



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106415190 A

(43)申请公布日 2017.02.15

(21)申请号 201580013472.3

(22)申请日 2015.03.13

(30)优先权数据

14159872.2 2014.03.14 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.09.12

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2015/055253 2015.03.13

(87)PCT国际申请的公布数据

W02015/136063 EN 2015.09.17

(71)申请人 ABB瑞士股份有限公司

地址 瑞士巴登

(72)发明人 基莫·托尔萨

拉法尔·亚斯琴布斯基

图奥莫·林德

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 陈炜 李德山

(51)Int.Cl.

G01B 7/02(2006.01)

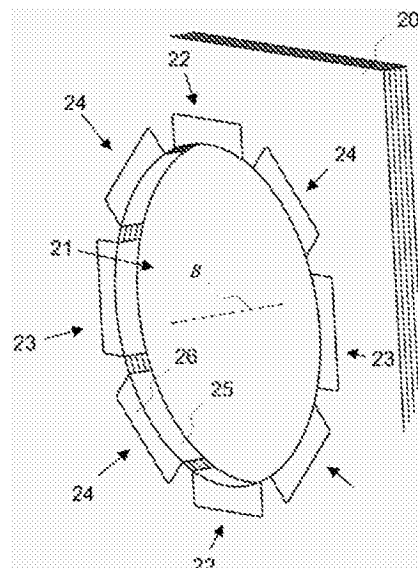
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

用于感测轴的位置或运动的方法、传感器以及印刷电路板

(57)摘要

本公开提出用于感测包括导电部的轴的位置或运动的方法、包括印刷电路板(PCB)的传感器、以及用于电容传感器的传感器PCB。该方法和传感器使用传感器PCB,该传感器PCB包括安装孔、形成至印刷电路板的至少一个电容器电极,轴的导电部能够被安装穿过安装孔,其中,电极的电极表面平行于安装孔的中心轴线延伸并且面向中心轴线。



1. 一种用于电容传感器的印刷电路板 (PCB), 所述电容传感器被配置成感测包括导电部的轴的位置或运动, 其中, 所述印刷电路板包括:

安装孔, 所述安装孔被构造成接纳穿过所述安装孔的所述导电部;

至少一个电容器电极, 所述至少一个电容器电极形成至所述印刷电路板, 其中, 所述电极的电极表面平行于所述安装孔的中心轴线延伸并且面向所述中心轴线。

2. 根据权利要求1所述的印刷电路板, 其中, 所述电极表面是通过使用PCB孔镀覆工艺而形成的。

3. 根据权利要求2所述的印刷电路板, 其中, 所述电极表面的至少一部分是通过在所述安装孔的内壁上进行导电镀覆而形成的。

4. 根据权利要求2所述的印刷电路板, 还包括至少一个电容器电极孔, 其中, 所述电极表面的至少一部分是通过在所述至少一个电容器电极孔上进行导电镀覆而形成的。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的印刷电路板, 包括形成至所述印刷电路板的多个电容器电极, 其中, 所述电极的电极表面平行于所述安装孔的中心轴线延伸并且面向所述中心轴线, 并且其中, 所述电极形成围绕所述中心轴线的环形形状。

6. 根据前述权利要求中的任一项所述的印刷电路板, 其中, 所述印刷电路板被构造成容置于实现电容传感器的测量电路的电气部件。

7. 根据前述权利要求中的任一项所述的印刷电路板, 其中, 所述印刷电路板包括至少一个屏蔽导电层, 所述至少一个屏蔽导电层用于使所述至少一个电容器电极受到的电磁干扰最小。

8. 根据前述权利要求中的任一项所述的印刷电路板, 其中, 所述至少一个电容器电极至少部分地涂覆有保护涂层, 比如环氧树脂填料。

9. 根据权利要求8所述的印刷电路板, 其中, 所述保护涂层的厚度被构造成使传感器准确度最大。

10. 根据前述权利要求中的任一项所述的印刷电路板, 包括:

至少一个具有径向电极表面的电容器电极, 所述径向电极表面沿着与所述安装孔的所述中心轴线垂直的平面延伸。

11. 一种电容传感器, 包括根据前述权利要求中的任一项所述的印刷电路板 (PCB)。

12. 根据权利要求11所述的电容传感器, 包括彼此上下堆叠的多个根据权利要求1至10中的任一项所述的印刷电路板 (PCB)。

13. 一种用于感测包括导电部的轴的位置或运动的方法, 其中, 所述方法包括通过使用根据权利要求1至10中的任一项所述的印刷电路板感测位置或运动。

14. 一种装置, 包括:

根据权利要求1至10中的任一项所述的印刷电路板; 以及

包括导电部的轴, 所述导电部安装至所述印刷电路板的所述安装孔。

15. 根据权利要求14所述的装置, 其中, 所述印刷电路板包括:

