

用于无刷电机的驱动方法、装置和设备

技术领域

本公开涉及电机驱动技术领域，尤其是一种用于无刷电机的驱动方法、装置和设备。

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，因此在电气伺服传动、信息处理、交通运输、家用电器、消费电子、国防等领域中的应用十分广泛。

一种较为常见的直流无刷电机是单相直流无刷电机，其具有体积小、控制简单等特点。

另一种较为常见的直流无刷电机是三相直流无刷电机，其具有寿命长、噪音低、驱动方式灵活、产业链技术成熟等特点，应用场景广泛，可适用于各种民用产品和军用产品中。此外，由于调速宽、体积小、效率高、稳态速度误差小，三相直流无刷电机还在调速领域具有优势。

三相直流无刷电机采用“UVW”三相绕组与对应的磁环布局设计，三相绕组有两种接线方式，分别是星型接法和三角型接法。以电动机为例，通过驱动程序分别对三相绕组交叉切换通电来实现旋转的磁场，从而带动有磁环的转子旋转。

然而，单相直流无刷电机和三相直流无刷电机各自都有缺点。

单相直流无刷电机提供的扭矩小，导致应用场景较为局限，通常应用在功率较小的家用电器中。

三相直流无刷电机虽然能够提供较大的扭矩，但在驱动过程中需要用6种方式规律地对“UVW”三相绕组中的两相绕组进行切换通电，每一相绕组的驱动信号都与其它每相绕组的驱动信号关联，控制复杂。

发明内容

鉴于此，本公开提出如下解决方案，能够以简单的控制驱动无刷电机提供较大的扭矩。

根据本公开实施例的一方面，提供一种用于无刷电机的驱动方法，所述无刷电机包括：定子铁芯，包括沿第一周向间隔设置的Z个齿组；转子，包括极数为P的磁环，P为偶数；和X相导线，缠绕于所述齿组以形成线圈， $X \geq 2$ ， $Z = P \times X$ ；在同一相所述导线中，相邻两个齿组上的所述线圈沿所述齿组的第二周向的绕线方向相反、且间隔X-1个所述齿组；所述驱动方法包括：通过N相导线各自独立的第一端和第二端，向所述N相导线提供周期变化的N个驱动信号，每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于0的第一波形和强度小于0的第二波形， $1 \leq N \leq X$ 。

在一些实施例中， $2 \leq N \leq X$ ，所述N个驱动信号在第一时段内的强度持续不为0。

在一些实施例中，所述第一波形和所述第二波形交叠的时刻为第一时刻，每个驱动信号在一个周期中除所述第一时刻外的任意时段内的强度持续不为0。

在一些实施例中，每个驱动信号在一个周期中的第二时段内的强度持续为0。

在一些实施例中，每个驱动信号在一个周期中除所述第二时段外的任意时刻的强度均不为0。

在一些实施例中，所述N个驱动信号的幅值相同。

在一些实施例中，所述第一波形与所述第二波形中心对称。

在一些实施例中，所述N个驱动信号的波形均为方波；或者所述第一波形和所述第二波形符合正弦函数。

在一些实施例中，所述无刷电机包括一个或多个所述定子铁芯，所述X相导线沿所述第一周向按照从第1至第X相的顺序依次缠绕于所述齿组；所述N相导线包括第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， $1 \leq i < k \leq X$ ，在同一所述定子铁芯中，第x

相导线的所述齿组与两侧相邻齿组在最靠近的位置均具有间隙，所述间隙在所述第一周向上具有中心位置，在所述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所述第一周向上相邻的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 β_X ，且所述圆弧对应的扇区包括至少部分第x相导线的所述齿组。

在一些实施例中，所述方法还包括：根据所述转子的目标扭矩，确定所述N相导线和每个驱动信号的第

一幅值；根据所述转子的目标转速，确定每个驱动信号的第一频率。

在一些实施例中，在所述目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下， $N=X$ 。

在一些实施例中，在所述目标扭矩高于所述第一预设扭矩的情况下，所述 N 个驱动信号的第一幅值相同。

在一些实施例中，在所述目标扭矩低于第二预设扭矩的情况下： $N<X$ 、且所述 N 个驱动信号的第一幅值相同；或者 $N=X$ 、且所述 N 个驱动信号中至少两个驱动信号的第一幅值不同。

在一些实施例中，从多组参数中调用达到所述目标转速和所述目标扭矩需要的一组参数，所述一组参数表示每个驱动信号的第二频率和第二幅值；和根据所述一组参数，确定每个驱动信号的所述第一频率和所述第一幅值。

根据本公开实施例的另一方面，提供一种用于无刷电机的驱动装置，所述无刷电机包括：定子铁芯，包括沿第一周向间隔设置的 Z 个齿组；转子，包括极数为 P 的磁环， P 为偶数；和 X 相导线，缠绕于所述齿组以形成线圈， $X\geq 2$ ， $Z=P\times X$ ；在同一相所述导线中，相邻两个齿组上的所述线圈沿所述齿组的第二周向的绕线方向相反、且间隔 $X-1$ 个所述齿组；所述驱动装置包括：提供模块，被配置为通过 N 相导线各自独立的第一端和第二端，向所述 N 相导线提供周期变化的 N 个驱动信号，每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于0的第一波形和强度小于0的第二波形， $1\leq N\leq X$ 。

根据本公开实施例的又一方面，提供一种用于无刷电机的驱动装置，包括：存储器；以及耦接至所述存储器的处理器，被配置为基于存储在所述存储器中的指令，执行上述任意一个实施例所述的用于无刷电机的驱动方法。

根据本公开实施例的还一方面，提供一种设备，包括上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动装置；和所述无刷电机。

根据本公开实施例的还一方面，提供一种计算机可读存储介质，包括计算机程序指令，其中，所述计算机程序指令被处理器执行时实现上述任意一个实施例所述的用于无刷电机的驱动方法。

本公开实施例提供的用于无刷电机的驱动方法中，通过 N 相导线各自独立的第一端和第二端，向 N 相导线提供 N 个驱动信号。这种方式下，在 N 增大的情况下，无刷电机提供的扭矩增大，与此同时，由于 N 个驱动信号彼此之间独立，控制仍然较为简单。如此，可以以简单的控制方式驱动无刷电机提供较大的扭矩。

下面通过附图和实施例，对本公开的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

为了更清楚地说明本公开实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图1A示出了根据本公开一些实施例的无刷电机中定子铁芯与磁环的配合示意图。

图1B示出了根据本公开一些实施例的无刷电机中导线缠绕于定子铁芯的结构示意图。

图2是本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动方法的流程示意图。

图3A、图3B和图3C是本公开一些实施例的无刷电机的工作原理示意图。

图4A是根据本公开一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

图4B是根据本公开另一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

图5是根据本公开又一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

图6A是根据本公开一些实施例的交替通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

图6B是根据本公开另一些实施例的交替通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

图6C和6D是根据本公开还一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

图6E是根据本公开一些实施例的无刷电机中两个定子铁芯沿轴向叠加的结构示意图。

图7是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动方法的流程示意图。

图8是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动装置的结构示意图。

图9是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动装置的结构示意图。

图10A是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的结构示意图。

图10B是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的结构示意图。

图11是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制方法的流程示意图。

图 12 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制方法的流程图。

图 13 是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制装置的结构示意图。

图 14 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制装置的结构示意图。

图 15A 是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动系统的电路示意图。

图 15B 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动系统的电路示意图。

图 16 是根据本公开又一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本公开实施例中的附图，对本公开实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本公开一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本公开中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例，都属于本公开保护的范围。

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、数字表达式和数值不限制本公开的范围。

同时，应当明白，为了便于描述，附图中所示出的各个部分的尺寸并不是按照实际的比例关系绘制的。

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，所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

在这里示出和讨论的所有示例中，任何具体值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。因此，示例性实施例的其它示例可以具有不同的值。

应注意：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

本公开实施例提供一种用于无刷电机的驱动方法。

为了便于理解，首先结合图 1A 和图 1B 对本公开一些实施例的无刷电机进行说明。图 1A 示出了根据本公开一些实施例的无刷电机中定子铁芯与磁环的配合示意图。图 1B 示出了根据本公开一些实施例的无刷电机中导线缠绕于定子铁芯的结构示意图。

