

绝缘地线间隙放电对距离保护影响的研究

文明浩¹, 陈德树¹, 吴伯华², 陈继东²

(1. 华中理工大学, 湖北 武汉 430074; 2. 华中电力集团技术中心, 湖北 武汉 430077)

摘要: 首先从理论上分析了绝缘地线间隙放电对距离保护的影响, 并且用 ATP 对几种常见的接地距离保护进行了充分的数字仿真, 最后得出接地距离保护在地线分段带间隙的线路上宜按所有间隙都击穿情况下的阻抗参数进行整定。

关键词: 绝缘地线; 间隙放电; 接地距离保护

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)10-0025-03

1 概述

我国 220kV 及以上的高压、超高压交直流输电线路均采用两根避雷线, 其常规的作法是选用钢绞线并逐塔接地, 这无疑会显著增加输电线路的电能损耗。计算表明: 220kV 单回线路的地线损耗约为 $(5 \sim 10) \times 10^4 \text{kWh/百公里} \cdot \text{年}$, 330kV 约为 $60 \times 10^4 \text{kWh/百公里} \cdot \text{年}$, 500kV 约为 $500 \times 10^4 \text{kWh/百公里} \cdot \text{年}$ 。从节能的角度出发, 我国绝大部分 220、330、500kV 输电线路的架空地线(避雷线), 均设计成分段绝缘的方式。即将架空地线经专用绝缘子对杆塔绝缘, 并适当分段(每段长 10~30km), 然后居中一点接地。绝缘地线和三相载流导体共同构成输电线路的统一电磁场。由于静电和电磁耦合, 地线因之产生静电感应分量和电磁感应分量。通常, 在地线两端绝缘子的旁边都装有并联保护间隙。当绝缘地线上的感应电势大于绝缘子并联间隙的闪络电压时, 会引起间隙的击穿放电, 由此导致地线环路感应电流的形成, 并对线路零序电流产生强烈的去磁作用, 进而降低输电线路单位长度等值零序阻抗的大小, 并影响其相位。^{[1][2]}

在间隙放电情况下, 输电线存在高频干扰与参数突变的问题。单位长度的零序阻抗实际上是个变化值, 但是工程上一般只能按实际测量得到的线路阻抗参数来整定, 显然一般实际测量的是地线间隙没有击穿时的阻抗参数, 要求将所有的地线间隙都短接以获得地线间隙都击穿时的阻抗参数也不太实际。在目前实际运行的分段绝缘的架空地线, 常规距离保护经常出现一些问题, 如由于保护异常动作造成线路无法投入运行, 接地故障时保护出现超越等等。因此十分有必要研究常规距离保护在地线分段绝缘情况下的动作特性。

架空地线的间隙放电主要影响零序网络参数,

包括幅值和相位。对零序网络参数变化的敏感度随保护类型而异。

相间短路保护不反映零序网络参数, 因此受影响主要是接地距离和零序方向。由于零序方向的相位测量裕度很大, 而间隙放电引起的零序电流、电压相位变化相对较小。因此下文主要研究接地距离保护受影响的情况。

2 绝缘地线间隙放电对继电保护的影响的研究

由于通常保护阻抗的整定按正常工况下的线路阻抗整定, 故障发生时地线间隙放电改变零序阻抗 Z_0 的模值和相位, 并影响零序网络电流的分配, 进而影响补偿电压的正确性, 造成使用补偿电压的距离保护不正确动作。同时地线间隙放电会对故障后的暂态过程产生影响, 这也可能对保护的動作特性产生不利的影响。一般分析常规距离保护采用工频向量分析方法, 但考虑到间隙放电使零序阻抗突变这个暂态过程可能对继电保护产生的影响, 本文还采用了 ATP 仿真方法研究一些典型继电器的動作特性。

2.1 绝缘地线间隙放电对继电保护的影响向量图分析

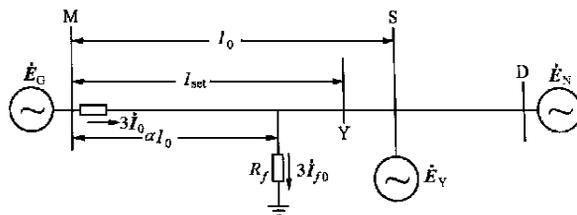


图1 系统模型

图1所示系统是一个三端电源系统, 三侧电源电势分别为 \dot{E}_G 、 \dot{E}_Y 、 \dot{E}_N , MS 为一条长 120km 的线

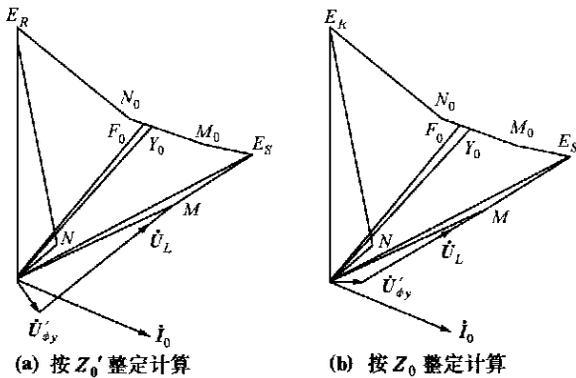
路,SD 为一条长 68km 的线路, F 为故障点,继电器在 M 侧线路上, Y 为整定点, R_f 为单相接地故障过渡电阻, l_0 为 MS 线路的全长, l_{set} 为整定点到 M 母线的距离, 表示 MF 距离占线路全长的比率。这里只考虑单相接地故障, 整定为 MS 线路阻抗的 80%, 由于反方向故障可以依靠零序方向可靠的把关, 因此仅仅设置了 M 母线这一个反方向故障点。

