

(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
2013 年 12 月 19 日 (19.12.2013)



(10) 国际公布号
WO 2013/185405 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01H 17/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/078885
- (22) 国际申请日: 2012 年 7 月 19 日 (19.07.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210193931.9 2012 年 6 月 13 日 (13.06.2012) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 江苏省电力公司南京供电公司 (JIANGSU NANJING POWER SUPPLY COMPANY) [CN/CN]; 中国江苏省南京市建邺区奥体大街 1 号, Jiangsu 210008 (CN)。国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。河海大学 (HOHAI UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号, Jiangsu 210098 (CN)。江苏省电力公司 (JIANGSU ELECTRIC POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区上海路 215 号, Jiangsu 210024 (CN)。

- (72) 发明人; 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 陈楷 (CHEN, Kai) [CN/CN]; 中国江苏省南京市建邺区奥体大街 1 号, Jiangsu 210019 (CN)。王春宁 (WANG, Chunning) [CN/CN]; 中国江苏省南京市建邺区奥体大街 1 号, Jiangsu 210019 (CN)。马宏忠 (MA, Hongzhong) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号, Jiangsu 210098 (CN)。李凯 (LI, Kai) [CN/CN]; 中国江苏省南京市建邺区奥体大街 1 号, Jiangsu 210019 (CN)。吴益明 (WU, Yiming) [CN/CN]; 中国江苏省南京市建邺区奥体大街 1 号, Jiangsu 210019 (CN)。张赢 (ZHANG, Ying) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号, Jiangsu 210098 (CN)。刘洪涛 (LIU, Hongtao) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号, Jiangsu 210098 (CN)。高鹏 (GAO, Peng) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号, Jiangsu 210098 (CN)。陈涛涛 (CHEN, Taotao) [CN/CN]; 中国江苏省南京市鼓楼区西康路 1 号, Jiangsu 210098 (CN)。
- (74) 代理人: 南京天翼专利代理有限责任公司 (NANJING TIANYI PATENT AGENT CO., LTD); 中

[见续页]

(54) Title: POWER TRANSFORMER IRON CORE LOOSENESS FAULT DIAGNOSIS AND PRELIMINARY FAULT LOCATION SYSTEM AND METHOD

(54) 发明名称: 电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统及方法

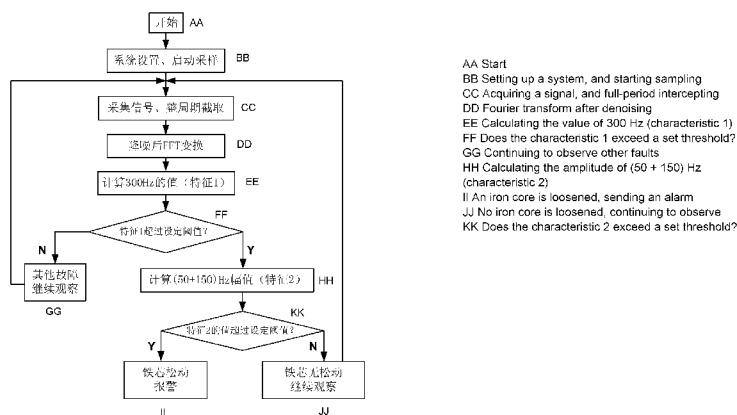


图 5 /Fig. 5

(57) Abstract: A power transformer iron core looseness fault diagnosis and preliminary fault location system and method, which belong to the technical field of intelligent diagnosis of power transformer faults. The fault diagnosis and preliminary fault location system consists of a vibration sensor, a signal acquisition instrument and a computer system. The fault diagnosis and preliminary fault location method measures a vibration signal using three vibration sensors which are mounted on the top surface of a transformer, and performs Fourier transform analysis on the signal to obtain iron core looseness fault characteristic quantities, which are a 50 Hz component, a 150 Hz component and a 300 Hz component, respectively, with the 300 Hz component as a main characteristic quantity. When the amplitudes of these components at some location are increased to a fixed value, it suggests that an iron core looseness fault occurs at that location, and by comparing the difference among the three location signal characteristic quantities, fault location can be carried out. The system can accurately reflect the fault characteristics of iron core looseness and can effectively detect a power transformer iron core looseness fault.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2013/185405 A1



国江苏省南京市玄武区成贤街 118 号游富英, Ji-
angsu 210018 (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, 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, IS, JP,
KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, ML, MR, NE, SN, TD,
TG)。

根据细则 4.17 的声明:

— 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则
4.17(iii))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统及方法, 属于电力变压器故障智能诊断技术领域。该故障诊断与故障初步定位系统由振动传感器、信号采集仪和计算机系统组成。故障诊断与故障初步定位方法利用安装在变压器顶面的 3 个振动传感器测量振动信号, 对信号进行傅立叶变换分析, 得到铁芯松动故障特征量, 分别为 50Hz 分量、150Hz 分量和 300Hz 分量, 以 300Hz 分量为主要特征量, 当某一位置的这些分量的幅值增加到一定值, 说明该位置发生铁芯松动故障, 通过比较 3 个位置信号特征量的不同可进行故障定位。该系统能准确反映铁芯松动的故障特征, 可有效的检测电力变压器铁芯松动故障。

电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统及方法

技术领域

本发明涉及一种输变电设备状态在线监测技术,尤其涉及一种电力变压器铁芯松动故障诊断及故障初步定位系统及方法,属于智能变电站技术领域。

背景技术

引起变压器器身的振动原因主要有变压器本体的振动及冷却系统装置的振动。冷却装置引起的基本振动频率较低,与变压器本体振动有明显不同;本体振动包括铁芯和绕组的振动。变压器通电运行后,绕组中流过电流,在铁芯和绕组中产生电磁场;铁芯硅钢片材料在磁场作用下发生磁致伸缩,即原子的尺寸发生微小形变,引起铁芯振动。图 1 中的实线描述了磁致伸缩形变与铁芯中磁通密度的关系。为了简化将其用二次曲线代替,即图中虚线。可以看出,磁致伸缩形变量与磁通密度大小的平方成线性关系。已知负载电压和磁通密度之间的关系为:

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\sqrt{2}U}{2\pi fNA}$$

式中: Φ 、 B 分别为主磁通和磁通密度; A 为铁芯的横截面积; U 为负载电压的有效值; f 为负载电压的频率; N 为原边绕组的匝数。结合图 1 可以得到磁致伸缩引起的铁芯振动大小 v_{core} 与负载电压平方近似成正比关系, 为:

$$v_{\text{core}} \propto U^2;$$

由于电压的 2 倍频为 100 Hz, 故磁致伸缩力的基频为 100 Hz。

铁芯由硅钢片叠加而成, 每片硅钢片表层均有绝缘涂层, 因此存在片间缝隙, 产生漏磁, 引起铁芯和箱体的振动。但是这种振动比磁致伸缩引起的振动小, 可以忽略, 认为铁芯的振动主要取决于硅钢片的磁致伸缩, 因此铁芯振动频率基频为 100Hz。由于磁致伸缩的非线性及铁芯内外框磁路长短不同, 铁芯振动除基频外, 还应包含基频整数倍的高次谐波。

绕组的振动是在漏感的影响下, 绕组中的电流相互作用产生电动力引起的,

电动力正比于电流的平方。空载时绕组电流为零，绕组对铁芯振动基本无影响，变压器的振动主要取决于铁芯。

根据以上分析，空载时的油箱振动主要与铁芯磁致伸缩有关，即与电压有关；由变压器产生的振动通过变压器油和固体结构传递到油箱表面，受各种因素影响，振动信号在传递过程中发生衰减、相移等变化，到达油箱表面是十分复杂的信号。

铁芯松动后，硅钢片接缝处和叠片之间的漏磁变大，导致电磁吸引力变大，铁芯振动变大。

变压器的振动信号属于非平稳信号。信号处理的方法包括傅立叶变换、小波变换、希尔伯特黄变换。傅立叶变换是最经典的信号处理方法。它适用于平稳信号，可实现信号的时域频域的转换，在工程中的应用十分广泛。小波降噪原理如图 2，通过对信号的分解和重构可滤去高频信号，重组低频信号，达到滤波的效果。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是针对当前技术中电力变压器铁芯松动故障诊断技术存在的缺陷，提出一种实现容易、诊断准确的电力变压器铁芯松动故障诊断及故障初步定位方法。

本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案：

一种电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统，包括至少三个振动传感器、转换接口、数据采集仪以及分析模块；其中，所述振动传感器用于根据预设的采样频率和采样时间采集电力变压器的振动信号，然后将该振动信号通过所述转换接口传送至数据采集仪，并且在所有振动传感器中，有三个振动传感器分别设置在电力变压器油箱顶面与电力变压器三相绕组对应的三个位置；所述数据采集仪用于采集和记录振动传感器检测到的振动信号，然后将其输出至分析模块；所述分析模块对数据采集仪输出的信号数据进行数据存储、数据处理和故障诊断，最终得出诊断结果。

进一步的，本发明的一种电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统，所述分析模块包括小波降噪处理单元、傅立叶变换单元、存储单元、计算单元、输出单元；

其中，所述小波降噪处理单元将数据采集仪输出的振动信号进行小波降噪处

理,然后由傅立叶变换单元对小波降噪处理单元处理后的振动信号进行傅立叶变换,得到振动信号的频谱数据;

所述存储单元用于存储第一故障阈值以及第二故障阈值,其中第一故障阈值为振动信号位于 300Hz 的频谱分量幅值的阈值,第二故障阈值为 50Hz 与 150Hz 处的频谱分量幅值之和的阈值;

所述计算单元用于将振动信号的频谱数据中位于 300Hz 的频谱分量幅值与第一故障阈值比较,当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样,而至少有 2 次振动信号的频谱数据位于 300Hz 处的频谱分量幅值大于第一故障阈值时,再计算振动信号的频谱数据分别位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和,将其与第二故障阈值对比;当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样,而至少有 2 次振动信号的频谱数据位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和大于第二故障阈值时,判断采集该振动信号的振动传感器位置附近的铁芯发生松动故障,将该诊断结果发送至输出单元进行输出显示。

本发明还提供一种电力变压器铁芯松动故障诊断及故障初步定位方法,具体如下:

在电力变压器空载时,进行以下步骤:

步骤(1),根据预定的采样频率和采样时间,采用如权利要求 1 所述的三个振动传感器分别对电力变压器的振动信息进行采样,同一情况下进行不少于 3 次采样;

步骤(2),在每个振动传感器的采样数据中,根据采样频率、采样时间或采样点数,整周期截取变压器振动信号;

步骤(3),对步骤(2)截取的振动信号进行小波降噪处理,再进行傅立叶频谱分析,得到振动信号分别位于 50Hz、150Hz、300Hz 处的频谱分量幅值;

步骤(4),将振动信号位于 300Hz 处的频谱分量幅值乘以 1.2 至 2.5 倍作为第一故障阈值 CR_1 ;计算振动信号分别位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和,然后再将该频谱分量幅值之和乘以 1.2 至 2.5 倍作为第二故障阈值 CR_2 ;

在电力变压器空载稳定运行时,进行以下步骤:

步骤(5),重复步骤(1)至步骤(3),进行电力变压器振动信号的采样、处理步骤,得到振动信号分别位于 50Hz、150Hz、300Hz 处的频谱分量的幅值;

步骤(6),将振动信号位于 300Hz 处的分量幅值与第一故障阈值 CR_1 对比,

当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样,而至少有 2 次采样的振动信号的频谱数据位于 300Hz 处的频谱分量幅值大于第一故障阈值时,进入下一步骤;否则,返回步骤 (1);

步骤 (7),计算振动信号分别位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和,将其与第二故障阈值 CR_2 对比,当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样,而至少有 2 次采样的振动信号的频谱数据位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和大于第二故障阈值 CR_2 时,判断采集该振动信号的振动传感器位置附近的铁芯发生松动故障;否则,返回步骤 (1)。

