

文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R_2021072315351220210723154741311183100842

检测时间:2021-07-23 15:47:41

检测文献: 024

作者: Supervisor;Prof;Enterprise

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比对库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

检测结果

去除本人文献复制比: 9.4%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 9.4%

总文字复制比: 9.4%

单篇最大文字复制比: 1.7% (07_603430112018_刘芳)

重复字数: [2855]

总段落数: [3]

总字数: [30256]

疑似段落数: [3]

单篇最大重复字数: [503]

前部重合字数: [65]

疑似段落最大重合字数: [2093]

后部重合字数: [2790]

疑似段落最小重合字数: [65]



指标: ☒ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表格: 0

公式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

0.7% (65)

0.7% (65)

024_第1部分 (总9986字)

22.4% (2093)

22.4% (2093)

024_第2部分 (总9357字)

6.4% (697)

6.4% (697)

024_第3部分 (总10913字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

疑似剽窃观点 (1)

024_第3部分

1. 仿真结果表明,改进后的四边形阻抗继电器在母线电压有所偏移时不会误动作。

1. 024_第1部分

总字数: 9986

相似文献列表

去除本人文献复制比: 0.7% (65)

文字复制比: 0.7% (65)

疑似剽窃观点: (0)

1 一起400kV线路故障继电保护动作案例分析

0.7% (65)

李刚; - 《中小企业管理与科技(中旬刊)》 - 2018-05-15

是否引证: 否

专业硕士学位论文

对距离保护中多边形阻抗继电器的改进

Improvement on Polygonal Impedance Relay of
Distance Protection

2021 年 6 月

国内图书分类号：×××× 学校代码：10054

国际图书分类号：×××× 密级：公开

专业硕士学位论文对距离保护中多边形阻抗继电器的改进

硕士研究生：□□□

导师：□□□副教授企业导师：□□□

申请学位：工程硕士

专业领域：电气工程培养方式：非全日制

所在学院：电气与工程学院

答辩日期：2021 年 6 月

授予学位单位：华北电力大学

Classified Index: ××××

U.D.C: ××××

Dissertation for the Professional Master's Degree

Improvement on Polygonal Impedance Relay of
Distance Protection

Candidate:

Supervisor: Prof. □□□

Enterprise mentor:

Academic Degree Applied for: Master of
Speciality:

Cultivation ways: Non-Full-time

School: School of

Date of Defence: June, 2021

Degree-Conferring-Institution: North China Electric Power University

华北电力大学硕士学位论文原创性声明

本人郑重声明：此处所提交的硕士学位论文《》，是本人在

导师指导下，在华北电力大学攻读硕士学位期间独立进行研究工作所取得的成果。据本人所知，论文中除已注明部分外不包含他人已发表或撰写过的研究成果。

对本文的研究工作做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式注明。本声明的法律结果将完全由本人承担。

作者签名： 日期： 年月日

华北电力大学硕士学位论文使用授权书

《》系本人在华北电力大学攻读硕士学位期间在导师指导下完成的硕士学位论文。本论文的研究成果归华北电力大学所有，本论文的研究内容不得以其它单位的名义发表。本人完全了解华北电力大学关于保存、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关部门送交论文的复印件和电子版本，允许论文被查阅和借阅，学校可以为存在馆际合作关系的兄弟高校用户提供文献传递

服务和交换服务。本人授权华北电力大学，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文，可以公布论文的全部或部分内容。

本学位论文属于（请在以上相应方框内打“√”）：

保密□，在年解密后适用本授权书

不保密□

作者签名： 日期： 年月日 导师签名： 日期： 年月日

摘要

距离保护在超高压线路保护中被广泛使用，而距离保护中四边形阻抗继电器由于具有良好的抗过渡电阻能力，逐渐替换掉了原来使用的偏移圆特性的阻抗继电器。然而随着国民经济的发展，电网结构的复杂化给距离保护带来了新的问题。

过去单端电源供电时距离保护的测量阻抗即使在过渡电阻很大时也能可靠动作，

但在双端电源系统中，由于对侧电源的影响，短路附加阻抗所呈现的变化轨迹较为复杂，在区内或者区外故障时保护测量到的阻抗与线路的正序阻抗相差较明显，保护容易发生超越和拒动，保护区因此不稳定。本文对短路点附加阻抗变化的轨迹进行深入的研究发现虽然其变化复杂但却有迹可循，保护不但可以利用阻抗轨迹适应复杂的运行方式，也可以防止在保护区外或者区内故障时的误动作，

由此传统的四边形阻抗继电器动作特性得以改善。文章还通过拟定方案，仿真验算得出这种适应性的边界改进方案对于区外的故障有优秀的防止超越的能力，同时对于区内的短路有很强的耐受过渡电阻能力。

关键词：阻抗继电器；四边形；过渡电阻；阻抗轨迹

Abstract

Distance protection is widely used in EHV line protection, in which quadrilateral impedance relay is gradually replaced by offset circle impedance relay due to its good ability of resisting transition resistance. However, with the development of national economy, the complexity of power grid structure brings new problems to distance protection. The single-ended power measuring impedance of distance protection when even a high transition resistance can reliable action, but in a double side power supply system, because of the influence of the contralateral power short circuit presented additional impedance trajectory is relatively complex, the zone or zones of protecting the measured impedance and circuit when the positive sequence impedance difference is obvious, protect prone to transcend and refused to move, Protected areas are therefore unstable. Short-circuit point in this paper, the additional impedance change the trajectory of in-depth study has found that although the complex change but there are telltale signs, protection can not only use the impedance path to adapt to the complex operation mode, can also prevent the protection zones or the failure of misoperation, thus improving the quadrilateral impedance relay action features of traditional. The paper also draws the conclusion that the adaptive boundary improvement scheme has excellent ability to prevent overrunning for faults outside the zone, and has strong ability to withstand transition resistance for short circuit in the zone.

Keywords: distance protection , Quadrilateral , transition resistance , Impedance trajectory

目录
摘要

.....?

Abstract.....?

?

第 1 章绪论.....1

1.1 背景及研究的目的和意义.....1

1.2 四边形阻抗继电器的现状.....2

第 2 章过渡电阻对测量阻抗影响的分析.....4

2.1 概述.....4

2.2 正方向短路时附加阻抗对阻抗继电器工作的影响.....4

2.2.1 保护安装在送电端和受电端时附加阻抗对阻抗继电器的影响.....6

2.2.2 短线路过渡电阻对阻抗继电器的影响.....9

2.2.3 故障相电流不同相位时对阻抗继电器的影响.....9

2.3 反方向短路时附加阻抗对阻抗继电器工作的影响.....11

2.4 本章小结.....11

.....11

第 3 章四边形阻抗继电器的分析.....14

3.1 常规四边形阻抗继电器的动作特性.....14

3.1.1 X 元件.....14

.....14

3.1.2 D 元件.....15

.....15

3.1.3 R 元件.....15

.....15

3.2 电抗线的分析.....15

3.3 目前四边形阻抗继电器的应用现状.....16

3.3.1 南瑞继保 NSR303G 超高压线路保护.....17

3.3.2 南瑞继保 RCS931 超高压线路保护.....18

3.3.3 国电南自 PSL601U (603U) 智能站保护.....19

3.3.4 目前四边形阻抗继电器应用的小结.....21

3.4 本章小结.....21

.....21

第 4 章边界改进的可行性研究.....23

4.1 阻抗平面继电器的动作行为分析.....23

4.2 正向故障测量阻抗变化轨迹.....24

4.3 阻抗平面继电器的动作行为分析.....26

4.4?和?的实时估算方法.....28

4.5 本章小结

第 5 章方案实施与仿真算例	29
5.1 采用阻抗轨迹边界的四边形继电器实施方案	30
5.2 仿真算例	31
第 6 章结论与改进	36
6.1 结论	36
6.2 改进	37
参考文献	38
致谢	41
作者简介	42
第 1 章绪论	
1.1 背景及研究的目的和意义	
1.2 距离保护在继电保护各种类型的保护发展中历史久远，其理论经典，原理对于故障时变化的电气量采集合理。无论是之前的电磁式保护还是现在广泛应用的微机保护，距离保护都占有非常重要的地位，尤其在110k V 及以上输电线路继电保护中获得广泛的应用。	
距离继电器（或者称阻抗继电器、欧姆继电器）是超高压线路距离保护中的核心元件，其最基本应该满足对短路阻抗的准确测量以及对故障的可靠出口。保护的可靠出口行为表现为在正方向保护区外故障时距离保护不会发生超越现象。	
超越可以理解断路器的越级跳闸，即本该由本线路跳闸的断路器没有动作，故障持续到上一级线路的保护动作跳闸来切出故障。超越分为暂态和稳态超越两种形式，在短路故障暂态时发生的超越是由短路电流的非稳态分量引起的，继电器只会动作在几十毫秒内，一旦暂态分量衰减，继电器就会返回；而短路进入稳态后再发生的超越是由接地而产生的过渡电阻附加分量引起的。对于输电线路的短路故障一般考虑稳态超越而忽略暂态超越[1]–[3]。	
如果接地电阻为纯阻性，在单端供电的方式下，一般不会发生超越。但如果接地的过渡电阻为阻容性的，那么即使是单端供电方式下，也会发生超越现象[4]。	
目前高压及超高压线路普遍处于双侧电源系统中，同一条线路由两个不同的电源点进行供电，这种运行方式对于系统的稳定性来说有莫大的好处，但是对于考计算电压、电流来判断短路故障的距离保护来说却不太友好。由于此时短路电流由两侧电源供给，在过渡电阻上的电流与任一侧的电流均不同相，这导致在测量阻抗继电器中产生一个附加分量，这个附加分量一般为阻抗性质的。保护安装在送电端，此时在区外有经过渡电阻的故障发生时，由于对侧电源的影响使这个附加分量变为阻容性质的阻抗，结果致使保护区伸长；而保护安装在受电端，在母线背后经小电阻短路时，由于保护安装处的电流还是来自送电端的，附加分量上的电流仍然会受到影响。两种情况下继电器的测量阻抗都会落入阻抗特性区内使继电器误动作。	
由于故障时过渡电阻的存在，将直接影响距离保护的准确性，造成保护误动、拒动或灵敏度降低等问题，于是出现了针对故障时减小过渡电阻对测量阻抗造成影响的四边形特性阻抗继电器。但在实际运行中人们发现这种特性的阻抗继电器也存在诸多问题，比如在保护区外（保护安装在送电端）短路经过渡电阻时，附加分量中非电阻的成分比运行线路的真实电抗小的多，且当输电距离越长，用户负载越大时，这种情况就会变得更加恶劣[5]–[10]。所以仅仅考虑这个因素，多边形阻抗继电器要比方向圆继电器发生超越的几率更大，这是多边形阻抗继电器相比于方向圆阻抗继电器的劣势。	
因此讨论并优化四边形阻抗继电器的边界方程成为改进多边形阻抗继电器抗过渡电阻能力的方法，本文旨在研究对于四边形阻抗继电器来说，哪种边界方程更适合减少或者消除不同的过渡电阻对于阻抗继电器测量准确度的影响，该方程对于提高继电器误动作的能力有多大。	
1.2 四边形阻抗继电器的现状在现有的文献和资料中，对多边形特性的阻抗继电器的研究主要集中在如何改进继电器特性以提高抗过渡电阻和躲避负荷电抗的能力，以此来提高阻抗继电器动作时的可靠程度。改进的方法主要集中在以下几点：1、对测量阻抗的准确测量，由于在某些特殊情况下比如线路经高阻接地而使测量阻抗非常接近或远离阻抗继电器的动作区，这些情况下对继电器的灵敏度有很高的要求，如果继电器灵敏度不够的话，很容易出现超越和拒动现象，因此一部分文献以提高测量阻抗的准确性来保证阻抗继电器的灵敏性[11]–[15]。2、改进算法提高继电器的自适应能力，当四边形边界的动作判据可以根据故障时的具体情况来作出针对性的调整，那么相对的其在保护中动作的可靠性也变相地得以提升，能使距离保护在正确方向下的动作具有明确性[16]–[24]。3、对于启动量的重新定义，阻抗继电器的启动元件靠识别正常与故障时模拟量的区别来启动，如果这种识别能力已经足以分辨区内故障和系统的非正常运行，那么保护的可靠性将得到极大的提高[25]–[32]。对于复合特性的阻抗继电器，其灵敏性实际上已经能满足大多数类型的输电线路需求，因此对该类型的阻抗继电器的研究比较少，但并不是说这种复合特性就没有缺陷，只是在实际运行的线路上还没有发现因复合特性的阻抗继电器灵敏性不够而导致的保护不正确动作。对于即将开始的关于多边形阻抗继电器改进的论文写作，所有查阅的文献资料都在说明不存在绝对安全的一条线路，继电保护应该在其该起作用的时候正确作用，帮助电力系统恢复稳定，因此所有对于现有保护的改进完善都是极为重要的。	
在目前应用的微机型线路保护中，四边形特性距离保护相当广泛。国内的保护厂家，无论是南瑞继保、国电南自、北京四方、深瑞还是许继，在各自的超高压线路保护装置中都有四边形阻抗特性的继电器使用。现场在整定四边形距离保护的参数非常方便，只包含了电抗和负荷电阻两个定值，它们分别对应着耐受过 3	

