

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03814392.5

G01H 11/04 (2006.01)

G01B 7/24 (2006.01)

G01L 1/12 (2006.01)

G01P 15/11 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009年5月20日

[11] 授权公告号 CN 100489471C

[22] 申请日 2003.5.28 [21] 申请号 03814392.5

[30] 优先权

[32] 2002.6.20 [33] SE [31] 0201927-1

[86] 国际申请 PCT/SE2003/000871 2003.5.28

[87] 国际公布 WO2004/001353 英 2003.12.31

[85] 进入国家阶段日期 2004.12.20

[73] 专利权人 科维亚尔设计股份公司

地址 瑞典赫尔辛堡

[72] 发明人 托尔德·塞德尔

[56] 参考文献

US4463610A 1984.8.7

EP0330311A2 1989.8.30

US5321985A 1994.6.21

US5194806A 1993.3.16

US5275049A 1994.1.4

US5982054A 1999.11.9

CN1212073A 1999.3.24

DE4309413A1 1994.9.22

审查员 何昱康

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 马浩

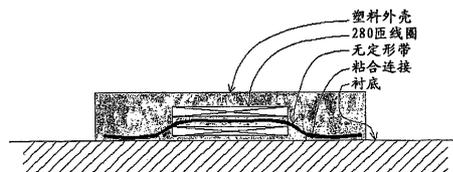
权利要求书2页 说明书11页 附图9页

[54] 发明名称

传感器

[57] 摘要

本发明涉及感测和显示永久状态偏差的一种方法和一种装置，所述方法和装置是通过实时检测部件中的暂时性的内部材料振荡来感测和显示永久状态偏差的，所述部件对现有产品装备(例如机械)内的硬件设计与构造和/或监控先前建立的基础设施具有重要意义。一条或多条至少厚约20 μm的具有高磁导率和相对高的磁弹性的无定形或纳米晶状带元件被加到一个有关部件，一个或多个带元件分别至少部分被一个多匝线圈所环绕，在部件中的任意的一种状态偏差中发生的这种微粒运动(振荡)被传输到一个/多个带元件，所述偏差或者在线圈中引起一个正比于所述微粒运动的可明确测量和检测的磁流量变化(dB/dt)，或者引起一个/多个线圈中的类似的可测量和检测的电感变化。



1、一种感测和显示永久状态偏差的方法，所述方法是通过实时地检测重要部件中的暂时性的内部材料振荡来感测和显示永久状态偏差的，以用于对现有产品装备内的硬件设计与构造，和/或监控先前建立的基础设施，其特征在于一个或多个至少厚约 $20\ \mu\text{m}$ 的具有高磁导率和相对高的磁弹性的无定形或纳米晶的带元件被加到一个相关部件上，通过施加直流电流通过拾取线圈或者使用永久磁体，一个或多个所述元件受偏磁化的影响，一个或多个所述带元件各自至少部分地被一个多匝线圈环绕，从而任意出现微粒运动，这种状态偏差被传输到一个/多个所述带元件，所述偏差或者在所述线圈中引起一个正比于所述微粒运动的可清楚测量和检测的磁流量变化，或者引起一个/多个所述线圈中的类似的可测量和检测的电感变化。

2、权利要求 1 中所述的方法，其特征在于一个具有微小幅度的载波被加到一个/多个所述线圈上，用于仅使得通过被测线圈上的电流变化，或者用于通过多个桥接的线圈进行测量，桥接的线圈对之间的电压差被测量，这些幅度基本上正比于所述多个带中的机械应力。

3、一种感测和显示永久状态偏差的装置，所述装置是通过实时地检测重要部件中的暂时性的内部材料振荡来感测和显示永久状态偏差的，以用于现有产品装备内的硬件设计与构造，和/或监控先前建立的基础设施，其特征在于它包括一个或多个至少厚约 $20\ \mu\text{m}$ 的具有高磁导率和相对高的磁弹性的无定形或纳米晶状带元件，为了实现所需的材料结构，一个/多个所述元件通过磁场热处理被处理，并且通过施加直流电流通过拾取线圈或者使用永久磁体，受偏磁化的影响，一个或多个所述带元件被多匝线圈所环绕，从而任意出现微粒运动这种状态偏差，由于它们在一个/多个所述带元件中合并，因此或者在所述线圈中引起一个正比于所述微粒运动的可清楚测量和检测的磁流量变化，或者引起一个/多个所述线圈中的类似的可测量和检测的电感变化。

4、权利要求3中所述的装置，其特征在于与一个/多个所述线圈相连的一个/多个所述带元件被封装在一个可弹性形变的环氧聚合物中。

5、权利要求3或4所述的装置，其特征在于一个/多个所述带元件和一个/多个所述线圈被粘合到一个对象，该对象的永久状态偏差将被显示。

6、权利要求3或4所述的装置，其特征在于，由于材料中与方向相关的属性，所述装置的敏感度根据检测方向相对于一个/多个所述带元件的旋转方向的取向而不同。

7、权利要求3或4所述的装置，其特征在于与线圈相连的所述多个带元件被分别桥接并和放大器连接，以增加灵敏度和可检测度。

8、权利要求3或4所述的装置，其特征在于它被实现为一个玻璃破损指示器、加速计、声发射换能器或负载指示器。

传感器

技术领域

本发明涉及感测和显示永久状态偏差（permanent state deviation）的一种方法和一种装置，所述方法和所述装置是通过实时地检测某些重要部件中的暂时性的内部材料振荡来感测和显示永久状态偏差的，以用于例如原型测试、工业内的现有产品装备中的硬件设计与构造，和/或监控从而维持先前构造的基础设施。

