



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102097913 B

(45) 授权公告日 2013. 07. 31

(21) 申请号 200910258117. 9

(22) 申请日 2009. 12. 14

(73) 专利权人 徐隆亚

地址 美国俄亥俄州哥伦布市俄亥俄州立大学电气工程系

专利权人 刘慧娟

(72) 发明人 徐隆亚 刘慧娟

(74) 专利代理机构 北京北新智诚知识产权代理有限公司 11100

代理人 张卫华

(56) 对比文件

CN 1250553 A, 2000. 04. 12, 说明书第 8 页第 4 段、第 9 页第 4 段至第 11 页第 5 段、图 13 至 18F.

EP 1734639 A2, 2006. 12. 20, 全文.

CN 2909671 Y, 2007. 06. 06, 全文.

CN 101039059 A, 2007. 09. 19, 全文.

审查员 查洁立

(51) Int. Cl.

H02K 29/00 (2006. 01)

H02K 1/22 (2006. 01)

H02K 15/02 (2006. 01)

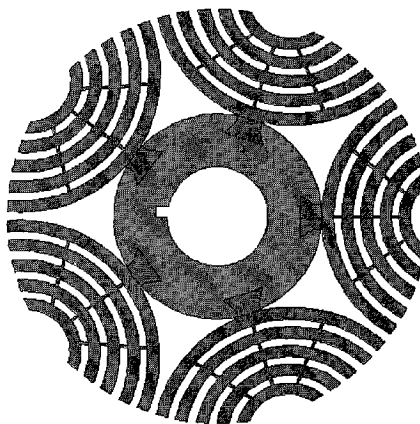
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

双馈无刷电机转子及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及双馈无刷电机转子及制造方法, 转子包括转子铁心、铁心载体、端部压板, 转子铁心分为若干磁独立的磁导模块, 各磁导模块均由叠片叠压形成, 转子铁心与铁心载体嵌合, 转子铁心的两端连接端部压板, 其中: 每片叠片由多个导磁层组成; 每片叠片的相邻导磁层之间由磁障层隔离, 磁障层由空气或非导磁材料组成; 每片叠片的相邻导磁层之间以联结筋相联。本发明转子为径向叠片结构, 各磁导模块是非导电或电绝缘型, 可将磁导模块的涡流损耗和磁滞损耗降至最低, 同时使各磁导模块强制的磁力线路径不受到涡流电流的干扰。制造过程是先在铁心载体中叠装磁导模块的冲片; 然后安装端部压板和经绝缘处理的紧固螺栓; 最后对转子整体浇注非磁性材料磁障层。



1. 一种双馈无刷电机转子,包括转子铁心、铁心载体、端部压板,转子铁心分为若干个磁独立的磁导模块,各磁导模块均由叠片逐片叠压形成,转子铁心与铁心载体嵌合,转子铁心的两端连接端部压板,其特征在于:

所述各磁导模块的叠片呈弧形,各磁导模块的叠片以弧顶向外的方向均布在同一个圆的外周;

各磁导模块的叠片中的最外层的导磁层的弧顶位置延伸出一个键;

所述铁心载体为转子套筒,该转子套筒的内周设有与叠片嵌合的槽;

所述每片叠片由多个导磁层组成;

每片叠片的相邻导磁层之间由磁障层隔离;

每片叠片的相邻导磁层之间以联结筋相联。

2. 如权利要求 1 所述的双馈无刷电机转子,其特征在于:

所述导磁层与磁障层的宽度比为 3 : 2。

3. 如权利要求 1 所述的双馈无刷电机转子,其特征在于:

所述磁障层由空气或非导磁材料组成。

4. 如权利要求 1 所述的双馈无刷电机转子,其特征在于:

所述转子套筒的材质为非磁性材料,所述转子套筒与磁导模块之间浇注非磁性材料。

5. 一种双馈无刷电机转子的制造方法,其特征在于包括以下步骤:

首先在转子轴套中或转子套筒中叠装各磁导模块的冲片;

叠压成形后安装端部压板和经绝缘处理的紧固螺栓;

最后进行转子整体浇注非磁性材料磁障层;当转子的磁导模块为整体冲片时,浇注之后还要切除磁导模块最外层的联结筋。

## 双馈无刷电机转子及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种双馈无刷电机转子及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 双馈无刷电机的定子上有两套独立的正弦分布绕组,极数分别为  $2p$  和  $2q$ ,转子极数为  $2p_r$ 。双馈无刷电机工作时,其  $2p$  定子绕组与电网直接连接, $2q$  定子绕组通过 AC/DC/AC 双向整流逆变器与电网间接连接。当双馈无刷电机转速  $n_r$  与两定子绕组中电流的频率  $f_p$  和  $f_q$  满足固定约束关系  $n_r = \frac{60(f_p - f_q)}{p + q}$ ,且转子极数  $2p_r = 2p + 2q$  时,此电机才能实现机电能量的转换。理论研究表明双馈无刷电机定子上的两套绕组依赖于转子强制磁路的磁场调制作用产生磁耦合,磁耦合的强弱直接与转子磁路结构相关,因而转子磁路结构将极大地影响电机的运行性能。

[0003] 目前双馈无刷电机的磁阻型转子中,常用的有常规凸极磁阻转子和各向异性轴向叠片磁阻转子 (Axially Laminated Anisotropic,简称 ALA),其中常规凸极磁阻转子的各磁极之间和每个磁极中都没有采用磁障层进行磁隔离、且转子采用径向叠片式结构,理论研究表明,没有磁隔离的常规凸极磁阻转子的磁耦合性能较差,磁场调制能力很低,而具有磁隔离磁路结构、能限定转子磁通路径的 ALA 转子的磁耦合性能及磁场调制能力都较好,但由于 ALA 转子的每个导磁层沿电机轴向为整体瓦片式结构,电机运行时每个导磁层中会产生相当程度的涡流,从而增大了电机的损耗,降低了电机的效率,并且该涡流的产生还将直接干扰转子中强制磁力线的路径,从而影响电机的运行性能。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种双馈无刷电机转子及其制造方法,该转子由  $p_r$  个磁独立的磁导模块组成,各磁导模块无 N 和 S 极性之分,在同一磁导模块中交、直轴方向有尽量大的磁导差别,从而使两套定子绕组产生的不同极数的气隙磁场都能得以调制,转子的各磁导模块均采用叠片式结构,可将转子铁芯中的涡流和磁滞损耗降至最小,亦使各磁导模块强制的磁力线路径不受到涡流电流的干扰。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0006] 一种双馈无刷电机转子,包括转子铁心、铁心载体、端部压板,转子铁心分为若干个磁独立的磁导模块,各磁导模块均由叠片逐片叠压形成,转子铁心与铁心载体嵌合,转子铁心的两端连接端部压板,其特征在于:

[0007] 所述每片叠片由多个导磁层组成;每片叠片的相邻导磁层之间由磁障层隔离;每片叠片的相邻导磁层之间以联结筋相联。

[0008] 进一步地:

[0009] 所述导磁层与磁障层的宽度比为 3 : 2。

[0010] 所述磁障层由空气或非导磁材料组成。

[0011] 更进一步地：

[0012] 所述各磁导模块的叠片呈弧形，各磁导模块的叠片以弧顶朝向圆心的方向均布在同一个圆内；各磁导模块的叠片中的最内层的导磁层的弧顶位置延伸出一个键；所述铁心载体为转子轴套，该转子轴套的外周设有与叠片嵌合的槽。

[0013] 分别属于相邻磁导模块的两片叠片之间可以用联结筋相联，形成整体冲片。

[0014] 所述转子轴套的材质为非磁性材料，所述转子轴套与磁导模块之间浇注非磁性材料。

[0015] 所述各磁导模块的叠片呈弧形，各磁导模块的叠片以弧顶向外的方向均布在同一个圆的外周；各磁导模块的叠片中的最外层的导磁层的弧顶位置延伸出一个键；所述铁心载体为转子套筒，该转子套筒的内周设有与叠片嵌合的槽。