渡电阻和躲最大负荷阻抗的能力。而对于四边形阻抗继电器的其他参数，像是方向线的夹角、电抗线的下倾角、电阻线的倾角都是厂家已经给定，不需要用户自己再去整定，对于现场整定来说已经是非常方便。

但是这种方便带来一些小问题，即对于一些特性运行方式，或者参数比较特别的线路来说，一个笼统的保护配置并不能满足这些线路的要求，在某种故障方式下，保护可能会误动作，即使发生概率很小，继电保护也应该做到对所有故障类型对要考虑周全。

在现有的文献中，有学者摒弃了传统故障点电流相位测量接地阻抗的方法，

改用保护安装处负序电流的相位来测量过渡电阻，这种方法对于过渡电阻较大时难以准确测量出保护安装处到故障点距离的情况进行了优化，实现了即使有较大过渡电阻也能准确的得到测量电抗的目的。有人将阻抗继电器耐受过渡电阻能力进行了优化，彭洋在《四边形特性阻抗继电器测试分析》一文中就通过改变阻抗继电器的动作边界来实现测量阻抗电压和角度的变化，以此准确地计算出输电线路发生故障的真实位置，弥补了阻抗继电器对于运行方式下测量阻抗精度不够的

缺陷。吕冉等人在《一种具备全线高阻故障响应及强抗饱和能力的和阻抗继电器》

一文中针对高阻接地，提出了距离保护如何提升识别高阻接地的能力，并针对CT 饱和提出了阻抗比率的判据，弥补了阻抗继电器在某些特殊故障时的不足。 4

第 2 章过渡电阻对阻抗继电器影响的分析

2.1 概述在金属性短路的前提下，只要母线和短路点之间没有分支电流（助增电流或外汲电流）而且阻抗继电器接线方式中的电流不为零，那么接在故障相上的或故障相间上的测量阻抗 mZ 都等于从短路点到保护安装处的正序阻抗。但是，输电线路上的短路往往都是经过接地电阻的，接地电阻使故障点的故障相或故障相间上有电压降落。因此阻抗继电器测量出来的阻抗大小就实际线路正序阻抗不同，

测量阻抗 mZ 在幅值和相位上都不准确，从而对阻抗继电器的动作行为产生了影响。

相间短路时，过渡电阻就是电弧电阻，其数值不是很大。接地短路时接地的电阻除弧光电阻外还有塔杆和大地等效的电阻，因此接地短路时过渡电阻就大很多。接下来，以正方向短路和反方向短路两种情况分别分析过渡电阻对阻抗继电器动作行为产生的影响[33]。

2.2 正方向短路时附加阻抗对阻抗继电器工作的影响图 2-1 正向短路系统图图 2-1 为正方向经过渡电阻 gR 短路的系统图。从母线保护安装处到故障点的正序阻抗为 LZ 。加在阻抗继电器上的电压 mU 、电流 mI 直接理解成阻抗继电器接线方式中规定的电压、电流，因此下述分析既适用于接地阻抗继电器也适用于相间阻抗继电器。电压 mU 规定的正方向为母线电位为正，中性点电位为负。电

流 mI 的正方向为母线指向被保护线路，如图中

m
 I 箭头指向的方向所示。流过过渡电阻的电流 $F I$ 的正方向与电流 m
 I 的正方向一致，即从上到下是它的正方向，如图中箭头指向的方向。 5

故障相或故障相间的阻抗继电器的测量阻抗是：

$g a L$

m
 F
 L
 m
 $L g F m$
 m
 m
 m
 $Z Z R$
 I
 $I Z$
 I
 $R I Z I$
 I
 $U Z$ (2-1)

式中， aZ 为由过渡电阻产生的附加阻抗。其中

g
 j
 m
 F
 g
 m
 F
 a
 $R e$
 I

IR
I
IZ (2-2)
m
F
I
I
arg (2-3)
CI
I
m
F 1 (2-4)

式中，C

为保护安装处电流分配系数。

由式(2-1)易知，装在 M 侧的阻抗继电器的测量阻抗是从保护安装处 M 往短路方向看过去一直看到过渡电阻 gR 下方 K 点的阻抗。所以，从 M 点到 K 点的阻抗是 M 侧阻抗继电器的测量阻抗 mZ 。其中过渡电阻 gR 这一部分由阻抗继电器看过去是过渡电阻的附加阻抗 aZ 。电压降落在过渡电阻上产生了这一部分附加分量。

因为

$m F$
III，在一般的供电角下 m
F
II，故 g

a
 RZ 。也就是说在保护安装处看，附加分量自身就比过渡电阻大很多。这是由于对侧电源的助增作用造成的。在单侧电源供电的系统中（ONE）因为

$m F$
II，所以 g
 a

RZ 。过渡电阻附加阻抗就是过渡电阻本身。

由于 $F I$ 与 $m I$ 相位不一定相同，所以 aZ 与 gR 也不一定同相位。设

F
 I 超前 $m I$ 的角度为 θ 。当 $\theta = 0$ 时，过渡电阻的附加分量 aZ 呈现为阻感性。当 $\theta = 90^\circ$ 时，过渡电阻的附加分量 aZ 呈现为阻容性。当 $\theta = 180^\circ$ 时，过渡电阻的附加分量

a
 Z 呈现为纯
阻性。产生相位差的原因是短路点两端的电流 $m I$ 和

n
 I 可能有不同的相位。而造成 $m I$ 和

n
 I 有不同相位的原因有两个：一是短路点两侧的电动势相位不同。两侧的电动势相位差越大（也就是短路前负荷电流越大）， θ 角越大。这是产生 θ 角的主要原因。二是短路点两侧阻抗的阻抗角不同。一般发电机和变压器的阻抗角较大，输电线路的阻抗角略小些。但在超高压输电线路中，阻抗角大都在 80° 以上，此时它们的差别已不是很大，所以该原因并不是主要原因 [34]~[43]。6

图 2-2 正向短路 aZ 对阻抗继电器工作的影响

当保护正向发生接地电阻短路故障时，继电器的测量阻抗为 m

$a L$
 ZZZ 。
当 aZ 是阻感性

a
 Z 、纯阻性 aZ 和阻容性

a
 Z 时继电器测量出来的等效阻抗分别对
应 mZ 、

m
 Z 和 mZ 。相量图如图 2-2 (a) 所示。可以直观的看出测量出来阻抗，

它们较实际线路的正序阻抗无论从幅值还是相位上来说都不同。如果保护采用的是方向圆阻抗继电器，其动作特性是图 2-2 (b) 所示的圆。我们不难得到，当附加阻抗为阻感性或纯阻性时，在保护区内发生短路故障方向圆阻抗继电器会拒动。当附加阻抗为阻容性时，从图 2-2 (c) 可见，在保护区外发生短路时方向圆阻抗继电器会越级动作。图 2-2 (c) 中还示出了正向出口短路时保护存在死区拒动的情况。

2.2.1 保护安装在送电端和受电端时附加阻抗对阻抗继电器的影响图 2-3 双端电源系统经过渡电阻短路

图 2-3 示出双端供电系统经过渡电阻短路示意图。从该图中不难解出 mI 、

n
 I ,
 从而算出 M 侧测量阻抗中的附加分量为 7

NM_g NM
 NM_g NM

g
 m
 nm
 a
 $REEEZ$
 $REZEZ$

R
 I
 IIZ) () ((2-5)

将式 (2-5) 整理后可写为

N
 g
 M
 NMN
 $NMMN$

a
 Z
 R
 E
 $EEEE$
 $EZEZZ$ 1 $1-1$ (2-6)

令 R
 max
 Z 表示当 gR 时 aZ 的值, 则

NM
 $NMMN$
 REE
 $EZEZZ$

m
 ax (2-7)

此时, F 点电压和线路电流分别为

NM
 $NMMN$
 FZZ
 $EZEU$) 0 ((2-8)

NM
 NM
 MZZ
 EEI) 0 ((2-9)

显然有) 0 () 0 (

max
 M
 F
 R
 I
 U
 Z (2-10)

此时继电器的测量阻抗为 R

L_{max}

ZZ , 即系统振荡时的测量阻抗。当短路时过渡电阻 gR 为有限值时, 继电器的测量阻抗为

g
 MN
 NM
 RL_m
 R

EZ
EE
ZZZ 1
11m
ax (2-11)

根据式 (2-9) 可作出在 gR 由 0 变化时继电器的测量阻抗 m

Z 的变化轨迹，
如图 2-4 所示。

图中绘出了方向圆特性的阻抗继电器以及电抗继电器的动作特性。通过比较发现，方向圆阻抗继电器只是在过渡电阻较小时才会发生超越，当减小整定阻抗时适当可以解决超越问题，但过分缩短保护范围不是理想的解决方案。电抗继电器在过渡电阻较大时出现超越，若同样采取减小整定阻抗的方法来保证动作的可靠性，那么保护范围会缩小的更小。也可采取使其特性直线下倾的方法避免超越，

这种方法将在后文中提到。 8

图 2-4 双端电源系统经过渡电阻短路时送电侧测量阻抗的轨迹图 2-4所示过渡电阻在测量阻抗中引起附加分量的轨迹同样适用于受电侧保护的反方向故障。图中圆 2 是 N 侧保护的稳态特性圆。F 点在 N 侧母线上，对 N

侧保护来说是反方向，这是因为 N 侧保护中的电流是 M 侧提供的，所以其测量阻抗的轨迹仍是圆弧 FGD，可见 N 侧继电器要失去方向性。失去方向性的原因是极化电压相位变化较大所致。采用故障前电压或健全相电压极化，获得可变圆特性就可保证方向性。

受电侧阻抗继电器在正方向故障时受过渡电阻影响的问题可以用相同方法来分析。此时 ME 落后于 NE，按此作出的测量阻抗轨迹见图 2-5。由于测量阻抗中附加阻抗 RZ 为感性，阻抗继电器的灵敏度下降，保护范围将缩短。当故障点 F

靠近保护范围末端时，较小的过渡电阻就会使测量阻抗末端溢出动作特性图。 9

图 2-5 双端电源系统经过渡电阻短路时受电侧测量阻抗的轨迹

2.2.2 短线路过渡电阻对阻抗继电器的影响在短线路过渡电阻对阻抗继电器的影响更大。所谓短线路实际上是本线路的正序阻抗 LZ 与保护背后电源侧的等值阻抗 SZ 之比， $SLZZ /$ 值很小。由图 2-1

可见随着保护背后电源侧的等值阻抗 SZ 增大流过保护的电流 mI 与 FI 的比值将减少，根据式 (2-1) 过渡电阻的附加阻抗 aZ 值将增大。所以安装在受电侧的阻抗继电器也更容易在区外短路时误动。此外由于在短距离输电线路阻抗继电器的动作范围本来就受到限制很短，还有可能安装在送电侧的阻抗继电器虽然附加阻

