

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2014 年 7 月 3 日 (03.07.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/101657 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/11 (2006.01)
- (21) 国际申请号:
PCT/CN2013/089156
- (22) 国际申请日:
2013 年 12 月 12 日 (12.12.2013)
- (25) 申请语言:
中文
- (26) 公布语言:
中文
- (30) 优先权:
201210588864.0 2012 年 12 月 31 日 (31.12.2012) CN
- (71) 申请人: 中国矿业大学 (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。
- (72) 发明人: 梁睿 (LIANG, Rui); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。王崇林 (WANG, Chonglin); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。崔连华 (CUI, Lianhua); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。周希伦 (ZHOU, Xilun); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。

221116 (CN)。刘建华 (LIU, Jianhua); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。高列 (GAO, Lie); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。庞乐乐 (PANG, Lele); 中国江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院, Jiangsu 221116 (CN)。

(74) 代理人: 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙) (NANJING RUIHONG PATENT AND TRADEMARK OFFICE (GENERAL PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京市玄武区太平门街 1 号 304 室, Jiangsu 210016 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR ELIMINATING DEAD AREA OF SINGLE-TERMINAL TRAVELING WAVE FAULT LOCATION OF HIGH-VOLTAGE POWER GRID IN COAL MINE

(54) 发明名称: 一种消除煤矿高压电网单端行波故障定位死区的方法

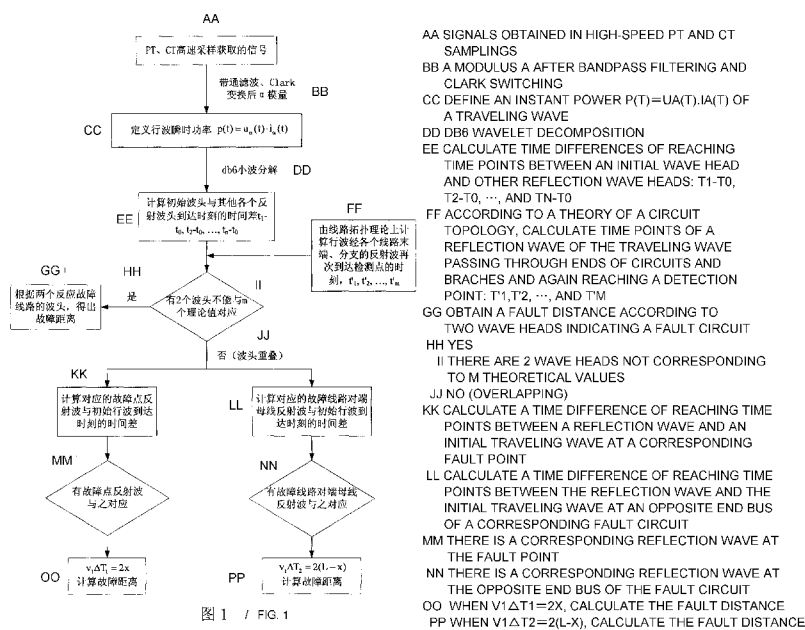


图 1 / FIG. 1

(57) Abstract: A method for eliminating a dead area of a single-terminal traveling wave fault location of a high-voltage power grid in a coal mine, and relates to a method for single-terminal traveling wave fault location of the high-voltage power grid in the coal mine. An instant power (P) of a traveling wave is defined; a fault feature wave head is identified by using a method that special wave heads are mutually verified, thereby solving the problem of a location dead area; by comparing a calculation value of a known structure of a circuit topological parameter with a measurement value, a wave head reflected by a non-fault circuit is removed, and a reflection wave head of a bus at the opposite end of a fault circuit and a reflection wave head at a fault point, namely special wave heads, are searched for; by means of further classification-based calculations of the special wave heads, the function of eliminating the location dead area is implemented, and precise fault location is implemented; and the location error falls within 100 meters according to large quantities of simulation and on-site data tests.

(57) 摘要:

[见续页]



(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,

CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种消除煤矿高压电网单端行波故障定位死区的方法, 属于煤矿高压电网单端行波故障定位的方法。通过定义行波瞬时功率 (P); 利用特殊波头相互印证的方法来辨识故障特征波头, 解决定位死区问题; 通过对线路拓扑参数已知结构的计算值与测量值的比较, 排除非故障线路反射的波头, 寻找故障线路对端母线的反射波波头及故障点反射波波头即特殊波头; 通过进一步对特殊波头分类计算, 实现消除定位死区功能, 同时实现故障精确定位; 经过大量的仿真及现场数据试验, 定位误差在 100 米以内。

一种消除煤矿高压电网单端行波故障定位死区的方法

技术领域

本发明涉及一种煤矿高压电网单端行波故障定位的方法,尤其是一种消除煤矿高压电网单端行波故障定位死区的方法。

背景技术:

我国煤矿供电高压电网多为单端辐射状电网,常见电压等级多为 10kV 或 6kV 单母线或双母线供电。据统计,煤矿电网的 80%以上均为单相接地故障。

目前基于故障暂态行波分析的测距方法主要有以下两种方法:单端法与双端法,单端法根据行波波头到达检测端与折返射的波头再次到达检测端的时间差来计算故障距离;双端法则计算故障点到达故障线路两侧检测点的时刻差,获取故障距离。双端行波测距方法获取了一定的应用,但单端方法由于实际检测反射波头的困难与计算机无法自动实现等原因,尚未得到应用。单端测距法较双端测距法的成本低一半以上,不需要 GPS 时标系统及两端数据通信等,测距结果的实时性更强,因此,对单端行波故障定位的研究具有重要的实际意义,理论研究上有很好的潜力与价值。

