(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114353659 B
(45)授权公告日 2023.06.09

(21)申请号 202210013546.5
(22)申请日 2022.01.06
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114353659 A
(43)申请公布日 2022.04.15
(73)专利权人 重庆理工大学
地址 400054 重庆市巴南区李家沱红光大道69号
(72)发明人 高忠华 刘小康 付敏 杨继森
(74)专利代理机构 重庆华科专利事务所 50123
专利代理师 唐锡娇
(51)Int.Cl.
G01B 7/30(2006.01)
(56)对比文件
CN 109211092 A,2019.01.15
CN 109297517 A,2019.02.01
CN 113008128 A,2021.06.22
CN 109211094 A,2019.01.15
CN 109211095 A,2019.01.15
CN 109211096 A,2019.01.15
CN 103808250 A,2014.05.21
WO 2017082463 A1,2017.05.18
EP 0159191 A2,1985.10.23
JP H06213614 A,1994.08.05
WO 2015168992 A1,2015.11.12
董良浩;汤其富;彭东林;王阳阳;.一种平面超薄型电磁感应式角位移传感器.仪表技术与传感器.2018,(03),全文.
鲁进;陈锡侯;武亮;汤其富;.基于平面线圈的高分辨力时栅角位移传感器.光学精密工程.2017,(01),全文.
审查员 彭鼎原

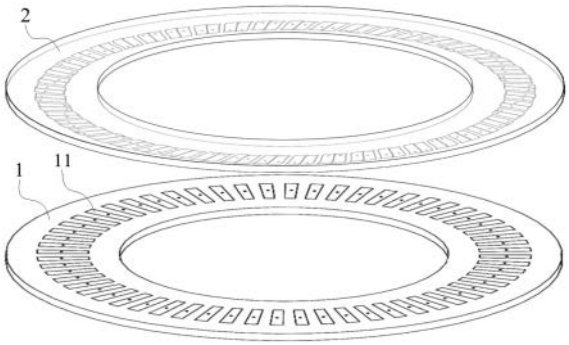
权利要求书3页 说明书7页 附图6页

(54)发明名称

一种基于单交变电场的时栅角位移传感器

(57)摘要

本发明公开了一种基于单交变电场的时栅角位移传感器,包括定子和与定子同轴安装的转子,转子的基体表面设有感应电极,定子的基体表面设有激励电极,设有感应电极的转子的基体表面与设有激励电极的定子的基体表面正对平行,并留有间隙。激励电极为单激励相,采用单相交流激励信号激励,将多场激励的多极片对极形式变为单极片对极形式,在有限的传感器尺寸范围内成倍数增加了传感器的对极数,增加了整周期测量的对极数,采用在周向错开$\frac{\pi}{M_2}$的圆心角、在径向错开δ距离的$4M_1$个感应极片Ⅰ与$4M_1$个感应极片Ⅱ,在整体上将转子极片的间隔减少至$\frac{1}{4}$个激励对极空间,能有效提高传感器测量的空间分辨率,提高信噪比。



CN 114353659 B

1.一种基于单交变电场的时栅角位移传感器，包括定子(1)和与定子同轴安装的转子(2)，转子(2)的基体表面设有感应电极，定子(1)的基体表面设有激励电极，设有感应电极的转子的基体表面与设有激励电极的定子的基体表面正对平行，并留有间隙；其特征在于：

所述激励电极由径向高度相同、圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$的M_2个扇环形极片(11)沿周向等间隔排成一圈组成，M_2个扇环形极片(11)连成一组，构成单激励相，相邻两个扇环形极片(11)的间隔所对的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$；

所述感应电极包括转子电极Ⅰ和转子电极Ⅱ；

转子电极Ⅰ由$4M_1$个感应极片Ⅰ(21)沿周向等间隔排成一圈组成，编号为4n+1号的感应极片Ⅰ连成一组，组成A1感应组，编号为4n+2号的感应极片Ⅰ连成一组，组成B1感应组，编号为4n+3号的感应极片Ⅰ连成一组，组成C1感应组，编号为4n+4号的感应极片Ⅰ连成一组，组成D1感应组，n依次取0至M_1-1的所有整数，$8M_1:M_2=8:5$；感应极片Ⅰ(21)的形状为两条倾斜的线段Ⅰ在起止点与同圆心的内圆弧Ⅰ、外圆弧Ⅰ相交而围成的封闭图形Ⅰ，两条倾斜的线段Ⅰ的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，每条倾斜的线段Ⅰ的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，感应极片Ⅰ(21)所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$，相邻两个感应极片Ⅰ(21)在内圆Ⅰ上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$；

转子电极Ⅱ由$4M_1$个感应极片Ⅱ(22)沿周向等间隔排成一圈组成，编号为4n+1号的感应极片Ⅱ连成一组，组成A2感应组，编号为4n+2号的感应极片Ⅱ连成一组，组成B2感应组，编号为4n+3号的感应极片Ⅱ连成一组，组成C2感应组，编号为4n+4号的感应极片Ⅱ连成一组，组成D2感应组；感应极片Ⅱ(22)的形状为两条倾斜的线段Ⅱ在起止点与同圆心的内圆弧Ⅱ、外圆弧Ⅱ相交而围成的封闭图形Ⅱ，两条倾斜的线段Ⅱ的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，每条倾斜的线段Ⅱ的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，感应极片Ⅱ(22)所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$，相邻两个感应极片Ⅱ(22)在内圆Ⅱ上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$；

编号相同的感应极片Ⅰ与感应极片Ⅱ在周向错开的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$、在径向错开的距离为δ；

测量时，在单激励相中通入单相交流激励信号，转子(2)相对定子(1)转动，A1、B1、C1、D1感应组输出的感应信号和A2、B2、C2、D2感应组输出的感应信号经角位移解算系统解算得到角位移值。

2.根据权利要求1所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器，其特征在于：所述角位移解算系统包括第一差分模块(31)、第二差分模块(32)、第一RC移相电路(33)、第三差分模块(34)、第四差分模块(35)、第五差分模块(36)、第二RC移相电路(37)、第六差分模块(38)、信号转换电路(39)和信号处理系统(310)；A1感应组的信号输出端、C1感应组的信号输出端分别与第一差分模块(31)的两个输入端连接，B1感应组的信号输出端、D1感应组的信号输出端分别与第二差分模块(32)的两个输入端连接，第二差分模块(32)的输出端与第一RC移相电路(33)的输入端连接，第一RC移相电路(33)的输出端、第一差分模块(31)的输出端分别与第三差分模块(34)的两个输入端连接，第三差分模块(34)的输出端与信号转换电路

(39)的一个输入端连接;A2感应组的信号输出端、C2感应组的信号输出端分别与第四差分模块(35)的两个输入端连接,B2感应组的信号输出端、D2感应组的信号输出端分别与第五差分模块(36)的两个输入端连接,第五差分模块(36)的输出端与第二RC移相电路(37)的输入端连接,第二RC移相电路(37)的输出端、第四差分模块(35)的输出端分别与第六差分模块(38)的两个输入端连接,第六差分模块(38)的输出端与信号转换电路(39)的另一个输入端连接;信号转换电路(39)的输出端与信号处理系统(310)的输入端连接,信号处理系统(310)输出所述角位移值。

