

(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



PCT



(10) 国际公布号

WO 2010/060253 A1

(43) 国际公布日
2010 年 6 月 3 日 (03.06.2010)

- (51) 国际专利分类号:
G01R 31/06 (2006.01) G01R 29/20 (2006.01)
G01R 31/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2009/000051
- (22) 国际申请日: 2009 年 1 月 15 日 (15.01.2009)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
200810203340.9 2008 年 11 月 25 日 (25.11.2008) 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]; 中国上海市浦东新区源深路 1122 号, Shanghai 200122 (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]; 中国上海市浦东新区源深路 1122 号, Shanghai 200122 (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]; 中国上海市浦东新区源深路 1122 号, Shanghai 200122 (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, 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, 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。

[见续页]

(54) Title: THE SYSTEM AND METHOD FOR DETECTING THE STATE OF THE TRANSFORMER WINDING BY UTILIZING EXCITATION OF THE CONSTANT CURRENT SWEEP FREQUENCY POWER SOURCE

(54) 发明名称: 利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统和方法

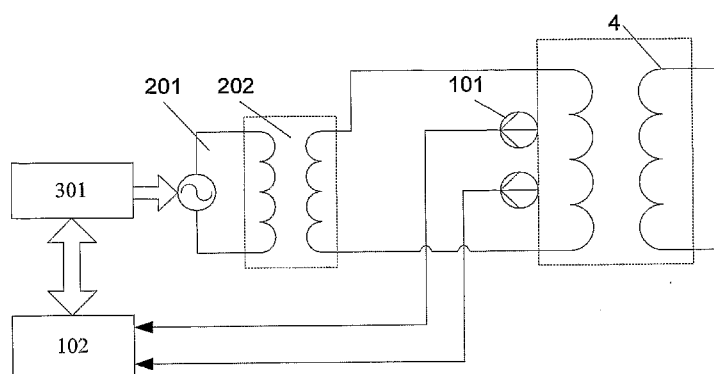


图 3 / FIG. 3

(57) Abstract: A system and method for detecting the state of the transformer winding are provided by utilizing excitation of the constant current sweep frequency power source. The method includes the following steps: the measuring and controlling and analyzing module controls the sweep frequency power source to apply outputted constant current and sweep frequency exciting signal on high voltage side of the measuring transformer from an excitation transformer; the vibration transducer measures the vibration response signal of the measuring transformer under different exciting frequency; the vibration signal sampler samples and pre-processes the measured signal from the vibration transducer; the measuring and controlling and analyzing module perform frequency spectral analysis on the received vibration signal which is after-treatment; the resonance frequency curve of the transformer winding in frequency domain is displayed and recorded, and compared with the resonance frequency curve measured and recorded previously and the vibration frequency curve of three phase coils of the transformer to judge the state of the transformer winding.

[见续页]



WO 2010/060253 A1



(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,

SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, 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))。

(57) **摘要:**

提供了一种利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统和方法。该方法包括下列步骤: 测控分析模块控制扫频电源通过励磁变压器将输出的恒流扫频激励信号施加在被检测变压器的高压侧; 振动传感器测量被测变压器绕组在不同激振频率下的振动响应信号; 振动信号采集器对振动传感器测得的信号进行采集和预处理; 测控分析模块对接收到的处理后的振动信号进行频谱分析; 显示并记录变压器绕组在频域上的谐振频率曲线, 与先前测量得到并记录的谐振频率曲线, 以及变压器三相线圈的振动频率曲线比较, 判断变压器绕组的状态。

利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统和方法

5 技术领域

本发明涉及一种利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统和方法。

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
15 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。

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，在国际电工标准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，两种方法都是采用电测方法，出发点都是基于变压器绕组发生明显变形的状况下模型中对应的元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。

发明的公开

本发明提供一种利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统和方法，将变压器绕组等效为一个集中参数的复杂的弹性系统，当变压器绕组产生松动，其轴向预紧力发生变化时，其前几阶的机械振动的固有频率会逐

步向更低的频率方向移动，并有低频段的整体振幅有所提高的现象，使整个弹性系统的振动特性发生变化，而变压器绕组发生变形时会引起弹性系统结构的变化，从而使弹性系统的振动特性发生变化，因此，通过有效地检测到弹性系统本身的振动特性变化，分析变压器绕组的固有谐振频率曲线的变化，就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恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统，其包含：

测控分析模块；

激振模块，该激振模块电路连接所述测控分析模块；

信号采集模块 该信号采集模块电路连接所述测控分析模块和激振模块
所述的激振模块包含通过电路连接的可控恒流扫频电源和励磁变压器；
所述的信号采集模块包含依次电路连接的振动传感器和振动信号采集器；

所述的可控恒流扫频电源电路连接所述的测控分析模块，该扫频电源通过励磁变压器将输出的恒流扫频激励信号施加在被检测变压器的高压侧，并同时对被测变压器绕组输出该恒流扫频激励信号；