由于煤矿配电网线路的复杂性与故障距离的随机性,单端行波测距存在定位死区的可能性,即故障距离与某条出线恰好相等,导致行波波头同时到达,反应故障距离的波头与反应非故障线路全长的波头重叠。目前单端行波测距方法又可分为频率法、时域法。提取的特征频率与故障点及波阻抗不连续点到测量点的距离有反比关系,当故障距离与其它出线或分支长度恰好相等时,频谱图中的故障点特征频率将埋没于某一反应线路拓扑的固有的特征频率中,而时域分析时,相同路径长度的行波波头将同时到达测量点,从而使获得的电压或电流信号得到不同程度的增强或削弱,增加了其识别的难度。

发明内容:

本发明的目的是要提供一种消除煤矿高压电网单端行波故障定位死区的方法,解决现有单端行波故障定位由于故障行波特征难于分辨,故障位置若和线路基本特征匹配时,更是有判断死区不足的问题。

本发明的目的是这样实现的:该方法通过对线路拓扑参数已知结构的计算值与测量值的比较,排除非故障线路反射的波头,寻找故障线路对端母线的反射波波头及故障点反射波波头即特殊波头;进一步对特殊波头分类计算,消除定位死区,实现故障精确定位;

a, 定义行波瞬时功率:

行波的特征频段为 $f=10\sim 100\text{kHz}$,即在上述频段内,行波的能量最大;行波信号经 CT 或 PT 引入数据采集装置之前,对信号进行带通滤波处理,抑制电力系统中的甚高频信号,避免行波信号在工频及其谐波上的迭加,缩小信号的动态波动范围,提高数据采集的分辨率;

由于故障发生后,具有分布参数的导线形成了波过程,电磁场以接近光速向线路两

端传播, 定义行波的电磁场能量即瞬时功率, 其突变点同样定义为行波到达时刻; 将观测点获取的一定时间段内的电压信号 $u(t)$, 电流信号 $i(t)$, 经 Clark 变换后, 得到线模分量 $u_{\alpha}(t)$ 与 $i_{\alpha}(t)$, 并定义行波瞬时功率, $p(t) = u_{\alpha}(t) \cdot i_{\alpha}(t)$;

b, 特殊波头相互印证:

在线路拓扑参数已知的情况下, 根据行波波速理论值, 预先计算行波往返于故障测量点与各个出线末端或分支点所用的时间, 记为 t'_i , 其中, i 表示线路正常运行时, 从测量点来看, 波阻抗不连续点的个数, 包括分支点与线路末端点; 观察行波瞬时功率信号经 db6 小波分解后的 d1 层, 记录行波初次到达测量点的时刻 t_0 , 分别计算可观测波头与初始波头时刻的时间差 $t_m - t_0$, 其中, m 表示除初始行波波头外, 实际可观测波头的个数, 包括分支点, 线路末端点与故障点的反射波;

对照计算值与测量值, 排除非故障线路反射的波头, 寻找故障线路对端母线的反射波波头及故障点反射波波头即特殊波头;

特殊波头存在以下三种情况:

1、两个波头与理论值均无法对应, 这时故障出线的对端母线反射波与故障点反射波均未与其他波头重叠;

2、有一个波头与理论值无法对应, 这时产生了单端行波测距方法的死区问题, 这又分为: 故障点的反射波与某条出线的反射波重合, 故障出线的对端母线反射波与某条出线的反射波重合;

3、故障点反射波与对端母线反射波均与非故障线路的反射波重叠, 即单端行波测距死区的极端情况。

本发明定义了行波瞬时功率, $p(t) = u_{\alpha}(t) \cdot i_{\alpha}(t)$, 由于单一分析电压或电流信号的方法, 易受电网中噪声的干扰, 易出现波头的误判, 而行波瞬时功率有效改善了波头识别对噪声干扰的适应性。

有益效果, 由于在实际电网运行中, 行波信号易受到噪声的干扰, 小波分析模极大值辨析时, 幅值较小的行波突变点不可避免的会导致行波波头的误判, 给故障定位的结果造成很大影响。利用行波电压、电流定义的行波瞬时功率, 在某一突变点处放大了信号的突变幅度, 从另一方面减小了噪声的幅值, 有效增强了行波中较弱波头的分辨程度, 使定位方法更具可行性与精度。

针对单端行波定位方法出现的原理上的测距死区的情况, 根据两个反应故障距离的特殊波头, 即故障点反射波与故障线路对端母线反射波的数学关系, $v(\Delta T_1 + \Delta T_2) = 2L$, 其中, ΔT_1 为故障点反射波与初始波头的时间差, ΔT_2 为对端母线反射波与初始波头的时间差, v 为行波在某介质中的传播速度, L 为故障线路的全长。对每个观测到的行波一一辨识, 排除非故障线路与分支点的反射波波头, 利用上述特殊波头中的任一到达时刻, 进行故障定位。该方法应用两个波头的数学关系进行验证, 有效提高了单端行波测距方

法的适应性与可行性，达到了本发明的目的。

本发明与现有技术相比具有如下优点：

- 1、定义了行波瞬时功率，提高了在实际电网中高噪声下的行波波头分辨程度；
- 2、对煤矿电网中，利用故障出线的两个特殊波头相互验证的方法，解决了线缆混合线路中，波速不一致，波头难以识别的问题；

