

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 6 月 25 日 (25.06.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/125248 A1

(51) 国际专利分类号:

H02K 1/14 (2006.01) *H02K 3/18* (2006.01)

H02K 1/17 (2006.01) *H02K 3/20* (2006.01)

H02K 1/24 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/115899

(22) 国际申请日: 2019 年 11 月 6 日 (06.11.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:

201811570463.6 2018 年 12 月 21 日 (21.12.2018) CN

(71) 申请人: 南京航空航天大学 (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。南京航空航

天大学秦淮创新研究院(QINHUA INNOVATION INSTITUTE OF NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) [CN/CN]; 中国江苏省南京市秦淮区白下高新科技园永智路 10 号三才大厦 3 栋, Jiangsu 210000 (CN)。

(72) 发明人: 于立(YU, Li); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。张卓然(ZHANG, Zhuoran); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。施于柯(SHI, Yuke); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。孙林楠(SUN, Linnan); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。陈旭(CHEN, Xu); 中国江苏省南京市秦淮区御道街 29 号, Jiangsu 210016 (CN)。

(54) Title: CONSEQUENT-POLE PERMANENT-MAGNET-BIASED BEARINGLESS DOUBLE-SALIENT-POLE MOTOR AND CONTROL METHOD THEREOF

(54) 发明名称: 一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机及其控制方法

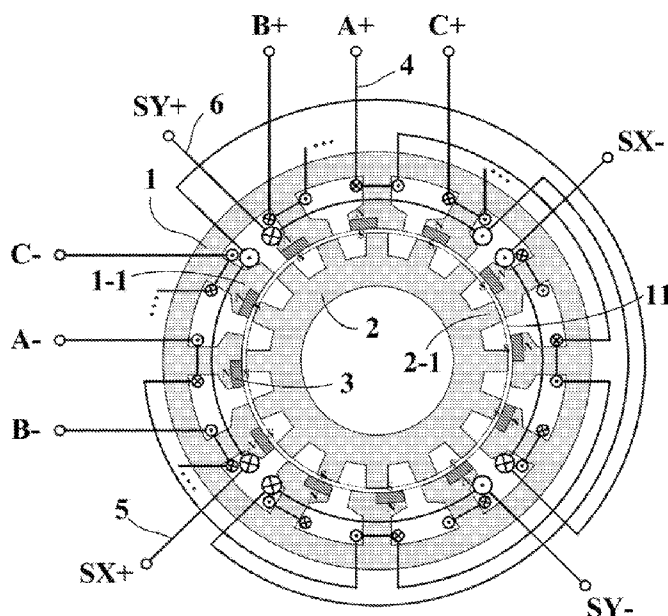


图1

(57) Abstract: Disclosed are a consequent-pole permanent-magnet-biased bearingless double-salient-pole motor and a control method thereof, relating to the technical field of bearingless motors. The problems of winding loss and heating imbalance can be diminished, and the reliability of the motor is improved. According to the solution, an iron core (1, 2) of a stator/rotor is of a salient pole structure, a middle part of the surface, facing an air gap (11), of each stator pole (1-1) is grooved toward an edge part of the stator pole (1-1) in an anti-clockwise direction, a permanent magnet (3) is attracted to each groove, and the surface, facing the air gap (11), of each permanent magnet (3) is the same in polarity; each stator pole (1-1) is wound with an armature coil, the armature coils are sequentially connected in series to form an armature winding (4), and each armature winding (4) is connected to an external main circuit; and every three stator

(74) 代理人: 南京苏高专利商标事务所(普通合伙)(NANJING SUGAO PATENT AND TRADEMARK FIRM (ORDINARY PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京市白下区中山东路198号龙台国际大厦1912室, Jiangsu 210005 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

- 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则4.17(iii))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

poles (1-1) are wound with a suspension coil, the suspension coils spatially opposite each other in a radial direction are connected in series to form a suspension winding, and the suspension winding is connected to an external suspension control circuit. The motor and the method are applicable to high-speed application scenarios such as an aerospace electric drive system.

(57) 摘要: 一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机及其控制方法, 涉及无轴承电机技术领域, 能够缓减绕组损耗与发热不平衡的问题, 提高电机的可靠性。该方案包括: 定/转子的铁心(1,2)均为凸极结构, 每个定子极(1-1)面向气隙(11)表面中间部位按照逆时针方向至定子极(1-1)边缘部位开槽, 槽内贴有一个永磁体(3), 每个永磁体(3)面向气隙(11)表面极性相同; 每个定子极(1-1)绕有电枢线圈, 电枢线圈依次串联构成电枢绕组(4), 电枢绕组(4)分别与外部主电路连接; 每三个定子极(1-1)绕有悬浮线圈, 空间径向相对的悬浮线圈串联构成悬浮绕组, 与外部悬浮控制电路相连。适用于航空航天电驱动系统等高速应用场合。

一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及无轴承电机技术领域,尤其涉及一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机及其控制方法。

背景技术

[0002] 磁阻型无轴承电机是将磁轴承功能与驱动或发电功能集成一体的新型电机,具有空间利用率高,结构紧凑等特点,通过调节悬浮电流,主动控制电机极间径向电磁力,相对于传统的电机也提高了电机高速运行可靠性,提高了功率密度及效率。目前已经逐步发展出了无轴承开关磁阻电机和电磁式无轴承双凸极电机等方案。其中:

[0003] 无轴承开关磁阻电机结构简单可靠,适合在高温高速等恶劣场合运行。然而无轴承开关磁阻电机转矩和悬浮力存在非线性耦合的问题,悬浮控制需要检测转子位置角,根据转子角位置调节悬浮电流,系统实现难度大,导致了其较高的设计和使用成本。

[0004] 电磁式无轴承双凸极电机定转子结构坚固可靠,同样适合高温高速运行,并且由于励磁电流可以提供悬浮所需要的偏置磁场,不再需要像无轴承开关磁阻电机一样利用电枢电流提供偏置磁场,因此电磁式无轴承双凸极电机悬浮控制基本不受电枢电流大小影响,也不再需要检测转子位置角。其采用的是独立励磁绕组提供偏置磁场,调节悬浮电流控制电机悬浮力。

[0005] 然而调节励磁电流会改变了电机内部的偏置磁场,从而改变悬浮力大小,给悬浮控制带来干扰和耦合,增加悬浮控制的难度。

发明内容

[0006] 本发明的实施例提供一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机及其控制方法,偏置磁场稳定,悬浮力稳定可靠,干扰小,从而降低悬浮控制的难度。

[0007] 为达到上述目的,本发明的实施例采用如下技术方案:

[0008] 一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机:

[0009] 定子铁心(1)、转子铁心(2)、永磁体(3)、电枢绕组(4)和悬浮绕组,所述悬浮绕组包括:第一悬浮绕组(5)和第二悬浮绕组(6);

[0010] 转子铁心(2)由转子极(2-1)构成,转子铁心(2)为凸极结构;

[0011] 所述电机的定子,由定子铁心(1)和永磁体(3)构成,定子铁心(1)由定子极(1-1)构成,定子铁心(1)为凸极结构;

