

基于零序电流有功分量的配电网接地故障定位

庄伟, 牟龙华

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 为解决数字化环境下中性点经消弧线圈并、串电阻接地系统的单相接地故障区段定位问题, 对此类系统中出现单相接地故障时电网内全部线路首端保护装置可测得的零序电流进行了分析, 并给出了零序电流有功分量的一般分布规律. 在此基础上结合配电网故障定位的一般矩阵算法, 提出了基于零序电流有功分量的配电网单相接地故障区段定位算法, 并遵循 IEC61850 标准创建了故障定位算法的逻辑节点与逻辑设备, 为小电流接地故障定位系统的设备模型建立提供了参考. 基于 PSCAD/EMTDC 软件的配网典型故障仿真结果验证了单相接地故障定位算法的准确性.

关键词: 补偿电网; 单相接地; 故障定位; 零序电流有功分量; IEC61850 标准

中图分类号: TM77

文献标志码: A

Active Component of Zero-sequence Current-based Single-phase Ground Fault Location in Distribution Grid

ZHUANG Wei, MU Longhua

(College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: In order to solve the fault section location problem of single-phase-to-ground fault in digitalized distribution grid with arc suppression coil in parallel/series with resistance, the fault zero-sequence currents measured by protection devices installed at the head ends of all sections in such distribution grid are formulated, and the general distribution regularities of the active component of zero-sequence current are provided. On this basis, the zero-sequence active component-based single-phase-to-ground fault section location method is proposed with the combination of general matrix algorithm for fault location in distribution grid. Moreover, the corresponding logic node and logic device is newly developed according to IEC61850, which provides reference to the

device model construction of fault section location system of single-phase-to-ground fault in compensated network. The correctness of the proposed algorithm is verified by the simulation results of several typical faults in a distribution grid model built in PSCAD/EMTDC.

Key words: compensated network; single-phase-to-ground fault; fault location; active component of zero-sequence current; IEC61850 standard

近年来,配电网规模逐渐增大,电缆线路在供电网中的使用量增多,大量配电系统采用了中性点经消弧线圈并/串联电阻的派生接地方式运行^[1].单相接地故障是我国中压配电网最为常见的故障.当配电网发生永久性的单相接地故障后,需要尽快定位故障区段并作出相应措施^[2].目前可用于配网故障线路判定的方法主要有:零序功率法、谐波法、S注入法、基于故障指示器的方法、基于配电自动化的方法、行波法、基于零序电流变化量的方法等^[3-8].上述方法受制于配电网的结构组成、操作方式、设备性能、电能质量等方面的影响,造成定位精度不同程度降低,配电网故障线路定位的问题尚未妥善解决.

中性点经消弧线圈并/串联电阻的接地方式均可抑制故障电流和弧光接地过电压,其中并联电阻接地的运行方式在提高熄弧率方面有着更优越的性能^[9].文献^[10]提出的选线原理可以较好地实现补偿电网单相接地故障的横向选择性,但纵向选择性却只能依靠保护动作时间的配合来实现.在结构较复杂的配电网中可能需要较长时间才能排除故障.在某些有特殊要求的供电环境下可能引发严重的故障或事故.

随着网络通信和智能电子设备的应用,IEC61850 标准推广至配电自动化通信领域,为不同

收稿日期: 2013-03-20

基金项目: 上海市自然科学基金(12ZR1451300); 上海市教育委员会科研创新项目(11CX12)

第一作者: 庄伟(1982—),男,博士生,主要研究方向为智能电网中的测控与保护. E-mail: headings@163.com

通讯作者: 牟龙华(1963—),男,教授,博士生导师,工学博士,主要研究方向为电力系统继电保护、配电系统自动化与电能质量.

