



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102967800 B

(45) 授权公告日 2015.06.03

(21) 申请号 201210535537.9

(22) 申请日 2012.12.10

(73) 专利权人 辽宁省电力有限公司沈阳供电公司

地址 110811 辽宁省沈阳市和平区八经街 94 号地

专利权人 华北电力大学 国家电网公司

(72) 发明人 王芝茗 王增平 姜万超 齐郑 王英男 郑涛

(74) 专利代理机构 北京金阙华进专利事务所 (普通合伙) 11224

代理人 吴鸿维

(51) Int. Cl.

G01R 31/08(2006.01)

(56) 对比文件

郑顾平等. 小电流单相接地故障在线定位装置研究与实现. 《电力系统保护与控制》. 2012, 第 40 卷 (第 8 期),

审查员 徐泽昕

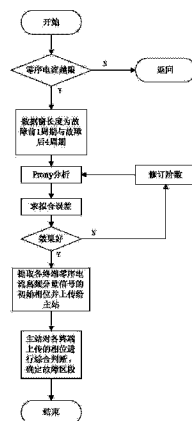
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

基于暂态信号 Prony 算法的配电网单相接地故障区段定位方法及定位装置

(57) 摘要

一种基于暂态信号 Prony 算法小电流接地故障的在线定位方法及定位装置,通过安装在线路上不同位置的终端准确捕捉到零序电流超过启动值前 1 个周期和超过启动值后 4 个周期的零序电流暂态信号,运用 Prony 算法提取故障暂态信号中起主导作用的暂态高频分量信号,根据所述暂态高频分量信号分析故障点所在的区段。本申请的定位装置由终端和主站两个部分组成,所述终端安装在架空线路杆塔上或者电缆环网柜内,其输入端接收配电线路(包括架空线路和电缆)CT 二次侧的相电流信号合成得到零序电流信号,并与主站通过光纤通信或者移动通信连接;所述主站安装在变电站内或调度中心,包括光纤通信模块和移动通信模块,接收终端发送的信号。本申请技术成熟、可靠性高。



1. 一种基于暂态信号 Prony 算法的配电网单相接地故障区段定位方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

(1) 安装在线路多个位置的终端实时检测安装位置处的电流互感器二次合成零序电流;

(2) 当任一终端检测的零序电流幅值超过预设的启动值后,所有终端立刻准确捕捉到零序电流超过启动值前 1 个周期和超过启动值后 4 个周期的零序电流暂态信号;

(3) 各终端对 4 个周期的零序电流暂态信号进行 Prony 迭代计算,其中,所述终端对零序电流暂态信号的采样间隔为一个周波 80 个点,采样频率为 4000Hz;

(4) 通过对各终端所检测的零序电流暂态信号的 Prony 迭代计算,得到包括 3-4 个频率的零序电流暂态信号的波形拟合,选取其中的零序电流暂态高频分量信号,将相位信息上传给主站;

(5) 主站综合比较各个终端传来零序电流暂态高频分量信号的相位,根据不同情况作出判断:

①如果所有终端检测到的零序电流暂态高频分量信号的相位方向都相同,判断为同一母线上没有安装终端的线路出现故障;

②如果有一个或若干个终端检测到的零序电流暂态高频分量信号的相位与当前线路其它终端检测到的零序电流暂态高频分量信号相位方向相反,所述一个或若干个终端是指其数量小于当前线路其它终端数量,则判断故障点在该一个或若干个终端所在的线路区段上,首先标记该线路区段为可能的线路故障区段,然后从所述可能的线路故障区段上离母线最近的终端开始,依次往下搜寻,直到找出所检测的零序电流暂态高频分量信号相位方向相反的两个相邻终端,确定故障就发生在这两个相邻终端之间的线路区段上;

③如果步骤②搜寻结果显示可能的线路故障区段上所有终端检测的零序电流暂态高频分量信号相位方向均一致,那么可判断故障产生在所述可能的线路故障区段上离母线最远终端的下游,也就是最远终端和负荷之间的区段上。

