(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 106461419 A
(43)申请公布日 2017.02.22

(21)申请号 201580021177.2
(22)申请日 2015.04.16
(30)优先权数据
61/981,934 2014.04.21 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.10.21
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/026068 2015.04.16
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2015/164165 EN 2015.10.29
(71)申请人 核科学股份有限公司
地址 美国马萨诸塞州
(72)发明人 伊恩·W·汉特
乔治·C·惠特菲尔德
彼得·G·马登
(74)专利代理机构 北京市立方律师事务所 11330
代理人 王荣
(51)Int.Cl.
G01D 5/14(2006.01)
G01D 5/20(2006.01)

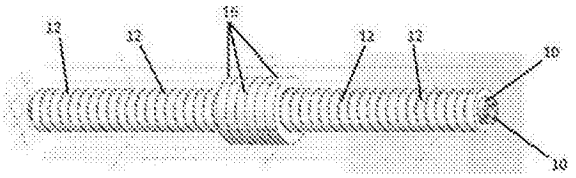
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54)发明名称

线性致动器中的感应式位置感测

(57)摘要

一种用于确定磁体组件相对于邻近导磁材料布置的感应式元件阵列的位置的方法，该方法包括：测量感应式元件阵列的一个或多个感应式元件中每一个的电特性；以及从得自感应式元件阵列的一个或多个感应式元件的测出的电特性的信息，确定磁体组件相对于感应式元件阵列的位置。



CN 106461419 A

1.一种用于确定磁体组件相对于邻近导磁材料布置的感应式元件阵列的位置的方法，所述方法包括：

测量感应式元件阵列的一个或多个感应式元件中每一个的电特性；及

从得自感应式元件阵列的一个或多个感应式元件的测出的电特性的信息，确定磁体组件相对于感应式元件阵列的位置。

2.如权利要求1所述的方法，其中所述感应式元件阵列中的感应式元件是线圈。

3.如权利要求2所述的方法，其中所述测出的电特性包括电感。

4.如权利要求2所述的方法，其中所述测出的电特性包括自感。

5.如权利要求3所述的方法，其中测量一个或多个线圈的电特性包括所述测量感应式元件阵列的一个以上感应式元件当中每一个的电感。

6.如权利要求5所述的方法，其中所述测出的电特性包括互感。

7.如权利要求1所述的方法，其中确定所述磁体组件相对于所述感应式元件阵列的位置，包括：

访问存储函数关系的数据存储元件，其中所述函数关系用于将得自所述测出的电特性的信息转化为所述磁体组件相对于感应式元件阵列的位置。

8.一种用于确定磁体组件相对于线性的线圈阵列的位置的方法，每个线圈缠绕在导磁材料周围，所述方法包括：

测量所述线圈阵列的一个或多个线圈当中每一个的电感；及

从得自所述线圈阵列的一个或多个线圈的测出的电感的信息，确定磁体组件沿所述线圈阵列的位置。

9.一种系统，包括：

磁体组件；

导磁材料；

位于磁体组件和导磁材料之间的感应式元件阵列，所述感应式元件阵列与导磁材料相邻布置；

多个电子电路，用于测量感应式元件阵列中一个或多个感应式元件的电特性；及

处理器系统，被编程为从得自一个或多个感应式元件的测出的电特性的信息确定磁体组件相对于感应式元件阵列的位置。

10.如权利要求9所述的系统，其中所述磁体组件包括永磁体。

11.如权利要求9所述的系统，其中所述感应式元件阵列中的感应式元件是线圈。

12.如权利要求11所述的系统，其中所述测出的电特性包括电感。

13.如权利要求11所述的系统，其中所述测出的电特性包括自感。

14.如权利要求11所述的系统，其中所述多个电子电路用于测量所述感应式元件阵列的一个以上感应式元件当中每一个的电感。

15.如权利要求14所述的系统，其中所述测出的电特性包括互感。

16.如权利要求9所述的系统，其中所述处理器系统包括存储函数关系的数据存储元件，其中函数关系用于将得自测出的电特性的信息转化为磁体组件的位置。

17.一种系统，包括：

导磁材料；

线性的线圈阵列，每个线圈缠绕在导磁材料周围；

永磁体组件，环绕所述线性的线圈阵列；

多个电子电路，用于测量线圈阵列中一个或多个线圈的电感；及

处理器系统，被编程为从得自一个或多个感应式线圈的测出的电感的信息确定永磁体组件相对于线圈阵列的位置。

18.如权利要求17所述的系统，还包括存储函数关系的数据存储元件，其中函数关系用于将得自所述测出的电感的信息转化为所述磁体组件相对于线圈阵列的位置。

线性致动器中的感应式位置感测

[0001] 对相关申请的交叉引用

[0002] 本申请依据35U.S.C.119(e)要求于2014年4月21日提交且标题为“Inductive Position Sensing in Linear Actuators”的临时申请序列No.61/981,934的权益，该申请的全部内容通过引用被结合于此。

技术领域

[0003] 本发明一般而言涉及电磁致动器，并且更具体而言涉及永磁体致动器，例如线性致动器。

背景技术

[0004] 其内容通过引用被结合于此的较早提交的专利申请，美国专利公开2014/0312716，描述了线性致动器。以其最简单的形式，线性致动器包括缠绕在导磁材料的磁芯周围的线圈的线性阵列和环绕线圈阵列的致动器组件。由永磁材料制成的环形磁体的线性阵列组成的致动器组件被布置成在施加到线圈的信号的控制之下沿线圈阵列的长度来回移动。通过向阵列中的线圈施加适当的信号，致动器组件的位置和运动可以被控制。

[0005] 对于这种线性致动器，能够准确地确定致动器组件相对于线圈阵列的位置是有用的。控制器可以使用这种位置信息来确定阵列中的哪些线圈要激励，以便最佳地驱动致动器组件的运动并且在期望的地方准确地重新定位致动器组件。通常，信息是通过使用安装在致动器上的传感器阵列确定的。在较早提交的申请中提到的这种传感器的两个例子是线性电位计和线性编码器。

[0006] 本申请描述了从测出的线圈的电特性确定致动器组件的位置的替代方法。

发明内容

[0007] 一般而言，在一方面，本发明的特征在于一种用于确定磁体组件相对于邻近导磁材料布置的感应式元件阵列的位置的方法，该方法包括：测量感应式元件阵列的一个或多个感应式元件中每一个的电特性；以及从得自感应式元件阵列的一个或多个感应式元件的测出的电特性的信息，确定磁体组件相对于感应式元件阵列的位置。

[0008] 优选实施例包括以下特征中的一个或多个。测量一个或多个线圈的电特性包括测量感应式元件阵列的一个以上感应式元件当中每一个的电感。感应式元件阵列中的感应式元件是线圈。测出的电特性包括电感，例如，自感和/或互感。确定磁体组件相对于感应式元件阵列的位置包括访问存储函数关系的数据存储元件，其中函数关系用于将得自测出的电特性的信息转化为磁体组件相对于感应式元件阵列的位置。

[0009] 一般而言，在另一方面，本发明的特征在于一种用于确定磁体组件相对于线性的线圈阵列的位置的方法，每个线圈缠绕在导磁材料周围，该方法包括：测量线圈阵列的一个或多个线圈中每一个的电感；以及从得自线圈阵列的一个或多个线圈的测出的电感的信息，确定磁体组件沿线圈阵列的位置。

[0010] 一般而言，在还有另一方面，本发明的特征在于一种系统，包括：磁体组件；导磁材料；位于磁体组件和导磁材料之间的感应式元件阵列，所述感应式元件阵列与导磁材料相邻布置；多个电子电路，用于测量感应式元件阵列中一个或多个感应式元件的电特性；以及处理器系统，被编程为从得自一个或多个感应式元件的测出的电特性的信息确定磁体组件相对于感应式元件阵列的位置。

