



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102035277 B

(45) 授权公告日 2014. 08. 20

(21) 申请号 201010503740. 9

CN 1250554 A, 2000. 04. 12,

(22) 申请日 2010. 09. 30

US 2001028201 A1, 2001. 10. 11,

(30) 优先权数据

审查员 熊英英

2009-233441 2009. 10. 07 JP

2009-253139 2009. 11. 04 JP

2010-148914 2010. 06. 30 JP

(73) 专利权人 阿斯莫有限公司

地址 日本国静冈县湖西市梅田 390 番地

(72) 发明人 山田洋次 横山诚也 竹本佳朗

加藤茂昌 小出圭祐 三户信二

(74) 专利代理机构 上海金盛协力知识产权代理

有限公司 31242

代理人 段迎春

(51) Int. Cl.

H02K 1/24(2006. 01)

H02K 1/27(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2649403 B2, 1990. 08. 10,

US 5631512 A, 1997. 05. 20,

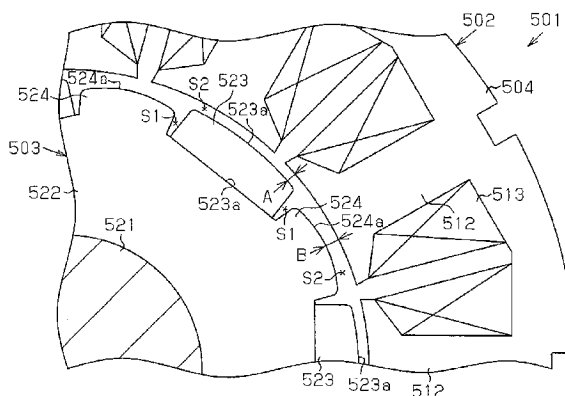
权利要求书1页 说明书20页 附图27页

(54) 发明名称

电动机

(57) 摘要

提出一种包括转子和定子的电动机。转子为换向极型转子,其具有转子芯、多个磁体、和凸极。定子具有多个齿。定子和所述转子在径向上相隔有空隙并对置。所述定子和所述转子之间的所述空隙设定为,所述定子和所述凸极之间的最短空隙距离 B、与所述定子和所述磁体之间的最短空隙距离 A 的比 B/A 满足  $1 < B/A$ 。



1. 一种电动机,其包括转子和定子,  
所述转子具有:转子芯;  
多个磁体,其沿着所述转子芯的圆周方向排列,并起到第 1 磁极的作用;和  
凸极,其以处于在圆周方向上相邻的磁体之间且与所述磁体相隔有空隙的形式与所述  
转子芯形成为一体,并起到与所述第 1 磁极不同的第 2 磁极的作用,  
所述定子和所述转子在径向上相隔有空隙并对置,  
其特征在于,  
所述空隙设定为,所述定子和所述凸极之间的最短空隙距离 B,与所述定子和所述磁体  
之间的最短空隙距离 A 的比  $B/A$  满足  $1 < B/A$ 。
2. 根据权利要求 1 所述的电动机,其特征在于,  
所述比  $B/A$  设定在  $1.25 < B/A < 1.6$  的范围内。
3. 根据权利要求 1 所述的电动机,其特征在于,  
所述比  $B/A$  设定在  $1 < B/A < 1.55$  的范围内。
4. 根据权利要求 3 所述的电动机,其特征在于,  
所述比  $B/A$  设定在  $1.15 < B/A < 1.25$  的范围内。
5. 根据权利要求 1 所述的电动机,其特征在于,  
所述比  $B/A$  设定在  $1.2 < B/A < 1.4$  的范围内。
6. 根据权利要求 1 ~ 5 中任意一项所述的电动机,其特征在于,  
所述磁体以及所述凸极的个数分别设为奇数,  
所述磁体配置在,与所述凸极中的一个成  $180^\circ$  的位置上。

