(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119278326 A
(43)申请公布日 2025.01.07

(21)申请号 202280096517.8
(22)申请日 2022.06.09
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.11.27
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2022/023312 2022.06.09
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/238335 JA 2023.12.14
(71)申请人 三菱电机株式会社
地址 日本
(72)发明人 冈崎广大 北尾纯士
(74)专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所有限公司 11038
专利代理师 韩卉
(51)Int.Cl.
F16H 49/00(2006.01)

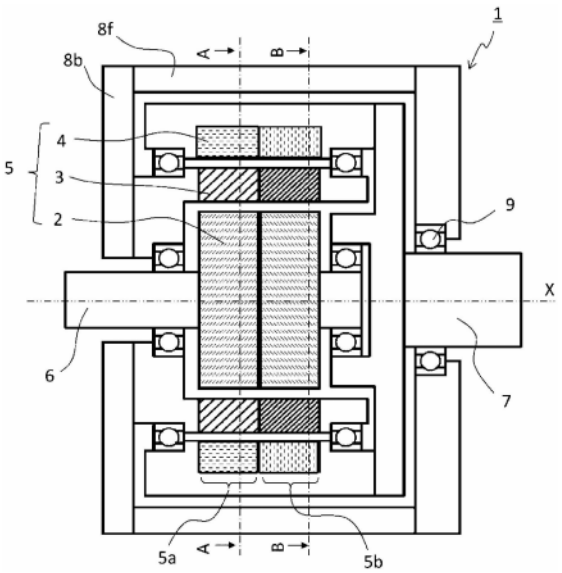
权利要求书1页 说明书12页 附图16页

(54)发明名称

磁性齿轮

(57)摘要

具备多极机构(4)、少极机构(2)以及极片(3)分别分担定子、第一转子、第二转子中的任一个的功能的磁性齿轮部(5),在沿着轴向划分的多个区段中的相邻的区段(5a、5b、5c)之间,磁极的位置关系不同,以使多极机构(4)、少极机构(2)以及极片(3)中的至少一个具有相位差(θ),且多极机构(4)与极片(3)的极数的最大公约数以及少极机构(2)与极片(3)的极数的最大公约数中的至少任一个为1或2。



CN 119278326 A

1.一种磁性齿轮,其特征在于,所述磁性齿轮具备:

磁性齿轮部,其构成为具有:由永久磁铁形成的第一极数的磁极沿着周向配置的多极机构;由永久磁铁形成的比所述第一极数少的第二极数的磁极沿着周向配置的少极机构;以及由软磁性体形成的第三极数的磁极相对于所述多极机构的磁极和所述少极机构的磁极分别经由磁隙沿着周向配置的极片,分别分担定子、第一转子、第二转子中的任一个的功能;

第一轴,其承担所述第一转子与外部的转矩传递;以及

第二轴,其承担所述第二转子与外部的转矩传递,

在所述磁性齿轮部中,在沿着轴向划分的多个区段中的相邻的区段之间,所述多极机构、所述少极机构以及所述极片之间的磁极的位置关系不同,以使所述多极机构、所述少极机构以及所述极片中的至少一个具有相位差,

且所述第一极数与所述第三极数的最大公约数以及所述第二极数与所述第三极数的最大公约数中的至少任一个为1或2。

2.根据权利要求1所述的磁性齿轮,其特征在于,

分别在所述多极机构和所述少极机构中使用的所述永久磁铁的沿轴向延伸的面与轴向平行。

3.根据权利要求1或2所述的磁性齿轮,其特征在于,

所述第一极数与所述第三极数的最大公约数以及所述第二极数与所述第三极数的最大公约数中的至少任一个为1,

且所述多个区段由如下的2种区段构成:作为所述磁极的位置关系而以第一位置关系配置磁极的第一配置模式的区段;以及以相对于所述第一配置模式的区段而使所述相位差处于以机械角度基准大于120°且小于240度的角度范围的第二位置关系配置磁极的第二配置模式的区段。

4.根据权利要求1或2所述的磁性齿轮,其特征在于,

所述第一极数与所述第三极数的最大公约数以及所述第二极数与所述第三极数的最大公约数中的至少任一个为2,

且作为所述多个区段,由如下的2种区段构成:作为所述磁极的位置关系而以第一位置关系配置磁极的第一配置模式的区段;以及以相对于所述第一配置模式的区段而使所述相位差处于以机械角度基准大于60°且小于120°或者大于240°且小于300度的角度范围的第二位置关系配置磁极的第二配置模式的区段。

5.根据权利要求1~4中任一项所述的磁性齿轮,其特征在于,

在所述多个区段中的相邻的区段之间设置有磁空隙部。

6.根据权利要求1~5中任一项所述的磁性齿轮,其特征在于,

作为所述多个区段,划分成3个以上的区段。

7.根据权利要求6所述的磁性齿轮,其特征在于,

所述3个以上的区段中的至少2个区段的所述磁极的位置关系相同。

磁性齿轮

技术领域

[0001] 本申请涉及一种磁性齿轮。

背景技术

[0002] 由永久磁铁和软磁性体构成的一般的旋转电机由于随着转速变大而感应电压变大且能够使用于转矩输出的输入电压变小的原因,会发生转矩的降低以及因铁损的增加导致的效率的降低。因此,为了得到期望的输出及效率特性,一般采用将旋转电机和齿轮组合而成的驱动单元结构,以使旋转电机的转速处于适当的范围。

[0003] 作为要使用的齿轮,广泛使用作为机械齿轮的啮合构造的机械式齿轮,但近年来,不使用机械齿轮而使用能够进行非接触式的动力传递的磁性齿轮的情况不断增加。旧方式的磁性齿轮为将机械式齿轮的齿简单地置换成永久磁铁的结构,但能够实现利用磁力的吸引力和排斥力的非接触式的增减速,因此,振动及噪音小,可期待维护性的提高。

[0004] 但是,在利用永久磁铁的转矩的传递中,有助于转矩传递的结构仅为相互相向的磁铁彼此,因此,与机械式齿轮相比转矩小。与此相对,采用被称为磁通调制型磁性齿轮的新方式的磁性齿轮,该新方式的磁性齿轮构成为增加在构造内有助于转矩的传递的磁通量而增大转矩。磁通调制型磁性齿轮由多极机构和少极机构以及被称为极片的多个由软磁性体等构成的磁极片构成,该多极机构和少极机构以极性交替成为反向的方式配置有永久磁铁并以配置面隔开间隙地相向的方式同心配置,该磁极片以等间隔配置于该间隙。

[0005] 磁通调制型磁性齿轮能够提高传递转矩,另一方面,由于在与永久磁铁极其靠近的位置周期性地配置有软磁性体,因此,由于与旋转电机同样的原理而产生因电磁激振力或齿槽转矩导致的周期振动。因此,担忧由于使旋转电机的定子及框架振动而导致的电磁噪音、由于传递到输出轴的振动而对连接对象的负荷产生的不良影响以及控制性的变差。与此相对,提出了如下的构造:设为使磁性齿轮的转子所具备的永久磁铁在轴向上连续地偏斜的结构,通过相位关系来抵消在磁性齿轮的轴向的各截面产生的齿槽转矩(例如,参照专利文献1。)。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:国际公开第2015/053005号(0020～0033段、图1～图4)

发明内容

[0009] 发明要解决的课题

[0010] 但是,使永久磁铁在轴向上连续地偏斜的构造在制造时需要用于将永久磁铁制成特殊的形状且将其与转子铁芯组合的专用的制造设备,因此,存在制造成本增加的课题。另一方面,在不采用偏斜构造而减小齿槽转矩的情况下,可考虑采用使齿槽转矩的次数变高的磁性齿轮的极数结构的方法。但是,需要在设为实用的齿轮比的同时增大磁性齿轮的极片数与多极机构的永久磁铁的个数的最小公倍数,在那样的结构下存在由于次数的降低而

使因电磁激振力导致的电磁噪音增大的课题。

[0011] 本申请是为了解决如上所述的课题而完成的,其目的在于得到在不增大制造成本的情况下同时实现齿槽转矩的减小和电磁激振力的减小的磁通调制型磁性齿轮。

[0012] 用于解决课题的方案

[0013] 本申请公开的磁性齿轮的特征在于,具备:磁性齿轮部,其构成为具有:由永久磁铁形成的第一极数的磁极沿着周向配置的多极机构;由永久磁铁形成的比所述第一极数少的第二极数的磁极沿着周向配置的少极机构;以及由软磁性体形成的第三极数的磁极相对于所述多极机构的磁极和所述少极机构的磁极分别经由磁隙沿着周向配置的极片,分别分担定子、第一转子、第二转子中的任一个的功能;第一轴,其承担所述第一转子与外部的转矩传递;以及第二轴,其承担所述第二转子与外部的转矩传递,在所述磁性齿轮部中,在沿着轴向划分的多个区段中的相邻的区段之间,所述多极机构、所述少极机构以及所述极片之间的磁极的位置关系不同,以使所述多极机构、所述少极机构以及所述极片中的至少一个具有相位差,且所述第一极数与所述第三极数的最大公约数以及所述第二极数与所述第三极数的最大公约数中的至少任一个为1或2。

[0014] 发明的效果

[0015] 根据本申请公开的磁性齿轮,能够得到在不增大制造成本的情况下同时实现齿槽转矩的减小和电磁激振力的减小的磁通调制型磁性齿轮。

附图说明

[0016] 图1是表示实施方式1的磁性齿轮的结构的沿着旋转轴的剖视图。

[0017] 图2A和图2B分别是构成实施方式1的磁性齿轮的两段结构的磁性齿轮部的第一区段和第二区段的与旋转轴垂直的剖视图。

[0018] 图3A和图3B分别是表示电磁激振力X分量和电磁激振力Y分量相对于以实施方式1的磁性齿轮的磁性齿轮部中的多极机构为基准的旋转角度的关系的图。

[0019] 图4是在实施方式1的磁性齿轮的第一区段和第二区段中的多极机构产生的电磁激振力的矢量图。

[0020] 图5A和图5B分别是实施方式1的变形例的磁性齿轮的第二区段的与旋转轴垂直的剖视图和在多极机构产生的电磁激振力的矢量图。

[0021] 图6A和图6B分别是表示实施方式1的变形例的磁性齿轮的多极机构的周向位置与电磁激振力1次分量的关系的图和表示2个区段的相位差与整个磁性齿轮部的电磁激振力1次分量的振幅的关系的图。

[0022] 图7是表示实施方式2的磁性齿轮的结构的沿着旋转轴的剖视图。

[0023] 图8是实施方式2的磁性齿轮的第二区段的与旋转轴垂直的剖视图。

[0024] 图9A和图9B分别是表示电磁激振力X分量和电磁激振力Y分量相对于以实施方式2的磁性齿轮的磁性齿轮部中的多极机构为基准的旋转角度的关系的图。

[0025] 图10是表示实施方式3的磁性齿轮的结构的沿着旋转轴的剖视图。

[0026] 图11是表示实施方式4的磁性齿轮的结构的沿着旋转轴的剖视图。

[0027] 图12是表示实施方式5的磁性齿轮的结构的沿着旋转轴的剖视图。

[0028] 图13是表示实施方式6的磁性齿轮的结构的沿着旋转轴的剖视图。

[0029] 图14A和图14B分别是构成实施方式6的磁性齿轮的两段结构的磁性齿轮部的第一区段和第二区段的与旋转轴垂直的剖视图。

[0030] 图15是表示实施方式6的磁性齿轮的多极机构与极片之间的磁隙中的周向位置与电磁激振力2次分量的关系的图。

[0031] 图16A和图16B分别是表示实施方式6的变形例的磁性齿轮的多极机构与极片之间的磁隙中的周向位置与电磁激振力2次分量的关系的图和表示2个区段的相位差与电磁激振力2次分量的振幅的关系的图。

[0032] 图17是表示实施方式7的磁性齿轮的结构的沿着旋转轴的剖视图。

[0033] 图18A和图18B分别是构成实施方式7的磁性齿轮的两段结构的磁性齿轮部的第一区段和第二区段的与旋转轴垂直的剖视图。

具体实施方式

[0034] 实施方式1

[0035] 图1～图4是用于对实施方式1的磁性齿轮的结构和动作进行说明的图,图1是表示磁性齿轮的结构的包含旋转轴的沿着旋转轴的剖视图,图2A是在轴向上规格不同的两段结构的磁性齿轮部的第一区段的与图1的A－A线对应的与旋转轴垂直的剖视图,图2B是第二区段的与图1的B－B线对应的与旋转轴垂直的剖视图。此外,在图1中,为了强调产生磁性齿轮部的齿轮作用的由磁性材料构成的部分,对于除此之外的要素,虽然是截面但省略阴影线地绘制,以后,沿着旋转轴的剖视图同样地绘制。

[0036] 而且,图3A是表示第一区段、第二区段以及整个齿轮部的电磁激振力X分量(P.U.单位)相对于以磁性齿轮部中的多极机构为基准的电角度下的旋转角度的关系的图,图3B是表示第一区段、第二区段以及整个齿轮部的电磁激振力Y分量(P.U.单位)相对于以磁性齿轮部中的多极机构为基准的电角度下的旋转角度的关系的图,图4是在第一区段和第二区段中的多极机构产生的电磁激振力的矢量图。

[0037] 包括实施方式1在内的本申请的磁性齿轮作为磁通调制型磁性齿轮而具有2个转子和1个定子,分别与多极机构、少极机构以及极片中的任一个对应。具体而言,如图1所示,对在靠近旋转轴X的一侧同心配置作为第一转子的少极机构2、在其外侧隔开间隙地同心配置作为第二转子的多极机构4、并在间隙中同心配置作为定子的极片3而构成磁性齿轮部5的例子进行说明。

