

中国电机工程学会

第二次继电保护及自动装置学术讨论会

1979

论文选集

**SELECTION OF 1979
CONFERENCE ON
RELAYS AND
PROTECTION SYSTEMS**

Foreword

Under the auspices of IEE of China, the Second Conference of Relays and Protection Systems, was held at HANGZHOU in October 1979.

The Conference received 109 technical papers, which widely reflect substantial improvements and great successes in research, design, manufacture and operation of relay protection in China in the last ten years.

All the theses delivered to the Conference reach a fairly high level and represent new achievements in our country. Nevertheless, as the space of this book is limited, only part of them are carried here, while abstracts and topics of other theses are enclosed for inquiry.

The papers in this publication were selected and examined by IEE of China, edited published by AUTOMATION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS magazine.

前 言

1979年10月中国电机工程学会在杭州召开了“全国第二次继电保护及自动装置学术讨论会”。会议收到学术论文共 109 篇。这些论文比较全面地反映了我国继电保护专业在运行, 制造, 基建, 科研等方面所取得的丰硕成果, 很有参考价值。为了便于广大继电保护工作人员了解我国该专业近年来的情况与发展动向, 对今后工作有所帮助。中国电机工程学会组织了运行, 设计, 制造, 科研和高等院校的一些同志选编了这册论文选集并委托电力工业部电力系统自动化编辑部出版。

送交1979年继电保护会议的论文都具有一定的学术水平与参考价值, 但限于篇幅, 只有部份论文编入选集, 其余论文摘要报导或列出题目, 以便读者在需要时联系查阅。

目 录

(一) 综 合 类

电力系统短路时过渡阻抗的计算·····	袁季修 (1)
同杆双回线跨线故障计算·····	许敬贤 (9)
平行双回线路的故障解析计算·····	牟敦庚 (19)
互感器暂态特性对超高压电力系统继电保护装置的影响·····	何 彬 程渝生 (36)
220 千伏线路二相运行·····	翁子文 (45)
1½断路器主接线的线路及母线继电保护·····	胡俊侯 (54)

(二) 线 路 距 离 保 护

用电压向量法分析距离继电器的动作性能·····	王梅义 (61)
阻抗继电器动作特性的基本动作方程·····	陈德树 (74)
突变量距离继电器·····	朱声石 (83)
方向阻抗继电器过渡特性及对方向阻抗继电器极化回路构成的意见·····	洪佩荪 (91)
背后短路时方向阻抗元件的动作行为·····	李慕松 (102)
正弦逻辑向量及其应用·····	张旭俊 (113)
脉冲探测式线路保护·····	徐志刚 葛耀中 (122)

(三) 线 路 纵 联 保 护

分布电容电流及谐波分量对相差动高频保护的影响及其对策 ·····	戴学安 田守常 马师模 梁合庆 (130)
相差动高频保护相位特性、灵敏度特性的分析和几点建议·····	金建源 (137)
电流差动保护动作判据的分析和研究·····	葛耀中 (149)
500 千伏输电线路快速继电保护·····	马长贵 (158)
超高压输电线长期发讯的高频方向保护·····	贺家李 张源会 杨念慈 (167)
高频保护采用长期发讯方式的探讨·····	郭小洲 (183)
特高频继电保护·····	王春生 罗益万 (193)
音义振荡器和音叉滤波器——在微波保护中的应用·····	邹国荣 (201)
GY—1型调频编码制高频远方跳闸装置·····	杨凤雏 (209)

(四) 重合闸和自动装置

相电流差突变量选相元件在电力系统中的应用·····	刘彦才 (217)
电压比值选相元件——动作特性分析与样机试验结果·····	俞鸣元 (223)
刘家峡电厂的系统稳定监控装置·····	冯载生 (232)

