



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



PRINCIPLES OF RELAY PROTECTION OF ELECTRIC POWER SYSTEM

电力系统继电保护原理

(第五版)

贺家李 李永丽 董新洲 李 斌 和敬涵 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电力系统继电保护原理

(第五版)

贺家李 李永丽 董新洲 李 斌 和敬涵 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书着重阐述电力系统继电保护的基本原理、分析方法和应用技术。第一章绪论。第二章阐述作为继电保护硬件系统的几种主要继电器的作用原理、分析方法和整定原则。第三~七章阐述电网的相间短路的电流、电压保护,输电线路的接地保护,输电线路的距离保护、纵联保护和自动重合闸。第八~十一章阐述电力系统的主设备保护、母线保护和电动机保护。第十二章介绍直流输电和配电系统的保护与控制。在附录中介绍了继电保护装置的主要试验技术,如动态模拟试验和 RTDS 数字仿真试验的原理和方法,给出了 GB 14285—2006《继电保护和安全自动装置技术规程》关于继电保护可靠系数和灵敏系数的规定,给出了与继电保护有关的 IEEE 的设备代号和有关的中英文名词对照表。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化相关专业本科教材和硕士生学位课参考书,亦可供从事继电保护工作的科技人员参考和自学。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统继电保护原理/贺家李等编著. —5 版. —北京:中国电力出版社,2018.4

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5198-0816-7

I. ①电… II. ①贺… III. ①电力系统-继电保护-高等学校-教材 IV. ①TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 132713 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:雷 锦

责任校对:常燕昆

装帧设计:张 娟

责任印制:吴 迪

印 刷:北京雁林吉兆印刷有限公司印刷

版 次:1980 年 6 月第一版 2018 年 4 月第五版

印 次:2018 年 4 月北京第五十二次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:25.5

字 数:624 千字

定 价:65.00 元



版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

前 言

本书自第四版出版以来得到了广泛的应用,证明其完全适合本科教学、研究生和电力部门科技人员参考和自学的需要。随着环境保护问题的日趋严重,能源结构的变化,分布式发电和微电网的发展,直流配电网应运而生,并成为研究的热点课题之一。本版在第四版的基础上删去了一些过时的内容,增加了对直流配电系统保护基本原理的介绍。

书中第二章,第三章第三节,第五章第七节,第六章第十节,第九章第九节,第十二章第一节和附录一由李永丽编写;第四章由董新洲编写;第五章第四、五节和第六章第五节,第七,八,十,十一章由李斌编写;第十二章第二节,由和敬涵编写;其余章节由贺家李编写。贺家李对全书进行了统稿。

编 者

2017 年 10 月

第一版前言

本书是根据 1978 年原水利电力部制订的水利电力类高等学校、中等专业学校教材编审出版规划(草案),作为高等学校“发电厂及电力系统专业”电力系统继电保护课程的教材而编写的。

本书注意加强电力系统故障的理论分析,着重阐述继电保护的基本原理,反映了继电保护的一些新技术成就。书中附有“*”的内容为本课程的非基本部分,可供学校教学时选用。

全书共分十章,第一章的一至六节、第二章的一至二节以及第十章由贺家李同志编写,第七、第八章由梁统珍同志编写,其余诸章节均由宋从矩同志编写。宋从矩同志任本书的主编,贺家李同志对全书进行了审订。

本书由山东工学院发电教研室主审。山东工学院、山东省电力工业局、上海交通大学、东北电力学院、西安交通大学、合肥工业大学、成都科技大学、华中工学院、华北电力学院、华南工学院、武汉水利电力学院、重庆大学、南京工学院、浙江大学、清华大学、湖南大学、云南工学院等单位的有关同志参加了本书编写大纲的讨论会或审稿会。此外,电力工业部南京自动化研究所、一机部许昌继电器研究所、北京电管局中心调度所、河北省电力设计院、黑龙江省电力设计院以及天津军粮城发电厂等单位,对本书的修改还提出了书面意见。对以上兄弟院校以及各单位的大力支持,在此一并致谢。

