



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104748838 B

(45)授权公告日 2017.09.19

(21)申请号 201510141428.2

(22)申请日 2015.03.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104748838 A

(43)申请公布日 2015.07.01

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

(72)发明人 姜宁 李凯 马宏忠 陈冰冰
弓杰伟 许洪华 李勇 周宇
张琳

(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 葛潇敏

(51)Int.Cl.

G01H 17/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 1373524 A,2002.10.09,
CN 102721464 A,2012.10.10,
CN 102721465 A,2012.10.10,
CN 104236702 A,2014.12.24,
CN 104359549 A,2015.02.18,
CN 103968939 A,2014.08.06,
CN 104331567 A,2015.02.04,
曹志军 等.大型电力变压器线圈短路稳定性的三维有限元分析.《大连铁道学院学报》.2002,第23卷(第4期),第31-33页.
谢坡岸 等.大型变压器绕组有限元建模与分析.《振动与冲击》.2006,第25卷(第2期),第134-137、191页.

审查员 王宁

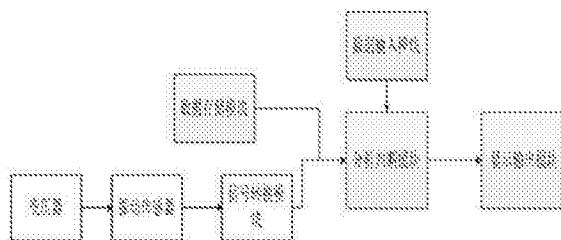
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统和方法

(57)摘要

本发明公开了基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统和方法,该系统包括数据输入模块、数据存储模块、分析判断模块、显示输出模块、信号转换模块以及数个振动传感器,数据存储模块内存储有绕组松动缺陷数据库,数个振动传感器分别设置在变压器外表面的不同位置,采集该位置的振动信号传送给信号转换模块,信号转换模块接收振动信号并将其转换为特征信号后传送给分析判断模块,数据输入模块向分析判断模块输入所监测变压器的性能参数,分析判断模块根据变压器的性能参数从绕组松动缺陷数据库中调取匹配的松动阈值并将其与特征信号进行比较,判断变压器绕组是否发生松动。本发明解决现有变压器诊断方法设定松动阈值缺乏可靠性和普遍性的问题。



1. 基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统,其特征在于:包括数据输入模块、数据存储模块、分析判断模块、显示输出模块、信号转换模块以及数个振动传感器;

所述数据存储模块内构建了绕组松动缺陷数据库,该数据库的构造方法为,根据变压器各部分的尺寸参数,利用三维画图软件建立变压器的机械结构模型,并导入有限元分析软件中;在有限元分析软件中,设置变压器各部分材料的密度、泊松比、弹性模量,进行合理的网格剖分以及施加载荷和约束;设定计算的频率范围、子步数和阻尼比率,并在绕组上施加加速度来模拟电磁力的影响,从而进行谐响应分析;从分析结果中得到变压器各相绕组轴向和径向位置的加速度响应曲线,并从各曲线中提取特征信号,将绕组松动时和正常时特征信号的比值作为绕组松动阈值;存储得到的松动阈值,并与变压器的变比、容量相对应,建立绕组松动缺陷数据库;

所述数个振动传感器分别设置在变压器外表面的不同位置,采集该位置的振动信号传送给信号转换模块,信号转换模块接收振动信号并将其转换为特征信号后传送给分析判断模块,数据输入模块向分析判断模块输入所监测变压器的性能参数,分析判断模块根据变压器的性能参数从数据存储模块中调取匹配的松动阈值并将其与特征信号进行比较,判断变压器绕组是否发生松动,并将判断结果在显示输出模块上显示。

2. 根据权利要求1所述基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统,其特征在於:所述振动传感器的数量为6,其中3个振动传感器分别采集变压器三相绕组的轴向振动信号,另外3个变压器分别采集变压器三相绕组的径向振动信号。

3. 根据权利要求1所述基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统,其特征在於:所述三维画图软件为Pro/Engineer软件,有限元分析软件为ANSYS Workbench软件。

4. 根据权利要求1所述变压器绕组松动判断系统的判断方法,其特征在於,包括以下步骤:

(1) 预设振动传感器的采样频率和采样时间;

(2) 数据输入模块向分析判断模块输入所监测变压器的性能参数,分析判断模块根据性能参数从绕组松动缺陷数据库中调取与所监测变压器匹配的轴向松动阈值和径向松动阈值;

