

输电线路 新型距离保护

New Type Distance Protection of Power Line

许正亚 编 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

输电线路新型距离保护

许正亚 编著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

由于微机在继电保护领域中的应用,使高压输电线路保护发生了根本变化,作为核心部分的新型距离保护,几乎覆盖了高压输电线路保护所有新原理和新技术。鉴于此,本书较全面地阐明了测量式、动作方程判别式数字阻抗继电器和数字式工频变化量阻抗继电器以及数字式零序电抗继电器的工作原理、方向特性、故障阻抗测量和运行特性,对实现方法也作了相应的讨论;对复合特性方向阻抗继电器、多相补偿阻抗继电器等也作了分析,并兼顾了国外超高压距离保护的先进产品;对于数字式阻抗继电器的技术指标和参数,本书也作了较为全面的分析和讨论。对距离保护中的选相和起动部分,书中对各种突变量和稳态量数字式选相元件的工作原理、性能特点以及实现方法作了分析和讨论;对数字式突变量起动元件以及浮动门槛技术等作了较为全面的论述。对于距离保护中的振动闭锁和断线失压闭锁,与传统距离保护中的相比,有了全新的分析,并就平行双回路和串联补偿电容对距离保护工作的影响及其相关措施也作了全面的分析和讨论。本书还系统地介绍了LFP—901、LFP—902(RCS—901、RCS—902)型和PSL—601、PSL—602型超高压线路成套微机保护装置。

本书主要作为从事继电保护运行、维护、调试、设计、制造等工程技术人员的专业读物,也作为电力系统运行及其管理人员的读物,还可供从事电气设计人员的参考和大专院校的教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路新型距离保护/许正亚编著. —北京:中国水利水电出版社,2002
ISBN 7-5084-1049-1

I. 输… I. 许… III. ①输电线路-继电保护-基本知识 ②输电线路-距离保护装置 IV. TM773

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第025550号

书 名	输电线路新型距离保护
作 者	许正亚 编著
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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 34.25印张 812千字
版 次	2002年6月第一版 2002年6月第一次印刷
印 数	0001—8100册
定 价	69.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

由于微机在继电保护中的应用,使高压输电线路保护发生了根本的变化,并采用了很多新原理和新技术,作为高压输电线路保护核心部分的新型距离保护,几乎覆盖了这些新原理和新技术。鉴于此,本书全面地分析和论述了高压输电线路数字式距离保护及其近年来它的发展和变化。

本书从基本工作原理入手,在介绍基础知识后,较全面地分析和阐明了测量式、动作方程式数字阻抗继电器和数字式工频变化量阻抗继电器以及数字式零序电抗继电器的工作原理、方向特性、故障阻抗测量和在系统中的运行特性,对数字式阻抗继电器的实现方法也作了相应的讨论。此外,对复合特性方向阻抗继电器、多相补偿阻抗继电器等也作了分析。在阐明数字式阻抗继电器时,不仅注意到距离保护的发展过程,而且注意到近年来国外引进的超高压线路保护的产品,因此书中对仍在使用的传统型方向阻抗继电器也作了必要的讨论和分析,同时还兼顾了国外超高压距离保护的先进产品。需要特别指出的是,对于数字式阻抗继电器的技术指标和参数,本书也作了较为全面的分析和讨论。

距离保护是一个整体,对选相、起动、振荡闭锁和断线失压闭锁,与传统型相比,作了全新的分析。本书在对各种突变量和稳态量数字式选相元件的工作原理、性能特点和实现方法进行分析 and 讨论的同时,还在分析数字式滤序器频率偏差和系统振荡时的不平衡输出以及暂态输出的基础上,对突变量起动元件的工作原理、性能特点、实现方法以及浮动门槛技术等作了较为全面的论述;对于振荡闭锁和断线失压闭锁,着重分析了工作原理、运行特性和运行特点。