如图 1A 和图 1B 所示，无刷电机包括定子铁芯 1、转子 2 和多相导线 3。

定子铁芯 1 包括沿定子铁芯 1 的周向（为了区分，后文称为第一周向）间隔设置的 Z 个齿组 11，Z 为整数。在一些实施例中，参见图 1A 和图 1B，定子铁芯 1 还包括轭部 12，齿组 11 连接于轭部 12。

定子铁芯 1 的数量可以是一个或多个。应理解的是，在无刷电机包括多个定子铁芯 1 的情况下，齿组 11 的总数量 Z 为在所有定子铁芯 1 上设置的全部齿组 11 的数量。

在一些实施例中，定子铁芯 1 包括沿轴向叠加设置的多个定子铁芯。这种情况下，不同定子铁芯的齿组彼此之间错开设置。

每个齿组 11 可以包括一个或沿第一周向相邻的多个齿 11'。图 1B 示意性地示出无刷电机中每个齿组 11 包括一个齿 11'。

转子 2 包括极数为 P 的磁环 21，P 为大于或等于 2 的偶数。转子 2 例如可以与定子铁芯 1 同轴、且相对于定子铁芯 1 可转动地设置。

磁环 21 包括数量相等的南极（S）和北极（N），并且南极和北极沿定子铁芯 1 的第一周向交替设置。图 1A 所示的无刷电机中，磁环 21 的极数 P 等于 4，这种情况下，沿定子铁芯 1 的第一周向的磁极依次为 N-S-N-S。

多相导线 3 的数量用 X 表示，即 X 为大于或等于 2 的整数。例如，X 可以等于 2、3 或 5 等。图 1A 和 1B 示意性地示出了 X=2 的情况。

X 相导线 3 缠绕于齿组 11 以形成线圈 31。在同一相导线 3 中，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 的周向（后文称为第二周向）的绕线方向相反、且间隔 X-1 个齿组 11。每相导线 3 各自具有独立的两端，分别为第一端和第二端。

可以理解的是，在任意一相导线 3 中相邻两个齿组 11 上的线圈 31 之间间隔的 X-1 个齿组 11 上分别一一对应地缠绕其它 X-1 相导线 3。

例如，定子铁芯 1 可以包括沿轴向叠加设置的 X 个定子铁芯，每个定子铁芯的齿组上仅缠绕一相导线，不同定子铁芯的齿组上缠绕不同相导线。这种情况下，同一相导线 3 中相邻两个齿组 11 上的线圈 31 之间间隔的 X-1 个齿组 11 可以属于这两个齿组 11 所在的定子铁芯外的其它 X-1 个定子铁芯。

由于同一相导线 3 中相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 的第二周向的绕线方向相反，故，这相邻两个齿组 11 处产生的磁场方向相反。同一相导线 3 中相邻两个齿组 11 上的线圈 31 例如可以经由连接段 32 连接。

应理解的是，同一齿组 11 上的线圈 31 沿第二周向的绕线方向是相同的。例如，每个齿组 11 可以包括多个齿 11'，导线 3 可以缠绕于这多个齿 11' 以形成多个线圈。这种情况下，一个齿组 11 上形成的多个线圈沿第二周向的绕线方向相同。

在本公开实施例的无刷电机中，磁环 21 的极数 P、多相导线 3 的数量 X 和齿组 11 的数量 Z 满足如下关系： $Z=P \times X$ 。换言之，每相导线 3 分别缠绕于 P 个齿组 11，每个磁极与缠绕不同相导线 3 的 X 个齿组 11 相对应。

作为一些实现方式，每个齿组 11 包括颈部 111 和靴部 112。

例如，参见图 1B，每个齿组 11 包括一个齿 11'，这一个齿 11' 包括一个颈部 111 和一个靴部 112。又例如，每个齿组 11 包括多个齿 11'，每个齿 11' 各自包括独立的一个颈部 111，并且各自还包括独立的一个靴部 112。再例如，每个齿组 11 包括多个齿 11'，每个齿 11' 各自包括独立的一个颈部 111，多个齿 11' 共用一个靴部 112。

在这些实现方式下，导线 3 缠绕于齿组 11 的颈部 111，并且在导线 3 被通电（即，提供至导线 3 的驱动信号的强度不为 0）时，会产生磁场。由于同一相导线 3 中相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 的第二周向的绕线方向相反，故，在任意一相导线 3 被通电时，该相导线 3 所缠绕的相邻两个齿组 11 处产生的磁场方向相反。

下面结合图 1A 和图 1B 所示的无刷电机进行说明。在图 1A 和图 1B 所示的无刷电机中，无刷电机包括两相导线 3，分别为第一相导线 X1 和第二相导线 X2，并且磁环 21 的极数为 4，即， $X=2$ 、且 $P=4$ 。这种情况下，齿组 11（即齿 11'）的数量 $Z=8$ 。

第一相导线 X1 和第二相导线 X2 各自缠绕于不同的 4 个齿 11' 上以形成 4 个线圈 31。

在第一相导线 X1 形成的 4 个线圈 31 中，沿定子铁芯 1 的第一周向上任意相邻的两个齿 11' 上的线圈 31 之间间隔一个齿 11'，这一个齿 11' 上缠绕第二相导线 X2，并且，这相邻两个齿 11' 上的线圈 31 沿齿 11' 的第二周向的绕线方向相反。

类似地，在第二相导线 X2 形成的 4 个线圈 31 中，沿第一周向上任意相邻的两个齿 11' 上的线圈 31 之间间隔一个齿 11'，这一个齿 11' 上缠绕第一相导线 X1，并且，这相邻两个齿 11' 上的线圈 31 沿第二周向的绕线方向也相反。

应理解的是，图 1A 和图 1B 仅仅是示意性地示出本公开实施例的无刷电机可以是外转子结构（即，磁环 21 设置在定子铁芯 1 之外），但本公开并不限于此。

例如，无刷电机也可以是磁环 21 设置在定子铁芯 1 之内的内转子结构。

又例如，无刷电机还可以是磁环 21 与定子铁芯 1 沿轴向叠加设置的平面结构。作为一些实现方式，无刷电机可以包括沿轴向叠加设置的一个磁环和一个定子铁芯。作为另一些实现方式，无刷电机可以包括沿轴向叠加设置的一个磁环和两个定子铁芯，磁环位于两个定子铁芯之间。作为又一些实现方式，无刷电机可以包括沿轴向叠加设置的两个磁环和一个定子铁芯，定子铁芯位于两个磁环之间。

下面继续说明本公开提供的用于无刷电机的驱动方法。图 2 是本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动方法的流程示意图。

如图 2 所示，用于无刷电机的驱动方法包括步骤 210。

在步骤 210，通过 X 相导线 3 中的 N 相导线 3 各自独立的第一端和第二端，向 N 相导线 3 提供周期变化的 N 个驱动信号。N 为大于等于 1 且小于等于 X 的任意整数。

例如，在 $X=2$ 的情况下，N 可以等于 1 或 2。又例如，在 $X=3$ 的情况下，N 可以等于 1、2 或 3。再例如，在 $X=5$ 的情况下，N 可以等于 1、3 或 5。

这里，N 个驱动信号中的每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于 0 的第一波形和强度小于 0 的第二波形。换言之，每个驱动信号在一个周期内的强度发生正负变化。

在一些实施例中，N 个驱动信号的频率相同。

在一些实施例中，N 个驱动信号中至少两个驱动信号的幅值不同。在另一些实施例中，N 个驱动信号的幅值相同。

在一些实施例中,每个驱动信号的第一波形与第二波形中心对称。可以理解,在驱动信号的一个周期内,若第一波形和第二波形中的一个在沿横轴翻转并平移后能够与第一波形和第二波形中的另一个重叠,这种情况下,第一波形与第二波形中心对称。

在一些实施例中,N个驱动信号的波形均为方波。在另一些实施例中,N个驱动信号中每个驱动信号的第一波形和第二波形符合正弦函数。例如,N个驱动信号的波形均为正弦波。在又一些实施例中,N个驱动信号的波形不是方波、且第一波形和第二波形不符合正弦函数。例如,N个驱动信号的波形均为双峰波或其它波形。