[0011] 优选实施例包括以下特征中的一个或多个。磁体组件包括永磁体。感应式元件阵列中的感应式元件是线圈。测出的电特性包括电感，例如，自感和/或互感。多个电子电路用于测量感应式元件阵列的一个以上感应式元件当中每一个的电感。处理器系统包括存储函数关系的数据存储元件，其中函数关系用于将得自测出的电特性的信息转化为磁体组件的位置。

[0012] 一般而言，在还有另一方面，本发明的特征在于一种系统，包括：导磁材料；线性的线圈阵列，每个线圈缠绕在导磁材料周围；永磁体组件，环绕线性的线圈阵列；多个电子电路，用于测量线圈阵列中一个或多个线圈的电感；以及处理器系统，被编程为从得自一个或多个感应式线圈的测出的电感的信息确定永磁体组件相对于线圈阵列的位置。

[0013] 本发明的一个或多个实施例的细节在附图和以下描述中阐述。本发明的其它特征、目的和优点将从说明书和附图以及从权利要求书显而易见。

附图说明

[0014] 图1示出了线性致动器。

[0015] 图2通过横截面更详细地示出了图1的线性致动器中的线圈和磁体的布置。

[0016] 图3是单个线圈的电感与其沿图1中所示线性致动器的位置之间的关键函数关系的例子。

[0017] 图4是单个线圈的测出的电感与其在沿图1中所示线性致动器的各个点处的位置之间的关键函数关系的例子。

[0018] 图5示出了线圈阵列中的各个线圈相对于第一线圈的互感和位置之间的关键函数关系的示例集合。

[0019] 图6是用于测量单个线圈的自感的电路的框图。

[0020] 图7是用于测量线圈阵列内线圈的互感测量的电路的框图。

[0021] 图8是用于测量线圈阵列内任何线圈的自感和线圈阵列内任何数量的线圈之间的互感的电路的框图。

[0022] 图9示出了磁体位置-测量系统的多维(例如，二维)实现。

[0023] 应当指出的是，附图中相同的部件和特征可以由相同的标号识别。

具体实施方式

[0024] 本文所述的实施例包括利用一组电线圈和一定数量的导磁材料(例如，铁或钢或Mu金属)确定磁体或磁体阵列的位置的方法和系统。

[0025] 被用来示出本文描述的技术的具体例子是线性致动器，其包括沿圆柱形铁芯线性布置的一组电线圈，其中磁体或磁体阵列被约束为平行于并沿着磁芯和线圈移动，如图1中所示。(进一步的例子在已经通过引用被结合于此的美国专利公开2014/0312716中更全面

地描述)。

[0026] 更具体而言,线性致动器包括由例如为与空气相比而言相对高的磁导率以及低矫顽力的诸如铁或钢或Mu金属的软铁磁材料制成的具有两个片段的分割磁芯10。两个磁芯片段是圆筒的一半,当其并排放置时,形成具有沿磁芯的纵轴延伸的中空中央磁芯区域11的圆筒。

[0027] 组装到磁芯10上的是彼此相邻布置的完全相同的线圈12的层叠,以形成线性的线圈阵列。它们是相邻的,因为它们彼此邻接,或者接触或者隔开小的距离。在这个例子中,线圈全都具有相对于磁芯的相同朝向,即,它们关于磁芯在相同的方向被缠绕。但不一定需要这样;取决于设计需求,缠绕方向可以交替或者按某个其它次序布置。

[0028] 布置在线性的线圈阵列上的是形成磁体阵列的环形磁体16(即,环状磁体)的层叠。在所描述的实施例中,这个磁体阵列由六个相邻布置的环形磁体16层叠组成。每个环形磁体同轴布置并环绕在线圈阵列上。这个磁体阵列被机械地保持在一起,以形成能够响应于由施加到底层线圈的电流强加到磁体阵列上的力而沿线圈阵列(和磁芯)的长度来回移动磁体组件(或致动器组件)。即,它相对于线圈阵列可移动地安装,其中可移动地安装意味着覆盖其中如果阵列和磁芯保持固定则磁体阵列能够沿线圈阵列和磁芯移动的情况,以及其中如果磁体阵列保持固定则线圈阵列能够相对磁体阵列移动的情况。

[0029] 是永磁体的环形磁体16,例如像钕-铁-硼磁体的稀土磁体,具有布置成如图2中所指示的极性,以实现类似于由Halbach阵列实现的结果。更具体而言,图2中所示的六个环形磁体16被布置来增大在磁体阵列的一侧(即,在线圈中)的磁场,同时减小在磁体阵列的另一侧的磁场。六个环形磁体被布置成形成两个磁路,即,两个磁场环路。顶部的三个环形磁体形成第一磁路并且底部的三个环形磁体形成第二磁路。

[0030] 在第一磁路中,最上面的环形磁体中的磁场向内径向定向;中间环形磁体中的磁场向上定向并且平行于线圈阵列的轴;而最下面的环形磁体中的磁场向外径向定向。三个环形磁体形成一个单个磁路,其功能是减小(例如,部分地抵消)磁体阵列外部的磁场,然而增强磁体阵列内部的磁场。它是单个磁路,因为磁体的布置生成形成一个环路的磁场。

[0031] 应当指出的是,底部回路中磁体极性的布置是顶部回路中磁体极性的布置的镜像(即,相对于与线圈阵列的轴垂直的平面的镜像)。在这种六磁体构造中,磁矩在致动器组件的中心的两个环宽度上方相同的方向径向定向。这增加了与线圈电流垂直的径向定向的磁场在其上方生成的线圈阵列的连续区域。

[0032] 当然,线性致动器可以利用单个磁路或两个以上的磁路来构成。

[0033] 当电流被施加到位于由磁性组件环绕的线圈阵列的区域中的线圈12时,该线圈内的周向电流和由磁体组件产生的径向磁场的相互作用生成平行于线圈阵列的纵轴的力向量(Lorentz力)。取决于电流的极性和磁场的方向,这将使磁体组件在一个方向或另一方向沿组件的纵轴移动。

[0034] 在所述实施例中,每个线圈的宽度(即,沿着致动器的线性运动轴线从一侧到另一侧的维度)等于阵列中的环形磁体沿着相同轴的宽度。换句话说,线圈和磁体具有相等的周期。因此,当一个环形磁体与相邻线圈对齐时,所有其它环形磁体也都与对应的相邻线圈对齐。但是,这不是必要条件。线圈可以具有与环形磁体不同的宽度。例如,已经发现,当提到驱动线圈来控制磁体组件的运动时,选择线圈宽度的1.5倍的磁体环宽度(即,两个磁体环

跨线圈阵列中的三个线圈)可以具有优点。

[0035] 在这种布置中的电线圈12具有自感和互感。我们可以写：

[0036] $$V_j = M_{jk}\frac{dI_k}{dt} \qquad (1)$$

[0037] 其中V_j是第j个线圈上的电压，I_k是第k个线圈中的电流，并且M_{jk}是互感阵列。应当指出的是，对于k＝j，M_{jj}是第j个线圈的自感。互感阵列的元素M_{jk}取决于线圈的几何形状、线圈的位置以及在线圈之间和周围的磁导率的大小。

[0038] 铁芯10具有非线性磁导率。如果由磁体感应出的场足够强，则当磁体非常接近时，磁芯的磁导率将改变。这种磁导率变化将改变电感M_{jk}。因此，电感M_{jk}是磁体或磁体阵列的位置的函数：

