(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105743257 B
(45)授权公告日 2018.04.03

(21)申请号 201610203916.6

(22)申请日 2016.04.01

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105743257 A

(43)申请公布日 2016.07.06

(73)专利权人 东南大学
地址 210033 江苏省南京市栖霞区西岗办事处摄山星城齐民东路8号

(72)发明人 花为 邵凌云 程明

(74)专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所（普通合伙） 32249
代理人 杨晓玲

(51)Int.Cl.
H02K 3/28(2006.01)

(56)对比文件
US 2002/0047430 A1,2002.04.25,全文.
CN 104052180 A,2014.09.17,全文.

审查员 徐晨琛

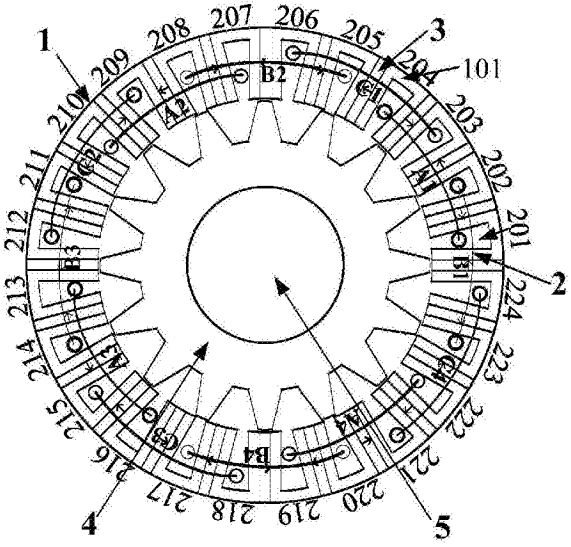
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种单层叠绕组磁通切换无刷电机

(57)摘要

本发明公开了一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其单层叠绕组设计方法与传统的双层集中绕组“一个线圈对应一个定子铁心单元”的固定结构不同，而是以线圈短距角最小为原则选择定子槽放置线圈的两个导体边，以获得最大节距因数。此外，每个定子槽中只放置属于同一相绕组的导线，提高了不同相绕组之间的绝缘能力。本发明的绕组设计方法使得磁通切换无刷电机线圈节距因数达到1，不仅提高了每相空载感应电势的基波幅值和功率(转矩)密度，还降低了绕组嵌线和绝缘工艺的难度，体现出该单层叠绕组磁通切换无刷电机的优越性。



CN 105743257 B

1.一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于该无刷电机的电枢绕组(2)采用单层叠绕组连接方式，每个电枢绕组线圈横跨在多个定子铁心单元两侧的定子槽中，每个定子槽中只放置着属于同一相电枢绕组的线圈导体；电枢绕组(2)的电枢绕组线圈数量等于定子槽数的一半，不同相电枢绕组线圈之间有交叠；该单层叠绕组连接方式，不再仅限于传统集中式绕组连接方式的一个定子铁心单元对应一个电枢绕组线圈的固定结构，而是将电枢绕组线圈按照短距角最小原则放置其两个导体边，以获得最大节距因数，使得每相绕组的节距因数达到1，有效提高每相空载感应电势基波分量的幅值，从而提高转矩功率密度；m相单层叠绕组设计方法具体包括以下步骤：

1)首先根据电机定子槽数N_s和转子极数N_r确定相邻两个定子槽导体空载感应电势之间的电角度相位差α，公式如下：

$$\alpha=\left|180^\circ-\frac{360^\circ}{N_s}\times N_r\right|$$

依次画出N_s个槽导体空载感应电势所对应的星形相量图；

2)基于槽导体空载感应电势星形相量图，将空载感应电势相位相差180°电角度的两个槽导体连接成一个电枢绕组线圈的两个导体边，一共可以形成$N_s/2$个相互独立的电枢绕组线圈；