下面结合图3A、图3B和图3C对本公开提供的无刷电机的工作原理进行说明。图3A、图3B和图3C是本公开一些实施例的无刷电机的工作原理示意图。为了便于理解,图3A、图3B和图3C中,将图1A和图1B所示的无刷电机中的磁环21和齿11'采用直线展开形式示意。

图3A、图3B和图3C中, $N=X=2$ 。即,通过第一相导线X1的第一端和第二端(X1-IN和X1-OUT)向第一相导线X1提供驱动信号,同时,通过第二相导线X2的第一端和第二端(X2-IN和X2-OUT)向第二相导线X2提供驱动信号。

为了便于区分,在这些图示中,将第一相导线X1所缠绕的齿11'从左向右依次用X1(1)、X1(2)、X1(3)和X1(4)表示,并将第二相导线X2所缠绕的齿11'从左向右依次用X2(1)、X2(2)、X2(3)和X2(4)表示。

如前所述,由于同一相导线3中相邻两个齿11'上的线圈31沿齿11'周向的绕线方向相反,在第一相导线X1的驱动信号的强度不为0(即,第一相导线X1被通电)时,X1(1)、X1(2)、X1(3)和X1(4)中任意相邻的两个处产生方向相反的磁场。同样地,在第二相导线X2的驱动信号的强度不为0(即,第二相导线X2被通电)时,X2(1)、X2(2)、X2(3)和X2(4)中任意相邻的两个处也产生方向相反的磁场。

首先,参见图3A,4个磁极中每个磁极的临界点O(即每个磁极在定子铁芯1的周向上的中点)分别与X1(1)、X1(2)、X1(3)和X1(4)的靴部112正对。此时,提供至第一相导线X1的驱动信号的强度为正和负中的一个(假设为正),这种情况下,X1(1)、X1(2)、X1(3)和X1(4)处依次产生N-S-N-S的磁场。提供至第二相导线X2的驱动信号的强度为正和负中的一个(假设同样为正),这种情况下,X2(1)、X2(2)、X2(3)和X2(4)处依次产生N-S-N-S的磁场。受磁力作用,磁环21沿如图3A所示的箭头方向旋转。

在旋转一定角度(例如,90°)后,磁环21与齿11'之间的相对位置关系如图3B所示,4个磁极中每个磁极的临界点O分别与X2(1)、X2(2)、X2(3)和X2(4)的靴部112正对。此时,提供至第一相导线X1的驱动信号的强度保持为正,X1(1)、X1(2)、X1(3)和X1(4)处仍依次产生N-S-N-S的磁场。然而,提供至第二相导线X2的驱动信号的强度从正切换为负,X2(1)、X2(2)、X2(3)和X2(4)处依次产生的磁场从N-S-N-S变为S-N-S-N。受磁力作用,磁环21继续沿箭头方向旋转。

在再次旋转一定角度(例如,90°)后,磁环21与齿11'之间的相对位置关系如图3C所示,4个磁极中每个磁极的临界点O再次分别与X1(1)、X1(2)、X1(3)和X1(4)的靴部112正对。此时,提供至第一相导线X1的驱动信号的强度从正切换为负,这种情况下,X1(1)、X1(2)、X1(3)和X1(4)处依次产生的磁场从N-S-N-S变为S-N-S-N。提供至第二相导线X2的驱动信号的强度保持为负,X2(1)、X2(2)、X2(3)和X2(4)处仍依次产生S-N-S-N的磁场。受磁力作用,磁环21继续沿箭头方向旋转。

后续过程与前文类似,这里不再赘述。从上述说明可见,通过向第一相导线X1和第二相导线X2分别提供在一个周期内强度发生正负变化的驱动信号,可以使磁环21持续地朝同一方向旋转。

应理解的是,上述以提供至各相导线3的驱动信号在该相导线3所缠绕的齿组11的靴部112与磁极的临界点O正对时换相(即进行正负切换)为例进行了说明,这种情况下,可以提高无刷电机的效率。但在一些实施例中,驱动信号也可以在靴部112未与磁极的临界点O正对时换相。

本公开提供的用于无刷电机的驱动方法中,通过N相导线3各自独立的第一端和第二端,向N相导线3提供N个驱动信号。这种方式下,在N增大的情况下,无刷电机提供的扭矩增大,与此同时,由于N个驱动信号彼此之间独立,控制仍然较为简单。如此,可以以简单的控制方式驱动无刷电机提供较大的扭矩。

此外,通过本公开实施例提供的用于无刷电机的驱动方法,可以在不同场景下向不同数量的N相导线3提供驱动信号,以使得无刷电机能够工作于不同的工况。如此,可以提高无刷电机的通用性。

在 $2 \leq N \leq X$ 的情况下,按照N相导线3是否在同一时段内被持续通电,可以将本公开提供的用于无刷电

机的驱动方法进一步分成交叉通电和交替通电两种不同的方式。后文分别对这两种方式进行说明。

首先对交叉通电的方式进行说明。

在交叉通电的方式下，提供至N相导线3的N个驱动信号在第一时段内的强度持续不为0。换言之，N相导线3在同一第一时段内被持续通电，也即，N相导线3持续通电的时段存在彼此之间交叉的部分。如此，可以提高无刷电机中绕组和铁芯的利用率。

由于在同一时段内两相绕组通电而一相绕组不通电，传统的三相直流无刷电机中绕组和铁芯的利用率仅约66%。例如，在N=X的情况下，X相导线3在同一第一时段内被持续通电，也即，无刷电机中绕组和铁芯在第一时段内的利用率可以达到100%的极限利用率，优于传统的三相直流无刷电机。

下面结合图4A、4B和图5继续说明交叉通电的方式下的一些实施例。图4A是根据本公开一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。图4B是根据本公开另一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。图5是根据本公开又一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

在一些实施例中，每个驱动信号中强度大于0的第一波形和强度小于0的第二波形交叠的时刻为第一时刻，并且，每个驱动信号在一个周期中除第一时刻外的任意时段内的强度持续不为0。

换言之，在这些实施例中，提供的每个驱动信号的波形都是连续的。也即，提供的每个驱动信号的强度在任意时段内都不持续为0，而仅仅在进行正负切换时（即第一时刻）为0。

例如，参见图4A和图4B，提供至每相导线的驱动信号的波形均为正弦波。在驱动信号的第一波形和第二波形交叠的第一时刻，驱动信号的强度为0。在第一时刻外的任意时段内，驱动信号的强度持续不为0。

图4A示意性示出了X=N=2的情况。这种情况下，第一相导线的驱动信号与第二相导线的驱动信号之间的相位差为 θ_{12} 。

图4B示意性示出了X=N=3的情况。这种情况下，第一相导线的驱动信号与第二相导线的驱动信号之间的相位差为 θ_{12} ，第二相导线的驱动信号与第三相导线的驱动信号之间的相位差为 θ_{23} ，并且，第一相导线的驱动信号与第三相导线的驱动信号之间的相位差为 θ_{13} 。

在这些实施例中，N相导线3同时被持续通电的第一时段更长，从而可以进一步提高无刷电机中绕组和铁芯的利用率。例如，在N=X的情况下，无刷电机中绕组和铁芯的利用率可以在更长的时间内达到100%的极限利用率。

此外，在N相导线3被持续通电的情况下，定子铁芯1内部的抖动减小，从而可以降低无刷电机运行时产生的电磁噪音，并延长无刷电机中轴承的寿命。

作为一些实现方式，如图4A和4B所示，在交叉通电的方式下，N个驱动信号均为连续的正弦波。这种方式下，每个驱动信号只需要2次切换通电即可完成一对磁环的旋转。在相同转速和扭矩情况下，传统的三相直流无刷电机完成一对磁环的旋转需要6次切换通电。

因此，在交叉通电的方式下，采用波形为正弦波的驱动信号来驱动无刷电机，可以降低对提供驱动信号的芯片的算力需求。

在另一些实施例中，每个驱动信号在一个周期中的第二时段内的强度持续为0。换言之，在这些实施例中，提供的每个驱动信号的波形都是间断的而非连续的。

作为一些实现方式，每个驱动信号在一个周期中除第二时段外的任意时刻的强度均不为0。

例如，参见图5，提供至第一相导线的驱动信号和提供至第二相导线的驱动信号均为不连续的波形，并且，它们各自的第一波形和第二波形均符合正弦函数。

具体地，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 ϕ_1' 的相位角并滞后 ϕ_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 ϕ_2' 的相位角并滞后 ϕ_2'' 的相位角得到。

