



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102223050 B

(45) 授权公告日 2012. 12. 12

(21) 申请号 201110158958. X

(22) 申请日 2011. 06. 14

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 郑萍 闫海媛 于斌 赵全斌

王鹏飞 林佳 王海鹏

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事

务所 23109

代理人 张宏威

(51) Int. Cl.

H02K 41/02 (2006. 01)

审查员 姚雪梅

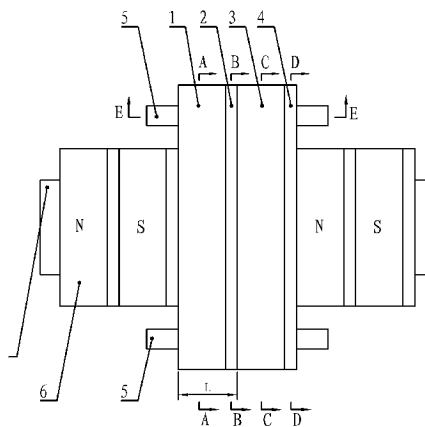
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 11 页

(54) 发明名称

圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机

(57) 摘要

圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机,属于电机领域。它解决了现有同类电机漏磁较大、功率因数低、结构复杂、加工装配难度大、可靠性不高的问题。本发明的定子电枢铁心由多个轴向长度为一个极距 L 的叠片单元组成,每个叠片单元由两个叠片沿轴向叠加组成,第一叠片的内腔均匀分布的 i 个定子齿的定子齿顶部均按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲;第二叠片内腔均匀分布 i 个仅包括定子齿根部的定子齿;所有叠片中的定子齿根部周向对应、沿轴向紧密排列,相邻两个叠片单元中的第一叠片的定子齿顶部沿圆周的弯曲方向不同;当 i = 1、电机为 m 相时,各相电机在轴向上的间隔 (2n+2/m)L;当 i > 1、电机为 i 相时, i 个永磁体阵列单元在轴向上依次错开 (2/i)L, L 为极距。



1. 圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机,所述电机为 m 相、 p 极电机,该电机包括动子和定子,其特征在于,所述动子包括永磁体(6)和轴筒(7),永磁体(6)是由多块永磁体组成的永磁体阵列,所述永磁体阵列排布并固定在轴筒(7)的外壁上,同一个极下的圆周方向有两块永磁体;每块永磁体平行充磁,并且充磁方向与动子的运动方向垂直,周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反,轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反;

所述定子由 m 个定子单元组成,每个定子单元包括电枢绕组和 p 个叠片单元,每个叠片单元由第一叠片和第二叠片沿轴向叠加组成,所述叠片单元的轴向长度为一个极距 L ;

所述第一叠片的内腔均匀分布两个定子齿,所述两个定子齿的定子齿顶部均按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲,每个定子齿顶部靠近动子侧与动子外表面均形成均匀气隙;所述两个定子齿的定子齿根部的中心线在圆周方向上相差 180° ;

所述第二叠片内腔均匀分布两个定子齿,每个定子齿仅包括定子齿根部,所述两个定子齿的定子齿根部的中心线在圆周方向上相差 180° ;

位于周向同一位置的第一叠片的定子齿根部和第二叠片的定子齿根部相重叠;

p 个叠片单元中的定子齿根部周向对应、沿轴向紧密排列,并且相邻两个叠片单元中的第一叠片的定子齿顶部沿圆周的弯曲方向不同; p 个叠片单元中位于圆周同一位置的所有定子齿根部形成一个定子齿根部单元,在该定子齿根部单元外缠绕一个线圈,两个线圈组成一个定子单元的电枢绕组;

m 个定子单元沿轴向排列,相邻两个定子单元之间距离 $d=(2n+2/m)L$, n 为非负整数。

2. 根据权利要求 1 所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机,其特征在于, m 为 1、 p 为 2,所述定子仅包括一个定子单元,该定子单元包括电枢绕组和两个叠片单元,其中一个叠片单元由第一叠片(1)和第二叠片(2)沿轴向叠加组成,所述叠片单元的轴向长度为一个极距 L ;另一个叠片单元由第三叠片(3)和第四叠片(4)沿轴向叠加组成;

所述第一叠片(1)的内腔均匀分布 2 个定子齿(1-1 和 1-2),所述两个定子齿(1-1 和 1-2)的定子齿顶部(1-1-2 和 1-2-2)均按顺时针方向沿圆周弯曲,每个定子齿顶部靠近动子侧与动子外表面均形成均匀气隙;所述两个定子齿(1-1 和 1-2)的定子齿根部(1-1-1 和 1-2-1)的中心线在圆周方向上相差 180° ;

所述第二叠片(2)内腔均匀分布 2 个定子齿(2-1 和 2-2),每个定子齿仅包括定子齿根部,所述 2 个定子齿(2-1 和 2-2)的定子齿根部(2-1-1 和 2-2-1)的中心线在圆周方向上相差 180° ;

位于周向同一位置的第一叠片(1)的定子齿根部和第二叠片(2)的定子齿根部相重叠;

所述第三叠片(3)的内腔均匀分布 2 个定子齿(3-1 和 3-2),所述两个定子齿(3-1 和 3-2)的定子齿顶部(3-1-2 和 3-2-2)均按逆时针方向沿圆周弯曲,每个定子齿顶部靠近动子侧与动子外表面均形成均匀气隙;所述两个定子齿(3-1 和 3-2)的定子齿根部(3-1-1 和 3-2-1)的中心线在圆周方向上相差 180° ;

所述第四叠片(4)内腔均匀分布 2 个定子齿(4-1 和 4-2),每个定子齿仅包括定子齿根部,所述 2 个定子齿(4-1 和 4-2)的定子齿根部(4-1-1 和 4-2-1)的中心线在圆周方向上相差 180° ;

位于周向同一位置的第三叠片(3)的定子齿根部和第四叠片(4)的定子齿根部相重

叠；

两个叠片单元中的定子齿根部周向对应、沿轴向紧密排列，2个叠片单元中位于圆周同一位置的所有定子齿根部形成一个定子齿根部单元，在该定子齿根部单元外缠绕一个线圈，两个线圈组成定子单元的电枢绕组(5)；

所述动子包括永磁体(6)和轴筒(7)，所述永磁体(6)是由多块永磁体组成的永磁体阵列，所述永磁体阵列排布并固定在轴筒(7)的外壁上，同一个极下的圆周方向有两块永磁体；每块永磁体平行充磁，并且充磁方向与动子的运动方向垂直，周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反，轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反。

3. 圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机，所述电机为m相p极电机，该电机包括动子和定子，其特征在于，所述动子包括永磁体(6)和轴筒(7)，永磁体(6)由i个永磁体阵列单元组成，每个永磁体阵列单元由多块永磁体组成，

每个永磁体阵列单元在圆周方向上所占角度为 $(360/i)^\circ$ ；并且所述永磁体阵列所形成的轴向磁极数为p，每个永磁体阵列单元中位于轴向同一位置的三块永磁体属于同一极；所述三块永磁体在圆周方向上所占的角度分别为 $(360/4i)^\circ$ 、 $(360/2i)^\circ$ 和 $(360/4i)^\circ$ ，所述i为大于1的自然数；

i个永磁体阵列单元沿周向紧密排布在轴筒(7)的外壁上；并且所述i个永磁体阵列单元在轴筒的外壁上沿轴向依次错开极距L的 $2/i$ 倍；

每块永磁体均为平行充磁，并且充磁方向与动子的运动方向垂直；周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反，轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反；

电机的相数 $m=i$ ；

所述定子包括电枢铁心和电枢绕组，所述电枢铁心由p个叠片单元沿轴向紧密排列组成，

每个叠片单元由第一叠片和第二叠片沿轴向堆叠组成，所述叠片单元的轴向长度为一个极距L，其中，第一叠片内腔均匀分布 $2i$ 个定子齿(1-k)，第k个定子齿(1-k)由定子齿根部(1-k-1)和定子齿顶部(1-k-2)组成， $2i$ 个定子齿顶部(1-k-2)均按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲；第二叠片内腔均匀分布 $2i$ 个定子齿(2-k)，第k个定子齿(2-k)仅包括定子齿根部(2-k-1)；

轴向相邻的两个叠片单元中的第一叠片中的定子齿顶部(1-k-2)沿圆周方向的弯曲方向不同；周向上相同位置的所有定子齿根部(1-k-1、2-k-1)完全重叠，并组成一个定子齿根部单元，每个定子齿根部单元外缠绕有一个线圈； $2i$ 个线圈组成电枢绕组，

其中， $k=1, 2, \dots, 2i$ 。

圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机

技术领域

[0001] 本发明涉及永磁直线电机,具体涉及一种横向磁通永磁直线电机。

背景技术

[0002] 实现直线运动的传统方式是旋转电机配合将旋转运动转换成直线运动的机械装置,而直线电机可以直接实现直线运动,不需要机械转化,这样,减少了能量损失,提高了效率;降低了噪音,延长了使用寿命。

