

无刷电机及其制造方法、设备

技术领域

本公开涉及一种无刷电机及其制造方法、设备。

背景技术

直流无刷电机具有传统直流电机的优点，同时又取消了碳刷、滑环结构，可以低速大功率运行。它不僅体积小、重量轻，而且稳定性好、效率高，因此在各领域中的应用十分广泛。

目前不同类型的无刷电机虽然能够基本满足使用要求，但是仍难以达到较优的综合性能，主要体现在难以兼顾多种性能指标，例如扭矩、效率等方面，在选择电机类型时只能根据使用需求优先保证最主要的性能指标。因此，无刷电机的综合性能有待进一步提高，以更好地满足自动化驱动需求。

发明内容

本公开的一些实施例提出一种无刷电机及其制造方法、设备，能够提升无刷电机的综合性能。

根据本公开的第一方面，提供了一种无刷电机，包括：

至少一个定子铁芯，定子铁芯包括沿其周向间隔设置的多个齿组，齿组的总数量为 Z ；

转子，相对于定子铁芯可转动，转子包括极数为 P 的磁环， P 为偶数；和

至少两相导线，缠绕于齿组以在齿组上形成线圈，导线的总相数为 X ，每相导线均具有独立的第一端和第二端；对于同一相导线，相邻两个所述齿组上的线圈之间间隔的齿组的数量为 $X-1$ ，且相邻两个所述齿组上的线圈沿齿组周向的绕线方向相反；

其中， $Z=P \times X$ 。

在一些实施例中，齿组包括单个齿，导线缠绕于齿以在齿上形成线圈；和/或齿组包括至少两个齿，至少两个齿沿定子铁芯的周向间隔设置，导线缠绕于至少两个齿，以在至少两个齿上形成线圈。

在一些实施例中，每相导线被配置为通入独立的驱动信号。

在一些实施例中，在定子铁芯的径向上，至少两相导线形成的每个线圈的绕线方向一致。

在一些实施例中，至少两相导线形成的每个线圈的起始绕线位置均位于远离转子的一侧。

在一些实施例中，在定子铁芯的径向上，至少两相导线的第一端和第二端均从齿组的同一侧引出。

在一些实施例中，在定子铁芯的周向上，所有的第一端和第二端从多个相邻的齿组引出。

在一些实施例中，至少两相导线从第一端起位于同一序号的线圈沿齿组周向的绕线方向一致；或者至少一组相邻两相导线从第一端起位于同一序号的所述线圈沿齿组周向的绕线方向相反。

在一些实施例中，至少两相导线沿定子铁芯的周向从第 1 至 X 相顺序依次缠绕；

通入驱动信号的导线包括第 i 相导线和第 k 相导线，第 i 相导线的驱动信号与第 k 相导线的驱动信号之间的相位差 $\theta_{ik} = \frac{P}{2} \sum_{l=1}^{k-1} \beta_x$ ，其中， $1 \leq i < k \leq X$ ；

在同一定子铁芯中，第 x 相导线的齿组与两侧相邻齿组在最靠近的位置均具有间隙，间隙在定子铁芯的周向上具有中心位置；在 Z 个齿组形成的所有间隙中，第 x 相导线的所述中心位置与在定子铁芯的周向上相邻的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 β_x ，且 β_x 对应的扇区包括至少部分第 x 相导线的齿组。

在一些实施例中，定子铁芯沿轴向叠加设置多个，且每个定子铁芯中包括至少一相导线，在定子铁芯的周向上，多个定子铁芯各自的齿组错开设置。

在一些实施例中，在转子的整个目标转速区间内，所有相的导线通入的驱动信号强度一致。

在一些实施例中，

在转子的目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下，各相导线通入的驱动信号强度一致；

在转子的目标扭矩不高于第一预设扭矩的情况下，部分相的导线通入的驱动信号具有预设强度，其余相的导线通入的驱动信号低于预设强度或不驱动。

在一些实施例中，无刷电机具有第一工作模式，在第一工作模式下，每相导线全时段通电，且相邻相导

线之间的驱动信号具有相位差。

在一些实施例中，无刷电机具有第二工作模式，在第二工作模式下，每相导线间歇通电，且相邻相导线之间的驱动信号具有相位差。

在一些实施例中，磁环套设在定子铁芯外。

在一些实施例中，定子铁芯呈环状且套设在磁环外。

在一些实施例中，定子铁芯与磁环沿轴向叠加设置，且磁环沿定子铁芯的径向至少部分覆盖线圈。

在一些实施例中，定子铁芯沿轴向的两侧均设有磁环；和/或

磁环沿轴向的两侧均设有定子铁芯。

根据本公开的第二方面，提供了一种设备，包括上述实施例的无刷电机。

根据本公开的第三方面，提供了一种基于上述实施例所述无刷电机的制造方法，包括：

供线步骤：提供一根导线；

绕线步骤：将导线在齿组上按不同相序顺序缠绕，直至每个齿组上均形成线圈；导线在同一相对应的所有线圈中，相邻两个齿组上的线圈之间间隔的齿组的数量为 $X-1$ ，且相邻两个齿组上的线圈沿齿组周向的绕线方向相反；

断线步骤：使导线在相邻相序的连接处断开，以使导线的总相数为 X ，且每相导线具有独立的第一端和第二端。

基于上述技术方案，本公开至少具有以下有益效果：（1）电机增大了相数，可实现较大扭矩，可应用于大功率产品；（2）各相导线之间独立，可实现独立供电驱动，能够使每相导线实现全时段通电使转子旋转，绕组与定子铁芯的利用率提高，增大了极限工作效率；各相导线的通电无需频繁切换，可提高工作稳定性，且降低工作噪音，在稳态驱动时受力均匀，不易在定子铁芯内部产生抖动，能够提高电机的工作稳定性和整体寿命；（3）可减少磁环的磁极数，对于相同的转速和功率，完成一对磁极的旋转需要两次切换通电，能够降低驱动频率，降低驱动难度；（4）同相的导线交替缠绕，绕线方法简单，可提高绕线的自动化程度。

附图说明

此处所说明的附图用来提供对本公开的进一步理解，构成本申请的一部分，本公开的示意性实施例及其说明用于解释本公开，并不构成对本公开的不当限定。在附图中：

图1为本公开无刷电机的第一实施例中定子铁芯与磁环的配合示意图；

图2为本公开无刷电机的第一实施例中两相导线缠绕在定子铁芯上的结构示意图；

图3为本公开两相无刷电机的工作原理示意图；

图4为本公开无刷电机的第二实施例中定子铁芯与磁环的配合示意图；

图5为本公开无刷电机的第二实施例中两相导线缠绕在定子铁芯上的结构示意图；

图6为本公开无刷电机中的两相导线均通入连续正弦波驱动信号的示意图；

图7为本公开无刷电机中的两相导线均通入非连续正弦波驱动信号的示意图；

图8为本公开无刷电机中的两相导线均通入方波驱动信号的示意图；

图9为本公开无刷电机的第三实施例中定子铁芯与磁环的配合示意图；

图10为本公开无刷电机的第三实施例中三相导线缠绕在定子铁芯上的结构示意图；

图11为本公开三相无刷电机中的导线均通入连续正弦波驱动信号的示意图；

图12为本公开三相无刷电机中的导线均通入方波驱动信号的示意图；

图13为本公开无刷电机的第四实施例中定子铁芯与磁环的配合示意图；

图14为第四实施例中的两相导线均通入连续正弦波驱动信号的示意图；

图15为本公开无刷电机的第五实施例中两相导线缠绕在定子铁芯上的结构示意图；

图16为第五实施例中磁环的结构示意图；

图17为第五实施例中定子铁芯与转子配合的结构示意图；

图18为第五实施例中定子铁芯与转子配合的一个变形例的结构示意图；

图19为第五实施例中定子铁芯与转子配合的另一个变形例的结构示意图；

图20为本公开无刷电机的第六实施例的剖视图；

图21为第六实施例中其中一个定子铁芯上缠绕 $X1$ 相导线的结构示意图；

图 22 为第六实施例中另一个定子铁芯上缠绕 X2 相导线的结构示意图；

图 23 为第六实施例中两个定子铁芯沿轴向叠加的结构示意图。

附图标记说明：

- 1、定子铁芯；11、齿组；11'、齿；111、颈部；112、靴部；12、轭部；
- 2、转子；21、磁环；22、转轴；
- 3、导线；31、线圈；32、连接段；
- 4、连接轴。