背景技术

近年来，微电子领域内的发展，尤其是计算机日益强大的存储器的发展，使得出现在市场上的不同类型的换能器或传感器，例如加速计、弯曲/形变指示器、声发射指示器等，就现代硬件设计日益增长的需求来说，尤其是就现代软件允许来说，已被证实为构造极度复杂，从而应用起来极度耗费空间并且昂贵，其中所述的各种类型的换能器和传感器是用于测量对于设计中的产品的尺寸确定具有重要意义的幅度的。

发明内容

因此，本发明的一个主要目的是实现一种换能器元件或传感器及其配置，所述换能器元件或传感器及其配置原则上非常简单，从而在构造上非常节省空间，以便能够实现以前不可想象的换能器或传感器配置，同时提供了在比迄今为止可能实现的更宽的范围内以更高的灵敏度和精度测量的机会，而且还能够测量以前几乎不能检测的幅度。本发明的另一个目标是实现一种传感器配置，这种传感器配置的固有质量很小，以致于不会影响到其测得的待测对象的幅度。

上述目的将通过一种方法和一种装置实现，其中所述装置由一个

或多个被加到相关部件中的具有高磁导率和相对高的磁弹性的至少厚约 $20\ \mu\text{m}$ 的无定形或纳米晶状带元件组成，为了获得所需要的材料结构，对所述多个带元件进行磁场热处理，所述多个带元件至少部分地被多匝线圈所环绕，从而诸如任意出现的微粒运动这种状态偏差被传输到所述一个/多个带元件，其或者在所述线圈中引起一个正比于所述微粒运动的可明确测量和检查的磁流量变化 (dB/dt)，或者引起所述一个/多个线圈中的类似的可测量和检测的电感变化。

附图说明

以下将参考附图更详细地说明本发明。在附图中：

图 1 显示了拍摄在一张毫米纸上的一个声发射传感器。

图 2 是一个用于检测声发射的传感器的示意图。

图 3 显示了测量电感变化时正向和负向拉伸下作为负载函数的输出信号。

图 4 显示了来自各传感器 P1_1 (a.顶部)、P1_2 (b.中间) 和 P1_3 (c.底部) 的时间信号。

图 5 显示了在破坏玻璃时 P1_1、P1_2 和 P1_3 (分别为 a.顶部、b.中间和 c.底部) 的输出信号的频谱。

图 6 是一种基于无定形材料的加速计的一种可能的实现方式的示意图。

图 7 显示了加速计的连接和处理来自它的信号的原理。

图 8 显示了加速计的冲击响应，其中 Y 轴上的信号是输出信号(以 mV 为单位)，而 X 轴是时间轴。

图 9 显示了 1.7 Hz 下加速计测量的结果。

图 10 显示了 3.0 Hz 进行的测量的结果。

图 11 显示了 4.4 Hz 下进行的测量的结果。

图 12 显示了在 10.94 Hz 下进行的测量的结果。

图 13 显示了一个参考加速计和生产出的加速计类型的相对频率响应。

图 14 是一种基于无定形材料的加速计或 AE 传感器(AE = 声发射)的一种可能的实现方式的示意图。

图 15 显示了瞬态下的 AE 传感器的输出信号。

具体实施方式

作为玻璃破损传感器的应用

功能原理

换能器或指示器由一种无定形铁磁材料组成, 该材料具有以下属性: 它可能具有非常高的磁导率, $5000 < \mu < 200000$, 同时它对于一定的合金合成物具有相对高的磁弹性, $5 < \lambda_{\text{sat}} < 40 \text{ ppm}$ 。整体来看, 这使得材料具有非常高的磁性-弹性关系, 因此非常适合用作传感器材料。

通过采用一条约 $3 \times 10 \text{ mm}$ 的带子, 其中所述带子是从一片厚 $22 \mu\text{m}$ 的无定形材料上切下然后粘合到任意一种材料上的, 就可检测材料中的拉力。通过在相对于旋转方向的不同方向切割, 可以赋予无定形材料不同的属性, 在本例中利用了旋转方向的纵向和横向。

也可以通过在接近但低于结晶温度的温度下在磁场中热处理材料来修改材料的参数。在破坏玻璃和一般的声发射的情况下, 由于在所述带周围缠绕了多匝线圈, 因此检测磁流量变化, 参见图 1 和图 2。

理论

为了检测高频信号, 有利且简单的方式是仅检测流量变化并且假定它正比于带的形变的大小。这意味着必须实现一个磁性地很好定义的初始状态, 因为未磁化的带在拉力变化时不会产生流量变化。

为了实现磁化的基本状态, 原则上 $30\text{-}60 \mu\text{T}$ ($20\text{-}40 \text{ A/m}$) 的地磁状态就足够了, 但是另一方面当要安装和校准一个指示器时, 需要监控地磁场的方向和大小是不实际的。

要获得一个满意的初始状态有两种方法:

微量磁包围并且直流电流通过拾取线圈。

微量磁包围并且用永久磁体进行偏磁化。

场大小应该使得磁化强度为 $0,2 - 0,7 \text{ T}$, 这意味着带中的磁化的

幅度的应该为 2-56 A/m 数量级。所述场大小通常可根据以下公式计算

$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu}$$

其中 H 是磁化磁场, B 是磁流量密度, 自由空间的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am, 以及此例中无定形带的相对磁导率 μ 。

通过检测带中由于拉伸/压缩而引起的流量变化来获得测量信号。对于线性情况, 以下连接方程应该描述函数:

$$\Delta B = d \cdot \Delta \sigma + \mu_0 \cdot \mu \cdot \Delta H$$

其中 σ 描述机械应力而 d 是磁性-弹性关系系数。前缀 Δ 表示相对初始值的变化。通过取恒定机械应力 ($\Delta \sigma = 0$) 下的最大磁弹性除以磁饱和状态下的磁化场来近似材料参数 d , 即

$$\frac{\lambda_{\max}}{H_{\max}} = d$$

由于

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta \sigma}{E^H} + d \cdot \Delta H$$