3.根据权利要求1或2所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器,其特征在于:所述的两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[-\frac{\pi}{M_2},0]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

4.根据权利要求1或2所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器,其特征在于:所述的两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[0,\frac{\pi}{M_2}]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

5.根据权利要求1或2所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器,其特征在于:所述的两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为两条斜线段。

6.一种基于单交变电场的时栅角位移传感器,包括定子(1)和与定子同轴安装的转子(2),转子(2)的基体表面设有感应电极,定子(1)的基体表面设有激励电极,设有感应电极的转子的基体表面与设有激励电极的定子的基体表面正对平行,并留有间隙;其特征在于:

所述激励电极由径向高度相同、圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$的M_2个扇环形极片(11)沿周向等间隔排成一圈组成,M_2个扇环形极片(11)连成一组,构成单激励相,相邻两个扇环形极片(11)的间隔所对的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$;

所述感应电极包括转子电极Ⅰ和转子电极Ⅱ;

转子电极Ⅰ由$4M_1$个感应极片Ⅰ(21)沿周向等间隔排成一圈组成,感应极片Ⅰ(21)的形状为两条倾斜的线段Ⅰ在起止点与同圆心的内圆弧Ⅰ、外圆弧Ⅰ相交而围成的封闭图形Ⅰ,两条倾斜的线段Ⅰ的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$,每条倾斜的线段Ⅰ的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$,感应极片Ⅰ(21)所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$,相邻两个感应极片Ⅰ(21)在内圆Ⅰ上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$;

转子电极Ⅱ由$4M_1$个感应极片Ⅱ(22)沿周向等间隔排成一圈组成,感应极片Ⅱ(22)的形状为两条倾斜的线段Ⅱ在起止点与同圆心的内圆弧Ⅱ、外圆弧Ⅱ相交而围成的封闭图形Ⅱ,两条倾斜的线段Ⅱ的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$,每条倾斜的线段Ⅱ的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$,感应极片Ⅱ(22)所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$,相邻两个感应极片Ⅱ(22)在内圆Ⅱ上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$;

编号为4n+1号的感应极片Ⅰ与编号为4n+3号的感应极片Ⅱ连成一组,组成A3感应组,编

号为4n+3号的感应极片Ⅰ与编号为4n+1号的感应极片Ⅱ连成一组，组成B3感应组，编号为4n+2号的感应极片Ⅰ与编号为4n+4号的感应极片Ⅰ连成一组，组成C3感应组，编号为4n+2号的感应极片Ⅱ与编号为4n+4号的感应极片Ⅱ连成一组，组成D3感应组，n依次取0至M_1-1的所有整数，$8M_1:M_2=8:5$；

编号相同的感应极片Ⅰ与感应极片Ⅱ在周向错开的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$、在径向错开的距离为δ；

测量时，在单激励相中通入单相交流激励信号，转子(2)相对定子(1)转动，A3、B3、C3、D3感应组输出的感应信号经角位移解算系统解算得到角位移值。

7.根据权利要求6所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器，其特征在于：所述角位移解算系统包括第一差分模块(31)、第二差分模块(32)、第一RC移相电路(33)、第三差分模块(34)、信号转换电路(39)和信号处理系统(310)；A3感应组的信号输出端、C3感应组的信号输出端分别与第一差分模块(31)的两个输入端连接，B3感应组的信号输出端、D3感应组的信号输出端分别与第二差分模块(32)的两个输入端连接，第二差分模块(32)的输出端与第一RC移相电路(33)的输入端连接，第一RC移相电路(33)的输出端、第一差分模块(31)的输出端分别与第三差分模块(34)的两个输入端连接，第三差分模块(34)的输出端与信号转换电路(39)的输入端连接，信号转换电路(39)的输出端与信号处理系统(310)的输入端连接，信号处理系统(310)输出所述角位移值。

8.根据权利要求6或7所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器，其特征在于：所述的两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[-\frac{\pi}{M_2},0]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

9.根据权利要求6或7所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器，其特征在于：所述的两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[0,\frac{\pi}{M_2}]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

10.根据权利要求6或7所述的基于单交变电场的时栅角位移传感器，其特征在于：所述的两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为两条斜线段。

一种基于单交变电场的时栅角位移传感器

技术领域

[0001] 本发明属于精密角位移测量领域，具体涉及一种基于单交变电场的时栅角位移传感器。

背景技术

[0002] 近年来国内研制出了一种以时钟脉冲作为位移测量基准的时栅角位移传感器，比如CN103968750A公开的一种电场式时栅角位移传感器(也可称为电容式角位移传感器)。并在此基础上，CN113008128A又公开了一种电容式角位移传感器及其转子，其采用多测头结构的多场激励测量方法，这些专利采用多路交流信号进行激励，在转子电极上感应一路行波信号，经相关处理实现角位移测量。但其仍然存在如下问题：(1)多相激励会增加激励信号产生的复杂度，且多相激励极片之间的引线会增加引线复杂度，同时因制造误差的影响，不可避免的会造成信号之间的引线串扰，影响信号质量；(2)多相激励使得角位移测量的对极为多个极片空间之和，导致在有限的传感器尺寸范围内，角位移测量极对数难以提高，且测头电容耦合面积利用率低，限制了传感器信噪比和精度的进一步提高。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种基于单交变电场的时栅角位移传感器，以提高信噪比和测量精度。

[0004] 本发明所述的一种基于单交变电场的时栅角位移传感器，包括定子和与定子同轴安装的转子，转子的基体表面设有感应电极，定子的基体表面设有激励电极，设有感应电极的转子的基体表面与设有激励电极的定子的基体表面正对平行，并留有间隙。

[0005] 所述激励电极由径向高度相同、圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$的M_2个扇环形极片沿周向等间隔排成一圈组成，M_2个扇环形极片连成一组，构成单激励相，相邻两个扇环形极片的间隔所对的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，激励电极的对极数为M_2，一个对极对应的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$。

[0006] 所述感应电极包括转子电极I和转子电极Ⅱ。转子电极I由$4M_1$个感应极片I沿周向等间隔排成一圈组成，编号为4n+1号的感应极片I连成一组，组成A1感应组，编号为4n+2号的感应极片I连成一组，组成B1感应组，编号为4n+3号的感应极片I连成一组，组成C1感应组，编号为4n+4号的感应极片I连成一组，组成D1感应组，n依次取0至M_1-1的所有整数，$8M_1$:M_2＝8:5；感应极片I的形状为两条倾斜的线段I在起止点与同圆心的内圆弧I、外圆弧I相交而围成的封闭图形I，两条倾斜的线段I的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，每条倾斜的线段I的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，感应极片I所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$，相邻两个感应极片I在内圆I上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$。转子电极Ⅱ由$4M_1$个感应极片Ⅱ沿周向等间隔排成一圈组成，编号为4n+1号的感应极片Ⅱ连成一组，组成A2感应组，编号为4n+2号的感应极片Ⅱ连成一组，组