具体实施方式

现在将参照附图来详细描述本公开的各种示例性实施例。对示例性实施例的描述仅仅是说明性的，决不作为对本公开及其应用或使用的任何限制。本公开可以以许多不同的形式实现，不限于这里所述的实施例。提供这些实施例是为了使本公开透彻且完整，并且向本领域技术人员充分表达本公开的范围。应注意到：除非另外具体说明，否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、材料的组分、数字表达式和数值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。

本公开中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的部分。“包括”或者“包含”等类似的词语意指在该词前的要素涵盖在该词后列举的要素，并不排除也涵盖其他要素的可能。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系，当被描述对象的绝对位置改变后，则该相对位置关系也可能相应地改变。

在本公开中，当描述到特定器件位于第一器件和第二器件之间时，在该特定器件与第一器件或第二器件之间可以存在居间器件，也可以不存在居间器件。当描述到特定器件连接其它器件时，该特定器件可以与所述其它器件直接连接而不具有中间器件，也可以不与所述其它器件直接连接而具有居间器件。

本公开使用的所有术语（包括技术术语或者科学术语）与本公开所属领域的普通技术人员理解的含义相同，除非另外特别定义。还应当理解，在诸如通用字典中定义的术语应当被解释为具有与它们在相关技术的上下文中的含义相一致的含义，而不应应用理想化或极度形式化的意义来解释，除非这里明确地这样定义。

对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

本公开提供了一种电机，后续简称“电机”，该电机可以为电动机，用于将电能转化为机械能，也可作为发电机，用于将机械能转化为电能。在一些实施例中，如图 1 至图 23，此种电机包括：

至少一个定子铁芯 1，定子铁芯 1 包括沿其周向间隔设置的多个齿组 11，齿组 11 的总数量为 Z；

转子 2，相对于定子铁芯 1 可转动，转子 2 包括极数为 P 的磁环 21，P 为偶数；和

至少两相导线 3，缠绕于齿组 11 以在齿组 11 上形成线圈 31，导线 3 的总相数为 X，每相导线 3 均具有独立的第一端和第二端；对于同一相导线 3，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 之间间隔的齿组 11 的数量为 X-1，且相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 周向的绕线方向相反；

其中， $Z=P \times X$ 。

在该实施例中，定子铁芯 1 可设置一个或者两个以上，每个定子铁芯 1 可包括轭部 12 和多个齿组 11，多个齿组 11 连接于轭部 12。例如，轭部 12 呈环形，如图 1 所示，多个齿组 11 连接于轭部 12 的外侧壁；如图 4 所示，多个齿组 11 连接于轭部 12 的内侧壁；如图 15 所示，多个齿组 11 连接于轭部 12 沿轴向的端部。

齿组 11 的总数量为 Z，若定子铁芯 1 设置两个以上，齿组 11 的总数量为所有定子铁芯 1 中齿组 11 的数量。齿组 11 中可包括一个或至少两个齿 11'，齿组 11 是将每个定子铁芯 1 中的所有齿 11' 按照绕线分组设置，将每个分组定义为齿组 11。

转子 2 与定子铁芯 1 可同轴设置，且相对于定子铁芯 1 可转动，参考图 17 至图 19，转子 2 可包括磁环 21 和转轴 22，转轴 22 连接于磁环 21，用于输出电机的动力，磁环 21 的极数 P 为偶数， $P \geq 2$ ，例如，图 1 中磁环 21 的极数 P 为 4，即具有两对磁极，以 N-S-N-S 的方式沿定子铁芯 1 的周向交替设置，此外，极数 P 也可 6，8，…。对于不同的结构形式，如图 1 所示，磁环 21 设在定子铁芯 1 之外；如图 4 所示，定子铁芯 1 呈环状，且磁环 21 设在定子铁芯 1 内；如图 16 所示，磁环 21 与定子铁芯 1 沿轴向叠加设置。

至少两相导线 3 缠绕于齿组 11 以在齿组 11 上形成线圈 31，导线 3 的总相数为 X，即定子铁芯 1 绕线完

毕后具有 X 根独立的导线 3，每相导线 3 均具有独立的第一端和第二端，例如，第一端为进入端，第二端为输出端，或者反之。对于每一相导线 3 在对应齿组 11 上形成线圈 31，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 之间通过连接段 32 连接，该连接段 32 可从定子铁芯 1 的端面跨过其它相导线 3 对应的齿组 11。

各相导线 3 分别用 X1、X2...表示，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 之间间隔的齿组 11 的数量为 X-1，例如，图 1 和图 2 为两相导线 3，对于每一相导线 3，在绕线时每间隔一个齿组 11 绕线一次；图 9 和图 10 为三相导线 3，对于每一相导线 3，在绕线时每间隔相邻两个齿组 11 绕线一次。

在参数选择方面，磁环 21 的极数 P 主要取决于电机的设计功率，功率越大，极数需要越多，极数越多，扭矩也就越大。极数 P 也与电机形态有关，内转子与外转子确定磁极时也有不同考虑，但最终目的是在合理的电机空间内，最大限度地提高绕组数量与密度，达到电机的最大输出功率。另外，增加功率还可以增加磁铁与定子铁芯 1 的轴向厚度或者磁铁材料磁力。对于相数 X，一般会选择两相电机，以简化结构，降低驱动难度，但在一些应用场合，可通过增加相数 X 增大扭矩。例如，在电动自行车上，需要在合理尺寸范围内提高电机的扭矩，采用三相绕组可有效提高电机的输出扭矩，也能实现在低转速下的大力矩输出。

接着说明此种电机的工作原理，如图 3 所示，为了便于理解，将磁环 21 和多个齿 11' 采用直线展开形式示意。以两相电机为例，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 周向的绕线方向相反，由此在导线 3 通电使转子 2 旋转过程中，如果 A 相导线 3 的某个齿 11' 上的线圈 31 产生了 N 极磁场，且该齿 11' 与磁极 S 的临界点 O 对正，此时与之相邻的两个齿 11' 分别绕 B 相导线 3，且这两个线圈 31 由于绕线方向相反，分别产生 N、S 磁场，例如左侧为 N 极磁场吸引磁极 S，右侧为 S 极磁场排斥磁极 S，通过相邻相导线 3 产生的相反磁场分别产生推力和拉力，可以较大的作用力使 A 相导线对应的齿组 11 越过临界点 O，使磁环 21 沿箭头方向运动。

该实施例的电机至少具有如下优点之一：

(1) 与单相电机相比，单相电机难以实现较大扭矩，只适合小功率的产品，如手持式风扇、电脑散热扇、小台扇等，原因是需要依靠转子的转动惯性通过转子磁极与齿对正的临界点，但这些产品使用时都会有明显的电磁噪音。

而本公开的电机增大了相数，某一相导线 3 对应的齿组 11 到达临界点 O 时，其余相导线 3 中位于该齿组 11 两侧的线圈 31 由于绕线方向相反，可产生相反的磁场方向，可对到达临界点 O 的齿组 11 分别产生推力和拉力作用，可以较大的作用力使 A 相导线对应的齿组 11 越过临界点 O。因此，此种电机能够实现较大的扭矩，可应用于大功率产品。

