



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105071362 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201510552149. 5

(22) 申请日 2015. 09. 01

(71) 申请人 武汉中原电子信息公司

地址 430074 湖北省武汉市关东科技工业园
2 号

(72) 发明人 张文魁 张恒舫 王大兴 张林桥

(74) 专利代理机构 武汉宇晨专利事务所 42001

代理人 李鹏 王敏锋

(51) Int. Cl.

H02H 7/26(2006. 01)

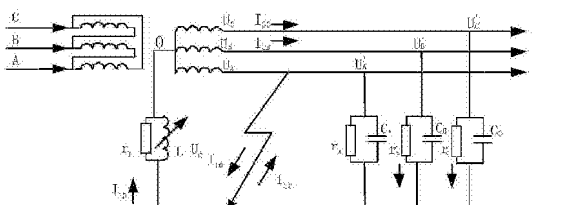
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法

(57) 摘要

本发明公开了一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法,通过馈线的零序电流精确的判断故障时刻;求取相电流和零序电流暂态故障分量;对相电流暂态故障分量进行四层小波分解得到故障相;对零序电流暂态故障分量进行四层小波分解,通过零序电流暂态故障分量的自由振荡分量的能量的比值判断是否进入接地保护;确定故障相暂态容性电流总能量和非故障相平均暂态容性电流总能量的比值判断是否进入接地保护;通过故障相与其他两个非故障相的自相关估计序列的互相关系数判断是否进入故障相接地保护。本发明引入形态梯度技术对零序电流进行处理提取电流突变信息准确捕捉故障发生时刻,基于 FTU 采集的三相电流信息直接准确识别馈线是否故障。



1. 一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

步骤一、当馈线的零序电流 I_0 大于整定电流 I_{set} 时, 记录当前时刻为故障时刻, 记录馈线上故障时刻前二个周波和故障时刻后四个周波的相电流和零序电流;

步骤二、选取故障时刻前后各半个周期共一个周期零序电流信号经过灰度形态梯度滤波器滤波处理, 滤波处理后的零序电流出现第一个脉冲的时刻即为精确的故障发生时刻;

步骤三、以步骤二得到的精确的故障发生时刻为基准, 通过求取故障发生时刻后的故障相电流减去故障发生时刻前的负荷相电流获得相电流故障分量 Δi_p ; 通过求取故障发生时刻后的故障零序电流减去故障发生时刻前的不平衡零序电流获得零序电流故障分量 Δi_0 ; 然后采用带阻滤波器滤除相电流和零序电流的故障分量中的稳态分量, 得到相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 和零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$;

步骤四、选取相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 和零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 中故障发生时刻后的 2 个周波数据, 采用自适应形态滤波器进行滤波去噪预处理;

步骤五、采用三次样条小波对滤波去噪预处理后的相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 进行四层小波分解, 分别得到 A、B、C 三相电流暂态故障分量在 16 个子频带上的能量 E_A^j 、 E_B^j 、 E_C^j ($j = 0, 1, \dots, 15$), 求 $\max(E_A^j)$ 、 $\max(E_B^j)$ 和 $\max(E_C^j)$, 选择 $\max(E_A^j)$ 、 $\max(E_B^j)$ 和 $\max(E_C^j)$ 中最大值对应的相作为故障相;

步骤六、采用三次样条小波对滤波去噪预处理后的零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 进行四层小波分解, 求 16 个子频带上的能量, 其中 (4, 0) 频带上的能量即为零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 的直流衰减分量的能量 $E_{1.d}$, 其余各频带上的能量之和即为零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 的自由振荡分量的能量 $E_{c.os}$;

求 $E_{1.d}$ 和 $E_{c.os}$ 的比值 $\eta = \frac{E_{1.d}}{E_{c.os}}$, $\eta > 1$ 时, 判断馈线发生单相接地故障, 故障相接地

保护动作; $\eta \leq 1$ 的情况再进入步骤七做进一步判别;

步骤七、根据步骤五求得的 A、B、C 三相电流暂态故障分量的各 16 个频带能量 E_A^j 、 E_B^j 、 E_C^j ($j = 0, 1, \dots, 15$), 求 $\sum_{j=1}^{15} E_i^j$, i 取 A、B、C 时对应 A、B、C 相暂态容性电流总能量 $E_{c.os}^A$ 、 $E_{c.os}^B$ 、 $E_{c.os}^C$, 根据故障相确定故障相暂态容性电流总能量为 E_f 和非故障相平均暂态容性电流总能量 $\bar{E}_h$, $\eta_p = \frac{E_f}{\bar{E}_h}$, 当 $\eta_p > K_e$ 时, 判定馈线发生单相接地故障, 故障相接地保护动作; 当 $\eta_p \leq K_e$ 时, 再进入步骤八做进一步判断, K_e 为安全系数;

