



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101752983 B

(45) 授权公告日 2012.06.27

(21) 申请号 200910217417.2

(22) 申请日 2009.12.24

(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 寇宝泉 张千帆 程树康

(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 41/03 (2006.01)

(56) 对比文件

JP 特开 2005-117049 A, 2005.04.28, 全文.

CN 101009455 A, 2007.08.01, 全文.

CN 101410949 A, 2009.04.15, 全文.

US 2007/0164697 A1, 2009.07.19, 全文.

US 6366342 B2, 2002.04.02, 全文.

邹继明等.《多自由度(旋转)电动机的发展》.《高技术通讯》.2000, 第 103-105 页.

石阳春等.《长行程直线电机的迭代学习控制》.《中国电机工程学报》.2007, 第 27 卷(第 24 期), 第 92-96 页.

审查员 宋丽

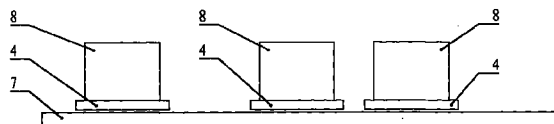
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 8 页

(54) 发明名称

长行程高精度多自由度平面电机

(57) 摘要

长行程高精度多自由度平面电机,属于电机领域,它解决了现有平面电机存在动子的行程有限、控制复杂以及定位精度低等问题。所述平面电机包括一个长行程平面电机的定子、 i 个长行程平面电机的动子、 i 个短行程平面电机和 i 组磁悬浮支撑装置,每个长行程平面电机的动子上固定有一个短行程平面电机和 1 个磁悬浮支撑装置,每组磁悬浮支撑装置包括 m 个磁悬浮支撑机构, m 个磁悬浮支撑机构均多分布在所述短行程平面电机的定子的周边,所述短行程平面电机的定子与长行程平面电机的动子、 m 个磁悬浮支撑机构的定子固定连接,所述 m 个磁悬浮支撑机构的动子均与所述短行程平面电机的动子固定连接, i 为大于零的整数, m 为大于 1 的整数。



1. 长行程高精度多自由度平面电机,其特征在于,它包括一个长行程平面电机的定子(7)、 i 个长行程平面电机的动子(4)和 i 个短行程多自由度磁悬浮平面电机(8),每个长行程平面电机的动子上固定有一个短行程多自由度磁悬浮平面电机(8),每个短行程多自由度磁悬浮平面电机(8)由短行程平面电机和磁悬浮支撑装置组成,每组磁悬浮支撑装置包括 m 个磁悬浮支撑机构,所述短行程平面电机的定子与长行程平面电机的动子固定连接, m 个磁悬浮支撑机构均匀分布在所述短行程平面电机的定子的周边,并且所述 m 个磁悬浮支撑机构的定子都与长行程平面电机的动子固定连接,所述 m 个磁悬浮支撑机构的动子均与所述短行程平面电机的动子固定连接, i 为大于零的整数, m 为大于1的整数。

2. 根据权利要求1所述的长行程高精度多自由度平面电机,其特征在于,长行程平面电机的动子采用磁悬浮支撑或气浮支撑。

3. 根据权利要求1所述的长行程高精度多自由度平面电机,其特征在于,所述 m 为4,即每组磁悬浮支撑机构由4个磁悬浮支撑机构组成,所述4个磁悬浮支撑机构(1)分别位于短行程平面电机的定子的四周。

4. 根据权利要求1所述的长行程高精度多自由度平面电机,其特征在于,所述 m 为3,即每组磁悬浮支撑机构由3个磁悬浮支撑机构(1)组成,所述3个磁悬浮支撑机构(1)相互之间呈 120° 。

5. 根据权利要求1所述的长行程高精度多自由度平面电机,其特征在于,所述磁悬浮支撑机构(1)由定子和动子(13)构成,定子包括上轭板(101)、上轭板永磁体组(103)、上控制线圈组(102)、两个支撑边(14)、下轭板(111)、下轭板永磁体组(113)、下控制线圈组(112),上轭板(101)和下轭板(111)相互平行布置,上轭板(101)和下轭板(111)与两个支撑边(14)组成矩形框,上轭板永磁体组(103)固定在上轭板(101)的下表面上,下轭板永磁体组(113)固定在下轭板(111)的上表面上,所述上轭板永磁体组(103)和下轭板永磁体组(113)分别包括两块永磁体,每块永磁体的外侧缠绕有水平方向的线圈,缠绕在上轭板永磁体组(103)中的两个永磁体外侧的两个线圈组成上控制线圈组(102),缠绕在下轭板永磁体组(113)中的两个永磁体外侧的两个线圈组成下控制线圈组(112),动子(13)由两块永磁体和一块连结板组成,所述连结板位于所述两块永磁体之间,动子(13)位于上轭板永磁体组(103)和下轭板永磁体组(113)之间,并且所述上轭板永磁体组(103)、下轭板永磁体组(113)和动子中的两个永磁体位于同一平面内。

6. 根据权利要求1所述的长行程高精度多自由度平面电机,其特征在于,所述磁悬浮支撑机构(1)包括上轭板(101)、上轭板永磁体组(103)、上控制线圈组(102)、两个支撑边(14)、下轭板(111)、下轭板永磁体组(113)、下控制线圈组(112)和动子(13)组成,上轭板(101)和下轭板(111)相互平行布置,上轭板(101)和下轭板(111)与两个支撑边(14)组成矩形框,每个支撑边(14)的两端分别与上轭板(101)和下轭板(111)固定连接,上轭板永磁体组(103)固定在上轭板(101)的下表面上,下轭板永磁体组(113)固定在下轭板(111)的上表面上,所述上轭板永磁体组(103)和下轭板永磁体组(113)分别包括两块永磁体,上控制线圈组(102)缠绕在上轭板(101)上,并位于上轭板永磁体组(103)中的两块永磁体之间,下控制线圈组(112)缠绕在下轭板(111)上,并位于下轭板永磁体组(113)的两块永磁体中间,动子(13)由两块永磁体和一块连结板组成,所述连结板位于所述两块永磁体之间,动子(13)位于上轭板永磁体组(103)和下轭板永磁体组(113)之间,并且所述上

轭板永磁体组 (103)、下轭板永磁体组 (113) 和动子中的两个永磁体位于同一平面内。

7. 根据权利要求 5 所述的长行程高精度多自由度平面电机, 其特征在于, 上轭板永磁体组 (103) 中的两块永磁体的充磁方向相反, 下轭板永磁体组 (113) 中的两块永磁体的充磁方向相反, 磁悬浮支撑机构的动子的两块永磁体垂直相邻、且所述两块永磁体的充磁方向相同, 所述磁悬浮支撑机构的动子与下轭板永磁体组 (113) 中相邻的永磁体的充磁方向相反, 磁悬浮支撑机构的动子 (13) 中的两块永磁体的充磁方向相反, 下轭板永磁体组 (113) 与磁悬浮支撑机构的动子 (13) 中垂直相邻的两块永磁体的充磁方向相反。

8. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的长行程高精度多自由度平面电机, 其特征在于, 所述短行程平面电机 (2) 为单边结构或者双边结构。

9. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的长行程高精度多自由度平面电机, 其特征在于, 所述短行程平面电机 (2) 是单边结构的短行程平面电机, 所述短行程平面电机包括电枢部件和永磁体励磁部件, 电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙, 其中电枢部件包括电枢绕组和电枢铁心, 永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板,