(五) 电力设备保护

发电机匝间短路保护研究·····	侯煦光 杨顺义 (240)
测量对地导纳的励磁回路一点接地保护的分析和·····	侯炳蕴 王维俭 (248)
大型汽轮发电机的失磁保护·····	许希元 翟祥文 周 强 (256)
大型(汽轮)发电机失磁保护装置研究及试验 ·····	钱自立 陆鸿声 江建豪 张志竟 郁维镛 (263)
间断角原理变压器差动保护·····	王祖光 (269)
高压和超高压母线保护的研究·····	陈爱钦 李健宗 (276)
新型晶体管相位比较式母线保护·····	陆继璜 宣祥星 (284)
发电机——变压器组三次谐波接地保护分析·····	史世文 孙斌华 (294)
利用三次谐波电压的定子接地保护提高灵敏度方法的研究 ·····	侯炳蕴 王维俭 周慧新 (307)

(六) 其 他

快速起动及带记忆性能的故障录波装置的研制和运行·····	张修万 (315)
晶体管保护自动检测装置·····	张锦华 (326)
自动化继电器高寿命接点材料研究·····	林亚强 孙 民 张福山 (333)

(七) 论 文 摘 要

电力系统暂态电流的计算·····	卢成钦 何仁杰 (345)
超高电压网暂态短路过程的计算及其对继电保护装置的影响·····	薛玉峰 (345)
集成运算放大器在继电保护中应用·····	梁 懋 (346)
计算机继电保护相关算法的频域分析·····	史世文 (347)
编制DTS—6机电力系统继电保护整定计算程序简介·····	古祥祯 (347)
杭州变电所主变不对称运行的计算及对系统继电保护的影响·····	范锡同 (348)
晶保管继电保护比相技术·····	马师模 (349)
BXS—1A型距离零序电流保护装置·····	华中工学院电力系, 武汉供电局科研室 (349)

晶体管相位比较式三段距离保护·····	宋从矩 (350)
ZGT—1 型故障距离探测器·····	郝连仲 (351)
方向阻抗元件的动特性分析·····	常爰文 (352)
多相补偿阻抗继电器动作性能分析·····	许正亚 (352)
“环形调制器”相位比较式阻抗元件动作原理的分析及其应用·····	林至达 (353)
环形电路比较器在继电保护中的应用及其分析·····	高中德 (354)
接地距离保护的整定配合问题·····	许敬贤 (354)
偏移特性阻抗继电器整定原则的分析·····	齐庆信 (355)
晋京 500 千伏单回线复故障计算结果及相电压补偿相位比较式 方向元件动作性能分析·····	韩元旦 (356)
距离保护的全线相继速动·····	丁功华 (357)
晶体管双重闭锁反向闭锁装置·····	林元勋 马益民 沈庆智 (357)
晶体管低阻抗继电器·····	李秀政 (358)
关于长距离高压输电线方向高频保护的几个问题·····	郑本棗 (359)
分支线路的相差高频保护·····	王壮志 葛耀中 (359)
高频相差动保护装置在分支线上的应用·····	冯匡一 (360)
GB—1 型高频闭锁距离零序方向电流保护装置·····	杨风雏 毛梓英 (361)
陡河——通州同杆并架双回线高频参数测试·····	万焕平 (361)
关于架空线和电缆连接的线路上采用高频保护存在的问题和解决措施·····	朱祥生 (362)
JYQ—1 型远方切机装置·····	蔡振鑫 朱祥云 (363)
BYT—1 型高频移频式远方跳闸装置·····	谢文琪 (363)
ZCG—1A 型晶体管相差动高频保护装置比相环节的可靠措施·····	任志成 (364)
实用模分析法和选择通道·····	卢成钦 府国毅 (364)
多支路分布中性点结构发电机的继电保护研究·····	李 蒙 (365)
BCB—1 型发电机低励磁失步保护的研究·····	姚晴林 刘典声 (366)
关于 100% 定子接地保护灵敏度问题·····	侯炳蕴 (366)
大机组新型转子保护·····	乔焕儒 周丽华 史世文 (367)
大型汽轮发电机转子两点接地保护·····	王维俭 何光华 侯炳蕴 (368)
变压器差动保护的谐波制动判据和制动比大小问题·····	钟锡龄 侯炳蕴 王维俭 (368)
500 千伏大型 变压器采用分侧差动保护·····	宋继成 (369)
两台变压器串联空载合闸电流及其对 BCH 型差动保护的影响·····	罗维国 (369)
ZZJ—1 型振荡起动装置·····	方丽清 (370)
直读式数字故障录波仪的方案选择及电路初步设计·····	李嘉陵 (371)
新型晶体管电流继电器·····	丁功华 (371)
电压比值选相元件的原理与应用·····	陈国建 (372)
利用间歇充电获得平方反比延时特性·····	周春耀 王元梅 曹尔权 刘金铎 (373)
正序电压比较继电器——双母线分列运行的母差选择元件·····	胡俊侯 (374)