诚恳地希望广大读者对本书的缺点和错误提出批评和指正。

编 者

1979 年 12 月

第三版前言

本书是在 1980 年出版的《电力系统继电保护原理》一书的基础上,根据 1982 年召开的热能和电力类专业教材编审委员会第一次会议上通过的“电力系统继电保护教学大纲”和 1983 年召开的继电保护和自动化教材编审小组扩大会议上讨论通过的“继电保护教材编写提纲”修订而成的。由于教学时数和出版字数的限制,对于原书中一些没有时间在课堂上讲授的内容,做了较大的删减,适当加强了一些基本内容的阐述,并按照科学技术的发展对内容做了一些更新,阐述体系做了一些改变。本书第一、二、三、四、六章由贺家李改写,第五、七、八、九章由宋从矩改写,由于作者水平所限和各校教学的具体情况不同,本书恐难完全满足各校继电保护教学的要求,望广大师生和专家们提出意见帮助我们在重印时修改。本书承陈德树教授审阅全文,史世文副教授和王静茹老师对一些章节提出了不少宝贵意见,各兄弟院校的老师们对本书的修改也提出了很多好的建议,在此表示衷心的感谢。

编 者

1984 年 4 月

第三版前言

本书第三版是根据教学改革中要求进一步拓宽专业面,减少专业课教学时数和内容的精神,在第二版的基础上改写的。考虑到继电保护技术的进步,在改写中改变了第二版中以整流型继电器为基础的写法,而改为以集成电路型继电器为基础。因而在阐述方法和体系方面有一些变化。本版的编写提纲曾在1990年和1991年两次全国继电保护教学指导组会上讨论,并得到各校继电保护任课教师的帮助。全书由陈德树教授审阅。在此一并表示衷心的感谢。本版第一、四、八章和第三章第六节由贺家李改写,其余章节和附录由宋从矩改写。希望改写后的第三版能符合本课程教学的要求。请阅读此书的师生和广大读者继续给予批评指正。

编者

1991年12月

第四版前言

本书原为高等学校电力系统及其自动化专业电力系统继电保护课程全国统编教材。第一版 1980 年出版。随着教学改革的发展,继电保护课程在专业教学计划中地位的变化,以及学时数的减少,根据教材编审委员会要求进行了两次修订,第二版于 1985 年出版,第三版于 1991 年完稿 1994 年出版。本书作为专业课教材和自学参考书,与大学本科电工理论基础、电机学、电子学、电力系统分析、电力系统暂态过程等课程教材相衔接,系统地、由浅入深地介绍和论述了电力系统继电保护的基本理论和应用基础。由于本书的编写遵循继电保护技术发展的历史,强调了叙述的系统性、逻辑性和严密性,便于初学者理解和掌握,因此出版以来深受高校师生和电力系统工程技术人员的欢迎,发行量已超过 25 万册。本书第二版在 1987 年荣获水利电力部优秀教材一等奖,国家优秀教材奖。

自 1991 年第三版完稿以来,已经过了 18 年。在这期间随着电子技术和计算机技术的飞速发展,继电保护技术也发生了巨大变化。尤其是微机保护的推广应用、计算机网络和光纤通信的普及使继电保护技术发生了革命性的变化。继电保护正在沿着微机化,网络化,保护、控制、信号、测量和数据通信一体化,后备保护和安全自动装置的广域集中化和电流、电压变换的光学化的方向前进。在此情况下,本书原有的内容已不能满足读者的需要,很多读者表示希望本书增加新的内容,以保持继电保护学科的完整性和先进性。中国电力出版社也提出了同样的希望。正值国家“十一五”规划中关于教材建设的规划中有电力系统继电保护原理教材的选题,在中国电力出版社的敦促和帮助下,申请了本书第四版的编写和出版并获得批准。

