(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 101207310 B
(45)授权公告日 2010.08.18

(21)申请号 200710191528.1

(22)申请日 2007.12.12

(73)专利权人 南京航空航天大学
地址 210016 江苏省南京市御道街 29 号

(72)发明人 仇志坚 邓智泉 王晓琳

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所（普通合伙） 32204
代理人 柏尚春

(51)Int.Cl.
H02K 7/00(2006.01)
H02N 15/00(2006.01)

(56)对比文件
JP 平 9-247898 A,1997.09.19, 全文.
US 6635976 B2,2003.10.21, 全文.
CN 1737388 A,2006.02.22, 全文.
CN 1852005 A,2006.10.25, 全文.
CN 1697288 A,2005.11.16, 全文.

审查员 赵尤斌

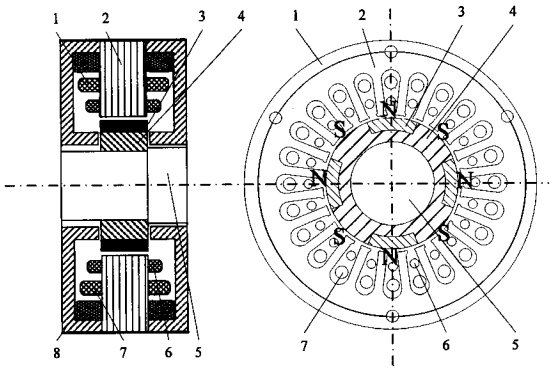
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 2 页

(54)发明名称

轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机

(57)摘要

一种轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机，属于无轴承的磁悬浮电机。该电机包括两块分别嵌有串联相接的轴向悬浮控制绕组(8)的轴向定子铁心(1)、一个嵌有一套四对极转矩控制绕组(7)和一套一对极径向悬浮控制绕组(6)的径向定子铁心(2)、一个嵌有四块同极磁化永磁体(3)的转子铁心(4)和一个套装该转子铁心(4)的转子转轴(5)。这种电机结构简单紧凑，无需附加额外的轴向磁轴承，将电机旋转与转子轴向、径向同时悬浮功能集成于一体，具有高度集成性，扩充了无轴承电机悬浮的自由度，简化了系统结构，减小了系统体积、重量与成本，在各种高速磁悬浮电机系统中都具有广阔的应用前景和重要意义。



CN 101207310 B

1. 一种轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机，包括径向定子铁心 (2)、转子永磁体 (3)、转子铁心 (4)、转子转轴 (5)，其特征在于还包括两块轴向定子铁心 (1) 分别安装于径向定子铁心 (2) 的左右两端，在两块轴向定子铁心 (1) 上分别嵌绕了一套轴向悬浮控制绕组 (8)，两套轴向悬浮控制绕组 (8) 串联相接，所述的径向定子铁心 (2) 上分别嵌绕一套用于控制电机转矩输出的三相四对极转矩控制绕组 (7) 和一套用于控制转子铁心 (4) 所受径向悬浮力的三相一对极径向悬浮控制绕组 (6)，所述的转子永磁体 (3) 以径向方向安装在转子铁心 (4) 外圆周上，转子永磁体 (3) 沿径向方向均为同极性排列，转子永磁体 (3) 之间的转子铁心 (4) 被交替磁化成相同的另一极性，装有转子转轴 (5) 的转子铁心 (4) 置放于径向定子铁心 (2) 的正中间位置。

轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机

一、技术领域

[0001] 本发明是轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机，适用于高速和超高速主轴电机、航空航天、生命科学、化工、半导体工业等众多特殊电力传动领域，特别是需要无机械接触、无摩擦与磨损、无需润滑与密封的真空技术、超洁净领域等场合，属于采用无轴承技术的磁悬浮电机。

