

(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 2014/101656 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/02 (2006.01) G01R 27/18 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2013/089154
- (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:
201210588865.5 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)。 赵国栋 (ZHAO, Guodong); 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)。 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)。 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)。 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)。 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)。 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)。 付国庆 (FU, Guoqing); 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

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR MONITORING INSULATION STATE OF HIGH-VOLTAGE POWER GRID OF COAL MINE

(54) 发明名称: 煤矿高压电网绝缘状态监测方法

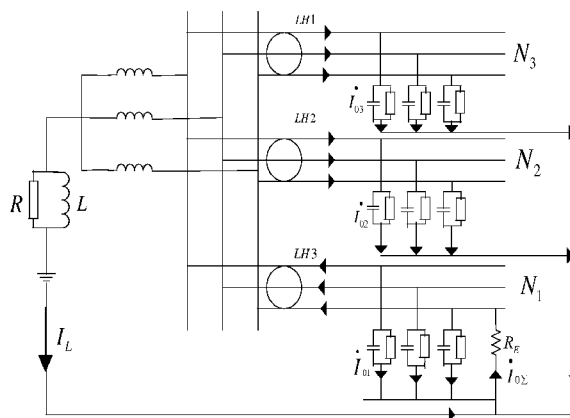


图 1/ Fig. 1

(57) Abstract: A method for monitoring an insulation state of a high-voltage power grid of a coal mine relates to a method for monitoring an insulation state of a feeder line of a power system. A feed line branch circuit is selected for doing a single-phase longitudinal metal grounding experiment, a zero sequence voltage of a bus and a zero sequence current of a non-malfunction branch circuit are tested, and zero sequence impedance of the non-malfunction branch circuit is obtained, that is, insulation resistance and ground capacitance. To obtain insulation parameters of all circuits, it is required to select another branch circuit to do a single-phase connection low resistance ground experiment or wait for generating a single-phase ground malfunction of a next circuit with the non-branch-circuit number 1. The experiment is repeated, insulation parameters of a malfunction circuit for a first experiment are obtained, and insulation parameters of all feed line branch circuits are obtained by combining results of the two experiments. Advantages are as follows: in the present invention, the insulation degradation degree of the circuits is analyzed based on state changes of the bus zero sequence voltage and an arc suppression coil, the zero sequence voltage changes to a certain extent, the connection situation of damping resistance changes, and the degradation degree of circuit insulation is forecasted by monitoring changes of transient states of a plurality of feature quantities.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2014/101656 A1

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。

- (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))。

一种煤矿高压电网绝缘状态监测方法, 属于电力系统馈线绝缘状态监测方法。选定一条馈线支路做单相经金属性接地实验, 测定母线的零序电压和非故障支路的零序电流, 求得非故障支路的零序阻抗, 即绝缘电阻和对地电容, 为了获取所有线路的绝缘参数, 需要重新选择另外一条支路做单相接低电阻接地实验或者等待下一次非支路号为 1 线路发生单相接地故障, 重复上述实验, 求得第一次实验故障线路的绝缘参数, 综合两次实验结果得到全部馈线支路的绝缘参数。优点: 该发明从母线零序电压和消弧线圈状态的变化分析了线路的绝缘劣化程度, 零序电压会有一定的变化, 同时阻尼电阻的接入情况会发生变化, 通过监视上述几个特征量的暂态变化来预测线路绝缘的劣化程度。

煤矿高压电网绝缘状态监测方法

技术领域

本发明涉及一种电力系统馈线绝缘状态监测方法，特别是一种煤矿高压电网绝缘状态监测方法。

背景技术

高压电力系统中 80% 以上的事故属于绝缘事故，随着电力供应的发展和科学进步，对供电系统的可靠性和安全性提出了更高的要求，原有的停电试验进行绝缘检测的传统方法已越来越不能适应实际的生产需要，利用绝缘在线监测技术进行电网绝缘诊断是必然的发展趋势。近年来我国在电缆的绝缘在线监测方面做了大量的研究，取得了一定的成果，但测量误差都比较大。在原有的测量方法中，直流叠加法只适用于中性点非有效接地电网，由于有很大的杂散电流，会引起很大的测量误差；介质损耗因数测量法只能反映被检测电力设备或绝缘材料的整体性缺陷，无法发现系统中个别集中的缺陷；交流叠加法和局部放电检测法大多数只停留在实验阶段，缺乏实际的运行经验及有效电缆绝缘劣化判据；谐波分量法检测的是损耗电流中的谐波分量，但此损耗电流的谐波分量包含了电缆绝缘老化引起的谐波分量和电网中电源的谐波分量，并不能准确的反映 XLPE 电缆绝缘老化的程度，受到电源信号的干扰使得检测结果误差较大，限制了该方法的实际应用；接地线电流法针对单相 XLPE 电缆有很好的检测效果，但对于三相 XLPE 电缆来说，其三相的绝缘一般不会均匀下降，出现的三相接地不平衡电流不明显，因此检测不明显；局部放电试验信号波形复杂多变且微弱，极易被背景噪声淹没，外界电磁干扰多且强度大，因此大多数用在电缆出厂时的绝缘检测。

上述介绍的各种绝缘状态在线监测技术主要是针对 110kV 及以上的高压电力电缆，而煤矿电网的供电电压一般为 35kV 或 10kV，上述的这些方法在实际应用中效果不佳，可行性大打折扣，因此有必要对煤矿电网在线监测进行进一步研究。