所述电枢绕组为四相绕组, 所述电枢绕组由 4 个线圈组成, 每个线圈为正方形, 且绕向相同, 所述 4 个线圈组成“田”字形固定在电枢铁心上, 所述 4 个线圈所在平面为 XY 平面, 每个线圈的边平行于 XY 平面的 X 轴或 Y 轴, 每个线圈为一相绕组,

永磁体阵列包括 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体, 所述 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体组成“#”字形, 所述永磁体阵列固定在永磁体轭板上, 并且所述永磁体阵列所在平面与 XY 平面平行, 所述“#”字形的四个交叉点分别与 4 个线圈的中心位置相对应;

4 块正方形永磁体分别位于“#”字形的四个交叉点处, 并且每个正方形永磁体的边与线圈的边相平行,

12 块垂直充磁永磁体分别位于所述 4 块正方形永磁体的四周,

所述正方形永磁体的充磁方向与其正方形端面的对角线平行,

平行相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相差 90° , 并且对角相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相反,

与每一个正方形永磁体相邻的 4 个垂直充磁永磁体中, 与正方形永磁体的磁力线所指向的两条边相邻的 2 块垂直充磁永磁体为 N 极, 另外 2 块垂直充磁永磁体为 S 极,

电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$ 。

10. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的长行程高精度多自由度平面电机, 其特征在于, 所述短行程平面电机 (2) 是单边结构的短行程平面电机, 所述短行程平面电机 (2) 由 4 个电机单元构成, 每个电机单元包括电枢部件和永磁体励磁部件, 电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙, 其中电枢部件包括电枢绕组和电枢铁心, 永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板,

每个电机单元的电枢绕组由 1 个线圈组成, 所述线圈为正方形, 每个电机单元中的电枢绕组单独控制, 4 个电枢绕组对角相邻组成“十”字形,

每个电机单元的永磁体轭板平行于电枢绕组的线圈所在平面, 每个电机单元的永磁体阵列包括 1 块正方形永磁体和 4 块垂直充磁永磁体, 所述 1 块正方形永磁体和 4 块垂直充磁永磁体组成“十”字形永磁体阵列, 所述 4 块垂直充磁永磁体分别位于正方形永磁体的四

周,并且分别与正方形永磁体的四条边相邻,所述正方形永磁体与线圈的中心位置相对应,与正方形永磁体相互平行的两条边相邻的两块垂直充磁永磁体的充磁方向相反,所述正方形永磁体平行充磁,充磁方向为与正方形端面的对角线平行的方向,并且所述充磁方向为由与其相邻的 S 极永磁体指向 N 极永磁体,

平行相邻的两个电机单元中的正方形永磁体的充磁方向相差 90° ,并且对角相邻的两个电机单元中的正方形永磁体的充磁方向相同,

电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$ 。

长行程高精度多自由度平面电机

技术领域

[0001] 本发明属于电机领域,具体涉及一种长行程高精度多自由度平面电机。

背景技术

[0002] 现代精密、超精密加工装备对高响应、高速度、高精度的平面驱动装置有着迫切的需求,如机械加工、电子产品生产、机械装卸、制造自动化仪表设备甚至机器人驱动等。通常这些装置由旋转式电动机产生动力驱动,再由皮带、滚珠丝杆等机械装置,转换为直线运动。由于机械装置复杂,传动精度和速度都受到限制,且需经常调校,造成成本高、可靠性差、体积较大。最初的平面驱动装置是由两台直接驱动的直线电机来实现的,采用层叠式驱动结构,这种结构增加了传动系统的复杂性,从本质上没有摆脱低维运动机构叠加形成高维运动机构的模式。对于底层的直线电机,要承载上层直线电机及其相关机械部件的总质量,从而严重影响了定位和控制精确度。而直接利用电磁能产生平面运动的平面电机,具有出力密度高、低热耗、高速度、高精度和高可靠性的特点,因省去了从旋转运动到直线运动再到平面运动的中间转换装置,可把控制对象同电机做成一体化结构,具有反应快、灵敏度高、随动性好及结构简单等优点。根据平面电机电磁推力的产生原理,可以将平面电机分为变磁阻型、同步型和感应型。其中,同步型平面电机具有结构简单、推力大、效率高和响应速度快等良好的综合性能,在二维平面驱动装置、特别是精密二维平面驱动装置中具有广阔的应用前景。

[0003] 图 17 所示为现有的一种平面电机结构,图 18 是所述电机的永磁体阵列的结构示意图。该电机中包括定子和动子两大部件,它的工作原理类似于三相旋转永磁同步电机,定子包含铁心和 4 个相互垂直放置的推力绕组,每个绕组有独立的 3 个相,X 向推力绕组用于驱动动子沿 X 方向运动,Y 向推力绕组用于驱动动子沿 Y 方向运动。动子包含动子平台和 4 个永磁体阵列,永磁体阵列排列在动子平台的下表面,通过控制相应的三相绕组电流,动子平台就可以在平面上做定位运动。

[0004] 但是,该永磁同步平面电机存在动子的行程有限、控制复杂以及定位精度低等问题。

发明内容

[0005] 为了解决现有平面电机存在动子的行程有限、控制复杂以及定位精度低等问题,本发明提出一种长行程高精度多自由度平面电机。

[0006] 一种长行程高精度多自由度平面电机,它包括一个长行程平面电机的定子 7、i 个长行程平面电机的动子 4 和 i 个短行程多自由度磁悬浮平面电机 8,每个长行程平面电机的动子上 4 固定有一个短行程多自由度磁悬浮平面电机 8,每个短行程多自由度磁悬浮平面电机 8 由短行程平面电机和 1 个磁悬浮支撑装置组成,每组磁悬浮支撑装置包括 m 个磁悬浮支撑机构,所述短行程平面电机的定子与长行程平面电机的动子固定连接,m 个磁悬浮支撑机构均匀分布在所述短行程平面电机的定子的周边,并且所述 m 个磁悬浮支撑机构的定

子都与长行程平面电机的动子固定连接,所述 m 个磁悬浮支撑机构的动子均与所述短行程平面电机的动子固定连接, i 为大于零的整数, m 为大于 1 的整数。

[0007] 本发明可以使平面电机动子的行程不受限制,通过控制长行程平面电机的电枢绕组中的电流,可以控制作用于长行程平面电机动子上的电磁力,使动子产生 X 方向、Y 方向(若是磁悬浮,还要产生 Z 方向运动)运动,在 X 方向、Y 方向行程不受限制,且可高速运动;通过控制短行程平面电机各个线圈电流的大小与方向,即可控制作用在其动子上 X 方向、Y 方向电磁力的大小与方向以及绕 Z 轴旋转电磁转矩的大小与方向;同时,通过控制磁悬浮支撑机构控制线圈中电流的大小与方向,即可控制作用在动子上 Z 方向电磁力的大小与方向以及绕 X 轴、绕 Y 轴旋转电磁转矩的大小与方向,从而实现平面电机的 6 自由度高精度运动控制。

附图说明

[0008] 图 1 是本发明所述的长行程高精度多自由度平面电机的结构示意图,图 2 是 $m = 3$ 时,1 个短行程多自由度磁悬浮平面电机 8 的结构示意图。图 3 和 4 是具体实施方式四和五所述的磁悬浮支撑机构 1 的结构示意图。图 5 和 6 是具体实施方式六和七所述的磁悬浮支撑机构 1 的结构示意图。图 7 是具体实施方式九所述的短行程平面电机的电枢部件和永磁体励磁部件的结构示意图,图 8 是图 7 中的永磁体阵列的结构示意图。图 9 是具体实施方式十、十一所述的永磁体阵列的结构示意图。图 10 是具体实施方式十五所述的,当 $n = 2$ 时的平面电机的电枢绕组和永磁体阵列的结构示意图,图 11 是图 10 中的永磁体阵列的结构示意图,图 12 是具体实施方式十六所述的永磁体阵列的结构示意图,图 13 是具体实施方式二十二所述的双边结构的电机结构示意图,图 14 是图 13 中的电枢部件的结构示意图,图 15 是具体实施方式二十所述的平面电机的电枢绕组和永磁体阵列的结构示意图,图 16 是具体实施方式二十一所述的永磁体阵列的结构示意图。图 17、图 18 是现有平面电机的结构示意图。