这种情况下，每个驱动信号在换相位置提前和滞后的时段内的强度持续为0，并在除该时段外的任意时刻的强度均不为0。

如前文所提到的，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。

通过提供在第二时段内的强度持续为 0、在除第二时段外的任意时刻的强度均不为 0 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。

接下来结合图 6A 和 6B 对交替通电的驱动方式进行说明。图 6A 是根据本公开一些实施例的交替通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。图 6B 是根据本公开另一些实施例的交替通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

在交替通电的方式下，在任意一个驱动信号的一个周期中强度不为 0 的时段内，N 个驱动信号中其它驱动信号的强度均为 0。2≤N≤X。

换言之，在交替通电的方式下，每个驱动信号都是间断的、不连续的，并且，任意两相导线 3 在任意时段内均不会同时持续通电。

例如，参见图 6A 和 6B，提供至每相导线的驱动信号的波形均为方波。在任意一相导线的驱动信号持续不为 0 的时段内，其它相导线的驱动信号的强度为 0。图 6A 示意性地示出 X=N=2 的情况。图 6B 示意性地示出 X=N=3 的情况。

由于在同一时段内仅一个驱动信号的强度持续不为 0，因此，利用交替通电的驱动方式来驱动无刷电机可以进一步简化控制。

相较于其它波形的驱动信号，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。

至此已对交叉通电和交替通电两种驱动方式进行了说明。

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。

下面进一步说明本公开提供的用于无刷电机的驱动方法的一些实施例。应理解的是，这些实施例对于交叉通电的驱动方式和交替通电的驱动方式均是适用的。

在一些实施例中，在 N 大于等于 2 的情况下，通过调整向 N 相导线 3 提供驱动信号的顺序，可以驱动磁环 21 朝不同方向旋转。

下面以图 6C 和图 6D 所示的情况为例进行说明。图 6C 和图 6D 是根据本公开还一些实施例的交叉通电的驱动方式下的驱动信号的波形图。

如图 6C 所示，从时刻 t0 开始向第一相导线提供第一相导线的驱动信号，并从时刻 t0 后的时刻 t1 开始向第二相导线提供第二相导线的驱动信号。即，先向第一相导线提供第一相导线的驱动信号，后向第二相导线提供第二相导线的驱动信号。这种情况下，磁环 21 可以朝第一方向（例如顺时针方向）旋转。

如图 6D 所示，从时刻 t0 开始向第二相导线提供第二相导线的驱动信号，并从时刻 t0 后的时刻 t1 开始向第一相导线提供第一相导线的驱动信号。即，先向第二相导线提供第二相导线的驱动信号，后向第一相导线提供第一相导线的驱动信号。这种情况下，磁环 21 可以朝与第一方向相反的第二方向（例如逆时针方向）旋转。

如此，通过调整向 N 相导线 3 提供驱动信号的顺序即可驱动磁环 21 朝不同方向旋转，从而可以提高无刷电机的通用性。

在一些实施例中，无刷电机包括一个或多个定子铁芯 1，并且 X 相导线 3 沿定子铁芯 1 的第一周向按照从第 1 至第 X 相的顺序依次缠绕于齿组 11。N 相导线包括第 i 相导线和第 k 相导线。

这种情况下，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≤i<k≤X。应理解，式中 x 为变量，取大于等于 i 且小于等于 k-1 的每个整数。

在一些实施例中， θ_{ik} 的取值范围为 [1°，180°)。作为一些实现方式， θ_{ik} 的取值范围为 [15°，120°]。例如， θ_{ik} 可以取 15° 的整数倍，比如 15°、30°、45°、60° 等。

在同一定子铁芯 1 中，第 x 相导线的齿组 11 与两侧相邻齿组 11 在最靠近的位置均具有间隙。

例如，在无刷电机包括一个定子铁芯 1 的情况下，第 x 相导线的齿组 11 两侧相邻的齿组 11 为其它相导线的齿组 11。又例如，在无刷电机包括沿轴向叠加设置的多个定子铁芯 1 的情况下，第 x 相导线的齿组 11 两侧相邻的齿组 11 为同一相导线的齿组 11。

每个间隙在第一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 相导线的中心位置与在第一周向上相邻的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 β_x ,且圆弧对应的扇区包括至少部分第 x 相导线的所述齿组 11。

例如,参见图 6E,无刷电机可以包括沿轴向叠加设置的 2 个定子铁芯 1,第一个定子铁芯 1 用实线表示,第二个定子铁芯 1 用虚线表示。在第一个定子铁芯 1 中,相邻两个齿组在最靠近的位置具有间隙;在第二个定子铁芯 1 中,相邻两个齿组在最靠近的位置也具有间隙。这种情况下,第 1 相导线的圆心角 β_1 为第 1 相导线的一个中心位置与第 2 相导线在第一周向上与第 1 相导线的这一个中心位置相邻的一个中心位置之间的圆弧对应的圆心角。

为了便于说明,后文将 β_x 简称为第 x 相导线的圆心角。

例如,在 $X=2$ 的情况下, $i=1, k=2$,即第一相导线的驱动信号与第二相导线的驱动信号之间的相位差 $\theta_{12}=\beta_1 \times P/2$ 。

又例如,在 $X=3$ 的情况下,存在三种取值情况。在第一种取值情况下, $i=1, k=2$,即第一相导线的驱动信号与第二相导线的驱动信号之间的相位差 $\theta_{12}=\beta_1 \times P/2$ 。在第二种取值情况下, $i=2, k=3$,即第二相导线的驱动信号与第三相导线的驱动信号之间的相位差 $\theta_{23}=\beta_2 \times P/2$ 。在第三种取值情况下, $i=1, k=3$,即第一相导线的驱动信号与第三相导线的驱动信号之间的相位差 $\theta_{13}=(\beta_1+\beta_2) \times P/2$ 。

结合图 1A 来看,第一相导线 X_1 的圆心角 $\beta_1=45^\circ$,第二相导线 X_2 的圆心角 $\beta_2=45^\circ$,并且,磁环 21 的极数 $P=4$ 。

这种情况下,参见图 4A 和图 6A,第一相导线的驱动信号与第二相导线的驱动信号之间的相位差 $\theta_{12}=2 \times 45^\circ=90^\circ$ 。

应理解的是,图 1A 仅仅是示意性地示出不同相导线 3 的圆心角相等,但本公开实施例不限于此,只要满足不同相导线 3 的圆心角之和等于 β 即可。这里,参见图 1A, β 为磁环 21 上单个磁极在第一周向上的圆心角,其大小等于 360° 除以磁极的极数 P 。

以图 1A 所示的无刷电机为例, $X=2$ 、且 $P=4$,这种情况下, $\beta=90^\circ$ 。也就是说, β_1 和 β_2 可以是大于 0° 且小于 90° 的任意角度,满足 $\beta_1+\beta_2=90^\circ$ 即可。

上述实施例中,提供至任意两相导线 3 的驱动信号之间的相位差根据磁环 21 的极数和定子铁芯 1 的结构参数确定。如此,可以准确且稳定地控制无刷电机工作。

如前文所提及的,通过向不同数量的 N 相导线 3 提供驱动信号,可以驱动无刷电机工作于不同的工况。有鉴于此,本公开还提供如下实施例的用于无刷电机的驱动方法。

图 7 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动方法的流程示意图。

如图 7 所示,用于无刷电机的驱动方法还包括步骤 220 和步骤 230。步骤 220 和步骤 230 可以在步骤 210 之前执行。

在步骤 220,根据转子的目标扭矩,确定 N 相导线和每个驱动信号的第一幅值。

作为一些实现方式,在目标扭矩越大的情况下, N 越大。作为另一些实现方式,在目标扭矩越大的情况下,每个驱动信号的第一幅值越大。作为又一些实现方式,在目标扭矩越大的情况下, N 越大、且每个驱动信号的第一幅值越大。