形成至所述印刷电路板的至少一个电容器电极, 具有所述电极的沿着与所述安装孔的所述中心轴线垂直的平面延伸的径向电极表面, 并且

安装至所述安装孔的所述部件被形成为使得由所述部件与所述径向电极表面形成的电容响应于围绕与所述轴的旋转轴线垂直的轴线的旋转角度中的至少一个旋转角度。

16. 根据权利要求14或15所述的装置,其中,安装至所述安装孔的所述部件被形成为使得由所述部件与所述至少一个电容器电极形成的电容响应于围绕所述轴的旋转轴线的旋转角度。

## 用于感测轴的位置或运动的方法、传感器以及印刷电路板

### 技术领域

[0001] 本发明涉及运动传感器和位置传感器,并且更特别地涉及用于感测电机的转子的运动的电容传感器的用途。

### 背景技术

[0002] 运动控制系统通常需要位置反馈。例如,主动磁性轴承控制可能需要用于反馈信号的非接触式位置传感器以便能够使转子的位置保持在允许公差内。位置反馈能够通过例如涡流传感器、电感传感器、电容传感器或光学传感器来实现。

[0003] 电容位移传感器经常使用在工业中各种应用中,包括:精确定位、运动控制、半导体加工以及设备组装、厚度测量、工具计量以及装配线测试。

[0004] 为了测量两个导电材料之间的距离,电容感测系统可以利用用于估计平行板电容器的电容 $C$ 的等式:

$$[0005] \quad C = \epsilon_0 \epsilon_r S / r, \quad (1)$$

[0006] 其中, $\epsilon_0$ 是自由空间的电容率(电常数), $\epsilon_r$ 是位于电容器板之间的间隙中的绝缘材料的相对静态电容率(介电常数), $S$ 是板的面积,以及 $r$ 是板之间的距离。

[0007] 假设面积 $S$ 和间隙中的材料(通常情况下是空气)的介电性质 $\epsilon_0 \epsilon_r$ 保持恒定,则电容值 $C$ 反映探针电极与靶之间的距离 $r$ 的改变。电容感测系统可以配置成测量电容(或电容的改变)并且因此测量距离(或运动)。在电容器中电流 $i$ 与电容值 $C$ 以及与电容器两端的电压的变化率 $dv/dt$ 成正比( $i = Cdv/dt$ )。

[0008] 在使用电容位移传感器的情况下,可以实现对导电靶的位置和运动的高分辨率的测量。在对电机的转子进行位置测量的情况下,传感器尖端可以安装在轴的周围以用于每一个测量维度(自由度)上的测量。

[0009] 然而,精确的位置传感器和运动传感器在工业应用中也存在较多缺点。传感器可能是昂贵的并且制造复杂。这些传感器可能易于发生安装和组装错误。传感器可能给测量引入相当大的延迟。此外,传感器可能具有显著的温度依赖性并且可能对噪声敏感。当传感器例如与运动控制器或转子间接地进行接口连接时,传感器可能易受电磁干扰和/或机械损坏的影响。转子的电动机械的径向跳动还可能对控制系统构成大的挑战。

### 发明内容

[0010] 本发明的目的是提供用于减轻上述缺点的方法以及用于实现该方法的设备。本发明的目的通过具有在独立权利要求中陈述的特征的方法以及设备来实现。本发明的优选实施方式公开在从属权利要求中。

[0011] 能够感测导电轴的位置或运动的电容传感器能够通过使用具有安装孔的印刷电路板(PCB)来实施,其中,轴能够被安装穿过安装孔。

[0012] 印刷电路板可以包括形成至PCB的至少一个电极(即电容器板)。电极与导电轴的表面形成电容器。所形成的电容器的电容能够被测量。由于电容响应于电极与轴的表面之

间的间距,电容能够用于估算轴的位置。

[0013] 在印刷电路板中/上的电极的电极表面平行于安装孔的中心轴线延伸。PCB可以构造成使得形成至PCB的多个电容器电极面向中心轴线,并且形成为围绕中心轴线的环形形状。电极表面可以例如通过使用PCB孔镀覆工艺而形成。可以对安装孔的边缘进行镀覆,或者可以靠近安装孔使用导通孔或经镀覆的孔。

[0014] PCB还可以包括形成至PCB的至少一个电容器电极,其中,电极的电极表面沿着与安装孔的中心轴线垂直的平面延伸。垂直地延伸的电容器电极可以通过使用PCB迹线层制造工艺比如蚀刻法来形成。

[0015] 所公开的传感器可以用于检测例如一维运动至六维运动。为了使灵敏度最大,传感器的测量电子器件可以利用LC(或LRC)共振、高频率振荡信号、滤波器以及差分放大器的用途。

[0016] 所公开的感测方法提供了用于位置感测的负担得起且稳健的方法。该感测方法提供了用于对导电靶的位置和运动或对导电靶的几何性质进行精确的非接触式测量的方法。通过将传感器制造在PCB上,能够显著地降低制造成本,能够提高系统的一体化程度,并且能够改善系统连接性和接口连接性。

## 附图说明

[0017] 在下文中,参照附图借助于优选实施方式对本发明进行更详细的描述,在附图中:

[0018] 图1a示出了具有六个自由度的示例性轴;

[0019] 图1b示出了根据本公开的示例性装置;

