



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105067948 B

(45)授权公告日 2018.06.12

(21)申请号 201510415625.9

(22)申请日 2015.07.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105067948 A

(43)申请公布日 2015.11.18

(73)专利权人 山东泰景电力科技有限公司
地址 250013 山东省济南市历下区解放路
112号历东商务大厦1606室

(72)发明人 丁超文 邱岭

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 张勇

(51)Int.Cl.
G01R 31/08(2006.01)

(56)对比文件

CN 101581752 A,2009.11.18,
US 2010/0014198 A1,2010.01.21,
US 2013/0329326 A1,2013.12.12,
CN 101696993 A,2010.04.21,
盛怡等.基于LSSVM的小电流接地故障融合
选线.《科学技术与工程》.2012,第12卷(第33
期),8874-887、8894.
索南加乐.基于模型参数识别法的小电流接
地故障选线研究.《电力系统自动化》.2004,第28
卷(第19期),65-70.

审查员 张丽萍

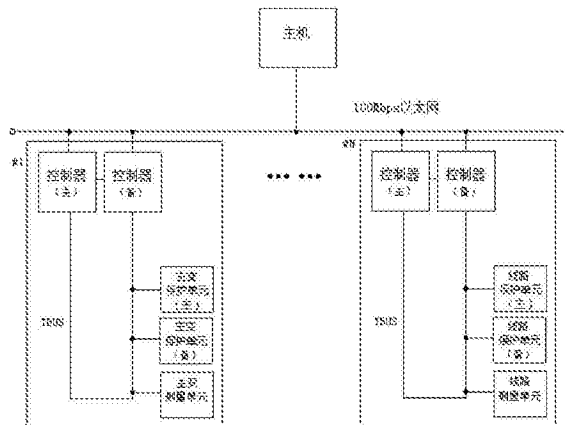
权利要求书3页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

一种小电流接地选线装置及单相接地检测方法

(57)摘要

本发明公开了一种小电流接地选线装置及单相接地检测方法,该方法通过对三相母线电压和三相线路电流的同步采样和最小二乘滤波器计算,获得电压、电流的大小和相位,进而可得到故障前后的相位差,并通过实时计算线路复阻抗,检测到其故障时阻抗变化,通过这两个特征,可准确判断线路单相接地故障特征,且不受环网时潮流方向影响。该方法为小电流接地故障检测提供了一种新的解决方案。



1. 一种小电流接地单相接地检测方法,其特征是:包括以下步骤:

(1) 根据电压、电流信号的表现形式及检测目的,确定时间窗及采样周期,计算最小二乘滤波器;

(2) 计算电压、电流的大小和两者的相位差;

(3) 用复数表示电压和电流的相量值,计算复阻抗;

(4) 当前、后两个采样时间窗内的电压-电流相位差以及阻抗变化均超过各自门槛值时,则判断发生小电流接地故障;

其中,明确电压与电流信号的表示形式及检测目的的具体方法为:

配网出线的电压与相电流经电压互感器和电流互感器变换后,均可表示为如下的带有直流分量、特征分量及其谐波成分的电压信号:

$$u(t) = U_0 e^{-\lambda t} + \sum_{k=1}^M U_k \sin(k\omega t + \theta_k) \quad (1)$$

式中: U_0 —直流分量,代表了信号中的非周期成分;

λ —直流分量衰减时间常数;

U_k —第 k 次谐波分量峰值, $k=1, \dots, M$;

θ_k —第 k 次谐波的相位角;

ω —转速角频率, $\omega = 2\pi f$, $f=50\text{Hz}$,电网工作频率,简称工频;

U_1 和 θ_1 是对应于工频的幅值和相对于采样时间窗的相位角;

计算最小二乘滤波器的具体方法为:

将电压信号的 $U_0 e^{-\lambda t}$ 按泰勒基数展开并取前两项, $U_k \sin(k\omega t + \theta_k)$ 按三角函数展开,则公式(1)可表示为如下形式:

$$u(t) = U_0 - U_0 \lambda t + \sum_{k=1}^M \sin(k\omega t) \times U_k \cos(\theta_k) + \sum_{k=1}^M \cos(k\omega t) \times U_k \sin(\theta_k) \quad (3)$$

该函数在采样时刻 t_i ,与其采样样本 $u(t_i)$ 之间必然相等,即采样方程为:

$$U_0 - U_0 \lambda t_i + \sum_{k=1}^M \sin(k\omega t_i) \times U_k \cos(\theta_k) + \sum_{k=1}^M \cos(k\omega t_i) \times U_k \sin(\theta_k) = u(t_i) \quad (4)$$

t_i —第 i 次采样时刻;