在步骤 230,根据转子的目标转速,确定每个驱动信号的第一频率。

作为一些实现方式,在目标转速越大的情况下,每个驱动信号的第一频率越大。

如此,可以按照转子的目标扭矩和目标转速,调整 N 相导线、驱动信号的频率和幅值,以驱动无刷电机工作于具有目标扭矩和目标转速的工况。

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, $N=X$ 。即,在转子的目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下,向无刷电机的每相导线 3 提供驱动信号。这种方式下,通过向无刷电机的每相导线 3 提供驱动信号,可以驱动无刷电机工作于具有较高目标扭矩的工况。

作为一些实现方式,在转子的目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下, $N=X$ 、且 N 个驱动信号的第一幅值相同。这种方式下,由于提供至每相导线 3 的幅值相同,可以以简单的控制方式驱动无刷电机工作于具有较高目标扭矩的工况。

在一些实施例中,在转子的目标扭矩低于第二预设扭矩的情况下, $N<X$ 、且 N 个驱动信号的第一幅值相同。这种方式下,由于提供至 N 相导线 3 的幅值相同,可以以简单的控制方式驱动无刷电机工作于具有较低

目标扭矩的工况。

在另一些实施例中，在转子的目标扭矩低于第二预设扭矩的情况下， $N=X$ 、且 N 个驱动信号中至少两个驱动信号的第一幅值不同。这种方式下，通过向 X 相导线 3 中的部分导线 3 提供具有较大幅值的驱动信号，而向其它导线 3 提供具有较小幅值的驱动信号，可以驱动无刷电机工作于具有较低目标扭矩的工况。

在一些实施例中，可以按照如下方式确定 N 个驱动信号中每个驱动信号的第一频率和第一幅值。

首先，可以从多组参数中调用达到目标转速和目标扭矩需要的一组参数。这一组参数表示每个驱动信号的第二频率和第二幅值。然后，可以根据所调用的一组参数，确定每个驱动信号的第一频率和第一幅值。

例如，多组参数中的每组参数用于使转子达到不同的转速和扭矩。这多组参数可以被预先存储在存储单元中。存储单元例如可以是只读存储器（Read-Only Memory, ROM）。

在获取到无刷电机中转子的当前目标转速和目标扭矩后，可以根据目标转速和目标扭矩，从这多组参数中调用与目标转速和目标扭矩匹配的一组参数。然后，可以根据无刷电机实际的运行情况（例如，摩擦力等）对这一组参数表示的第二频率和第二幅值进行微调，以得到每个驱动信号的第一频率和第一幅值。

在这些实施例中，可以直接调用使转子达到目标转速和目标扭矩需要的一组参数，并基于这一组参数确定每个驱动信号的第一频率和第一幅值。这种方式下，可以减少驱动无刷电机时实时进行的计算量。

本公开实施例还提供一种用于无刷电机的驱动装置。

图 8 是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动装置的结构示意图。无刷电机包括定子铁芯 1、转子 2 和 X 相导线 3， $X \geq 2$ 。定子铁芯 1 包括沿第一周向间隔设置的 Z 个齿组 11。转子 2 包括极数为 P 的磁环 21， P 为偶数。 X 相导线 3 缠绕于齿组 11 以形成线圈 31， $Z=P \times X$ 。

在同一相导线 3 中，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 的第二周向的绕线方向相反、且间隔 $X-1$ 个齿组 11。

如图 8 所示，用于无刷电机的驱动装置 800 包括提供模块 801。

提供模块 801 被配置为通过 N 相导线 3 各自独立的第一端和第二端，向 N 相导线 3 提供周期变化的 N 个驱动信号。这里， $1 \leq N \leq X$ ，并且，每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于 0 的第一波形和强度小于 0 的第二波形。

在一些实施例中， N 个驱动信号在第一时段内的强度持续不为 0。即，用于无刷电机的驱动装置 800 可以以交叉通电的方式驱动无刷电机。

在另一些实施例中， $2 \leq N \leq X$ ，并且，在任意一个驱动信号的一个周期中强度不为 0 的时段内， N 个驱动信号中其它驱动信号的强度均为 0。即，用于无刷电机的驱动装置 800 可以以交替通电的方式驱动无刷电机。

应理解，用于无刷电机的驱动装置 800 还可以包括其它各种模块，以执行上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动方法。相关之处参见前文的说明即可，这里不再赘述。

图 9 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动装置的结构示意图。

如图 9 所示，用于无刷电机的驱动装置 900 包括存储器 901 以及耦接至该存储器 901 的处理器 902，处理器 902 被配置为基于存储在存储器 901 中的指令，执行上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动方法。

存储器 901 例如可以包括系统存储器、固定非易失性存储介质等。系统存储器例如可以存储有操作系统、应用程序、引导装载程序（Boot Loader）以及其他程序等。

驱动装置 900 还可以包括输入输出接口 903、网络接口 904、存储接口 905 等。这些输入输出接口 903、网络接口 904、存储接口 905 之间、以及存储器 901 与处理器 902 之间例如可以通过总线 906 连接。输入输出接口 903 为显示器、鼠标、键盘、触摸屏等输入输出设备提供连接接口。网络接口 904 为各种联网设备提供连接接口。存储接口 905 为 SD 卡、U 盘等外置存储设备提供连接接口。

本公开实施例还提供了一种计算机可读存储介质，包括计算机程序指令，该计算机程序指令被处理器执行时实现上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动方法。

本公开实施例还提供一种用于无刷电机的驱动电路。无刷电机包括定子铁芯 1、转子 2 和 X 相导线 3， $X \geq 2$ 。定子铁芯 1 包括沿第一周向间隔设置的 Z 个齿组 11。转子 2 包括极数为 P 的磁环 21， P 为偶数。 X 相导线 3 缠绕于齿组 11 以形成线圈 31， $Z=P \times X$ 。在同一相导线 3 中，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 的第二周向的绕线方向相反、且间隔 $X-1$ 个齿组 11。

图 10A 是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的结构示意图。图 10B 是根据本公开另一些

实施例的用于无刷电机的驱动电路的结构示意图。

图 10A 示出了 $X=2$ 的情况，图 10B 示出了 $X=3$ 的情况。参见图 10A 和图 10B，用于无刷电机的驱动电路包括 X 个全桥电路 1010。每个全桥电路 1010 包括并联于驱动电路的输入端 VIN 与接地端 GND 之间的两个半桥电路 1011。

每个半桥电路 1011 包括经由节点 P 连接的两个开关 S1 和 S2。开关 S1~S2 例如可以是晶闸管（又称为可控硅）、金属氧化物半导体（MOSFET）或绝缘栅双极型晶体管（IGBT）等。

每个全桥电路 1010 中的两个半桥电路 1011 包括第一半桥电路 1011a 和第二半桥电路 1011b。这里，第 i 个全桥电路 1010 中的第一半桥电路 1011a 的节点 P 被配置为与第 i 相导线的第一端连接，并且第 i 个全桥电路 1010 中的第二半桥电路 1011b 的节点 P 被配置为与第 i 相导线 3 的第二端连接。 $1 \leq i \leq X$ 。

也即， X 个全桥电路 1010 与无刷电机 BM 中的 X 相导线 3 一一对应。每个全桥电路 1010 中的第一半桥电路 1011a 的节点 P 与对应的一相导线 3 的第一端连接，并且，第二半桥电路 1011b 与对应的一相导线 3 的第二端连接。

例如，参见图 10A，两个第一半桥电路 1011a 的节点 P 分别与第一相导线的第一端 X1-IN 和第二相导线的第一端 X2-IN 连接，并且，两个第二半桥电路 1011b 的节点 P 分别与第一相导线的第二端 X1-OUT 和第二相导线的第二端 X2-OUT 连接。

又例如，参见图 10B，三个第一半桥电路 1011a 的节点 P 分别与第一相导线的第一端 X1-IN、第二相导线的第一端 X2-IN 和第三相导线的第一端 X3-IN 连接，并且，三个第二半桥电路 1011b 的节点 P 分别与第一相导线的第二端 X1-OUT、第二相导线的第二端 X2-OUT 和第三相导线的第二端 X3-OUT 连接。

通过控制上述实施例的用于无刷电机的驱动电路中开关 S1 和 S2 各自的状态，驱动电路可以按照上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动方法向无刷电机的 N 相导线提供 N 个驱动信号。