本发明采用以上技术方案与现有技术相比,具有以下技术效果:

经过实验验证,本发明所选取的特征量能准确反映铁芯松动的故障特征,可有效的检测电力变压器铁芯松动故障,并且通过比较 3 个位置信号特征量的不同,可以对于故障发生的位置进行初步的定位。

附图说明

图 1 是本发明中铁芯磁致伸缩形变随磁通密度变化;

图 2 是本发明中小波降噪的原理图;

图 3 是本发明中诊断系统的结构框图;

图 4 本发明诊断系统中振动传感器的安装位置示意图;

图 5 是本发明中诊断方法的流程图;

图 6 (a) 是本发明实施例采集到的振动原始信号示意图;

图 6 (b) 是本发明实施例降噪后的振动信号示意图;

图 7 (a) 是本发明实施例故障点处在故障前的频谱示意图;

图 7 (b) 是本发明实施例故障点处在故障后的频谱示意图;

图 8 (a) 是本发明实施例非故障点之一处在故障前的频谱示意图;

图 8 (b) 是本发明实施例非故障点之一处在故障后的频谱示意图;

图 9 (a) 是本发明实施例非故障点之二处在故障前的频谱示意图;

图 9 (b) 是本发明实施例非故障点之二处在故障后的频谱示意图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明:

首先如图 3 所示,本发明提供一种电力变压器铁芯松动故障诊断及初步定位

系统,包括变压器、振动传感器、转换接口、数据采集仪和分析模块。其中,振动传感器的输入端借助磁铁牢固地吸附在变压器油箱顶面与三相绕组对应的三个位置,配合图4所示,图中的A、B、C分别表示变压器高压侧三相,a、b、c分别表示变压器低压侧三相,0表示变压器的零线,1、2、3分别表示安装在变压器顶部的3个振动传感器测量位置。振动传感器的输出端则通过转换接口连接数据采集仪的输入端,数据采集仪的输出端通过网线接口连接分析模块。

配合图5所示,是本发明所提供的一种电力变压器铁芯松动故障诊断及初步定位系统的方法的流程图,包括如下步骤:

(1) 在变压器稳定运行时,根据一定的采样频率和采样时间对变压器的振动信息进行采样,同一情况下进行不少于3次采样;

(2) 在采样数据中,根据采样频率、采样时间或采样点数,整周期截取变压器振动信号;

(3) 对截取的振动信号进行小波降噪,再进行傅立叶频谱分析;

(4) 求出振动信号的50Hz、150Hz、300Hz分量幅值;

(5) 将振动信号的300Hz的分量幅值乘以一定倍数作为第一阈值 CR_1 ;计算振动信号的50Hz、150Hz处的频谱分量幅值之和,然后以此乘以一定倍数作为第二阈值 CR_2 ;所述一定倍数的范围为1.2至2.5倍。

在变压器正常状态下根据上述步骤对变压器进行监测计算,将此时得到的 CR_1 、 CR_2 作为故障诊断阈值。

在进行电力变压器的铁芯松动故障诊断时,采用传感器对电力变压器的振动信息进行采样,对采样信号进行如步骤(3)所述的处理后,求出振动信号的50Hz、150Hz、300Hz分量值。

(6) 将振动信号位于300Hz处的分量幅值与第一阈值 CR_1 对比,如果振动传感器在同一情况下进行不少于3次振动信号采样,而至少有2次采样的振动信号的频谱数据位于300Hz处的分量幅值大于第一阈值 CR_1 ,则继续下面的步骤,否则,返回步骤(1)继续进行电力变压器的振动信息的采样;

(7) 计算振动信号位于50Hz、150Hz处的分量值之和与故障阈值 CR_2 对比,当振动传感器在同一情况下进行不少于3次振动信号采样,而至少有2次采样的振动信号的频谱数据位于50Hz、150Hz处的频谱分量幅值之和大于第二故障阈

值 CR_2 时, 判断采集该振动信号的振动传感器位置附近的铁芯发生松动故障; 否则, 返回步骤 (1) 继续进行电力变压器的振动信号的采样分析。

实施例

对一台电力变压器进行铁芯松动故障设置, 验证本发明的正确性, 并按照上述步骤进行实验。该变压器由江苏宏源电气有限公司生产, 其参数如表 1。

表 1

型号	电压比	联结组
S9-M-100/10	10/0.4kV	Yyn0
高压侧 I_N	低压侧 I_N	短路阻抗
5.77A	144.3A	3.98%

(一) 系统连接

配合图 3, 变压器的型号为 S9-M-100/10, 振动传感器采用 CA-YD-103 振动加速度传感器, 转换接口采用 BNC 电气转换接口, 数据采集仪采用型号 Nicolet7700, 分析模块直接采用计算机。将振动传感器的输入端通过磁铁牢固地吸附在变压器油箱顶面的 3 个位置, 其输出端通过 BNC 转换接口连接数据采集仪的输入端, 数据采集仪的输出端通过网线接口连接计算机。

(二) 振动加速度传感器的安装

实验采用 CA-YD-103 传感器, 其技术参数如下表所示。

表 2

轴向灵敏度	最大横向灵敏度	冲击极限	频率响应
20pC/g	<5%	2000g	0.5~12kHz

为了全面测量变压器铁芯的振动, 实验尽可能在空载情况下进行, 振动传感器分别安装在顶面的三个位置。具体安装位置如图 4。

(三) 铁芯松动故障的设置

用吊车将变压器吊芯。利用扳手将铁芯紧固螺丝拧松约 1 厘米。用木槌敲打松开螺丝的一侧铁芯使其松动, 再将竹片轻轻敲入铁芯硅钢片的缝隙间使铁芯进一步松动。

(四) 实施例实验

Nicolet 数据采集仪配有电荷放大器, 用于采集和记录振动加速度传感器检测到的振动信号, 计算机则对采集仪输出的信号数据进行数据存储、数据处理和故障诊断, 并且显示出诊断结果。