所述的可控恒流扫频电源输出的电流扫频激励信号的幅值大小，输出频率的扫频范围和扫频速度由所述的测控分析模块控制调整；

所述的励磁变压器作为阻抗匹配；

所述的振动传感器设置于变压器的壳体上，其测量被测变压器绕组在不同激振频率下的振动响应信号，并将测得的信号传输至振动信号采集器；

所述的振动信号采集器电路连接所述的测控分析模块，所述的振动信号采集器同步完成信号采集、抗混迭数字滤波以及对信号的高速缓存，所述的振动信号采集器对振动传感器测得的信号进行采集和预处理，并将处理后得到的振动响应信号数据通过高速总线传输至测控分析模块，该振动信号采集器的采样频率和采样长度由所述的测控分析模块控制调整；

所述的测控分析模块对接收到的振动响应信号数据进行频谱分析，显示并记录变压器绕组在频域上的谐振频率曲线，与先前测量得到并记录的谐振频率曲线，以及变压器三相线圈的振动频率曲线进行比较，判断变压器绕组的状态，得到测量结果。

本发明还提供一种利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的方法，包含以下步骤：

步骤 1、测控分析模块设置可控恒流扫频电源的参数；

设置输出电流、扫频范围、扫频频率间隔、扫频频率变化周期等；

5 步骤 2、测控分析模块设置振动传感器和振动信号采集器的参数；

设置振动传感器参数，主要包括传感器的灵敏度和输入方式；

设置振动信号采集器的采样速度；

步骤 3、测控分析模块设置振动响应信号的分析参数；

设置振动响应信号的分析频宽；

10 步骤 4、测控分析模块输出扫频电流和起始频率到可控恒流扫频电源；

步骤 5、测控分析模块输出激振频率到可控恒流扫频电源；

步骤 6、将被测变压器的低压绕组短路；

步骤 7、可控恒流扫频电源通过励磁变压器将恒流扫频激励信号施加在被测变压器的高压侧，并同时对被测变压器绕组输出该恒流扫频激励信号；

15 步骤 8、振动传感器测量被测变压器绕组对于恒流扫频激励信号的振动响应信号，并将测得的振动响应信号传输至振动信号采集器；

步骤 9、振动信号采集器对测得的振动响应信号进行采集处理后，传送至测控分析模块；

步骤 10、测控分析模块对接收到的振动响应信号进行频谱分析；

20 步骤 11、测控分析模块判断可控恒流扫频电源输出的恒流扫频激励信号的频率是否大于设置的终止频率，若是，则增加频率，跳到步骤 5，若否，跳到步骤 12；

步骤 12、测控分析模块输出被测变压器绕组的谐振频率曲线；

25 步骤 13、测控分析模块将被测变压器绕组的谐振频率曲线与其以前的记录曲线相比较，或与变压器三相线圈的频率曲线相比较，当该频率曲线的振动幅度明显放大，频谱峰值发生明显偏移，即出现奇异峰值时，说明该变压器绕组有异常反应，判断变压器绕组处于非正常状态下，发生松动或变形，需及时更换，保证线路不发生故障。

30 本发明提供的利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统和方
法，通过分析变压器绕组的固有谐振频率曲线的变化来检测绕组的松动状

况，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。

附图的简要说明

5 图 1 是背景技术中短路阻抗法的测量示意图；

图 2 是背景技术中频响法中变压器绕组的等效双口网络；

图 3 是本发明提供的利用扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统的结构示意图；

10 图 4 是本发明提供的利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的方法的流程图；

图 5 是本发明具体实施例中变压器水平方向对称 A 相和 C 相的振动频谱比较；

图 6 是本发明具体实施例中变压器垂直方向对称 A 相和 C 相振动频率的比较。

15

实现本发明的最佳方式

以下根据图 3~图 6，具体说明本发明的具体实施方式：

如图 3 所示，本发明提供了一种利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统，其包含：

20 测控分析模块 301；

激振模块，该激振模块电路连接所述测控分析模块 301；

信号采集模块，该信号采集模块电路连接所述测控分析模块 301 和激振模块；

25 所述的激振模块包含通过电路连接的可控恒流扫频电源 201 和励磁变压器 202；

所述的信号采集模块包含依次电路连接的振动传感器 101 和振动信号采集器 102；

所述的振动传感器 101 采用 DH185 压电式 ICP 加速度传感器 参数如下：

灵敏度： 10mV/m.s^{-2} ；

30 量程(m/s^2)： 1×10^3 ；

谐振频率(kHz) : 24;
频率范围(Hz) : 0.5~5000;
横向比(%) : <5;
工作电流(mA) : 4~20;
5 输出阻抗(Ω) : <100;
工作电压(DCV) : 18~30;
工作温度($^{\circ}\text{C}$) : -20~100;
安装螺纹(mm) : M5;
外形尺寸(mm) : $\Phi 32$;

10 重量(克) : 100;

引出方式: 顶端固定引线;

所述的振动信号采集器 102 采用 DH5920 动态信号测试分析系统, 参数如下:

输入阻抗: $10\text{M}\Omega // 40\text{PF}$;

15 输入方式: GND、DC、AC;

输入方式: 单端输入、差动输入、ICP 适调输入、

系统准确度: 小于 0.5%(F.S)(预热半小时后测量);

系统稳定度: 0.05%/h(同上);

线性度: 满度的 0.05%;

20 失真度: 不大于 0.5%;

最大分析频宽: DC~50kHz;