过功率继电器	张朝庭 (375)
杭州变电所杭南线零序功率继电器容抗补偿装置	林元勋 沈庆智 (376)
抗震型瓦斯继电器和流速试验台的研制	毛锦庆 (376)
研究继电保护的动模系统	孙光辉 (377)
控制合闸角装置	戴学安 丁功华 (378)
测零装置及其应用	罗源生 (379)
500 千伏晶体管继电保护的 逆变稳压电源	陈万年 (379)
小扰动法在自动调节励磁系统静态稳定分析中的应用	罗源生 (380)
沙田水电站可控硅励磁调节器的改进	刘松林 (381)
变电站电容储能跳闸问题	钟泉发 (381)
补偿原理在平行线路横差保护中的应用	吴恩泽 (382)
自动选线继电保护	熊 森 (383)

(八) 其他论文题目

微型计算机在电力系统中的应用	冯载生
计算机——微处理机继电保护	史世文
应用电子计算机实现继电保护功能	梁合庆
继电保护的新一代——计算机保护	王祖光
电力系统复杂故障计算	韩祯祥 范锡同
500 千伏线路保护的试验	许昌继电器研究所
晶体管继电保护的干扰分析及抗干扰措施	刘镜周
非故障相方向阻抗元件在单相接地故障时感受阻抗分析	常爱文
RXH—02 型小接地电流系统线路保护装置	许昌继电器研究所
ZKH—2A 电气化铁道馈电线成套保护装置	许昌继电器研究所
远方跳闸式保护综述	戴学安
高频相差用于超高压长距离线路问题商榷	梁 懋
TPS—2 型电力系统继电保护远方跳闸装置总结	北京电力试验所
JGX—11A 型高频保护收发讯机起动回路改进	殷庆海
晶体管逻辑控制在电站中实用价值的探讨	李璧还
新型冲击继电器 BC—4 介绍	湖南水电设计院 湘潭继电器厂

CONTENTS

The Calculation of Fault Resistance Under Short Circuits	Yuan Ji-xui (1)
Calculations of Faults Between Two Lines on the Same Tower	Xu Jing-xian (9)
Calculations on the Analysis of Faults on Two Parallel Circuits	Mu Dun-geng (19)
The Effect of Transient Performance of CT and CVT on Ehv Protection	He Bin and Cheng Yushen (36)
Two-Phase Operation of 220KV Transmission Line	Eong Zi-wen (45)
Line and Bus Protection of $1\frac{1}{2}$ Circuit Breaker Connection	Hu Jun-hou (54)
Performance Analysis for Distance Relay by Voltage Vector	Wang Mei-yi (61)
The Basic Equations for the Operating Characteristics of the Impedance Relays.....	Chen De-shu (74)
Sudden Changing Impedance Relay.....	Zhu Shengshi (83)
Transient Characteristics of Mho Relay and suggestions to the Construction of Polarizing Circuit	Hong pai-sun (91)
Behaviour of Mho Relays During Reverse Faults	Li Mu-song (102)
Sine Logic Vector and Its Application.....	Zhang Xu-jun (113)
Transmission Line Relaying System Using Impulse Detecting Principle	Xu Zhi-gang and Ge Yao-zhong (122)
The influence of capacitive current and harmonic on carrier phase comparison protection and their countermeasures	Dai Xue-an Tian Shou-chang Ma Shi-mo and Liang He-ping (130)

