



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102721465 B

(45) 授权公告日 2014. 02. 05

(21) 申请号 201210193931. 9

(22) 申请日 2012. 06. 13

(73) 专利权人 江苏省电力公司南京供电公司  
地址 210019 江苏省南京市建邺区奥体大街  
1 号

专利权人 河海大学  
国家电网公司  
江苏省电力公司

(72) 发明人 陈楷 王春宁 马宏忠 李凯  
吴益明 张赢 刘洪涛 高鹏  
陈涛涛

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限  
公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.

G01H 17/00(2006. 01)

G01R 23/16(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 201707124 U, 2011. 01. 12, 说明书第 4 -  
19 段和图 1 - 3.

CN 201497795 U, 2010. 06. 02, 全文.

CN 101769787 A, 2010. 07. 07, 全文.

张赢, 马宏忠, 陈楷. 变压器空载振动分析及  
实测研究. 《中国电力》. 2012, 第 45 卷 (第 5 期),  
第 30 - 33 页.

审查员 王宁

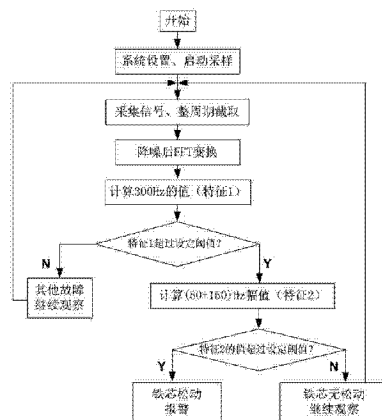
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(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

(57) 摘要

本发明公开了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。本发明的故障诊断  
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 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。本发明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。



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;

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。

2. 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)。

## 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

[0001] 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

[0002] 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:

[0003]

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

[0004] 式中: $\Phi$ 、 $B$  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  $v_{\text{core}}$  与负载电压平方近似成正比关系,为:

[0005]  $v_{\text{core}} \propto U^2$ ;

[0006] 由于电压的 2 倍频为 100 Hz,故磁致伸缩力的基频为 100 Hz。

[0007] 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。

[0008] 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。

[0009] 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。

[0010] 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。

[0011] 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

[0012] 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系统及方法。

[0013] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0014] 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。

[0015] 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。

[0016] 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:

[0017] 在电力变压器空载时,进行以下步骤:

[0018] 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;

[0019] 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;

[0020] 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;

[0021] 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  $CR_2$ ;

[0022] 在电力变压器空载稳定运行时,进行以下步骤:

[0023] 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;

[0024] 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);

[0025] 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)。

[0026] 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:

[0027] 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

[0028] 图 1 是本发明中铁芯磁致伸缩形变随磁通密度变化示意图;

[0029] 图 2 是本发明中小波降噪的原理图;

[0030] 图 3 是本发明中诊断系统的结构框图;

[0031] 图 4 本发明诊断系统中振动传感器的安装位置示意图;

[0032] 图 5 是本发明中诊断方法的流程图;

[0033] 图 6 (a) 是本发明实施例采集到的振动原始信号示意图;

[0034] 图 6 (b) 是本发明实施例降噪后的振动信号示意图;

[0035] 图 7 (a) 是本发明实施例故障点处在故障前的频谱示意图;

[0036] 图 7 (b) 是本发明实施例故障点处在故障后的频谱示意图;

[0037] 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;

[0038] 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;

[0039] 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;

[0040] 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

[0041] 下面结合附图对本发明的技术方案做进一步的详细说明:

[0042] 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。

[0043] 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:

[0044] (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;

[0045] (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;

[0046] (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;

[0047] (4) 求出振动信号的 50Hz、150Hz、300Hz 分量幅值;

[0048] (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。

[0049] 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。

[0050] 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。

[0051] (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;

[0052] (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

[0053] 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责任公司生产,其参数如表 1。

[0054] 表 1

[0055]

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%

[0056] (一) 系统连接

[0057] 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分析模块,在本实施例中分析模块用计算机来实现。