E-mail: lhmu@tongji.edu.cn

保护装置实现数据的实时对等交换奠定了基础^[11]. 在配电网的数字化与智能化程度日益提高的背景下,为了实现中性点经消弧线圈并/串电阻接地电网的单相接地故障区段定位,本文提出一种基于零序电流有功分量的单相接地故障区段定位方法,并遵循 IEC61850 标准创建了故障定位算法的逻辑节点与逻辑设备.

1 零序电流有功分量分布特点

配电网具有辐射型多段多分支的结构特点. 在正常运行情况下,其典型结构如图 1 所示.

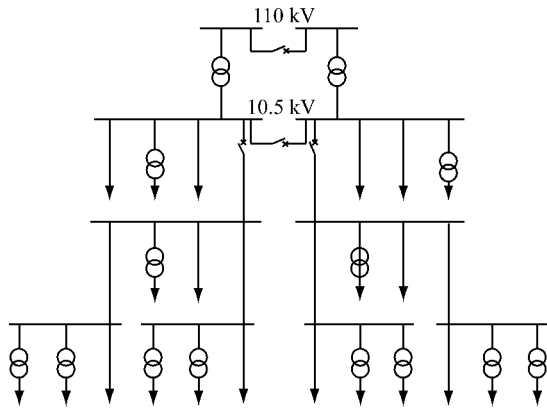


图 1 配电网的典型结构

Fig.1 Typical structure of distribution network

在不影响分析结果的前提下,将图 1 所示的配电网进行简化,可得到以集中参数表示的单相接地故障零序等效网络如图 2 所示,虚线框中的图形代表了不同的中性点接地方式. 图中 L 为消弧线圈电

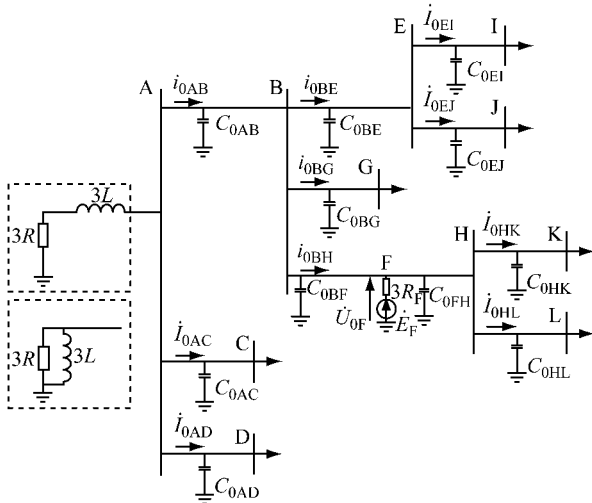


图 2 配电网零序等效网络

Fig.2 Equivalent zero sequence network of distribution network

感; R 为与消弧线圈并/串联的电阻. 各段母线上方大写字母为其名称,两段母线通过线路相连接,以线路 AB 为例; \dot{I}_{0AB} 为该线路首端测得的零序电流,并规定电流从母线指向线路为正方向; C_{0AB} 为该线路的每相对地电容. 假设单相接地故障出现于线路 BH 段的 F 处, \dot{E}_F 为故障点电动势, \dot{U}_{0F} 为故障点零序电压, R_F 为故障点过渡电阻, C_{0BF} 和 C_{0FH} 分别为故障点前后线路的每相对地电容.

当系统中性点经消弧线圈串联电阻接地时,图 2 可等效为图 3 所示电路. 图中, $C_{0BE\Sigma}$ 为线路 BE 及其下游所有线路(EI, EJ)的每相对地电容之和.