2. 一种利用权利要求 1 所述配电网单相接地故障区段定位方法的配电网单相接地故障区段定位装置,所述单相接地故障区段定位装置由主站和终端两个部分组成,其特征为:

所述终端安装在架空线路杆塔上或者电缆环网柜内,其输入端接收架空线路和 / 或电缆 CT 二次侧的相电流信号合成得到零序电流信号,并与主站通过光纤通信或者移动通信连接;

所述主站安装在变电站内或调度中心,接收终端发送的信号;

所述终端对零序电流暂态信号进行 Prony 拟合计算,将计算结果通过光纤或移动通信上传给主站。

3. 根据权利要求 2 所述的配电网单相接地故障区段定位装置,其特征为:

所述终端包括顺次连接的电流变换器、A/D 转换模块、CPU 模块、光纤通信模块、移动通信模块;终端对零序电流暂态信号进行 Prony 拟合计算,将分析结果上传给主站。

4. 根据权利要求 2 所述的配电网单相接地故障区段定位装置,其特征为:

主站为一台工业控制计算机,包含光纤通信模块和移动通信模块,接收终端发送的数据,主站综合比较各个终端传来零序电流故障特征,经过计算确定故障区段并显示给调度

运行人员。

基于暂态信号 Prony 算法的配电网单相接地故障区段定位方法及定位装置

技术领域

[0001] 本申请属于电力系统自动化技术领域,具体涉及一种配电网单相接地故障的区段定位方法以及基于该定位方法的定位装置,适用于 3 ~ 60kV 中性点非有效接地电网,能够在单相接地故障发生时,准确定位故障区段。

背景技术

[0002] 我国 3 ~ 60kV 配电网广泛采用中性点非有效接地方式,又称为小电流接地系统,小电流接地系统的故障绝大多数是单相接地故障。发生单相接地故障时,接地电流很小,可以在故障情况下继续运行 1 ~ 2 个小时,但是必须尽快找到故障点,这就提出了故障定位问题。

[0003] 配电网故障定位问题长期以来没有得到很好的解决,现场往往还在采用人工巡线的方法,人工巡线不仅耗费了大量人力物力,而且延长了停电时间,影响供电安全。目前现场有三种方法进行自动定位,第一种方法是从 PT 注入高频信号,沿线路检测该信号确定故障位置,但是由于线路分布电容对高频信号形成通路,因此在经电阻接地时定位不准确。第二种方法是利用故障指示器的方法,由于故障指示器只能测量相电流,不能测量零序电流,所以对于短路故障效果较好,但是对于单相接地故障定位准确率很低。第三种方法是安装内置 CT 的智能开关,虽然该方法可以测量零序电流,但是市场上运行的终端和主站算法简单,仅仅判断稳态零序电流是否超过定值,对于中性点经消弧线圈接地系统定位正确率很低。

发明内容

[0004] 本申请的目的是克服现有技术上的不足,提出新的定位方法,并提供一种针对配电网故障的定位装置。该定位方法充分利用了零序电流暂态分量进行定位,由于零序电流暂态分量中,含有丰富的故障特征,且暂态分量幅值较大、易于判断,因此本申请能够快速、准确地确定故障区段。本申请适用于中性点不接地系统和中性点经消弧线圈接地系统,适用于金属性接地、经电弧接地、经过渡电阻接地等多种故障情况。

[0005] 本申请的技术方案如下:

[0006] 一种基于暂态信号 Prony 算法配电网单相接地故障区段定位方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

[0007] (1) 安装在线路多个位置的终端实时检测安装位置处的电流互感器二次合成零序电流;

[0008] (2) 当任一终端检测的零序电流幅值超过预设的启动值后,所有终端立刻准确捕捉到零序电流超过启动值前 1 个周期和超过启动值后 4 个周期的零序电流暂态信号;

[0009] (3) 各终端对 4 个周期的零序电流暂态信号进行 Prony 迭代计算,其中,所述终端对零序电流暂态信号的采样间隔为一个周波 80 个点,采样频率为 4000Hz;