步骤八、在除 (4, 0) 频带外其余子频带上, 对馈线三相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 的波形 - 小波系数进行相关分析, 先对各相电流暂态故障分量作自相关分析得到自相关估计序列, 然后分别求故障相与其他两个非故障相电流暂态故障分量的自相关估计序列的互相关系数, 求取故障相与其他两个非故障相电流暂态故障分量的自相关估计序列的互相关系数的平均值 $\bar{M}$, 当 $\bar{M} < K_M$ 时判定馈线发生单相接地故障, 故障相接地保护动作; 当 $\bar{M} \geq K_M$ 时判定馈线没有发生单相接地故障。

2. 根据权利要求 1 所述的一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法,其特征在于,所述的步骤 4 中自适应形态滤波器为:

$$y(x) = \alpha_1(x)Oc(f(x)) + \alpha_2(x)Co(f(x))$$

式中 $\alpha_1(x)$, $\alpha_2(x)$ 为权系数, $f(x)$ 为待处理原始信号,采用的结构元素为递增结构元素: $g = [0.05 \ 0.1 \ 0.6]$, $Oc(f(x))$ 表示利用结构元素 g 对 $f(x)$ 做形态开闭运算, $Co(f(x))$ 表示利用结构元素 g 对 $f(x)$ 做形态闭开运算。

3. 根据权利要求 1 所述的一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法,其特征在于,所述的灰度形态梯度滤波器为:

$$G_{grad}(f) = (f \oplus g)(x) - (f \ominus g)(x)$$

其中, $g(x)$ 为结构元素, $f(x)$ 为待处理原始信号, $(f \oplus g)(x)$ 表示利用结构元素 $g(x)$ 对 $f(x)$ 做开运算, $(f \ominus g)(x)$ 表示利用结构元素 $g(x)$ 对 $f(x)$ 做闭运算。采用递增结构元素: $g = [0.05 \ 0.1 \ 0.6]$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法,其特征在于,所述的 K_e 取 $1 \sim 2$; K_m 取 $0.5-1$ 。

一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统继电保护领域,具体涉及一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法。适用于中性点非有效接地系统单相接地保护。

背景技术

[0002] 我国 66kV 及以下电压等级的配电网大都采用中性点非有效接地方式,常将这种系统称为小电流接地系统。该方式下电网发生单相接地故障时,故障电流小(特别是经消弧线圈接地系统),尽管规程允许继续运行 1~2 小时,但是故障后非接地相的电压变成线电压,对系统绝缘带来隐患和威胁,需要尽快切除故障线路,以避免发生两点接地进而造成短路事故,还可能产生铁磁谐振过电压导致电压互感器烧毁事故和电压互感器回路熔断器频繁熔断,严重威胁配电网的安全可靠性。因此在小电流接地系统发生单相接地故障时正确而及时地把故障线路检测出来,并直接自动切除故障线路或通过发信号由人工处理解除故障,对增强供电可靠性、实现配电自动化、提高供电质量及运行水平具有重要的实际意义。

[0003] 针对小电流接地系统单相接地检测困难的问题,大量国内外高校和电力公司研发人员投入研究,前后提出了多种保护方案:零序电流过流保护、插入电阻法、无功功率方向保护、谐波电流保护、首半波原理、零序导纳接地保护等,最近还提出了基于小波变换等信号处理方法的暂态零序电流保护。同时国内外公司开发出了基于各种保护方案的选线装置,都是基于集中比较各条出线的故障信息(零序电流大小和方向、无功功率方向等),在变电站中利用选线装置集中判断或在主站系统中加入集中选线模块。

[0004] 现有小电流系统单相接地保护装置还是以稳态工频信号的选线装置为主,根据权威部门统计结果,在实际运行中选线装置总体选线准确率不到 70%,误选、拒选的概率很大,稳态工频信号选线受以下几方面影响:(1) 消弧线圈的补偿电流的影响;(2) 过渡电阻的影响;(3) 电流互感器不平衡电流的影响;(4) 接地故障位置的影响。

[0005] 因为单相接地时会产生比稳态分量大几至十几倍的暂态故障分量,所以基于暂态信号的小电流接地保护方法会有良好的故障识别能力,但暂态信号出现时间短暂、衰减快,并且伴随有高频干扰,检测相对困难,需利用合适的现代信号处理方法进行分析处理。现在对故障暂态信号的处理一般采用小波分析方法,易受脉冲噪声的影响。基于暂态信号的小电流接地保护还处于试验和推广阶段。

[0006] 目前对馈线单相接地故障的检测一般采用集中选线方式,需要通过集中比较各条出线的故障信息来判断故障线路,还需要进一步进行故障定位、故障隔离。随着配网自动化的发展,FTU 等馈线智能终端数据处理和存储能力已经非常强大,能满足智能算法的要求;同时现在一些负荷开关和分段开关已换成了断路器,具有开断短路电流的能力,实现小电流接地系统分布式接地保护能将选线、定位、隔离一次完成,实现馈线自动化系统的分布式智能控制,实现故障的快速隔离、保证配电网的安全和用户用电安全,更好实现配网自动化。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于克服现有技术中存在的不足,提供了只需馈线三相电流信息的、可以安装于 FTU 的就地分布式单相接地保护方法。