## 电动机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电动机,该电动机具有采用换向极型构造的转子。

### 背景技术

[0002] 作为电动机中使用的转子,已知有例如日本特开平 9-327139 号公报所示的换向极型构造的转子。上述公报的转子具备:转子芯;多个磁体,其沿着转子芯的圆周方向排列;和凸极,其以处于在圆周方向上相邻的磁体之间的形式与转子芯形成为一体。所述各个磁体起到 N 极以及 S 极中的一个磁极的作用,各个凸极起到与所述磁体的磁极不同的磁极的作用。这种电动机不仅将性能的降低控制在较小范围,且由于与全部磁极由磁体构成的普通转子相比较可以使磁体减少一半数量,所以在省资源化和低成本化等方面有利。

[0003] 然而,在上述公报的换向极型构造的转子中,由于感应磁通的磁体和没有感应磁通功能的凸极混在一起,所以容易形成磁性不平衡。其结果,例如由于齿槽转矩的产生而导致振动增加等、旋转性能恶化的情况。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种,不仅控制转子的磁体个数使其变少、并且可以实现高输出化的电动机。

[0005] 为了达到上述目的,基于本发明的形态,提供一种包括转子和定子的电动机。转子具有转子芯、多个磁体和凸极。磁体沿着所述转子芯的圆周方向排列。磁体起到第 1 磁极的作用。凸极以处于在圆周方向上相邻的磁体之间且与所述磁体相隔有空隙的形式与所述转子芯形成为一体。凸极起到与所述第 1 磁极不同的第 2 磁极的作用。定子和所述转子在径向上相隔有空隙并对置。所述空隙设定为,所述定子和所述凸极之间的最短空隙距离 B,与所述定子和所述磁体之间的最短空隙距离 A 的比  $B/A$  满足  $1 < B/A$ 。