[0058] (二) 振动加速度传感器的安装

[0059] 实验采用 CA-YD-103 传感器,其技术参数如下表所示。

[0060] 表 2

[0061]

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

[0062] 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。

[0063] (三) 铁芯松动故障的设置

[0064] 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。

[0065] (四) 实施例实验

[0066] 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。

[0067] 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。

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] 表 3

[0071]

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

[0072] 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。

[0073] 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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。

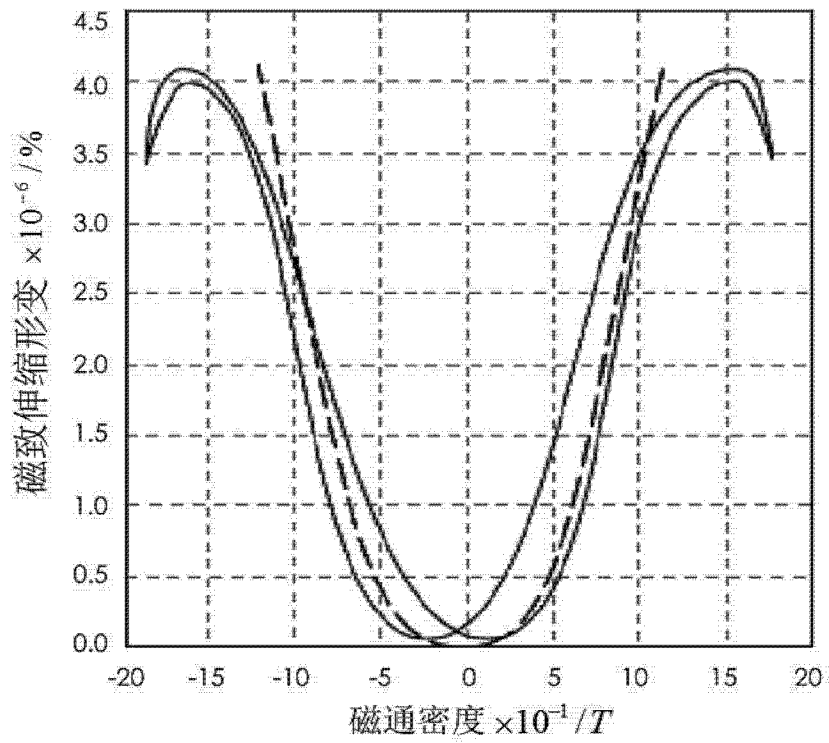