3)基于2)中所得$N_s/2$个电枢绕组线圈的空载感应电势星形图，将具有绕组互补性的两个电枢绕组线圈串联组成一个线圈组，由此一共形成$N_s/4$个线圈组，每个线圈组中的两个电枢绕组线圈空载感应电势的相位差为0°或180°电角度，因此线圈组空载感应电势基波分量的分布因数为1，并且单个电枢绕组线圈空载感应电势中的偶次谐波分量相互抵消，使得线圈组空载感应电势的谐波含量降低；以每相绕组空载感应电势最大化为原则，将$N_s/4$个线圈组中空载感应电势相位差最小的$N_s/(4m)$个线圈组连接成一相绕组，从而得到第一相电枢绕组线圈构成；如果不存在具有绕组互补性的线圈，则将$N_s/2$个线圈中空载感应电势相位差最小的$N_s/(2m)$个线圈连接组成一相绕组，从而得到第一相电枢绕组线圈构成；其中m是相数；

4)根据m相对称绕组中各相绕组之间的相位关系，即相邻两相绕组空载感应电势之间的相位差为2π/m，m≥3或者π/m，m＝2，依次确定其他m-1相电枢绕组线圈构成，从而得到m相对称电枢绕组的构成方式。

2.根据权利要求1所述的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于，该电机的定子槽数N_s和转子极数N_r满足以下等式之一：

$$1.N_r=N_s\pm\frac{N_s}{4k},k\geq1$$

$$2.N_r=\frac{N_s}{2}\pm\frac{N_s}{4k},k\geq1$$

$$3.N_r=N_s\pm\frac{N_s}{2k+1},k\geq1$$

其中，N_s、N_r、k均为正整数，定子槽数N_s为相数m的偶数倍。

3.根据权利要求1所述的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于，该电机的每个电枢绕组线圈的两个导体边均各自独占一整个定子槽，而不与其它相电枢绕组线圈导体

共用。

4.根据权利要求3所述的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于，该电机的电枢绕组线圈的数量是定子槽数N_s的一半。

5.根据权利要求1所述的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于，所述步骤2)中，所形成的相互独立的电枢绕组线圈，任意电枢绕组线圈的节距等于极距，即为整距线圈。

6.根据权利要求5所述的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于，按照步骤2)所形成的任意电枢绕组线圈的两个导体空载感应电势相位相差180°电角度，能够保证每个线圈空载感应电势取得最大值，该最大值等于线圈两个导体空载感应电势的标量和，线圈节距因数为1。

7.根据权利要求1所述的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于，所述步骤3)中，具有绕组互补性的两个电枢绕组线圈，如果两个互补电枢绕组线圈的空载感应电势相位差为180°电角度，则反向串联；如果两个互补电枢绕组线圈的空载感应电势相位差为0度，则正向串联。

8.根据权利要求1所述的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，其特征在于，所述的无刷电机，其励磁源为永磁体、电励磁线圈或者结合永磁体与电励磁线圈的混合励磁，或采用记忆永磁方式。

一种单层叠绕组磁通切换无刷电机

技术领域

[0001] 本发明属于电机绕组结构设计领域，涉及一种基于磁通切换无刷电机的单层叠绕组设计方法，该绕组结构能够有效提高磁通切换电机的绕组因数及功率密度，改善传统磁通切换电机的性能，适用于大功率应用场合。

背景技术

[0002] 磁通切换永磁电机作为一种新型的定子永磁型电机，其定子铁心由“U”形导磁铁心与切向交替充磁的永磁体拼装而成，易于形成聚磁效应，电枢线圈横跨在两个“U”形导磁铁心和中间嵌入的一块永磁体所组成的定子铁心单元的两侧定子槽中，使得电枢反应磁场和永磁磁场在磁路上并联，具有较强的抗去磁能力，与双凸极电机和磁通反向电机相比，具有更高的转矩(功率)密度和可靠性，特别适用于高性能驱动及大功率应用领域。其电枢绕组采用分数槽集中式绕组线圈，每个线圈横跨在一个定子铁心单元的两侧槽中，端部短，用铜量小，铜耗小，有效提高电机效率。此外，磁通切换电机固有的绕组互补性可以有效减少或抵消永磁磁链和空载感应电势波形中的偶次谐波分量，使得该电机在采用分数槽集中式电枢绕组和转子直槽的条件下就可以获得较高的正弦度，特别适合于交流调速的应用场合。