The Analysis of Phase-angle and Sensitivity Characteristics of Phase Comparison Carrier Protection	Jin Jian-Yuan (137)
Study of Operating Criteria of Differential Relays.....	Ge Yao-zhong (149)
Quick Response Protection on 500KV Transmission Lines	Ma Chang-gui (158)
New Type Power Line Carrier Protection with Directional Comparison for VH Voltage Transmission Lines	He Jia-li, Zhang Yuan-hui, and Yang Nian-ci (167)
An Investigation on the Adoption of Constant Circulation of Signal Current in Carrier Protection.....	Guo Xiao-zhou (183)
The Ultra-high Frequency Protective Relaying	Wang Chun-sheng and Luo Yi-wan (193)
The Application of Fork Generator and Fork Filter to Micro-wave Protection	Zhou Guo-rong (201)
GY-1 FM Coding System Transfer Trip Device.....	Yang Fong-chu (209)
Phase Selection Element Responding Rate of Change of Phase Current Difference	Liu Yan-cai (217)
Voltage Ratio Relay — A New Type Fault-phase-discriminator for Single Pole Reclosing	Yu Ming-yuan (223)
Monitoring Devices for Power System Stability in Liu-jia Gorge Hydroelectric Station	Feng Zai-sheng (232)
Protection Against Interturn Faults In Synchronous Generator	Hou Xu-guang Yong Shun-yi (240)
Analysis of Single Ground protection in Field Circuit by Measuring Admittance to Earth	Hou Bin-yun and Wang Wei-jian (248)
Loss-of-excitation Protection for Large Turbo-generators	Xu Xi-yuan, Zhai Xiang-wen, Zhou Qiang (256)
Protective Relaying for Loss of Excitation of A.C. Generators	Qian Zi-li Lu Hong-sheng, Jiang Jian-hao, Zhang Zhi-jeng and Yu Wei-yong (263)

A New Differential Relay for Transformer Protection	Wang Zu-guang (269)
The Study of H.V. and E.H.V. Busbar Protection	Chen Eai-qin and Li Jian zong (276)
New Static Phase-comparison Busbar Protection	Lu Ji-huang and Xuan Xiang-xing (284)
Analysis of Generator-Transformer Block Ground Protection Using Third Harmonics.....	Shi Shi-wen and Sun Bin-hua (294)
A Research on the Method of Increasing Sensitivity of Stator Earth-Fault Protection Using Third Harmonic Voltages.	Hou Bing-yun, Wang Wei-jian and Zhou Huei-xin (307)
Research and Operation of Fault Recording Oscillograph with Quick Starting and Memorial Functions.....	Zhang Xiu-wan (315)
Automatic Detecting Devices for Static Protection Equipment	Zhang Jin-hua (326)
Studies on Long-life Contact Materials in Automatic Relays	Lin Ya-qiang, Sun Min-and Zhang Fu-sheng (333)
The Calculation of Transient Currents in Power Systems	Lu Cheng-qin and He Ren-jie (345)
The Calculation of Short Circuit Transients and their Effects on EHV Protection.....	Xue Yu-feng (345)
Integrated Operational Amplifiers Used in Relay Circuit	Liang Mao (346)
Frequency-Domain Analysis of Correlation Algorithm for Computer Relaying	Shi Shi-wen (347)
Computing program for Setting protection Relays with DJS-6 Computer	Gu Xiang-zhen (347)
Computation for Non-Symmetrical Operation of the Main Transformer in Hangchou Substation and Its Influence on System Relay Protection	Fan Xi-tong (348)