[0010] (4)通过对各终端所检测的零序电流暂态信号的 Prony 迭代计算,得到包括 3-4 个频率的零序电流暂态信号的波形拟合,选取其中的零序电流暂态高频分量信号,将相位信息上传给主站;

[0011] (5)主站综合比较各个终端传来零序电流暂态高频分量信号的相位,根据不同情况作出判断:

[0012] ①如果所有终端检测到的零序电流暂态高频分量信号的相位方向都相同,判断为同一母线上没有安装终端的其它线路出现故障;

[0013] ②如果有一个或若干个终端检测到的零序电流暂态高频分量信号的相位与当前线路其它终端检测到的零序电流暂态高频分量信号相位方向相反,所述一个或若干个终端是指其数量相对于其它终端数量为少,则判断故障点在该一个或若干个终端所在的线路区段上,首先标记该线路区段为可能的线路故障区段,然后从所述可能的线路故障区段上离母线最近的终端开始,依次往下搜寻,直到找出所检测的零序电流暂态高频分量信号相位方向相反的两个相邻终端,确定故障就发生在这两个相邻终端之间的线路区段上;

[0014] ③如果步骤②搜寻结果显示可能的线路故障区段上所有终端检测的零序电流暂态高频分量信号相位方向均一致,那么可判断故障产生在所述可能的线路故障区段上离母线最远终端的下游,也就是最远终端和负荷之间的区段上。

[0015] 本申请还公开了一种利用上述配电网单相接地故障区段定位方法的配电网单相接地故障区段定位装置,所述单相接地故障定位装置由主站和终端两个部分组成;

[0016] 所述终端安装在架空线路杆塔上或者电缆环网柜内,其输入端接收架空线路和/或电缆 CT 二次侧的相电流信号合成得到零序电流信号,并与主站通过光纤通信或者移动通信连接;所述主站安装在变电站内或调度中心,接收终端发送的信号。

[0017] 所述终端包括顺次连接的电流变换器、A/D 转换模块、CPU 模块、光纤通信模块、移动通信模块;终端对零序电流暂态信号进行 Prony 拟合计算,将分析结果上传给主站。

[0018] 主站为一台工业控制计算机,包含光纤通信模块和移动通信模块,接收终端发送的数据,主站综合比较各个终端传来零序电流故障特征,经过计算确定故障区段并显示给调度运行人员。

[0019] 本申请的优点如下:

[0020] 1、利用故障发生后零序电流的暂态分量进行定位,相比传统的稳态量定值比较法,暂态信号的幅值相位特征明显,在定位中有明显的优势。

[0021] 2、采用 Prony 算法对暂态电流信号进行处理,处理后的故障特征明显,易于选出故障区段。

[0022] 3、可以直接在时域内求得信号的幅值、相位、衰减因子和频率,而无需从频域相应中来求,计算量大为减少。

[0023] 4、处理高阶系统的效果非常好,这对于电力系统非常有益,系统模型阶数的选择可以根据辨识的目的和需要等具体情况确定。

[0024] 5、能够确定故障点所在区域,终端间距越小,定位越准确。

[0025] 6、终端安装在线路上,无需人工沿线路巡视。

[0026] 7、可以在带故障运行情况下定位,提高系统运行的可靠性。

[0027] 8、技术成熟、可靠性高,适用于 3 ~ 60kV 中性点不接地或中性点经消弧线圈接地

的配电网,适用于金属性接地、经电弧接地、经过渡电阻接地等多种故障情况。

附图说明

- [0028] 图 1 是本申请的结构示意图；
 [0029] 图 2 是单相接地故障时零序暂态电流分布情况的等值电路图；
 [0030] 图 3 是本申请基于暂态信号 Prony 迭代算法的配电网单相接地故障定位方法流程图；
 [0031] 图 4 是终端的原理图。

具体实施方式

- [0032] 下面结合说明书附图,通过具体实施例对本申请的技术方案作进一步详细说明。
 [0033] 首先简单介绍 Prony 迭代算法。
 [0034] Prony 迭代算法是用一组具有任意幅值、相位、频率和衰减因子的指数函数的线性组合来拟合等间隔采样数据,其一般表达式为：

$$[0035] \quad x(t) = \sum_{i=1}^q A_i e^{\alpha_i t} \cos(2\pi f_i t + \theta_i) \quad (1)$$