在本书的编写中,除了保证叙述的系统性和技术发展的连续性所必需者外,对已过时的内容做了较大的删减,增加了微机保护、特高压交流输电线的保护、高压直流输电的保护与控制等内容;此外还扩大了输电线路纵联保护和主设备保护的内容,以便和我国特高压交、直流输电线路的建设和大机组的投入相适应。

书中第二章、第三章第三节、第五章第七节、第六章第十节、第九章第九节、第十二章和附录一由李永丽编写,第四章由董新洲编写,第七、八、十、十一章和第五章第四、五节由李斌编写,其余章节由贺家李编写。贺家李对全书进行了统稿。

在编写过程中作者感到书中传统的继电器和保护装置构成的基本原理,如主要的电磁型、感应型、晶体管型、集成电路型继电器的原理仍然不能完全删除。一方面因为技术发展的历史不能割裂;另一方面对于继电保护的基本原理,如不联系这些传统的继电器结构和作用框图,则很难讲清楚。如果这些基本原理都用微机保护的软件流程图讲解,很难给初学者一个清晰的概念和感性认识。相反的,如果通过这些传统的继电器结构和作用框图掌握了继电保护的基本原理,读者将很容易用微机保护的软件将其实现。因此本书在基本原理的讲述中仍沿用传统的讲述方法,但尽可能地将传统的、过时的内容删减,而将微机保护进行系统的讲述。

电力系统的飞速发展对继电保护技术不断提出愈来愈高的要求，而电子技术、计算机技术和通信技术的日新月异又为继电保护技术的发展不断地注入了新的活力，因此电力系统继电保护技术是电力系统学科中最活跃的领域。我国继电保护技术在新中国成立后的 60 余年已经历了机电式保护、晶体管保护、集成电路保护和微机保护四个时代，电力系统向着大机组、超高压、特高压、长距离、全国联网的方向发展和科学技术的进步，预示着继电保护技术仍将有更大的发展。本书为本专业的基本教材，以系统地阐明电力系统继电保护的基本原理和在实践中应用的技术为主，限于篇幅，对于大量新的研究成果只能提及并给出参考文献，供有志于研究的读者查阅和了解。

鉴于当前有些学校在本科教学计划中继电保护课程已与电力系统自动化合并，学时数已大大减少，因此本书不再以只满足于大学本科课程教学需要为目的，而是按照本专业本科教学、硕士生学位课教学和电力工程技术人员自学、参考的需要而编写，由浅入深，内容比较丰富，可以说是一本适应大专以上各个知识层次技术人员的继电保护入门书，是一本专业基础的自学和参考书。书中也凝聚了作者长期的教学经验和一些科研成果。书中打 * 号的章节和段落在本科教学中可不讲授。根据各章讲述的基本原理和重要概念在每章后列出了一些思考题，帮助初学者复习、巩固和思考。

本书在编写过程中得到各校师生和中国电力出版社同志的鼓励和帮助，也参阅了国内外著名继电保护专家们的研究成果和著作，在第十二章的编写中得到南方电网超高压输电公司技术专家翟永昌同志的大力协助，在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2010 年 6 月

本书使用符号说明

本书所用名词符号基本上符合国家标准的规定，但由于继电保护的的特殊性，有几个名词符号不同于国标。例如关于相量（phasor）和触点一词，对于继电保护不适合。因为在继电保护中很多用到对称分量和各种模分量。这些分量统称为模量，而用相量代表相电流、相电压、相功率等以示区别。没有更好的方法区别这两种量，因此本书中仍沿用继电保护领域传统的区别方法。用相量（phase value）表示相全量以区别于模量或对称分量，而用矢量代表其他书籍中的相量（phasor）。再者，对保护继电器的接点有特殊的要求，在保护动作时不但要接通，还要有一定的压力，以免接通不良而产生火花把接点烧坏。此外，为了减少接触电阻有些接点要镀银，有的要放在真空中。用“触点”二字，不能体现出此特殊要求，故仍沿用接点一词。关于这些特殊名词的采用，曾在继电保护教材编审小组会上讨论过，得到了与会编审委员们的同意，敬请读者注意。其他不同于国标的名词符号都在第一次出现时作了说明。