为提高调试和运行水平,分析了影响距离保护正确工作的因素,其中着重分析了平行双回线路和串联补偿电容对距离保护正确工作的影响,并讨论了克服其影响的相关措施。

为加深读者对高压输电线路成套微机保护的理解,本书系统地介绍了 LFP-901、LFP-902 (RCS-901、RCS-902) 型和 PSL-601、PSL-602 型超高压线路成套微机保护装置,其中包括方向纵联保护、距离保护、方向零序电流保护、综合重合闸等,对于装置中采用的新型方向元件也作了分析和讨论。

本书在编写中,注意从基本工作原理入手,便于阅读和理解。

参加本书编写的还有许箴、吴丽娟、许军、杨晓艳、杨河清等。在编写本书过程中,参阅了国内许多兄弟单位的有关资料,在此表示深切的感谢。

由于水平有限,错误及不妥之处敬请读者批评指正。

许正亚

2002年4月南京

7-1167-67

角注符号说明

一、下角注符号

ins	插入	sat	饱和
[0]	故障前瞬间	cri	临界
b	分支	oper	动作
pol	极化	res	返回
op	工作	dep	偏置
loa	负载	fil	滤波
max	最大	ave	平均
min	最小	eq	等效
set	整定	unb	不平衡
N	额定	Line	线路
$\varphi\varphi$	相间	w	等待
φ	相	swi	振荡
sen	灵敏	dif	差
μ	励磁	com	计算(补偿)

二、上角注符号

(1) —— 单相短路(两相断线)	(3) —— 三相短路
(2) —— 两相短路	(1 • 1) —— 两相接地短路(单相断线)

目 录

前言

角注符号说明

第一章 概述	1
第一节 距离保护作用及基本工作原理	1
一、距离保护作用	1
二、距离保护基本工作原理	2
第二节 距离保护的时限特性	4
第三节 距离保护的组成	6
第四节 距离保护的分类	9
一、按保护装置的型式分类	10
二、按阻抗继电器动作特性分类	12
第二章 基础知识	15
第一节 横向短路故障分析	15
一、有关准备知识	15
二、单相接地短路故障	19
三、两相短路故障	27
四、两相接地短路故障	33
五、三相短路故障	39
第二节 非全相运行分析	41
一、单相断线	41
二、两相断线	46
第三节 铁芯元件	48
一、中间变压器	48
二、中间变流器	49
三、电抗变压器	53
四、电感线圈	58
第四节 继电式触发电路	58
一、分立元件构成的继电式触发电路	58
二、集成电路构成的继电式触发电路	59
第五节 模拟量工作电压形成回路	61
一、用铁芯元件来实现工作电压	61
二、用集成电路来实现工作电压	62
第六节 数字量工作电压的形成	64

一、多路切换型 A/D 变换	64
二、VFC 型 A/D 变换	78
三、数字量工作电压的形成	82
第七节 模拟量的幅值比较和相位比较	87
一、幅值比较	87
二、相位比较	92
第八节 数字式相位比较	99
一、连续时间系统的频率特性和冲激响应	100
二、Z 变换	102
三、离散时间系统的单位冲激响应和频率特性	104
四、数字滤波器的实现	105
五、比较电压中非周期分量的抑制	105
六、比较电压中高次谐波的消除	106
七、相位比较的算法	111
第九节 幅值比较和相位比较的比较量间的转换	115
第十节 模拟阻抗的形成	116
第十一节 开关量输入、输出回路	118
一、开关量输入回路	118
二、开关量输出回路	118
第三章 反应接地故障的阻抗继电器	120
第一节 接线方式	120
一、中性点直接接地系统中接地阻抗继电器接线	120
二、中性点非直接接地系统中接地阻抗继电器接线特点	121
第二节 极化电压的作用	124
第三节 环形整流比相方式工作的接地方向阻抗继电器	125
一、继电器构成	125
二、动作特性分析	127
第四节 过渡电阻对接地方向阻抗继电器性能的影响	132
一、单相接地时附加测量阻抗分析	132
二、过渡电阻对保护区的影响	133
三、方向性问题分析	133
第五节 零序电抗继电器	136
一、构成原理	136
二、动作特性分析	138
三、接地故障时非故障相继电器的行为	139
四、继电器的实现	140
五、方向性问题讨论	142
第六节 以正序电压为极化量的接地方向阻抗继电器	143