[0039] $$M_{jk} = M_{jk}(\vec{x}) \qquad (2)$$

[0040] 其中$\vec{x}$是磁体的位置。一般而言，$\vec{x}$是3D空间中的向量。对于我们正在讨论的磁体或磁体阵列，我们可以写：

[0041] $M_{jk}＝M_{jk}(x)$ (3)

[0042] 因为位置将仅沿着一个维度变化。

[0043] 当磁体/磁体阵列移动时，自感和互感的变化被用来测量磁体的位置。一旦已经测出了电感的所有子集，就可以找到位置x的最佳估计。

[0044] 以全矩阵形式写出等式(1)会是有用的：

[0045] $$V_j = M_{jk}\frac{dI_k}{dt} \qquad (4)$$

[0046] $$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & \cdots & M_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{n1} & \cdots & M_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dI_1}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dI_n}{dt} \end{bmatrix}$$

[0047] 一般而言，为了确定所有的电感M_{jk}，必须测量所有的电流I_k和电压V_j。如果仅一个线圈承载电流(激励线圈)并且所有其它线圈电流都为零，则等式被简化。在那种情况下，

[0048] $$\begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{1k} & \cdots & M_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dI_k}{dt} \end{bmatrix} \qquad (5)$$

[0049] 因为对于j≠k，$\frac{dI_j}{dx} = 0$。如果测出的电压被过滤(例如，带通过滤)，则电流在通带频率范围内为零就足够了。如果限定了电流与电压的关系(例如，如果附连到线圈的阻抗是恒定的)，则产生另一简化。在那种情况下，等式(5)仍然成立，但M_{jk}不是真正的电感，而是表观的或有效的电感。

[0050] 值得指出的是，在深入研究细节之前，使用自感和/或互感来确定位置的方法包括以下关键要素：

[0051] 1.通过在将被测量的距离范围上的空间分布的电感器阵列，每个电感器包括与其它电导体隔离并且靠近导磁材料(诸如在线圈的磁芯的铁)的导电材料(诸如缠绕成线圈的

铜线)。

[0052] 2.永磁体的组件,其发射足够高密度的磁通量,以在保持紧密靠近时改变包含在每个电感器内或邻近每个电感器的大量的导磁材料的磁导率。

[0053] 3.能够测量电感器的阻抗、互感和/或自感的电路系统。

[0054] 图1和2中所示的线性致动器拥有三个关键要素中的前两个。但是,如后面将变得更清楚的,除了线性致动器之外还存在许多也拥有这些关键要素并且自感和互感测量可被用来执行位置测量的其它布置。

[0055] 为了执行位置测量,允许磁体组件沿横穿电感器的分布范围的方向移动,同时被约束为保持足够接近以改变磁芯的磁导率。磁体组件被定向成使得从组件发射的磁通量的路径大部分穿过靠近磁体组件的一个或多个电感器内的导磁材料。

[0056] 基于自感的位置测量

[0057] 前面对电感的讨论主要应用于电感器的“自感”。但是,该测量方法可以容易地被推广到互感,如将在后面部分中解决的。

[0058] 当来自磁体组件的足够大的磁通量进入电感器内的大量的可渗透材料时,可渗透材料将开始饱和,即,其磁导率将朝着自由空间的理论上的最小磁导率开始减小。电感器中的导磁材料的磁导率的减小导致电感器的电感的减小,如可以通过附连的电路系统测量的。电路系统被用来随时间的推移测量电感器的电感,并且当观察到任何电感器的电感减小时,就知道紧邻那个特定的电感器的磁体组件。通过重复测量阵列内多个电感器的电感,可以通过指出表现出电感降低低于其原始值的任何电感器的物理(空间)位置来推断磁体组件的位置,如在磁体组件的存在之外所观察到的。作为替代,电路系统可以测量阻抗(幅度和相位)的变化,因为实际线圈将既有电阻又有电感特性。

[0059] 用于在电感器阵列的距离范围上计算磁体组件的位置的方法一般考虑由多个电感器执行的测量。当磁体组件的磁通路径从阵列中的一个电感器(电感器A)附近逐渐移动到另一个电感器(电感器B)时,电感器A的电感将增加,而电感器B的电感将减小。一般而言,取决于阵列内的电感器与磁体组件的相对尺寸和位置,当磁体组件的位置变化时,电感的逐渐变化可以在两个以上电感器中被观察到。因此,在足够接近以便受磁体组件运动影响的位置中的每个电感器的电感(或阻抗)的相对值的分析可以对位置的确定贡献信息。

[0060] 为了从在多个线圈上进行的测量确定位置,应当考虑被磁体组件影响的多个线圈的相对电感。指出两个方面是重要的。首先,任何这种(靠近磁体组件的)电感器的电感将拥有作为磁体组件相对于那个电感器的位置的函数变化的电感的已知值。第二,磁体组件的位置不能仅从在单个电感器上测出的电感获知,因为在这种情况下,存在两个将导致电感的这种值的磁体组件可以位于的对称位置(在阵列中的电感器的任一侧上)。因此,位置的清楚确定需要被磁体组件的影响(从磁体组件接收大量的磁通量)的至少两个电感器的测量。

[0061] 但是,应当指出的是,如果提供替代方式以解决磁体组件的位置的模糊性,则单个线圈的测量可能就足够了。一种这样的方式是在下一次测量之前记住磁体组件的位置(即,保留其运动的历史)。或者,作为替代,使用另一个更粗略的传感器装置粗略地定位其位置。

[0062] 在任何情况下,磁体组件的位置都将产生每个电感器的电感的已知值,作为每个电感器相对于磁体组件的位置的函数。如图3中所绘出的,这个一般关系可以被可视化为电

感器的电感(Y轴,以亨利为单位)相对于那个电感器相对于磁体组件的位置(X轴,以米为单位)的连续曲线图。这种关系将被称为关键函数关系。这种已知关系可被用来实际上将曲线拟合到在电感器上进行的测量,使得可以确定磁体组件的位置。作为替代,关键函数关系可以在阻抗(幅度和相位)和电感器相对于磁体组件的位置之间测量。

[0063] 应当指出的是,图3给出了用于其中在磁体组件中有六个磁体的实施例的关键函数关系,其中磁场如图2中所指示的那样布置。此外,阵列中的磁体沿纵轴线具有相同的长度,如同线圈那样(即,它们具有相同的周期)。

[0064] 一般而言,两个或更多个电感器中的多个可以充分靠近磁体组件,以在磁体组件移动时感应电感的变化。然后,可以在图上相对于每个电感器的物理位置(X轴,以米为单位)绘制每个电感器的测出的电感(Y轴,以亨利为单位)(测量数据)。然后,利用非线性误差最小化技术(例如,诸如Levenberg-Marquardt)(参见图4),这种测量数据可以被拟合到电感和位置之间(或阻抗和位置之间)的前述关键函数关系。在将关键函数关系拟合到测量数据的一种特定方法中,关键函数关系的X轴偏移(空间变量,以米为单位)是不受约束的,并且在误差最小化期间自由变化。在拟合到测量数据时,关键函数关系的X轴的增益、Y轴的偏移和Y轴的增益全都应当保持为恒定值。以这种方式,一旦拟合完成,X轴偏移(无约束的拟合参数)就将被确定处于等于磁体组件相对于底层电感器阵列的位置变化的值。

[0065] 基于互感的测量方法

[0066] 基于自感的测量方法可以容易地推广到线圈之间的互感的测量,以便估计磁体组件的位置。在互感的情况下,我们现在分析一组关键函数关系的集合,而不是分析磁体组件的位置和每个单独电感器的自感之间的单个关键函数关系,其中集合的每个元素包括系统中两个电感器的互感与磁体组件的位置之间的函数关系。一般而言,关键函数关系的集合可以由互感矩阵M_{ij}描述,其中矩阵的每个元素可以作为磁体组件的位置函数而改变。这个矩阵的大小是总共$N\times N=N^2$个元素,其中N是系统中电感器的数量。