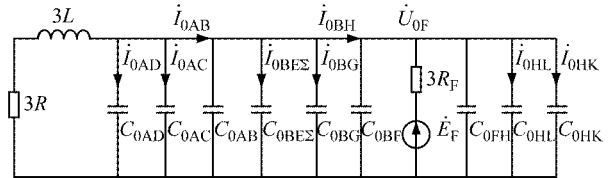


图 3 中性点经消弧线圈串电阻接地系统零序网络等效电路
Fig.3 Zero sequence equivalent circuit of earth neutral system via arc extinguishing-coil with series resistance

易知,线路 AC, AD, BE, EI, EJ, BG, HK, HL 首端的保护装置测得零序电流如式(1)所示:

$$\dot{I}_{0L,NF} = j\omega\dot{U}_{0F}C_{0NFL} \quad (1)$$

式中: ω 为角频率; C_{0NFL} 为非故障线路每相对地电容(非故障线路包括 AC, AD, BE, EI, EJ, BG, HK, HL). 线路 BH, AB 首端的保护装置测得的零序电流如式(2)和(3)所示:

$$\dot{I}_{0BH,F} = -\dot{U}_{0F} \left[\frac{R}{3(R^2 + \omega^2 L^2)} + j\omega \left(C_{\Sigma 1} + \frac{L}{R^2 + \omega^2 L^2} \right) \right] \quad (2)$$

$$\dot{I}_{0AB,F} = -\dot{U}_{0F} \left[\frac{R}{3(R^2 + \omega^2 L^2)} + j\omega \left(C_{\Sigma 2} + \frac{L}{R^2 + \omega^2 L^2} \right) \right] \quad (3)$$

式中: $C_{\Sigma 1} = C_{0EI} + C_{0EJ} + C_{0BE} + C_{0BG} + C_{0AB} + C_{0AC} + C_{0AD}$, $C_{\Sigma 2} = C_{0AD} + C_{0AC}$.

对中性点经消弧线圈并联电阻接地系统,图 2 可等效为图 4 所示电路. 线路 AC, AD, BE, EI, EJ, BG, HK, HL 首端保护装置测得零序电流仍然有如式(1)所示的表达式. 线路 BH, AB 首端的保护装置测得的零序电流则如式(4)和(5)所示:

$$\dot{I}_{0BH,F} = -\dot{U}_{0F} \left[\frac{1}{3R} + j \left(\omega C_{\Sigma 1} + \frac{1}{\omega L} \right) \right] \quad (4)$$

$$\dot{I}_{0AB,F} = -\dot{U}_{0F} \left[\frac{1}{3R} + j \left(\omega C_{\Sigma 2} + \frac{1}{\omega L} \right) \right] \quad (5)$$

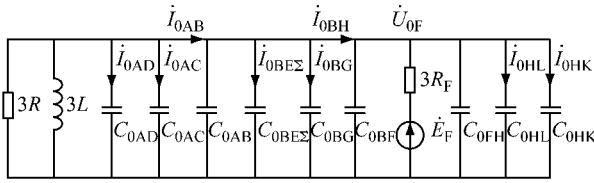


图 4 中性点经消弧线圈并联电阻接地零序网络等效电路

Fig.4 Zero sequence equivalent circuit of earth neutral system via arc extinguishing-coil parallel resistance

根据上述分析容易看出,在中性点经消弧线圈并/串电阻接地系统中出现单相接地故障时,故障线路(线路 BF)及上游线路(线路 AB)上的保护装置可检测到零序电流的有功分量,而其余线路(线路 AC, AD, BE, EI, EJ, BG, HK, HL)的零序电流中均无有功分量。

配电网有着树形的拓扑结构,由有限的节点以及联通它们的分支构成^[12],且任意两节点间的联通路径是唯一的。结合式(1)~(5)可知,零序电流中的有功分量通过唯一的特定路径流向变压器的中性点,经过大地与故障点形成零序回路。经过类似的分析可知,当单相接地故障出现在电网内其他线路时,零序电流中的有功分量均具有该特点。为便于后文论述,将该路径称为故障路径,构成该路径的线路称为故障路径线路,其余线路称为非故障路径线路;将故障所在的线路称为故障线路,其余线路均为非故障线路。在图 2 中,线路 AB 和 BH 为故障路径线路,其余均为非故障路径线路;BH 为故障线路,其余均为非故障线路。结合图 2 所示的配电网拓扑结构和式(1)~(5),可得到以下结论:

(1)故障路径线路首端的保护装置测得的零序电流中含有有功分量,其值取决于 \dot{U}_{0F} , R , L , 而与故障点位置、线路长度无关。

(2)非故障路径线路首端的保护装置测得的零序电流有功分量为零。

(3)故障路径的最末一级线路为故障线路。

2 基于零序电流有功分量的配电网单相接地故障区段定位算法

2.1 零序有功电流判据

根据上一节的分析,可得到配电网发生单相接地故障时零序基波电压。各个保护装置测得的零序基波电流的相量如图 5 所示,图中 \dot{U}_0 为零序基波电压, $\dot{i}_{0L,NF}$ 为非故障路径线路的零序电流,相位超前

\dot{U}_0 90° ; $\dot{i}_{0L,F}$ 为故障路径线路区段的零序电流,由于有功分量的作用,其相位超前 \dot{U}_0 略大于 90° 。利用式(6)可提取出各段线路测得的零序电流中的有功分量。

$$I_{0L,AC} = I_0 \cos \theta \quad (6)$$

式中: I_0 为 $\dot{i}_{0L,NF}$ 或 $\dot{i}_{0L,F}$ 的幅值; θ 为 $\dot{i}_{0L,NF}$ 或 $\dot{i}_{0L,F}$ 与 \dot{U}_0 的相位差。故障路径上零序电流的有功分量的方向与规定正方向相反,所以式(6)计算值为负,引入一个适当的阈值 $I_{0_set,AC}$ ($I_{0_set,AC} < 0$),即可判定某条线路是否属于故障路径线路。

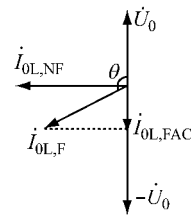


图 5 零序基波电压与电流相量

Fig.5 Phasors of fundamental harmonic of zero sequence voltage and current

2.2 配电网单相接地故障区段定位判据

规定从变压器向负载方向为正方向,以保护装置为节点,将配电网的 n 条线路及其首端的保护装置分别编号^[13]。利用通信功能,将零序电流信息按照式(10)的规则建立电网结构信息矩阵:

$$D_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{线路 } j \text{ 以节点 } i \text{ 为起点} \\ -1 & \text{线路 } j \text{ 以节点 } i \text{ 为终点} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \quad (10)$$

式中: i 为保护装置(即节点)编号, j 为线路编号, $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。构造故障特征行向量

$$F = [P_1 \ P_2 \ \dots \ P_n]$$

其中

$$P_i = \begin{cases} 1 & I_{0_i,AC} < I_{0_set,AC} \\ 0 & I_{0_i,AC} \geq I_{0_set,AC} \end{cases} \quad (11)$$

然后计算式(12):

$$F_l = F \cdot D_{ij} \quad (12)$$

得到行向量

$$F_l = [F_{l1} \ \dots \ F_{lj} \ \dots \ F_{ln}]$$

找出 $F_{lj} = 1$, j 即为故障所在线路的编号。当因某些保护装置或通信故障导致节点所表示的故障信息不明确时,只需在构造特征行向量 F 时将该节点信息设为零即可,这样虽然扩大了故障范围,但可切除故障线路的上一级线路,确保排除故障。

2.3 基于零序有功电流的接地故障定位的逻辑节点与设备模型

小电流接地故障选线装置通常采用集中比较式选线方案实现其横向选择,而纵向选择却因缺乏数据交互只能采用顺次增加动作延时的方式来实现.若将故障时各母线及其馈线的零序电压和零序电流信息实现全网的数据共享,即可确定故障路径线路,进而确定故障线路段,无需上下级保护之间的延时配合,即可实现纵向的无级差选择性接地保护.基于该原理的单相接地故障定位系统结构示意图如图 6,线路中的智能保护装置提供对应的接地保护信息.每个保护装置均由电子式互感器、合并单元、处理单元和智能开关组成,通信网络由以太网与交换机组成.全网的数据交换与共享均基于 IEC61850 协议实现.所有的保护装置均可获得故障定位所需的信息.任意处理单元均可完成故障定位功能,并对相应智能开发出动作指令.其余处理单元可作为后备保护的决策单元.