[0008] 本发明通过下述技术方案来实现:

[0009] 一种应用于 FTU 的分布式馈线自动化保护新方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤一、当馈线的零序电流 I_0 大于整定电流 I_{set} 时,记录当前时刻为故障时刻,记录馈线上故障时刻前二个周波和故障时刻后四个周波的相电流和零序电流;

[0011] 步骤二、选取故障时刻前后各半个周期共一个周期零序电流信号经过灰度形态梯度滤波器滤波处理,滤波处理后的零序电流出现第一个脉冲的时刻即为精确的故障发生时刻;

[0012] 步骤三、以步骤二得到的精确的故障发生时刻为基准,通过求取故障发生时刻后的故障相电流减去故障发生时刻前的负荷相电流获得相电流故障分量 Δi_p ;通过求取故障发生时刻后的故障零序电流减去故障发生时刻前的不平衡零序电流获得零序电流故障分量 Δi_0 ;然后采用带阻滤波器滤除相电流和零序电流的故障分量中的稳态分量,得到相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 和零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$;

[0013] 步骤四、选取相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 和零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 中故障发生时刻后的 2 个周波数据,采用自适应形态滤波器进行滤波去噪预处理;

[0014] 步骤五、采用三次样条小波对滤波去噪预处理后的相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 进行四层小波分解,分别得到 A、B、C 三相电流暂态故障分量在 16 个子频带上的能量 E_A^j 、 E_B^j 、 E_C^j ($j = 0, 1, \dots, 15$), 求 $\max(E_A^j)$ 、 $\max(E_B^j)$ 和 $\max(E_C^j)$, 选择 $\max(E_A^j)$ 、 $\max(E_B^j)$ 和 $\max(E_C^j)$ 中最大值对应的相作为故障相;

[0015] 步骤六、采用三次样条小波对滤波去噪预处理后的零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 进行四层小波分解,求 16 个子频带上的能量,其中 (4, 0) 频带上的能量即为零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 的直流衰减分量的能量 $E_{1.d}$, 其余各频带上的能量之和即为零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 的自由振荡分量的能量 $E_{c.os}$;

[0016] 求 $E_{1.d}$ 和 $E_{c.os}$ 的比值 $\eta = \frac{E_{1.d}}{E_{c.os}}$, $\eta > 1$ 时,判断馈线发生单相接地故障,故障相接地保护动作; $\eta \leq 1$ 的情况再进入步骤七做进一步判别;

[0017] 步骤七、根据步骤五求得的 A、B、C 三相电流暂态故障分量的各 16 个频带能量

E_A^j 、 E_B^j 、 E_C^j ($j = 0, 1, \dots, 15$), 求 $\sum_{j=1}^{15} E_i^j$, i 取 A、B、C 时对应 A、B、C 相暂态容性电流总能量

$E_{c.os}^A$ 、 $E_{c.os}^B$ 、 $E_{c.os}^C$, 根据故障相确定故障相暂态容性电流总能量为 E_f 和非故障相平均暂

态容性电流总能量 $\bar{E}_h$, $\eta_p = \frac{E_f}{\bar{E}_h}$, 当 $\eta_p > K_0$ 时,判定馈线发生单相接地故障,故障相接地

保护动作;当 $\eta_p \leq K_0$ 时,再进入步骤八做进一步判断, K_0 为安全系数;

[0018] 步骤八、在除 (4, 0) 频带外其余子频带上,对馈线三相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 的波形一小波系数进行相关分析,先对各相电流暂态故障分量作自相关分析得到自相关

估计序列,然后分别求故障相与其他两个非故障相电流暂态故障分量的自相关估计序列的互相关系数,求取故障相与其他两个非故障相电流暂态故障分量的自相关估计序列的互相关系数的平均值 $\bar{M}$,当 $\bar{M} < K_M$ 时判定馈线发生单相接地故障,故障相接地保护动作;当 $\bar{M} \geq K_M$ 时判定馈线没有发生单相接地故障。

[0019] 如上所述的步骤4中自适应形态滤波器为:

$$y(x) = \alpha_1(x)Oc(f(x)) + \alpha_2(x)Co(f(x))$$

[0021] 式中 $\alpha_1(x)$, $\alpha_2(x)$ 为权系数, $f(x)$ 为待处理原始信号,采用的结构元素为递增结构元素: $g = [0.050.10.6]$, $Oc(f(x))$ 表示利用结构元素 g 对 $f(x)$ 做形态开闭运算, $Co(f(x))$ 表示利用结构元素 g 对 $f(x)$ 做形态闭开运算。