Phase-Comparison Methods Used in Transistor Protection Relays	Ma Shi-mo (349)
BXS-1A Distance and Zero-Sequence Current Protection	(349)
Transistorized 3-step Phase Comparison Distance Protection	Song Cong-ju (350)
ZGT-1 Fault Locator.....	Hao Lian-zhong (351)
Dynamic Behavior Analysis of Mho Relay.....	Chang Eai-Wen (352)
Analysis of Performance of Polyphase Distance Relay	Xu Zheng-ya (352)
Application and Analysis of Full-wave Rectifier phase Comparator Impedance Relays.....	Lin Zhi-da (353)
Application and Analysis of Rectifier Bridge Phase Comparator for Protective Relays.....	Gao Zhong-de (354)
Setting of Ground-Distance Relays.....	Xu Jing-xian (354)
Analysis of Setting Principles for the Offset-Impedance Relay	Qi Qing-xin (355)
The Computation of Complicated Faults on A 500KV EHV Transmission Line and The Analysis of Performance of the Directional Relay Based on The Principle of Compensation	Han Yuan-dan (356)
Faster Clearance of Fault on Entire Line by Cascade-Operation of Distance Protection.....	Ding Gong-hua (357)
A Reverse Fault Blocking Device with Double Mho Characteristics Used in Series Compensation Lines	Lin Yuan-ji Ma Yi-Min and Shen Qin-zhi (357)
Transistorized Low-Impedance Relay	Li Xuo-zheng (358)
Some Problems Concerning the Directional Comparison Carrier Protection on EHV Lines	Zheng Ben-rong (359)
Phase-Comparison Carrier protection for Multi-Terminal and Tapped Lines.....	Wang Zhuang-zhi and Ge Yao-zhong (359)
Application of Phase-Comparison Carrier Protection on Three-Terminal Transmission Lines	Fong Kuang-yi (360)

GB-1 Carrier Blocking Distance and Directional Zero-Sequence Current Relay	Yang Fong-chu and Mao Zi-ying (361)
The Measurement of Carrier Parameters for a Two-Parallel-Circuit Line on Same Towers.....	Wan Huan-ping (361)
Measures Taken in the HF Channel Impedance Matching Between Cable and Overhead Line Sections	Zhu Xiang-sheng (362)
JYQ—1 Device Use for Remote Shutdown of Generator	Cai Zhen-xin and Zhu Xiang-yun (363)
BYT—1 Frequency-Shift Remote Tripping Device	Xie Wen-qi (363)
Phase Comparison Circuit of the 2CG-1A Transistorized Phase Comparison Protective Device.....	Ren Zhi-cheng (364)
A Simplified Mode Analysis and Its Applications	Lu Cheng-qin and Ma Guo-yi (364)
Research on Protective Relay System Used in Generator with The Multibranches Distributed Neutral Terminal	Li Meng (365)
BCB-1 Underexcitation Protection of Generator	Yao Jing-lin and Lu Dian-sheng (366)
On the Sensitivity of 100% Stator Ground Protection	Hou Bing-yun (366)
Rotor Protection Responds to 2nd Harmonic Component of Stator Voltage	Qao Huan-ru, Zhou Li-hua and Shi Shi-wen (367)
The Protection of the Double Ground Fault in the Rotor of Large Turbogenerator.....	Wang Wei-jan He Guang-hua and Hou Bing-yun (368)
The Harmonic Restraint Criterion and Restraint Ratio of the Differential Protection of Transformer	Zhong Xi-ling Hou Bin-yan and Wung Wei-jian (368)
Differential Protection for Separate Windings of 500KV Large Power Transformer	Song Ji-cheng (369)
NO Load Switching Current of Two Transformers in Series and its Effect on the BCH Differential Protection.....	Luo Wei-guo (369)
ZZJ-1 Power Swing Starting Device	Fang Li-qing (370)

