

(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
2011 年 1 月 6 日 (06.01.2011)

PCT

(10) 国际公布号
WO 2011/000134 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/06 (2006.01) *G01R 31/00* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2009/000812
- (22) 国际申请日: 2009 年 7 月 21 日 (21.07.2009)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
200910057505.0 2009 年 6 月 30 日 (30.06.2009) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 上海市电力公司 (SHANGHAI MUNICIPAL ELECTRIC POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国上海市南京东路 181 号, Shanghai 200002 (CN)。上海交通大学 (SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。
- (72) 发明人: 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 姜益民 (JIANG, Yimin) [CN/CN]; 中国上海市南京东路 181 号, Shanghai 200002 (CN)。金之俭 (JIN, Zhijian) [CN/CN]; 中国上海市东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。朱子述 (ZHU, Zishu) [CN/CN]; 中国上海市东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。饶柱石 (RAO, Zhushi) [CN/CN]; 中国上海市东川路 800 号, Shanghai 200240 (CN)。傅坚 (FU, Jian) [CN/CN]; 中国上海市南京东路 181 号, Shanghai 200002 (CN)。
- (74) 代理人: 上海新天专利代理有限公司 (SHANGHAI XINTIAN PATENT AGENT CO., LTD.); 中国上海市南昌路 59 号上海科学会堂思南楼 1606 室, Shanghai 200020 (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, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (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,

[见续页]

(54) Title: METHOD FOR DETECTING TRANSFORMER WINDING STATE UTILIZING VIBRATION WAVEFORM

(54) 发明名称: 利用振动波形检测变压器绕组状态的方法

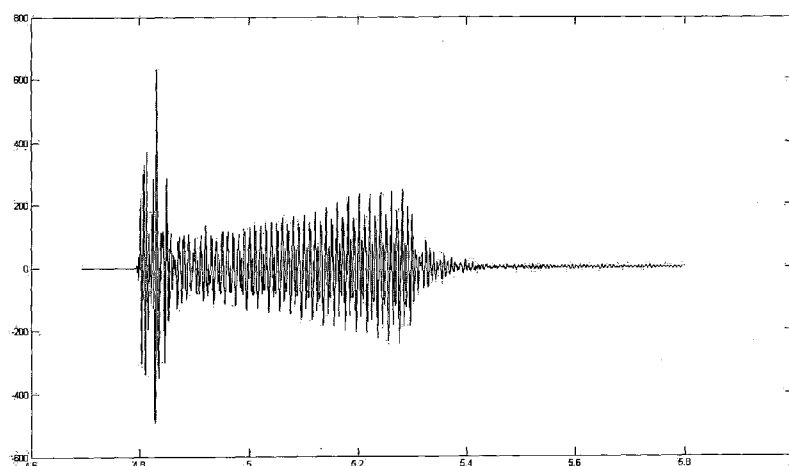


图 4 / FIG. 4

(57) Abstract: A method for detecting a transformer winding state utilizing vibration waveform. The transformer winding is regarded as one mechanical system, mechanical properties of which would change when the winding is loosening and deforming. The loosening and deforming of the transformer winding can be detected with higher sensitivity by detecting mechanical corresponding properties of the transformer winding under impact current.

[见续页]

WO 2011/000134 A1



SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, **本国际公布:**

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

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(57) 摘要:

一种利用振动波形检测变压器绕组状态的方法, 将变压器绕组视为一个机械系统, 若绕组发生松动和变形, 其机械特性将会发生变化, 通过检测变压器绕组在冲击电流作用下的机械相应特征, 能够更为灵敏地检测变压器绕组的松动和变形。

利用振动波形检测变压器绕组状态的方法

5 技术领域

本发明涉及一种利用振动波形检测变压器绕组状态的方法，尤其涉及一种利用变压器短路冲击电流激发的振动波形检测变压器绕组状态的方法。

背景技术

10 变压器是电力系统中最重要设备之一，其运行的稳定性对电力系统安全影响重大。随着我国电网容量的日益增大，短路容量亦随之不断增大，变压器出口短路形成的冲击电流产生的巨大电磁作用力对变压器绕组的机械强度和动稳定性构成了严重的威胁。目前变电站设备及线路的运行环境始终不容乐观，因外部短路造成变压器绕组受冲击而引发的变形，是变压器运行过程中较为常见的故障，其对系统的安全运行造成了很大的威胁。