[0067] 在实践当中,磁体组件的位置可以从远小于N×N矩阵M_{ij}中的元素总数当中可靠地测量。当正弦电流施加到系统中的单个电感器(例如,在电感器阵列的极值处)并且作为响应所有其它元素的电压都同时被测量时,N×N矩阵沿矩阵行M_{i0j}简化为N元件向量,其中i_0是利用电流激励的电感器的索引。

[0068] 这种函数关系的简化集合的例子在图5中给出。该图在x轴上示出了磁体组件相对于固定参考点的位置,其中固定参考点在这种情况下被指示为线圈1的位置。y轴显示线圈1和第二线圈之间的互感,其随着磁体组件的位置改变而改变。互感关系为与几个附加线圈(线圈2、线圈3、线圈4和线圈5)相互作用的线圈1示出。重要的是指出线圈1和每个其它线圈之间的互感变化的斜率在沿着磁体组件的位置的不同位置达到顶峰。通过将关键函数关系的集合考虑在一起,能够以比可从单个互感关系获得的准确度更高的准确度来估计位置。为了实现这一点,位置估计算法将对每个互感关系中高斜率的区域给予更大的权重,以最大化位置估计的可靠性。

[0069] 用于最大信噪比的测量加权函数的选择

[0070] 当电感器足够远离磁体组件以响应于磁体组件的位置变化而感应可忽略的电感变化时,它们可以有效地从包括在测量数据中的数据点的数量中被省略并且在其拟合到关键函数关系期间被使用。在实践当中,为了在拟合中包括的数据点和从拟合中省略的数据

点之间创建更平稳的过渡，可以使用加权函数，基于电感的每个值与其在磁体组件的影响之外的值的绝对偏差，加权函数向每个电感测量分配相对权重，因为它有助于拟合。当电感器的电感被观察到更接近当电感器在磁体组件的影响之外时通常观察到的电感值(即，其最大电感水平)时，其在拟合计算中的权重应当更低。一般而言，必须指定加权函数，以最大化测量系统的信噪比。

[0071] 此外，已知当电感器充分靠近磁体组件并且因此变得完全饱和时，在关键函数关系中存在相对低的斜率(穿过零)。这个最小(零)斜率点与在关键函数关系中已知的最小电感水平相关。因此，在这个最小电感水平使用的加权函数的值也应当低。因而，加权函数应当在如前所述的关键函数关系的最小和最大电感水平之间的值处达到顶峰，并且与关键函数关系中的最大斜率的位置相关。在一般情况下，如果磁体组件产生复杂磁场，则电感(或阻抗)和位置之间的关系可以具有多个静止点，在这些点，位置相对于电感(或阻抗)的斜率对于单个线圈为零。加权函数也应当在这些位置给出相对低的加权。在实践当中，加权函数可以在所有点与关键函数关系的斜率相关：在磁体组件的影响范围之外和在静止点处，电感变化缓慢并且加权函数应当小。在电感快速变化的其它点，加权函数应当更高。

[0072] 在高电流条件下的位置测量

[0073] 作为来自所述方法的非理想性并且尤其是在通过阵列中任何电感器的高电流电平，由流经电感器的电流感应出的磁通本身可以使导磁材料饱和。在这种情况下，外部施加的电流和线圈电感之间的关系将在关键函数关系(3D)中变成另一维度。因此，在这种情况下，关键函数关系(3D)可以在概念上被可视化为线圈电感(Z轴，以亨利为单位)相对于磁体组件和线圈之间的相对位置(Y轴，以米为单位)以及在外部施加到线圈的电流幅度(X轴，为安培为单位)的三维图。可以类似地应用为在控制系统中使用而适当地进行计算优化的非线性拟合方法，以便从关键函数关系(3D)确定位置，因为到测量数据(3D)的拟合现在包括测出的电感和测出的(或已知的)外部施加的电流。

[0074] 在电压波动存在时的位置测量

[0075] 作为系统中的进一步非理想性，跨线圈的电压的任何波动都会影响那个线圈的电感的测量。特别地，磁体组件跨每个电感器的运动将由于其反电动势而感应出电压。但是，可以(根据先前的位置测量)估计移动的磁体组件的速度，并且那个速度估计可以继而被用来估计由紧密接近移动的磁体组件的线圈的反电动势(也由先前的位置测量确定)感应出的电压。通过确定每个线圈的依赖速度的电压，可以从在每个线圈上测出的实际电压中减去该电压，以确定在没有反电动势的情况下跨每个线圈的电压的估计。

[0076] 作为另一种方法，为了从电感的测量减少不想要的电压波动，可以使用频率过滤器。频率过滤器被应用到测出的电压，使得仅测量在以足够接近所施加的电流的频率的频率波动的电压。在这种情况下，用于跨每个线圈j的电压的等式可以写为：

[0077] $$V_j(f) = M_{ij}\frac{dI}{dt} = M_{ij}2\pi I_0 cos(2\pi f t)$$

[0078] 只要除了线圈i之外没有线圈携带任何电流，这就是有效的。

[0079] 自感测量

[0080] 为了确定处于扰动频率的线圈的阻抗，跨每个线圈的电压可以经受周期性扰动并且电流被测量(或者反之亦然)。给定线圈的假设的等效电路模型(例如，串联L-R电路)，可

以从已知的阻抗和频率来估计线圈的电感。可以在一定范围的频率上扫描周期性扰动，以便增加从假设的等效电路模型对电感估计的准确度，如在阻抗谱和傅里叶分析的其它应用中通常所做的那样。作为替代测量方法，还可以分析非周期信号的时间或频率域(变换)响应，以提取等效电路电感。

[0081] 用于单个线圈的自感测量电路100的框图在图6中示出。它包括将电流驱动到线圈104的电流源102、用于测量跨线圈104的结果电压的电压测量电路系统106，以及用于解释结果的处理器单元108，其中处理器单元108分别经由数模转换电子器件110和模数转换电子器件112连接到电流源102和电压测量电路系统106。处理器单元108还包括存储被用来将电感测量转化成致动器组件沿线圈阵列的精确位置的关键函数关系的数据存储器(data storage)或内存(memory)109。关键函数关系可被存储为函数或数据表或以其它已知的有用形式。

[0082] 自感测量电路100可以被复制，以便测量线圈阵列中每个线圈的自感。

[0083] 互感测量

[0084] 为了测量互感，一种方法包括将正弦电流施加到单个线圈。在那个频率在其它线圈中感应出的电压V是互感M_{ij}的函数：

[0085] $$V_j = M_{ij}\frac{dI}{dt}$$

[0086] 其中I是电流，j是电压正在被测量并且电流被施加到线圈i的线圈编号。为了使这个等式有效，除线圈i之外的所有线圈中的电流必须为零。

[0087] 测量线圈130(1)-(n)的阵列130的互感的系统的示例框图在图7中示出。在所示的例子中，电流源122向线圈阵列中的其中一个线圈130(1)施加电流，并且电压测量电子器件106测量系统中跨多个其它线圈130(2)-(n)的电压。被施加和测量的所有信号都由分别经由数模转换电子器件110和模数转换电子器件112连接到电流源102和测量电子器件106的一个或多个处理器电路132控制和分析。处理器电路132还包括存储被用来将电感测量转化成致动器组件沿线圈阵列的精确位置的关键函数关系的数据存储器或内存133。关键函数关系可被存储为函数或数据表或以其它已知的有用形式。

[0088] 一般而言，有可能通过跨所有线圈的(利用驱动电流的)同时激励和(电压的)测量来测量所有线圈之间的互感，由此在单个测量中填充用于所有i和j的整个互感矩阵M_{ij}。

