



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111313576 B

(45) 授权公告日 2021. 07. 06

(21) 申请号 202010254675.4

(22) 申请日 2020.04.02

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111313576 A

(43) 申请公布日 2020.06.19

(73) 专利权人 南京航空航天大学  
地址 210016 江苏省南京市白下区御道街  
29号  
专利权人 台达电子企业管理(上海)有限公司

(72) 发明人 王凯 李烽 孙海阳

(74) 专利代理机构 宁波诚源专利事务所有限公司 33102  
代理人 姚娟英 陈洪娜

(51) Int.Cl.

H02K 1/14 (2006.01)

H02K 3/18 (2006.01)

H02K 3/28 (2006.01)

H02K 1/24 (2006.01)

H02K 1/27 (2006.01)

审查员 肖林元

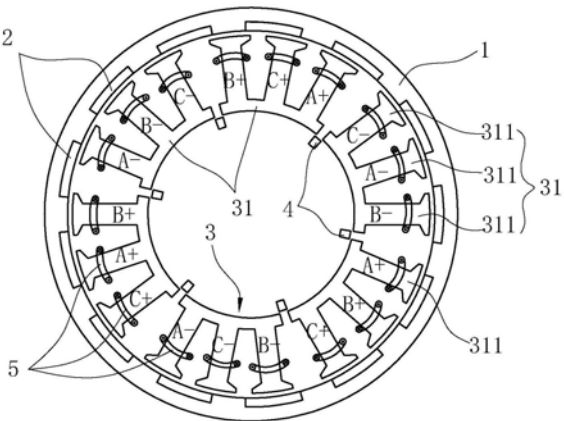
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种模块化永磁电机

(57) 摘要

一种模块化永磁轮毂电机,包括有转子和定子,其特征在于:所述转子包括有转子铁芯和永磁体,所述定子包括由至少两个及以上的模块化定子单元组成的定子铁芯,相邻的模块化定子单元之间形成有磁桥,而且,相邻的模块化定子单元上的电枢绕组的绕制方向相反且属于同相的电枢绕组在空间互差180度电角度。本发明的优点在于:设置磁桥和改进电枢绕组的布置方式来消除电枢绕组的反电势偶次谐波,从而提高电机输出转矩性能;利用磁桥产生的大槽结构布置辅助绕组,有助于进一步提高电机的转矩和功率密度。



1. 一种模块化永磁电机, 包括有转子和定子, 其特征在于: 所述转子包括有转子铁芯 (1) 和永磁体 (2), 所述定子包括由至少两个及以上的模块化定子单元 (31) 组成的定子铁芯 (3), 相邻的模块化定子单元 (31) 之间形成有磁桥 (4), 而且, 相邻的模块化定子单元 (31) 上的电枢绕组 (5) 的绕制方向相反且属于同相的电枢绕组 (5) 在空间互差180度电角度;

所述定子铁芯 (3) 上还设置有辅助绕组 (6), 所述的辅助绕组 (6) 设置于相邻的模块化定子单元 (31) 之间形成的定子槽中, 所述辅助绕组 (6) 正负线圈边在空间互差180度电角度;

所述定子铁芯 (3) 包括有6个由所述磁桥 (4) 相间隔的模块化定子单元 (31), 每个模块化定子单元 (31) 包括有3个定子齿块 (311), 每个定子齿块 (311) 的齿部均绕设有所述的电枢绕组 (5); 并且, 所述辅助绕组 (6) 有三个, 每个辅助绕组 (6) 以跨9个定子齿块 (311) 绕置, 相邻辅助绕组 (6) 的正负线圈边在空间互差180度电角度。

2. 根据权利要求1所述的模块化永磁电机, 其特征在于: 所述的永磁电机为三相电机, 所述磁桥 (4) 的跨距为 $\tau/3$ , 其中,  $\tau$ 为电机的极距。

3. 根据权利要求1所述的模块化永磁电机, 其特征在于: 所述定子铁芯 (3) 上还设置有辅助绕组 (6), 所述辅助绕组 (6) 属于同相的线圈在空间互差180度电角度。

4. 根据权利要求1所述的模块化永磁电机, 其特征在于: 所述转子铁芯 (1) 为凸极转子铁芯, 所述永磁体 (2) 沿转子铁芯 (1) 的圆周方向交替设置, 并且, 所有永磁体 (2) 的充磁方向相同。

5. 根据权利要求1所述的模块化永磁电机, 其特征在于: 所述的定子采用硅钢片轴向叠压而成, 所述转子采用实心导磁材料或者硅钢片轴向叠压而成。

6. 根据权利要求1所述的模块化永磁电机, 其特征在于: 所述的永磁电机采用以 $N_s = 2P \pm 1$ 极槽配合的单元电机, 其中,  $N_s$ 为单元电机槽数,  $P$ 为单元电机极对数。