### 附图说明

[0006] 图 1A 是本发明的第 1 实施方式的电动机的概略构成图。

[0007] 图 1B 是图 1A 的局部放大图。

[0008] 图 1C 是构成图 1 的电动机的导体段的局部透视图。

[0009] 图 2A 是图 1A 的电动机中的磁体磁极的占有角度和转矩脉动比的关系的特性图。

[0010] 图 2B 是图 1A 的电动机中的磁体磁极的占有角度和平均转矩比特性图。

[0011] 图 3A 是显示空隙距离比  $B/A$  和最大转矩比的关系的特性图。

[0012] 图 3B 是显示空隙距离比  $B/A$  和转矩脉动比的关系的特性图。

[0013] 图 3C 是显示空隙距离比  $B/A$  和径向脉动比的关系的特性图。

[0014] 图 4 是显示其他例子的电动机中的一部分的俯视图。

[0015] 图 5A 是显示图 4 的电动机中的定子芯的一部分的透视图。

[0016] 图 5B 是显示图 5A 的齿的前端部的模式图。

- [0017] 图 6A 以及图 6B 是显示其他例子的电动机的特性的图。
- [0018] 图 7A 是构成其他例子的电动机的齿的第 1 层叠部件的俯视图。
- [0019] 图 7B 是构成其他例子的电动机的齿的第 2 层叠部件的俯视图。
- [0020] 图 7C 是显示由图 7A 以及图 7B 所示的第 1 以及第 2 层叠部件构成的定子芯的一部分的透视图。
- [0021] 图 7D 是显示图 7C 的齿的前端部的示意图。
- [0022] 图 8A 是构成其他例子的电动机的齿的层叠部件的俯视图。
- [0023] 图 8B 是显示由图 8A 的层叠部件构成的定子芯的一部分的透视图。
- [0024] 图 8C 是显示图 8B 的齿的前端部的示意图。
- [0025] 图 9A 是其他例子的电动机的概略构成图。
- [0026] 图 9B 是图 9A 的凸极的放大图。
- [0027] 图 10 是显示图 9A 的电动机中的凸极和齿的关系的示意图。
- [0028] 图 11 是显示图 9A 的电动机中的转子的旋转角度和齿槽转矩的关系的特性图。
- [0029] 图 12 是显示形成于图 9A 的凸极上的第 1 辅助槽的开槽角度和齿槽转矩的关系的特性图。
- [0030] 图 13 是显示其他例子中的凸极和齿的关系的示意图。
- [0031] 图 14A 是本发明的第 2 实施方式的电动机的俯视图。
- [0032] 图 14B 是显示图 14A 的一部分的局部俯视图。
- [0033] 图 15A 是显示图 14A 的电动机中的转子处于旋转角度 R1 的状态的局部俯视图。
- [0034] 图 15B 是显示图 14A 的电动机中的转子处于旋转角度 R2 的状态的局部俯视图。
- [0035] 图 16 是显示图 14A 的电动机中的转子的旋转角度和齿槽转矩的关系的特性图。
- [0036] 图 17 是显示  $W1/T$  以及  $W2/T$  与齿槽转矩比的关系的特性图。
- [0037] 图 18A 是图 14A 的电动机的俯视图。
- [0038] 图 18B 是显示图 18A 的一部分的局部俯视图。
- [0039] 图 19A 是电动机的局部俯视图、其显示图 14A 的电动机中的转子处于旋转角度 R3 的状态。
- [0040] 图 19B 是电动机的局部俯视图、其显示图 14A 的电动机中的转子处于旋转角度 R1 的状态。
- [0041] 图 19C 是电动机的局部俯视图、其显示图 14A 的电动机中的转子处于旋转角度 R2 的状态。
- [0042] 图 19D 是电动机的局部俯视图、其显示图 14A 的电动机中的转子处于旋转角度 R4 的状态。
- [0043] 图 20 是显示图 14A 的电动机中的转子的旋转角度和齿槽转矩的关系的特性图。
- [0044] 图 21A 是本发明的第 3 实施方式的电动机的俯视图。
- [0045] 图 21B 是显示图 21A 的一部分的局部俯视图。
- [0046] 图 22A 是电动机的局部俯视图、其显示图 21A 的电动机中的转子处于旋转角度 R5 的状态。
- [0047] 图 22B 是电动机的局部俯视图、其显示图 21A 的电动机中的转子处于旋转角度 R6 的状态。

- [0048] 图 23 是显示图 21A 的电动机中的转子的旋转角度和齿槽转矩的关系的特性图。
- [0049] 图 24 是显示  $W3/T$  和齿槽转矩比的关系的特性图。
- [0050] 图 25 是本发明的第 5 实施方式的俯视图。
- [0051] 图 26 是图 25 的电动机的局部放大图。
- [0052] 图 27 是显示图 25 的电动机中的空隙距离比  $B/A$  和径向脉动的关系的特性图。
- [0053] 图 28 是显示图 25 的电动机中的空隙距离比  $B/A$  和转子不平衡力的关系的特性图。
- [0054] 图 29 是显示图 25 的电动机中的空隙距离比  $B/A$  和转矩脉动比的关系的特性图。

### 具体实施方式

[0055] 下面,参照附图,对将本发明具体化了的第 1 实施方式进行说明。

[0056] 如图 1 所示,本实施方式的内转子型的电动机 1 具备近似圆环状的定子 2,和被配置在所述定子 2 的径向内侧的转子 3。

[0057] 如图 1A 以及图 1B 所示,定子 2 具备圆筒部 11 和定子芯 4,其中,所述定子芯 4 具有在所述圆筒部 11 的内周面沿着圆周方向排列的多个(在本实施方式中为 60 个)齿 12。齿 12 从圆筒部 11 的内周面向径向内侧延伸。另外,定子芯 4 通过由高导磁率的金属制板状部件形成的层叠部件在轴向上层叠而构成。在圆周方向上相邻的所述齿 12 之间形成有沿轴向贯穿定子 2 的齿槽 ST。齿槽 ST 具有从轴向的角度看沿着径向延伸的长方形断面。齿槽 ST 的个数与齿 12 的个数为相同(在本实施方式中为 60 个)。在齿槽 ST 中插入有用于产生使转子 3 旋转的磁场的线圈段 13。另外,未予图示的绝缘体介于齿 12 和线圈段 13 之间。