附图说明

图 1 为本发明考虑波头重叠的单端行波测距算法图。

图 2 为本发明的线路拓扑示意图。

图 3 为本发明的故障发生后行波电流、电压与瞬时功率图。

图 4 为本发明的基于瞬时功率的小波分析结果图。

具体实施方式

实施例 1：该方法通过对线路拓扑参数已知结构的计算值与测量值的比较，排除非故障线路反射的波头，寻找故障线路对端母线的反射波波头及故障点反射波波头即特殊波头；进一步对特殊波头分类计算，消除定位死区，实现故障精确定位；

1、定义行波瞬时功率：

行波的特征频段为 $f=10\sim 100\text{kHz}$ ，即在上述频段内，行波的能量最大。行波信号经 CT 或 PT 引入数据采集装置之前，需要对信号进行带通滤波处理，目的是抑制电力系统中的甚高频信号，并避免行波信号在工频及其谐波上的迭加，缩小信号的动态波动范围，提高数据采集的分辨率；

由于故障发生后，具有分布参数的导线形成了波过程，电磁场以一定的速度向线路两端传播，可以定义行波的电磁场能量即瞬时功率，其突变点同样可定义为行波到达时刻；将观测点获取的一定时间段内的电压信号 $u(t)$ ，电流信号 $i(t)$ ，经 Clark 变换后，得到线模分量 $u_{\alpha}(t)$ 与 $i_{\alpha}(t)$ ，并定义行波瞬时功率， $p(t) = u_{\alpha}(t) \cdot i_{\alpha}(t)$ 。

2、特殊波头相互印证的方法：

在线路拓扑参数已知的情况下，根据行波波速理论值，预先计算行波往返于故障测量点与各个出线末端或分支点所用的时间，记为 t'_i ，其中， i 表示线路正常运行时，从测量点来看，波阻抗不连续点的个数，包括分支点与线路末端点；观察行波瞬时功率信号经 db6 小波分解后的 d1 层，记录行波初次到达测量点的时刻 t_0 ，分别计算可观测波头与初始波头时刻的时间差 $t_m - t_0$ ，其中， m 表示除初始行波波头外，实际可观测波头的个数，包括分支点，线路末端点与故障点的反射波；

对照计算值与测量值，排除非故障线路反射的波头，寻找故障线路对端母线的反射波波头及故障点反射波波头即特殊波头。特殊波头存在以下三种情况：

- 1、若有二个波头无法与理论值相对应，说明此两个波头分别是故障点反射波与对端母线反射波；

2、若仅有一个波头无法与理论值相对应，说明出现了单端测距方法的死区，即故障点反射波或故障线路对端母线反射波头与非故障线路故障反射波波头重合；利用反应故障线路全长的两个波头的时间差的关系，即： $v(\Delta T_1 + \Delta T_2) = 2L$ ，其中， ΔT_1 为故障点反射波与初始波头的时间差， ΔT_2 为对端母线反射波与初始波头的时间差， v 为行波在某介质中的传播速度， L 为故障线路的全长。计算此波头对应的对端母线反射波或故障点反射波波头，若计算值与某一理论时刻对应，则可以确定，此反射波头是来自对端母线或故障点；

3、若波头与理论值均对应，说明故障出线的对端母线反射波与故障点反射波均与非故障出线波头重叠，这是一种极端的情况；在时间段 T 内，分别对每个波头进行如 2) 的计算验证，以此辨别波头。

针对以上不同的情况采用对应的方法计算故障距离。

本方法具体实现流程图如图 1 所示，本方法的具体步骤如下：

1、系统的电缆出线某处发生故障时，利用高速数据采集卡采用 10MHz 或更高的采样速率获取 CT、PT 二次侧的电流及电压信号，分别对其进行 Clark 变换解耦，并计算线模对应的行波瞬时功率；

2、在线路拓扑参数已知的情况下，根据行波波速理论值，预先计算行波往返于故障测量点与各个出线末端或分支点所用的时间，记为 t'_i ，其中， i 表示线路正常运行时，从测量点来看，波阻抗不连续点的个数，包括分支点与线路末端点。

3、观察行波瞬时功率信号经 db6 小波分解后的 d1 层，记录行波初次到达测量点的时刻 t_0 ，分别计算可观测波头与初始波头时刻的时间差 $t_m - t_0$ ，其中， m 表示除初始行波波头外，实际可观测波头的个数，包括分支点，线路末端点与故障点的反射波。

4、将 3) 与 2) 对照，排除非故障线路反射的波头，若两个波头与理论值无法对应，则说明故障出线的对端母线反射波与故障点反射波均未出线与其它波头重迭，可直接计算故障距离；若仅有一个波头与理论值对应，则上述两个波头其一与其它波头发生了重叠，即单端行波测距方法的死区问题。

5、上述问题解决方法又分为两种情况：故障点的反射波与某条出线的反射波的波头重合，此时能找到的只有对端母线反射波的波头，利用故障点反射波与对端母线反射波波头到达时刻的关系进行验证，以此确定故障距离；故障出线的对端母线的反射波与某条出线的反射波的波头重合，定位方法与前一种情况类似。

6、若故障点反射波与对端母线反射波均与非故障线路的反射波重迭，即单端行波测距死区的极端情况，则根据初始波头外的波头一一计算其对应特殊波头的到达时刻，在波头重合时刻出现的即为反映故障线路长度的行波波头。