[0012] 对于每一个定子极(1-1):

[0013] 面向气隙(11)表面的中间部位,按照逆时针方向至面向所述气隙(11)表面的边缘部位开槽;

[0014] 每一个定子极(1-1)的开槽内贴有一个永磁体(3),每个永磁体(3)面向所述气隙(11)表面的极性相同;

[0015] 每一个定子极(1-1)上绕有电枢线圈,电枢线圈依次串联构成电枢绕组(4),电枢

绕组(4)与外部主电路连接;

[0016] 每三个依次排列的定子极为一组并绕有一套悬浮线圈,且每套悬浮线圈都采用相同的绕向与绕制方式。

[0017] 一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机的控制方法,包括悬浮控制环节和转矩控制环节;

[0018] 其中,悬浮控制环节包括:

[0019] 通过安装在电机端盖上的x轴方向的径向位移传感器,检测所述电机的转子的径向位置,得到x轴方向转子实际位移;

[0020] 通过安装在电机端盖上的y轴方向的径向位移传感器,检测所述电机的转子的径向位置,得到y轴方向转子实际位移,其中,x轴与y轴相互正交;

[0021] 通过电流检测单元,分别检测所述电机的第一悬浮绕组(5)电流反馈值和第二悬浮绕组(6)电流反馈值;

[0022] 将预设的所述电机在x轴方向参考位移与所述x轴方向转子实际位移的差值,经过x轴位移调节环节,得到第一悬浮绕组(5)的电流参考值;

[0023] 将预设的所述电机在y轴方向参考位移与所述y轴方向转子实际位移的差值,经过y轴位移调节环节,得到第二悬浮绕组(6)的电流参考值;

[0024] 将第一悬浮绕组(5)电流参考值与第一悬浮绕组(5)电流反馈值的差值,经过第一悬浮电流调节环节,得到第一悬浮控制电路的占空比信号;

[0025] 将第二悬浮绕组(6)电流参考值与第二悬浮绕组(6)电流反馈值的差值,经过第二悬浮电流调节环节,得到第二悬浮控制电路的占空比信号;

[0026] 通过调节所述第一悬浮控制电路和所述第二悬浮控制电路的开关管占空比,调节第一悬浮绕组(5)电流和第二悬浮绕组(6)电流。

[0027] 转矩控制环节,包括:采用正弦波电流控制,或者采用方波电流控制。

[0028] 本实施例中的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机的定/转子的铁心均为凸极结构气隙(11)表面气隙(11)表面;每个定子极绕有电枢线圈,电枢线圈依次串联构成电枢绕组,电枢绕组分别与外部主电路连接;每个3依次排列的定子极为一组并绕有一套悬浮线圈,且每套悬浮线圈都采用相同的绕制方式空间径向相对的悬浮线圈串联构成悬浮绕组,与外部悬浮控制电路相连。

[0029] 相对于现有技术中电机内部的偏置磁场不稳定,从而改变悬浮力大小,给悬浮控制带来干扰和耦合的问题;每相电枢绕组配置不对称,使得反电势不对称,导致绕组损耗与发热不平衡,恶化电机绝缘性能的问题;以及使与电机电枢绕组连接的外部主电路的功率器件发热不均,影响可靠性的问题。本发明通过在交替极永磁偏置无轴承双凸极电机中偏置磁场稳定,悬浮力稳定可靠,干扰小,每相电枢绕组分布均衡,因此每相反电势对称,绕组发热平衡,电机电枢绕组连接的外部主电路的功率器件发热平衡,电流应力平衡,使得电机及其系统的可靠性高。

附图说明

[0030] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域

域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其它的附图。

[0031] 图1为本发明实施例提供的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机结构示意图;

[0032] 图2为本发明实施例提供的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机第一悬浮控制电路和第二悬浮控制电路示意图;

[0033] 图3为本发明实施例提供的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机转子5度时的磁力线分布示意图;

[0034] 图4为本发明实施例提供的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机悬浮控制原理框图;

[0035] 图5为本发明实施例提供的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机悬浮线圈连接端示意图;

[0036] 图6为本发明实施例提供的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机定子极的结构示意图;

[0037] 附图中的各个标号分别表示:1-定子铁心、1-1定子极、2-转子铁心、2-1转子极、3-永磁体、4-电枢绕组、5-第一悬浮绕组、6-第二悬浮绕组、7-永磁磁力线、8-通正方向的第二悬浮绕组中由悬浮电流产生的悬浮磁力线、9-第一悬浮控制电路、10-第二悬浮控制电路、11-气隙。

具体实施方式

[0038] 为使本领域技术人员更好地理解本发明的技术方案,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细描述。下文中将详细描述本发明的实施方式,所述实施方式的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施方式是示例性的,仅用于解释本发明,而不能解释为对本发明的限制。本技术领域技术人员可以理解,除非特意声明,这里使用的单数形式“一”、“一个”、“所述”和“该”也可包括复数形式。应该进一步理解的是,本发明的说明书中使用的措辞“包括”是指存在所述特征、整数、步骤、操作、元件和/或组件,但是并不排除存在或添加一个或多个其他特征、整数、步骤、操作、元件、组件和/或它们的组。应该理解,当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时,它可以直接连接或耦接到其他元件,或者也可以存在中间元件。此外,这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或更多个相关联的列出项的任一单元和全部组合。本技术领域技术人员可以理解,除非另外定义,这里使用的所有术语包括技术术语和科学术语具有与本发明所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样定义,不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0039] 本发明实施例提供一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机,如图1所示,包括:

[0040] 定子铁心(1)、转子铁心(2)、永磁体(3)、电枢绕组(4)和悬浮绕组,所述悬浮绕组包括:第一悬浮绕组(5)和第二悬浮绕组(6)。

[0041] 转子铁心(2)由转子极(2-1)构成,转子铁心(2)为凸极结构。

[0042] 所述电机的定子,由定子铁心(1)和永磁体(3)构成,定子铁心(1)由定子极(1-1)

构成,定子铁心(1)为凸极结构。

[0043] 对于每一个定子极(1-1):

[0044] 具体如图6中所示的,面向气隙(11)表面的中间部位,按照逆时针方向至面向所述气隙(11)表面的边缘部位开槽。

[0045] 每一个定子极(1-1)的开槽内贴有一个永磁体(3),每个永磁体(3)面向所述气隙(11)表面的极性相同。

[0046] 每一个定子极(1-1)上绕有电枢线圈,电枢线圈依次串联构成电枢绕组(4),电枢绕组(4)与外部主电路连接。

[0047] 每三个依次排列的定子极为一组并绕有一套悬浮线圈,且每套悬浮线圈都采用相同的绕向与绕制方式。

[0048] 现有技术中,电磁式无轴承双凸极电机的励磁电流会导致励磁损耗。改变励磁电流则会改变偏置磁场,改变悬浮力大小,给悬浮控制增加难度。由于每相电枢绕组配置不对称,使得反电势不对称,导致绕组损耗与发热不平衡,恶化电机绝缘性能,同时使与电机电枢绕组连接的外部主电路的功率器件发热不均,影响可靠性。电磁式无轴承双凸极电机励磁磁路较长,导致励磁效率低,增加了损耗。