二、背景技术

[0002] 传统三自由度的磁悬浮系统通常有四种结构：

[0003] 1. 采用 1 个轴向磁轴承和 1 个两自由度径向磁轴承构成；

[0004] 2. 采用 1 个轴向磁轴承和 1 个两自由度无轴承电机构成；

[0005] 3. 采用 1 个两自由度无轴承薄片电机构成；

[0006] 4. 采用 1 个集成的三自由度永磁偏置轴向径向混合磁轴承构成。

[0007] 其中第一种和第二种结构由于电机机械结构复杂，轴向悬浮需要占有一定的轴向空间，转子轴向长度较长，不利于提高电机的临界转速；第三种结构的轴向悬浮依靠被动悬浮，不能主动进行控制，在高速及负载条件下容易失稳；第四种结构虽然将轴向径向的悬浮集成为一体，缩短了转子的轴向长度，但单独使用仍然只具备悬浮支撑功能而不能实现转矩输出。

[0008] 采用无轴承技术的两自由度交替极永磁电机从电机本体的角度解决了传统无轴承永磁同步电机存在的控磁能力差，可控悬浮力小，永磁体易退磁及悬浮力与转矩控制相互耦合等问题，促进了两自由度的永磁型无轴承电机的应用和发展。为了进一步简化电机系统的机械结构，降低整个系统体积与成本，从电机本体的角度实现电机三自由度的高速旋转与悬浮控制，需要结构更加紧凑、多自由度悬浮功能与电机旋转功能更为集中的新型电机。

[0009] 目前国内外尚未有“三自由度无轴承电机”的概念，也没有相关的专利和文献出现。

三、发明内容

[0010] 本发明的目的在于改变传统无轴承电机只能控制径向两个自由度的旧结构，设计一种结构简单紧凑，功能更趋完善，功率密度大，承载力大，体积小，重量轻，可靠性高的三自由度主动悬浮的无轴承电机。

[0011] 实现上述目的的轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机包括径向定子铁心、转子永磁体、转子铁心、转子转轴，其特征在于还包括两块轴向定子铁心分别安装于径向定子铁心的左右两端，在两块轴向定子铁心上分别嵌绕了一套轴向悬浮控制绕组，两套轴向悬浮控制绕组串联相接。所述的径向定子铁心 (2) 上分别嵌绕一套用于控制电机转矩输出的三相四对极转矩控制绕组和一套用于控制转子铁心所受径向悬浮力的三相一对极径向悬浮控制绕组，所述的转子永磁体以径向方向安装在转子铁心外圆周上，转子永

磁体沿径向方向均为同极性排列，转子永磁体之间的转子铁心被交替磁化成相同的另一极性，装有转子转轴的转子铁心置放于径向定子铁心的正中间位置。

[0012] 本发明的工作原理是：对于径向方向的两自由度悬浮，通过径向位移传感器检测出转子径向位移偏移量，经位置负反馈，在无轴承交替极永磁电机悬浮控制绕组中通入对应的悬浮控制电流，改变电机旋转磁场的对称分布，从而在转子上产生大小和方向可控的径向悬浮力，实现电机径向的两自由度悬浮。对于轴向方向的悬浮，当转子位于轴向中间平衡位置时，由于转子结构的对称性，转子永磁体产生的同极性磁场在转子轴向的气隙左右两侧处是相等的，此时所产生的磁拉力互相平衡。若转子此时受到一个轴向向右的外扰力，转子就会偏离平衡位置向右运动，造成转子永磁体在轴向左右气隙处产生的磁场发生变化，即左面气隙增大，磁场减小；右面气隙减小，磁场增大，使得左右两侧的磁拉力不再平衡。此时轴向位移传感器检测出转子轴向偏离的位移量，在轴向控制绕组中通入电流产生轴向控制磁场，这个磁场与轴向气隙中转子永磁体磁场叠加，使转子左侧气隙中的磁场增加，右侧气隙中的磁场减小，产生一个向左的磁拉力将转子拉回平衡位置。