实施例 2：本发明在复杂配电网具有很高定位精度并且具备很高的适应性，不同规模的系统或系统规模发生变化，本发明均可以满足。现以一个模型为例：

在图 2 中, 架空线路与电缆采用 Frequency Dependent (Phase) Model, 此模型更能反映线路的暂态及谐波特性。其中, 10kV 网络有 6 条出线, 3 条架空线路, 2 条电缆线路, 1 条线缆混合线路(加粗线为电缆)。架空线路的参数为: 零序阻抗 $0.3\text{E-}03+\text{j}0.1\text{E-}02\Omega/\text{m}$, 正序阻抗 $0.3\text{E-}04+\text{j}0.4\text{E-}03\Omega/\text{m}$; 零序导纳为 $0.1\text{E-}10+\text{j}0.2\text{E-}08\text{S}/\text{m}$, 正序导纳为 $0.1\text{E-}10+\text{j}0.3\text{E-}08\text{S}/\text{m}$ 。电缆的参数为: 零序阻抗为 $0.2\text{E-}03+\text{j}0.2\text{E-}02\Omega/\text{m}$, 正序的阻抗为 $0.3\text{E-}04+\text{j}0.2\text{E-}03\Omega/\text{m}$; 零序导纳为 $\text{j}0.2\text{E-}07\text{S}/\text{m}$, 正序导纳为 $\text{j}0.2\text{E-}07\text{S}/\text{m}$ 。根据线路参数可以计算得出架空线路的 α 模波速, $v_{\alpha 1}=2.994\text{E}8\text{m/s}$, 电缆线路 $v_{\alpha 2}=1.5169\text{E}8\text{m/s}$ 。出线端接 Y- Δ 型连接的变压器, 变比为 35/11kV, 容量为 31.5MVA, 负载侧接 Y- Δ 型连接的变压器, 变比为 10/0.66kV, 容量为 1MVA, 中性点采用不接地方式。负载使用 fixed load 模型, 并设置为感性负载。由于煤矿电网中出现的电缆故障, 多为单相接地故障, 且大部分情况下接地电阻小, 所以, 仿真以 A 相经 100 欧姆电阻接地。

对于单相接地短路的情况, 必须使用相模变换对各导线进行解耦, 从而确定单一的波速, 实际的配电线路换位并不充分, 但使用平衡线路模变换矩阵对非对称线路进行解耦时, 各模量间的耦合已经很小了, 所以可以简化为平衡线路来处理, 使用实数矩阵 Clark 变换。并将 α 模分量通入 10~100kHz 二阶的 Butterworth 带通滤波器。成了普通单端故障定位原理无法进行。故障发生后 0.1ms 的时间段内的, 母线处检测到的暂态电压、电流分别经 Clark 变换后 α 模的暂态波形以及由电压、电流计算出的如图 3 所示, 成了普通单端故障定位原理无法进行。

在图 3 中, 相比电压、电流信号, 行波瞬时功率的波形相对平滑, 纹波的幅值更小, 虽然信号经滤波后, 噪声的幅值会有所减小, 但由于数据采集, 滤波环节等因素, 仍无法避免噪声对弱行波信号的影响, 尤其是在实际的煤矿电网中, 本文定义的行波瞬时功率能有效减小受外界噪声影响。

记 t_0 为初始波头到达时刻, 根据线路长度参数并结合选线结果, 可计算出某条出线对应的反射波到达时刻与初始波头的时间差, 也就是说, 故障行波到达测量点(母线)后, 经其他路径再返回测量点的时间段, 分别记为, $t_1, \dots, t_{11}$, 结果如下表 1 所示。

表 1 根据线路参数计算各个出线对应反射波头到达时刻的理论值

出线 NO.	3 ¹	5 ¹	3 ²	4'	2	5 ²	3 ³	4	3-4'	1
与初始波头的时差	t_1-t_0	t_2-t_0	t_3-t_0	t_4-t_0	t_6-t_0	t_7-t_0	t_8-t_0	t_9-t_0	$t_{10}-t_0$	$t_{11}-t_0$
某出线反射波头到达时刻(us)	20.71	29	41.42	44.76	52.1	58.01	62.12	64.64	65.46	70.81

其中, 出线 NO. 一行代表第 i 条出线末端反射波到达测量点时刻, i^m 表示在出线往返 m 次的反射波到达时刻, 4' 代表第 4 条出线线缆混合出反射波到达测量端的时刻, $i-j$ 表示行波经第 i 条出线又折射进入第 j 条出线反射回测量端的时刻或行波经第 j 条出线又折

射进入第 i 条出线反射回测量端的时刻。利用上文所定义的小波瞬时功率进行 db6 小波分析, 其中, d1 层的分析结果如图 4 所示。

在图 4 中, 若在故障未知, 故障时刻未知的情况下, 利用图 4 中初始波头到达时刻作为基准, 分别读取图中 $t_1 \sim t_{11}$ 相对 t_0 时刻的坐标, 并与表 1 中反应非故障线路全长或其他阻抗不连续点的时间对比。

对比的结果显示, 在所涉及的 11 个波头之中, 仅有 $t_5 - t_0 = 49.94\mu\text{s}$ 无法与表 1 计算的波头时差的理论值相近, 而在正常情况下, 由于行波的色散效应, 在所能观察到波头的有限时间段内, 应至少还有两个波头可明显观察得到, 即故障点的一次反射波与故障线路负荷端的一次反射波, 但图 4 中, 仅观测到了一个可辨识波头。很明显, 由于煤矿配电网线路的复杂性与故障距离的随机性, 单端行波测距存在定位死区的可能性, 即故障距离与某条出线恰好相等, 导致行波波头同时到达, 反应故障距离的波头与反应非故障线路全长的波头重叠。

