(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104901508 B
(45)授权公告日 2018.09.18

(21)申请号 201510284034.2

(22)申请日 2015.05.28

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104901508 A

(43)申请公布日 2015.09.09

(73)专利权人 东南大学
地址 211189 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72)发明人 房淑华 郭凯凯 林鹤云 张洋 阳辉

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所(普通合伙) 32249
代理人 杨晓玲

(51)Int.Cl.
H02K 41/03(2006.01)
H02K 1/27(2006.01)
H02P 25/064(2016.01)

(56)对比文件
CN 201846217 U,2011.05.25,
CN 1375907 A,2002.10.23,
JP 特开2006-311715 A,2006.11.09,
CN 102315754 A,2012.01.11,

审查员 周大瑞

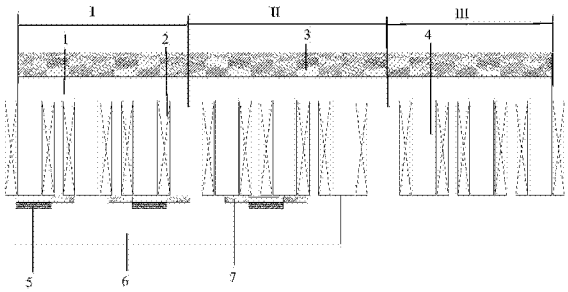
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器及控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器及控制方法,包括外壳(3)、定子、动子、永磁体(5)以及转轴(9)定子在周向上采用12齿结构,相邻定子齿的夹角为30°;在轴向上设置有三组定子单元,定子单元圆周方向上有12个定子极;所述动子在轴向上包括一个以上的子动子;所述永磁体(5)嵌入在子动子内部,同时永磁体(5)沿子动子周向的两端设置有非导磁体(7);在同一子动子周向剖面上,永磁体充磁方向相同,在轴向上,相邻极所在的子动子的圆周上的永磁体充磁方向相反。本发明大大减少了永磁体的用量,减少了作动器的体积,降低了制作成本,永磁转矩和磁阻转矩共同组成电磁转矩,提高了功率密度。



CN 104901508 B

1.一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器的控制方法，中间磁极结构的直线旋转永磁作动器包括外壳(3)、定子、动子、永磁体(5)以及转轴(9)，所述定子安装在外壳(3)上，动子安装在转轴(9)上，且所述动子设置于定子内，同时所述转轴(9)通过套筒与外壳相连接；所述定子在周向上采用12齿结构，相邻定子齿的夹角为30°；在轴向上设置有三组定子单元，所述定子单元包括定子磁轭(1)、定子极(4)和绕在定子铁心上的线圈(2)，所述定子单元圆周方向上有12个定子极；所述动子在轴向上包括一个以上的子动子；所述永磁体(5)嵌入在子动子内部，同时永磁体(5)沿子动子周向的两端设置有非导磁体(7)，且轴向上，子动子铁心中的铁片之间通过非导磁体(7)；在同一子动子周向剖面上，转子极对数为8，永磁体充磁方向相同，在轴向上，转子极对数为3，相邻极所在的子动子的圆周上的永磁体充磁方向相反；

其特征在于：通过调节线圈(2)中绕组的励磁电流的大小，控制磁通量的大小，从而增加作动器直线运动和旋转运动速度调节范围，达到调节转矩和推力，控制转速和直线运动速度的目的；