[0036] 式中, A_i 为振幅, θ_i 为相位; α_i 为衰减因子; f_i 为振荡频率。

[0037] 其第 n 个采样点的估计值可表示为：

$$[0038] \quad \hat{x}(n) = \sum_{i=1}^q A_i e^{\alpha_i n \Delta t} \cos(2\pi f_i n \Delta t + \theta_i) \quad (2)$$

[0039] 式中, Δt 为采样的时间间隔。

[0040] 假设式 (1) 中分别有 q_1 个衰减的直流分量和 q_2 个衰减的余弦分量,

[0041] 其中的余弦分量用欧拉公式展开,可得到：

$$[0042] \quad \cos(2\pi f_i t + \theta_i) = \frac{1}{2} \{ \exp[j(2\pi f_i t + \theta_i)] + \exp[-j(2\pi f_i t + \theta_i)] \} \quad (3)$$

[0043] 令 $p = q_1 + 2q_2$, 则其离散时间的函数形式为：

$$[0044] \quad \hat{x}(n) = \sum_{m=1}^p b_m z_m^n, \quad n=0,1,2, \dots, N-1 \quad (4)$$

[0045] 作为测量数据 $x(0), \dots, x(N-1)$ 的模型。更一般的, b_m 和 z_m 假定是复数,且

$$[0046] \quad b_m = A_m \exp(j\theta_m)$$

[0047] (5)

$$[0048] \quad z_m = \exp[(\alpha_m + j2\pi f_m) \Delta t]$$

[0049] 式中, A_m 为振幅; θ_m 为相位(单位为弧度); α_m 是衰减因子; f_m 表示振荡频率; Δt 代表采样间隔; b_m 为衰减直流部分。

[0050] 为使模拟信号向真实信号逼近, Prony 算法采用平方误差最小原则。但这需要求解非线性方程组,通常这种非线性方程的求解是一种迭代过程。

$$[0051] \quad \min[\varepsilon = \sum_{n=0}^{N-1} |x(n) - \hat{x}(n)|^2] \quad (6)$$

[0052] 利用 Prony 迭代算法来分析问题的关键是认识到 (1) 式的拟合是一常系数线性差分方程的齐次解, 只需通过测量观察数据求出这个差分方程的系数, 即可从以这些系数为参数的多项式方程中求出多项式的根 $z_i (i=1, 2, \dots, p)$ 。

[0053] Prony 迭代计算为本领域的公知常识, 为了便于理解本申请, 详细介绍步骤如下:

[0054] 步骤一: 由离散的采样数据构造线性差分方程, 求解差分方程的系数 $\alpha_i (i=1, 2, \dots, p)$ 。

[0055]

$$\begin{pmatrix} x(p) \\ x(p+1) \\ \vdots \\ x(N-1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x(p-1) & x(p-2) & \dots & x(0) \\ x(p) & x(p-1) & \dots & x(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x(N-2) & x(N-3) & \dots & x(N-p-1) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_p \end{pmatrix} \quad (7)$$

[0056] 其中, $x(n) (n=0, 1, \dots, N-1)$ 为真实的测量数据, $\alpha_i (i=1, 2, \dots, p)$ 为衰减因子。

[0057] 步骤二: 求解差分方程的特征多项式 $1 + \alpha_1 z^{-1} + \dots + \alpha_p z^{-p} = 0$ 的根 z_i 。

[0058] 步骤三: 计算参数 b 。

[0059]

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ z_1 & z_2 & \dots & z_p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_1^{N-1} & z_2^{N-1} & \dots & z_p^{N-1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{x}(0) \\ \hat{x}(1) \\ \vdots \\ \hat{x}(N-1) \end{pmatrix} \quad (8)$$

[0060] 其中, $\hat{x}(0) = x(0)$, $\hat{x}(n) = -\sum_{i=1}^p \alpha_i \hat{x}(n-i)$, $n=1, 2, 3, \dots, N-1$ 。

