

基于逻辑“与”关系的单相接地故障定位方法

分析了中性点不接地系统单相接地时和正常运行时零序电流和零序电压之间的相位差,得出单相接地故障时零序电流超前零序电压 90° 、非故障时零序电压滞后零序电流 90° 的结论,提出线路单相接地故障的判别方法。基于线路的拓扑结构将线路划分为 N 条支路,并将监测点测量到的模拟量转化为数字量,根据各条支路上数字量逻辑“与”的结果定位出线路故障段,仿真结果证明这种故障区段定位方法有令人满意的性能。

张华中 朱玲玲 史宏伟 梅 玫 李 琳/周口供电公司

0 引言

国内3~35 kV配电网中性点一般不直接接地,这种运行方式在系统发生单相接地时,短路电流实际为系统的容性电流,数值很小,甚至不及线路的负荷电流,一般可以继续运行1~2 h,不影响三相用户的供电,但是系统中性点会发生偏移,非故障相电压升高为线电压,容易引起非故障相绝缘结构的损坏,形成相间短路。因此,为了切实提高系统的供电可靠性,需要快速对线路故障区段进行定位,隔离故障点。国内外专家就线路故障区段快速定位问题开展了大量的研究,故障选线的方式大致可分为稳态分量法、暂态分量法和注入信号法。文献[1]论述了非直接接地系统单相接地故障选线方法的发展史,系统归纳和比较了目前各种选线原理和方法;文献[2]提出基于小波变换与BP神经网络相结合实现小电流接地系统单相接地故障的定位方法;文献[3]提出一种针对架空配电网且根据故障电流信息改进的故

障定位策略,利用重合闸与分布式电源脱网的配合,解决含分布式电源架空配电网故障定位的难题;文献[4]提出一种基于TV在线注入信号及神经网络跟踪小波变换模极大值变化的配电网故障定位方法;文献[5]提出一种基于接地相过电流信息连贯性的接地故障区域定位判据;文献[6]提出一种基于蚁群算法的神经网络配电网故障选线方法;文献[7]提出一种以图和树的结构表示和处理配电线路区段信息的方法。本文首先分析了中性点不接地系统发生单相接地故障时流过线路的零序电压和零序电流之间的相位关系,根据这种关系将故障点上下游测量模拟量转化为易于实现的“1”和“0”的逻辑量,然后通过带有时延的逻辑“与”关系定位出线路的故障区段。

1 中性点不接地系统单相接地故障分析

中性点不接地系统单相接地时电压电流相量如图1、图2所示。

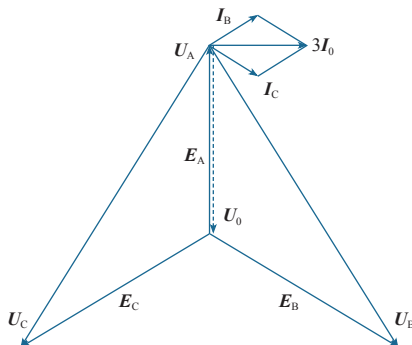


图1 非故障线路相量

图中, E_A 、 E_B 和 E_C 分别为系统三相

关键词/Keywords

零序电压.
零序电流.
中性点不接地系统.
逻辑量.

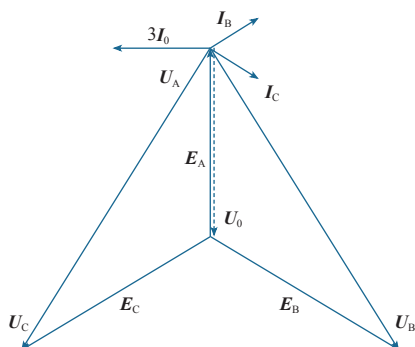


图2 故障线路相量

电源电动势； U_A 、 U_B 和 U_C 分别为系统三相电压； U_0 为故障点处零序电压； I_B 、 I_C 分别为A相接地时B、C相线路对地电容电流； $3I_0$ 为故障线路保护安装处的零序电流。