当需要做直线运动时，集中绕组中电流分解为励磁分量和控制分量，绕组中电励磁和永磁共同构成动子励磁磁场，和绕组中电流控制分量产生的电枢磁场相互作用，使作动器做直线运动；取绕组中电流$I=I_e\mathrm{rect}(t/T)+I_{arm}\cos(w_{rn}t+\theta_n+\psi_n)\cos(w_{1n}z+\theta_m+\psi_m)$，其中，$\mathrm{rect}(t/T)=u(t+T/2+k_{rz}\pi+\phi)-2u(t-T/2+k_{rz}\pi+\phi)$，$T=2\pi/w_{rn}$，或$T=2\pi/w_{1n}$，$w_{rn}$为旋转同步角频率，$w_{1n}$为直线运动同步角频率，$\psi_n$为旋转方向电流的初始相位，$\psi_m$为直线运动时电流的初始相位，$k_{rz}\pi$是励磁电流在周向或轴向上励磁分量之间的相位差，$\phi$为绕组中励磁电流在周向或轴向上的初始相位角，在周向上，定子有四个电周期，转子有8对极，k_{rz}分别为0、1/2和3/2，在轴向上，定子有三个电周期，转子有3对极；在旋转和直线运动方向上，θ_m，θ_n取为0、120°和240°，由直线运动的频率速度公式$v=2\tau f$，以及频率角频率换算公式$f=w/2\pi$，可确定初始位置$w_{1n}z$；通过调节I_e的大小，可以调节轴向磁场强度，进而控制轴向推力的大小，扩大轴向推力的调节范围；

当需要做旋转运动时，此时动子励磁磁场是绕组中电流产生的励磁和永磁构成周向旋转磁场，与绕组中电流控制分量产生的电枢磁场相互作用作旋转运动；通过调节I_e的大小，控制周向磁通的大小，扩大周向转矩的调节范围；

当需要做螺旋运动时，绕组中电流产生的励磁分量I_e为0，永磁体形成的永磁磁场成螺旋磁场，此时与绕组中电流产生的控制分量I_{arm}形成的电枢磁场相互作用，可做螺旋运动，此时，通过调节励磁电流的大小，控制磁通量的大小达到控制螺旋运动的目的，通过调节电流中产生的励磁分量的大小，调节螺旋磁场的磁通大小，达到控制螺旋运动。

2.根据权利要求1所述的采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器的控制方法，其特征在于：各定子单元之间的距离满足$\tau/3*(1+2*k)$，$k=0,1,2\cdots$，τ为动子轴向极距。

3.根据权利要求1所述的采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器的控制方法，其特征在于：所述线圈(2)的绕组采用单层集中绕组。

4.根据权利要求1所述的采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器的控制方法，其特征在于：所述定子铁心和动子铁心均采用高导磁材料硅钢片轴向叠制，硅钢片采用50W470。

5.根据权利要求1所述的采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器的控制方法，其特征在于：所述动子长度在轴向上小于定子长度。

6.根据权利要求1所述的采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器的控制方法，其特征在于：在运动时，永磁转矩和磁阻转矩共同作用构成电磁转矩。

一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种能够实现直线、旋转和螺旋运动直线旋转永磁作动器，是一种高性能、高功率密度的电磁执行机构，属于电机及控制领域的范畴。

背景技术

[0002] 要实现直线和旋转运动，传统的实现方案是建立两套独立的电机系统及其传动装置分别驱动直线和旋转运动，系统体积大，响应慢。随着现代电子业的迅速发展，其缺陷已经越来越明显，迫切需要小体积、高性能、可稳定运动的直线旋转两自由度电机。

[0003] 专利“磁结合直线旋转驱动器”(CN201398162Y)采用杆状构造，实现了超高真空环境中的直线驱动和旋转驱动，驱动简单，采用非接触的磁力驱动构造，可延长使用寿命。但是此结构轴向尺寸长，对驱动器的加工精度要求高。

[0004] 专利“新型双自由度机构”(CN 203579294 U)提出了一种新型的双自由度机构，将直线电机和旋转电机结合起来，省去了中间传动环节，提高了精度和效率，相比于传统的结构，体积大大减少，但是电机组合的形式，电机的体积缩小受到限制，无法适用于小体积运行的环境。

[0005] 专利“一种动磁式直线旋转二自由度电机”(CN 102497080 A)提出的电机可通过前绕组驱动动子作旋转运动，又可通过后绕组驱动动子作直线运动，实现了在一台电机上输出兼具旋转运动和直线运动的两自由度复合运动。采用两套绕组，增加了制作成本，且不利于电机的散热，系统响应慢。

[0006] 专利“直线旋转双自由度伺服电机”(CN 103427588 A)可以在同一根输出轴上同时提供直线和旋转两个自由度的运动，简化了设备的复杂程度，降低了生产和维护的成本。减少中间的转换环节，实现全闭环控制，大大提高了运动的精度。但其最大缺点是：行程短，带载能力低。