## 一种模块化永磁电机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种永磁电机结构,特别是一种模块化的永磁电机。

### 背景技术

[0002] 永磁电机由于稀土永磁材料的使用具备了高转矩密度、高功率密度和高效率等优点,特别适合用于新能源汽车、风力发电等传动系统。永磁轮毂电机采用外转子内定子的结构,由于省去了中间的机械传动系统而被广泛应用于汽车分布式驱动系统中,但是这类外转子永磁轮毂电机其永磁体一般放置于外转子上,永磁体需要沿着外转子内部贴满一圈,永磁用量大,使得电机成本较高。

[0003] 为了降低电机成本,同时不降低电机的转矩密度,交替极永磁电机结构受到了国内外的广泛研究,如发表于IEEE Transactions on Industrial Electronics期刊的文献《Development of a 20-pole-24-slot SPMSM with consequent pole rotor for in-wheel direct drive》证实了在外转子轮毂电机结构中,交替极永磁体结构可以呈现出与传统电机相当的电磁性能,是一种很具发展潜力的结构;又如申请号为201611011286.9的中国发明专利《一种交替极永磁电机》公开了一种交替极永磁电机,该交替极永磁电机的转子表面均匀设有多个凸极,相邻凸极之间的凹槽镶嵌有永磁体,在转子表面形成凸极与永磁体交替排列结构,永磁体的形状与凹槽的形状相配合,使永磁体的各个面与凹槽的各个面紧密接触,永磁体的上表面和凸极的上表面均为弧面,且永磁体上表面的弧度与凸极上表面的弧度相同,所有凸极上表面与永磁体上表面构成一完整的圆柱面,该圆柱面与定子齿极之间存在气隙;各块永磁体的充磁方向相同。

[0004] 上述专利和文献中采用采用永磁体交替排列的方式克服了传统表贴式永磁电机的缺陷,节约了永磁材料和保护套的使用,然而,在绕组正负相带不对称的极槽配合中,交替极电机相绕组中会感应出反电势偶次谐波,从而增加电机转矩脉动,并影响电机输出电磁性能。因此,综上所述,还有待于对现有的永磁电机,特别是交替机永磁电机结构做出进一步的改进。

### 发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是针对上述现有技术现状而提供一种可有效消除反电势偶次谐波的永磁电机,该永磁电机在提高永磁利用率的同时,还提高了电机的输出转矩性能。

[0006] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种模块化永磁电机,包括有转子和定子,其特征在于:所述转子包括有转子铁芯和永磁体,所述定子包括由至少两个及以上的模块化定子单元组成的定子铁芯,相邻的模块化定子单元之间形成有磁桥,而且,相邻的模块化定子单元上的电枢绕组的绕制方向相反且属于同相的电枢绕组在空间互差180度电角度。

[0007] 为了方便结构设计,作为优选,所述的永磁电机可以为三相电机,相应地,所述磁

桥的跨距设计为 $\tau/3$ ,其中, $\tau$ 为电机的极距。由此,可以实现三相永磁电机的相邻模块化定子单元上属于同相的电枢绕组空间上互差180电角度以消除反电势偶次谐波。

[0008] 为了进一步提高电机的转矩和功率密度,作为进一步优选,所述定子铁芯上还设置有辅助绕组,所述辅助绕组正负线圈边在空间互差180度电角度或者属于同相的线圈在空间互差180度电角度。辅助绕组的设置可以在避免产生反电势偶次谐波的同时,进一步改善电机的反电势波形,其中,辅助绕组的绕法有多种多样,可以根据电机实际应用场合和结构尺寸的设计进行不同的选择和布线。

[0009] 作为优选,所述辅助绕组的正负线圈边在空间互差180度电角度,具体地,所述定子铁芯包括有6个由所述磁桥相间隔的模块化定子单元,每个模块化定子单元包括有3个定子齿块,每个定子齿块的齿部均绕设有所述的电枢绕组;并且,所述辅助绕组有三个,每个辅助绕组以跨9个定子齿块绕置,属于同相的辅助绕组的正负线圈边在空间互差180度电角度,该辅助绕组正负线圈边可以抵消转子旋转所感应出的反电势偶次谐波。

[0010] 作为另一优选,所述辅助绕组属于同相的线圈在空间互差180度电角度,具体地,所述定子铁芯包括有6个由所述磁桥相间隔的模块化定子单元,每个模块化定子单元包括有3个定子齿块,每个定子齿块的齿部均绕设有所述的电枢绕组;并且,所述辅助绕组有六个,每个辅助绕组以跨3个定子齿块绕置,径向相对的两个辅助绕组属于同相且在空间上互差180度电角度,该辅助绕组径向相对的属于同相的线圈可以抵消转子旋转所感应出的反电势偶次谐波。