一、设备、元件、名词符号

T	变压器	TAM	小型中间变流器，中间电流互感器
VTR	晶体三极管	TA	电流互感器
VU	半导体整流桥	M	电动机
C	电容器	SD	发电机灭磁开关
k、k1...	故障点	Y	断路器跳闸线圈
VD	二极管	VS	稳压管
TX	电抗互感器（又称电抗变压器）	TVM	小型中间变压器
QF	断路器	TV	电压互感器
G	发电机	AR	自动重合闸装置
K	继电器和保护装置	TS	隔离变压器或辅助变流器

二、电压类符号

$E_A、E_B、E_C$	系统等效电源或发电机的三相电动势	$U_{A1}、U_{B1}、U_{C1}$	保护安装处各相的正、负、零序电压
$U_A、U_B、U_C$	系统中任一母线或保护安装处的三相电压	$U_{A2}、U_{B2}、U_{C2}$	
		$U_{A0}、U_{B0}、U_{C0}$	
$U_{kA}、U_{kB}、U_{kC}$	故障点的三相电压	U_N	额定相间电压
$U_{k1}、U_{k2}、U_{k0}$	故障点的正、负、零序电压	U_{unb}	不平衡电压
		$U_{\varphi}、U_{\varphi\varphi}$	相电压和相间电压

三、电流类符号

$I_A、I_B、I_C$	三相电流	$I_{k1}、I_{k2}、I_{k0}$	故障点的正、负、零序电流
I_k	短路电流	I_{φ}	相电流
$I_1、I_2、I_0$	正、负、零序电流	$I_{\varphi\varphi}$	两相电流之差
$I_{kA}、I_{kB}、I_{kC}$	故障点的各相短路电流	$I_{k \cdot \max}$	最大短路电流
$I_{A1}、I_{B1}、I_{C1}$	三相中的正、负、零序电流	$I_{k \cdot \min}$	最小短路电流
$I_{A2}、I_{B2}、I_{C2}$		I_L	负荷电流
$I_{A0}、I_{B0}、I_{C0}$		$I_{L \cdot \max}$	最大负荷电流

I_N	额定电流	I_{umb}	不平衡电流
$I_N \cdot T$	变压器的额定电流	I_e	励磁电流
$I_N \cdot G$	发电机的额定电流		

四、阻抗类符号

R	电阻	Z_T	变压器阻抗
X	电抗	Z_G	发电机阻抗
$Z=R+jX$	阻抗	$Z_L \cdot \min$	最小负荷阻抗
Z_L	线路阻抗	Z_S	系统阻抗
Z_{LG}	“导线一地”回路阻抗	Z_{Σ}	综合阻抗
Z_M	互感阻抗	$Z_{1\Sigma}、Z_{2\Sigma}、Z_{0\Sigma}$	正、负、零序综合阻抗
R_t	过渡电阻		

五、保护装置及继电器的有关参数

I_{set}	根据保护设计预定的、不能随便改变的、输入到保护装置内的一次整定电流。分别用'、"、"代表I、II、III段的整定值	$I_{K \cdot re}$	保护装置的二次返回电流
I_{act}	在故障时的实际动作电流	$I_{K \cdot bs}$	保护装置的二次闭锁电流
I_{re}	保护装置的一次返回电流	I_{op}	差动保护的动作量
U_{set}	输入到保护装置的一次整定电压	I_{res}	差动保护的制动量
U_{act}	在故障时的实际动作电压	$U_{K \cdot set}$	输入到保护装置的二次整定电压
U_{re}	保护装置的一次返回电压	$U_{K \cdot re}$	保护装置的二次返回电压
Z_{set}	输入到保护装置的一次整定阻抗	$Z_{K \cdot set}$	输入到保护装置的二次整定阻抗
Z_{act}	在故障时实际的动作阻抗	$Z_{K \cdot re}$	保护装置的二次返回阻抗
Z_{re}	保护装置的一次返回阻抗	Z_{set}	输入到保护装置的一次整定阻抗
$I_{K \cdot set}$	输入到保护装置的二次整定电流	I_K	加入保护装置中的电流
		U_K	加入到保护装置中的电压
		$Z_K=\frac{U_K}{I_K}$	保护装置的测量阻抗