发明内容

[0007] 发明目的：为了克服现有技术中存在的不足，本发明提供一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器，该作动器能够大大减少永磁的用量，节省了制作成本，同时功率密度高、性能好。

[0008] 技术方案：为实现上述目的，本发明采用的技术方案为：一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器，包括外壳(3)、定子、动子、永磁体(5)以及转轴(9)，所述定子安装在外壳(3)上，动子安装在转轴(9)上，且所述动子设置于定子内，同时所述转轴(9)通过套筒与外壳相连接；所述定子在周向上采用12齿结构，相邻定子齿的夹角为30°；在轴向上设置有三组定子单元，所述定子单元包括定子磁轭(1)、定子极(4)和绕在定子铁心上的线圈(2)，所述定子单元圆周方向上有12个定子极；所述动子在轴向上包括一个以上的子动子；所述永磁体(5)嵌入在子动子内部，同时永磁体(5)沿子动子周向的两端设置有非导磁体(7)，且轴向上，子动子铁心中的铁片之间通过非导磁体(7)；在同一子动子周向剖面上，转

子极对数为8，永磁体充磁方向相同，在轴向上，转子极对数为3，相邻极所在的子动子的圆周上的永磁体充磁方向相反。

[0009] 优选的：各定子单元之间的距离满足τ/3*(1+2*k)，k＝0，1，2…，τ为动子轴向极距。

[0010] 优选的：所述线圈(2)的绕组采用单层集中绕组。

[0011] 优选的：所述定子铁心和动子铁心均采用高导磁材料硅钢片轴向叠制，硅钢片采用50W470。

[0012] 优选的：所述动子长度在轴向上小于定子长度。

[0013] 在运动时，永磁转矩和磁阻转矩共同作用构成电磁转矩。

[0014] 一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器控制方法，通过调节线圈(2)中绕组的励磁电流的大小，可以控制磁通量的大小，从而增加作动器直线运动和旋转运动速度调节范围，达到调节转矩和推力，控制转速和直线运动速度的目的。

[0015] 当需要做直线运动时，集中绕组中电流分解为励磁分量和控制分量，绕组中电励磁和永磁共同构成动子励磁磁场，和绕组中电流控制分量产生的电枢磁场相互作用，使作动器做直线运动；

[0016] 当需要做旋转运动时，此时动子励磁磁场是绕组中电流产生的励磁和永磁构成周向旋转磁场，与绕组中电流控制分量产生的电枢磁场相互作用作旋转运动；

[0017] 当需要做螺旋运动时，绕组中电流产生的励磁分量I_e为0，永磁体形成的永磁磁场成螺旋磁场，此时与绕组中电流产生的控制分量I_{arm}形成的电枢磁场相互作用，可做螺旋运动，此时，通过调节励磁电流的大小，控制磁通量的大小达到控制螺旋运动的目的。

[0018] 使作动器做直线运动的调节方法：取绕组中电流$I＝I_e rect(t/T)+I_{arm}\cos(w_{rn}t+\theta_n+\psi_n)\cos(w_{ln}z+\theta_m+\psi_m)$，其中，$rect(t/T)＝u(t+T/2+k_{rz}\pi+\phi)-2u(t-T/2+k_{rz}\pi+\phi)$，$T＝2\pi/w_{rn}$，或$T＝2\pi/w_{ln}$，$w_{rn}$为旋转同步角频率，$w_{ln}$为直线运动同步角频率，$\psi_n$为旋转方向电流的初始相位，$\psi_m$为直线运动时电流的初始相位，$k_{rz}\pi$是励磁电流在周向或轴向上励磁分量之间的相位差，$\phi$为绕组中励磁电流在周向或轴向上的初始相位角，在周向上，定子有四个电周期，转子有8对极，k_{rz}分别为0、1/2和3/2，在轴向上，定子有三个电周期，转子有3对极；在旋转和直线运动方向上，θ_m，θ_n取为0、120°和240°，由直线运动的频率速度公式$v＝2\tau f$，以及频率角频率换算公式$f＝w/2\pi$，可确定初始位置$w_{ln}z$；通过调节I_e的大小，可以调节轴向磁场强度，进而控制轴向推力的大小，扩大轴向推力的调节范围；