[0011] 作为再一优选,所述辅助绕组属于同相的线圈在空间互差180度电角度,具体地,所述定子铁芯包括有6个由所述磁桥相间隔的模块化定子单元,每个模块化定子单元包括有3个定子齿块,每个定子齿块的齿部均绕设有所述的电枢绕组;并且,所述辅助绕组有六个,每个辅助绕组绕置于磁桥所在位置的定子齿块的轭部,径向相对的两个辅助绕组属于同相且在空间上互差180度电角度,该辅助绕组径向相对的属于同相的线圈可以抵消转子旋转所感应出的反电势偶次谐波。

[0012] 为了提高永磁利用率,达到节约永磁材料、降低电机成本的目的,作为优选,所述转子铁芯为凸极转子铁芯,所述永磁体沿转子铁芯的圆周方向交替设置,并且,所有永磁体的充磁方向相同。

[0013] 为了方便加工制作,作为优选,所述的定子采用硅钢片轴向叠压而成,所述转子采用实心导磁材料或者硅钢片轴向叠压而成。

[0014] 作为优选,所述的永磁电机可以采用以 $N_s = 2P \pm 1$ 极槽配合的单元电机,其中, $N_s$ 为单元电机槽数, $P$ 为单元电机极对数。

[0015] 与现有技术相比,本发明的优点在于:首先,通过设置磁桥和改进电枢绕组的布置方式来消除电枢绕组的反电势偶次谐波,从而提高电机输出转矩性能;其次,可有效利用磁桥的间隙,提高电机的空间利用率,通过利用磁桥产生的大槽结构布置辅助绕组,有助于进一步提高电机的转矩和功率密度;再者,电机转子采用交替极永磁转子结构,可以提高永磁利用率,节约永磁材料并降低电机成本,而且交替极永磁转子还可以增加电机的电感,有效抑制电机短路电流;另外,定子采用模块化结构声场,可以在定子模块上先绕线,然后再实现定子模块的拼装,不仅方便电机的制造加工,也便于产品的运输和装配。

## 附图说明

- [0016] 图1为现有技术中的永磁电机结构示意图。
- [0017] 图2为本发明实施例的永磁电机结构示意图。
- [0018] 图3为本发明实施例的永磁电机的绕组连接结构示意图之一。
- [0019] 图4为本发明实施例的永磁电机的绕组连接结构示意图之二。
- [0020] 图5为本发明实施例的永磁电机的绕组连接结构示意图之三。
- [0021] 图6为本发明实施例中各种改进绕组连接结构和现有技术中绕组连接结构的反电势波形比较图。

## 具体实施方式

[0022] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。

[0023] 如图1所示,为现有技术的永磁电机结构,该永磁电机为传统轮毂电机,包括有定子齿均匀分布的定子铁芯3'和交替极转子铁芯1',所有永磁体2'的充磁方向相同,即都指向转子外侧或定子侧,模块化定子铁芯3'包括有多个定子模块单元31',每一定子模块单元31'包含三个定子齿块311',每一个定子模块单元31'上的三个定子齿块311'均沿逆时针方向依次绕有A+、B+、C+绕组线圈4'(即所有模块化定子铁芯上的绕组线圈4'均为正方向绕制),使得每一模块化定子逆时针方向形成A+、C+、B+的相序,由此,相邻定子模块单元31'上属于同相线圈感应出的反电势在空间上同相位,交替极永磁转子旋转感应出的偶次谐波叠加,这就使得传统的交替极永磁转子在工作时会产生反电势偶次谐波,增加电机转矩脉动,影响电机输出电磁性能。

[0024] 如图2所示,为本实施例设计的一种新型模块化永磁电机结构,该电机包括有转子和定子,转子包括有转子铁芯1和永磁体2,定子包括由至少两个及以上的模块化定子单元31组成的定子铁芯3,相邻的模块化定子单元31之间形成有磁桥4,而且,相邻的模块化定子单元31上的电枢绕组5的绕制方向相反,且相邻模块化定子单元31上属于同相的电枢绕组5在空间互差180度电角度。

[0025] 具体地,本实施例采用外转子内定子结构的三相永磁轮毂电机,电机采用以 $N_s = 2P \pm 1$ 极槽配合的单元电机,其中, $N_s$ 为单元电机槽数,P为单元电机极对数;为了提高永磁利用率,本实施例的转子铁芯1为凸极转子铁芯,永磁体2沿转子铁芯1的圆周方向交替设置,不仅可实现节约永磁材料、降低电机成本的效果,还可以增加电机的电感,有效抑制电机短路电流,而且,所有永磁体2的充磁方向相同,转子铁芯1与定子铁芯3之间形成独立的气隙,使得转子永磁场于定子电枢反应场的互作用实现机电能量转换。

[0026] 根据永磁电机的工作原理,在永磁电机中,一块永磁体的极距定义为180度电角度,当将电机设计为相邻的模块化定子单元31上的电枢绕组5的绕制方向相反,且相邻模块化定子单元31上属于同相的电枢绕组5在空间互差180度电角度,此时,可以有效消除因转子旋转感应出的偶次谐波,从而提高电机的输出转矩性能;本实施例的模块化定子单元31上的电枢绕组5的绕制方法可完全依照电机反电势星形图实现,电枢绕组5的具体绕线结构和相位设置可参见图2。