[0016] 所述转子套筒的材质为非磁性材料，所述转子套筒与磁导模块之间浇注非磁性材料。

[0017] 一种双馈无刷电机转子的制造方法，包括以下步骤：

[0018] 首先在转子轴套中或转子套筒中叠装各磁导模块的冲片；

[0019] 叠压成形后安装端部压板和经绝缘处理的紧固螺栓；

[0020] 最后进行转子整体浇注非磁性材料磁障层；当转子的磁导模块为整体冲片时，浇注之后还要切除磁导模块最外层的联结筋。

[0021] 本发明具有如下有益效果：

[0022] 1. 由于本发明转子将 ALA 的整体瓦片式结构改为径向叠片结构，各磁导模块是非导电或电绝缘型，故可将磁导模块的涡流损耗和磁滞损耗降至最低，同时亦使各磁导模块强制的磁力线路径不受到涡流电流的干扰。

[0023] 2. 由于各磁导模块之间具有磁隔离，并且在同一磁导模块中的相邻导磁层之间添加有磁障层进行磁隔离，故限制了转子的磁通路径，使其特定方向的磁导最大而其垂直方向的磁导最小。

[0024] 3. 在电机旋转运行时，各磁导模块会受到很大离心力，由于转递电磁扭矩，各磁导模块也会受到很大切向力，本发明采用的转子轴套或转子套筒，能增强各磁导模块的机械强度，保证各磁导模块在转子圆周的均匀分布，且使转子具有良好的旋转动平衡，确保转子高速平稳旋转。

[0025] 4. 本发明在同一磁导模块中的各导磁层之间添加相应的联结筋，能增强转子的机械强度，同时在各导磁层之间建立有效导热管道，有利于转子的散热。

[0026] 5. 本发明在转子磁导模块之间以及同一磁导模块的磁障层中浇铸非磁性材料，不仅能起到磁隔离的作用，更重要的是能增强转子的机械强度。

#### 附图说明

[0027] 图 1 是内转子整体冲片图；

[0028] 图 2 是内转子模块化冲片图；

[0029] 图 3 是内转子轴套图；

[0030] 图 4 是内转子整体冲片与转子轴套连接示意图；

[0031] 图 5 是内转子模块化冲片与转子轴套连接示意图；

- [0032] 图 6 和图 7 分别是内转子的正面视图和立体图；
- [0033] 图 8 是外转子一个磁导模块冲片示意图；
- [0034] 图 9 是外转子  $p_r$  个磁导模块冲片安放示意图；
- [0035] 图 10 是外转子套筒图；
- [0036] 图 11 是外转子套筒与磁导模块的连接示意图；
- [0037] 图 12 是加端部压板后外转子电机的立体视图。

## 具体实施方式

[0038] 本发明涉及一种双馈无刷电机转子结构的设计与制造,为便于说明,在此先对磁导模块的磁、电和机械方面的特点及设计要求进行描述。

[0039] 1 磁导模块在磁路方面的特点与要求

[0040] 各转子磁导模块之间需进行尽可能大的磁隔离,各磁导模块无 N 和 S 极性之分。每个磁导模块由多个导磁层和磁障层交替相间形成。添加磁障层的作用是为了限定每个磁导模块中的磁通路径,使特定方向的磁导最大而其垂直方向的磁导最小。

[0041] 2 磁导模块的机械受力特点与要求

[0042] 在电机旋转运行时,各磁导模块会受到很大离心力。由于传递电磁扭矩,各磁导模块也会受到很大切向力。所以各磁导模块必须有足够的抗径向和切向力的机械强度。为了保证转子高速平稳旋转,各磁导模块在转子上的分布必须保证转子具有良好的转动平衡。

