(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 101802647 A
(43)申请公布日 2010.08.11

(21)申请号 200880107411.3
(22)申请日 2008.09.17
(30)优先权数据
11/856,386 2007.09.17 US
(85)PCT申请进入国家阶段日
2010.03.17
(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2008/010800 2008.09.17
(87)PCT申请的公布数据
WO2009/038709 EN 2009.03.26
(71)申请人 离子地球物理公司
地址 美国得克萨斯
(72)发明人 J·M·史密斯 G·A·西顿
R·I·布路尔
(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 11038
代理人 郭思宇
(51)Int.Cl.
G01V 1/02(2006.01)

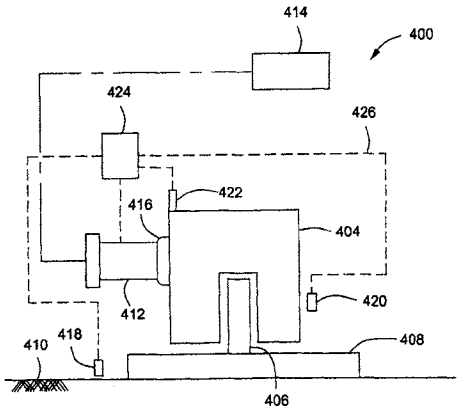
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 6 页

(54)发明名称

生成地震振动器信号

(57)摘要

提供一种用于生成震源信号的方法和装置，用于产生以多个时序振动信号形式的能量，所述振动信号被作为时间和/或频率的函数而划分，其中，所述多个信号中的每一个包括区别标志。经划分的振动信号被发射到感兴趣的地形作为用于进行地震勘定的震源信号。



CN 101802647 A

1. 一种用于生成震源信号的方法，包括：

产生以多个振动信号形式的能量，所述振动信号是被作为时间的函数而划分的时序信号，其中，所述多个振动信号中的每一个包括区别标志；以及

将所述振动信号发射到感兴趣的地形中作为震源信号。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述多个振动信号中的信号被作为时间的函数而频率划分。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述多个振动信号中的信号被作为时间的函数而相位划分。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述多个振动信号被异步地发射到感兴趣的地形中。

5. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述多个振动信号被至少部分地时间重叠地发射到感兴趣的地形中。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述多个振动信号被基本上同时地发射到感兴趣的地形中。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，产生能量包括使用设置在感兴趣的地形处的多个陆上地震振动器。

8. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，产生能量包括使用包括使反应块体运动的直线电动机的陆上地震振动器，所述直线电动机具有用于减少发射能量中的失真的反馈控制器。

9. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，产生能量包括使用包括使反应块体运动的液压系统的陆上地震振动器，所述液压系统具有用于减少发射能量中的失真的反馈控制器。

10. 一种用于地球物理信息获取的方法，包括：

在感兴趣的地形中设置多个地震接收器；

用所述多个地震接收器来接收多个震源信号，所述震源信号是被作为时间的函数而划分的时序信号，其中，所述多个震源信号中的每一个包括区别标志。

11. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述多个振动信号中的信号被作为时间的函数而频率划分。

12. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述多个振动信号中的信号被作为时间的函数而相位划分。

13. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述多个振动信号被异步地发射到感兴趣的地形中。

14. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述多个振动信号被至少部分地时间重叠地发射到感兴趣的地形中。

15. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述多个振动信号被基本上同时地发射到感兴趣的地形中。

16. 一种用于处理地球物理信息的方法，包括：

接收所记录的地震信息，所记录的地震信息包括多个震源信号，所述振动信号是被作为时间的函数而划分的时序信号，其中，所述多个地震信号中的每一个包括区别标志；以及

处理所述地震信息，以关于所述多个震源信号中的每一个来分离地震信息。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，其中，所述多个振动信号中的信号被作为时间的函数而频率划分。

18. 根据权利要求 16 所述的方法，其中，所述多个振动信号中的信号被作为时间的函数而相位划分。

19. 根据权利要求 16 所述的方法，其中，所述多个振动信号被异步地发射到感兴趣的地形中。

20. 根据权利要求 16 所述的方法，其中，所述多个振动信号被至少部分地时间重叠地发射到感兴趣的地形中。

21. 根据权利要求 16 所述的方法，其中，所述多个振动信号被基本上同时地发射到感兴趣的地形中。

22. 一种地震振动器装置，包括 ：

耦合到地表上的基板 ；

相对于所述基板运动的反应块体 ；以及

耦合到所述反应块体上的反馈控制致动器，所述反馈控制致动器向所述反应块体提供促使反应块体的直线运动的力，所述反应块体的直线运动引起到地球中的地震能量传播，其中，所述地震能量采取多个时序地震信号的形式，所述地震信号被作为时间的函数而划分，其中，所述多个地震信号中的每一个包括区别标志。

23. 根据权利要求 22 所述的装置，其中，所述反馈控制致动器包括液压致动器。

24. 根据权利要求 22 所述的装置，其中，所述反馈控制致动器包括直线电动机。

生成地震振动器信号

技术领域

[0001] 本公开一般涉及地震勘探，且特别地涉及用于获取和处理地球物理信息的方法和装置。

背景技术

[0002] 在油气勘探工业中，一般采用地球物理工具和技术以便识别具有潜在碳氢化合物沉积物的地下结构。在该领域中，多年来已将地震振动能源、或者简称为地震振动器用于生成震源信号。最简单形式的地震振动器仅仅是重型车辆，该重型车辆具有以预定的频率范围震动地面而在特定时间段内向地球的地下施加振动地震信号的能力，其允许有小于诸如炸药等脉冲发生器的瞬时能量级。

[0003] 所施加的能量在本文中称为“震源信号”，其穿过地下并从地下地质结构或层反射一些能量。反射的能量随后被传送回到地表，在那里，使用地球运动检测器来将其记录。对记录的数据进行处理和解释以提供关于地下结构和层的位置和物理性质的信息。

[0004] 震源信号通常是扫频信号，或者简称为扫频。扫频是正弦振动且可以根据地形、地下岩性、经济约束和振动器的物理性能而具有约 5 至 20 秒以上数量级的持续时间。在频率超时 (overtime) 中可以增大正弦扫频，这称为“向上扫频 (upsweep)”。向上扫频是在现代地震勘探中通常使用的信号。而且，在频率延时中可以减小正弦扫描，这称为“向下扫频 (downsweep)”。振动器扫频的最终产物是传播通过地球以返回关于地下的信息的波。

[0005] 地震波穿过地面并反射出地下岩层。具有不同材料、密度或结构的岩层之间的边界常常反射地震波，对关于这些波的地震信息进行收集、处理和解释以生成地下的表示或“图片”。可以使用任何数目的勘探系统来收集期望的信息以进行处理。可以将诸如速度检波器、加速计和 / 或水听器等接收器传感器排成行，或者可选地在水听器的情况下进行拖曳，用于测量由于震源而引起的地震波反射出地下边界并随后返回所部署的传感器的地震波振幅。多源点获取勘定提供了一种减少获取整个勘定区域的数据的时间的方法。传统的单源点获取在唯一的时间获取一个源点的数据。使用多源点获取来在唯一的时间获取多个源点的数据，比传统单源方法提供数据的更快获取。为了单独的每个源形成所获取的多源记录，当前的多源方法采用与传统单源发射相比发射更长信号或增加发射的振动信号的数目的方法。

发明内容

[0006] 以下提出本公开的多个方面的一般概要以便提供本公开的至少某些方面的基本理解。本概要不是本公开的广泛概述。并不意图标识本公开的关键或重要元素或描绘权利要求的范围。以下概要仅仅以一般形式提出本公开的某些构思作为随后的更详细说明的前序。