抗 aZ 是阻容性的，但由于

a
 Z 很大使区外短路时测量阻抗还是落在圆外而拒动。

由于相同的理由，保护背后在最小运行方式 (SZ 大) 与最大运行方式两种情况比较，在最小运行方式下过渡电阻对阻抗继电器的影响更大。

2.2.3 故障相电流不同相位时对阻抗继电器的影响导致 aZ 有不同性质的原因除了有短路点两侧电流相位不同造成的因素外，

还有由于两个故障相电流有不同相位造成的因素。这种情况仅发生在两相经过渡电阻接地短路时，对两个故障相的接地阻抗继电器工作的影响上。 10

图 2-6 两相经过渡电阻 gR 短路在图 2-6 (a) 系统中 F 点发生 CB、两相经过渡电阻 gR 接地短路，忽略相间的电弧电阻。在 gR 上的电流是 $FCFBI$ 。短路点 F 的 B 相和 C 相电压均为 $FBg FC$

(RII)。流过保护的 CB、相电流和零序电流分别为 $OIII$

CB

和、。保护安装处 CB、相电压为 BU 和 CU 。则在母线保护安装处 B 相和 C 相两个接地阻抗继电器的测出来的阻抗分别为：

$aBLg$

B

$FCFB$

L

B

$FBBg FC$

B

B

mB

ZZR

IKI

IIZ

IKI

$RIIZIKI$

IKI

UZ 00

$LO 0 33) () 3 (3$ (2-12)

$aCLg$

C
FCFB
L
C
FBLCg FC
C
C
mC
ZZR
IKI
IIZ
IKI
RIIZIKI
IKI

$$UZ = \frac{00}{0} \frac{0}{0} \frac{33}{3} \frac{)}{(} \frac{3}{3} \quad (2-13)$$

式中，a

B
Z 为 B 相阻抗继电器由于过渡电阻产生的附加分量；a

C
Z 为 C 相阻抗继电器由于过渡电阻产生的附加分量。
其中

$$\begin{aligned} &g \\ &B \\ &FCFB \\ &a \ B \\ &R \\ &IKI \\ &IIZ \ 0 \ 3 \quad (2-14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &g \\ &C \\ &FCFB \\ &a \ C \\ &R \\ &IKI \\ &IIZ \ 0 \ 3 \quad (2-15) \end{aligned}$$

由图 2-6 (b) 的相量图可见，) (F

CFB
II 落后于)3(0IKI

B
, 所以a

B
Z 是阻容
性的。而) (F

CFB
II 超前于)3(0IKI

C
, 所以a

C
Z 是阻感性的。因此，当发生两相经过渡电阻接地短路时，由于过渡电阻gR 中流过的是两个故障相的电流之和，
所以接在两故障相中超前相（这里是 B 相）上的接地阻抗继电器其过渡电阻的附加阻抗是阻容性的，它带来的问题是区外短路可能会引起超越；而正方向出口短 11

路可能会拒动，正向出口存在死区。接在两故障相中落后相（这里是 C 相）上的接地阻抗继电器其过渡电阻的附加阻抗是阻感性的，它带来的问题是区内短路发生时保护可能会拒动。

2.3 反方向短路时附加阻抗对阻抗继电器工作的影响图 2-7 反方向经过渡电阻gR 短路的系统图。从母线的保护到故障点 F 的线路正序阻抗是LZ 。加在阻抗继电器上的电压mU 、电流mI 直接理解成阻抗继电器接线方式中规定的电压、电流，因此下述分析既适用于接地阻抗继电器也适用于相间阻抗继电器。电压mU 规定的正方向为母线电位为正，中性点电位为负。

电流mI 规定的正方向前一小节相同，均是由母线指向被保护线路，如图中

m
I 指

向的方向。流过过渡电阻的电流FI 的正方向与电流

m

I 的正方向一致，所以从下

到上是它的正方向，如图中箭头指向的方向。这样FI 是短路点两侧电流之和，

Pm F

III 。

指 标

疑似剽窃文字表述

1. 阻抗继电器测量出来的阻抗大小就实际线路正序阻抗不同，
测量阻抗mZ 在幅值和相位上都不准确，从而对阻抗继电器的动作行为产生了影响

2. 024_第2部分

总字数：9357

相似文献列表

去除本人文献复制比：22.4%(2093)

文字复制比：22.4%(2093)

疑似剽窃观点：(0)

1	07_603430112018_刘芳 刘芳 - 《学术论文联合比对库》 - 2014-05-25	5.4% (503) 是否引证：否
2	刘芳 刘芳 - 《学术论文联合比对库》 - 2014-05-15	5.4% (503) 是否引证：否
3	基于 IEC 61850 标准建模的研究与实践 刘芳 - 《学术论文联合比对库》 - 2014-05-08	5.4% (503) 是否引证：否
4	新一代高压输电线路保护产品的保护功能研制 魏曜 - 《学术论文联合比对库》 - 2017-06-30	5.2% (486) 是否引证：否
5	220kV继电保护整定计算及研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2013-04-19	5.2% (485) 是否引证：否
6	RCS-901 系列超高压线路成套保护装置技术和使用说明书 - 豆丁网 - 《互联网文档资源 (http://www.docin.com)》 - 2018	5.1% (477) 是否引证：否
7	谢红波-±800kV东方换流站继电保护仿真研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-04-11	5.0% (471) 是否引证：否
8	±800kV东方换流站继电保护仿真研究 谢红波 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-04-10	5.0% (471) 是否引证：否
9	110kV数字式线路保护装置研制 张西利(导师：陆于平;金勇) - 《东南大学硕士论文》 - 2006-03-01	4.2% (397) 是否引证：否
10	工程硕士_2010_计算机_康晓辉_张永强 工程硕士 - 《学术论文联合比对库》 - 2015-10-26	4.2% (397) 是否引证：否
11	(需检测)某煤矿110kV变电站微机保护的研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2015-11-02	4.2% (397) 是否引证：否
12	詹肖强-2014202070052-207 詹肖强 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-04-26	4.1% (379) 是否引证：否
13	207_2011212073512_肖拴荣 肖拴荣 - 《学术论文联合比对库》 - 2014-04-18	3.8% (359) 是否引证：否
14	线路保护介绍 - 百度文库 - 《互联网文档资源 (https://wenku.baidu.com)》 - 2020	3.6% (334) 是否引证：否
15	RCS-900系列超高压线路保护应用于串联电容补偿系统的研究 凌刚(导师：陈劲操;周建新) - 《南京理工大学硕士论文》 - 2003-10-08	3.1% (293) 是否引证：否
16	线路保护介绍.pdf-原创力文档 - 《互联网文档资源 (https://max.book118.com)》 - 2020	3.1% (289) 是否引证：否
17	第八篇 220KV系统及继电保护运行规程 - docin.com豆丁网 - 《互联网文档资源 (http://www.docin.com)》 - 2012	3.0% (279) 是否引证：否
18	[说明书]ipacs-5911d(a型)说明书v1.00(9-2) - 道客巴巴 - 《互联网文档资源 (http://www.doc88.com)》 - 2019	2.9% (275) 是否引证：否
19	徐飞-2012305033-变电站站域保护方案研究 徐飞 - 《学术论文联合比对库》 - 2015-04-21	2.9% (274) 是否引证：否

ZZ。其中过渡电阻 gR 这一部分对于阻抗继电器来说是过渡电阻的附加阻抗 aZ 。从式(2-16)可见

aL

ZZ 的值是装在 MN 线路 M 侧阻抗继电器的测量阻 12

抗的负值 mZ 。所以从 M 点到 K 点的阻抗是

m

$-Z$ ，如图 2-7 所示，阻抗继电器的

测量阻抗为 m

aL

ZZZ。也可以这么理解，在该继电器的背后，即 MP 线路的 M

侧装一个阻抗继电器。对它来说，短路在它的正方向。从 M 到 K 点的阻抗是那

个阻抗继电器的测量阻抗，其值为 a

L

ZZ。但那个阻抗继电器与上一小节讨论的阻抗继电器其规定的电流正方向正好相反，它们的测量阻抗正好差一个负号，所以对这个阻抗继电器而言是 m

aL

ZZZ。

一般来说，由于在一般的供电角下 m

F

II，故 g

a

RZ。所以附加分量反而比接地电阻本身的幅值都大。这也是由于短路点另一侧的电源助增作用造成的。在单侧电源供电的系统中（OSE）因为

mF

II，所以 g

a

RZ。过渡电阻附加阻抗就是过渡电阻本身。

由于 F I 与 m I 的相位不同， aZ 也有可能呈现阻感性、纯阻性和阻容性三种情况。

图 2-8 反向短路 aZ 对阻抗继电器工作的影响

在保护反方向经接地电阻故障时阻抗继电器的测量阻抗是 m

aL

ZZZ。当

a

Z 是阻感性 aZ 、纯阻性

a

Z 和阻容性 aZ 时继电器测出来的阻抗对应

m

Z、 mZ 和

m

Z。相量图如图 2-8（a）所示。其测出来的阻抗无论是从相位还是幅值来说都与实际不同。特殊的，当阻抗继电器为方向圆时，其动作特性为图 2-8（b）。对于方向圆阻抗继电器，反方向短路故障时希望继电器不要误动作。从图 2-8（a）

的相量图可以看出，如果在反方向出口（或母线）发生短路， $0LZ$ 。而因接地

电阻产生的附加分量恰好为阻容性的话，测量阻抗 m

aaL

ZZZZ - 将落在第

II 象限。如果过渡电阻很小， aZ 的幅值不大时，测量阻抗

m

Z 相量将有可能落入 13

阻抗继电器的动作特性圆内而导致继电器的误动，如图 2-8（b）所示的情况。所以对方向阻抗继电器来讲，最严重的的情况就是反向出口（母线）发生经小电阻短路，接地电阻的附加分量又恰好为阻容性时，此时继电器最易误动。如果反方

向出口短路时接地电阻的附加分量为阻感性，继电器测量阻 m

aaL

ZZZZ -

将落在第III象限，因而方向阻抗继电器不会误动。

装在输电线路送电端和受端的阻抗继电器在反方向短路时，由接地电阻产生的附加分量会呈现其他性质。在图 2-9（a）的系统图中，如果SE 超前于RE。

因而 MN 线路的 M 端是送电端，N 端是受电端。当在1F 点发生经过渡电阻 gR 的短路时，从装于送电端 M 端的阻抗继电器来看是反方向短路。由图 2-9（b）的相量图可见，

1F

I 超前于 m

M

I ，因而接地电阻产生的附加分量是阻感性的。当在 $2F$

点发生经接地电阻 gR 的短路时，从装于受电端 N 端的阻抗继电器来看是反方向短路。由图 2-9 (c) 的相量图可见， $2FI$ 落后于 nNI ，因而接地电阻产生的附加分量是阻容性的。

图 2-9 安装在送电端和受电端的阻抗继电器在反向短路时 aZ 的分析所以，都从发生反方向短路的角度来看，装于送电端和装于受电端的阻抗继电器所看到的过渡电阻附加阻抗分别是阻感性和阻容性的。总的来说，安装在输电线路受电端的阻抗继电器，由于反方向短路时接地电阻附加分量 aZ 是阻容性的，所以反向出口（母线）发生经小电阻短路时，方向阻抗继电器最易误动。而安装在送电端的阻抗继电器，反向短路时接地电阻附加分量 aZ 是阻感性的，故而反向出口（母线）短路时，方向阻抗继电器不会误动。

2.4 本章小结这一章节主要就过渡电阻对阻抗继电器在各种条件下产生的影响作出了 14

分析，以正方向短路和反方向短路为划分。

其中正方向短路中分析得出附加阻抗并不是纯电阻的原因是短路点两侧的电流相位不同，而导致短路点两侧电流相位相差较大的原因有二，一是线路两侧电动势相角有偏差，二是短路点两侧的阻抗角不相同。紧接着在正方向短路中分别就保护安装在送电端和受电端时附加阻抗对阻抗继电器的影响、短线路上过渡电阻对阻抗继电器的影响、故障相电流不同相位时对阻抗继电器的影响进行了分析。