[0043] 电机高速旋转时,由于磁导模块的铁芯始终处于交变磁场中,铁芯损耗将引起各磁导模块发热,因此保证转子磁导模块的良好散热亦非常重要。

[0044] 3 磁导模块在电气性能方面的特点与要求

[0045] 各磁导模块用于构建转子整体,以强制磁力线路径并传递电磁扭矩。但在电气性能方面,各磁导模块必须是非导电或电绝缘型,其目的是为了将磁导模块的涡流损耗和磁滞损耗降至最低,同时亦使各磁导模块强制的磁力线路径不受到涡流电流的干扰。

[0046] 本发明设计的双馈无刷电机转子包括:转子铁心、铁心载体、端部压板,转子铁心分为若干个磁独立的磁导模块,每个磁导模块的形状相同,各磁导模块均由叠片逐片叠压形成,转子铁心与铁心载体嵌合,转子铁心的两端连接端部压板,其中:每片叠片由多个导磁层组成;每片叠片的相邻导磁层之间由磁障层隔离;每片叠片的相邻导磁层之间以联结筋相联。

[0047] 转子分为内转子和外转子两种形式,其磁通路径分为径向磁通路径和轴向磁通路径。下面分别叙述径向磁通路径的内转子和外转子的设计,对于轴向磁通路径转子的设计可参见已申请专利——“兆瓦级无电刷滑环双馈风力发电机/电动机及其控制方法”中的相关说明。

[0048] 1 内转子设计

[0049] 如图 1-图 3 所示。转子铁心分为  $p_r$  个磁独立的磁导模块,每个磁导模块均由叠片逐片叠压形成,每片叠片由多个导磁层 3 组成,每片叠片的相邻导磁层之间以联结筋 5 相联,每片叠片的相邻导磁层之间由磁障层 2 隔离,磁障层 2 可以是空气,也可以由其他非导磁材料组成。

[0050] 各磁导模块的叠片呈弧形,相邻的导磁层与非磁障层宽度的占空比一般为 3 : 2。安装时,各磁导模块的叠片以弧顶朝向圆心的方向均布在同一个圆内,各磁导模块的叠片中的最内层的导磁层的弧顶位置延伸出一个燕尾键 4,用于转子冲片的固定和叠装。转子冲片固定和叠装在转子轴套上。转子轴套的外周设有与叠片嵌合的燕尾槽 6,转子铁心通过燕尾键 4 与转子轴套嵌合。

#### [0051] 1.1 转子冲片设计

[0052] 转子冲片设计又分转子整体冲片和转子模块化冲片两种。

[0053] 如将转子整体制造,可按图 1 所示设计转子冲片,其材料为高导磁软磁材料,图中的深灰色区域为冲片部分。为了增强转子的机械强度,除了在每片叠片的相邻导磁层之间添加相应的联结筋 5 以外,在分别属于相邻磁导模块的两片叠片之间也以联结筋 1 相联,形成整体冲片。

[0054] 如将  $p_r$  个磁导模块的冲片分别制造,可按图 2 所示设计每个磁导模块的冲片,其材料为高导磁软磁材料,图中的灰色区域为冲片部分。为了增强转子的机械强度,在每片叠片的相邻导磁层之间添加相应的联结筋 5。

[0055] 上述添加的联结筋应尽量不影响转子导磁层所强制的磁路。各导磁层之间添加的联结筋亦在各导磁层之间建立有效导热管道,加强转子的散热能力。

#### [0056] 1.2 转子轴套设计

[0057] 为了在磁导模块与转子轴之间进行机械连接,必须设计一个转子轴套,该轴套必须采用非导磁、几乎不导电,且满足机械强度的材料,如不导磁不锈钢材料等。转子轴套需设计若干个燕尾槽结构 6 与磁导模块的燕尾键 4 相配,如图 3 所示。转子轴套与转子磁导模块的燕尾连接如图 4、图 5 所示。