在本实施例中，利用前文提供的诊断方法对变压器进行实验，采集到振动信号后首先进行小波降噪，图 6（a）和图 6（b）分别为降噪前的振动原始信号和降噪后的振动信号，比较图 6（a）和图 6（b）可以看出降噪的效果。

比较图 7（a）和图 7（b）的 1 号点（即故障点附近）正常情况与铁芯松动故障的频谱可以发现，当铁芯发生松动后，距离其最近的油箱表面的振动将会产生较多的 50Hz 倍频分量，300Hz 能量上升。

经过计算，被测变压器的频率分量幅值有如表 3 所示变化规律。

表 3

1 号点空载振动幅值	正常/正常	松动/正常
(50+150) Hz	1	14.8
300Hz	1	3.93

对振动信号进行傅立叶分析后，以 300Hz (CR_1) 为主要特征量，当其幅值超过正常时的一定倍数时，可认为该位置附近发生铁芯松动故障。当 50Hz 和 150Hz 幅值之和 (CR_2) 比正常时高出一定倍数时，进一步确定该位置发生铁芯松动故障。

图 8（a）和图 8（b）是本发明实施例非故障点（2 号点）处在故障前后的频谱示意图。可以看出非故障点没有出现故障点处的特征。

图 9（a）和图 9（b）是本发明实施例非故障点（3 号点）处在故障前后的频谱示意图。可以看出非故障点没有出现故障点处的特征。

在理论分析的基础上进行大量实测试验之后发现，上述特征具有很好的重复性和规律性，验证了这一特征可以用于变压器铁芯松动故障诊断。

最后需要说明的是，以上实施例仅用以描述本发明的技术方案而不是对本技术方案进行限制，本发明在应用上可以延伸为其他的修改、变化、应用和实施例，并且因此认为所有这样的修改、变化、应用、实施例都在本发明的精神和教导范围内。

权利要求书

1. 一种电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统，其特征在于：包括至少三个振动传感器、转换接口、数据采集仪以及分析模块；其中，所述振动传感器用于根据预设的采样频率和采样时间采集电力变压器的振动信号，然后将该振动信号通过所述转换接口传送至数据采集仪，并且在所有振动传感器中，有三个振动传感器分别设置在电力变压器油箱顶面与电力变压器三相绕组对应的三个位置；所述数据采集仪用于采集和记录振动传感器检测到的振动信号，然后将其输出至分析模块；所述分析模块对数据采集仪输出的信号数据进行数据存储、数据处理和故障诊断，最终得出诊断结果。

2. 根据权利要求 1 所述的一种电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统，其特征在于：所述分析模块包括小波降噪处理单元、傅立叶变换单元、存储单元、计算单元、输出单元；

其中，所述小波降噪处理单元将数据采集仪输出的振动信号进行小波降噪处理，然后由傅立叶变换单元对小波降噪处理单元处理后的振动信号进行傅立叶变换，得到振动信号的频谱数据；

所述存储单元用于存储第一故障阈值以及第二故障阈值，其中第一故障阈值为振动信号位于 300Hz 的频谱分量幅值的阈值，第二故障阈值为 50Hz 与 150Hz 处的频谱分量幅值之和的阈值；

所述计算单元用于将振动信号的频谱数据中位于 300Hz 的频谱分量幅值与第一故障阈值比较，当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样，而至少有 2 次振动信号的频谱数据位于 300Hz 处的频谱分量幅值大于第一故障阈值时，再计算振动信号的频谱数据分别位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和，将其与第二故障阈值对比；当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样，而至少有 2 次振动信号的频谱数据位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和大于第二故障阈值时，判断采集该振动信号的振动传感器位置附近的铁芯发生松动故障，将该诊断结果发送至输出单元进行输出显示。

3. 一种基于如权利要求 1 所述的电力变压器铁芯松动故障诊断与故障初步定位系统的故障诊断及故障初步定位方法，其特征在于，具体如下：

在电力变压器空载时，进行以下步骤：

步骤（1），根据预定的采样频率和采样时间，采用如权利要求 1 所述的三个振动传感器分别对电力变压器的振动信息进行采样，同一情况下进行不少于 3 次采样；

步骤（2），在每个振动传感器的采样数据中，根据采样频率、采样时间或采样点数，整周期截取变压器振动信号；

步骤（3），对步骤（2）截取的振动信号进行小波降噪处理，再进行傅立叶频谱分析，得到振动信号分别位于 50Hz、150Hz、300Hz 处的频谱分量幅值；

步骤（4），将振动信号位于 300Hz 处的频谱分量幅值乘以 1.2 至 2.5 倍作为第一故障阈值 CR_1 ；计算振动信号分别位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和，然后再将该频谱分量幅值之和乘以 1.2 至 2.5 倍作为第二故障阈值 CR_2 ；

在电力变压器空载稳定运行时，进行以下步骤：

步骤（5），重复步骤（1）至步骤（3），进行电力变压器振动信号的采样、处理步骤，得到振动信号分别位于 50Hz、150Hz、300Hz 处的频谱分量的幅值；

步骤（6），将振动信号位于 300Hz 处的分量幅值与第一故障阈值 CR_1 对比，当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样，而至少有 2 次采样的振动信号的频谱数据位于 300Hz 处的频谱分量幅值大于第一故障阈值时，进入下一步骤；否则，返回步骤（1）；

步骤（7），计算振动信号分别位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和，将其与第二故障阈值 CR_2 对比，当振动传感器在同一情况下进行不少于 3 次振动信号采样，而至少有 2 次采样的振动信号的频谱数据位于 50Hz、150Hz 处的频谱分量幅值之和大于第二故障阈值 CR_2 时，判断采集该振动信号的振动传感器位置附近的铁芯发生松动故障；否则，返回步骤（1）。