[0027] 本实施例的定子铁芯3包括有6个由所述磁桥4相间隔的模块化定子单元31,每个模块化定子单元31包括有3个定子齿块311,每个定子齿块311的齿部均绕设有电枢绕组5;

为了方便加工制造,本实施例的定子铁芯3采用硅钢片轴向叠压而成,转子铁芯1可以采用实心导磁材料或者硅钢片轴向叠压而成。本实施例的定子铁芯3采用模块化生产,可以在模块化定子单元31上先绕上线圈,然后再把定子模块进行拼装,从而方便电机加工,并便于运输和装配。

[0028] 本实施例的模块化交替极永磁电机其交替极转子相比传统电机多出了一对极,为了消除相邻模块化定子单元31上属于同相线圈的反电势,6个模块化定子单元31之间的磁桥4跨距设置为 $\tau/3$  (其中, $\tau$ 为电机的极距),使得6个磁桥4正好使转子上多出一对磁极,转子上多出的该对极不会改变该电机模块化单元的极槽配合。

[0029] 本实施例通过改变传统模块化定子单元31上绕组的绕制顺序和方向,使得相邻两个定子模块单元上属于同相的电枢绕组中的反电势偶次谐波抵消,从而提高电机输出转矩特性。

[0030] 由此,本实施例的电机结构可以解决传统模块化交替极电机反电势偶次谐波的问题,能够保证电机平均输出转矩基本不变的基础上,有效消除偶次谐波反电动势,有效抑制电机的转矩脉动。

[0031] 本实施例的相邻模块化定子单元31之间设置磁桥4后,可形成大槽,该大槽中可以放置辅助绕组6,辅助绕组6属于同相的线圈在空间互差180度电角度,由此,在消除反电势偶次谐波的前提下,辅助绕组6的设置还可以进一步改善电机反电势波形,而且,在保证电机铜耗不变的基础上,电机的转矩和功率密度可以得到进一步提高。具体地,辅助绕组6的绕置方式可以采用如下几种方式实现:

[0032] 如图3所示,为辅助绕组6的第一种绕置方式,所述定子铁芯3上的辅助绕组6有三个,每个辅助绕组6以跨9个定子齿块311绕置(即辅助绕组的节距因数为1),相邻辅助绕组6的正负线圈边在空间互差180度电角度,正好可以消除辅助绕组中的反电势偶次谐波,此外辅助绕组感应出的反电势可以增加其基波含量改善反电势波形。

[0033] 如图4所示,为辅助绕组6的第二种绕置方式,所述定子铁芯3上的辅助绕组6有六个,每个辅助绕组6以跨3个定子齿块311绕置,径向相对的两个辅助绕组6属于同相且在空间上互差180度电角度,可以实现消除反电动势和改善电机反电势波形。本方案中辅助绕组6的节距因数小于第一种方案中的辅助绕组6,但是本方案中辅助绕组6的端部绕组要小很多,可以降低电机铜耗,本方案中的辅助绕组6有利于优化电机反电势波形提高输出转矩特性,提高电机的转矩和功率密度。

[0034] 如图5所示,为辅助绕组6的第三种绕置方式,所述定子铁芯3上的辅助绕组6有六个,每个辅助绕组6绕置于磁桥4所在位置的定子齿块311的轭部,径向相对的两个辅助绕组6属于同相且在空间上互差180度电角度,该辅助绕组结构拥有图3中辅助绕组结构的绕组系数且绕组端部短可以降低电机有效轴向长度,然而绕制在定子轭部内侧的线圈边部参与机电能量转换,该结构适用于电机定子外径比较大且轴向长度较短的电机结构。

[0035] 以上如图3、图4和图5所提供的三种辅助绕组的优选方案不仅可以实现交替极永磁电机永磁材料利用率高的优点,而且可以通过定子模块化设计消除反电势偶次谐波;此外,定子模块之间大槽中的辅助绕组也可以提高定子空间利用率,进一步提高电机转矩密度,上述电机优选方案均可广泛应用于低速直驱应用场合。

[0036] 如图6所示,给出了传统交替极电机和本实施例提供的各种绕组绕置方案(包含图

2~图5所分别对应的优选方案1~4)下得到的反电势波形比较图,由图3和图5所分别对应的优选方案2和4两种辅助绕组结构,其感应出的反电势相同仅绕组连接结构不同;辅助绕组的设置不仅有效利用了定子空间,而且增加了空载反电势的基波幅值,进而提高电机输出转矩和功率,实现电机性能的改善,从图6中可以看出,根据本实施例所提供的电机结构和绕组布置方案,反电势中均未含有反电势偶次谐波,而且,在增加辅助绕组6后,进一步有效改善了电机的反电势波形。