#### [0058] 1.3 磁障层的设计

[0059] 转子磁导模块之间以及磁导模块中各导磁层之间的磁障层为非导磁材料,如空气或其他的非导磁材料填充。磁障层填充非导磁材料的另一目的为增强转子的机械强度。磁导模块与转子轴套安装成型后,需在转子轴套与磁导模块之间浇注非磁性材料。

#### [0060] 1.4 转子端部压板的设计

[0061] 当将转子的磁导模块冲片叠装好后,必须在转子的两端加装端部压板,以固定磁导模块的冲片和加强转子的机械强度。端部压板必须采用不导磁和不导电材料,并满足所需的机械强度。端部压板与磁导模块之间可采用螺栓紧固,并必须在紧固螺栓与压板和磁导模块之间进行绝缘处理。图 6 为加端部压板后转子的正面视图,图 7 为加端部压板后转子的立体视图。

### [0062] 2 外转子设计

[0063] 外转子的每个磁导模块由多个导磁层组成,相邻导磁层之间添加有磁障,添加的磁障可以是空气,也可以由其他非导磁材料填充。

#### [0064] 2.1 转子冲片设计

[0065] 在每个转子磁导模块的冲片中,各磁导模块的叠片呈弧形,相邻的导磁层与磁障层宽度的占空比一般为 3 : 2。安装时,各磁导模块的叠片以弧顶向外的方向均布在同一个圆的外周,各磁导模块的叠片中的最外层的导磁层的弧顶位置延伸出一个键,用于转子冲片的固定和叠装。转子冲片固定和叠装在转子套筒上。转子套筒的内周设有与叠片嵌合的

燕尾槽,转子铁心通过燕尾键与转子套筒嵌合。

[0066] 图 8 为一个磁导模块冲片示意图。图 9 为  $p_r$  个转子磁导模块冲片安放示意。

[0067] 所述转子套筒与磁导模块之间浇注非磁性材料。

#### [0068] 2.2 转子套筒设计

[0069] 为了使相互独立的  $p_r$  个磁导模块能一起旋转,必须设计一个外转子套筒,该套筒必须采用非导磁、几乎不导电,且满足机械强度的材料。如图 10 所示为转子套筒示意图。转子套筒与转子磁导模块的连接如图 11 所示。

#### [0070] 2.3 磁障层的设计

[0071] 转子磁导模块之间以及磁导模块中各导磁层之间的磁障层,可以是空气,也可以填充其他的非导磁材料,以增强转子的机械强度。磁导模块与转子套筒安装成型后,需在转子套筒与磁导模块之间浇注非磁性材料。

#### [0072] 2.4 转子端部压板的设计

[0073] 当将转子的磁导模块冲片叠装好后,必须在转子的两端加装端部压板,以固定磁导模块的冲片和加强转子的机械强度。端部压板必须采用不导磁和不导电材料,并满足机械强度要求且便于加工。端部压板与转子磁导模块之间可采用螺栓紧固,并必须在紧固螺栓与压板和磁导模块之间进行绝缘处理。图 12 为加端部压板后转子的立体视图。

[0074] 下面再介绍径向磁通路径转子的制造方法

[0075] 首先在转子轴套或转子套筒中叠装各磁导模块的冲片,叠压成型后安装端部压板,安装经过绝缘处理的紧固螺栓,形成转子雏形;然后进行转子整体浇注非磁性材料磁障层,形成最终的转子。若转子为整体冲片时,浇注之后还需要进行机加工,切除磁导模块最外层的联结筋,以形成最后的转子。

