

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专升本系列教材

电力系统继电保护技术

曾克娥 编

为继续教育（函授）

量身定做



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专升本系列教材

电力系统继电保护技术

曾克娥 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书《电力系统继电保护技术》课程，为高等学校“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专升本系列教材之一。

本书除了在绪论中对全书必须用到的从常规保护到微机保护中最基本的概念、最基本的原理等进行了叙述外，从第二章至第九章的内容对包括从输配电线路各种保护、自动重合闸到同步发电机、电动机、变压器、母线、电容器组等元件的各类短路及异常运行的保护原理、整定计算、逻辑设计等做了较详细的介绍和举例。书中内容尽可能地与继电保护相关规程接口，并结合适当的举例以加强其实践性。

本书可作为普通高等学校“电气工程及其自动化”专业方向函授本科教学的教材，也可作为电类学校和职业培训的参考教材，并可供从事继电保护技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统继电保护技术/曾克娥编. —北京：中国电力出版社，2007.7

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专升本系列教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5427 - 9

I . 电… II . 曾… III . 电力系统 - 继电保护 - 函授大学 - 教材 IV . TM77

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 050252 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

利森达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

2007年7月第一版 2007年7月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 14.125印张 318千字
印数0001—3000册 定价23.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）系列教材

参 编 学 校

华中科技大学

武汉大学

华北电力大学

东北电力大学

三峡大学

上海电力学院

长沙理工大学

武汉电力职业技术学院

电气与电子工程学院

电气工程学院

电气工程学院

电气工程学院

电气工程学院

电力与自动化工程学院

电气与信息工程学院

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）系列教材

编 委 会

主 任：尹项根

副主任：陈柏超 熊 蕊 刘克兴

委 员：（按姓氏笔画排序）

丁坚勇	王义军	尹项根	关根志	刘克兴	齐 俊
朱 凌	陈 坚	何发斌	李天云	李裕能	严国志
应敏华	张元芳	张步涵	张丽静	张 哲	张新国
林碧英	赵 玲	聂宏展	殷小贡	袁兆强	梁文朝
程乃蕾	韩学军	鲁方武	鲁铁成	舒乃秋	谢自美
喻剑辉	曾克娥	曾祥君	辜承林	谭 琼	熊信银
熊 蕊	魏涤非				

编者按语

根据《中国教育改革与发展纲要》中“要大力发展成人高等教育”的精神，由华中科技大学电气与电子工程学院和武汉大学电气工程学院牵头，组织华北电力大学电气工程学院、东北电力大学电气工程学院、三峡大学电气工程学院、上海电力学院电力与自动化工程学院、长沙理工大学电气与信息工程学院、武汉电力职业技术学院等单位，成立了“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）教学工作协作组，于2003年11月在武汉，就国家在新形势下对人才的需求及“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）的现状、特点和人才供需状况，对“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）的教学计划、课程体系和使用教材现状进行了充分地研讨，制订了“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专科和专升本两个层次的指导性教学计划。在此基础上研究了本专业的教材建设问题，大家一致认为函授教材要遵循自学和面授相结合、理论和实践相结合的原则，体现市场经济和科技发展对继续教育知识更新和理念更新的要求。针对目前“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）专科和专升本两个层次尚缺乏系统性教材的现状，决定组织各院校有经验的教授和专家编写这两个层次的教材。我们希望这两套系列教材能为规范本专业的教学内容和提高本专业的教学质量起到积极的推动作用。

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）的教材建设，现在只是开头，需不断改进和完善。因此，在使用过程中敬请读者随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。

“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）教学工作协作组
“电气工程及其自动化”专业继续教育（函授）系列教材编委会

2006年12月

前言

由于电力系统及电力系统继电保护技术的快速发展,新的继电保护原理和继电保护装置不断涌现。本书意在提取从电磁型到微机型等众多不同类型保护装置中最基本的原理、最基本的概念、最基本的计算、最基本的逻辑结构设计及最基本的分析方法等内容介绍给读者,并进行了某些保护装置举例、计算举例,编制了习题与思考题等以加强教材的实践性。