低通滤波器: 截止频率(-3dB $\pm$ 1dB): 10、30、100、300、1k、3k、10k、
PASS(Hz)八档分档切换;

平坦度: 小于 0.1dB(2/3 截止频率内);

25 阻带衰减: 大于-24dB/oct;

噪声: 不大于 $5\mu\text{VRMS}$ (输入短路, 在最大增益和最大带宽时折算至输入端);

共模抑制(CMR): 不小于 100dB;

共模电压(DC 或 AC 峰值): 小于 $\pm 10\text{V}$ 、DC~60Hz ;

30 时间漂移: 小于 $3\mu\text{V/小时}$ (输入短路, 预热 1 小时后, 恒温, 在最大增益

时折算至输入端);

温度漂移: 小于 $1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ (在允许的工作温度范围内, 输入短路, 在最大增益时折算至输入端);

输出电位: $\pm 5\text{V}$ 范围内, 按 1mV 的分辨率任意设置;

5 模数转换器分辨率: 16 位;

整数采样速率: 8 通道同时工作时, 每通道 10、20、50、100、200、500、1k、2k、5k、10k、20k、50k、100k (Hz) 分档切换;

整数分析频率: 8 通道同时工作时, 每通道 5、10、20、50、100、200、500、1k、2k、5k、10k、20k、50k (Hz) 分档切换;

10 抗混滤波器:

滤波方式: 每通道独立的模拟滤波 + DSP 数字滤波;

截止频率: 采样速率的 $1/2.56$ 倍, 设置采样速率时同时设定;

阻带衰减: 约 -150dB/oct ;

平坦度(分析频率范围内): 小于 $\pm 0.05\text{dB}$;

15 电源: 220VAC , 12VDC ($9\sim 18\text{V}$), 功率 50W ;

所述的可控恒流扫频电源 201 通过 RS232 接口连接所述的测控分析模块 301, 该扫频电源 201 通过励磁变压器 202 将输出的恒流扫频激励信号施加在被检测变压器 4 的高压侧, 并同时对被测变压器绕组输出该恒流扫频激励信号;

20 所述的可控恒流扫频电源 201 采用独立研制的恒流激振电源 TVRAS-1, 可控制输出扫频激励电流的幅值大小, 输出频率的扫频范围和扫频速度由所述的测控分析模块 301 控制调整;

所述的励磁变压器 202 作为阻抗匹配用, 其主要参数:

容量: 35kVA , 电压: $380\text{V}/3500\text{V}$, 二次侧最大电流为 10A ;

25 所述的振动传感器 101 设置于变压器 4 的壳体上, 其测量被测变压器绕组在不同激振频率下的振动响应信号, 并将测得的信号传输至振动信号采集器 102;

所述的振动信号采集器 102 通过 1394 接口连接所述的测控分析模块 301, 所述的振动信号采集器 102 同步完成信号采集、抗混迭数字滤波以及对信号的高速缓存, 所述的振动信号采集器 102 对振动传感器测得的信号进行

30

采集和预处理，并将处理后得到的振动响应信号数据通过高速总线传输至测控分析模块 301，该振动信号采集器 102 的采样频率和采样长度由所述的测控分析模块 301 控制调整；

- 5 所述的测控分析模块 301 对接收到的振动响应信号数据进行频谱分析，显示并记录变压器绕组在频域上的谐振频率曲线，与先前测量得到并记录的谐振频率曲线，以及变压器三相线圈的振动频率曲线进行比较，判断变压器绕组的状态，得到测量结果。

如图 4 所示，本发明还提供一种利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的方法，包含以下步骤：

- 10 步骤 1、测控分析模块 301 设置可控恒流扫频电源 201 的参数；
设置输出电流、扫频范围、扫频频率间隔、扫频频率变化周期等；
输入电源：380V/50Hz；
可控恒定输出电流：2A~60A；
扫频频率范围：30Hz~500Hz；
15 连续工作时间：不少于 5 小时；
扫频频率间隔：1Hz~5Hz；
扫频频率变化周期：1s~30s；
步骤 2、测控分析模块 301 设置振动传感器 101 和振动信号采集器 102 的参数；
20 设置振动传感器 101 参数，主要包括传感器的灵敏度和输入方式；
设置振动信号采集器 102 的采样速度 10Hz~100kHz；
步骤 3、测控分析模块 301 设置振动响应信号的分析参数；
设置分析频宽：DC~50kHz；
步骤 4、测控分析模块 301 输出扫频电流和起始频率到可控恒流扫频电
25 源 201；
步骤 5、测控分析模块 301 输出激振频率到可控恒流扫频电源 201；
步骤 6、将被测变压器 4 的低压绕组短路；
步骤 7、可控恒流扫频电源 201 通过励磁变压器 202 将恒流扫频激励信号施加在被测变压器 4 的高压侧，并同时对被测变压器绕组输出该恒流扫频
30 激励信号；