[0007] 公开了用于生成震源信号的方法和装置。在一方面，一种方法包括产生以多个振动信号形式的能量，所述多个振动信号是作为时间的函数 (as a function of) 划分的时序

信号，其中，所述多个振动信号中的每一个包括区别标志(distinguishing signature)。振动信号被作为震源信号发送到感兴趣的地形。

[0008] 在另一方面，一种用于地球物理信息获取的方法包括在感兴趣的地形中设置多个地震接收器，并用所述多个地震接收器接收多个震源信号，该震源信号是被作为时间和/或频率的函数而划分的时序信号，其中，所述多个震源信号中的每一个包括区别标志。

[0009] 在另一方面，一种用于处理地球物理信息的方法包括接收所记录的地震信息，所记录的地震信息包括多个地震信号，该地震信号是被作为时间和/或频率的函数而划分的时序信号，其中，所述多个信号中的每一个包括区别标志。该方法还包括处理地震信息以便关于所述多个信号中的每一个来分离地震信息。

[0010] 根据一个方面的装置包括耦合到地表的基板、相对于所述基板运动的反应块体(reaction mass)、以及耦合到所述反应块体的反馈控制致动器，所述反馈控制致动器向所述反应块体提供引起反应块体的直线运动的力，所述反应块体的直线运动引起到地球中的地震能量传播，其中，所述地震能量采取多个时序地震信号的形式，所述地震信号被作为时间的函数而划分，其中，所述多个地震信号中的每一个包括区别标志。

附图说明

[0011] 为了详细地理解本公开，应对结合附图进行的多个非限制性实施例的以下详细说明进行参考，在附图中，对相同的元件给定相同的附图标记，并且在附图中：

[0012] 图1示出用于产生地震能量并将其传播到地球中的方法的非限制性示例；

[0013] 图2A～2C示出生成具有唯一标志的振动器系统输入信号的非限制性示例；

[0014] 图3A～3D示出用于每个输入信号具有唯一标志的四源震源信号生成方案的用于生成唯一输入信号的方法的非限制性示例；

[0015] 图4示意地示出用于生成压缩波能量并将其传播到地球中的陆上地震振动器系统的非限制性示例；

[0016] 图5是用于产生横波能量并将其传播到地表的非限制性陆上地震振动器系统的另一示意图。

[0017] 图6示出具有在反应块体外部的驱动器的陆上地震振动器系统的示例；以及

[0018] 图7示出具有在反应块体内部的驱动器的陆上地震振动器系统的示例。

具体实施方式

[0019] 本公开使用术语，该术语的意义将帮助提供对本文的讨论的理解。例如，本文所使用的术语信息处理设备意指发送、接收、操作、转换、计算、调制、变换、载送、存储或利用信息的任何设备。在本公开的多个非限制性方面，信息处理设备包括执行用于执行各种方法的程序指令的计算机。

[0020] 本文所使用的地球物理信息意指关于地质体的位置、形状、范围、深度、内容、类型、性质和/或数目的信息。地球物理信息包括但不一定限于海洋、过渡带、海底电缆和陆上地震信息。本文所使用的地震信息包括但不限于以下各项中的一个或多个或任何组合：模拟信号、数字信号、记录数据、数据结构、数据库信息、关于表面地质的参数、震源类型、震源位置、接收器位置、接收器类型、震源激活时间、震源持续时间、震源频率、能量振幅、能量

相位、能量频率、波加速度、波速和 / 或波向。

[0021] 地球物理信息可以用于许多目的。在某些情况下，诸如地震信息的地球物理信息可以用来生成地下结构的图像。本文所使用的成像包括地下结构的任何表示，包括但不限于表示地下结构的图形表示、数学或数字表示、条形图或任何其它处理输出。

[0022] 在本文中与地震振动器相结合地使用术语“反应块体”。根据本公开的陆上地震振动器可以使用往复运动而向地球中施加受控能量的重量级 (heavy weighted) 结构。此重量级结构在本文中一般称为“反应块体”。“反应块体”可以相对于其它振动器结构，诸如基板运动。

[0023] 公开了一种在明显比当前地震振动器多源方法的时间短的获取时间帧内工作的同步或异步地震振动器多源装置和方法。使用所公开的方法和装置的振动持续时间相当于传统地震振动器单源持续时间，同时通过发射被作为时间的函数以频率和 / 或相位唯一地划分的一组低度失真时序、使得该组内的每个源发射一个区别标志，来提供相当于或优于当前多源技术的数据分离。所公开的新划分方法将允许与传统单源点获取大约相同的扫频时间 (6 ～ 12 秒) 和扫频工作量。使用单源协议或使用多源协议，所公开的方法将实现时间效率优越性。

[0024] 图 1 示出用于生成可分离震源信号的方法的非限制性示例。通常，方法 100 包括在地震振动器接收输入信号 102，生成以多个时序振动信号的形式的能量 104，和将振动信号作为震源信号发射到感兴趣的地形 106。

[0025] 多个非限制性实施例中的“输入信号”是用于特定地震勘定 (survey) 的期望信号形式的。在理想情况下，在地球中行进的震源信号与输入信号相同。可以在勘定位置的地点外建立输入信号，或者可以在勘定位置处生成输入信号。一旦生成输入信号，则将其加载到振动器上以供例如控制器的振动器电子装置用来控制振动器系统。振动器系统将输入信号转换成振动器反应块体中的动能。振动器系统反应块体中的能量在本文中将称为振动信号。

[0026] 在多个非限制性实施例中，在感兴趣的地形上或附近设置多个地震振动器。各地震振动器可以是能够将失真控制在使得能够在现场单元中或地震信息处理设备中的处理期间实现标志分离的级别上的任何类型地震振动器。适当的非限制性振动器可以包括具有用于控制谐波失真的反馈控制电路的液压致动器系统。此类振动器的一个示例在题为“Apparatus and Method for Generating a Seismic Source Signal(用于生成震源信号的装置和方法)”的美国专利申请 No. 11/691,925 中有所公开，其整个说明书通过引用结合到本文中。适当振动器的其它非限制性示例包括具有受控直线电动机致动器的地震振动器。下文描述了其某些示例。

[0027] 其中发射的信号标志的区别足以在失真带内进行识别的分离处理方法可以适应生成的信号的可容许失真级别的变化。通常，本文所使用的术语“低度失真”涉及总谐波失真 (THD)。THD 增加分离记录的信息的能力的风险，且 THD 的可接受水平可以改变且可以取决于一个或多个因素。可以允许较高或较低可接受 THD 的一些因素包括特定地震记录、所使用的记录方法、所使用的滤波方法、所使用的减少方法和信息处理方法。因此，在本文中应将“低度失真”视为意指 THD 的可接受水平。在大多数情况下，小于约 5％的 THD 将是可接受的。在某些实施例中，可接受 THD 可以是 5％或以上。任何特定地震信息获取操作中的

震源分离将随震源几何结构、信号强度、以及未修正振动器失真而变。

[0028] 在多个实施例中，输入信号被相对于时间进行频率划分以便形成具有区别的标志的多个输入信号。在另一实施例中，输入信号被相对于时间进行相位划分以便形成具有区别的标志的多个信号。在其它非限制性实施例中，输入信号可以被相对于时间进行频率和相位相组合地划分。

[0029] 可以操作多个地震振动器以便在大约相同的时间或以基本同时的方式发射各自的经划分的振动信号作为与各输入信号密切匹配的震源信号。在另一实施例中，可以以关于时间部分重叠的方式发射经划分的振动信号作为震源信号。或者，可以顺次异步地发送经划分的振动信号。