[0003] 基于以上优点，现有的磁通切换无刷电机及基于磁通切换原理的新型拓扑结构均采用分数槽集中式电枢绕组。然而，分数槽集中式绕组结构存在自身固有的缺陷，包括：

[0004] 1)额外的谐波分量及其引起的寄生效应，如噪声、震动、转矩波动、不平衡磁拉力等；

[0005] 2)每个电枢线圈横跨在一个定子铁心单元的两侧定子槽中，线圈跨距被固定为定子槽距，且线圈节距角永不等于转子极距，导致线圈空载感应电势节距因数恒小于 1，限制了磁通切换电机每相空载感应电势基波分量的幅值；

[0006] 3)削弱了凸极效应，使磁阻转矩几乎为0；

[0007] 4)对于双层集中绕组而言，每个定子槽中放置着不同相绕组的导线，给相间绝缘增加了难度等。

[0008] 这些问题在节距因数低、绕组互补性差的磁通切换电机中体现得尤为突出，极大地限制了电机的出力和整体性能。

发明内容

[0009] 技术问题：本发明所要解决的技术问题是：提供一种单层叠绕组磁通切换无刷电机及其绕组设计方法，改变电枢线圈的形成方式，使得每相绕组空载感应电势节距因数达到1，有效提高每相空载感应电势基波分量的幅值，从而提高转矩(功率)密度。

[0010] 技术方案：本发明是一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，该无刷电机的电枢绕组采用线圈跨距大于定子槽距的单层叠绕组连接方式，每个电枢线圈横跨在多个定子铁心单元两侧的定子槽中，每个定子槽中只放置着属于同一相绕组的线圈导体；电枢绕组线圈2的

数量等于定子槽数的一半，不同相绕组线圈之间有交叠；其创新点在于该单层叠绕组连接方式，不再仅限于传统集中式绕组连接方式的一个定子铁心单元对应一个电枢线圈的固定结构，而是将线圈按照短距角最小原则选择定子槽放置其两个导体边，使得线圈节距角等于转子极距，从而使得线圈短距角为0，以获得最大节距因数，使得每相绕组空载感应电势的节距因数达到1，有效提高每相空载感应电势基波分量的幅值，从而提高转矩功率密度；该m相单层叠绕组设计方法具体包括以下步骤：

[0011] 1)首先根据电机定子槽数N_s和转子极数N_r确定相邻两个定子槽导体空载感应电势之间的相位差α(电角度)，公式如下：

[0012] $$\alpha = \left| 180° - \frac{360°}{N_s} \times N_r \right|$$

[0013] 依次画出N_s个槽导体空载感应电势所对应的星形相量图；

[0014] 2)基于槽导体空载感应电势星形相量图，将空载感应电势相位相差180°电角度的两个槽导体连接成一个线圈的两个导体边，一共可以形成$N_s/2$个相互独立的线圈；

[0015] 3)基于2)中所得$N_s/2$个线圈的空载感应电势星形图，将具有绕组互补性的两个线圈串联组成一个线圈组，由此一共形成$N_s/4$个线圈组，每个线圈组中的两个线圈空载感应电势的相位差为0°或180°电角度，因此线圈组空载感应电势基波分量的分布因数为1，并且单个线圈空载感应电势中的偶次谐波分量相互抵消，使得线圈组空载感应电势的谐波含量降低；以每相绕组空载感应电势最大化为原则，将$N_s/4$个线圈组中空载感应电势相位差最小的$N_s/(4m)$个线圈组连接成一相绕组，从而得到第一相绕组的线圈构成；如果不存在具有绕组互补性的线圈，则将$N_s/2$个线圈中空载感应电势相位差最小的$N_s/(2m)$个线圈连接组成一相绕组，从而得到第一相绕组的线圈构成；其中m是相数；