由于采样时刻 t_i 已知,因此,公式(4)中 $\sin(k\omega t_i)$, $\cos(k\omega t_i)$ 为是已知量,将 N 个采样方程按公式(4)逐一列出,并得到如下所示一个矩阵方程,将 t_i 用 τ 表示:

$$\begin{pmatrix} 1 & \tau & \sin(\omega\tau) & \cos(\omega\tau) & \dots & \sin(M\omega\tau) & \cos(M\omega\tau) \\ 1 & 2\tau & \sin(2\omega\tau) & \cos(2\omega\tau) & \dots & \sin(2M\omega\tau) & \cos(2M\omega\tau) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 1 & N\tau & \sin(N\omega\tau) & \cos(N\omega\tau) & \dots & \sin(M\omega N\tau) & \cos(M\omega N\tau) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_0 \\ -\lambda U_0 \\ U_1 \cos(\theta_1) \\ U_1 \sin(\theta_1) \\ \vdots \\ U_M \cos(\theta_M) \\ U_M \sin(\theta_M) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u(1) \\ u(2) \\ \vdots \\ u(N) \end{pmatrix} \quad (5)$$

将系数矩阵用 A ,未知变量矩阵用 X ,采样矩阵用 U 表示,则矩阵方程(5)又可表示如下:

$$A \cdot X = U \quad (6)$$

因此, A是一个N行, 2(M+1)列的定参数矩阵, X是一个2(M+1)行1列的变量矩阵, U是一个N行1列的定参数矩阵, 令2(M+1) = N, A就一个方阵, 且最高可识别谐波倍数M = N/2 - 1, 符合申农采样定理;

根据矩阵理论, 系数矩阵A存在逆矩阵A⁻¹的条件为: |A| ≠ 0, 且A * A⁻¹ = I, I为单位矩阵, 即对角线元素为1;

因此, 待测的未知参数矩阵为:

$$X = A^{-1} \cdot U \quad (7)$$

A⁻¹即为最小二乘滤波器。

2. 如权利要求1所述的一种小电流接地单相接地检测方法, 其特征是: 所述步骤(1)中, 确定时间窗的大小以及采样周期的方法为:

时间窗, 是指CPU一次处理的从第一个采样样本到最后一个采样样本之间的时间长度, 时间窗的大小T_w要等于函数固有周期, 采样周期T小于函数固有周期;

确定时间窗的大小T_w, 以及采样周期T之间后, 一个采样窗内的样本数N确定方法为: N与T_w以及T的关系为:

$$N = \frac{T_w}{T} \quad (2)$$

3. 如权利要求1所述的一种小电流接地单相接地检测方法, 其特征是: 所述步骤(2)中, 具体方法为: 变量矩阵X为,

$$X = \begin{pmatrix} U_0 \\ -\lambda U_0 \\ U_1 \cos(\theta_1) \\ U_1 \sin(\theta_1) \\ \vdots \\ U_M \cos(\theta_M) \\ U_M \sin(\theta_M) \end{pmatrix},$$

用x_i表示矩阵X的第i行的元素, 则: x₁ = U₀, 即直流分量, 且

$$x_3 = U_1 \cos \theta_1, x_4 = U_1 \sin \theta_1 \quad (8)$$

x₃就是电压或电流矢量的X-轴投影, x₄为振Y-轴投影, 因此, 电压、电流的峰-峰值为:

$$U_i = \sqrt{x_3^2 + x_4^2} \quad (9)$$

电压或电流的有效值为: $U_e = \frac{\sqrt{2}}{2} U_i$ 。

4. 如权利要求1所述的一种小电流接地单相接地检测方法, 其特征是: 所述步骤(2)中, 相对于时间窗起始点的函数相角为:

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{U_1 \sin \theta_1}{U_1 \cos \theta_1} = \tan^{-1} \frac{x_4}{x_3} \quad (10)$$

配网线路正常工作时,电压相位超前于电流,二者之间的相位差为:

$$\Delta \theta_0 = \theta_{0u} - \theta_{0i} \quad (11)$$

其中, θ_{0u} 和 θ_{0i} 分别是按照公式(10)得到的电压相位和电流,当发生单相接地时,二者之间的相位差为:

$$\Delta \theta_1 = \theta_{1u} - \theta_{1i} \quad (12)$$

因此,故障时产生的相位变化为:

$$\Delta \theta = \Delta \theta_1 - \Delta \theta_0 \quad (13)$$

5.如权利要求1所述的一种小电流接地单相接地检测方法,其特征是:所述步骤(3)中,计算复阻抗大小的过程具体为:

电压和电流相量的复数表示形式分别为:

$$U = U_x + i \cdot U_y \quad (14)$$

$$I = I_x + i \cdot I_y \quad (15)$$

其中, U_x 和 I_x 即为公式(8)中的 x_3 ,其中, U_y 和 I_y 即为公式(8)中的 x_4 数值。

复阻抗为:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{U_x + i \cdot U_y}{I_x + i \cdot I_y} = x + i \cdot y \quad (16)$$

复阻抗的大小为:

$$|Z| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (17)$$

6.如权利要求1所述的一种小电流接地单相接地检测方法,其特征是:所述步骤(4)中,小电流接地故障报警的判断方法是,当前、后两个采样时间窗内的电压-电流相位差以及阻抗变化均超过各自门槛值时,则发出接地故障报警,即:

若 $|Z| > Z_0$,且 $|\Delta \theta| > \theta_s$,则报警;