在 $\lambda_{\max} = 35 \cdot 10^{-6}$ 且 $H_{\max} = 200$ A/m 的情况下, 该方程给出关系因子 $d = 1.75 \times 10^{-7}$ m/A, 这对于所有类型的磁性弹性关系都是很高的值。

可预期到输出信号正比于流量变化和机械应力

$$U(t) = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

其中 N 是拾取线圈的匝数, 而 A 是无定形带的截面面积。通过假定 $\Delta H = 0$, 以下方程适用:

$$\begin{cases} \Delta\sigma = \Delta\lambda \cdot E^H \\ \Delta B = d \cdot \Delta\sigma \end{cases}$$

其中 E^H 是恒定磁化场中的弹性模量。变换到频率平面并且利用上述方程给出：

$$\hat{U} = |N \cdot A \cdot \omega \cdot d \cdot \Delta\lambda \cdot E^H|$$

其中 ω 是角频率，单位是行/秒。抑扬符号表示取幅度值。在假设弹性模量为 100 GPa 数量级的情况下，对于 P1_2 的情况，100000 kHz 下传感器中的拉力应该为 0,0025 ppm 数量级，参见图 4 和图 5 中部。

测量结果

在将传感器粘合到一片玻璃片的情况下，最初实验显示可检测到 40 kHz – 1 MHz 频率范围内的振动。

进行了以下比较测试：

表 1 指示器描述

传感器	带方向	匝数	备注	静态空载磁导率 [mH]
P1_1	横向	280	厚粘合连接	158
P1_2	横向	280		60
P1_3	纵向	280	厚塑料封装	32

进行测试时使得玻璃片的角部被打破并且输出信号在放大约 100 倍后被记录。

图 3 显示了传感器 P1_1、P1_2 和 P1_3 在不同拉力下的电感变化。此处很明显具有横向切割的带的 P1_1 和 P1_2 具有最高的磁性-弹性关系。这两个样本也显示了相当高的磁导率。在玻璃破损实验中也显示了这一点，其中在相同的激励下 P1_1 和 P1_2 的信号水平将较高。与 P1_2 和 P1_3 相比，P1_2 的信号频谱的带宽要宽得多。这或许可由较大的粘合量来解释，参见表 1。

在具有实时静态测量的一般加速计的一个展开的第一原型中的

应用

功能原理

换能器或指示器由一种无定形铁磁材料组成，该材料具有以下属性：它可能具有非常高的磁导率， $5000 < \mu < 200000$ ，同时它对于特定的合金合成物具有相对高的磁弹性， $5 < \lambda_{\text{sat}} < 40$ ppm。整体来看，这使得材料具有非常高的磁性-弹性关系，因此非常适合用作传感器材料。换能器或指示器由两条大小为 $3 \times 16 \times 0.022$ mm 的无定形带组成。两条带子被粘合到一个固定块，参见图 1。在固定块处，每条带周围缠绕一个线圈。线圈在一个半桥中连接，参见图 2。通过以这种方式连接线圈，两条带中的相似变化不会给出信号，可实现对温度和其他对称失调的高度不敏感性。通过弯曲由两条无定形带和一条中间的塑料带组成的“束”，一条带中的拉伸将与另一条带中压缩同时获得。从而来自线圈的输出信号将是相反的，即在拉伸时电感（磁导率）增大，而压缩时减小。

位于弯曲的束末端的反应块（参见图 14）给出一个弯曲力矩，其正比于加速度、束长度和质量。这必然引起可以使加速计适用于几乎任何最大加速度。频率性能大体上通过束硬度和反应块的质量确定。

理论

由于此换能器或指示器要具有实时静态测量，因此测量原理不能基于由于流量变化感应的张力。在此情况下，有必要用一个载波测量带的相对磁导率，该载波的频率应该比加速计的期望带宽高约 10 倍。

对于线性情况，以下连接方程应该描述函数：

$$\Delta B = d \cdot \Delta \sigma + \mu_0 \cdot \mu \cdot \Delta H$$

其中 H 是磁化场， B 是磁流量密度，自由空间的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am，以及此例中无定形带的相对磁导率 μ 。

另外， σ 表示机械张力而 d 是磁性-弹性关系系数。前缀 Δ 表示相对初始值的变化。通过取恒定机械应力（ $\Delta \sigma = 0$ ）下的最大磁弹性除以磁饱和状态下的磁化场来近似材料参数 d ，即

$$\frac{\lambda_{\max}}{H_{\max}} = d$$

由于

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\sigma}{E^H} + d \cdot \Delta H$$

在 $\lambda_{\max}=35 \cdot 10^{-6}$ 且 $H_{\max} = 200 \text{ A/m}$ 的情况下，该方程给出关系因子 $d = 1.75 \cdot 10^{-7} \text{ m/A}$ ，这对于所有类型的磁性弹性关系都是很高的值。从而这里感兴趣的测量幅度就是作为拉伸的函数的磁导率。假定能够实现一个定义良好的磁状态，即一个恒定且已知磁化的场，磁流量密度的变化可以在修改上述方程的情况下表示为：

$$\Delta B = d \cdot E^H \cdot \Delta\lambda$$

从而磁流量密度的变化正比于带的拉伸，比例常数为 $d \cdot E^H$ ，当 $E^H = 100 \text{ GPa}$ 时，该比例系数约为 $1.75 \cdot 10^4 \text{ T}$ 。

假设线圈在一个半桥中连接，并且在一条带中有 10 ppm 的拉伸，而在另一条带中有 10 ppm 的压缩。由于 H 场可以假设为恒定的，并且 B 场中的变化正比于磁导率的变化，当然也正比于线圈中的电感，因此意味着来自平衡的桥的输出信号应为

$$\Delta U = 1.75 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,35 \text{ V}$$