(3) 振动传感器至少连续采样3次振动信号,并根据采样频率和采样时间,整周期截取每次采样的振动信号;

(4) 信号转换模块对整周期截取的振动信号进行滤波处理后进行傅里叶变换,得到所监测变压器三相绕组的轴向特征信号和径向特征信号;

(5) 分析判断模块将轴向特征信号、径向特征信号分别与轴向松动阈值、径向松动阈值作对比,进行绕组松动判断:

当变压器某相绕组的轴向特征信号大于对应的轴向松动阈值且它的径向特征信号大于对应的径向松动阈值时,表明此时该相绕组存在明显松动,否则表明该相绕组不存在松动或仅存在轻微松动;

(6) 当分析判断模块至少连续2次判断变压器某相绕组发生明显松动,则显示输出模块显示该相绕组发生松动。

5. 根据权利要求4所述基于变压器绕组松动判断系统的判断方法,其特征在於:步骤(2)所述所监测变压器的性能参数包括变压器的变比和容量。

基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统和方法

技术领域

[0001] 本发明属于智能变电站技术领域,特别涉及了基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统和方法。

背景技术

[0002] 现代电力系统中的变压器结构都较为复杂,由许多部件构成,故当变压器运输过程中受到碰撞或运行中发生外部短路故障时,都可能造成绕组松动和变形故障。变压器在此状态下长期运行将会给电网的安全运行带来很大的危害。作为一种电磁设备,变压器运行过程中会产生振动。变压器内部故障、性能改变,都会直接或间接地在变压器外部振动中有相应表现。振动法是诊断变压器运行中潜伏故障的一种有效手段,其能够检测出变压器内部故障的状况,对其进行充分地研究有良好的应用前景。

[0003] 从机械结构的角度来看,电力变压器器身表面的振动与变压器绕组的压紧状况密切相关。变压器本体的振动主要来源于磁致伸缩及漏磁引起的铁芯振动和电磁力引起的绕组振动,而漏磁引起的铁芯振动与其他振动相比较为微弱,所以一般可以忽略漏磁的影响。由于在副边短路时,外施电压很小,则铁芯中磁通很少,此时由磁致伸缩引起的铁芯振动可以忽略不计,而通过变压器油箱壁传递到油箱表面的振动信号主要就是由绕组引起的。

[0004] 由毕奥-萨伐尔定律计算可知,作用在导体上的电动力与电流和磁场强度的乘积以及漏磁通与电流成正比,故变压器绕组振动的加速度与电流的平方成正比,而且振动信号的基频分量是负载电流的两倍。通过研究,发现变压器正常运行时,其能量大部分集中在100~400Hz内;当变压器绕组发生变形、位移或崩塌时,绕组间压紧不够,使绕组间高度差逐渐扩大,绕组安匝不平衡加剧,漏磁造成的轴向力增大,绕组振动加剧,使得高频成分增加,主频段能量减小。因此,电动力引起的绕组振动频率主要为100Hz及其谐振频率。研究发现,振动信号的分量幅值随电流的变化而变化,所以判定变压器绕组松动时需要考虑电流的影响,而以特征分量占总分量的比例作为判定绕组松动的参数时,可以消除电流变量的干扰。因此,可以将特征分量占总分量的比例作为特征信号,并与所设定的阈值比较,以此来判断绕组是否严重松动。

[0005] 现有的变压器故障诊断和分析系统在设定松动阈值时存在过度依赖经验或具有特殊性的缺点,使得所设定的阈值缺乏普遍性和可靠性。

发明内容

[0006] 为了解决上述背景技术提出的技术问题,本发明旨在提供基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统和方法,解决现有变压器诊断方法设定松动阈值缺乏可靠性和普遍性的问题。

[0007] 为了实现上述技术目的,本发明的技术方案为:

[0008] 基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统,包括数据输入模块、数据存储模块、分析判断模块、显示输出模块、信号转换模块以及数个振动传感器,所述数据存储模块内构

建了绕组松动缺陷数据库,所述绕组松动缺陷数据库存储有各类变压器绕组经有限元分析的松动阈值,所述数个振动传感器分别设置在变压器外表面的不同位置,采集该位置的振动信号传送给信号转换模块,信号转换模块接收振动信号并将其转换为特征信号后传送给分析判断模块,数据输入模块向分析判断模块输入所监测变压器的性能参数,分析判断模块根据变压器的性能参数从数据存储模块中调取匹配的松动阈值并将其与特征信号进行比较,判断变压器绕组是否发生松动,并将判断结果在显示输出模块上显示。