[0016] 4)根据m相对称绕组中各相绕组之间的相位关系，即相邻两相绕组空载感应电势之间的相位差为$2\pi/m$ ($m \geq 3$)或者π/m ($m=2$)，依次确定其他m-1相绕组的线圈构成，从而得到m相对称电枢绕组的构成方式。

[0017] 其中，

[0018] 该电机的定子槽数N_s和转子极数N_r满足以下等式之一：

[0019] $$1.N_r = N_s \pm \frac{N_s}{4k}, k \geq 1$$

[0020] $$2.N_r = \frac{N_s}{2} \pm \frac{N_s}{4k}, k \geq 1$$

[0021] $$3.N_r = N_s \pm \frac{N_s}{2k+1}, k \geq 1$$

[0022] 其中，N_s、N_r、k均为正整数，定子槽数N_s为相数m的偶数倍。

[0023] 该电机的每个电枢线圈的两个导体边均各自独占一整个定子槽，而不与其它相线圈导体共用。

[0024] 该电机的电枢绕组线圈的数量是定子槽数N_s的一半。

[0025] 所述步骤2)中，所形成的相互独立的线圈，任意线圈的节距等于极距，即为整距线圈。

[0026] 按照步骤2)所形成的任意线圈的两个导体空载感应电势相位相差180°电角度，能

够保证每个线圈空载感应电势取得最大值，即线圈两个导体空载感应电势的标量和，线圈节距因数为1。

[0027] 所述步骤3)中，具有绕组互补性的两个线圈，如果两个互补线圈的空载感应电势相位差为180°电角度，则反向串联；如果两个互补线圈的空载感应电势相位差为0 度，则正向串联。

[0028] 所述的无刷电机，其励磁源为永磁体、电励磁线圈或者结合永磁体与电励磁线圈的混合励磁，或采用记忆永磁方式。

[0029] 本发明方法用于指导特定齿槽配合的磁通切换无刷电机的电枢绕组线圈的形成以及每相绕组组成形式，目的在于尽量减小线圈空载感应电势短距角，增大空载感应电势基波节距因数，提高空载感应电势基波幅值和磁通切换电机的功率密度。本发明旨在提高电机节距因数和空载感应电势基波幅值的同时，降低绕组嵌线和绝缘工艺的难度，适用于发电机设计和电动机设计，既适合于纯永磁励磁电机，也适用于纯电励磁电机及混合励磁电机。

[0030] 有益效果：与现有技术相比，本发明的电枢线圈不再仅限于一个定子铁心单元对应一个电枢线圈的固定结构，而是将线圈按照短距角最小原则选择定子槽放置其两个导体边，以获得最大节距因数，使电机实现以下的优点：

[0031] 1)采用叠绕组连接方式，使得每个线圈空载感应电势的节距因数提高，从而提高线圈空载感应电势基波分量的幅值；

[0032] 2)每相绕组由感应电势相位差最小的线圈连接而成，使得每相绕组空载感应电势的基波绕组因数高，从而提高每相空载感应电势基波分量的幅值；

[0033] 3)进一步地，电机转矩(功率)得到有效改善，极大地提高了电机的转矩(功率)密度；

[0034] 4)采用单层叠绕组连接方式，每个定子槽中只放置属于同一相绕组的导线，提高了不同相绕组之间的绝缘能力，降低了绝缘难度和绝缘成本，并提高了槽利用率。

附图说明

[0035] 图1是一台三相定子24槽转子16极单层叠绕组磁通切换永磁无刷电机的横向剖视结构示意图。

[0036] 图2是一台定子24槽转子16极磁通切换永磁无刷电机的槽导体电势星形图及采用三相单层叠绕组结构的线圈空载感应电势星形图。其中，槽导体n’与n的空载感应电势极性相反，即A1(201,204’)、A2(207,210’)、A3(213,216’)、A4(219,222’) 中，201,204’极性相反，207,210’极性相反，213,216’极性相反，219,222’极性相反；其它两相B1、C1也如此。槽导体空载感应电势n与(n+1)’的相位差为120° (电角度)，相邻槽导体空载感应电势n与n+1的相位差α为60°(电角度)。