具体实施方式

[0009] 具体实施方式一:参见图 1 说明本实施方式。本实施方式所述的长行程高精度多自由度平面电机,它包括一个长行程平面电机的定子 7、 i 个长行程平面电机的动子 4 和 i 个短行程多自由度磁悬浮平面电机 8,每个长行程平面电机的动子上 4 固定有一个短行程多自由度磁悬浮平面电机 8,每个短行程多自由度磁悬浮平面电机 8 由短行程平面电机和 1 个磁悬浮支撑装置组成,每组磁悬浮支撑装置包括 m 个磁悬浮支撑机构,所述短行程平面电机的定子与长行程平面电机的动子固定连接, m 个磁悬浮支撑机构均匀分布在所述短行程平面电机的定子的周边,并且所述 m 个磁悬浮支撑机构的定子都与长行程平面电机的动子固定连接,所述 m 个磁悬浮支撑机构的动子均与所述短行程平面电机的动子固定连接, i 为大于零的整数, m 为大于 1 的整数。

[0010] 本实施方式中的长行程平面电机的动子采用磁悬浮支撑或气浮支撑。

[0011] 具体实施方式二:本实施方式与具体实施方式一所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述 m 为 3,即每组磁悬浮支撑机构由 3 个磁悬浮支撑机构 1 组成,所述 3 个磁悬浮支撑机构 1 相互之间呈 120° 。

[0012] 具体实施方式三：本实施方式是具体实施方式二所述的短行程多自由度磁悬浮平面电机 8 的一个实施例。参见图 2 所示，图中的短行程平面电机 2 为对称结构的正六边形的双边结构，且位于两侧的永磁体励磁部件阵列为动子为 202，中间的电枢部件为定子 201，其中三个磁悬浮支撑机构 1 相互之间呈 120° 固定在底板 4 的上表面，三个支撑架 3 相互之间呈 120° 固定在底板 4 的上表面，并且所述三个磁悬浮支撑机构 1 与三个支撑架 3 相间设置、围成对称结构的正六边形，短行程平面电机位于由三个磁悬浮支撑机构 1 与三个支撑架 3 围成的对称结构的正六边形中，所述短行程平面电机的定子通过三块定子固定板 6 分别与三个支撑架 3 固定连接，所述短行程平面电机的动子通过三块动子固定板 5 分别与三个磁悬浮支撑机构 1 中的动子 13 的连接板固定连接。三个支撑架 3 起到固定短行程平面电机的定子的目的。

[0013] 具体实施方式四：参见图 3 和 4 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式一、二或三所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于，所述磁悬浮支撑机构 1 由定子和动子 13 构成，定子包括上轭板 101、上轭板永磁体组 103、上控制线圈组 102、两个支撑边 14、下轭板 111、下轭板永磁体组 113、下控制线圈组，上轭板 101 和下轭板 111 相互平行布置，上轭板 101 和下轭板 111 与两个支撑边 14 组成矩形框，上轭板永磁体组 103 固定在上轭板 101 的下表面上，下轭板永磁体组 113 固定在下轭板 111 的上表面上，所述上轭板永磁体组 103 和下轭板永磁体组 113 分别包括两块永磁体，每块永磁体的外侧缠绕有水平方向的线圈，缠绕在上轭板永磁体组 103 中的两个永磁体外侧的两个线圈组成上控制线圈组 102，缠绕在下轭板永磁体组 113 中的两个永磁体外侧的两个线圈组成下控制线圈组 112，动子 13 由两块永磁体和一块连结板组成，所述连结板位于两块永磁体之间，动子 13 位于上轭板永磁体组 103 和下轭板永磁体组 113 之间，并且所述上轭板永磁体组 103、下轭板永磁体组 113 和动子中的两个永磁体位于同一平面内。

[0014] 具体实施方式五：参见图 3 和 4 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式四所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于，上轭板永磁体组 103 中的两块永磁体的充磁方向相反，下轭板永磁体组 113 中的两块永磁体的充磁方向相反，动子的两块永磁体垂直相邻、且两块永磁体的充磁方向相同，所述动子与下轭板永磁体组 113 中相邻的永磁体的充磁方向相反，动子 13 中的两块永磁体的充磁方向相反，下轭板永磁体组 113 与动子 13 中垂直相邻的两块永磁体的充磁方向相反。

[0015] 本实施方式中的上轭板永磁体组 103 与动子 13 中垂直相邻的两块永磁体的充磁方向相同或相反。

[0016] 具体实施方式六：参见图 5 和 6 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式一、二或三所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于，所述磁悬浮支撑机构 1 包括上轭板 101、上轭板永磁体组 103、上控制线圈组 102、两个支撑边 14、下轭板 111、下轭板永磁体组 113、下控制线圈组 112 和动子 13 组成，上轭板 101 和下轭板 111 相互平行布置，上轭板 101 和下轭板 111 与两个支撑边 14 组成矩形框，每个支撑边 14 的两端分别与上轭板 101 和下轭板 111 固定连接，上轭板永磁体组 103 固定在上轭板 101 的下表面上，下轭板永磁体组 113 固定在下轭板 111 的上表面上，所述上轭板永磁体组 103 和下轭板永磁体组 113 分别包括两块永磁体，上控制线圈组 102 缠绕在上轭板 101 上，并位于上轭板永磁体组 103 中的两块永磁体之间，下控制线圈组 112 缠绕在下轭板 111 上，并位于下轭板永磁体组 113 中

间,动子 13 由两块永磁体和一块连结板组成,所述连结板位于两块永磁体之间,动子 13 位于上轭板永磁体组 103 和下轭板永磁体组 113 之间,并且所述上轭板永磁体组 103、下轭板永磁体组 113 和动子中的两个永磁体位于同一平面内。

[0017] 具体实施方式七:参见图 5 和 6 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式六所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,上轭板永磁体组 103 中的两块永磁体的充磁方向相反,下轭板永磁体组 113 中的两块永磁体的充磁方向相反,动子的两块永磁体垂直相邻、且两块永磁体的充磁方向相同,所述动子与下轭板永磁体组 113 中相邻的永磁体的充磁方向相反,动子 13 中的两块永磁体的充磁方向相反,下轭板永磁体组 113 与动子 13 中垂直相邻的两块永磁体的充磁方向相反。

[0018] 本实施方式中的上轭板永磁体组 103 与动子 13 中垂直相邻的两块永磁体的充磁方向相同或相反。

[0019] 具体实施方式八:本实施方式与具体实施方式一所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述短行程平面电机 2 为单边结构或者双边结构。

[0020] 具体实施方式九:参见图 7、8 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式一所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述短行程平面电机 2 是单边结构的短行程平面电机,所述短行程平面电机包括电枢部件和永磁体励磁部件,电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙,其中电枢部件包括电枢绕组和电枢铁心,永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板,