本书共分为九章:第一章介绍电力系统继电保护中所涉及的最基本的概念、原理等知识,它是后续章节所必须的基础;第二章介绍相间与接地短路的电流电压保护,包括反时限电流保护的一些基本概念;第三章介绍距离保护的原理、构成、延时特性、整定计算及举例,并重点分析了阻抗测量元件的动作特性、动作方程及影响其测量精度的各种因素等内容;第四章主要介绍自动重合闸的作用、基本要求、基本类型、配置原则等概念及三相一次自动重合闸、自动重合闸与继电保护间的配合等,并简要介绍单相重合闸和综合重合闸的基本概念;第五章介绍纵联保护、纵差保护的基本原理及相关概念,主要介绍的是高频保护中目前应用较为广泛的高频闭锁方向保护、高频闭锁距离保护;第六章的电力变压器的保护以介绍变压器的保护配置、纵差保护及相间、接地后备保护为主,也介绍了三绕组变压器和自耦变压器保护的某些特点;第七章同步发电机的保护一章所涉及的内容很多,以重点介绍纵差保护、定子绕组的匝间短路保护、单相接地短路保护、相间短路后备保护为主,而其他如发电机励磁绕组接地保护、失磁保护、失步保护及发电机异常运行保护等,由于篇幅有限,只能作简要说明;第八章的母线保护和第九章的电动机保护及电容器组保护也是实际工作中常会接触的,故在书中也做了最基本的介绍。教师可根据“电气工程及其自动化”专业学生的不同教学要求,选择本书中不同的章、节、点作为教学内容。书中带“*”者可不作为教学内容。

本书由华中科技大学曾克娥教授编写。由于时间仓促及编者水平有限,书中可能存在不少缺点甚至错误,敬请各位同行批评和指正。在此向所有支持和帮助完成本书的各位同仁表示衷心的感谢,也要感谢书中所引用的参考资料的各位作者。

编者

2007年2月

文字符号说明

一、设备文字符号

APR	自动重合闸装置	KY	同步检查继电器
G	发电机	LE	励磁绕组
K	继电器	LT	跳闸线圈
KA	电流继电器	M	电动机
KCO	出口继电器	QF	断路器
KCP	合闸位置继电器	TA	电流互感器
KD	差动继电器	TL	电抗变压器
KM	中间继电器	TM	中间变压器
KP	极化继电器	TV	电压互感器
KRC	重合闸继电器	SB	按钮开关
KS	信号继电器	WC	控制小母线
KT	时间继电器	WS	信号小母线
KV	电压继电器	XB	连接片
KW	功率继电器		

二、主要下角标符号

A、B、C、N	一次三相相量	d	差动
a、b、c、n	二次三相相量	e	接地、励磁
ac	精确	er	误差
as	异步	G	发电机
ap	非周期	h	高压
ast	自启动	i	输入
b	基本	is	同型
bal	平衡	k	短路
br	分支	L	负荷、电感
C	电容	l	线路、低压
ca	计算	m	测量、中压
co	配合	max	最大
con	接线	min	最小

N	额定
o	输出、反作用
off	跳闸
on	合闸
op	动作
osc	振荡
P	极化
ph	相
R	电阻
r	返回、复归、反向、剩余
rel	可靠
rem	残余

res	制动
s	系统、采样、同步
sen	灵敏
set	整定
si	模拟
st	启动
T	变压器
unb	不平衡
W	工作
0	空载
1、2、0	正、负、零序

目 录

编者按语	
前言	
文字符号说明	
第一章 绪论	1
第一节 继电保护概论.....	1
第二节 继电保护的基本原理与构成.....	4
第三节 微机继电保护的基本知识.....	10
第四节 继电保护的发展简况.....	25
习题与思考题.....	25
第二章 电流电压保护	28
第一节 相间短路的电流电压保护.....	28
第二节 相间短路的方向电流电压保护.....	45
第三节 接地短路的零序电流电压保护.....	52
* 第四节 反时限电流保护.....	60
习题与思考题.....	63
第三章 阻抗保护	66
第一节 阻抗保护的原理和构成.....	66
第二节 阻抗元件.....	70
第三节 影响阻抗元件测量精度的因素与对策.....	88
第四节 相间距离保护.....	97
习题与思考题.....	111
第四章 输电线的自动重合闸	115
第一节 概述.....	115
第二节 三相自动重合闸.....	118
第三节 单相自动重合闸.....	122
第四节 综合重合闸概述.....	124
第五节 重合闸与继电保护的配合.....	126
习题与思考题.....	127
第五章 输电线的纵联保护和线路保护	129
第一节 纵联保护.....	129
第二节 纵差保护.....	130