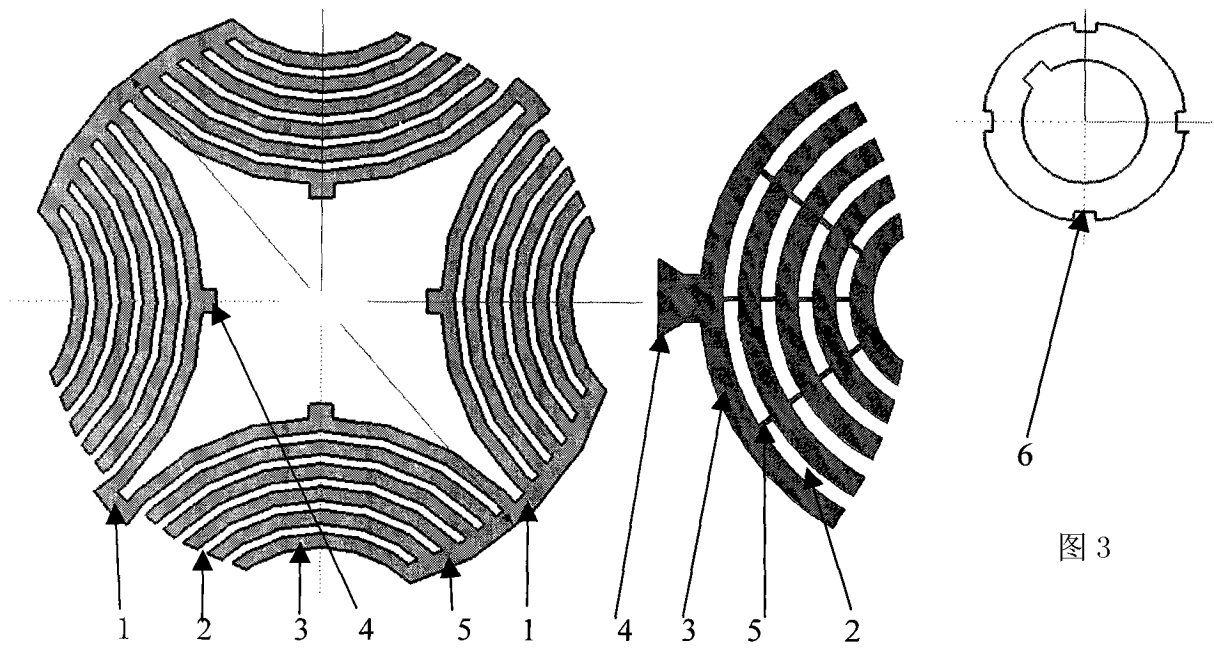


图 1

图 2

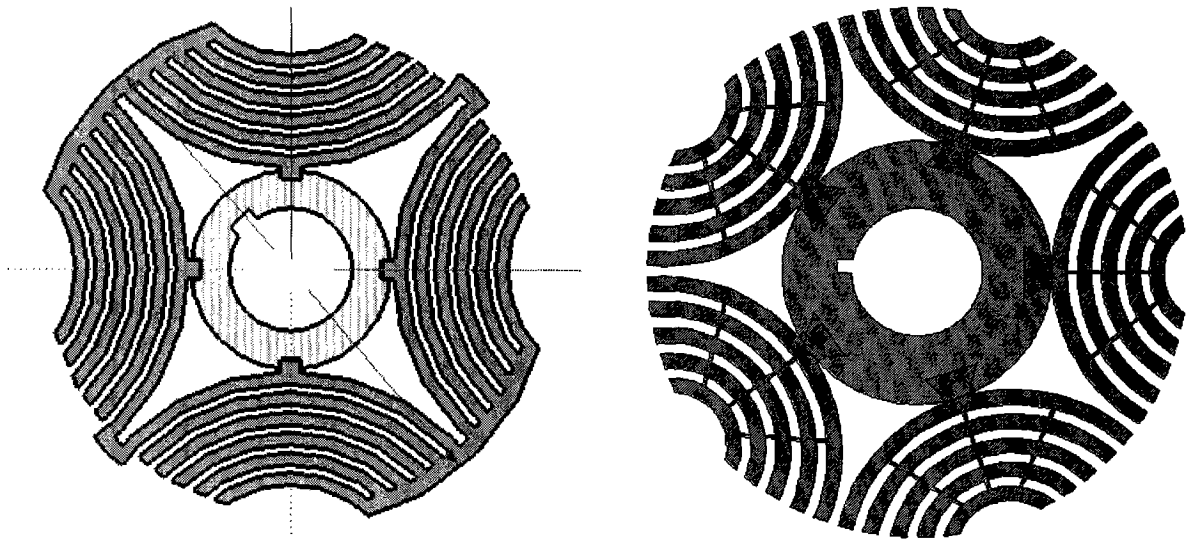


图 4

图 5



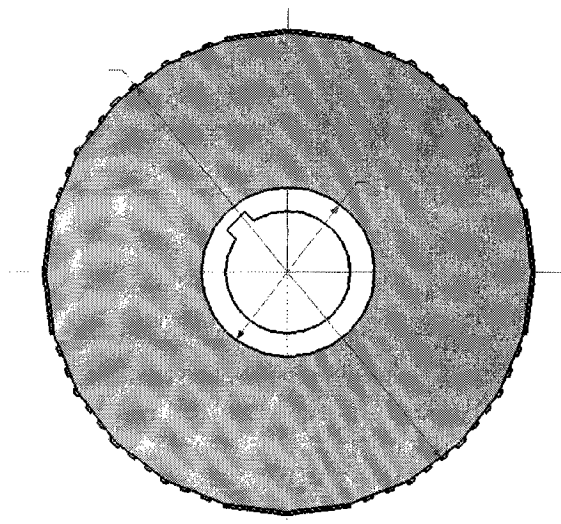