在一些实施例中， X 个全桥电路 1010 中的 N 个全桥电路 1010 被配置为在一个控制周期内，通过 N 相导线 3 各自独立的第一端和第二端，向 N 相导线 3 提供周期变化的 N 个驱动信号， $1 \leq N \leq X$ 。

这里，每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于 0 的第一波形和强度小于 0 的第二波形。在一些实施例中，驱动电路提供的 N 个驱动信号的频率相同。

例如，每个半桥电路 1011 的两个开关 S1 和 S2 中，第一开关 S1 与驱动电路的输入端 VIN 连接，并且，第二开关 S2 与驱动电路的接地端 GND 连接。

这种情况下，通过控制第 i 个全桥电路 1010 的第一半桥电路 1011a 中的第一开关 S1 导通且第二开关 S2 断开，并控制第 i 个全桥电路 1010 的第二半桥电路 1011b 中的第二开关 S2 导通且第一开关 S1 断开，可以控制第 i 个全桥电路 1010 向第 i 相导线提供强度大于 0 的第一波形。

反之，通过控制第 i 个全桥电路 1010 的第二半桥电路 1011b 中的第一开关 S1 导通且第二开关 S2 断开，并控制第 i 个全桥电路 1010 的第一半桥电路 1011a 中的第二开关 S2 导通且第一开关 S1 断开，可以控制第 i 个全桥电路 1010 向第 i 相导线提供强度小于 0 的第二波形。

在一些实施例中，与驱动电路的输入端 VIN 连接的第一开关 S1 为 n 型 MOSFET 和 P 型 MOSFET 中的一个，并且，与驱动电路的接地端 GND 连接的第二开关 S2 为 n 型 MOSFET。例如，第一开关 S1 为 n 型 MOSFET；又例如，第一开关 S1 为 p 型 MOSFET。如此，可以提高驱动的稳定性的。

在一些实施例中，驱动电路提供的 N 个驱动信号中至少两个驱动信号的幅值不同。在另一些实施例中，驱动电路提供的 N 个驱动信号的幅值相同。

在一些实施例中，驱动电路提供的每个驱动信号的第一波形与第二波形中心对称。

在一些实施例中，驱动电路提供的 N 个驱动信号的波形均为方波。在另一些实施例中，第一波形和所述第二波形符合正弦函数。

在一些实施例中， X 相导线 3 沿第一周向按照从第 1 至第 X 相的顺序依次缠绕于齿组 11。 N 相导线包括第 i 相导线和第 k 相导线。

驱动电路提供的第 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 1 中，第 x 相导线的齿组 11 与两侧相邻齿组 11 在最靠近的位置均具有间隙，间隙在第一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 相导线的中心位置与在第一周向上相邻的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 βx ,且圆弧对应的扇区包括至少部分第 x 相导线的齿组 11。

作为一些实现方式,用于无刷电机的驱动电路按照交叉通电的方式向 N 相导线 3 提供 N 个驱动信号。

在这些实现方式下, N 个驱动信号在第一时段内的强度持续不为 0。即, N 个驱动信号在同一时段内的强度均持续不为 0。

在一些实施例中,驱动电路提供的每个驱动信号的第一波形和第二波形交叠的时刻为第一时刻,每个驱动信号在一个周期中除第一时刻外的任意时段内的强度持续不为 0。即,每个驱动信号都是连续不间断的。

在另一些实施例中,驱动电路提供的每个驱动信号在一个周期中的第二时段内的强度持续为 0。即,驱动信号是间断的。作为一些实现方式,驱动电路提供的每个驱动信号在一个周期中除第二时段外的任意时刻的强度均不为 0。

作为另一些实现方式,用于无刷电机的驱动电路按照交替通电的方式向 N 相导线 3 提供 N 个驱动信号。

在这些实现方式下,在任意一个驱动信号的一个周期中强度不为 0 的时段内, N 个驱动信号中其它驱动信号的强度均为 0。即,驱动电路提供的任意两个驱动信号的强度不同时持续不为 0。

图 11 是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制方法的流程示意图。

如图 11 所示,用于无刷电机的驱动电路的控制方法包括步骤 1110。

在步骤 1110,在一个控制周期内,控制 X 个全桥电路的 N 个全桥电路中每个全桥电路的第一半桥电路中的一个开关和第二半桥电路中的一个开关导通,以使得 N 个全桥电路通过 N 相导线各自独立的第一端和第二端,向 N 相导线提供周期变化的 N 个驱动信号。

这里, $1 \leq N \leq X$,并且,每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于 0 的第一波形和强度小于 0 的第二波形。

如此,可以控制上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动电路中的 N 个全桥电路通过 N 相导线 3 各自独立的第一端和第二端,向 N 相导线 3 提供周期变化的 N 个驱动信号。

图 12 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制方法的流程示意图。

如图 12 所示,用于无刷电机的驱动电路的控制方法还包括步骤 1120~步骤 1130。

在步骤 1120,根据转子的目标扭矩,确定 N 相导线和每个驱动信号的第一幅值。

在步骤 1130,根据转子的目标转速,确定每个驱动信号的第一频率。

步骤 1120 和步骤 1130 可以在步骤 1110 之前执行。

如此,可以根据转子的目标扭矩和目标转速来控制驱动电路,以使得驱动电路提供能够驱动无刷电机工作于具有目标扭矩和目标转速的工况的 N 个驱动信号。

在一些实施例中,在目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下, $N=X$ 。作为一些实现方式,在目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下, N 个驱动信号的第一幅值相同。

在一些实施例中,在目标扭矩低于第二预设扭矩的情况下, $N < X$ 、且 N 个驱动信号的第一幅值相同。在另一些实施例中,在目标扭矩低于第二预设扭矩的情况下, $N=X$ 、且 N 个驱动信号中至少两个驱动信号的第一幅值不同。

在一些实施例中,从多组参数中调用达到目标转速和目标扭矩需要的一组参数,这一组参数表示每个驱动信号的第二频率和第二幅值。然后根据所调用的这一组参数,确定每个驱动信号的第一频率和第一幅值。

由于用于无刷电机的驱动电路的控制方法与前文中用于无刷电机的驱动方法的实施例基本对应,所以描述的比较简单,相关之处参见前文说明即可。

本公开实施例还提供一种用于无刷电机的驱动电路的控制装置。

图 13 是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制装置的结构示意图。

如图 13 所示,用于无刷电机的驱动电路的控制装置 1300 包括控制模块 1301。

控制模块 1301 被配置为在一个控制周期内,控制 X 个全桥电路的 N 个全桥电路中每个全桥电路的第一半桥电路中的一个开关和第二半桥电路中的一个开关导通,以使得 N 个全桥电路通过 N 相导线各自独立的第一端和第二端,向 N 相导线提供周期变化的 N 个驱动信号。

这里, $1 \leq N \leq X$,并且,每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于 0 的第一波形和强度小于 0 的第二波形。

在一些实施例中,控制模块 1301 被配置为控制驱动电路,以使得驱动电路按照交叉通电的方式向无刷电

机提供驱动信号。在另一些实施例中，控制模块 1301 被配置为控制驱动电路，以使得驱动电路按照交替通电的方式向无刷电机提供驱动信号。

应理解，控制装置 1300 还可以包括其它各种模块，以执行上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制方法。

图 14 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制装置的结构示意图。

如图 14 所示，用于无刷电机的驱动电路的控制装置 1400 包括存储器 1401 以及耦接至该存储器 1401 的处理器 1402，处理器 1402 被配置为基于存储在存储器 901 中的指令，执行上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制方法。

存储器 1401 例如可以包括系统存储器、固定非易失性存储介质等。系统存储器例如可以存储有操作系统、应用程序、引导装载程序（Boot Loader）以及其他程序等。

控制装置 1400 还可以包括输入输出接口 1403、网络接口 1404、存储接口 1405 等。这些输入输出接口 1403、网络接口 1404、存储接口 1405 之间、以及存储器 1401 与处理器 1402 之间例如可以通过总线 1406 连接。输入输出接口 1403 为显示器、鼠标、键盘、触摸屏等输入输出设备提供连接接口。网络接口 1404 为各种联网设备提供连接接口。存储接口 1405 为 SD 卡、U 盘等外置存储设备提供连接接口。

本公开实施例还提供一种用于无刷电机的驱动系统。驱动系统包括上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动电路、以及上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制装置（例如，控制装置 1300/1400）。控制装置例如可以是微控制单元（MCU）。