[0019] 使作动器做螺旋运动的调节方法：通过调节I_e的大小，控制周向磁通的大小，扩大周向转矩的调节范围；

[0020] 使作动器做螺旋运动的调节方法：通过调节励磁电流的大小，控制磁通量的大小达到控制螺旋运动。

[0021] 有益效果：本发明提供的一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器及控制方法，相比现有技术，具有以下有益效果：

[0022] 1.采用中间磁极结构，大大节省了永磁的用量，有利于减少作动器的饱和度。

[0023] 2.可以通过绕组中电流产生的励磁分量调节周向和轴向的磁场强度，可以有效的降低损耗。因此其功率密度高、性能好。

[0024] 3.由于永磁体嵌入到动子内部，增加了动子的强度。

[0025] 4.作动器动子铁心采用硅钢片叠制而成，定子铁心也是用硅钢片叠制而成，各定子铁心安装在非导磁材料的外壳上。

附图说明

[0026] 图1为采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器轴向剖面图；

[0027] 图2为一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器周向结构示意图；

[0028] 图3为采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器动子结构示意图；

[0029] 其中，1为定子磁轭、2为线圈、3为非导磁外壳、4为定子极、5为永磁体、6为动子铁心，7为非导磁材料，8为极靴、9为非导磁转轴；

具体实施方式

[0030] 下面结合附图对本发明作更进一步的说明。

[0031] 一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器，如图2所示，包括外壳3、定子、动子、永磁体5以及转轴9，外壳3、转轴9均采用非导磁材料制作；所述定子安装在外壳3上，动子安装在转轴9上，且所述动子设置于定子内，同时所述转轴9通过套筒与外壳相连接。各永磁体5选用钕铁硼材料。

[0032] 如图1所示，定子在周向上采用12齿结构，相邻定子齿的夹角为30°；在轴向上设置有三组定子单元，分别为三组定子单元I、II、III，所述定子单元包括定子磁轭1、定子极4和绕在定子铁心上的线圈2，所述定子单元圆周方向上有12个定子极。各定子单元之间的距离满足τ/3*(1+2*k)，k＝0，1，2…，τ为动子轴向极距。所述线圈2的绕组采用单层集中绕组，易于安装。定子轴向采用了三个电周期。

[0033] 定子铁心在周向上采用了12极结构，除以其与极对数的最大公约数为3的自然数倍数，这样有利于消除谐波。

[0034] 如图3所示，动子在轴向上包括一个以上的子动子；所述永磁体5嵌入在子动子内部，由于永磁体嵌入在动子内部，对永磁有很好的防护作用。同时永磁体5沿子动子周向的两端设置有非导磁体7，且轴向上，子动子铁心中的铁片之间通过非导磁体7；在同一子动子周向剖面上，转子极对数为8，永磁体充磁方向相同，在轴向上，转子极对数为3，相邻极所在的子动子的圆周上的永磁体充磁方向相反。

[0035] 如图3所示，永磁体的排列采用中间磁极结构，永磁体嵌入在动子内部。轴向上，动子之间由非导磁材料连接，动子铁心安装在非导磁的轴承上，该轴承通过套筒与外壳3相连。动子结构紧凑，可靠性好；在同一周向剖面上，永磁体充磁方向一致，转子极对数为8，轴向上同一运动方向上永磁充磁方向一致，转子极对数为3，相邻极永磁体的充磁方向相反，如图3所示。与传统的永磁体极交错排布的结构相比，此结构大大减少了永磁体的用量、磁路饱和程度和体积，降低了制作成本。由于采用中间磁极的结构，改变了动子d、q轴电抗，降低了回路上磁阻的大小，与传统的结构相比，作动器的电磁特性基本不变，可提高输出转矩、推力和功率密度，实现直线、旋转和螺旋运动。

[0036] 定子铁心和动子铁心均采用高导磁材料硅钢片轴向叠制，硅钢片采用50W470。

[0037] 动子铁心在轴向上做直线运动，动子铁心的轴向长度小于定子的长度，有效的减少了作动器的体积，且采用中间磁极结构，减少了动子和永磁体材料的用量，降低了制作成