15 变压器发生突然短路故障时，在变压器绕组内流过很大的短路电流，该短路电流在漏磁场的作用下，在绕组上产生很大的电动力。尽管这种暂态持续时间很短，但是变压器还是有可能遭到损坏。

20 变压器遭受突发短路后，其绕组可能首先发生松动或轻微变形，通过大量的实验研究分析变压器绕组变形具有累积效应，如果对于松动或变形不能及时发现和修复，那么在变压器的松动或变形累积到一定程度后会使变压器的抗短路能力大幅下降而在遭受较小的冲击电流下也会引发大的事故发生。

25 变压器在受到冲击短路电流时除了会发生松动和变形外，在铁芯的磁致伸缩与运行电流的长期作用下变压器本身在运行时也会出现复杂的机械振动，这些因素结合起来也会使绕组发生渐进性的变形、松散失稳现象，从而导致变压器的抗短路能力下降而使得变压器存在潜在的事故隐患。

30 绕组的变形一方面会导致机械抗短路电流冲击能力的下降，另一方面也会导致线圈内部局部绝缘距离发生变化，使局部出现绝缘薄弱点，当遇到过电压作用时，绕组有可能发生饼间或匝间短路导致变压器绝缘击穿事故，或者由于局部场强增大而引起局部放电，绝缘损伤部位会逐渐扩大，最终导致

变压器发生绝缘击穿事故而引发进一步的事态扩大。

因此，在运行过程中当变压器经历了外部短路事故后或运行一段时间后的常规检修中，如何有效地检测出变压器绕组是否存在松动和变形，从而判断变压器是否需要检修处理显得十分重要，是保障变压器安全运行的一个重要手段，因此变压器绕组变形的检测是目前变压器常规试验项目之一。

目前实际应用的对变压器绕组状态的检测方法主要有以下2种：

1、短路阻抗法：

变压器短路阻抗是当负载阻抗为零时变压器内部的等效阻抗，短路阻抗是变压器绕组的漏抗和电阻的矢量和，由于变压器直流电阻相对于漏抗数值很小，因此变压器的短路阻抗反映的主要是变压器绕组的漏抗。由变压器的理论分析可知，变压器漏抗值是由绕组的几何尺寸所决定的，或者说是由绕组的结构决定的，一旦变压器绕组发生变形，从理论上来说变压器的漏抗相应也会发生变化，因此通过对变压器短路阻抗的检测可以间接地反映变压器绕组内部是否发生了变形。

一般情况下，运行中的变压器受到了短路电流的冲击后，或在定期常规检查时要将测得的短路阻抗值与原有的记录进行比较来判断绕组是否发生了变形，如果短路阻抗值变化较大，例如国标中设定为变化超过3%，则可确认绕组有显著变形。

图1为短路阻抗法的测量示意图，将变压器低压侧短路，高压侧通过调压器施加试验电压，测量对应的短路电压 U 和短路电流 I ，变压器的短路阻抗由 $Z=U/I$ 计算得到。

按照有关标准规定，变压器在短路阻抗测试试验中，要求测量每一相的短路阻抗，并把试验后所测量的短路阻抗值与以往试验的数据加以比较，根据其变化的程度，作为判断被试变压器绕组是否合格的重要依据之一。

从实际应用情况来看，短路阻抗法在长期的生产实践中已建立了标准，判据较为明确，在IEC60076- 5 和GB1095- 85 中均明确给出了线圈变形程度的判据。但很多情况下这种方法的灵敏度很低，故障的检出率较低，只有在线圈整体变形情况较为严重时才能够得到较明确的反映。

2、频响法（FRA法，Frequency Response Analysis）：

频响法的基本原理是将变压器绕组视为一个分布参数网络，它由对地电容C、纵向电容K、电感L等分布参数构成一无源线性双端口网络，该网络的特性在频域上可以用传递函数 $H(j\omega)$ 来描述。