[0003] 对于直线运动系统,要求出力大,力密度高,结构简单,制造容易等。传统磁路结构的永磁直线电机,因其齿槽在同一个平面内,力密度的提高受到限制;而横向磁通永磁直线电机磁路和电路解耦,力密度和功率密度都比传统磁路结构的永磁直线电机大,在低速时也能保持高效率 and 大力矩,其优势日益突出。

[0004] 传统的横向磁通永磁直线电机虽然效率和转矩密度较高,但漏磁较大,功率因数低;且结构复杂,加工装配难度大,可靠性不高,这些问题都限制了横向磁通永磁直线电机的应用。

发明内容

[0005] 本发明针对上述横向磁通永磁直线电机存在的缺点,提供一种圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机,该电机定子、动子铁心冲片结构简单、容易加工、降低了工艺性;相邻定子极铁心齿处无重叠,降低了电枢漏磁,提高了功率因数;电枢漏磁的减少使得力密度进一步提高。

[0006] 为实现上述发明目的,本发明提供下述圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机,所述电机为 m 相、 p 极电机,该电机包括动子和定子,所述动子包括永磁体 6 和轴筒 7,永磁体 6 是由多块永磁体组成的永磁体阵列,所述永磁体阵列排布并固定在轴筒 7 的外壁上,同一个极下的圆周方向有两块永磁体;每块永磁体平行充磁,并且充磁方向与动子的运动方向垂直,周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反,轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反;所述定子由 m 个定子单元组成,每个定子单元包括电枢绕组和 p 个叠片单元,每个叠片单元由第一叠片 1 和第二叠片 2 沿轴向叠加组成,所述叠片单元的轴向长度为一个极距 L ;

[0007] 所述第一叠片 1 的内腔均匀分布 2 个定子齿 1-1 和 1-2,所述两个定子齿 1-1 和 1-2 的定子齿顶部 1-1-2 和 1-2-2 均按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲,每个定子齿顶部靠近动子侧与动子外表面均形成均匀气隙;所述两个定子齿 1-1 和 1-2 的定子齿根部 1-1-1 和 1-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ,

[0008] 所述第二叠片 2 内腔均匀分布 2 个定子齿 2-1 和 2-2,每个定子齿仅包括定子齿根部,所述 2 个定子齿 2-1 和 2-2 的定子齿根部 2-1-1 和 2-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ;

[0009] 位于周向同一位置的第一叠片 1 的定子齿根部和第二叠片 2 的定子齿根部相重叠;

[0010] p 个叠片单元中的定子齿根部周向对应、沿轴向紧密排列,并且相邻两个叠片单元中的第一叠片 1 的定子齿顶部沿圆周的弯曲方向不同;p 个叠片单元中位于圆周同一位置的所有定子齿根部形成一个定子齿根部单元,在该定子齿根部单元外缠绕一个线圈,两个线圈组成一个定子单元的电枢绕组;

[0011] m 个定子单元沿轴向排列,相邻两个定子单元之间距离 $d = (2n+2/m)L$, n 为非负整数。

[0012] 本发明还提供另一种圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机,所述电机为 m 相 p 极电机,该电机包括动子和定子,所述动子包括永磁体 6 和轴筒 7,永磁体 6 由 i 个永磁体阵列单元组成,每个永磁体阵列单元由多块永磁体组成,每个永磁体阵列单元在圆周方向上所占角度为 $(360/i)^\circ$;并且所述永磁体阵列所形成的轴向磁极数为 p,每个永磁体阵列单元中位于轴向同一位置的三块永磁体属于同一极;所述三块永磁体在圆周方向上所占的角度分别为 $(360/4i)^\circ$ 、 $(360/2i)^\circ$ 和 $(360/4i)^\circ$,所述 i 为大于 1 的自然数;

[0013] i 个永磁体阵列单元沿周向紧密排布在轴筒 7 的外壁上;并且所述 i 个永磁体阵列单元在轴筒的外壁上沿轴向依次错开极距 L 的 $2/i$ 倍;

[0014] 每块永磁体均为平行充磁,并且充磁方向与动子的运动方向垂直;周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反,轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反;

[0015] 电机的相数 $m = i$;

[0016] 所述定子包括电枢铁心和电枢绕组,所述电枢铁心由 p 个叠片单元沿轴向紧密排列组成,

[0017] 每个叠片单元由第一叠片 1 和第二叠片 2 沿轴向堆叠组成,所述叠片单元的轴向长度为一个极距 L,其中,第一叠片 1 内腔均匀分布 $2i$ 个定子齿 1-k, ($k = 1, 2, \dots, 2i$),第 k 个定子齿 1-k 由定子齿根部 1-k-1 和定子齿顶部 1-k-2 组成, $2i$ 个定子齿顶部 1-k-2 均按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲;第二叠片 2 内腔均匀分布 $2i$ 个定子齿 2-k, ($k = 1, 2, \dots, 2i$),第 k 个定子齿 2-k 仅包括定子齿根部 2-k-1;

[0018] 轴向相邻的两个叠片单元中的第一叠片 1 中的定子齿顶部 1-k-2 沿圆周方向的弯曲方向不同;周向上相同位置的所有定子齿根部 1-k-1、2-k-1 完全重叠,并组成一个定子齿根部单元,每个定子齿根部单元外缠绕有一个线圈; $2i$ 个线圈组成电枢绕组。

[0019] 本发明所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机在保持横向磁通永磁直线电机特有的高力密度的优点的基础上,采用了特殊结构的定子叠片,使得相邻定子极齿顶部没有重叠,这样大大减小了电机的电枢漏磁,从而提高了功率因数;同时电机定子叠片加工简单,装配容易,工艺性高。保持了优点,改进了缺点,可以作为电动机使用,也可以作为发电机使用,圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机具有很大的潜力。

附图说明

[0020] 图 1 是具体实施方式二所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的结构示意图,图 2 是图 1 的 E-E 剖视图,图 3 是图 1 的 A-A 剖视图,图 4 是图 1 的 B-B 剖视图,图 5 是图 1 的 C-C 剖视图,图 6 是图 1 的 D-D 剖视图,图 7 至 10 是具体实施方式二所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机在工作时的磁路路径示意图,图 11 是具体实施方式二所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的永磁体阵列平面展开图,图 12 是具体实施方式

三所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的结构示意图,图 13 是图 12 的 F-F 剖面图,图 14 是具体实施方式五所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的结构示意图,图 15 是图 14 的 E1-E1 剖面图,图 16 是图 14 的 A1-A1 剖视图,图 17 是图 14 的 B1-B1 剖视图,图 18 是图 14 的 C1-C1 剖视图,图 19 是图 14 的 D1-D1 剖视图,图 20 和图 21 是具体实施方式五所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的工作时磁路路径示意图,图 22 是具体实施方式五所述的永磁体平面展开图。

具体实施方式

[0021] 具体实施方式一:本实施方式所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机为 m 相、 p 极电机,该电机包括动子和定子,所述动子包括永磁体 6 和轴筒 7,永磁体 6 是由多块永磁体组成的永磁体阵列,所述永磁体阵列排布并固定在轴筒 7 的外壁上,同一个极下的圆周方向有两块永磁体;每块永磁体平行充磁,并且充磁方向与动子的运动方向垂直,周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反,轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反;

[0022] 所述定子由 m 个定子单元组成,每个定子单元包括电枢绕组和 p 个叠片单元,每个叠片单元由第一叠片 1 和第二叠片 2 沿轴向叠加组成,所述叠片单元的轴向长度为一个极距 L ;

[0023] 所述第一叠片 1 的内腔均匀分布 2 个定子齿 1-1 和 1-2,所述两个定子齿 1-1 和 1-2 的定子齿顶部 1-1-2 和 1-2-2 均按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲,每个定子齿顶部靠近动子侧与动子外表面均形成均匀气隙;所述两个定子齿 1-1 和 1-2 的定子齿根部 1-1-1 和 1-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ,

[0024] 所述第二叠片 2 内腔均匀分布 2 个定子齿 2-1 和 2-2,每个定子齿仅包括定子齿根部,所述 2 个定子齿 2-1 和 2-2 的定子齿根部 2-1-1 和 2-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ;

[0025] 位于周向同一位置的第一叠片 1 的定子齿根部和第二叠片 2 的定子齿根部相重叠;

[0026] p 个叠片单元中的定子齿根部周向对应、沿轴向紧密排列,并且相邻两个叠片单元中的第一叠片 1 的定子齿顶部沿圆周的弯曲方向不同; p 个叠片单元中位于圆周同一位置的所有定子齿根部形成一个定子齿根部单元,在该定子齿根部单元外缠绕一个线圈,两个线圈组成一个定子单元的电枢绕组;