一般在工程上继电保护的整定采取按正常情况下末端短接时的测量值进行整定。由于测量时在电路上所加的电压一般较低, 间隙都不会击穿, 则实际上就是按照间隙都不击穿时的线路阻抗来整定。然而工程上地线间隙又是按保证单相接地故障时能可靠击穿来调整的。因此在线路发生接地故障时, 地线间隙全部放电击穿, 此时线路的零序阻抗与整定的不一致可能会造成接地距离保护的不正确动作。图 2 表示线路末端故障时, 地线间隙全部放电击穿情况下由两种整定阻抗得到各自的电压向量图。故障相的补偿电压为 $\dot{U}_y = \dot{U} - (\dot{I} + K 3 \dot{I}_0) Z_{set}$

$$\dot{U}_L = (\dot{I} + K 3 \dot{I}_0) Z_{set}$$

\dot{U} 、 \dot{I} 分别为故障相的电压和电流; \dot{I}_0 为通过继电器的零序电流; K 为零序补偿系数; Z_{set} 为接地距离保护的整定阻抗。

当整定按架空地线分段绝缘, 但间隙没有放电时单位长度零序阻抗 Z_0 计算 K 值和 Z_{set} 如图 2(a) 所示。 Z_0 的模值和相角都大于实际故障时(即间隙都击穿时)的零序阻抗 Z_0 , 使得 \dot{U}_L 模值和相角也增大, 从而使得 \dot{U}_y 相角减小, 比较图 2(b) 可以清楚的看到这一点。图 2(b) 是按间隙都击穿时单位长度零序阻抗 Z_0 计算 K 值和 Z_{set} 的向量图。



注: E_S 即电源 E_G ; E_R 为 E_Y 和 E_N 的等效电源

图 2 两种零序阻抗整定外部短路时的电压向量图比较

由图 2 可见故障前后零序阻抗的突变造成无法正确的计算补偿电压, 这可能是接地阻抗继电器不

正确动作的主要原因。下面将用数字仿真的方法分析几类典型的继电器在地线分段绝缘地线路上的动作情况。

2.2 几种接地距离继电器 ATP 仿真结果

华中网引进的线路保护有 ASEA 公司的 RAZFE 距离, BBC 公司的 LZ96 距离。考虑到 RAZFE 接地距离保护是典型的多边形类接地距离继电器, LZ96 接地距离保护是带方向的接地阻抗圆特性继电器, 这里就主要分析三种接地距离继电器: 双下偏 \dot{I}_0 极化接地距离继电器^[3]、多边形类接地距离继电器、带方向的接地阻抗圆特性继电器。后两者的阻抗动作特性图如图 3 所示。图中 Z_{set} 为整定阻抗, R_{dz} 、 X_{dz} 分别为整定阻抗 Z_{set} 的实部和虚部。

ATP 仿真系统模型如图 1 所示, 系统参数如下:

电压等级: 500kV

电源 G 正序阻抗: $0.0636 + j5.0122$

零序阻抗: $0.0276 + j1.6792$

电源 Y 正序阻抗: $0.0636 + j5.0122$

零序阻抗: $0.0276 + j1.6792$

电源 N 正序阻抗: $0.3169 + j25.059$

零序阻抗: $0.1399 + j8.4000$

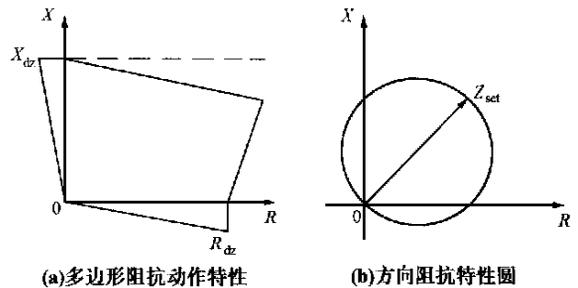


图 3 阻抗动作特性动作圆

MS 为一条 120km 线路, 导线 G-70GW, ATP 仿真采用 12 段 5 导线集中参数模型链接方式, 整条线路 A、B、C 三相共换位 12 次。两根地线每根分为 6 段, 每段地线中点接地, 两端各设一个间隙, 间隙击穿电压为 10kV。通过仿真计算可以得到架空地线间隙都击穿的情况单位长度零序阻抗 Z_0 为 $0.295 + j1.087$, 架空地线分段绝缘但间隙没有放电时单位长度零序阻抗 Z_0 为 $0.104 + j1.252$ 。从 M 母线到 D 母线共设定了 17 个故障点, 其中 M 母线上一个, MS 线路上 13 个, SD 线路上 3 个。SD 线路为一条长 68km 的线路, 采用分布参数模拟。ATP 对 8 种过渡电阻, 3 个电源 14 种电势角组合, 17 个故障点共 1904 个故障状况进行了仿真。

