



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112910131 B

(45) 授权公告日 2022. 09. 27

(21) 申请号 202110117555.4

审查员 钟路遥

(22) 申请日 2021.01.28

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112910131 A

(43) 申请公布日 2021.06.04

(73) 专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街  
29号

(72) 发明人 李健 王凯 刘闯

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限

公司 32200

专利代理师 石艳红

(51) Int. Cl.

H02K 1/276 (2022.01)

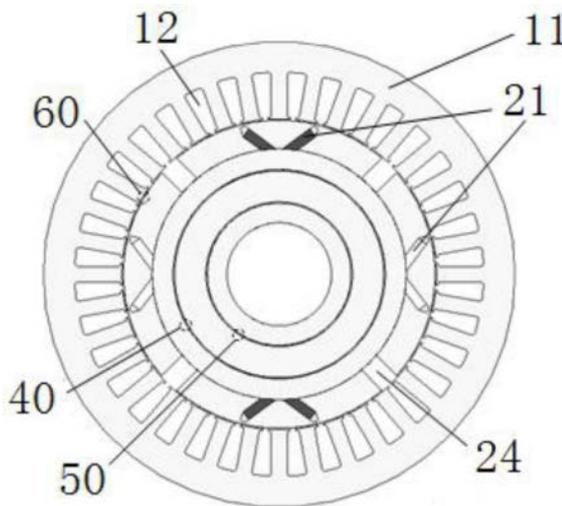
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

转子磁极调制型旁路式混合励磁电机

(57) 摘要

本发明公开了一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,包括定子、磁极调制型转子、静止导磁环和直流励磁绕组;磁极调制型转子包括S铁心极模块、N铁心极模块和永磁体;铁心极中的铁心均采用叠片沿轴向叠压而成;转子包括沿周向布设的k个转子单元,每个转子单元均包括n个永磁极对数和n+1个铁心极对数;静止体与旋转体之间均具有气隙。本发明采用磁极调制型转子,并采用旁路(轴向附加磁路)的方式实现无刷励磁。本发明的附加磁路仅为电励磁磁通提供低磁阻路径,永磁极产生的磁通经过定/转子之间的的气隙和定子齿闭合(即为有效磁通),无附加漏磁,永磁材料利用率高。同时,本发明转子极的铁心由叠片沿轴向叠压而成,能降低涡流损耗。



1. 一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,其特征在于:包括定子、磁极调制型转子、静止导磁环和直流励磁绕组;

定子包括定子铁心和绕设在定子槽中的电枢绕组;

定子和磁极调制型转子之间具有环形的主气隙;

磁极调制型转子包括S铁心极模块、N铁心极模块和永磁体;

S铁心极模块包括kn个S铁心极、kn个S实心轭部和1~2个S端部延长导磁环;其中,k和n均为正整数;

1~2个S端部延长导磁环同轴设置在磁极调制型转子的一端或两端;

kn个S实心轭部沿S端部延长导磁环的周向均匀且一体布设,且在每个S实心轭部上安装一个所述的S铁心极;

N铁心极模块包括kn个N铁心极、kn个N实心轭部和与S端部延长导磁环数量相等的N端部延长导磁环;

N端部延长导磁环同轴设置在磁极调制型转子的一端或两端,且同轴插设在S端部延长导磁环的内侧;N端部延长导磁环和S端部延长导磁环之间形成环形的静止导磁环容纳腔;

kn个N实心轭部沿N端部延长导磁环的周向均匀且一体布设;在每个N实心轭部上安装一个所述的N铁心极;

每个S铁心极和每个N铁心极均包括轴向叠片和设置在轴向叠片中的永磁体;每个轴向叠片均采用叠片沿轴向叠压而成;

kn个N铁心极和kn个S铁心极沿周向交替布设,从而形成沿周向布设的k个转子单元,每个转子单元的极对数均为 $p_0$ ,每个转子单元均包括n个永磁极对数和n+1个铁心极对数;

在每个静止导磁环容纳腔中同轴放置一个静止导磁环,静止导磁环与相邻的S端部延长导磁环和相邻的N端部延长导磁环之间分别设置有辅助气隙一和辅助气隙二;