此时, 本文提出利用单端故障测距导出的故障点的反射波与对端母线反射波波头到达时间的关系即: $v(\Delta T_1 + \Delta T_2) = 2L$, 确定特殊波头来消除死区的影响, 其中, ΔT_1 为故障点反射波与初始波头的时间差, ΔT_2 为对端母线反射波与初始波头的时间差, v 为行波在某介质中的传播速度, L 为故障线路的全长, x 为故障点到检测点的距离。若 $t_5 - t_0 = 49.94\mu\text{s}$ 为故障点反射波到达时刻与初始波头的时间差, 则对应的对端母线反射波到达时刻为 $(t_5 - t_0)' = 42.19\mu\text{s}$; 若 $t_5 - t_0 = 49.94\mu\text{s}$ 为对端母线反射波与初始波头的时间差, 则对应的故障点反射波到达时刻为 $(t_5 - t_0)' = 28.9\mu\text{s}$ 。从表 1 中, 我们可以看到 $42.19\mu\text{s}$ 介于 t_3 与 t_4 之间, 而 $28.9\mu\text{s}$ 与 t_2 十分接近, 则可以确定, $t_5 - t_0 = 49.94\mu\text{s}$ 为对端母线反射波与初始波头的时间差, 即可以计算出故障距离为 2.192km , 绝对误差为 8m 。

权利要求书

1、一种消除煤矿高压电网单端行波故障定位死区的方法，其特征是：该方法通过对线路拓扑参数已知结构的计算值与测量值的比较，排除非故障线路反射的波头，寻找故障线路对端母线的反射波波头及故障点反射波波头即特殊波头；进一步对特殊波头分类计算，消除定位死区，实现故障精确定位；

a, 定义行波瞬时功率：

行波的特征频段为 $f=10\sim 100\text{kHz}$ ，即在上述频段内，行波的能量最大；行波信号经 CT 或 PT 引入数据采集装置之前，对信号进行带通滤波处理，抑制电力系统中的甚高频信号，避免行波信号在工频及其谐波上的迭加，缩小信号的动态波动范围，提高数据采集的分辨率；

由于故障发生后，具有分布参数的导线形成了波过程，电磁场以接近光速向线路两端传播，定义行波的电磁场能量即瞬时功率，其突变点同样定义为行波到达时刻；将观测点获取的一定时间段内的电压信号 $u(t)$ ，电流信号 $i(t)$ ，经 Clark 变换后，得到线模分量 $u_{\alpha}(t)$ 与 $i_{\alpha}(t)$ ，并定义行波瞬时功率， $p(t)=u_{\alpha}(t)\cdot i_{\alpha}(t)$ ；

b, 特殊波头相互印证：

在线路拓扑参数已知的情况下，根据行波波速理论值，预先计算行波往返于故障测量点与各个出线末端或分支点所用的时间，记为 t'_i ，其中， i 表示线路正常运行时，从测量点来看，波阻抗不连续点的个数，包括分支点与线路末端点；观察行波瞬时功率信号经 db6 小波分解后的 d1 层，记录行波初次到达测量点的时刻 t_0 ，分别计算可观测波头与初始波头时刻的时间差 $t_m - t_0$ ，其中， m 表示除初始行波波头外，实际可观测波头的个数，包括分支点，线路末端点与故障点的反射波；

对照计算值与测量值，排除非故障线路反射的波头，寻找故障线路对端母线的反射波波头及故障点反射波波头即特殊波头；

特殊波头存在以下三种情况：

(1)、两个波头与理论值均无法对应，这时故障出线的对端母线反射波与故障点反射波均未与其他波头重叠；

(2)、有一个波头与理论值无法对应，这时产生了单端行波测距方法的死区问题，这又分为：故障点的反射波与某条出线的反射波重合，故障出线的对端母线反射波与某条出线的反射波重合；