绕组发生局部机械变形后，其内部的分布电感L、纵向电容K和对地电容C等分布参数会发生相应的变化，从而在网络的传递函数 $H(j\omega)$ 上得到反映。因此分析变压器绕组的网络传递函数曲线的变化情况就可以分析内部的网络电参数是否发生变化，从而推断相应的机械结构是否发生了变形，这是频响法测试变压器绕组变形的依据和基础，如图2所示，为变压器绕组的等效双口网络。

频响法测试首先将一稳定的正弦扫频电压信号 $\dot{V}_i$ 施加到被试变压器绕组的一端，然后同时记录该端口 $\dot{V}_i$ 和其它输出端口上的电压 $\dot{V}_o$ ，从而得到该被试绕组的一组频响特性曲线，即：

$$H(j\omega) = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i}$$

频响法的测试灵敏度较短路阻抗法高，但由于其频响波形的复杂性，对绕组状况的判别需要较多的经验，较难形成明确的定量判据，因此至今没有形成判别标准。

上述两种方法是目前判别变压器绕组状况最常用的，两种方法都是基于电测方法，出发点都是根据变压器绕组发生明显变形的状况下模型中对应的组件电参数发生变化来进行测量判别，这对变压器绕组发生较明显的变形情况较为适宜，但对绕组发生轻微变形，尤其是对变压器绕组存在的相对松动和扭曲变形的状态不能给出较明确的判断，因为这些情况下反映在等效电路模型中的电参数几乎没有变化，其传递函数的变化也就非常小。然而变压器绕组松动或扭曲变形对其抗短路能力有很大的影响，因此研究绕组的状况需有灵敏度更高的方法来进行判别。同时这两种方法都是离线检测方法，即需

发明的公开

本发明提供一种利用变压器短路冲击电流激发的振动波形检测变压器

绕组状态的方法，将变压器绕组视为一个机械系统，若绕组发生松动和变形，其机械特性将会发生变化，通过检测变压器绕组在冲击电流作用下的机械相应特征，能够更为灵敏地检测变压器绕组的松动和变形。

为了达到上述目的，本发明提供了一种利用变压器短路冲击电流激发的
5 振动波形检测变压器绕组状态的方法，包含以下步骤：

步骤 1、将振动传感器设置到被测变压器的壳体上；

步骤 2、当变压器发生故障时，振动传感器测量被测变压器绕组在短路冲击电流作用下的振动响应信号，并将测得的信号通过电路传输至振动信号采集器；

10 步骤 3、振动信号采集器被变压器发生故障时产生的短路冲击电流所触发，同步完成对振动传感器测得的信号进行采集、抗混迭数字滤波以及高速缓存，将处理后得到的振动响应信号数据通过高速总线传输至数据分析模块；

步骤 4、数据分析模块对接收到的数据进行振动波形形态分析，根据波形的形态变化来判断变压器绕组的状态；

15 当变压器绕组状态的动稳定状态良好时，冲击振动波形趋于收敛，当绕组状态的动稳定性趋于恶化，发生松动或变形时，冲击振动波形趋于发散，此时需及时进行处理，避免形成重大故障。

所述的振动信号采集器的采样频率和采样长度可通过所述的数据分析模块控制调整；

20 本发明提供了一种利用变压器短路冲击电流激发的振动波形检测变压器绕组状态的方法，通过分析变压器绕组短路冲击状态下的振动波形形态，能有效地、高灵敏度地检测出变压器绕组的松动和变形状况，及时检修或更换，避免因绕组结构损坏而导致变压器发生突然短路的故障。

25 附图的简要说明

图 1 是短路阻抗法的测量示意图；

图 2 是频响法中变压器绕组的等效双口网络；

图 3 是本发明具体实施例中变压器绕组动稳定状态良好时的振动波形形态；

30 图 4 是本发明具体实施例中变压器绕组动稳定状态趋于恶化时的振动波

形形态。

实现本发明的最佳方式

以下根据图 3 和图 4，说明本发明的具体实施例：

- 5 2006 年 11 月 17 日沈阳虎石台国家变压器质量检测中心对上海市电力公司某 10kV 配电变压器进行短路冲击试验。

试验中低压绕组短路，高压各相绕组加载电源，对每个绕组进行三次短路冲击，每次短路试验后停电进行短路阻抗检测，同时记录每次短路冲击状态过程中的振动信号。

- 10 从 A 相冲击试验来看，三次试验波形均较为稳定，波形平缓呈收敛状（见图 3），B 相试验三次，试验振动波形峰值不断增大，第二次试验短路阻抗变化为 0.63%，第三次冲击试验中，试验品损坏，短路阻抗变化 3.3%。