本。绕组采用集中绕组的形式，线圈由铜导线绕制，易于安装。

[0038] 在运动时，永磁转矩和磁阻转矩共同作用构成电磁转矩。

[0039] 一种采用中间磁极结构的直线旋转永磁作动器控制方法，通过调节线圈2中绕组的励磁电流的大小，可以控制磁通量的大小，从而增加作动器直线运动和旋转运动速度调节范围，达到调节转矩和推力，控制转速和直线运动速度的目的。

[0040] 当需要做直线运动时，集中绕组中电流分解为励磁分量和控制分量，绕组中电励磁和永磁共同构成动子励磁磁场，和绕组中电流控制分量产生的电枢磁场相互作用，使作动器做直线运动；取绕组中电流$I=I_e rect(t/T)+I_{arm}\cos(w_{rn}t+\theta_n+\psi_n)\cos(w_{1n}Z+\theta_m+\psi_m)$，其中，$rect(t/T)=u(t+T/2+k_{rz}\pi+\phi)-2u(t-T/2+k_{rz}\pi+\phi)$，$T=2\pi/w_{rn}$，或$T=2\pi/w_{1n}$，$w_{rn}$为旋转同步角频率，$w_{1n}$为直线运动同步角频率，$\psi_n$为旋转方向电流的初始相位，$\psi_m$为直线运动时电流的初始相位，$k_{rz}\pi$是励磁电流在周向或轴向上励磁分量之间的相位差，$\phi$为绕组中励磁电流在周向或轴向上的初始相位角，在周向上，定子有四个电周期，转子极对数为8，k_{rz}分别为0、1/2和3/2；在轴向上，定子有三个电周期，转子极对数为3；在旋转和直线运动方向上，θ_m，θ_n分别取为0、120°和240°，由直线运动的频率速度公式$v=2\tau f$，以及频率角频率换算公式$f=w/2\pi$，可确定初始位置$w_{1n}Z$；通过调节I_e的大小，可以调节轴向磁场强度，进而控制轴向推力的大小，扩大轴向推力的调节范围。

[0041] 当需要做旋转运动时，此时动子励磁磁场是绕组中电流产生的励磁和永磁构成周向旋转磁场，与绕组中电流控制分量产生的电枢磁场相互作用作旋转运动。同样，电机在作旋转运动时，通过调节I_e的大小，控制周向磁通的大小，扩大周向转矩的调节范围。

[0042] 当需要做螺旋运动时，绕组中电流产生的励磁分量I_e为0，永磁体形成的永磁磁场成螺旋磁场，此时与绕组中电流产生的控制分量I_{arm}形成的电枢磁场相互作用，可做螺旋运动，此时，通过调节励磁电流的大小，控制磁通量的大小达到控制螺旋运动的目的。总之，绕组中电流产生的励磁分量，与永磁体产生的永磁磁场共同作用，不管是在周向，还是在轴向上，磁场分布均接近于正弦分布，进而使线圈的反电势波形为正弦。作动器在作直线、旋转和螺旋运动，绕组中励磁分量和控制分量的电流相位一致，通过调节励磁电流的大小，可以控制磁通量的大小，从而增加作动器直线运动和旋转运动速度调节范围，达到调节转矩和推力，控制转速和直线运动速度的目的。

[0043] 由上可知，本发明大大减少了永磁体的用量，减少了作动器的体积，降低了制作成本，永磁转矩和磁阻转矩共同组成电磁转矩，提高了功率密度。

[0044] 以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出：对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