[0061] 则

$$[0062] \quad b = (Z^H Z)^{-1} Z^H \hat{X} \quad (9)$$

[0063] 步骤四: 计算幅值 A_i , 相位 θ_i , 衰减因子 α_i , 振荡频率 f_i , ($i=1, 2, \dots, p$)

$$[0064] \quad A_i = |b_i|$$

$$[0065] \quad \theta_i = \arctan[\text{Im}(b_i) / \text{Re}(b_i)]$$

$$[0066] \quad \alpha_i = \ln |z_i| / \square t$$

$$[0067] \quad f_i = \arctan[\text{Im}(z_i) / \text{Re}(z_i)] / (2\pi \square t)$$

[0068] 本申请提出的一种新的定位方法, 其原理是在线路带单相接地故障运行的情况下, 对各终端测得的零序电流信号进行 Prony 迭代计算, 利用迭代计算后暂态高频分量的相位数据, 进行故障定位。

[0069] 如图 3 所示为本申请基于暂态信号 Prony 迭代算法的配电网单相接地故障定位方法流程图。本申请公开的配电网单相接地故障定位方法包括以下步骤:

[0070] (1) 安装在线路多个位置的终端实时检测安装位置处的电流互感器二次合成零序

电流。

[0071] 如附图 1 和附图 2 中所示终端 B 与架空线路 CTC 配套使用,安装在线路的多个位置。终端收集架空 CT 采集的电流数据,将三相电流相加即为零序电流,通过 A/D 采样测量零序电流。

[0072] (2) 当任一终端检测的零序电流幅值超过预设的启动值后,所有终端立刻准确捕捉到零序电流超过启动值前 1 个周期和超过启动值后 4 个周期的零序电流暂态信号。确定数据窗时间为故障时刻之后的 4 个周期,取得故障后的暂态数据。

[0073] (3) 各终端对 4 个周期的零序电流暂态信号进行 Prony 迭代计算,其中,所述终端对零序电流暂态信号的采样间隔为一个周波 80 个点,采样频率为 4000Hz。如流程图图 3 所示,由离散的采样数据构造线性差分方程,求解差分方程的系数。再对差分方程的跟进行求解,通过参数计算后,得出若干组幅值、频率、衰减和初始相位数据。利用最小二乘法检测拟合精度,满足要求就不再增加差分方程阶数,若不满足就再次修订阶数。最终得出拟合效果满足要求的若干组幅值、频率、衰减和初始相位数据。

[0074] (4)通过对各终端所检测的零序电流暂态信号的 Prony 迭代计算,得到包括 3-4 个频率的零序电流暂态信号的波形拟合数据,选取其中的零序电流暂态高频分量信号,将相位信息上传给主站;

[0075] (5)主站综合比较各个终端传来零序电流暂态高频分量信号的相位,根据不同情况作出判断:

[0076] ①如果所有终端检测到的零序电流暂态高频分量信号的相位都相同,判断为同一母线没有安装终端的其他线路出现故障;

[0077] ②如果有一个或若干个终端检测到的零序电流暂态高频分量信号的相位与当前线路其它终端检测到的零序电流暂态高频分量信号相位方向相反,所述一个或若干个终端是指其数量相对于其它终端数量为少,则判断故障点在该一个或若干个终端所在的线路区段上,首先标记该线路区段为可能的线路故障区段,然后从所述可能的线路故障区段上离母线最近的终端开始,依次往下搜寻,直到找出所检测的零序电流暂态高频分量信号相位方向相反的两个相邻终端,确定故障就发生在这两个相邻终端之间的线路区段上;

[0078] ③如果步骤②搜寻结果显示可能的线路故障区段上所有终端检测的零序电流暂态高频分量信号相位方向均一致,那么可判断故障产生在所述可能的线路故障区段上离母线最远终端的下游,也就是最远终端和负荷之间的区段上。

[0079] 本申请还公开了一种利用上述配电网单相接地故障区段定位方法的配电网单相接地故障区段定位装置(如附图 1 所示),所述单相接地故障定位装置由主站和终端两个部分组成;