[0027] m 个定子单元沿轴向排列,相邻两个定子单元之间距离 $d = (2n+2/m)L$, n 为非负整数。

[0028] 本实施方式所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机中,每个定子单元中的 p 个叠片单元是由第一叠片 1、第二叠片 2 沿轴向叠加组成的,并且其中第一叠片 1 中的定子齿的定子齿顶部 1-1-2、1-2-2 为按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲的形状,并且相邻的两个叠片单元中的第一叠片单元 1 的定子齿的定子齿顶部沿圆周的弯曲方向不同,即:一个按照顺时针方向弯曲、另一个按照逆时针方向弯曲,所以从轴向上看,每个电机单元中的 p 个第一叠片 1 的 2 个定子齿顶部相互交错、无重叠。

[0029] 本实施方式中, p 个叠片单元组成一个电机单元,那么 m 个电机单元在轴向上依次排布,每个电机单元之间相差 $(2n+2/m)L$ 的距离,在电枢绕组 5 中通入正弦或者方波电

流,定子齿顶部与永磁体之间的气隙中产生脉动的磁场,同时由于 m 个电机单元之间相差 $(2n+2/m)L$ 的距离,上述脉动的磁场与所有永磁体 6 作用,形成合成的磁力,使动子在定子中沿轴向做相对直线运动。

[0030] 具体实施方式二:本实施方式是具体实施方式一所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的一种具体结构,本实施方式中,参数 m 取 1、 p 取 2,即为单相双极电机,参见图 1-图 11 所示,所述定子仅包括 1 个定子单元,该定子单元包括电枢绕组和 2 个叠片单元,其中一个叠片单元由第一叠片 1 和第二叠片 2 沿轴向叠加组成,所述叠片单元的轴向长度为一个极距 L ;另一个叠片单元由第三叠片 3 和第四叠片 4 沿轴向叠加组成;

[0031] 所述第一叠片 1 的内腔均匀分布 2 个定子齿 1-1 和 1-2,参见图 3 所示,所述两个定子齿 1-1 和 1-2 的定子齿顶部 1-1-2 和 1-2-2 均按顺时针方向沿圆周弯曲,每个定子齿顶部靠近动子侧与动子外表面均形成均匀气隙;所述两个定子齿 1-1 和 1-2 的定子齿根部 1-1-1 和 1-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ,

[0032] 所述第二叠片 2 内腔均匀分布 2 个定子齿 2-1 和 2-2,参见图 4 所示,每个定子齿仅包括定子齿根部,所述 2 个定子齿 2-1 和 2-2 的定子齿根部 2-1-1 和 2-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ;

[0033] 位于周向同一位置的第一叠片 1 的定子齿根部和第二叠片 2 的定子齿根部相重叠;

[0034] 所述第三叠片 3 的内腔均匀分布 2 个定子齿 3-1 和 3-2,参见图 5 所示,所述两个定子齿 3-1 和 3-2 的定子齿顶部 3-1-2 和 3-2-2 均按逆时针方向沿圆周弯曲,每个定子齿顶部靠近动子侧与动子外表面均形成均匀气隙;所述两个定子齿 3-1 和 3-2 的定子齿根部 3-1-1 和 3-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ,

[0035] 所述第四叠片 4 内腔均匀分布 2 个定子齿 4-1 和 4-2,参见图 6 所示,每个定子齿仅包括定子齿根部,所述 2 个定子齿 4-1 和 4-2 的定子齿根部 4-1-1 和 4-2-1 的中心线在圆周方向上相差 180° ;

[0036] 位于周向同一位置的第三叠片 3 的定子齿根部和第四叠片 4 的定子齿根部相重叠;

[0037] 2 个叠片单元中的定子齿根部周向对应、沿轴向紧密排列,2 个叠片单元中位于圆周同一位置的所有定子齿根部形成一个定子齿根部单元,在该定子齿根部单元外缠绕一个线圈,参见图 2 所示;两个线圈组成定子单元的电枢绕组 5。

[0038] 本实施方式所述的电机定子,从轴向上看,第一叠片 1、第二叠片 2、第三叠片 3 和第四叠片 4 中的定子齿根部 1-1-1、2-1-1、3-1-1、4-1-1 完全重叠,第一叠片 1、第二叠片 2、第三叠片 3 和第四叠片 4 的定子齿根部 1-2-1、2-2-1、3-2-1、4-2-1 完全重叠;第一叠片 1 和第三叠片 3 的定子齿顶部 1-1-2、3-1-2 相互交错、没有重叠,第一叠片 1 和第三叠片 3 的定子齿顶部 3-2-2 与 1-2-2 没有重叠。

[0039] 所述动子包括永磁体 6 和轴筒 7,所述永磁体 6 是由多块永磁体组成的永磁体阵列,所述永磁体阵列排布并固定在轴筒 7 的外壁上,同一个极下的圆周方向有两块永磁体;每块永磁体平行充磁,并且充磁方向与动子的运动方向垂直,周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反,轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反;所述永磁体阵列的展开图参见图 11 所示。

[0040] 参见图 7 ~ 图 10 所示说明本实施方式所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的工作原理：

[0041] 永磁体 6-1、6-2 处于第一叠片 1 的内腔中，参见图 7 所示，轴向上与其相邻的永磁体 6-3、6-4 处于第三叠片 3 的内腔中，参见图 9 所示，第二叠片 2 和第四叠片 4 对应轴筒。

[0042] 由于第一叠片 1 的定子齿顶部 1-1-2 和第三叠片 3 的定子齿顶部 3-1-2 相互错开、无重叠，第一叠片 1 的定子齿顶部 1-2-2 和第三叠片 3 的定子齿顶部 3-2-2 相互错开、无重叠，因此永磁体 6-1、6-2 在第一叠片 1 中产生的磁通和永磁体 6-3、6-4 在第三叠片 3 中产生的磁通方向相同，参见图 7 和 9 所示，使通过绕组 5 的磁通为叠加关系。

[0043] 第二叠片 2 和第四叠片 4 对应相邻永磁体之间的轴筒部分，参见图 6 和 10 所示，其内部流过与第一定子叠片 1 和第三定子叠片 3 方向相同的少量磁通。

[0044] 本实施方式中，2 个叠片单元组成一个电机单元，在电枢绕组 5 中通入正弦或者方波电流，定子齿顶部与永磁体之间的气隙中产生脉动的磁场，上述脉动的磁场与所有永磁体 6 作用，形成脉动的磁力，使动子在定子中沿轴向做相对直线运动。

[0045] 具体实施方式三：本实施方式是具体实施方式一所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的一种具体结构，本实施方式中，参数 m 取 2、 p 取 2，即为双相双极电机，参见图 12、13 所示，所述定子包括 2 个定子单元，每个定子单元的结构和具体实施方式二所述的结构相同，两个定子单元沿轴向排列，所述两个定子单元之间距离 d ，参见图 12 所示，图 13 是图 12 的 E1-E1 剖面图。两个定子单元之间的距离 d 为 $d = (2n+1)L$ ，以保证脉动的磁力形成恒定的磁力，使动子在定子中沿轴向做相对直线运动。

[0046] 具体实施方式四：本实施方式所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机为 m 相 p 极电机，该电机包括动子和定子，

[0047] 所述动子包括永磁体 6 和轴筒 7，永磁体 6 由 i 个永磁体阵列单元组成，每个永磁体阵列单元由多块永磁体组成，

[0048] 每个永磁体阵列单元在圆周方向上所占角度为 $(360/i)^\circ$ ；并且所述永磁体阵列所形成的轴向磁极数为 p ，每个永磁体阵列单元中位于轴向同一位置的三块永磁体属于同一极；所述三块永磁体在圆周方向上所占的角度分别为 $(360/4i)^\circ$ 、 $(360/2i)^\circ$ 和 $(360/4i)^\circ$ ，所述 i 为大于 1 的自然数；

[0049] i 个永磁体阵列单元沿周向紧密排布在轴筒 7 的外壁上；并且所述 i 个永磁体阵列单元在轴筒的外壁上沿轴向依次错开极距 L 的 $2/i$ 倍；

[0050] 每块永磁体均为平行充磁，并且充磁方向与动子的运动方向垂直；周向相邻的两块永磁体的充磁方向相反，轴向相邻的两块永磁体的充磁方向相反；

[0051] 电机的相数 $m = i$ ；

[0052] 所述定子包括电枢铁心和电枢绕组，所述电枢铁心由 p 个叠片单元沿轴向紧密排列组成，

[0053] 每个叠片单元由第一叠片 1 和第二叠片 2 沿轴向堆叠组成，所述叠片单元的轴向长度为一个极距 L ，其中，第一叠片 1 内腔均匀分布 $2i$ 个定子齿 1-k，($k = 1, 2, \dots, 2i$)，第 k 个定子齿 1-k 由定子齿根部 1-k-1 和定子齿顶部 1-k-2 组成， $2i$ 个定子齿顶部 1-k-2 均按顺时针方向或逆时针方向沿圆周弯曲；第二叠片 2 内腔均匀分布 $2i$ 个定子齿 2-k，($k = 1, 2, \dots, 2i$)，第 k 个定子齿 2-k 仅包括定子齿根部 2-k-1；