[0009] 其中,上述振动传感器的数量为6,其中3个振动传感器分别采集变压器三相绕组的轴向振动信号,另外3个变压器分别采集变压器三相绕组的径向振动信号。

[0010] 本发明还包括基于上述变压器绕组松动判断系统的判断方法,包括以下步骤:

[0011] (1) 预设振动传感器的采样频率和采样时间;

[0012] (2) 数据输入模块向分析判断模块输入所监测变压器的性能参数,分析判断模块根据性能参数从绕组松动缺陷数据库中调取与所监测变压器匹配的轴向松动阈值和径向松动阈值;

[0013] (3) 振动传感器至少连续采样3次振动信号,并根据采样频率和采样时间,整周期截取每次采样的振动信号;

[0014] (4) 信号转换模块对整周期截取的振动信号进行滤波处理后进行傅里叶变换,得到所监测变压器三相绕组的轴向特征信号和径向特征信号;

[0015] (5) 分析判断模块将轴向特征信号、径向特征信号分别与轴向松动阈值、径向松动阈值作对比,进行绕组松动判断:

[0016] 当变压器某相绕组的轴向特征信号大于对应的轴向松动阈值且它的径向特征信号大于对应的径向松动阈值时,表明此时该相绕组存在明显松动,否则表明该相绕组不存在松动或仅存在轻微松动;

[0017] (6) 当分析判断模块至少连续2次判断变压器某相绕组发生明显松动,则显示输出模块显示该相绕组发生松动。

[0018] 其中,步骤(2)所述所监测变压器的性能参数包括变压器的变比和容量。

[0019] 其中,步骤(2)中所述绕组松动缺陷数据库的构建方法:

[0020] (a) 根据变压器各部分的尺寸参数,利用三维画图软件建立变压器的机械结构模型,并导入有限元分析软件中;

[0021] (b) 在有限元分析软件中,设置变压器各部分材料的密度、泊松比、弹性模量等相关参数、进行合理的网格剖分以及施加载荷和约束;

[0022] (c) 设定计算的频率范围、子步数和阻尼比率,并在绕组上施加加速度来模拟电磁力的影响,从而进行谐响应分析;

[0023] (d) 从分析结果中得到变压器各相绕组轴向和径向位置的加速度响应曲线,并从各曲线中提取特征信号,将绕组松动时和正常时特征信号的比值作为绕组松动阈值;

[0024] (e) 存储步骤(d)所得到的松动阈值,并与变压器的变比、容量等性能参数相对应,建立绕组松动缺陷数据库。

[0025] 其中,步骤(a)中所述三维画图软件为Pro/Engineer软件,有限元分析软件为ANSYS Workbench软件。

[0026] 采用上述技术方案带来的有益效果:

[0027] 本发明通过有限元分析所得结果设定的松动阈值来判断变压器绕组松动,使其对相同机械结构的变压器具有普遍性,并且诊断结果更加可靠。利用本发明可以方便地判断变压器绕组是否发生松动,并进行初步定位。

附图说明

[0028] 图1为本发明的系统结构框图;

[0029] 图2为本发明振动传感器的安装示意图;

[0030] 图3为本发明判断方法的流程图;

[0031] 图4为实施例中C相绕组的预紧力与额定预紧力的比值为0时的加速度响应曲线图;

[0032] 图5为实施例中C相绕组的预紧力与额定预紧力的比值为0.5时的加速度响应曲线图;

[0033] 图6为实施例中C相绕组的预紧力与额定预紧力的比值为1时的加速度响应曲线图。

具体实施方式

[0034] 以下将结合附图,对本发明的技术方案进行详细说明。

[0035] 如图1所示为本发明的系统结构框图。基于有限元分析的变压器绕组松动判断系统,包括数据输入模块、数据存储模块、分析判断模块、显示输出模块、信号转换模块以及数个振动传感器,所述数据存储模块内构建了绕组松动缺陷数据库,所述绕组松动缺陷数据库存储有各类变压器绕组经有限元分析的松动阈值,所述数个振动传感器分别设置在变压器外表面的不同位置,采集该位置的振动信号传送给信号转换模块,信号转换模块接收振动信号并将其转换为特征信号后传送给分析判断模块,数据输入模块向分析判断模块输入所监测变压器的性能参数,分析判断模块根据变压器的性能参数从数据存储模块中调取匹配的松动阈值并将其与特征信号进行比较,判断变压器绕组是否发生松动,并将判断结果在显示输出模块上显示。