[0013] 本发明的轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机具有以下特点：

[0014] 1. 径向悬浮采用的交替极无轴承永磁电机控磁容易，无普通无轴承永磁电机转矩与悬浮力折中的矛盾，悬浮电流小，承载能力和刚度成倍上升；

[0015] 2. 轴向悬浮采用永磁偏置，减少了功率放大器的体积和功耗，降低了制造成本；

[0016] 3. 以电机转子本体作为轴向与径向悬浮磁链的闭合通路，以电机转子自身的永磁体磁场作为径向、轴向悬浮共同的偏置磁场，省去原永磁偏置轴向磁轴承中必需的磁轴承转子和偏置永磁体环，简化了系统结构，降低了永磁体消耗，缩小了系统体积和重量；

[0017] 4. 电机结构简单紧凑，具有高度集成性，进一步缩短了轴向占用空间，提高了轴向空间利用率，临界转速高，易于实现大功率超高速运转；

[0018] 5. 具备固有的径向悬浮与轴向悬浮解耦、悬浮控制与转矩控制解耦特性，悬浮控制模型简单，大大降低了控制系统设计难度；

[0019] 6. 将轴向悬浮功能集成于无轴承电机本身，便于模块化和机械加工。

[0020] 总之，本发明的轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机将无轴承技术和轴向磁轴承技术各自的优点有机的结合起来，巧妙的利用无轴承交替极永磁电机转子永磁体产生的磁场作为电机轴向、径向悬浮共同的偏置磁场，分别通过径向定子、转子铁心和轴向定子来形成闭合磁路，在不改变原有两自由度无轴承交替极永磁电机结构的基础上，将轴向悬浮的功能集成到电机本体上，无需另外附加轴向磁轴承，从而实现电机旋转与转子轴向、径向同时悬浮功能于一体，突破了传统无轴承电机只能实现径向两自由度悬浮的旧有理论框架，扩充了无轴承电机悬浮的自由度，发展了无轴承电机研究领域的新方向，在各种磁悬浮电机系统中都具有广阔的应用前景和重要意义。

四、附图说明

[0021] 图 1 是轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机二维结构示意图。图中左图是轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机的剖面图，右图是左图的右视图。

[0022] 图 2 是轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机三维结构示意图。图中左图是定转子结构示意图，右图是绕组结构示意图。

[0023] 图 3 是轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机原理图。图中左图是轴向悬浮原理示意图，右图是径向悬浮原理示意图。

[0024] 标号名称：1：轴向定子铁心；2：径向定子铁心；3：转子永磁体；4：转子铁心；5：转子转轴；6：径向悬浮控制绕组；7：转矩控制绕组；8：轴向悬浮控制绕组。A、C 是轴向气隙，B、D、E 是径向气隙，单箭头表示永磁偏置磁通，双实心箭头表示轴向控制绕组产生的磁通，双空心箭头表示径向控制绕组产生的磁通。

五、具体实施方式

[0025] 图 1 和图 2 是本发明的轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机二维和三维结构示意图，其主要由轴向定子铁心 1、径向定子铁心 2、转子永磁体 3、转子铁心 4、转子转轴 5 组成。其中两块轴向定子铁心 1 由电工纯铁加工而成，分别安装于径向定子铁心 2 的左右两端，两块轴向定子铁心 1 上分别嵌绕了一套轴向悬浮控制绕组 8，两套轴向悬浮控制绕组 8 相互串联。径向定子铁心 2 和转子铁心 4 均由硅钢片叠压而成，径向定子铁心 2 上分别嵌绕一套用于控制电机转矩输出的三相四对极转矩控制绕组 7 和一套用于控制转子 4 所受径向悬浮力的三相一对极径向悬浮控制绕组 6。装在转子铁心 4 上的转子永磁体 3 沿径向方向均为同极性排列，转子永磁体 3 之间的转子铁心 4 被交替磁化成相同的另一极性，装在转子转轴 5 上的转子铁心 4 置放于径向定子铁心 2 的正中间位置。