[0038] 在磁性齿轮部5中,在第一区段5a与第二区段5b之间,多极机构4、少极机构2以及极片3分别在旋转轴X方向(轴向)上机械相连。另一方面,第一区段5a中的3个机构(多极机构4、少极机构2、极片3)的配置和第二区段5b中的3个机构的配置设定成使相对于3个机构中的1个机构的至少其他1个机构的相位关系在第一区段5a和第二区段5b之间不同。由此,磁性齿轮部5在第一区段5a与第二区段5b之间形成分段偏斜,但包括多极机构4、少极机构2以及极片3的周向配置的详细结构将在后文说明。

[0039] 磁性齿轮1的转子(多极机构4和少极机构2)分别由多个轴承9支承。产生齿轮作用的由磁性材料构成的部分(阴影线)由托架8b和框架8f保护,该托架8b和框架8f由铁、非磁性体等的构造构件构成。通过这些构造,由与沿着旋转轴X(轴向)的一端侧的少极转子轴6或另一端侧的多极转子轴7连接的未图示的旋转电机生成的驱动力通过磁性齿轮部5而减

速增转矩化或增速减转矩化,并从相反侧的轴传递。

[0040] ＜磁性齿轮部＞

[0041] 利用绘制了第一区段5a的与旋转轴X垂直的截面的图2A,对磁性齿轮部5的基本结构进行说明。磁性齿轮1通过将具备永久磁铁的多极机构4和极数比多极机构4少的少极机构2以及相对于多极机构4和少极机构2经由磁隙部配置的由软磁性体材料构成的极片3配置成同心圆状而构成。担任磁极的永久磁铁4m、永久磁铁2m在径向上磁化,与旋转电机同样地配置成使在周向上相互邻接的永久磁铁的极性反转(N、S、N、S、……:图中箭头)。

[0042] 少极机构2中的永久磁铁2m的个数(极数Np2)为6个,多极机构4中的永久磁铁4m的个数(极数Np4)为28个,极片3由17个磁极片(极数Np3＝17)构成。即,本实施方式1的磁性齿轮1中的磁性齿轮部5的齿轮比为(28/2)/(6/2)＝4.67,将少极转子轴6的旋转力减速到1/4.67倍且将转矩增大到4.67倍而输出到多极转子轴7。

[0043] 少极机构2中的极数Np2与极片3中的极数Np3的最大公约数以及多极机构4中的极数Np4与极片3中的极数Np3的最大公约数均为1。由此,能够增大由少极机构2中的极数Np2与极片3中的极数Np3的最小公倍数决定的、少极机构2或极片3中的齿槽转矩的次数。并且,也能够增大由多极机构4中的极数Np4与极片3中的极数Np3的最小公倍数决定的、多极机构4或极片3中的齿槽转矩的次数。

[0044] 已知齿槽转矩通常是次数越高则振幅越小,因此,通过采用这样的极数(极数Np2、极数Np3、极数Np4)结构,能够减小在磁性齿轮1中产生的齿槽转矩。结果,能够抑制磁性齿轮1的输入轴及输出轴的转矩脉动,能够提高与磁性齿轮1连接的旋转电机和负荷的控制性。

[0045] 另一方面,由于最大公约数为1,因此,空间上的对称性在机械角度下为1周期(空间次数1次),空间次数1次的电磁激振力分别产生于多极机构4、少极机构2以及极片3。空间次数1次的电磁激振力由于使轴承9或框架8f以低周期振动而成为噪音振动的增大因素,但能够通过将相位不同的多个区段(第一区段5a和第二区段5b)在轴向上连接来形成磁性齿轮部5而减小。对此的详细情况将在后文说明。

[0046] 另外,由于相位不同的区段沿着轴向相连,因此,分别在各区段(第一区段5a和第二区段5b)中使用的永久磁铁2m、永久磁铁4m的沿轴向延伸的面全部与轴向平行,形状得以简化(在本实施方式中成为瓦形)。因此,与形成连续偏斜的情况不同,容易量产且能够减小制造成本。

[0047] 下面,对第一区段5a和第二区段5b中的配置(相位)的差异进行说明。在此,作为图2A的第一区段5a中的周向上的基准位置而定义有线段La。线段La表示第一区段5a内的多极机构4、少极机构2、极片3成为图2A所示的位置关系(相位关系)的时刻的、周向的某一处任意位置的方向。在该图中,为了方便,将图的正上方向定义为线段La。

[0048] 与第一区段5a成为图2A所示的配置时相同的时刻的第二区段5b中的多极机构4、少极机构2、极片3的配置如图2B所示。第二区段5b是使第一区段5a的配置以线段La为基准反转180°至线段Lb而得到的结构。在将多极机构4、少极机构2以及极片3各自的相位与第一区段5a进行比较时,多极机构4的相位一致而为同一配置。与此相对,少极机构2和极片3是相位不同而成为不同的截面形状的结构。也就是说,多极机构4在第一区段5a与第二区段5b之间形成分段偏斜。

[0049] 相位与第一区段5a一致的机构不需要错开相位地在轴向上层叠,能够与第一区段5a共用,因此,不需要用于错开相位地进行层叠的制造设备,能够抑制制造成本的增大。该效果通常通过将极片3、少极机构2以及多极机构4中的至少1个的相位不同的区段在轴向上配置2个以上而得到。

[0050] 下面,对具备上述的两段结构的磁性齿轮部5的磁性齿轮1的动作和特性进行说明。在构成实施方式1的磁性齿轮1的磁性齿轮部5的第一区段5a和第二区段5b各自的多极机构4产生的电磁激振力的X分量和Y分量如图3A和图3B所示。可知,在以多极机构4的磁极为基准而在电角度下旋转1周期(360°)时,在X轴方向和Y轴方向上分别具有以相同的周期振动的分量。

[0051] 即,如上所述,可知在第一区段5a和第二区段5b分别产生有相对于多极机构4的周向而在机械角度下为1周期(空间次数1次)的电磁激振力。由于第一区段5a和第二区段5b为旋转了180°机械角度的关系,因此,空间次数1次的电磁激振力的相位也会旋转180°,如该图所示,在X分量和Y分量的每一个中相位反转。结果,可知将第一区段5a和第二区段5b的电磁激振力相加得到的值、也就是说整个磁性齿轮部5的电磁激振力几乎不产生。

[0052] 图3A、图3B中的旋转角度120°处的X分量和Y分量的关系若用矢量图表示,则如图4所示。在图4中,分别用实线和点线表示第一区段5a和第二区段5b的矢量的轨迹。旋转角度120°处的电磁激振力的矢量成为在第一区段5a与第二区段5b之间反转180°的关系。因此,若进行相加(磁性齿轮部5)则大致为0,可知电磁激振力被相同大小且矢量反转的电磁力抵消而不产生。

[0053] 第一区段5a和第二区段5b的电磁激振力的矢量维持180°的相位关系不变地沿着轨迹旋转,因此,可知在电角度1周期的旋转一周的期间维持电磁激振力的抑制效果。即,在机械角度1周期的旋转一周(在本实施方式中极数Np4为28,因此,与电角度14周期相应)的期间也维持电磁激振力的抑制效果。

[0054] 根据上述的极数关系,能够实现在抑制齿槽转矩的同时实现电磁激振力的抑制效果的结构,能够同时实现与磁性齿轮1连接的旋转电机和负荷的控制性提高和由磁性齿轮1的电磁激振力引起的振动及噪音的减小。

[0055] 变形例

[0056] 图5A是实施方式1的变形例的磁性齿轮的第二区段的与图2B对应的与旋转轴垂直的剖视图,图5B是在多极机构产生的电磁激振力的矢量图,图6A是表示磁性齿轮的多极机构的周向位置与电磁激振力1次分量的关系的图,图6B是表示2个区段的相位差(相位偏差)与整个磁性齿轮部的电磁激振力1次分量的振幅的关系的图。

[0057] 在本变形例中,除了第二区段内的配置不同之外,与在实施方式1中说明的配置相同,第一区段为在图2A中说明的配置。如图5A所示,变形例的磁性齿轮1的第二区段5b是从第一区段5a以线段La为基准旋转相位差θ至线段Lb而得到的结构。即θ=180°时与在实施方式1中说明的图2B所示的配置对应,在本变形例中,示出了将旋转角度一般化的结构。

[0058] 如图5B所示,电磁激振力的矢量的关系成为第一区段5a和第二区段5b具有相位差θ的关系。而且,可知由相加得到的矢量表示的整个磁性齿轮部5的电磁激振力根据第一区段5a与第二区段5b的相位差而变动。

[0059] 图6A表示由多极机构4的周向位置上的电磁力的分布来表示由矢量的相加表示的

电磁激振力1次分量的关系。可知与矢量图的记载同样,表示电磁激振力的空间次数1次分量的相加的波形(5:虚线)的振幅根据第一区段5a与第二区段5b的相位差而变动。

[0060] 使第二区段5b的相位相对于第一区段5a以机械角度基准错开相位差θ的情况下的第一区段5a和第二区段5b相加得到的波形、也就是说整个磁性齿轮部5的电磁激振力1次分量的振幅与相位差θ的关系如图6B所示。若相位差θ为大于120°且小于240°的范围,则能够使电磁激振力1次分量的振幅比由第一区段5a、第二区段5b分别单独产生的振幅小。也就是说,可得到与由单一的区段构成一个磁性齿轮部的情况相比能够得到低噪音的磁性齿轮1的效果。

[0061] 其他变形例

[0062] 在实施方式1及其变形例(上述各例)中,示出了在第一区段5a与第二区段5b之间多极机构4的相位在旋转了180°的截面中一致的例子,但并不限于此。例如,在通过旋转180°而使少极机构2或极片3的相位一致的情况下,也能够减少相对于第一区段5a部分的配置而错开相位地层叠第二区段5b部分的各机构的工序,也能够得到削减制造成本的同样的效果。

[0063] 另外,在上述各例中示出了极片3固定的例子,但也可以为极片3自由旋转而能够任意调整相位的结构。另外,也可以为多极机构4或少极机构2固定的结构。另外,在上述各例中,示出了在轴向上将2种区段(第一区段5a、第二区段5b)连接而构成的例子,但通过采用将更多种类的区段组合而通过矢量的相加来抵消电磁激振力的结构,也能够得到同样的效果。

[0064] 实施方式2

[0065] 在本实施方式2中,相对于实施方式1,变更了第二区段中的机构之间的配置。图7、图8以及图9A和图9B是用于对实施方式2的磁性齿轮的结构和动作进行说明的图,图8是表示磁性齿轮的结构的包含旋转轴的沿着旋转轴的剖视图,图8是与图7的C—C线对应的第二区段的与旋转轴垂直的剖视图。而且,图9A是表示第一区段、第二区段以及整个齿轮部的电磁激振力X分量相对于以磁性齿轮部中的多极机构为基准的电角度下的旋转角度的关系的图,图9B是表示第一区段、第二区段以及整个齿轮部的电磁激振力Y分量相对于以磁性齿轮部中的多极机构为基准的电角度下的旋转角度的关系的图。

[0066] 实施方式2的磁性齿轮1除了对在实施方式1中说明的第二区段5b内的机构的配置结构进行置换这一点之外,与实施方式1相同,引用实施方式1的图2A。第二区段5b设为在第一区段5a的时间经过中使相位超前的配置,以便成为能够通过与第一区段5a的电磁激振力1次分量的相加而抵消的相位关系。

[0067] 如图7、图8所示,第二区段5b成为相对于在图2A中说明的第一区段5a而在以多极机构4为基准的情况下的电角度下旋转30°时的配置。将经过了在以多极机构4为基准的情况下的电角度下旋转30°的时间时的、多极机构4从线段La旋转的方向设为Lb4,将少极机构2从线段La旋转的方向设为线段Lb2。于是,在以第一区段5a中的线段La为基准而在以多极机构4为基准的情况下的电角度下旋转30°的时刻,多极机构4旋转至线段Lb4的位置,少极机构2旋转至线段Lb4的位置。

[0068] 具体而言,如图8所示,以第一区段5a的线段La为基准而使多极机构4和少极机构2分别旋转到线段Lb4、线段Lb2的位置。然后,如图9A、图9B所示,成为第一区段5a、第二区段

5b的电磁激振力的X分量和Y分量分别抵消而变得比单独的区段的电磁激振力小的结构。这样,即使采用在轴向上连接具有使第一区段5a中的配置在时间经过中旋转而得到的配置的第二区段5b的结构,也能够得到与实施方式1同样的效果。

[0069] 变形例

[0070] 在实施方式2中,示出了由于极片3固定而极片3的相位在第一区段5a和第二区段5b之间一致的例子,但可知在多极机构4或少极机构2固定而除此之外的2个机构自由旋转的情况下,也能够得到同样的效果。

[0071] 另外,在图8中,将第二区段5b构成为具有相对于第一区段5a的配置而在以多极机构4为基准的情况下的电角度下旋转30°的时刻的配置,但并不限于此。可知即使将第二区段5b构成为具有能够抵消因电磁激振力导致的振动的旋转其他电角度的时刻的配置,也能够得到同样的效果。

[0072] 例如,对将此时的第二区段5b中的各机构的配置设为相对于第一区段5a而在以多极机构4为基准的情况下的电角度下旋转α°(0≤α≤360)的时刻的配置的情况进行例示。也就是说,将经过了在以多极机构4为基准的情况下的电角度下旋转α°的时间时的、多极机构4从线段La旋转的方向设为Lb4,将少极机构2从线段La旋转的方向设为线段Lb2。于是,在以第一区段5a中的线段La为基准而在以多极机构4为基准的情况下的电角度下旋转α°的时刻,能够构成为多极机构4旋转至线段Lb4的位置,少极机构2旋转至线段Lb4的位置。