[0036] 在本实施例中,所监测的变压器为吊芯式电力变压器,在其表面设置6个振动传感器,6个振动传感器由磁铁牢固地吸附在油箱表面。6个振动传感器分别设置在电力变压器油箱的顶部和低压绝缘套管侧的表面,分别对应采集变压器三相绕组的轴向振动信号和径向振动信号。如图2所示,1~6即为6个振动传感器的安装位置,A、B、C表示三相绕组的高压侧,a、b、c表示三相绕组的低压侧,0表示零相。

[0037] 如图3所示,本发明还包括基于上述变压器绕组松动判断系统的判断方法,包括以下步骤:

[0038] (1) 预设振动传感器的采样频率和采样时间;

[0039] (2) 数据输入模块向分析判断模块输入所监测变压器的性能参数,分析判断模块根据性能参数从绕组松动缺陷数据库中调取与所监测变压器匹配的轴向松动阈值和径向松动阈值;

[0040] (3) 振动传感器至少连续采样3次振动信号,并根据采样频率和采样时间,整周期截取每次采样的振动信号;

[0041] (4) 信号转换模块对整周期截取的振动信号进行滤波处理后进行傅里叶变换,得到所监测变压器三相绕组的轴向特征信号和径向特征信号;

[0042] (5) 分析判断模块将轴向特征信号、径向特征信号分别与轴向松动阈值、径向松动阈值作对比,进行绕组松动判断:

[0043] 当变压器某相绕组的轴向特征信号大于对应的轴向松动阈值且它的径向特征信号大于对应的径向松动阈值时,表明此时该相绕组存在明显松动,否则表明该相绕组不存在松动或仅存在轻微松动;

[0044] (6) 当分析判断模块至少连续2次判断变压器某相绕组发生明显松动,则显示输出模块显示该相绕组发生松动。

[0045] 在本实施例中,步骤(2)所述所监测变压器的性能参数包括变压器的变比和容量。

[0046] 在本实施例中,步骤(2)中所述绕组松动缺陷数据库的构建方法:

[0047] (a) 根据变压器各部分的尺寸参数,利用Pro/Engineer软件建立变压器的机械结构模型,并导入ANSYS Workbench软件中;

[0048] (b) 在ANSYS Workbench软件中,设置变压器各部分材料的密度、泊松比、弹性模量等相关参数、进行合理的网格剖分以及施加载荷和约束;

[0049] (c) 设定计算的频率范围、子步数和阻尼比率,并在绕组上施加加速度来模拟电磁力的影响,从而进行谐响应分析;

[0050] (d) 从分析结果中得到变压器各相绕组轴向和径向位置的加速度响应曲线,并从各曲线中提取特征信号,将绕组松动时和正常时特征信号的比值作为绕组松动阈值;

[0051] (e) 存储步骤(d)所得到的松动阈值,并与变压器的变比、容量等性能参数相对应,建立绕组松动缺陷数据库。

[0052] 为了验证本发明的效果,特进行以下验证试验。

[0053] 对一台由江苏宏源公司生产的电力变压器(S9-M-100/10)进行绕组松动实验(设置C相为松动相),并按照上述步骤进行实验。该电力变压器基本参数如表1所示。

[0054] 表1

[0055]

电压比	容量	联结组	高压侧 I_N	低压侧 I_N	短路电抗
10/0.4kV	100kVA	Yyn0	5.77A	144.3A	3.98%

[0056] 通过Pro/Engineer软件建立该变压器的模型,将变压器模型导入ANSYSWorkbench软件中进行谐响应分析,可得如图4、5、6所示的C相绕组的预紧力与额定预紧力的比值分别为0、0.5、1时的加速度响应曲线图。从图4、5、6中可以发现,基频加速度的峰值随着预紧力的降低而向低频偏移,故基频信号有较大的变化,可以将其作为故障特征信号,并与正常状态下的数据相对比,判断变压器绕组松动情况。

[0057] C相绕组发生松动时,变压器各位置处所测得的振动响应相比于额定预紧力下的响应变化率由表2列出。

[0058] 表2

[0059]