[0030] 图 2A ～ 2C 和图 3A ～ 3C 示出生成具有唯一信号标志的输入信号的非限制性方法。本领域的技术人员应认识到使用图形未缩放的数据来描绘实际信号将是不切实际的。因此，为简单起见对图进行缩放和移位以图解该构思。图 2A 示出具有被缩放至 ±1 的振幅（垂直轴）的基信号 200。水平轴示出 5 ～ 25Hz 的扫频内的 4000 个数据点。在图 2B 中，使用由扫频合成器程序或其它信号生成程序执行的逐渐减弱处理来将基信号分段。这里，基信号被示为分成四段 202a、202b、202c 和 202d，但可以使用多于或少于四段。请注意，每段具有唯一的频率特性。稍后将参照图 3A ～ D 来描述多个震源信号的相位特性。然后使用程序对信号 202 的各段进行谱补偿以达到具有唯一信号标志 204 的输入信号。

[0031] 在一个非限制性实施例中，通过使用四个震源执行地震勘定来执行地震信息获取操作，其中，每个震源向地球中发射经划分的振动信号作为具有与各输入信号密切匹配的唯一振动信号标志的震源信号。然后可以使用至少部分地基于信号标志来分离信息的信息处理方法，相对于多个震源信号将使用地震传感器获取的地震信息分离。在四源示例中，可以如图 3A ～ 3D 所示地划分各输入信号，虽然其它标志在本公开的范围内。这里，图 3A 示出如上所述和图 2C 所示的具有标志的输入信号 204。图 3B 示出被第二振动器使用的输入信号 302，其中，第二振动器输入信号 302 具有关于加载在第一振动器中的信号 204 的唯一的标志。同样地，图 3C 和 3D 示出加载到各振动器的电子装置中且关于其它发射信号 204、302 而言唯一的各唯一输入信号 304、306。可以使用上文关于基信号 200 所讨论的分段和补偿方法通过信号的循环时移来生成每个唯一标志输入信号。

[0032] 图 4 示意地示出陆上地震振动器系统 400 的非限制性示例，用于生成被作为时间的函数而划分的时序震源信号形式的震源信号并将其传播到地球中，其中，所述信号包括如上文所讨论和图 2C 和 3A 所示的区别标志。地震振动器系统 400 包括机械地耦合到基板 408 上的反应块体 404 和支撑部件 406。基板 408 在工作期间保持与地表 410 的物理接触。地震振动器系统 400 包括向电驱动器 412 提供电功率的电功率发生器 414。驱动器接口 416 提供电驱动器 412 与反应块体 404 之间的机械、电或磁通信。电驱动器 412 响应于输入信号而促使反应块体 404 在工作期间沿着一个或多个轴往复运动，从而将输入信号转换成反应块体 404 中的动能。该动能采取与输入信号密切匹配的振动信号的形式。

[0033] 地震振动器系统 400 还可以包括用于控制电驱动器 412 和反应块体 404 的运动的控制器 424。可以使用传感器 418、420、422 来监控系统 400 的工作参数。在一个实施例中，可以将来自传感器 418、420、422 的输出信号结合到反馈控制电路 426 中以便提供对反应块体 404 运动的控制并因此提供对被施加给地球的系统 400 输出能量的更好控制，以将失真

水平控制并保持在可接受 THD。

[0034] 电功率发生器 414 可以是为地震振动器系统 400 生成足够功率的任何适当系统。电功率发生器 414 可以是用于向地震振动器系统 400 供应电功率的任何适当设备或设备组合，包括但不限于汽油机、柴油机、以及丙烷或天然气发电机。在一个实施例中，电功率发生器 414 可以是工业或商用供电网。在一个实施例中，发电机可以是以 300 至 400HP 功率单位驱动的 250kW 三相发电机。在多个实施例中，电功率发生器 414 向电驱动器 412 提供电功率。

[0035] 电驱动器 412 可以包括适合于移动诸如反应块体 404 的重块体的任何数目的驱动器类型。电驱动器 412 将电功率发生器 414 所供应的电能转换成足以使反应块体 404 往复运动的机械能或磁能。在一个实施例中，电驱动器 412 包括旋转电动机或多个旋转电动机。在一个示例中，可以使用“鼠笼”式电动机。在一个实施例中，电驱动器 412 包括直线电动机或多个直线电动机。在某些情况下，将定子刚性地耦合到反应块体 404 支撑结构且可以将一个或多个电枢刚性地附着于反应块体 404 上。在其它示例中，将定子刚性地耦合到反应块体 404 且可以将一个或多个电枢刚性地附着于支撑结构上。在多个实施例中，电驱动器 412 可以包括设置在反应块体 404 上或附近的电磁设备。

[0036] 继续图 4 的示例，驱动器接口 416 可以包括适合于将电驱动器 412 接口到反应块体 404 的任何数目的设备或结构。驱动器接口 416 可以包括用于将来自电驱动器 412 的能量转换成反应块体 404 的往复运动的变速箱。在一个实施例中，电驱动器 412 包括直线感应电动机，且驱动器接口 416 可以是电磁接口。在多个实施例中，可以使用设置在反应块体 404 内部的一个或多个电磁设备来供应使反应块体 404 往复运动的能量。在一个或多个实施例中，可以使用设置在反应块体 404 外部的一个或多个电磁设备来供应使反应块体 404 往复运动的能量。

[0037] 反应块体 404 可以是由诸如钢、合金钢、或任何适当复合材料的任何有弹性的金属材料制造的结构。反应块体 404 可以由单块部件形成，或者可以包括被适当地耦合以形成反应块体 404 的多个部件。可以根据任何适当的比来选择反应块体 404 的重量和基板 408 的重量。反应块体 404 可以装配有内部冷却系统、外部冷却系统、或其任何组合以便将电或电磁驱动器 412 保持在从约 0℃至约 150℃的范围内的适当工作温度。在某些实施例中，可以将反应块体的重量选择为至少是基板 408 的重量的两倍。反应块体 404 的重量可以是从约 2,000 磅至约 15,000 磅、约 4,000 磅至约 13,000 磅、或约 6,000 磅至约 12,000 磅、或约 15,000 磅至约 40,000 磅。可以将支撑部件 106 块体视为基板 408 块体的一部分。支撑部件 406 可以是引导或稳定性结构。

[0038] 可以使根据图 4 的示例的反应块体 404 沿着垂直轴移动以根据所使用的输入信号生成振动信号。使用驱动器 412 和驱动器接口 416 使反应块体 404 以这种方式运动以使得在每个周期向支撑部件 406 施加力一次。可以将支撑部件 406 刚性地附着于基板 408 以允许经由支撑部件 406 将动能从反应块体 404 传递到基板 408。支撑部件 406 可以由能够经得住从反应块体 404 施加的力并将动能从反应块体 404 传递到基板 408 的任何有弹性的金属材料，诸如钢、合金钢、或任何适当复合材料制成。可以使用包括焊接、栓接、销连接等任何适当机械联接将支撑部件 406 刚性地附着于基板 408 上。在某些情况下，使用诸如空气袋的隔离器来将基板 408 与由振动器卡车系统和电动机引起的振动隔离开。以这种方式，

被施加给基板的基本上所有能量是使反应块体 404 往复运动的能量。

[0039] 基板 408 可以由能够支撑反应块体 404 的重量的任何有弹性的金属材料，诸如钢、合金钢、或任何适当复合材料制成。在一个实施例中，基板的重量大约是反应块体 404 的重量的一半。在一个或多个实施例中，基板的重量可以在从约 1,000 磅至约 8,000、约 2,000 磅至约 6,000 磅、或约 3,000 磅至约 6,000 磅的范围内。