[0073] 另外,在包括变形例在内的实施方式2中,示出了极片3固定的例子,但也可以为极片3自由旋转而能够任意调整相位的结构。另外,也可以为多极机构4或少极机构2固定的结构。另外,在实施方式2中,示出了在轴向上将2种区段(第一区段5a、第二区段5b)连接而构成的例子,但通过采用将更多种类的区段组合而通过矢量的相加来抵消电磁激振力的结构,也能够得到同样的效果。

[0074] 实施方式3

[0075] 在实施方式1、2中,对具有第一区段和第二区段在轴向上相连的两段结构的磁性齿轮部的例子进行了说明。在本实施方式3中,对具有三段结构的磁性齿轮部的例子进行说明。图10是用于对实施方式3的磁性齿轮的结构和动作进行说明的、包含磁性齿轮的旋转轴的沿着旋转轴的剖视图。此外,第三磁性齿轮部设为与第一区段相同的配置(相同相位),第一区段和第二区段与在实施方式1或实施方式2中说明的配置相同,省略说明,并且引用图2A～图9B。

[0076] 在实施方式3的磁性齿轮1中,如在实施方式1或实施方式2中例示的那样,第一区段5a与少极机构2、多极机构4以及极片3中的至少1个的相位不同的第二区段5b在轴向上相互邻接。而且,如图10所示,设为在第二区段5b的轴向上的第一区段5a的相反侧连接有以与第一区段5a相同的相位配置有各机构的第三区段5c的三段结构。

[0077] 在实施方式1或实施方式2中,相位不同的区段的邻接部为1处,而在本实施方式中,不同点在于相位不同的区段的邻接部为2处,除此之外的结构与实施方式1或实施方式2相同。通过将相位不同的区段(第一区段5a、第二区段5b、第三区段5c)在轴向上分散地配置,能够抑制由于因周向的相位不同的电磁激振力的组合产生的弯矩而导致的与轴向垂直的方向上的挠曲。

[0078] 对于具有相位不同的配置的区段在轴向上的区域分配,挠曲的抑制效果达到最佳

的结构根据转子与轴承9的位置关系或者与负荷及旋转电机的紧固位置而不同。在图10中，作为例子，示出了第一区段5a、第二区段5b以及第三区段5c的轴向上的层叠厚度的比率达到1:2:1的结构。从抵消电磁激振力的观点来看，优选由第一区段5a和第三区段5c形成的配置模式A的轴向的层叠厚度与由第二区段5b形成的配置模式B的轴向的层叠厚度一致。

[0079] 在本实施方式3中，示出了在轴向上将3个区段连接而构成磁性齿轮部5的例子，但在设为4个以上的情况下，也能够进一步减小与轴向垂直的方向上的挠曲，也能够得到同样的效果。另外，在实施方式3中，示出了在轴向上将2种配置模式的区段连接而构成的例子，但通过采用将更多种类的区段组合而通过矢量的相加来抵消电磁激振力的结构，也能够得到同样的效果。

[0080] 实施方式4

[0081] 在上述实施方式1和实施方式2中，对使第一区段和第二区段在轴向上紧贴地连接而构成磁性齿轮部的例子进行了说明。在本实施方式4中，对将第一区段和第二区段经由磁空隙部连接而构成磁性齿轮部的例子进行说明。图11是用于对实施方式4的磁性齿轮的结构和动作进行说明的、包含磁性齿轮的旋转轴的沿着旋转轴的剖视图。此外，第一区段和第二区段各自的机构的配置与在实施方式1或实施方式2中说明的配置相同，省略说明，并且引用图2A～图9B。

[0082] 如图11所示，实施方式4的磁性齿轮1除了在轴向上的第一区段5a与第二区段5b之间设置有经由空气或非磁性体等的磁空隙部5g这一点之外，与实施方式1或实施方式2相同。通过使磁空隙部5g存在于相位不同的第一区段5a与第二区段5b之间，能够减小无助于磁性齿轮1的转矩传递的轴向上的漏磁通。因此，能够抑制由于将相位不同的区段(第一区段5a和第二区段5b)连接来形成磁性齿轮部5而导致的传递转矩的降低。

[0083] 变形例

[0084] 在图10中，示出了为了将磁性齿轮1的体积抑制得小而在轴向上设置较小的磁空隙部5g的例子，但并不限于此。即使采用第一区段5a与第二区段5b的轴向上的距离更远并通过构造构件将它们连接来确保磁空隙部5g的结构，也能够得到同样的效果。另外，也可以采用将第一区段5a和第二区段5b设为由不同的构造构件构成的区段并通过构造构件将各个转子(在本例中为多极机构4、少极机构2)连接的结构。

[0085] 实施方式5

[0086] 本实施方式5是相对于在实施方式3中说明的将3个区段连接的磁性齿轮部而如实施方式4那样在区段之间设置有磁空隙部的结构。图12是用于对实施方式5的磁性齿轮的结构和动作进行说明的、包含磁性齿轮的旋转轴的沿着旋转轴的剖视图。此外，第一区段、第二区段以及第三区段各自的机构的配置与在实施方式3中说明的配置相同，省略说明，并且引用图2A～图9B。

[0087] 如图12所示，实施方式5的磁性齿轮1除了在轴向上的第一区段5a、第二区段5b以及第三区段5c的各个区段之间设置有经由空气或非磁性体等的磁空隙部5g这一点之外，与实施方式3相同。通过使相位不同的第一区段5a、第二区段5b以及第三区段5c在轴向上分散地配置，抑制轴向的垂直方向上的挠曲。并且，通过使磁空隙部5g存在于各个区段之间，能够减小无助于磁性齿轮1的转矩传递的轴向上的漏磁通。

[0088] 变形例

[0089] 在图12中,示出了为了将磁性齿轮1的体积抑制得小而在轴向上设置较小的磁空隙部5g的例子,但并不限于此。即使采用第一区段5a、第二区段5b以及第三区段5c的各个区段的轴向上的距离更远并通过构造构件将它们连接来确保磁空隙部5g的结构,也能够得到同样的效果。

[0090] 另外,也可以采用将第一区段5a、第二区段5b以及第三区段5c设为由不同的构造构件构成的区段并通过构造构件将各个转子(在本例中为多极机构4、少极机构2)连接的结构。另外,与实施方式3同样,示出了在轴向上将2种配置模式的区段连接而构成的例子,但通过采用将更多种类的区段组合而通过矢量的相加来抵消电磁激振力的结构,也能够得到同样的效果。

[0091] 实施方式6

[0092] 在本实施方式6的磁性齿轮中,对以与实施方式1～实施方式5不同的极性数的组合构成磁性齿轮部的例子进行说明。图13～图15是用于对实施方式6的磁性齿轮的结构和动作进行说明的图,图13是表示磁性齿轮的结构的包含旋转轴的沿着旋转轴的剖视图,图14A是与图13的D—D线对应的第一区段的与旋转轴垂直的剖视图,图14B是与图13的E—E线对应的第二区段的与旋转轴垂直的剖视图。而且,图15是表示第一区段、第二区段以及整个齿轮部的电磁激振力1次分量相对于磁性齿轮部中的多极机构与极片之间的磁隙中的周向位置的关系的图。

[0093] 如图13和图14A所示,本实施方式6的磁性齿轮1由配置有22个(极数Np4)永久磁铁4m的多极机构4、配置有6个(极数Np2)永久磁铁2m的少极机构2以及由14个(极数Np3)磁极片构成的极片3构成区段。

[0094] 即,将极片3固定的情况下的磁性齿轮1的齿轮比为(22/2)/(6/2)＝3.67。少极机构2的极数Np2与极片3的极数Np3的最大公约数以及多极机构4的极数Np4与极片3的极数Np3的最大公约数均为2。通过使极数的最大公约数为2,能够与实施方式1同样地充分增大极数的最小公倍数,能够减小齿槽转矩的振幅。

[0095] 如图14B所示,第二区段5b是相对于第一区段5a以线段La为基准旋转90°机械角度而得到的形状。除了将第一区段5a从图2A所示的配置置换为图14A所示的配置、将第二区段5b从图2B所示的配置置换为图14B所示的配置之外,与上述实施方式1～5相同。

[0096] 在本实施方式6所示的极数结构中,空间上的对称性为2次,因此,产生在周向上具有空间2次的模式的电磁激振力。对于在多极机构4产生的电磁激振力2次分量的空间波形,如图15所示,可知由于第一区段5a和第二区段5b具有90°机械角度的相位差,从而由于电磁激振力2次分量的相位关系而在相加的情况下被抵消。

[0097] 变形例

[0098] 图16A是表示实施方式6的变形例的磁性齿轮的多极机构与极片之间的磁隙中的周向位置与电磁激振力2次分量的关系的图,图16B是表示2个区段的相位差(相位偏差)与整个磁性齿轮部的电磁激振力2次分量的振幅的关系的图。

[0099] 在本变形例中,对在机械角度的相位差为90°以外的情况下也能够得到同样的效果这一情况进行说明。第二区段5b的配置是将图14B所示的线段Lb相对于线段La的角度从90°置换为θ而得到的配置。即θ＝90°时与在实施方式6中说明的图14B所示的配置对应,在本变形例中,示出了将旋转角度一般化的结构。

[0100] 如图16A所示,可知即使在相位差θ不是90°的情况下,电磁激振力的空间2次分量的振幅也能够通过相加而比单独使用各区段的情况下的振幅小。使相位差θ从0°变化到360°时的电磁激振力空间2次分量的振幅如图16B所示这样变化。若相位差θ为大于60°且小于120°的范围以及大于240°且小于300°的范围,则与单独使用各区段的情况相比能够减小电磁激振力空间2次分量的振幅。

[0101] 其他变形例

[0102] 在实施方式6及其变形例中,示出了极片3固定的例子,但也可以为极片3自由旋转而能够任意调整相位的结构。另外,作为磁性齿轮部5的结构,示出了将实施方式1的图1所示的2种区段在轴向上紧贴地连接的例子,但并不限于此。即使采用按照实施方式3至5的结构,也能够得到同样的效果。

[0103] 实施方式7

[0104] 在本实施方式7的磁性齿轮中,对以与实施方式1～实施方式5以及实施方式6不同的极性数的组合构成磁性齿轮部的例子进行说明。图17以及图18A、图18B是用于对实施方式7的磁性齿轮的结构和动作进行说明的图,图17是表示磁性齿轮的结构的包含旋转轴的沿着旋转轴的剖视图,图18A是与图17的F－F线对应的第一区段的与旋转轴垂直的剖视图,图18B是与图17的G－G线对应的第二区段的与旋转轴垂直的剖视图。

[0105] 如图17和图18A所示,本实施方式6的磁性齿轮1由配置有20个(极数Np4)永久磁铁4m的多极机构4、配置有8个(极数Np2)永久磁铁2m的少极机构2以及由14个(极数Np3)磁极片构成的极片3构成区段。

[0106] 即,将极片3固定的情况下的磁性齿轮1的齿轮比为(20/2)/(8/2)＝2.5。少极机构2的极数Np2与极片3的极数Np3的最大公约数以及多极机构4的极数Np4与极片3的极数Np3的最大公约数均为2。通过使极数的最大公约数为2,能够与实施方式6同样地充分增大极数的最小公倍数,能够减小齿槽转矩的振幅。

[0107] 如图18B所示,第二区段5b是相对于第一区段5a以线段La为基准旋转90°机械角度而得到的形状。除了将第一区段5a从图2A所示的配置置换为图18A所示的配置、将第二区段5b从图2B所示的配置置换为图18B所示的配置之外,与上述实施方式1～5相同。

[0108] 第二区段的少极机构2的相位与第一区段5a一致,与实施方式1同样,不需要错开少极机构2的相位地在轴向上层叠。因此,能够与第一区段5a共用,因此,不需要用于错开相位地进行层叠的制造设备,能够抑制制造成本的增大。在本实施方式中,示出了少极机构2的相位在第一区段5a与第二区段5b之间一致的例子,但并不限于此。通过使少极机构2和多极机构4中的至少1个的相位不同的配置模式在轴向上配置2个以上的极数及相位差θ的组合,也能够得到同样的效果。

[0109] 在本实施方式6所示的极数结构中,空间上的对称性为2次,因此,产生在周向上具有空间2次的模式的电磁激振力。对于在多极机构4产生的电磁激振力2次分量的空间波形,如图15所示,可知由于第一区段5a和第二区段5b具有90°机械角度的相位差,从而由于电磁激振力2次分量的相位关系而在相加的情况下被抵消。

[0110] 变形例

[0111] 在实施方式7中,示出了极片3固定的例子,但也可以为极片3自由旋转而能够任意调整相位的结构。另外,作为磁性齿轮部5的结构,示出了将实施方式1的图1所示的2种区段

在轴向上紧贴地连接的例子,但并不限于此。即使采用按照实施方式3至5的结构,也能够得到同样的效果。

[0112] 本申请记载了各种例示性的实施方式,但1个或多个实施方式所记载的各种特征、方式以及功能并不限于特定的实施方式的应用,能够单独或以各种组合应用于实施方式。因此,在本申请说明书所公开的技术范围内可设想未例示的无数的变形例。例如,包括对至少1个构成要素进行变形、追加或省略的情况,还包括抽取至少1个构成要素并与其他的实施方式的构成要素组合的情况。

[0113] 例如,示出了磁性齿轮1的各磁极的永久磁铁(永久磁铁4m、永久磁铁2m)为每极1个的例子,但在将永久磁铁在磁化方向、磁化正交方向、轴向以及其他方向上分割的情况下也能够得到同样的效果。另外,示出了磁性齿轮1是在与旋转轴X正交的方向上具有磁隙部的径向型的例子,但在与旋转轴X平行的方向上具有磁隙部的轴向型中也能够得到同样的效果。