发明内容

本发明的目的在于克服现有技术存在的上述不足，提供一种煤矿高压电网绝缘状态在线监测方法，能够对电网的各条馈线支路进行绝缘参数测定。

本发明的目的是这样实现的：选定电网中某条馈线支路，该支路号设为 1，发生单相接地故障时或人为进行单相金属性接地实验，测定母线的零序电压和非故障支路的零序电流，求得非故障支路的零序阻抗，即绝缘电阻和对地电容，为了获取所有线路的绝缘参数，重新选择另外一条支路做单相金属性接地实验或者等待下一次非支路号为 1 线路发生单相接地故障，重复上述实验，就可以求得第一次实验故障线路的绝缘参数，综合两次实验结果得到全部馈线支路的绝缘参数；

(1)、通过在线监测装置进行绝缘监视，经过下列过程实现：

A、以母线零序电压互感器瞬时值的变化作为电缆绝缘状态监测依据，当三相高压电缆绝缘出现非对称劣化时，系统会出现一定数值零序电压 $\dot{U}_0$ ，考虑消弧线圈的调谐方式

及阻尼电阻投入情况，通过监视零序电压 $\dot{U}_0$ 的变化情况及综合评价系统绝缘变化情况；所述的调谐方式为预调式、随调式或预随调式；

B、当系统发生单相接地故障特别是短时接地故障时，统计故障发生持续时间及故障馈线支路号，通过接地故障发生的频繁程度来判别线路及系统绝缘的劣化程度；

(2)、发生单相接地故障或经人为单相接地实验时对零序电压及各支路零序电流的信号的同步采集，计算出配电网中所有非故障支路绝缘参数，通过两次不同馈线支路接地故障或模拟实验，得出所有馈线的绝缘参数，其方法步骤如下：

C、选定电网中某条馈线支路，该支路号设为 1，发生单相接地故障或选定某条馈线支路的其中一相做单相金属性接地故障实验，精确同步测量电网出现的零序电压 $\dot{U}_0$ ，及各非故障支路的零序电流的大小和相位，进而求取非故障相的绝缘参数：

$$3\dot{I}_{02} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_2 + \frac{3}{r_2} \right)$$

$$3\dot{I}_{03} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_3 + \frac{3}{r_3} \right)$$

.

.

.

$$3\dot{I}_{0n} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_n + \frac{3}{r_n} \right)$$

其中： $3\dot{I}_{02}$ 、 $3\dot{I}_{03}$...、 $3\dot{I}_{0n}$ 分别为非故障支路的零序电流， $\dot{U}_0$ 是系统出现的零序电压， C_2 、 C_3 ...、 C_n 是各馈线支路的对地电容， r_2 、 r_3 ...、 r_n 是各馈线支路的绝缘电阻；

准确测得零序电压和非故障支路零序电流的大小、相位后，根据以上各公式计算出非故障线路的绝缘参数；

D、在经过 C 步骤以后，为了获得支路 1 的绝缘参数，重新选择另外一条支路做单相接地实验或者等待下一次非支路号为 1 线路发生单相接地故障，按照 D 步骤进行后，计算出所有支路的绝缘参数，进而得出全网电缆的绝缘性能。

有益效果，由于采用了上述方案，本发明通过两次单相接地故障实验或两次不同支路发生接地故障的数据记录与分析，便可以准确的测出全网馈线支路的线路绝缘参数，消除了了线路中存在的杂散电流、损耗电流引起的测量误差，无需外加信号注入，成本低，在线监测装置简单。

利用单端辐射状配电网中某一支馈线电缆的绝缘性能下降等效为该支路发生经高阻接地故障，通过统计零序电压的变化情况以及考虑消弧线圈的调谐方式及阻尼电阻投入情况；同时统计单相故障持续时间及故障馈线支路号，通过接地故障发生的频繁程度

来判别线路及系统对电网绝缘情况进行评价。提出了经过两次人工单相接地实验或经两次不同馈线支路发生接地故障时，精确同步采集零序电压及各支路零序电流来精确的计算全网各馈线支路具体的绝缘参数。

该发明从母线零序电压和消弧线圈状态的变化分析了线路的绝缘劣化程度。当线路发生绝缘劣化时。可以等效为系统发生单相经高阻接地故障，此时零序电压会有一些的变化，同时阻尼电阻的接入情况会发生变化，通过监视上述几个特征量的暂态变化来预测线路绝缘的劣化程度。

优点：无需增加信号注入设备，只需要等待电网两次不同支路馈线发生接地或两次不同馈线支路经人为单相金属性接地实验时，即可测出电网各馈线支路具体绝缘参数。

采用 FFT 对采样的电压电流信号进行处理，不仅能估计和评价非对称绝缘下降，还能对对称性绝缘下降以及具体的线路绝缘参数进行精确测量。

附图说明

图 1 是具有三条支路出线的简单单相经消弧线圈并电阻系统发生单相经电阻接地故障时零序等效网络分布图。

图 2 关于测量线路绝缘参数的 PSCAD 仿真图。

图 3 是实现测量线路绝缘参数的流程图。

具体实施方式

实施例 1：人为选定一条馈线支路做单相经金属性接地实验，测定母线的零序电压和非故障支路的零序电流，求得非故障支路的零序阻抗，即绝缘电阻和对地电容，为了获取所有线路的绝缘参数，重新选择另外一条支路做单相接地实验或者等待下一次非支路号为 1 线路发生单相接地故障，重复上述实验，就可以求得第一次实验故障线路的绝缘参数，综合两次实验结果得到全部馈线支路的绝缘参数；