[0040] 在一个实施例中，可以使用液压或电力致动升降系统将基板 408 从运输机降下并将其设置为与地表 410 接触。可以将升降系统配置为使得运输机的整体重量停放在基板 408 上，从而通常提供 60,000 磅的向下的力以便在地震振动器系统 100 处于工作状态的同时保持基板 408 与地表之间的接触。必要时，可以添加附加外部重量，以保证在地震振动器系统 100 处于工作状态的同时始终保持基板 408 与地表 410 之间的接触。

[0041] 在一个实施例中，可以将一个或多个传感器 418、420、422 设置在地震振动器系统 400 上或与之非常接近的位置以提供系统性能的实时监控。在一个实施例中，所述一个或多个质点运动 (particle motion) 传感器 418 可以包括但不限于被接近于系统 400 安装以监控由系统 400 施加给地表 410 的地面运动的单或多轴加速计、或地震检波器。在一个实施例中，一个或多个质点运动传感器 420 可以包括但不限于微机电系统 (MEMS) 传感器、具有安装在系统 400 上的适当 A/D 转换和 / 或振动传感器的模拟加速计。在一个实施例中，一个或多个位移传感器 422 可以包括激光、感应和 / 或其它类型的接近传感器以测量反应块体 404 相对于基板 408 的位移。

[0042] 可以使用传感器 418、420、422 来向控制器 424 提供输入信号。在一个实施例中，可以使用控制器 424 响应于使用传感器 418、420、422 监控的系统参数提供对诸如地震振动器系统 400 的冲程、加速度、和频率的工作变量的调节。在一个实施例中，可以使用脉宽调制来调节供应给驱动器 412 的电流以便基于地下条件使系统性能最优化。可以使用在振动器 400 工作期间获得的反馈实时地进行控制调节。

[0043] 反应块体 404 可以在工作期间沿着垂直于地表 408 的垂直轴往复运动。往复运动周期可以从反应块体与支撑部件 406 进行物理接触开始，且反应块体 404 可以在支撑部件 406 之上提高约 2″ 至 6″ (5cm 至 15cm)。在冲程顶部，在向支撑部件 406 施加能量的往复运动中使用重力、电能、机械能、或其任何组合将反应块体 404 向下加速并随后使其再次向上。往复运动将动能从反应块体 404、通过支撑部件 406 传递到基板 408。由反应块体 404 施加给基板 408 的能量形成压缩地震波 (“P 波”)，其传播到地表 410 中并从中通过。反应块体 404 行程通过一个完整的振动循环 (“循环时间”) 所需的时间确定由地震振动器系统 400 产生的地震波的频率。在一个或多个实施例中，反应块体 404 的循环时间可以在每秒约 2 至约 300 循环 (赫兹) 的范围内变化。

[0044] 用来使反应块体 404 往复运动的电功率可以是基于被施加给地表的地震波的期望频率和振幅。在一个说明性示例中，用 8,000 磅 (2985kg) 的反应块体，可以使用 25 赫兹 (即每秒 25 次循环) 的频率、约 4 英寸 (11cm) 的位移、以及反应块体 404 向支撑部件 406 施加力的点的 2G 加速度、约 270kW 的最小能量输入来使反应块体 404 运动。在本说明性示例中，反应块体 404 的往复运动将向地表 410 中施加一系列的地震波，每个包含约 5,400 英尺 - 磅 (7,000 焦耳) 的能量。

[0045] 图 5 是用于产生并向地表中传播地震能量的地震振动器系统 500 的另一非限制性

示例。可以使用所示的地震振动器系统 500 将地震剪切波（“S 波”）引入地表中。类似于图 4，地震振动器系统 500 可以包括机械地耦合到基板 508 的反应块体 504 和支撑部件 506。基板 508 在工作期间保持与地表 410 的物理接触。地震振动器系统 500 包括向驱动器 412 提供电功率的电功率发生器 414。驱动器接口 416 提供驱动器 412 与反应块体 504 之间的机械、电或电磁通信。电驱动器 412 促使反应块体 504 在工作期间沿着一个或多个轴往复运动。类似于图 4 所描绘的系统，地震振动器系统 500 还可以包括用于控制电驱动器 412 和反应块体 504 的运动的控制器 424。可以将传感器 418、420、422 结合到提供对反应块体 504 运动的控制并因此提供对系统 500 地震输出的增强控制的反馈控制电路。

[0046] 类似图 4，图 5 所描绘的系统可以包括发电机 414，在一个实施例中，其为以 300 至 400HP 功率单位驱动的 250kW、3 相发电机，用于向电驱动器 412 供应电功率。同样类似于图 4，驱动器 412 可以包括但不限于设置在反应块体 504 上或附近的旋转电动机、直线电动机、电磁设备、或其任何组合。在图 5 中描绘的系统可以包括驱动器接口 416，驱动器接口 416 包括但不限于适合于在反应块体 504 中引起往复运动的机械接口、电磁接口、感应接口、或其组合。

[0047] 类似于图 4，反应块体 504 可以由钢、合金钢、不锈钢、不锈钢合金或其它金属复合材料制成。在一个实施例中，可以使用一种或多种复合材料来制造反应块体 504。在一个实施例中，反应块体 504 可以是实心部件。在一个实施例中，反应块体 504 可以具有设置在反应块体 504 内或附近的一个或多个感应或磁性设备。在一个实施例中，反应块体 504 的重量可以最少是基板 508 的重量的两倍。在一个实施例中，反应块体 504 的重量可以是约 2,000 磅至约 15,000 磅、约 4,000 磅至约 13,000 磅、或约 6,000 磅至约 12,000 磅。

[0048] 在一个实施例中，可以使反应块体 504 在水平轴上（即沿着平行于地表的轴）往复运动，每循环向支撑部件 506 的相对侧施加力，从而向基板 508 施加横向运动。可以将支撑部件 506 刚性地附着于基板 508 上以允许经由支撑部件 506 将动能从反应块体 504 传递到基板 508。在一个实施例中，支撑部件 506 可以由能够经受住被施加于反应块体 504 的力并将动能从反应块体 504 传递到基板 508 上的有弹性的金属材料，诸如钢、合金钢、或任何适当复合材料制造。反应块体 504 可以装配有内部冷却系统、外部冷却系统、或其任何组合，以便将电或电磁驱动器 512 保持在约 0℃至约 150℃范围内的适当工作温度。在一个实施例中，可以使用包括焊接、栓接、销连接等任何机械联接手段将支撑部件 506 刚性地附着于基板 508 上。在一个实施例中，可以与基板 508 整体地制造支撑部件 506。

[0049] 基板 508 可以由能够经受住从反应块体 504 传递的能量的任何有弹性的金属材料，诸如钢、合金钢、或任何适当复合材料制造。在一个实施例中，基板 508 的重量可以约为反应块体 504 的重量的一半。在多个实施例中，基板 508 的重量可以在约 1,000 磅至约 8,000、约 2,000 磅至约 6,000 磅、或约 3,000 磅至约 6,000 磅的范围内。

[0050] 在一个实施例中，可以使用液压或电力致动升降系统将基板 508 从运输机降下并将其设置为与地表 410 接触。可以将升降系统配置为使得运输机的整体重量停放在基板 508 上，从而通常提供 60,000 磅的向下的力以便在地震振动器系统 500 处于工作状态时保持基板 508 与地表之间的接触。必要时，可以添加附加外部重量，以保证在地震振动器系统处于工作状态时始终保持基板 508 与地表 410 之间的接触。