静止导磁环位置固定,直流励磁绕组绕设在静止导磁环中;

当直流励磁绕组在铁心极上产生的磁通与相邻永磁体在永磁极上产生的磁通沿径向上方向相反时,电机工作在增磁模式;此时,直流励磁绕组产生磁通的闭合路径为:静止导磁环-辅助气隙二-N端部延长导磁环-N实心轭部-N铁心极-主气隙-定子铁心-主气隙-S铁心极-S实心轭部-S端部延长导磁环-辅助气隙一-静止导磁环;因而,在每个转子单元中,2n个永磁极和2(n+1)个铁心极,能产生 $p_0$ 对极的气隙磁场;

当直流励磁绕组在铁心极上产生的磁通与相邻永磁体在永磁极上产生的磁通沿径向上方向相同时,电机工作在弱磁模式;

由于直流励磁绕组产生的电励磁主磁通,是经过高磁导的铁心极闭合,而不经永磁体;故而,通过控制直流励磁绕组中励磁电流的大小和方向,就能实现电枢绕组中磁链的调节。

2. 根据权利要求1所述的转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,其特征在于:在每个转子单元中,2n个永磁极不相接,2(n+1)个铁心极中具有两组相接铁心极;在每组相接铁心极之间设置有周向磁障,以避免电励磁磁通在转子内部短路。

3. 根据权利要求1所述的转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,其特征在于:S端部延长导磁环与对应侧的每个N实心轭部之间均设置有轴向磁障,用于避免电励磁磁通在磁极调制型转子端部的短路。

4. 根据权利要求1所述的转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,其特征在于:静止导磁环的外端面固定安装在电机的机壳端盖上。

5. 根据权利要求1所述的转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,其特征在于:永磁体为表贴式永磁体或内置式永磁体;其中,内置式永磁体为一层或多层混合型,内置式永磁体的形状为“一”字型、V型、W型或U型。

6. 根据权利要求1所述的转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,其特征在于:S端部延长导磁环、N端部延长导磁环和静止导磁环均为两个,分别设置在磁极调制型转子的两端;两个静止导磁环中的直流励磁绕组采用串联或并联连接,且使用同一电源供电,从而实现双端励磁。

## 转子磁极调制型旁路式混合励磁电机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电机设计和制造领域,特别是一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机。

### 背景技术

[0002] 永磁电机具有高转矩/功率密度、高效率和高功率因素等优点,已在家用电器、电动汽车等许多场合得到应用。然而,在宽转速范围驱动场合,永磁电机是通过控制电枢绕组中的直轴电流分量( $-i_d$ )来实现弱磁扩速,增大了永磁体不可逆退磁的风险,同时永磁体的高磁阻特征限制了弱磁能力。在恒压发电场合,永磁电机需要全功率的可控变换器来实现输出电压的稳定。

[0003] 具有两个磁势源(励磁绕组和永磁体)的混合励磁电机,即继承了永磁电机的高功率密度和高效率等优点,也继承了电励磁电机磁场调节方便的优点,仅需要较低的励磁功率(较小的励磁功率变换器)就可以实现气隙磁场的有效调节。因此,混合励磁电机在需要宽范围运行的场合具有很大的应用潜力。

[0004] 然而,为构建电励磁磁势和永磁磁势呈并联关系以提高调磁能力,现有的转子永磁型混合励磁电机都引入了附加磁路。尽管它们的附加磁路为电励磁提供了低磁阻路径,但也为永磁磁通提供了漏磁(漏磁:不经过气隙和定子齿闭合的磁通)路径,降低了永磁材料的利用率。而且,附加磁路大多为实心的导磁部件,增加了涡流损耗。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是针对上述现有技术的不足,而提供一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,该转子磁极调制型旁路式混合励磁电机采用磁极调制型转子,并采用旁路(轴向附加磁路)的方式实现无刷励磁。本发明的附加磁路仅为电励磁磁通提供低磁阻路径,永磁极产生的磁通经过定/转子之间的气隙和定子齿闭合(即为有效磁通),无附加漏磁,永磁材料利用率高。同时,本发明转子极的铁心由模块化的叠片沿轴向叠压而成,降低了涡流损耗。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:

[0007] 一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,包括定子、磁极调制型转子、静止导磁环和直流励磁绕组。

[0008] 定子包括定子铁心和绕设在定子槽中的电枢绕组。

[0009] 定子和磁极调制型转子之间具有环形的主气隙。

[0010] 磁极调制型转子包括S铁心极模块、N铁心极模块和永磁体。

[0011] S铁心极模块包括kn个S铁心极、kn个S实心轭部和1~2个S端部延长导磁环。其中,k和n均为正整数。

[0012] 1~2个S端部延长导磁环同轴设置在磁极调制型转子的一端或两端。

[0013] kn个S实心轭部沿S端部延长导磁环的周向均匀且一体布设,且在每个S实心轭部

上安装一个所述的S铁心极。

[0014] N铁心极模块包括kn个N铁心极、kn个N实心轭部和与S端部延长导磁环数量相等的N端部延长导磁环。

[0015] N端部延长导磁环同轴设置在磁极调制型转子的一端或两端,且同轴插设在S端部延长导磁环的内侧。N端部延长导磁环和S端部延长导磁环之间形成环形的静止导磁环容纳腔。

[0016] kn个N实心轭部沿N端部延长导磁环的周向均匀且一体布设。在每个N实心轭部上安装一个所述的N铁心极。

[0017] 每个S铁心极和每个N铁心极均包括轴向叠片和设置在轴向叠片中的永磁体。每个轴向叠片均采用叠片沿轴向叠压而成。

[0018] kn个N铁心极和kn个S铁心极沿周向交替布设,从而形成沿周向布设的k个转子单元,每个转子单元的极对数均为 $p_0$ ,每个转子单元均包括n个永磁极对数和n+1个铁心极对数。

[0019] 在每个静止导磁环容纳腔中同轴放置一个静止导磁环,静止导磁环与相邻的S端部延长导磁环和相邻的N端部延长导磁环之间分别设置有辅助气隙一和辅助气隙二。

[0020] 静止导磁环位置固定,直流励磁绕组绕设在静止导磁环中。

[0021] 在每个转子单元中,2n个永磁极不相接,2(n+1)个铁心极中具有两组相接铁心极;在每组相接铁心极之间设置有周向磁障,以避免电励磁磁通在转子内部短路。

[0022] S端部延长导磁环与对应侧的每个N实心轭部之间均设置有轴向磁障,用于避免电励磁磁通在磁极调制型转子端部的短路。

[0023] 静止导磁环的外端面固定安装在电机的机壳端盖上。

[0024] 永磁体为表贴式永磁体或内置式永磁体。其中,内置式永磁体为一层或多层混合型,内置式永磁体的形状为“一”字型、V型、W型或U型。

[0025] S端部延长导磁环、N端部延长导磁环和静止导磁环均为两个,分别设置在磁极调制型转子的两端。两个静止导磁环中的直流励磁绕组采用串联或并联连接,且使用同一电源供电,从而实现双端励磁。

[0026] 当直流励磁绕组在铁心极上产生的磁通与相邻永磁体在永磁极上产生的磁通沿径向上方向相反时,电机工作在增磁模式。此时,直流励磁绕组产生磁通的闭合路径为:静止导磁环-辅助气隙二-N端部延长导磁环-N实心轭部-N铁心极-主气隙-定子铁心-主气隙-S铁心极-S实心轭部-S端部延长导磁环-辅助气隙一-静止导磁环。因而,在每个转子单元中,2n个永磁极和2(n+1)个铁心极,能产生 $p_0$ 对极的气隙磁场。

[0027] 当直流励磁绕组在铁心极上产生的磁通与相邻永磁体在永磁极上产生的磁通沿径向上方向相同时,电机工作在弱磁模式。

[0028] 由于直流励磁绕组产生的电励磁主磁通,是经过高磁导的铁心极闭合,而不经永磁体。故而,通过控制直流励磁绕组中励磁电流的大小和方向,就能实现电枢绕组中磁链的调节。

[0029] 本发明具有如下有益效果:

[0030] 1、本发明采用磁极调制型转子,并采用旁路(轴向附加磁路)的方式实现无刷励磁。

- [0031] 2、本发明的附加磁路仅为电励磁磁通提供低磁阻路径，永磁极产生的磁通经过定/转子之间的气隙和定子齿闭合(即为有效磁通)，无附加漏磁，永磁材料利用率高。
- [0032] 3、本发明转子极的铁心由模块化的叠片沿轴向叠压而成，降低了涡流损耗。
- [0033] 4、电励磁主磁通是经过高磁导的铁心极(不经过永磁体)闭合，通过控制励磁电流的大小和方向就可以实现电枢绕组磁链的有效调节。
- [0034] 5、本电机即可电动运行，也可发电运行。

## 附图说明

- [0035] 图1显示了本发明一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机的剖面结构示意图。
- [0036] 图2显示了本发明一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机的立面结构示意图。
- [0037] 图3显示了本发明中S铁心极和N铁心极的周向排列示意图。
- [0038] 图4显示了本发明中S铁心极模块的组装过程示意图；其中，图4a显示了S铁心极的立体示意图；图4b显示了S实心轭部和S端部延长导磁环的立体示意图；图4c显示了组装完成后的S铁心极模块立体示意图。
- [0039] 图5显示了本发明中N铁心极模块的组装过程示意图；其中，图5a显示了N铁心极的立体示意图；图5b显示了N实心轭部和N端部延长导磁环的立体示意图；图5c显示了组装完成后的N铁心极模块立体示意图。
- [0040] 图6显示了本发明中磁极调制型转子的立体结构示意图。
- [0041] 图7显示了本发明中磁极调制型转子的立体俯视图。
- [0042] 图8显示了本发明中不含直流励磁绕组的静止导磁环的立体结构示意图。
- [0043] 图9显示了本发明中包含直流励磁绕组的静止导磁环的立体结构示意图。
- [0044] 其中有：
- [0045] 11. 定子铁心；12. 定子槽；
- [0046] 21. 永磁体；
- [0047] 22. S铁心极模块；221. S铁心极；222. S实心轭部；223. S端部延长导磁环；
- [0048] 23. N铁心极模块；231. N铁心极；232. N实心轭部；233. N端部延长导磁环；
- [0049] 24. 周向磁障；25. 轴向磁障；
- [0050] 30. 静止导磁环；31. 直流励磁绕组；
- [0051] 40. 辅助气隙一；50. 辅助气隙二；60. 主气隙。

## 具体实施方式

- [0052] 下面结合附图和具体较佳实施方式对本发明作进一步详细的说明。
- [0053] 本发明的描述中，需要理解的是，术语“左侧”、“右侧”、“上部”、“下部”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，“第一”、“第二”等并不表示零部件的重要程度，因此不能理解为对本发明的限制。本实施例中采用的具体尺寸只是为了举例说明技术方案，并不限制本发明的保护范围。
- [0054] 本实例的电机以单端励磁，定子槽数 $N_s=36$ ，转子极对数 $p=6$  ( $p_0=3$ )，三相电枢绕组(A相、B相、C相)为例，对本发明进行详细说明。

[0055] 如图1至图9所示,一种转子磁极调制型旁路式混合励磁电机,包括定子、磁极调制型转子、静止导磁环30和直流励磁绕组31。

[0056] 定子包括定子铁心11和绕设在定子槽12中的电枢绕组。

[0057] 定子和磁极调制型转子之间具有环形的主气隙60。定子和磁极调制型转子中的铁心均采用导磁材料制成。

[0058] 磁极调制型转子(也称旋转体)包括S铁心极模块22、N铁心极模块23和永磁体21。

[0059] S铁心极模块包括kn个S铁心极、kn个S实心轭部和1~2个S端部延长导磁环。其中,k和n均为正整数。

[0060] 本实施例中,由于 $p=6$ , $p_0=3$ ,因而, $k=2$ , $n=1$ ;也就是说,如图4所示,S铁心极模块22包括2个S铁心极221和2个S实心轭部222。

[0061] 进一步,由于本实施例中为单端励磁,故而,S端部延长导磁环223的数量为一个,同轴设置在S端部延长导磁环的其中一端。然而,作为替换,本发明也可以为双端励磁。双端励磁时,S端部延长导磁环的数量为两个,同轴对称在磁极调制型转子的两端。