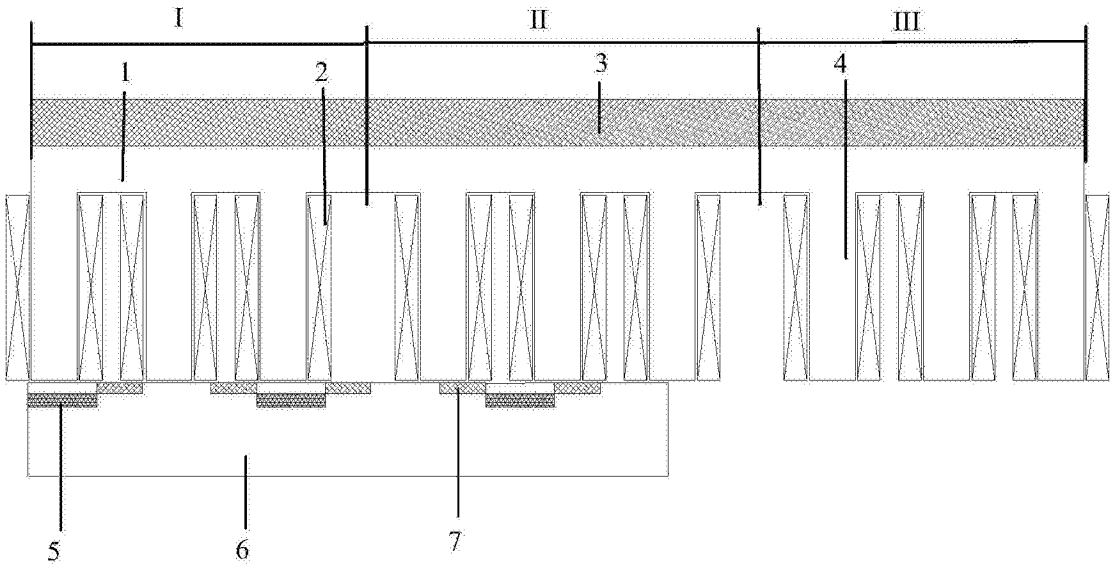


图1

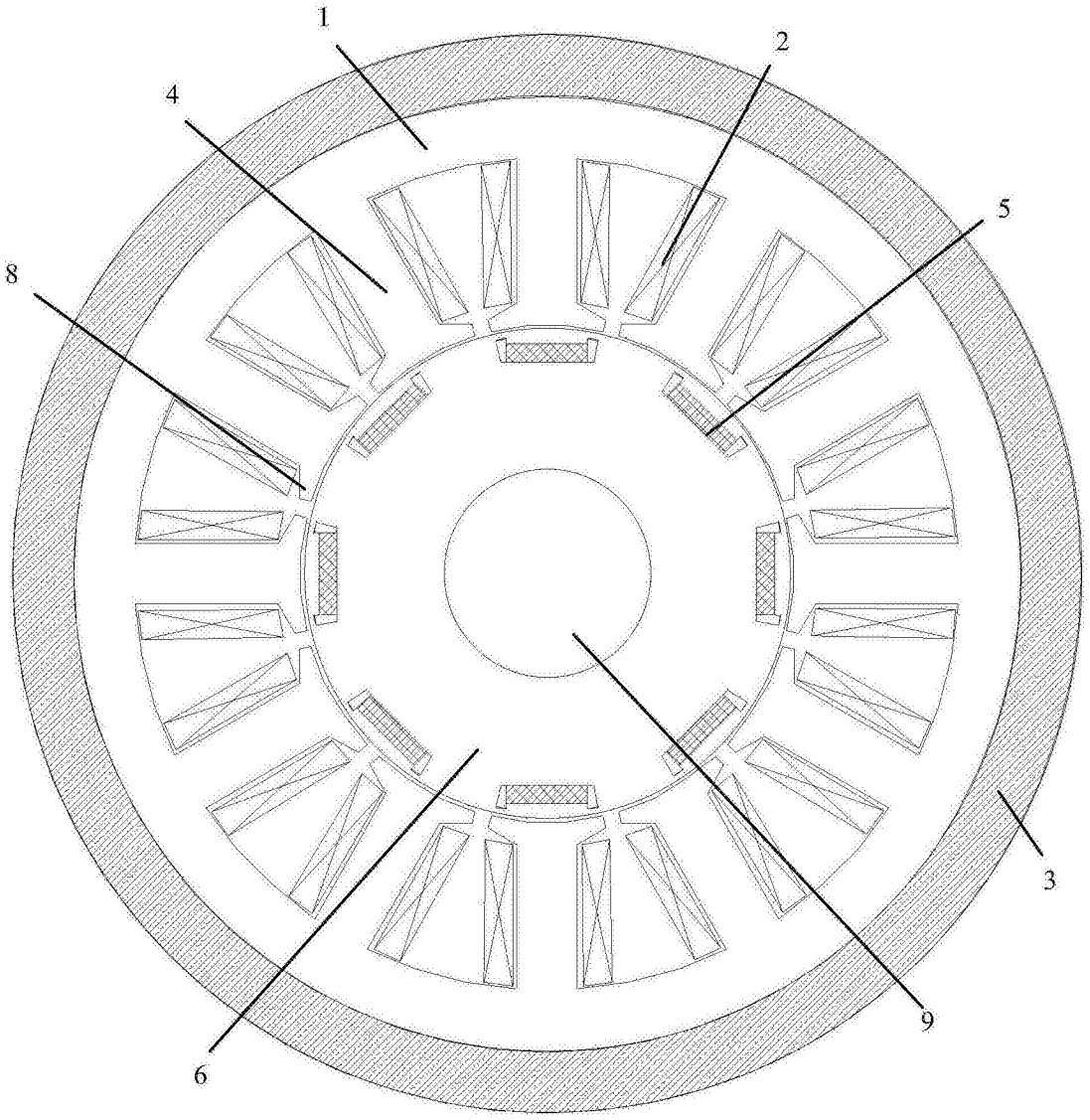


