



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113067446 B

(45) 授权公告日 2023. 03. 03

(21) 申请号 202110548821.9

H02K 3/28 (2006.01)

(22) 申请日 2021.05.20

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113067446 A

CN 106787556 A, 2017.05.31

CN 108199551 A, 2018.06.22

CN 102005837 A, 2011.04.06

(43) 申请公布日 2021.07.02

CN 104539125 A, 2015.04.22

CN 102280985 A, 2011.12.14

(73) 专利权人 河北工业大学

地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8号河北工业大学东院330#

CN 101789641 A, 2010.07.28

CN 106685165 A, 2017.05.17

(72) 发明人 苏鹏 王一维 申怡 李永建  
胡艳芳

JP 2020043654 A, 2020.03.19

EP 1968081 A1, 2008.09.10

Fabio Giulii Capponi等.Recent

(74) 专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务  
所(普通合伙) 12210

专利代理师 蔡运红

Advances in Axial-Flux Permanent-Magnet  
Machine Technology.《IEEE Transactions on  
Industry Applications》.2012,

李健.《磁通切换永磁电机的设计与分析》.  
《上海电机学院》.2016,

(51) Int. Cl.

H02K 16/02 (2006.01)

H02K 21/26 (2006.01)

H02K 21/02 (2006.01)

审查员 李敏

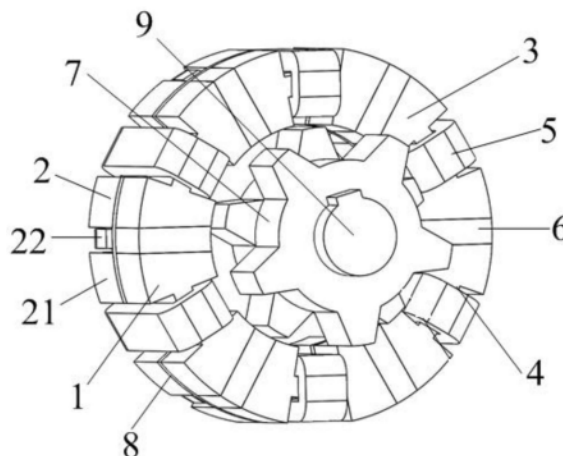
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

## (54) 发明名称

一种双模块化混合励磁磁通切换电机

## (57) 摘要

本发明为一种双模块化混合励磁磁通切换电机,包括定子和转子;定子包括电枢绕组和至少一个定子模块,每个定子模块包括一个永磁定子单元和一个电励磁定子单元,相邻两个定子单元之间嵌有隔磁环;电励磁定子单元包含环形定子铁心和励磁线圈,环形定子铁心上呈圆周均匀设有多个导磁桥臂,相邻两个导磁桥臂之间设有励磁桥臂,每个励磁桥臂上绕置有励磁线圈;所述永磁定子单元包含永磁体和多个呈圆周均匀排布的定子铁心,相邻两个定子铁心之间嵌有永磁体;所述转子包含数量与定子模块相同的转子模块,每个转子模块包含两个转子单元,两个转子单元安装位置的圆心角相差180°。该电机永磁磁链的谐波波形更接近于正弦波,减少了电机振动和噪声。



1. 一种双模块化混合励磁磁通切换电机,包括定子和转子;其特征在于,定子包括电枢绕组和至少一个沿电机轴向排布的定子模块,每个定子模块包括一个永磁定子单元和一个电励磁定子单元,每个定子模块的两个定子单元之间以及相邻两个定子模块相邻的两个定子单元之间均嵌有隔磁环;

所述电励磁定子单元包含环形定子铁心和励磁线圈,环形定子铁心上呈圆周均匀设有多个导磁桥臂,相邻两个导磁桥臂之间设有励磁桥臂,每个励磁桥臂上绕置有励磁线圈,相邻两个励磁线圈的绕置方向相反,所有励磁线圈串联形成一个励磁绕组;

所述永磁定子单元包含永磁体和多个呈圆周均匀排布的定子铁心,相邻两个定子铁心之间嵌有永磁体,相邻两个永磁体的充磁方向相反;环形定子铁心的导磁桥臂与定子铁心3对应位置的轭部完全重合,永磁定子单元和电励磁定子单元沿电机轴向的相同位置共用同一相电枢绕组的一个电枢线圈;