(2) 与传统三相电机相比，传统三相电机是通过 UVW 三相绕组交叉供电实现驱动，要实现稳定带载旋转需要对这三相绕组按六种规律的方式切换通电，在驱动通电过程中始终有一相绕组不通电不做功，使得绕组和铁芯的最大使用率只有约 66%，此种三相电机的结合和工作原理造成其极限效率较低，且频繁的通电切换会带来较大的工作噪音；而且，绕组交错间断通电，铁芯产生磁拉力时对铁芯反作用力的规律会使铁芯内部产生抖动，电机高速切换时容易产生高频振动，工作稳定性差，且会影响轴承寿命。

而本公开的电机中的各相导线 3 之间独立，可实现独立供电驱动，能够使每相导线 3 实现全时段通电使转子 2 旋转，绕组与定子铁芯的利用率可达到 100%，从而增大了电机的极限工作效率。而且，各相导线 3 的通电无需频繁切换，提高了电机的工作稳定性，且降低了工作噪音。另外，驱动过程中稳定持续通电，可使定子铁芯 1 产生磁拉力时对定子铁芯 1 反作用力的规律与旋转方向一致，在稳态驱动时受力均匀，不易在定子铁芯 1 内部产生抖动，能够提高电机的工作稳定性和整体寿命。

(3) 与传统三相电机相比，传统三相电机设计的基本公式：电机齿数 = (磁极数/2) * 3，即 8 极磁环对应的齿数为：(8/2) * 3 = 12 齿。

而本公开的电机中，假设每个齿组 11 中有一个齿 11'，齿 11' 的总数量 Z， $Z = P * X$ ，对于两相电机，若要使定子铁芯 1 也具有 12 个齿 11'，则磁极数 $P = 12/2 = 6$ 。通过比较，在齿数相等的情况下，本公开的电机可减少磁环 21 的磁极数 P，对于相同的转速和功率，完成一对磁极的旋转需要两次切换通电，能够降低驱动频率，从而降低驱动难度。

(4) 与传统三相电机相比，传统三相电机从自动化生产线下来的定子组件有进出两个线头且导线是无规律杂乱的，生产过程需要柔性装配工位，由人工先将线剪断，找出 6 个线头，再按照星型或三角形接法来焊接线头，最终预留出 UVW 的三个出线线头。此种定子组件中具有很多交叉的盘线，自动化绕线难度较高。

而本公开的电机中同相的导线 3 交替缠绕，绕线方法简单，由于 X 相导线 3 之间相互独立，可全自动化

实现X相导线3缠绕后各自具有第一端和第二端，减少了盘线，也无需人工修剪即可进入下一工序，提高绕线的自动化程度，从而提高生产效率和绕线成功率。

在该实施例中，电机的正反转可通过调整驱动X相导线3的先后顺序实现的，按照1~X相导线3依次通入驱动信号，可实现电机正转（正转可定义为逆时针或顺时针）；按照X~1相导线3依次通入驱动信号，可实现电机反转。

例如，对于两相电机，在按照先X1后X2通入驱动信号的情况下，若电机正转，则在按照先X2后X1通入驱动信号的情况下，电机反转。

例如，对于三相电机，在按照X1-X2-X3依次通入驱动信号的情况下，若电机正转，则在按照X3-X2-X1依次通入驱动信号的情况下，电机反转。

在一些实施例中，如图2和图5所示，齿组11包括单个齿11'，导线3缠绕于齿11'以在齿11'上形成线圈31。

例如，定子铁芯1中的所有齿组11均只包括单个齿11'，如图2所示，齿11'包括颈部111和靴部112，可选地，颈部111的横截面可以为圆形、椭圆形以及三角形、矩形或其他多边形等，靴部112与颈部111连接，可成圆弧形，靴部112连接于颈部111的径向端部，例如径向内端或径向外端，线圈31绕在颈部111上，且径向两端分别通过靴部112和靴部112进行阻挡限位。

如图2所示，所有的齿11'形状和尺寸相同，且沿定子铁芯1的周向间隔设置且均匀分布；如图13所示，不同相导线3对应的齿11'尺寸不同，即周向覆盖角度不同。

此种结构绕线较为简单，容易控制绕线松紧程度，对绕线工艺要求较低。

在一些实施例中，齿组11包括至少两个齿11'，至少两个齿11'沿定子铁芯1的周向间隔设置，导线3缠绕于至少两个齿11'，以在至少两个齿11'上形成线圈31。具体地，将齿组11中的所有齿11'作为一个整体进行缠绕同一相导线3，并在该齿组11上形成一个线圈31。

通常为了增大电机扭矩，可增大靴部112的弧长，但是线圈31缠绕在颈部111上，只能覆盖颈部111所在位置，无法利用相邻齿11'的颈部111之间的空间。该实施例通过在至少两个齿11'上共同绕制线圈31，可使线圈31在定子铁芯1的周向上充分覆盖相邻齿组11之间的空间，从而提高磁通强度，有利于增大电机扭矩。

可选地，定子铁芯1中的部分齿组11中只包括单个齿11'，其余齿组11中包括至少两个齿11'。此种结构可根据电机的性能需求灵活地进行结构配置。

在一些实施例中，每相导线3被配置为通入独立的驱动信号。由此，所有相导线3通入的驱动信号彼此不关联。例如，驱动信号可以为连续的正弦波、断续的正弦波或方波等。驱动信号换向时会使线圈31产生的磁力换向。

该实施例电机中各相导线3通入的驱动信号相互独立，驱动信号之间只需要有一定的相位差即可，能够使每相导线3实现全时段通电转子2旋转，绕组与定子铁芯的利用率可达到100%，从而增大了电机的极限工作效率。而且，各相导线3的通电无需频繁切换，可降低工作噪音。另外，驱动过程中稳定持续通电，可使定子铁芯1产生磁拉力时对定子铁芯1反作用力的规律与旋转方向一致，在稳态驱动时受力均匀，不易在定子铁芯1内部产生抖动，能够提高电机的工作稳定性和整体寿命。

在一些实施例中，在定子铁芯1的径向上，至少两相导线3形成的每个线圈31的绕线方向一致。例如，如图2所示，所有的线圈31都是沿径向从内向外绕线，可选地，所有的线圈31也可都沿径向从外向内绕线。

该实施例的绕线方式无需考虑特定相导线3的绕线形式，在径向上都采用统一的绕线方向，有利于提高自动化绕线的效率。

在一些实施例中，至少两相导线3形成的每个线圈31的起始绕线位置均位于远离转子2的一侧。如图2所示，对于外转子电机，磁环21套设在定子铁芯1之外，每个线圈31的起始绕线位置均位于径向内侧；在另一些结构形式中，定子铁芯1呈环形，磁环21位于定子铁芯1内，每个线圈31的起始绕线位置均位于径向外侧。

该实施例考虑到转子侧设有磁环21和霍尔等其它部件，使起始绕线位置位于远离转子2的一侧，以避免布线对活动部件产生影响。

在一些实施例中，在定子铁芯1的径向上，至少两相导线3的第一端和第二端均从齿组11的同一侧引出。例如，所有的第一端和第二端可都从定子铁芯1的径向外侧或径向内侧引出。

此外，第一端和第二端均从相邻齿组 11 之间形成的齿槽引出。

该实施例使各相导线 3 的第一端和第二端方便地引至电机的电气接口，可使定子铁芯 1 的引出线在电机内的排布更整齐有序。

在一些实施例中，在定子铁芯 1 的周向上，所有的第一端和第二端从多个相邻的齿组 11 引出。

图 2 为两相电机的定子铁芯 1，导线 3 的第一端为进入端，第二端为输出端，两个进入端分别为 X1-IN 和 X2-IN，两个输出端分别为 X1-OUT 和 X2-OUT，两个进入端和两个输出端从四个相邻的齿组 11 引出，例如，沿周向的引出顺序分别为 X2-IN、X1-IN、X2-OUT、X1-OUT。