第二次短路冲击试验振动波形（见图 4）呈发散状，显示绕组状态发生明显变化，与完好的 A 相波形比较有明显差别。

权利要求

- 5 1. 一种利用振动波形检测变压器绕组状态的方法, 其特征在于, 包含以下步骤:
- 步骤 1、将振动传感器设置到被测变压器的壳体上;
- 步骤 2、当变压器发生故障时, 振动传感器测量被测变压器绕组在短路冲击电流作用下的振动响应信号, 并将测得的信号通过电路传输至振
- 10 动信号采集器;
- 步骤 3、振动信号采集器被变压器发生故障时产生的短路冲击电流所触发, 同步完成对振动传感器测得的信号进行采集、抗混迭数字滤波以及高速缓存, 将处理后得到的振动响应信号数据通过高速总线传输至数据分析模块;
- 15 步骤 4、数据分析模块对接收到的数据进行振动波形形态分析, 根据波形的形态变化来判断变压器绕组的状态;
- 当变压器绕组状态的动稳定状态良好时, 冲击振动波形趋于收敛, 当绕组状态的动稳定性趋于恶化, 发生松动或变形时, 冲击振动波形趋于发散, 此时需及时进行处理, 避免形成重大故障。
- 20 2. 如权利要求 1 所述的利用振动波形检测变压器绕组状态的方法, 其特征在于, 所述的振动信号采集器的采样频率和采样长度可通过所述的数据分析模块控制调整。