	A 侧面	A 顶部	A 正面	B 顶部	B 正面	C 侧面	C 顶部	C 正面	铁芯顶部
无预紧力	0.024	0.012	0.010	0.015	0.013	0.277	0.910	0.471	0.087
50%额定预紧力	0.097	0.006	0.011	0.020	0.012	0.096	0.783	0.448	0.269

[0060] 从表2可以看出,除了侧面外,正常相的振动响应变化率都不超过0.03,而在50%正常预紧力时,正常相和松动相的侧面变化率基本相等,由此可知,在某绕组部分松动时,侧面径向振动信号变化相差不大,故主要观察松动相的顶部轴向和正面径向的振动信号变化情况。设置松动相的顶部阈值为0.78,正面阈值为0.44,并将其存储到绕组松动缺陷数据库。当检测到的某一相的顶部响应变化率大于0.78,且正面响应变化率大于0.44时,可判定该相松动较为严重,需要及时进行检查;而当检测到的响应变化率都小于0.03时,则可认为该相压紧程度正常,未发生松动。由于有限元模型是根据变压器机械结构来建立的,故此方法可以应用于所有结构相同的变压器,具有一定的普遍性。

[0061] 本实验中,因为变压器绕组产生的振动主要与电流平方有关,铁芯产生的振动主要与电压平方有关,所以为了尽量减小所测得信号中的铁芯振动分量,则应使电压尽可能小而电流尽可能大。故将实验变压器低压侧三相绕组短路后,在高压侧通过调压器调节外加电压,使低压侧短路电流达到额定电流145A。实验发现,当采用基频分量所占总分量的比例值来判定绕组松动时无需考虑电流等因素的影响。表3为C相绕组在绕组松动状态下各测点处的比例值相比于额定预紧力下的比例值的变化率。

[0062] 表3

[0063]

测点编号	1号	2号	3号	4号	5号	6号
无预紧力	1.171	0.134	0.004	0.471	0.071	0.016

[0064]

50%额定预紧力	1.542	0.278	0.024	0.446	0.090	0.002
----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

[0065] 由表3可以看出,位于C相正上方的1号测点的基频分量变化率很大,大于0.78的阈值,而位于C相正面的4号测点的变化率大于0.44,表明C相绕组松动较为严重。3号和6号测点处基频的比例值变化很小,不足0.03,说明A相绕组结构变化很小,并未发生松动。从表中还可以看到,2号和5号测点的变化率虽然小于绕组松动阈值,但也大于绕组正常时的变化率,故B相绕组受C相松动的影响较大,产生了部分松动。

[0066] 根据本发明方法所检测结果为该变压器C相绕组发生松动,与实际情况完全吻合。

[0067] 通过以上实验可以看出,本发明可对电力变压器的绕组松动进行准确地判断。

[0068] 以上实施例仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,凡是按照本发明提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明保护范围之内。