[0049] 本实施例中的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机的定/转子的铁心均为凸极结构,每个定子极1-1面向气隙(11)表面中间部位按照逆时针方向至定子极1-1边缘部位开槽,槽内贴有一个永磁体,每个永磁体面向气隙(11)表面极性相同。每个定子极1-1绕有电枢线圈,电枢线圈依次串联构成电枢绕组,电枢绕组分别与外部主电路连接。每三个定子极1-1绕有悬浮线圈,空间径向相对的悬浮线圈串联构成悬浮绕组,与外部悬浮控制电路相连。本发明还公开了上述交替极永磁偏置无轴承双凸极电机的控制方法。通过采用定子铁心交替极永磁励磁,能够减少永磁体用量,降低损耗发热并提高运行效率。由于悬浮磁通路径磁阻小,悬浮调节效率高,且悬浮磁通不会穿过永磁体,避免了永磁体退磁风险。本发明交替极永磁偏置无轴承双凸极电机极大优化了悬浮性能,转子结构坚固可靠,特别适合于航空航天电驱动系统等高速应用场合。

[0050] 对于现有方案中为了调压改变励磁电流,从而引发偏置磁场的改变,导致悬浮力变化,增加了控制难度的问题。本发明中由于偏置磁场由永磁体提供,不会改变。

[0051] 每一个定子极1-1上绕有电枢线圈,电枢线圈依次串联构成电枢绕组4,电枢绕组4与外部主电路连接。所述外部主电路为全桥逆变电路。其中,“电枢线圈依次串联”,可以理解为一个定子极(1-1)的电枢线圈与另一个定子极(1-1)的电枢线圈串联。

[0052] 每个3依次排列的定子极为一组并绕有一套悬浮线圈,且每套悬浮线圈都采用相同的绕制方式。

[0053] 具体的,定子极(1-1)的数目为 $12n$,转子极(2-1)数目为 $16n$, n 为正整数。

[0054] 具体举例来说:如图1所示的,采用12/16极的双凸极结构,包括定子铁心1、转子铁心2、永磁体3、电枢绕组4、第一悬浮绕组5,第二悬浮绕组6,转子铁心2包括若干个转子极2-1,转子铁心为凸极结构。定子由定子铁心1和永磁体3构成,定子铁心1包括若干个定子极1-1,定子铁心1为凸极结构,每个定子极1-1面向气隙(11)表面中间部位按照逆时针方向至定子极1-1面向气隙(11)表面边缘部位开槽,槽内贴有一个永磁体3,每个永磁体3面向气隙表面极性相同,均为S极。

[0055] 在本实施例中,具体如图5所示的,每套悬浮线圈共有两个连接端,分别为第一连接端和第二连接端。

[0056] 空间径向相对的两套悬浮线圈为同一组,共两组,分别为第一悬浮绕组(5)和第二悬浮绕组(6),其中第一悬浮绕组(5)内的第一套悬浮线圈的第一连接端作为第一悬浮绕组(5)的第一出线端(SX+),所述第一悬浮绕组(5)内的第一套悬浮线圈第二连接端与第一悬浮绕组(5)内的第二套悬浮线圈的第二连接端相连。所述第一悬浮绕组(5)内的第二套悬浮线圈的第一连接端作为第一悬浮绕组(5)的第二出线端(SX-)。

[0057] 按照与第一悬浮绕组(5)同样的构成方式,构成第二悬浮绕组(6)和第二悬浮绕组(6)的第一出线端(SY+)和第二出线端(SY-)。

[0058] 第一悬浮绕组(5)的出线端和第二悬浮绕组(6)的出线端分别与外部的第一悬浮控制电路(9)和第二悬浮控制电路(10)连接。

[0059] 具体的:

[0060] 每个定子极1-1绕有电枢线圈,电枢线圈按照图1所示的接线依次串联构成电枢绕组4。每三个定子极1-1绕有悬浮线圈,每套悬浮线圈绕制方式相同,如图5所示的,共有两个连接端,分别为第一连接端和第二连接端,空间径向相对的两套悬浮线圈为同一组,第一组的第一套悬浮线圈的第一连接端作为第一悬浮绕组第一出线端SX+,其中一组悬浮线圈内的第一套悬浮线圈第二连接端与其中另一组悬浮线圈内的第二套悬浮线圈的第二连接端相连,其中另一组悬浮线圈内的第二套悬浮线圈第一连接端作为第一悬浮绕组第二出线端SX-,第一组的悬浮线圈串联构成的悬浮绕组称为第一悬浮绕组5,按照同样方式,构成第二悬浮绕组6,相应构成第二悬浮绕组第一出线端SY+和第二出线端SY-。通过在交替极永磁偏置无轴承双凸极电机中每相电枢绕组4分布均衡,因此每相反电势对称,绕组发热平衡,电机电枢绕组4连接的外部主电路的功率器件发热平衡,电流应力平衡,使得电机及其系统的可靠性高。

[0061] 第一悬浮绕组5的出线端和第二悬浮绕组6的出线端分别与外部的第一悬浮控制电路和第二悬浮控制电路连接。

[0062] 本实施例中,所述第一悬浮控制电路和所述第二悬浮控制电路为全桥逆变电路。具体举例来说:如图2所示的,第一悬浮控制电路:MOSFET开关管Q₁和MOSFET开关管Q₂串联,MOSFET开关管Q₃和MOSFET开关管Q₄串联,MOSFET开关管Q₁和MOSFET开关管Q₃的漏极与直流电压源U_{S1}的正极连接,MOSFET开关管Q₂和MOSFET开关管Q₄的源极与直流电压源U_{S1}的负极连接,第一悬浮绕组WS1的两端分别与MOSFET开关管Q₁的源极、MOSFET开关管Q₃的源极连接。

[0063] 第二悬浮控制电路:MOSFET开关管Q₅和MOSFET开关管Q₆串联,MOSFET开关管Q₇和MOSFET开关管Q₈串联,MOSFET开关管Q₅和MOSFET开关管Q₇的漏极与直流电压源U_{S2}的正极连接,MOSFET开关管Q₆和MOSFET开关管Q₈的源极与直流电压源U_{S2}的负极连接,第二悬浮绕组WS2的两端分别与MOSFET开关管Q₅的源极、MOSFET开关管Q₇的源极连接。

[0064] 以图3所示的电机转子5度时为例,永磁磁力线7和悬浮磁力线8的分布示意图,其中第二悬浮绕组中的电流方向如图3所示。第二悬浮绕组通电后在上部气隙处产生的悬浮磁通与永磁磁通方向相同,在下部气隙处产生的悬浮磁通与永磁磁通方向相反,造成气隙磁场在y轴方向不相等。根据该时刻的气隙磁场分布情况可知,转子上侧的气隙磁场比下侧的气隙磁场强,因此转子将受到y轴方向的悬浮力。当第二悬浮电流增加时,转子在y轴方向