(3)、故障点反射波与对端母线反射波均与非故障线路的反射波重叠，即单端行波测距死区的极端情况。

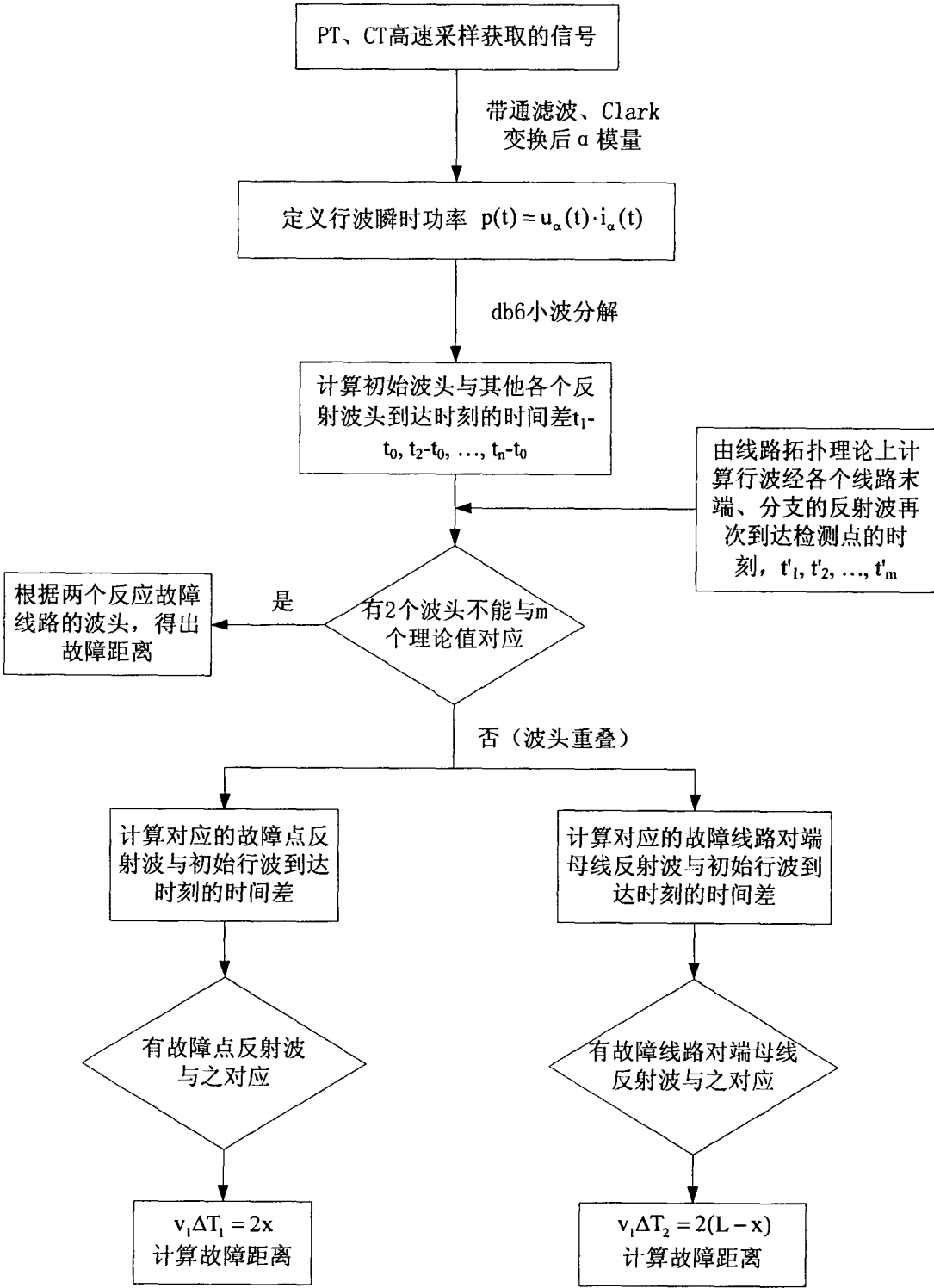


图 1

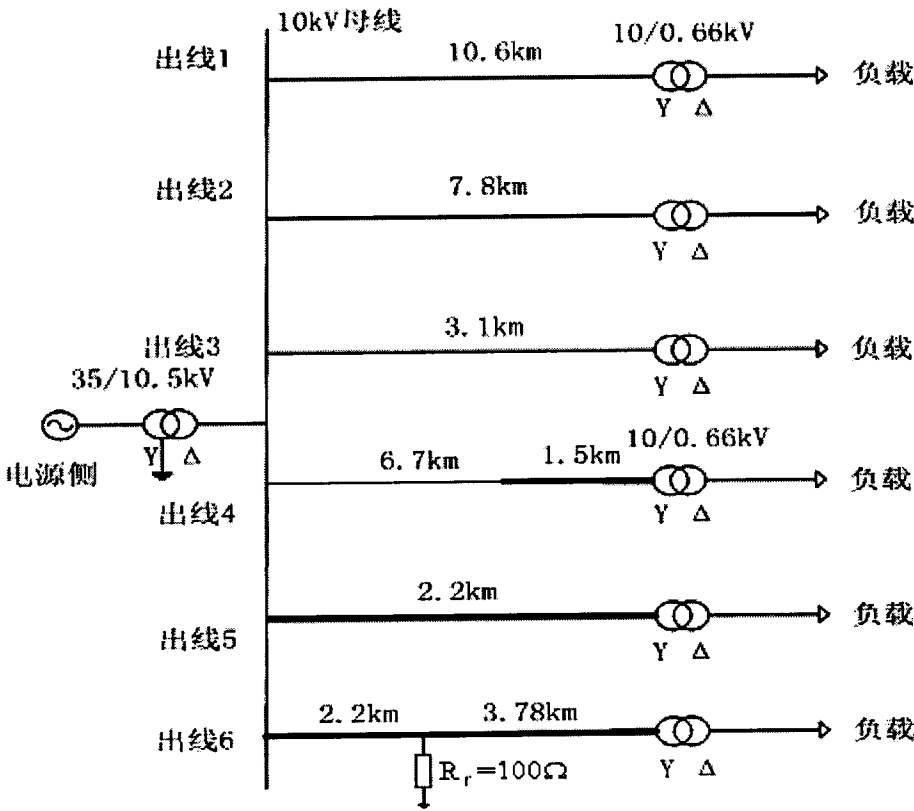


图 2

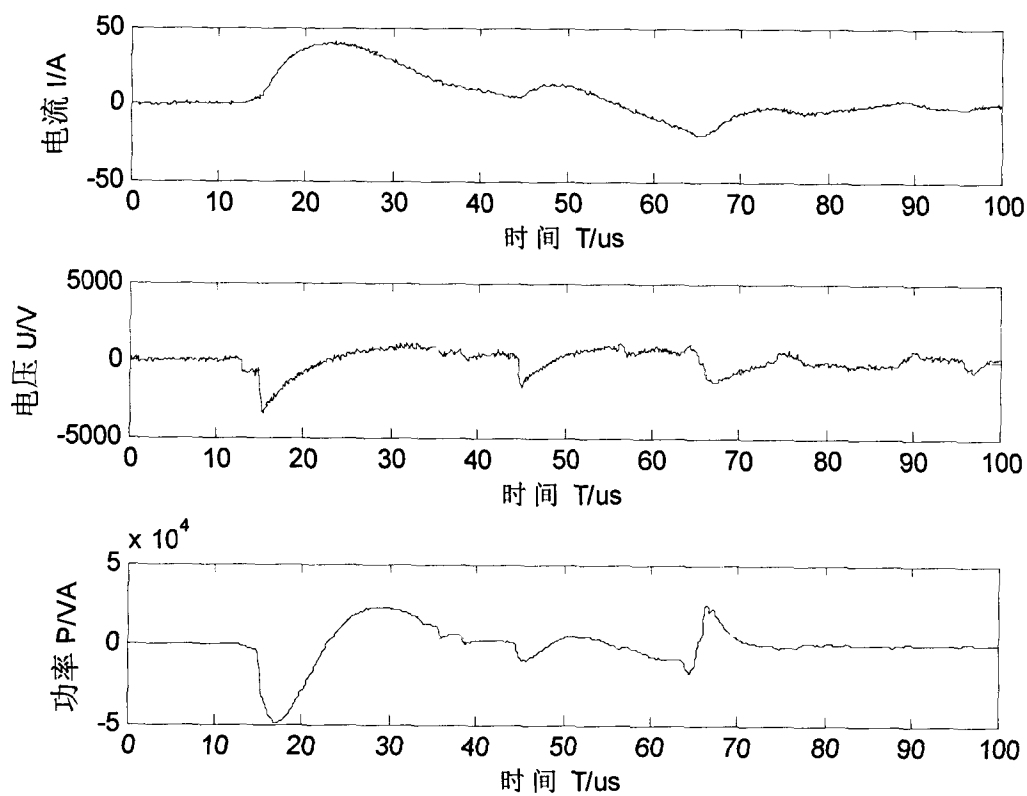


图 3

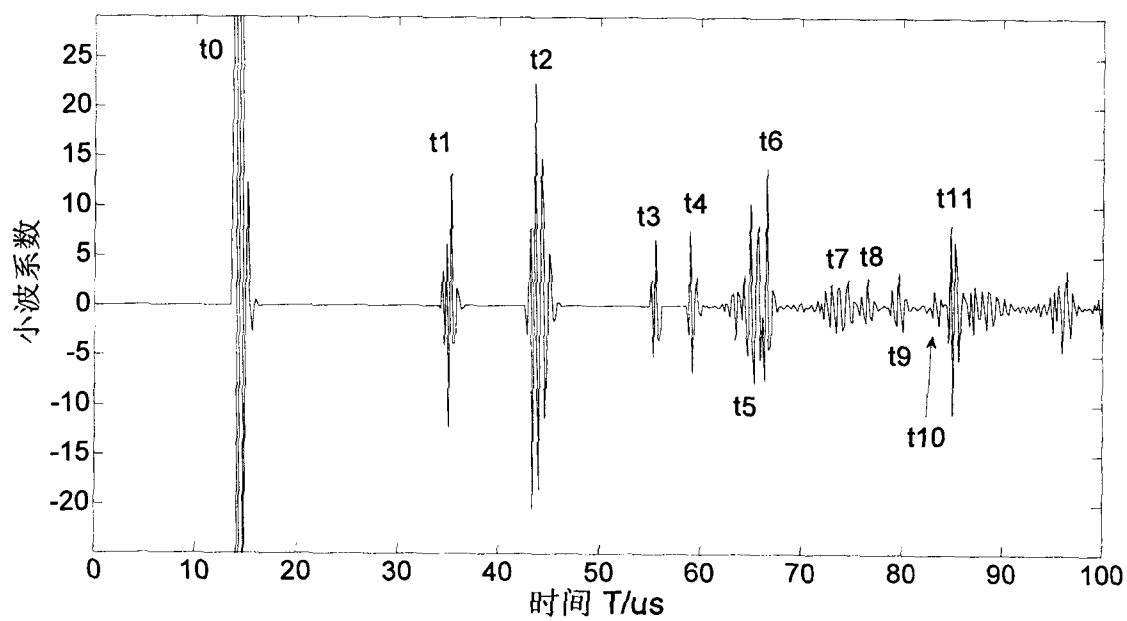


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/089156

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/11 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CPRSABS, CNABS, CNTXT, TWTXT, CNKI, VEN, USTXT, WOTXT, EPTXT, CATXT, GBTXT: travel+ 1w wave?, transient, instant+, momentary, power, terminal?, end?, branch??, time, 4d, non-fault, original, LIANG, Rui, WANG, Chonglin, CUI, Lianhua, ZHOU, Xilun, LIU, Jianhua, GAO, Le, PANG, Lele, China University of Mining and Technology