The Preliminary Design of a Digital Fault Wave Form-Recorder	Li Jia Ling (371)
A New Type of Transistorized Current Relay.....	Ding Gong-hua (371)
The Principle and Application of Phase-Selection Unit Using Voltage-Comparison Method	Chen Guo-jian (372)
Inverse Time Characteristic Obtained by Interrupted Charging on RC Circuit.....	Zhou Chun-yao Wan Yuan-mei Cao Er-quan Liou Jin-duo (373)
Positive Sequence Voltage Comparison Relay—A New Selection Element of Busbar Protection	Hu Jun-hou (374)
Overpower Relay.....	Zhang Chao-ting (375)
Capacitance Compensating Measures of a Zero-Sequence Direction- Power Relay	Lin Yuan-ji Shen Qing-zhi (376)
The Development of Anti-Vibration Gas Relay and Flow Velocity Test Equipment.....	Mao Jin-qing (376)
The Dynamic Simulation System for the Studing of Protective Relays	Sun Guang-hui (377)
The Improvement of SCR Field Regulator of SARTIEN A Switching Angle Control Device	Dai Xue-an Ding Gong-hua (378)
Zero-Crossing Detectors Used for Synchronism Check	Luo Yuan-sheng (379)
A DC/DC Power Supply Converter for The 500KV Transistorised Relay	Chen Wan-nian (379)
Analysis of the Steady State Stability of an Excitation Regulation System by Perturbation.....	Luo Yua-sheng (380)
Hydroelectric Power Station.....	Liu Song-lin (381)
Some Problems About the Use of Capacitor as Tripping Source in a Substation.....	Zhong Quan-fa (381)
The Application of Compensating Principles in Parallel Lines Differential Protection.....	Wu En-ze (382)
Relay Protection of Automatic Selection of the Faulty Distribution Line	Xiong Sen (383)

电力系统短路时过渡阻抗的计算

The Calculation of Fault Resistance Under Short Circuits

袁季修

Yuan Ji-xiu

提 要

本文讨论高压电力系统短路时的过渡阻抗,包括电弧电阻和杆塔接地电阻等的计算方法,并提出在继电保护整定计算或特性分析时应考虑的过渡电阻值。

前 言

电力系统中发生短路故障时,故障点可能有过渡阻抗。最常见的过渡阻抗是电弧电阻和杆塔接地阻抗,也有少数故障是导线经其他物体放电而短路或接地,例如向树枝放电或导线断线后与地接触,此时过渡阻抗还包括该物体电阻或地面接触电阻及大地的电阻。

过渡阻抗对短路电流的数值和相位均产生影响,因而对继电保护的動作性能也有影响,例如在保护区内故障时拒动或在保护区外故障时误动。线路越短,影响也越显著。过渡阻抗不易精确计算,因为影响它的因素很多,变化范围也很大。电弧电阻和杆塔接地电阻一般是可以估算的,下面将列举和分析其计算方法和电阻值的范围。至于导致短路的外物电阻和导线与地的接触电阻,其值在很大范围内变化,无法准确计算。通常只能考虑继电保护装置具有适当的灵敏度,以便在这种过渡阻抗下短路时能够动作。

一、电 弧 电 阻

对电弧电阻的特性,许多人曾做过详尽的研究。对于稳定电弧,通常认为电流值较大(如100安以上)时,电弧电位梯度基本上与电流无关,约为15伏/厘米左右;电流值较小时,电位梯度随电流减小而增大。见〔文献1〕。对于交流电弧,由于电流不断变化,电弧柱直径和温度也相应的不断变化,因此电弧电位梯度在每半周的变化是比较复杂的。各国工程计算时所采用的电弧电阻计算公式也不完全相同,使用较广泛的有以下两种:

1. 近似认为交流电弧柱中的电位梯度与电流无关而为常数。电弧电阻计算式为

$$R_a = \frac{C}{I_a} I_{a0} \quad (1)$$

式中 R_a ——电弧电阻值 (欧)
 I_a ——电弧电流有效值 (安)
 l_a ——电弧长度 (米)
 C ——与电弧特性有关的常数

各国采用的 C 值不完全相同。英、美某些单位取电弧电位梯度为 440—450 伏/呎, 相当于 $C \approx 1400$ —1500 [文献 2、3]。苏联取电弧电位梯度为 1400—1500 伏/米, 但计算电弧电阻时是采用电弧电流峰值, 所以相应的 $C \approx 1000$ —1050 [文献 4、5]。

2. 认为电弧电位梯度随电流减小而增大。电弧电阻计算式为

$$R_a = \frac{C}{I_a^{1.4}} l_a \quad (2)$$

式中各符号同公式(1)。英国某些单位采用此计算式, 其中 $C = 28700$, 当 l_a 的单位为呎时, $C \approx 8750$ [文献 2、6]。