图 10 为三相电机的定子铁芯 1，导线 3 的第一端为进入端，第二端为输出端，三个进入端分别为 X1-IN、X2-IN 和 X3-IN，三个输出端分别为 X1-OUT、X2-OUT 和 X3-OUT，三个进入端和三个输出端从六个相邻的齿组 11 引出，例如，沿周向的引出顺序分别为 X3-IN、X2-IN、X1-IN、X3-OUT、X2-OUT、X1-OUT。

该实施例中所有的第一端和第二端分布在较为靠近的区域，在自动化绕线中，更容易管控多个引线的布局位置，也便于将多个引线整齐有序的引至电机的电气接口，有利于实现批量生产。

在一些实施例中，至少两相导线 3 从第一端起位于同一序号的线圈 31 沿齿组 11 周向的绕线方向一致。

以两相电机为例，图 2 为两相电机的示意图，第一端为进入端，第二端为输出端，两个进入端分别为 X1-IN 和 X2-IN，两个输出端分别为 X1-OUT 和 X2-OUT，齿组 11 的数量为 8，X1 相导线 3 绕四个齿组 11，顺序编号为 1，2，3 和 4，X2 相导线 3 绕四个齿组 11，顺序编号为 1，2，3 和 4。其中，X1 和 X2 相导线 3 在编号都为 1 的齿组 11 上的绕线方向一致，在编号都为 2 的齿组 11 上的绕线方向一致，在编号都为 3 的齿组 11 上的绕线方向一致，在编号都为 4 的齿组 11 上的绕线方向一致。

由此，X1-IN 和 X2-IN 均从相邻齿组 11 沿定子铁芯 1 周向同侧的齿槽引出，即从相邻的齿槽引出；X1-OUT 和 X2-OUT 也均从相邻齿组 11 沿定子铁芯 1 周向同侧的齿槽引出，即从相邻的齿槽引出。其中，X1-IN 和 X2-OUT 从同一齿槽引出。

该实施例使至少两相导线 3 的绕线规律一致，相当于将单相导线 3 的绕线方式复制即可，可简化绕线方式，从而提高自动化绕线效率。

在另一些实施例中，至少一组相邻两相导线 3 从第一端起位于同一序号的线圈 31 沿齿组 11 周向的绕线方向相反。

以两相电机为例，在图 2 的基础上，如果 X1 和 X2 的绕线方向相反，X1-IN 和 X2-IN 需要从相邻齿组 11 沿定子铁芯 1 周向不同侧的齿槽引出，即 X1-IN 和 X2-IN 各自引出的齿槽之间间隔一个齿槽；X1-OUT 和 X2-OUT 也需要从相邻齿组 11 沿定子铁芯 1 周向不同侧的齿槽引出，即从同一齿槽引出。

在交替通电的控制方式中，需要将两个输出端 X1-OUT 和 X2-OUT 短接，以便与线路板上的三个半桥驱动电路对应连接，此种绕线方式可使两个输出端从同一齿槽引出，便于实现短接，能够更好地适应交替通电控制方式下线路板的布局。

在一些实施例中，至少两相导线 3 沿定子铁芯 1 的周向从第 1 至 X 相顺序依次缠绕；通入驱动信号的导线 3 包括第 i 相导线 3 和第 k 相导线 3，第 i 相导线 3 的驱动信号与第 k 相导线 3 的驱动信号之间的相位差

$$\theta_{ik} = \frac{P}{2} \sum_{i=1}^{k-1} \beta_x, \text{ 其中, } 1 \leq i < k \leq X。$$

在同一定子铁芯 1 中，第 x 相导线 3 的齿组 11 与两侧相邻齿组 11 在最靠近的位置均具有间隙，间隙在定子铁芯 1 的周向上具有中心位置；在 Z 个齿组 11 形成的所有间隙中，第 x 相导线 3 的中心位置与在定子铁芯 1 的周向上相邻的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 β_x ，且 β_x 对应的扇区包括至少部分第 x 相导线 3 的齿组 11。可选地， β_x 的取值范围为 1° 至 180° 。

具体地，如图 1 至图 18，定子铁芯 1 只设有一个，至少两相导线 3 的缠绕顺序为 1， $\dots$ ，X， $1 < x < X$ ，通入驱动信号的两相导线 3 之间可相邻，也可不相邻。第 x 相导线 3 的齿组 11 与两侧相邻齿组 11 在最靠近的位置均具有间隙，例如，齿组 11 仅包括单个齿 11'，齿 11' 包括颈部 111 和靴部 112，靴部 112 连接于颈部 111 的径向端部形成 T 形结构，间隙形成于相邻齿 11' 的靴部 112 之间。第 x 相导线 3 的 β_x 对应的扇区只包括该相导线 3 所在的一个齿组 11。

θ_{ik} 为程序驱动的相位差，在此度数内控制驱动程序换向便会使线圈 31 产生的磁力换向，而 β_x 与程序驱动时的相位差对应，即能确保程序驱动信号换相时对应的转子磁场也刚好在换向位置。

对于两相电机, $i=1, k=2$, $\theta_{ik} = \theta_{12}$ 为 X1 相和 X2 相驱动信号的相位差, $\theta_{12} = \frac{P}{2}\beta_1$ 。

对于三相电机, 可能存在以下三种取值情况:

$i=1, k=2$, $\theta_{ik} = \theta_{12}$ 为 X1 相和 X2 相驱动信号的相位差, $\theta_{12} = \frac{P}{2}\beta_1$;

$i=2, k=3$, $\theta_{ik} = \theta_{23}$ 为 X2 相和 X3 相驱动信号的相位差, $\theta_{23} = \frac{P}{2}\beta_2$;

$i=1, k=3$, $\theta_{ik} = \theta_{13}$ 为 X1 相和 X3 相驱动信号的相位差, 通入驱动信号的两相不相邻, $\theta_{13} = \frac{P}{2}(\beta_1 + \beta_2)$ 。

该实施例能够根据磁环 21 和定子铁芯 1 的结构参数, 方便地计算出不同相通入的驱动信号之间的相位差, 从而准确稳定地控制电机的转动过程。

在一些实施例中, 如图 20 至图 23 所示, 定子铁芯 1 沿轴向叠加设置多个, 且每个定子铁芯 1 中包括至少一相导线 3, 在定子铁芯 1 的周向上, 多个定子铁芯 1 各自的齿组 11 错开设置。

其中, 多个定子铁芯 1 中的齿组 11 的数量可相同, 也可不同, 此种结构中, 所有定子铁芯 1 中所有齿组 11 的总数量为 Z, 所有导线 3 的总相数 X, $Z=P*X$ 。若将多个定子铁芯 1 均投影在垂直于轴线的参考平面内, 相当于单个定子铁芯 1 设置 Z 个齿组 11 和 X 相导线 3。磁环 21 的厚度可与多个定子铁芯 1 轴向尺寸之和一致。相邻定子铁芯 1 之间具有间隙, 以容纳相邻定子铁芯 1 上缠绕的导线 3, 为了保证绝缘性, 相邻定子铁芯 1 上的导线 3 不接触。

例如, 定子铁芯 1 设有两个, 每个定子铁芯 1 上绕一相导线 3, 且同一定子铁芯 1 中相邻齿组 11 上沿齿组 11 周向的绕线方向相反, 用作两相电机; 或者定子铁芯 1 设有三个, 每个定子铁芯 1 上绕一相导线 3, 用作三相电机; 或者定子铁芯 1 设有两个, 一个定子铁芯 1 上绕一相导线 3, 另一个定子铁芯 1 上绕两相导线 3, 用作三相电机。