六、常用的系数

K_{rel}	可靠系数	K_{aper}	非周期分量影响系数
K_{sen}	灵敏系数	K_{ss}	同型系数
K_{re}	返回系数	K_{met}	配合系数
K_c	接线系数	K_{Ms}	电动机自启动系数
K_{br}	分支系数	n_{TA}	电流互感器的变比
K_k	故障类型系数	n_{TV}	电压互感器的变比

目 录

前言	
第一版前言	
第二版前言	
第三版前言	
第四版前言	
本书使用符号说明	
第一章 绪论	1
第二章 继电保护的硬件构成——继电器	10
第一节 继电器的类别和发展历程	10
第二节 微处理器简介	14
第三节 微机继电保护硬件系统的构成	16
第四节 微机保护软件构成	29
思考题	31
本章主要参考文献	31
第三章 电网的相间电流、电压保护和方向性相间电流、电压保护	32
第一节 单侧电源网络的相间电流、电压保护	32
第二节 电网相间短路的方向性电流、电压保护	53
第三节 微机电流方向保护	62
思考题	67
本章主要参考文献	68
第四章 电网接地故障的电流、电压保护	69
第一节 电网接地故障种类及保护策略	69
第二节 中性点有效接地系统中的接地保护	71
第三节 中性点经小电阻接地系统中的高阻接地故障检测	77
第四节 中性点不接地系统中的接地保护	80
第五节 中性点经消弧线圈接地系统中的接地保护	84
* 第六节 中性点非有效接地系统中的单相接地选线技术	88
思考题	93
本章主要参考文献	94
第五章 电网的距离保护	95
第一节 距离保护的作用原理	95
第二节 单相补偿式距离继电器	97
第三节 多相补偿式距离继电器	117

* 第四节	工频故障分量距离继电器	121
* 第五节	用于特高压长线路的距离保护	124
第六节	影响距离保护正确工作的因素及防止方法	128
第七节	微机距离保护	145
第八节	距离保护的整定计算原则及对距离保护的评价	150
思考题		153
	本章主要参考文献	154
第六章	输电线路的纵联保护	155
第一节	基本原理与类别	155
第二节	纵联保护的通信通道	156
第三节	输电线路的导引线电流纵联差动保护	163
第四节	分相电流纵联差动保护	172
* 第五节	输电线路微机自适应分相电流纵联差动保护	180
* 第六节	特高压长距离输电线路的分相电流差动保护	184
第七节	电流相位比较式纵联保护	189
第八节	方向比较式纵联保护	199
第九节	距离纵联保护	218
第十节	微机纵联电流差动保护	222
第十一节	对输电线纵联保护的总结和评价	225
思考题		227
	本章主要参考文献	228
第七章	自动重合闸	230
第一节	自动重合闸的作用及对其要求	230
第二节	三相一次自动重合闸	232
第三节	单相自动重合闸	240
第四节	综合重合闸简介	247
思考题		248
	本章主要参考文献	248
第八章	电力变压器的继电保护	250
第一节	电力变压器的故障、不正常运行状态及其保护配置	250
第二节	变压器的纵联差动保护	252
第三节	变压器相间短路的后备保护	270
第四节	变压器接地短路故障的后备保护	274
第五节	变压器的其他保护	278
思考题		280
	本章主要参考文献	281
第九章	发电机的继电保护	282
第一节	发电机的故障、不正常运行状态和保护配置	282
第二节	发电机纵差动保护	284