图 6

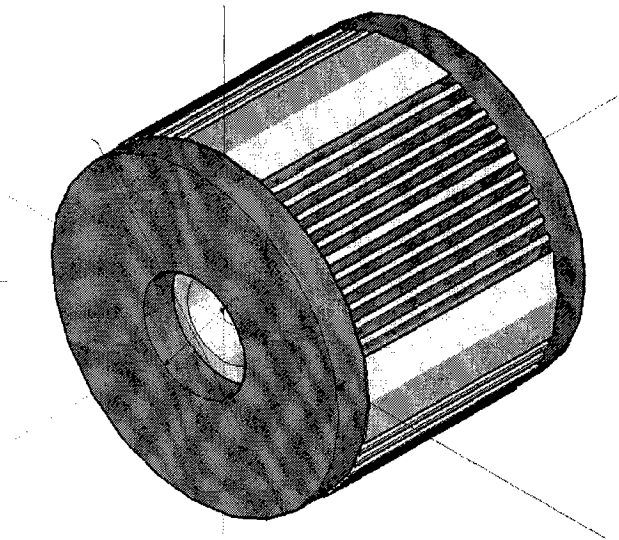


图 7

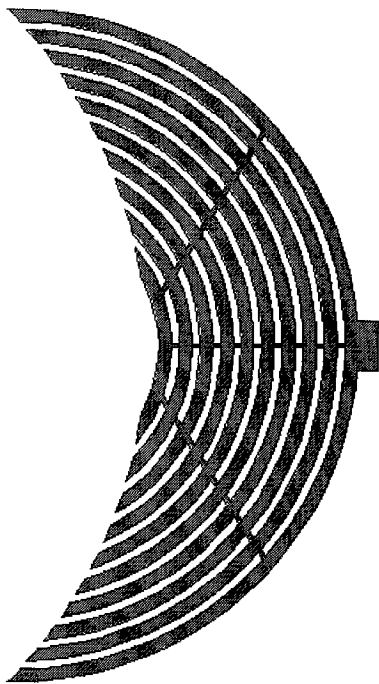


图 8

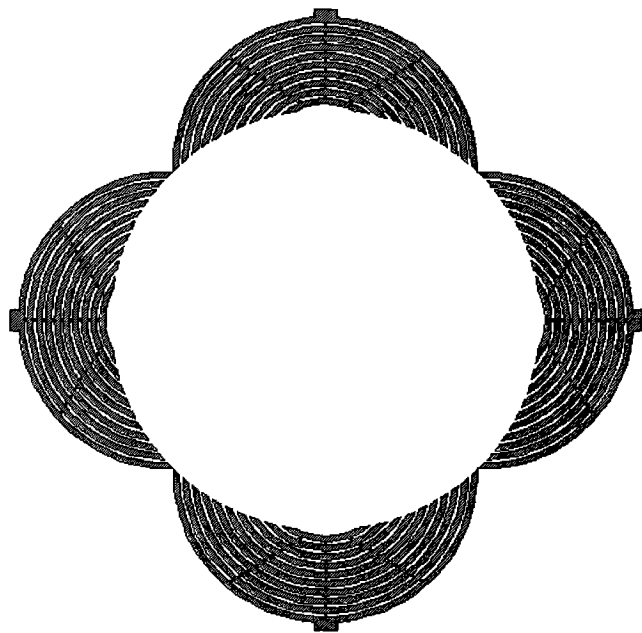