[0058] 定子 2 的线圈段 13 断面呈四边形状,并且以多相(在本实施方式中为 3 相)的分布绕组的形式被卷绕在齿 12 上。线圈段 13 在每个相上都具有多个导体段 14。如图 1C 所示,各个导体段 14 具有:齿槽插入部 14a,其以沿轴向(与图 1A 的纸面垂直的方向)贯穿齿槽 ST 的形式被配置在齿槽 ST 内;突出部 14b,其从齿槽 ST 向轴向突出;和弯折部 14c。另外,通过在径向上相邻的齿槽突出部 14b 之间、即从齿槽 ST 突出的齿槽插入部 14a 的端部之间的熔接,所述每个相的多个导体段 14 互相电气连接。于是,各个相的多个导体段 14 构成为在圆周方向上连续的导线。另外,各个导体段 14 通过弯曲加工来形成,且被形成为近似 U 字形。在各个导体段 14 上的、相当于平行直线部的一对齿槽插入部 14a 被配置在沿圆周方向跨过多个(6 个)齿 12 而分开的 2 个齿槽 ST 内。

[0059] 转子 3 具备:近似圆环状的转子芯 22,其由固装在旋转轴 21 的外周面的、磁性金属材料形成;多个(在本实施方式中为 5 个)磁体 23,所述多个磁体 23 以沿着圆周方向排列的形式被固装在所述转子芯 22 的外周部上;和凸极 24,其被配置在所述转子芯 22 的外周部、且在沿圆周方向相邻的磁体 23 之间。磁体 23 起到 N 极的作用。凸极 24 与转子芯 22 形成为一体。磁体 23 以及凸极 24 沿着圆周方向按等角度间隔、交替地配置在转子 3 的外周部上。在本实施方式中,各个磁体 23 被配置在与凸极 24 中的一个成  $180^\circ$  相反的位置上。转子 3 被构成为,使凸极 24 相对于 N 极的磁体 23 起到 S 极作用的、10 个磁极的所谓换向极型。另外,转子 3 的极对数与磁体 23 的个数相同,在本实施方式中极对数为 [5]。另外,导体段 14 跨过齿 12 的个数由(齿槽数/磁极数)来决定。

[0060] 另外,本实施方式的定子 2 被构成为,齿 12 的个数  $[L]$  为  $[L = 2 \times p \times m \times n]$  (其中  $[n]$  为自然数) 的形式,其中,转子 3 的磁体 23 的个数(极对数)为  $[p]$  (其中  $p$  为 2 以上的整数)、线圈段 13 的相数为  $[m]$ 。于是,在本实施方式中,基于所述算式,齿 12 的个数  $[L]$  被设定为  $L = 2 \times 5$  (磁体 23 的个数)  $\times 3$  (相数)  $\times 2 = 60$  (个)。

[0061] 磁体 23 的圆周方向长度稍大于凸极 24 的圆周方向长度。磁体 23 被形成为近似长方柱形,其具有呈弯曲形状的外侧面 23a 和平坦的内侧面 23b。磁体 23 的外侧面 23a 成为以轴线 P 为中心的圆弧状,并且与齿 12 的前端部 12a 径向对置。磁体 23 的内侧面 23b 被固装在,设置于在转子芯 22 的圆周方向上相邻的凸极 24 之间的固装面 25 上。在磁体 23 与该磁体 23 沿圆周方向相邻的凸极 24 之间设有第 1 空隙 G1。另外,磁体 23 被构成为,其各自的外侧面 23a 位于同一圆周上的形式。

[0062] 凸极 24 的轴向剖面呈近似扇状,并且具有以向径向外侧突出的形式弯曲的外侧面 24a。也就是说,各个凸极 24 的外侧面 24a 形成为弯曲形状,该弯曲形状的圆周方向中央部相对于圆周方向的两个端部更凸向径向外侧,即、从该弯曲形状的圆周方向中央部起趋向圆周方向的端部就越逐渐地向径向内侧弯曲。另外,所有外侧面 24a 的曲率为一定,并从圆周方向中央部起向两侧对称。

[0063] 本实施方式的这种电动机 1 具备:所谓换向极型构造的转子 3,其被构成为使转子芯 22 的凸极 24 起到磁极的作用的形式;和定子 2,具有由多个导体段 14 形成的线圈段 13。由于线圈段 13 与以往技术中将连续的导线卷绕在齿上而构成的线圈相比较可以提高相对于齿槽 ST 的占积率,所以能够实现高输出化。因此,通过将转子 3 设为换向极型来减少磁体 23 的个数从而有利于省资源化和低成本化等,并且通过将定子 2 的线圈设为线圈段 13 可以变得高输出化。