一、构成原理	143
二、动作特性分析	144
三、接地故障时非故障相继电器的行为	147
四、继电器的实现	148
第七节 突变量阻抗继电器（接地）	149
一、构成原理	150
二、动作特性分析	151
三、单相接地时非故障相继电器的行为	152
四、继电器的实现	153
五、继电器的特点	154
六、特殊运行方式下继电器性能	155
第八节 四边形特性接地方向阻抗继电器	157
一、构成原理	157
二、动作特性分析	163
三、继电器的实现	167
第九节 复合特性接地方向阻抗继电器	173
一、圆——直线特性复合成的接地方向阻抗继电器	173
二、圆——四边形特性复合成的接地方向阻抗继电器	174
三、半透镜——半苹果——直线特性复合成的接地方向阻抗继电器	175
四、复合式四边形（多边形）特性接地方向阻抗继电器	177
第四章 反应相间故障的阻抗继电器	182
第一节 接线方式	182
一、相间阻抗继电器接线	182
二、中性点非直接接地系统中相间阻抗继电器接线特点	185
第二节 幅值比较方式工作的相间方向阻抗继电器	186
一、继电器构成	186
二、插入电压的作用	188
三、关于插入电压	188
四、动作特性分析	189
第三节 环形整流比相方式工作的相间方向阻抗继电器	191
一、继电器构成	191
二、动作特性分析	192
第四节 以正序电压为极化量的相间方向阻抗继电器	191
一、低压方向阻抗继电器	195
二、正序电压为极化量的相间方向阻抗继电器	203
三、继电器的实现	205
第五节 以工作电压交叉极化的相间方向阻抗继电器	205
一、构成原理	205

二、动作特性分析	208
三、继电器的实现	209
第六节 负序电抗继电器和直线特性继电器	211
一、负序电抗继电器	211
二、直线特性继电器	217
第七节 工频变化量相间方向阻抗继电器	221
第八节 四边形特性相间方向阻抗继电器	222
一、故障方向的判别	222
二、测量阻抗的计算	226
第九节 复合特性相间方向阻抗继电器	228
一、圆—直线特性复合成的相间方向阻抗继电器	228
二、圆—四边形特性复合成的相间方向阻抗继电器	230
三、复合式四边形（多边形）特性相间方向阻抗继电器	231
四、圆—圆特性复合成的相间方向阻抗继电器	231
第十节 偏移特性相间阻抗继电器	232
一、圆偏移特性阻抗继电器	232
二、通过切换获得偏移阻抗特性	234
第五章 阻抗继电器的技术指标和参数	236
第一节 方向阻抗继电器的平衡和潜动	236
一、方向阻抗继电器的平衡	236
二、方向阻抗继电器的潜动	239
第二节 阻抗继电器的最小精确工作电流和最大精确工作电流	240
一、最小精确工作电流	240
二、最大精确工作电流	240
第三节 阻抗继电器的精确工作电压和最小整定阻抗	246
一、精确工作电压	246
二、最小整定阻抗	248
第四节 阻抗继电器的整定阻抗角 φ_{set} 和最大灵敏角 φ_{sen}	249
一、最大灵敏角 φ_{sen}	249
二、整定阻抗角 φ_{set}	251
第五节 阻抗继电器的动作速度	252
一、以零指示器（继电触发器）为执行元件的阻抗继电器动作速度	252
二、相位比较方式工作的阻抗继电器动作速度	255
三、测量式阻抗继电器动作速度	257
四、工频变化量阻抗继电器动作速度	258
第六节 阻抗继电器的动态（暂态）超越	261
一、以零指示器为执行元件的阻抗继电器	262
二、数字式阻抗继电器	263