[0062] kn个S实心轭部沿S端部延长导磁环的周向均匀且一体布设,且优选在每个S实心轭部的外壁面上安装一个S铁心极。

[0063] N铁心极模块包括kn个N铁心极、kn个N实心轭部和与S端部延长导磁环数量相等的N端部延长导磁环。在本实施例中,如图5所示,N铁心极模块23包括2个N铁心极231、2个N实心轭部232和一个N端部延长导磁环233。

[0064] N端部延长导磁环同轴设置在磁极调制型转子的一端或两端,且同轴插设在S端部延长导磁环的内侧。N端部延长导磁环和S端部延长导磁环之间形成环形的静止导磁环容纳腔。

[0065] 在本实施例中,如图6所示,N端部延长导磁环同轴设置在磁极调制型转子的一端,N端部延长导磁环和S端部延长导磁环之间形成一个环形的静止导磁环容纳腔。

[0066] kn个N实心轭部沿N端部延长导磁环的周向均匀且一体布设。优选在每个N实心轭部的外壁面上安装一个N铁心极。

[0067] 每个S铁心极和每个N铁心极均包括轴向叠片和设置在轴向叠片中的永磁体;每个轴向叠片均采用叠片沿轴向叠压而成,从而降低了涡流损耗。

[0068] 永磁体在轴向叠片中的设置方式为表贴式永磁体或内置式永磁体。其中,内置式永磁体为一层或多层混合型等,内置式永磁体的形状为“一”字型、V型、W型或U型等。

[0069] 如图3所示,kn个N铁心极和kn个S铁心极沿周向交替布设,从而形成沿周向布设的k个转子单元,每个转子单元的极对数均为 $p_0$ ,每个转子单元均包括n个永磁极对数和n+1个铁心极对数。

[0070] 在每个静止导磁环容纳腔中同轴放置一个静止导磁环(也称静止体),静止导磁环与相邻的S端部延长导磁环和相邻的N端部延长导磁环之间分别设置有辅助气隙一40和辅助气隙二50。也即,旋转体与静止体之间有气隙。

[0071] 静止导磁环位置固定,结构如图8所示,优选静止导磁环的外端面固定安装在电机的机壳端盖上,直流励磁绕组绕设在静止导磁环中,如图9所示。

[0072] 在每个转子单元中,2n个永磁极不相接,2(n+1)个铁心极中具有两组相接铁心极。在每组相接铁心极之间设置有周向磁障24,周向磁障个数优选等于2k个。

[0073] S端部延长导磁环与对应侧的每个N实心轭部之间均设置有轴向磁障25,用于避免电励磁磁通在磁极调制型转子端部的短路,也即避免形成无效磁通。

[0074] 当两端励磁时,S端部延长导磁环、N端部延长导磁环和静止导磁环均为两个,分别设置在磁极调制型转子的两端。两个静止导磁环中的直流励磁绕组采用串联或并联连接,且使用同一电源供电。

[0075] N铁心极、N实心轭部、N端部延长导磁环、S铁心极、S实心轭部、S端部延长导磁环,共同组合形成组合成旋转体,与转轴共同旋转。静止导磁环固定在机壳端盖上,其和置于静止导磁环中的直流励磁绕组都为静止体;因而,直流励磁绕组实现了无刷化供电。

[0076] 当直流励磁绕组在铁心极上产生的磁通与相邻永磁体在永磁极上产生的磁通沿径向上方向相反时,电机工作在增磁模式。此时,直流励磁绕组产生磁通的闭合路径为:静止导磁环-辅助气隙二-N端部延长导磁环-N实心轭部-N铁心极-主气隙-定子铁心-主气隙-S铁心极-S实心轭部-S端部延长导磁环-辅助气隙一-静止导磁环。因而,在每个转子单元中,2n个永磁极和2(n+1)个铁心极,能产生 $p_0$ 对极的气隙磁场。

[0077] 当直流励磁绕组在铁心极上产生的磁通与相邻永磁体在永磁极上产生的磁通沿径向上方向相同时,电机工作在弱磁模式。

[0078] 由于直流励磁绕组产生的电励磁主磁通,是经过高磁导的铁心极闭合,而不经永磁体。故而,通过控制直流励磁绕组中励磁电流的大小和方向,就能实现电枢绕组中磁链的调节。