[0020] 图2a至图2e示出了本公开的传感器PCB(印刷电路板)的示例性实施方式;

[0021] 图3a至图3c示出了通过使用导通孔实现的轴向电极的示例性实施方式;

[0022] 图4a至图4d示出了屏蔽的各种示例性实施例;以及

[0023] 图5示出了关于包括先前公开的传感器PCB的电容传感器的示例性电路图。

## 具体实施方式

[0024] 本公开公开了用于感测包括导电部的轴的位置(例如位移)或运动的方法和传感器。该轴可以是例如电机的转子的金属轴。导电轴或包括导电部的轴的位置或运动可以通过使用传感器印刷电路板(PCB)准确地确定,该传感器印刷电路板包括安装孔以及围绕该安装孔形成的电容器电极,其中,该安装孔构造成接纳穿过安装孔的轴的导电部。

[0025] 传感器PCB能够用于检测六个自由度。在使用PCB的情况下,可以检测例如轴沿着笛卡尔坐标系的三个轴线x、y和z的平移(即运动、位移)以及轴的围绕轴线的旋转 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\theta$ 。

[0026] 图1a示出了具有六个自由度的示例性轴10。轴10呈具有中心轴线A的筒形形状。在图1a中,笛卡尔坐标系设置成使得z-轴线与中心轴线A重合。x-轴线和y-轴线沿着垂直于中心轴线A的平面延伸。在图1a中,x-轴线与y-轴线彼此垂直。

[0027] 在图1a中, $z'$ 指的是轴向位移,即指的是沿着中心轴线A(也是图1a中的z-轴线)的位移。 $x'$ 和 $y'$ 指的是径向位移,即指的是沿着垂直于中心轴线A的平面延伸的位移。在图1a中,位移 $x'$ 和 $y'$ 分别沿着x-轴线和y-轴线延伸。因此,位移 $x'$ 和 $y'$ 也相对于彼此垂直。轴可以设置成围绕中心轴线A旋转。在图1a中, $\theta'$ 指的是轴围绕中心轴线A(也是图1a中的z-轴

线)的旋转。 $\alpha'$  和 $\beta'$  分别指的是围绕x-轴线和y-轴线的旋转。在下列段落中使用相同表示法的自由度。

[0028] 为了检测包括导电部的轴的位移或旋转,可以使用根据本公开的装置。根据本公开的装置可以包括根据本公开的传感器PCB以及轴,其中,轴的导电部安装至传感器PCB的安装孔。

[0029] 图1b示出了根据本公开的装置的示例性实施方式。在图1b中,轴10包括导电部,该导电部安装至传感器PCB 12的安装孔11。

[0030] 根据本公开的传感器PCB可以包括面向安装孔的中心轴线的至少一个电容器电极。电极可以形成至传感器PCB,使得电极的电极表面平行于安装孔的中心轴线延伸,从而形成轴向电极表面。轴向电极表面可以通过例如在安装孔的内壁上进行导电镀覆(conductive plating)而形成。

[0031] 图2a至图2e示出了公开的传感器PCB的示例性实施方式。在图2a中,PCB 20包括圆形安装孔21。安装孔21的中心轴线B示出为虚线。由于孔21在图2a中具有圆形截面,所以中心轴线B穿过圆形截面的中心。然而,在更一般的情况下,能够认为中心轴线是例如穿过沿着PCB的平面截取的截面的重心的中心线。

[0032] 当轴的具有导电表面的部分安装至安装孔时,面向的轴的轴向电极表面与轴的上述表面一起形成电容器,其中,轴的该表面用作对向电极。该电容器的电容可以被测量并且径向位移可以基于电容来确定。轴向电极表面可以通过使用例如PCB孔镀覆工艺来形成。

[0033] 在图2a中,PCB 20包括形成至印刷电路板的多个电容器电极22、23和24。图2b示出了电极22、23和24中的一者的截面。通过使用位于PCB 20上的、围绕接纳到安装孔21中的轴的导电部的多个电容器电极,由于能够使噪声的影响以及轴的径向跳动最小,所以可以提高感测准确度。

[0034] 在图2a中,PCB 20具有8个电容器电极22、23和24。可以使用四个检测器电极22和23作为共振检测电路的部分,并且可以使用另外四个电极24用于将轴电连接至PCB 20的模拟信号地线。在图2a中,检测器电极22和23以及接地电极24以交替的形式布置。然而,PCB上电极的数量和相对定位关系不受限于图2a中公开的构型。还可以使用其他数量的电极以及具有其他相对定位关系的电极。

[0035] 每个电极22、23和24具有轴向电极表面25,该轴向电极表面25平行于安装孔21的中心轴线延伸并且面向中心轴线B。轴向电极表面25是通过在安装孔21的内壁上进行导电镀覆而形成的。电极22、23和24围绕中心轴线B形成环形形状。

[0036] 传感器PCB 20可以包括如图2a和图2b中所示的多个层。电容传感器还可以包括如图2c中所示的彼此上下堆叠的多个这种PCB。在图2c中,所述多个PCB 20的经镀覆的边缘一起形成较大的轴向电极表面25。