(1)、通过在线监测装置进行绝缘监视，经过下列过程实现：

A、以母线零序电压互感器瞬时值的变化作为电缆绝缘状态监测依据，当三相高压电缆绝缘出现非对称劣化时，系统会出现一定数值零序电压 $\dot{U}_0$ ，考虑消弧线圈的调谐方式及阻尼电阻投入情况，通过监视零序电压 $\dot{U}_0$ 的变化情况及综合评价系统绝缘变化情况；

B、当系统发生单相接地故障特别是短时接地故障时，统计故障发生持续时间及故障馈线支路号，通过接地故障发生的频繁程度来判别线路及系统绝缘的劣化程度；

(2)、发生单相接地故障或经人为单相接地实验时对零序电压及各支路零序电流的信号的同步采集，计算出配电网中所有非故障支路绝缘参数，通过两次不同馈线支路接地故障或模拟实验，得出所有馈线的绝缘参数，其方法步骤如下：

C、假定电网中某条馈线支路，该支路号设为 1，发生单相接地故障或选定某条馈线支路的其中一相做单相经金属性接地故障实验，精确同步测量电网出现的零序电压 $\dot{U}_0$ ，及各非故障支路的零序电流的大小和相位，进而求取非故障相的绝缘参数：

$$3\dot{I}_{02} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_2 + \frac{3}{r_2} \right)$$

$$3\dot{I}_{03} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_3 + \frac{3}{r_3} \right)$$

.

.

.

$$3\dot{I}_{0n} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_n + \frac{3}{r_n} \right)$$

其中： $3\dot{I}_{02}$ 、 $3\dot{I}_{03}$...、 $3\dot{I}_{0n}$ 分别为非故障支路的零序电流， $\dot{U}_0$ 是系统出现的零序电压， C_2 、 C_3 ...、 C_n 是各馈线支路的对地电容， r_2 、 r_3 ...、 r_n 是各馈线支路的绝缘电阻；准确测得零序电压和非故障支路零序电流的大小、相位后，根据以上各公式计算出非故障线路的绝缘参数；

D、在经过 C 步骤以后，为了获得支路 1 的绝缘参数，重新选择另外一条支路做单相接地实验或者等待下一次非支路号为 1 线路发生单相接地故障，按照 D 步骤进行后，计算出所有支路的绝缘参数，进而得出全网电缆的绝缘性能。

具体实施例如下：

(1) 以母线零序电压互感器瞬时值的变化作为电缆绝缘的一个监测依据，当电缆绝缘性能出现劣化时，系统会出现零序电压 $\dot{U}_0$ ，因为零序电压比较小，选线装置不会启动，因此可以排除系统发生接地故障的可能，根据零序电压的变化可以判断绝缘劣化的程度。

(2) 为了避免因消弧线圈处于全补偿状态时发生串联谐振，需要在消弧线圈并联适当的电阻，电网的阻尼率会发生变化，因此阻尼率的变化可以作为电缆绝缘监视的另一个依据。

本发明的分析如下：

1、单相接地故障分析

以中性点经消弧线圈接地的系统为例，分析零序电压变化与单相接地故障的关系。在图 1 中，当电网 N_1 支路 A 相电缆绝缘状态劣化时，等效为该支路发生了 A 相经高阻接地故障，系统将会出现一新零序电压 $\dot{U}_0$ ，图中设每条线路的三相对地电容相等，分别以集中参数 C_1 、 C_2 、 C_3 来表示，每条线路的三相对地绝缘电阻相等，分别以集中参数 r_1 、 r_2 、 r_3 表示。故障后电网对地总的零序阻抗为：

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + j\omega C_1 + j\omega C_2 + j\omega C_3 + \frac{1}{R_E} + \frac{1}{j\omega L}} = \frac{1}{G_0 + j\omega C_0 + \frac{1}{j\omega L}}$$

其中 $G_0 = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$, $C_0 = C_1 + C_2 + C_3$ 。

引入消弧线圈的两个参数：脱谐度 $\nu = \frac{I_{C\Sigma} - I_L}{I_{C\Sigma}} = \frac{\omega C_0 - \frac{1}{\omega L}}{\omega C_0} = 1 - \frac{1}{\omega^2 C_0 L}$ ，阻尼率：

$$d = \frac{I_{r\Sigma}}{I_c} = \frac{G_0}{\omega C_0} \text{ 引入 } \nu、d \text{ 后，上式变换为： } Z = \frac{1}{j\omega C_0(\nu - jd)}。$$

当电网 A 相经电阻 R_E 接地时的零序电压 $\dot{U}_0$ 为：

$$\dot{U}_0 = \frac{-\dot{U}_A Z}{Z + 3R_E} = \frac{-\dot{U}_A}{1 + 3j\omega C_0(\nu - jd)R_E}。$$

上述分析可以得出如下结论：

(1) 当电网某一条电缆发生绝缘性能劣化时导致某相对地绝缘电阻降低时，系统将会出现一定大小的零序电压，从 PT 测得该值一般小于 10V。因此我们可以通过监视零序电压的变化监视高压电缆的某相对地电阻的绝缘劣化程度；

(2) 在中性点经消弧线圈接地系统中，消弧线圈采用过补偿工作状态，电缆绝缘性能下降时，系统出现零序电压，单相接地电容电流增大，会引起消弧线圈运行状态发生变化。对于采用自动跟踪补偿的消弧线圈，电网的对地阻尼率会发生变化，通过监测阻尼率与零序电压的变化关系来判断电缆的绝缘劣化程度；