[0080] 所述终端安装在架空线路杆塔上或者电缆环网柜内,其输入端接收架空线路和/或电缆 CT 二次侧的相电流信号合成得到零序电流信号,并与主站通过光纤通信或者移动通信连接;所述主站安装在变电站内或调度中心,接收终端发送的信号。

[0081] 所述终端安装在架空线路杆塔上或者电缆环网柜内,其输入端接收配电线路(包括架空线路和电缆)CT 二次侧的相电流信号合成得到零序电流信号,并与主站通过光纤通信或者移动通信连接。终端对 5 个周期的零序电流暂态信号进行 Prony 计算。

[0082] 定位装置由套接式架空线路 CT C(当使用多组套接式架空线路 CT 时,分别使用

C-1、C-2……C-n 表示)、终端 B (当使用多组与 CT 对应的终端时,多个终端分别使用 B-1、B-2……B-n 表示) 和主站 A 三个部分组成,其中架空线路 CT 和终端配合使用,在线路的多个位置进行安装。架空线路 CT 为开口铁磁式结构,可以打开分为两半套接在架空线路上,避免了将架空线路断开的施工难度;CT 精度达到 1 级,充分保证了测量的准确性。终端为适用于户外使用的低功耗微型装置,安装于架空线杆塔上,与安装在 ABC 三相上的高精度架空线路 CT 配合使用。终端用于测量相电流和零序电流信号及向主站发送故障信息,由电流变换器、A/D、移动通信模块和太阳能充电模块组成。主站为一台工业控制计算机,安装于变电站内或者调度中心,用于接收终端的信息并进行故障定位运算,由光纤通信模块、移动通信模块组成。

[0083] 单相接地故障时零序电流分布情况的等值电路如图 2 所示。在 f 点发生接地故障,由于线路上存在对地分布电容,零序电流以故障点到对地分布电容为通路,所以故障点前后及非故障分支都能检测到零序电流。故障线路零序电流大小等于所有非故障线路零序电流大小之和,且故障点上游零序电流的相位与非故障点下游零序电流的相位相差 180 度。在①②③④⑤五个终端,测得零序电流 i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 、 i_5 ,箭头所示为各零序电流的流向。由于零序电流以对地电容为通路,呈容性,现以母线零序电压为参照,设定正方向为从母线流向线路,那么终端④检测出的 i_2 与终端①②③⑤检测出的 i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_5 在相位上相差 180 度,这是本申请所使用判据的理论基础。

[0084] 终端的原理如图 4 所示,由顺次连接的 CPU、电流变换器、A/D、移动通信模块、光纤收发模块组成。由小电流互感器和电阻 R_z 构成电流变换器将输电线电流变换为交流 0 到 5V 信号,交流 0 到 5V 信号输入到输入运算放大器 OP07 中,OP07、基准电压源 AD584 以及电阻 R_1 、 R_2 、 R_f 构成比例加法器。输入运算放大器 OP07 输出接到 8051F120 的 P1.0 管脚上,8051F120 内部含有 ADC 和附加基准电压源,对模拟信号进行 A/D 采样,采样后 CPU 计算出信号特征。8051F120 通过 P4 和 P5 这两个 I/O 口中的 P4.0-P4.7 和 P5.0-P5.6 接点分别与移动通信模块 M1206 的 Sub HD Pin15 端口的 15 个接点一一对应相连,用于驱动移动通信模块 M1206,采用移动通信方式向主站发送特征数据。HFBR14 为光纤发送模块,HFBR24 为光纤接收模块,8051F120 芯片通过 UART0 连接到光纤收发模块,采用光纤通信方式向主站发送特征数据。