成B2感应组，编号为4n+3号的感应极片Ⅱ连成一组，组成C2感应组，编号为4n+4号的感应极片Ⅱ连成一组，组成D2感应组；感应极片Ⅱ的形状为两条倾斜的线段Ⅱ在起止点与同圆心的内圆弧Ⅱ、外圆弧Ⅱ相交而围成的封闭图形Ⅱ，两条倾斜的线段Ⅱ的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，每条倾斜的线段Ⅱ的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，感应极片Ⅱ所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$，相邻两个感应极片Ⅱ在内圆Ⅱ上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$。编号相同的感应极片Ⅰ与感应极片Ⅱ在周向错开的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$、在径向错开的距离为δ；编号相同的感应极片Ⅰ与感应极片Ⅱ形成一组转子极片，则在整体上相邻两组转子极片之间间隔的圆心角为$\frac{\pi}{2M_2}$，即$\frac{1}{4}$个激励电极的对极对应的圆心角(即$\frac{1}{4}$个激励对极空间)。

[0007] 测量时，在单激励相中通入单相交流激励信号，产生单交变电场，转子相对定子转动，A1、B1、C1、D1感应组输出的感应信号和A2、B2、C2、D2感应组输出的感应信号经角位移解算系统解算得到角位移值。

[0008] 优选的，所述的两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ有三种形式：

[0009] 第一种，两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[-\frac{\pi}{M_2},0]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

[0010] 第二种，两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[0,\frac{\pi}{M_2}]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

[0011] 第三种，两条倾斜的线段Ⅰ、两条倾斜的线段Ⅱ都为两条斜线段。

[0012] 优选的，所述角位移解算系统包括第一差分模块、第二差分模块、第一RC移相电路、第三差分模块、第四差分模块、第五差分模块、第二RC移相电路、第六差分模块、信号转换电路和信号处理系统；A1感应组的信号输出端、C1感应组的信号输出端分别与第一差分模块的两个输入端连接，B1感应组的信号输出端、D1感应组的信号输出端分别与第二差分模块的两个输入端连接，第二差分模块的输出端与第一RC移相电路的输入端连接，第一RC移相电路的输出端、第一差分模块的输出端分别与第三差分模块的两个输入端连接，第三差分模块的输出端与信号转换电路的一个输入端连接；A2感应组的信号输出端、C2感应组的信号输出端分别与第四差分模块的两个输入端连接，B2感应组的信号输出端、D2感应组的信号输出端分别与第五差分模块的两个输入端连接，第五差分模块的输出端与第二RC移相电路的输入端连接，第二RC移相电路的输出端、第四差分模块的输出端分别与第六差分模块的两个输入端连接，第六差分模块的输出端与信号转换电路的另一个输入端连接；信号转换电路的输出端与信号处理系统的输入端连接，信号处理系统输出所述角位移值。

[0013] 本发明所述的另一种基于单交变电场的时栅角位移传感器，包括定子和与定子同轴安装的转子，转子的基体表面设有感应电极，定子的基体表面设有激励电极，设有感应电极的转子的基体表面与设有激励电极的定子的基体表面正对平行，并留有间隙。

[0014] 所述激励电极由径向高度相同、圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$的M_2个扇环形极片沿周向等间隔排成一圈组成，M_2个扇环形极片连成一组，构成单激励相，相邻两个扇环形极片的间隔所对的圆

心角为$\frac{\pi}{M_2}$，激励电极的对极数为M_2，一个对极对应的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$。

[0015] 所述感应电极包括转子电极I和转子电极Ⅱ。转子电极I由$4M_1$个感应极片I沿周向等间隔排成一圈组成，感应极片I的形状为两条倾斜的线段I在起止点与同圆心的内圆弧I、外圆弧I相交而围成的封闭图形I，两条倾斜的线段I的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，每条倾斜的线段I的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，感应极片I所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$，相邻两个感应极片I在内圆I上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$。转子电极Ⅱ由$4M_1$个感应极片Ⅱ沿周向等间隔排成一圈组成，感应极片Ⅱ的形状为两条倾斜的线段Ⅱ在起止点与同圆心的内圆弧Ⅱ、外圆弧Ⅱ相交而围成的封闭图形Ⅱ，两条倾斜的线段Ⅱ的起始点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，每条倾斜的线段Ⅱ的起止点所夹的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$，感应极片Ⅱ所对的圆心角为$\frac{2\pi}{M_2}$，相邻两个感应极片Ⅱ在内圆Ⅱ上的间隔所对的圆心角为$\frac{3\pi}{2M_2}$。编号为4n+1号的感应极片I与编号为4n+3号的感应极片Ⅱ连成一组，组成A3感应组，编号为4n+3号的感应极片I与编号为4n+1号的感应极片Ⅱ连成一组，组成B3感应组，编号为4n+2号的感应极片I与编号为4n+4号的感应极片I连成一组，组成C3感应组，编号为4n+2号的感应极片Ⅱ与编号为4n+4号的感应极片Ⅱ连成一组，组成D3感应组，n依次取0至M_1-1的所有整数，$8M_1:M_2=8:5$。编号相同的感应极片I与感应极片Ⅱ在周向错开的圆心角为$\frac{\pi}{M_2}$、在径向错开的距离为δ；编号相同的感应极片I与感应极片Ⅱ形成一组转子极片，则在整体上相邻两组转子极片之间间隔的圆心角为$\frac{\pi}{2M_2}$，即$\frac{1}{4}$个激励电极的对极对应的圆心角(即$\frac{1}{4}$个激励对极空间)。

[0016] 测量时，在单激励相中通入单相交流激励信号，产生单交变电场，转子相对定子转动，A3、B3、C3、D3感应组输出的感应信号经角位移解算系统解算得到角位移值。

[0017] 优选的，所述的两条倾斜的线段I、两条倾斜的线段Ⅱ有三种形式：

[0018] 第一种，两条倾斜的线段I、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[-\frac{\pi}{M_2},0]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

[0019] 第二种，两条倾斜的线段I、两条倾斜的线段Ⅱ都为极坐标下的$[0,\frac{\pi}{M_2}]$区间的两条相同的半周期余弦曲线段。

[0020] 第三种，两条倾斜的线段I、两条倾斜的线段Ⅱ都为两条斜线段。

[0021] 优选的，所述角位移解算系统包括第一差分模块、第二差分模块、第一RC移相电路、第三差分模块、信号转换电路和信号处理系统；A3感应组的信号输出端、C3感应组的信号输出端分别与第一差分模块的两个输入端连接，B3感应组的信号输出端、D3感应组的信号输出端分别与第二差分模块的两个输入端连接，第二差分模块的输出端与第一RC移相电路的输入端连接，第一RC移相电路的输出端、第一差分模块的输出端分别与第三差分模块的两个输入端连接，第三差分模块的输出端与信号转换电路的输入端连接，信号转换电路

的输出端与信号处理系统的输入端连接，信号处理系统输出所述角位移值。

[0022] 本发明具有如下效果：

[0023] (1)激励电极为单激励相，采用单相交流激励信号激励，简化了激励电极以及激励信号的结构和产生形式，将多场激励的多极片对极形式变为单极片对极形式，消除了多路激励电场之间的相互干扰和复杂绕线问题，提高了测量精度；同时在有限的传感器尺寸范围内成倍数增加了传感器的对极数，增加了整周期测量的对极数，有效提高了传感器测量的空间分辨率，提高了信噪比。