ATP 仿真中各个继电器动作情况为:

(1) 低过渡电阻故障时,仿真结果表明地线各个间隙都能可靠的击穿,故障后的单位长度零序阻抗为 Z_0 ,显然此时按 Z_0 整定是与实际情况一致的。仿真结果显示按 Z_0 整定三种继电器区内正确动作,区外故障继电器能可靠的不动作。按 Z_0 整定计算,在线路末端区外金属性接地故障时,三种继电器都有不同程度的误动。

(2) 随着过渡电阻的增加,继电器的正确动作率以不同程度趋势下降,其中双下偏 i_0 极化接地距离继电器耐受过渡电阻能力较强,带方向的接地阻抗圆特性继电器和多边形类接地距离继电器耐受过渡电阻能力相对较弱。这些是由继电器本身原理所决定的,由于不是本文讨论的范围,在此不再赘述。

(3) 由于过渡电阻的增加使得继电器的保护范围呈现不同程度的缩小,从而在相当程度上抵销了按 Z_0 整定计算造成的超越保护范围动作的趋势。

(4) ATP 仿真还发现即使按间隙全部击穿时单位长度零序阻抗 Z_0 计算 K 值和 Z_{set} ,地线分段带间隙情况下也可能继电器越界误动。ATP 仿真数据显示此时虽然所有间隙都放电击穿,然而间隙放电的过渡过程时间较长,从第一个间隙放电到最后一个间隙放电时差接近甚至超过 1ms。如果延时一个周波开放继电器,保护则又能正确的不动作。由此可见是间隙放电的过渡过程影响了继电器所使用电压电流向量的大小和相位,造成故障发生后约一个周波内保护可能误动。

3 结论与建议

ATP 仿真结果显示各接地距离继电器按架空地线间隙都击穿时单位长度零序阻抗 Z_0 整定计算时,动作情况比较正常,无越界误动的情况;而按架

空地线分段绝缘但间隙没有放电时单位长度零序阻抗 Z_0 整定计算,则出现 10% ~ 20% 的越界误动。由于地线间隙是按保证单相接地短路间隙可靠击穿来调整的,因此按 Z_0 整定计算是比较恰当的。但是工程上一般只能按实际测量得到的线路阻抗参数来整定,显然一般实际测量的是地线间隙没有击穿时的阻抗参数,要求将所有的地线间隙都短接以获得地线间隙都击穿时的阻抗参数也不大实际。通过数字计算获得间隙击穿与间隙没有击穿时零序阻抗参数之间的关系,然后利用此关系就可以由实际测量值按比例推算出地线间隙全部击穿时的零序阻抗参数 Z_0 。保留一定的裕度按此推算值 Z_0 整定计算也是可行的。如果对保护动作时间要求不是很苛刻,建议在故障后一个周波开放继电器以有效的抑制故障后间隙放电过渡过程对保护的不利影响。

参考文献:

- [1] 张成林. 关于 500kV 东辽线架空避雷线对地线绝缘间隙放电情况调查. 吉林电力技术, 1987, (1).
- [2] 杨军, 吴伯华. 绝缘地线间隙放电及其对继电保护的影响. 中国电力, 1998, (2).
- [3] 叶萍, 陈德树. 一种能克服 i_0 极化接地距离继电器区外稳态超越的新方案. 中国电机工程学报, 1995, (3): 199 ~ 203.

收稿日期: 2000-03-13

作者简介: 文明浩(1973-),男,博士研究生,主要从事高压线路保护的研究; 陈德树(1930-),男,教授,博士生导师,主要从事电力系统自动控制及微机继电保护的研究; 吴伯华,男,高工,主任工程师,主要从事高压测试与现场服务方面的工作; 陈继东(1973-),男,硕士,主要高电压技术方面的工作。

Study on the influence of the gap disruptive flashover of insulated groundwire on distance relay

WEN Ming-hao¹, CHEN De-shu¹, WU Bo-hua², CHEN Ji-dong²

(1. Central China University of Technology, Wuhan 430074, China; 2. Central China Electric Power Group, Wuhan 430077, China)

Abstract: This paper analysis theoretically the influence of the gap disruptive flashover of insulated groundwire on distance relay, and performance of several usual earthfault distance protections have been extensively tested by using ATP. The results of simulation studies indicate that setting of earthfault distance protection on sectionalized groundwire with gap should be calculated on all the gaps disruptive flashover.

Key words: insulated groundwire; gap disruptive flashover; earthfault distance protection