第三节	发电机横差动保护	287
第四节	发电机的单相接地保护	290
第五节	发电机励磁回路接地保护	296
第六节	发电机相间短路的后备保护	297
第七节	发电机的失磁保护	299
第八节	发电机—变压器组继电保护	306
第九节	微机发电机差动保护	309
思考题		310
本章主要参考文献		311
第十章	母线保护	312
第一节	母线的故障与保护方法	312
第二节	母线保护的基本原理	313
第三节	双母线同时运行时的母线差动保护	317
第四节	一个半断路器接线的母线保护的特点	321
第五节	微机母线差动保护	322
第六节	断路器失灵保护	330
思考题		332
本章主要参考文献		332
第十一章	电动机的继电保护	333
第一节	电动机的故障、不正常运行状态及其保护配置	333
第二节	电动机相间短路和单相接地短路的保护	335
第三节	电动机的负序电流保护	339
第四节	电动机的其他保护	342
思考题		345
本章主要参考文献		345
第十二章	直流输电和配电系统的保护	346
第一节	高压直流输电系统的保护	346
* 第二节	直流配电系统的保护	356
思考题		367
本章主要参考文献		367
附录一	继电保护装置的测试方法	369
附录二	各种保护整定配合的可靠系数和灵敏系数	372
附录三	继电器的分类、型号、表示方法和 IEEE 的设备编号	375
附录四	继电保护常用名词术语中英文对照	378

第一章 绪 论

一、电力系统继电保护的作用

电力系统在运行中,可能发生各种故障和不正常运行状态,最常见同时也是最危险的故障是发生各种型式的短路。在发生短路时可能产生以下后果:

- (1) 通过故障点很大的短路电流和所燃起的电弧使故障元件损坏;
- (2) 由于发热和电动力的作用,短路电流通过非故障元件时引起其损坏或缩短其使用寿命;
- (3) 电力系统中部分地区的电压大大降低,破坏用户用电的稳定性或影响工厂产品的质量;
- (4) 破坏电力系统并列运行的稳定性,引起系统振荡,甚至使整个系统瓦解。

当电力系统中电气元件的正常工作遭到破坏,但没有发生故障,这种情况属于不正常运行状态。例如,因负荷超过电气设备的额定值而引起的电流升高(一般又称过负荷),就是一种最常见的不正常运行状态。由于过负荷,使元件载流部分和绝缘材料的温度不断升高,加速绝缘的老化和损坏,就可能发展成故障。此外,系统中出现功率缺额而引起的频率降低,发电机突然甩负荷而产生的过电压,以及电力系统发生振荡等,都属于不正常运行状态。

故障和不正常运行状态,都可能在电力系统中引起事故。所谓事故,就是指系统或其中一部分的正常工作遭到破坏,并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的地步,甚至造成人身伤亡和电气设备的损坏等。

系统事故的发生,除了由于自然条件的因素(如遭受雷击等)以外,一般都是由于设备制造上的缺陷、设计和安装的错误、检修质量不合格或运行维护不当而引起的。因此,只要充分发挥人的主观能动性,正确地掌握设备运行的客观规律,加强对设备的维护和检修,就可以大大减少事故发生的概率,把事故消灭在发生之前。

在电力系统中,除应采取各项积极措施消除或减少发生故障的可能性以外,故障一旦发生,必须迅速而有选择性地切除故障元件,这是保证电力系统安全运行的最有效方法之一。为了维持系统稳定运行,切除故障的时间常常要求小到百分之几秒。实践证明只有在每个电气元件上装设保护装置后才有可能满足这个要求。这种保护装置长期以来是由单个继电器或继电器与其附属设备的组合构成的,故称为继电保护装置。在电子式静态保护装置和微机保护装置出现以后,虽然继电器已被电子元件或计算机所代替,但仍沿用此名称。在电力部门常用“继电保护”一词泛指继电保护技术或由各种继电保护装置组成的继电保护系统。继电保护装置一词则指各种具体的装置。

继电保护装置,就是指能反应电力系统中电气元件发生故障或不正常运行状态,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) 自动、迅速、有选择性地将故障元件从电力系统中切除,使故障元件免于继续遭到破坏,保证其他无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,并根据运行维护的条件(例如有无经常值班人员),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,以免不必要的动作和由于干扰而引起的误动作。