受到的悬浮力增加,当第二悬浮电流反向,转子在y轴方向受到的悬浮力反向。同理,通过控制第一悬浮电流大小和方向,可以控制转子在x轴方向的悬浮力的大小和方向。可见,通过控制悬浮绕组中电流的大小和方向可以控制所产生的悬浮力的大小与方向,从而使转子稳定悬浮。

[0065] 可选的,本实施例中的转子铁心2可以位于定子铁心1的内部。或者位于定子铁心1外部。

[0066] 本实施例中,定/转子的铁心均为凸极结构,每个定子极1-1面向气隙(11)表面中间部位按照逆时针方向至定子极1-1边缘部位开槽,槽内贴有一个永磁体3,每个永磁体3面向气隙(11)表面极性相同。每个定子极1-1绕有电枢线圈,电枢线圈依次串联构成电枢绕组4,电枢绕组4分别与外部主电路连接。采用定子铁心1交替极永磁励磁,能够减少永磁体3用量,降低损耗发热并提高运行效率。

[0067] 由此可知本实施例的有益效果:由于交替极永磁偏置无轴承双凸极电机采用永磁励磁,同时作为偏置磁场,不再依靠电励磁绕组励磁,提高了效率,降低了损耗与发热。

[0068] 由于定子极1-1面向气隙(11)表面采用交替极永磁结构,减少了永磁体3用量,定子极1-1面向气隙(11)表面未安装永磁体3的表面磁阻小,作为悬浮磁通路径,使得悬浮调节效率高,且悬浮磁通不会穿过永磁体3,避免了永磁体3退磁风险。

[0069] 又由于悬浮控制环节不需要进行转子位置角的检测,使得悬浮系统更加简单可靠。

[0070] 基于上述交替极永磁偏置无轴承双凸极电机,本发明实施例还提供一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机的控制方法,包括:

[0071] 通过安装在电机的端盖上的x轴方向的径向位移传感器,检测所述电机的转子的径向位置,得到x轴方向转子实际位移。

[0072] 通过安装在电机端盖上的y轴方向的径向位移传感器,检测所述电机的转子的径向位置,得到y轴方向转子实际位移,其中,x轴与y轴相互正交。

[0073] 通过电流检测单元,分别检测所述电机的第一悬浮绕组(5)电流反馈值和第二悬浮绕组(6)电流反馈值。

[0074] 将预设的所述电机在x轴方向参考位移与所述x轴方向转子实际位移的差值,经过x轴位移调节环节,得到第一悬浮绕组(5)的电流参考值。

[0075] 将预设的所述电机在y轴方向参考位移与所述y轴方向转子实际位移的差值,经过y轴位移调节环节,得到第二悬浮绕组(6)的电流参考值。

[0076] 将第一悬浮绕组(5)电流参考值与第一悬浮绕组(5)电流反馈值的差值,经过第一悬浮电流调节环节,得到第一悬浮控制电路的占空比信号。

[0077] 将第二悬浮绕组(6)电流参考值与第二悬浮绕组(6)电流反馈值的差值,经过第二悬浮电流调节环节,得到第二悬浮控制电路的占空比信号。

[0078] 通过调节所述第一悬浮控制电路和所述第二悬浮控制电路的开关管占空比,调节第一悬浮绕组(5)电流和第二悬浮绕组(6)电流。从而实现第一悬浮绕组5电流跟踪其参考值,实现第二悬浮绕组6电流跟踪其参考值,达到控制径向悬浮力的目的。

[0079] 其中,所述x轴位移调节环节为比例-积分-微分PID控制为比例-积分-微分(PID)控制。所述y轴位移调节环节为比例-积分-微分PID控制为比例-积分-微分(PID)控制。所述

第一悬浮电流调节环节为比例-积分PI控制。所述第二悬浮电流调节环节为比例-积分PI控制。

[0080] 本实施例中,所述控制方法的转矩控制环节,包括:采用正弦波电流控制,或者采用方波电流控制。

[0081] 举例来说:如图4给出的本实施例的电机悬浮控制原理框图。通过x轴方向的径向位移传感器检测所述交替极永磁偏置无轴承双凸极电机转子径向位置得到x轴方向转子实际位移 Δx ,通过y轴方向的径向位移传感器检测所述交替极永磁偏置无轴承双凸极电机转子径向位置得到y轴方向转子实际位移 Δy ,其中x轴与y轴相互正交,通过电流检测单元分别检测得到所述交替极永磁偏置无轴承双凸极电机第一悬浮绕组电流反馈值 i_x 和第二悬浮绕组电流反馈值 i_y 。将给定的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机x轴方向参考位移 x^* 与检测得到的x轴方向转子实际位移 Δx 之差经过x轴位移PID调节环节得到交替极永磁偏置无轴承双凸极电机第一悬浮绕组电流参考值 i_x^* ,将给定的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机y轴方向参考位移 y^* 与检测得到的y轴方向转子实际位移 Δy 之差经过y轴位移PID调节环节得到交替极永磁偏置无轴承双凸极电机第二悬浮绕组电流参考值 i_y^* ,将交替极永磁偏置无轴承双凸极电机第一悬浮绕组电流参考值 i_x^* 与第一悬浮绕组电流反馈值 i_x 之差经过第一悬浮电流PI调节环节得到第一悬浮控制电路占空比信号 D_1 ,将交替极永磁偏置无轴承双凸极电机第二悬浮绕组电流参考值 i_y^* 与第二悬浮绕组电流反馈值 i_y 之差经过第二悬浮电流PI调节环节得到第二悬浮控制电路占空比信号 D_2 ,通过调节第一悬浮控制电路和第二悬浮控制电路的开关管占空比,调节第一悬浮绕组电流和第二悬浮绕组电流,实现第一悬浮绕组电流跟踪其参考值,实现第二悬浮绕组电流跟踪其参考值,达到控制径向悬浮力的目的。转矩控制采用正弦波电流控制或方波电流控制。

[0082] 本说明书中的各个实施例均采用递进的方式描述,各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其,对于设备实施例而言,由于其基本相似于方法实施例,所以描述得比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

权 利 要 求 书

1. 一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机, 其特征在于, 包括:

定子铁心(1)、转子铁心(2)、永磁体(3)、电枢绕组(4)和悬浮绕组, 所述悬浮绕组包括: 第一悬浮绕组(5)和第二悬浮绕组(6);

转子铁心(2)由转子极(2-1)构成, 转子铁心(2)为凸极结构;

所述电机的定子, 由定子铁心(1)和永磁体(3)构成, 定子铁心(1)由定子极(1-1)构成, 定子铁心(1)为凸极结构;

对于每一个定子极(1-1):

面向气隙表面的中间部位, 按照逆时针方向至面向所述气隙表面的边缘部位开槽;

每一个定子极(1-1)的开槽内贴有一个永磁体(3), 每个永磁体(3)面向所述气隙表面的极性相同;