第三节	高频保护	134
第四节	高频闭锁方向保护	136
第五节	其他纵联保护简介	141
* 第六节	平行线路的保护	149
	习题与思考题	152
第六章	电力变压器的保护	154
第一节	概述	154
第二节	电力变压器的纵差保护	154
第三节	变压器瓦斯保护	164
第四节	变压器后备保护和过负荷保护	165
	习题与思考题	171
第七章	同步发电机保护	173
第一节	概述	173
第二节	同步发电机的纵差保护	174
第三节	同步发电机的定子绕组匝间短路保护	177
第四节	同步发电机的定子绕组单相接地短路保护	180
第五节	同步发电机的定子绕组相间短路后备保护和过负荷保护	183
第六节	同步发电机的励磁绕组接地保护	187
第七节	同步发电机的低励与失磁保护	189
第八节	同步发电机的失步保护和逆功率保护	192
	习题与思考题	194
第八章	母线保护和断路器失灵保护	196
第一节	母线保护	196
第二节	断路器失灵保护	204
* 第三节	微机母线保护装置简介	205
	习题与思考题	207
第九章	电动机保护和电容器组的保护	209
第一节	电动机保护	209
第二节	电容器组的保护	213
	习题与思考题	215
	参考文献	216

第一章

绪 论

第一节 继电保护概论

电力系统继电保护作为电力系统的一种自动化技术，它包括了对电力系统中所发生的故障及异常状态的分析计算、故障信息的提取、继电保护原理研究、继电保护装置的设计和制造、继电保护装置各种动作值的计算等诸多内容。作为继电保护装置，它应具备保证电力系统安全稳定运行的基本功能。

一、继电保护装置的作用

电力系统的安全稳定运行与国民经济、人们生活息息相关。而由于各种自然和人为的原因，电力系统不可避免地可能发生各种故障，尤其是短路故障。这些故障如不及时切除，将可能给电力系统和国民经济造成不可估量的损失。电力系统继电保护作为电力系统中重要的组成部分和重要的自动化技术措施，其功能是在电力系统发生故障和异常情况时能清除故障和及时报警，以保证电力系统的安全稳定运行。

1. 电力系统中的故障和不正常运行方式

电力系统由发电机、变压器、输配电线和用电设备等电气元件组成，这些元件的故障包括各种相间短路或接地短路、一相或两相断线、相关元件绕组的匝间短路等。而短路是电力系统中最危险的故障，它可能产生严重的后果：因短路产生的短路电流可能是正常电流的若干倍，短路电流流过电气设备产生的热效应和力效应，使设备绝缘老化、寿命缩短、部件损坏，甚至产生电弧烧毁电气设备；短路可能破坏电力系统并联运行的稳定性，最严重时可能导致电力系统瓦解，造成大面积的停电；短路还会导致电力系统中某些地区电压下降，影响用户的正常工作和产品质量等等。

电力系统的不正常运行方式，包括超过额定值运行的过负荷、过电压、过励磁、频率过高及低于额定值运行的低电压、频率过低、失磁，电力系统振荡、发电机失步等。这些都会给电力系统带来各种不良影响，如过负荷引起设备发热、绝缘老化，而系统振荡则使电流、电压周期性变化，影响系统中一、二次设备的正常运行等。这些不正常运行方式若处理不及时，还可能发展成故障，给电力系统造成更大危害。

2. 电力系统继电保护装置的作用

如前所述，电力系统继电保护作为一门技术，它包括对电力系统中的各种故障和不正常运行状态的分析，抽取和计算此时所出现的各种特征分量，根据这些特征量设计制造不同原理的继电保护装置以及这些保护装置中的相关量的计算等。其中，电力系统继电保护