其中, Z_0 和 θ_s 分别为阻抗设定值和相位角设定值。

7.一种基于如权利要求1-6中任一项所述的方法的小电流接地选线装置,其特征是:包括线路保护单元和控制器,其中,线路保护单元包括电位变换模块和MCU,其中,线路保护单元的输入端连接电压电流互感器,电位变换模块将交流信号转化成MCU可采样信号,控制器包括模数转换模块,将可采样信号转换成数字信号,MCU计算最小二乘滤波器和电压、电流的相位差,将其传输给控制器,控制器计算复阻抗,判断是否发生小电流接地故障。

8.一种基于如权利要求1-6中任一项所述的方法的小电流接地选线系统,其特征是:包括多个分布于配网变电站线路上的如权利要求7所述的小电流接地选线装置和主机,主机连接每个小电流接地选线装置,实时监控配网线路是否发生故障。

一种小电流接地选线装置及单相接地检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种小电流接地选线装置及单相接地检测方法。

背景技术

[0002] 众所周知,电网的输电线路根据变电站变压器中性点接地方式不同,分为直接接地系统和非直接接地系统,高压输电线路(220kV及以上)属于直接接地系统,又称之为大电流接地系统。低压线路(110kV及以下)属于变压器中性点非直接接地系统,又称之为小电流接地系统。由于小电流接地系统负责将电力配送到最终用户,因此,又称之为配电网,简称配网。但由于配网处于人口稠密地区,且线路靠近建筑、居民区等,因此,也容易受各种干扰造成事故。根据国家电网2015年的技术统计,单相接地约占配网故障的80%。但由于配网单相接地故障特征不明显,单相接地故障的检测与处理较为困难。为此,国家电网公司将配电网单相接地故障处理技术研究列为2015年重点课题。这说明配网单相接地故障检测一直未从根本上解决。目前普遍采用的处理方法是拉闸法,即,当发生单相接地故障后,由于不能判断是哪条线路故障,因此,值班员采取逐一拉闸试验法,如果当某条线路拉闸后,故障现象消失,则说明故障在该条线路上。这一方法严重影响了居民的供电质量,也影响了电网公司的供电可靠率指标。

[0003] 从故障特征看,小电流系统发生单相接地后故障相接地电流小,A、B、C三相相位不变,现场设备可以持续运行一段时间(规程要求2小时以内),这样可增加供电的可靠性。但是为了使故障迅速消除,降低故障面,就要求及时找到并切除故障线路。自上世纪50年代末60年代初我国第一台小电流系统接地选线装置研制成功,小电流选线设备已经经历了几十年的风风雨雨。但实际现场运行结果表明,这种小电流接地选线装置的选线效果并不理想。大批电力工作者仍致力于提高选线准确率的研究。

[0004] 从检测原理上看,目前检测小电流接地的方法主要有稳态分量法、谐波分量法、暂态法、小波法。其中,稳态分量法,又分为零序电流比伏法,零序电流比相法,以及群体比伏比相法。这种方法利用故障线路的零序电流在数值上等于非故障线路零序电流之和,即故障线路的零序电流最大。这样就通过比较线路零序电流的幅值找出故障线路。这种方法是一种实验室内理想的方法,对于现场当中各条线路有长有短,各条出线的负载不平衡,所用电流互感器(TA)也不是完全平衡,这样就造成零序电流最大的线路不一定是故障线路。基于以上几点大家除了进行幅值比较外又加上了相位比较,因为故障线路和非故障线路相位是相反的,这样就弥补了出线不平衡的影响。提高了选线的正确率。但从装置内部来讲大家对故障量的采样一般都是循环采集,就是分几次采集才把所有的出线的计算数据采集完毕,这样存在着一个弊端就是没有在同一时刻完全采集所有出线的故障量,就容易出现误判,这种方法也不适用于消弧线圈接地的系统。

[0005] 谐波分量法,又分为5次谐波大小和方向,各次谐波平方和等方法。但5次谐波含量太小,不能进行有效的判断,这就成了这种方法的瓶颈。

[0006] 暂态选线法,又分为首半波法和小波分析法。首半波法是基于接地发生在相电压

接近最大瞬间这一假设,此时故障相电容电荷通过故障相线路向故障点放电,利用故障线路暂态零序电流和电压首半波的幅值和方向均与正常情况不同的特点实现选线。但这种方法存在的前提是故障须发生在相电压接近最大值瞬间。

[0007] 小波分析法是利用小波分析原理对信号进行精确分析,特别是对暂态信号和微弱信号比较敏感,能可靠地提取出故障特征。利用小波变换能把一个信号分析成不同尺度和位置的小波之和,利用合适的小波和小波基对暂态量进行变换后,易分辨出故障线路和非故障线路。

[0008] 以上四种方法,稳态分量法和小波法需要同步分析全部线路的暂态特征,计算量很大,谐波法因此谐波含量太小,不能有效检测,暂态选线法建立在假设前提上,实际用处不大。