在图 1 中，当 N_1 支路电缆发生严重的绝缘劣化或该支路某一点发生经金属性接地故障时，同样会出现较大的零序电压 $\dot{U}_0$ ，在 $\dot{U}_0$ 的作用下，系统与大地之间产生零序电流，分析图 1 可以看出，故障支路的零序电流经过本支路的对地电容形成回路，流过故障支路零序电流互感器的零序电流是所有非故障支路的零序电流以及消弧线圈的电流 $\dot{I}_L$ ，但是非故障支路 N_2 和 N_3 的零序电流互感器反映的是流过本支路的零序电流。在故障线 N_2 和 N_3 上，A、B、C 三相中流过线路本身的对地电容电流和有功电流。因此在线路 N_2 、 N_3 始端所反应的零序电流分别为：

$$3\dot{I}_{02} = \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{C2}$$

$$3\dot{I}_{03} = \dot{I}_{A3} + \dot{I}_{B3} + \dot{I}_{C3}$$

$$\text{进一步表示为：} \quad 3\dot{I}_{02} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_2 + \frac{3}{r_2} \right) \quad (2)$$

$$3\dot{I}_{03} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_3 + \frac{3}{r_3} \right) \quad (3)$$

从上式可以看出，在测得零序电压和非故障支路的零序电流后，通过式(2)和(3)可以计算出非故障支路的对地电容和绝缘电阻。

经过上述分析可以得出两个结论：

(1) 当电网某条支路的电缆绝缘劣化严重时，通过监测非故障支路的绝缘参数变化情况，能反映出非故障支路电缆的绝缘劣化程度。

(2) 当电网发生单相经较低的过渡电阻接地故障时，通过计算非故障支路的绝缘参数变化情况，经过两次模拟实验，可以得出全网电缆的绝缘参数，为保证电网各支路的正常运行提供准确的数据。

2、从各状态量的变化分析电缆绝缘劣化程度

电网正常运行时由于电网各相绝缘参数的对称性，在电源的中性点电压为零，当某一支路的电缆绝缘劣化时，该支路的对地电容变大，绝缘电阻减小，进而引起电网自然阻尼率的变化，系统出现零序电压，随着绝缘劣化程度的不同，中性点零序电压的暂态量会发生变化，从附图中的仿真配电网模型的结果中，可以看出零序电压暂态量随电缆对地电容（绝缘参数）的变化规律。

从单相接地故障分析原理中可以看出线路绝缘参数的变化会使电网产生零序电压，将会出现消弧线圈与电网对地电容的串联谐振现象，为了抑制这种谐振，通常要求增加电网的阻尼率，即消弧线圈两端并联一定量的电阻。对于采用自动跟踪补偿装置的消弧线圈，要求消弧线圈处于过补偿工作状态，因此消弧线圈补偿状态的脱谐度都比较小且不会有明显的变化，但是电网的阻尼率会随着线路对地电阻和零序电压的变化而变化。

3、单相接地故障实验在测量绝缘参数中的应用

电网发生单相金属性接地故障时，流过故障线路的零序电流互感器的零序电流是所有非故障支路的零序电流的和以及消弧线圈的电流，非故障线路的零序电流互感器反映的是流过本线路的零序电流。测量系统零序电压和非故障支路的零序电流互感器的值，将非故障支路的电流进行傅里叶变换，选取基频分量的幅值和相位，通过相序过滤器得到关于非故障支路的零序电流的大小和相位。通过零序电压和零序电流的大小和相位，可以测得非故障支路的对地电容和绝缘电阻。在经过这样一次测量和计算后，故障支路的对地电容和绝缘参数是无法计算出来的。为了得到该支路的绝缘参数，需要选取另外一条支路进行第二次单相接地故障实验或者等待下一次发生单相接地故障，要求两次实验所选取的故障点以及接地电阻值相同，得到第二次实验中非故障支路的绝缘参数，其中包含了第一次故障支路的绝缘参数，因此全网电缆的绝缘参数就测得了。

实施例 2：具体实施例如下：

(1) 当模拟单相经金属性接地故障实验时，监测系统的零序电压互感器和非故障支路的电流互感器，启动数字信号采集卡，采样频率为 1MHZ，对零序电压和非故障支路的零序电流的前五个周期信号进行采样。

(2) 采用快速傅里叶变换, $X_{(k)} = \sum_{n=0}^{N-1} x_{(n)} W_N^{kn}$ 其中: $W_N^{kn} = e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$, n 为采样点编号, N 为一工频周波的采样点数. 这样就得到关于零序电压和各零序电流的实部和虚部。

$U_{(k)rm} = \sum_{n=0}^{N-1} x_{(n)} \cos(\frac{2\pi}{N}nk)$, $U_{(k)im} = \sum_{n=0}^{N-1} x_{(n)} \sin(\frac{2\pi}{N}nk)$ (其中 k 和采样频率有关)。

其中: n 为采样点数, k 和采样频率有关。零序电压的幅值 $U_0 = \sqrt{U_{rm}^2 + U_{im}^2}$ 零序电压的相位 $\varphi_{(U_0)} = \arctan \frac{U_{im}}{U_{rm}}$ 。

同样可以得到非故障支路 N_2 零序电流的实部和虚部 $i_{02(k)rm} = \sum_{n=0}^{N-1} i_{(n)} \cos(\frac{2\pi}{N}nk)$, $i_{02(k)im} = \sum_{n=0}^{N-1} i_{(n)} \sin(\frac{2\pi}{N}nk)$ (其中 k 和采样频率有关)。零序电流的幅值 $I_{02} = \sqrt{I_{rm}^2 + I_{im}^2}$ 零