在一些实施例中，用于无刷电机的驱动电路中的 X 个全桥电路被封装在 X 个芯片中，即，一个全桥电路封装在一个芯片中。在另一些实施例中，用于无刷电机的驱动电路中的 X 个全桥电路被封装在一个芯片中。

在一些实施例中，用于无刷电机的驱动电路的控制装置与驱动电路被封装在不同芯片中。

在另一些实施例中，用于无刷电机的驱动电路的控制装置与驱动电路被封装在同一芯片中。例如，X 个全桥电路一一对应地封装在 X 个芯片中，并且，每个芯片还可以封装用于控制该芯片中的一个全桥电路的一个子控制装置。这种情况下，用于无刷电机的驱动电路的控制装置包括封装在 X 个芯片中的全部子控制装置。

在一些实施例中，驱动系统还包括 X 个霍尔检测元件。例如，X 个霍尔检测元件可以与 X 个全桥电路封装在同一芯片中。又例如，每个霍尔检测元件可以与对应的一個全桥电路封装在一个芯片中。

图 15A 是根据本公开一些实施例的用于无刷电机的驱动系统的电路示意图。

如图 15A 所示，用于无刷电机的驱动系统包括用于无刷电机的驱动电路 1501 和用于无刷电机的驱动电路的控制装置 1502。

图 15A 中示意性地示出驱动电路 1501 包括两个全桥电路，每个全桥电路包括 4 个开关，共 8 个开关（图 15A 均示出为 n 型 MOSFET）。这 8 个开关分别用 Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6、Q7 和 Q8 表示。

控制装置 1502 被配置为控制驱动电路 1501 中每个开关 Q1~Q8 的状态。

具体地，参见图 15A，控制装置 1502 的 8 个端子 PWM1_P、PWM2_P、PWM1_N、PWM2_N、PWM3_P、PWM4_P、PWM3_N、PWM4_N 分别与开关 Q1~Q8 的栅极连接。例如，端子 PWM1_P、PWM2_P、PWM1_N、PWM2_N 分别经由电阻器阵列 R1 中 4 个电阻器中的 1 个电阻器与第一个全桥电路中的开关 Q1、Q2、Q5 和 Q6 的栅极连接，而端子 PWM3_P、PWM4_P、PWM3_N、PWM4_N 分别经由电阻器阵列 R2 中 4 个电阻器中的 1 个电阻器与第二个全桥电路中的开关 Q3、Q4、Q7 和 Q8 的栅极连接。控制装置 1502 可以通过这 8 个端子输出脉冲宽度调制（PWM）信号，以控制开关 Q1~Q8 各自的状态。

在一些实施例中，控制装置 1502 还被配置为根据霍尔检测信号来控制驱动电路 1501 中每个开关的状态。

例如，参见图 15A，控制装置 1502 可以通过端子 INT0 和 INT1 分别与两个霍尔检测元件 1503 连接，以从霍尔检测元件 1503 获取霍尔检测信号。每个霍尔检测元件 1503 可以包括供电电压端 VCC、接地端 GND 和霍尔检测信号输出端 OUT。

在一些实施例中，控制装置 1502 还被配置为检测驱动电路 1501 的电流和电压，以确保驱动电路 1501 工作在可靠的电压和电流范围内，从而提高驱动电路 1501 的可靠性。

例如，参见图 15A，控制装置 1502 可以通过端子 ACC_0 来检测驱动电路 1501 的电流，并通过端子 ACC_1 来检测驱动电路 1501 的电压。

驱动系统还可以包括分压电路，分压电路包括串联于驱动电路 1501 的输入端 VIN 和接地端 GND 之间的两个电阻器 R3 和 R4。端子 ACC_1 与电阻器 R3 和 R4 之间的中间节点连接，以检测驱动电路 1501 的电压。

驱动系统还可以包括如图 15A 所示的电流检测电路 1504。电流检测电路 1504 包括运算放大器 OA 和多个电阻器 R5、R6、R7、R8、R9 和 R10。运算放大器 OA 包括电源端 VDD 和 VSS、正输入端 IN+、负输入端 IN-、和输出端 OUT。

具体地，电阻器 R5 连接于图 15A 所示的节点 B 与接地端之间。电阻器 R6 一端与电阻器 R5 连接节点 B 的一端相连，且另一端与运算放大器 OA 的正输入端 IN+ 连接。电阻器 R7 一端与电阻器 R5 接地的一端连接，且另一端与运算放大器 OA 的负输入端 IN- 连接。电阻器 R8 一端与电阻器 R6 连接正输入端 IN+ 的一端连接，且另一端接地。电阻器 R9 一端与电阻器 R7 连接负输入端 IN- 的一端连接，且另一端与运算放大器 OA 的输出端 OUT 连接。电阻器 R10 连接于运算放大器 OA 的输出端 OUT 与控制装置 1502 的端子 ACC_0 之间。

如图 15A 所示，驱动系统还可以包括一端接地的多个电容器 C1、C2、C3 和 C4。具体地，电容器 C1 的另一端与一个霍尔检测元件 1503 与控制装置 1502 之间的中间节点连接。电容器 C2 的另一端与另一霍尔检测元件 1503 与控制装置 1502 之间的中间节点连接。电容器 C3 的另一端与电流检测电路 1504 与控制装置 1502 之间的中间节点连接。电容器 C4 的另一端与分压电路与控制装置 1502 之间的中间节点连接。

控制装置 1502 还可以包括其它端子，例如信号输入端 FGRD、信号输出端 PWM_IN、供电电压端 VCC 和接地端 GND，这里不再详述。

图 15B 是根据本公开另一些实施例的用于无刷电机的驱动系统的电路示意图。

图 15B 与图 15A 相似的部分不再赘述。与图 15A 不同的是，图 15B 中的开关 Q1~Q4 为 p 型 MOSFET。

如前文所述，在交替通电的方式下，提供至导线的驱动信号的波形为方波可以进一步简化控制。这种情况下，控制装置 1502 的内部电路较为简单。

具体地，如图 15B 所示，控制装置 1502 包括四个反相器 INV1、INV2、INV3 和 INV4。每个霍尔检测元件 1503 分别经由两个反相器与对应的电阻器阵列中的两个电阻器连接，并且，每个霍尔检测元件 1503 还直接与对应的电阻器阵列中的其它两个电阻器连接。

这些实现方式下，基于内部电路简单的控制装置 1502 即可控制驱动电路 1501。

图 15A 和图 15B 中部分元件旁还标注了用于表示该元件的端子的序号的数字。例如，霍尔检测元件 1503 旁标注的 1、2、3 分别表示霍尔检测元件 1503 的第 1 个端子（即供电电压端 VCC）、第 2 个端子（即输出端 OUT）和第 3 个端子（即接地端 GND）。

本公开实施例还提供一种用于无刷电机的驱动电路。无刷电机包括定子铁芯 1、转子 2 和 X 相导线 3， $X \geq 2$ 。定子铁芯 1 包括沿第一周向间隔设置的 Z 个齿组 11。转子 2 包括极数为 P 的磁环 21，P 为偶数。X 相导线 3 缠绕于齿组 11 以形成线圈 31， $Z = P \times X$ 。在同一相导线 3 中，相邻两个齿组 11 上的线圈 31 沿齿组 11 的第二周向的绕线方向相反、且间隔 X-1 个齿组 11。

图 16 是根据本公开又一些实施例的用于无刷电机的驱动电路的结构示意图。

图 16 示出了 $X=2$ 的情况。参见图 16，用于无刷电机的驱动电路包括第一半桥电路 1610 和 X 个第二半桥电路 1620。第一半桥电路 1610 和 X 个第二半桥电路 1620 并联于驱动电路的输入端 VIN 与接地端 GND 之间。

第一半桥电路 1610 和 X 个第二半桥电路 1620 中的每个半桥电路包括经节点 P' 连接的两个开关 S1' 和 S2'。开关 S1'、S2' 例如可以是晶闸管、MOSFET 或 IGBT 等。例如，开关 S1' 可以是 n 型 MOSFET 和 p 型 MOSFET 中的一个；开关 S2' 是 n 型 MOSFET。