[0009] 综上所述,从检测原理上,小电流接地选线尚缺乏可靠有效的方法。

发明内容

[0010] 本发明为了解决上述问题,提出了一种小电流接地选线装置及单相接地检测方法,该发明通过同步监测线路电压和电流相量,实时计算其复阻抗,配网线路正常时,阻抗较小,且电压电流相位关系较为稳定,当发生单相接地故障时,故障相除了正常电流外,还产生了对地电流,阻抗有明显的变化,且电流与电压相位也产生了较大的差异。此外,发生单相接地时,瞬间有一个不稳定过程,接地期间特征更加明显。利用这一方法,在无需与其它线路的特征比较的情况下,可准确检测出接地线路的故障。该方法不仅有很强的适用性,而且还大大降低了计算工作量,使检测装置具有很高的性价比,经济和社会效益巨大。

[0011] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0012] 一种小电流接地单相接地检测方法,包括以下步骤:

[0013] (1) 根据电压、电流信号的表现形式及检测目的,确定时间窗及采样周期,计算最小二乘滤波器;

[0014] (2) 计算电压、电流的大小和两者的相位差;

[0015] (3) 用复数表示电压和电流的相量值,计算复阻抗;

[0016] (4) 当前、后两个采样时间窗内的电压-电流相位差以及阻抗变化均超过各自阈值时,则判断发生小电流接地故障。

[0017] 所述步骤(1)中,明确电压与电流信号的表示形式及检测目的的具体方法为:

[0018] 配网出线的电压与相电流经电压互感器和电流互感器变换后,均可表示为如下的带有直流分量、特征分量及其谐波成分的电压信号:

$$[0019] \quad u(t) = U_0 e^{-\lambda t} + \sum_{k=1}^M U_k \sin(k\omega t + \theta_k) \quad (1)$$

[0020] 式中: U_0 —直流分量,代表了信号中的非周期成分;

[0021] λ —直流分量衰减时间常数;

[0022] U_k —第 k 次谐波分量峰值, $k=1, \dots, M$;

[0023] θ_k —第 k 次谐波的相位角;

[0024] ω —转速角频率, $\omega = 2\pi f$, $f=50\text{Hz}$,电网工作频率,简称工频;

[0025] U_1 和 θ_1 是对应于工频的幅值和相对于采样时间窗的相位角。

[0026] 所述步骤(1)中,确定时间窗的大小以及采样周期的方法为:

[0027] 时间窗,是指CPU一次处理的从第一个采样样本到最后一个采样样本之间的时间长度,时间窗的大小 T_w 要等于函数固有周期,采样周期 T 小于函数固有周期;

[0028] 确定时间窗的大小 T_w ,以及采样周期 T 之间后,一个采样窗内的样本数 N 确定方法为: N 与 T_w 以及 T 的关系为:

$$[0029] \quad N = \frac{T_w}{T} \quad (2)$$

[0030] 所述步骤(1)中,计算最小二乘滤波器的具体方法为:

[0031] 将电压信号的 $U_0 e^{-\lambda t}$ 按泰勒基数展开并取前两项, $U_k \sin(k\omega t + \theta_k)$ 按三角函数展开,则公式(1)可表示为如下形式:

$$[0032] \quad u(t) = U_0 - U_0 \lambda t + \sum_{k=1}^M \sin(k\omega t) \times U_k \cos(\theta_k) + \sum_{k=1}^M \cos(k\omega t) \times U_k \sin(\theta_k) \quad (3)$$

[0033] 该函数在采样时刻 t_i ,与其采样样本 $u(t_i)$ 之间必然相等,即采样方程为:

$$[0034] \quad U_0 - U_0 \lambda t_i + \sum_{k=1}^M \sin(k\omega t_i) \times U_k \cos(\theta_k) + \sum_{k=1}^M \cos(k\omega t_i) \times U_k \sin(\theta_k) = u(t_i) \quad (4)$$

[0035] t_i —第 i 次采样时刻;

[0036] 由于采样时刻 t_i 已知,因此,公式(4)中 $\sin(k\omega t_i)$, $\cos(k\omega t_i)$ 为是已知量,将 N 个采样方程按公式(4)逐一列出,并得到如下所示一个矩阵方程,将 t_i 用 τ 表示:

[0037]

$$[0037] \quad \begin{pmatrix} 1 & \tau & \sin(\omega\tau) & \cos(\omega\tau) & \dots & \sin(M\omega\tau) & \cos(M\omega\tau) \\ 1 & 2\tau & \sin(2\omega\tau) & \cos(2\omega\tau) & \dots & \sin(2M\omega\tau) & \cos(2M\omega\tau) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ 1 & N\tau & \sin(N\omega\tau) & \cos(N\omega\tau) & \dots & \sin(NM\omega\tau) & \cos(NM\omega\tau) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_0 \\ -\lambda U_0 \\ U_1 \cos(\theta_1) \\ U_1 \sin(\theta_1) \\ \vdots \\ U_M \cos(\theta_M) \\ U_M \sin(\theta_M) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u(1) \\ u(2) \\ \vdots \\ u(N) \end{pmatrix} \quad (5)$$