步骤 8、振动传感器 101 测量被测变压器绕组对于恒流扫频激励信号的振动响应信号，并将测得的振动响应信号传输至振动信号采集器 102；

步骤 9、振动信号采集器 102 对测得的振动响应信号进行采集处理后，传送至测控分析模块 301；

5 步骤 10、测控分析模块 301 对接收到的振动响应信号进行频谱分析；

步骤 11、测控分析模块 301 判断可控恒流扫频电源 201 输出的恒流扫频激励信号的频率是否大于设置的终止频率，若是，则增加频率，跳到步骤 5，若否，跳到步骤 12；

步骤 12、测控分析模块 301 输出被测变压器绕组的谐振频率曲线；

10 步骤 13、测控分析模块 301 将被测变压器绕组的谐振频率曲线与其以前的记录曲线相比较，或与变压器三相线圈的频率曲线相比较，当该频率曲线的振动幅度明显放大，频谱峰值发生明显偏移，即出现奇异峰值时，说明该变压器绕组有异常反应，判断变压器绕组处于非正常状态下，发生松动或变形，需及时更换，保证线路不发生故障。

15 **具体实施例：**

某变电站中，主变压器的 A 相低压侧因出口流变发生击穿而遭受短路冲击，压力释放装置保护动作，后因系统调配原因，决定重新投入运行。

在运行前进行了一次停电检测，首先采用短路阻抗法进行测试，测试发现短路阻抗基本没有发生变化（变化值小于 0.1%）；再采用 FRA 法对变压器
20 A 相低压绕组进行测试分析，发现与原测量曲线对照没有异常变化。根据这 2 种电测法的结论，认为变压器 A 相绕组线圈没有发生变形故障。

但是，最后采用本发明的测量系统进行检测，利用扫频激励振动频谱的方法，对变压器对称的 A 相和 C 相绕组作了仔细的扫频测试，得到如图 5 和图 6 所示的 A 相与 C 相振动频谱对比曲线，发现变压器 A 相的振动幅值
25 与对称 C 相比较放大了数倍，频谱的峰值发生明显的偏移，出现了明显的低频奇异峰值，与未受冲击的 C 相频谱相比有明显异常。

由此可见，本发明具有高灵敏度的检测性能。

试验总结报告称：2005 年 5 月 24 日，上海超高压公司武威变电站 3 号主变 A 相低压侧因出口流变发生击穿而遭受短路冲击，压力释放装置保护动作。因系统调配原因，重又投入运行。
30

5 5月26日凌晨停电进行检测，超高压公司采用短路阻抗法进行测试，短路阻抗基本没有发生变化（变化值小于0.1%）。由华东中试所采用FRA法对变压器A相低压绕组进行测试分析，与原测量曲线对照没有发现有异常变化。至26日凌晨由于母联开关发生故障即将影响区域供电，需要立即作出判断，根据电测法的结论不能认为线圈发生变形故障，故变压器重新投运。

但停电期间由上海交通大学测试组采用扫频激励振动频谱的方法进行测试，发现A相振动幅值与C相比较放大数倍，频谱的峰值发生明显的偏移，由于当时时间紧迫没有细致地进行扫频测量，致使不能得到完整的频谱曲线来进行分析。

10 由于该变压器出厂较早，已经过维修，加之本次遭受出口短路冲击，压力释放装置有保护动作发生，而A相的振动幅值与对照相C相相比明显增大，故6月2日将该变压器退出运行。

15 6月7日，武威站3号主变退出运行后，采用扫频激振法对变压器三相的绕组作了仔细的扫频测试，图5和图6为三相测得的频谱曲线比较，可以看到A相振动的频谱出现了明显的奇异峰值，与未受冲击的B、C相频谱相比有明显异常。经变压器吊芯检查，A相的轴向预紧力仅为对称C相的四分之一，扫频激振方法检测的结果得到验证。

权利要求

1. 一种利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统，其特征在于，包含：

测控分析模块（301）；

激振模块，该激振模块电路连接所述测控分析模块（301）；

信号采集模块，该信号采集模块电路连接所述测控分析模块（301）和激振模块；

所述的激振模块包含通过电路连接的可控恒流扫频电源（201）和励磁变压器（202）；

所述的信号采集模块包含电路连接的振动传感器（101）和振动信号采集器（102）；

所述的扫频电源（201）通过励磁变压器（202）将输出的恒流扫频激励信号施加在被检测变压器（4）的高压侧，并同时对被测变压器绕组输出该恒流扫频激励信号，所述的振动传感器（101）测量被测变压器绕组在不同激振频率下的振动响应信号，并将测得的信号传输至振动信号采集器（102），所述的振动信号采集器（102）对振动传感器测得的信号进行采集和预处理，并将处理后得到的振动响应信号数据通过高速总线传输至测控分析模块（301），所述的测控分析模块（301）对接收到的振动响应信号数据进行频谱分析，显示并记录变压器绕组在频域上的谐振频率曲线，与先前测量得到并记录的谐振频率曲线，以及变压器三相线圈的振动频率曲线进行比较，判断变压器绕组的状态，得到测量结果。

2. 如权利要求 1 所述的利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统，其特征在于，所述的可控恒流扫频电源（201）电路连接所述的测控分析模块（301）。

3. 如权利要求 1 所述的利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统，其特征在于，所述的振动传感器（101）设置于变压器（4）的壳体上。

4. 如权利要求 1 所述的利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的系统，其特征在于，所述的振动信号采集器（102）电路连接所述的测控分