在这些实施例中，第一半桥电路 1610 的节点 P' 被配置为与 X 相导线 3 的第一端均连接，并且，X 个第二半桥电路 1620 中的第 i 个第二半桥电路 1620 的节点 P' 被配置为与第 i 相导线 3 的第二端连接。这里， $1 \leq i \leq X$ 。

例如，参见图 16，第一半桥电路 1610 的节点 P' 与第一相导线的第一端 X1-IN 连接，并与第二相导线的第一端 X2-IN 连接。第一个第二半桥电路 1620 的节点 P' 与第一相导线的第二端 X1-OUT 连接，并且，第二个第二半桥电路 1620 的节点 P' 与第二相导线的第二端 X2-OUT 连接。

驱动电路被配置为通过 N 相导线 3 各自独立的第一端和第二端，向 N 相导线 3 提供周期变化的 N 个驱动信号， $2 \leq N \leq X$ 。

这里，每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于 0 的第一波形和强度小于 0 的第二波形，并且，在任意一个驱动信号的一个周期中强度不为 0 的时段内，N 个驱动信号中其它驱动信号的强度均为 0。

即，驱动电路被配置为向 N 相导线 3 提供 N 个驱动信号，以按照交替通电的方式驱动无刷电机。

例如，通过控制某一第二半桥电路 1620 的开关 S1' 导通且开关 S2' 断开，并控制第一半桥电路 1610 的开关 S1' 断开且开关 S2' 导通，可以使驱动电路向该第二半桥电路 1620 的节点 P' 所连接的一相导线提供强度大于 0 的第一波形。

反之，通过控制某一第二半桥电路 1620 的开关 S1' 断开且开关 S2' 导通，并控制第一半桥电路 1610 的开关 S1' 导通且开关 S2' 断开，可以使驱动电路向该第二半桥电路 1620 的节点 P' 所连接的一相导线提供强度小于 0 的第二波形。

在无刷电机中导线的数量 X 相等的情况下，这些实施例的驱动电路中半桥电路的数量较少。利用这种驱动电路来以交替通电的方式驱动无刷电机，可以降低驱动电路的成本并减小驱动电路的体积。

本公开实施例还提供一种设备，包括上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动装置和上述任意一个实施例的无刷电机。

本公开实施例还提供一种设备，包括上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动电路和上述任意一个实施例的无刷电机。

本公开实施例还提供一种设备，包括上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动系统和上述任意一个实施例的无刷电机。

上述任意一个实施例的设备例如可以是车辆、电器设备（例如家用电器设备）等能够将电能转换为机械能的设备。

本公开实施例还提供一种计算机程序产品，包括计算机程序，该计算机程序被处理器执行时实现上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动方法或上述任意一个实施例的用于无刷电机的驱动电路的控制方法。

至此，已经详细描述了本公开的各实施例。为了避免遮蔽本公开的构思，没有描述本领域所公知的一些细节。本领域技术人员根据上面的描述，完全可以明白如何实施这里公开的技术方案。

本说明书中各个实施例均采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其它实施例的不同之处，各个实施例之间相同或相似的部分相互参见即可。对于装置、电路实施例而言，由于其与方法实施例基本对应，所以描述的比较简单，相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

本领域内的技术人员应当明白，本公开的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本公开可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本公开可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用非瞬时性存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本公开是参照根据本公开实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解，可由计算机程序指令实现流程图中一个流程或多个流程和/或方框图中一个方框或多个方框中指定的功能。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

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

1.一种用于无刷电机的驱动方法，所述无刷电机包括：

定子铁芯（1），包括沿第一周向间隔设置的Z个齿组（11）；

转子（2），包括极数为P的磁环（21），P为偶数；和

X相导线（3），缠绕于所述齿组（11）以形成线圈（31）， $X \geq 2$ ， $Z = P \times X$ ；在同一相所述导线（3）中，相邻两个齿组（11）上的所述线圈（31）沿所述齿组（11）的第二周向的绕线方向相反、且间隔X-1个所述齿组（11）；

所述驱动方法包括：

通过N相导线（3）各自独立的第一端和第二端，向所述N相导线（3）提供周期变化的N个驱动信号，每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于0的第一波形和强度小于0的第二波形， $1 \leq N \leq X$ 。

2.根据权利要求1所述的方法，其中， $2 \leq N \leq X$ ，所述N个驱动信号在第一时段内的强度持续不为0。

3.根据权利要求1所述的方法，其中，所述第一波形和所述第二波形交叠的时刻为第一时刻，每个驱动信号在一个周期中除所述第一时刻外的任意时段内的强度持续不为0。

4.根据权利要求1所述的方法，其中，每个驱动信号在一个周期中的第二时段内的强度持续为0。

5.根据权利要求4所述的方法，其中，每个驱动信号在一个周期中除所述第二时段外的任意时刻的强度均不为0。

6.根据权利要求1所述的方法，其中，所述N个驱动信号的幅值相同。

7.根据权利要求1所述的方法，其中，所述第一波形与所述第二波形中心对称。

8.根据权利要求1所述的方法，其中：

所述N个驱动信号的波形均为方波；或者

所述第一波形和所述第二波形符合正弦函数。

9.根据权利要求1-8任意一项所述的方法，其中，所述无刷电机包括一个或多个所述定子铁芯（1），所述X相导线（3）沿所述第一周向按照从第1至第X相的顺序依次缠绕于所述齿组（11）；

所述N相导线包括第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 $\theta_{ik} = \frac{P}{2} \sum_{i=1}^{k-1} \beta_x$ ，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，所述间隙在所述第一周向上具有中心位置，在所述Z个齿组（11）形成的所有间隙中，第x相导线的所述中心位置与在所述第一周向上相邻的中心位置之间的圆弧对应的圆心角为 β_x ，且所述圆弧对应的扇区包括至少部分第x相导线的所述齿组（11）。

10.根据权利要求1-8任意一项所述的方法，还包括：

根据所述转子（2）的目标扭矩，确定所述N相导线和每个驱动信号的第一幅值；

根据所述转子（2）的目标转速，确定每个驱动信号的第一频率。

11.根据权利要求10所述的方法，其中，在所述目标扭矩高于第一预设扭矩的情况下， $N = X$ 。

12.根据权利要求11所述的方法，其中，在所述目标扭矩高于所述第一预设扭矩的情况下，所述N个驱动信号的第一幅值相同。

13.根据权利要求10所述的方法，其中，在所述目标扭矩低于第二预设扭矩的情况下：

$N < X$ 、且所述N个驱动信号的第一幅值相同；或者

$N = X$ 、且所述N个驱动信号中至少两个驱动信号的第一幅值不同。

14.根据权利要求10所述的方法，其中：

从多组参数中调用达到所述目标转速和所述目标扭矩需要的一组参数，所述一组参数表示每个驱动信号的第二频率和第二幅值；和

根据所述一组参数，确定每个驱动信号的所述第一频率和所述第一幅值。

15.一种用于无刷电机的驱动装置，所述无刷电机包括：

定子铁芯（1），包括沿第一周向间隔设置的Z个齿组（11）；

转子（2），包括极数为P的磁环（21），P为偶数；和

X相导线(3), 缠绕于所述齿组(11)以形成线圈(31), $X \geq 2$, $Z = P \times X$; 在同一相所述导线(3)中, 相邻两个齿组(11)上的所述线圈(31)沿所述齿组(11)的第二周向的绕线方向相反、且间隔X-1个所述齿组(11);

所述驱动装置包括:

提供模块, 被配置为通过N相导线(3)各自独立的第一端和第二端, 向所述N相导线(3)提供周期变化的N个驱动信号, 每个驱动信号在一个周期中的波形包括强度大于0的第一波形和强度小于0的第二波形, $1 \leq N \leq X$ 。

16.一种用于无刷电机的驱动装置, 包括:

存储器; 以及

耦接至所述存储器的处理器, 被配置为基于存储在所述存储器中的指令, 执行权利要求1-14任意一项所述的用于无刷电机的驱动方法。

17.一种设备, 包括:

权利要求15或16所述的用于无刷电机的驱动装置; 和

所述无刷电机。

18.一种计算机可读存储介质, 包括计算机程序指令, 其中, 所述计算机程序指令被处理器执行时实现权利要求1-14任意一项所述的用于无刷电机的驱动方法。