[0038] 将系数矩阵用 A ,未知变量矩阵用 X ,采样矩阵用 U 表示,则矩阵方程(5)又可表示如下:

$$[0039] \quad A \cdot X = U \quad (6)$$

[0040] 因此, A 是一个 N 行, $2(M+1)$ 列的定参数矩阵, X 是一个 $2(M+1)$ 行 1 列的变量矩阵, U 是一个 N 行 1 列的定参数矩阵,令 $2(M+1) = N$, A 就一个方阵,且最高可识别谐波倍数 $M = N/2 - 1$,符合申农采样定理;

[0041] 根据矩阵理论,系数矩阵 A 存在逆矩阵 A^{-1} 的条件为: $|A| \neq 0$,且 $A \cdot A^{-1} = I$, I 为单位矩阵,即对角线元素为 1 ;

[0042] 因此,待测的未知参数矩阵为:

$$[0043] \quad X = A^{-1} \cdot U \quad (7)$$

[0044] A^{-1} 即为最小二乘滤波器。

[0045] 所述步骤(2)中,具体方法为:变量矩阵 X 为,

$$[0046] \quad X = \begin{pmatrix} U_0 \\ -\lambda U_0 \\ U_1 \cos(\theta_1) \\ U_1 \sin(\theta_1) \\ \vdots \\ U_M \cos(\theta_M) \\ U_M \sin(\theta_M) \end{pmatrix},$$

[0047] 用 x_i 表示矩阵 X 的第 i 行的元素,则: $x_1=U_0$,即直流分量,且

$$[0048] \quad x_3=U_1 \cos \theta_1, \quad x_4=U_1 \sin \theta_1 \quad (8)$$

[0049] x_3 就是电压或电流矢量的 X -轴投影, x_4 为 Y -轴投影,因此,电压、电流的峰-峰值为:

$$[0050] \quad U_1 = \sqrt{x_3^2 + x_4^2} \quad (9)$$

[0051] 电压或电流的有效值为: $U_e = \frac{\sqrt{2}}{2} U_1$;

[0052] 相对于时间窗起始点的函数相角为:

$$[0053] \quad \theta_1 = \tan^{-1} \frac{U_1 \sin \theta_1}{U_1 \cos \theta_1} = \tan^{-1} \frac{x_4}{x_3} \quad (10)$$

[0054] 配网线路正常工作时,电压相位超前于电流,二者之间的相位差为:

$$[0055] \quad \Delta \theta_0 = \theta_{0u} - \theta_{0i} \quad (11)$$

[0056] 其中, θ_{0u} 和 θ_{0i} 分别是按照公式(10)得到的电压相位和电流,当发生单相接地时,二者之间的相位差为:

$$[0057] \quad \Delta \theta_1 = \theta_{1u} - \theta_{1i} \quad (12)$$

[0058] 因此,故障时产生的相位变化为:

$$[0059] \quad \Delta \theta = \Delta \theta_1 - \Delta \theta_0 \quad (13)$$

[0060] 所述步骤(3)中,计算复阻抗大小的过程具体为:

[0061] 电压和电流相量的复数表示形式分别为:

$$[0062] \quad U = U_x + i \cdot U_y \quad (14)$$

$$[0063] \quad I = I_x + i \cdot I_y \quad (15)$$

[0064] 其中, U_x 和 I_x 即为公式(8)中的 x_3 ,其中, U_y 和 I_y 即为公式(8)中的 x_4 数值。

[0065] 复阻抗为:

$$[0066] \quad Z = \frac{U}{I} = \frac{U_x + i \cdot U_y}{I_x + i \cdot I_y} = x + i \cdot y \quad (16)$$

[0067] 复阻抗的大小为:

$$[0068] \quad |Z| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (17)。$$

[0069] 所述步骤(4)中,小电流接地故障报警的判断方法是,当前、后两个采样时间窗内的电压-电流相位差以及阻抗变化均超过各自门槛值时,则发出接地故障报警,即:

[0070] 若 $|Z| > Z_0$,且 $|\Delta\theta| > \theta_s$,则报警;

[0071] 其中, Z_0 和 θ_s 分别为阻抗设定值和相位角设定值。

[0072] 一种基于上述方法的小电流接地选线装置,包括线路保护单元和控制器,其中,线路保护单元包括电位变换模块和MCU,其中,线路保护单元的输入端连接电压电流互感器,电位变换模块将交流信号转化成MCU可采样信号,控制器包括模数转换模块,将可采样信号转换成数字信号,MCU计算最小二乘滤波器和电压、电流的相位差,将其传输给控制器,控制器计算复阻抗,判断是否发生小电流接地故障。

[0073] 一种基于上述方法的小电流接地选线系统,包括多个分布于配网变电站线路上的上述小电流接地选线装置和主机,主机连接每个小电流接地选线装置,实时监控配网线路是否发生故障。

[0074] 本发明的有益效果为:

[0075] (1)本发明提出的小电流接地选线方法比目前已知方法更准确和灵敏;之所以说该方法灵敏准确,原因有二,其一是,其它方法未直接测量和比较电流和电压的相位关系,只采用传统的相序分量法得到正序、负序、零序,是一种较笼统的三相故障判断方法,而单相接地故障后由于中性点对地电容的作用,相电流和相电压的相位发生了很大的改变,可直接而准确判断是哪一相产生了相位突变。其二,单相接地后,线路的阻抗由感性阻抗由于容性阻抗的加入而突然变化,幅度变化明显,因此容易选择,而其它方法未见采用阻抗法,两种判断同时采用,增加了检测的准确性和可靠性。

[0076] (2)本发明提出的小电流接地选线方法不再需要将故障相与全部非故障相逐一甄别,提高了反应速度;

[0077] (3)本发明通过实时计算线路复阻抗,检测到其故障时阻抗变化,通过这两个特征,可准确判断线路单相接地故障特征,且不受环网时潮流方向影响;

[0078] (4)采用本发明提出的检测方法,有望彻底解决配网的小电流接地难题,可进一步提高电网的供电可靠性指标,对电网企业和社会都具有重要意义。

附图说明

[0079] 图1 VIPS-100可视化保护及自动化系统结构图;

[0080] 图2 小电流接地选线单元原理示意图。

具体实施方式:

[0081] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0082] 为检测配网线路单相接地故障,装置同步测量配网变电站低压侧母线三相电压和各出线的三相电流,实时计算每相的电压和电流相位差及其复阻抗,当发生阻抗和相位突变时,即认为发生了单相接地故障。以下为实现本发明方法的四个步骤及方法。

[0083] 步骤1:计算最小二乘滤波器

[0084] 步骤2:计算电压、电流的大小和相位差

[0085] 步骤3:计算复阻抗的大小

[0086] 步骤4:比较前、后两个采样时间窗内的电压-电流相位差以及阻抗变化,当超过门槛值时,则发出小电流接地故障报警。

[0087] 所述步骤1) 计算最小二乘滤波器的过程如下:

[0088] 首先,明确电压与电流信号的表示形式及检测目的。

[0089] 配网出线的电压与相电流经电压互感器和电流互感器变换后,均可表示为如下的带有直流分量、特征分量及其谐波成分的电压信号:

$$[0090] \quad u(t) = U_0 e^{-\lambda t} + \sum_{k=1}^M U_k \sin(k\omega t + \theta_k) \quad (1)$$

[0091] 式中: U_0 —直流分量,代表了信号中的非周期成分;

[0092] λ —直流分量衰减时间常数;

[0093] U_k —第 k 次谐波分量峰值, $k=1, \dots, M$;

[0094] θ_k —第 k 次谐波的相位角;

[0095] ω —转速角频率, $\omega = 2\pi f$, $f=50\text{Hz}$, 电网工作频率,简称工频。

[0096] U_1 和 θ_1 是对应于工频的幅值和相对于采样时间窗的相位角,是需要本方法检测的主要参数。

[0097] 其次,需要确定时间窗的大小,以及采样周期。

[0098] 所谓时间窗,是指CPU一次处理的从第一个采样样本到最后一个采样样本之间的时间长度。这个时间长度一般要大于或等于函数的固有周期,对50Hz信号来说,函数固有周期为20ms,时间窗的大小 T_w 要等于函数固有周期。采样周期 T 小于函数固有周期。

[0099] 确定时间窗的大小 T_w ,以及采样周期 T 之间后,一个采样窗内的样本数 N 也就确定了。 N 与 T_w 以及 T 的关系为:

$$[0100] \quad N = \frac{T_w}{T} \quad (2)$$

[0101] 为了得到最小二乘滤波器,首先将公式(1)做如下处理:

[0102] 将公式(1)中的 $U_0 e^{-\lambda t}$ 按泰勒基数展开并取前两项, $U_k \sin(k\omega t + \theta_k)$ 按三角函数展开,则公式(1)可表示为如下形式:

$$[0103] \quad u(t) = U_0 - U_0 \lambda t + \sum_{k=1}^M \sin(k\omega t) \times U_k \cos(\theta_k) + \sum_{k=1}^M \cos(k\omega t) \times U_k \sin(\theta_k) \quad (3)$$

[0104] 该函数在采样时刻 t_i ,与其采样样本 $u(t_i)$ 之间必然相等,即采样方程为:

$$[0105] \quad U_0 - U_0 \lambda t_i + \sum_{k=1}^M \sin(k\omega t_i) \times U_k \cos(\theta_k) + \sum_{k=1}^M \cos(k\omega t_i) \times U_k \sin(\theta_k) = u(t_i) \quad (4)$$

[0106] t_i —第 i 次采样时刻。

[0107] 由于采样时刻 t_i 已知,因此,公式(4)中 $\sin(k\omega t_i)$, $\cos(k\omega t_i)$ 也可认为是已知量,只有 U_0 、 λ 、 $U_k \cos(\theta_k)$ 、 $U_k \sin(\theta_k)$ 是未知量。如果将 N 个采样方程按公式(4)逐一列出,并得到如下所示一个矩阵方程(为方程简洁起见,将 t_i 用 τ 表示):