所述转子包含数量与定子模块相同的转子模块,每个转子模块包含两个转子单元,两个转子单元安装位置的圆心角相差 $180^{\circ}$ ,一个转子单元正对永磁定子单元,另一个转子单元正对电励磁定子单元,转子单元与对应的定子单元之间存在气隙;

所述定子单元包含六个定子铁心,转子单元包含五个转子极,形成6槽/5极磁通切换电机。

2. 根据权利要求1所述的双模块化混合励磁磁通切换电机,其特征在于,定子铁心为H型或C型或U型。

3. 根据权利要求1所述的双模块化混合励磁磁通切换电机,其特征在于,所述定子铁心和转子单元均采用硅钢片制成。

4. 根据权利要求1所述的双模块化混合励磁磁通切换电机,其特征在于,永磁体采用钕铁硼或钕钴或铁氧体永磁材料制成。

5. 根据权利要求1所述的双模块化混合励磁磁通切换电机,其特征在于,所述电枢绕组为三相电枢绕组,每相电枢绕组包含两个电枢线圈,每相电枢绕组的两个电枢线圈在电机径向上的位置相对,即两个电枢线圈之间的圆心角为 $180^{\circ}$ 。

## 一种双模块化混合励磁磁通切换电机

### 技术领域

[0001] 本发明属于电机制造技术领域,具体涉及一种双模块化混合励磁磁通切换电机。

### 背景技术

[0002] 在风力发电、新能源电动汽车、工业技术、飞机、舰艇制造等领域,不但要求电机具有良好的转矩和转速特性,以满足设备运行工况多变的条件,而且对电机系统的运行效率与可靠性有极高需求。传统混合励磁磁通切换电机具有转矩(功率)密度高、转矩输出能力强、效率高等优点,被广泛应用于各种工况。磁通切换电机的永磁体和电枢绕组均置于定子侧,易于冷却和散热,转子侧既无永磁体也无电枢绕组,结构简单、机械强度高、适合高速运行,且能够在环境较为恶劣的条件下运行。

[0003] 气隙磁场由永磁体和励磁线圈共同产生,增强了磁场的可调节性,改善电机的转矩输出能力并扩大了电机的调速范围;通过对励磁电流的大小和方向进行调节,可实现对气隙磁场的调节,从而满足电机不同运行状态的需要。当电机需要工作在低速大扭矩场合时,可提高励磁电流,使工作电机获得足够的磁通,从而产生足够的转矩;当需要高速运行时,给励磁线圈通反向电流,抵消一部分永磁磁通,以达到弱磁增速的目的。

[0004] 目前,传统的6槽/5极混合励磁磁通切换电机的电枢绕组的绕组因数较低,永磁磁链中谐波含量较多,谐波的正弦性较差,导致电机的输出性能较差,此外永磁型磁通切换电机电枢线圈与永磁体距离较近,存在高温不可逆退磁的风险,不能很好地满足电机运行环境多变的需求。

[0005] 基于上述背景与瓶颈问题,本发明提出了一种双模块化混合励磁磁通切换电机。

### 发明内容

[0006] 针对现有技术的不足,本发明拟解决的技术问题是,提供一种双模块化混合励磁磁通切换电机。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0008] 一种双模块化混合励磁磁通切换电机,包括定子和转子;其特征在于,定子包括电枢绕组和至少一个沿电机轴向排布的定子模块,每个定子模块包括一个永磁定子单元和一个电励磁定子单元,每个定子模块的两个定子单元之间以及相邻两个定子模块相邻的两个定子单元之间均嵌有隔磁环;

[0009] 所述电励磁定子单元包含环形定子铁心和励磁线圈,环形定子铁心上呈圆周均匀设有多个导磁桥臂,相邻两个导磁桥臂之间设有励磁桥臂,每个励磁桥臂上绕置有励磁线圈,相邻两个励磁线圈的绕置方向相反,所有励磁线圈串联形成一个励磁绕组;

[0010] 所述永磁定子单元包含永磁体和多个呈圆周均匀排布的定子铁心,相邻两个定子铁心之间嵌有永磁体,相邻两个永磁体的充磁方向相反;环形定子铁心的导磁桥臂与定子铁心3对应位置的轭部完全重合,永磁定子单元和电励磁定子单元沿电机轴向的相同位置共用同一相电枢绕组的一个电枢线圈;