[0022] 如上所述的灰度形态梯度滤波器为:

$$G_{grad}(f) = (f \oplus g)(x) - (f \ominus g)(x)$$

[0024] 其中, $g(x)$ 为结构元素, $f(x)$ 为待处理原始信号, $(f \oplus g)(x)$ 表示利用结构元素 $g(x)$ 对 $f(x)$ 做开运算, $(f \ominus g)(x)$ 表示利用结构元素 $g(x)$ 对 $f(x)$ 做闭运算。采用递增结构元素: $g = [0.050.10.6]$ 。

[0025] 如上所述的 K_e 取 $1 \sim 2$; K_M 取 $0.5-1$ 。

[0026] 本发明的优点在于:

[0027] 在现有非有效接地系统单相接地故障保护方案中,都采用集中选线装置,需要所有出线的故障信息,不符合馈线自动化的要求。本发明通过分析发生单相接地时故障暂态电流的特征,引入形态梯度技术对零序电流进行处理提取电流突变信息准确捕捉故障发生时刻,引入自适应形态滤波技术有效消除了白噪声和脉冲噪声,基于FTU采集的三相电流信息直接准确识别馈线是否故障,不需要其他馈线故障信息,真正实现了可以应用于FTU的分布式单相接地保护技术,大大提供了馈线自动化水平。

附图说明

[0028] 利用附图对本发明作进一步说明,但附图中的实施例不构成对本发明的任何限制。

[0029] 图1单相接地故障时补偿电网的等值接线图;

[0030] 图2实施流程图;

[0031] 图3利用形态梯度MMG识别故障发生时刻;图中虚线为零序电流波形,点实线为形态梯度滤波后的波形。

[0032] 图4自适应形态滤波后的波形和原始波形;(a)为被白噪声和脉冲噪声污染的馈线零序电流波形,(b)为利用自适应形态滤波后的波形。

[0033] 图5馈线1和2的故障暂态电流(馈线1A相接地故障);(a)为馈线1的ABC相暂态电流波形,(b)为馈线2的ABC相暂态电流波形。

[0034] 图6馈线1三相的暂态容性电流的自相关曲线;馈线1A相接地故障,(a)为馈线1的A相暂态容性电流的自相关曲线,(b)为馈线1的B相暂态容性电流的自相关曲线,(c)为馈线1的C相暂态容性电流的自相关曲线。

[0035] 图7馈线2三相的暂态容性电流的自相关曲线。(a)为馈线1的A相暂态容性电

流的自相关曲线, (b) 为馈线 1 的 B 相暂态容性电流的自相关曲线, (c) 为馈线 1 的 C 相暂态容性电流的自相关曲线。

具体实施方式

[0036] 下面结合附图以实施例的方式详细描述本发明。

[0037] 本发明的技术方案, 引入了形态滤波器、系统运行工况预识别、基于馈线自身故障信息的故障定位方法, 从而解决了现有方案存在的局限和缺点, 实现可以直接应用于 FTU 智能终端的分布式馈线单相接地保护。

[0038] 该方法为实现分布式馈线单相接地保护, 需要采用如下的处理流程:

[0039] 步骤一、采用零序电流作为启动元件, 当馈线的零序电流 I_0 大于整定电流 I_{set} 时, 记录当前时刻为故障时刻, 启动保护算法并记录下馈线上故障时刻前二个周波和故障时刻后四个周波的相电流 (包括 A、B、C 三相) 和零序电流。

[0040] 步骤二、选取故障时刻前后各半个周期共一个周期零序电流信号经过灰度形态梯度滤波器滤波处理, 滤波处理后的零序电流出现第一个脉冲的时刻即为精确的故障发生时刻。使用的灰度形态梯度滤波器 $G_{grad}(f)$ 为:

$$[0041] \quad G_{grad}(f) = (f \oplus g)(x) - (f \ominus g)(x)$$

[0042] 上式中 $g(x)$ 为结构元素, $f(x)$ 为待处理原始信号, $(f \oplus g)(x)$ 表示利用结构元素 $g(x)$ 对 $f(x)$ 做开运算, $(f \ominus g)(x)$ 表示利用结构元素 $g(x)$ 对 $f(x)$ 做闭运算。采用递增结构元素: $g = [0.05 \ 0.1 \ 0.6]$ 。

[0043] 步骤三、以步骤二得到的精确的故障发生时刻为基准, 按照下公式求取相电流故障分量 Δi_p 和零序电流故障分量 Δi_0 ; 即通过求取故障发生时刻后的故障相电流减去故障发生时刻前的负荷相电流获得相电流故障分量 Δi_p ; 通过求取故障发生时刻后的故障零序电流减去故障发生时刻前的不平衡零序电流获得零序电流故障分量 Δi_0 ;

$$[0044] \quad \Delta i = i_{后} - i_{前}$$

[0045] 式中 $i_{后}$ 为故障后的故障电流, $i_{前}$ 为故障前的负荷电流。然后采用带阻滤波器滤除相电流和零序电流的故障分量中的稳态分量, 得到相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 和零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 。