序电流的相位 $\varphi_{(I_{02})} = \arctan \frac{I_{im}}{I_{rm}}$ 。非故障支路 N_3 零序电流的实部和虚部

$i_{03(k)rm} = \sum_{n=0}^{N-1} i_{(n)} \cos(\frac{2\pi}{N}nk)$, $i_{03(k)im} = \sum_{n=0}^{N-1} i_{(n)} \sin(\frac{2\pi}{N}nk)$ 。零序电流的幅值 $I_{03} = \sqrt{I_{rm}^2 + I_{im}^2}$ 零

序电流的相位 $\varphi_{(I_{03})} = \arctan \frac{I_{im}}{I_{rm}}$ 。

其中: $i_{02(k)rm}$ 、 $i_{02(k)im}$ 、 $\varphi_{(I_{02})}$ 、 I_{02} 分别是 N_2 支路零序电流的实部、虚部、相位、幅值, $i_{03(k)rm}$ 、 $i_{03(k)im}$ 、 I_{03} 、 $\varphi_{(I_{03})}$ 分别是 N_3 支路零序电流的实部、虚部、相位、幅值。

(3) 绝缘参数的计算过程: $Z_{02} = r_2 - jX_{c2} = \frac{U_0 \angle \varphi_{(U_0)}}{I_{02} \angle \varphi_{(I_{02})}}$, $Z_{03} = r_3 - jX_{c3} = \frac{U_0 \angle \varphi_{(U_0)}}{I_{03} \angle \varphi_{(I_{03})}}$ 。因此非故障支路的绝缘参数就可以求得。

其中: r_2 、 r_3 分别是 N_2 、 N_3 的绝缘电阻, X_{c2} 、 X_{c3} 分别是 N_2 、 N_3 支路的对地容抗, Z_{02} 、 Z_{03} 分别是 N_2 、 N_3 支路的阻抗。

(4) 为了测量上次实验中故障支路的绝缘参数, 需要选择另外一条支路重复上次的单相接地实验, 两次实验选用的接地电阻相同, 故障点相同。这样所有线路的绝缘参数就

可以测得。

方案的效果评价：

本发明具有很好的扩张性和适应性，系统的规模发生变化或者支路数目增加时，本发明均可以满足要求，现以一个模型为例说明：

如图 2 所示，在经消弧线圈并电阻接地系统中，故障点直接接地，测得的非故障支路 1 零序电流 $\dot{i}_{01} = 0.89 \angle -65.13^\circ$ 非故障支路 2 零序电流 $\dot{i}_{02} = 1.34 \angle -63.4^\circ$ ，系统的零序电压 $\dot{U}_0 = 1417.5 \angle -153.3^\circ$ 。代入上面的公式可以求的线路 1 的绝缘电阻为 39505.58153Ω ，实际的绝缘电阻参数值是 $50 K\Omega$ ，线路 2 的绝缘电阻为 1088305.236Ω ，实际的绝缘电阻值时 $100 K\Omega$ 。

表 1 两次实验测得全网电缆绝缘参数

	大小	相位	绝缘电阻测量值($K\Omega$)	实际电阻值 ($K\Omega$)	对地电容测量值(μF)	实际电容值 (μF)
$\dot{U}_0$	2190.37	124.8				
1 号支路 经 300 欧姆单 相接地	$\dot{i}_{02}$ 1.38088	-147.1	47.879	50	5.26	6
	$\dot{i}_{03}$ 4.145	-145.7	60.552	100	4.61	6
3 号支路 经 300 欧姆单 相接地	$\dot{U}_0$ 2195.3 8	124.7				
	$\dot{i}_{01}$ 0.691	-145.0	606.317	100000	1.66	1
	$\dot{i}_{02}$ 1.384	-147.2	47.84	50	5.26	6

权利要求书

1、一种煤矿高压电网绝缘状态监测方法，其特征在于：选定电网中某条馈线支路，该支路号设为 1，发生单相接地故障时或人为进行单相金属性接地实验，测定母线的零序电压和非故障支路的零序电流，求得非故障支路的零序阻抗，即绝缘电阻和对地电容，为了获取所有线路的绝缘参数，重新选择另外一条支路做单相金属性接地实验或者等待下一次非支路号为 1 线路发生单相接地故障，重复上述实验，求得第一次实验故障线路的绝缘参数，综合两次实验结果得到全部馈线支路的绝缘参数；

(1)、通过在线监测装置进行绝缘监视，经过下列过程实现：

A、以母线零序电压互感器瞬时值的变化作为电缆绝缘状态监测依据，当三相高压电缆绝缘出现非对称劣化时，系统会出现一定数值零序电压 $\dot{U}_0$ ，考虑消弧线圈的调谐方式及阻尼电阻投入情况，通过监视零序电压 $\dot{U}_0$ 的变化情况及综合评价系统绝缘变化情况；所述的调谐方式为预调式、随调式或预随调式；

B、当系统发生单相接地故障特别是短时接地故障时，统计故障发生持续时间及故障馈线支路号，通过接地故障发生的频繁程度来判别线路及系统绝缘的劣化程度；

(2)、发生单相接地故障或经人为单相接地实验时对零序电压及各支路零序电流的信号的同步采集，计算出配电网中所有非故障支路绝缘参数，通过两次不同馈线支路接地故障或模拟实验，得出所有馈线的绝缘参数，其方法步骤如下：

C、选定电网中某条馈线支路，该支路号设为 1，发生单相接地故障或选定某条馈线支路的其中一相做单相金属性接地故障实验，精确同步测量电网出现的零序电压 $\dot{U}_0$ ，及各非故障支路的零序电流的大小和相位，进而求取非故障相的绝缘参数：

$$3\dot{I}_{02} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_2 + \frac{3}{r_2} \right)$$

$$3\dot{I}_{03} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_3 + \frac{3}{r_3} \right)$$

.