第七节 阻抗继电器的反向动作阻抗	264
第八节 阻抗继电器极化电压、插入电压的相位	265
一、极化电压的相位影响	266
二、插入电压相位的影响	271
第六章 多相补偿阻抗继电器	274
第一节 问题的提出	274
第二节 反应相间短路故障的多相补偿阻抗继电器	274
一、构成原理	274
二、动作特性分析	279
三、继电器的实现	282
第三节 反应接地短路故障的多相补偿阻抗继电器	282
一、构成原理	282
二、动作特性分析	283
三、继电器的实现	287
第四节 反应所有不对称短路故障的多相补偿阻抗继电器	289
一、构成原理	289
二、 $\dot{U}_{opA}$ 、 $\dot{U}_{opB}$ 、 $\dot{U}_{opC}$ 呈逆时序动作的多相补偿阻抗继电器	291
三、分相的多相补偿阻抗继电器	295
第五节 多相补偿阻抗继电器的运行	296
一、应用于单相自动重合闸线路	296
二、应用于纵联距离的情况	297
第七章 距离保护选相	299
第一节 序电流选相	299
一、接地故障时负序电流与零序电流间的相位关系	299
二、选相规则	301
三、选相的实现	302
第二节 序电压选相	305
一、接地故障时负序电压与零序电压间的相位关系	305
二、接地故障时正序电压与零序电压间的相位关系	307
三、选相规则	309
四、选相的实现	310
第三节 相间电流突变量和相间电压突变量选相	311
一、相间电流突变量选相	311
二、相间电压突变量选相	318
第四节 补偿电压突变量选相	320
一、构成原理	321
二、选相的实现	326
第五节 其他原理选相	328

一、电压电流复合突变量选相	328
二、电压电流序分量选相	331
三、多序电流选相	332
四、余弦电压 $U\cos\varphi$ 选相	336
第八章 距离保护起动	339
第一节 起动元件的作用和对起动元件的要求	339
一、起动元件的作用	339
二、对起动元件的要求	339
第二节 数字式负序、零序电流起动及其不平衡输出	340
一、数字式负序电流起动及其不平衡输出	340
二、数字式零序电流起动	347
第三节 数字式负序电流滤波器的暂态特性	348
一、相量法负序电流滤波器的暂态输出	348
二、采样值法负序电流滤波器的暂态输出	350
三、归纳	352
第四节 反应突变量的起动元件	353
一、相电流差突变量起动及其浮动门槛	353
二、相电流突变量起动	363
三、综合电流突变量起动	363
第九章 距离保护振荡闭锁	365
第一节 系统振荡时电气量变化特点	365
第二节 系统振荡时测量阻抗的特性分析	368
一、系统振荡时测量阻抗的变化轨迹	368
二、系统振荡时阻抗继电器的行为	370
三、系统振荡时测量阻抗的变化率	371
第三节 短路故障和振荡的区分	373
一、采用电流突变量区分短路故障和振荡	373
二、利用电气量变化速度不同区分短路故障和振荡	373
三、判别测量阻抗变化率检测系统是否振荡	374
第四节 振荡过程中不对称短路故障的识别	375
一、利用负序电流、零序电流绝对值之和与正序电流绝对值间比值关系来识别	375
二、利用检测三相电流大小不等、零序电流大小来识别	380
第五节 振荡过程中对称短路故障的识别	385
一、利用检测振荡中心电压变化来识别	385
二、利用测量阻抗变化率方程来识别	386
第六节 非全相振荡过程中短路故障的识别	387
第七节 振荡闭锁装置	390
一、振荡闭锁装置之一	390