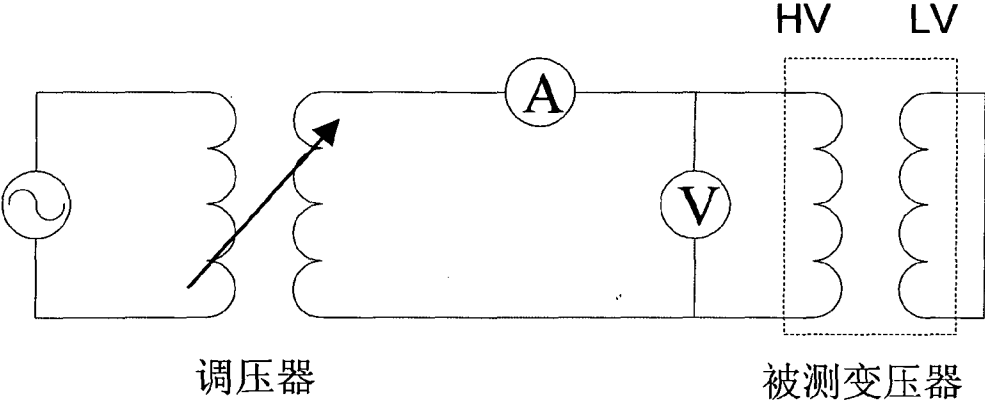


图 1

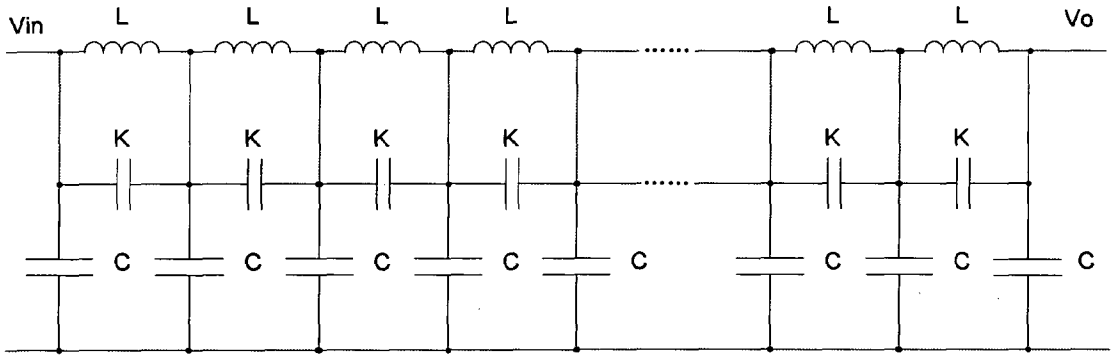


图 2

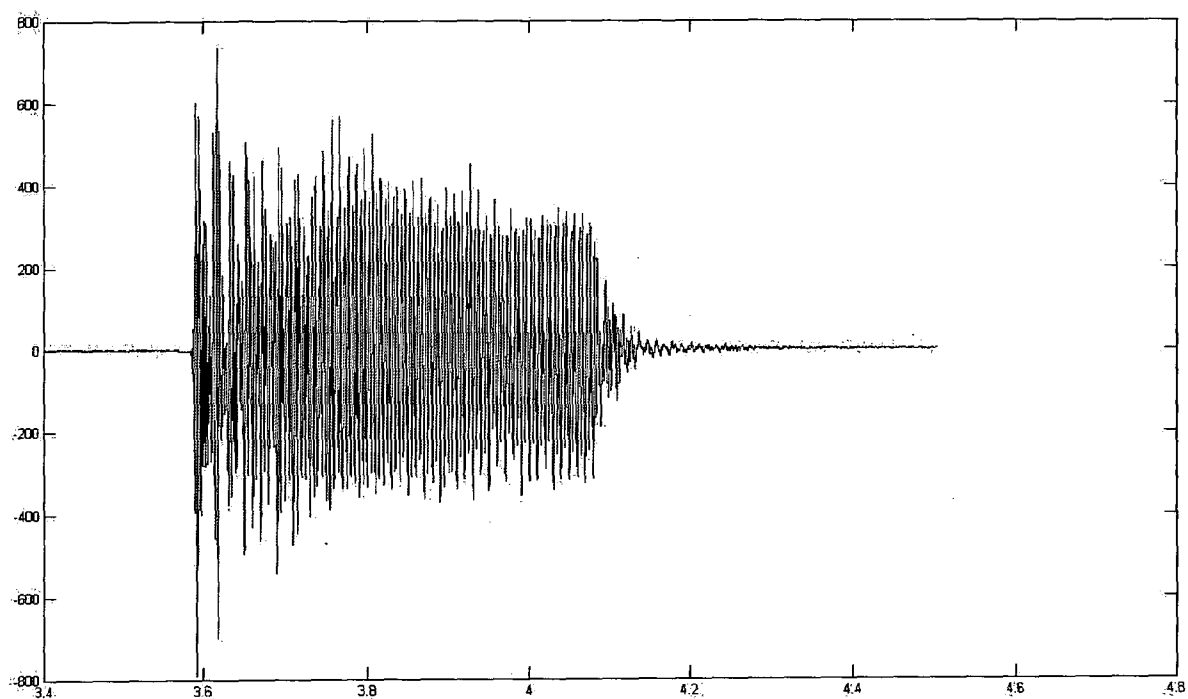


图 3

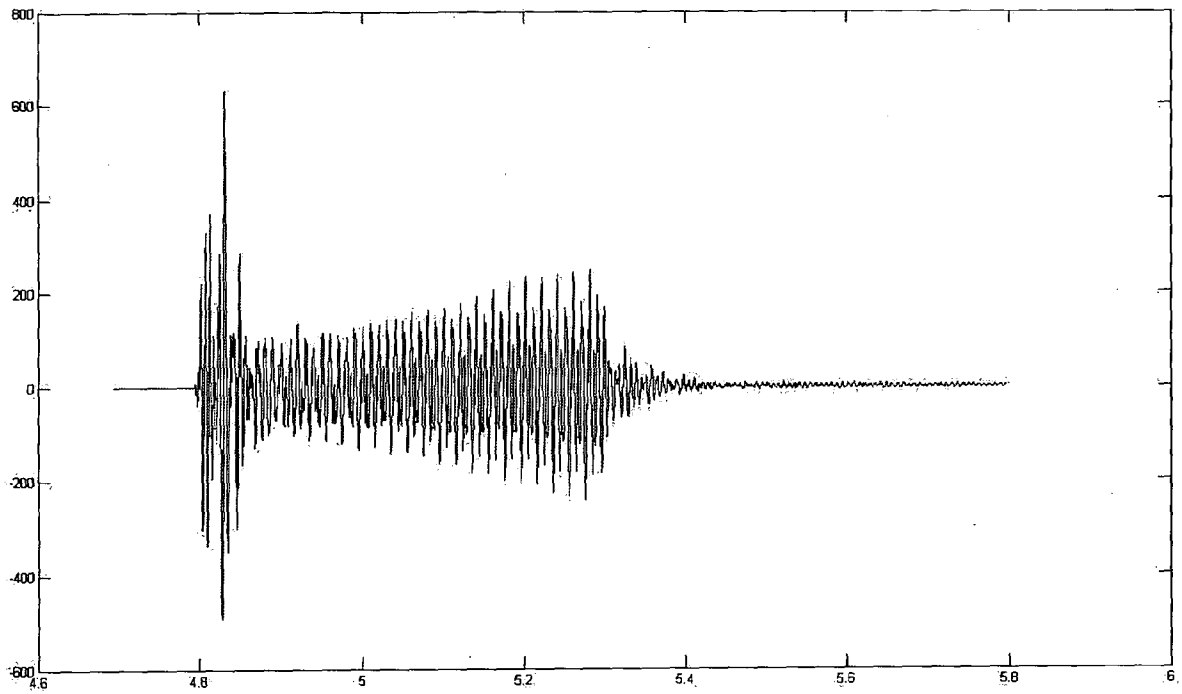


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2009/000812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See 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: G01R31/

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, EPODC, CNPAT, CNKI: transformer coil winding oscillat+ librat+ vibrat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN1776441A(SHANGHAI MUNICIPAL POWER CO) 24 May 2006(24.05.2006) claims 1-3, page 4 line 7-page 5 line 5 in the description	1-2
X	CN2864705Y(SHANGHAI MUNICIPAL POWER CO) 31 Jan. 2007(31.01.2007) claims 1-3, page 4 line 7-page 5 line 5 in the description	1-2
A	JP2004-251763A(JAPAN AE POWER SYSTEMS CORP) 09 Sep. 2004(09.09.2004) the whole document	1-2
A	JP2002-305118A(TOSHIBA CORP) 18 Oct. 2002(18.10.2002) the whole document	1-2

☐ 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
16 Mar. 2010 (16.03.2010)Date of mailing of the international search report
08 Apr. 2010 (08.04.2010)Name and mailing address of the ISA/CN
The State Intellectual Property Office, the P.R.China
6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District, Beijing, China
100088
Facsimile No. 86-10-62019451Authorized officer
LI, Sujuan