[0051] 在一个实施例中，可以将传感器 418、420、422 设置在地震振动器系统 500 上或与

之非常接近的位置以提供对系统性能的实时监控。在一个实施例中，质点运动传感器 418 可以包括但不限于被接近于系统 400 安装以监控由系统 500 施加的地面运动的单或多轴加速计、地震检波器、或类似设备。在一个实施例中，质点运动传感器 420 可以包括但不限于安装在系统 500 上的加速计和 / 或振动传感器。在一个实施例中，位移传感器 422 可以包括激光、感应和 / 或其它类型的接近传感器以测量反应块体 504 的位移。

[0052] 在一个实施例中，可以使用传感器 418、420、422 来向反馈控制器 424 提供信号输入。在一个实施例中，使用反馈控制器来响应于地下条件而提供对地震振动器系统 500 的诸如冲程、加速度、以及频率的工作变量的调节。在一个实施例中，可以使用脉宽调制来基于地下条件准确地调节供应给驱动器 412 的电流以使系统性能最优化。可以使用在振动器 500 工作期间获得的反馈实时地进行控制调节。

[0053] 可以使用电驱动器 412 来经由驱动器接口 416 使反应块体 504 在平行地地表 410 的轴上往复运动。在一个或多个实施例中，往复运动循环可以从反应块体与支撑部件 506 进行物理接触开始。反应块体 504 可以沿着水平轴沿第一方向轴向地移位约 2″ 至 6″ (5cm 至 15cm)，使反应块体 504 与支撑部件 506 进行物理接触。然后可以使反应块体 504 沿着相同的水平轴沿与第一方向 180° 相反的第二方向加速直至反应块体 504 再一次接触支撑部件 506 为止。

[0054] 可以通过支撑部件 506 将反应块体 504 的力传递到基板 508。由于基板 508 接触地表 410，所以被施加于基板的能量建立传播通过地表 410 的剪切或 S 波。反应块体 504 行程通过一个完整往复运动循环所需的时间 (“循环时间”) 确定由地震振动器系统 500 产生的 S 波的频率。在一个或多个实施例中，循环时间可以在每秒约 2 至约 200 次循环 (赫兹) 的范围内变化。

[0055] 图 6 示出用于产生在形成地下结构的图像时使用的地球物理信息的说明性装置的另一非限制性示例。在一个或多个实施例中，地震振动器系统 600 包括反应块体 604 和被机械地连接或附着到基板 600 的支撑部件 606。基板 608 在工作期间保持与地表 410 的接触。在一个实施例中，地震振动器系统 600 可以包括直线电动机 630。在一个实施例中，一个或多个直线电动机 630 可以包括被耦合到振动器支撑结构的一个或多个定子 634 和被耦合到反应块体 604 的一个或多个电枢 612。在其它实施例中，可以将定子和转子的位置颠倒。在一个实施例中，地震振动器系统 600 包括与控制器 424 通信的传感器 418、420、422。在一个实施例中，可以使用来自控制器 424 的输出来控制直线电动机 630，从而调节由地震振动器系统 600 生成的震源信号。

[0056] 在一个实施例中，直线电动机 630 可以包括直线感应电动机 (“LIM”) 以实现感应块体 604 的高加速度。LIM 式设计可以具有形成一个或多个定子 634 的有源三相绕组和与反应块体 604 物理连接并附着于其上的一个或多个无源导体板 632。

[0057] 在一个实施例中，直线电动机 630 可以包括能够在比相当的 LIM 低的加速度下实现高速度和功率的直线同步电动机 (“LSM”)。LSM 式设计可以具有形成一个或多个定子 634 的有源绕组和与反应块体 604 物理连接并附着于其上的交替极 (alternate-pole) 磁铁阵列 632。用 LSM 式设计，一个或多个磁铁 632 可以是永磁铁或电磁铁。

[0058] 如图 6 所示，反应块体 604 可以沿着垂直于地表 410 的垂直轴往复运动。使用一个或多个直线电动机 630，在向支撑部件 606 施加能量的往复运动中，可以使反应块体 604

在中立位置之上提高约 2″ 至 6″ (5cm 至 15cm) 并使用重力、直线电动机、或其任何组合使其向下加速并随后再次向上。往复运动将动能从反应块体 604、通过支撑部件 606 传递到基板 608。由反应块体 604 施加给基板 608 的能量形成压缩地震波 (“P 波”),其传播到地表 410 中。反应块体 604 行程通过一个完整往复运动循环 (“循环时间”) 所需的时间确定由地震振动器系统 600 产生的地震波的频率。反应块体的循环时间可以在每秒约 2 至约 300 个循环 (赫兹) 的范围内变化。

[0059] 可以将传感器 418、420、422 设置在地震振动器系统 600 上或与之非常接近的位置以提供对系统性能的实时监控。在一个实施例中,设置在系统附近的质点运动传感器 418 可以包括但不限于单或多轴加速计、或地震检波器以监控由系统 600 施加的地面运动。在一个实施例中,被耦合到系统 600 的质点运动传感器 420 包括但不限于测量系统组件的运动的加速计和 / 或振动传感器。在一个实施例中,一个或多个质点运动传感器 420 可以包括但不限于微机电系统 (MEMS) 传感器、具有安装在系统 600 上的适当 A/D 转换和 / 或振动传感器的模拟加速计。位移传感器 422 可以用来测量工作期间反应块体 604 的位移或位置且可以包括激光、感应和 / 或其它类型的接近传感器。

[0060] 在一个实施例中,可以使用传感器 418、420、422 来经由反馈电路 326 向控制器 424 提供信号输入。在一个实施例中,反馈控制器可以提供一个或多个输出信号以响应于估计的工作参数来调节地震振动器系统 600 的诸如冲程、加速度、以及频率的工作变量。在一个实施例中,可以使用脉宽调制来基于地下条件调节供应给驱动器 412 的电流以使系统性能最优化。可以使用在地震振动器系统 600 的工作期间获得的反馈实时地进行控制调节。

[0061] 图 7 示出用于生成并向地球中传播震源信号的说明性装置的另一非限制性示例。根据本示例的地震振动器系统 700 包括反应块体 704、以及机械地连接到或附着于基板 708 的支撑部件 706。基板 708 在工作期间保持与地表 410 的接触。在一个或多个实施例中,地震振动器系统 700 可以包括一个或多个直线电动机 730。直线电动机 730 可以包括被耦合到振动器支撑结构的一个或多个定子 734 和与反应块体 704 物理连接并附着于其上的一个或多个电枢 732。在其它实施例中,可以将定子和电枢的位置颠倒。地震振动器系统 700 可以包括与控制器 424 通信的一个或多个传感器 418、420、422。可以使用来自控制器 424 的输出来控制电动机 730,从而调节由地震振动器系统 700 生成的震源信号。

[0062] 直线电动机 730 可以包括直线感应电动机 (“LIM”) 或直线同步电动机 (“LSM”)。可以将直线电动机 730 设置在反应块体 704 内部。在一个实施例中,可以将一个或多个定子 734 刚性地附着于还被耦合到振动器支撑结构的支撑部件 706,且可以将电枢 732 附着于反应块体 704 ;从而允许定子 734 与电枢之间的感应力使反应块体 704 沿着垂直轴振动。

[0063] 反应块体 704 的往复运动将动能从反应块体 704 通过支撑部件 706(使用时) 传递到基板 708。能量传递产生传播到地表 410 中的压缩地震波 (“P 波”)。反应块体 704 行程通过一个完整循环所需的时间 (“循环时间”) 确定由地震振动器系统 700 产生的地震波的频率。在一个或多个实施例中,反应块体的循环时间可以在每秒约 2 至约 300 次循环 (赫兹) 范围内变化。