[0114] 另外,在上述各实施方式中,作为极数Np2、极数Np4以及极数Np3的组合,示出了6、28、17的组合例、6、22、14的组合例以及8、20、14的组合例共计3种极数的组合,但并不限于此。而且,例举了极数Np2与极数Np3的最大公约数以及极数Np4与极数Np3的最大公约数均为1或2的情况,但并不限于此。

[0115] 当然,若双方为1,则能够最大限度减小电磁激振力的空间1次分量,若双方为2,则能够最大限度减小电磁激振力的空间2次分量。但是,即使在一方为1且另一方为2的情况下,也能够分别减小电磁激振力的空间1次分量和空间2次分量。并且,若一方为1或2,则即使在另一方既不是1也不是2的情况下,也能够减小电磁激振力的空间1次分量或空间2次分量。

[0116] 基于此情况,只要为同时满足至少以下的3个条件的结构,就能够得到同样的效果。

[0117] 条件1:极片3、少极机构2以及多极机构4中的至少1个的相位不同的区段在轴向上配置有2个以上。条件2:少极机构2的极数Np2与极片3的极数Np3的最大公约数以及多极机构4的极数Np4与极数Np3的最大公约数中的至少任一个为1或2。条件3:在将构成区段的少极机构2的极对数(=Np2/2)设为N_2、将多极机构4的极对数(=Np4/2)设为N_4、将极片3的数量(=Np3)设为N_3时,式(1)所示的关系成立。

[0118] $$(2k-1)N_3=N_4\pm(2m-1)N_2 \quad (1)$$

[0119] 其中,k、m均为自然数。

[0120] 另外,磁性齿轮1的齿、极片3、永久磁铁(永久磁铁2m、永久磁铁4m)的形状均以最简单的形状表示,但并不限于此。也可以为将齿和极片的形状设为朝向磁隙部而在径向上扩宽或缩窄的形状。并且,即使在永久磁铁使用粘结磁铁时在每1磁极使用2个以上的永久磁铁并嵌入成V字形的情况下等,只要满足上述的3个条件,则无论齿、极片3、永久磁铁的形状如何都能够得到同样的效果。

[0121] 如以上这样,根据本申请的磁性齿轮1,具备:磁性齿轮部5,其构成为具有:由永久磁铁4m形成的第一极数(极数Np4)的磁极沿着周向配置的多极机构4;由永久磁铁2m形成的比第一极数(极数Np4)少的第二极数(极数Np2)的磁极沿着周向配置的少极机构2;以及由软磁性体形成的第三极数(极数Np3)的磁极相对于多极机构4的磁极和少极机构2的磁极分

别经由磁隙沿着周向配置的极片3,分别分担定子、第一转子、第二转子中的任一个的功能;第一轴(多极转子轴7),其承担第一转子(例如,多极机构4)与外部的转矩传递;以及第二轴(少极转子轴6),其承担第二转子(例如,少极机构2)与外部的转矩传递,磁性齿轮部5构成为在沿着轴向(旋转轴X方向)划分的多个区段(例如,第一区段5a、第二区段5b、第三区段5c)中的相邻的区段(例如,第一区段5a与第二区段5b、第二区段5b与第三区段5c)之间,多极机构4、少极机构2以及极片3之间的磁极的位置关系不同,以使多极机构4、少极机构2以及极片3中的至少一个具有相位差θ,且第一极数(极数Np4)与第三极数(极数Np3)的最大公约数以及第二极数(极数Np2)与第三极数(极数Np3)的最大公约数中的至少任一个为1或2。由此,能够在不增大制造成本的情况下同时实现齿槽转矩的减小和电磁激振力的减小。

[0122] 特别是,若分别在多极机构4和少极机构2中使用的永久磁铁(永久磁铁4m、永久磁铁2m)的沿轴向延伸的面与轴向平行,则不用实施特殊的加工就能够形成磁极。

[0123] 在此,若第一极数与第三极数的最大公约数以及第二极数与第三极数的最大公约数中的至少任一个为1,且多个区段由如下的2种区段构成,则能够有效地减小电磁激振力的空间1次分量,所述2种区段为:作为上述磁极的位置关系而以第一位置关系配置磁极的第一配置模式的区段(例如,第一区段5a);以及以相对于第一配置模式的区段(例如,第一区段5a、第三区段5c)而使相位差θ处于以机械角度基准大于120°且小于240度的角度范围的第二位置关系配置磁极的第二配置模式的区段(例如,第二区段5a)。

[0124] 或者,若第一极数与第三极数的最大公约数以及第二极数与第三极数的最大公约数中的至少任一个为1,且多个区段由如下的2种区段构成,则能够有效地减小电磁激振力的空间2次分量,所述2种区段为:作为上述磁极的位置关系而以第一位置关系配置磁极的第一配置模式的区段(例如,第一区段5a);以及以相对于第一配置模式的区段(例如,第一区段5a、第三区段5c)而使相位差θ处于以机械角度基准大于60°且小于120°或者大于240°且小于300度的角度范围的第二位置关系配置磁极的第二配置模式的区段(例如,第二区段5a)。

[0125] 另外,若在多个区段中的相邻的区段(例如,第一区段5a与第二区段5b)之间设置有磁空隙部5g,则能够减小邻接的区段之间的漏磁通,能够抑制传递转矩的降低。

[0126] 若作为多个区段而划分成3个以上的区段(例如,第一区段5a、第二区段5b、第三区段5c),则能够增加轴向上的弯曲力的振动模式的次数,减小弯曲力。

[0127] 此时,若3个以上的区段中的至少2个区段(例如,第一区段5a和第三区段5c)的多极机构4、少极机构2以及极片3之间的磁极的位置关系相同,则能够在不造成部件的种类的增加以及工序的复杂化的情况下,增加轴向上的弯曲力的振动模式的次数,减小弯曲力。

[0128] 附图标记说明

[0129] 1:磁性齿轮,2:少极机构,2m:永久磁铁,3:极片,4:多极机构,4m:永久磁铁,5:磁性齿轮部,5a:第一区段,5b:第二区段,5c:第三区段,6:少极转子轴(第一轴或第二轴),7:多极转子轴(第二轴或第一轴),Np2:极数(第二极数),Np3:极数(第三极数),Np4:极数(第一极数),X:旋转轴,θ:相位差。