[0046] 步骤四、选取相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 和零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 中故障发生时刻后的 2 个周波数据, 采用自适应形态滤波器进行滤波去噪预处理。采用的自适应形态滤波器 $y(x)$ 为:

$$[0047] \quad y(x) = \alpha_1(x)Oc(f(x)) + \alpha_2(x)Co(f(x))$$

[0048] 式中 $\alpha_1(x)$, $\alpha_2(x)$ 为权系数, 采用 RLS (最小二乘法) 自适应迭代求得权系数, $f(x)$ 为待处理原始信号, 采用的结构元素为递增结构元素: $g = [0.05 \ 0.1 \ 0.6]$, $Oc(f(x))$ 表示利用结构元素 g 对 $f(x)$ 做形态开闭运算, $Co(f(x))$ 表示利用结构元素 g 对 $f(x)$ 做形态闭开运算。

[0049] 步骤五、采用三次样条小波对滤波去噪预处理后的相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 进行四层小波分解, 分别得到 A、B、C 三相电流暂态故障分量在 16 个子频带上的能量 E_A^j 、 E_B^j 、 E_C^j ($j = 0, 1, \dots, 15$), 求 $\max(E_A^j)$ 、 $\max(E_B^j)$ 和 $\max(E_C^j)$, 选择

$\max(E_A^j)$ 、 $\max(E_B^j)$ 和 $\max(E_C^j)$ 中最大值对应的相作为故障相。

[0050] 步骤六、采用三次样条小波对滤波去噪预处理后的零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 进行四层小波分解,其实质是让信号通过一组高低通组合的共轭正交滤波器组,不断将信号划分到不同的频段上。再利用下式分别求零序电流暂态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 在四层小波分解得到的 16 个子频带上的能量。(4, 0) 频带上的能量即为 $\Delta i_{0.tr}$ 的直流衰减分量的能量 ($E_{l.d}$),其余各频带上的能量之和即为 $\Delta i_{0.tr}$ 的自由振荡分量的能量 ($E_{c.os}$)

$$[0051] \quad E = \sum_n [\omega_k^4(n)]^2$$

[0052] 式中 $\omega_k^4(n)$ 为小波分解第 (4, k) 子频带下的系数, $k = 0, 1, \dots, 15$ 。

[0053] n 为 (4, k) 子频带下得到的小波系数序列序号。

[0054] 求 $E_{l.d}$ 和 $E_{c.os}$ 的比值 $\eta = \frac{E_{l.d}}{E_{c.os}}$, 当馈线发生单相接地故障时,产生的零序电流暂

态故障分量 $\Delta i_{0.tr}$ 包含暂态电感电流 (即直流衰减分量 $E_{l.d}$) 和暂态电容电流 (即自由衰减分量 $E_{c.os}$), 并且故障角为 0 度附近时, $E_{l.d} > E_{c.os}$, 故可得判据 $\eta > 1$ 时,判断馈线发生单相接地故障,故障相接地保护动作。 $\eta \leq 1$ 的情况再进入步骤七做进一步判别。

[0055] 步骤七、根据步骤五求得的 A、B、C 三相电流暂态故障分量的各 16 个频带能量

E_A^j 、 E_B^j 、 E_C^j ($j = 0, 1, \dots, 15$), 求 $\sum_{j=1}^{15} E_i^j$, i 取 A、B、C 时对应 A、B、C 相暂态容性电流总

能量 $E_{c.os}^A$ 、 $E_{c.os}^B$ 、 $E_{c.os}^C$, 这里不妨假设故障相为 A 相, 则故障相暂态容性电流总能量为

$E_f = E_{c.os}^A$, 非故障相平均暂态容性电流总能量 $\bar{E}_h = \frac{(E_{c.os}^B + E_{c.os}^C)}{2}$, 求故障相和非故障相能

量比 η_p

$$[0056] \quad \eta_p = \frac{E_f}{\bar{E}_h}$$

[0057] 当 $\eta_p > K_e$ 时,判定馈线发生单相接地故障,故障相接地保护动作;当 $\eta_p \leq K_e$ 时,再进入步骤八做进一步判断。 K_e 为安全系数,这里取 1.5。

[0058] 步骤八、在除 (4, 0) 频带外其余子频带上,对馈线三相电流暂态故障分量 $\Delta i_{p.tr}$ 的波形——小波系数进行相关分析,先对各相电流暂态故障分量作自相关分析得到自相关估计序列,然后分别求故障相与非故障相电流暂态故障分量的自相关估计序列的互相关系数,同步步骤七不妨假设故障相为 A 相,则可以得到在 15 个子频带上的互相关系数