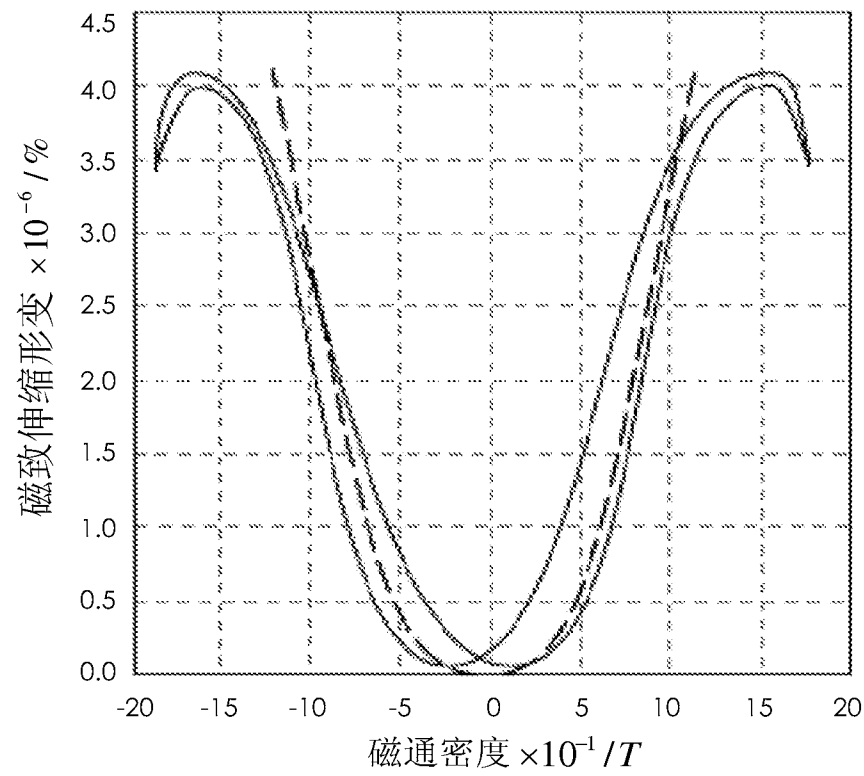


图 1

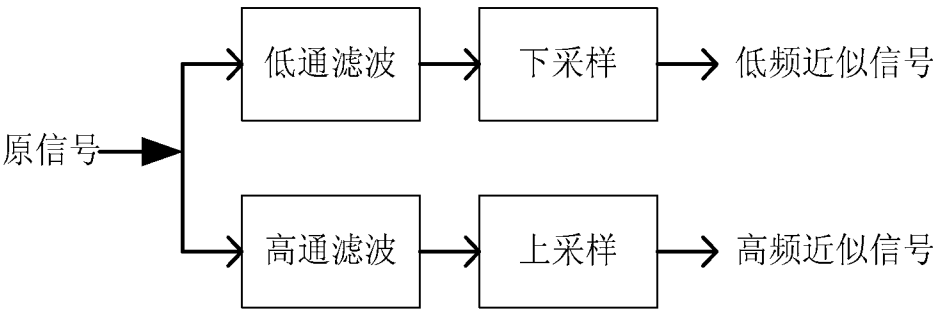


图 2



图 3

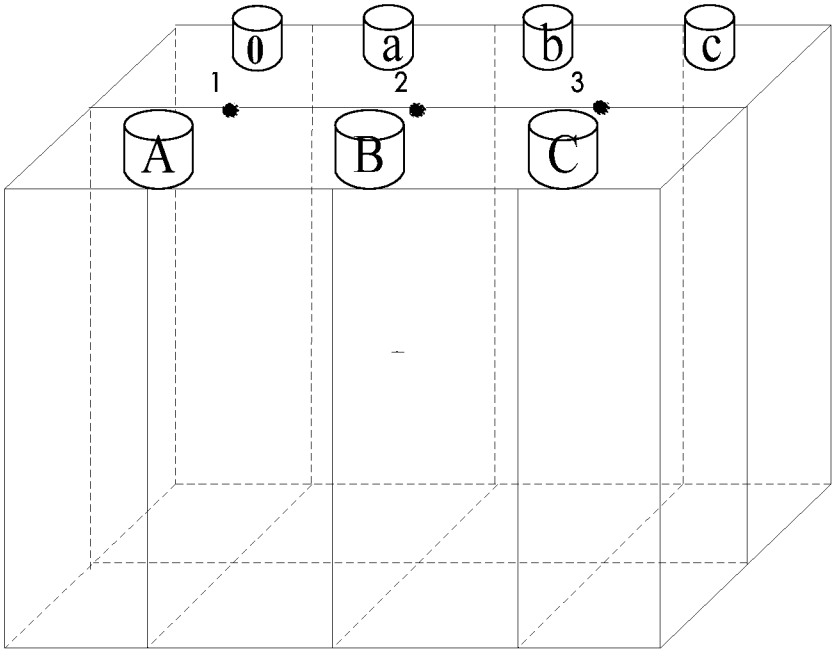