[0021] 所述电枢绕组为四相绕组,所述电枢绕组由 4 个线圈组成,每个线圈为正方形,且绕向相同,所述 4 个线圈组成“田”字形固定在电枢铁心上,所述 4 个线圈所在平面为 XY 平面,每个线圈的边平行于 XY 平面的 X 轴或 Y 轴,每个线圈为一相绕组,

[0022] 永磁体阵列包括 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体,所述 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体组成“#”字形,所述永磁体阵列固定在永磁体轭板上,并且所述永磁体阵列所在平面与 XY 平面平行,所述“#”字形的四个交叉点分别与 4 个线圈的中心位置相对应;

[0023] 4 块正方形永磁体分别位于“#”字形的四个交叉点处,并且每个正方形永磁体的边与线圈的边相平行,

[0024] 12 块垂直充磁永磁体分别位于所述 4 块正方形永磁体的四周,

[0025] 所述正方形永磁体的充磁方向与其正方形端面的对角线平行,

[0026] 平行相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相差 90° , 并且对角相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相反,

[0027] 与每一个正方形永磁体相邻的 4 个垂直充磁永磁体中,与正方形永磁体的磁力线所指向的两条边相邻的 2 块垂直充磁永磁体为 N 极,另外 2 块垂直充磁永磁体为 S 极,

[0028] 电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$ 。

[0029] 具体实施方式十:参见图 9 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式九所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述永磁体阵列还包括 4 块正方形永磁体,所述 4 块正方形永磁体组成一个正方形,并嵌入“#”字形永磁体阵列的中心位置,所述 4 块正方形永磁体为平行充磁,且充磁方向与其正方形端面的对角线平行,所述充磁方向是由与其相邻的 S 极永磁体指向 N 极永磁体。

[0030] 具体实施方式十一：参见图 9 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式九或十所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于，所述永磁体阵列还包括 4 块直角三角形永磁体，所述 4 块直角三角形永磁体分别位于“#”字形永磁体阵列的四个角、并嵌在对角相邻的两块垂直充磁永磁体之间，每个直角三角形永磁体的两个直角边分别与一个垂直永磁体相邻，所述每个直角三角形永磁体为平行充磁，且充磁方向和与其对角相邻的正方形永磁体的充磁方向相同。

[0031] 具体实施方式十二：本实施方式与具体实施方式一所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于，所述短行程平面电机 2 是双边结构的短行程平面电机，所述双边结构的短行程直流平面电机包括电枢部件和两个永磁体励磁部件，所述两个永磁体励磁部件相互平行，电枢部件位于两个永磁体励磁部件的中间，电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙，

[0032] 其中电枢部件包括电枢绕组，永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板，两个永磁体励磁部件的结构相同；

[0033] 所述电枢绕组为四相绕组，所述电枢绕组由 4 个线圈组成，每个线圈为正方形，且绕向相同，所述 4 个线圈组成“田”字形排列固定，所述 4 个线圈所在平面为 XY 平面，每个线圈的边平行于 XY 平面的 X 轴或 Y 轴，每个线圈为一相绕组，

[0034] 永磁体阵列包括 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体，所述 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体组成“#”字形，所述永磁体阵列固定在永磁体轭板上，并且所述永磁体阵列所在平面与 XY 平面平行，所述“#”字形的四个交叉点分别与 4 个线圈的中心位置相对应；

[0035] 4 块正方形永磁体分别位于“#”字形的四个交叉点处，并且每个正方形永磁体的边与线圈的边相平行，

[0036] 12 块垂直充磁永磁体分别位于所述 4 块正方形永磁体的四周，

[0037] 所述正方形永磁体的充磁方向与其正方形端面的对角线平行，

[0038] 平行相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相差 90° ，并且对角相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相反，

[0039] 与每一个正方形永磁体相邻的 4 个垂直充磁永磁体中，与正方形永磁体的磁力线所指向的两条边相邻的 2 块垂直充磁永磁体为 N 极，另外 2 块垂直充磁永磁体为 S 极，

[0040] 电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$ ，

[0041] 两个永磁体励磁部件的永磁体阵列中，位置相同的两块垂直充磁永磁体的充磁方向相同，位置相同的两块平行充磁永磁体的充磁方向相反。

[0042] 本实施方式中所述的双边结构的短行程直流平面电机是在具体实施方式九所述的单边结构的短行程平面电机的结构基础之上增加一个永磁体励磁部件实现的。

[0043] 具体实施方式十三：本实施方式与具体实施方式十二所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于，所述永磁体阵列还包括 4 块正方形永磁体，所述 4 块正方形永磁体组成一个正方形，并嵌入“#”字形永磁体阵列的中心位置，所述 4 块正方形永磁体为平行充磁，且充磁方向与其正方形端面的对角线平行，所述充磁方向是由与其相邻的 S 极永磁体指向 N 极永磁体。

[0044] 具体实施方式十四：本实施方式与具体实施方式十二或十三所述的长行程高精度

多自由度平面电机的区别在于,所述永磁体阵列还包括 4 块直角三角形永磁体,所述 4 块直角三角形永磁体分别位于“#”字形永磁体阵列的四个角、并嵌在对角相邻的两块垂直充磁永磁体之间,每个直角三角形永磁体的两个直角边分别与一个垂直永磁体相邻,所述每个直角三角形永磁体为平行充磁,且充磁方向和与其对角相邻的正方形永磁体的充磁方向相同。

[0045] 具体实施方式十五:本实施方式与具体实施方式一所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述短行程直流平面电机 2 是单边结构的整体式直流平面电机,所述短行程平面电机由 $2n$ 个电机单元构成,所述 $2n$ 个电机单元排成 2 列,每个电机单元包括电枢部件和永磁体励磁部件,电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙,

[0046] 每个电机单元的电枢部件包括电枢绕组和电枢铁心, $2n$ 个电机单元的电枢铁心固定连接在一起;每个电机单元的电枢绕组由 4 个线圈组成,每个线圈为正方形,且绕向相同,对角相邻的 2 个线圈反向串联连接成一个线圈组,所述 4 个线圈组成“田”字形固定在电枢铁心上,所述 4 个线圈所在平面为 XY 平面,每个线圈的边平行于 XY 平面的 X 轴或 Y 轴,位于同一列的 n 个电机单元中,对应位置的线圈组串联连接组成一相绕组, $2n$ 个电机单元中的所有线圈组共组成四相绕组,

[0047] 每个电机单元的永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板, $2n$ 个电机单元的永磁体轭板固定连接在一起,

[0048] 每个电机单元的永磁体阵列包括 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体,所述 4 块正方形永磁体和 12 块垂直充磁永磁体组成“#”字形,所述永磁体阵列固定在永磁体轭板上,并且所述永磁体阵列所在平面与 XY 平面平行,所述“#”字形的四个交叉点分别与 4 个线圈的中心位置相对应;

[0049] 4 块正方形永磁体分别位于“#”字形的四个交叉点处,并且每个正方形永磁体的边与线圈的边相平行,

[0050] 12 块垂直充磁永磁体分别位于所述 4 块正方形永磁体的四周,

[0051] 所述正方形永磁体的充磁方向与其正方形端面的对角线平行,

[0052] 平行相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相差 90° ,并且对角相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相反,

[0053] 与每一个正方形永磁体相邻的 4 个垂直充磁永磁体中,与正方形永磁体的磁力线所指向的两条边相邻的 2 块垂直充磁永磁体为 N 极,另外 2 块垂直充磁永磁体为 S 极,

[0054] 相邻两个电机单元的永磁体阵列结构相同;