.

.

$$3\dot{I}_{0n} = \dot{U}_0 \left(j3\omega C_n + \frac{3}{r_n} \right)$$

其中： $3\dot{I}_{02}$ 、 $3\dot{I}_{03}$...、 $3\dot{I}_{0n}$ 分别为非故障支路的零序电流， $\dot{U}_0$ 是系统出现的零序电压， C_2 、 C_3 ...、 C_n 是各馈线支路的对地电容， r_2 、 r_3 ...、 r_n 是各馈线支路的绝缘电阻；

准确测得零序电压和非故障支路零序电流的大小、相位后，根据以上各公式计算出非故障线路的绝缘参数；

D、在经过 C 步骤以后，为了获得支路 1 的绝缘参数，重新选择另外一条支路做单相

接地实验或者等待下一次非支路号为 1 线路发生单相接地故障，按照 D 步骤进行后，计算出所有支路的绝缘参数，进而得出全网电缆的绝缘性能。

附图

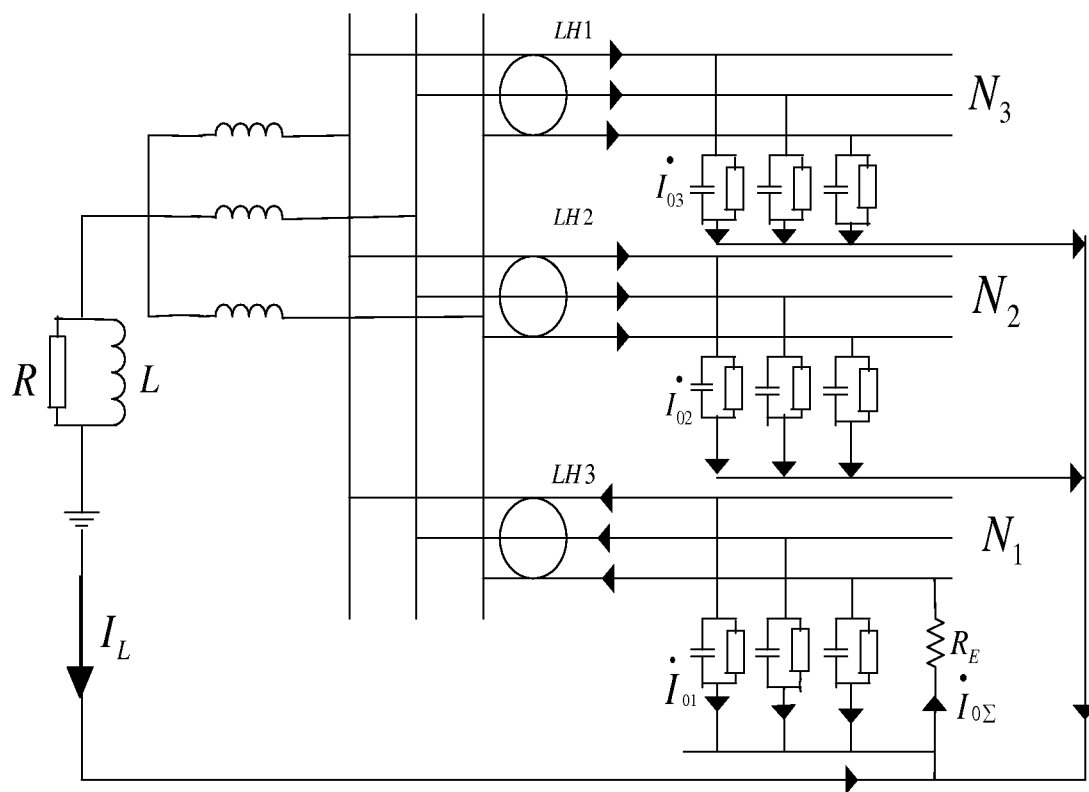


图 1

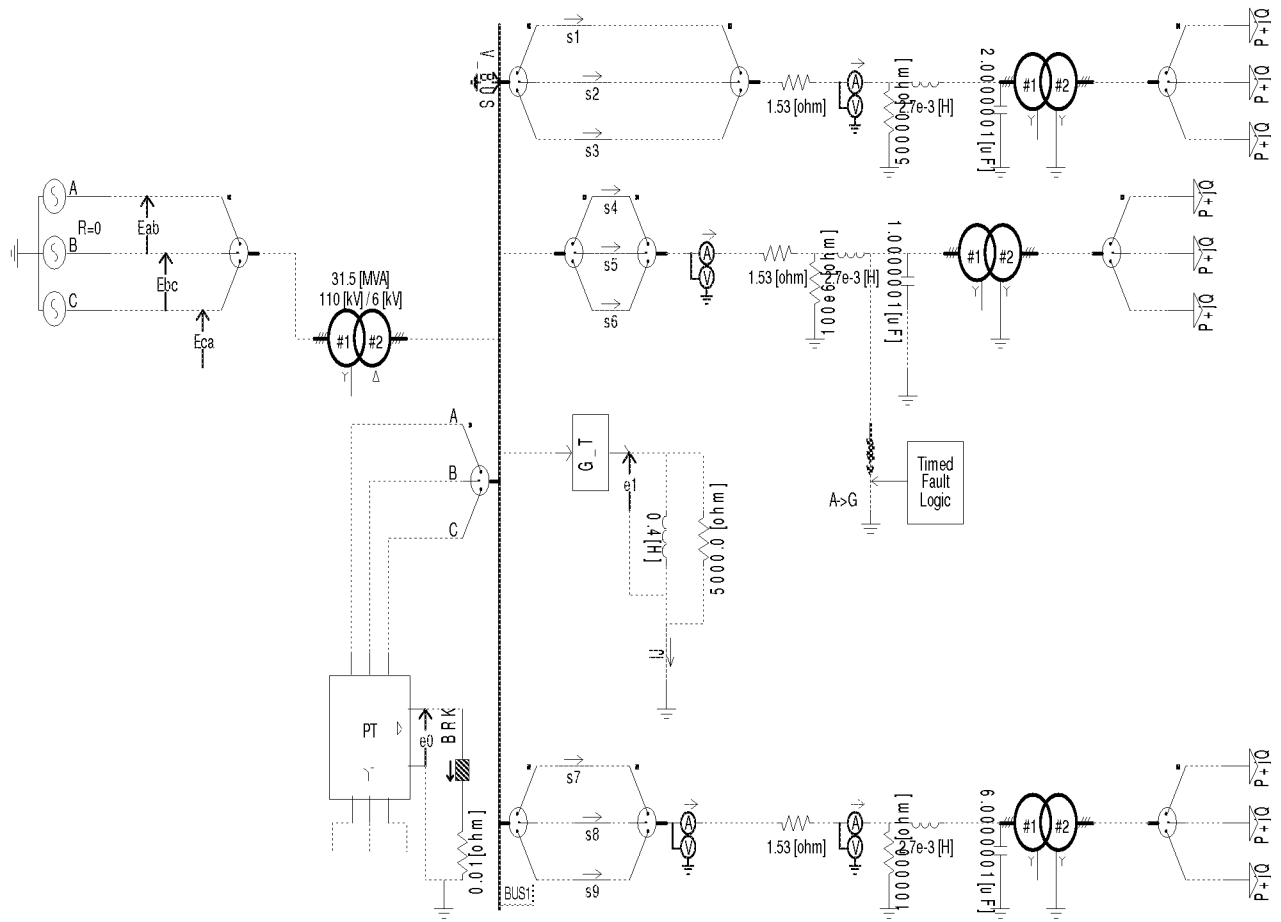


图 2

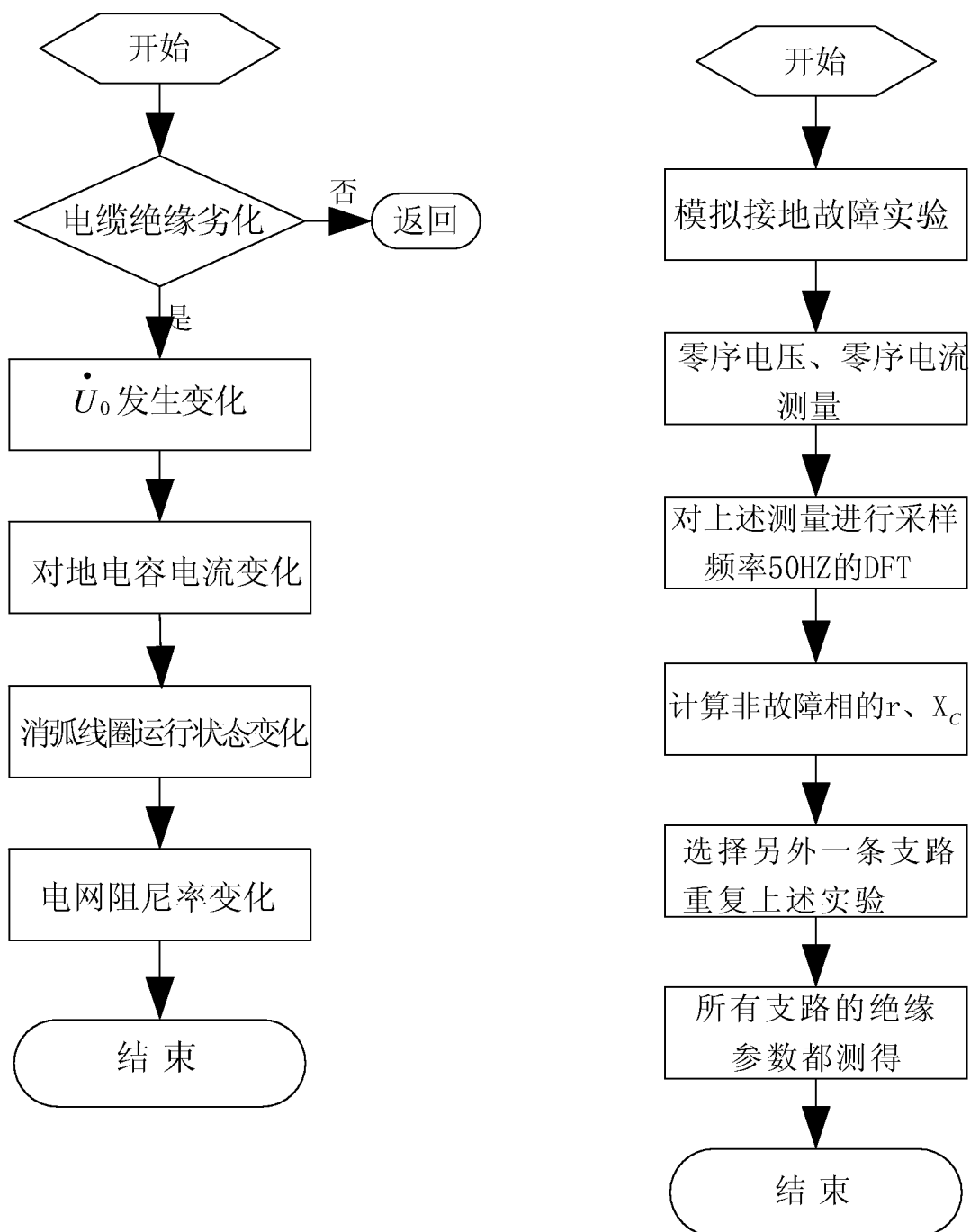


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/089154

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

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 31, G01R 27

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)

CNABS, CNKI, VEN: high-voltage grid, zero sequence voltage, zero sequence current, zero sequence impedance, coal mine, mine, INSULATE, ZERO, VOLTAGE, IMPEDANCE, MINING, GROUND

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103135031 A (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY), 05 June 2013 (05.06.2013), see claim 1	1
Y	HU, Tianlu et al.; method of measuring insulation parameters to ground for mining power system, JOURNAL OF CHINA UNIVERSITY OF MINING & TECHNOLOGY, July 2000, vol. 29, no. 4, pages 385-387, ISSN 1000-1964	1
Y	LAN, Yun; analysis and calculation of zero sequence current in underground power supply system, COAL MINE MODERNIZATION, December 1998, 1998, no. 4 (total no. 28), pages 39-41, ISSN 1009-0797	1
A	CN 202121293 U (YANZHOU DONGFANG ELECTROMECHANICAL CO., LTD.), 18 January 2012 (18.01.2012), the whole document	1