这是一个非常强的输出信号，以致于它不需要放大。

测量结果

每个线圈有 800 匝，其给出了 $8,2 \text{ mH}$ 的电感。向半桥提供幅度为 $4,4 \text{ V}$ 和 $19,3 \text{ kHz}$ 的正弦电压。由于线圈是串联的，这意味着桥的阻抗可以保持在 $10 \text{ k}\Omega$ 的数量级中，这样就良好的适应于由运算放大器驱动的情况。

对于换能器的校准，利用了地球的重力 9.81 G 。这给出了 35 mV/G 的灵敏度。换能器在约 1 V 出现饱和，这意味着线性区域为约 $\pm 0.5 \text{ C}$ ，等价于 $\pm 14 \text{ G}$ 。通过研究脉冲响应，测量到谐振频率达到约 80 Hz ，参见图 3，谐振频率可由以下公式计算：

$$f_{\text{res}} = \frac{\sqrt{k}}{m} \cdot 2\pi$$

加速计测试设备中的测量

为了检查线性度，以及某种程度的频率性能，在加速计测试设备中进行了测量。

图 4、图 5、图 6 和图 7 的一个共同特征是具有相对大的输出信号变化的曲线显示了来自参考加速计的输出信号，另一条具有同样大的输出信号变化的曲线显示了来自原型加速计的信号，而几乎是实线的连续曲线显示了解析模拟的加速度，它应该是完全精确的。轴上的刻度为对于 y 轴是以 G 为单位的加速度，而对于 x 轴是以秒为单位的时间。自始至终显示了约 1,5 个周期。

通过比较加速计的输出信号，并将它们联系到模拟的加速度，可以推算出频率响应，参见图 8。

展开的加速计显示出了良好的线性，直到期望的线性极限 14 G。除非频率开始接近 80 Hz 处的谐振频率，没有理由假设任何形式的频率相关性。图 8 中 11 Hz 处的下降可以由已达到饱和来解释。

在声发射传感器的展开的第一原型中的应用 功能原理

换能器或指示器由一种无定形铁磁材料组成，该材料具有以下属性：它可能具有非常高的磁导率， $5000 < \mu < 200000$ ，同时它对于特定的合金合成物具有相对高的磁弹性， $5 < \lambda_{\text{sat}} < 40 \text{ ppm}$ 。整体来看，这使得材料具有非常高的磁性-弹性关系，因此非常适合用作传感器材料。换能器或指示器由一条大小为 $3 \times 18 \times 0.022 \text{ mm}$ 的无定形带组成。带子被缠绕两匝，其间有一条绝缘的塑料带。带的不同层彼此之间没有电接触是极为重要的，因为如果有电接触的话，带就会成为一个短路的第二线圈。所得到的活动圆柱以薄的粘合连接粘合到测量对象上，并且另一侧粘合到一个碗形塑料线轴的底部上。在塑料线轴底部固定了一个反应块，而 1000 匝线圈缠绕在它的侧表面。此换能器原理最适于

检测动态周期，因为只有一个线圈。通过采用在一个半桥中耦合的两个线圈（假设线圈的操作方式不同，即，对于正加速度，一个线圈给出正的输出信号而另一个给出相应的负信号），则能提供以下优点：减小/消除相对于所述线圈对称的出现的由外部、全局现象（热、磁场等）引起的所有电流（空中的电磁波等）和变化的影响。

固定在塑料线轴底部的反应块（参见图 14）在活动圆柱上引起一个反应力，该反应力正比于加速度和质量。这无疑提供了使加速计适应几乎任何最大加速度和谐振频率的可能性。频率性能大体上通过圆柱硬度以及反应块的质量确定。

理论

为了检测高频信号，有利且简单的方式是仅检测流量变化并且假定它正比于带的形变的大小。这意味着必须实现一个磁性地良好定义的初始状态，因为未磁化的带在拉力变化时不会产生流量变化。为了实现磁化的基本状态，原则上 30-60 μT (20-40 A/m) 的地磁状态就足够了，但是另一方面当要安装和校准一个换能器或指示器时，需要监控地磁场的方向和大小是不实际的。要获得一个满意的初始状态有两种方法：

1. 微量磁包围并且直流电流通过拾取线圈。
2. 微量磁包围并且用永久磁体进行偏磁化。

场大小应该使得磁化强度为 0,2 - 0,7 T，这意味着带中的磁化场的应该为 2-56 A/m 数量级。场大小通常可根据以下公式计算

$$H = \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu}$$

其中 H 是磁化磁场， B 是磁流量密度，自由空间的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$ ，以及此例中无定形带的相对磁导率 μ 。通过检测带中由于拉伸/压缩而引起的流量变化，将获得测量信号。对于线性情况，以下连接方程应该描述函数：

$$\Delta B = d \cdot \Delta \sigma + \mu_0 \cdot \mu \cdot \Delta H$$

其中 σ 描述机械应力而 d 是磁性-弹性关系系数。前缀 Δ 表示相

对初始值的变化。通过取恒定机械应力 ($\Delta\sigma = 0$) 下的最大磁弹性除以磁饱和状态下的磁化场来近似材料参数 d , 即

$$\frac{\lambda_{\max}}{H_{\max}} = d$$

由于

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\sigma}{E^H} + d \cdot \Delta H$$

在 $\lambda_{\max} = 35 \cdot 10^{-6}$ 且 $H_{\max} = 200$ A/m 的情况下, 该方程给出关系因子 $d = 1.75 \times 10^{-7}$ m/A, 这对于所有类型的磁性弹性关系都是很高的值。

可预期到输出信号正比于流量变化和机械应力

$$U(t) = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

其中 N 是拾取线圈的匝数, 而 A 是无定形带的截面面积。通过假定 $\Delta H = 0$, 以下方程适用:

$$\begin{cases} \Delta\sigma = \Delta\lambda \cdot E^H \\ \Delta B = d \cdot \Delta\sigma \end{cases}$$