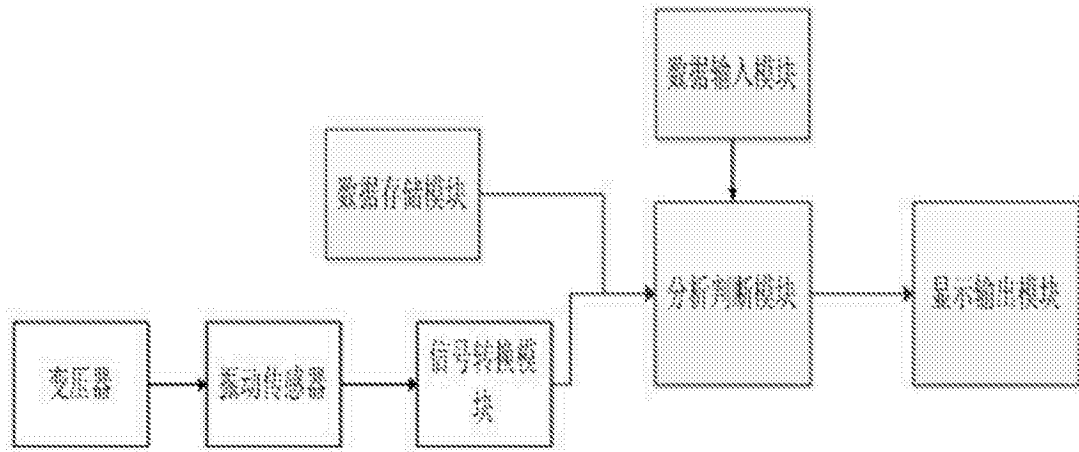


图1

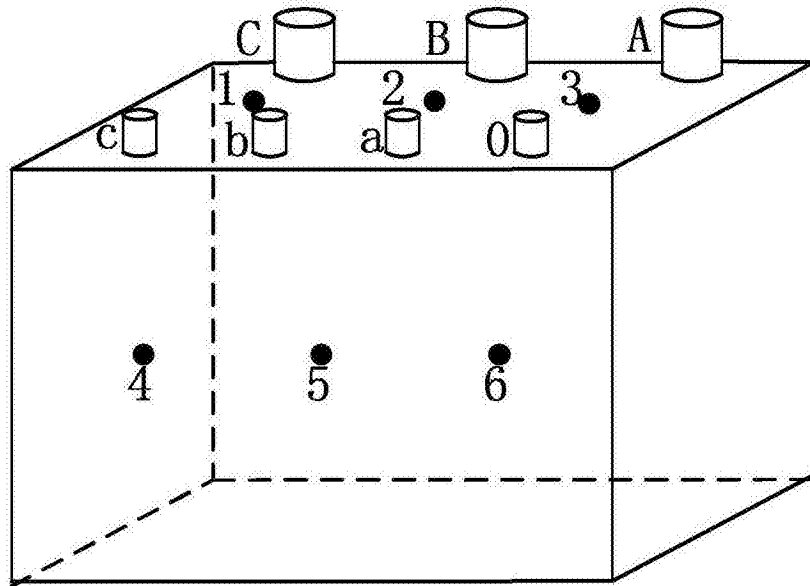


图2

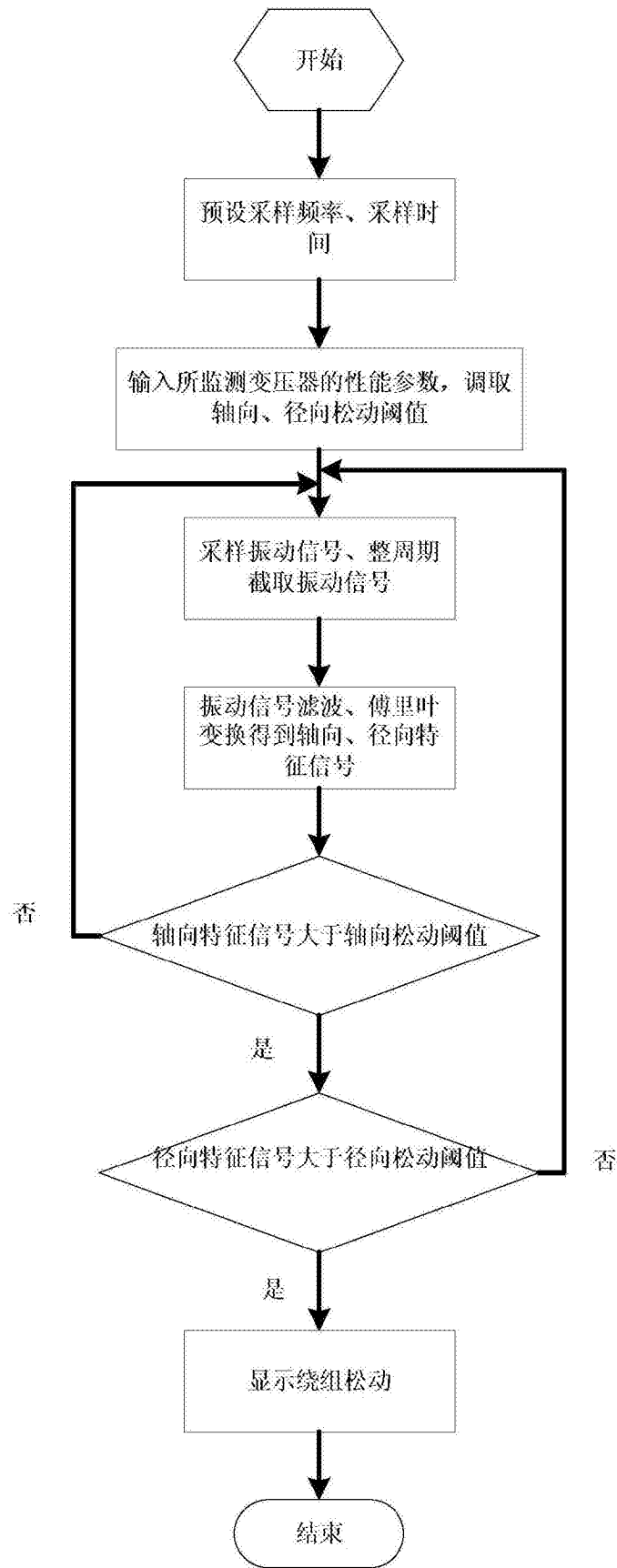


图3