[0079] 以上详细描述了本发明的优选实施方式,但是,本发明并不限于上述实施方式中的具体细节,在本发明的技术构思范围内,可以对本发明的技术方案进行多种等同变换,这些等同变换均属于本发明的保护范围。

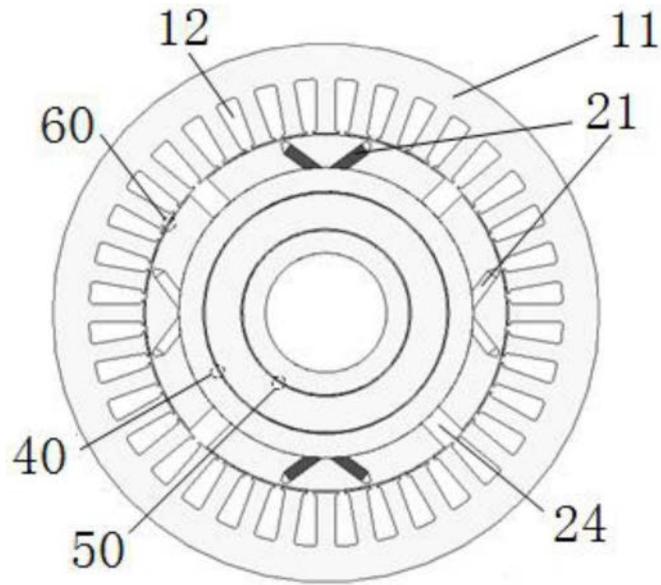


图1