按公式(1)、(2)算出的不同电流时每米长电弧电阻值示于图 1。

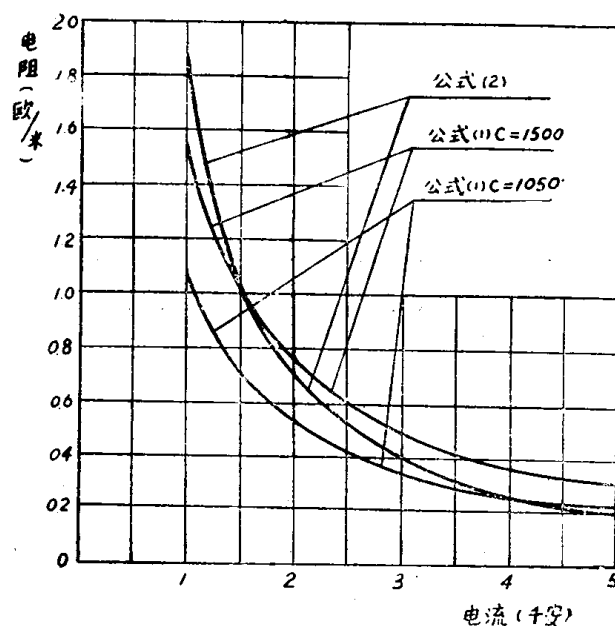


图1 不同电流时电弧电阻值

电弧长度 l_a 在故障开始时可取导线间距离 (相间短路) 或导线对杆塔距离 (接地短路)。110—500 千伏线路导线间或导线对杆塔距离的概略值如表 1。

表 1

电 压 (千 伏)	110	220	330	500
导线间距离 (米)	4.5	7	9	12.5
导线对地距离 (绝缘子串长度) (米)	1	2	3	4.5

电弧将随燃弧时间延长而伸长，使电弧伸长的因素有：①电动力；②空气受热对流；③风吹。通常，风是使电弧伸长的主要因素，有风时，前两个因素一般可忽略。电弧伸长的计算式为

$$l_t = l_0 + C' V t. \quad (3)$$

式中 l_0 —— 短路开始时电弧长 (米)
 l_t —— t 秒后电弧长 (米)
 V —— 风速 (米/秒)
 C' —— 常数

常数 C' 一般取 2 [文献 2]。风速可参照线路设计时大气过电压的计算风速，取 10 米/秒左右。

由于电弧燃烧时将产生激烈的抖动、扭曲和短路，实际上不可能随时间增大而无限伸长，当伸长到一定长度时，就将扭曲短路。据调查，在高压系统中短路时，电弧灼伤痕迹距短路点极少有超过 8—10 米的。

总之，如 110 和 220 千伏系统的最小短路电流为 2000 安，330 和 500 千伏系统为 3000 安，按表 1 所述的长度，由图 1 可得相间短路电弧电阻初始值为 5 欧以下，接地短路则为 2 欧以下。一般情况下短路电流比上述值大得多，电弧电阻将更小些。

短路延迟切除 0.5—1 秒时，风可能使电弧伸长 10—20 米，在电弧电流较小的情况下，电阻可能增加 5—10 欧。

二、杆塔接地阻抗

送电线路的导线对杆塔短路接地时，过渡阻抗中除了电弧电阻外，还应包括杆塔接地阻抗。在我国，110 千伏及以上线路通常都有避雷线，各杆塔实际上是由接地的避雷线（地线）连结在一起的。所以短路接地阻抗不是一个杆塔的接地阻抗，而是由避雷线连接的一串杆塔的等值接地阻抗。此外，在计算杆塔接地过渡阻抗时，还应考虑导线和避雷线的互感影响。