[0026] 图 3 是轴向主动悬浮的三自由度无轴承交替极永磁电机轴向、径向悬浮的原理图。转子永磁体 3 产生的轴向偏置磁通如图所示依次经过径向气隙 B、径向定子铁心 2、轴向定子铁心 1、轴向气隙 A（或气隙 C）、转子铁心 4 构成回路，由轴向悬浮控制绕组 8 产生的控制磁通只经过轴向气隙 A（或气隙 C），不经过径向气隙 B（或气隙 D、E）。该轴向控制磁通叠加在永磁偏置磁通上，使得轴向气隙 A 和 C 的磁场一侧减弱，另一侧增强，从而产生轴向可控的悬浮力保持转轴 5 轴向悬浮。而转子永磁体 3 产生的径向偏置磁通如图所示依次经过径向气隙 B、径向定子铁心 2、径向气隙 D（或气隙 E）、转子铁心 4 构成回路，由径向悬浮控制绕组 6 产生的控制磁通只经过轴向气隙 D（或气隙 E），不经过轴向气隙 B（或气隙 C）。由磁场叠加的原理也可产生径向可控的悬浮力实现转轴 5 的径向悬浮。

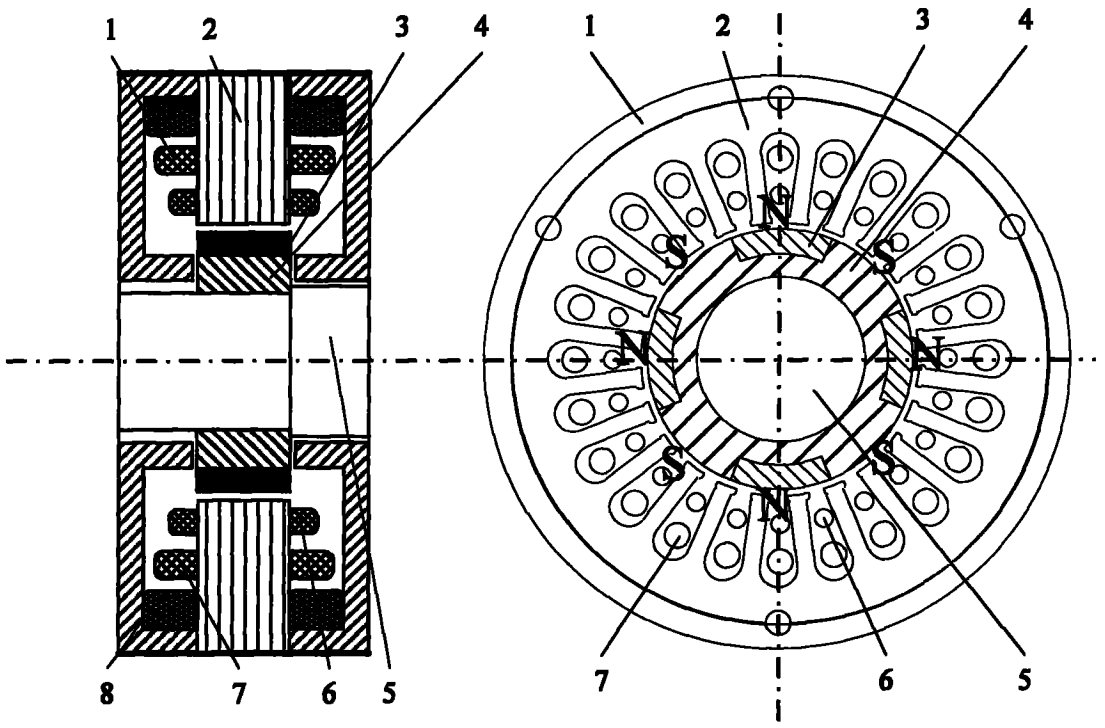


图 1

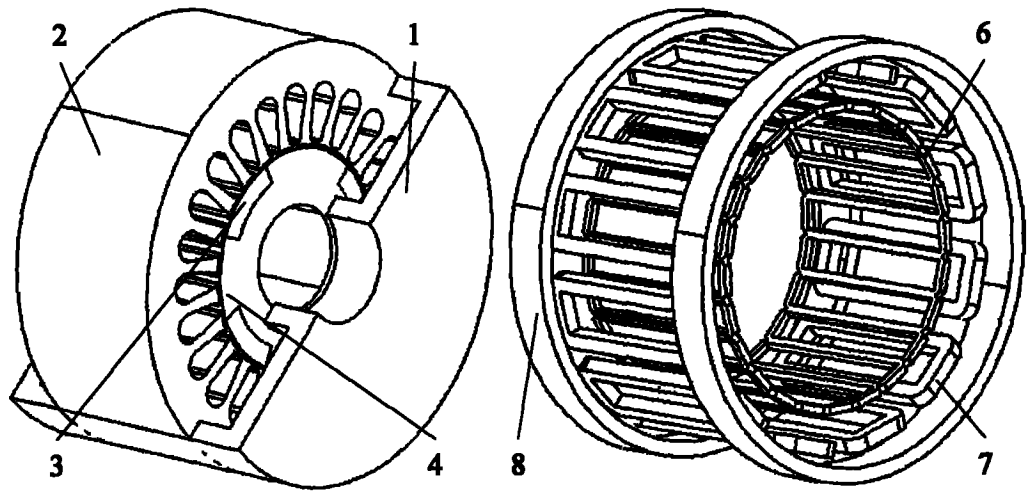


图 2

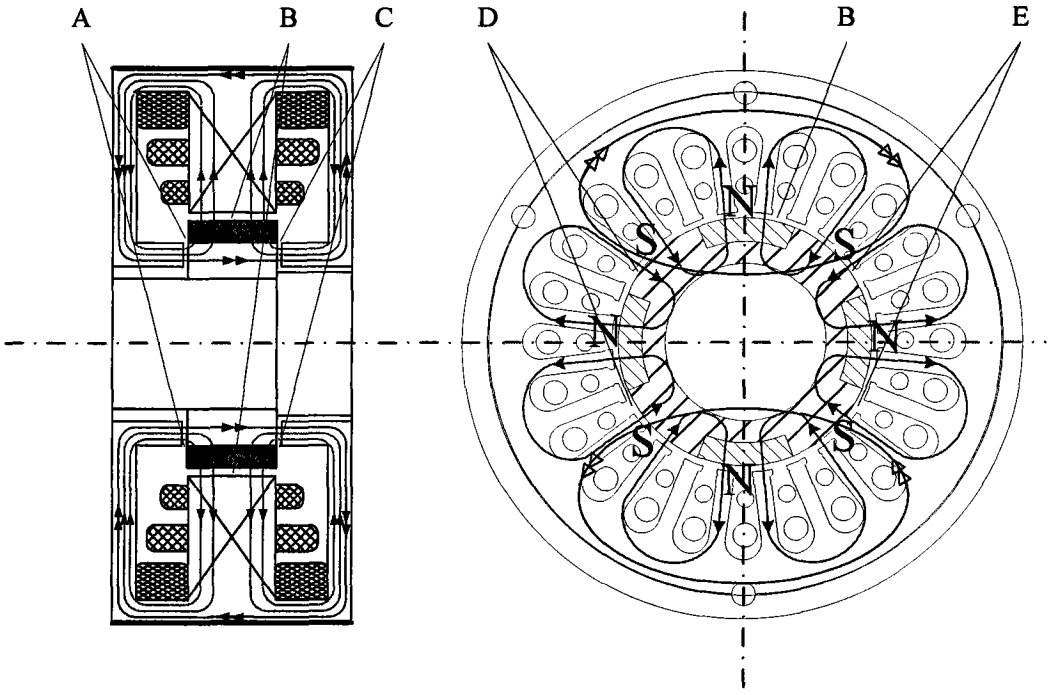


图 3