[0037] 为了检测轴的轴向位移,PCB还可以包括例如形成至印刷电路板的至少一个电容器电极,使得电极包括径向电极表面,即沿着与安装孔的中心轴线垂直的平面延伸的电容器表面。径向电极表面可以通过例如使用PCB迹线层制造工艺比如蚀刻法而形成。

[0038] 在图2a至图2c中,电极22、23和24还包括连接至轴向电极表面25的径向电极表面26。替代性地,电容器电极可以形成为使得电容器电极包括仅一种类型的电极表面(轴向电极表面或径向电极表面)。如图2d中所示的,径向电极表面26可以与轴向电极表面25分离

开。独立的径向电极表面26可以用于检测例如旋转 $\alpha'$ 和 $\beta'$ 。

[0039] 用于检测旋转 $\alpha'$ 和/或 $\beta'$ 的装置可以包括根据本公开的传感器PCB以及具有安装至安装孔的导电部的轴。PCB可以包括具有径向电极表面的至少一个电容器电极,并且轴的导电部可以形成为使得由导电部与径向电极表面形成的电容响应于围绕与轴的旋转轴线垂直的轴线的旋转角度中的至少一个旋转角度。

[0040] 图2e示出了示例性装置——在该示例性装置中,传感器PCB 20具有径向电极26和轴向电极25,并且轴28设置有梢端,该梢端具有盘形形状的导电延伸部27——的截面侧视图。盘形延伸部27与径向电极26形成电容。当轴28倾斜(即围绕轴线x旋转)时,图2e中的径向电极26中的一个径向电极与盘形部27之间的距离减小,所述一个径向电极与盘形部27之间的电容增大。同时,图2e中的另一径向电极26与盘形部27之间的距离增大,所述另一径向电极26与盘形部27之间的电容减小。这两个电容的差值能够被测量并且旋转 $\alpha'$ 可以基于该差值来确定。

[0041] 此外,位移 $z'$ 还可以通过监测电容的测量值的平均值来确定。

[0042] 在图2a至图2e中,径向电极表面位于PCB 20(或成堆的PCB)的上层和下层上。然而,径向电极表面也可以形成至PCB的中间层。

[0043] 除了以图2a和图2b中的方式实现轴向电极22之外,可以以各种其他方式形成平行于中心轴线延伸的电极表面。例如,PCB可以包括至少一个电容器电极孔,其中,轴向电极表面的至少一部分是通过在电容器电极孔上进行导电镀覆而形成的。电容器电极孔可以通过例如使用安置在安装孔的边缘附近的PCB导通孔来实现。

[0044] 图3a至图3c示出了通过使用导通孔实现的轴向电极的示例性实施方式。图3a示出了通过多个并排导通孔32形成的电容器电极31的轴向电极表面。导通孔32被镀覆有导电材料。图3b示出了导通孔32中的一个导通孔的截面。镀层的面向安装孔的一部分形成轴向电极表面。

[0045] 如图3c中所示,轴向电极表面可以替代性地通过使用靠近安装孔的边缘形成的经镀覆的长狭槽33来形成。

[0046] 能够感测导电轴的位置或运动的电容传感器可以包括先前描述的传感器PCB(或成堆的PCB)。为了提高一体化程度并且降低成本和噪声敏感性,PCB还可以构造成容置电气部件,该电气部件用于实现电容传感器的测量电路。形成部件之间的连接的导电迹线还可以形成在传感器PCB上。检测信号发生电路和与控制系统进行接口连接的接口电路也可以安装在传感器PCB上。

[0047] 传感器PCB(或成堆的PCB)可以被封装在导电壳中以保护传感器免受一些电磁干扰。传感器PCB还可以包括用于使至少一个电容器电极受到的电磁干扰最小的至少一个屏蔽导电层。例如,传感器PCB的上层和下层(或成堆的PCB的上层和下层)还可以是连接至地电位的导电层。

[0048] 图4a至图4d示出了屏蔽的各种示例性实施例。图4a示出了轴向电极表面41在导电上下层42的作用下被电屏蔽的示例性实施方式的截面。

[0049] 导电层还可以用于使电极之间的干扰最小。图4b示出了轴向电极表面41通过位于PCB内的导电层42而与径向电极43分隔开的示例性实施方式。图4c示出了可以用于检测旋转 $\alpha'$ 和/或 $\beta'$ (即轴的倾斜度)的传感器PCB的示例性实施方式。在图4c中,在两个独立的轴

向电极41之间具有接地层42。

[0050] 此外,为了提高防电磁干扰、防环境干扰或其他干扰的屏蔽性能,电容器电极可以至少部分地涂覆有保护涂层,比如环氧树脂填料。与空气相比较,在电容器电极上的保护涂层可以通过增大相对静态电容率而提高传感器准确度。因此,保护涂层的厚度可以构造成使传感器准确度最大。图4d示出了轴向电极表面41除了通过导电上下层42之外还通过环氧树脂填料44来屏蔽的示例性实施方式的截面。