Telephone No. (86-10)62411774

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2009/000812

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN1776441A	24.05.2006	CN100373166C	05.03.2008
CN2864705Y	31.01.2007	None	
JP2004-251763A	09.09.2004	None	
JP2002-305118A	18.10.2002	None	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2009/000812

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R31/06 (2006.01) i

G01R31/00 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2009/000812

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/

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, EPOODC, CNPAT, CNKI: transformer coil winding oscillat+ librat+ vibrat+ 变压器 线圈 绕组 振动 振荡 震动

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
X	CN1776441A (上海市电力公司) 24.5 月 2006 (24.05.2006) 权利要求 1-3, 说明书第 4 页第 7 行-第 5 页第 5 行	1-2
X	CN2864705Y (上海市电力公司) 31.1 月 2007 (31.01.2007) 权利要求 1-3, 说明书第 4 页第 7 行-第 5 页第 5 行	1-2
A	JP2004-251763A (JAPAN AE POWER SYSTEMS CORP) 09.9 月 2004 (09.09.2004) 全文	1-2
A	JP2002-305118A (TOSHIBA CORP) 18.10 月 2002 (18.10.2002) 说明书全文	1-2

☐ 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
16.3 月 2010 (16.03.2010)

国际检索报告邮寄日期
08.4 月 2010 (08.04.2010)

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

李素娟
电话号码: (86-10) **62411774**

关于同族专利的信息

PCT/CN2009/000812

主题的分类:

G01R31/06 (2006.01) i

G01R31/00 (2006.01) i