[0054] 轴向相邻的两个叠片单元中的第一叠片 1 中的定子齿顶部 1-k-2 沿圆周方向的弯曲方向不同;周向上相同位置的所有定子齿根部 1-k-1、2-k-1 完全重叠,并组成一个定子齿根部单元,每个定子齿根部单元外缠绕有一个线圈;2i 个线圈组成电枢绕组。

[0055] 本实施方式中第一叠片 1 和第二叠片 2 中相邻定子齿根部的中心线在圆周方向上相差 $(360/2i)^\circ$ 。

[0056] 从轴向上看,位于同一个周向位置的定子齿根部完全相同并且重叠;位于同一个周向位置的定子齿顶部相互交错、无重叠。

[0057] 具体实施方式五:本实施方式是具体实施方式四所述的圆筒无重叠式横向磁通永磁直线电机的一种具体结构,本实施方式中,参数 i 取 3, p 取 2., 一共有两个叠片单元,参见图 14- 图 22, 本实施方式中,

[0058] 第一叠片 1 内腔均匀分布 6 个定子齿 1-1、1-2、1-3、1-4、1-5、1-6, 参见图 16 所示, 第 k 个定子齿 1-k 由定子齿根部 1-k-1 和定子齿顶部 1-k-2 组成, 第 k 个定子齿顶部 1-k-2 在按顺时针方向沿圆周弯曲, 相邻定子齿根部的轴线在圆周方向上相差 60° ;

[0059] 第二叠片 2 内腔均匀分布 6 个定子齿 2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、2-6, 参见图 17 所示, 第 k 个定子齿 2-k 仅包括定子齿根部 2-k-1, 相邻定子齿根部的轴线在圆周方向上相差 60° 。

[0060] 第三叠片 3 内腔均匀分布 6 个定子齿 3-1、3-2、3-3、3-4、3-5、3-6, 参见图 18 所示, 第 k 个定子齿 3-k 由定子齿根部 3-k-1 和定子齿顶部 3-k-2 组成, 第 k 个定子齿顶部 3-k-2 按逆时针方向沿圆周弯曲, 相邻定子齿根部的轴线在圆周方向上相差 60° 。

[0061] 第四叠片 4 内腔均匀分布 6 个定子齿 4-1、4-2、4-3、4-4、4-5、4-6, 参见图 19 所示, 第 k 个定子齿 4-k 仅包括定子齿根部 4-k-1, 相邻定子齿根部的轴线在圆周方向上相差 60° 。

[0062] 在轴向上, 叠片的堆叠顺序为第一叠片 1、第二叠片 2、第三叠片 3 和第四叠片 4, 第一叠片 1 和第二叠片 2 堆叠成为一个定子极, 其轴向长度为一个极距 L, 第三叠片 3 和第四叠片 4 堆叠为其相邻的定子极。

[0063] 从轴向上看, 轴向相同位置的四个定子齿根部 1-k-1、2-k-1、3-k-1、4-k-1 完全重叠; 两个定子齿顶部 3-k-2 与 1-k-2 相互交错、无重叠。

[0064] 轴向对应的、位于同一周向位置的四个定子齿根部 1-k-1、2-k-1、3-k-1、4-k-1 完全重叠组成一个单元定子根部, 每一个单元定子根部上缠绕一个电枢绕组, 参见图 15 所示, 一共有 6 个电枢绕组, 参见图 14 所示。

[0065] 上述参数 $k = 1, 2, \dots, 6$;

[0066] 定子永磁体 6 形成 3 个永磁体阵列单元, 参见图 22 所示, 每个永磁体阵列单元在圆周方向上所占角度为 120° ; 永磁体所形成的轴向磁极数为 2, 同一个极下的圆周方向有三块永磁体在圆周方向上所占的角度分别为 30° 、 60° 、 30° ; 所述 3 个永磁体阵列单元排布在轴筒 7 的外壁上; 永磁体平行充磁, 充磁方向与次级运动方向垂直, 每个永磁体阵列单元中, 相邻永磁体充磁方向相反。3 个永磁体阵列单元在轴筒的外壁上依次错开极距 L 的 $2/3$ 倍。

[0067] 本实施方式所述的电机在工作时, 第一叠片 1 与一个永磁体阵列中的永磁体产生的磁通方向参见图 20 所示, 第三叠片 3 与一个永磁体阵列中的永磁体产生的磁通方向参见

图 21 所示, 由于第一叠片 1 的定子齿顶部和第三叠片 3 的定子齿顶部相互错开、无重叠, 并且第一叠片 1 和第三叠片 3 中产生的磁通方向相同, 使通过绕组 5 的磁通为叠加关系。