[0011] 所述转子包含数量与定子模块相同的转子模块,每个转子模块包含两个转子单元,两个转子单元安装位置的圆心角相差 $180^{\circ}$ ,一个转子单元正对永磁定子单元,另一个转子单元正对电励磁定子单元,转子单元与对应的定子单元之间存在气隙。

[0012] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0013] 1) 每个转子模块的两个转子单元安装位置的圆心角相差 $180^{\circ}$ ,相邻两个定子单元相同位置的永磁体充磁方向与励磁线圈磁场方向相反,使得两个转子单元与定子铁心之间的磁通密度的奇次谐波能够抵消,永磁磁链中奇次谐波含量更少,永磁磁链的谐波波形更接近于正弦波,同时有效抑制奇数极转子单元的单边磁拉力,适合高速运行。本发明的电机属于磁通切换类电机,具有高转矩密度和高效率的优势。

[0014] 2) 电枢绕组绕置于定子铁心的导磁桥臂上,与永磁体分离,有效防止电机在工作过程中电枢线圈发热而引起的永磁体高温退磁;由于永磁体与电枢线圈距离较远,增加了永磁体的散热面积,提高了永磁体的表面散热系数以及永磁体与冷却系统中空气或冷却液间的导热系数,减小了永磁体的温升;此外,电枢线圈产生的热量通过定子铁心的导磁桥臂传递给永磁体,在设置有冷却系统的条件下,仅有一部分热量传递给永磁体,能够有效抑制永磁体温度的上升。

[0015] 3) 电枢绕组为集中式环形拓扑,每相电枢绕组的两个电枢线圈的圆心角相隔 $180^{\circ}$ ,每相电枢绕组匝链的永磁磁链相位相差 $180^{\circ}$ ,且幅值相反,磁链变化具有互补性,能够有效抵消永磁磁链与空载感应电动势中的偶次谐波,提高永磁磁链与空载感应电动势波形的正弦性。电枢线圈绕置时仅跨越一个导磁桥臂,减小了端部绕组的长度;沿电机轴向所有定子单元相同位置的定子铁心共用一个电枢线圈,不仅提高了绕组因素,而且端部绕组跨度较小,降低了铜耗,提高了电机的运行效率。

[0016] 4) 转子单元采用硅钢片构成,结构简单,机械强度高;转子极数少,在电机高速运行过程中,能够有效降低铁耗与永磁体涡流损耗。

[0017] 5) 本发明有纯永磁励磁和混合励磁两种运行方式,在永磁体发生不可逆退磁故障时,可通过改变励磁绕组的电流强度调节气隙磁场的大小,维持电机的正常运行,提高了电机的容错能力,以满足不同工况下的要求。

## 附图说明

[0018] 图1为本发明的整体结构示意图;

[0019] 图2为本发明的环形定子铁心的结构示意图;

[0020] 图3为本发明沿电励磁定子单元的径向剖视图;

[0021] 图4为本发明沿永磁定子单元的径向剖视图;

[0022] 图5为本发明电机与单个永磁定子单元或单个电励磁定子单元构成的电机气隙中的磁通密度对比图;

[0023] 图6为本发明的转子模块中两个转子单元的不平衡磁拉力分解图;

[0024] 图中:1、永磁定子单元;2、电励磁定子单元;3、定子铁心;4、轭部;5、电枢绕组;6、永磁体;7、转子单元;8、隔磁环;9、轴。

[0025] 21、环形定子铁心;22、励磁线圈;211、导磁桥臂;212、励磁桥臂;61、一号永磁体;62、二号永磁体;71、一号转子极。

## 具体实施方式

[0026] 下面结合实施例和附图对本发明的技术方案进行详细说明,并不用于限定本申请的保护范围。

[0027] 如图1所示,本发明为一种双模块化混合励磁磁通切换电机(简称电机),包括定子和转子;定子包括电枢绕组5和至少一个沿电机轴向排布的定子模块,每个定子模块包括一个永磁定子单元1和一个电励磁定子单元2,每个定子模块的两个定子单元之间以及相邻两个定子模块相邻的两个定子单元之间均嵌有隔磁环8;

