。当电力系统中发生故障而主保护拒动时，靠后备保护的切除故障，有时不仅扩大了停电范围，而且拖延了切除故障的时间从而对电力系统的稳定运行带来很大危害。此外，保护装置应便于整定、调试和运行维护，对于保证其可靠性也具有重要的作用。

1.3.2 选择性

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。在图 1-4 所示的网络中，当线路 L4 上 K_2 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。 K_2 点故障，若保护 5 动作于将 QF5 断开，

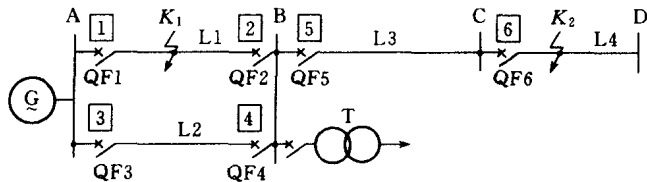


图 1-4 单侧电源网络中保护选择性动作说明图



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 K_1 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 K_2 点故障, 而保护 6 或断路器 QF6 拒动, 保护 5 动将断路器 QF5 断开, 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, 因而也认为是有选择性动作。

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。

1.3.3 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。

对于反映故障时参数增大而动作的保护装置, 其灵敏系数是

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路时保护安装处测量到的故障参数的最小计算值}}{\text{保护整定值}}$$

对于反映故障时参数降低而动作的保护装置, 其灵敏系数是

$$K_{sen} = \frac{\text{保护区末端金属性短路故障时保护安装处测量到的故障参数的最大计算值}}{\text{保护整定值}}$$

实际上, 大多短路情况是非金属性的, 而且故障参数在计算时会有一定误差, 因此, 必须要求 $K_{sen} > 1$ 。在部颁的《继电保护和安全自动装置技术规程》中, 对各类短路保护装置的灵敏系数最小值都作了具体规定。对于各种保护装置灵敏系数的校验方法, 将在各保护的整定计算中分别讨论。

1.3.4 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。