当系统发生金属性接地短路时，接地相对地电压为零，非故障相电压升高 $\sqrt{3}$ 倍，电网出现零序电压和零序电流，零序电压的相量与故障相电动势的相量大小相等，方向相反。故障线路零序电流滞后零序电压 90° ，非故障线路零序电流超前零序电压 90° 。

中性点不接地系统线路单相接地时等效零序网络如图3所示。

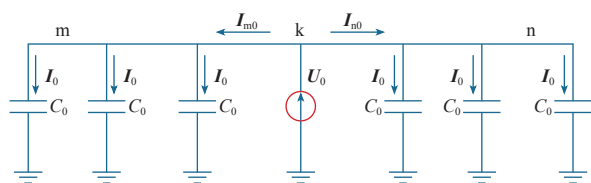


图3 等效零序网络

图中，线路m、n端分别为线路母线侧和负荷终端侧； C_0 为等效之后线路对地零序分布电容； I_{m0} 、 I_{n0} 分别为由故障点k流向m、n端的零序电流； I_0 为各段线路流向大地的零序电容电流。

故障点、线路的分布电容和故障线路构成零序电流通路，零序电流由故障点分别流向线路母线侧和线路负荷终端。由于分布电容的分流作用，零序电流幅值从故障点向线路两侧呈逐渐减小趋势。若假定线路km段为故障点的下游线路段，线路kn段为故障点的上游线路段，则故障下游段零序电压相位超前零序电流相位 90° ；相反，故障上

游段零序电压相位滞后零序电流相位 90° 。

2 中性点不接地系统单相接地故障定位

某110 kV变电站10 kV出线拓扑结构如图4所示。图中，OD为主干线；AE、BF和CG分别为分支线路；黑色的点为零序电流监测点。根据图中线路上设置的故障点位置，区域I中O、A和E点为下游线路段监测点，区域II中B、C、D、F和G点为上游线路段监测点。

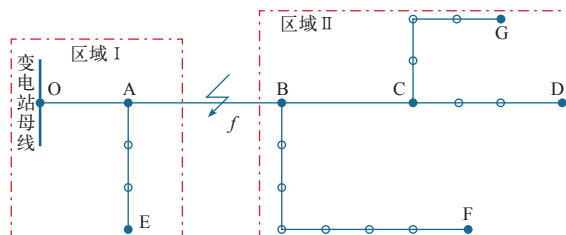


图4 10 kV辐射状线路

为了使线路故障区段定位方法易于实现，且信息传输量小，应用时可以采用将监测点测量到的模拟量转化为数字量的方法。在此这样定义：若监测点零序电压相位超前零序电流相位 90° ，则数字量赋值为“1”；若监测点零序电压相位滞后零序电流相位 90° ，则数字量赋值为“0”。各监测点采集的数字量之间采用有时间延时的逻辑“与”进行逻辑运算，当逻辑输出结果出现零时停止计算，由此可以断定此监测点和上一个监测点之间的线路为故障段，如图5所示。