[0028] 所述电励磁定子单元2包含环形定子铁心21和励磁线圈22,环形定子铁心21上呈圆周均匀设有多个导磁桥臂211,相邻两个导磁桥臂211之间设有励磁桥臂212,每个励磁桥臂212上绕置有励磁线圈22,相邻两个励磁线圈22的绕置方向相反,所有励磁线圈22串联形成一个励磁绕组;

[0029] 所述永磁定子单元1包含永磁体6和多个呈圆周均匀排布的定子铁心3,相邻两个定子铁心3之间嵌有永磁体6,永磁体6的充磁方向为切向,相邻两个永磁体6的充磁方向相反;环形定子铁心21的导磁桥臂211与定子铁心3对应位置的轭部4完全重合,永磁定子单元1和电励磁定子单元2沿电机轴向的相同位置共用同一相电枢绕组5的一个电枢线圈;

[0030] 所述转子包含数量与定子模块相同的转子模块,每个转子模块包含两个转子单元7,两个转子单元7安装位置的圆心角相差 $180^{\circ}$ ,一个转子单元7正对永磁定子单元1,另一个转子单元7正对电励磁定子单元2,转子单元7与对应的定子单元之间存在气隙。

[0031] 所述电枢绕组5为三相电枢绕组,每相电枢绕组包含两个电枢线圈,每相电枢绕组的两个电枢线圈在电机径向上的位置相对,即两个电枢线圈之间的圆心角为 $180^{\circ}$ ;电枢绕组匝链的磁链为双极性变化;电枢线圈采用集中式环形拓扑,绕置在定子铁心3的轭部4和环形定子铁心21对应位置的导磁桥臂211上,提高定子铁心3和环形定子铁心21的槽满率,进而提高了电机拓扑的转矩密度;如图2、3所示,A相正极电枢线圈511与A相负极电枢线圈512径向相对,A相正极电枢线圈511和A相负极电枢线圈512串联形成A相电枢绕组51,A相正极电枢线圈511和A相负极电枢线圈512的永磁磁链相位相差 $180^{\circ}$ ;同理,B相正极电枢线圈521和B相负极电枢线圈522串联形成B相电枢绕组52,C相正极电枢线圈531和C相负极电枢线圈532串联形成C相电枢绕组53;每相电枢绕组的两个电枢线圈所在磁路中磁链偶次谐波大小相等,幅值相反,因此磁链变化具有互补性,每个电枢线圈内匝链的永磁磁链仅由磁通密度中的偶次谐波贡献,优化了永磁磁链的正弦性,减少了空载感应电动势的谐波含量,进而抑制了电机的输出转矩脉动。

[0032] 励磁线圈22采用集中式绕置方式,当励磁线圈22的充磁方向与永磁体6的充磁方向相反,起到增磁作用,励磁线圈22的充磁方向与永磁体6的充磁方向相同时,起到去磁作用,因此使用时通过改变励磁线圈的通电方向即可达到增磁或去磁目的,通过调节励磁电流强度调节气隙磁场的强度,实现电机的冗余励磁运行。

[0033] 所述定子铁心3为常规形状结构,可以为H型、C型和U型,永磁定子单元1包含六个定子铁心3,转子单元7包含五个转子极,形成6槽/5极的混合励磁磁通切换电机;定子铁心3和转子单元7均为凸极结构,转子单元7可以为直槽结构或斜槽结构,定子铁心3和转子单元7均采用导磁材料制成,例如硅钢片。

[0034] 所述永磁体4采用钕铁硼、钕钴或者铁氧体永磁材料制成。

[0035] 每个转子模块的两个转子单元7安装位置的圆心角相差 $180^\circ$ ,通过两个转子单元7配合使用,使得气隙中产生的永磁磁通密度谐波分布与电枢反应磁通密度谐波分布均不同于传统定子永磁电机,能够将气隙中磁通密度的奇次谐波抵消;图5为不同结构构成的电机气隙中的磁通密度对比图,A表示单个永磁定子单元与转子单元构成的电机,B表示单个电励磁定子单元与转子单元构成的电机,C表示本发明的一个定子模块构成的电机;从图中可知,A电机和B电机在谐波次数为奇数时均气隙磁场中存在磁通,本发明电机在谐波次数为奇数时,气隙中无磁通密度,使得永磁磁链中谐波含量更少,更接近于正弦波,进一步抑制了电机的输出转矩脉动。