二、振荡闭锁装置之二	392
三、振荡闭锁装置之三	393
第十章 距离保护断线失压闭锁	395
第一节 断线失压时阻抗继电器的行为	395
第二节 断线失压闭锁元件	398
一、对断线失压闭锁元件的要求	398
二、断线失压闭锁元件	398
第三节 二次电压回路的有关问题	404
一、电压互感器二次接地方式不同应注意的问题	404
二、运行中应避免电压互感器的反充电事故	406
三、交流二次电压切换回路应注意的问题	406
四、关于电压互感器二次接地问题	408
五、关于电压互感器二次绕组零相线和开口三角形绕组的接地问题	409
六、二次电压回路设置快速自动开关和熔断器应注意的问题	410
七、一次系统故障引起交流失压误动问题	411
第十一章 距离保护的运行和影响正确工作的因素	412
第一节 保护安装处和故障点间分支线的影响	412
第二节 电网频率变化对距离保护的影响	413
一、数字式方向阻抗继电器受电网频率变化的影响	414
二、模拟式方向阻抗继电器受电网频率变化的影响	416
第三节 系统振荡时对距离保护工作的影响	419
一、系统振荡时 δ_M 角大小分析	419
二、方向阻抗继电器和 γ 元件工作的协调	420
第四节 平行双回线路间零序互阻抗对距离保护的影响	421
一、平行双回线路间的零序互阻抗	421
二、平行双回线路内部接地故障时的测量阻抗和保护区变化	422
三、关于非故障线路零序电流的补偿	432
四、不同运行方式下的零序阻抗和零序补偿系数	433
第五节 线路串联电容补偿对距离保护的影响	434
一、系统有串联电容补偿线路的工作特点	434
二、线路串联电容补偿对距离保护的影响	438
三、防止距离保护受串联补偿电容影响不正确动作的对策	441
第六节 短线路上距离保护的运行	450
一、过渡电阻的影响	450
二、灵敏度问题	452
第七节 距离保护后加速和相继速动	452
一、距离保护后加速	452
二、距离保护的相继速动	454

第八节 Y, d11 变压器后短路故障阻抗继电器的行为	455
第九节 带有 GPS 的距离保护	457
第十二章 保护装置实例	461
第一节 LFP—901 (902) 型线路保护装置	461
一、LFP—901A 方向纵联保护部分	462
二、LFP—901A 距离保护部分	484
三、LFP—901A 重合闸部分	489
四、LFP—901A 出口回路	493
五、LFP—902A 保护装置	494
六、LFP—901 (902) 保护装置工作特点	494
七、LFP—941A (B、D、J、S, LFP—941A 改型为 RCS—941A) 成套保护简介	497
第二节 PSL—601 (602) 型线路保护装置	498
一、起动元件和整组复归判别	499
二、方向元件及其配置	501
三、选相元件 (S_A 、 S_B 、 S_C 、 S_{ABC})	511
四、PSL—601 方向纵联保护部分	513
五、PSL—601 距离保护和零序方向过流保护部分	519
六、PSL—601 重合闸部分	527
七、PSL—601 出口跳闸回路	530
八、PSL—602 保护装置	531
九、PSL—601 (602) 保护装置工作特点	531
十、PSL—620C 系列成套保护简介	532
主要参考文献	534

第一章 概述

第一节 距离保护作用及基本工作原理

一、距离保护作用

电流电压保护或方向电流保护，应用在结构简单的电网中时，一般能满足选择性、灵敏性和快速性的要求。但在大容量、高电压或结构复杂的电网中就难以满足要求。

就电流保护的保护区来说，不仅随电网运行方式的变化而变化，而且还与短路故障类型有关。当电网处于大运行方式时，电流速断保护区就较长；当处于小运行方式时，保护区就较短。若电网运行方式变化较大，则在最小运行方式时电流速断保护就可能没有保护区。此外，就某一运行方式而言，显然三相短路故障时的保护区要大于两相短路故障时的保护区。可见，电流速断保护区是不稳定的，因此难以满足电力系统稳定对快速切除故障的要求。

对于微机型自适应电流保护，其电流速断的整定值为

$$I_{\text{set},1} = \frac{1.25K_K E_S}{Z_{S1} + Z_{L1}}$$

式中 K_K ——短路类型系数，三相短路故障时取 1，两相短路故障时取 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ ；

E_S ——保护安装电压级的相电势，可认为是不变值；

Z_{L1} ——被保护线路的正序阻抗；

Z_{S1} ——保护安装处系统的等值正序阻抗，随系统运行方式而变。

自适应电流速断保护，根据保护安装处正序电压、电流的故障分量，可计算出 Z_{S1} ；同时通过选相可确定故障类型，取相应的 K_K 值。这样，自适应电流速断保护的整定值随系统运行方式、短路故障类型而变化，从而使保护区达到最佳效果，克服了原有电流速断保护的缺陷。但是，这仅在单侧电源的馈线上适用，而在高电压、结构复杂的电网中，自适应电流速断保护的优点不能发挥。