[0064] 可以将传感器 418、420、422 设置在地震振动器系统 700 上或与之非常接近的位置以提供对系统性能的实时监控。在一个实施例中,可以将质点运动传感器 418 放置在系统 700 附近的地面上以监控由系统 700 施加的地面运动。地面传感器 410 可以包括但不限于

单或多轴加速计、或地震检波器。可以将其它质点运动传感器 420 耦合到系统 700 以便在工作期间估计振动器组件的运动。在一个实施例中，一个或多个质点运动传感器 420 可以包括但不限于微机电系统 (MEMS) 传感器、具有安装在系统 700 上的适当 A/D 转换和 / 或振动传感器的模拟加速计。可以使用位置传感器 422 在工作期间估计反应块体 704 的位置。这些位置传感器可以包括激光、感应和 / 或其它类型的接近传感器以测量反应块体 704 的位移。

[0065] 在一个实施例中，可以使用传感器 418、420、422 来经由反馈电路 426 向控制器 424 提供信号输入。在一个实施例中，控制器 424 可以提供一个或多个输出信号以响应于地下条件来调节诸如地震振动器系统 700 的冲程、加速度、以及频率的工作变量。在一个实施例中，可以使用脉宽调制来调节供应给诸如上文所讨论和图 4 所示驱动器 412 的驱动器的电流，以便基于地下条件使系统性能最优化。可以使用在振动器 700 工作期间获得的反馈实时地进行控制调节。

[0066] 根据本公开的工作方法包括使用位于感兴趣的地形上或附近的多个陆上地震振动器来生成多个震源信号。参照上文所述和图 1 ～ 7 所示的多个实施例，可以将陆上地震振动器运输到地震勘定区域。然后将用于每个振动器的基板耦合到地表上。在一个实施例中，可以以液压或电方式来升降运输机，使得运输机的重量停放在基板上。必要时，可以向运输机添加附加外部重量以便在振动器处于工作状态时始终保证基板与地表之间的牢固接触。可以在升降机构上安装安全传感器以警报在工作之前不能使基板下降或在移动运输机之前不能提升基板的故障。使用反馈控制直线电动机或通过反馈控制液压致动器沿着一个或多个轴以往复运动方式使反应块体运动。来自往复运动的反应块体的动能被传递到基板，且震源信号被传播到地球中。如上文所讨论的，可以使用反馈控制直线感应电动机或直线同步电动机或受控液压致动器来使反应块体进行往复运动。当在使用电动机实施例中，可以使用驱动接口将来自电动机的能量传送到反应块体。

[0067] 可以使用控制器来控制致动器或电动机和反应块体的运动以便产生以多个时序振动信号形式的能量，所述振动信号是作为时间的函数而划分的，其中，所述多个信号中的每一个包括区别标志，且可以根据使用放置在每个地震振动器中、上或周围的多个实施例来监控工作参数。可以经由反馈电路将表示估计的工作参数的输出信号传送到控制器，且可以使用控制器在工作期间实时地调节地震振动器的加速度、速度、力、频率、冲程或其它参数以便将总谐波失真减少并控制在约 5％或以下 THD。可以使用脉宽调制来基于观察到的地下条件实时地调节到地震振动器系统的电流流动以使系统性能最优化。

[0068] 其它实施例包括用于获取地震信息和用于处理地震信息的方法。在一个实施例中，用于地震信息获取的方法包括在感兴趣的地形中设置多个地震接收器。所述接收器用来接收如上所述地生成的多个时序振动信号，其中，振动信号被作为时间的函数而划分。每个信号包括可以在接收器处、在现场处理器处或在远离感兴趣地形的处理设备中分离的区别标志。

[0069] 在另一实施例中，用于处理地震信息的方法包括接收所记录的地震信息。所记录的信息由地震勘定产生，其中，多个地震振动器生成如上所述的信号且所述信号被地震接收器接收并记录在记录介质上。所记录的地震信息包括在振动器处且在信号被发射到地球中并已反射出地下岩层之后生成的时序振动信号。所述振动信号被作为时间的函数而划

分，其中，所述多个信号中的每一个包括区别标志。然后处理所记录的地震信息以便关于所述多个信号中的每一个来分离地震信息。

[0070] 应将本公开视为说明性的而不是限制以下权利要求的范围或性质。在研究本公开之后，许多修改和变化将变得对于本领域的技术人员来说显而易见，包括用等效功能和/或结构替代本文所述的元件、用等效功能耦合替代本文所述的耦合、和/或用等效功能动作替代本文所述的动作。应将此类非实质性修改视为在以下权利要求的范围内。

[0071] 考虑到总构思和特定实施例的以上公开，由随附权利要求来定义保护范围。不应将发布的权利要求视为限制申请人对于已公开但尚未在字面上要求权利的主题依照美国法律和/或国际条约而提交包括它们的一个或多个其它申请的权利。