[0055] 电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$,

[0056] n 为自然数。

[0057] 本实施方式中,相邻电机单元的永磁体阵列中相邻的两块垂直充磁永磁体可以采用一块垂直充磁永磁体实现。

[0058] 参见图 10,是当 $n = 2$ 时,本实施方式所述的平面电机的电枢绕组和永磁体阵列的结构示意图,图 11 是永磁体阵列的结构示意图,相邻电机单元的永磁体阵列相连接处的、充磁方向相同的两块永磁体采用一块永磁体实现。

[0059] 具体实施方式十六:本实施方式与具体实施方式十五所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,每个电机单元中的永磁阵列还包括 4 块正方形永磁体,所述 4 块正

方形永磁体组成一个正方形,并嵌入“#”字形永磁体阵列的中心位置,所述4块正方形永磁体为平行充磁,且充磁方向与正方形永磁体的正方形端面的对角线平行,所述充磁方向是由与其相邻的S极永磁体指向N极永磁体。

[0060] 图12是当 $n = 2$,本实施方式所述的永磁体阵列的结构示意图。

[0061] 具体实施方式十七:本实施方式与具体实施方式十七所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述短行程平面电机为双边结构的整体式直流平面电机,所述短行程平面电机中由 $2n$ 个电机单元构成,所述 $2n$ 个电机单元排成2列,每个电机单元包括电枢部件和两个永磁体励磁部件,所述两个永磁体励磁部件相互平行,电枢部件位于两个永磁体励磁部件的中间,电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙,

[0062] 每个电机单元的电枢部件包括电枢绕组,每个电机单元的电枢绕组由4个线圈组成,每个线圈为正方形,且绕向相同,对角相邻的2个线圈反向串联连接成一个线圈组,所述4个线圈组成“田”字形排列固定,所述4个线圈所在平面为XY平面,每个线圈的边平行于XY平面的X轴或Y轴,位于同一列的 n 个电机单元中,对应位置的线圈组串联连接组成一相绕组, $2n$ 个电机单元中的所有线圈组共组成四相绕组,

[0063] 每个电机单元的两个永磁体励磁部件的结构相同,永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板,位于同一平面上的 $2n$ 个电机单元的永磁体轭板固定连接在一起,

[0064] 每个电机单元的永磁体阵列由平板形永磁体组成“#”字形,所述平板形永磁体包括4块正方形永磁体和12块垂直充磁永磁体,所述永磁体阵列固定在永磁体轭板上,并且所述永磁体阵列所在平面与XY平面平行,所述“#”字形的四个交叉点分别与4个线圈的中心位置相对应;

[0065] 4块正方形永磁体分别位于“#”字形的四个交叉点处,并且每个正方形永磁体的边与线圈的边相平行,

[0066] 12块垂直充磁永磁体分别位于所述4块正方形永磁体的四周,

[0067] 所述正方形永磁体的充磁方向与其正方形端面的对角线平行,

[0068] 平行相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相差 90° ,并且对角相邻的两块正方形永磁体的充磁方向相反,

[0069] 与每一个正方形永磁体相邻的4个垂直充磁永磁体中,与正方形永磁体的磁力线所指向的两条边相邻的2块垂直充磁永磁体为N极,另外2块垂直充磁永磁体为S极,

[0070] 电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$,

[0071] 两个永磁体励磁部件的永磁体阵列中,位置相同的两块垂直充磁永磁体的充磁方向相同,位置相同的两块平行充磁永磁体的充磁方向相反;

[0072] 相邻两个电机单元的永磁体阵列结构相同;

[0073] n 为自然数。

[0074] 具体实施方式十八:本实施方式与具体实施方式十七所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,每个电机单元中的永磁阵列还包括4块正方形永磁体,所述4块正方形永磁体组成一个正方形,并嵌入“#”字形永磁体阵列的中心位置,所述4块正方形永磁体为平行充磁,且充磁方向与正方形永磁体的正方形端面的对角线平行,所述充磁方向是由与其相邻的S极永磁体指向N极永磁体。

[0075] 具体实施方式十九:本实施方式与具体实施方式十七或十八所述的长行程高精度

多自由度平面电机的区别在于,每个电机单元中的永磁体阵列还包括 4 块直角三角形永磁体,所述 4 块直角三角形永磁体分别位于“#”字形永磁体阵列的四个角、并嵌在对角相邻的两块垂直充磁永磁体之间,每个直角三角形永磁体的两个直角边分别与一个垂直永磁体相邻,所述每个直角三角形永磁体为平行充磁,且充磁方向和与其对角相邻的正方形永磁体的充磁方向相同。

[0076] 具体实施方式二十:参见图 16 说明本实施方式。本实施方式与具体实施方式一所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述短行程平面电机 2 是单边结构的短行程平面电机,所述短行程平面电机 2 由 4 个电机单元构成,每个电机单元包括电枢部件和永磁体励磁部件,电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙,其中电枢部件包括电枢绕组和电枢铁心,永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板,

[0077] 每个电机单元的电枢绕组由 1 个线圈组成,所述线圈为正方形,每个电机单元中的电枢绕组单独控制,4 个电枢绕组对角相邻组成“十”字形,

[0078] 每个电机单元的永磁体轭板平行于电枢绕组的线圈所在平面,每个电机单元的永磁体阵列包括 1 块正方形永磁体和 4 块垂直充磁永磁体,所述 1 块正方形永磁体和 4 块垂直充磁永磁体组成“十”字形永磁体阵列,所述 4 块垂直充磁永磁体分别位于正方形永磁体的四周,并且分别与正方形永磁体的四条边相邻,所述正方形永磁体与线圈的中心位置相对应,与正方形永磁体相互平行的两条边相邻的两块垂直充磁永磁体的充磁方向相反,所述正方形永磁体平行充磁,充磁方向为与正方形端面的对角线平行的方向,并且所述充磁方向为由与其相邻的 S 极永磁体指向 N 极永磁体,

[0079] 平行相邻的两个电机单元中的正方形永磁体的充磁方向相差 90° ,并且对角相邻的两个电机单元中的正方形永磁体的充磁方向相同,

[0080] 电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$ 。

[0081] 具体实施方式二十一:本实施方式与具体实施方式二十所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述每个电机单元的永磁体阵列中还包括 2 个直角三角形永磁体,所述 2 个直角三角形永磁体分别与正方形永磁体相对的两个角相邻,每个直角三角形永磁体的两条直角边分别与两块垂直充磁永磁体相邻,并且所述两块垂直充磁永磁体的充磁方向相反,两个直角三角形永磁体的充磁方向与正方形永磁体的充磁方向相同。

[0082] 具体实施方式二十二:本实施方式与具体实施方式一所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述短行程平面电机为双边形分体式直流平面电机,所述平面电机由 4 个电机单元构成,每个电机单元包括电枢部件和两个永磁体励磁部件,所述两个永磁体励磁部件相互平行,电枢部件位于两个永磁体励磁部件的中间,电枢部件和永磁体励磁部件之间为气隙,其中电枢部件包括电枢绕组,两个永磁体励磁部件的结构相同,永磁体励磁部件包括永磁体阵列和永磁体轭板,

[0083] 每个电机单元的电枢绕组由 1 个线圈组成,所述线圈为正方形,每个电机单元中的电枢绕组单独控制,4 个电枢绕组对角相邻组成“十”字形,

[0084] 每个电机单元的永磁体轭板平行于电枢绕组的线圈所在平面,每个电机单元的永磁体阵列包括 1 块正方形永磁体和 4 块垂直充磁永磁体,所述 1 块正方形永磁体和 4 块垂直充磁永磁体组成“十”字形永磁体阵列,所述 4 块垂直充磁永磁体分别位于正方形永磁体的四周,并且分别与正方形永磁体的四条边相邻,所述正方形永磁体与线圈的中心位置相