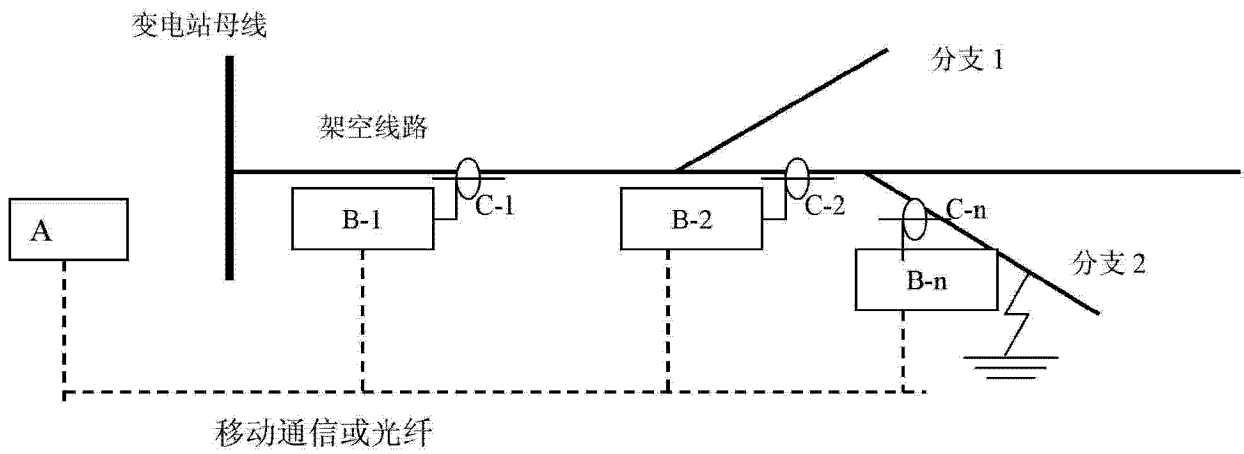


图 1

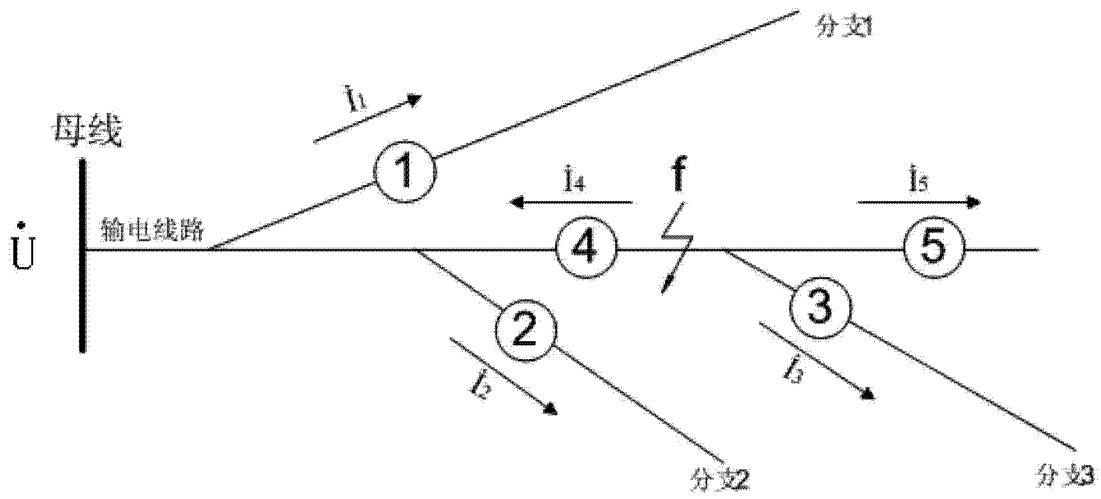


图 2