M_{AB}^j 、 M_{AC}^j , $j = 1, \dots, 15$, 求互相关系数的均值 $\bar{M}_{AB} = \sum_{j=1}^{15} M_{AB}^j$ 和 $\bar{M}_{AC} = \sum_{j=1}^{15} M_{AC}^j$, 再求均值

$\bar{M} = (\bar{M}_{AB} + \bar{M}_{AC}) / 2$ 。当 $\bar{M} < K_M$ 时判定馈线发生单相接地故障,故障相接地保护动作;当

$\bar{M} \geq K_M$ 时判定馈线没有发生单相接地故障。经过大量仿真实验验证分析, K_M 推荐取 0.7。

[0059] 最后应当说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对本发明保护范围的限制,尽管参照较佳实施例对本发明作了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的实质和

范围。

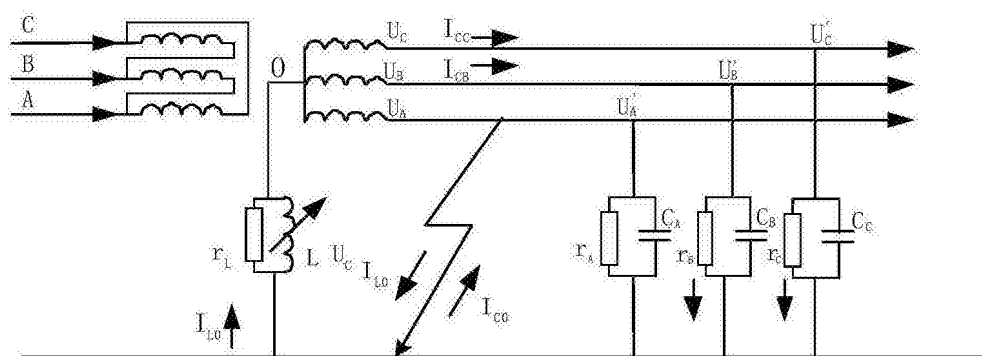


图 1

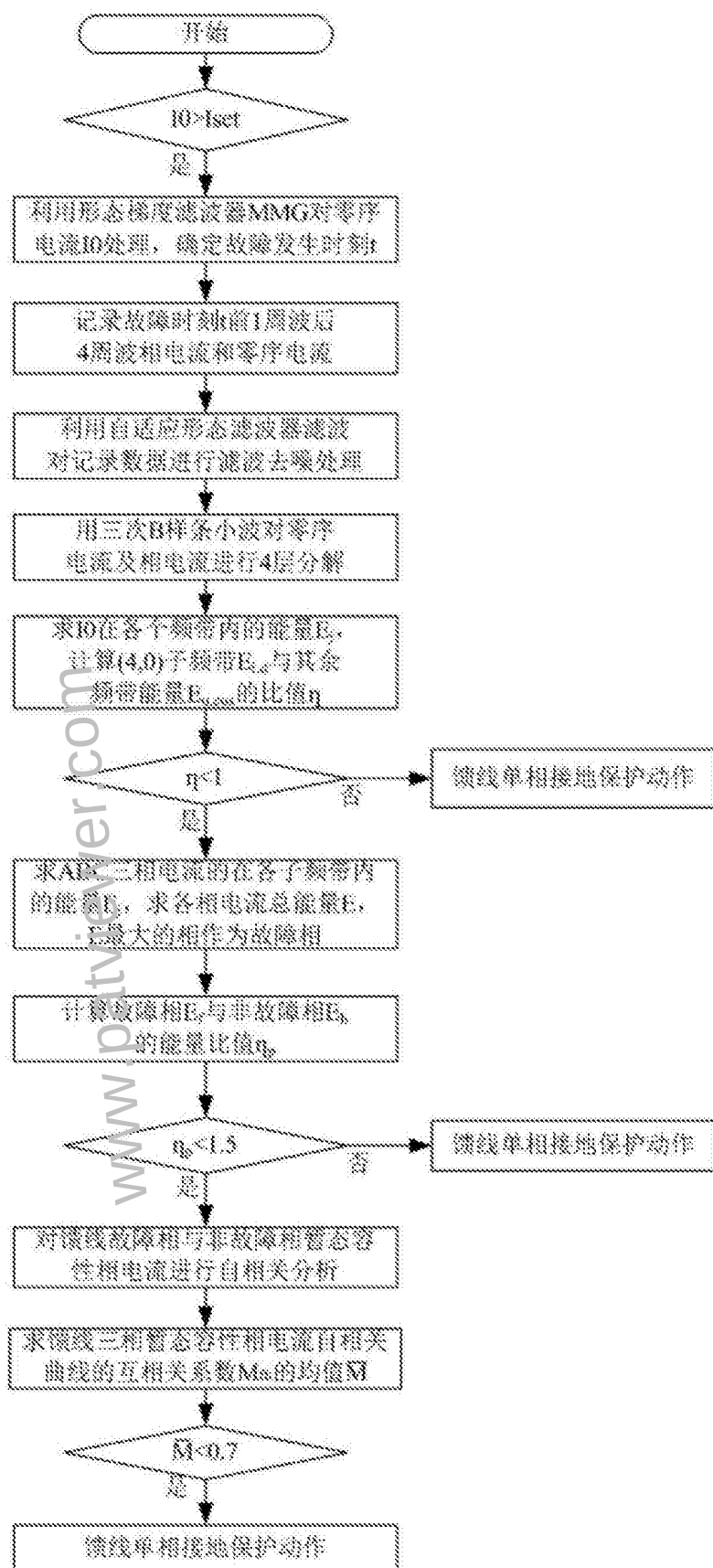