[0089] 其中有可能测量任何线圈的自感和任何数量的线圈132(1)-(n)之间的互感的系统的框图在图8中示出。它包括电子电路系统140，以从阵列130中的任何线圈启动待施加的电流(102)和待测量的电压(106)。这些驱动和测量电子器件通过模数转换电子器件112和数模转换电子器件110连接到一个或多个处理器电路132。一个或多个处理器电路132还包括存储被用来将电感测量转化成致动器组件沿线圈阵列的精确位置的数据存储器或内存133。

[0090] 在图6-8中所示的电路中，处理器电路被编程为从测出的电流和电压计算线圈的相关电特性(例如，阻抗、自感和/或互感)，然后通过使用预定的、所存储的用于线圈的关键函数关系分析计算出的相关特性来确定磁体组件的精确位置。

[0091] 高阶互感效应

[0092] 作为系统的又一非理想性，第一线圈的测出的阻抗将受到由于互感项而引起的第

二附近线圈的阻抗的变化的影响。例如，如果电流通过诸如H桥的开关电路被驱动通过第二线圈，则H桥的变化的阻抗将影响测出的第一线圈的阻抗。特别地，外部驱动电路的阻抗可以影响第一线圈的测出的电感。第一线圈施加的电流和测出的电压之间的关系变为另一个维度的函数：连接到其它线圈的阻抗。

[0093] 实现约束

[0094] 在实践中，被用来将测量数据拟合到关键函数关系的非线性最小化技术必须在计算上进行优化并被确定为足够快速地并且在可用的计算资源内执行，以便当集成在闭环电气/机械控制系统中时是有用的。

[0095] 为了精确地定位磁体组件，可以连续地测量所有线圈的电感。但是，这将是过度的，因为只有其电感受磁体组件的接近性影响的线圈才是真正相关的。线圈离磁体组件越远，确定磁体组件的位置就越不重要。实际上，当线圈远离磁体组件移动时，线圈很快就变得不相关。因此，可以仅选择所有线圈的一个子集包括在电感测量中。那个子集可以通过大致知道磁体组件沿线圈阵列定位的位置(存储关于磁体组件的运动的历史信息)或通过使用其它传感器装置来确定。

[0096] 在所描述的实施例中，线圈被布置在线性阵列中。但不一定需要这样。本文中描述的技术可以用在线圈的许多其它布置中，包括沿曲线或围绕圆圈或沿某个其它一维几何形状排列的线圈。

[0097] 在所述实施例中，线圈环绕导磁材料(缠绕在其周围)。但是本文描述的技术可适用于其它几何形状和其它感应式元件。线圈不需要缠绕在导磁材料周围；它可以仅仅是接近导磁材料。此外，线圈可以布置在多维(例如，二维)阵列中，如图9中所指示的。在那种实施例中，存在位于导磁材料154的平板上方的线圈150(x,y)的阵列。在这个特定的例子中，线圈被布置在矩形2-D阵列中，在线圈之间具有相等的间隔，但是其它布置可以被容易地想到。永磁体152在线圈阵列上方并且能够被移动到在线圈阵列上方并且平行于线圈阵列的2-D场内的任何位置。与上述相同的原理应用于这个系统，以通过测量线圈阵列中一个或多个线圈的电感来确定2-D场中(以及相对于线圈阵列)的精确位置。

[0098] 这种布置中(以及任何其它布置中)的关键考虑是，感应式元件的电感受附近材料的磁导率变化的影响，因为当它紧靠时，它被永磁体饱和。此外，如果感应式元件是线圈，则线圈可以是其电感受附近材料的磁导率变化的影响的线或迹线或导电材料的任何构造(例如，线或导电迹线的平坦蛇形布置)。