对应,与正方形永磁体相互平行的两条边相邻的两块垂直充磁永磁体的充磁方向相反,所述正方形永磁体平行充磁,充磁方向为与正方形端面的对角线平行的方向,并且所述充磁方向为由与其相邻的 S 极永磁体指向 N 极永磁体,

[0085] 平行相邻的两个电机单元中的正方形永磁体的充磁方向相差 90° ,并且对角相邻的两个电机单元中的正方形永磁体的充磁方向相同,

[0086] 电枢绕组的线圈中心距 τ_t 与永磁体阵列的极距 τ_p 之间满足关系 $\tau_t = \tau_p$;

[0087] 两个永磁体励磁部件的永磁体阵列中位置相对的两块垂直充磁永磁体的充磁方向相同,两个永磁体励磁部件的永磁体阵列中位置相对的两块平行充磁永磁体的充磁方向相反。

[0088] 具体实施方式二十三:本实施方式与具体实施方式二十二所述的长行程高精度多自由度平面电机的区别在于,所述永磁体励磁部件与具体实施方式二十一所述相同,具体结构为:每个永磁体阵列中还包括 2 个直角三角形永磁体,所述 2 个直角三角形永磁体分别与正方形永磁体相对的两个角相邻,每个直角三角形永磁体的两条直角边分别与两块垂直充磁永磁体相邻,并且所述两块垂直充磁永磁体的充磁方向相反,两个直角三角形永磁体的充磁方向与正方形永磁体的充磁方向相同。