[0037] 图3是一台定子24槽转子16极磁通切换永磁无刷电机采用三相双层分数槽集中式电枢绕组结构的线圈连接方式。

[0038] 图4是一台定子24槽转子16极磁通切换永磁无刷电机采用三相单层叠绕组结构的线圈连接方式。

[0039] 图5是一台定子24槽转子16极磁通切换永磁无刷电机分别采用图2两种电枢绕组

结构的转矩随电流密度变化的特性。

具体实施方式

[0040] 下面结合实施例和说明书附图对本发明做进一步说明。

[0041] 本发明的一种单层叠绕组磁通切换无刷电机，包括定子1、转子4和转轴5，转子4与定子1相对，且转子4和定子1之间有间隙，转轴5固定连接在转子4上。所述的定子1和转子4均为凸极结构。定子1包括定子铁心单元和单层叠绕组线圈2。每个定子铁心单元包括两个U形定子铁心101和一块永磁体3，永磁体3嵌至在两个 U形定子铁心101之间。永磁体3切向充磁，且相邻的两块永磁体3的充磁方向相反。相邻的两个定子铁心单元之间形成定子槽201。单层叠绕组线圈2横跨在多个定子铁心单元两侧的定子槽中，不同相绕组线圈之间有交叠。每个定子槽中只放置着属于同一相绕组的线圈导体，电枢绕组线圈2的数量等于定子槽数的一半。定、转子铁心由导磁材料制成。永磁体3由永磁材料制成，优选由钕铁硼、铁氧体，或者钐钴制成。

[0042] 进一步，所述的电枢绕组线圈2的数量等于定子槽201的数量N_s的一半，N_s为相数m的偶数倍，即$N_s=2jm$，j为正整数。

[0043] 进一步，所述的转子4可位于定子1的内部，也可位于定子1的外部。

[0044] 进一步，所述的转子4的极数N_r与定子槽数N_s之间满足下列等式之一：

[0045] $$1.N_r=N_s\pm\frac{N_s}{4k},k\geq1$$
$$2.N_r=\frac{N_s}{2}\pm\frac{N_s}{4k},k\geq1 \qquad (1)$$
$$3.N_r=N_s\pm\frac{N_s}{2k+1},k\geq1$$

[0046] 其中，N_s、N_r、k均为正整数。

[0047] 进一步，所述的单层叠绕组磁通切换无刷电机既可以为纯永磁励磁电机，亦可以为纯电励磁电机，或混合励磁电机，包括在线充退磁记忆电机，并且，该电机既可以作发电运行，又可以作电动运行。

[0048] 与传统的磁通切换无刷电机不同，本发明提出的单层叠绕组磁通切换无刷电机，采用单层叠绕组连接方式，每个电枢线圈横跨多个定子铁心单元，不同相绕组线圈之间有交叠，且每个线圈的两个导体边均各自独占一整个定子槽，而不与其它相线圈导体共用。具体的实施方案如下：

[0049] 1)首先根据电机定子槽数N_s和转子极数N_r确定相邻两个定子槽导体空载感应电势之间的相位差α(电角度)，公式如下：

[0050] $$\alpha=\left|180^\circ-\frac{360^\circ}{N_s}\times N_r\right| \qquad (2)$$