图 4

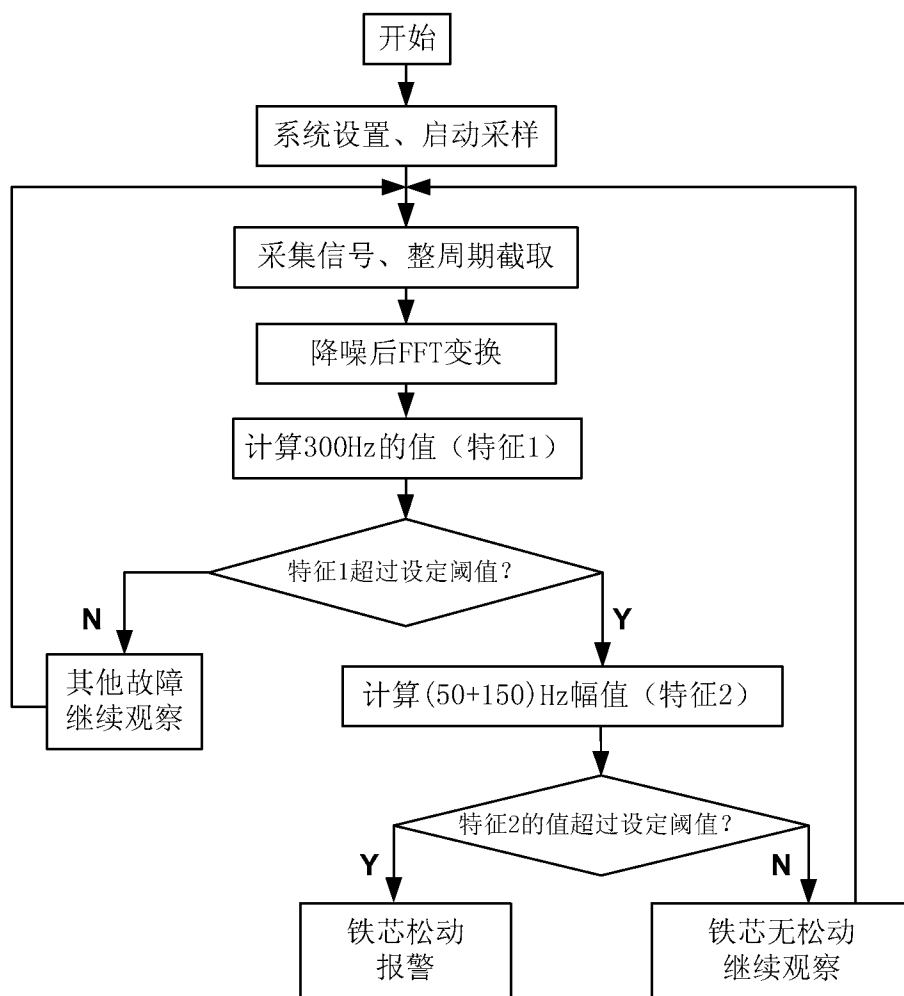
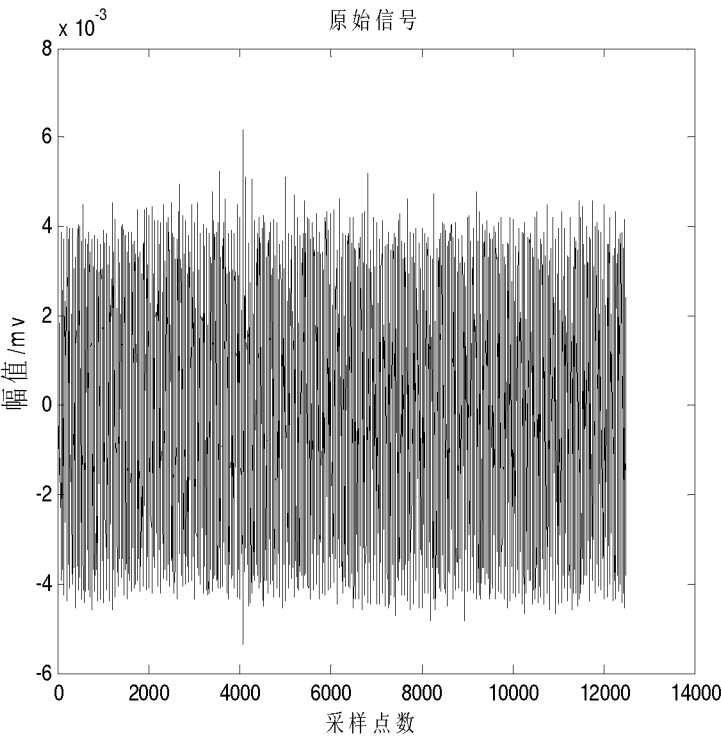
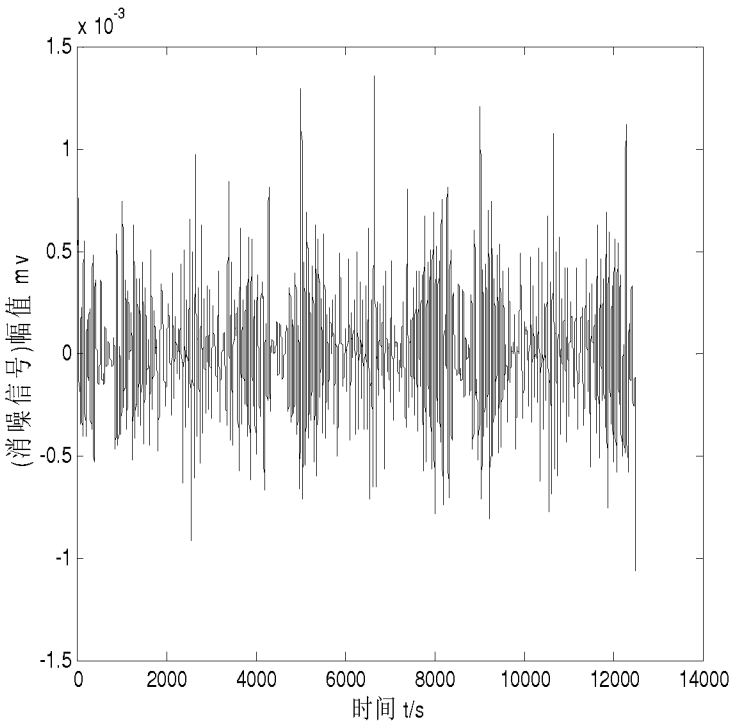