就电流保护的灵敏度来说，因在长距离重负荷线路末端附近发生短路故障时，短路电流可能和负荷电流差别不大，所以灵敏度不能满足要求。对于微机型自适应过电流保护，动作电流可根据实际负荷电流（或短路电流）由装置自动设定，虽负荷电流通常均小于最大负荷电流，故可提高灵敏度，但在高电压、结构复杂的电网中效果并不显著。

另外，过电流保护动作时限较长。虽然微机对于电流保护反时限特性实现并不困难，但在高电压、结构复杂的电网中，反时限特性的配合很困难，有时达不到缩短时限的目的。

因此，在结构复杂的高压电网中，应采用性能较为完善的保护装置，距离保护就是其中的一种。

二、距离保护基本工作原理

在距离保护中,阻抗继电器(或称阻抗元件)是一个核心元件,它能测量保护安装点到线路故障点间的阻抗,而方向阻抗继电器不仅能测量阻抗而且还能测量出故障点的方向。因输电线阻抗大小即反映线路的长度,故继电器测量到的阻抗也反映了故障点离保护安装点的距离。

在图 1-1 (a) 中,设阻抗继电器安装在线路 MN 的 M 侧;继电器安装处母线上的测量电压为 $\dot{U}_m$,由母线流向被保护线路的测量电流为 $\dot{I}_m$,当电压互感器、电流互感器的变比为 1 时,显然 $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$ 即为接入继电器的电压、电流。

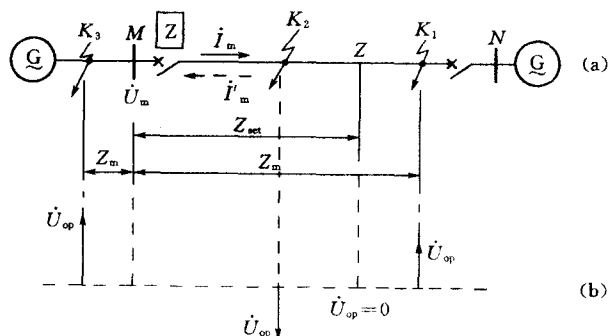


图 1-1 距离保护基本工作原理说明

(a) 一次系统图; (b) 工作电压相位变化

当被保护线路上发生短路故障时,阻抗继电器的测量阻抗(继电器端子上阻抗) Z_m 为

$$Z_m = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} \quad (1-1)$$

为使 Z_m 等于故障点到母线 M 侧的线路阻抗(正序阻抗),显然对于三相短路或相间短路, $\dot{U}_m = \dot{U}_{\varphi\varphi}$ ($\varphi\varphi = AB, BC$ 或 CA),即相间电压; $\dot{I}_m = \dot{I}_{\varphi\varphi}$,即为同名相的两相电流之差。对于接

地短路故障, $\dot{U}_m = \dot{U}_\varphi$ ($\varphi = A, B$ 或 C),即相电压; $\dot{I}_m = \dot{I}_\varphi + K3\dot{I}_0$,即为带有零序电流补偿的同名相电流,其中零序电流补偿系数 $K = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$,而 Z_0 、 Z_1 是被保护线路单位长度的零序阻抗、正序阻抗。

设阻抗继电器的工作电压 $\dot{U}_{op}$ (也称补偿电压) 为

$$\dot{U}_{op} = \dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{set} \quad (1-2)$$

式中 Z_{set} ——阻抗继电器的整定阻抗,整定阻抗角等于被保护线路阻抗角。

由图 1-1 (a) 明显可见, $\dot{U}_{op}$ 即为 Z 点电压。当 Z 点发生短路故障时,有 $\frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m} = Z_{set}$,故 Z_{set} 即为 MZ 线路段的正序阻抗。这样, $\dot{U}_{op}$ 是整定阻抗末端的电压,当整定阻抗确定后, $\dot{U}_{op}$