[0051] 依次画出N_s个槽导体空载感应电势所对应的相量星形图。

[0052] 2)基于槽导体电势星形图，将空载感应电势相位相差180°电角度电角度的两个槽导体连接成一个线圈的两个导体边，这两个导体边中电流极性相反，且线圈节距等于极距，即为整距线圈。由此，一共可以形成$N_s/2$个整距线圈，这$N_s/2$个整距线圈的节距因数均为1；

[0053] 3)基于这$N_s/2$个线圈的空载感应电势星形图,将具有绕组互补性的两个线圈串联成一个线圈组(若两个互补线圈的空载感应电势相位差为180°电角度,则反向串联;若两个互补线圈的空载感应电势相位差为0°,则正向串联),由此一共形成$N_s/4$个线圈组,每个线圈组中的两个线圈空载感应电势的相位差为0°或180°电角度,因此线圈组空载感应电势基波分量的分布因数为1,并且单个线圈空载感应电势中的偶次谐波分量相互抵消,使得线圈组空载感应电势的谐波含量降低。然后,以每相绕组空载感应电势最大化为原则,将$N_s/4$个线圈组中空载感应电势相位差最小的$N_s/(4m)$个线圈组连接成一相绕组,从而得到第一相绕组的线圈构成。需要说明的是,如果不存在具有绕组互补性的线圈,则将$N_s/2$个线圈中线圈空载感应电势相位差最小的$N_s/(2m)$ 个线圈连接成一相绕组,从而得到第一相绕组的线圈构成。

[0054] 4)根据m相对称绕组中各相绕组之间的相位关系,即相邻两相绕组空载感应电势之间的相位差为$2\pi/m$ ($m\geq3$)或者π/m ($m=2$),依次确定其他m-1相绕组的线圈构成,从而得到m相对称电枢绕组的构成方式。

[0055] 按照上述流程设计单层叠绕组,既可以保证磁通切换电机的绕组互补性得到发挥,又能提高线圈空载感应电势节距因数,提高电磁转矩的平均值,同时可以降低相间绝缘的工艺难度和成本。

[0056] 以一台三相定子24槽转子16极单层叠绕组磁通切换永磁无刷电机为例,其电机拓扑结构如图1所示,定子上共24个定子铁心单元和24个定子槽,分别为第一定子槽201、第二定子槽202、第三定子槽203、…、第二十四定子槽224,共有12个电枢绕组线圈2,分别为第一线圈A1、…、第四线圈A4、第五线圈B1、…、第八线圈 B4、第九线圈C1、…、第十二线圈C4,且每个电枢线圈横跨在三个定子铁心单元两侧的定子槽中,每个定子槽只被一相电枢绕组线圈占用。转子上共16个转子极,满足(1)中的公式3。其三相单层叠绕组结构具体的设计流程如下:

[0057] 1)根据电机定子槽数$N_s=24$和转子极数$N_r=16$确定相邻两个定子槽导体空载感应电势之间的相位差$\alpha=60°$(电角度),由此获得24个定子槽导体的空载感应电势相量星形图,如图2所示。

[0058] 2)基于槽导体电势星形图,首先判断并获得空载感应电势相位相差180度电角度的槽导体组合,分别是:

[0059] 第一定子槽201、第七定子槽207、第十三定子槽213、第十九定子槽219与第四定子槽204、第十定子槽210、第十六定子槽216、第二十二定子槽222,

[0060] 第二定子槽202、第八定子槽208、第十四定子槽214、第二十定子槽220与第二十三槽导体223、第五定子槽205、第十一定子槽211、第十七定子槽217,

[0061] 第三定子槽203、第九定子槽209、第十五定子槽215、第二十一定子槽221 与第六定子槽206、第十二定子槽212、第十八定子槽218、第二十四定子槽224,