装置的基本功能为：

1) 正确测量并迅速、自动地隔离电力系统中发生故障的电气元件，发出警告信号，最大限度地保证其他非故障元件继续运行；

2) 正确反应各电气元件的不正常运行状态，并根据不同情况作不同的处理；

3) 为提高电力系统的供电可靠性，根据不同情况确定对被切除元件的断路器是否实现以及如何实现自动重合闸。如在图 1-3 中，若在 BC 线路上 k2 点发生短路时，应由断路器 4QF 和 5QF 处的继电保护装置控制 4QF 和 5QF 跳闸，即切除故障线路 BC，保证 BC 线路以外的其他非故障部分继续运行。之后，应由自动重合闸装置重新将 4QF 和 5QF 合上，如果 BC 线路上的故障为瞬时性故障时，则 BC 线路又可恢复供电。

因此，电力系统继电保护装置是电力系统保证电能质量及安全稳定运行中不可缺少的反事故措施和自动装置。

二、对继电保护装置的基本要求

对于所有动作于断路器跳闸的继电保护装置来说，为了完成其特定的功能，必须在技术上满足动作的选择性、速动性、灵敏性和可靠性等基本要求。

1. 有选择性

所谓有选择性是指当电力系统发生故障时，保护装置仅切除故障元件，尽可能地缩小停电范围，从而保证其他非故障部分继续正常供电运行。例如，在图 1-1 中，所有断路器处均安装了某种保护。当在 k1 点发生短路时，由断路器 5QF 处的保护动作使 5QF 跳闸，切除故障元件 BC 线路，保证非故障元件（如发电机、A 变电所的所有元件、B 变电所除 BC 线以外的其他所有元件、D 变电所的所有元件）继续运行。又如，k2 点短路时，由 1QF 和 2QF 处的保护动作跳开 1QF 和 2QF，切除故障所在线路为有选择性。k3 点短路时，由 6QF 处的保护动作跳开 6QF 为有选择性。但是，可能出现 k3 点短路时 6QF 处保护不动作，或 6QF 断路器拒动作，这时由 5QF 处保护动作跳开 5QF 切除 BC 线路仍为有选择性。在此称 5QF 处保护的这种作用为远后备保护作用，即 5QF 处保护为 6QF 处保护的远后备保护。

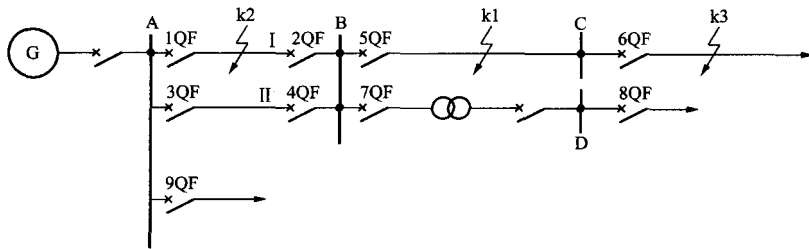


图 1-1 保护有选择性示意图

2. 动作迅速

所谓动作迅速是指电力系统发生故障时，继电保护装置根据实际情况，尽可能快地作出反应。因为继电保护装置动作迅速对用户、电气设备、电力系统的稳定等都有很大的好处。保护快速切除故障，可以减少非故障元件用户在低电压下运行的时间，利于电动机自启动和保持电气设备的不间断运行；保护快速切除故障，使电力系统中承受短路电流的电

气设备减少发热时间和故障点可能燃起的电弧的维持时间，使电气设备损坏程度尽量减少；保护动作迅速，有利于电力系统中由于故障而失去同步的发电机回到稳定运行状态。除此之外，据统计分析表明，电力系统中的故障绝大多数为单相和暂时性故障，而相间故障大多数是由单相接地故障发展而来的。保护快速切除故障，可有效防止单相故障发展成相间故障、暂时性故障发展成永久性故障。经验还表明，短路电流中的非周期分量使保护输入回路中的互感器在一定时间后出现饱和，这种饱和可能导致保护中测量元件的不正确动作，故保护在互感器出现饱和前快速动作也利于提高自身的可靠性。因此，继电保护快速动作也是继电保护装置一个重要的性能指标。