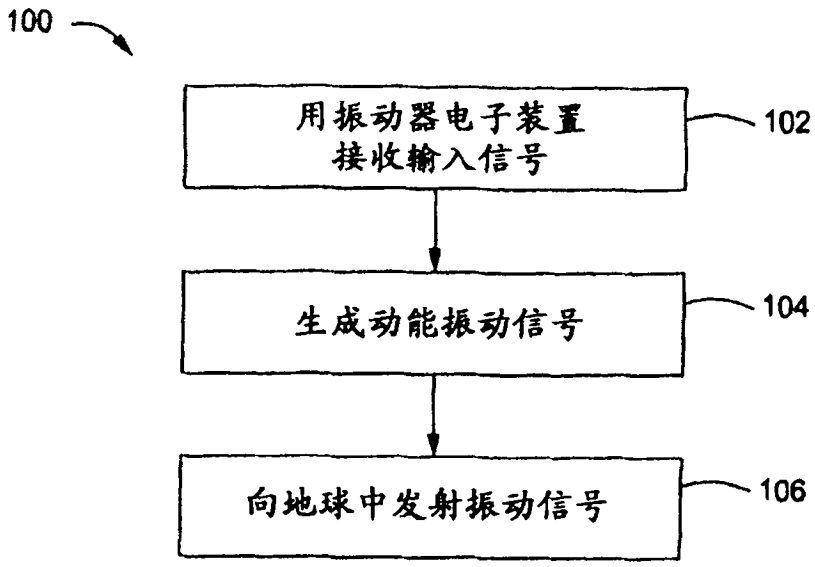

100
用振动器电子装置
接收输入信号
102
生成动能振动信号
104
向地球中发射振动信号
106

图 1

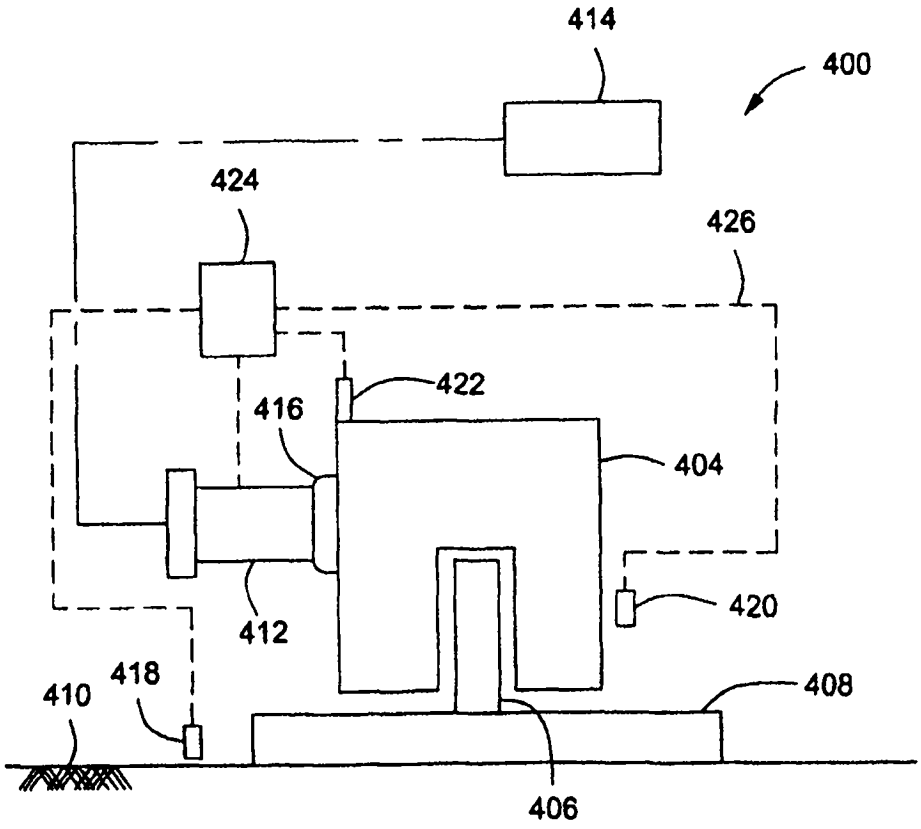

414
400
424
426
422
416
404
420
412
418
410
408
406

图 4

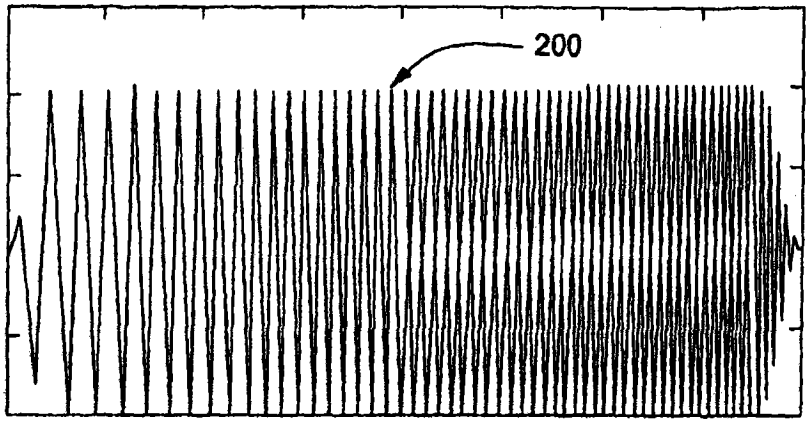


图 2A

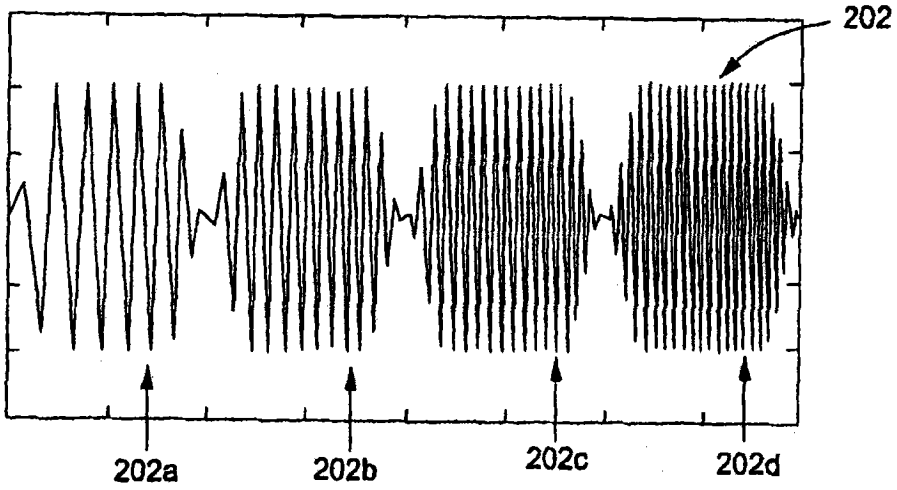


图 2B

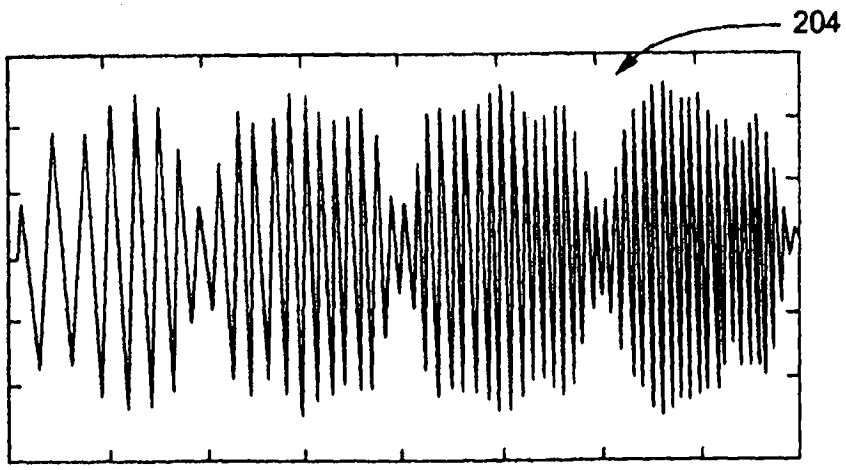


图 2C

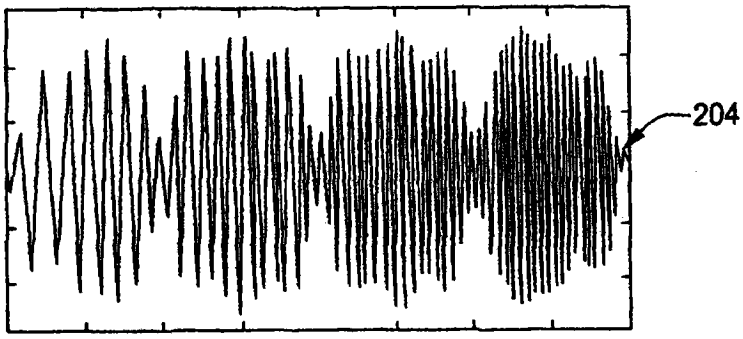


图 3A