[0051] 通过使用已公开的传感器PCB感测导电轴的位置或运动能够以各种方式来实现。一种方法是测量将电容器充电至特定电压水平所需的时间,或测量由电容器与电阻元件和/或感应元件一起形成的振荡器的共振频率(LRC振荡器或LC振荡器的时间常数)。

[0052] 另一方法是将固定频率的交流电压施加到串联的电容分压器的两端。串联连接的电容中的第一电容是已知的。第二电容器的电容可以根据电容之间的比率来计算,其中,电容之间的比率对应于输出信号的幅值与输入信号的幅值之间的比率。

[0053] 感测准确度可以通过使用电容桥接配置来增大。例如,位于安装孔的相反两侧上的一对电容器电极可以形成两个振荡器(LC或LRC)。例如,图2a中的电极22可以形成这样一对振荡器。两个振荡器可以借助于由轴与位于PCB上的电容器电极形成的电容共用连接至模拟地平面的连接元件。在图2a中,电极24形成该电容。

[0054] 振荡器的阻抗取决于导电轴的位置和所使用的检测信号的频率。这两个振荡器可以被供给有高频交流电压。由于阻抗响应于位置而改变,位置可以根据两个振荡器的所产生的交流信号的幅值来估算。

[0055] 当轴与两个电容器电极(例如,在图2a中的电极22)相距相同距离时,振荡器具有相同的阻抗。因此,振荡器的信号之差是零。然而,如果一个电极比另一个电极更靠近轴,则信号具有不同的幅值。信号的幅值之间的比率响应于轴与电极相距的距离的比率。导电轴的相对位置和运动可以通过测量例如振荡器的电流、电压或功率的水平和改变来检测。

[0056] 为了测量两个振荡器的信号的差值,信号可以例如被解调和/或滤波并且被送至差分放大器。信号还可以被转换成数字形式,并且差值可以在数字域中进行计算。

[0057] 图5示出了用于包括先前公开的传感器PCB的电容传感器的示例性电路图。示例性电路可以用于确定例如电机的转子的在一维空间中的径向位移。可以使用例如类似的电路测量其他位移(或旋转)。

[0058] 在下文中,对关于图2a的传感器PCB 20的电路进行说明。然而,电路还可应用于其他电极构型。

[0059] 在图5中,使用附图标记 $C_1$ 、 $C_2$ 和 $C_3$ 示出由轴和位于传感器PCB 20上的电极形成的电容; $C_1$ 表示由一个检测电极22与轴形成的电容; $C_2$ 表示由位于安装孔21的相反侧上的另一检测电极22与轴形成的电容;以及 $C_3$ 表示由四个接地电极24与轴形成的电容。

[0060] 图5中的电路还包括电感 $L_1$ 和 $L_2$ 以及电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 。这些电阻和电感可以被实施为例如钎焊在传感器PCB 20上的部件。电容 $C_1$ 和 $C_3$ 、电感 $L_1$ 和电阻 $R_1$ 形成第一振荡器。电容 $C_2$ 和 $C_3$ 、电感 $L_2$ 和电阻 $R_2$ 形成第二振荡器。

[0061] 在图5中,传感器包括交流信号发生电路51。电路包括交流信号发生器52和功率分配器53。交流信号发生器52通过功率分配器53向第一振荡器和第二振荡器供给高频交流信号。功率分配器53可以配置成使第一振荡器与第二振荡器之间的耦合最小。



[0062] 传感器还包括图5中的测量电路54。测量电路54与第一振荡器和第二振荡器的LC元件以并联的方式连接。电容 $C_1$ 和 $C_3$ 以及电感 $L_1$ 是第一振荡器的LC元件；电容 $C_2$ 和 $C_3$ 以及电感 $L_2$ 是第二振荡器的LC元件。测量电路54可以包括例如用于每个振荡器的滤波器和检测器。在图5中，测量电路54包括用于每个振荡器的串联连接的滤波器55和功率检测器56。

[0063] 对于每个振荡器，通过振荡器的LC元件的信号的功率(或幅值)响应于电极22与轴之间的距离。可以在检测轴的位置的过程中利用该原理。在图5中，功率检测器56对由发生器52产生的交流信号的功率(或幅值)与通过LC元件的信号的功率(或幅值)之差进行测量。

[0064] 为了确定相对位置，测量电路54还可以包括差分放大器57，该差分放大器57测量由功率检测器56检测的功率(或信号幅值)之差。

[0065] 得到的差值可以用作位移或旋转的指示信号。差值可以通过使用模拟数字转换器被转换成数字形式并且使用在对轴的位置进行控制的控制系统中。

[0066] 替代性地，信号还可以被单独地测量并且被转换为数字形式，并且作为结果的位移和/或旋转可以在计算装置中被计算。

[0067] 控制系统可以例如实施在计算装置中。计算装置可以是例如CPU(中央处理器)、DSP(数字信号处理器)、PLD(可编程逻辑电路)或FPGA(现场可编程门阵列)。