3. 灵敏度好

灵敏度是指继电保护装置对其保护对象所属范围内故障和不正常运行状态的反应能力。灵敏度的好坏（或高低、大小）一般用灵敏系数 K_{sen} 来衡量。灵敏系数的定义因保护的类别不同而不同。对于反应物理量上升而动作的保护而言，其灵敏系数 K_{sen} 为保护范围内金属性短路时故障参数的最小计算值与保护的整定值的比；对于反应物理量下降而动作的保护而言，其灵敏系数 K_{sen} 为保护的整定值与保护范围内金属性短路时故障参数的最大计算值的比。灵敏度计算时故障参数的最大和最小值的计算，一般应考虑用实际可能的对保护灵敏度最不利的保护运行方式、短路类型和短路点进行计算。要求各种保护的灵敏系数应达到的值在《继电保护和自动装置技术规程》（DL 400—1991，以下简称《技术规程》）中均有规定。灵敏度大小与保护范围之间有对应关系，灵敏度高表示保护范围大，灵敏度低表示保护范围小。

4. 可靠性高

继电保护装置的可靠性，是指对于保护范围内的故障及非正常运行状态应 100% 地动作，而对于其他非保护范围内的故障以及设备在正常运行状态时应 100% 地不动作。保护装置应该动作而未动作称保护拒动，保护装置不应该动作时却发生的动作称保护误动。

继电保护装置可靠性差会给电力系统运行带来危害。例如，继电保护拒动可能导致停电范围扩大、设备的损坏、系统稳定的破坏等；继电保护装置的误动可能引起不必要的供电中断甚至系统稳定破坏等。

除此之外，继电保护装置还应辩证地考虑其经济性。继电保护装置应该考虑经济性是不用怀疑的，但一般不能舍弃可靠性、选择性、灵敏性和合理的动作速度而过分追求经济性。过分考虑经济性可能导致保护的不正确动作，反而给电力系统和国家造成更大的经济损失。

继电保护装置的上述各项指标要求相互统一又相互矛盾，一般应尽量满足。但在不同情况下也可能有不同的要求，例如，有些情况下要求保护一定保证选择性，但有时也可能要求满足速动性而舍弃其选择性，而有些电网中的保护动作速度则要求不很高等。

以上对保护的要求也是衡量继电保护装置性能好坏的重要标准，又是在分析、研究、设计继电保护装置时的主要依据，也是贯穿在整个继电保护课程学习进程中最基本的线索。

三、继电保护的配置原则

电力系统中的每一个元件或设备（发电机、变压器、线路、母线、电动机等）都应配

置保护，而配置哪些保护和什么样的保护应遵循一定的原则。这些原则在《技术规程》中有具体规定。一般应遵循的基本原则主要有：

- 1) 每个电气设备应有反应可能出现的各种故障及不正常运行方式的对应保护；
- 2) 反应短路的保护应有主保护和后备保护，必要时可增加辅助保护；
- 3) 重要的设备要求配置双重主保护；
- 4) 各个相邻元件的保护区域之间需有重叠区，不允许有无保护的区域（死区）；
- 5) 线路一般应装设能将断路器自动合闸的自动重合闸装置。

所谓主保护，是指满足系统稳定和设备安全要求，能以最快速度有选择地切除被保护设备的保护；后备保护是指主保护或断路器拒动时用以切除故障的保护。后备保护又分近后备保护和远后备保护。其中远后备保护在前面已有介绍，而近后备保护是指，被保护设备故障但其主保护拒动时用以切除该设备故障的保护。辅助保护是指为补充主保护和后备保护性能不足，或在主、后备保护退出运行时而增设的简单保护。

四、继电保护的保护区

电力系统中的每个电气设备的每个继电保护都有自己的保护区（即保护区）。主保护的保护区通常是指被保护设备本身的全部。如图 1-2 中，线路 AB 需安装两个断路器 4QF 和 5QF 才能切除故障。线路 AB 的 4QF 处安装了主保护和后备保护，它的主保护的保护区至少从 A 至 B 为 l_1 ，远后备保护的保护区至少从 A 至 C 为 l_2 。同理，线路 AB 的 5QF 处也安装了主保护和后备保护，其主保护和远后备保护的保护区分别至少从 B 至 A 为 $l_3 = l_1$ 和至少从 B 至 D 为 l_4 。4QF 和 5QF 的近后备保护的保护区为被保护设备线路 AB 本身，即 l_1 或 l_3 。同理，可以确定其他元件的相关保护区。