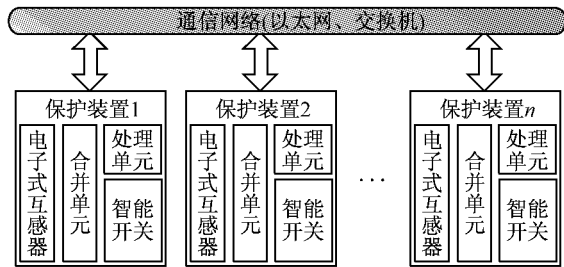


图 6 基于零序电流有功分量的单相接地故障定位系统结构
Fig.6 Structure of zero-sequence current active component single-phase fault location system

IEC61850 标准中没有对应于上述原理的逻辑节点,必须建立符合标准的逻辑节点与设备模型.本文遵循 IEC61850^[14]的逻辑节点类扩展的命名规则创建了新的逻辑节点类 PSAC,如表 1 所示,其中 ACD 为方向保护激活信息,ACT 为保护激活信息,INS 为整数状态,WYE 为是三相系统中同一时刻相对地测量值,ASG 为模拟定值,ING 为整数状态定值,M 为必备属性,O 为可选属性.PSAC 需要输出的状态信息包括启动信息、动作和对应的馈线编号信息.测量信息包括:零序电压、零序电流.需要设定的定值信息包括:接地电压启动定值、零序电流有功分量阈值、启动延时、动作延时、母线编号、馈线数量以及对应的编号.按照 IEC61850 标准,PSAC 节点结合 LLN0,LPHD,GGIO,RDRE 节点的功能实现了在辐射型多分支、多段线路构成的配电网中对单相接地故障的区段定位,其逻辑设备模型如图 7 所

示.PSAC 所需的电压与电流信息由 MMXU 节点提供.因存在多个同类节点实例,这里引入标识 m,n 以示区别,其中 m 为母线编号, n 为馈线编号.在虚线内同一列 MMXU 节点实例中,电压信息均由第 1 行的 MMXUm0 节点提供,电流信息则由其余 MMXU 节点提供.

表 1 故障定位算法的逻辑节点

PSAC 属性	属性名	属性类型	说明	M/O
状态信息	Str	ACD	启动	M
	Op	ACT	动作	M
	FedID	INS	故障馈线编号	M
被测量值	Seq0V	WYE	零序电压	M
	Seq0A[n]	WYE	零序电流	M
设定	U0Str	ASG	零序电压启动值	M
	I0AcSet	ASG	零序有功电流阈值	M
	StrDlTmms	ING	启动延时	O
	OpDlTmms	ING	动作延时	O
	BusID	INS	母线编号	M
	FedID[n]	INS	馈线编号	M
	FedNum	ING	馈线数量	M

注:表中公共逻辑节点信息必须继承公共逻辑节点类指定数据.

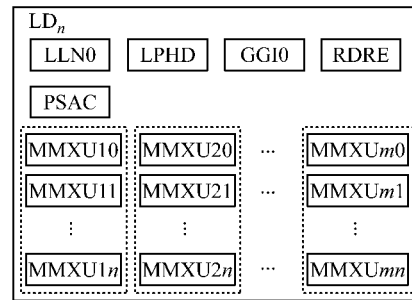


图 7 基于零序电流有功分量的故障定位的逻辑设备
Fig.7 Logic device of zero-sequence active component-based single phase ground fault location