[0068] 测量电路还可以与LC元件串联连接。通过测量传输通过LC元件的交流信号功率(幅值)可以估算位置。

[0069] 本公开的传感器PCB还可以用于确定旋转角度(即围绕轴的旋转轴线的旋转 $\theta'$ )或旋转速度。

[0070] 安装到传感器PCB的安装孔中的轴的导电部，或导电部的延伸部可以形成为使得由导电部与位于传感器PCB上的电容器电极产生的电容是围绕轴的旋转轴线(例如中心轴线)的旋转角度 $\theta'$ 的非常数函数。

[0071] 例如，作为旋转角度的函数的非常数电容能够通过使用与图2e中描绘的延伸部类似的盘形延伸部产生。例如通过将径向延伸槽添加至图2e中的面向径向电极26的盘形部27的面，径向电极26与盘形部27之间的电容可以响应于旋转 $\theta'$ 而产生。对旋转 $\theta'$ 的检测可以与对旋转 $\alpha'$ 和 $\beta'$ 的检测分离。传感器PCB可以具有用于形成专用于检测旋转 $\theta'$ 的一组独立的电容的独立径向电极，并且槽例如可以仅在盘形部的半径的一部分上延伸。

[0072] 旋转角度还可以根据导电部与根据本公开的轴向电极之间的电容来计算。用于检测轴的位移的轴向电极还可以用于检测例如旋转角度(或速度)。被接纳到安装孔中的导电部可以形成为使得轴向电极与导电部之间的电容用作旋转角度 $\theta'$ 的非常数函数。

[0073] 通过使用安装到具有相对于旋转轴线对称的非圆形截面的安装孔中的导电部，可以使位移的检测与旋转角度的检测之间的耦合度最小。该导电部可以是具有例如椭圆形截面的可附接的梢端。替代性地，安装到安装孔中的导电部可以具有涂层(局部的涂层)，从而产生类似的电容分布。

[0074] 形成在电极与安装到安装孔中的导电部(和/或导电部的延伸部)之间的电容可以被测量，并且位移和/或旋转能够基于所测得的电容被确定。电容的测量可以通过例如使用如图5中所示的差分放大器来实施。电容还可以独立地被测量并且被转换成数字形式，并且作为结果的位移和/或旋转可以在计算装置中进行计算。