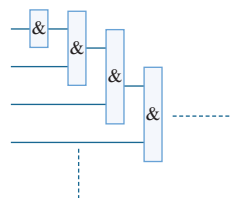


图5 故障定位逻辑

根据线路的拓扑结构，可以将线路分成 N 条支路。图4所示配电线路可分为四段，即

- 1) 支路I：O→A→B→C→D。
- 2) 支路II：O→A→E。
- 3) 支路III：O→A→B→F。
- 4) 支路IV：O→A→B→C→G。

这种分类方法的最大优点是线路上发生的大多

数故障与多条支路的测量结果可以相互印证；缺点是增加了计算量，但对计算时间基本上不影响。

实际应用中应注意如下几个问题：

- 1) 线路发生接地故障时，系统可能会通过过渡电阻或者弧光电阻接地，另外测量时存在一定假设，零序电压和零序电流之间的相位差可整定为 $\pm 60^\circ$ 。
- 2) 线路上挂接有三相电压互感器或者配电自动化程度较高的馈线，零序电压可取自线路；否则零序电压应取自变电站10 kV母线电压互感器。
- 3) 在经济允许的情况下，为了缩短故障线段范围，可以增加监测点数量。
- 4) 监测点数据可以通过GPRS、光纤和载波等方式传播。由于传送数量小，配电自动化水平低的线路可以优先选用GPRS方式传播。
- 5) 实现逻辑“与”关系时，也可以将线路分割成相互有交集的区域，从而实现分区域判断。
- 6) 这种在负荷终端设置监测点的方式，需要在线路末端装设小电容。

3 ATP仿真试验

为了验证本定位方法在实际现场的可行性，对系统构建了仿真模型，如图6所示。图中变电站10 kV母线未装设消弧线圈，配出线路全部为LGJ-240绝缘导线，导线在杆塔上呈三角形排列。仿真时在线路不同的区段上设置6种单相接地故障，建模时线路段的零序分布电容都等效到线路段的两个端点，这样虽增大了工作量，但能相对真实地反映线路故障。这条配电线路主干及分支末端未安装低电压补偿装置，建模时在主干及分支末端人为地添加了小电容。仿真计算过程中采用快速傅里叶变换算法。

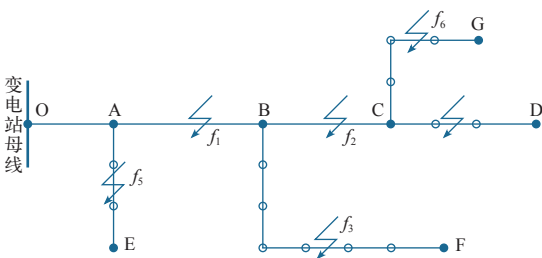


图6 仿真验证

在线路AB、BC、BF、CD、AE和CG段分别设置 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 、 f_5 和 f_6 共6处单相接地故障，在线路上装设了8个监测点。仿真时 f_1 、 f_2 故障为金属性接地故障； f_3 、 f_4 故障过渡电阻为5 Ω ； f_5 、 f_6 故障过渡电阻为10 Ω 。在过渡电阻存在和采用母线侧电压互感器开口零序电压的情况下，零序电压和零序电流之间的相位差与 90° 的误差都在 5° 范围以内，各监测点输出的逻辑量如下表所示。

表 在线路不同地点故障时逻辑量

故障点	O	A	B	C	D	E	F	G
f_1	1	1	0	0	0	1	0	0
f_2	1	1	1	0	0	1	1	0
f_3	1	1	1	1	1	1	0	1
f_4	1	1	1	1	0	1	1	1
f_5	1	1	1	1	1	0	1	1
f_6	1	1	1	1	1	1	1	0

为了更形象地说明此故障定位方法的准确性，这里限于篇幅以故障点 f_1 和 f_6 为例画出了4条支路的仿真验证图，如图7、图8所示。从图7可以清楚地看出，监测点测量数据在监测点B之后逻辑量发生跳转，故障发生在AB段，并且4条支路中有3条支路之间可以相互印证；同样，从图8可以清楚