[0036] 图5为转子模块的两个转子单元的不平衡磁拉力分解图,转子单元一x方向的不平衡磁拉力与转子单元二x方向的不平衡磁拉力幅值相同,相位相差 $180^\circ$ ,能够相互抵消;同理,转子单元一y方向的不平衡磁拉力与转子单元二y方向的不平衡磁拉力相互抵消,有效抑制了转子单元奇数极的单边磁拉力,减少了电机产生振动和噪声,使得电机更加适合高速运行。

[0037] 本发明的工作原理和 workflow 是:

[0038] 本发明的电机即可作为发电机也可作为电动机,作发电机运行时,所有电枢绕组不需要通电,以A相电枢绕组51为例,如图4所示,安装A相负极电枢线圈512的定子铁心3的两侧分别嵌有一号永磁体61和二号永磁体62,此时转子单元7的一号转子极71正对一号永磁体61,一号永磁体61的磁通逆时针从定子铁心2流向转子单元7形成回路,此时A相电枢绕组51中流过的磁通为零;当轴9带动转子单元7逆时针转动,A相电枢绕组51的磁通逐渐增大,当一号转子极71正对安装A相负极电枢线圈512的一个定子齿时,流过A相电枢绕组51的磁通达到正向最大值;转子单元7继续逆时针转动,A相电枢绕组51的磁通逐渐减小;当一号转子极71正对安装A相负极电枢线圈512的定子铁心2轭部中心位置时,A相电枢绕组51的磁通减小为零;转子单元7继续逆时针转动,当一号转子极71正对安装A相正极电枢线圈512的定子铁心2的另一个定子齿时,A相电枢绕组51的磁通达到负向最大值;当一号转子极71正对二号永磁体62时,A相电枢绕组51的磁通为零,至此A相电枢绕组51完成一个周期的磁通变化,因此A相电枢绕组51内的磁通因转子单元7转动位置的改变而呈正弦变化,继而在A相电枢绕组51中产生交变电动势,每相电枢绕组都按照前述原理生成交变电动势,永磁定子单元1和电励磁定子单元2共用同一个电枢绕组,A相正极电枢线圈511在两个定子单元中匝链的磁链极性相反,相位相差 $180^\circ$ ,磁链具有互补性,使磁链的二次谐波抵消,因此三相电枢绕组中形成正弦性更好的三相正弦变化的感应电动势,将三相电枢绕组与整流装置结合,即可输出直流电压,实现电机的发电功能。通过永磁体6提供固定的磁通,励磁线圈22提供变化的磁通,励磁线圈22可根据电机具体控制要求改变通电方向,起到增磁或去磁作用,通过控制电枢电流和励磁电流的大小和方向,就可以实现对电机转向和速度的控制。

[0039] 作电动机运行时,所有电枢绕组需要通电,每相电枢绕组的电枢电流与交变电动势同相位时产生作用在转子单元7上的电磁转矩,使转子单元7旋转,继而带动轴转动。

[0040] 该电机具有两种运行方式:

[0041] 1、纯永磁励磁:励磁线圈22不通电,电枢绕组通电,电机仅靠永磁体提供气隙磁场,通过控制电枢电流调节电机的输出转矩、功率密度与调速性能,在额定转速工况下采用纯永磁励磁运行方式。

[0042] 2、混合励磁：励磁线圈22和电枢绕组均需要通电，励磁线圈22与永磁体6共同提供气隙磁场，实现了电机气隙磁场的可调节性，既可以通过增磁提高电机的输出转矩与动态性功能，亦可以通过去磁扩大电机的恒功率调速范围，使电机运行具有更佳的可控性，通过励磁电流与电枢电流的协调控制，可以实现电机系统在整个运行范围内的在线效率优化，在需要弱磁调速工况下采用混合励磁运行方式。

[0043] 以上仅是本发明的具体应用范例，对本发明的保护范围不构成任何限制。除上述实施例外，本发明还可以有其他实施方式。凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案，均落在本发明所要求保护的范围之内。