[0024] (2)采用在周向错开$\frac{\pi}{M_2}$的圆心角、在径向错开δ距离的$4M_1$个感应极片Ⅰ与$4M_1$个感应极片Ⅱ，在整体上将转子极片的间隔减少至$\frac{1}{4}$个激励对极空间，更有效地提高了电容耦合面积的利用率，进一步提高了信号质量的信噪比。

附图说明

[0025] 图1为实施例1中的定子的俯视图。

[0026] 图2为实施例1中的转子的仰视图。

[0027] 图3为实施例1中转子与定子的对应关系示意图。

[0028] 图4为实施例1中的感应电极与激励电极的投影关系的局部示意图。

[0029] 图5为实施例1中的角位移解算系统的原理框图。

[0030] 图6为实施例2中的转子的仰视图。

[0031] 图7为实施例2中转子与定子的对应关系示意图。

[0032] 图8为实施例2中的感应电极与激励电极的投影关系的局部示意图。

[0033] 图9为实施例3中的角位移解算系统的原理框图。

具体实施方式

[0034] 实施例1：如图1至图5所示，本实施例中的基于单交变电场的时栅角位移传感器，包括定子1和与定子1同轴安装的转子2；转子2的基体下表面设有感应电极，定子1的基体上表面设有激励电极，转子2的基体下表面与定子1的基体上表面正对平行，并留有0.5mm间隙，感应电极与激励电极正对。转子2的基体、定子1的基体均采用PCB制造工艺，通过在PCB板覆铜来制作激励电极的极片和感应电极的极片。

[0035] 如图1、图3、图4所示，激励电极由60个(即$M_2=60$)内圆半径为15mm、外圆半径为25mm、径向高度为10mm、圆心角为3°的扇环形极片11沿周向顺时针等间隔排成一圈组成，相邻两个扇环形极片11的间隔所对的圆心角为3°。60个扇环形极片11通过过孔引线串联成一组，构成单激励相，传感器的对极数为60(即传感器有60个对极)，一个对极对应的圆心角为6°。

[0036] 如图2、图3、图4所示，感应电极包括转子电极Ⅰ和转子电极Ⅱ。

[0037] 转子电极Ⅰ由48个(即$M_1=12$)感应极片Ⅰ21沿周向顺时针等间隔排成一圈组成，沿顺时针方向，编号为4n+1号(即第1，5，…，41，45号)感应极片Ⅰ21通过过孔引第一根感应信号线连成一组，组成A1感应组，编号为4n+2号(即第2，6，…，42，46号)感应极片Ⅰ21通过过孔引第二根感应信号线连成一组，组成B1感应组，编号为4n+3号(即第3，7，…，43，47号)感应

极片I21通过过孔引第三根感应信号线连成一组，组成C1感应组，编号为4n+4号(即第4，8，…，44，48号)感应极片I21通过过孔引第四根感应信号线连成一组，组成D1感应组，n依次取0至11的所有整数。感应极片I21的形状为极坐标下的[-3°,0]区间的两条相同的半周期余弦曲线段在起止点与同圆心的内圆弧I、外圆弧I相交而围成的封闭图形I(可以称为斜余弦面I)，该两条相同的半周期余弦曲线段的起始点所夹的圆心角为3°，每条半周期余弦曲线段的起止点所夹的圆心角为3°，感应极片I21所对的圆心角为6°，相邻两个感应极片I21在内圆I上的间隔所对的圆心角为4.5°，内圆弧I的半径为16.4mm，外圆弧I的半径为24mm，感应极片I21的径向高度为7.6mm。

[0038] 转子电极Ⅱ由48个感应极片Ⅱ22沿周向顺时针等间隔排成一圈组成，沿顺时针方向，编号为4n+1号(即第1，5，…，41，45号)感应极片Ⅱ22通过过孔引第五根感应信号线连成一组，组成A2感应组，编号为4n+2号(即第2，6，…，42，46号)感应极片Ⅱ22通过过孔引第六根感应信号线连成一组，组成B2感应组，编号为4n+3号(即第3，7，…，43，47号)感应极片Ⅱ22通过过孔引第七根感应信号线连成一组，组成C2感应组，编号为4n+4号(即第4，8，…，44，48号)感应极片Ⅱ22通过过孔引第八根感应信号线连成一组，组成D2感应组。感应极片Ⅱ22的形状为极坐标下的[-3°,0]区间的两条相同的半周期余弦曲线段在起止点与同圆心的内圆弧Ⅱ、外圆弧Ⅱ相交而围成的封闭图形Ⅱ(可以称为斜余弦面Ⅱ)，该两条相同的半周期余弦曲线段的起始点所夹的圆心角为3°，每条半周期余弦曲线段的起止点所夹的圆心角为3°，感应极片Ⅱ22所对的圆心角为6°，相邻两个感应极片Ⅱ22在内圆Ⅱ上的间隔所对的圆心角为4.5°，感应极片Ⅱ22的径向高度为7.6mm，内圆弧Ⅱ的半径为16mm，外圆弧Ⅱ的半径为23.6mm。编号相同的感应极片I21与感应极片Ⅱ22在周向错开的圆心角为3°、在径向错开的距离为δ＝0.4mm。编号相同的感应极片I21与感应极片Ⅱ22形成一组转子极片，则在整体上相邻两组转子极片之间间隔的圆心角为1.5°，即$\frac{1}{4}$个激励电极的对极对应的圆心角。

[0039] 测量时，在单激励相中通入单相交流激励信号U_c(即一相正弦交流信号)，激励电极输出单相交流电场$I_m\sin(\omega t)$；其中，I_m为激励电场强度的最大值，ω为激励频率。转子2相对定子1转动，A1、B1、C1、D1感应组输出的感应信号和A2、B2、C2、D2感应组输出的感应信号经角位移解算系统解算得到角位移值。

[0040] 如图5所示，角位移解算系统包括第一差分模块31、第二差分模块32、第一RC移相电路33、第三差分模块34、第四差分模块35、第五差分模块36、第二RC移相电路37、第六差分模块38、信号转换电路39和信号处理系统310(比如FPGA)。

[0041] A1感应组的信号输出端、C1感应组的信号输出端分别与第一差分模块31的两个输入端连接，B1感应组的信号输出端、D1感应组的信号输出端分别与第二差分模块32的两个输入端连接，第二差分模块32的输出端与第一RC移相电路33的输入端连接，第一RC移相电路33的输出端、第一差分模块31的输出端分别与第三差分模块34的两个输入端连接，第三差分模块34的输出端与信号转换电路39的一个输入端连接。A1感应组输出的感应信号(即A1组感应信号)、C1感应组输出的感应信号(即C1组感应信号)经第一差分模块31差分放大后，输出正弦驻波信号U_{a1}，B1感应组输出的感应信号(即B1组感应信号)、D1感应组输出的感应信号(即D1组感应信号)经第二差分模块32差分放大后，输出信号U_{b1}，信号U_{b1}经第一RC移相电路33(即90°移相电路)移相后输出余弦驻波信号U_{b1}'，正弦驻波信号U_{a1}与余弦驻波信

号U_{b1}'经第三差分模块34后合成一路电行波信号U_{10},电行波信号U_{10}经信号转换电路39转换成第一路方波信号,第一路方波信号通入信号处理系统310。