如图 20 所示, 定子铁芯 1 沿轴向叠加设置两个, 为了便于安装并保证两个定子铁芯 1 的同轴度, 连接轴 4 穿过两个定子铁芯 1 的中央通孔。

图 21 为其中一个定子铁芯 1 上缠绕 X1 相导线 3 的示意图, 在该定子铁芯 1 中, 相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 周向的绕线方向相反, X1-IN 和 X1-OUT 从相邻两个齿组 11 引出。

图 22 为另一个定子铁芯 1 上缠绕 X2 相导线 3 的示意图, 在该定子铁芯 1 中, 相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 周向的绕线方向相反, X2-IN 和 X2-OUT 从相邻两个齿组 11 引出。

图 23 为两个定子铁芯 1 沿轴向叠加的结构示意图, 磁环 21 的轴向长度可覆盖两个定子铁芯 1, 这两个定子铁芯 1 的齿组 11 在其周向上错开。具体地, 每个齿组 11 中具有一个齿 11', 将两个定子铁芯 1 沿轴向投影至同一平面, 在定子铁芯 1 的周向上, 相邻的两个齿 11' 的颈部 111 及绕在其上的线圈完全错开, 相邻的两个齿 11' 的靴部 112 在周向上具有重叠部分, X1-IN、X2-IN、X1-OUT 和 X2-OUT 从两个定子铁芯 1 上相邻的四个齿 11' 引出。

此种电机仍满足 $Z=P*X$, 例如, 磁环 21 的极数 $P=8$, 导线 3 的相数 $X=2$, 每个定子铁芯 1 的齿组 11 数量为 8, 两个定子铁芯 1 的齿组 11 总数量为 $Z=16$ 。

对于此种电机, 在确定 β_x 时, 间隙形成于同一个定子铁芯 1 中相邻的两个齿组 11, 在 Z 个齿组 11 形成的所有间隙中, 第 x 相导线 3 的中心位置与在定子铁芯 1 的周向上相邻的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 β_x , 用于形成 β_x 的两个间隙分别位于两个定子铁芯 1。而且, β_x 对应的扇区同时包括第 x 相导线 3 的齿组 11 和其它相导线 3 的齿组 11。

该实施例的电机在性能不变的基础上, 可减少每个定子铁芯 1 中齿组 11 的数量, 由此相邻齿组 11 的间隔增大, 降低了单个定子铁芯 1 的加工难度, 而且, 单个定子铁芯 1 的绕线相数也相应减小, 可降低单个定子铁芯 1 的绕线难度。在需要提升电机性能的基础上, 可不增加电机的径向尺寸, 通过拓展电机的轴向尺寸以提升性能参数。

在一些实施例中, 在转子 2 的整个目标转速区间内, 所有相的导线 3 通入的驱动信号强度一致。驱动信号强度通过驱动信号的幅值来表征。而且, 所有相的导线 3 通入的驱动信号的频率相同。

该实施例的驱动方式主要适用于电机相数较少的情况, 为了满足工作指标需求, 在任何工况下所有相都

要全部通电，能够充分发挥电机的能力。

在一些实施例中，在转子 2 的目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下，各相导线 3 通入的驱动信号强度一致；

在转子 2 的目标扭矩不高于第一预设扭矩的情况下，部分相的导线 3 通入的驱动信号具有预设强度，其余相的导线 3 通入的驱动信号低于预设强度或不驱动。

例如，在电机相数较多的情况下，例如 5 相，在低转速时一般需要实现大扭矩，即目标扭矩高于第一预设扭矩，可对 5 相导线 3 同时通入驱动信号。在高转速时一般只需较小扭矩，即目标扭矩不高于第一预设扭矩，可使 5 相导线 3 中的 1、3、5 相通电驱动，2、4 相不驱动或者用弱电流驱动。扭矩与驱动相数和驱动信号幅值相关，而转速与驱动信号频率相关。此种电机可用于汽车的动力电机，以通过增加相数实现特定驱动方式，以解决动力电机难于选择的技术难题。

该实施例的驱动方式主要适用于带载扭矩范围比较宽的情况，通过增加相数，根据实际工作时扭矩的需求可灵活地选择部分相驱动，也可选择全部相驱动，能够使电机满足不同工况下的性能需求，降低电机选择的难度。

该实施例中，电机工作时各相导线 3 通入的驱动信号的强度（用幅值表征）允许不同，但是各相导线 3 通入的驱动信号的频率相等。通过使各相导线 3 通入不同强度的驱动信号，除了上述可适应不同工况的需求，还可在控制中实现效率最大化，具体地，电机工作过程中具有带载惯量，在合适的时机降低驱动电流，会降低驱动力矩，通过带载惯量可弥补电机的输出扭矩，通过此种控制方式可实现效率最大化，减小功率消耗。

在一些实施例中，如图 6 所示，电机具有第一工作模式，在第一工作模式下，每相导线 3 全时段通电，且相邻相导线 3 之间的驱动信号具有相位差。

此种电机采用交叉通电的驱动模式，每相导线 3 通入的都是连续的驱动信号，且相邻相导线 3 之间的驱动信号具有相位差，驱动信号可以为正弦波、方波或其它连续波形，可通过电子换向器实现不同的驱动波形，例如可控硅、Mos 或 IGBT 等。驱动信号之间的换向相位差可以为 $1^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 。采用正弦波驱动的优点在于，驱动噪音较小，线性度好，在大扭矩或加速的情况下具有更高的效率；采用方波驱动的优点在于，位置传感器结构简单，成本低，位置信号仅需做逻辑处理，可增大输出扭矩。

该实施例电机的绕组持续通电，绕组与定子铁芯的利用率可达到 100%，从而增大了电机的工作效率。而且，各相导线 3 的通电无需频繁切换，可降低工作噪音。另外，驱动过程中稳定持续通电，可使定子铁芯 1 产生磁力时对定子铁芯 1 反作用力的规律与旋转方向一致，在稳态驱动时受力均匀，不易在定子铁芯 1 内部产生抖动，能够提高电机的工作稳定性和整体寿命。

在一些实施例中，如图 7 和图 8 所示，电机具有第二工作模式，在第二工作模式下，每相导线 3 间歇通电，且相邻相导线 3 之间的驱动信号具有相位差。

此种电机采用交替通电的驱动模式，每相导线 3 通入的都是非连续的驱动信号，且相邻相导线 3 之间的驱动信号具有相位差。以两相电机为例，如图 7 所示，驱动信号为非连续的正弦波；如图 8 所示，驱动信号为方波。

参见图 7，第一相导线的驱动信号可以通过将连续的正弦波信号的换相位置提前 θ_1' 的相位角并滞后 θ_1'' 的相位角得到，并且，第二相导线的驱动信号可以通过将连续的正弦波信号的换相位置提前 θ_2' 的相位角并滞后 θ_2'' 的相位角得到。

提供至各相导线 3 的驱动信号优选地在该相导线 3 所缠绕的齿组 11 的靴部 112 与磁极的临界点正对时换相。然而实际中可能因各种原因（例如，无刷电机的磁环环型平均分配角度因生产而存在误差；又例如，无刷电机的驱动检测存在误差）导致无法精准地控制换相点发生在与磁极的临界点正对的时刻，而是一定程度上地超前或滞后于这一时刻，这会使得绕组在超前或滞后于这一时刻的时段内做无用功，从而降低无刷电机的效率。

通过提供非连续的驱动信号，可以减小绕组所做的无用功，从而提高无刷电机的效率。

参见图 8，提供波形为方波的驱动信号的控制更为简单。因此，在交替通电的方式下，采用波形为方波的驱动信号来驱动无刷电机，可以更进一步地简化控制。

该实施例电机的绕组间歇通电，可增大电机的输出扭矩，控制简单，且在特定的设计匹配下，可降低驱动控制成本。虽然此种电机可能会稍降低定子铁芯和绕组的利用率，但已经优于目前市面上的有刷电机，大部分有刷电机的定子铁芯和绕组的利用率只有 30% 左右。