其中 E^H 是恒定磁化场中的弹性模量。变换到频率平面并且利用上述方程给出:

$$\hat{U} = N \cdot A \cdot \omega \cdot d \cdot \Delta\lambda \cdot E^H$$

其中 ω 是角频率, 单位是行/秒。抑扬符号表示取幅度值。

测量结果

所测量的线圈有 650 匝, 给出了 3.2 mH 的电感。谐振频率可以计算为:

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

在假设弹性模量为 100 GPa，活动圆柱的高为 3 mm，横截面积为 $2 \times 3 \times \pi \times 0,022 \text{ mm}^2$ ，并且反应块为 4 克的情况下，以上公式给出谐振频率约为 10 kHz。图 2 显示了在换能器安装在一个大铁坯上并且用锤击激励的情况下，来自换能器的 50 倍放大后的输出信号。

图 15 中的时间序列中的频率分析显示直到约 5 kHz 的信号出现宽带，此后在 8 kHz 有一个明显的峰，在 60 kHz 处有一个。看起来大概 8 kHz 信号是换能器谐振，而 60 kHz 信号是通常所说的声发射的信号，即，例如，材料形变时能量的瞬态释放。5 kHz 以下的宽带信号内容由检测体中的振动组成。

图1

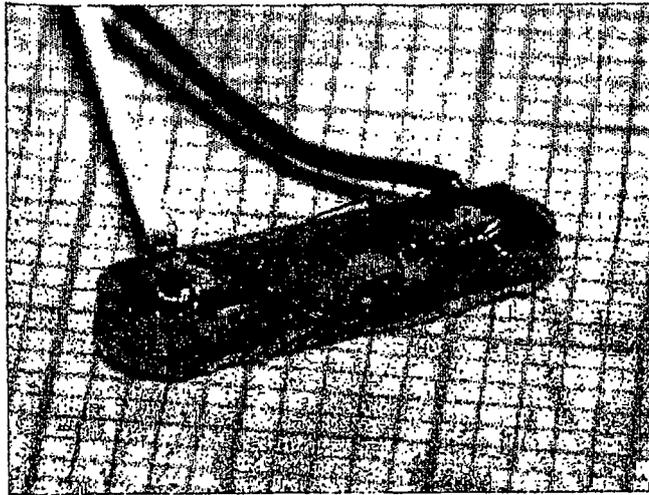


图2

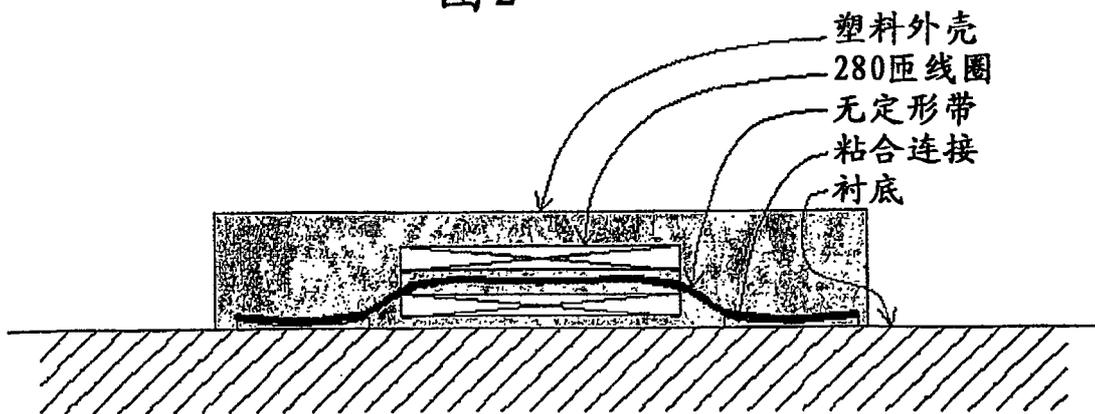


图 3

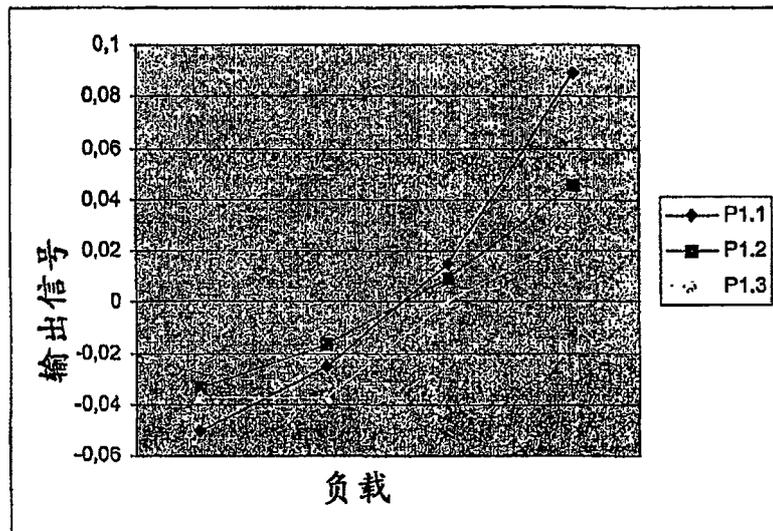