[0062] 将上述每个定子槽的槽导体组合中的两个槽导体串联成一个线圈,每个槽导体不可重复组合,则一共形成12个相互独立的线圈,分别是第一线圈A1、第二线圈A2、第三线圈A3、第四线圈A4、第五线圈B1、第六线圈B2、第七线圈 B3、第八线圈B4、第九线圈C1、第十线圈C2、第十一线圈C3、第十二线圈C4,每个线圈的两个导体边的空载感应电势相位相反。由于线圈的空载感应电势等于其两个导体边感应电势的相量差,则在以上连接方式下,能够

保证每个线圈空载感应电势取得最大值，即线圈两个导体边空载感应电势的标量和，节距因数为1，是传统的分数槽集中式绕组连接方式(如图3所示)节距因数的两倍。

[0063] 3)接着判断该电机是否具有绕组互补性，根据磁通切换电机具有绕组互补性所需满足的定子槽数与转子极数关系，该定子24槽转子16极磁通切换电机并不具备绕组互补性，故直接将12个线圈中空载感应电势相位差最小的4个线圈连接成一相绕组，从而得到第一相绕组的线圈构成，即由第一线圈A1、第二线圈A2、第三线圈A3和第四线圈A4构成的A相绕组。该相绕组的四个线圈空载感应电势相位相同，因此其分布因数为1。

[0064] 4)在三相对称绕组中，B、C相绕组分别与A相绕组相差+120°、-120°电角度，因而可以方便地获得B、C相绕组的线圈构成，如图4所示。

[0065] 为体现本发明的绕组设计方法的优点，这里列出了按照传统的分数槽集中式绕组连接方式和本专利提出的单层叠绕组连接方式的三相绕组结构，如图3和图4所示。按照双层分数槽集中式绕组连接方式，每个线圈横跨在相邻的两个定子槽中，线圈两个导体边的空载感应电势相位差即为相邻两个定子槽导体空载感应电势之间的相位差，为120度电角度，故每个线圈空载感应电势的节距因数为0.5；而本发明的三相单层叠绕组的每个电枢线圈横跨在三个定子齿单元两侧的定子槽中，线圈两个导体边的空载感应电势相位差即为相邻两个定子槽导体空载感应电势之间的相位差的三倍，为360度电角度，即节距等于极距，故每个线圈空载感应电势的节距因数为1，为传统的分数槽集中式电枢线圈节距因数的两倍。

[0066] 图5为该定子24槽转子16极磁通切换永磁无刷电机在图3和图4两种电枢绕组结构下的转矩-电流密度曲线。通过比较可知，在单层叠绕组连接方式下，电机的电磁转矩在不同的槽电流密度下均比传统连接方式下的电磁转矩大，且当电流密度比较小时，这个差距更大。当电流密度为5A/mm^{2}时，单层叠绕组磁通切换永磁无刷电机的出力是传统集中式绕组磁通切换永磁电机出力的1.75倍。比较结果充分体现出本发明的单层叠绕组磁通切换无刷电机绕组设计方法具有创新性和优越性。

[0067] 以上仅是本发明的优选实施方式，应当指出：对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干可以预期的改进和等同替换，这些对本发明权利要求进行改进和等同替换后的技术方案，均落入本发明的保护范围。

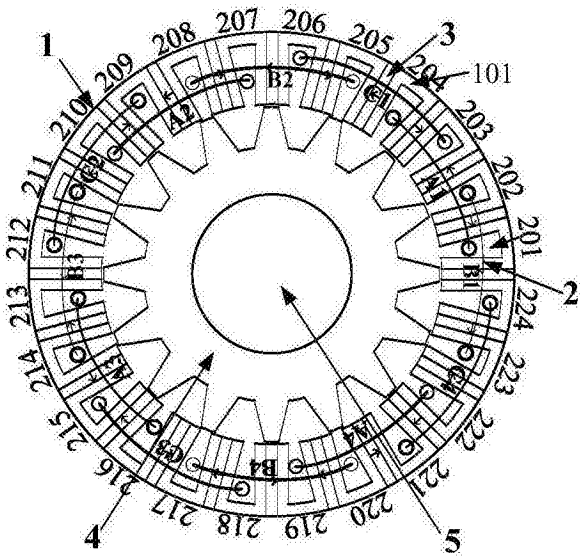

1
2
3
4
5
101
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
A1
A2
A3
A4
B1
B2
B3
B4
C1
C2
C3
C4