[0037] 另外,本实施例中的交替极转子上放置的永磁体2可以有多种结构(有聚磁效果的Halbach结构等);本实施例以三相电机为例进行了说明,本申请方案的工作原理还可以拓展到M相极槽配合的模块化定子永磁电机。

[0038] 本实施例的电机结构和绕组布置方式同时解决了永磁电机永磁用量大和交替极永磁转子导致的反电势偶次谐波问题,不仅提高了永磁体利用率,也提高了电机输出电磁性能,本实施例的电机结构和绕组布置方式同样适用于非交替极永磁电机。

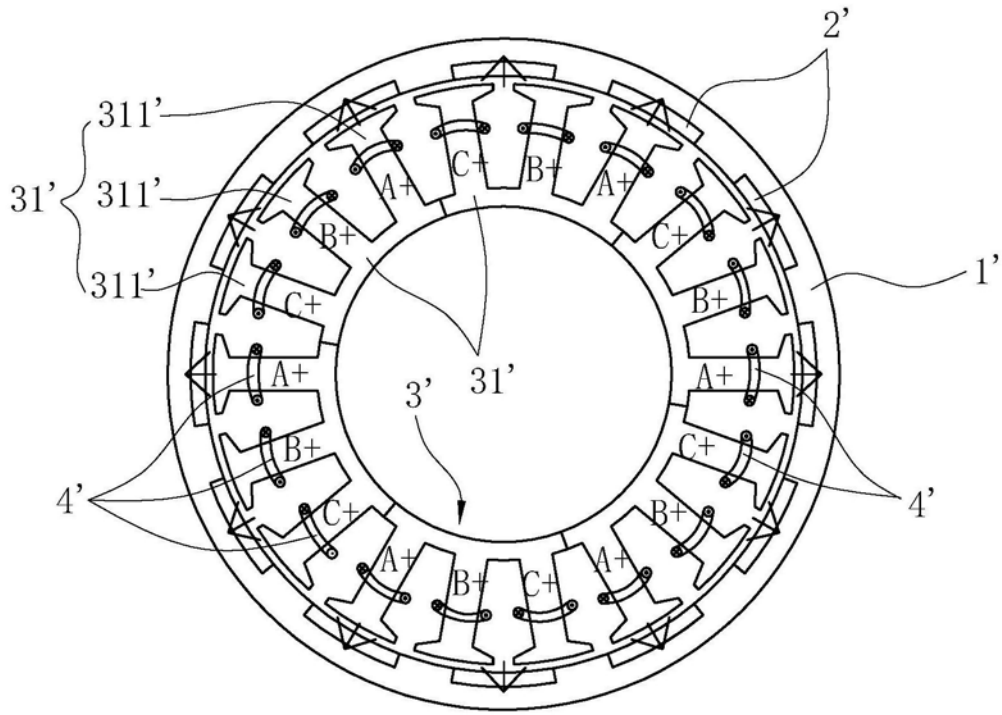