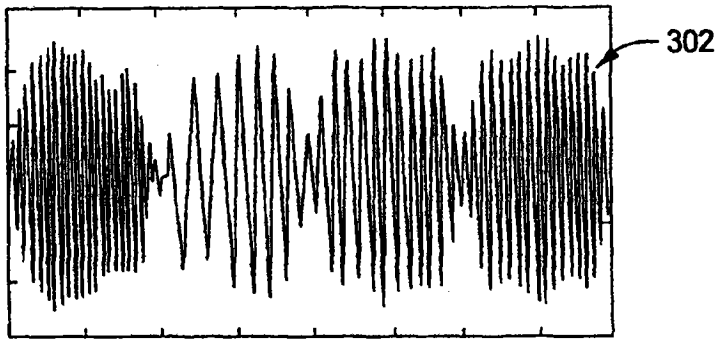


图 3B

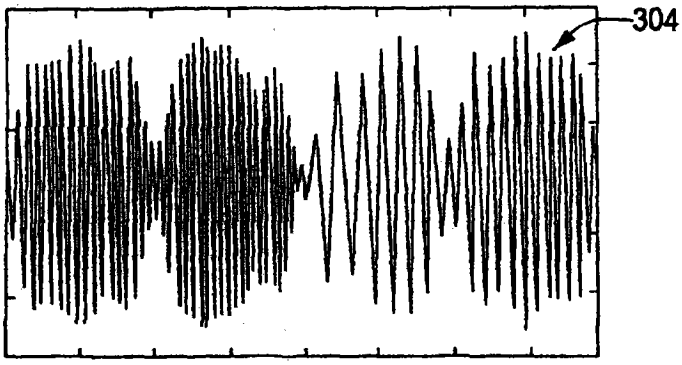


图 3C

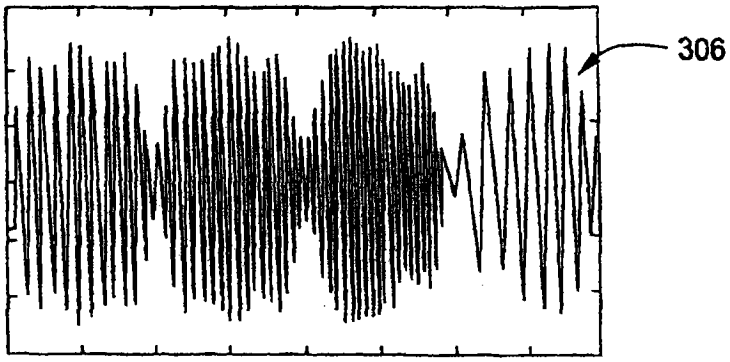


图 3D

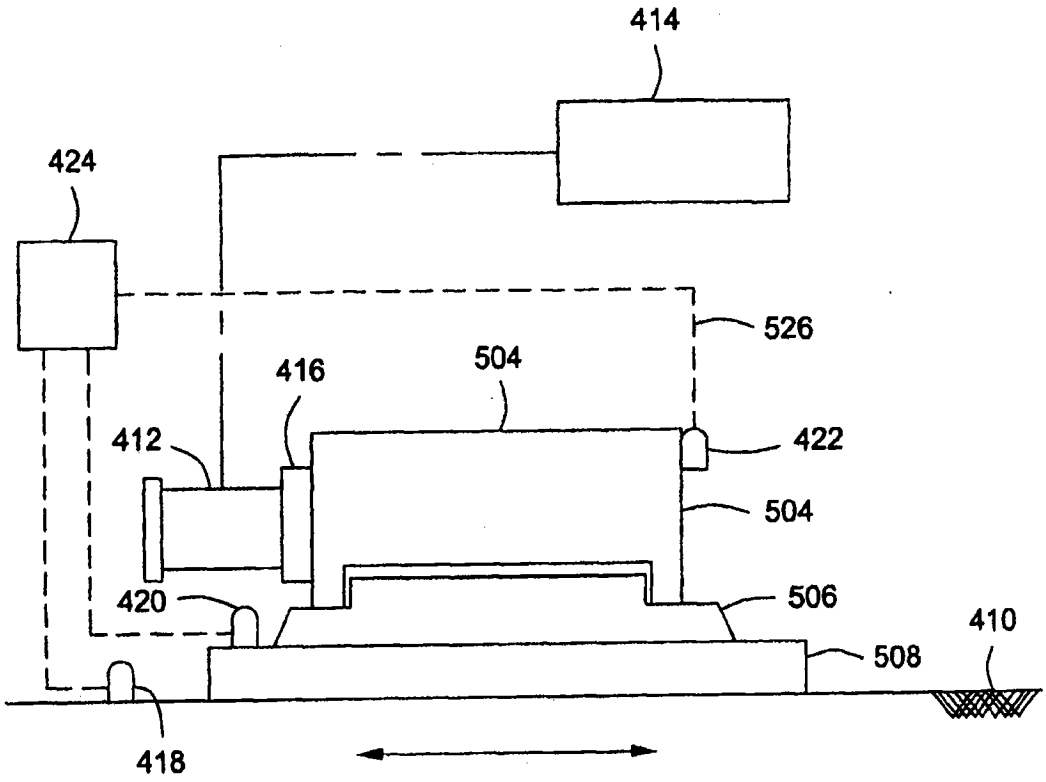

414
424
526
416
504
412
422
504
420
506
410
508
418

图 5

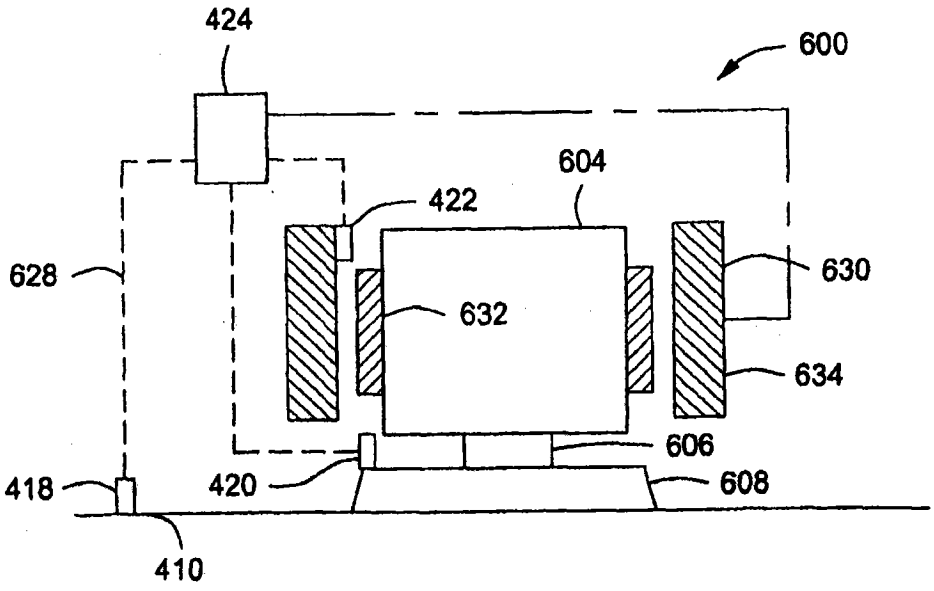

424
600
604
422
628
630
632
634
606
418
420
608
410

图 6

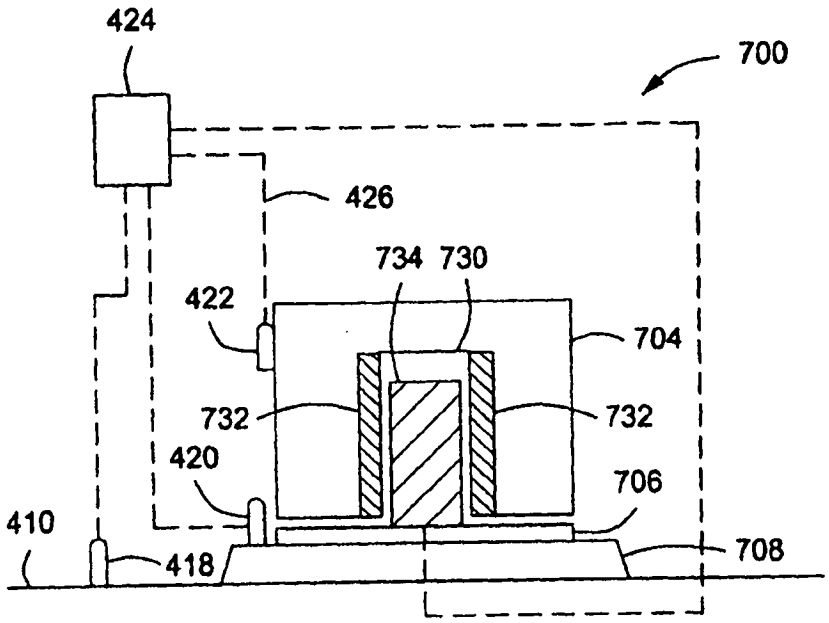


图 7