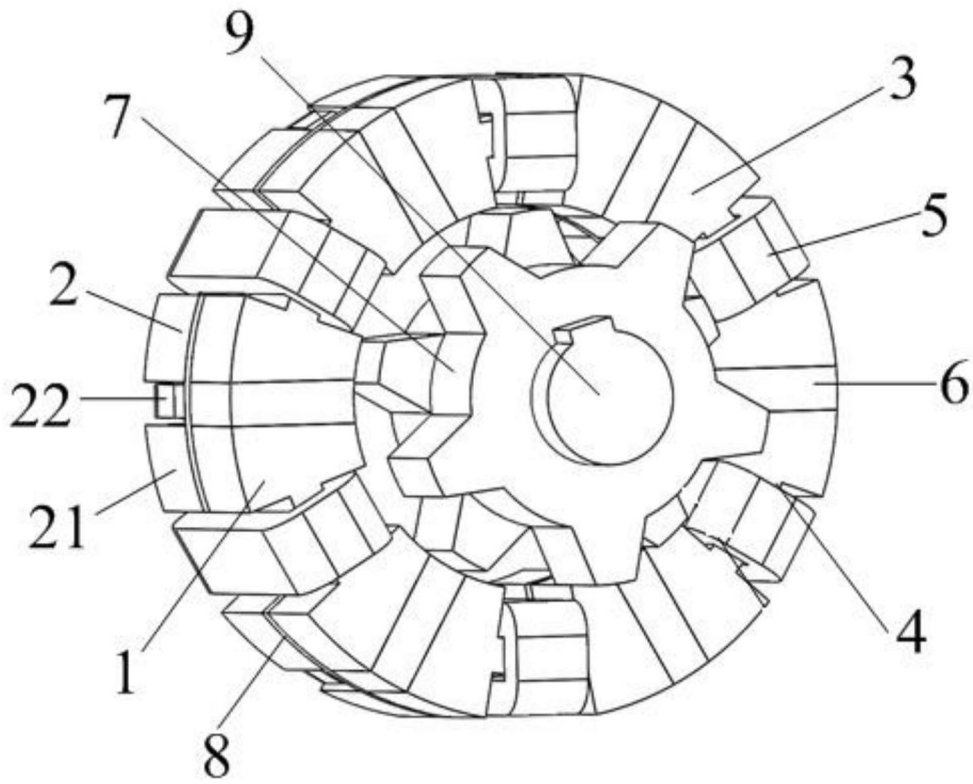


图1

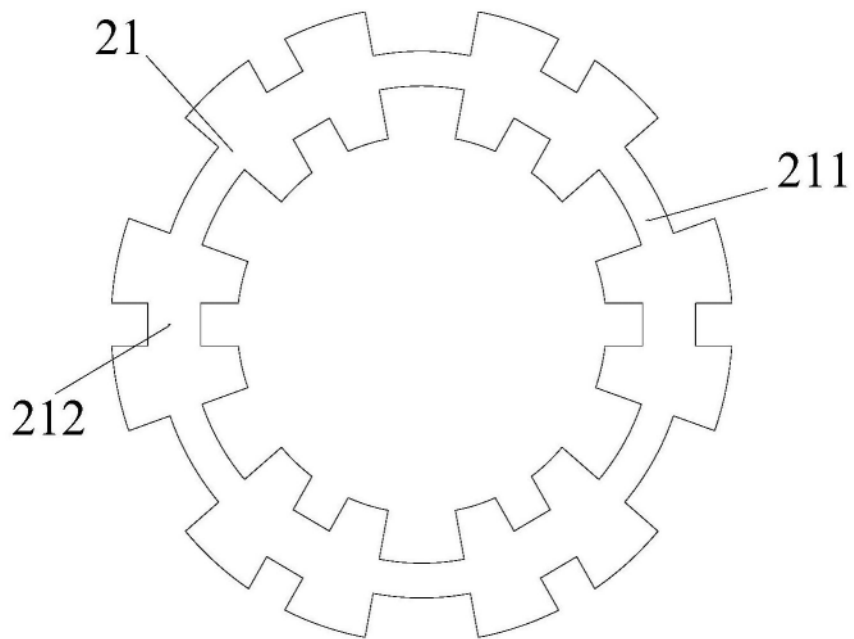


图2