[0042] A2感应组的信号输出端、C2感应组的信号输出端分别与第四差分模块35的两个输入端连接,B2感应组的信号输出端、D2感应组的信号输出端分别与第五差分模块36的两个输入端连接,第五差分模块36的输出端与第二RC移相电路37的输入端连接,第二RC移相电路37的输出端、第四差分模块35的输出端分别与第六差分模块38的两个输入端连接,第六差分模块38的输出端与信号转换电路39的另一个输入端连接;信号转换电路39的输出端与信号处理系统310的输入端连接,信号处理系统310输出角位移值。A2感应组输出的感应信号(即A2组感应信号)、C2感应组输出的感应信号(即C2组感应信号)经第四差分模块35差分放大后,输出正弦驻波信号U_{a2},B2感应组输出的感应信号(即B2组感应信号)、D2感应组输出的感应信号(即D2组感应信号)经第五差分模块36差分放大后,输出信号U_{b2},信号U_{b2}经第二RC移相电路337(即90°移相电路)移相后输出余弦驻波信号U_{b2}',正弦驻波信号U_{a2}与余弦驻波信号U_{b2}'经第六差分模块38后合成一路电行波信号U_{20},电行波信号U_{20}经信号转换电路39转换成第二路方波信号,第二路方波信号通入信号处理系统310。信号处理系统310对第一路方波信号、第二路方波信号进行处理换算(处理换算方式为现有技术),得到角位移值,信号处理系统310输出角位移值,角位移测量周期为$\frac{\pi}{M_2}=\frac{\pi}{60}$,即$\frac{1}{2}$个激励对极空间对应一个测量周期。

[0043] 实施例2:如图6至图8所示,本实施例中的基于单交变电场的时栅角位移传感器,其测量原理以及大部分结构与实施例1相同,不同之处在于:

[0044] 感应极片I21的形状为的两条斜线段在起止点与同圆心的内圆弧I、外圆弧I相交而围成的封闭图形I(可以称为斜梯形面I),该两条斜线段的起始点所夹的圆心角为3°,每条斜线段的起止点所夹的圆心角为3°。

[0045] 感应极片Ⅱ22的形状为的两条斜线段在起止点与同圆心的内圆弧Ⅱ、外圆弧Ⅱ相交而围成的封闭图形Ⅱ(可以称为斜梯形面Ⅱ),该两条斜线段的起始点所夹的圆心角为3°,每条斜线段的起止点所夹的圆心角为3°。

[0046] 实施例3:如图9所示,本实施例中的基于单交变电场的时栅角位移传感器,其大部分结构与实施例1相同,不同之处在于:

[0047] 转子电极I与转子电极Ⅱ构成一种差动连接方式,沿顺时针方向,编号为4n+1号(即第1,5,…,41,45号)感应极片I21与编号为4n+3号(即第3,7,…,43,47号)感应极片Ⅱ22通过过孔引线连成一组,组成A3感应组,编号为4n+3号(即第3,7,…,43,47号)感应极片I21与编号为4n+1号(即第1,5,…,41,45号)感应极片Ⅱ22通过过孔引线连成一组,组成B3感应组,编号为4n+2号(即第2,6,…,42,46号)感应极片I21与编号为4n+4号(即第4,8,…,44,48号)感应极片I21通过过孔引线连成一组,组成C3感应组,编号为4n+2号(即第2,6,…,42,46号)感应极片Ⅱ22与编号为4n+4号(即第4,8,…,44,48号)感应极片Ⅱ22通过过孔引线连成一组,组成D3感应组,n依次取0至11的所有整数。

[0048] 测量时,在单激励相中通入单相交流激励信号U_c(即一相正弦交流信号),激励电极输出单相交流电场$I_m\sin(\omega t)$;其中,I_m为激励电场强度的最大值,ω为激励频率。转子2相对定子1转动,A3、B3、C3、D3感应组输出的感应信号经角位移解算系统解算得到角位移

值。

[0049] 如图9所示，角位移解算系统包括第一差分模块31、第二差分模块32、第一RC移相电路33、第三差分模块34、信号转换电路39和信号处理系统310(比如FPGA)。A3感应组的信号输出端、C3感应组的信号输出端分别与第一差分模块31的两个输入端连接，B3感应组的信号输出端、D3感应组的信号输出端分别与第二差分模块32的两个输入端连接，第二差分模块32的输出端与第一RC移相电路33的输入端连接，第一RC移相电路33的输出端、第一差分模块31的输出端分别与第三差分模块34的两个输入端连接，第三差分模块34的输出端与信号转换电路39的输入端连接，信号转换电路39的输出端与信号处理系统310的输入端连接。A3感应组输出的感应信号(即A3组感应信号)、C3感应组输出的感应信号(即C3组感应信号)经第一差分模块31差分放大后，输出正弦驻波信号U_{a3}，B3感应组输出的感应信号(即B3组感应信号)、D3感应组输出的感应信号(即D3组感应信号)经第二差分模块32差分放大后，输出信号U_{b3}，信号U_{b3}经第一RC移相电路33(即90°移相电路)移相后输出余弦驻波信号U_{b3}'，正弦驻波信号U_a与余弦驻波信号U_{b3}'经第三差分模块34后合成一路电行波信号U_{30}，电行波信号U_{30}经信号转换电路39转换成方波信号，方波信号通入信号处理系统310，信号处理系统310对方波信号进行处理换算(处理换算方式为现有技术)得到角位移值，信号处理系统310输出角位移值，角位移测量周期为$\frac{2\pi}{M_2}=\frac{\pi}{30}$，即1个激励对极空间对应一个测量周期。

[0050] 实施例4：本实施例中的基于单交变电场的时栅角位移传感器，其测量原理以及大部分结构与实施例3相同，不同之处在于：

[0051] 感应极片I21的形状为的两条斜线段在起止点与同圆心的内圆弧I、外圆弧I相交而围成的封闭图形I(可以称为斜梯形面I)，该两条斜线段的起始点所夹的圆心角为3°，每条斜线段的起止点所夹的圆心角为3°。

[0052] 感应极片Ⅱ22的形状为的两条斜线段在起止点与同圆心的内圆弧Ⅱ、外圆弧Ⅱ相交而围成的封闭图形Ⅱ(可以称为斜梯形面Ⅱ)，该两条斜线段的起始点所夹的圆心角为3°，每条斜线段的起止点所夹的圆心角为3°。