在分析反方向短路时附加阻抗对阻抗继电器工作的影响时，通过装于送电端和装于受电端的阻抗继电器所看到的过渡电阻附加阻抗的性质，得出在反向出口（母线）发生经小电阻短路时，方向阻抗继电器最易误动。

通过这一章节的分析，不难看出阻抗继电器受过渡电阻的影响很大，因此保护人员提出了改进阻抗继电器特性，以此来提高阻抗继电器对过渡电阻的承受能力。 15

第 3 章 四边形阻抗继电器的分析

3.1 常规四边形阻抗继电器的动作特性四边形阻抗继电器是多边形继电器的一种，以其在阻抗平面上呈四边形而得名。它将保护中测量故障的距离、判别故障方向以及和躲过负载的几种功能以由独立的形式完成。每一元件在阻抗平面上的特性都是直线或折线。下面讨论三个

元件都反应相同电压和电流的单相式四边形阻抗继电器。3 个元件的动作判据为 X 元件：

$180\arg 360$

I

$I Z U_y (3-1)$

D 元件：

I

$U \arg 90 (3-2)$

R 元件：

I

$I R U_y$

$\arg 180 (3-3)$

X 元件可以测量故障点到母线保护处的距离，其特性如图 3-1 中的 X 特性直线； D 元件可以实现方向额定判别，其特性在图中以一条折线 D 实现； R 元件主要用于躲负荷，其特性如图中 R 直线所示。 D 特性为折线，其动作角度范围为 90° （小于 180° ）。

图 3-1 方向四边形阻抗动作特性

3.3.1 X 元件单相式 X 元件的动作特性直线若与 R 轴平行，这种特性的元件在实际应用中较一般阻抗继电器更容易超越。因此 X 元件必须下倾使直线有一个下倾角， 16

式 (3-1) 中的 角即为此而设。长距离线路，传送功率较大时两侧电动势相位差可达 45° ，考虑安全裕度后要求 30° 才能确保不发生超越。但是 X 元件采用下倾角的方式会缩小对过渡电阻的承受范围。

对于相间故障用 $2I$ 或 I 作为极化量可以得到理想的电抗特性。以负序电流 $2I$ 作为极化量仅适用于两相故障。 I 是 I 的突变量，用 I 作为极化量，既适用于两相故障也适用于三相故障。以

I 为极化量的动作判据为

$180\arg 360$

I

$I Z U_y (3-4)$

式中， α 仍为安全裕角，但只需考虑测量误差，取 $10^\circ \sim 7^\circ$ 已足够了。

I 存在的时间短，作为保护第 I 段足以保证断路器跳闸。但为了在断路器失灵时将保护跳闸的命令延续下去和满足延时段保护的要求，可在它动作后回到以

I 为极化量的单相式电抗继电器继续测量。

3.3.2 D 元件 D 元件采用折线特性并未解决对出口和背后母线故障的方向性问题。为了解决这个问题， D 元件中的电压应和欧姆继电器中的极化电压一样采用正序电压或者健全相电压，对于三相短路还要采用记忆电压。

3.3.3 R 元件在实际的线路保护装置中 R 元件的整定仅靠整定电阻 Z_R 就可实现， R 元件不仅要考虑躲开正常运行时的负荷阻抗，同时也要考虑对过渡电阻的耐受能力。

应当指出在接地距离继电器中电阻元件采入的电流不应该为考虑零序补偿后的电流 $0I_k$ 而应是为线路的相电流 I 。输电线路的正（负）序和零序阻抗不等，

为了在金属性故障时能正确测量距离，在电流中引入零序补偿分量 $0I_k$ 。设置 R

元件的目的是为了躲开正常运行时的负荷电阻并考虑一定的抗过渡电阻的能力，当然不需要引入 $0I_k$ 。单相接地时非故障相的 $0X$ 元件有可能会不动作，因此 R 元件一定要有足够的灵敏度。采用相电流 $0I_k$ 而不考虑零序补偿后的电流有 17

利于提高非故障相 R 元件耐受过渡电阻的能力。

3.2 电抗线的分析在四边形阻抗继电器中为防止保护区末端经过渡电阻短路时可能出现的超越而设置的动作边界称为电抗线，而实现该动作边界的继电器称为电抗继电器，以下分析其原理和动作特性。

在单相故障中时，故障支路中有F

FF
III 3 1 20

。由于零序网络和负序网络中没有电源电动势，因此流经保护的0I 与

F
I0 、2I 与
F

I2 基本同相。由于输电线路零序阻抗的相角较小，在长线路末端发生接地故障时0I 将超前

F
I0 。一般2I 与
F
I2
的相位差比0I 与

F
I0 的相位差小，接地电抗继电器用2I 作极化量比0I 更好，但各相继电器要用本相的负序电流作极化量，实现起来较为复杂，而三相零序电流相等，实现起来较为简单，因而一般都用0I 作极化量，称为零序电抗继电器，其动作判据为 180360 0

je I
U (3-5)
式中，) (0UZI_k IU
Y

。因为0I 的相位可能超前于

F
I0 ，将 0
I 相位向后移

角以适当纠正。微机保护计算2I 并不困难，单相故障时对快速性要去不高，暂态过程中计算2I 的误差也可以容忍，因此微机保护可以考虑用2I 取代0I 。现在零序电抗继电器已被广泛应用。

零序电抗继电器反应的电流不是单一的0Ik I 。为了能在阻抗平面上体现零序电抗继电器能力，在式（3-5）中引入0Ik I ，仍以测量阻抗)/(0

U Ik IZ
为变量，可得
180)arg(360YZZ (3-6)
式中，)]/([arg0 0

I Ik I 。式（3-6）在阻抗平面是一条经过YZ 矢量末端Y 点的直线，该直线与实轴的夹角为 。图 3-2 所示的特性直线取0 。由于 是变数，此直线的斜率是变化的。在单相故障经接地电阻gR 时，电抗继电器测量

出来的阻抗中多了)/(0ZII_k IR

FFg R

这部分。只要0I 和FI 的相位相同，零序电抗继电器的边界永远与测量出来的复合阻抗RZ 相平行，即

R
Z 的相角与边界的下
倾角一样。这就是说，若矢量LZ 的末端 F 点在特性直线的某一边，则合成矢量
RL

ZZ 的末端仍然在那一边。完美的电抗特性应该为在保护区外短路时一定不 18
会有超越发生、在保护区内短路保护一定不会拒动。

3.3 目前四边形阻抗继电器的应用现状国内目前各大继电保护厂家对于距离保护保护的配置一般为接地和相间均为三段式，方向圆特性和四边形特性均有，基本可以满足大多数运行方式下线路保护的可靠动作。但在对侧电源的影响下，测量阻抗附加分量导致可能引起的超越现象仍然会发生，即使概率很小，或者调度运行不会长期合环或做其他影响运行方式的操作，但继电保护的可靠性在这些小概率事件中仍然得不到保障。下面就南瑞继保、国电南自的几款线路保护装置进行介绍并分析其对于过渡电阻的适应性是否满足要求。

3.3.1 南瑞继保 NSR303G 超高压线路保护南瑞继保的 NSR303G 超高压线路保护装置提供三段式相间距离保护和接地距离保护，距离各段保护范围和动作延时独立整定，以满足电力系统对保护快速

性和选择性的要求。
NSR303 线路保护接地距离继电器的接地距离 I 、II 段采用的极化电压为正序电压，这个正序电压不是记忆电压，在故障期间，正序电压主要由健全相电压形成，正序电压同故障前保持一致，接地距离继电器能正确判别故障方向。其工
作电压和极化电压如下：


```

set OP
)3(ZIKIUU 0 (3-7) 1 1
j
P
U e U (3-8)

```

假若故障前系统空载，系统各元件阻抗角相同，继电器正方向动作特性在阻抗平面图表示如图 3-2。

图 3-2 距离保护 I、II 段正方向故障动作特性应用于较短输电线路时，为了提高抗过度电阻能力，极化电压中使用了接地

19

距离偏移角如图中所示，该定值可以由用户整定为或、30150。接地距离偏移角会使动作特性圆向第一象限移动。

虽然这可提高测量过渡电阻的能力，在高阻接地故障条件下保证很好的动作性能，但是如果在线路对侧存在助增电源的情况下，对于经过渡电阻接地的故障时，可能会出现超越现象。为了防止超越，通常距离保护 I、II 段和零序电抗元件配合使用。

NSR303 电抗继电器工作和极化电压的方程如下：

```

set OP
)3(ZIKIUU 0 (3-9)
DP
ZIU0 (3-10)
式中DZ 为模拟阻抗，幅值为 1，角度为78。
零序电抗的比相式方程为：
90 )3( 90 0 0
D
set
ZI
ZIKIU
Arg (3-11)

```

典型的零序电抗特性如图 3-2 中直线 A 所示。直线 A 下方与动作特性圆交集部分为动作区，由于零序电抗继电器的特性，其对过渡电阻是有很好的的适应能力。

接地距离保护III段的极化电压为正序电压，同样也是非记忆的。在故障期间，正序电压主要由健全相电压形成，正序电压同故障前保持一致，继电器能正确判别故障方向。相间同接地距离继电器，这里就不再赘述。

3.3.2 南瑞继保 RCS931 超高压线路保护南瑞继保的 RCS931 线路保护装置同样配置三段式距离保护包括相间和接地距离，继电器为了耐受较大的过渡电阻的采用极化电压作为正序电压；当RCS931 线路保护用于输电距离较短的输电线路时，将 I、II 段阻抗特性采用了用户可选择整定的偏移角向第 I 象限偏移，进而提高耐受过渡电阻的能力；

在接地距离继电器中还增设零序电抗作为配合，零序电抗对单相故障时的接地电阻有很好的的适应能力。

线路正常运行时，正序电压较故障时（或者非正常运行方式下）大很多，

此时采用正序电压极化的阻抗继电器对方向的判别很灵敏；当电压幅值降低到

10%以下时，保护会自动切换到低压模式，由记忆电压进行极化，I、II 段阻

抗继电器的动作门槛大于零，使近区三相短路时（电压降为零）阻抗继电器不致于因电压无法开入而失去判别故障方向的能力；在阻抗继电器动作后动作门 20

槛反向，这样在线路正方向发生短路期间继电器动作节点能一直保持到短路故障切除。接地III段阻抗继电器门坎一直反向，三相短路时阻抗继电器的特性包含原点，因此不存在死区。

当输电线路距离较长、用户负载很大时，阻抗继电器的整定变得非常困难，

此时引入负荷限制继电器，动作区设为阻抗继电器和该继电器的交集，该方法对

长线路、重负荷时测量阻抗容易进入特性范围内有很好的抑制作用。

RCS931 线路保护接地距离继电器接地距离 I、II 段同 NSR303G，也是极化电压引入移向角，其作用是在短线路时，用户可整定向第 I 象限偏移得偏移角，

从而提高耐受过渡电阻的能力。在正向短路时它的阻抗特性和图 3-2 基本相同。

这种接地继电器对于较大的接地电阻有很强的适应性，但是可能会在对端电动势的影响下误动作，所以加以零序电抗继电器来防止对端电动势引起的超越。

零序电抗继电器的工作电压、极化电压以及比相方程与 NSR303G 相同，当线路正方向发生故障时：

```

D
ZDK
ZI
ZZIKI
Arg (3-12) 0 0 0 0 3 270) ( 3 90
IKI
IArgZArg ArgZZ
IKI
IArg ArgZD
ZDKD (3-13)