图 2

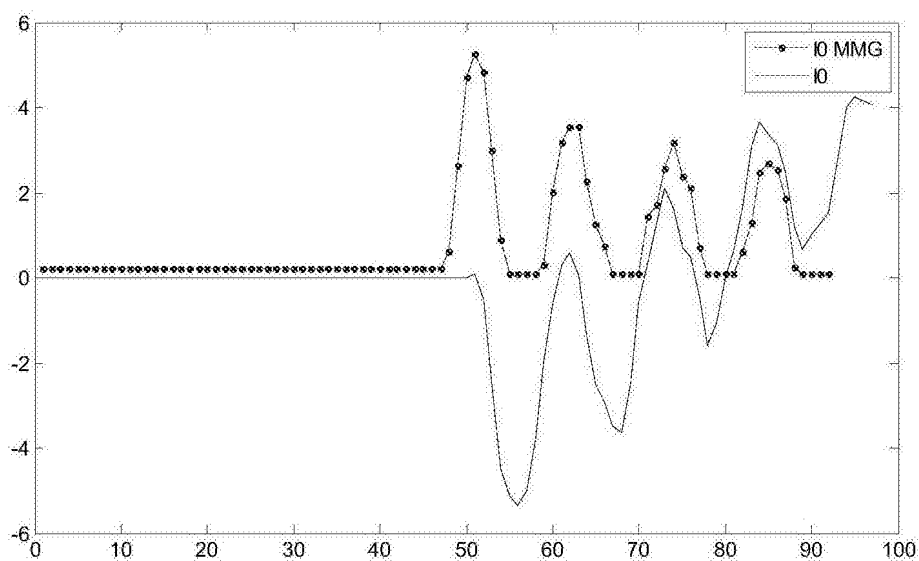


图 3

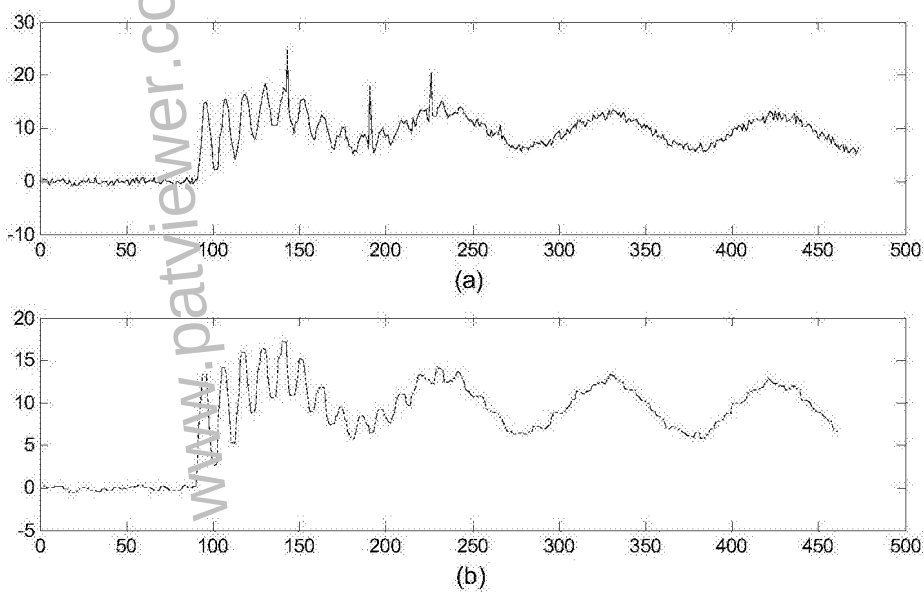


图 4

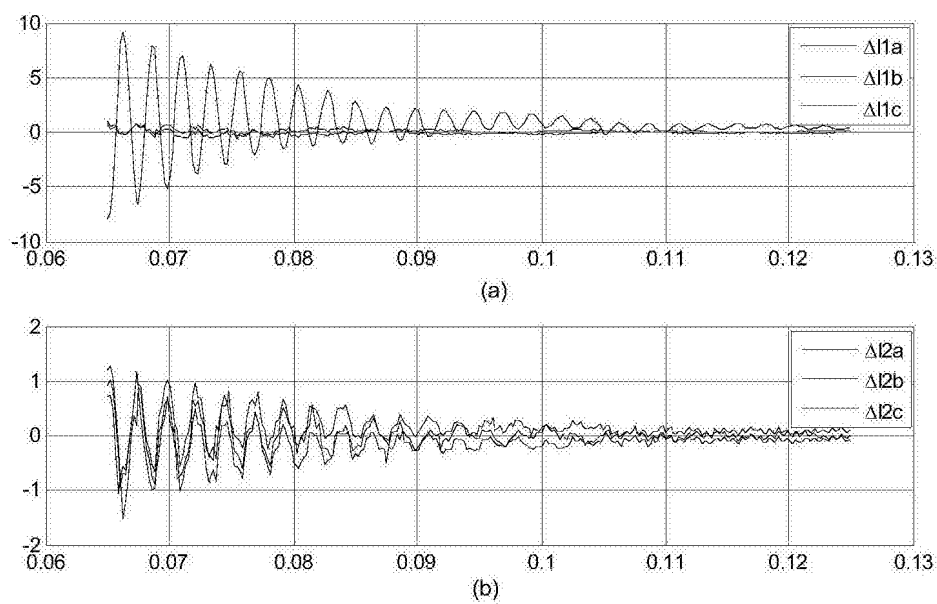


图 5

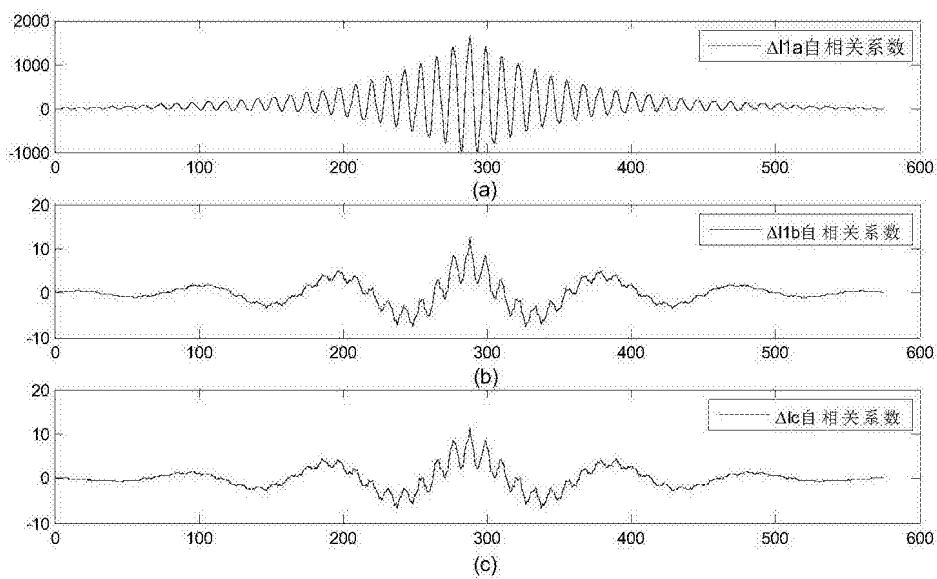


图 6

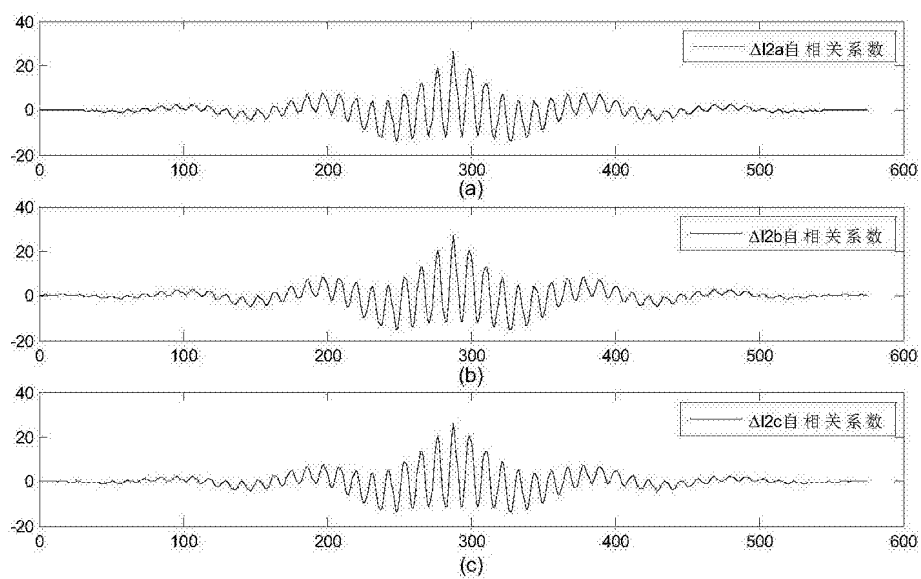


图 7

www.patviewer.com