1. “杆塔—避雷线”接地系统的阻抗。

由杆塔和避雷线组成的接地系统如图 2。

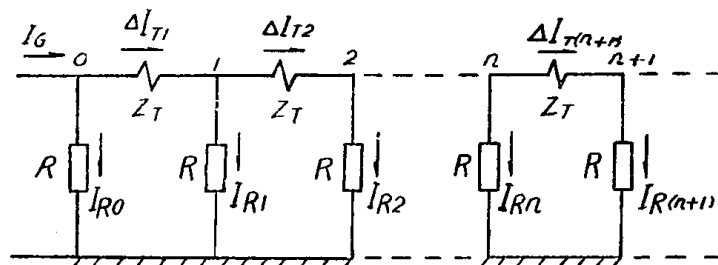


图2 “杆塔—避雷线”接地系统阻抗及电流分布

图中每个杆塔的接地电阻为 R ，每档避雷线的阻抗为 Z_T ，当线路较长，杆塔数目很多，

而且 $Z_T \ll R$ 时, 由[文献7]可知:

$$\begin{aligned}\Delta I_{Tn} &= I_G e^{-\beta n}, \\ I_{Rn} &= I_G (1 - e^{-\beta}) e^{-\beta n}.\end{aligned}$$

式中

$$\beta = \sqrt{\frac{Z_T}{R}}.$$

(4)

考虑到 $\beta \ll 1$, 因而 $1 - e^{-\beta} \approx \beta$, 故“杆塔—避雷线”接地系统的综合等值阻抗为

$$Z_\Sigma = \frac{I_{R0} \cdot R}{I_G} = (1 - e^{-\beta}) R \approx \sqrt{Z_T R}.$$

如果在线路中间短路, 短路点两侧杆塔数都较多时, 可以求出综合阻抗为

$$Z_\Sigma = \frac{1}{2} \sqrt{Z_T R}. \quad (5)$$

实际上离线路一端约5公里左右短路, 使用(5)式的误差已不大, 故一般均可用(5)式计算。

2. 送电线的导线与避雷线之间的互感影响

图3表示线路的零序阻抗系统, 图中避雷线和杆塔零序阻抗 Z_{T0} 、 R_0 分别为实际阻抗 Z_T 、 R (参见图1) 的3倍, 图中所示电流为零序电流, 是实际接地电流的 $\frac{1}{3}$ 。

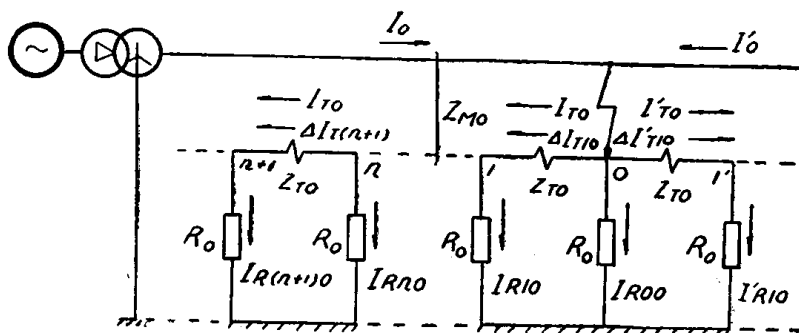


图3 接地零序阻抗网络及电流分布

由于导线上的零序电流 I_0 将在避雷线上每档感应出电压 $I_0 Z_{M0}$, 此电压将在避雷线上产生电流:

$$I_{T0} = \frac{Z_{M0}}{Z_{T0}} I_0. \quad (6)$$

式中 Z_{M0} 为导线与避雷线之间的零序互感阻抗。

在避雷线上每档 I_{T0} 都相同, 它在避雷线上产生的电压降与 I_0 在避雷线的感应电势相抵消, 故对避雷线上的电压分布没有影响。避雷线上的电压由 ΔI_{Tn} 确定。 ΔI_{Tn} 是各档不同的。通常称 I_{T0} 为空间强制电流分量, ΔI_{Tn} 为空间自由电流分量。

由上述的电流分布可知, 线路上的零序电流 I_0 只有一部分是通过杆塔入地再回到电源点的, 该部分电流为:

$$I_{G0} = I_0 - I_{T0} = \left(1 - \frac{Z_{M0}}{Z_{T0}}\right) I_0. \quad (7)$$