```

式 (3-13) 是零序电抗的经典方程，如图 3-2 中直线 A。

当0I 与I 同相位时，直线 A 平行于 R 轴，不同相时，直线的倾角恰好等于 0

I
相对于03IKI的相角差。假定 0

I 与过渡电阻上压降同相位，则直线 A 与过渡电阻上压降所呈现的阻抗相平行，因此，零序电抗特性对过渡电阻有自适应的特征。

在工程中应用的电抗特性曲线因DZ 为78 而要下倾12°，所以当实际系统中由于两侧零序阻抗角不一致而使0I 与接地电阻上的电压有相角差时，保护不会误动作。采用可整定偏移角 的方向圆阻抗继电器和对过渡电阻有很高的耐受能力的零序电抗继电器，在两者交叉的范围内保护才会启动，I、II段阻抗继电器会动作，这种采用两种特性相结合的复合继电器对故障方向也有很好的判别能力，

同时也能准确地测出故障点的接地电阻并且保证不会误动作。

接地距离III段的工作和极化电压方程如下：

ZDOP

)3(ZIKIUU 0 (3-14)

1UU

P (3-15)

PU 以非记忆的电压作为极化电压，因为单相短路时，正序电压由非特殊相也就是故障相构成，对于故障前的电压幅值和相位已有记忆功能，因此，III段接 21

地阻抗继电器和低电压时基本相同，保证了继电器方向判别的准确性。

相间阻抗继电器的 I、II段同样采用两种特性相结合的复合特性阻抗继电器，与 NSR303 相同，不再赘述。

这里说明一下，将两种互补的特性方程联立来组成新的特性方程组是复合型

阻抗继电器的核心思想，目前大多数应用的多边形，甚至凸透镜、苹果型的阻抗继电器都运用了这个思想，这是改进阻抗继电器的一条大致方向。这对提高抵抗负荷电阻能力或者测量阻抗时的耐受过渡电阻能力都有加强。

3.3.3 国电南自 PSL601U (603U) 智能站保护

PSL601U 的距离保护按回路配置，设有a

bcabc

、ZZZ 三个相间阻抗继电器和

cba

、ZZZ 三个接地阻抗继电器。每个回路除了三段式距离外，还设有辅助阻抗元件，因此共有 24 个距离继电器。在全相运行时 24 个继电器同时投入；非全相

运行时则止投入健全相的距离继电器，例如 A 相断开时只投入b

c

\bar{Z} 和c

b

\bar{Z} 、回路的各段保护。

相间、接地距离继电器主要由偏移阻抗元件、全阻抗辅助元件、正序方向元件构成，其中接地距离继电器还有零序电抗器元件。

偏移阻抗元件是一种复合特性的阻抗继电器，由距离阻抗定值Z

D

\bar{Z} 、电阻定

值Z

D

\bar{R} (接地)阻抗继电器Z

D

R 取为负荷限制电阻定值，而相间阻抗继电器的Z

D

\bar{R} 选

为负荷限制电阻定值的二分之一)、输电线路灵敏角(即正序阻抗角)Z

D

三个定值可唯一确定保护范围。而保护装置中实际 R 分量偏移门槛和 X 分量偏移门槛

由 CPU 计算得出：

R 分量的偏移门槛取)5.0, 5.0min(Z

DZD

ZRR，即取Z

DZD

5.0, 5.0ZR 中的较小值。

X 分量的偏移门槛取值和二次侧额定电流nI 的选取相关(一般为 5A和1A)：

)25.0, /5max (IZ

Dn

ZIX。当额定电流取5A的时候，偏移门槛为1、0.25 倍距离

I 段阻抗定值两者中较大那个；当额定电流为1A 时，偏移门槛为 5、0.25 倍距离 I 段阻抗定值两者中较大那个。

偏移阻抗元件的动作逻辑为 I、II、III段依次开放，为阻抗继电器核心元件。

由图 3-2 可以看出该元件 I、II段在阻抗平面第一象限发生偏移，这种设置目的是提高耐受过渡电阻能力以防止超越，其

中偏移阻抗元件应用于接地距离故障时阻抗圆向下倾斜的角度是 12° ，应用于相间故障时阻抗圆向下倾斜的角度是 24° 。

该元件横坐标的边界线倾角与线路正序灵敏角相同，目的是使 I、II、III段的R 分量互相配合，在距离 I、II、III段的动作区内，三段保护应同时具备相同强度的抗接地电阻的手段。 22

图 3-3 偏移阻抗元件特性接地阻抗 I、II、III段的保护区由三个元件：正序方向元件 $1F$ 、零序电抗元件 $0X$ 以及偏移阻抗元件 P_Y 确定），（ cba ，辅助的全阻抗接地元件仅仅用于故障选相。

如图 3-4 为接地 I、II段的边界，图 3-6 为III段边界。

用户在整定时， Z_D

Z 依次整定，I、II、III段的 Z_D 均为负荷限制电阻定值，同样共用的还有线路阻抗角 Z_D° 。

图 3-4 接地距离 I、II 段动作特性图 3-5 相间距离 I、II 段动作特性图 3-6 接地距离III段、相间距离III段动作特性 23

相间距离 I、II、III段由偏移阻抗元件 P_Y

Z 和正序方向元件 $1F$ 组成），（ $cabcab$ ，辅助的全阻抗元件仅仅用于故障选相。

3.3.4 目前四边形阻抗继电器应用的小结通过以上几种线路保护阻抗继电器的配置情况，可以发现目前国内的厂家对于距离保护大多采用以下两种配置模式：一是偏移圆与零序电抗结合，二是完全的四边形（多边形）阻抗继电器。这两种配置对于抗过渡电阻来说真正其作用的也仅仅是那条电抗线，于是就衍生出了一个问题，对于运行情况比较特殊的线路，譬如短线路、重负荷等情况，电抗线对过渡电阻的限制大大减少了保护的可靠动作区域，进而使得保护的灵敏度进一步降低。解决的办法对于目前国网的变电站来说就是配置光纤差动作为主保护，而后备保护采用过流或者复压过流的形式。

指 标
疑似剽窃文字表述
<div><div>1. 四边形阻抗继电器的分析</div><div>3.1 常规四边形阻抗继电器的动作特性四边形阻抗继电器</div><div>2. 测量故障的距离、判别故障方向以及躲过负载的几种功能以由独立的形式完成。每一元件在阻抗平面上的特性都是直线或折线。下面讨论三个元件都反应相同电压和电流的单相式四边形阻抗继电器。</div><div>3. 长距离线路，传送功率较大时两侧电动势相位差可达45°，考虑安全裕度后要求30°才能确保不发生超越。但是 X 元件采用</div><div>4. 元件D 元件采用折现特性并未解决对出口和背后母线故障的方向性问题。为了解决这个问题，D 元件中的电压应和欧姆继电器中的极化电压一样采用正序电压或者健全相电压，对于三相短路还要采用记忆电压。</div><div>5. 线路保护装置提供三段式相间距离保护和接地距离保护，距离各段保护范围和动作延时独立整定，以满足电力系统对保护快速性和选择性的要求。</div><div>NSR303 线路保护接地距离</div><div>6. 正序电压，这个正序电压不是记忆电压，在故障期间，正序电压主要由健全相电压形成，正序电压同故障前保持一致，</div><div>7. 图 3-2 距离保护 I、II 段正方向故障动作特性应用于较短输电线路时，为了提高抗过度电阻能力，极化电压中使用了接地 19</div><div>距离偏移角如图中所示，该定值可以由用户整定为或、$30/150^\circ$。接地距离偏移角会使动作特性圆向第一象限移动。虽然这可提高测量过渡电阻的能力，在高阻接地故障条件下保证很好的动作性能，但是如果在线路对侧存在助增电源的情况下，对于经过渡电阻接地的故障时，可能会出现超越现象。为了防止超越，通常距离保护 I、II 段和零序电抗元件配合使用。</div><div>8. 极化电压为正序电压，同样也是非记忆的。在故障期间，正序电压主要由健全相电压形成，正序电压同故障前保持一致，</div><div>9. 接地III段阻抗继电器门坎一直反向，三相短路时阻抗继电器的特性包含原点，因此不存在死区。</div><div>当</div><div>10. 继电器的整定变得非常困难，此时引入负荷限制继电器，动作区设为阻抗继电器和该继电器的交集，</div><div>11. 极化电压引入移向角，其作用是在短线路时，用户可整定向第 I 象限偏移得偏移角，从而提高耐受过渡电阻的能力。</div><div>12. 当$0I$ 与I 同相位时，直线 A 平行于 R 轴，不同相时，直线的倾角恰好等于 0</div></div>

I
相对于03IKI的相角差。假定 0
I 与过渡电阻上压降同相位，则直线 A 与过渡电阻上压降所呈现的阻抗相平行，因此，零序电抗特性对过渡电阻有自适应的特征。
在工程中应用的电抗特性曲线因DZ 为78 而要下倾12 ，所以当实际系统中由于两侧零序阻抗角不一致而使0I 与
13. 每个回路除了三段式距离外，还设有辅助阻抗元件，因此共有 24 个距离继电器。在全相运行时 24 个继电器同时投入；非全相运行时则止投入健全相的距离继电器，例如 A 相断开时只投入b
c
Z 和c
b
ZZ 、 回路的各段保护。
相间、接地距离继电器主要由偏移阻抗元件、全阻抗辅助元件、正序方向元件构成，其中接地距离继电器还有零序电抗器元件。
14. 、0.25 倍距离
I 段阻抗定值两者中较大那个；当额定电流为1A 时，偏移门槛为 5 、0.25 倍距离 I 段阻抗定值两者中较大那个。偏移阻抗元件的动作逻辑为 I 、II、III段
15. 。
图 3-4 接地距离 I 、II段动作特性图 3-5 相间距离 I 、II段动作特性图 3-6 接地距离III段、相间距离III段动作特性
23
相间距离 I 、

3. 024 第3部分

总字数：10913

相似文献列表		
去除本人文献复制比：6.4%(697)文字复制比：6.4%(697)疑似剽窃观点：(1)		
1	基于阻抗轨迹估计的自适应相间距离继电器 沈冰;何奔腾; - 《中国电机工程学报》- 2007-11-05	3.9% (429) 是否引证：否
2	新型自适应距离继电器 沈冰;何奔腾;张武军; - 《电力系统自动化》- 2007-04-10	2.1% (231) 是否引证：否
3	自适应接地距离继电器的研究 刘卓辉(导师：张艳霞) - 《天津大学硕士论文》- 2005-01-01	1.3% (140) 是否引证：否
原文内容		

这并不能说明距离保护不能用，只是由于自身的阻抗特性带
来的限制约束了保护的适用范围，但并不代表距离保护就可以完全被差动所替代，对于阻抗边界的尝试或许可以成为一个突破口，本文旨于发现并验证这点。
3.4 本章小结四边形阻抗继电器是距离保护中对抵抗过渡电阻应用较广泛也是比较成熟的阻抗继电器之一，本章节对四边形阻抗继电器进行了详细的分析。
对四边形阻抗继电器的分析离不开它的三个基本元件： X 元件、 D 元件、
R 元件，三个元件包围的区域为继电器的动作区域。三个元件中 X 元件针对性地对过渡电阻有天然的耐受能力，因此在这一章第二节中单独将 X 元件，或者称为电抗线，进行了分析。可以说电抗线的改进历史基本上反映了研究人员对
抵抗过渡电阻所采取的措施的变化，完美的电抗特性应该为在保护区外短路时
一定不会有超越发生、在保护区内短路保护一定不会拒动，目前还没有保护装置中的电抗线能做到耐受住任何条件下的过渡电阻。
于是在第三节列举了几个国内继电保护厂家它们的线路保护装置对于阻
抗继电器是如何进行配置的。在参考了几个装置的说明书后，发现对于距离保
护大多采用以下两种配置模式：一是偏移圆与零序电抗结合，二是完全的四边形（多边形）阻抗继电器，而后者居多。 24
第 4 章边界改进的可行性研究
4.1 阻抗平面继电器动作行为分析双侧电源线路上阻抗继电器的动作行为可以在阻抗平面上分析。双侧电源线路上发生短路时的复合序网图见图 4-1。
图 4-1 双侧电源线路复合序网简单示意图图中ME 、NE 为两侧电源的等效电动势，MZ1、NZ1为两侧电源的等效正序阻抗，所研究的阻抗继电器 K 装于线路的 M 侧。继电器的测量阻抗一般有如下
的形式
NM
NM
M
M
mEm E
mEm E