[0108]

$$\begin{pmatrix} 1 & \tau & \sin(\omega\tau) & \cos(\omega\tau) & \dots & \sin(M\omega\tau) & \cos(M\omega\tau) \\ 1 & 2\tau & \sin(\omega 2\tau) & \cos(\omega 2\tau) & \dots & \sin(M\omega 2\tau) & \cos(M\omega 2\tau) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & N\tau & \sin(\omega N\tau) & \cos(\omega N\tau) & \dots & \sin(M\omega N\tau) & \cos(M\omega N\tau) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_0 \\ -\lambda U_0 \\ U_1 \cos(\theta_1) \\ U_1 \sin(\theta_1) \\ \vdots \\ U_M \cos(\theta_M) \\ U_M \sin(\theta_M) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u(1) \\ u(2) \\ \vdots \\ u(N) \end{pmatrix} \quad (5)$$

[0109] 如果将系数矩阵用A,未知变量矩阵用X,采样矩阵用U表示,则矩阵方程(5)又可表示如下:

$$[0110] \quad A \cdot X = U \quad (6)$$

[0111] 因此,A是一个N行,2(M+1)列的定参数矩阵,X是一个2(M+1)行1列的变量矩阵,U是一个N行1列的定参数矩阵。如果令2(M+1)=N,则A就一个方阵,且最高可识别谐波倍数M=N/2-1,符合申农采样定理。

[0112] 根据矩阵理论,系数矩阵A存在逆矩阵A⁻¹的条件为:|A|≠0,且A*A⁻¹=I。I为单位矩阵,即对角线元素为1。

[0113] 因此,待测的未知参数矩阵为:

$$[0114] \quad X = A^{-1} \cdot U \quad (7)$$

[0115] A⁻¹即为最小二乘滤波器。

[0116] 步骤2) 计算电压、电流的大小和相位差的过程如下:

[0117] 公式(6)、(7)中的变量矩阵X即为公式(5)左侧的未知列矩阵:

$$[0118] \quad X = \begin{pmatrix} U_0 \\ -\lambda U_0 \\ U_1 \cos(\theta_1) \\ U_1 \sin(\theta_1) \\ \vdots \\ U_M \cos(\theta_M) \\ U_M \sin(\theta_M) \end{pmatrix}$$

[0119] 如果用x_i表示矩阵X的第i行的元素,则:x₁=U₀,即直流分量。

$$[0120] \quad x_3 = U_1 \cos \theta_1, x_4 = U_1 \sin \theta_1 \quad (8)$$

[0121] x₃就是电压或电流矢量的X-轴投影,x₄为振Y-轴投影。因此,电压、电流的峰-峰值为:

$$[0122] \quad U_i = \sqrt{x_3^2 + x_4^2} \quad (9)$$

[0123] 电压或电流的有效值为: $U_e = \frac{\sqrt{2}}{2} U_i$

[0124] 相对于时间窗起始点的函数相角为:

$$[0125] \quad \theta_1 = \tan^{-1} \frac{U_1 \sin \theta_1}{U_1 \cos \theta_1} = \tan^{-1} \frac{x_4}{x_3} \quad (10)$$

[0126] 配网线路正常工作时,电压相位超前于电流,二者之间的相位差为:

$$[0127] \quad \Delta \theta_0 = \theta_{0u} - \theta_{0i} \quad (11)$$

[0128] 其中, θ_{0u} 和 θ_{0i} 分别是按照公式(10)得到的电压相位和电流。当发生单相接地时,二者之间的相位差为:

$$[0129] \quad \Delta \theta_1 = \theta_{1u} - \theta_{1i} \quad (12)$$

[0130] 因此,故障时产生的相位变化为:

$$[0131] \quad \Delta \theta = \Delta \theta_1 - \Delta \theta_0 \quad (13)$$

[0132] 所述步骤3)计算复阻抗大小的过程如下:

[0133] 电压和电流相量的复数表示形式分别为:

$$[0134] \quad U = U_x + i \cdot U_y \quad (14)$$

$$[0135] \quad I = I_x + i \cdot I_y \quad (15)$$

[0136] 其中, U_x 和 I_x 即为公式(8)中的 x_3 ,其中, U_y 和 I_y 即为公式(8)中的 x_4 数值。

[0137] 复阻抗为:

$$[0138] \quad Z = \frac{U}{I} = \frac{U_x + i \cdot U_y}{I_x + i \cdot I_y} = x + i \cdot y \quad (16)$$

[0139] 复阻抗的大小为:

$$[0140] \quad |Z| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (17)$$

[0141] 所述步骤4)小电流接地故障报警的判断方法是,当前、后两个采样时间窗内的电压-电流相位差以及阻抗变化均超过各自阈值时,则发出接地故障报警。即:

[0142] 若 $|Z| > Z_0$,且 $|\Delta \theta| > \theta_s$,则报警。

[0143] 其中, Z_0 和 θ_s 分别为阻抗设定值和相位角设定值。

[0144] 装置的系统结构是一个通用平台,可适应于各等级变电站。但其中的线路保护单元则专门设计了小电流接地选线功能,专门针对110kV及以下的配网变电站线路保护而设计。系统保护单元按设备类型分为主变压器(简称主变)保护、线路保护、电容器保护等,有多少个设备就有多少个保护单元。所有保护单元最终通过100Mbps网络构成一个局域网。每个保护单元内设有两个互为冗余的控制器,每个控制器通过TBUS网络将智能模块连为一体。主、备控制器分别位于TBUS网的两端,其中一个控制器故障时,另一个控制器可接管TBUS。系统结构可参见图1。

[0145] 本发明的小电流接地选线功能位于线路保护单元内。其中,每个线路保护单元均同时采样母线电压(三相)和线路电流(三相)。线路保护单元采用数字直接采样和数字处理技术,信号采样电路参见图2。为了发挥各自性能优势,线路保护单元的MCU负责本发明的公式(7)、(8)、(9)的计算,主、备控制器负责公式(10)~(17)的计算。TBUS的网络刷新时间为20ms,可在一个工频周期内完成一次数据刷新,保证了在一个工频周期内判断是否发生故障。

[0146] 图2中,来自电压电流互感器的交流信号(u_1, u_2)经电位变换,成为MCU可采样的信号(V_{o1}, V_{o2})。MCU内部集成了A/D转换器,CPU直接对数字信号进行计算处理。计算结果通过内部UART口再以TBUS的方式通信到主、备控制器。

[0147] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

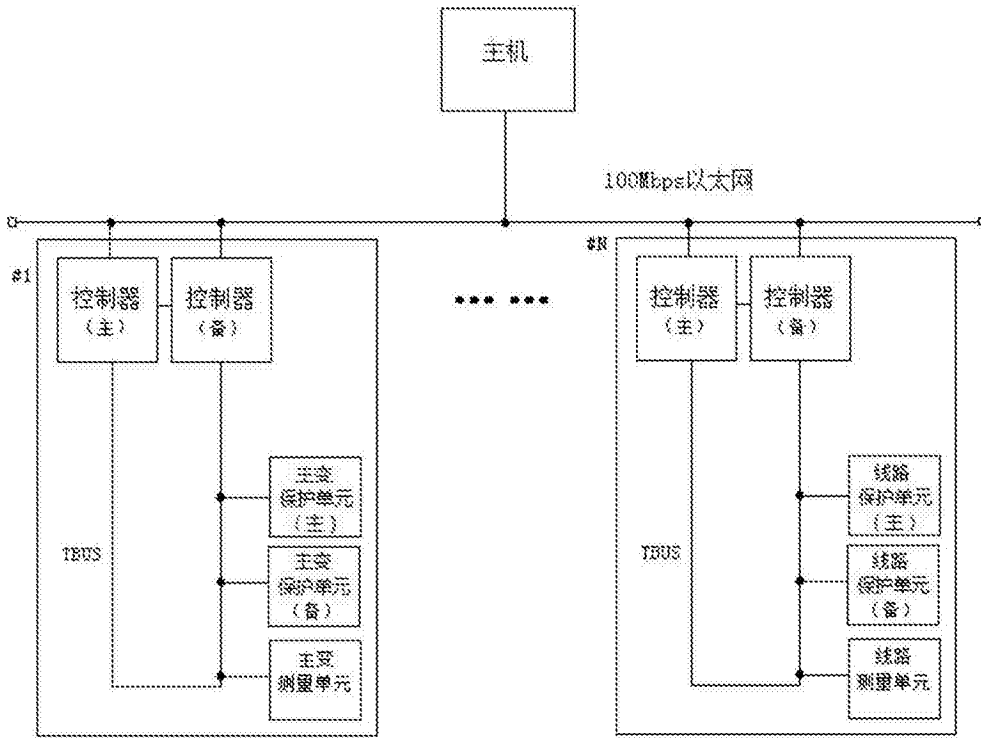


图1

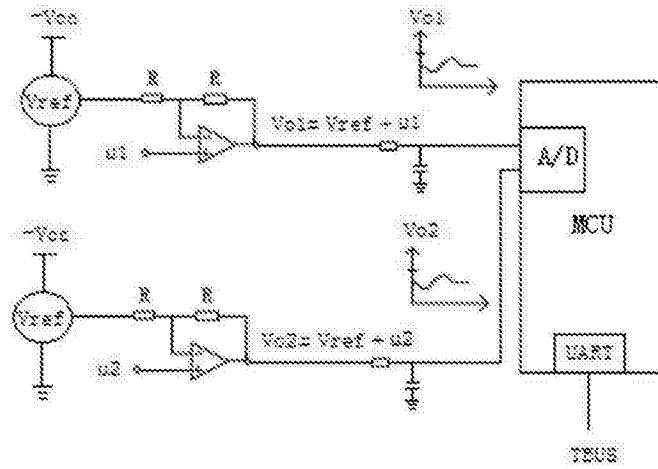


图2