图 5

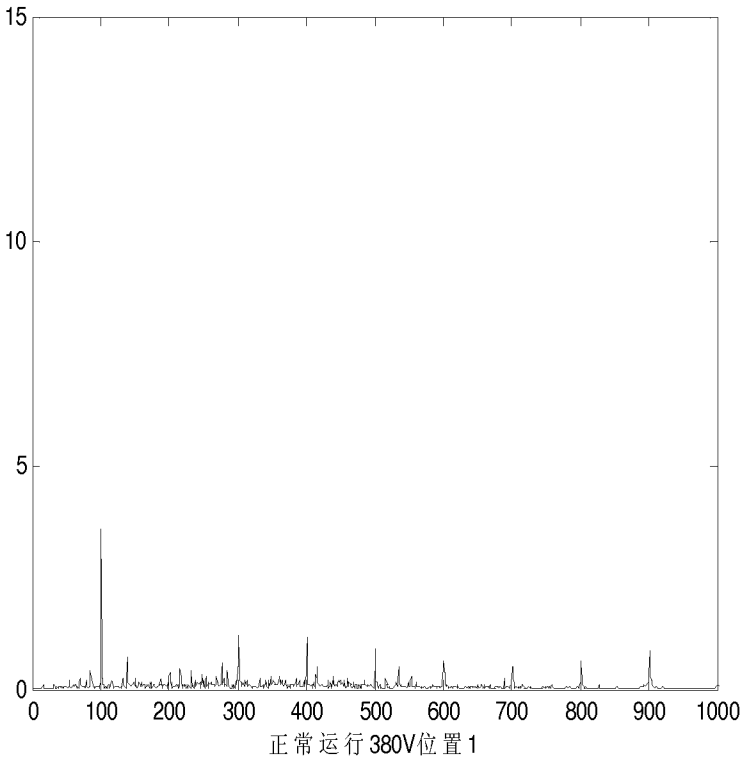


(a)

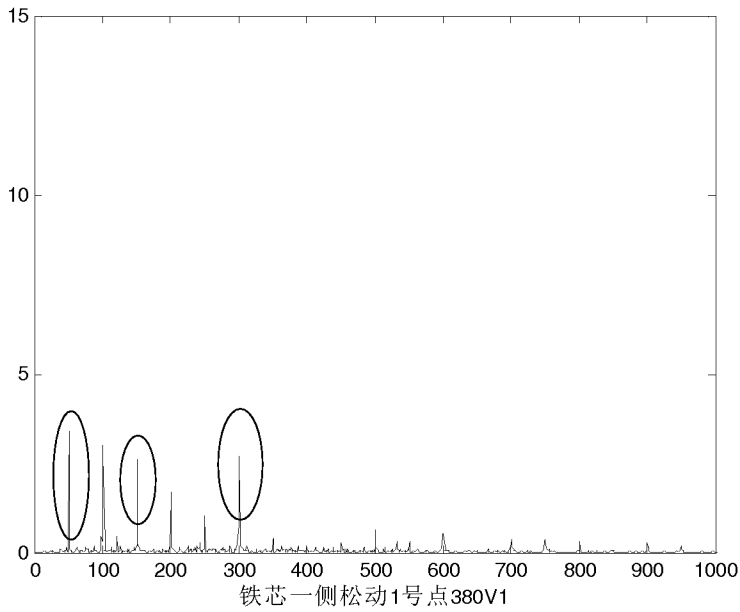


(b)

图 6

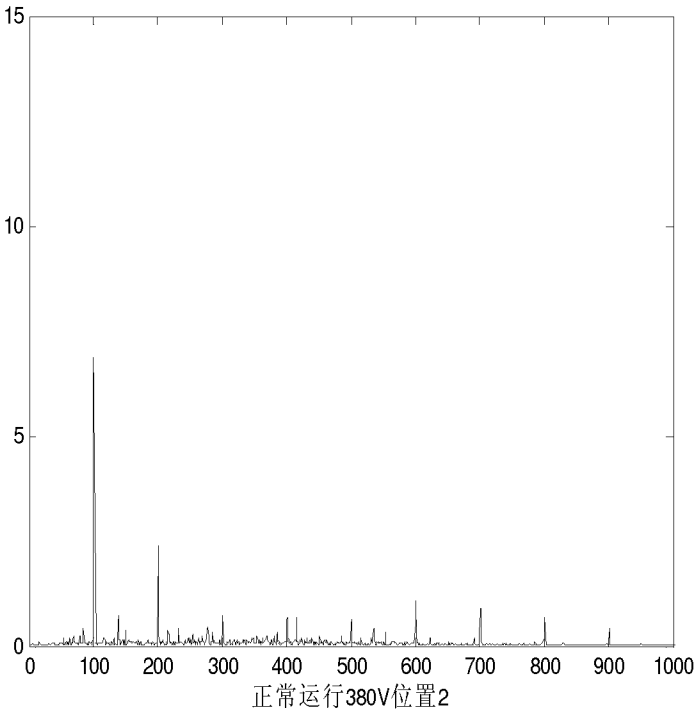


(a)

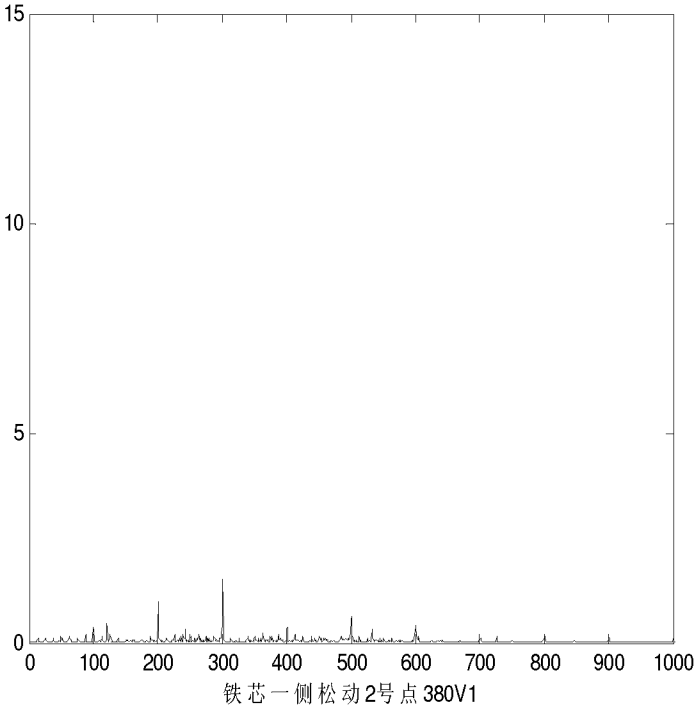


(b)