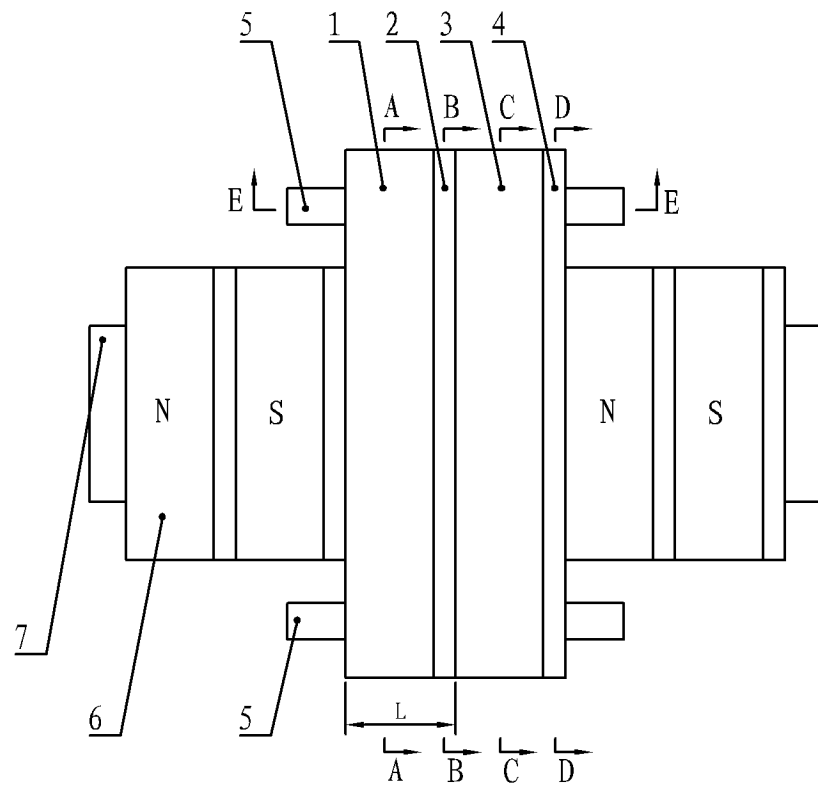


图 1

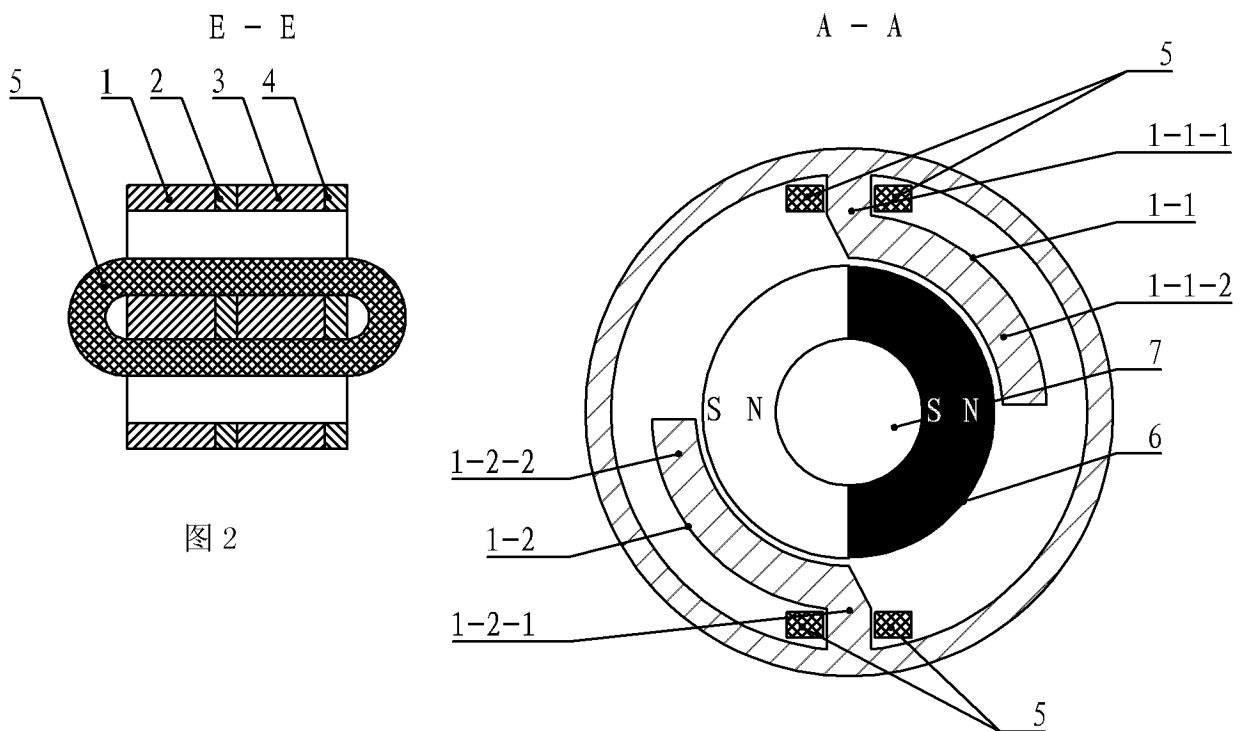


图 2

图 3

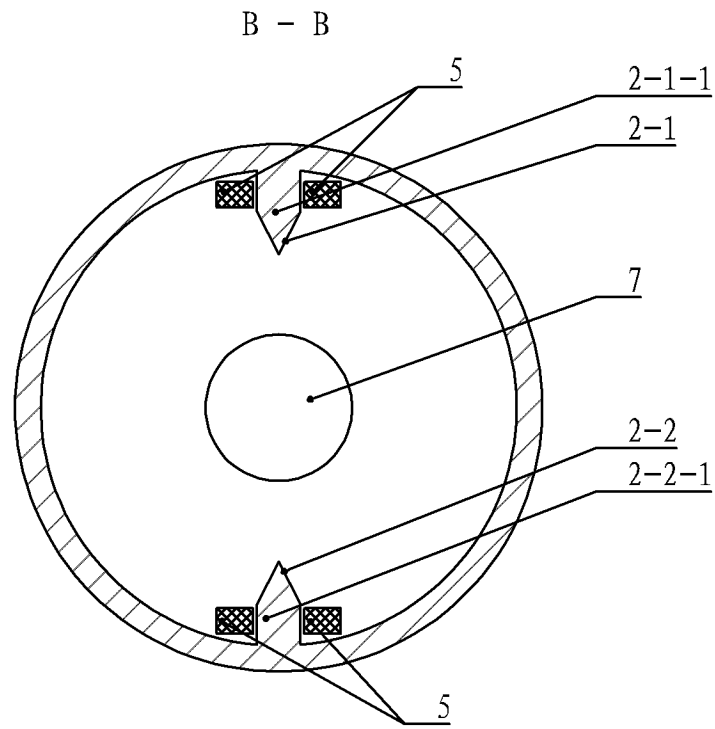


图 4

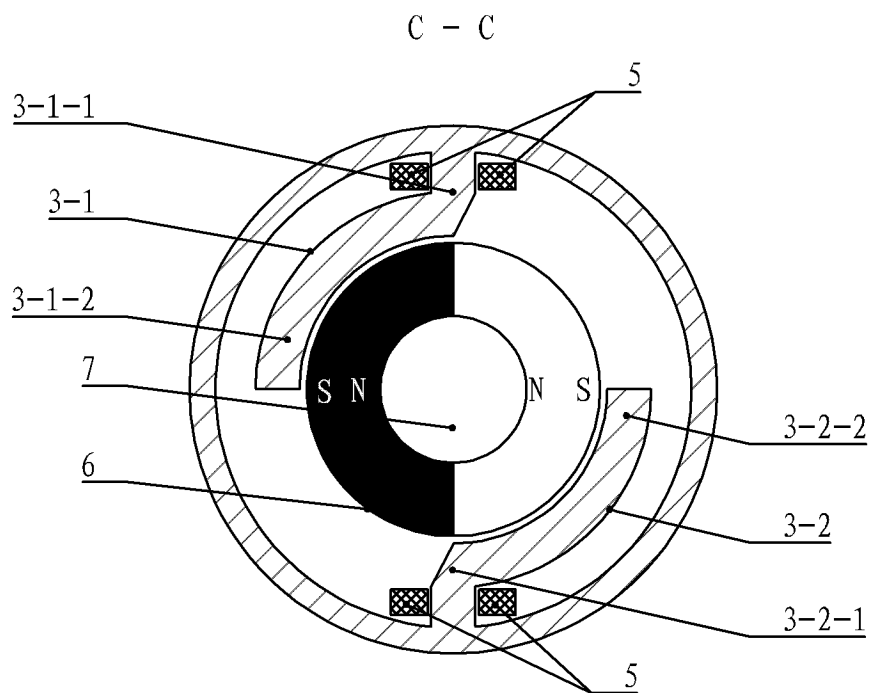


图 5

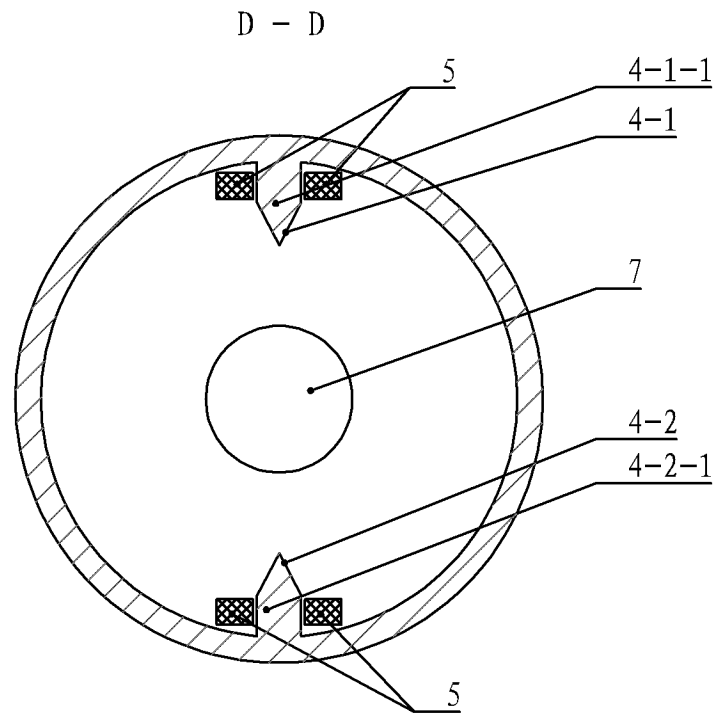


图 6