图 4a

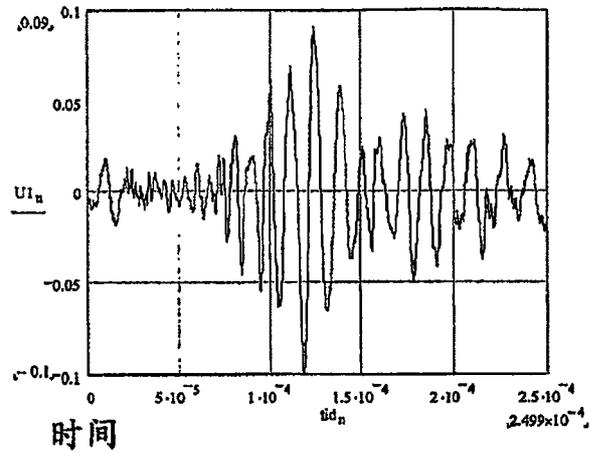


图 4b

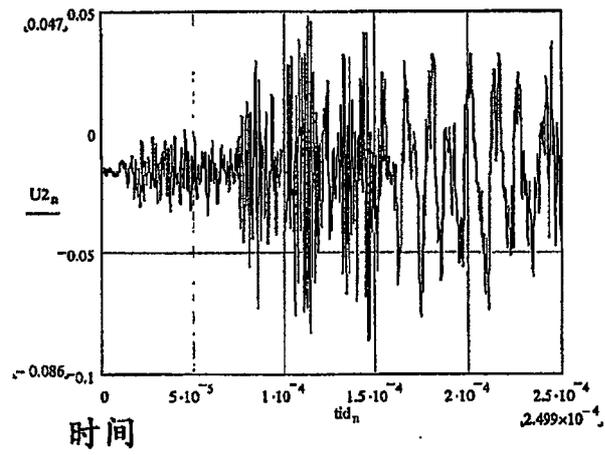


图 4c

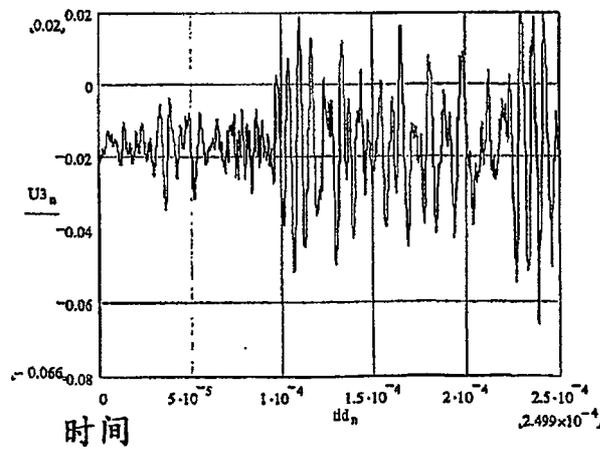


图 5a

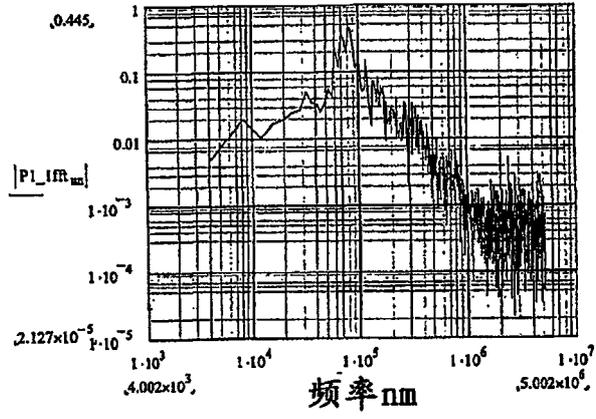


图 5b

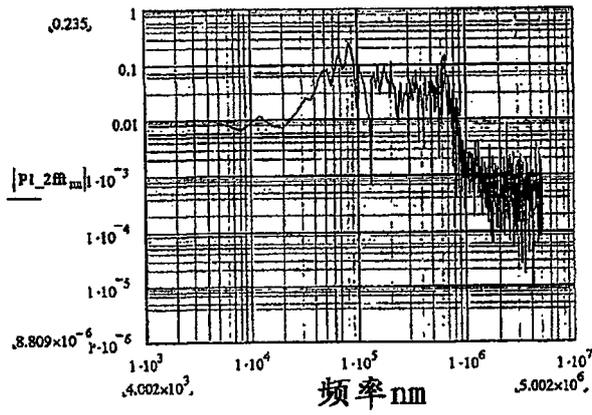


图 5c

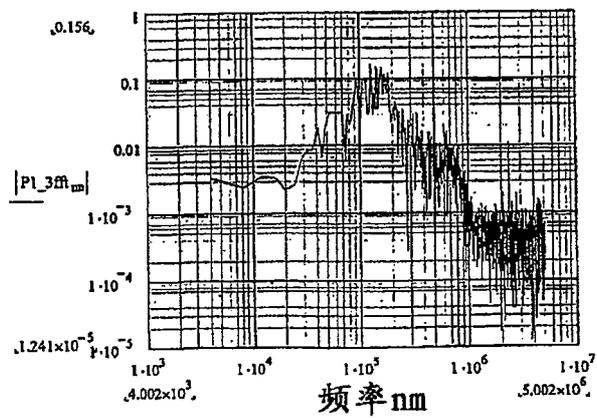


图6

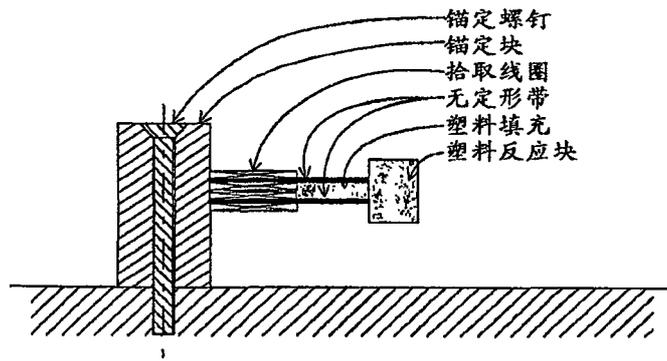


图7