I
UZ 43 21 (4-1)

式中4 321

、 、 、 mmmm 为系数，一般为复数。 21

mm、 无量纲， 4 3

mm 、 为导纳。4m 前的符号是由图 4-1 中所规定的MI 和NE

的正方向所决定的。当短路的具体条件（短路点、短路类型）已知时，只要根据复合序网图计算出MU 、

M

I ，就可得出上式。但由于ME 、 NE 是变化的，计算

M

U 、

M

I 比较麻烦。

将式（4-2）整理为

M

N

Em

Em

m

m

m

m

m

mZ 3 4 4 2 3 1 4 2 1 (4-2)

令k

yx

k K

m

mZ

m

m

m

mZ

m

m 3 4 4 2 3 1 4

2, , 。则

M

N

y

x

E

EK

Z

ZZ 1 (4-3) 25

于是将系数4 321

、 、 、 mmmm 转变为xZ 、 yZ 和 K 。令 0

M

E ，计算求得)(OMEZ，

于是有

)(OMxEZZ (4-4)

再令 ONE ，计算求得)(ONEZ，于是有

)(ONxyEZZZ (4-5)

再令N

M

EE ，计算求得)(

NMEE

Z

，于是有

EEEx

EEEx

Z_Z
 Z_Z
 K
 NM
 $NM \quad) () (\quad (4-6)$

至此所有常量都以求得。M 侧继电器的测量阻抗 Z 只随变数

M
 N
 E
 E
 变化。令

j
 M
 N_e
 E
 $E \quad (4-7)$

则式 (4-3) 可写为 $(1 -$

k_j
 y
 x
 e_k
 Z
 $Z_Z \quad (4-8)$

可见 $f Z$), (。

4.2 正向故障测量阻抗变化轨迹图 4-2 双端电源系统图如图 4-2 所示，在一个两端电源系统中，保护装设在线路 M 开关侧。假设

两端电源电动势幅值相同，即 jN

M
 $E_e E$ ，其中 δ 为双侧电源系统的功角差。当
 F 点发生经过渡电阻为 fR 短路时，故障点的电压为
 f

U 。图示中 dZ 为短路点到 M
 侧母线之间的阻抗， MZ 和 NZ 分别为短路点向 M 侧、N 侧系统看入的等效系统
 阻抗，N

M
 I_I 、 I_N 为两侧电源向故障点注入的电流。由图 4-2 可得到下列一组方程： 26

$f f M f N f$
 $M f d M$
 $N f N N$
 $M f M M$
 $R I I R I U$
 $U Z I U$
 $U Z I E$
 $U Z I E) (\quad (4-9)$

设 M
 M
 $I U Z /$ 为保护安装处的测量阻抗，根据上一节的分析可得 $) 1$

$11(f$
 $d) 0(j m e$
 $Z Z Z \quad (4-10)$

其中， $1) 0($

j
 j
 NM
 $f e$
 $Z e Z Z \quad (4-11) \quad 2$
 $\sin 2$

N
 f
 Z
 R

$$m \quad (4-12) \quad 0 \quad 0 \quad 2/- \quad 2/- \quad \{ \quad (4-13)$$

式 (4-11) 中 $f \rightarrow 0$

Z 为 fR 时的

Mf

$I_U /$ ，即在短路发生之前短路点 F 观测到的阻抗。再设 0

Z 为短路前的负载阻抗，即 fR 时的 Z ，易知

df

$$ZZZ) \quad 0) \quad 0) \quad (4-14)$$

分析式 (4-10) ~ (4-13)，当过渡电阻 fR 从 0 慢慢增大到 (即未发生

短路时)，测量阻抗 Z 从 dZ 变化到负载阻抗 $0(Z$ 。由第四章第一节可知其方程为

一段圆弧，该圆弧的圆心和半径分别为 $2/(\sin 2 \theta$

$$) \quad 0(\sin 2 \theta$$

jf

d

$$Z_e \quad Z_0 \quad (4-15)$$

$$\sin 2 \theta$$

$$f) \quad 0($$

$$Z \quad (4-16)$$

可将式 (4-13) 进行变换，先设 $0, 1 \quad 0, 0 \quad \{$

$$S \quad (4-17)$$

$$\text{则 } -1(-2$$

$$-S \quad (4-18)$$

将式 (4-18) 代入式 (4-15)、(4-16)，得

$$jd \quad 0 \quad e^{j\theta} \quad Z \quad (4-19)$$

$$) \quad 2/\sin(2 \theta) \quad 0($$

f

$$Z \quad (4-20)$$

其中， 2θ

$$SZf^2/\arg(\theta) \quad 0(\quad (4-21)$$

图 4-3 显示在不同功角下正向故障时 Z 随过渡电阻变化的曲线。其中 F 为当发生金属性短路（即过渡电阻为 0 ）时的测量阻抗。曲线 FA 、 FB 分别为功角

30° 、 60° （保护在送电端）时 Z 的轨迹，圆弧 FC 为 30° （保护在受电端）时 Z 的轨迹。

图 4-3 不同功角下正向故障时随过渡电阻变化轨迹通过 Z 随过渡电阻变化的曲线可以看到，两侧电源功角差为正时，受过渡电阻的影响， Z 在纵轴方向（即电抗分量）小于正常运行方式下的测量电抗，即

$\text{Im}(Z) < \text{Im}(dZZ)$ 。当短路发生在保护区外的时候，阻抗继电器可能误动作从而致使保护发生超越，而超越的现象随功角和过渡电阻的增大，情况变得严重。两侧电源功角差为负时， Z 沿着曲线 FC 变化，在纵轴方向大于正常运行方式下的测量电抗，即 $\text{Im}(Z) > \text{Im}(dZZ)$ 。当短路发生在保护区外时，阻抗继电器不会误动作，

但当短路发生在保护区内，保护范围会随着过渡电阻和功角的增加而缩小，致使保护发生拒动现象。

显然式 (4-10) 的推导只针对相间故障，而针对接地距离继电器需考虑零序补偿系数，测量阻抗的推导与上面类似，本文将不再赘述。

4.3 基于阻抗轨迹的继电器原理图 4-4 正向线路区外故障时保护测量阻抗的轨迹超高压线路阻抗中电抗占绝大部分的比例，因此在理论分析时忽略超高压线路的电阻。因此，如图 4-4 所示，式 (4-19) 的即阻抗轨迹圆与坐标纵轴（ jX 轴）

交点处切线的角度，当 0 时， $S \rightarrow 0$ ，可推 $2\theta \rightarrow 0$

$$\arg(\theta) \rightarrow 0($$

$$fZ \quad (4-22)$$

而当输电线路的距离越长，由于容升效应导致阻抗为容性。当 N 侧母线发生短路，在短路前线路正常运行的电压和电流可由图 4-5 故障前系统电压相量图示出，此时 $0) \quad 0) \quad 0) \quad 0($

$/M$

N

$$I_U Z_f, \text{ 由相量图不难看出 } 0) \arg(\theta) \rightarrow 0($$

$$fZ, \text{ 进而 } 0。$$

图 4-5 故障前系统电压相量图由式 (4-19) 作出正向线路区外故障时保护测量阻抗的轨迹， OD 的切线与 jX 轴的在水平方向的夹角 θ 应满足小于图 2-1 中电抗线与水平方向的夹角，才能确保在非保护区内发生故障时不会误动。但电抗线与水平方向的夹角的过分大会导致在区内故障时阻抗继电器抗过渡电阻的能力大大下降，而对于四边形阻抗继电器耐受过渡电阻强的这个特点反而有所抑制。在目前的工程配置中，图 3-1 的 4

一般为 $10^\circ \sim 7^\circ$ ，显然在超高压线路中，当负荷过大时，这个角度却难以满足继电器的要求。

实际上图 4-4 中圆心 O 和半径 r 只与短路之前的正常电压电流有关，当测量阻抗 Z 与圆心 O 的距离大于圆弧半径 r 时可认为故障发生在保护区内，即继电器

$$\text{的动作判据为 } 0Z \quad (4-23)$$

在式 (4-19) 中，令 d

zd

ZZ，代入式(4-23)得

jd

z

Ze_j Z (4-24)

图 4-5 正向故障故障点不同时 Z 随过渡电阻变化的轨迹

图 4-6 作出了一族正向故障时不同故障点的测量阻抗随过渡电阻变化的曲线。其中 KP 为区外故障时测量阻抗随过渡电阻变化的轨迹，LP 为保护末端故障整定阻抗随过渡电阻变化的轨迹，JP 为区内故障时测量阻抗随过渡电阻变化的轨迹。当 fR，3 条曲线均趋于 P 点。显然 KP 上任一点均在图 4-4 中切线上方，均不满足式(4-23)，不会使阻抗继电器动作。JP 上点均在切线下方，

即在继电器动作范围内。

在电源的送电侧)0(取几个故障位置作出经接地电阻短路时的一族阻抗轨迹。图中 JP 和 KP 对应保护区内和区外发生短路时的阻抗轨迹，曲线 LP 可以理解为在阻抗继电器保护的临界位置发生短路时阻抗的变化轨迹。随着接地电阻

fR，JP、KP 和 LP 都趋于一个点 P。显然，阻抗的边界特性应符合公式 0Z。在非保护区内发生短路，继电器测出来的阻抗 KP 一直保持在 LP 的上端，因此式(4-24)不成立，即阻抗继电器不满足动作条件；当在保护区内短路时，JP 一直位于 LP 下端，即只要 fR，式(4-24)都能满足，阻抗继电器动作条件满足。以上分析送电侧情况，在受电侧)0(，分析同理。

由以上分析可知，若用曲线 jd

z

Ze_j Z 代替传统四边形阻抗继电器中的电抗线，不仅满足四边形阻抗继电器耐受过渡电阻能力强的特点，又能合理地避免保护区外经接地电阻短路时保护误动作的现象。重要的是，对于长距离重负荷的线路，其倾角灵活可变且兼顾耐受过渡电阻能力。

4.4 和 的计算方法由式(4-20)、(4-21)易知计算、需找到 f)0(

Z、及 S。

由式(4-14)，并令 d

zd

ZZ，有

dzf

ZZZ)0()0((4-25)

和 S 由图 4-5 振荡中心的电压即可计算。设 M 侧和 N 侧的电源电动势幅值相等，均为额定电压 NU，短路发生前保护安装处的测量电压 M)0(U 与测量电流 M)0(I

I 的夹角为，于是

cosM

osc

UU (4-26)

0 时 0o

sc

U，0 时由式(4-26)可推 0o

sc

U，o

sc

U 与 的正负号对应，于是 0,1 0,0 {

osc

osc

U

U

S (4-27)

由图 4-5，可进一步得到 30

Nosc

/)2/cos(UU (4-28)

故

N

Sosc N

U

UU² 2 1- 2

sin) ((4-29)

综合(4-25)、(4-27)、(4-29)并代入式(4-20)、(4-21)得 22)0(

2o

sc N

Ndz

UU

UZZ (4-30)

Ndz
joscdzosc N
UZZ
ZUUj UZ

$e^{j0(22)0(4-31)}$

需要说明的是式(4-30)、(4-31)是在超高压线路忽略了电阻时推出的。

当电阻不能忽略时，考虑对式(4-26)中的 Z 进行补偿，经过补偿后结果偏差不大且不影响继电器的动作特性。

4.5 本章小结本章阐述的主要内容为四边形阻抗继电器边界改进的可行性研究，对于四边形阻抗继电器的改进基于双端供电系统考虑。

首先如果将双端供电系统两侧电源电动势的幅值、相位的比值定义为一个复数，即两侧电源幅值大小的比较和电动势相角的差值，那么等效的二端口网络的测量阻抗可以表示为这个复数参数的函数。这是本章第一小节给出的结论。

在假设两侧电源幅值相同，仅存在相位差的情况下，给出了双端供电系统中保护区内经过渡电阻短路时的方程组，应用第一小节的结论，给出了不同相角下过渡电阻的变化轨迹，而且得出这一段轨迹实际上是圆周的一部分。目前应用的电抗线都采取的是与阻抗轨迹有所交叉的直线，这使得继电器抗过渡电阻的能力