图1

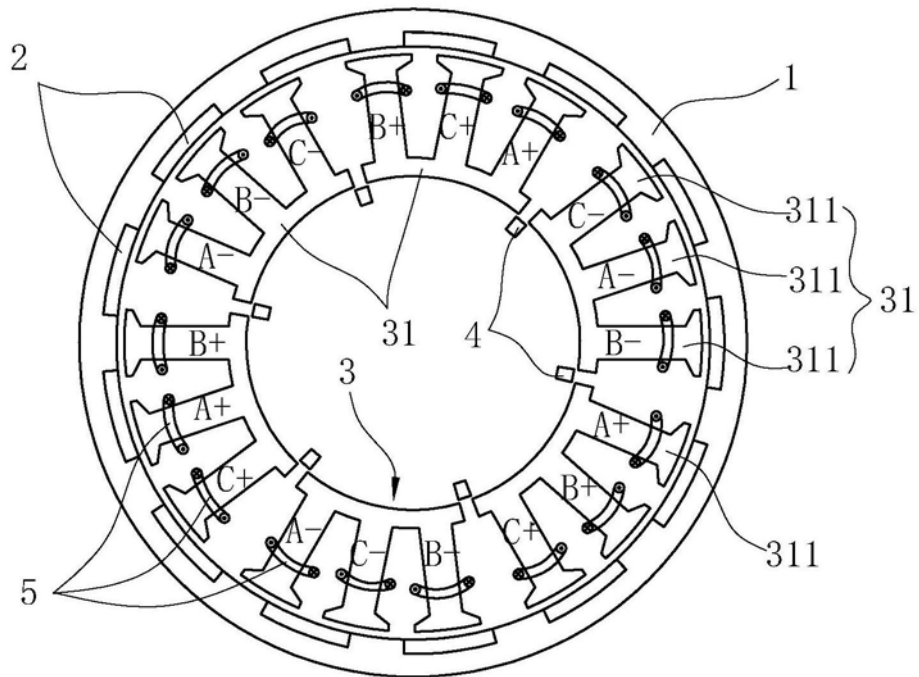


图2

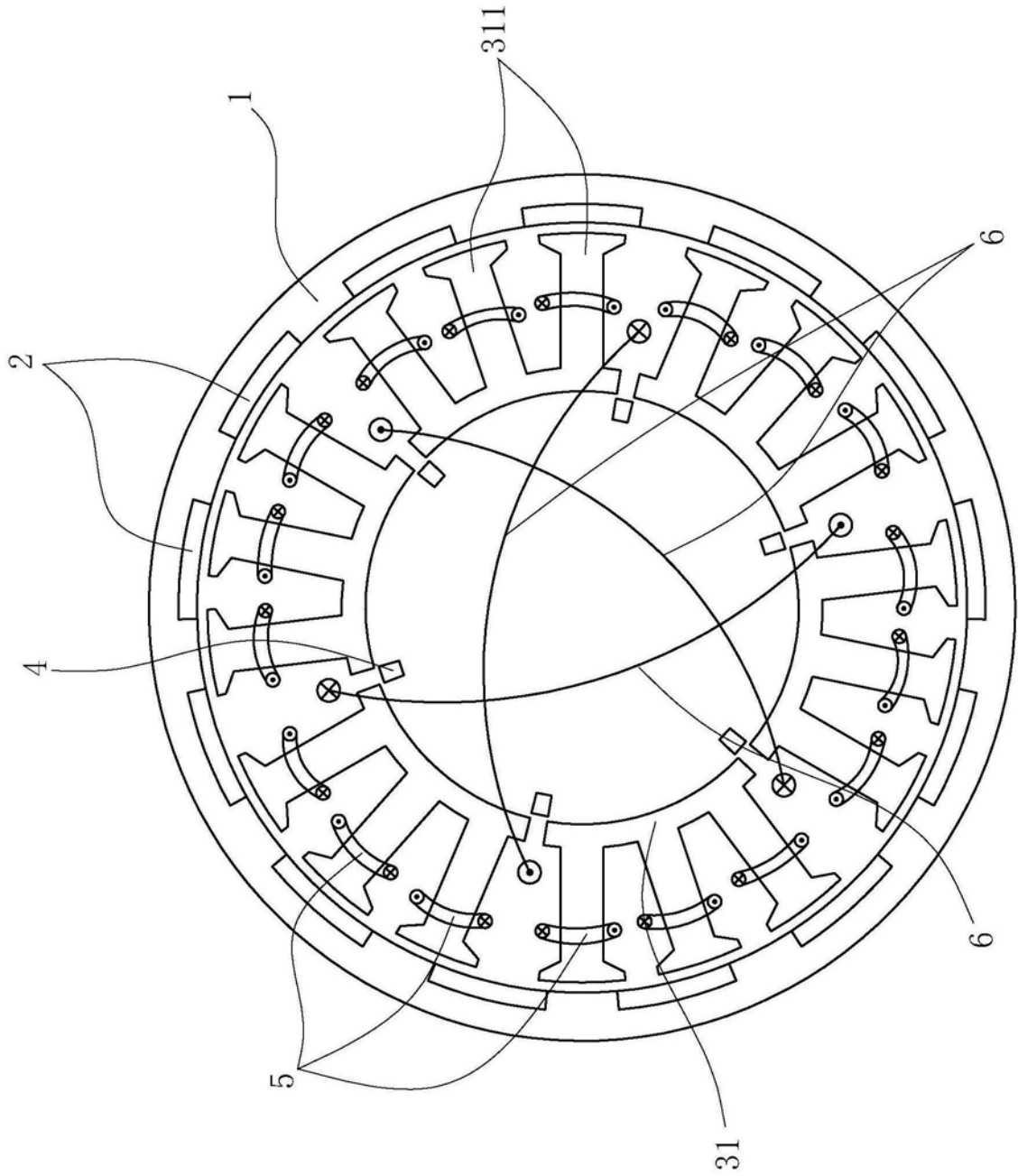


图3