就可在保护安装处测量到。显然,反应接地短路故障的阻抗继电器,工作电压为

$$\dot{U}_{\text{op},\varphi} = \dot{U}_{\varphi} - (\dot{I}_{\varphi} + K3\dot{I}_0)Z_{\text{set}} \quad (1-3)$$

反应相间短路故障的阻抗继电器,工作电压为

$$\dot{U}_{\text{op},\varphi\varphi} = \dot{U}_{\varphi\varphi} - \dot{I}_{\varphi\varphi}Z_{\text{set}} \quad (1-4)$$

保护区末端Z点短路故障时,有 $Z_m = Z_{\text{set}}$, $\dot{U}_{\text{op}} = \dot{I}_m Z_m - \dot{I}_m Z_{\text{set}} = 0$;正向保护区外 K_1 点短路故障时,有 $Z_m > Z_{\text{set}}$,注意到 Z_m 与 Z_{set} 有相同的阻抗角, $\dot{U}_{\text{op}} = \dot{I}_m (Z_m - Z_{\text{set}}) > 0$ 。在这里 $\dot{U}_{\text{op}} > 0$ 的含义是 $\dot{U}_{\text{op}}$ 与 $\dot{I}_m Z_m$ ($\dot{U}_m$)同相位;正向保护区内 K_2 点短路故障时,有 $Z_m < Z_{\text{set}}$, $\dot{U}_{\text{op}} = \dot{I}_m (Z_m - Z_{\text{set}}) < 0$;反向 K_3 点短路故障时,由于此时流经保护的电流 $\dot{I}'_m$ 与规定

正方向相反,有 $\dot{U}_m = \dot{I}'_m Z_m$ 、 $\dot{I}_m Z_{\text{set}} = -\dot{I}'_m Z_{\text{set}}$,故式(1-2)表示的工作电压为

$$\dot{U}_{\text{op}} = \dot{U}_m - \dot{I}_m Z_{\text{set}} = \dot{I}'_m (Z_m + Z_{\text{set}}) > 0$$

这里 $\dot{U}_{\text{op}} > 0$ 的含义是 $\dot{U}_{\text{op}}$ 与 $\dot{I}'_m Z_m$ ($\dot{U}_m$)同相位,注意到正、反向短路故障时母线电压相位不变化,所以反向短路故障与正向保护区外短路故障,工作电压具有相同的相位。不同地点短路故障时 $\dot{U}_{\text{op}}$ 的相位变化如图1-1(b)所示。可见,只要检测工作电压的相位变化,不仅能测量出阻抗大小,而且还能检测出短路故障的方向。显然,以 $\dot{U}_{\text{op}} \leq 0$ 作阻抗继电器的动作判据,构成的是方向阻抗继电器。同时也可看出,阻抗继电器是其端子上测量阻抗下降到一定值(Z_{set})而动作的一种继电器, Z_{set} 一经整定,保护区也随之确定,如图1-1(a)中的MZ线路长度,当然保护区原则上不受系统运行方式变化的影响。

为了要实现 $\dot{U}_{\text{op}} \leq 0$ 为动作判据的阻抗继电器,通常可用两种方法来实现。第一种方法是设置极化电压 $\dot{U}_{\text{pol}}$,一般与 $\dot{U}_m$ 同相位,当以 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 作参考相量时,作出区内、外短路故障时 $\dot{U}_{\text{op}}$ 与 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 的相位关系如图1-2所示。由图1-2可见,当 $\dot{U}_{\text{op}}$ 与 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 反相位时,判定为区内故障; $\dot{U}_{\text{op}}$ 与 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 同相位时,判定为区外故障(包括反方向故障)。在这里 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 只起相位参考作用,并不参与阻抗测量,可称为阻抗继电器的极化电压。显然, $\dot{U}_{\text{pol}}$ 是继电器正确工作所必须的,任何时候其值不能为零。因继电器比较的是 $\dot{U}_{\text{op}}$ 与 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 的相位,与 $\dot{U}_{\text{op}}$ 、 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 的大小无关,故以这种原理工作的阻抗继电器可称按相位比较方式工作的阻抗继电器。由图1-2可写出相位比较方式工作的阻抗继电器的动作判据为

$$90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_{\text{op}}}{\dot{U}_{\text{pol}}} \leq 270^\circ \quad (1-5)$$