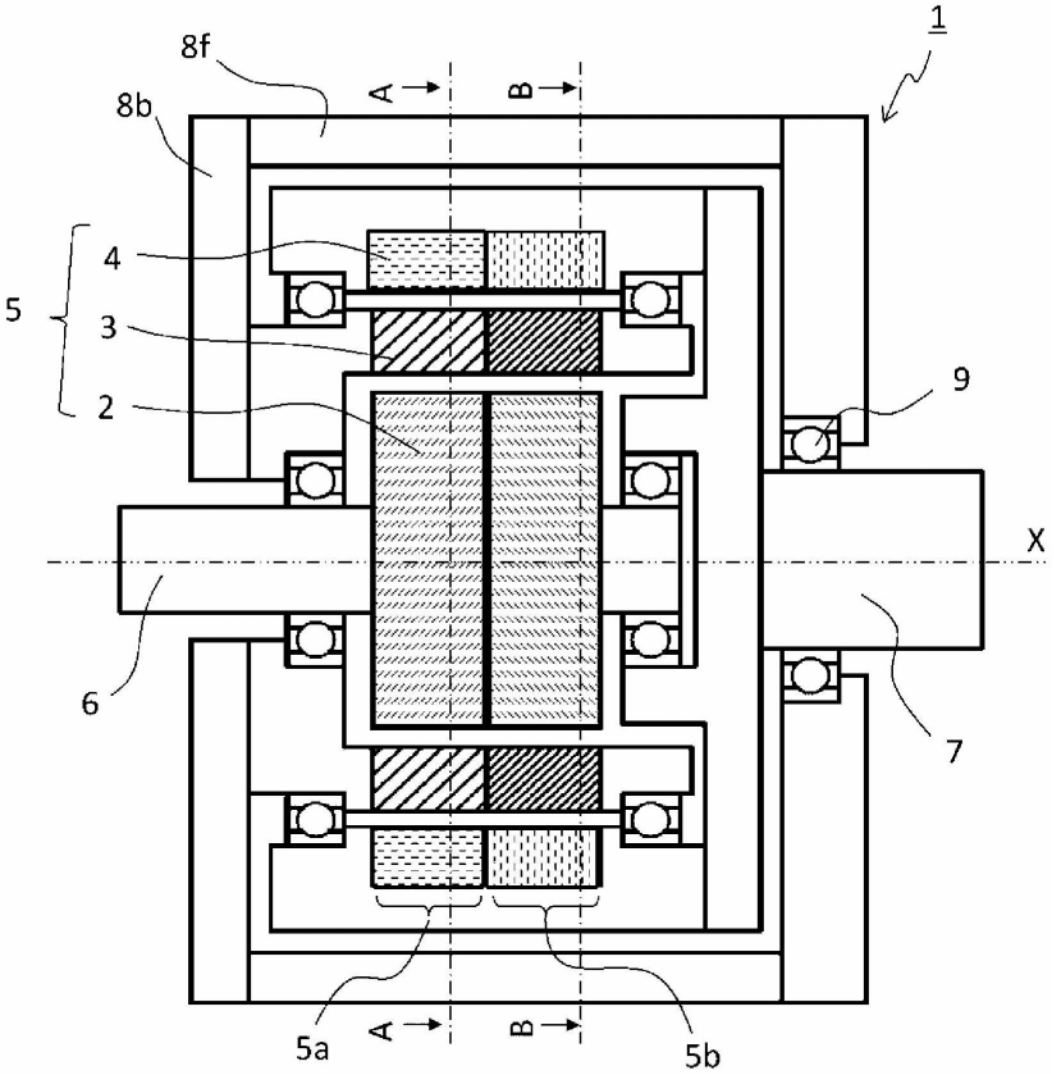


图1

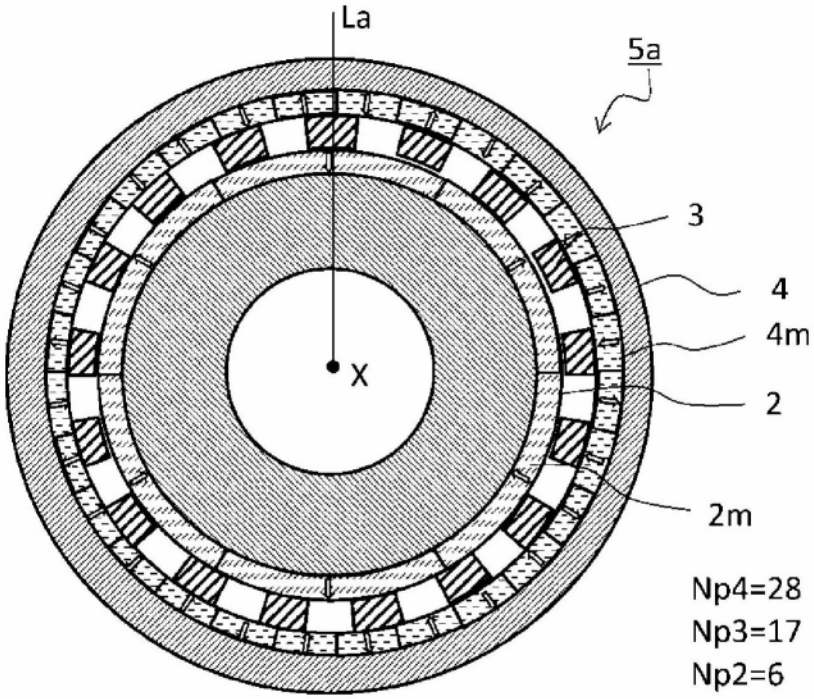

La
5a
3
4
4m
2
2m
X
Np4=28
Np3=17
Np2=6

图2A

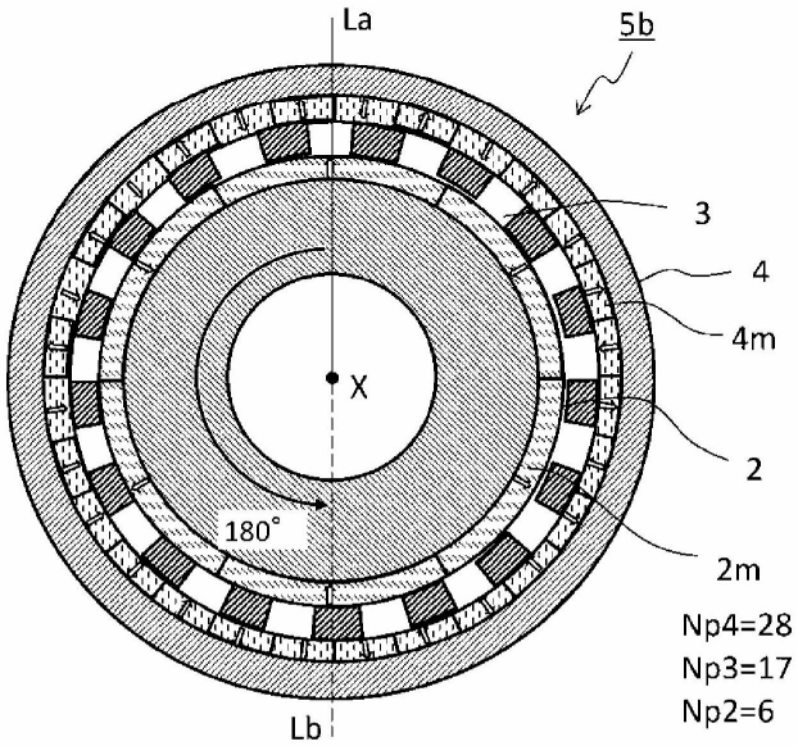

La
5b
3
4
4m
2
2m
X
180°
Lb
Np4=28
Np3=17
Np2=6

图2B

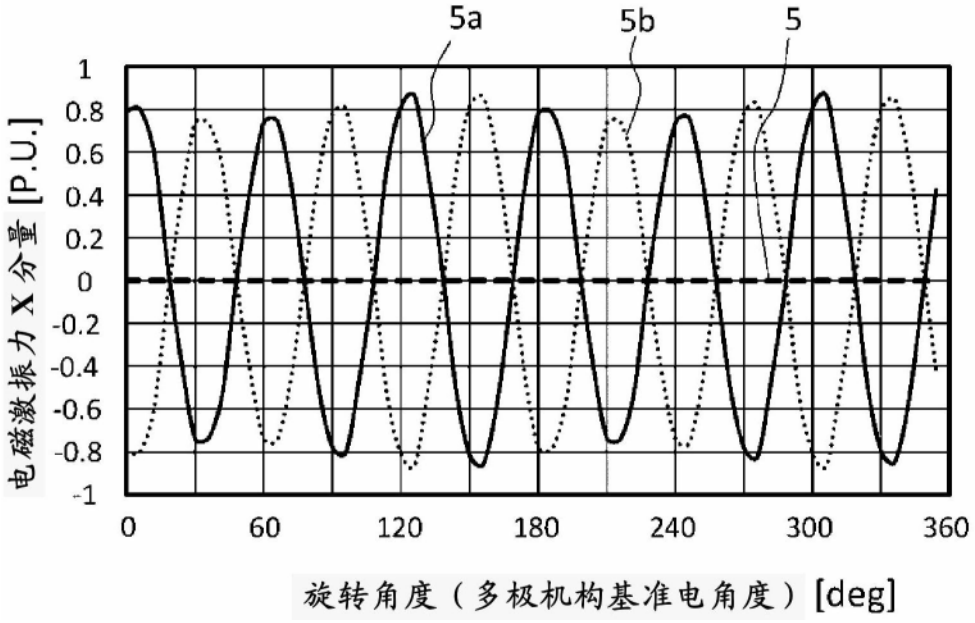

5a
5b
5
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
电磁激振力X分量[P.U.]
0
60
120
180
240
300
360
旋转角度（多极机构基准电角度）[deg]

图3A

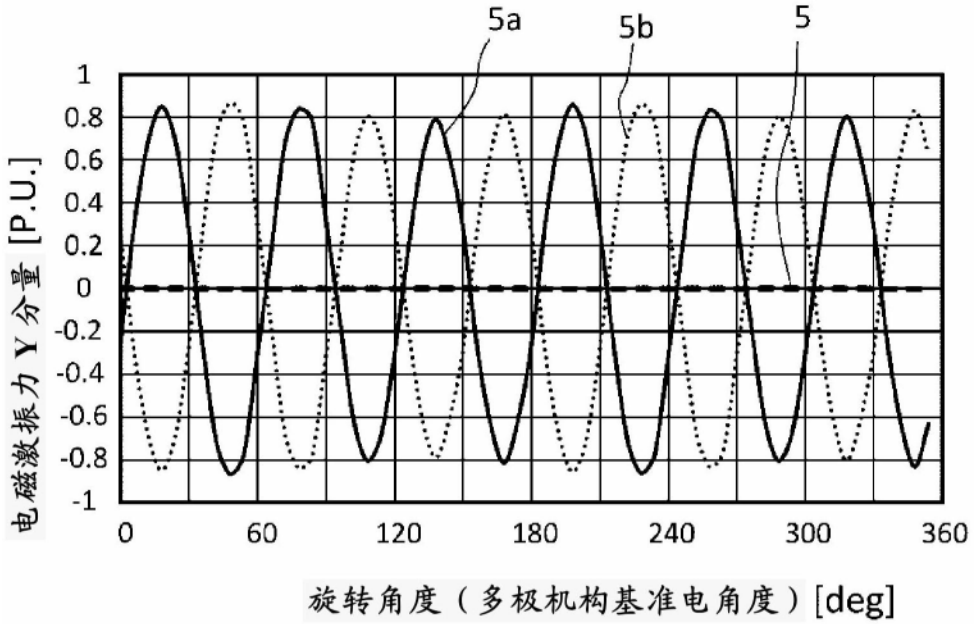

5a
5b
5
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
电磁激振力Y分量[P.U.]
0
60
120
180
240
300
360
旋转角度（多极机构基准电角度）[deg]

图3B

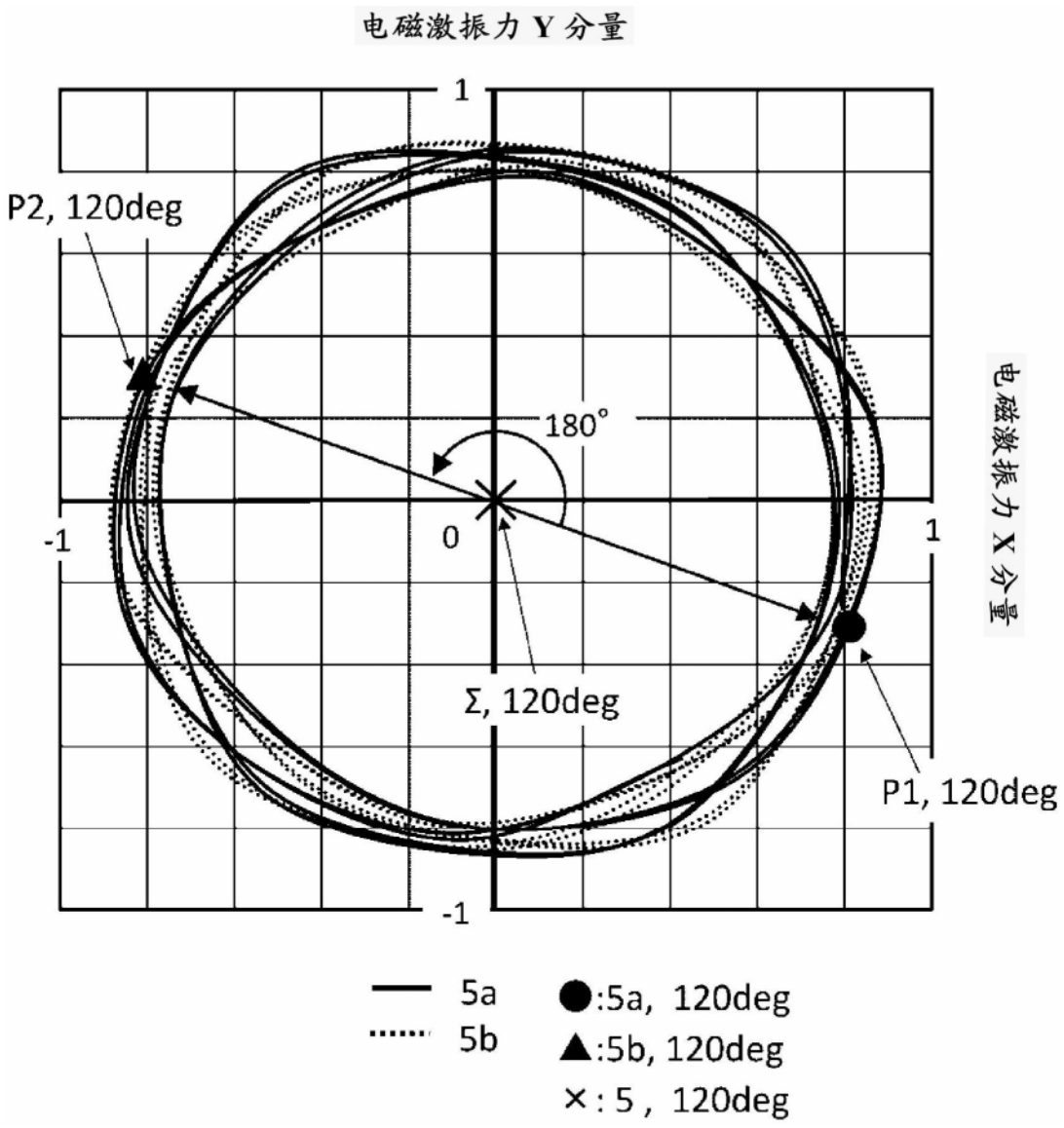

电磁激振力 Y 分量
1
P2, 120deg
180°
-1
0
1
电磁激振力 X 分量
Σ, 120deg
P1, 120deg
-1
5a
5b
:5a, 120deg
:5b, 120deg
×: 5 , 120deg

图4

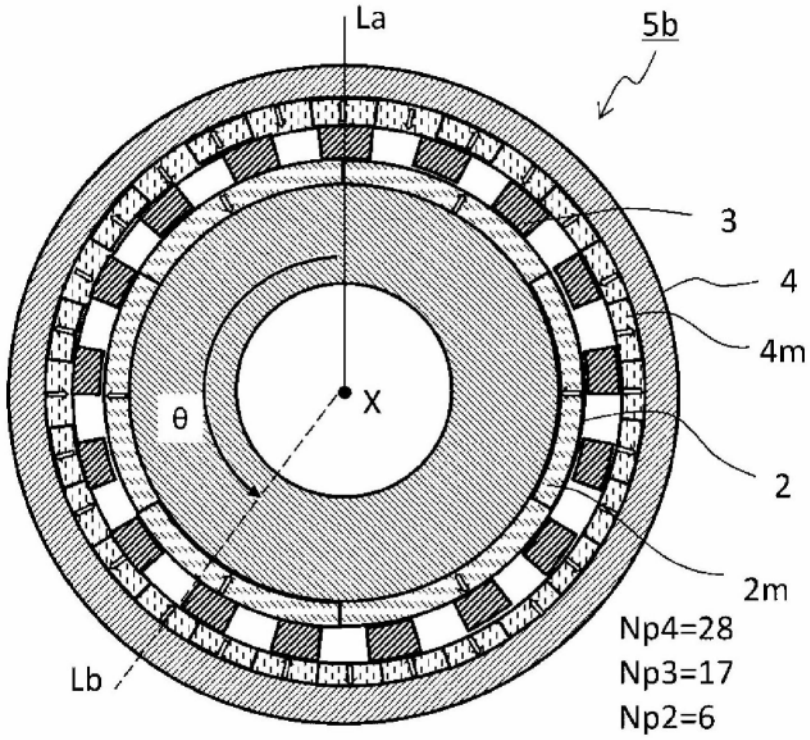

La
5b
3
4
4m
θ
X
2
2m
Lb
Np4=28
Np3=17
Np2=6

图5A

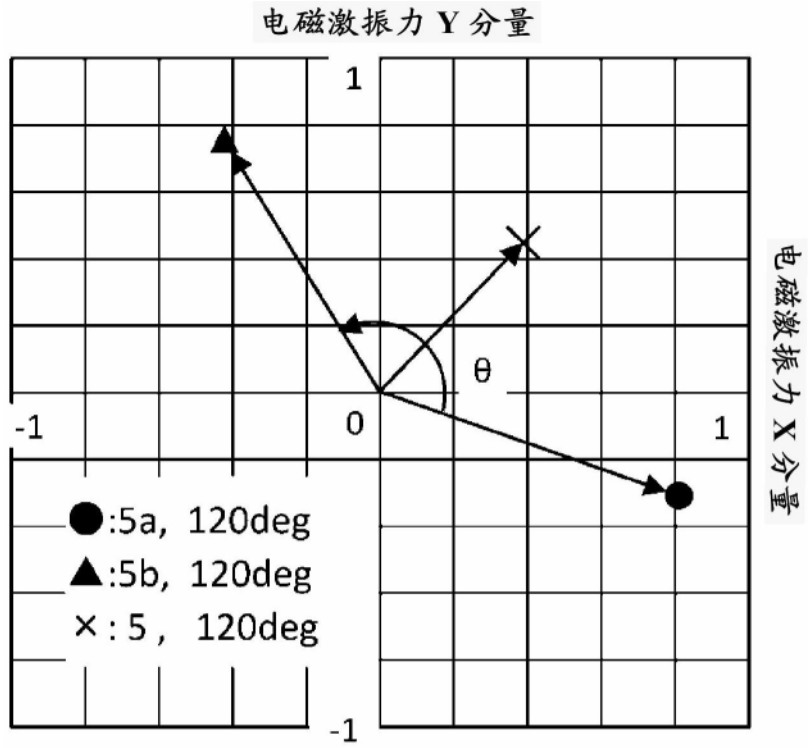

电磁激振力 Y 分量
1
θ
-1
0
1
电磁激振力 X 分量
●:5a, 120deg
▲:5b, 120deg
×:5 , 120deg
-1

图5B

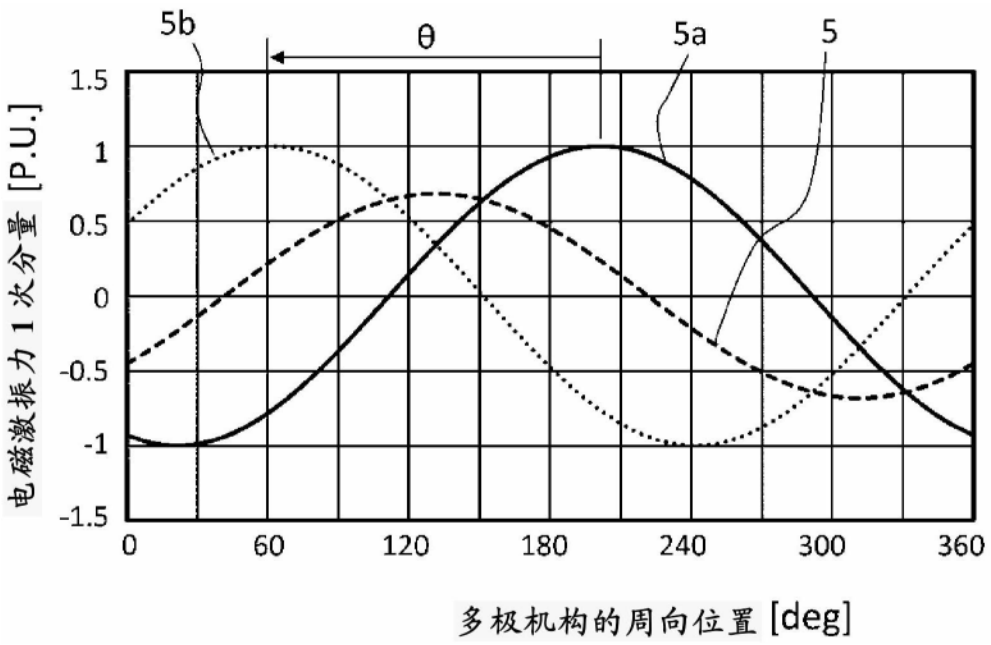

5b
θ
5a
5
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
60
120
180
240
300
360
电磁激振力1次分量 [P.U.]
多极机构的周向位置 [deg]