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103293449 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 11 September 2013 (11.09.2013) claim 1	1
A	CN 101232176 A (WEIFANG COLLEGE) 30 July 2008 (30.07.2008) description, page 10, line 22 to page 21, line 23, and figure 1	1
A	CN 102253315 A (CHINA EPRI. SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD. et al.) 23 November 2011 (23.11.2011) the whole document	1
A	CN 102095996 A (SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY) 15 June 2011 (15.06.2011) the whole document	1
A	CN 102135590 A (SICHUAN ELECTRIC POWER SCIENCE AND RESEARCH INSTITUTE) 27 July 2011 (27.07.2011) the whole document	1

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 17 February 2014 (17.02.2014)	Date of mailing of the international search report 20 March 2014 (20.03.2014)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer SUI, Xin Telephone No. (86-10) 6208 5740

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2013/089156

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101718833 A (SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY) 02 June 2010 (02.06.2010) the whole document	1
A	CN 102096021 A (SOUTHWEST JIAOTONG UNIVERSITY) 15 June 2011 (15.06.2011) the whole document	1
A	CN 102707201 A (EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 03 October 2012 (03.10.2012) the whole document	1
A	CN 101867178 A (KUNMING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 20 October 2010 (20.10.2010) the whole document	1
A	CN 101706547 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) 12 May 2010 (12.05.2010) the whole document	1
A	US 6798211 B1 (REMOTE MONITORING SYSTEMS, INC.) 28 September 2004 (28.09.2004) the whole document	1
A	CA 2780402 A1 (ERLPHASE POWER TECHNOLOGIES LTD.) 20 December 2012 (20.12.2012) the whole document	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/089156

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103293449 A	11.09.2013	None	
CN 101232176 A	30.07.2008	CN 101232176 B	10.08.2011
CN 102253315 A	23.11.2011	None	
CN 102095996 A	15.06.2011	CN 102095996 B	03.04.2013
CN 102135590 A	27.07.2011	CN 102135590 B	19.06.2013
CN 101718833 A	02.06.2010	CN 101718833 B	09.05.2012
CN 102096021 A	15.06.2011	CN 102096021 B	07.11.2012
CN 102707201 A	03.10.2012	None	
CN 101867178 A	20.10.2010	CN 101867178 B	04.07.2012
CN 101706547 A	12.05.2010	CN 101706547 B	04.01.2012
US 6798211 B1	28.09.2004	None	
CA 2780402 A1	20.12.2012	US 2013015878 A1	17.01.2013

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/089156

A. 主题的分类

G01R 31/11 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G01R

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CPRSABS, CNABS, CNTXT, TWTXT, CNKI: 行波, 功率, 死区, 电网, 输电, 波头, 瞬时, 暂态, 初始, 开始, 最初, 原始, 时间 4d 差, 非故障, 对端母线, 梁睿, 王崇林, 崔连华, 周希伦, 刘建华, 高列, 庞乐乐, 中国矿业大学, 分支, 分叉, 支线, 末端, 端点, 时间, 反射

VEN, USTXT, WOTXT, EPTXT, CATXT, GBTXT: travel+ 1w wave?, transient, instant+, momentary, power, terminal?, end?, branch??. time

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 103293449 A (中国矿业大学) 11.9 月 2013 (11.09.2013) 权利要求 1	1
A	CN 101232176 A (潍坊学院) 30.7 月 2008 (30.07.2008) 说明书第 10 页第 22 行到第 21 页第 23 行、附图 1	1
A	CN 102253315 A (中电普瑞科技有限公司 等) 23.11 月 2011 (23.11.2011) 全文	1
A	CN 102095996 A (西南交通大学) 15.6 月 2011 (15.06.2011) 全文	1
A	CN 102135590 A (四川电力科学研究院) 27.7 月 2011 (27.07.2011) 全文	1

☒ 其余文件在 C 栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期
17.2 月 2014 (17.02.2014)

国际检索报告邮寄日期
20.3 月 2014 (20.03.2014)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号: (86-10)62019451

授权官员

隋欣
电话号码: (86-10) **62085740**

C(续). 相关文件

类 型	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 101718833 A (西南交通大学) 02.6 月 2010 (02.06.2010) 全文	1
A	CN 102096021 A (西南交通大学) 15.6 月 2011 (15.06.2011) 全文	1
A	CN 102707201 A (东华理工大学) 03.10 月 2012 (03.10.2012) 全文	1
A	CN 101867178 A (昆明理工大学) 20.10 月 2010 (20.10.2010) 全文	1
A	CN 101706547 A (中国矿业大学) 12.5 月 2010 (12.05.2010) 全文	1
A	US 6798211 B1(Remote Monitoring Systems, Inc.)28.9 月 2004(28.09.2004) 全文	1
A	CA 2780402 A1 (ERLPHASE POWER TECHNOLOGIES LTD.) 20.12 月 2012 (20.12.2012) 全文	1

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/089156

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 103293449 A	11.09.2013	无	
CN 101232176 A	30.07.2008	CN 101232176 B	10.08.2011
CN 102253315 A	23.11.2011	无	
CN 102095996 A	15.06.2011	CN 102095996 B	03.04.2013
CN 102135590 A	27.07.2011	CN 102135590 B	19.06.2013
CN 101718833 A	02.06.2010	CN 101718833 B	09.05.2012
CN 102096021 A	15.06.2011	CN 102096021 B	07.11.2012
CN 102707201 A	03.10.2012	无	
CN 101867178 A	20.10.2010	CN 101867178 B	04.07.2012
CN 101706547 A	12.05.2010	CN 101706547 B	04.01.2012
US 6798211 B1	28.09.2004	无	
CA 2780402 A1	20.12.2012	US 2013015878 A1	17.01.2013