A	CN 101149407 A (WUHAN UNIVERSITY), 26 March 2008 (26.03.2008), the whole document	1
A	CN 101937024 A (JINAN AOUO CNC EQUIPMENT CO., LTD.), 05 January 2011 (05.01.2011), the whole document	1
A	JP 2012-88275 A (MIDORI ANZEN CO., LTD.), 10 May 2012 (10.05.2012), the whole document	

☒ 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	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"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	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 February 2014 (20.02.2014)

Date of mailing of the international search report
13 March 2014 (13.03.2014)

Name and mailing address of the ISA/CN:
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

WANG, Xiaoping

Telephone No.: (86-10) **62085739**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/089154

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2010/0131215 A1 (KIM, B.K.), 27 May 2010 (27.05.2010), the whole document	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/089154

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103135031 A	05.06.2013	None	
CN 202121293 U	18.01.2012	None	
CN 101149407 A	26.03.2008	CN 100561238 C	18.11.2009
CN 101937024 A	05.01.2011	None	
JP 2012-88275 A	10.05.2012	None	
US 2010/0131215 A1	27.05.2010	JP 2010500864 T	07.01.2010
		WO 2008020713 A1	21.02.2008
		KR 20080015604 A	20.02.2008
		KR 100817890 B1	31.03.2008

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2013/089154

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 31/02 (2006.01) i

G01R 27/18 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2013/089154

A. 主题的分类

参见附加页