图6A

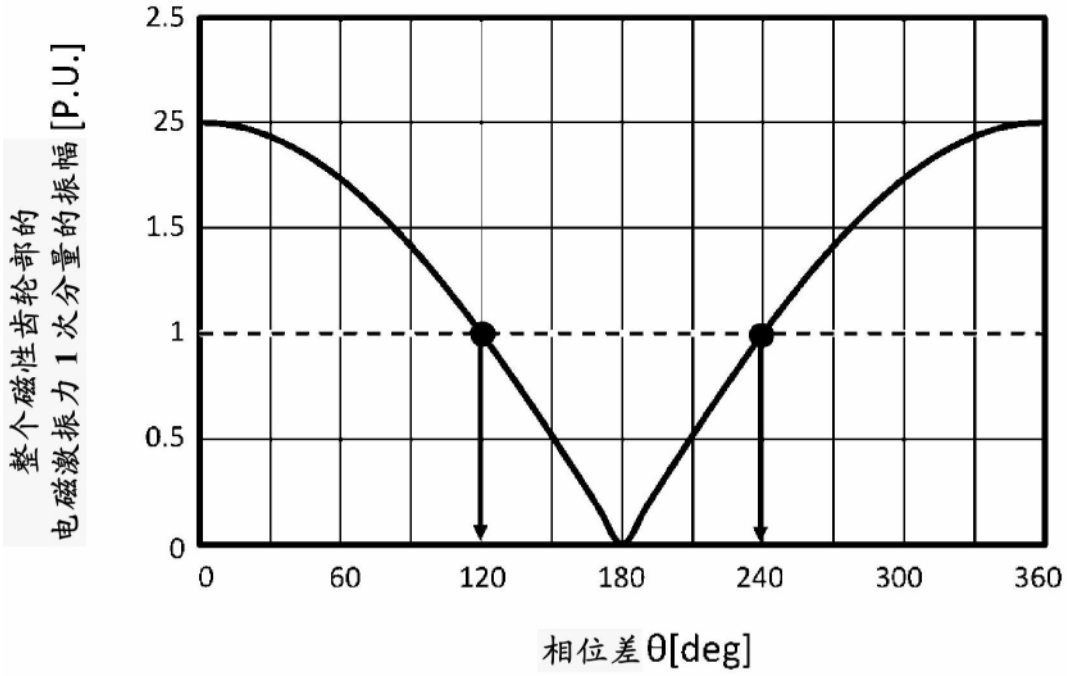

2.5
25
1.5
1
0.5
0
0
60
120
180
240
300
360
整个磁性齿轮部的
电磁激振力1次分量的振幅 [P.U.]
相位差θ[deg]

图6B

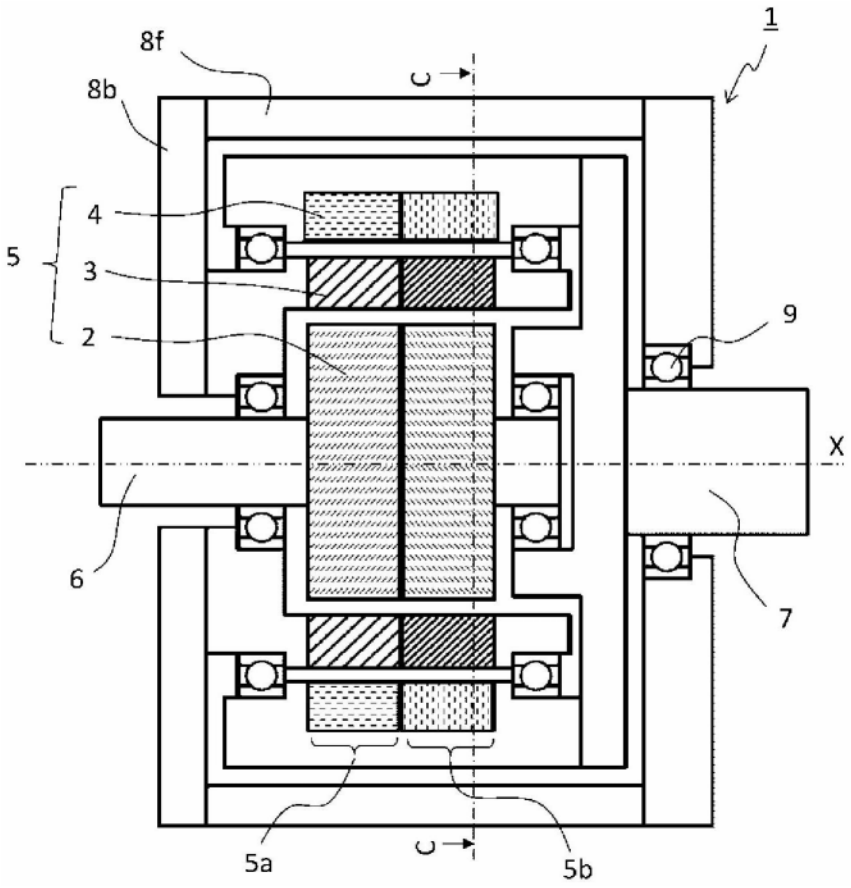

1
8f
8b
C
4
5
3
2
9
X
6
7
5a
C
5b

图7

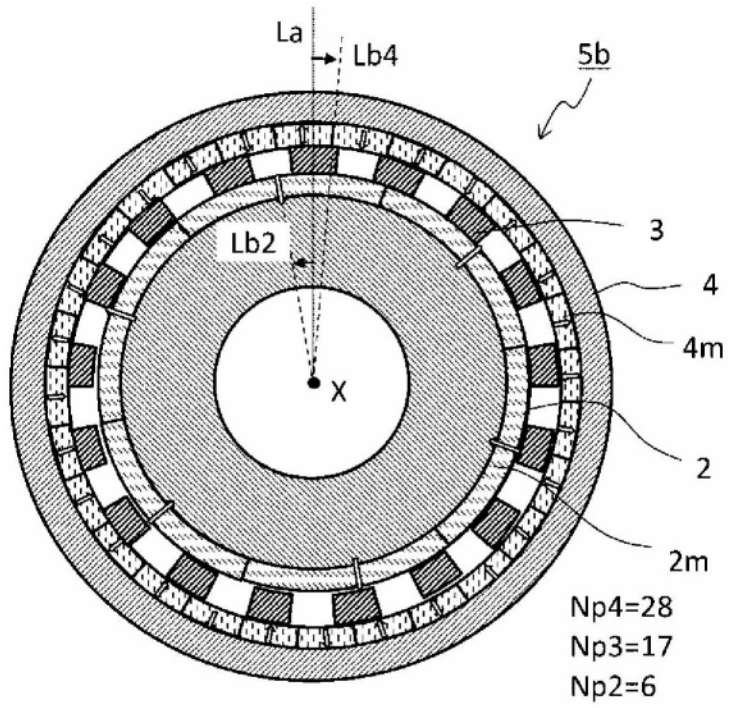

La
Lb4
5b
3
Lb2
4
4m
X
2
2m
Np4=28
Np3=17
Np2=6

图8

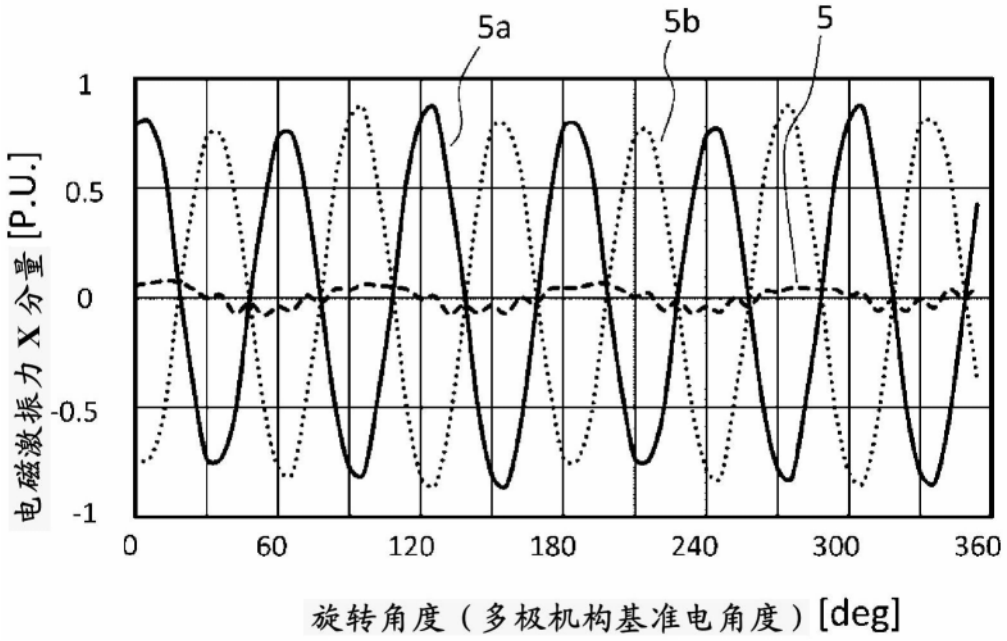

5a
5b
5
1
0.5
0
-0.5
-1
电磁激振力 X 分量 [P.U.]
0
60
120
180
240
300
360
旋转角度（多极机构基准电角度）[deg]

图9A

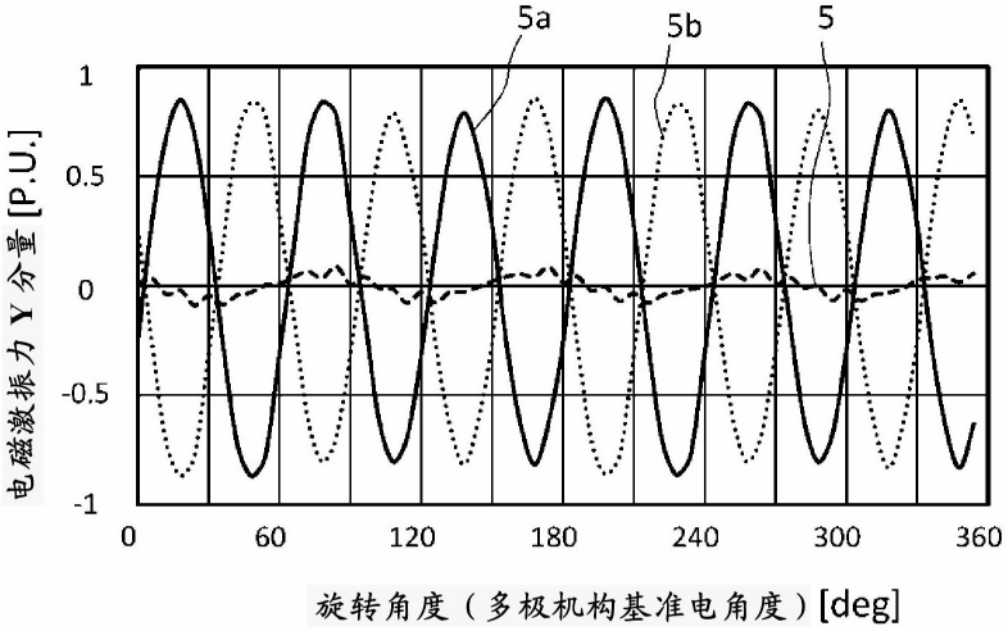

5a
5b
5
1
0.5
0
-0.5
-1
电磁激振力 Y 分量 [P.U.]
0
60
120
180
240
300
360
旋转角度（多极机构基准电角度）[deg]