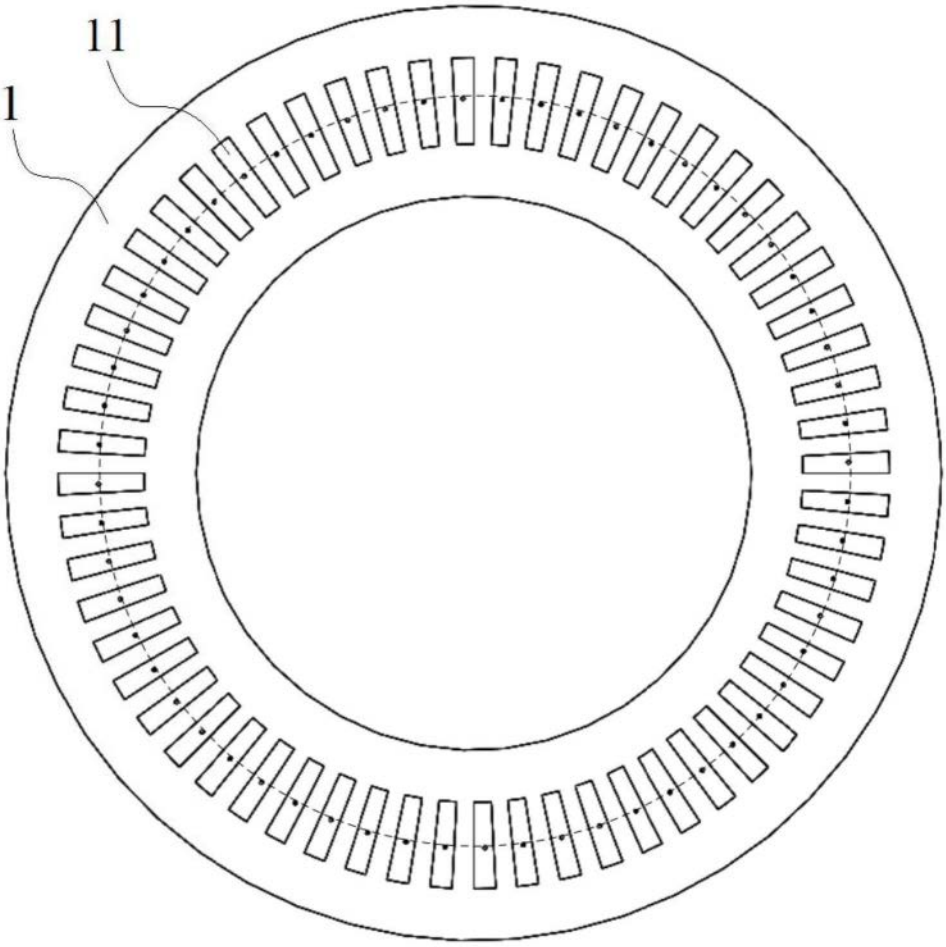


图1

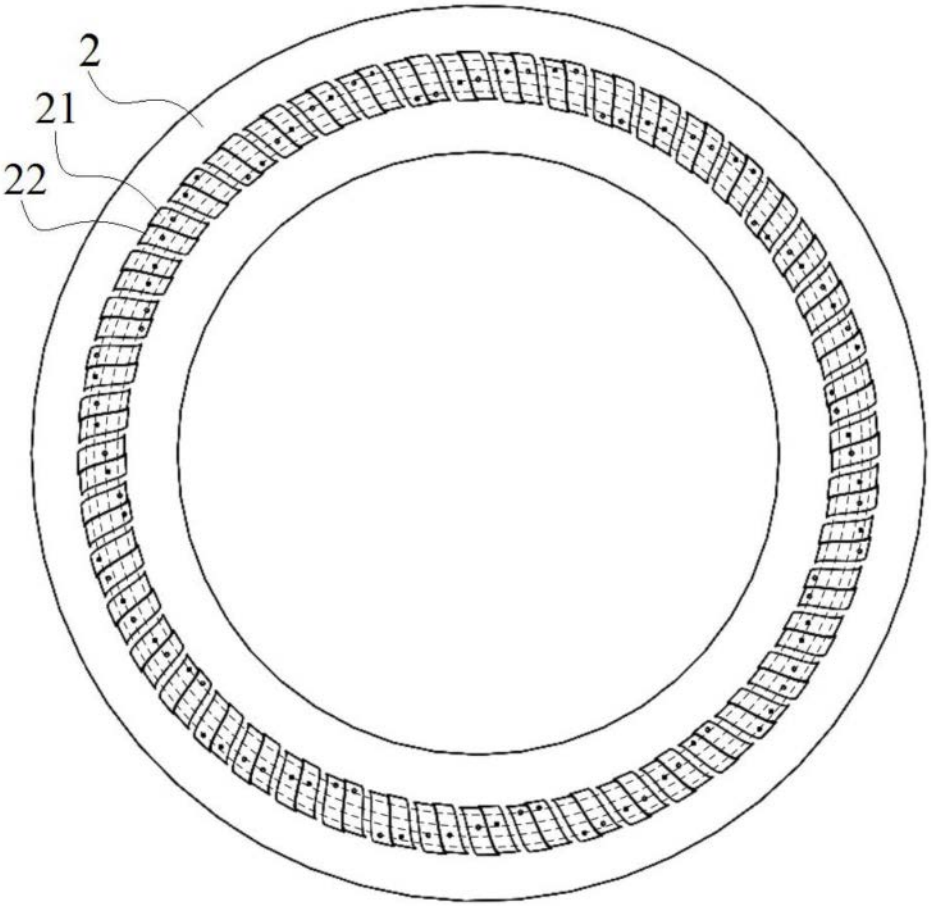


图2

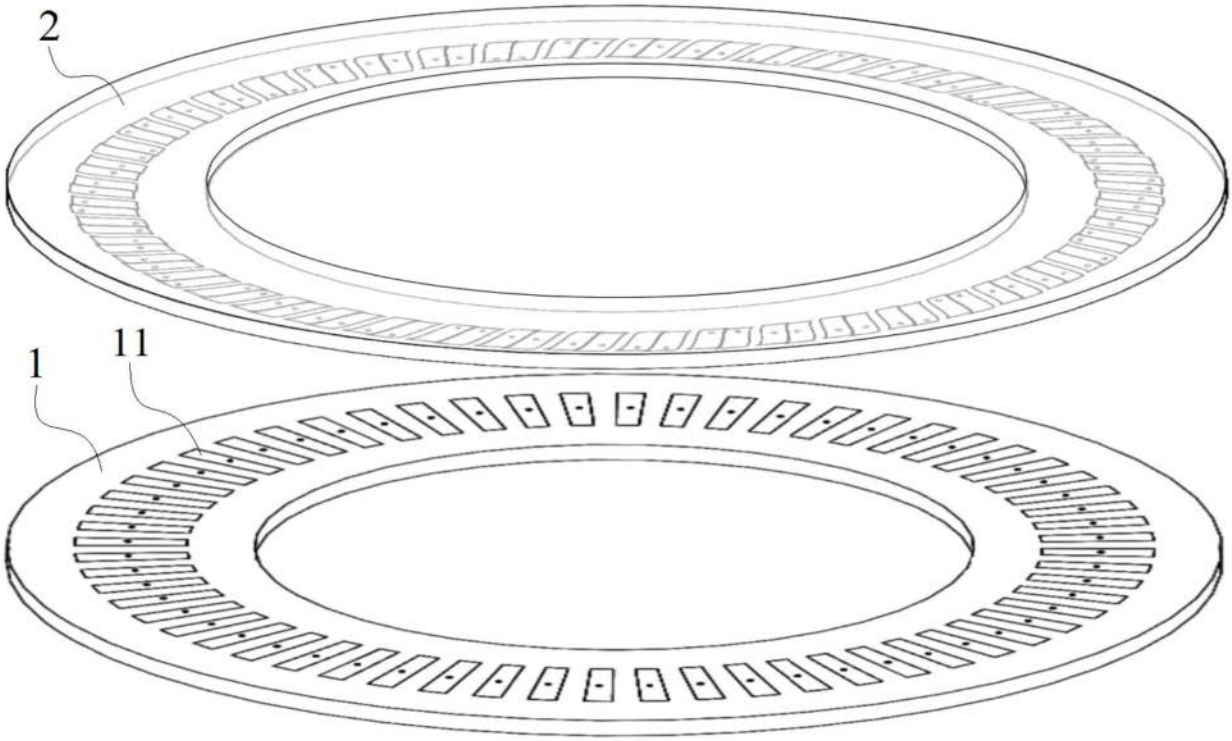


图3

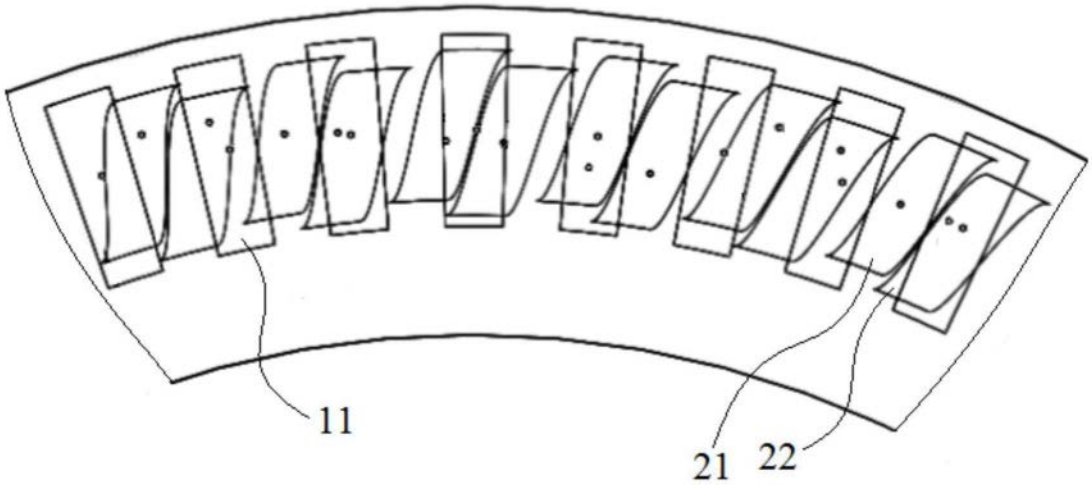


图4

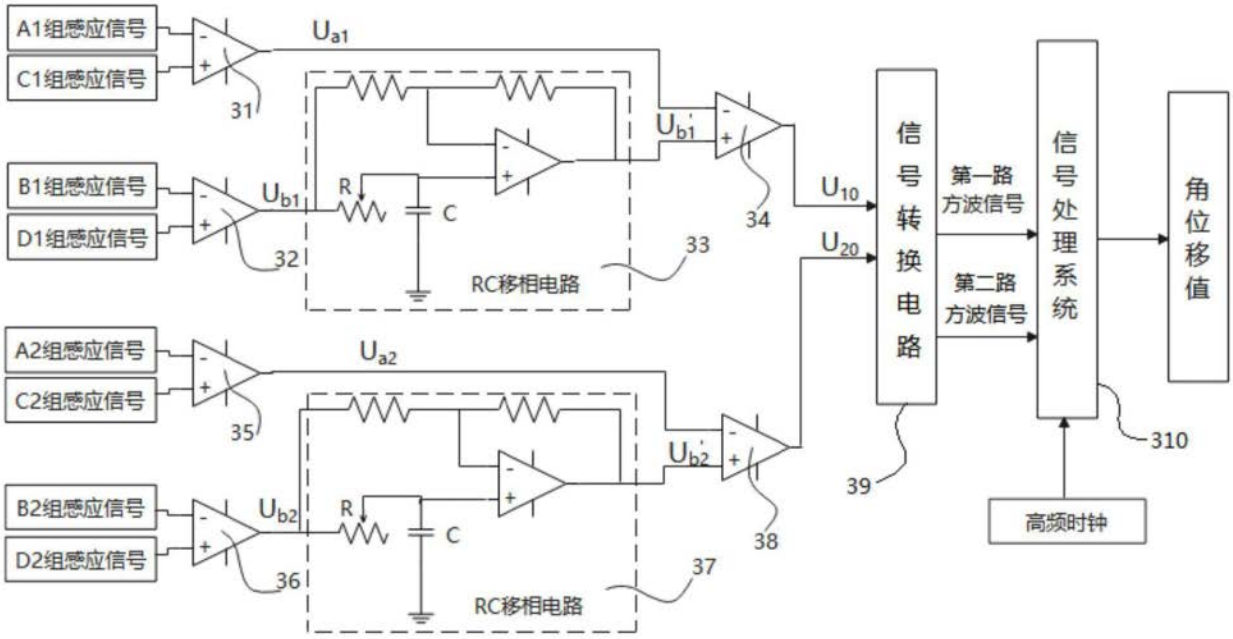

A1组感应信号
C1组感应信号
B1组感应信号
D1组感应信号
A2组感应信号
C2组感应信号
B2组感应信号
D2组感应信号
U_{a1}
U_{b1}
U_{a2}
U_{b2}
U_{b1}'
U_{b2}'
U_{10}
U_{20}
R
C
RC移相电路
RC移相电路
31
32
33
34
35
36
37
38
39
310
信号转换电路
第一路方波信号
第二路方波信号
信号处理系统
角位移值
高频时钟