图 1

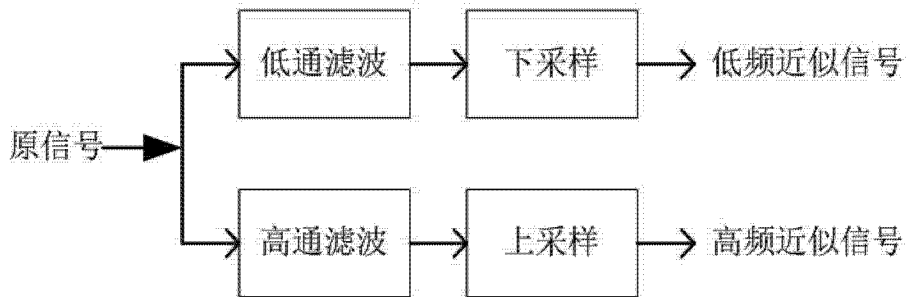


图 2



图 3

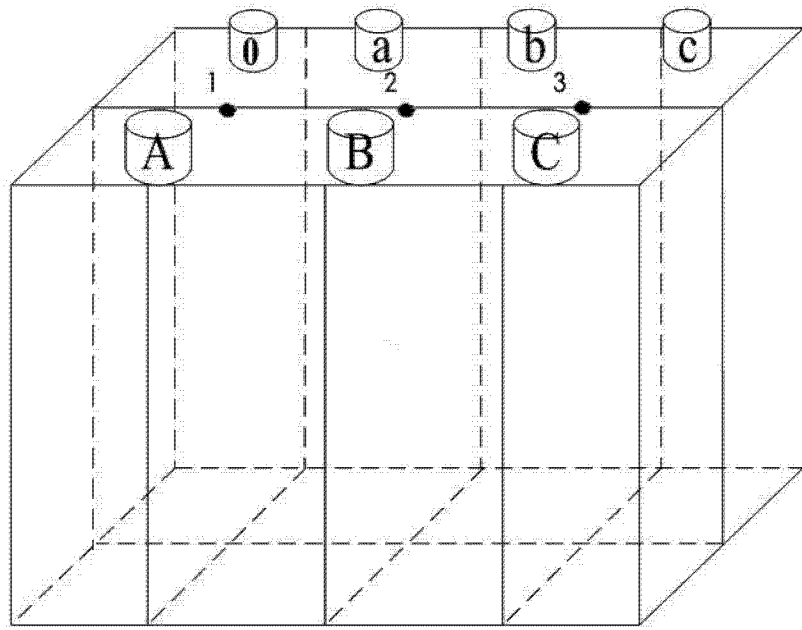


图 4

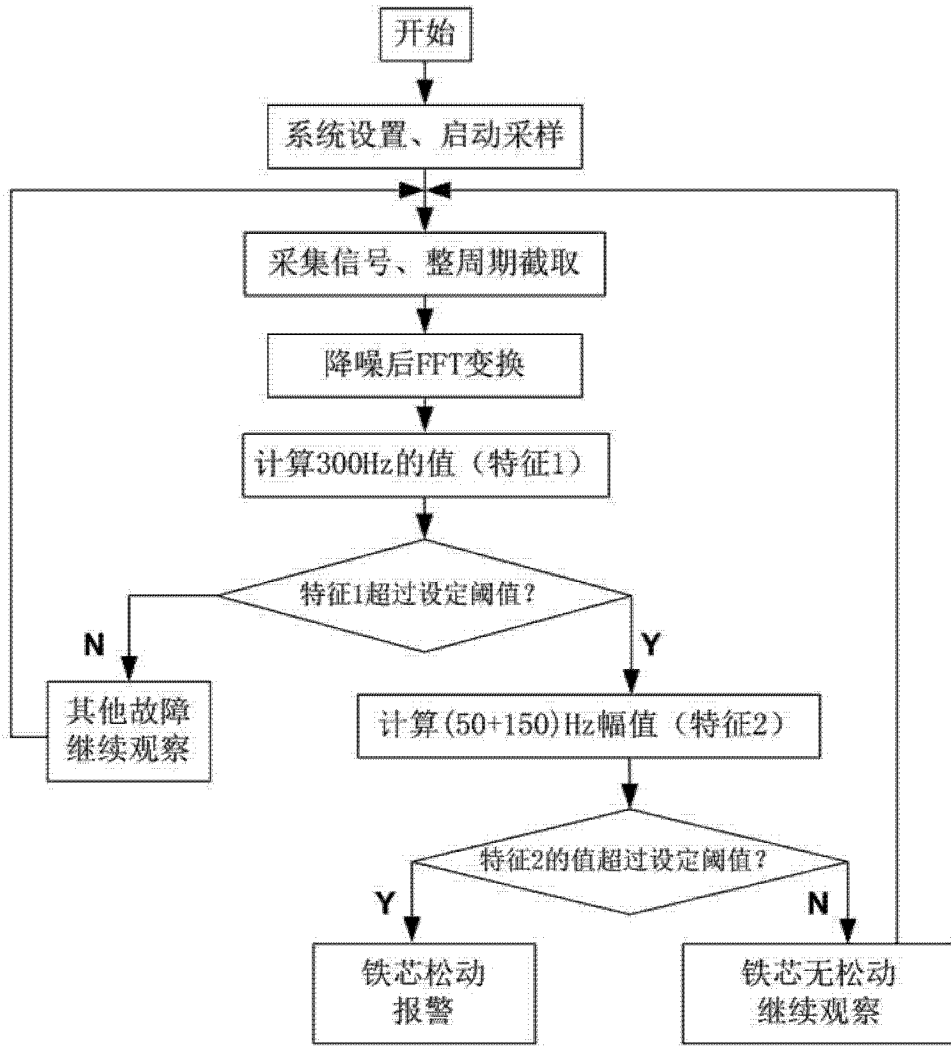


图 5

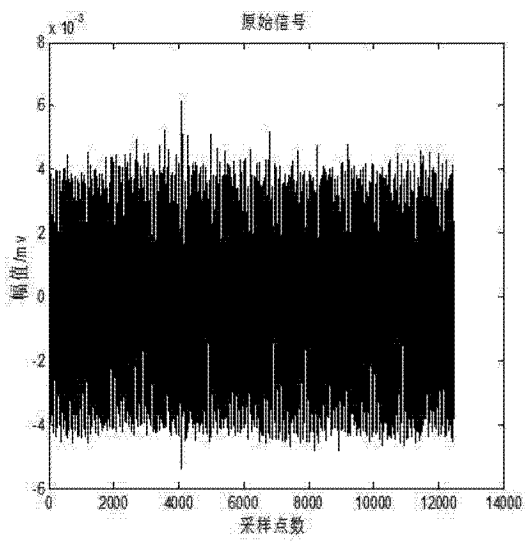


图 6(a)

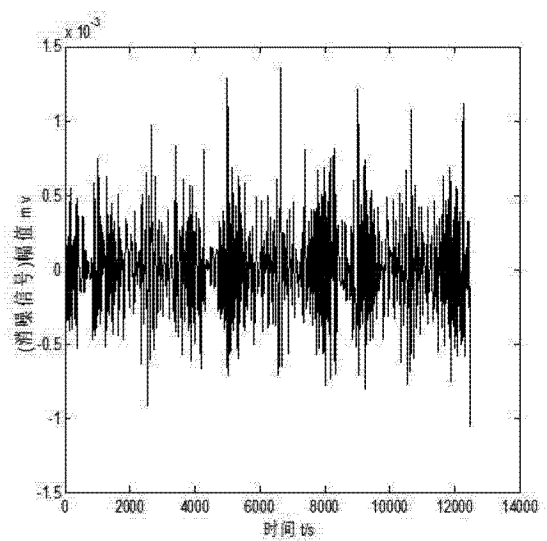


图 6(b)

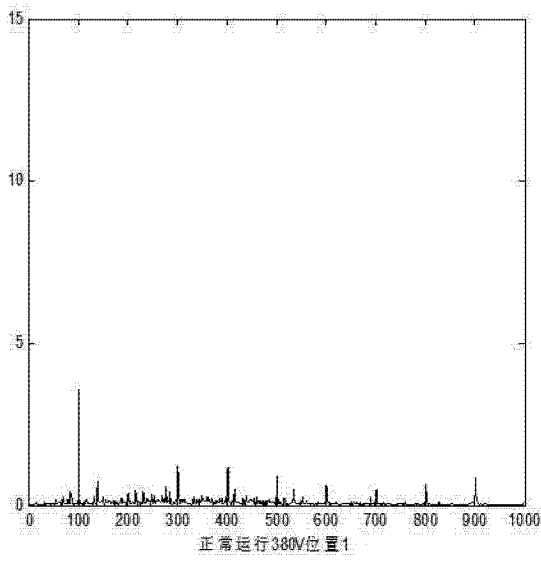


图 7(a)

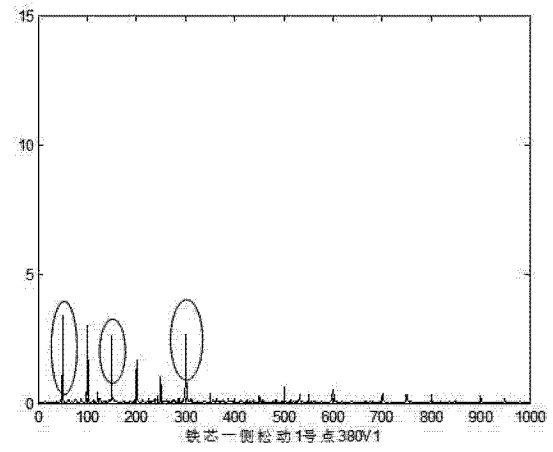


图 7(b)