图9B

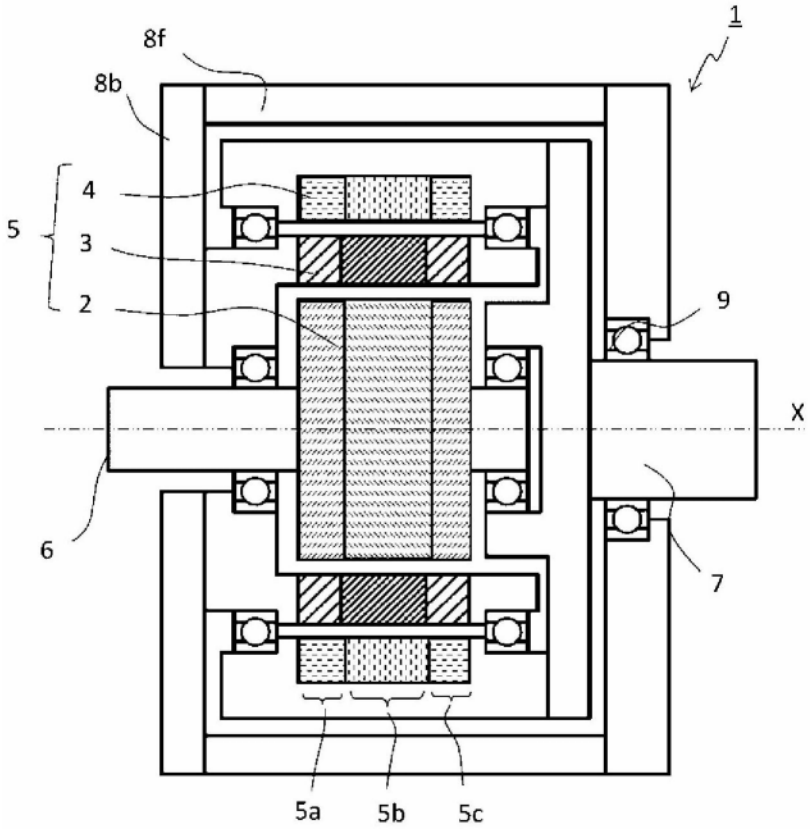


图10

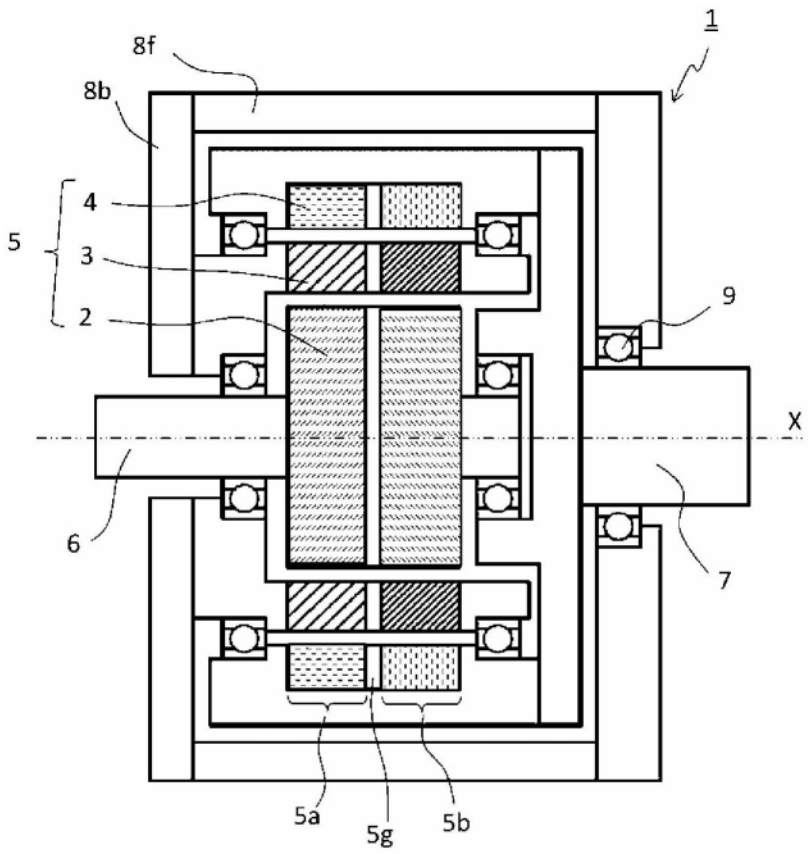


图11

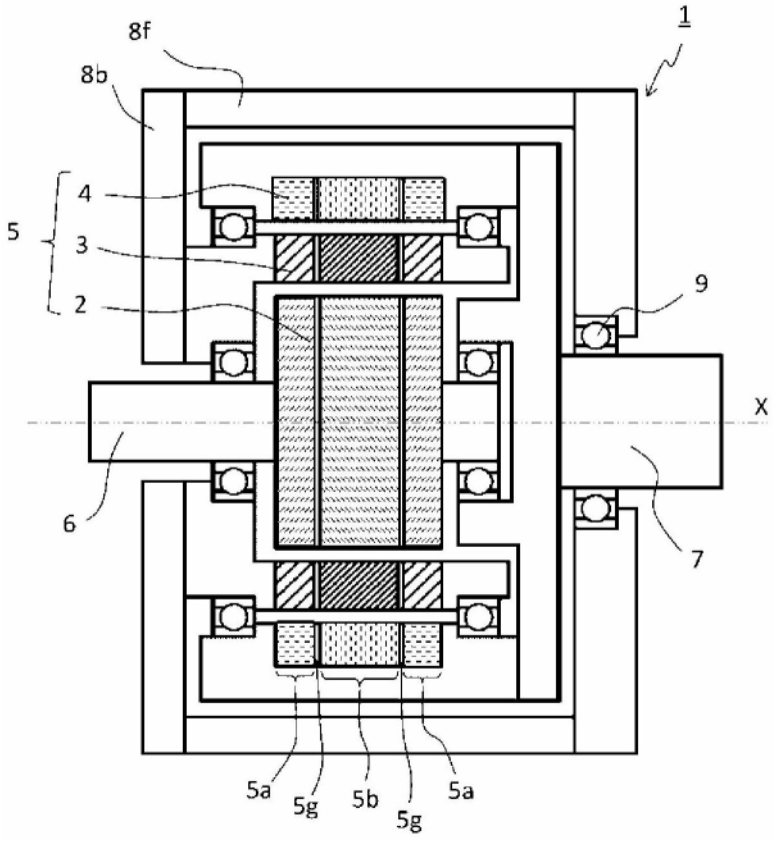


图12

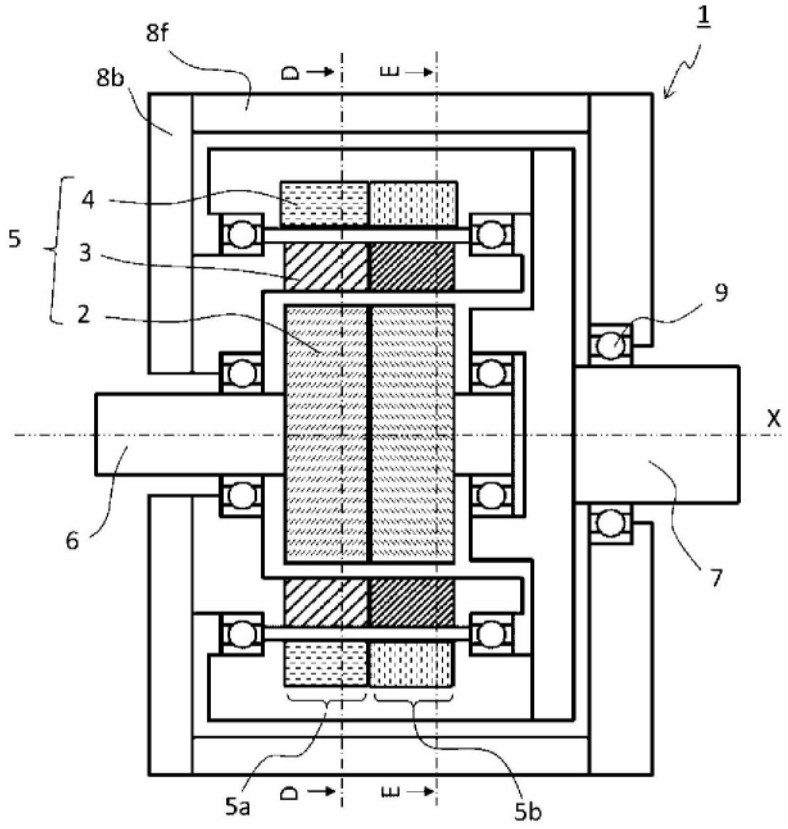


图13

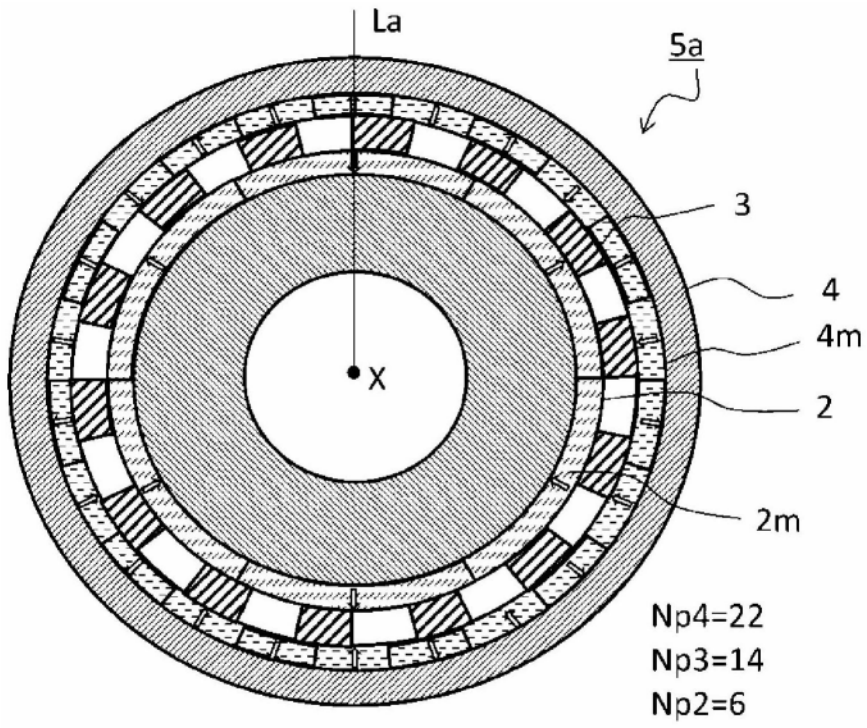


图14A

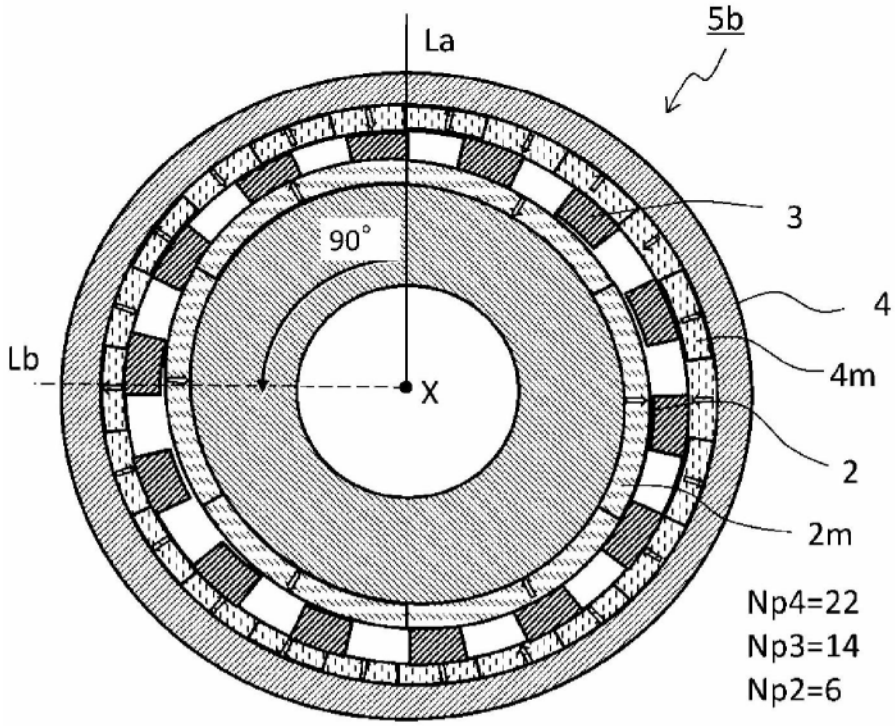

La
5b
3
90°
4
Lb
X
4m
2
2m
Np4=22
Np3=14
Np2=6

图14B

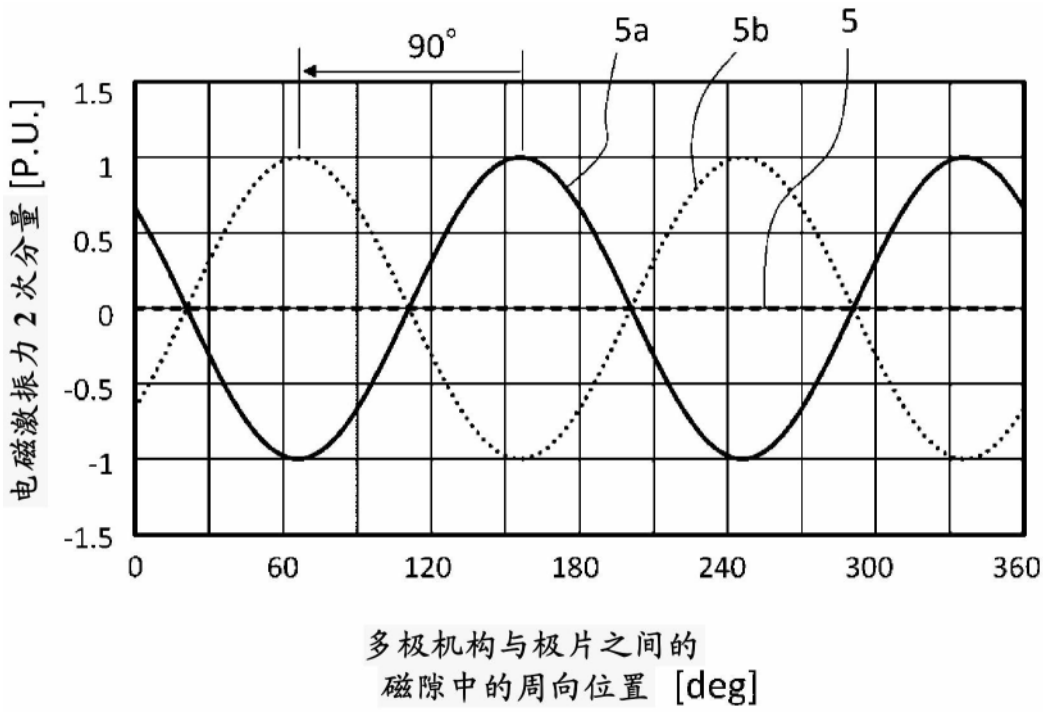

90°
5a
5b
5
电磁激振力2次分量 [P.U.]
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
60
120
180
240
300
360
多极机构与极片之间的
磁隙中的周向位置 [deg]