除此之外，为了消除保护死区，每个设备的保护所用电流互感器的安装位置应有一定的要求，如交错使用等。所谓交错使用，是指图 1-2 中 4QF 处保护用电流互感器 TA3，而 3QF 处保护用电流互感器 TA4。这样 4QF 处主、后备保护的保护区从 TA3 右侧开始至 B 和 C，3QF 处主、后备保护的保护区则从 TA4 左侧开始至 D 和 D 母线的左邻母线，这样使 DA 线路和 AB 线路的相邻处有保护区重叠区，不可能有保护死区。

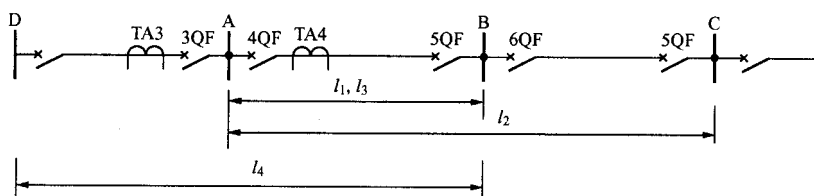


图 1-2 保护区示意图

第二节 继电保护的基本原理与构成

一、电力系统故障的特点与故障信息

电力系统发生故障和出现不正常运行状态时，很多物理量将发生变化，出现一些正常

运行状态时没有的特征分量或故障分量。继电保护装置为了正确识别电力系统中的故障和正常运行方式，必须分析并提取电力系统中的这些变化量和特征分量，然后利用这些变化量和特征分量构成各种原理的继电保护装置。

1. 电力系统故障的特点与故障信息

电力系统发生故障和出现不正常运行状态时，一些物理量发生变化并出现特征分量或故障分量，如下所述。

(1) 电流增大。正常运行时，系统中每个电气设备流过的电流在额定值或其附近，而电力系统故障时，从电源至故障点之间将流过比正常时大得多的短路电流。图 1-3 所示为一双电源网络，当 AB 线路上 k1 点发生短路时，从电源到故障点之间的元件上流过短路电流分别为 $\dot{I}_{k1 \cdot A}$ 和 $\dot{I}_{k1 \cdot B}$ 。

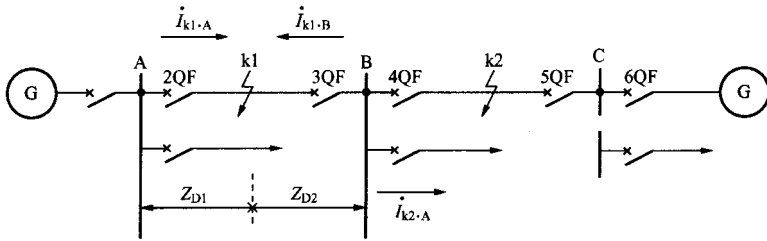


图 1-3 简单双电源网络

(2) 母线电压降低。在图 1-3 中，不管在网络的哪条线路发生短路，都会导致该网络中母线电压下降。例如，k1 点发生短路时，A、B、C 母线电压均会大大低于额定电压而为残余电压。母线 A 的残余电压 $U_{rem \cdot A} = \sqrt{3} Z_{D1} I_{k1 \cdot A}$ ，母线 B 的残余电压 $U_{rem \cdot B} = \sqrt{3} Z_{D2} I_{k1 \cdot B}$ 。式中的 Z_{D1} 为故障点 k1 到母线 A 的短路阻抗， Z_{D2} 为故障点 k1 到母线 B 的短路阻抗。由于故障点到母线的短路阻抗为很小的线路阻抗，故短路后的母线电压可能很低，有时甚至几乎为零。

(3) 母线处的测量阻抗发生变化。由于发生短路都可能会导致母线电压下降和电源至故障点之间线路电流增大，如在图 1-3 中，k1 点发生短路时 2QF 断路器处 A 母线电压下降而 AB 线路电流增大。若用测量元件测得 A 母线电压 $U_{res \cdot A}$ 和 AB 线路 A 侧电流 $I_{k1 \cdot A}$ 的