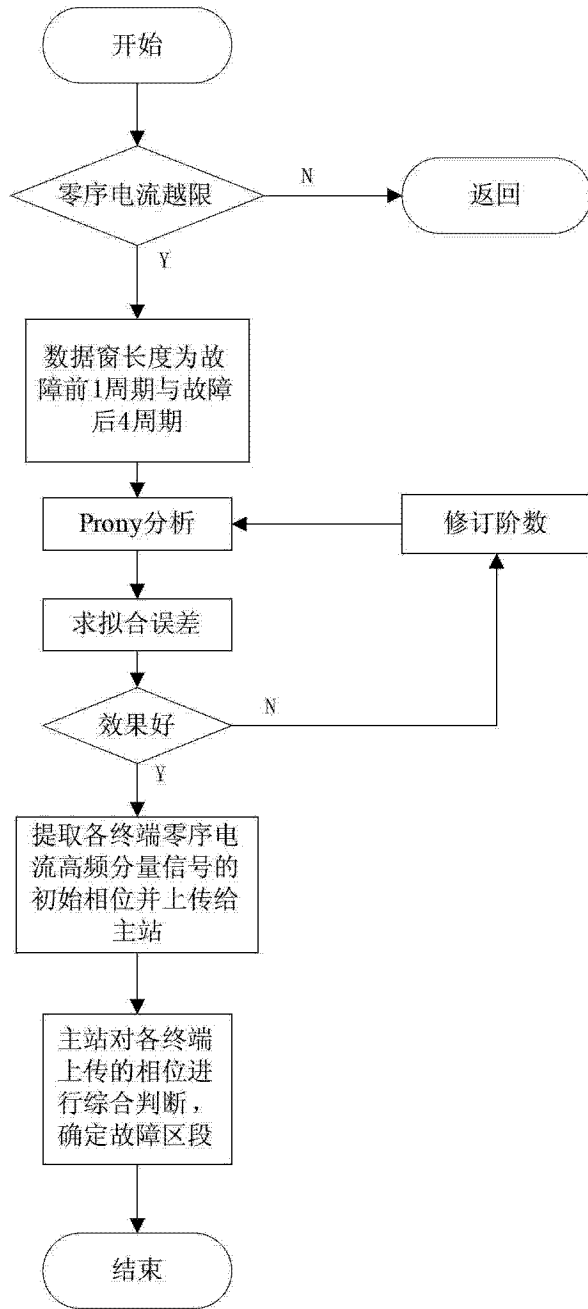


图 3

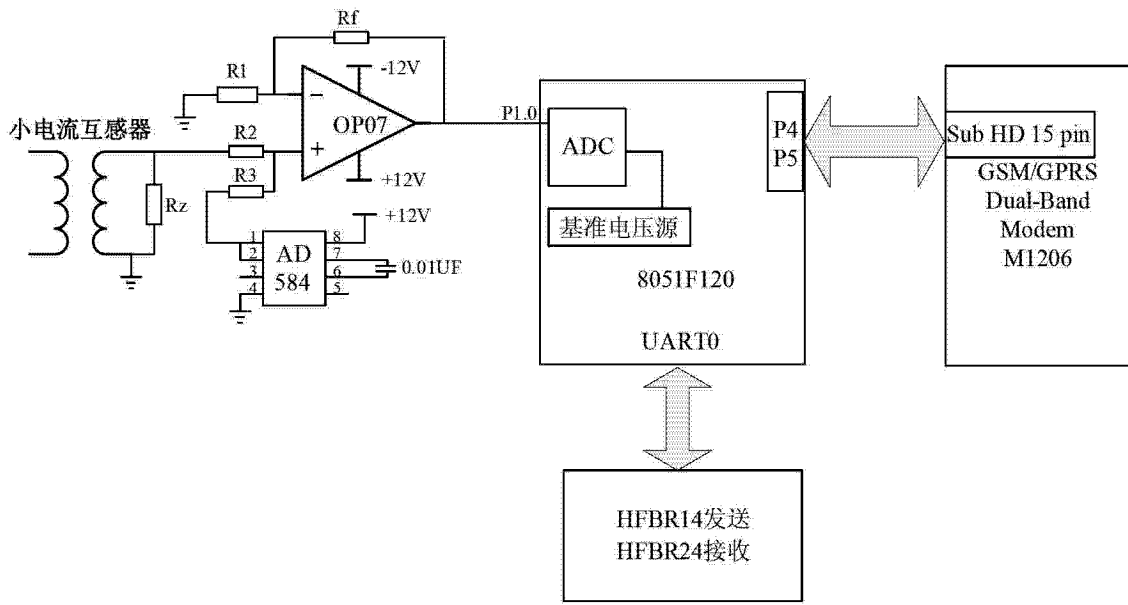


图 4