对于上述交叉通电和交替通电，两种驱动方式下电机控制的程序与霍尔检测的位置不同，电机的内部绕线的计算与考虑不同，电机的输出功率也不同，所以一种电机一般使用一种驱动方式。对于特定电机的需求，在不优先考虑成本的情况下，可采用交替通电和交叉通电结合的驱动方式，比如对于动力电机，低转速的情况下采用交替通电提高扭矩，高转速的情况下采用交叉通电提高效率，以更全面地满足电机的使用需求。

应理解，上文仅仅是示意性地示出交叉通电的驱动方式下驱动信号符合正弦函数，而交替通电的驱动方式下驱动信号的波形为方波，本公开实施例并不限于此。

在一些实施例中，可以采用交叉通电和交替通电两种驱动方式中的一种对无刷电机进行驱动。在另一些实施例中，也可以采用交叉通电和交替通电结合的方式对无刷电机进行驱动。

根据定子铁芯1和转子2的位置关系，下面给出三种不同结构电机的实施例。

在一些实施例中，如图1和图2所示，磁环21套设在定子铁芯1外。其中，齿11'包括连接形成T形的颈部111和靴部112，颈部111连接于靴部112的外周壁上，靴部112设在颈部111的径向外端，靴部112与磁环21之间具有间隙。

该实施例的外转子电机，由于线圈31通电产生磁场力的力臂更大，因此在周向尺寸一定的情况下能够实现较大的扭矩。

在一些实施例中，如图4和图5所示，定子铁芯1呈环状且套设在磁环21外。其中，齿11'包括连接形成T形的颈部111和靴部112，颈部111连接于靴部112的内周壁上，靴部112设在颈部111的径向内端，靴部112与磁环21之间具有间隙。

该实施例的内转子电机，在周向尺寸一定的情况下可实现较大的转速，且由于线圈31位于磁环21外侧，散热性更好，且便于维修。例如，内转子电机可用于电动汽车等对散热要求高、需要组装方便的场合。

在一些实施例中，如图15至图19，定子铁芯1与磁环21沿轴向叠加设置，且磁环21沿定子铁芯1的径向至少部分覆盖线圈31。

其中，图15为定子铁芯1的结构示意图，靴部112呈环形盘状结构，多个齿组11设在靴部112的端部，例如，齿组11中仅包括单个齿11'，每个齿11'的大致形状为梯形，梯形的四个角可设置圆角，径向内侧和外侧的边可设置为圆弧。导线3绕在齿11'的外周。

图16为磁环的结构示意图，图17示意出了定子铁芯1与磁环21沿轴向叠加设置的结构，磁环21沿定子铁芯1的径向至少部分覆盖线圈31，由此磁环21需设置为较大的宽度，为了使线圈31通电产生的磁场力能够有效作用于磁环21，磁环21沿定子铁芯1的径向全部覆盖线圈31。转轴22连接于磁环21的中心区域，且转轴22的两端超过定子铁芯1和磁环21。

该实施例的平面电机尺寸较小，整体形状扁而薄，可用于安装尺寸比较受限的场合，而且可实现大扭矩和大功率。

在一些实施例中，如图18所示，定子铁芯1沿轴向的两侧均设有磁环21；如图19所示，磁环21沿轴向的两侧均设有定子铁芯1；或者，电机中包括多个定子铁芯1和多个磁环21，定子铁芯1和磁环21沿轴向交替设置，既满足定子铁芯1沿轴向的两侧均设有磁环21，也满足磁环21沿轴向的两侧均设有定子铁芯1。

该实施例的电机能够实现更大的扭矩，从而提升功率密度。

其次，本公开提供了一种设备，包括上述实施例的电机。例如，设备可以涉及电气伺服传动领域、信息处理领域、交通运输领域、家用电器领域、消费电子领域、国防领域与特殊用途领域等。

由于本公开实施例的电机具备较有的综合性能，例如，可增大扭矩和功率、提高工作效率、提高工作稳定性和寿命、降低工作噪音、齿数相同时可减少磁极数由此降低驱动难度、提高绕线自动化程度和效率等，因此此种电机能够很好地满足不同领域中不同设备的驱动需求，更容易进行选型。

最后，本公开提供了一种基于上述实施例电机的制造方法，参考图2，在一些实施例中，该制造方法包括：

供线步骤：提供一根导线3；

绕线步骤：将导线3在齿组11上按不同相序顺序缠绕，直至每个齿组11上均形成线圈31；导线3在同一相对应的所有线圈31中，相邻两个齿组11上的线圈31之间间隔的齿组11的数量为X-1，且相邻两个齿组11上的线圈31沿齿组11周向的绕线方向相反；

断线步骤：使导线3在相邻相序的连接处断开，以使导线3的总相数为X，且每相导线3具有独立的第一端和第二端。

以图2所示的两相电机为例，将一根导线3从X1-IN开始，按照每间隔一个齿组11的方式依次绕线，且

相邻齿组 11 沿齿组 11 周向的绕线方向相反, 完成整周绕制从 X1-OUT 引出后, 该导线 3 再从 X2-IN 所在位置继续绕线, 仍是按照每间隔一个齿组 11 的方式依次绕线, 直至从 X2-OUT 引出。最后将 X1-OUT 与 X2-IN 之间的连线断开, 以形成 X1 和 X2 相导线 3。

该实施例采用一根导线 3 绕完所有相, 无需间断, 有利于实现自动化绕线。而且, 同相的导线 3 交替缠绕, 绕线方法简单, 由于各相导线 3 之间相互独立, 可全自动化实现各相导线 3 缠绕后各自具有第一端和第二端, 减少了盘线, 也无需人工修剪即可进入下一工序, 可提高绕线的自动化程度, 从而提高生产效率和绕线成功率。

下面给出本公开电机的一些具体实施例。

在第一实施例中, 如图 1 和图 2 所示, 电机包括一个定子铁芯 1, 定子铁芯 1 包括轭部 12 和多个齿组 11, 多个齿组 11 沿定子铁芯 1 的周向均匀间隔设置, 且连接于轭部 12 的外周, 轭部 12 为圆环形, 每个齿组 11 包括单个齿 11'。齿 11' 包括颈部 111 和靴部 112, 靴部 112 连接于颈部 111 的径向外端, 以形成 T 形结构。

磁环 21 同轴套设在定子铁芯 1 外, 此种外转子电机由于线圈 31 通电产生磁场力的力臂更大, 在周向尺寸一定的情况下能够实现较大的扭矩。

两相导线 3 缠绕于齿 11' 以在齿 11' 上形成线圈 31, 每相导线 3 均具有独立的第一端和第二端, 例如, X1 相导线 3 具有 X1-IN 和 X1-OUT, X2 相导线 3 具有 X2-IN 和 X2-OUT。对于同一相导线 3, 相邻两个线圈 31 之间间隔的齿 11' 的数量为 1, 且相邻两个线圈 31 沿齿 11' 周向的绕线方向相反, 相邻两个线圈 31 之间通过连接段 32 连接。X2-IN、X1-IN、X2-OUT 和 X1-OUT 沿周向从相邻的四个齿 11' 引出。

例如, 在选择磁环 21 的极数 $P=4$, 导线 3 的总相数为 $X=2$ 的情况下, 其余结构和驱动参数设计如下:

齿 11' 的数量 $Z=P \times X=4 \times 2=8$;

磁环 21 的单极夹角 $\beta=360^{\circ} / P=360^{\circ} / 4=90^{\circ}$;

X1、X2 相所在的齿 11' 两侧间隙在定子铁芯 1 周向上的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 $\beta_1=\beta_2=45^{\circ}$;