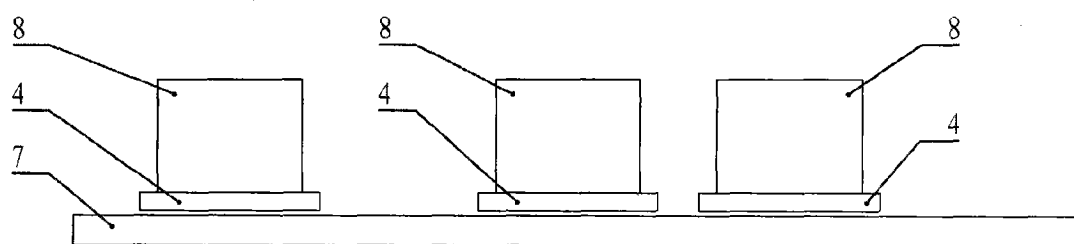


图 1

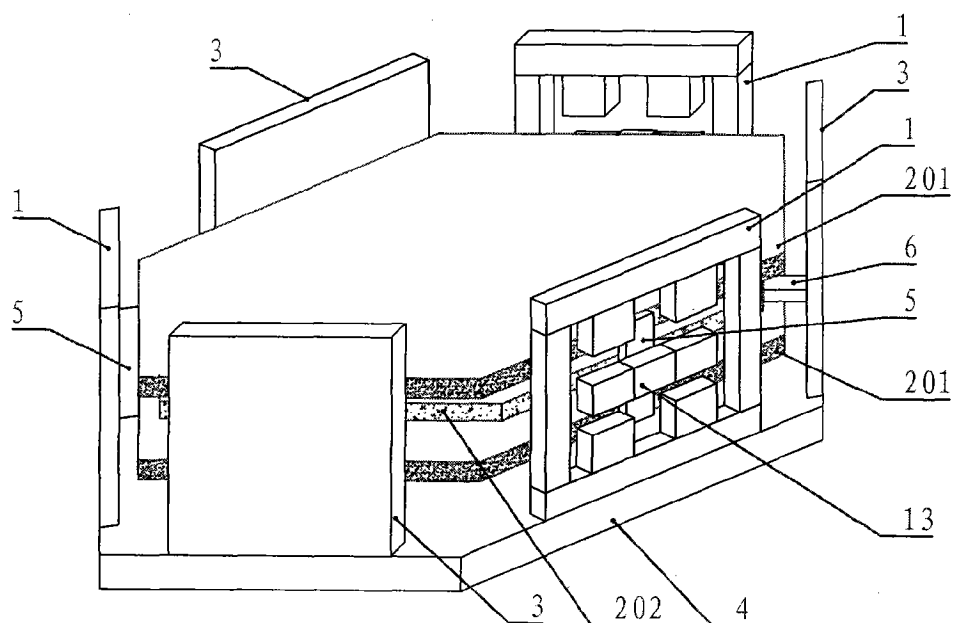


图 2

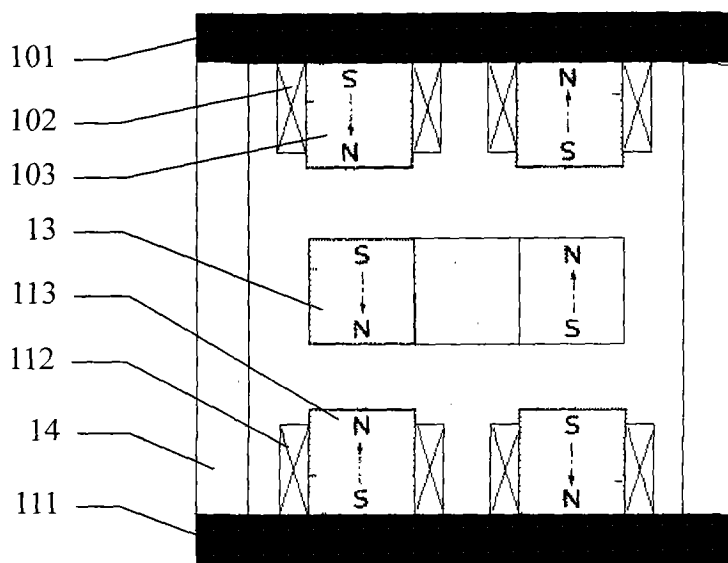


图 3

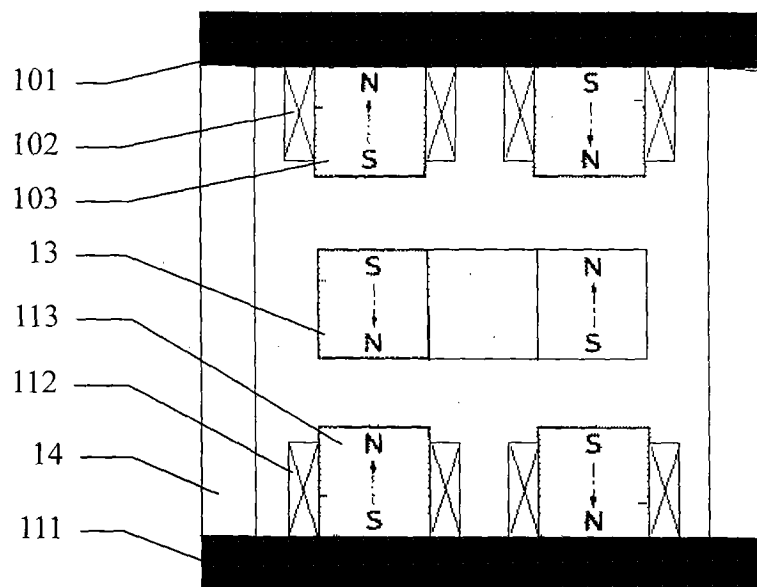


图 4

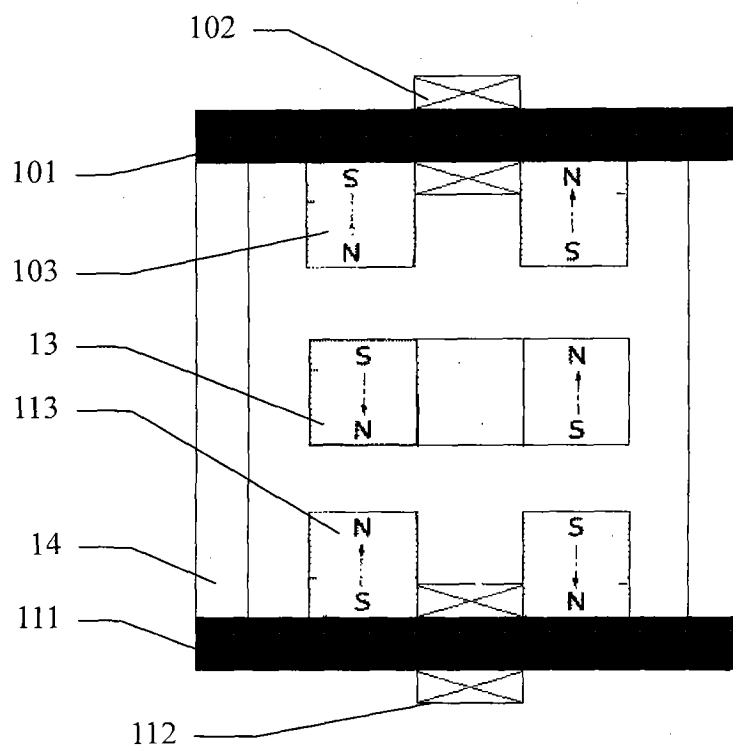


图 5

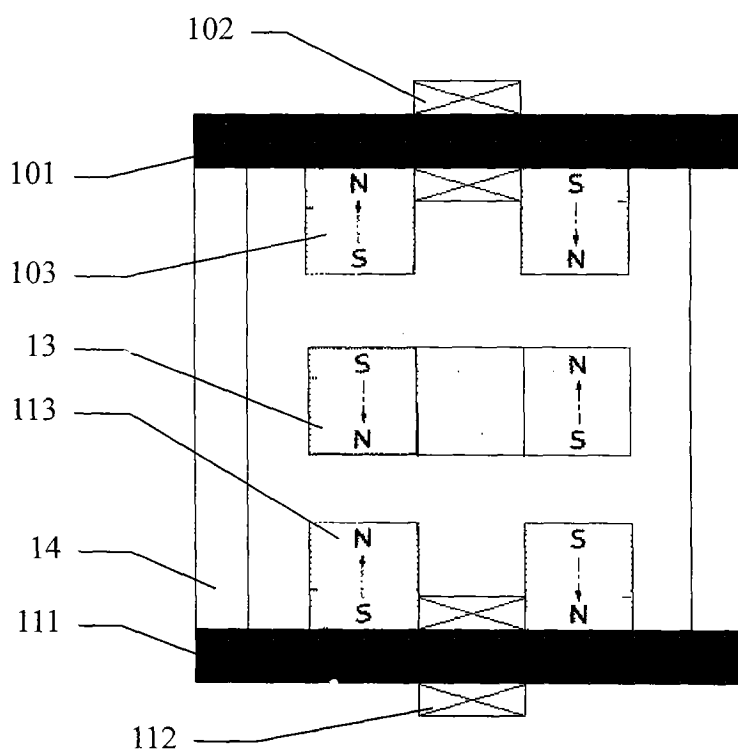


图 6

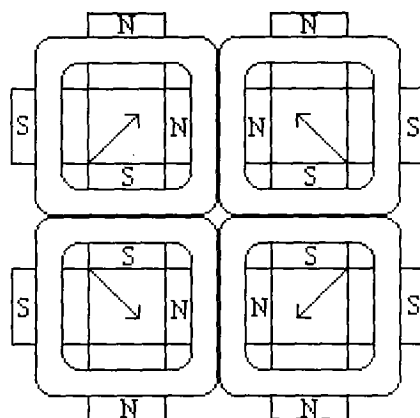


图 7

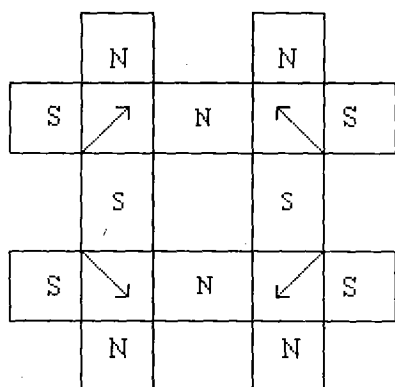


图 8

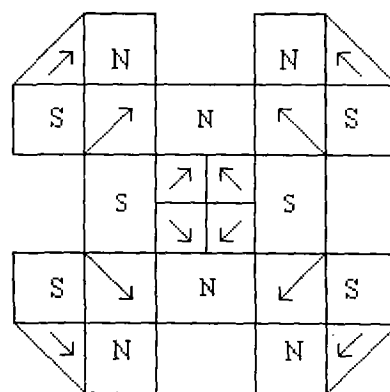


图 9