[0075] 对本领域技术人员而言明显的是，本发明的构思可以以不同的方式来实施。本发

---

明及其实施方式不限于上述示例,而是可以在权利要求的范围内改变。

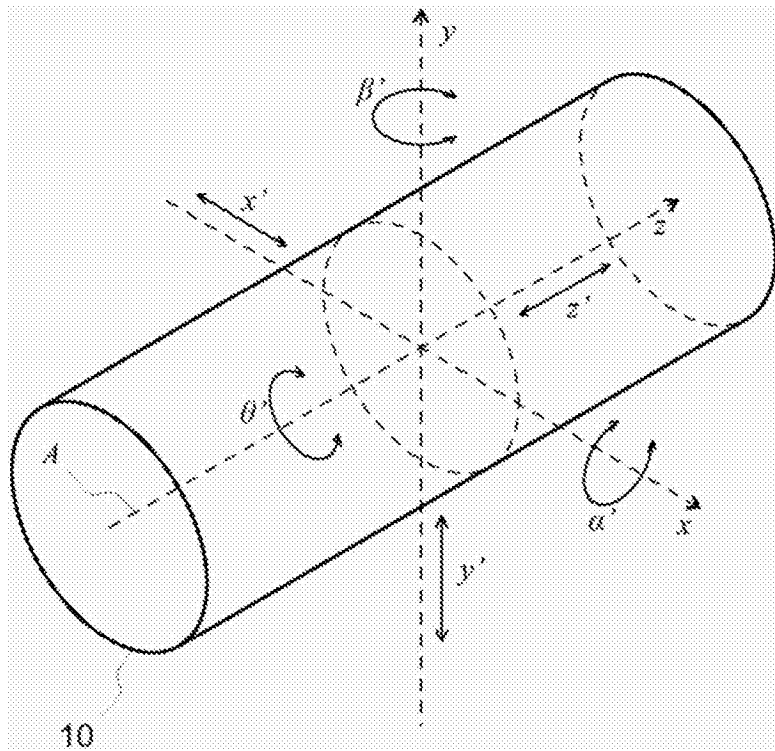


图1a

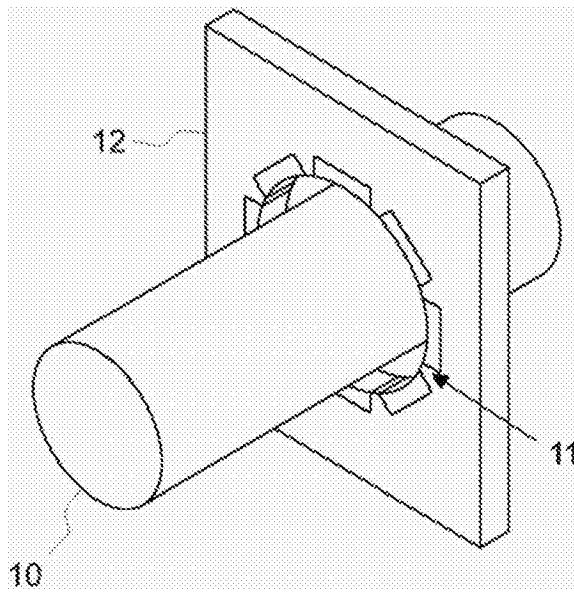


图1b

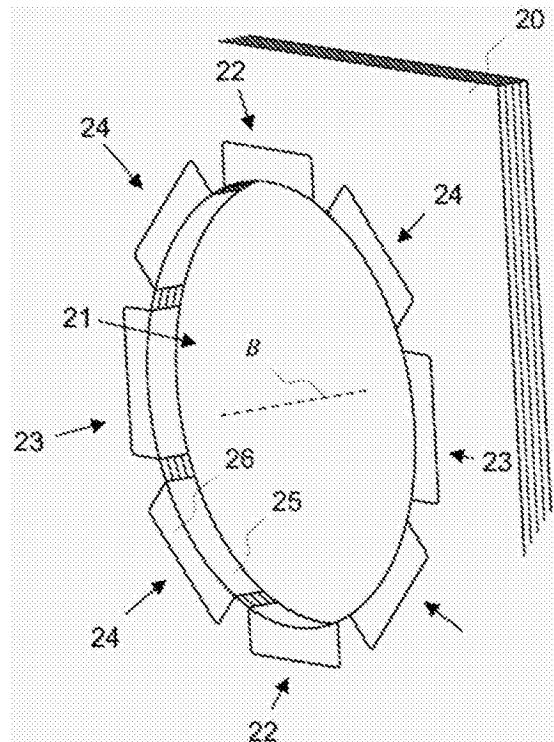


图2a

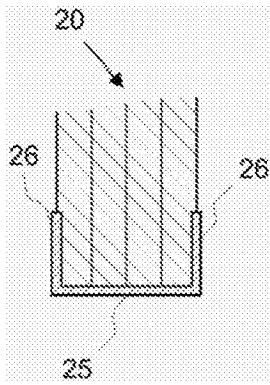


图2b

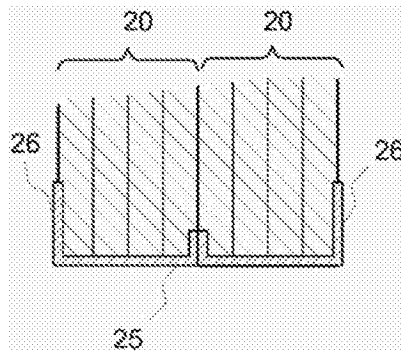


图2c

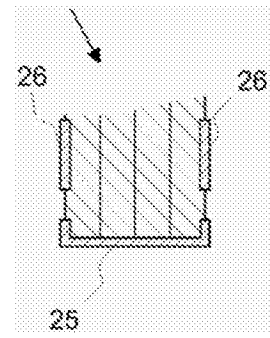


图2d

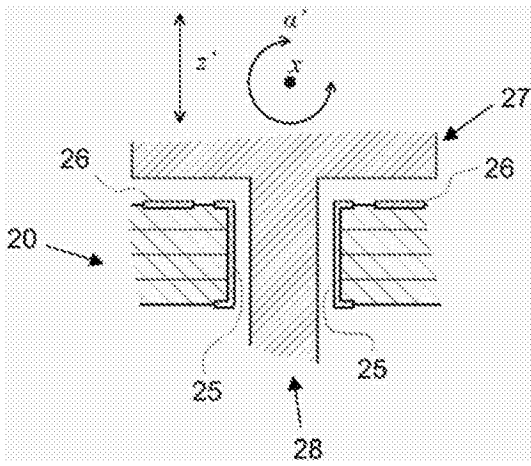