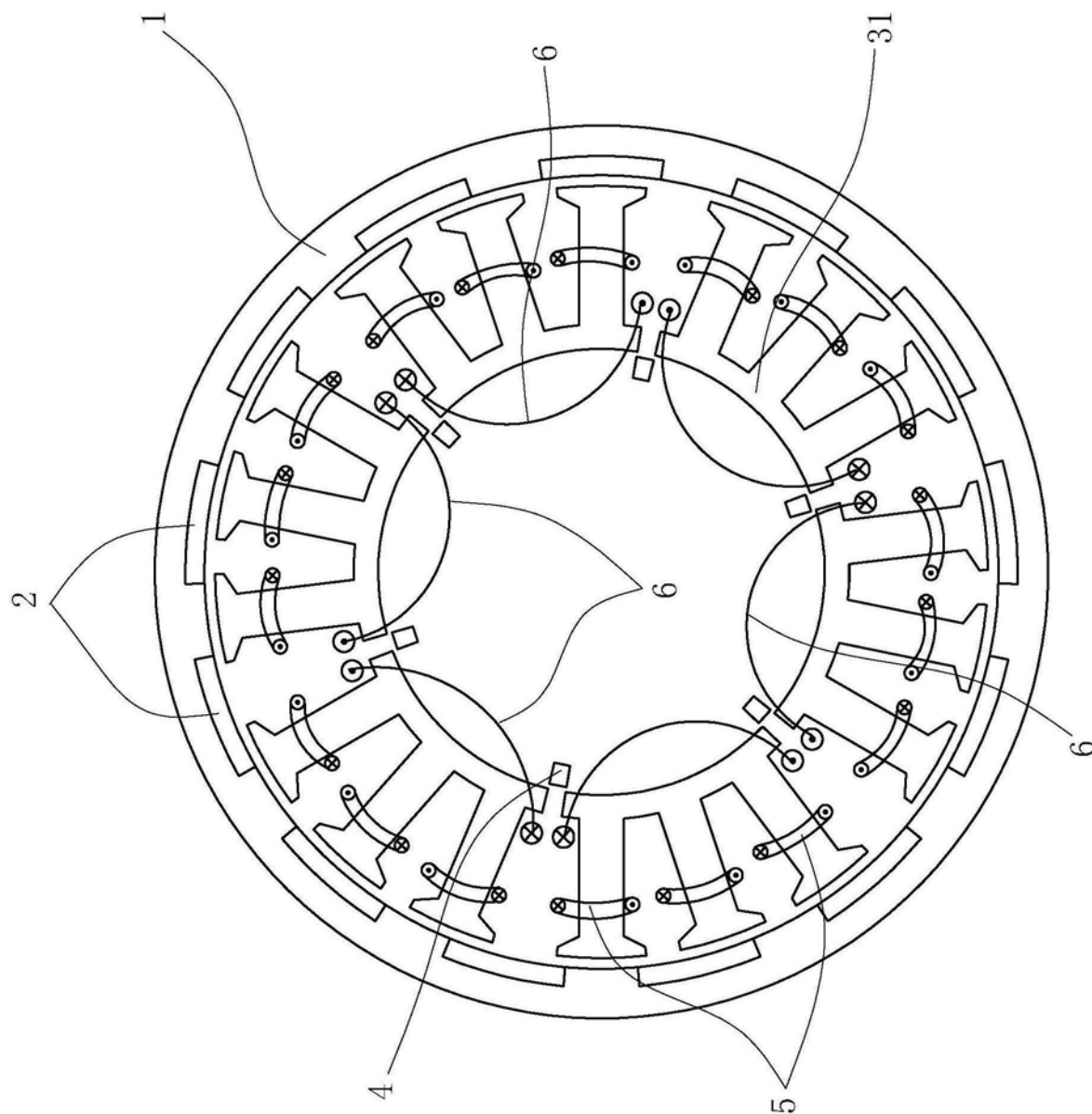


图4

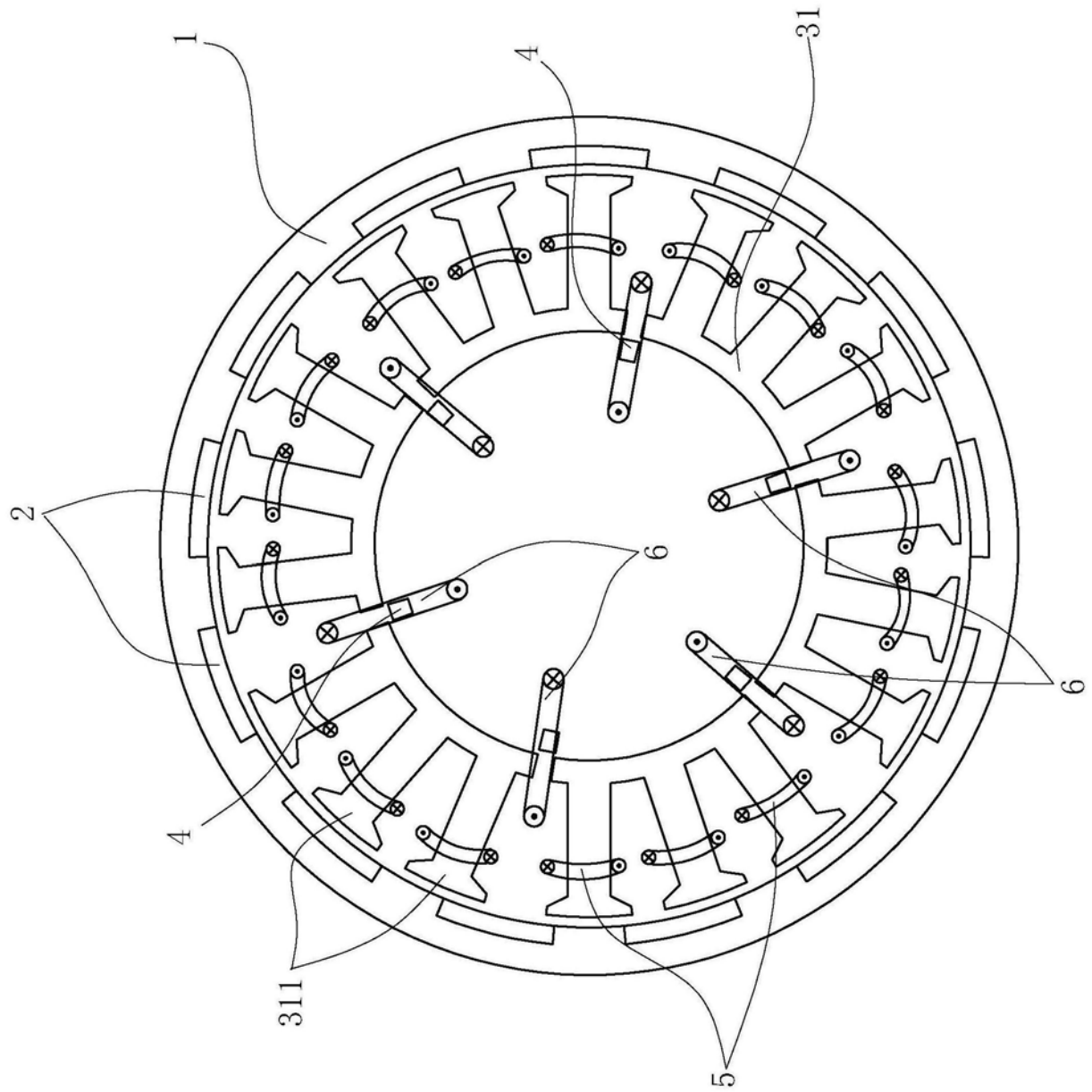


图5

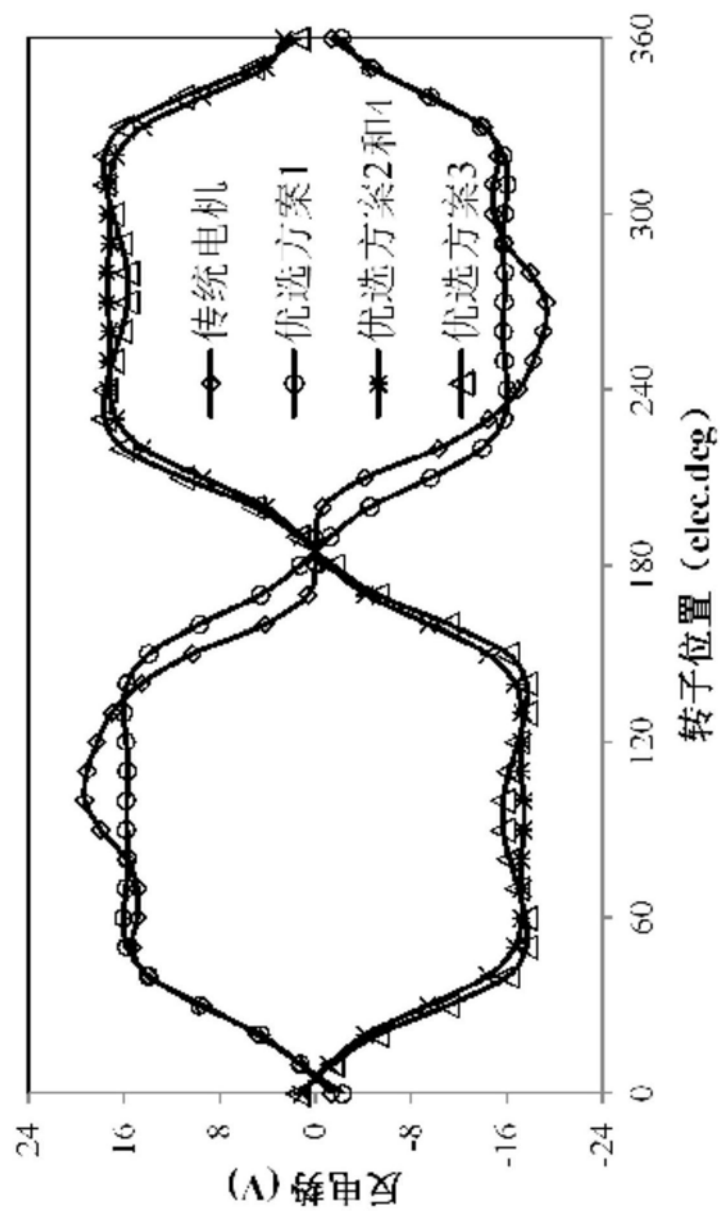


图6