每一个定子极(1-1)上绕有电枢线圈, 电枢线圈依次串联构成电枢绕组(4), 电枢绕组(4)与外部主电路连接;

每三个依次排列的定子极为一组并绕有一套悬浮线圈, 且每套悬浮线圈都采用相同的绕向与绕制方式。

2. 根据权利要求1所述的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机, 其特征在于, 每套悬浮线圈共有两个连接端, 分别为第一连接端和第二连接端;

空间径向相对的两套悬浮线圈为同一组, 共两组, 分别为第一悬浮绕组(5)和第二悬浮绕组(6), 其中第一悬浮绕组(5)内的第一套悬浮线圈的第一连接端作为第一悬浮绕组(5)的第一出线端(SX+), 所述第一悬浮绕组(5)内的第一套悬浮线圈第二连接端与第一悬浮绕组(5)内的第二套悬浮线圈的第二连接端相连; 所述第一悬浮绕组(5)内的第二套悬浮线圈的第一连接端作为第一悬浮绕组(5)的第二出线端(SX-);

按照与第一悬浮绕组(5)同样的构成方式, 构成第二悬浮绕组(6)和第二悬浮绕组(6)的第一出线端(SY+)和第二出线端(SY-);

第一悬浮绕组(5)的出线端和第二悬浮绕组(6)的出线端分别与外部的第一悬浮控制电路(9)和第二悬浮控制电路(10)连接。

3. 根据权利要求1所述的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机, 其特征在于, 定子极(1-1)的数目为 $12n$, 转子极(2-1)数目为 $16n$, n 为正整数。

4. 根据权利要求1所述的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机, 其特征在于, 转子铁心(2)位于定子铁心(1)的内部。

5. 根据权利要求1所述的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机, 其特征在于, 转子铁心(2)位于定子铁心(1)的外部。

6. 根据权利要求1所述的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机, 其特征在于, 所述第一悬浮控制电路和所述第二悬浮控制电路为全桥逆变电路。

7. 根据权利要求1所述的交替极永磁偏置无轴承双凸极电机, 其特征在于, 所述外部主电路为全桥逆变电路。

8. 一种交替极永磁偏置无轴承双凸极电机的控制方法, 其特征在于, 包括悬浮控制环节和转矩控制环节;

所述控制方法的悬浮控制环节包括:

通过安装在电机端盖上的x轴方向的径向位移传感器, 检测所述电机的转子的径向位

置,得到x轴方向转子实际位移;

通过安装在电机端盖上的y轴方向的径向位移传感器,检测所述电机的转子的径向位置,得到y轴方向转子实际位移,其中,x轴与y轴相互正交;

通过电流检测单元,分别检测所述电机的第一悬浮绕组(5)电流反馈值和第二悬浮绕组(6)电流反馈值;

将预设的所述电机在x轴方向参考位移与所述x轴方向转子实际位移的差值,经过x轴位移调节环节,得到第一悬浮绕组(5)的电流参考值;

将预设的所述电机在y轴方向参考位移与所述y轴方向转子实际位移的差值,经过y轴位移调节环节,得到第二悬浮绕组(6)的电流参考值;

将第一悬浮绕组(5)电流参考值与第一悬浮绕组(5)电流反馈值的差值,经过第一悬浮电流调节环节,得到第一悬浮控制电路的占空比信号;

将第二悬浮绕组(6)电流参考值与第二悬浮绕组(6)电流反馈值的差值,经过第二悬浮电流调节环节,得到第二悬浮控制电路的占空比信号;

通过调节所述第一悬浮控制电路和所述第二悬浮控制电路的开关管占空比,调节第一悬浮绕组(5)电流和第二悬浮绕组(6)电流。

9. 根据权利要求8所述的控制方法,其特征在于:

所述x轴位移调节环节为比例-积分-微分(PID)控制;

所述y轴位移调节环节为比例-积分-微分(PID)控制;

所述第一悬浮电流调节环节为比例-积分(PI)控制;

所述第二悬浮电流调节环节为比例-积分(PI)控制。

10. 根据权利要求8所述的控制方法,其特征在于:所述控制方法的转矩控制环节,包括:

采用正弦波电流控制,或者采用方波电流控制。

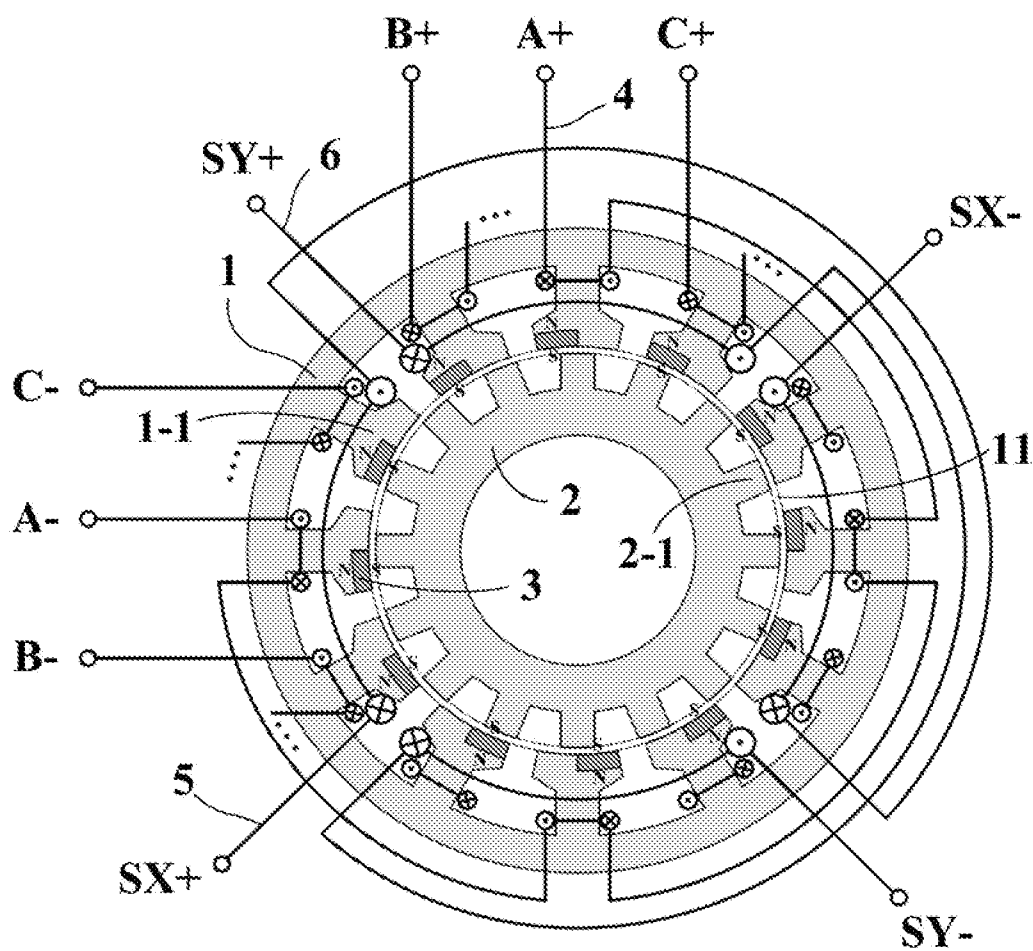


图1

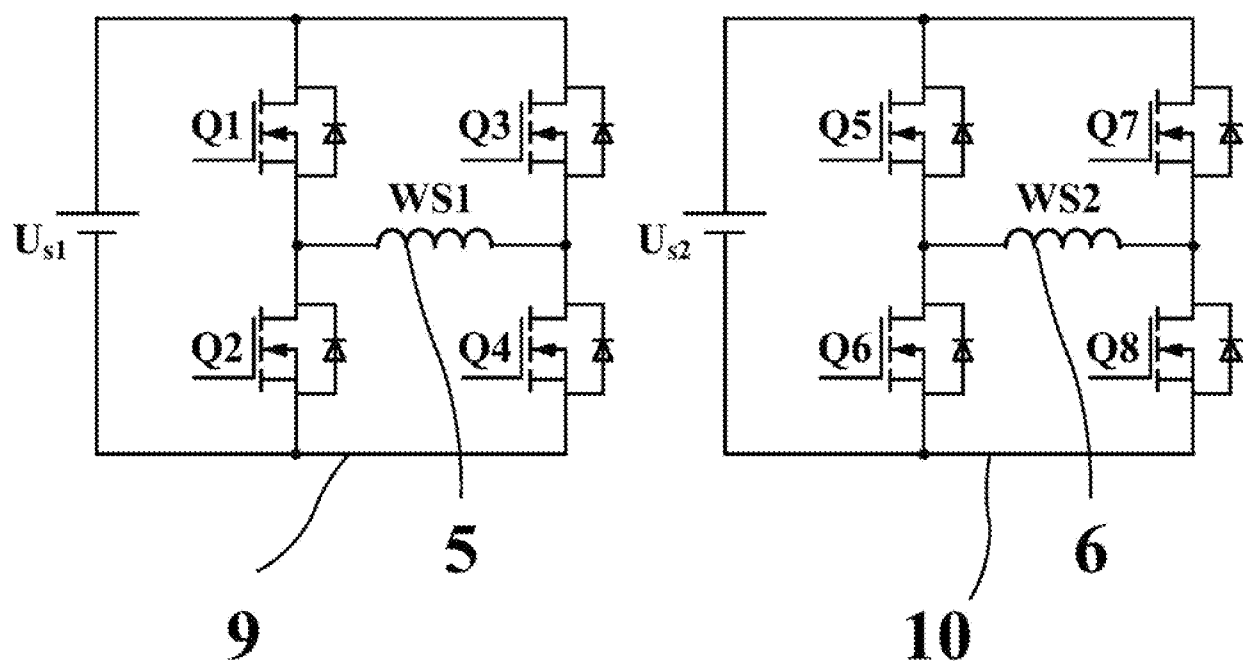


图2

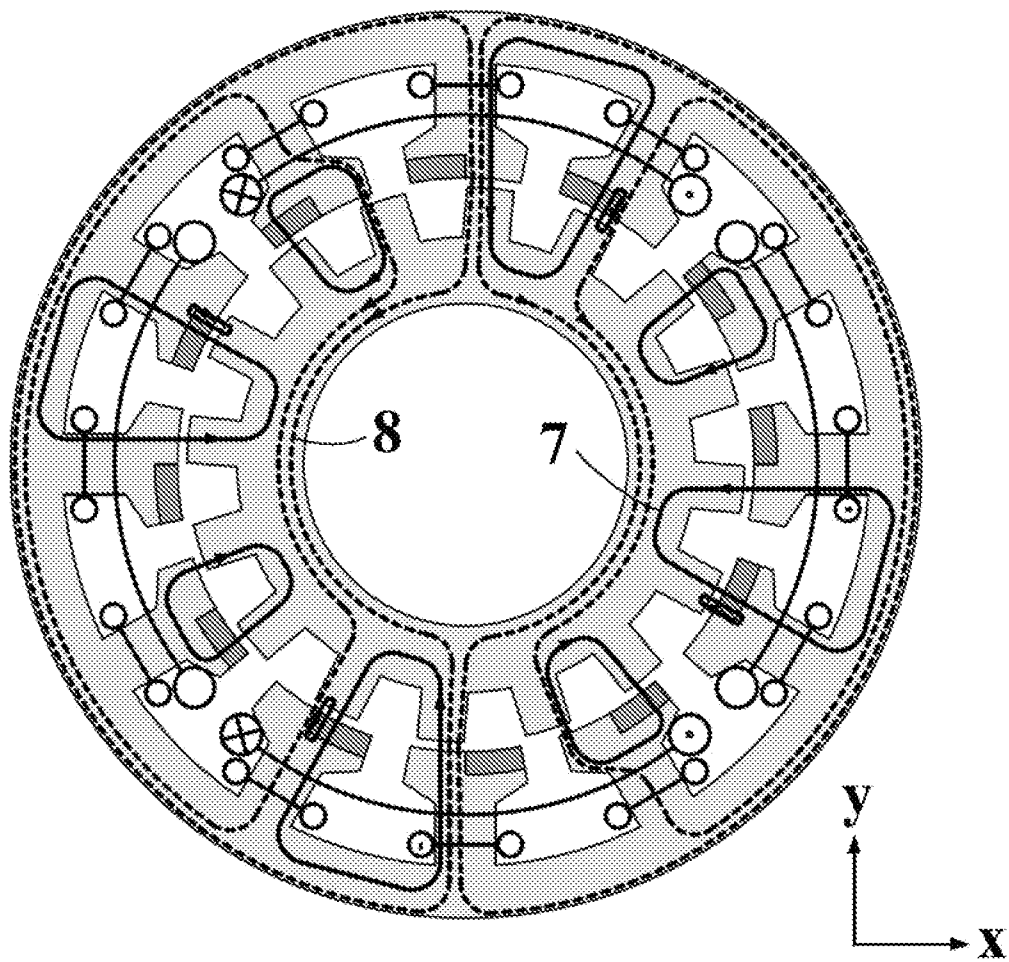


图3

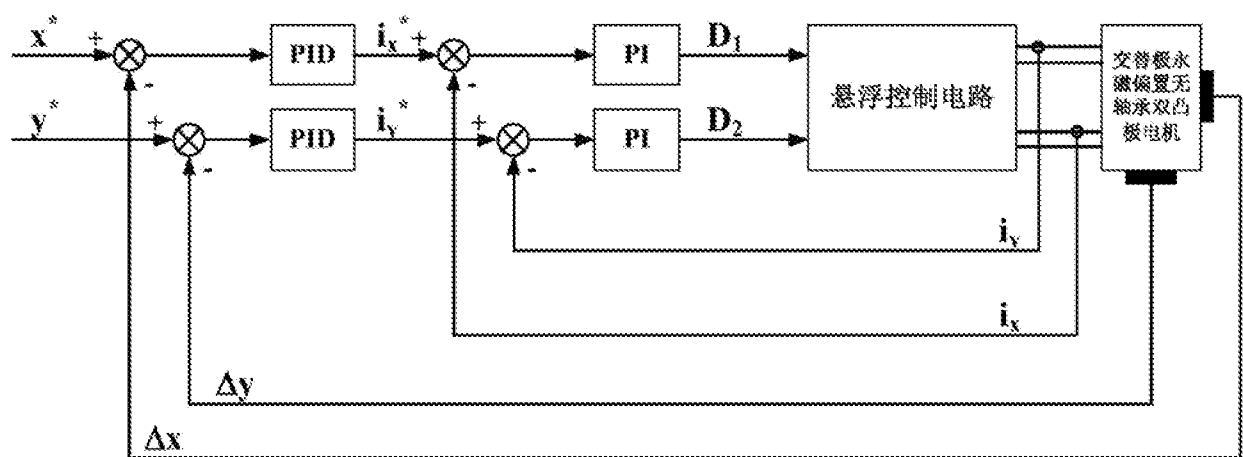


图4

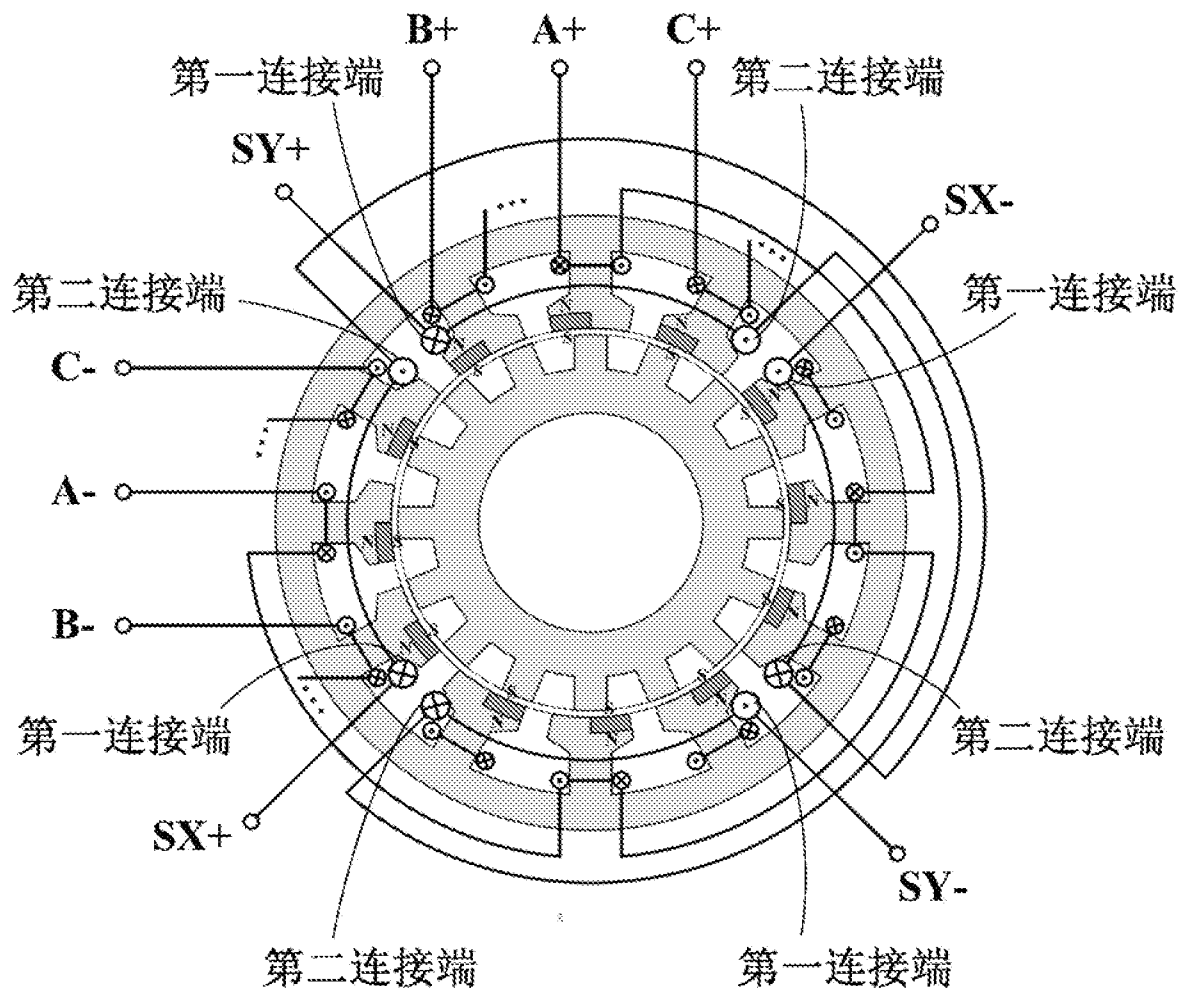


图5

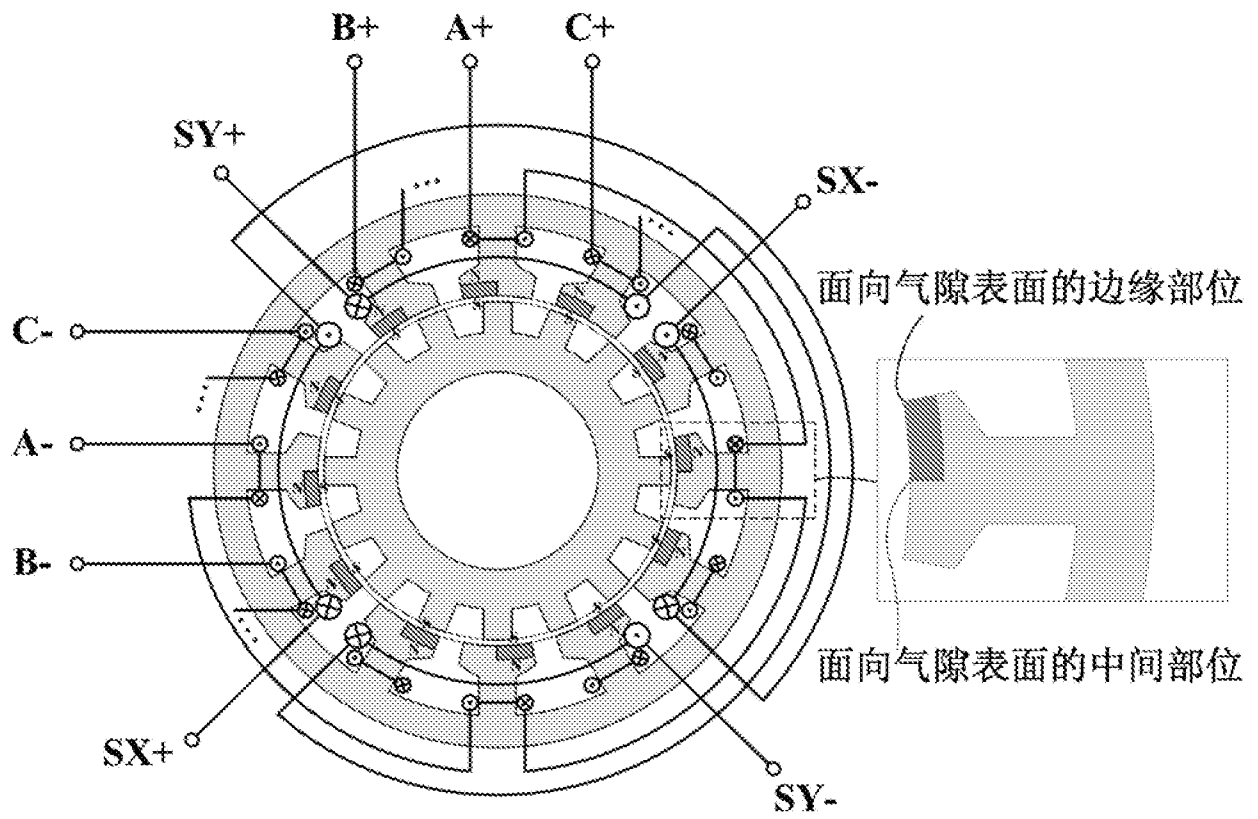


图6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/115899

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 1/14(2006.01)i; H02K 1/17(2006.01)i; H02K 1/24(2006.01)i; H02K 3/18(2006.01)i; H02K 3/20(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 南京航空航天大学, 于立, 磁悬浮, 无轴承, 凸极, 永磁偏置, permanent magnet, biased, salient pole, magntic suspension, levitation, bearing

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109672276 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 23 April 2019 (2019-04-23) claims 1-10	1-10
Y	CN 104967361 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 07 October 2015 (2015-10-07) description, paragraphs [0006]-[0033], and figures 1-5	1-10
Y	CN 102306995 A (BEIHANG UNIVERSITY) 04 January 2012 (2012-01-04) description, paragraphs [0006]-[0016], and figures 1 and 2	1-10
A	CN 106385151 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 08 February 2017 (2017-02-08) entire document	1-10
A	CN 107231064 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 03 October 2017 (2017-10-03) entire document	1-10
A	US 2017126082 A1 (DENSO CORPORATION) 04 May 2017 (2017-05-04) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 January 2020

Date of mailing of the international search report

06 February 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/115899

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106374648 A (NANJING UNIVERSITY OF INFORMATION SCIENCE & TECHNOLOGY) 01 February 2017 (2017-02-01) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/115899