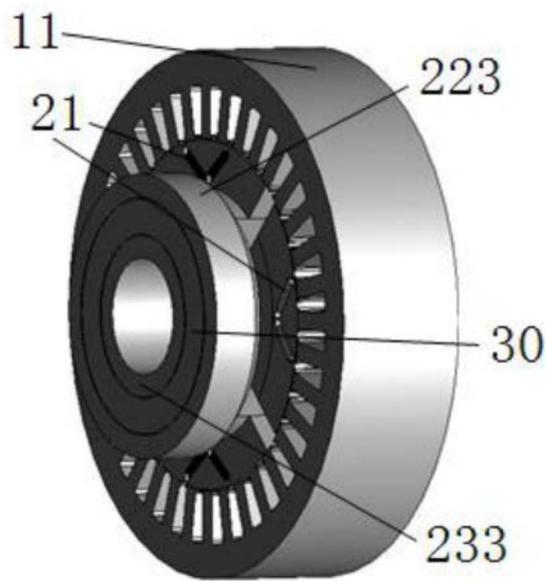


图2

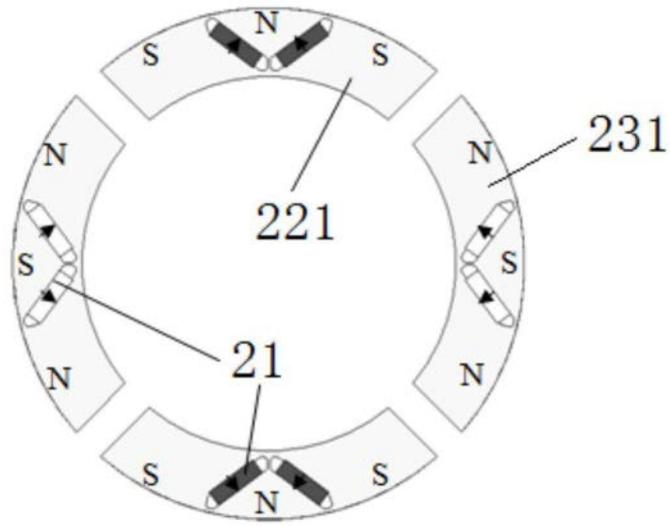


图3

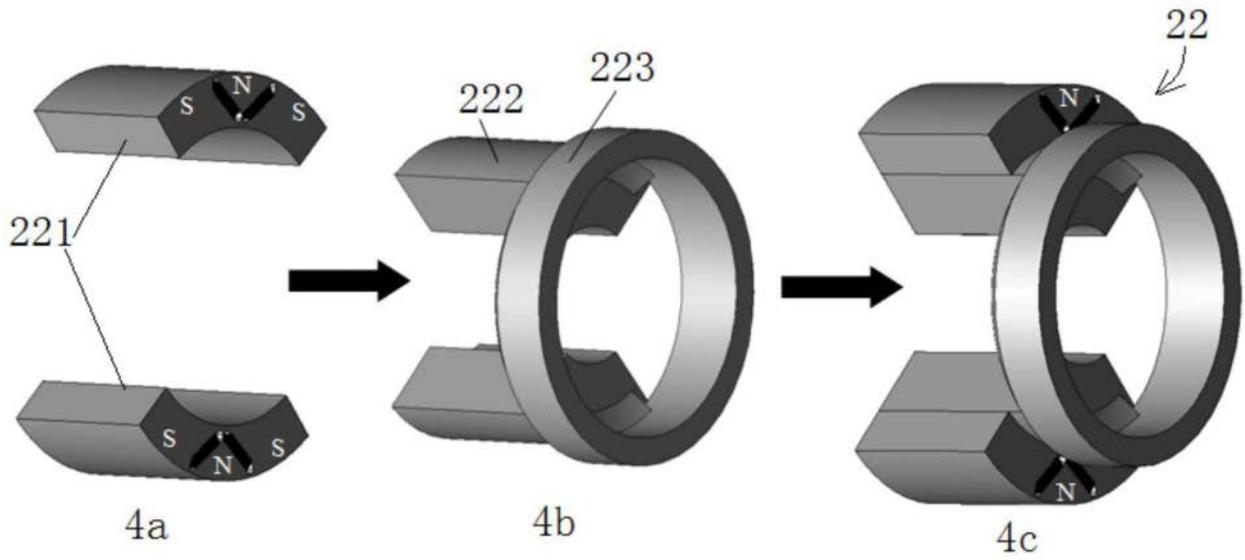


图4

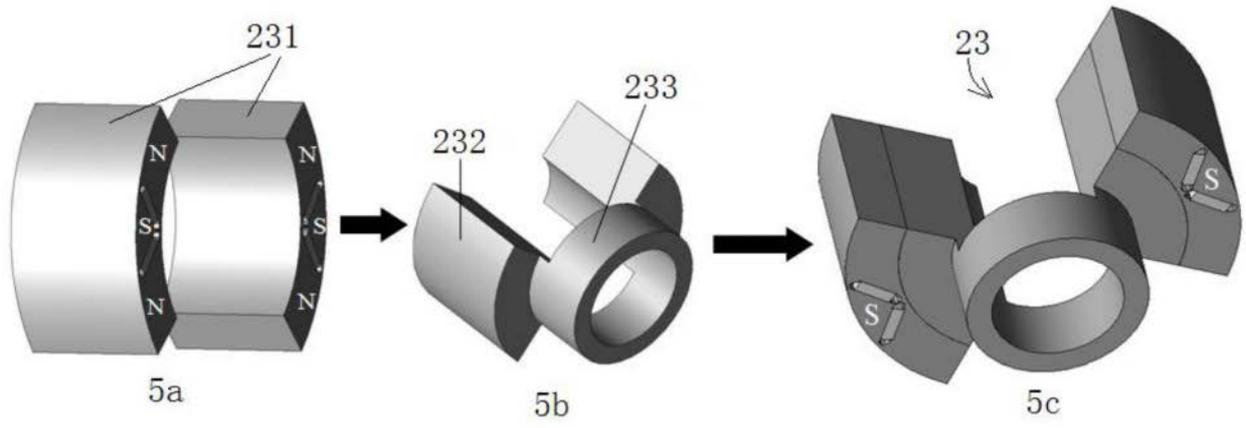