析模块（301）。

5. 一种利用恒流扫频电源激振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、测控分析模块（301）设置可控恒流扫频电源（201）的参数；

5 步骤 2、测控分析模块（301）设置振动传感器（101）和振动信号采集器（102）的参数；

步骤 3、测控分析模块（301）设置振动响应信号的分析参数；

步骤 4、测控分析模块（301）输出扫频电流和起始频率到可控恒流扫频电源（201）；

10 步骤 5、测控分析模块（301）输出激振频率到可控恒流扫频电源（201）；

步骤 6、将被测变压器（4）的低压绕组短路；

15 步骤 7、可控恒流扫频电源（201）通过励磁变压器（202）将恒流扫频激励信号施加在被测变压器（4）的高压侧，并同时对被测变压器绕组输出该恒流扫频激励信号；

步骤 8、振动传感器（101）测量被测变压器绕组对于恒流扫频激励信号的振动响应信号，并将测得的振动响应信号传输至振动信号采集器（102）；

20 步骤 9、振动信号采集器（102）对测得的振动响应信号进行采集处理后，传送至测控分析模块（301）；

步骤 10、测控分析模块（301）对接收到的振动响应信号进行频谱分析；

25 步骤 11、测控分析模块（301）判断可控恒流扫频电源（201）输出的恒流扫频激励信号的频率是否大于设置的终止频率，若是，则增加频率，跳到步骤 5，若否，跳到步骤 12；

步骤 12、测控分析模块（301）输出被测变压器绕组的谐振频率曲线；

30 步骤 13、测控分析模块（301）将被测变压器绕组的谐振频率曲线与其以前的记录曲线相比较，或与变压器三相线圈的频率曲线相比较，当该频率曲线的振动幅度明显放大，频谱峰值发生明显偏移，即出现奇异峰值时，说明该变压器绕组有异常反应，判断变压器绕组处于非正常状

态下，发生松动或变形，需及时更换，保证线路不发生故障。

6. 如权利要求 5 所述的利用恒流扫频电源激振检测变压器绕组状态的方法，其特征在于，

5 所述步骤 1 中设置的参数为输出电流、扫频范围、扫频频率间隔、扫频频率变化周期；所述步骤 2 中设置的参数为振动传感器参数，包括传感器的灵敏度和输入方式，以及振动信号采集器（102）的采样速度；所述步骤 3 中设置的参数为振动响应信号的分析频宽。