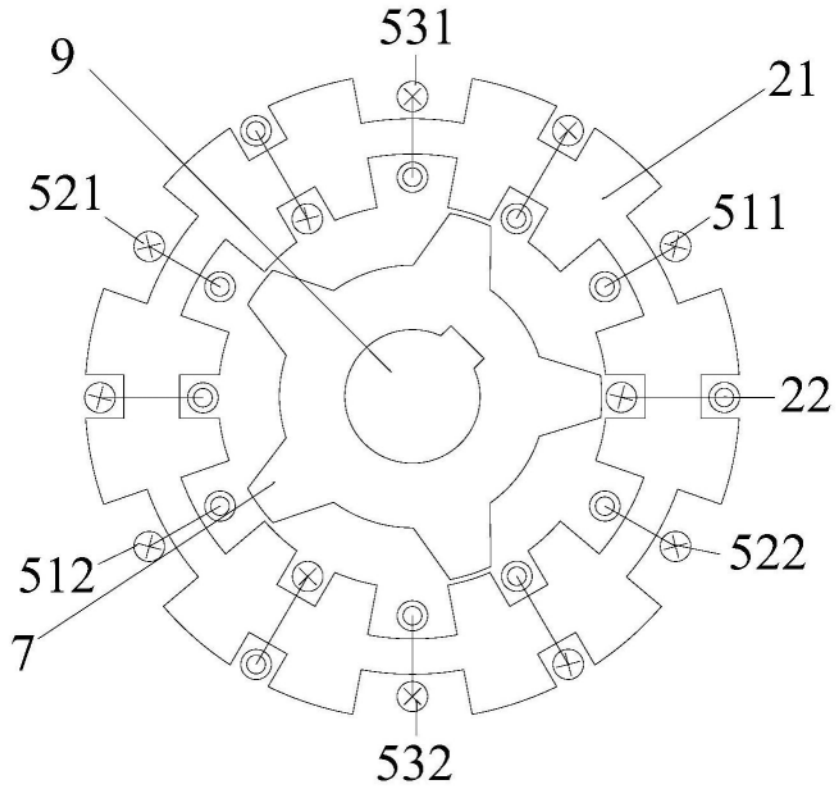


图3

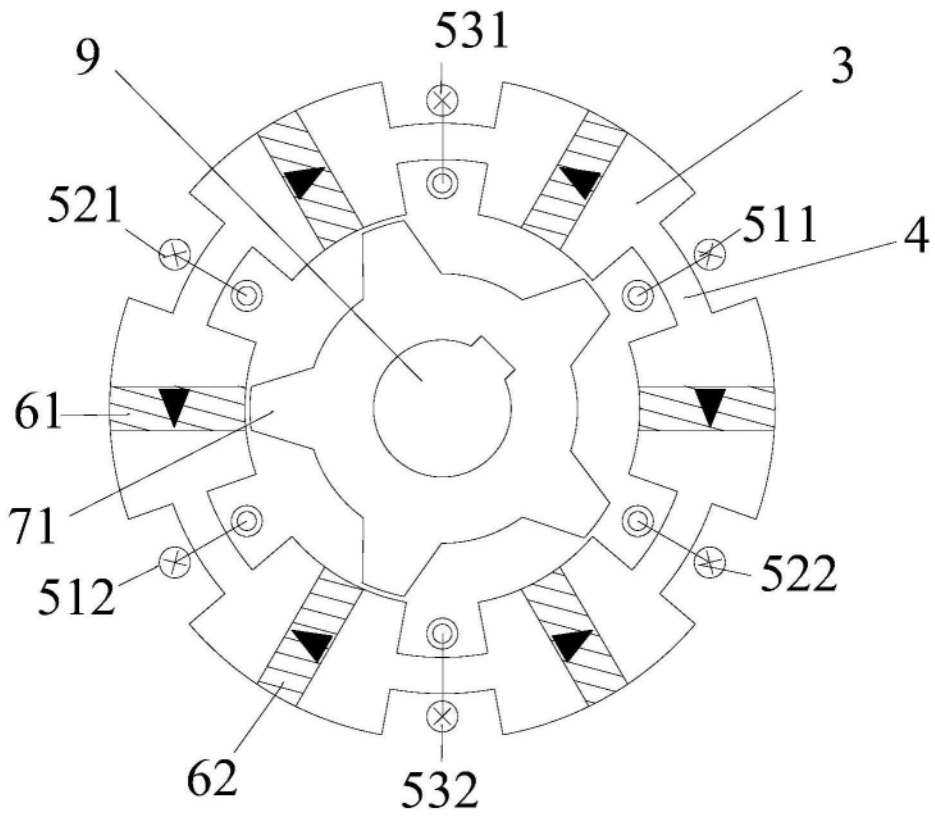