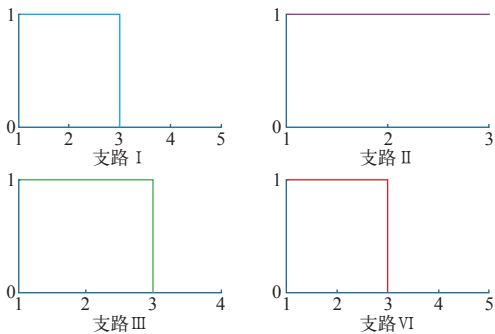


图7 f_1 故障仿真验证

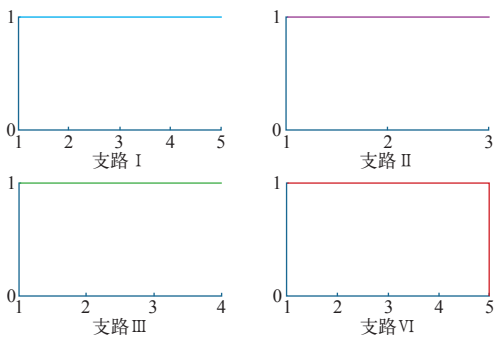


图8 f_6 故障仿真验证

看出故障发生在支路VI的CG段。

4 结束语

1) 本文就中性点不接地系统线路构建故障区段定位的数学模型, 本方法能够有效地实现故障区段的定位。

2) 本方法根据零序电压和零序电流之间的相位关系求出监测点的逻辑量, 利用带有时延的“与”逻辑关系定位出故障区段, 在实际应用中易于实现。

3) 若线路末端未装设无功补偿设备, 则需在线路末端安装10 kV小电容, 由于容量较小, 可以集成到故障测量设备中, 这样克服了线路末端发生故障时零序电流数值太小、不易监测的问题。

4) 目前, 变电站10 kV母线都安装有消弧线圈, 实际应用中可以和其他数学模型结合, 形成多判据判别方法。

参考文献

[1] 李东辉, 史临潼. 非直接接地系统单相接地故障选线方法综述 [J]. 继电器, 2004, 32 (18) :

74-78.

[2] 李振然, 贾旭彩, 李斌. 基于小波变换与 BP 神经网络相结合的配电网单相接地故障定位方法 [J]. 继电器, 2004, 32 (9) : 24-26.
[3] 刘健, 张小庆, 同向前, 等. 含分布式电源配电网的故障定位 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37 (2) : 36-42.
[4] 蔡维, 张雪松, 刘承志, 等. 基于PT在线注入信号及神经网络跟踪小波变换模极大值变化的配电网故障定位方法 [J]. 继电器, 2006, 34 (23) : 44-48.
[5] 刘健, 张小庆, 张志华, 等. 配电网两相接地短路故障定位与供电恢复 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37 (5) : 105-110.
[6] 庞清乐, 孙同景, 孙波, 等. 基于蚁群算法的神经网络配电网故障选线方法 [J]. 继电器, 2007, 35 (16) : 1-6.
[7] 郑顾平, 张利, 姜超, 等. 中性点不接地系统单相接地故障区段在线定位 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37 (3) : 110-115.

(收稿日期: 2015-07-15) **EA**

(上接第58页)

具有的全部分析功能。

2) 提供给客户最大限度的人机交互接口, 允许用户按照自己的意愿编写符合规范的分析公式, 用户可随时通过执行看到直观的分析结果。

3) 对于一些用户常用的分析, 以按钮的形式固定在公式编辑器界面上, 用户只要单击相应的按钮即可获得对应的分析公式, 并可对公式进行再编辑, 同时可随时对用户编辑后的分析公式进行校验, 以帮助用户编写出符合规范的分析公式。

4) 用户可随时将编写过程中或编写好的分析公式进行存储, 需要时也可随时调出进行重新编写。

本文实现的公式编辑器还存在一定的不足,

主要体现在分析公式的编写还不够自由, 用户需要按照比较严格的规范格式进行编写; 暂时无法永久保存分析结果, 只能存储分析公式; 对用户专业知识的掌握要求比较高。这些都需要在使用和实践中不断完善。

参考文献

[1] 刘国平, 山春风, 王敬引. 继电保护自动化技术在电力系统中的应用 [J]. 今日科苑, 2015 (3) : 123-124.
[2] 敬茂华, 陶文金. 中缀式到逆波兰式的转换及求值 [J]. 电脑编程技巧与维护, 2010 (7) : 14-16.
[3] 郑致力. 算术表达式解析引擎的设计及实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.

(收稿日期: 2015-07-15) **EA**