有所下降。因此若用曲线 $j d$

Z

Z_{ej} 代替传统四边形阻抗继电器中的电抗线，不仅满足四边形阻抗继电器耐受过渡电阻能力强的特点，又能合理地避免保护区外经接地电阻短路时保护误动作的现象。

最后一小节在前面几节的基础上给出了新的边界方程参数的确定方法。 31

第 5 章方案实施与仿真算例

5.1 采用阻抗轨迹边界的四边形继电器实施方案事实上在实际应用中的四边形阻抗继电器，这类继电器它们对过渡电阻的耐受程度已经很强，只是在某些特定的电网运行方式下由于继电器固有的动作特性导致其保护区扩大或者缩小这个事实不可避免。在第四章中讨论的基于测量阻抗轨迹变化的继电器，其边界拥有很好的解决继电器超越问题的能力。理论上采用使用这种边界的继电器可以去掉电抗线和电阻线，但考虑到去掉电阻线后阻抗继电器对过渡电阻的耐受程度并没有得到增强，于是仅保留电阻线替换掉电抗线成为最终改进多边形阻抗继电器的方案。

按常规四边形阻抗继电器的配置方法，电阻线的动作边界 d

Z

R 需以躲过最大

负荷阻抗来整定，同时设 d'

Z

\bar{R} 为改进后四边形阻抗继电器电阻线的动作边界。 d'

Z

R

按如下计算

$0)Re(, 4$

$0)Re(, 4, 3)Re(2\min[\{)0(')0()0($

ZR

ZRZ

R

dz

dz

$dz (5-1)$

即当 $0($

Z 的实部为正时， d'

Z

R 取 $3)Re(2) 0($

Z 和 d

Z

$4R$ 之间较小值；当 $0($

Z 的实部为负

时，取 d

Z

$4R$ 。

对于改进后的四边形阻抗继电器，在式(4-30)、(4-31)的基础上分 3 种情况选择参数。设 Z_e 、 $j e$ 为按照式(4-30)、(4-31)计算的参数， Z 、 $j e$ 为继电器中实际参数。 Z 、 $j e$ 可由下选 ①12, 5.24) $0()0($

f

dz

ZRZ 时，取 (5-2) ②5, 04) $0($

时，取，且 o

$scdz$

$URZ (5-3)$

③) 15, 5min(, 04) 0(

时, 取, 且 o

scdz

URZ (5-4)

第一种工作情况) 0(

Z 很大, 表明线路处于轻载运行。在负荷电流很小的情况下, 由于线路分布电容的影响, 计算 和 的误差较大, 但该情况下保护区外经过渡电阻短路时, 不会发生超越, 因此不必计算 和 $j\epsilon$, 直接取式 (5-2) 的固定值。该值是在两侧电源相角差为 24 时的计算结果。

第二种运行情况为送电端负荷较大, 此时 按式 (3-30) 计算, 而 在式

(3-31) 计算的基础上减小 5 作为提高耐受过渡电阻能力的裕度。 32

第三种运行情况为是受电端负荷较大, 此时保护区外发生短路不会发生超越, 目的是测量阻抗轨迹曲线往上翘, 以增加线路耐受过渡电阻的能力。但阻抗轨迹不应上翘太高。为此采用式 (5-4) 的措施: 在估算值 的基础上减小 5 作为裕度; 若超过 15, 则只取最大值 15; 取半径 , 阻抗轨迹变为直线。

由于 FE 始终处于 FDP 的下方, 故保护区外故障时不会发生超越。此时式 (4-24)

的动作方程变为

$Z_{tg} Z_{Zd}$

Z

$) \operatorname{Re}() \operatorname{Im}() \operatorname{Im}() (5-5)$

5.2 仿真算例为了验证改进后的四边形阻抗继电器在实际线路中的使用情况, 模拟一

500kV 系统进行仿真。500kV 系统中送电端为 M 侧, 在母线发生短路时的短路

容量为 300MVA, 输电线路的阻抗计算为 $839.2 j$; 受电端为 N, 在受电端母线短路容量为 20000MVA, 输电导线阻抗计算为 $5.1275.1 j$; 线路长度 400km,

阻抗为 $6.11716.6 j$ 。

在 M、N 两侧均装设带四边形动作特性的距离保护。两侧保护装置定值相

同。输电线路距离保护定值 d

Z

Z 按照保护整条线路 %90 范围进行整定, d

Z

R 按照

躲过 70 时负荷阻抗整定, 得 $j Z_{8.10554.5d}$

Z

、 1.103d

Z

R。

图 5-1 线路末端故障时 M、N 侧保护测量阻抗轨迹对比图 5-1 为长线路重负荷) 70(运行工况下线路末端故障时 M、N 侧保护实际测量阻抗轨迹和计算测量阻抗轨迹曲线。图中 FA 是送电端的距离保护 M

对于短路阻抗的测量曲线: AL 是送电端的距离保护 M 由短路发生前线路的状态大致计算得到的自适应曲线; FB 是受电端距离保护 N 对于短路阻抗的测量曲线; BL 是受电端距离保护 N 由短路发生前线路状态大致计算得到的自适应曲线; CL 是传统四边形阻抗继电器的电抗线(下倾角一般为 12)。从图 5-1 不难看出, 在保护区外发生短路时, AL 与 FA 基本上保持平行的状态, 且曲线 AL 33

始终保持在曲线 FA 下端, FB 一直保持在 BL 的上端, 所以送电端 M 和受电端 N 上装设的阻抗继电器均不会误动作(不会超越)。相较于传统的阻抗继电器,

自适应的四边形阻抗继电器位于受电端 N 侧, 基本不会误动作(超越); 自适应四边形阻抗继电器位于送电端 M 侧, 那么当测量阻抗位于 K 点时保护会误动作(超越)。

图 5-2 距离阻抗仿真接线从表 5-1 可以看出当线路运行在不同的负荷下, 在保护区外发生经过渡电阻短路时传统的阻抗继电器与改进后的四边形阻抗继电器误动作的情况。安装在送电端的保护 M, 短路发生在对侧 N 点; 安装在受电端的保护 N, 短路发生在对侧 M 点。当保护误动作时, 表 5-1 给出了四边形阻抗继电器的边界过渡电阻值, 单位为 Ω , 即当 fR 大于此值, 保护就会误动作。当保护可靠不动作时,

表中用符号“○”进行记录。显然在表 5-1 中, 我们得出改进后的四边形阻抗继电器在输电线路运行于各种状态时均不会误动作; 但是传统的阻抗继电器, 在送电端和受电端功角相差较大时继电器会误动作, 两端电源的相角差越大, 超越 34

发生时边界过渡电阻就越小。特别说明一下, 因对端电源的助增效应, 虽然实

际的接地电阻不大, 但在母线保护处测得的阻抗幅值却不小, 当 45 时, 发

生超越的边界过渡电阻为 $2.2fR$, 而此时在母线处保护实际测得的阻抗却有

$j Z_{6.985.32}$ 这么大。

表 5-1 线路末端故障保护发生超越时的过渡电阻

常规继电器改进后的继电器保护 M 保护 N 保护 M 保护 N 0 ○ ○ ○ ○ 45 2.2 ○ ○ ○ 60 1.4 ○ ○ ○ 70 1.2 ○ ○ ○

通过仿真, 还分析了当母线电压偏离系统额定电压时改进的四边形阻抗继电器动作的行为。通过仿真的计算, 受电端的电动势电压为系统的额定电压,

即 N

N

UE，送电端的电动势电压取N

N

UE，N9.0U，

N

1.1U 几种情况。在仿真后我们得出，改进后的四边形阻抗继电器在母线电压有所偏移时均不会超越。

表 5-2 为在输电线路两侧电源相角不同时，在距离保护范围内 %70 的地方发生短路时改进的四边形阻抗继电器较传统的阻抗继电器抗过渡电阻能力的区别。表 5-2 中的数据为这两种继电器在不同相角差下所能抵抗短路的过渡电阻

的最大值。再说明一下，表中所列的数值为短路点实际接地的电阻 fR ，而非阻

抗继电器中的测出来的测量电阻。比如在两侧相角为0 时送电端 M 可以抵抗 5.21 fR 的接地电阻，送电端保护 M 测出来的电阻分量为103。

表 5-2 线路区内故障时保护的抗过渡电阻能力

常规继电器改进后的继电器保护 M 保护 N 保护 M 保护 N 0 21.5 55.3 21.5 55.3 45 43.7 20.4 140 44.9 60 65.7 18.2 110 32.3 70 95.5 17.3 95.5 28.2

若线路两端电动势相角差为0 时，即没有负载的情况下，改进的四边形阻抗继电器与传统的阻抗继电器完全一样，它们对于过渡电阻的承受能力也完全相同。但是如果短路点离保护安装处比较近，那么改进的四边形阻抗继电器

对于过渡电阻的承受能力会增强。比如在送电端近区出口短路时，传统的阻抗继电器 M 的耐受过渡电阻的最大值为 5.91 fR ，而改进后的四边形阻抗继电器可以提高到 370 fR 。

保护安装在送电端 M，若两侧的电源相角相差较大时，由于边界有所优化，改进的四边形阻抗继电器对于过渡电阻有很好的抵抗能力，在表中可以看出，经过改进后的四边形阻抗继电器对于过渡电阻的抵抗能力有不同幅度的提升，特别是当两侧相角差为60~45 时，改进的四边形阻抗继电器对过渡电阻的抵抗能力对比于传统的阻抗继电器有 1 倍左右的提升。

保护安装在受电端 N，同传统的阻抗继电器，当线路两侧的电源电动势相角变大时，改进的四边形阻抗继电器对过渡电阻的抵抗能力会有所降低，但降低的幅度和速度相较于传统的阻抗继电器来说要小一点也要慢得多，所以较传统的阻抗继电器来说依然有较强的抵抗过渡电阻的能力。 36

第 6 章结论与改进

6.1 结论距离保护鉴于同时采入了线路的电流和母线的电压，在某些特定的故障条件下其测量阻抗继电器的准确度不满足保护的要求。特别在双端电源供电系统中，

由于受电侧电源的助增效应，使附加阻抗呈现阻容性，从而使保护误动作发生超越。

对于提高距离保护中各继电器对过渡电阻的耐受能力一直是距离保护研究的热门问题，本文第二章给出了过渡电阻对阻抗继电器影响的分析，分别在正方向和反方向短路时分析了测量阻抗中附加阻抗对阻抗继电器的影响。其中在正方向短路时分析了保护安装在送电端和受电端时附加阻抗对阻抗继电器的影响、短线路上过过渡电阻对阻抗继电器的影响、故障相电流不同相位时对阻抗继电器的影响。

而多边形阻抗继电器由于具有对过渡电阻有较高耐受能力，在大多数输电线路中具有较广泛的应用。对于接地故障，四边形阻抗继电器采用电抗下倾的方式来防止这种现象，这个下倾角是根据送电端保护在过渡电阻上引起测量电抗的最大误差而确定的。于是本文在第三章对四边形阻抗继电器进行了详细的分析，将常规四边形阻抗继电器的动作特性进行了分析，特别对电抗线进行了一小节的详细解读，最后就目前国内某些保护厂家的线路保护装置进行了介绍，归纳出现阶段继电保护厂家普遍适用的距离保护阻抗继电器的形式以及各厂家对提高阻抗继电器抗过渡电阻能力的应对措施。

针对多边形阻抗继电器，改进其耐受过渡电阻能力就一定涉及其边界方程的拟定，第四章中提出了多边形阻抗继电器边界改进的可行性研究。首先对阻抗平面上继电器的动作行为进行了分析，得出其可以写成对应参数的变量方程。然后给出了正方向故障时测量阻抗变化的轨迹以及基于该轨迹的继电器原理，并确定了边界方程参数的具体计算方法和取值。