图4

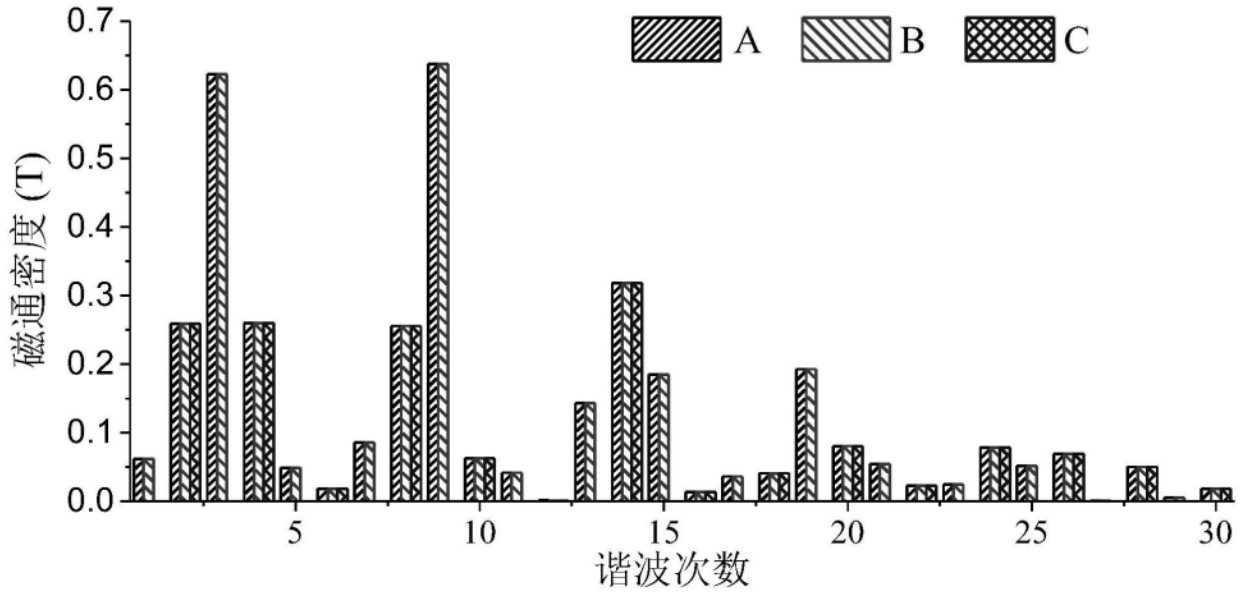


图5

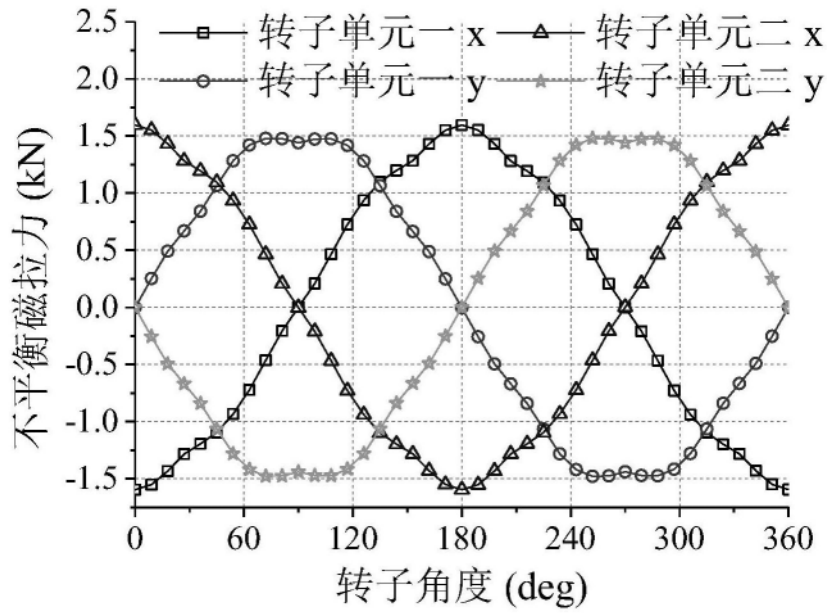


图6