图 9

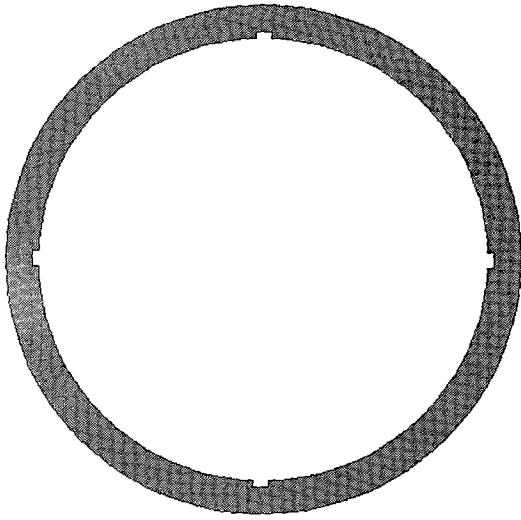


图 10

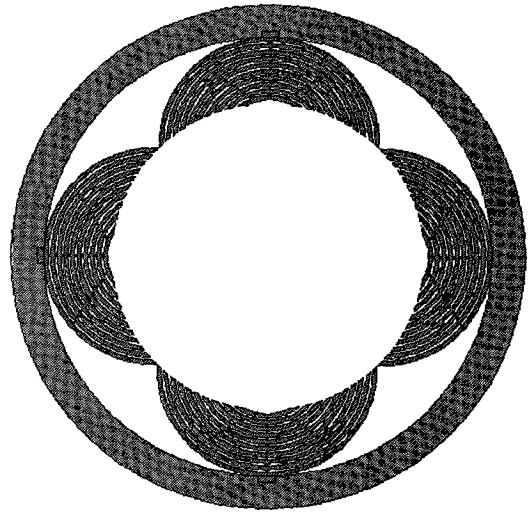


图 11

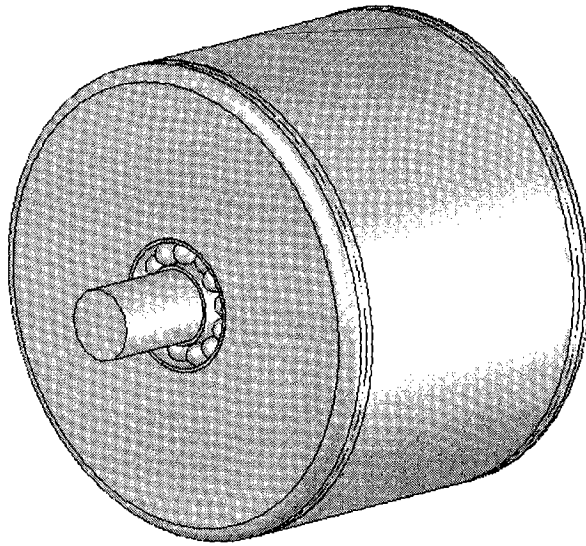


图 12