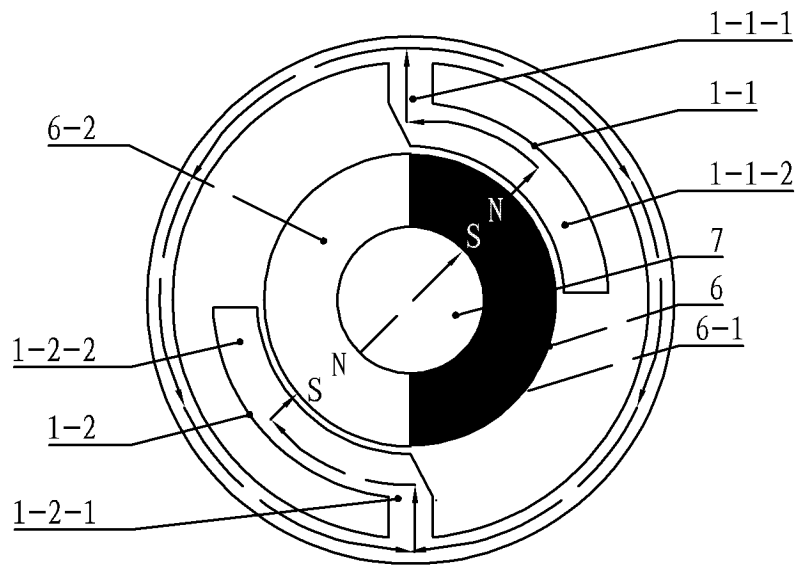


图 7

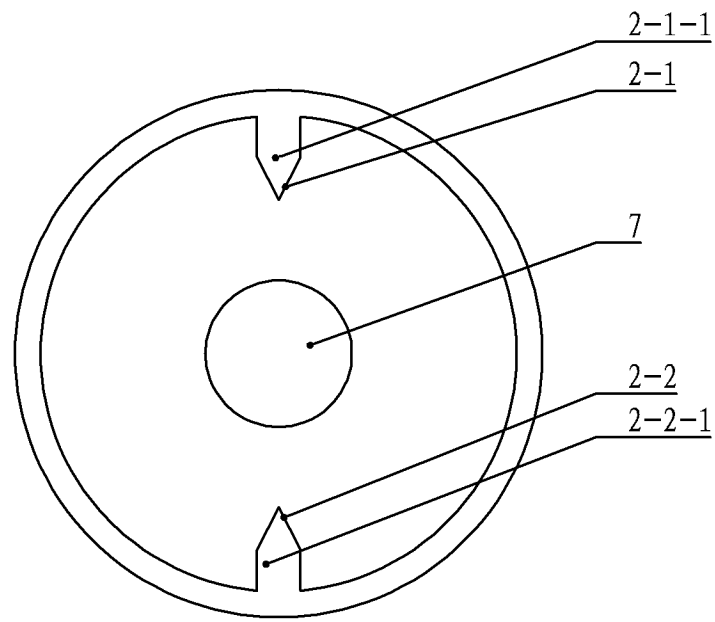


图 8

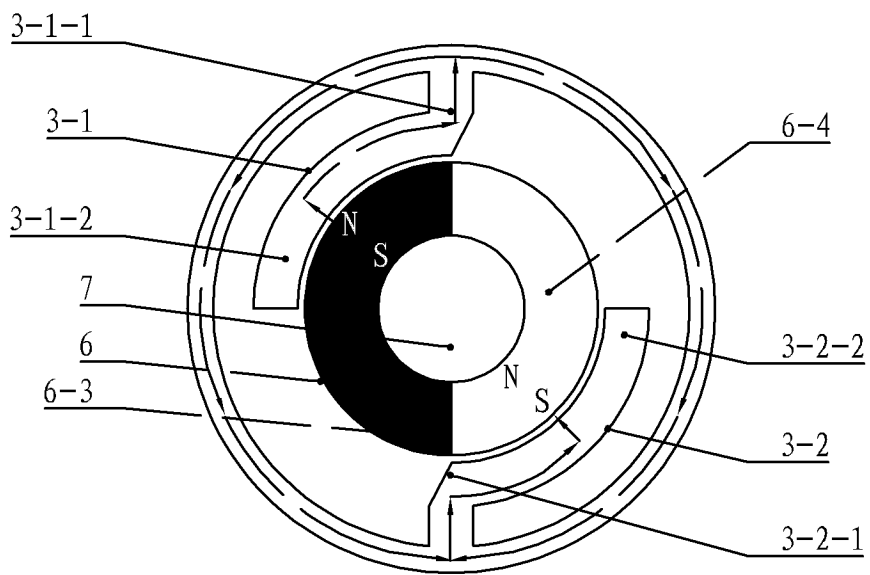


图 9

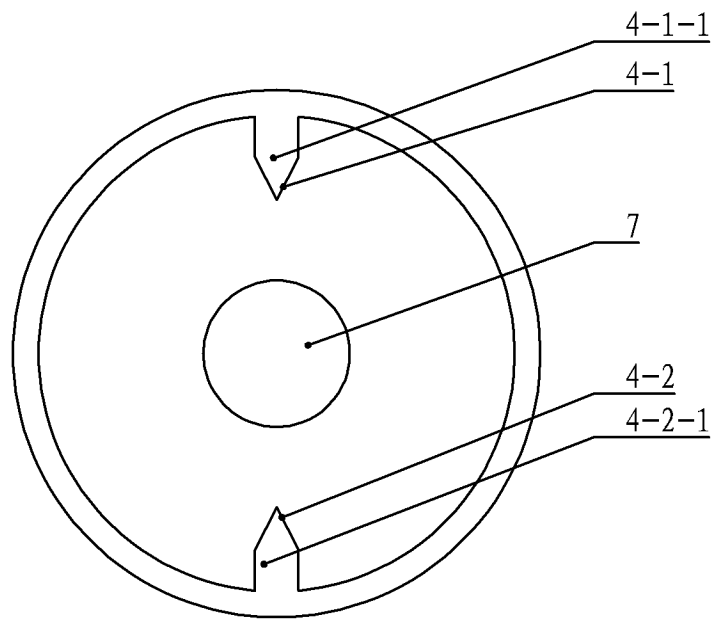


图 10

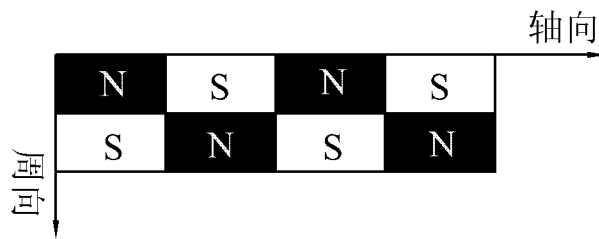


图 11

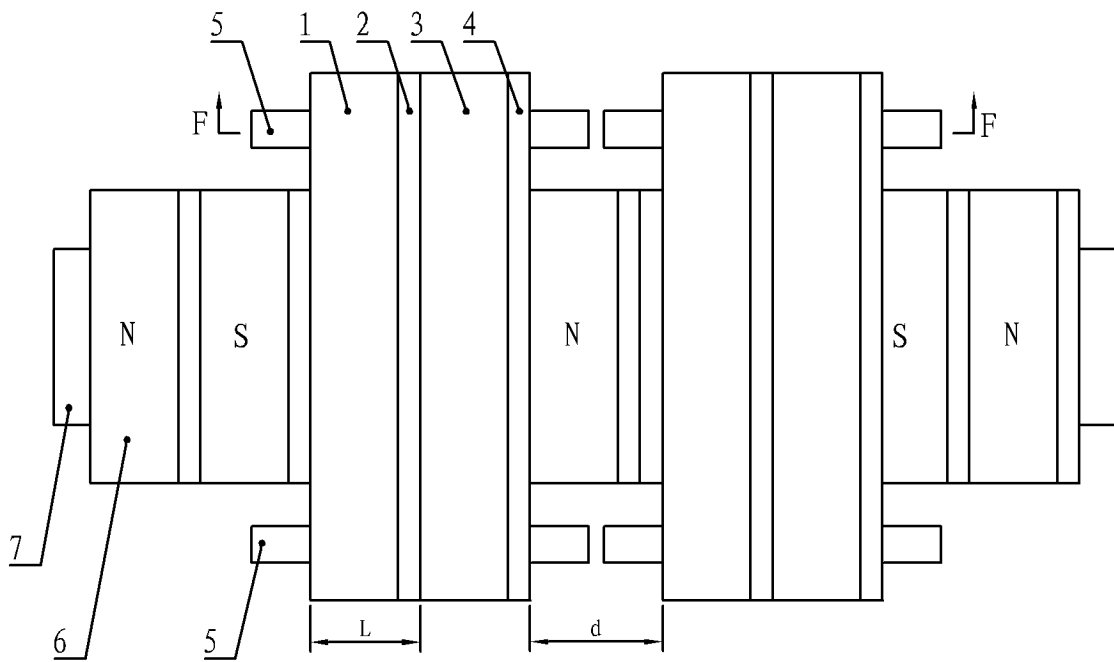