图 7

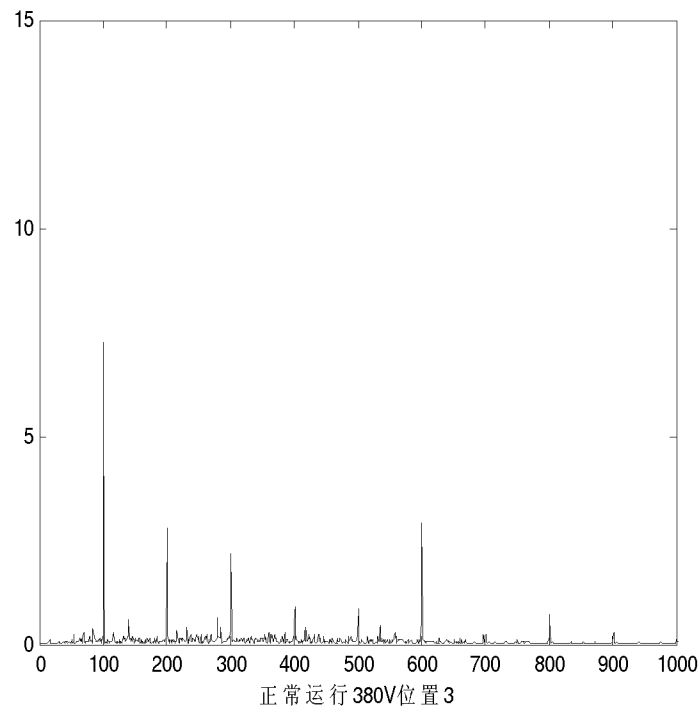


(a)

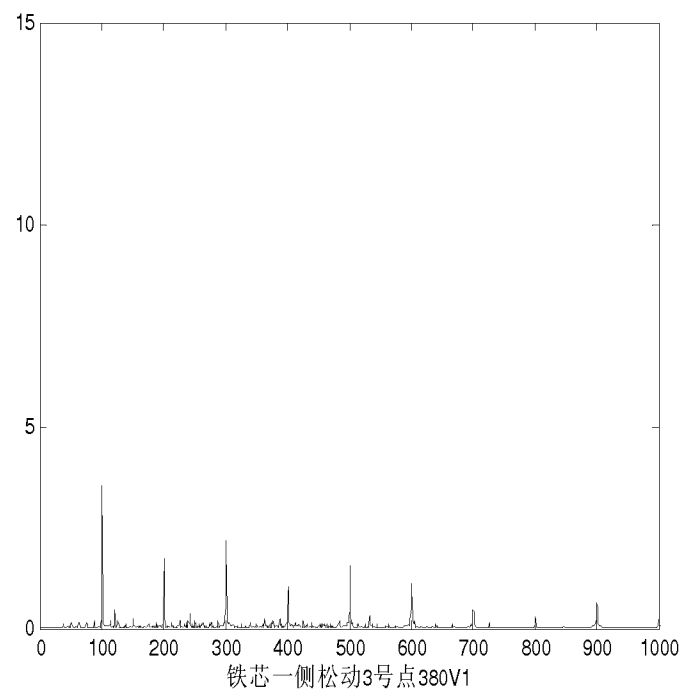


(b)

图 8



(a)



(b)

图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/078885

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01H 17/00 (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: G01H

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)

WPI EPODOC CNPAT CNKI: iron core magnetic core malfunction transformer core sensor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 102721465 A (NANJING POWER SUPPLY COMPANY OF JIANGSU ELECTRIC POWER COMPANY et al.), 10 October 2012 (10.10.2012), claims 1-3	1-3
Y	CN 102375102 A (EAST CHINA ELECTRIC POWER TEST & RESEARCH INSTITUTE COMPANY LIMITED et al.), 14 March 2012 (14.03.2012), description, paragraphs 34-36 and 50-52, and figures 1 and 2	1
A		2, 3
Y	CN 201707124 U (JIANGJIN POWER SUPPLY BUREAU, CHONGQING ELECTRIC POWER CORPORATION), 12 January 2011 (12.01.2011), description, paragraphs 4-9 and 17-19, and figures 2 and 3	1
A		2, 3
A	CN 202230145 U (SHANDONG HENGWEI POWER EQUIPMENT CO., LTD.), 23 May 2012 (23.05.2012), the whole document	1-3

☐ 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 03 March 2013 (03.03.2013)	Date of mailing of the international search report 21 March 2013 (21.03.2013)
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 LI, Sujuan Telephone No.: (86-10) 62411774

International application No.
PCT/CN2012/078885

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

A. 主题的分类

G01H 17/00 (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: G01H

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))

WPI EPODOC CNPAT CNKI 变压器 铁芯(心) 磁芯(心) 故障 传感器 transformer core sensor

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	CN102721465A (江苏省电力公司南京供电公司等) 10.10 月 2012 (10.10.2012)	1-3
	权利要求 1-3	
Y	CN102375102A (华东电力试验研究院有限公司等) 14.3 月 2012 (14.03.2012)	1
	说明书 34-36 段, 50-52 段, 图 1,2	
A		2,3
Y	CN201707124U (重庆市电力公司江津供电局) 12.1 月 2011 (12.01.2011)	1
	说明书 4-9, 17-19 段, 图 2,3	
A		2,3
A	CN202230145U (山东恒威电力设备有限公司) 23.5 月 2012 (23.05.2012) 全文	1-3



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

03.3 月 2013 (03.03.2013)

国际检索报告邮寄日期

21.3 月 2013 (21.03.2013)

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

李素娟

电话号码: (86-10) 62411774

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/078885

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN102721465A	10.10.2012	无	
CN102375102A	14.03.2012	无	
CN201707124U	12.01.2011	无	
CN202230145U	23.05.2012	无	