比值，即 $Z_m = \frac{\dot{U}_{rem \cdot A}}{\dot{I}_{k1 \cdot A}}$ ，它通常被称为 A 母线 2QF 处的测量阻抗，因故障后的电压低于额

定电压，而故障后的电流却大于额定电流，故故障后 2QF 处的测量阻抗自然会比正常工作时的测量阻抗低且阻抗角发生变化。

(4) 电流与电压之间的相位变化。图 1-3 中，一条线路上的故障需要线路两侧断路器跳闸才能切除。为了区分线路是在正常状态还是在正方向故障或是反方向故障，可利用保护安装处电流与电压之间的相位大小进行判别。保护所在处电流与电压之间的相位，当线路在正常状态时约为 20° 左右，在线路正方向故障时约为 $60^\circ \sim 85^\circ$ ，在线路反方向故障时则为 $180^\circ + (60^\circ \sim 85^\circ)$ 。

(5) 线路两侧电流的方向不同。从图 1-3 中还可知, 当线路内部故障时, 线路两侧电流均从母线流向线路。而线路外部故障时, 则一侧电流从母线流向线路, 另一侧电流从线路流向母线。

(6) 出现负序或零序分量。电力系统在正常运行理想情况下只存在正序分量 (如 I_1 、 U_1), 而发生不对称相间短路时则出现负序故障分量 (如 I_2 、 U_2), 发生接地短路时出现负序和零序 (如 I_0 、 U_0) 故障分量等。

(7) 出现工频电流、电压、相位突变量 ΔI 、 ΔU 、 $\Delta \varphi$, 即工频变化量, 也称为故障分量等。 ΔI 、 ΔU 可能是正序, 也可能是负序、零序或正序、负序、零序分量的任意组合。

(8) 线路故障时有高频分量并在故障点产生暂态行波。

(9) 变压器故障时, 油箱内部绝缘油受热分解, 产生大量气体 (瓦斯)。

(10) 其他。除此之外, 故障时的短路电流会使电气设备或电气设备的某个部分温度升高、发热等。

2. 电力系统故障信息 (分量) 的检测和获取

电力系统的故障信息, 如 ΔI 、 ΔU 等, 相当于是电力系统在正常情况下附加的一个附加电势所产生的分量。这些故障分量的大小与故障前的负荷大小无关。故障分量的大小, 可用故障时测量到的量减去故障前记忆的相应量得到; 也可设置一个门槛作比较, 当所测量的量越过此门槛时认为发生了故障等。因此, 故障分量的检测和获取在微机保护中很容易实现。实际上电流、电压测量元件也可以进行故障检测, 当电流测量元件或电压测量元件动作都表示发生了故障。可见, 比较法是在电力系统中广泛用于故障检测的方法。当然有时为了进行更精确的故障判定, 可能还需要进行逻辑的组合分析和复杂数字计算。

二、继电保护的基本原理

电力系统故障时, 故障特点和故障信息的存在为构成各种原理的继电保护提供了重要的理论依据, 故障的特点与故障信息的获取为实现各种原理的继电保护提供了可能。

1. 电流保护原理

利用短路后电流增大特点, 用电流测量元件抽取增大了的电流并与某给定电流进行比较, 当电流大于给定电流时, 电流测量元件会动作。以电流测量元件为基础, 可构成反应电流增大而动作的电流保护。

2. 电压保护原理

利用短路后的母线电压可能很低这个特点, 用电压测量元件使测量电压小于给定电压时, 电压测量元件动作。可以低电压测量元件为基础, 构成反应电压下降而动作的低电压保护。

当然, 也可利用电压增大的特点, 以过电压测量元件为基础, 构成反应电压突然增大 (例如, 水轮发电机突然甩负荷时出现定子电压升高) 而动作的过电压保护。

3. 低阻抗保护原理

根据短路后阻抗的特点, 可利用阻抗测量元件为基础构成低阻抗保护 (通常简称阻抗保护)。当阻抗测量元件测量到阻抗小于某个给定阻抗时, 阻抗测量元件有输出。

值得说明的是, 因为短路时测量阻抗的大小与故障点到母线的距离成正比, 故阻抗保