图 12

F - F

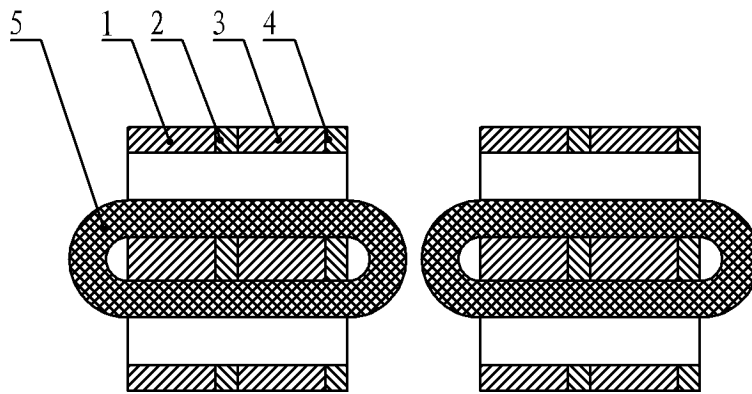


图 13

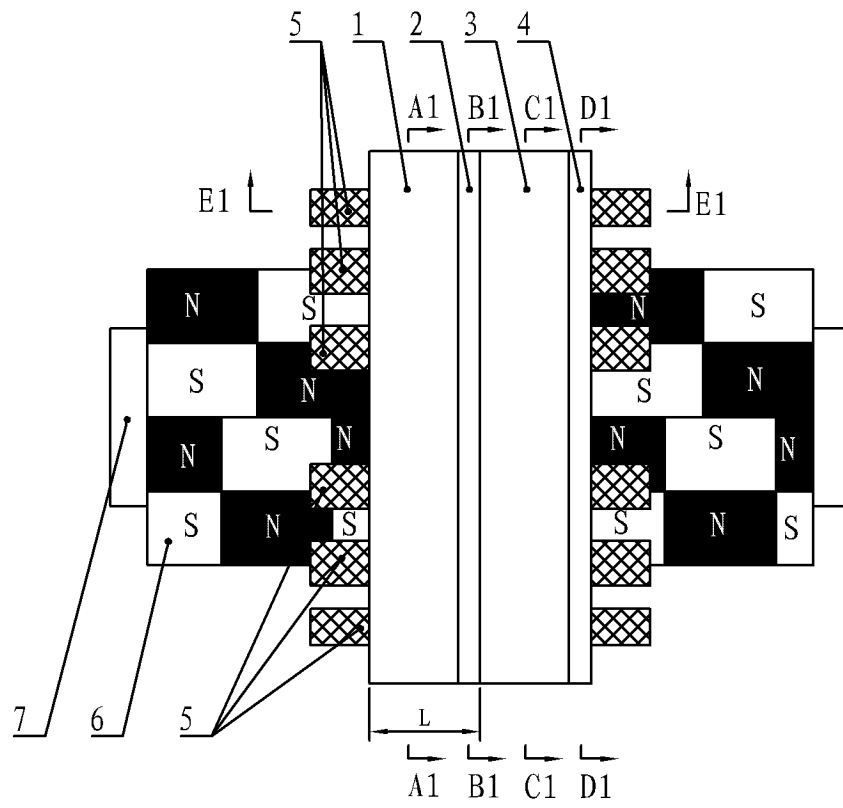


图 14

E1 - E1

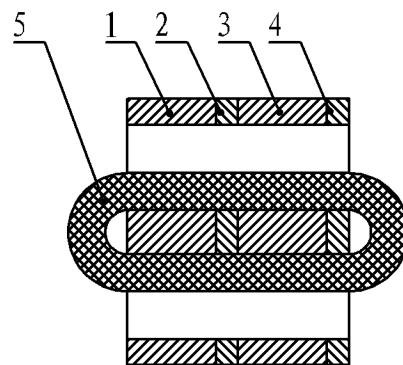


图 15

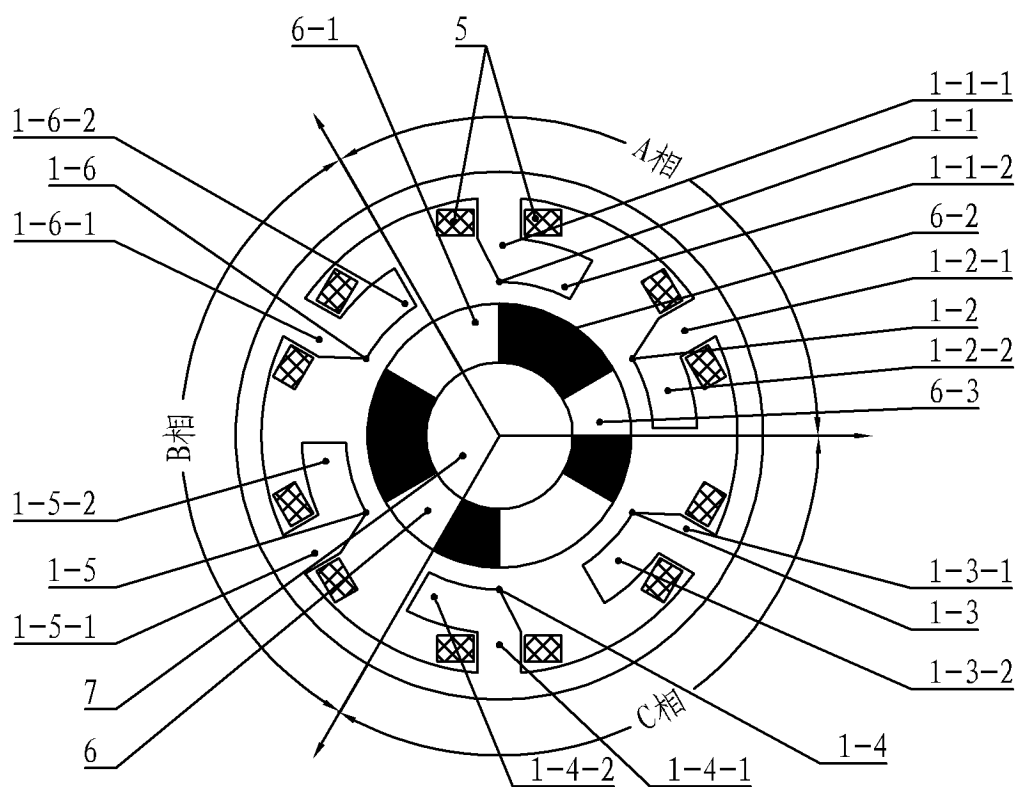


图 16

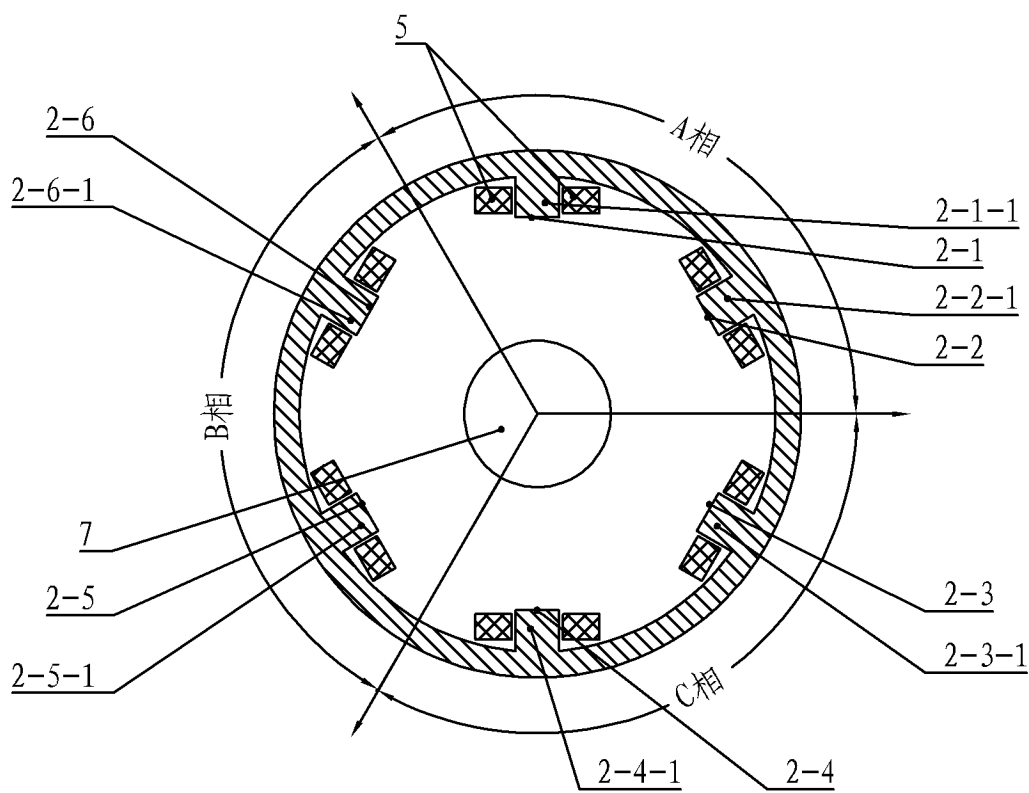