[0099] 其它实施例在以下权利要求书之内。

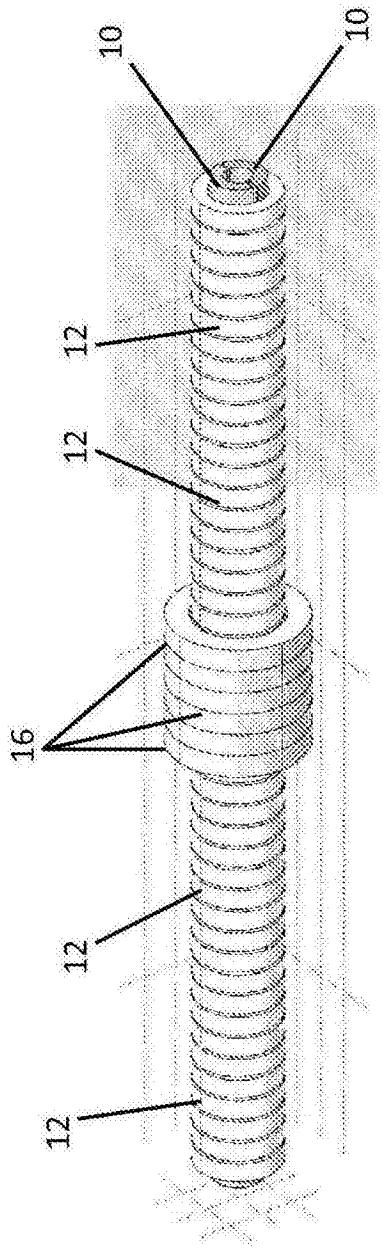


图1

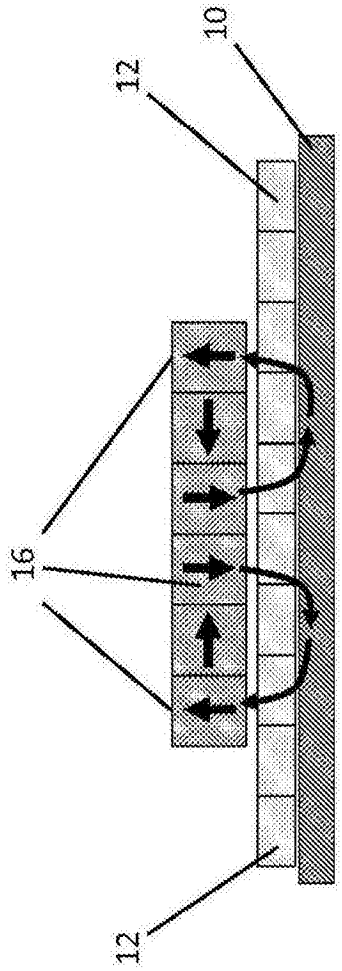


图2

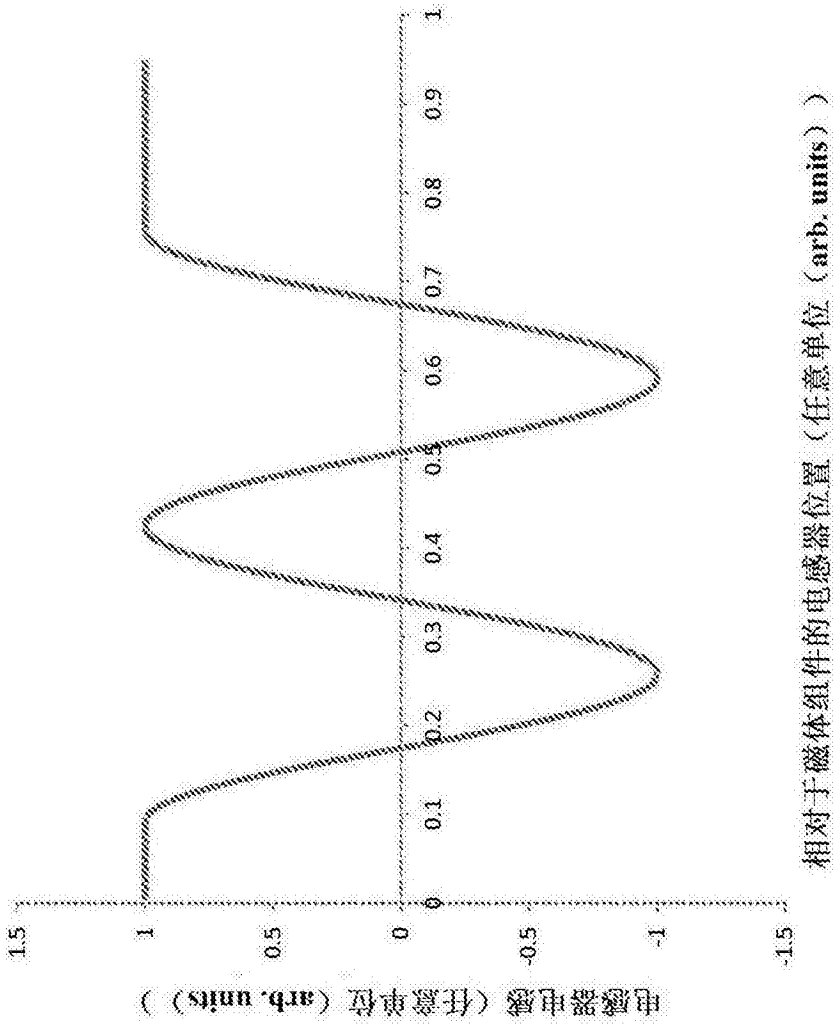

电感器电感（任意单位（arb. units））
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
相对于磁体组件的电感器位置（任意单位（arb. units））

图3

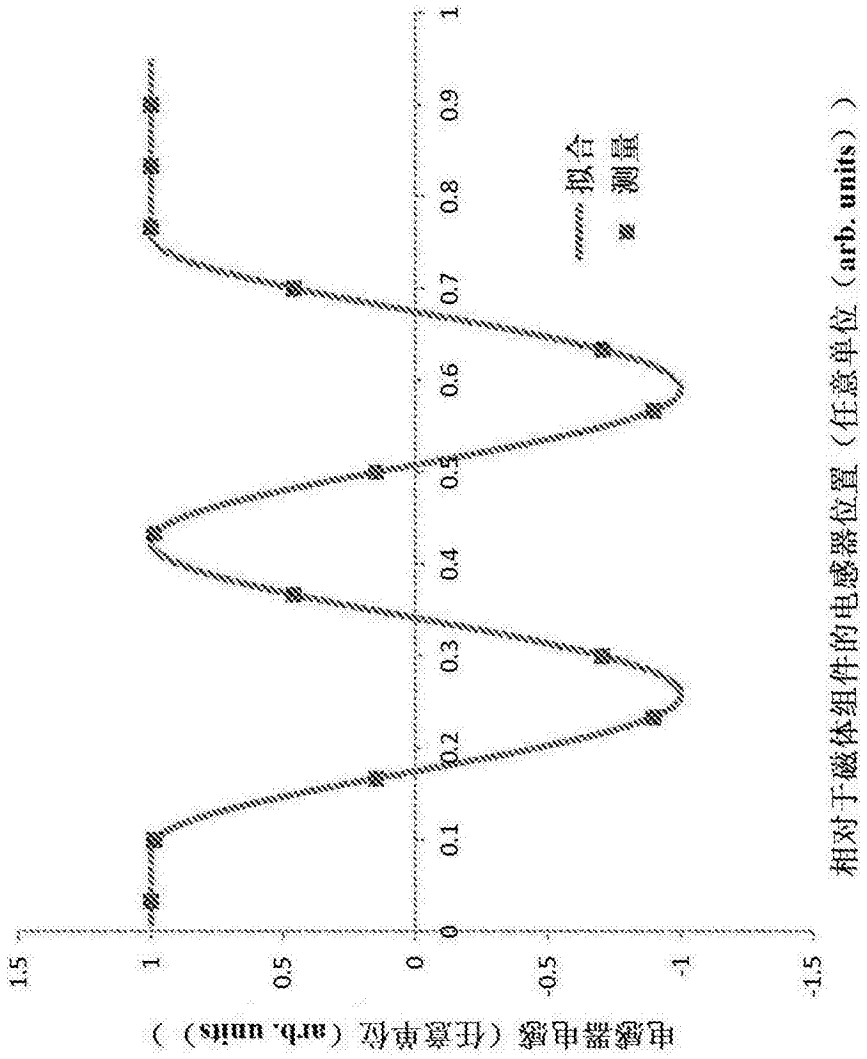

电感器电感（任意单位（arb. units））
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
拟合
测量
相对于磁体组件的电感器位置（任意单位（arb. units））