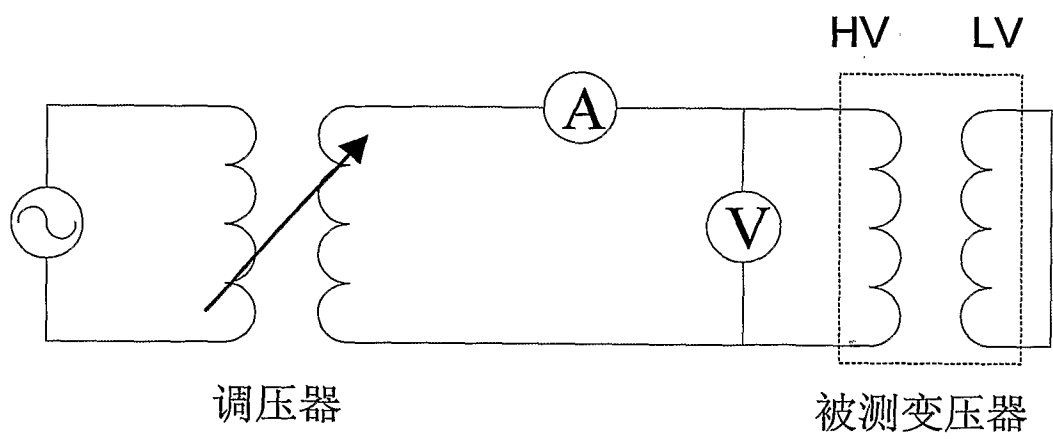


图 1

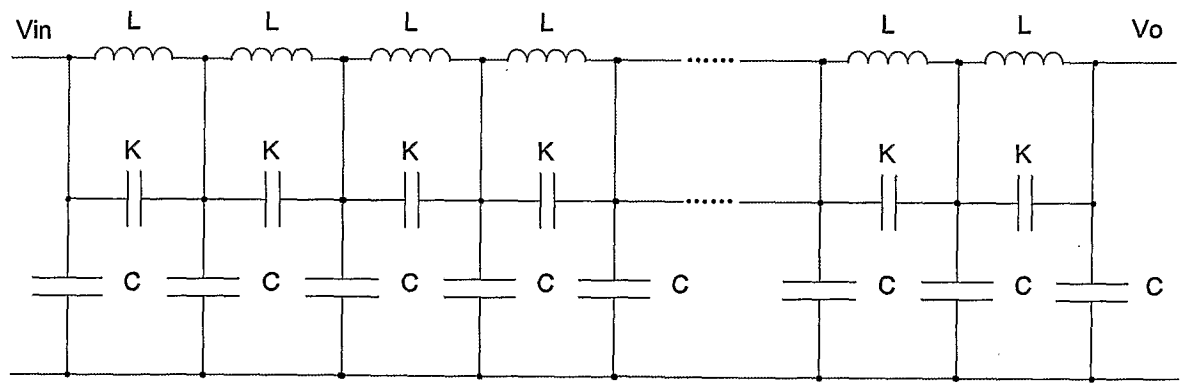


图 2

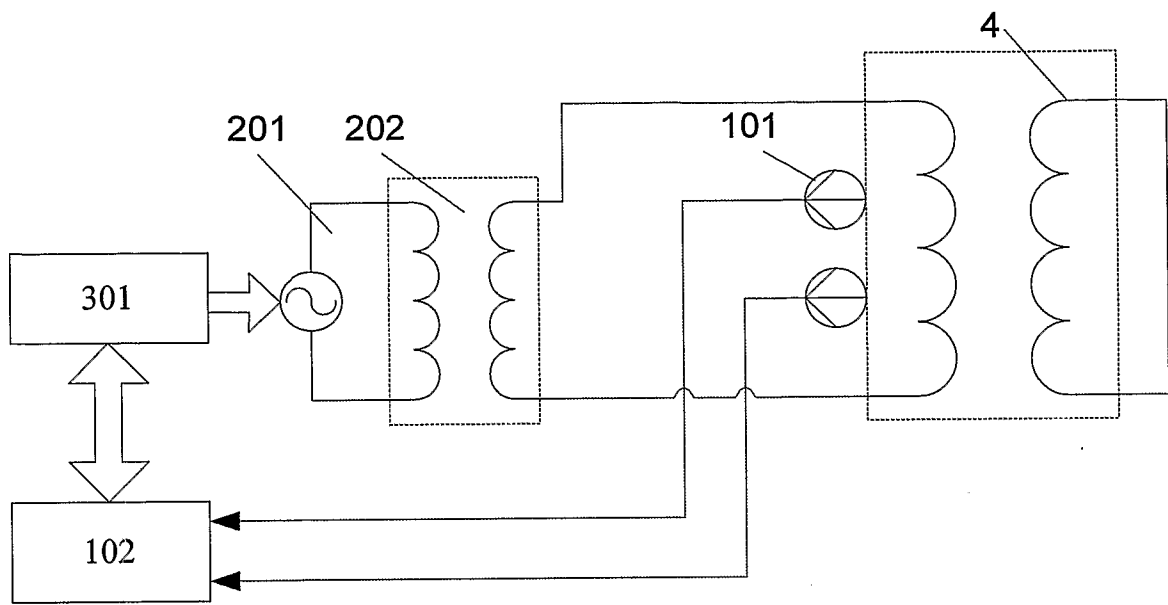


图 3

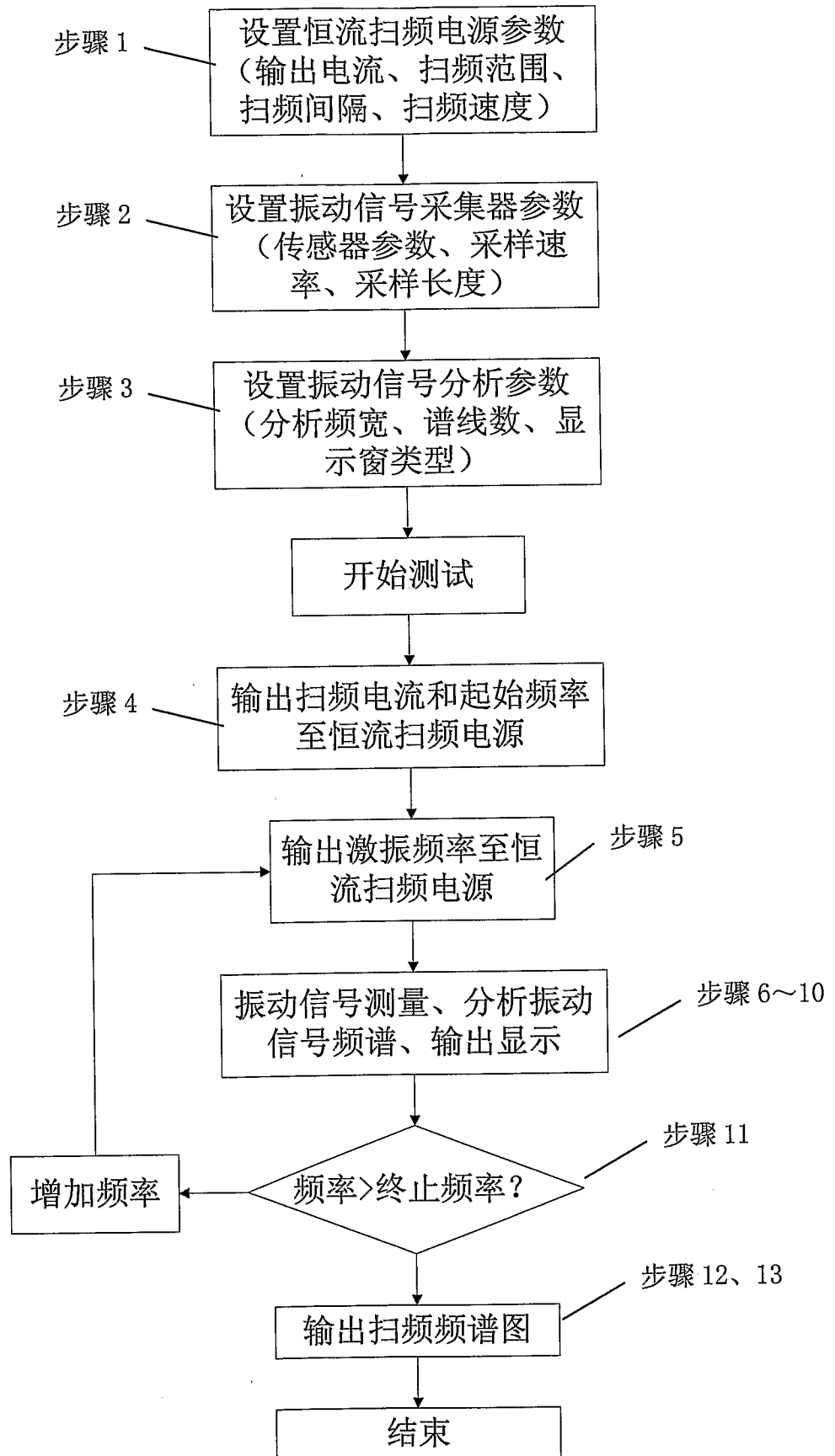


图 4

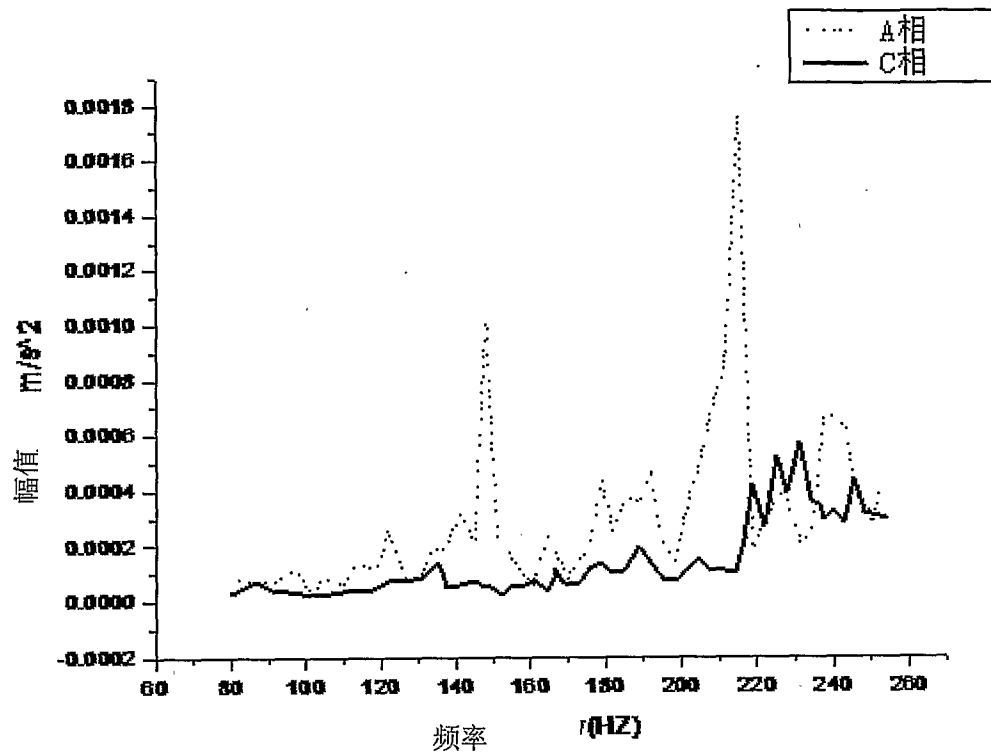


图 5

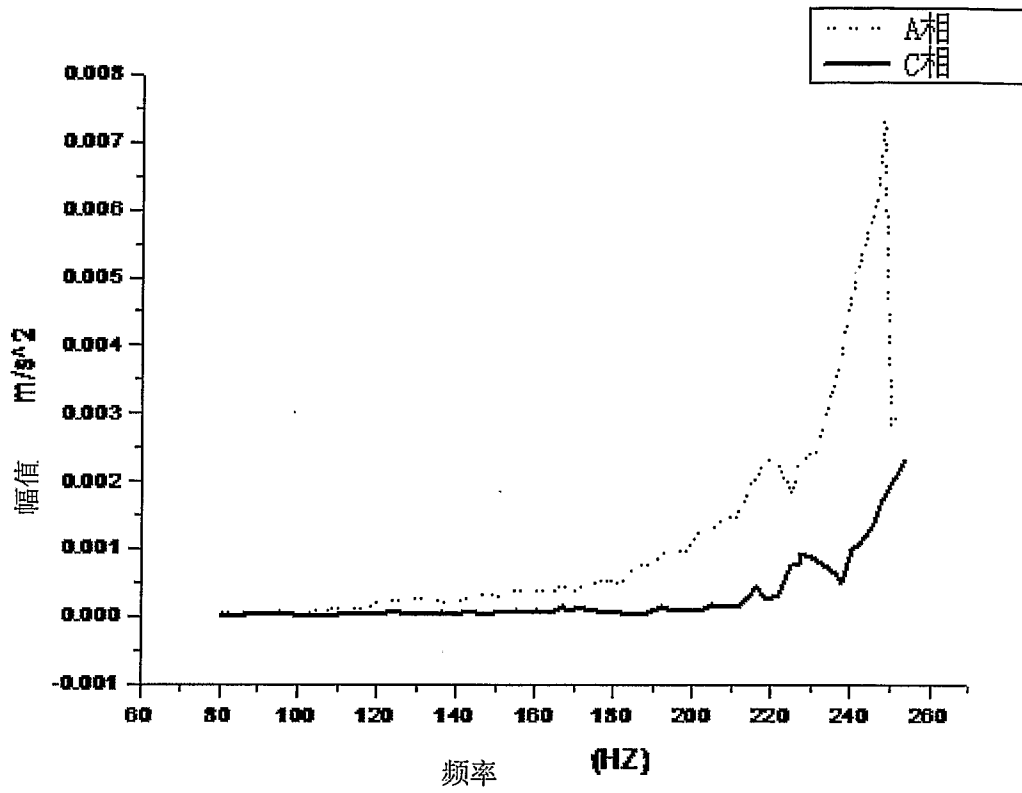


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2009/000051

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: G01R, G01R31, G06F

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)

CPRS & CNKI & WPI & EPODOC & PAJ:

transformer, winding, sweep frequency, frequency analysis, constant current

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) , Page 5 line 19-Page 8 line 7 of the description and Claims 1-3, figures 1-5	1-4
X	CN2864705Y (SHANGHAI MUNICIPAL POWER CO.) , 31 Jan. 2007 (31.01.2007) , Page 5 line 19-Page 8 line 7 of the description and Claims 1-3, figures 1-3	1-4
A	BE888875A1 (ATEL CONSTR ELEC CHARLEROI SA) , 20 Nov. 1981 (20.11.1981) , the whole document	1-6
A	CN101261297A (SHANGYANG POLYTECHNIC UNIVERSITY) , 10 Spet. 2008 (10.09.2008) , the whole document	1-6
A	CN1532554A (AREVA T & D SA) , 29 Spet.2004 (29.09.2004) , the whole document	1-6