3 仿真

3.1 仿真系统

按照图 2 的结构,在 PSCAD/EMTDC 中搭建 10 kV 配电网仿真模型,变压器容量为 50 MVA.架空线路参数分别为:零序电阻 $R_0=0.23 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$,正序电阻 $R_1=0.096 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$,零序电感 $L_0=3.66 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$,正序电感 $L_1=1.22 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$,零序电容 $C_0=0.007 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$,正序电容 $C_1=0.011 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$;电缆线路参数分别为: $R_0=0.34 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$, $R_1=0.11 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$, $L_0=1.54 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$, $L_1=0.52 \text{ mH} \cdot \text{km}^{-1}$, $C_0=0.19 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$, $C_1=0.29 \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$.AC,AD 为架空线路,长度均为 20 km.其余线路均为电缆线路.AB 段长 15 km;BE,

BG, BH 段长 4 km; EI, EJ, HL, HK 段长 1 km. 全网电容电流为 33.57 A. 通常认为中性点经消弧线圈并联电阻与串联电阻接地方式等效^[10], 本文中只对中性点经消弧线圈并联电阻接地方式进行了仿真分析. 消弧线圈电感为 $L=0.498\text{H}$, 设为 10% 过补偿状态.

下列各算例中, 取阈值 $I_{0_set, AC} = -2$. 为便于描述, 将仿真系统中的 AB, AC, AD, BE, BG, BH, EI, EJ, HL, HK 这 10 条线路及其首端装设的保护装置分别编为 1 至 10 号. 按照式(10)构造电网结构信息如矩阵 D 所示.

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

3.2 算例仿真

3.2.1 算例 1

HL(10 号)区段末端故障. 当 HL 段线路末端出现过渡电阻分别为 $1\ \Omega, 500\ \Omega$ 和 $1\ 000\ \Omega$ 的单相接

地故障时, 10 个保护装置测得的综合零序电流判据如表 2 所示. 按照式(11)可得到故障特征行向量

$$F = [1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1]$$

由计算式(12)可得到

$$F_l = [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1]$$

可知故障位于第 10 号线路, 即 HL 段故障.

3.2.2 算例 2

BG 段故障. 当 BG 段线路中间出现过电阻分别为 $1\ \Omega, 500\ \Omega$ 和 $1\ 000\ \Omega$ 的单相接故障时, 10 个保护装置测得的综合零序电流判据如表 3 所示. 可得到故障特征行向量

$$F = [1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$$

由计算式(12)可得到

$$F_l = [0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$$

可知故障位于第 5 号线路, 即 BG 段故障.

3.2.3 算例 3

AC 段首端位置故障. 当 AC 段线路首端出现过电阻分别为 $1\ \Omega, 500\ \Omega$ 和 $1\ 000\ \Omega$ 的单相接故障时, 10 个保护装置测得的综合零序电流判据如表 4 所示. 故障特征行向量为

$$F = [0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$$

由计算式(12)可得到

$$F_l = [0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$$

可知故障位于第 3 号线路, 即 AC 段故障.

表 2 算例 1 各线路区段的零序电流有功分量

Tab.2 Active component of zero-sequence current of all line sections (Case 1)

R_F	$I_{0,1,AC}$	$I_{0,2,AC}$	$I_{0,3,AC}$	$I_{0,4,AC}$	$I_{0,5,AC}$	$I_{0,6,AC}$	$I_{0,7,AC}$	$I_{0,8,AC}$	$I_{0,9,AC}$	$I_{0,10,AC}$
1	-5.028	6.284×10^{-5}	6.284×10^{-5}	0.002	0.027	-5.208	1.841×10^{-5}	1.841×10^{-5}	1.672×10^{-5}	-5.209
500	-3.462	3.574×10^{-5}	3.574×10^{-5}	0.001	0.018	-3.585	6.412×10^{-6}	6.412×10^{-6}	6.415×10^{-6}	-3.585
1 000	-2.609	2.637×10^{-5}	2.637×10^{-5}	0.001	0.014	-2.703	4.075×10^{-6}	4.075×10^{-6}	4.078×10^{-6}	-2.703