图2e

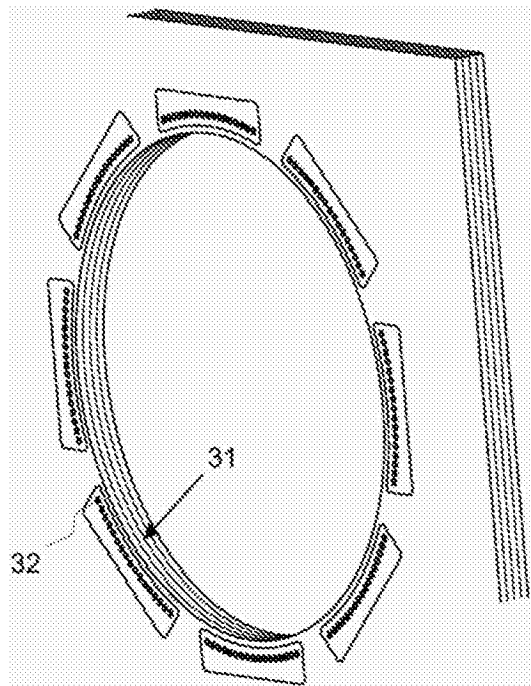


图3a

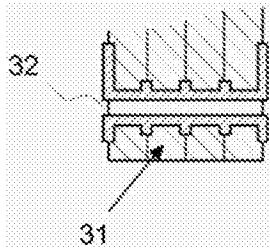


图3b

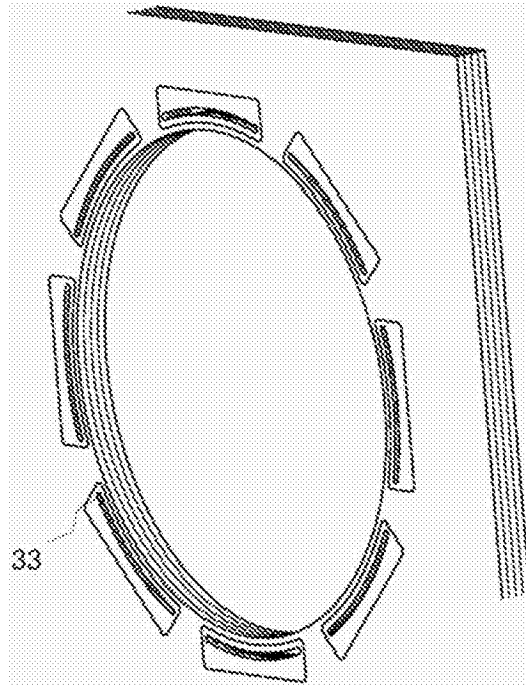


图3c

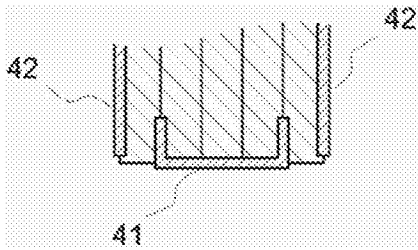


图4a

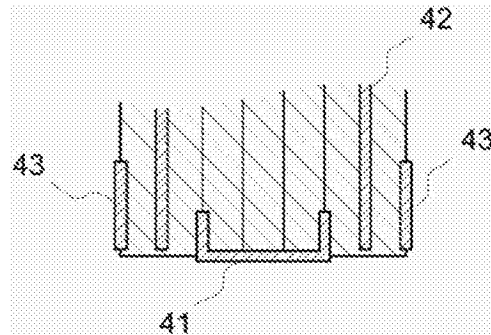


图4b

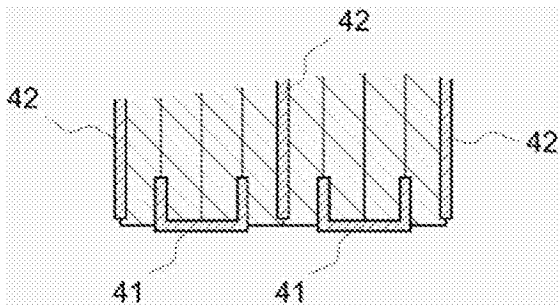


图4c

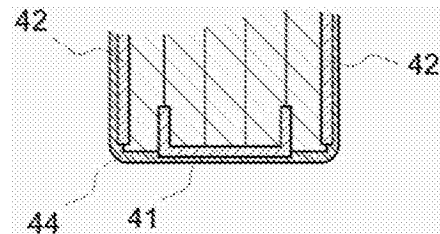


图4d

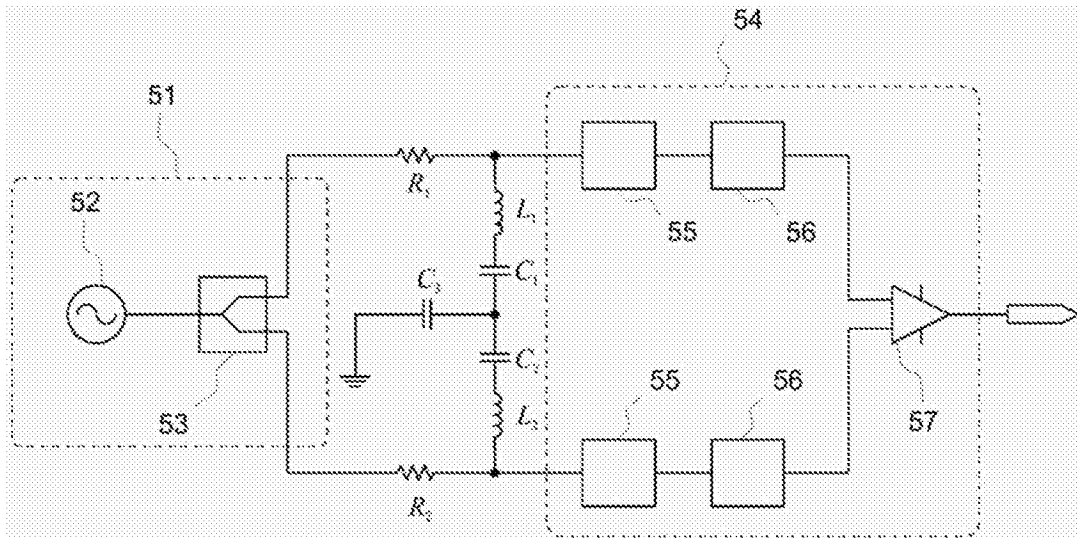


图5