两相驱动信号的相位差 $\theta_{12}=2 \times 45^{\circ}=90^{\circ}$ 。

基于上述结构, 在绕线时, X1 相导线 3 对应编号为 1、3、5、7 号的齿 11', 且沿齿 11' 的周向交替反向缠绕, 形成 X1-IN 和 X1-OUT 两条引出线; X2 相导线 3 对应编号为 2、4、6、8 号的齿 11', 且沿齿 11' 的周向交替反向缠绕, 形成 X2-IN 和 X2-OUT 两条引出线。四条引出线对应驱动板上两相驱动四个接口。

如图 6 所示, 两相电机的驱动信号为连续的正弦波, 例如, 两相正弦波的幅值和频率可相同, 且相位差为 90° , 相位差可通过软件精准地进行控制。此外, 通过软件预先计算出电机驱动的数据, 再通过对应电机转速需求输出驱动的波形, 精准控制各路独立供电。

每相导线 3 全时段通电, 驱动方式为交叉通电, 两路相位差为 90° 的独立波形各切换一次即可实现一对 NS 极转子的旋转, 驱动简单, 切换稳定, 可增大电机的工作效率, 提高电机的工作稳定性和整体寿命, 并降低工作噪音, 对于额定工作范围内的不同负载, 无需调试即可直接使用。每相一个周期的驱动信号中, 驱动信号的方向需要进行四次切换。

如图 7 所示, 两相电机的驱动信号为非连续的正弦波。

如图 8 所示, 两相电机的驱动信号为间歇的方波, 驱动方式为交替通电, 可增大电机的输出扭矩, 简化控制难度, 降低成本。

本公开电机实现驱动是交流电驱动, 要实现两组交流电输入可有以下三种方案:

1、在 AC 交流电输出上配合电容移相的原理, 将单相交流电变成双相相位相差 90° 的两相交流电, 便可以直接驱动电机, 此时交流电的频率为 50Hz, 所以此方案电机的转速恒定, 要控制电机的转速就得更改交流电频率, 此种方式调速难度较大;

2、将 AC 交流电通过 AC-DC 开关电源逆变成预定电压的直流电, 再通过 MOS 管控制逆变成预定电压交流电, 然后分成两路相位相差 90° 的交流电对电机供电, 便可实现驱动, 此种方案调速相对简单;

3、将 AC 交流电通过整流桥变成 310V 的直流电, 再通过 MOS 管控制逆变成指定电压交流电, 然后分成两路相位相差 90° 的交流电对电机供电, 便可实现驱动, 此种方案调速也简单。

在第二实施例中, 如图 4 和图 5 所示, 与第一实施例的不同之处在于, 颈部 111 连接于轭部 12 的内周壁上, 靴部 112 设在颈部 111 的径向内端。此种内转子电机在周向尺寸一定的情况下可实现较大的转速, 且由于线圈 31 位于磁环 21 外侧, 散热性更好, 且便于维修。第二实施例的绕线方式和驱动方式可参考第一实施

例。

在第三实施例中，如图 9 和图 10 所示，与第一实施例的不同之处在于，三相导线 3 缠绕于齿 11' 以在齿 11' 上形成线圈 31，每相导线 3 均具有独立的第一端和第二端，例如，X1 相导线 3 具有 X1-IN 和 X1-OUT，X2 相导线 3 具有 X2-IN 和 X2-OUT，X3 相导线 3 具有 X3-IN 和 X3-OUT。对于同一相导线 3，相邻两个线圈 31 之间间隔的齿 11' 的数量为 2，且相邻两个线圈 31 沿齿 11' 周向的绕线方向相反，相邻两个线圈 31 之间通过连接段 32 连接。X3-IN、X2-IN、X1-IN、X3-OUT、X2-OUT 和 X1-OUT 沿周向从相邻的六个齿组 11 引出。

例如，在选择磁环 21 的极数 $P=4$ ，导线 3 的总相数为 $X=3$ 的情况下，其余结构和驱动参数设计如下：
齿 11' 的数量 $Z=P \times X=4 \times 3=12$ ；

磁环 21 的单极夹角 $\beta=360^\circ / P=360^\circ / 4=90^\circ$ ；

X1、X2 或 X3 相所在的齿 11' 两侧间隙在定子铁芯 1 周向上的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 $\beta_1=\beta_2=\beta_3=30^\circ$ ；

如图 11 所示，三相驱动信号中，X1 和 X2 相之间的相位差 $\theta_{12}=2 \times 30^\circ=60^\circ$ ；X2 和 X3 相之间的相位差 $\theta_{23}=2 \times 30^\circ=60^\circ$ ；X1 和 X3 相之间的相位差 $\theta_{13}=2 \times 60^\circ=120^\circ$ 。

三相电机的驱动信号为连续的正弦波，三相正弦波的幅值和频率可相同，相邻两相驱动信号的相位差为 60° 。每相导线 3 全时段通电，驱动方式为交叉通电。

如图 12 所示，两相电机的驱动信号为间歇的方波，三相方波的幅值和频率可相同，三相驱动信号之间相位差的计算方式与图 11 相同，相邻两相驱动信号的相位差为 60° 。每相导线 3 间歇通电，驱动方式为交替通电。

三相电机与两相电机相比，可实现更大的驱动扭矩。在工作时，三相导线 3 可全部通电，或者根据实际扭矩需求也可之内部分相导线 3 通电。

在第四实施例中，如图 13 和图 14 所示，与第一实施例的不同之处在于，不同相导线 3 对应齿 11' 在定子铁芯 1 周向上所占的空间不同，即不同相导线 3 对应的齿 11' 在定子铁芯 1 的周向上非均匀分布，但是同一相导线 3 对应的齿 11' 在定子铁芯 1 的周向上均匀分布。例如，X1 相导线 3 对应齿 11' 的靴部 112 的周向长度小于 X2 相导线 3 对应齿 11' 的靴部 112 的周向长度。

齿 11' 的数量 $Z=P \times X=4 \times 2=8$ ；

磁环 21 的单极夹角 $\beta=360^\circ / P=360^\circ / 4=90^\circ$ ；

X1、X2 相所在的齿 11' 两侧间隙在定子铁芯 1 周向上的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 $\beta_1=22.5^\circ$ ， $\beta_2=67.5^\circ$ ；

两相驱动信号的相位差 $\theta_{12}=2 \times 22.5^\circ=45^\circ$ 。

如图 14 所示，两相电机的驱动信号为连续的正弦波，例如，两相正弦波的幅值和频率可相同，且相位差为 45° 。每相导线 3 全时段通电，驱动方式为交叉通电，可增大电机的工作效率，提高电机的工作稳定性和整体寿命，并降低工作噪音。每相一个周期的驱动信号中，驱动信号的方向需要进行四次切换。

在第五实施例中，如图 15 至 19 所示，与第一实施例的不同之处在于，靴部 12 呈环形盘状结构，多个齿组 11 设在靴部 12 的端部，例如，齿组 11 中仅包括单个齿 11'，每个齿 11' 的大致形状为梯形，梯形的四个角可设置圆角，径向内侧和外侧的边可设置为圆弧形。导线 3 绕在齿 11' 的外周。

图 16 为磁环的结构示意图，图 17 示意出了定子铁芯 1 与磁环 21 沿轴向叠加设置的结构，磁环 21 沿定子铁芯 1 的径向至少部分覆盖线圈 31，为了使线圈 31 通电产生的磁场力能够有效作用于磁环 21，磁环 21 沿定子铁芯 1 的径向全部覆盖线圈 31。定子铁芯 1 和磁环 21 的外径可相同。此种平面电机尺寸较小，整体形状扁而薄，可用于安装尺寸比较受限的场合，而且可实现大扭矩和大功率。

如图 18 所示，定子铁芯 1 沿轴向的两侧均设有磁环 21；如图 19 所示，磁环 21 沿轴向的两侧均设有定子铁芯 1；或者，电机中包括多个定子铁芯 1 和多个磁环 21，定子铁芯 1 和磁环 21 沿轴向交替设置。