图4

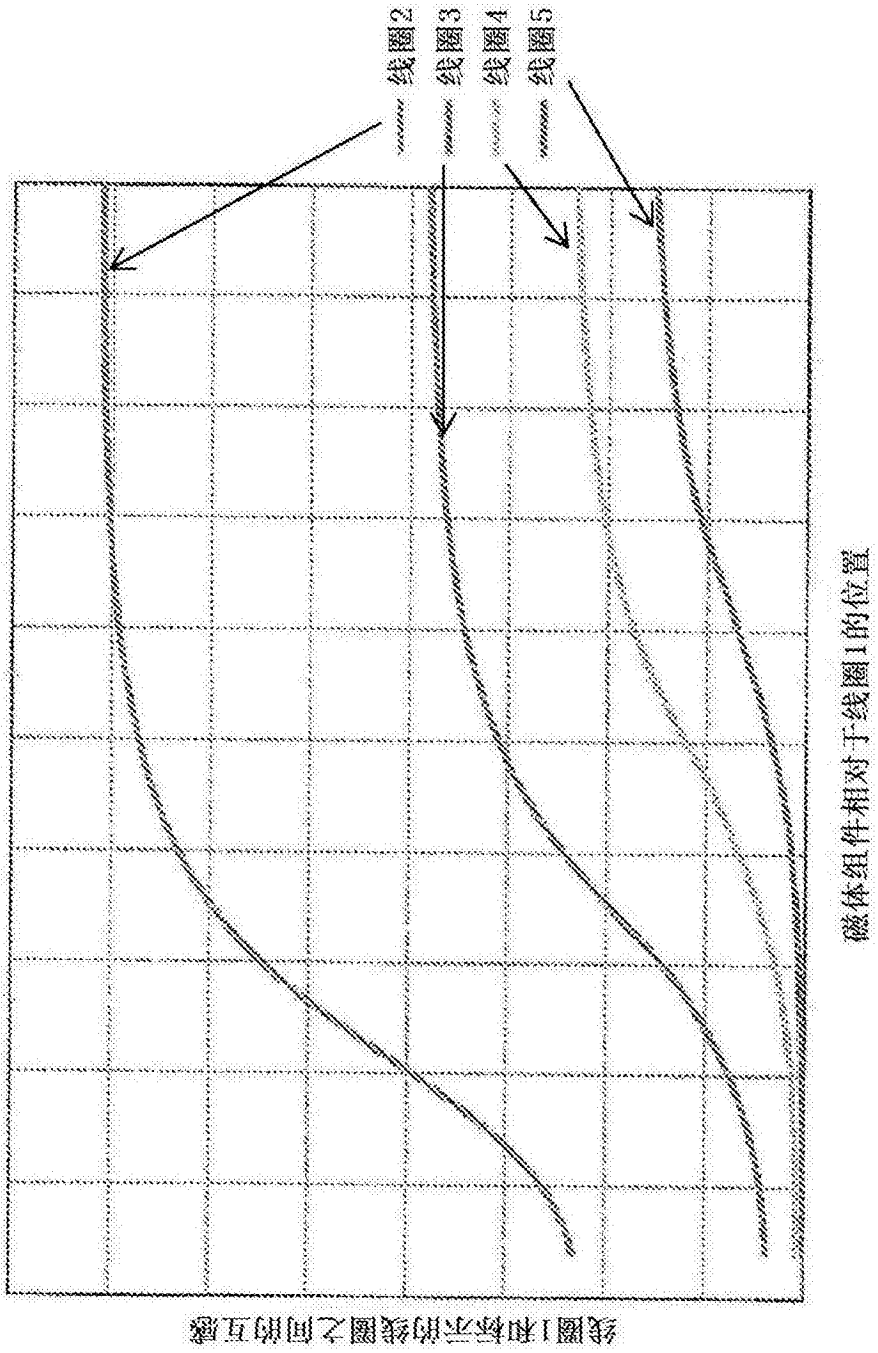


图5

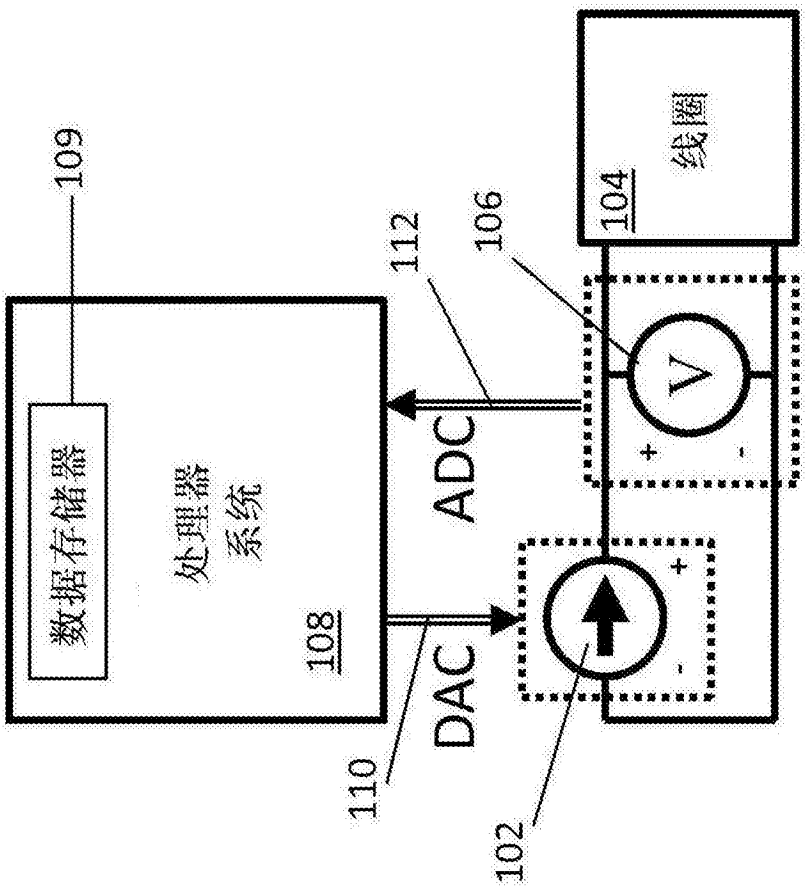


图6

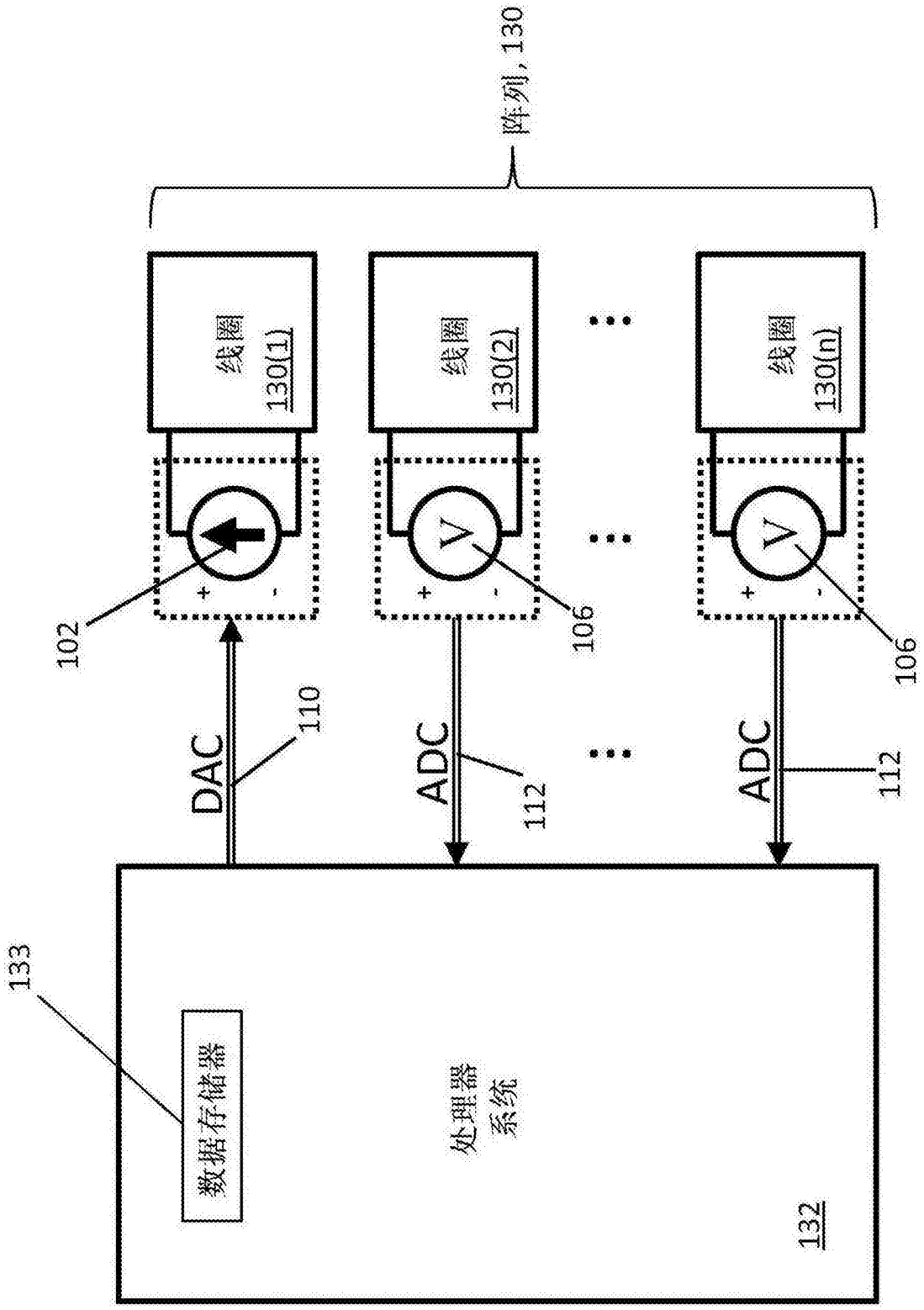

阵列，130
线圈 130(1)
线圈 130(2)
线圈 130(n)
102
106
106
DAC
110
ADC
112
ADC
112
133
数据存储器
处理器系统
132