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109672276	A	23 April 2019	None			
CN	104967361	A	07 October 2015	CN	104967361	B	05 January 2018
CN	102306995	A	04 January 2012	CN	102306995	B	28 August 2013
CN	106385151	A	08 February 2017	None			
CN	107231064	A	03 October 2017	CN	107231064	B	19 April 2019
US	2017126082	A1	04 May 2017	JP	2017093030	A	25 May 2017
				JP	6455725	B2	23 January 2019
CN	106374648	A	01 February 2017	CN	106374648	B	23 April 2019

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/115899

A. 主题的分类 H02K 1/14(2006.01)i; H02K 1/17(2006.01)i; H02K 1/24(2006.01)i; H02K 3/18(2006.01)i; H02K 3/20(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) H02K 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 南京航空航天大学, 于立, 磁悬浮, 无轴承, 凸极, 永磁偏置, permanent magnet, biased, salient pole, magntic suspension, levitation, bearing																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109672276 A (南京航空航天大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104967361 A (南京航空航天大学) 2015年 10月 7日 (2015 - 10 - 07) 说明书第[0006]-[0033]段, 附图1-5</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 102306995 A (北京航空航天大学) 2012年 1月 4日 (2012 - 01 - 04) 说明书第[0006]-[0016]段, 附图1-2</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106385151 A (南京航空航天大学) 2017年 2月 8日 (2017 - 02 - 08) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107231064 A (南京航空航天大学) 2017年 10月 3日 (2017 - 10 - 03) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2017126082 A1 (DENS0 CORP.) 2017年 5月 4日 (2017 - 05 - 04) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106374648 A (南京信息工程大学) 2017年 2月 1日 (2017 - 02 - 01) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109672276 A (南京航空航天大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23) 权利要求1-10	1-10	Y	CN 104967361 A (南京航空航天大学) 2015年 10月 7日 (2015 - 10 - 07) 说明书第[0006]-[0033]段, 附图1-5	1-10	Y	CN 102306995 A (北京航空航天大学) 2012年 1月 4日 (2012 - 01 - 04) 说明书第[0006]-[0016]段, 附图1-2	1-10	A	CN 106385151 A (南京航空航天大学) 2017年 2月 8日 (2017 - 02 - 08) 全文	1-10	A	CN 107231064 A (南京航空航天大学) 2017年 10月 3日 (2017 - 10 - 03) 全文	1-10	A	US 2017126082 A1 (DENS0 CORP.) 2017年 5月 4日 (2017 - 05 - 04) 全文	1-10	A	CN 106374648 A (南京信息工程大学) 2017年 2月 1日 (2017 - 02 - 01) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
PX	CN 109672276 A (南京航空航天大学) 2019年 4月 23日 (2019 - 04 - 23) 权利要求1-10	1-10																								
Y	CN 104967361 A (南京航空航天大学) 2015年 10月 7日 (2015 - 10 - 07) 说明书第[0006]-[0033]段, 附图1-5	1-10																								
Y	CN 102306995 A (北京航空航天大学) 2012年 1月 4日 (2012 - 01 - 04) 说明书第[0006]-[0016]段, 附图1-2	1-10																								
A	CN 106385151 A (南京航空航天大学) 2017年 2月 8日 (2017 - 02 - 08) 全文	1-10																								
A	CN 107231064 A (南京航空航天大学) 2017年 10月 3日 (2017 - 10 - 03) 全文	1-10																								
A	US 2017126082 A1 (DENS0 CORP.) 2017年 5月 4日 (2017 - 05 - 04) 全文	1-10																								
A	CN 106374648 A (南京信息工程大学) 2017年 2月 1日 (2017 - 02 - 01) 全文	1-10																								
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																										
国际检索实际完成的日期 2020年 1月 17日		国际检索报告邮寄日期 2020年 2月 6日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 武瑛 电话号码 86-(10)-53961484																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/115899

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109672276	A	2019年 4月 23日	无	
CN	104967361	A	2015年 10月 7日	CN 104967361	B 2018年 1月 5日
CN	102306995	A	2012年 1月 4日	CN 102306995	B 2013年 8月 28日
CN	106385151	A	2017年 2月 8日	无	
CN	107231064	A	2017年 10月 3日	CN 107231064	B 2019年 4月 19日
US	2017126082	A1	2017年 5月 4日	JP 2017093030	A 2017年 5月 25日
				JP 6455725	B2 2019年 1月 23日
CN	106374648	A	2017年 2月 1日	CN 106374648	B 2019年 4月 23日