顺便指出,因继电保护主要反应短路故障,故习惯上对“短路”和“故障”二词不加严格区分,本书也遵循此习惯。例如“单相接地”、“单相短路”、“单相故障”实际上指的是同一件事。严格地说,故障的含义较广,不只是指短路,也包括其他故障。

二、继电保护的基本原理和保护装置的组成

为完成继电保护所担负的任务,显然应该要求它能够正确地利用系统正常运行与发生故障或不正常运行状态之间的差别,以实现保护。

下面先以动作时间与短路距离成“阶梯形”时限特性的保护为例说明继电保护的基本原理。

图 1-1 (a) 所示的网络接线,在电力系统正常运行时,每条线路上都流过由它供电的负荷电流 I_L ,越靠近电源端的线路上的负荷电流越大。同时,各变电站母线上的电压,一般都在额定电压的 $\pm(5\% \sim 10\%)$ 范围内变化,且靠近电源端母线上的电压较高。线路始端电压与电流之间的相位角决定于由它供电的负荷的功率因数角和线路的参数。由电压与电流之

比值所代表的“测量阻抗”,则是在线路始端所感受到的、由负荷所反应出来的一个等效阻抗,其值一般很大。

当系统发生故障时,其状况如图 1-1 (b) 所示。假定在线路 BC 上发生了三相

短路,则短路点的电压 $\dot{U}_k$ 降低到零,从电源到短路点之间均将流过很大的短路电流 $\dot{I}_k$,各变电站母线上的电压也将在不同程度上有很大的降低,距短路点越近时降低得越多。设以 Z_k 表示短路点到变电站 B 母线之间的阻抗,则母线上的残余电压应为 $\dot{U}_{(B)} = \dot{I}_k Z_k$ 。 $\dot{U}_{(B)}$ 与 $\dot{I}_k$ 之

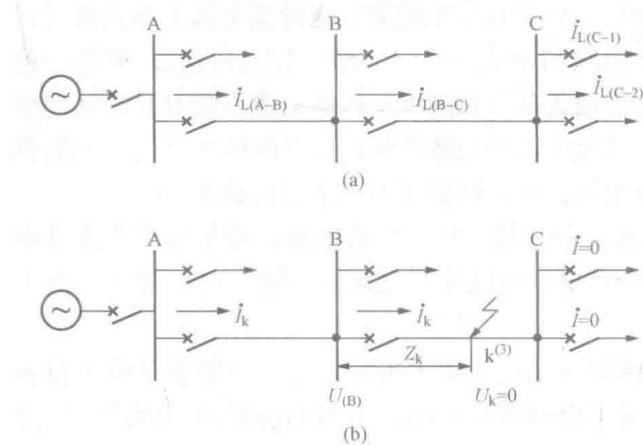


图 1-1 单侧电源网络接线

(a) 正常运行情况; (b) k 点三相短路情况

间的相位角就是 Z_k 的阻抗角,在线路始端的测量阻抗就是 Z_k ,此测量阻抗的大小一般正比于短路点到变电站 B 母线之间的距离。

在一般情况下,发生短路之后总是伴随有电流的增大和电压的降低以及线路始端测量阻抗的减小和电压与电流之间相位角的变化。因此,利用正常运行与故障时这些基本参数的区别,便可以构成各种不同原理的具有“阶梯形”时限特性的继电保护。例如:①反应于电流增大而动作的过电流保护;②反应于电压降低而动作的低电压保护;③反应于短路点到保护安装地点之间的距离(或测量阻抗的减小)而动作的距离保护(或低阻抗保护)等。

此外,就电力系统中的任一电气元件而言,如图 1-2 中的线路 AB,在正常运行时,在某一瞬间,负荷电流总是从一侧流入而从另一侧流出,如图 1-2 (a) 所示。如果我们统一规定电流的正方向都是从母线流向被保护线路(图 1-2 中所示电流方向是实际的方向,不是假定的正方向),那么,按照规定的正方向,AB 两侧电流的大小相等,而相位相差 180° 。A