图7

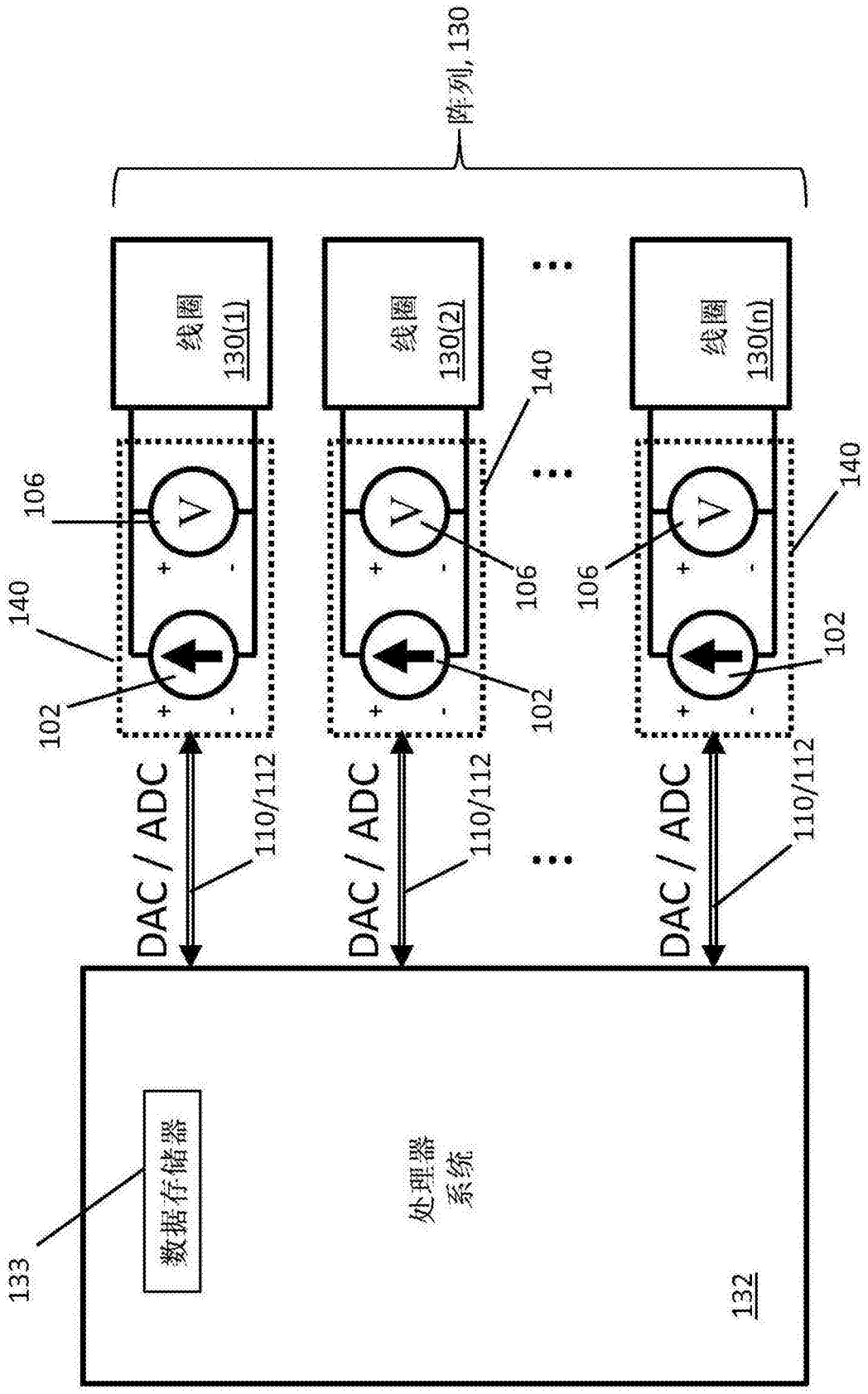

阵列, 130
线圈 130(1)
线圈 130(2)
线圈 130(n)
106
140
102
V
+
-
DAC / ADC
110/112
133
数据存储器
处理器系统
132

图8

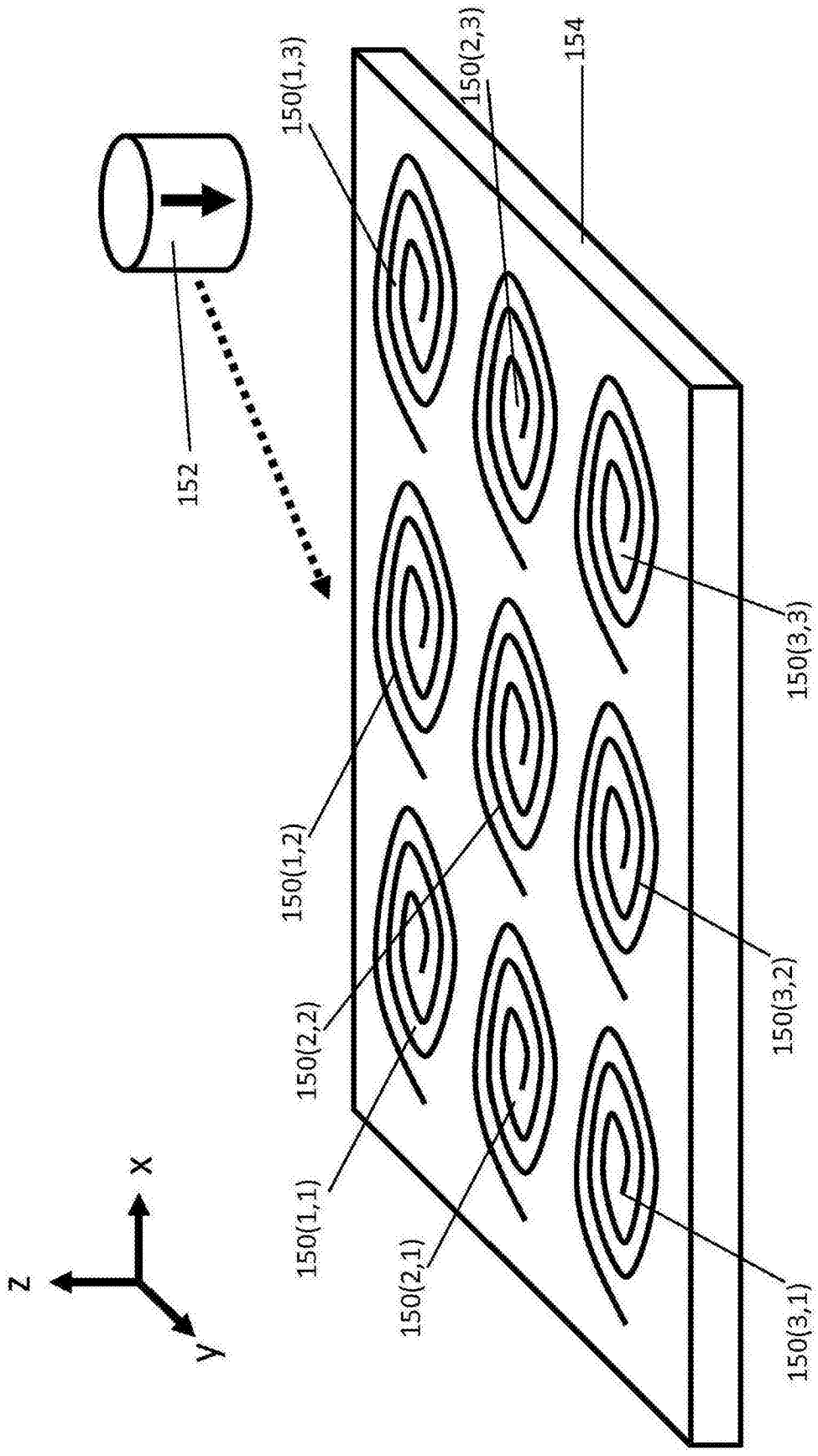

150(1,3)
150(2,3)
154
152
150(3,3)
150(1,2)
150(2,2)
150(3,2)
150(1,1)
150(2,1)
150(3,1)
x
z
y

图9