在本文中讨论的基于测量阻抗轨迹变化的继电器，其边界拥有很好的解决继电器超越问题的能力。理论上采用使用这种边界的继电器可以去掉电抗线和电阻线，但考虑到去掉电阻线后阻抗继电器耐受过渡电阻能力并没有得到增强，于是仅保留电阻线替换掉电抗线成为最终改进多边形阻抗继电器的方案。在第五章中除了给出最后选定的方案以外，还对一个双端电源供电系统的输电线路进行了仿真，并给出了在不同运行工况下，区外经过渡电阻故障时改进的四边形阻抗继电器

器与传统的阻抗继电器误动作情况。仿真结果表明，改进后的四边形阻抗继电器在母线电压有所偏移时不会误动作。仿真还给出了两侧电源在不同相角差的情况下，保护区内线路 %70 处短路时改进的四边形阻抗继电器较传统的阻抗继电器抵抗过渡电阻的能力，最后得出结论当系统功角为0 时，改进的四边形阻抗继电器的边界退化成传统的阻抗继电器的边界，对于过渡电阻的耐受能力与传统的阻抗继电器完全一样。如果短路在近区，改进的四边形阻抗继电器对于过渡电阻的耐受能力相较于传统的阻抗继电器则大幅度提升。且无论对于送电端还是受电端来说，基于阻抗轨迹的四边形阻抗继电器都有较强的对于过渡电阻的耐受能力 [44]~[50]。

6.2 改进早期对于阻抗继电器的研究由于其受限于单一的系统运行方式，因此在对于逐渐变复杂电网模型，特别是有环网、平行双回线或下一段线路为分支线路时，流过故障点的故障电流与补偿电压的相位关系已经不能再像之前单回线中那样反映区内故障和区外故障。因此继电器的动作特性，协调好允许过渡电阻能力和超越能力是十分必要的。

继电器边界对于阻抗的适应是研究的趋势，在未来的改进中希望还能有不同原理的方法能改进边界提高对过渡电阻的耐受能力。 38

参考文献

- [1] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 中国水利水电出版社. 2002
- [2] 黄少锋; 曹凯; 罗澜. 一种消除过渡电阻影响的测量方法[J]. 电力系统自动化. 2013 (23)
- [3] 彭洋. 四边形特性阻抗继电器测试分析[J]. 河南科技. 2019 (01)
- [4] 沈冰; 何奔腾. 基于阻抗轨迹估计的自适应相间继电器[J]. 中国电机学工程学报. 2007 (31)
- [5] 连晶晶; 赵志英. 四边形特性阻抗继电器探讨[J]. 南京工程学院学报. 1997 (01)
- [6] 王怡君. 人工神经网络在距离保护中的应用研究[D]. 华北电力大学. 2015

- [7] 王鹏飞. 四边形阻抗原理应用中出现的问题及解决办法[J]. 智慧电力. 2018(08)
- [8] 董艺. 四边形原理距离保护中电阻分量的研究[J]. 电力系统保护与控制. 2007(14)
- [9] 李子添, 张紫凡, 肖燕纯, 李振伟. 过渡电阻对不同阻抗特性的影响分析[J]. 湖北电力, 2020, 44(04): 28-34.
- [10] 吕冉, 林湘宁, 刘鹏, 张敏, 李正天, 魏繁荣, 陈乐, 马啸, 薄志谦. 一种具备全线高阻故障响应及强抗饱和能力的和阻抗继电器[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(08): 2323-2334+2542.
- [11] 何山, 林湘宁, 张锐, 童宁, 李正天. 具有高阻接地故障辨识能力的和阻抗继电器[J]. 电工技术学报, 2016, 31(16): 57-64.
- [12] 许磊, 郑玉平, 吴通华. 零序电抗继电器区外高阻接地误动问题的解决方案[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(20): 114-118.
- [13] 薛风华, 徐微微, 王洪寅, 庞吉年, 祁言嘉, 王宝华. 基于神经网络的并网光伏电站自适应距离保护[J]. 电工电气, 2020(04): 25-29.
- [14] 吕冉, 李慧, 刘鹏, 林湘宁, 童宁, 李正天, 黄景光, 邓科, Owolabi Sunday Adio, Muhammad Shoaib Khalid, 韩雄辉. 和阻抗继电器的改进形式及其动作性能分析[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(07): 2001-2011+2215.
- [15] 马静, 马伟, 闫新, 刘畅, 王增平. 基于阻抗复数平面的自适应距离保护方案[J]. 电网技术, 2016, 40(01): 290-296.
- [16] 尤田柱. 四边形阻抗特征值分析与应用[J]. 电气技术, 2013(05): 98-100+106.
- [17] 刘千宽. 测量阻抗轨迹和阻抗继电器性能的研究[J]. 南方电网技术, 2012, 6(03): 99-102. 39
- [18] 王鹏飞. 四边形阻抗原理应用中出现的问题及解决办法[J]. 陕西电力, 2011, 39(08): 79-81+89.
- [19] 荣雅君, 刘琳, 贾艳, 高广峰. 基于 LabVIEW 的四边形阻抗继电器的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008(17): 79-81+99.
- [20] Aboshady F.M.. Modified distance protection for transmission line with hexagonal phase-shifting transformer[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2022, 134{5}:
- [21] 传云, 王维庆, 王海云, 武家辉. 基于过渡电阻倾斜角的风电 T 接双电源系统自适应距离保护方案[J/OL]. 电测与仪表, {3}, {4} {5}: 1-8[2021-07-17].
- [22] 孙毅, 孙杰, 全晓峰, 柳扬, 靳方明. 基于暂态行波的瞬时短路过渡电阻估算[J]. 集成电路应用, 2021, 38(05): 172-173.
- [23] 传云, 王维庆, 王海云, 武家辉. 基于过渡电阻倾斜角的风电 T 接双电源系统自适应距离保护方案[J/OL]. 电测与仪表, {3}, {4} {5}: 1-8[2021-07-17]
- [24] Kaname Tagawa, Song-Gyu Ra, Youngju Choi, Toru Yoshikawa, Hiroshi Kumagai, Seiji Maeda. Regular resistance training favorably affects central artery stiffness response following transient resistance exercise[J]. Sport Sciences for Health, 2021, {4} (prepublish):
- [25] 王春又, 孙士云, 毛肖, 赵伟, 李大凤, 杨兴雄, 黄柯昊, 岳清. 适应于双馈风电场送出线的时域距离纵联方向保护[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(13): 82-94.
- [26] 王志飞, 朱德军, 朱伟雄, 司旭, 徐炎, 朱炳旭, 王艺博. 逆变型新能源电站对输电线路距离保护动作性能影响研究[J]. 南方农机, 2021, 52(12): 13-15+19.
- [27] 郭杨, 王煜, 周永荣, 陈昊. 系统振荡时对距离保护阻抗特性比较研究[J]. 云南电力技术, 2020, 48(04): 29-32.
- [28] 向楠, 陈炯, 何明军. 超高压送电线路自适应距离保护技术研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2020, {4} (05): 201-204.
- [29] 陈玉, 文明浩, 王祯, 尹项根, 杨霖. 基于低频电气量的超高压交流线路出口故障快速保护[J]. 电工技术学报, 2020, 35(11): 2415-2426.
- [30] 文明浩, 王玉玺, 陈玉, 秦瑜. 基于等传变原理的高压交流输电线路继电保护[J]. 智慧电力, 2019, 47(12): 22-29.
- [31] 张安琪, 黄烜, 周培钰. 基于不同阻抗特性的距离保护III段整定方法[J]. 广东电力, 2019, 32(10): 102-110.
- [32] 陈玉. 基于输电线路暂态分量的快速距离保护原理及应用[D]. 华中科技大学, 2019.
- [33] 李会新, 谢俊, 王玉龙, 李勇, 谢华, 赵青春. 超高压输电线路保护装置自适应整定及性能优化[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(17): 148-154. 40
- [34] 侯壮. 基于时域全波形的新型线路距离保护研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2018.
- [35] 陈祥文, 谢俊, 王玉龙, 李会新, 金明亮, 谢华. 超高压线路距离保护自适应整定方案的研究[J]. 高压电器, 2017, 53(05): 132-140.
- [36] 廖钊. 基于异构边界的串补线路全线快速保护[D]. 华中科技大学, 2016.
- [37] 张健康, 粟小华. 超高压线路后备保护整定原则探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(08): 120-125.
- [38] 黄巧豪, 黄新德. 探究超高压输电线路继电保护的方法[J]. 电子测试, 2016, {4} (Z1): 138-139.
- [39] 余冬, 张武洋, 周荣斌. 超高压线路保护零序电流变化量启动判据研究[J]. 东北电力技术, 2015, 36(08): 10-13.
- [40] 何荷. 输电线路快速距离保护研究[D]. 华中科技大学, 2015.
- [41] 荣军, 欧俊延. 500kV 超高压线路新型线路保护装置的改造应用[J]. 电工技术, 2015, {4} (02): 25-26+70.
- [42] 金超杰, 陈晓明, 李德利. 采用同步变化量的超高压线路保护启动判据研究[J]. 浙江电力, 2015, 34(01): 1-5+13.
- [43] 罗勋华, 黄纯, 戴永梁, 潘志敏, 刘琨, 梁勇超. 输电线路瞬时性故障的恢复电压直流偏移特性研究[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(01): 107-111.
- [44] 董成明, 李振坤, 王永全, 符杨. 超高压线路近端故障的快速距离保护[J]. 上海电力学院学报, 2014, 30(06): 579-583.
- [45] 李军荣. 光纤电流差动保护技术在超高压线路中的应用[J]. 技术与市场, 2014, 21(11): 144.
- [46] 王欢欢, 宋国兵, 钟高跃, 杨远航, 申全宇, 马志宾, 索南加乐. 基于快速相量提取算法的距离保护方案[J]. 电网技术

[47]刘兴茂. 基于时频分析的超高压输电线路快速保护原理研究[D]. 西南交通大学, 2014.
[48]张波, 何奔腾, 王慧芳. 基于暂态主频实时估算的快速距离保护[J]. 浙江大学学报(工学版), 2013, 47 (08) :1411-1417.
[49]徐沙能. 精确匹配输电线路暂态模型的快速距离保护新原理研究[D]. 华中科技大学, 2013.
[50]许颖, 许群, 叶强. 弱馈线路距离保护失去方向性的分析及解决方案[J]. 华东电力, 2012, 40 (11) :1988-1991. 41

致谢

42

作者简介

指 标
疑似剽窃观点
1. 仿真结果表明, 改进后的四边形阻抗继电器在母线电压有所偏移时不会误动作。
疑似剽窃文字表述
1. 正向故障测量阻抗变化轨迹图 4-2 双端电源系统图如图 4-2 所示, 在一个两端电源系统中, 保护装设在线路
2. 导致在区内故障时阻抗继电器抗过渡电阻的能力大大下降, 而对于四边形阻抗继电器耐受过渡电阻
3. 为区外故障时测量阻抗随过渡电阻变化的轨迹, LP 为保护末端故障整定阻抗随过渡电阻变化的轨迹,
4. 躲过最大
负荷阻抗来整定, 同时设'd
z
R 为改进后四边形阻抗继电器电阻线的动作边界。
5. 常规继电器改进后的继电器保护 M 保护 N 保护 M 保护 N 0 21.5 55.3 21.5 55.3
6. 阻抗继电器的边界退化成传统的阻抗继电器的边界, 对于过渡电阻的耐受能力与传统的阻抗继电器完全一样。
7. 特别是有环网、平行双回线或下一段线路为分支线路时, 流过故障点的故障电流与补偿电压的相位关系已经不能再像之前单回线中那样反映区内故障和区外故障。因此继电器的动作特性, 协调好允许过渡电阻能力和超越能力是十分必要的。

说明: 1. 总文字复制比: 被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比: 去除系统识别为引用的文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比: 去除作者本人文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

4. 单篇最大文字复制比: 被检测文献与所有相似文献比对后, 重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6. 红色文字表示文字复制部分;绿色文字表示引用部分;棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



✉ amlc@cnki.net

🌐 <http://check.cnki.net/>

👤 <http://e.weibo.com/u/3194559873/>