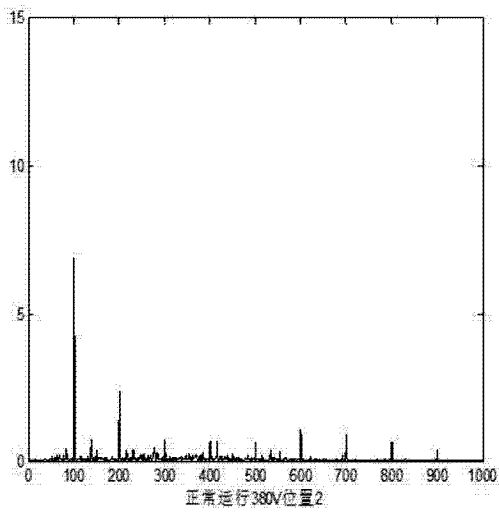


图 8(a)

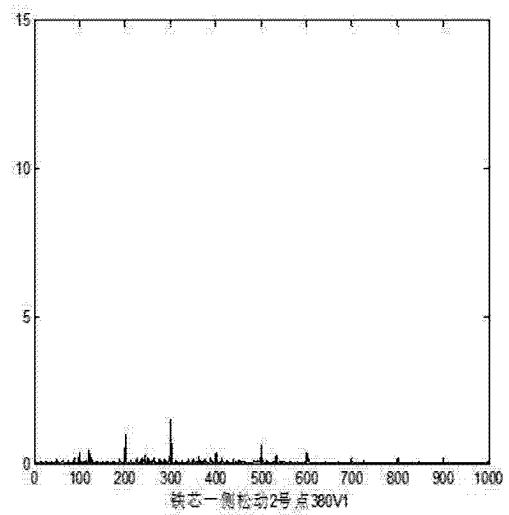


图 8(b)

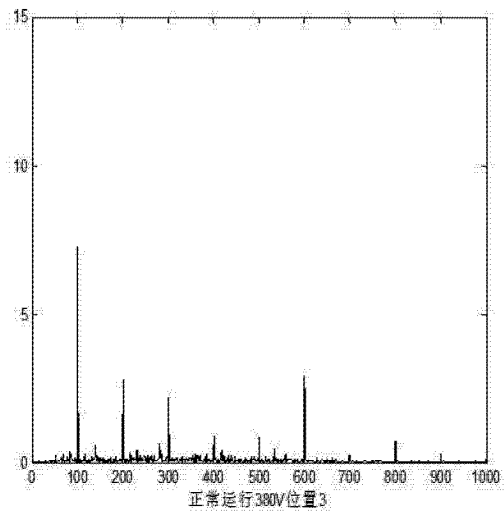


图 9(a)

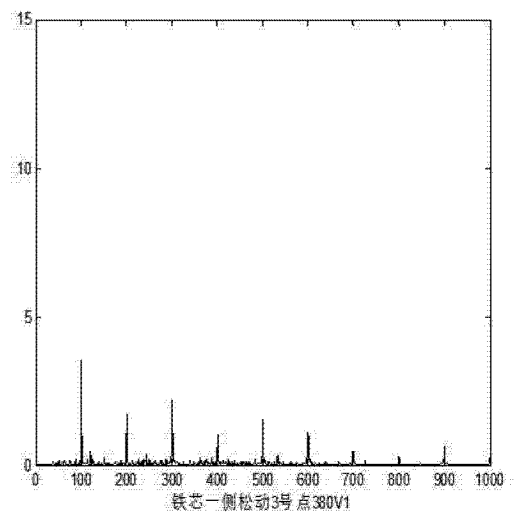


图 9(b)