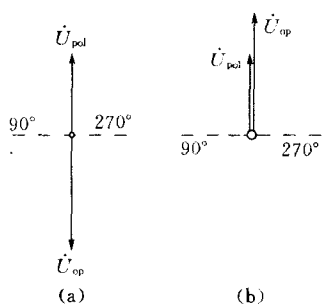
或

$$-90^\circ \leq \arg \frac{\dot{U}_{\text{op}}}{-\dot{U}_{\text{pol}}} \leq 90^\circ \quad (1-6)$$

第二种方法是引入插入电压 $\dot{U}_{\text{ins}}$,一般与 $\dot{U}_m$ 同相位,若令

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{\text{ins}} - \dot{U}_{\text{op}} \quad (1-7a)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_{\text{ins}} + \dot{U}_{\text{op}} \quad (1-7b)$$

图 1-2 区内、外短路故障时 $\dot{U}_{\text{op}}$ 与 $\dot{U}_{\text{pol}}$ 相位关系

(a) 区内短路故障; (b) 区外短路故障

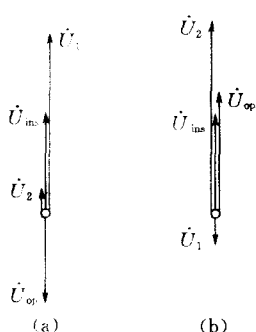


图 1-3 区内、外短路故障时

 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 相量

(a) 区内短路故障; (b) 区外短路故障

则作出区内、外短路故障时 $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 相量关系如图 1-3 所示。由图可见,继电器的动作判据可写为

$$|\dot{U}_1| \geq |\dot{U}_2| \quad (1-8)$$

即

$$|\dot{U}_{\text{ins}} - \dot{U}_{\text{op}}| \geq |\dot{U}_{\text{ins}} + \dot{U}_{\text{op}}| \quad (1-9)$$

虽然 $\dot{U}_{\text{ins}}$ 的插入不影响继电器的阻抗测量,但它是继电器正确工作所必须的,任何时候其值不能为零, $\dot{U}_{\text{ins}}$ 可称为插入电压。由于继电器比较的是 $\dot{U}_1$ (称动作电压) 与 $\dot{U}_2$ (称制动电压) 的幅值大小,与 $\dot{U}_1$ 和 $\dot{U}_2$ 的相位无关,故以这种原理工作的阻抗继电器可称按幅值比较方式工作的阻抗继电器。

在两类工作方式的阻抗继电器中,目前以相位比较方式工作的阻抗继电器居多,微机型距离保护更是如此。

需要指出,阻抗继电器的动作与否不仅和短路故障点的位置有关,而且还受故障点到保护安装点间分支线、电源电势间的相位差、电网频率的变化、线路串联电容补偿以及故障点过渡电阻等因素的影响。

此外,还可测量出故障方向和故障点到保护安装处的线路阻抗大小,当落入设定的动作特性内时,继电器即动作,同样可构成方向阻抗继电器。

第二节 距离保护的时限特性

距离保护的動作时间 t_T 与保护安装点到短路故障点间距离的关系,即 $t_T = f(Z_m)$ 的关系称为时限特性。与三段式电流保护类似,具有阶梯型时限特性的距离保护获得了最为广泛的应用。

距离保护的Ⅰ段是瞬时动作的,以保护固有的動作时间 t_{d-1} 跳闸(如线路上有管形避雷器应躲过其放电时间)。考虑到测量互感器及继电器的误差,整定阻抗取线路阻抗(正序阻抗)的 80%~85%,在图 1-4 (a) 中,对保护 1 来说,第Ⅰ段整定阻抗为