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:G01R31,G01R27

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))

CNABS, CNKI, VEN:高压电网, 绝缘, 接地, 零序电压, 零序电流, 零序阻抗, 煤矿, 矿井,
INSULATE, ZERO, VOLTAGE, IMPEDANCE, MINING, GROUND

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 103135031 A (中国矿业大学) 05.6 月 2013(05.06.2013) 见权利要求 1	1
Y	胡天禄等, 矿井电网对地绝缘参数测量方法, 中国矿业大学学报, 7 月 2000, 第 29 卷第 4 期, 第 385—387 页, ISSN 1000—1964	1
Y	兰云, 井下供电系统零序电流的分析与计算, 煤矿现代化, 12 月 1998, 1998 年第 4 期, 总第 28 期, 第 39—41 页, ISSN 1009-0797	1
A	CN 202121293 U (兖州东方机电有限公司) 18.1 月 2012(18.01.2012) 全文	1
A	CN 101149407 A (武汉大学) 26.3 月 2008(26.03.2008) 全文	1
A	CN 101937024 A (济南奥诺数控设备有限公司) 05.1 月 2011(05.01.2011) 全文	1
A	JP 2012-88275 A (MIDORI ANZEN CO., LTD.) 10.5 月 2012(10.05.2012) 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

20.2 月 2014(20.02.2014)

国际检索报告邮寄日期

13.3 月 2014 (13.03.2014)--

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

受权官员

王晓萍

电话号码: (86-10) 62085739

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2013/089154

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	US 2010/0131215 A1 (KIM BO-KYEONG) 27.5 月 2010(27.05.2010) 全文	1

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/089154

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 103135031 A	05.06.2013	无	
CN 202121293 U	18.01.2012	无	
CN 101149407 A	26.03.2008	CN 100561238 C	18.11.2009
CN 101937024 A	05.01.2011	无	
JP 2012-88275 A	10.05.2012	无	
US 2010/0131215 A1	27.05.2010	JP 2010500864 T	07.01.2010
		WO 2008020713 A1	21.02.2008
		KR 20080015604 A	20.02.2008
		KR 100817890 B1	31.03.2008

A. 主题的分类

G01R 31/02 (2006.01)i

G01R 27/18 (2006.01)i