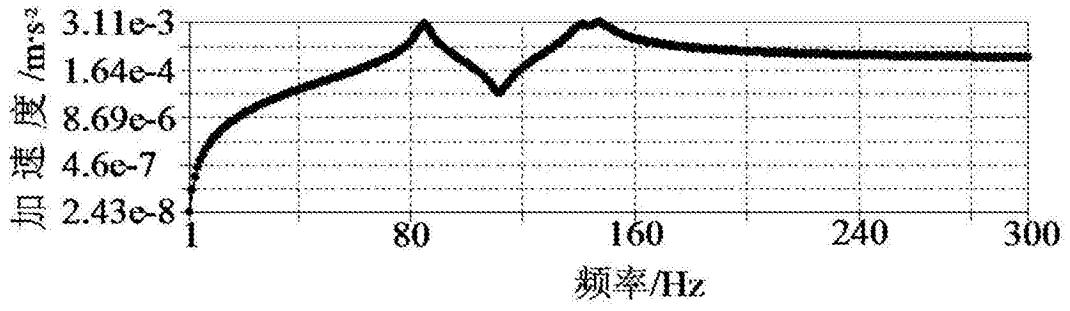


图4

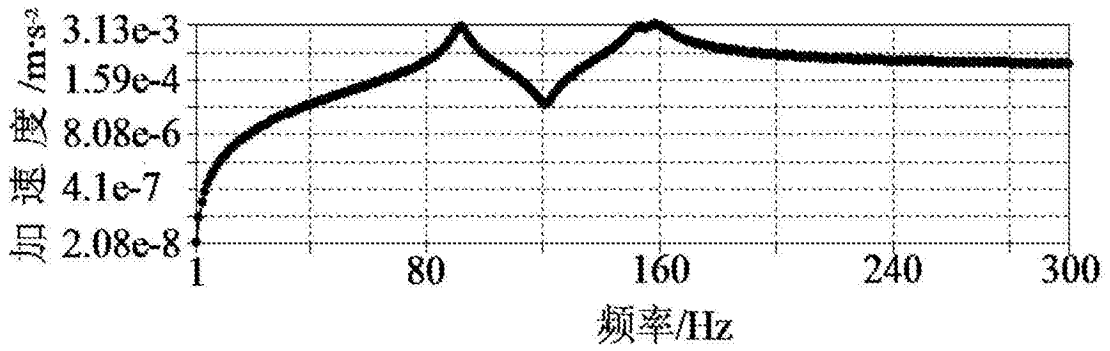


图5

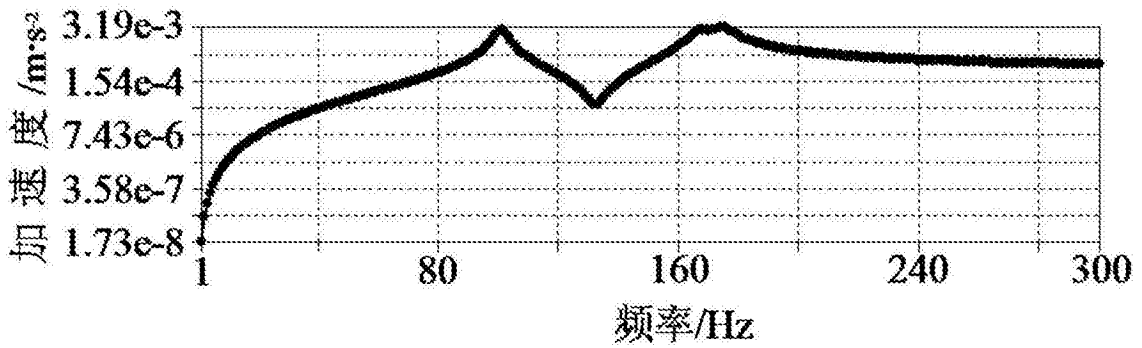


图6