☐ 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 22 Jul. 2009 (22.07.2009)	Date of mailing of the international search report 06 Aug. 2009 (06.08.2009)
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. 86-10-62019451	Authorized officer ZHAO, Jinghuan Telephone No. (86-10)62085706

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2009/000051

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	
BE888875A1	20.11.1981	None	
CN101261297A	10.09.2008	None	
CN1532554A	29.09.2004	CA2452400A	10.06.2004
		FR2848300A	11.06.2004
		FR2848299a	11.06.2004
		EP1429150A	16.06.2004
		BR0305838A	20.07.2004
		US2004164745A	26.08.2004
		US7034547B	25.06.2006
		CN1291233C	20.12.006
		AT366940T	15.08.2007
		DE60314830T	13.03.2008

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2009/000051

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER:

G01R 31/06 (2006.01) i

G01R 31/00 (2006.01) i

G01R 29/20 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2009/000051

A. 主题的分类

见附加页

按照国际专利分类表(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, G01R31, G06F

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))

CPRS & CNKI: 变压器, 绕组, 扫频, 频谱分析, 恒流

WPI & EPODOC & PAJ: transformer, winding, sweep frequency, frequency analysis, constant current

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), 说明书第 5 页第 19 行至第 8 页第 7 行和权利要求 1-3, 图 1-5	1-4