图 17

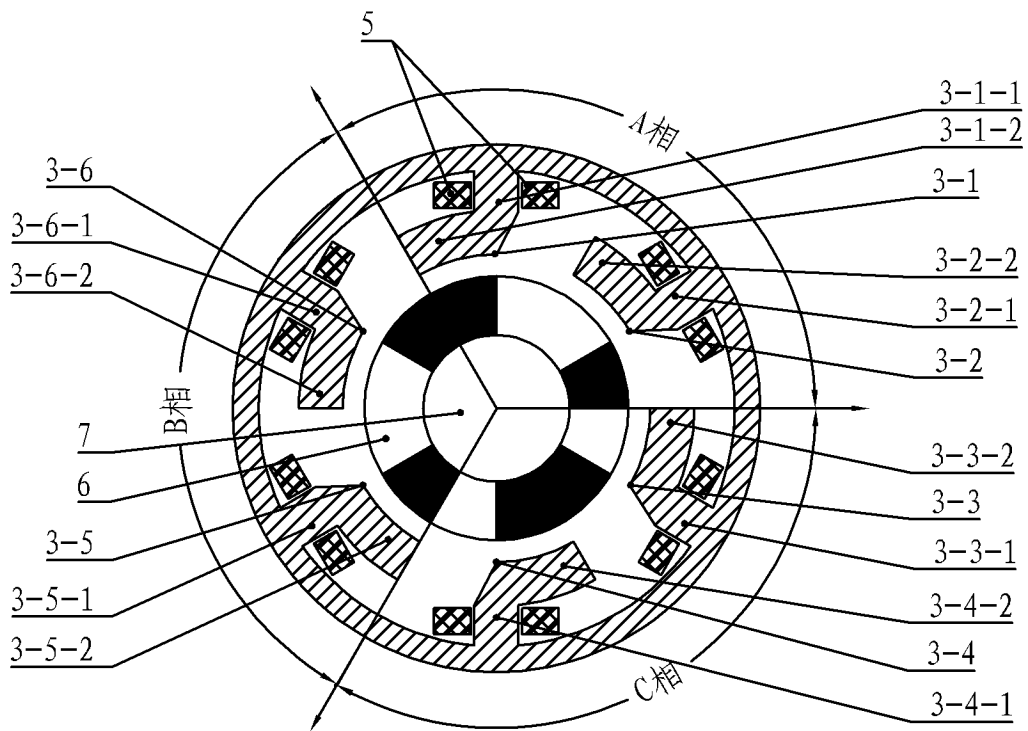


图 18

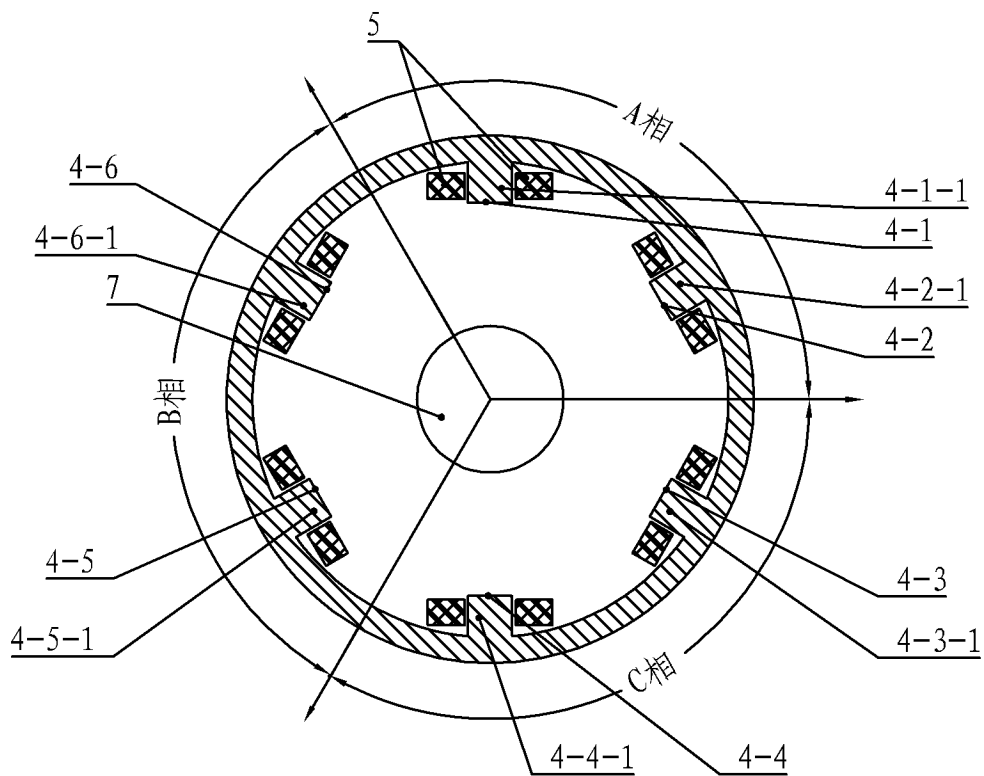


图 19

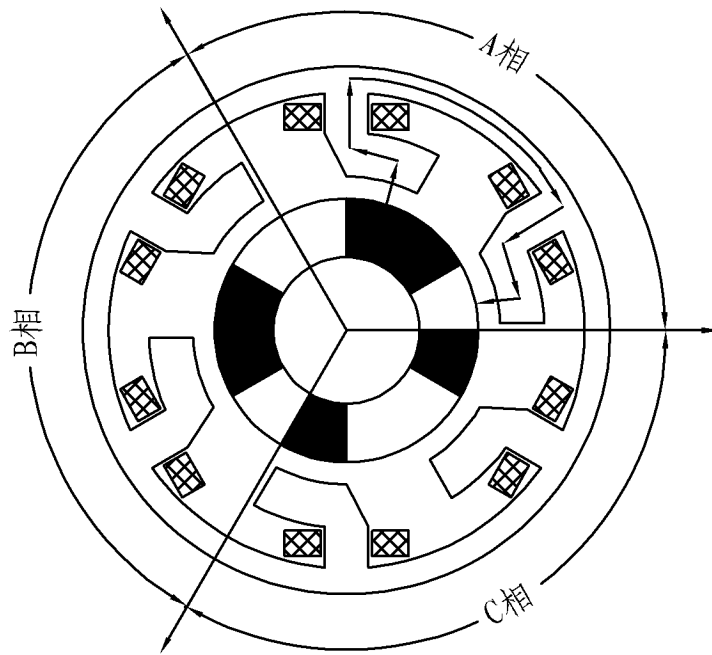


图 20

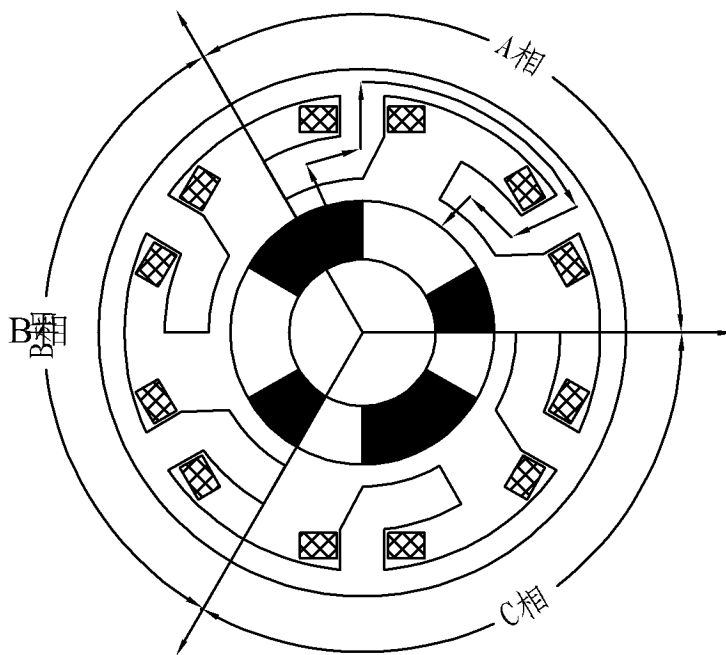


图 21

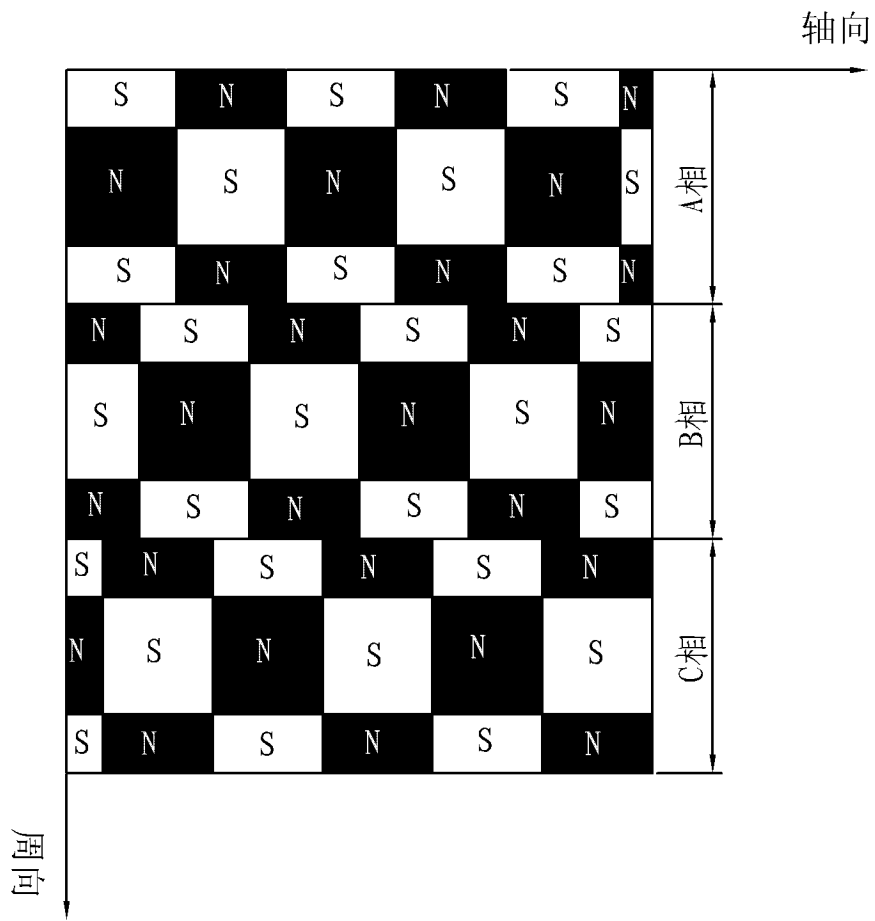


图 22