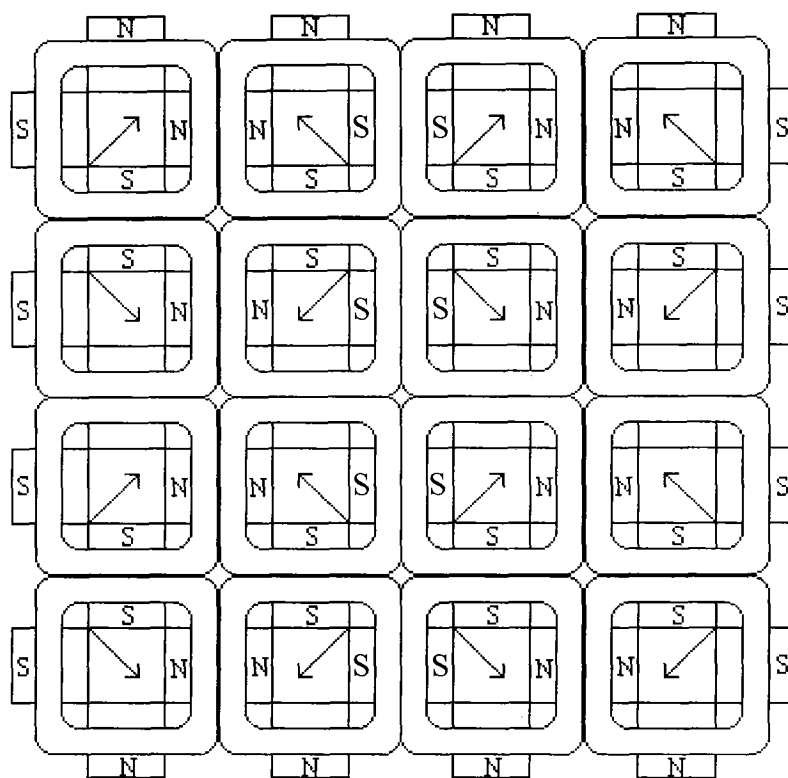


图 10

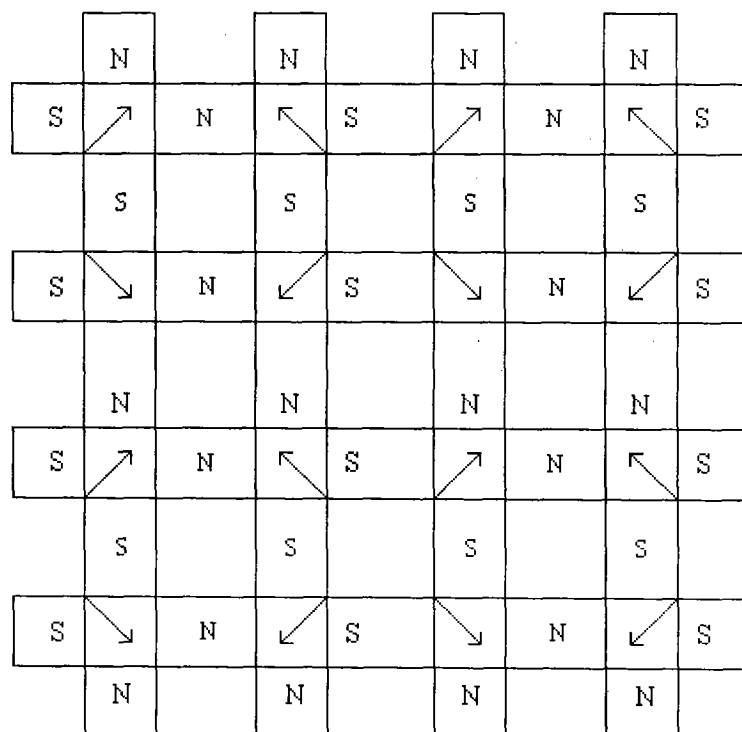


图 11

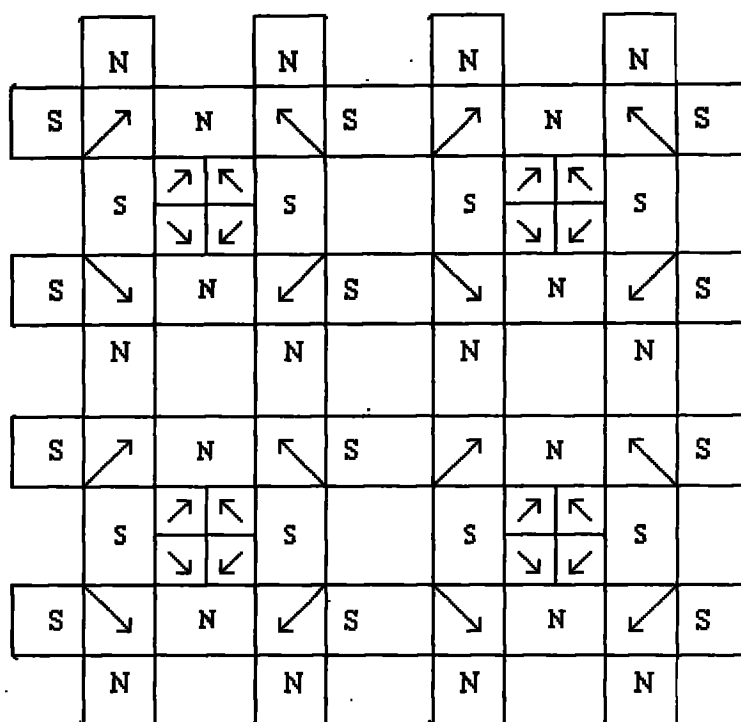


图 12

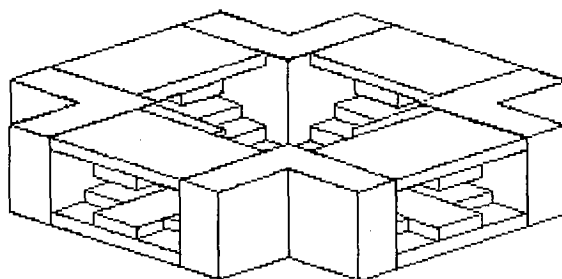


图 13

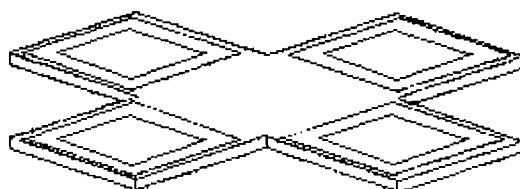


图 14

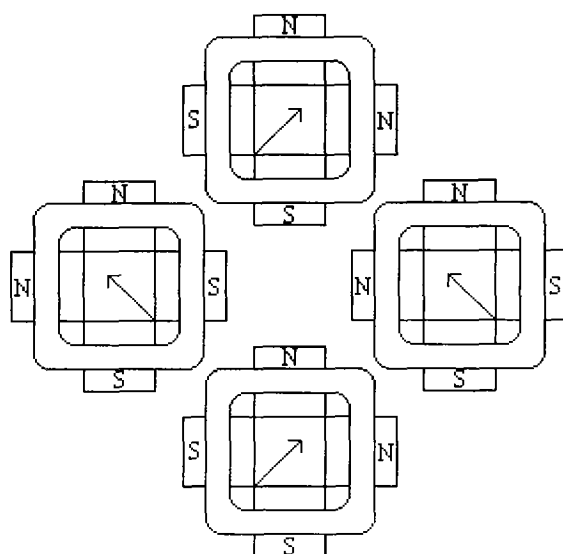


图 15

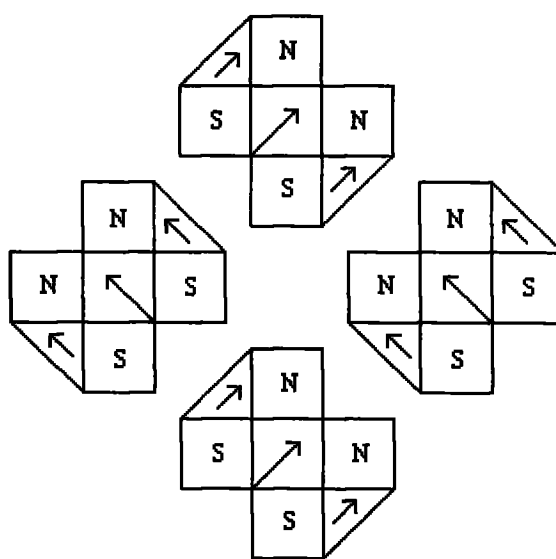


图 16

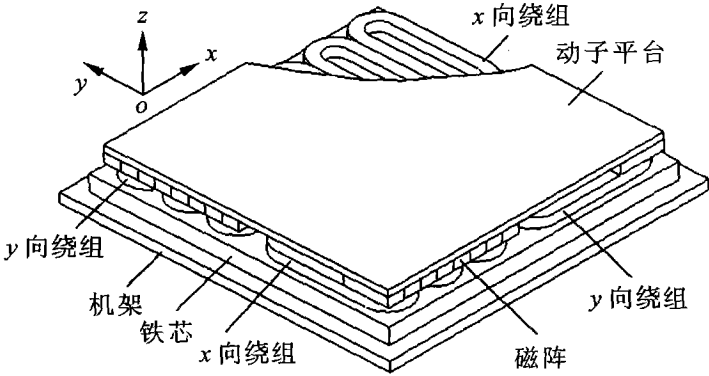


图 17

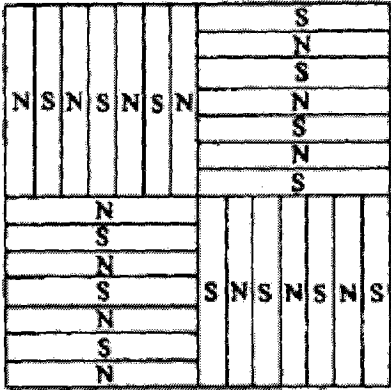


图 18