对于上述各实施例，除了前面给出的优点，此种电机使用无需使电机、驱动线路板、驱动程序和负载来对应调试开发，选定一款电机的转速和功率，便可选择对应的驱动控制板，以实现最大效率驱动。因为此种电机的驱动信号与转速和磁环都是对应的，即通过霍尔传感器与芯片内程序来综合判断精准换向，同一电机匹配不同负载时不再需要精准调试换向的时间点，内置的程序可以增加简单逻辑实现提前判断，确保电机效率最大化。例如，输出功率为 20W，转速为 1500 转的电机，可驱动 5W 至 15W 左右的各种扇叶负载，无需

二次调试，均可以接近或达到最大的 99%效率点。

但是传统三相电机的 6 种切换过程是用复杂的 Foc（磁场导向控制）算法实现的，如不对应负载做二次调试，电机的效率就会大大降低。例如，输出功率为 20W，转速为 1500 转的传统三相电机，在驱动 5W 至 15W 左右的各种扇叶时，如果不做二次调试，可能某个负载在 15W 工作时，效率会低于 90%，甚至可能低于 80%，如做二次调试，最高可以达到 95%以上，且不同人员调试出的电机，最大效率点又会有高低不同。

虽然已经通过示例对本公开的一些特定实施例进行了详细说明，但是本领域的技术人员应该理解，以上示例仅是为了进行说明，而不是为了限制本公开的范围。本领域的技术人员应该理解，可在不脱离本公开的范围和精神的情况下，对以上实施例进行修改或者对部分技术特征进行等同替换。本公开的范围由所附权利要求来限定。

权 利 要 求 书

1.一种无刷电机，其特征在于，包括：

至少一个定子铁芯（1），所述定子铁芯（1）包括沿其周向间隔设置的多个齿组（11），所述齿组（11）的总数量为Z；

转子（2），相对于所述定子铁芯（1）可转动，所述转子（2）包括极数为P的磁环（21），P为偶数；和

至少两相导线（3），缠绕于所述齿组（11）以在所述齿组（11）上形成线圈（31），所述导线（3）的总相数为X，每相所述导线（3）均具有独立的第一端和第二端；对于同一相所述导线（3），相邻两个所述齿组（11）上的所述线圈（31）之间间隔的所述齿组（11）的数量为X-1，且相邻两个所述齿组（11）上的所述线圈（31）沿所述齿组（11）周向的绕线方向相反；

其中， $Z=P \times X$ 。

2.根据权利要求1所述的无刷电机，其特征在于，

所述齿组（11）包括单个齿（11'），所述导线（3）缠绕于所述齿（11'）以在所述齿（11'）上形成线圈（31）；和/或

所述齿组（11）包括至少两个齿（11'），至少两个所述齿（11'）沿所述定子铁芯（1）的周向间隔设置，所述导线（3）缠绕于至少两个所述齿（11'），以在至少两个所述齿（11'）上形成线圈（31）。

3.根据权利要求1所述的无刷电机，其特征在于，每相所述导线（3）被配置为通入独立的驱动信号。

4.根据权利要求1所述的无刷电机，其特征在于，在所述定子铁芯（1）的径向上，至少两相所述导线（3）形成的每个线圈（31）的绕线方向一致。

5.根据权利要求4所述的无刷电机，其特征在于，至少两相所述导线（3）形成的每个线圈（31）的起始绕线位置均位于远离所述转子（2）的一侧。

6.根据权利要求1所述的无刷电机，其特征在于，在所述定子铁芯（1）的径向上，至少两相所述导线（3）的第一端和第二端均从所述齿组（11）的同一侧引出。

7.根据权利要求1所述的无刷电机，其特征在于，在所述定子铁芯（1）的周向上，所有的第一端和第二端从多个相邻的所述齿组（11）引出。

8.根据权利要求7所述的无刷电机，其特征在于，其中，

至少两相所述导线（3）从第一端起位于同一序号的所述线圈（31）沿所述齿组（11）周向的绕线方向一致；或者

至少一组相邻两相所述导线（3）从第一端起位于同一序号的所述线圈（31）沿所述齿组（11）周向的绕线方向相反。

9.根据权利要求1所述的无刷电机，其特征在于，至少两相所述导线（3）沿所述定子铁芯（1）的周向从第1至X相顺序依次缠绕；

通入驱动信号的所述导线（3）包括第i相导线（3）和第k相导线（2），第i相导线（3）的驱动信号与第k相导线（2）的驱动信号之间的相位差 $\theta_{ik} = \frac{P}{2} \sum_{l=1}^{k-1} \beta_X$ ，其中， $1 \leq i < k \leq X$ ；

在同一所述定子铁芯（1）中，第x相导线（3）的所述齿组（11）与两侧相邻齿组（11）在最靠近的位置均具有间隙，所述间隙在所述定子铁芯（1）的周向上具有中心位置；在Z个所述齿组（11）形成的所有间隙中，第x相导线（3）的所述中心位置与在所述定子铁芯（1）的周向上相邻的所述中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 β_X ，且 β_X 对应的扇区包括至少部分第x相导线（3）的齿组（11）。

10.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机，其特征在于，所述定子铁芯（1）沿轴向叠加设置多个，且每个所述定子铁芯（1）中包括至少一相所述导线（3），在所述定子铁芯（1）的周向上，多个所述定子铁芯（1）各自的所述齿组（11）错开设置。

11.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机，其特征在于，在所述转子（2）的整个目标转速区间内，所有相的导线（3）通入的驱动信号强度一致。

12.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机，其特征在于，

在所述转子（2）的目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下，各相导线（3）通入的驱动信号强度一致；

在所述转子(2)的目标扭矩不高于所述第一预设扭矩的情况下,部分相的导线(3)通入的驱动信号具有预设强度,其余相的导线(3)通入的驱动信号低于所述预设强度或不驱动。

13.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机,其特征在于,所述无刷电机具有第一工作模式,在所述第一工作模式下,每相所述导线(3)全时段通电,且相邻相所述导线(3)之间的驱动信号具有相位差。

14.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机,其特征在于,所述无刷电机具有第二工作模式,在所述第二工作模式下,每相所述导线(3)间歇通电,相邻相所述导线(3)之间的驱动信号具有相位差。

15.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机,其特征在于,
所述磁环(21)套设在所述定子铁芯(1)外。

16.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机,其特征在于,所述定子铁芯(1)呈环状且套设在所述磁环(21)外。

17.根据权利要求1~9任一项所述的无刷电机,其特征在于,所述定子铁芯(1)与所述磁环(21)沿轴向叠加设置,且所述磁环(21)沿所述定子铁芯(1)的径向至少部分覆盖所述线圈(31)。

18.根据权利要求17所述的无刷电机,其特征在于,
所述定子铁芯(1)沿轴向的两侧均设有所述磁环(21);和/或
所述磁环(21)沿轴向的两侧均设有所述定子铁芯(1)。

19.一种设备,其特征在于,包括权利要求1~18任一项所述无刷电机。

20.一种基于权利要求1~18任一项所述无刷电机的制造方法,其特征在于,包括:

供线步骤:提供一根导线(3);

绕线步骤:将所述导线(3)在所述齿组(11)上按不同相序顺序缠绕,直至每个所述齿组(11)上均形成所述线圈(31);所述导线(3)在同一相对应的所有线圈(31)中,相邻两个所述齿组(11)上的所述线圈(31)之间间隔的所述齿组(11)的数量为 $X-1$,且相邻两个所述齿组(11)上的所述线圈(31)沿所述齿组(11)周向的绕线方向相反;

断线步骤:使所述导线(3)在相邻相序的连接处断开,以使所述导线(3)的总相数为 X ,且每相导线(3)具有独立的第一端和第二端。