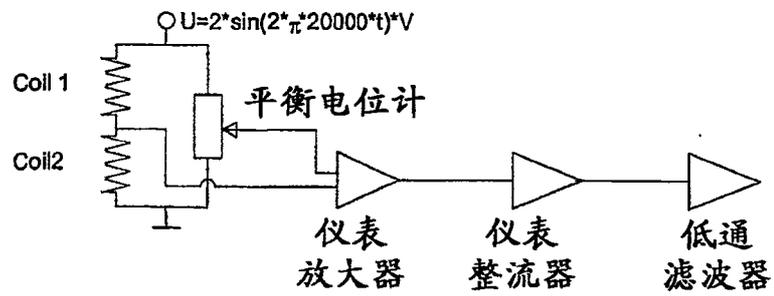


图8

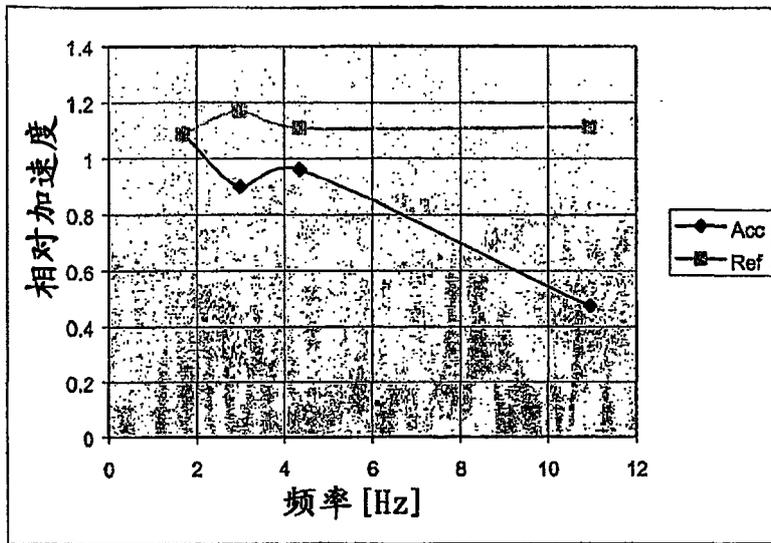


图9

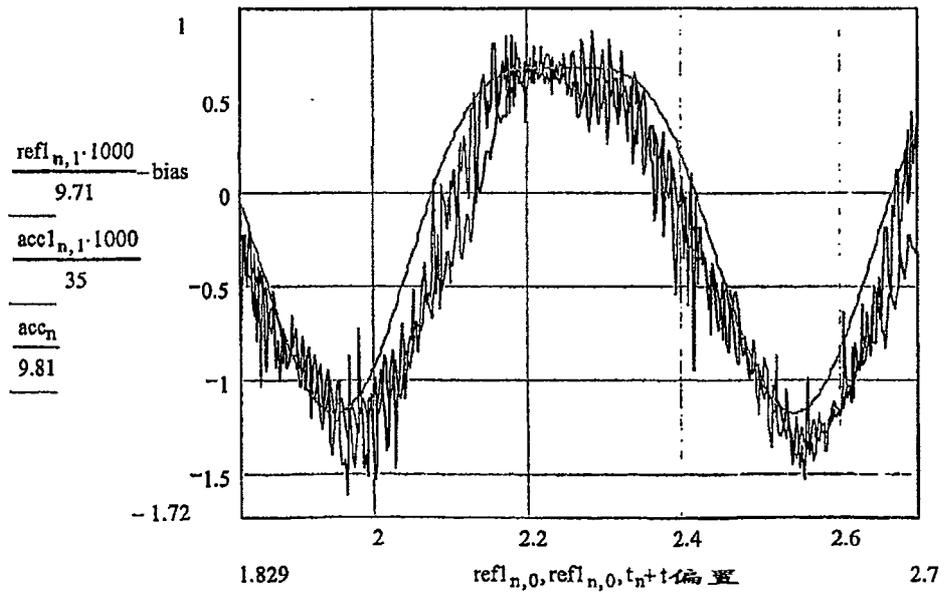


图10

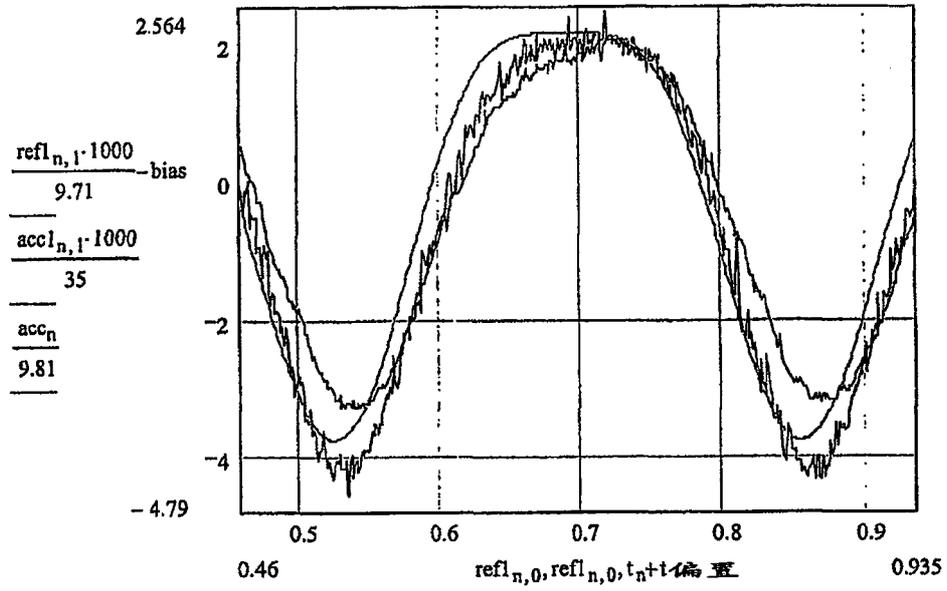


图11

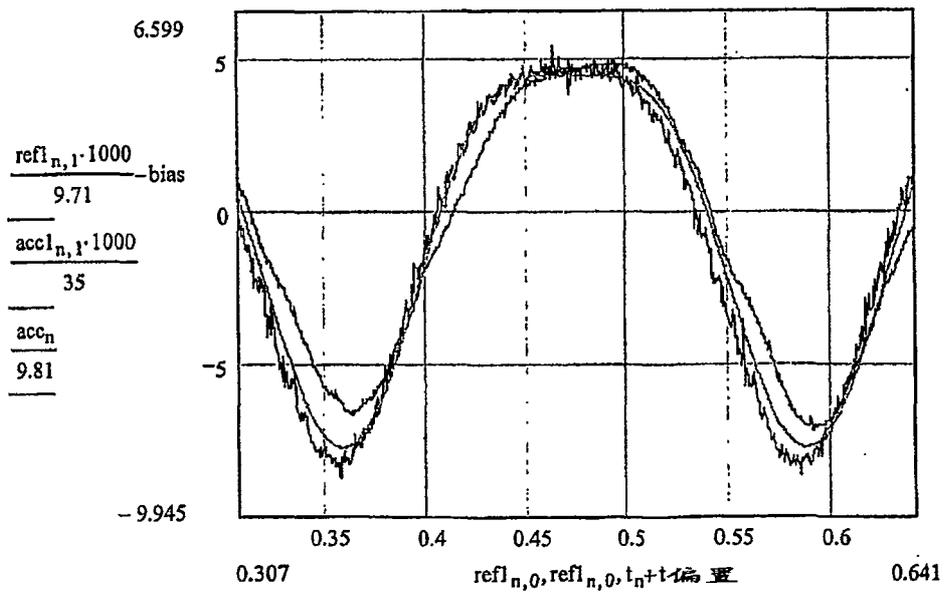


图12

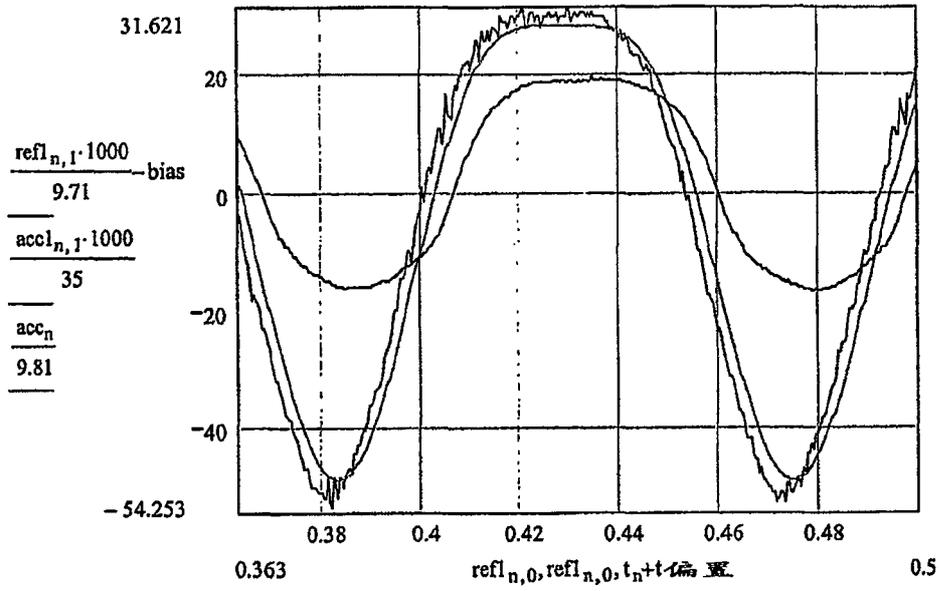


图13

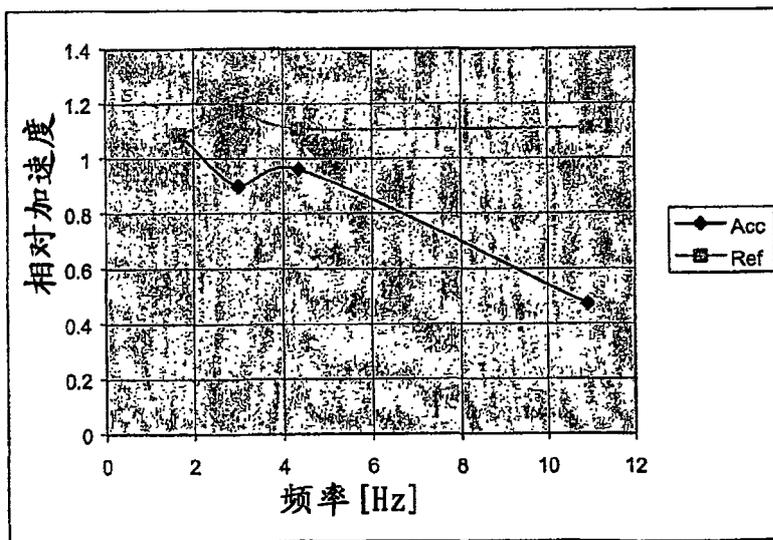


图14

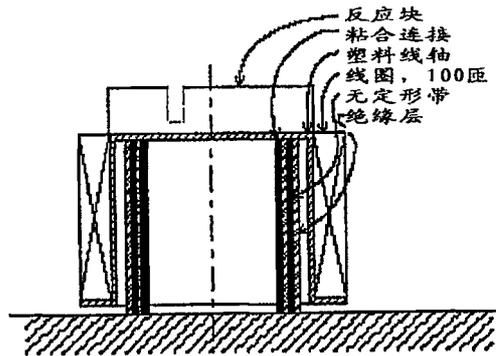


图15