X	CN2864705Y (上海市电力公司), 31. 1 月 2007 (31.01.2007), 说明书第 5 页第 19 行至第 8 页第 7 行和权利要求 1-3, 图 1-3	1-4
A	BE888875A1 (ATEL CONSTR ELEC CHARLEROI SA), 20. 11 月 1981 (20.11.1981), 全文	1-6
A	CN101261297A (沈阳工业大学), 10. 9 月 2008 (10.09.2008), 全文	1-6
A	CN1532554A (阿尔斯托姆技术及开发公司), 29. 9 月 2004 (29.09.2004), 全文	1-6

☐ 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

“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
22.7 月 2009 (22.07.2009)

国际检索报告邮寄日期
06.8 月 2009 (06.08.2009)

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
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
赵景焕
电话号码: (86-10) **62085706**

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2009/000051

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN1776441A	24.05.2006	CN100373166C	05.03.2008
CN2864705Y	31.01.2007	无	
BE888875A1	20.11.1981	无	
CN101261297A	10.09.2008	无	
CN1532554A	29.09.2004	CA2452400A	10.06.2004
		FR2848300A	11.06.2004
		FR2848299a	11.06.2004
		EP1429150A	16.06.2004
		BR0305838A	20.07.2004
		US2004164745A	26.08.2004
		US7034547B	25.06.2006
		CN1291233C	20.12.006
		AT366940T	15.08.2007
		DE60314830T	13.03.2008

主题的分类:

G01R 31/06 (2006.01) i

G01R 31/00 (2006.01) i

G01R 29/20 (2006.01) i