图5

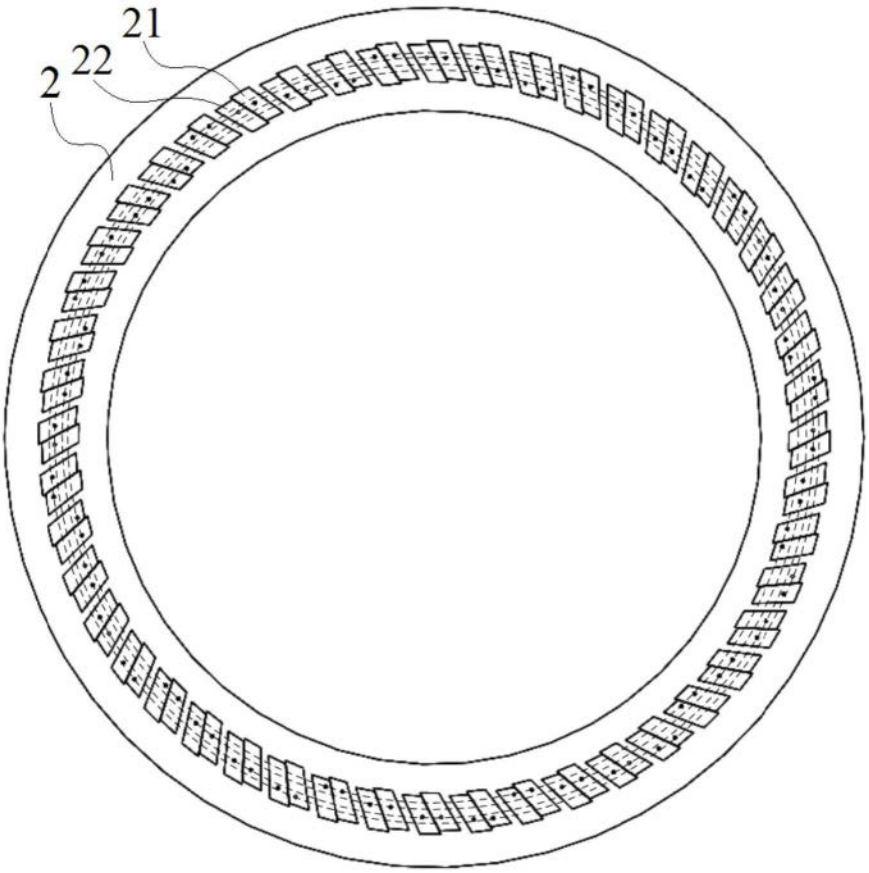

21
22
2

图6

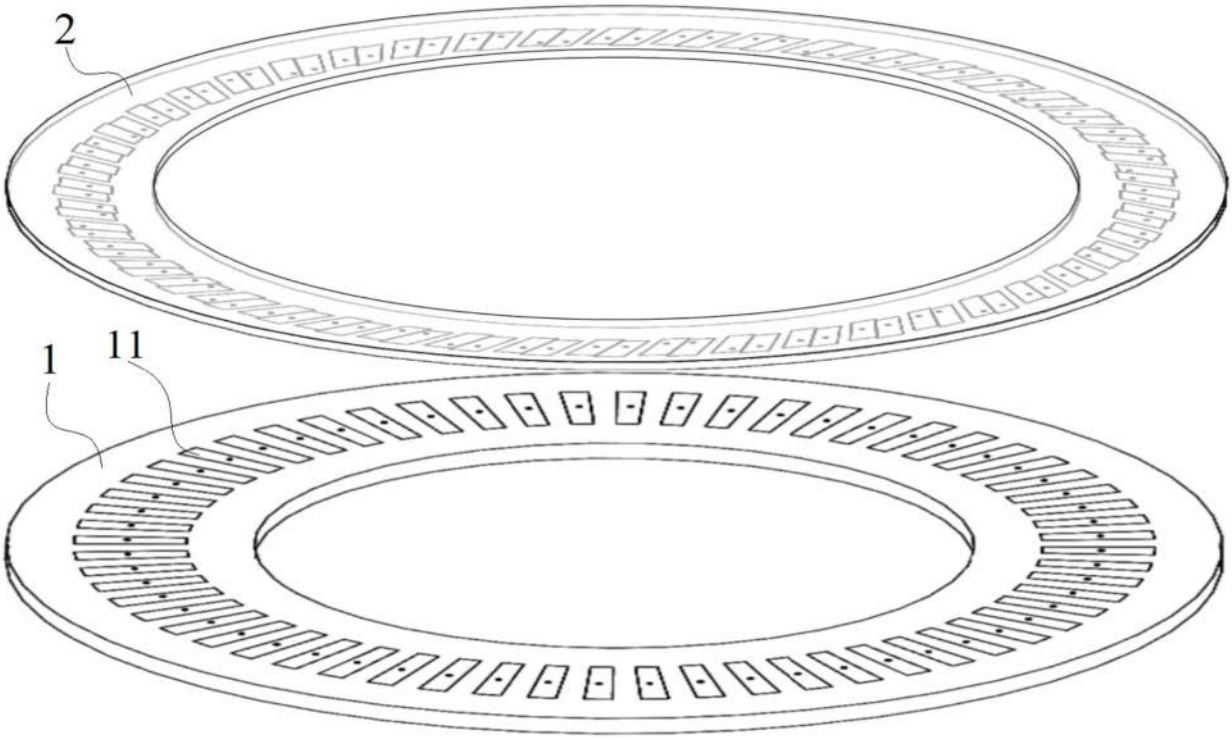


图7

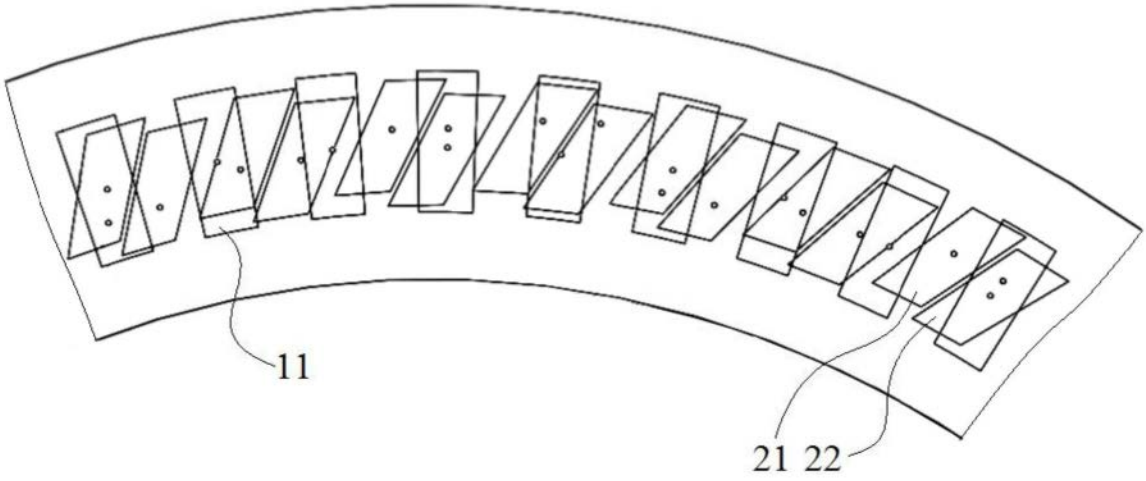


图8

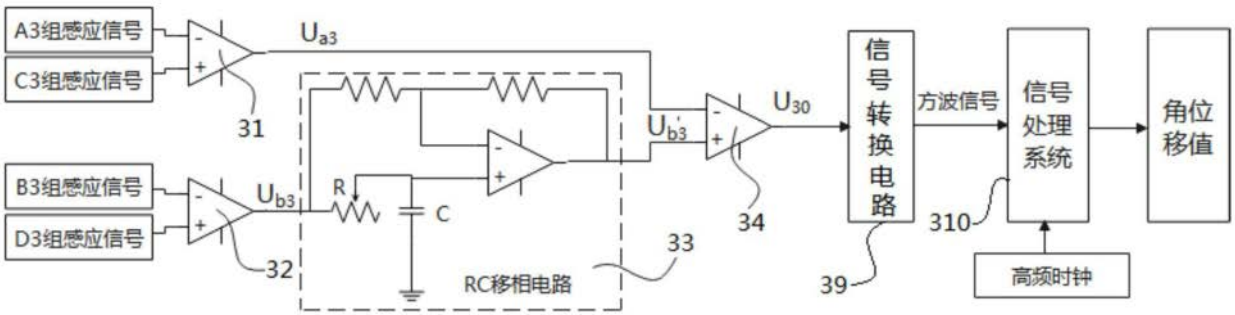

A3组感应信号
C3组感应信号
B3组感应信号
D3组感应信号
U_{a3}
U_{b3}
U_{b3}'
U_{30}
R
C
31
32
33
34
39
310
RC移相电路
信号转换电路
方波信号
信号处理系统
角位移值
高频时钟

图9