侧电流为正，B 侧电流为负。当在线路 AB 的范围以外的 k1 点短路时，如图 1-2 (b) 所示，由电源 I 所供给的短路电流 I'_{k1} 将流过线路 AB，此时 AB 两侧的电流仍然是大小相等相位相反，其特征与正常运行时一样。如果短路发生在线路 AB 的范围以内 (k2)，如图 1-2 (c) 所示，由于两侧电源均分别向短路点 k2 供给短路电流 I'_{k2} 和 I''_{k2} ，因此，在线路 A-B 两侧的电流都是由母线流向线路，此时两个电流的大小一般不相等，在理想情况下 (两侧电动势相位相同且全系统的阻抗角相等)，两个电流同相位，都为正。

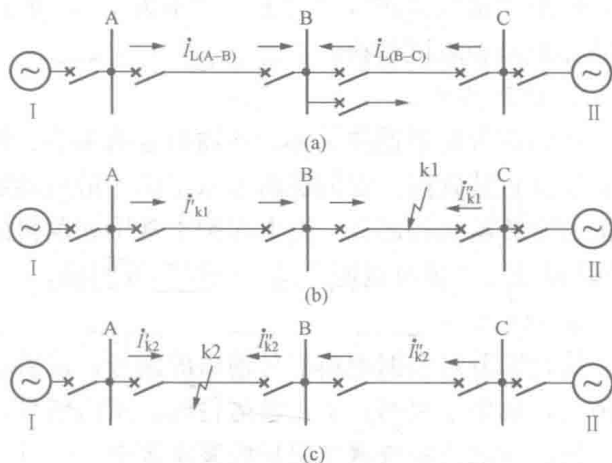


图 1-2 双侧电源网络接线

(a) 正常运行情况；(b) k1 点短路时的电流分布；

(c) k2 点短路时的电流分布

利用每个电气元件在内部故障与外部故障 (包括正常运行情况) 时，两侧电流相位或功率方向的差别，就可以构成各种差动原理的保护，如电流差动纵联保护、相位差动纵联保护、方向纵联保护等。电流差动原理的保护只能在被保护元件的内部故障时动作，而不反应外部故障，因而被认为具有绝对的选择性。

在按照上述原理构成各种继电保护装置时，可以使它们的参数反应于每相中的电流和电压 (如相电流、相或线电压)，也可以使之仅反应于其中的某一个对称分量 (如负序、零序或正序) 的电流和电压。在正常运行情况下，负序和零序分量不会出现，而在发生不对称接地短路时，它们却具有较大的数值。在发生不接地的不对称短路时，虽然没有零序分量，但负序分量却很大。因此，利用这些分量构成的保护装置一般都具有良好的选择性和灵敏性，这正是这种保护装置获得广泛应用的原因。

此外，利用短路时电压和电流的突然变化可以做成各种突变量保护或工频变化量保护，利用短路时产生的行波及其反射特性可以做成各种行波保护等。利用短路点产生行波中的暂态分量通过阻波器时数值或波形的变化，还可以实现输电线的无通道快速保护，这是最理想的保护原理。

除上述反应各种电气量的保护以外，还有根据电气设备的特点实现反应非电量的保护。例如，当变压器油箱内部的绕组短路时，反应于油被分解所产生的气体而构成的瓦斯保护；反应于电动机绕组的温度升高而构成的过负荷或过热保护等。

以上各种原理的保护，可以由一个或若干个模拟式继电器连接在一起组成保护装置来实现，也可用微机实现。

就一般情况而言，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，如图 1-3 所示。在微机保护中，这三部分不是截然分开的。测量部分又由数据采集、数据处理、保护判据运算等组成，详见第二章。现就保护装置的三个组成部分进行说明。



图 1-3 继电保护装置的原理结构

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进行计算，并与已给定的整定值进行比较，根据比较的结