图1

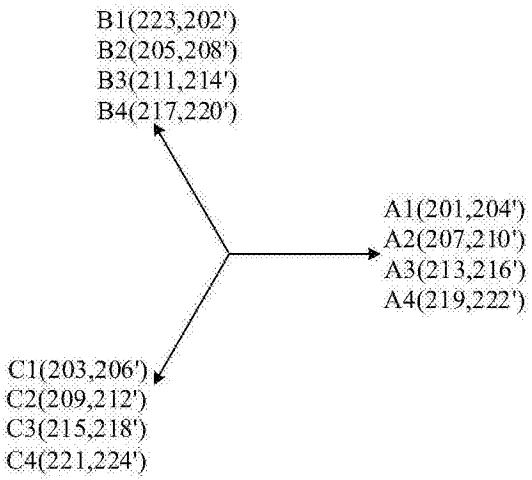

B1(223,202')
B2(205,208')
B3(211,214')
B4(217,220')
A1(201,204')
A2(207,210')
A3(213,216')
A4(219,222')
C1(203,206')
C2(209,212')
C3(215,218')
C4(221,224')

图2

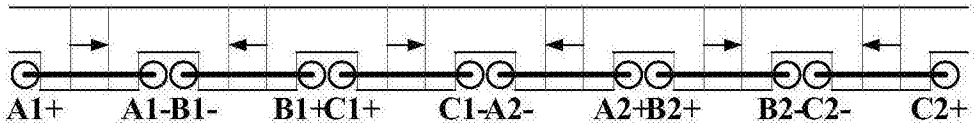

A1+
A1-B1-
B1+C1+
C1-A2-
A2+B2+
B2-C2-
C2+

图3

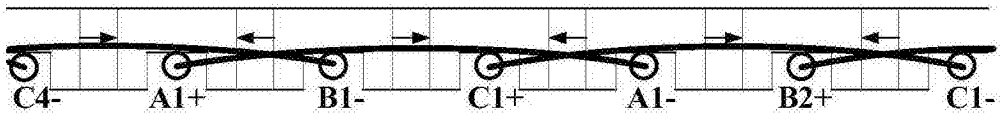

C4-
A1+
B1-
C1+
A1-
B2+
C1-

图4

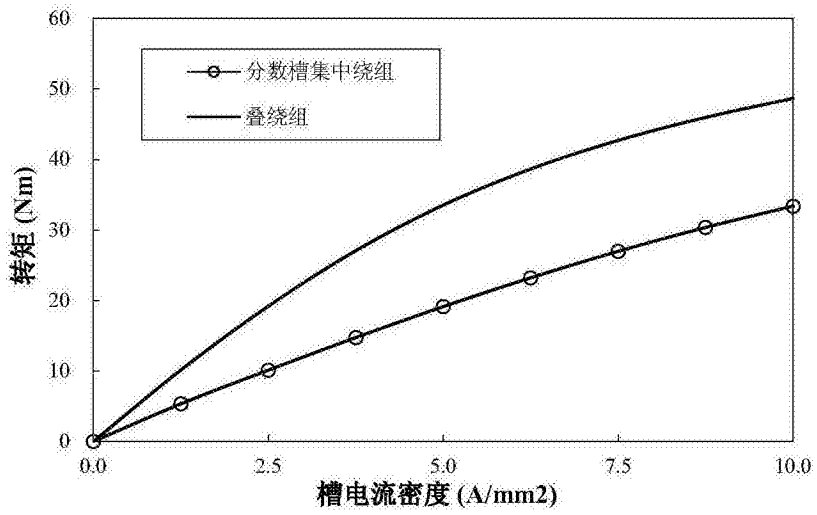


图5