图15

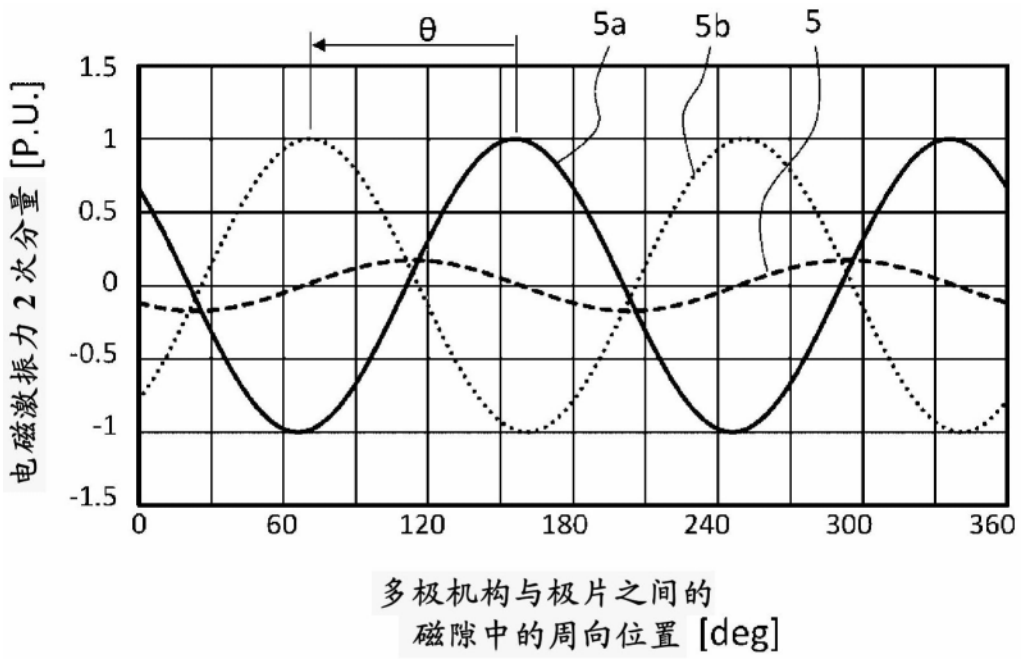

θ
5a
5b
5
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
0
60
120
180
240
300
360
电磁激振力2次分量 [P.U.]
多极机构与极片之间的
磁隙中的周向位置 [deg]

图16A

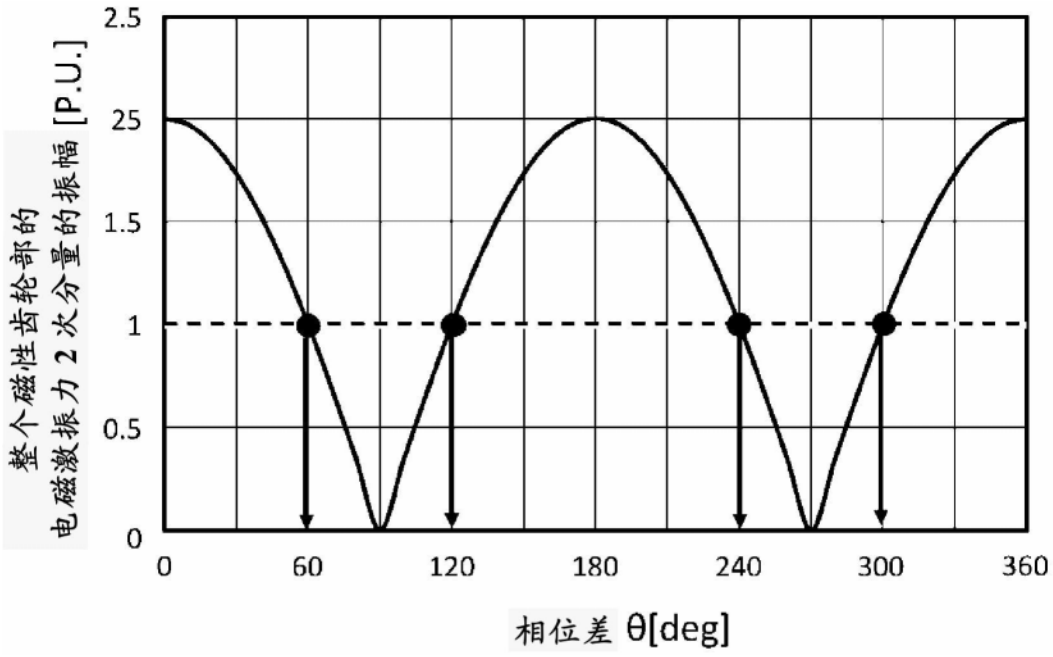

2.5
25
1.5
1
0.5
0
0
60
120
180
240
300
360
整个磁性齿轮部的
电磁激振力2次分量的振幅 [P.U.]
相位差 θ[deg]

图16B

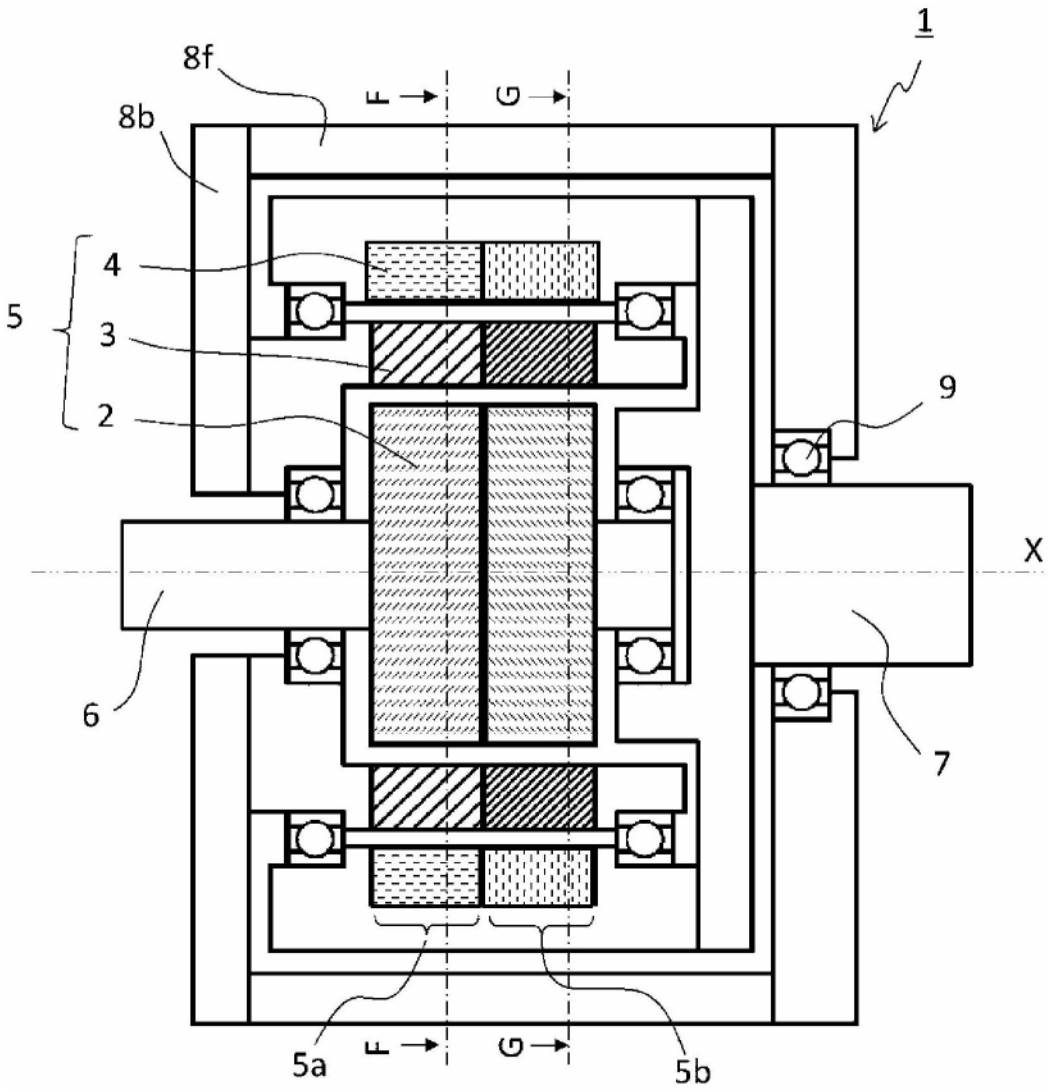


图17

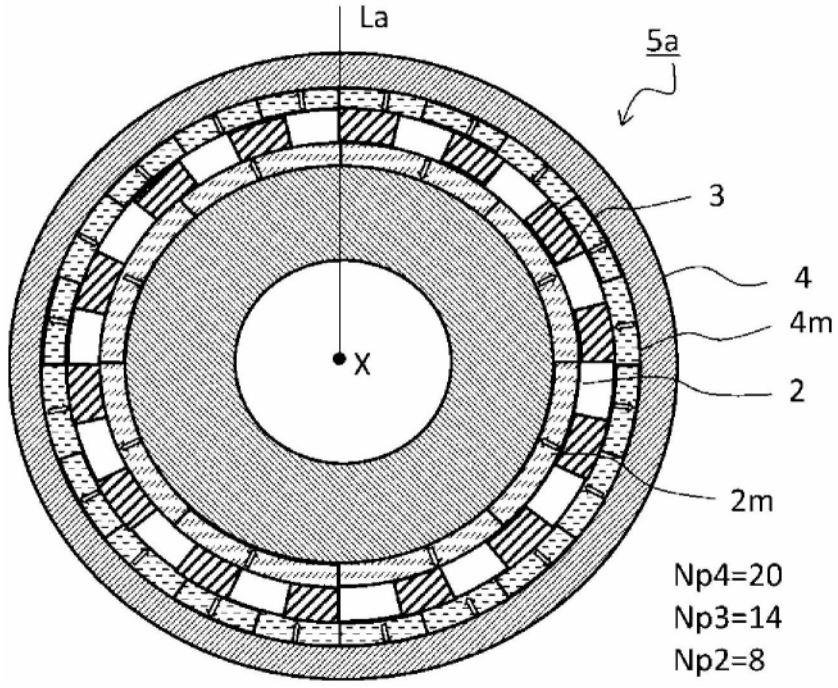

La
5a
3
4
4m
2
2m
X
Np4=20
Np3=14
Np2=8

图18A

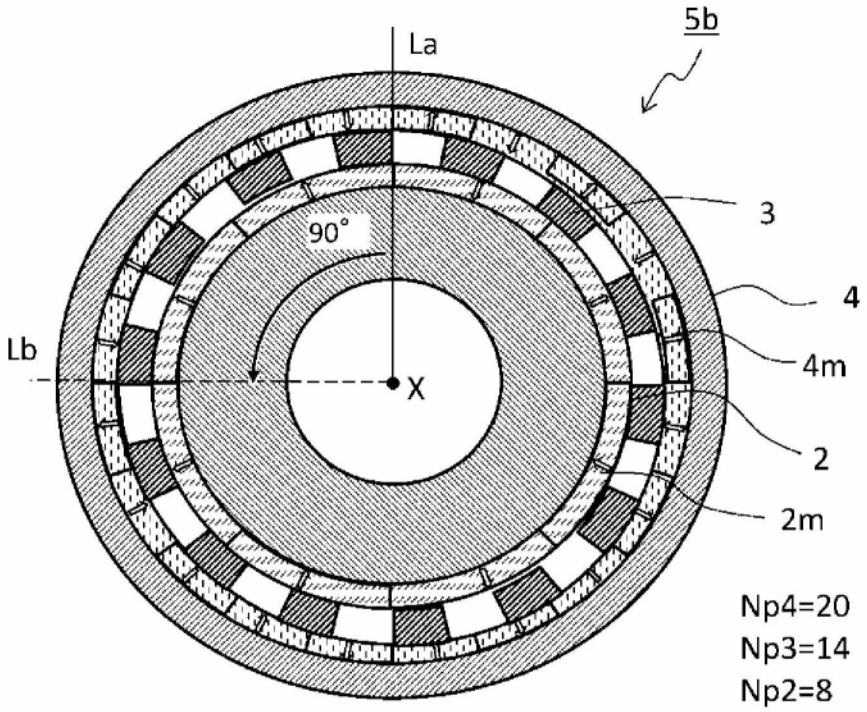

5b
La
3
90°
4
Lb
4m
X
2
2m
Np4=20
Np3=14
Np2=8

图18B