表 3 算例 2 各线路区段的零序电流有功分量

Tab.3 Active component of zero-sequence current of all line sections (Case 2)

R_F	$I_{0,1,AC}$	$I_{0,2,AC}$	$I_{0,3,AC}$	$I_{0,4,AC}$	$I_{0,5,AC}$	$I_{0,6,AC}$	$I_{0,7,AC}$	$I_{0,8,AC}$	$I_{0,9,AC}$	$I_{0,10,AC}$
1	-5.021	5.140×10^{-5}	5.140×10^{-5}	0.002	-5.156	0.002	8.002×10^{-6}	8.002×10^{-6}	8.002×10^{-6}	8.002×10^{-6}
500	-3.464	3.453×10^{-5}	3.453×10^{-5}	0.001	-3.557	0.001	4.761×10^{-6}	4.761×10^{-6}	4.761×10^{-6}	4.761×10^{-6}
1 000	-2.610	2.424×10^{-5}	2.424×10^{-5}	0.001	-2.681	0.001	1.161×10^{-6}	1.161×10^{-6}	1.161×10^{-6}	1.161×10^{-6}

表 4 算例 3 各线路区段的零序电流有功分量

Tab.4 Active component of zero-sequence current of all line sections (Case 3)

R_F	$I_{0,1,AC}$	$I_{0,2,AC}$	$I_{0,3,AC}$	$I_{0,4,AC}$	$I_{0,5,AC}$	$I_{0,6,AC}$	$I_{0,7,AC}$	$I_{0,8,AC}$	$I_{0,9,AC}$	$I_{0,10,AC}$
1	0.194	5.066×10^{-5}	-5.264	0.002	0.032	0.002	7.105×10^{-6}	7.105×10^{-6}	7.105×10^{-6}	7.105×10^{-6}
500	0.133	3.465×10^{-5}	-3.608	0.001	0.021	0.001	4.759×10^{-6}	4.759×10^{-6}	4.759×10^{-6}	4.759×10^{-6}
1 000	0.099	2.519×10^{-5}	-2.707	0.001	0.016	0.001	2.482×10^{-6}	2.482×10^{-6}	2.482×10^{-6}	2.482×10^{-6}

表 2~4 中非故障路径上的零序电流为很小的正值. 该值是由线路的对地绝缘电阻产生的(该值较大, 图 2 所示的模型中将其忽略不计). 表 2~4 的数

据表明, 故障路径线路上的零序电流有功分量在数值上远大于非故障线路上的零序电流有功分量, 且符号相反. 所以本文方法具有较大的灵敏度和明确

的选择性。

4 结语

对补偿电网单相接地故障时网内全部线路首端保护装置可测得的零序电流进行了分析,结合其表达式与配电网拓扑结构的特点,给出了零序电流有功分量在电网中的一般分布规律。结合配电网故障定位的一般矩阵算法,提出了基于零序电流有功分量的配电网单相接地故障区段定位算法;遵循 IEC61850 标准创建了故障定位算法的逻辑节点与逻辑设备,为小电流接地选线系统的设备模型建立提供了参考。基于 PSCAD/EMTDC 的配电网典型故障仿真结果验证了算法的准确性,利用本文方法可在辐射型多分支、多段线路构成的配电网中实现对单相接地故障的区段定位和无级差纵向选择性接地保护。

参考文献:

- [1] 梁睿,辛健,王崇林,等.应用改进型有功分量法的小电流接地选线[J].高电压技术,2010,36(2):375.
LIANG Rui, XIN Jian, WANG Chonglin, et al. Fault line selection in small current grounding system by improved active component method [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(2): 375.
- [2] 杨鹏,杨以涵,司冬梅,等.配电网单相接地故障定位技术实验研究[J].电力系统自动化,2008,32(9):104.
YANG Peng, YANG Yihan, SI Dongmei, et al. Experimental research on single-phase-to-ground fault location in distribution network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(9): 104.
- [3] 曾祥君,陈楠,李泽文,等.基于网络的故障行波定位算法[J].中国电机工程学报,2008,28(31):48.
ZENG Xiangjun, CHEN Nan, LI Zewen, et al. Network-based algorithm for fault location with traveling wave [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(31):48.
- [4] 杨鹏,杨以涵,杨景,等.基于直流法的配电网单相接地故障离线定位研究[J].电力系统保护与控制,2008,36(22):57.
YANG Peng, YANG Yihan, YANG Jing, et al. Study of DC off-line fault location method for distribution networks with single grounding phase [J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(22): 57.
- [5] 张斌,袁钦成,袁月春,等.配电网故障指示器现状分析[J].供用电,2005,22(5):29.
ZHANG Bin, YUAN Qincheng, YUAN Yuechun, et al. Actuality of distribution lines fault indicator [J]. Distribution & Utilization, 2005, 22(5):29.
- [6] 刘健,程红丽,李启瑞.重合器与电压-电流型开关配合的馈线自动化[J].电力系统自动化,2003,27(22):68.
LIU Jian, CHENG Hongli, LI Qirui. Feed automation based on reclosers and voltage-current-mode pole-mounted switches [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(22):68.
- [7] 倪广魁,鲍海,张利,等.基于零序电流突变量的配电网单相故障带电定位判据[J].中国电机工程学报,2010,30(31):118.
NI Guangkui, BAO Hai, ZHANG Li, et al. Criterion based on the fault component of zero sequence current for online fault location of single-phase fault in distribution network [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(31): 118.
- [8] 郑顾平,姜超,李刚,等.配网自动化系统中小电流接地故障区段定位方法[J].中国电机工程学报,2012,32(13):103.
ZHENG Guping, JIANG Chao, LI Gang, et al. Method of fault area & section location for non-solidly earthed distribution system [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(13): 103.
- [9] 颜湘莲,陈维江,贺子鸣,等.10 kV配电网单相接地故障电弧自熄特性的试验研究[J].电网技术,2008,32(8):25.
YAN Xianglian, CHEN Weijiang, HE Ziming, et al. Experimental research on self-extinction behavior of arc caused by single-phase earth fault in 10 kV distribution network [J]. Power System Technology, 2008, 32(8): 25.
- [10] 牟龙华,周伟,岳清玉.消弧线圈并串电阻接地方式与接地保护原理研究[J].煤炭学报,2009,34(8):1138.
MU Longhua, ZHOU Wei, YUE Qingyue. Research on grounding method of arc-suppression coil with parallel or serial resistance and ground-fault protection principle [J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(8): 1138.
- [11] 韩国政,徐丙垠.小电流接地故障选线和定位装置的 IEC 61850 信息建模[J].电力系统自动化,2011,35(5):57.
HAN Guozheng, XU Bingyin. Information modeling for line selection device and section locating single-phase earthing fault in non-effective earthed power system based on IEC 61850 [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(5): 57.
- [12] 翁蓝天,刘开培,刘晓莉,等.复杂配电网故障定位的链表法[J].电工技术学报,2009,24(5):190.
WENG Lantian, LIU Kaipei, LIU Xiaoli, et al. Chain table algorithm for fault location of complicated distribution network [J]. Transactions of China Electro technical Society, 2009, 24(5):190.
- [13] 齐郑,高玉华,杨以涵.配电网单相接地故障区段定位矩阵算法的研究[J].电力系统保护与控制,2012,38(20):159.
QI Zheng, GAO Yuhua, YANG Yihan. Research on matrix-based algorithm for single-phase-to-earth fault section location in distribution grid [J]. Power System Protection and Control, 2012, 38(20): 159.
- [14] International Electrotechnical Commission's. IEC 61850: communication networks and systems in substations [S]. [S.l.]: IEC, 2004.