图2

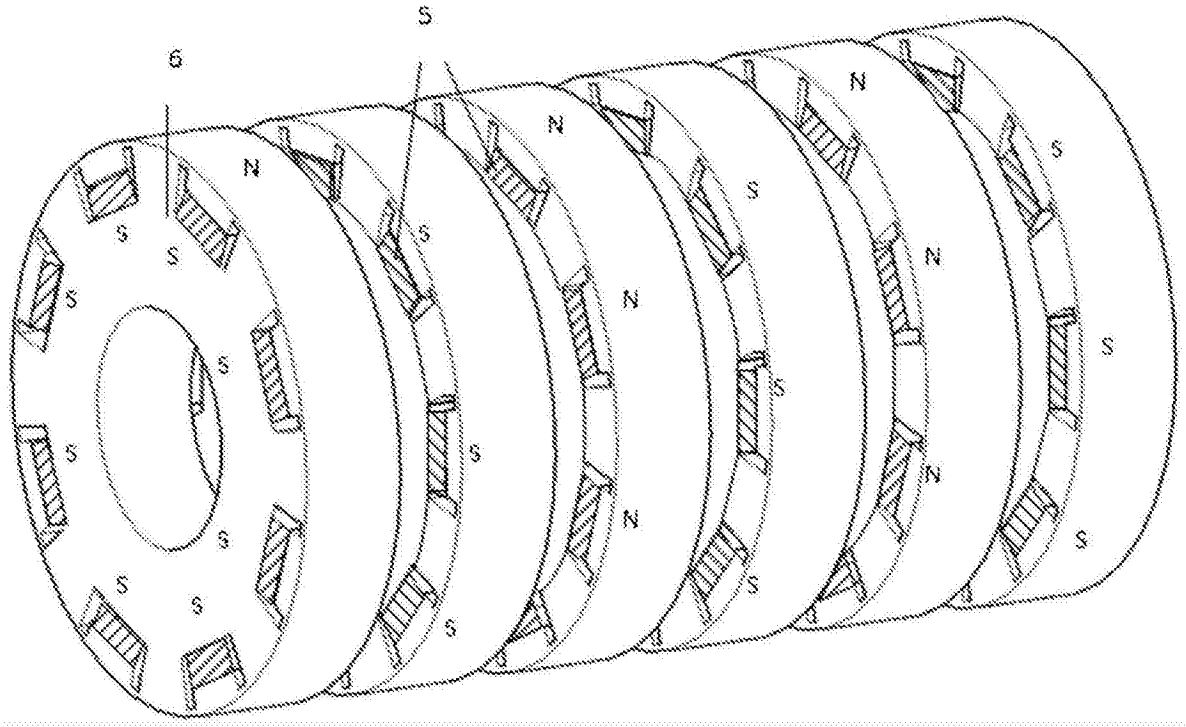


图3