图5

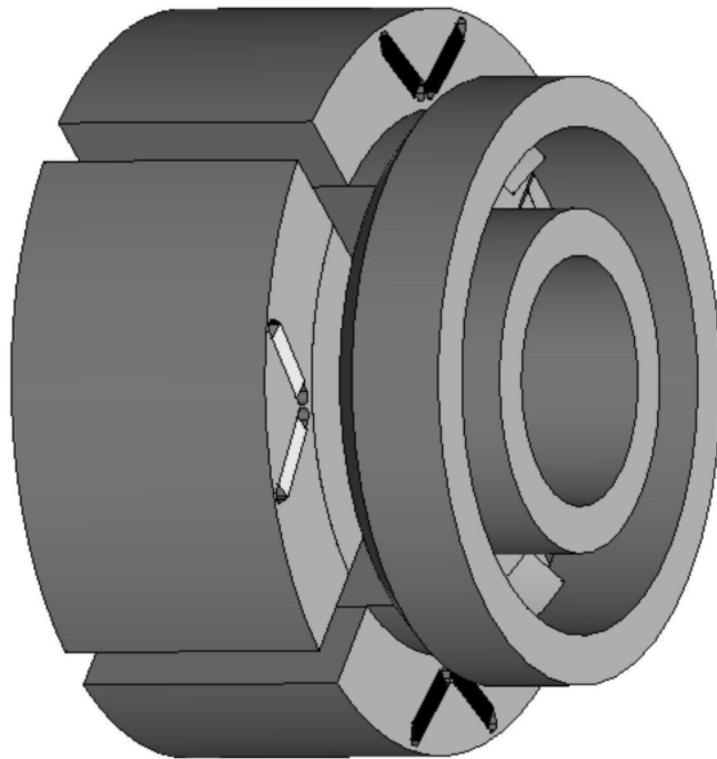


图6

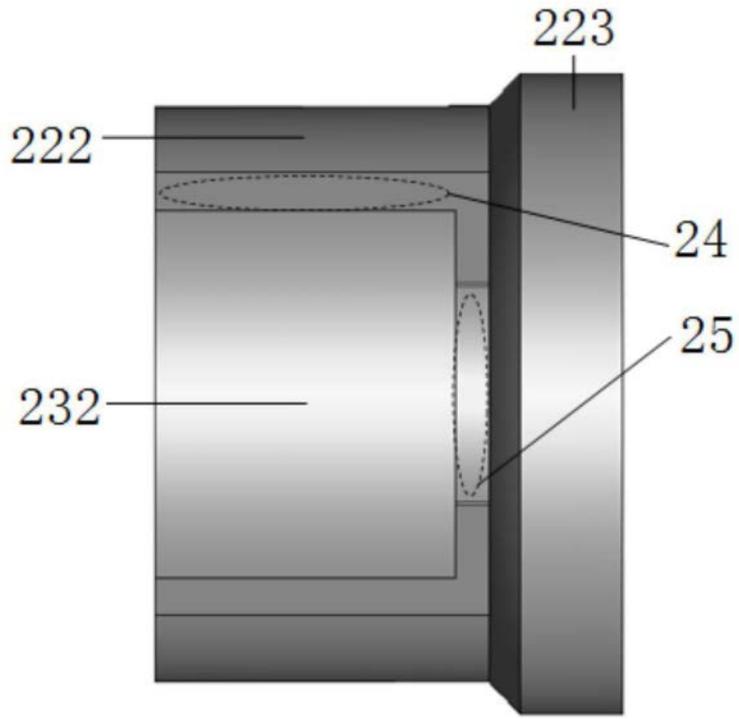


图7



图8

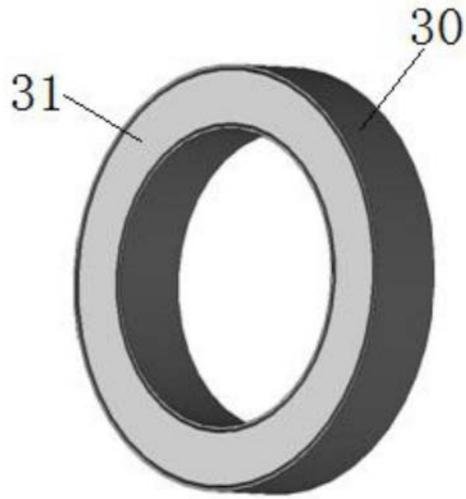


图9