[0064] 另外,如图 1A 以及图 1B 所示,以轴线 P 为中心的凸极 24 的开角  $Y_k \theta$  (参照图 1A) 被设定为,以轴线 P 为中心的、齿 12 的前端部 12a 的开角  $T \theta$  (参照图 1B) 的 2 倍以上(在本实施方式中为 4 倍以上)。即,对于 1 个凸极 24,存在多个整个前端部 12a 与所述凸极对置的齿 12。所以,凸极 24 的磁通受到与所述凸极 24 对置的多个齿 12 的影响而容易沿径向流动,其结果,有助于改善转子 3 的磁平衡,从而促进增大转矩以及减少振动等旋转性能的提高。另外,关于将凸极 24 的开角  $Y_k \theta$  设定为齿 12 的前端部 12a 的开角  $T \theta$  几倍以上的问题,最好设为从导体段 14 跨过齿 12 的个数(在本实施方式中为 6 个)减去 1 或者 2 的数值。

[0065] 在此,将磁体 23 的圆周方向长度(占有角度)定义为,以磁体 23 与相邻于该磁体 23 的圆周方向一侧的凸极 24 之间的第 1 空隙 G1 的圆周方向长度的中点为起点,以所述磁体 23 与相邻于该磁体 23 的圆周方向另一侧的凸极 24 之间的第 1 空隙 G1 的圆周方向长度的中点为终点的第 1 磁极占有角度(电角度)  $\theta_1$ 。另外,将凸极 24 的圆周方向长度(占有角度)定义为,以凸极 24 与相邻于该凸极 24 的圆周方向一侧的磁体 23 之间的第 1 空隙 G1 的圆周方向长度的中点为起点,以所述凸极 24 与相邻于该凸极 24 的圆周方向另一侧的磁体 23 之间的第 1 空隙 G1 的圆周方向长度的中点为终点的第 2 磁极占有角度(电角度)  $\theta_2$ 。分别用图 2A 和图 2B 来显示在分别改变第 1 磁极占有角度(电角度)  $\theta_1$  和第 2 磁极占有角度(电角度)  $\theta_2$  时的转矩脉动比以及平均转矩比。另外,由于如果磁体 23 以及凸极 24 的各个磁极占有角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  加在一起的话等于电角度  $360^\circ$  ( $\theta_1 + \theta_2 = 360^\circ$ ),

所以下面只对磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  进行说明。

[0066] 在图 2A 中,显示在改变磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  时的转矩脉动比。在将磁极占有角度  $\theta_1$  为  $180^\circ$  时的、即把磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  和凸极 24 的磁极占有角度  $\theta_2$  设为构造上相同时的转矩脉动设为 100% 时,磁极占有角度  $\theta_1$  在  $150^\circ \sim 180^\circ$  的范围内以及  $210^\circ \sim 270^\circ$  的范围内转矩脉动会变得小于 100%。另外,磁极占有角度  $\theta_1$  在  $150^\circ \sim 180^\circ$  的范围中,磁极占有角度  $\theta_1$  约在  $170^\circ$  时转矩脉动减少至 60%,而磁极占有角度  $\theta_1$  在  $210^\circ \sim 270^\circ$  的范围中,磁极占有角度  $\theta_1$  在  $250^\circ \sim 270^\circ$  附近时转矩脉动减少至最小值的 40%。也就是说,可以认为磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  在  $150^\circ \leq \theta_1 < 180^\circ$  的范围内或者在  $210^\circ \leq \theta_1 \leq 270^\circ$  的范围内为可以使转矩脉动减少的适当范围,进一步在  $250^\circ \leq \theta_1 \leq 270^\circ$  的范围内为可以使转矩脉动减少至 40% 的程度的最佳范围。

[0067] 另外,在图 2B 中,显示在改变磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  时的平均转矩比。在将磁极占有角度  $\theta_1$  为  $180^\circ$  时的平均转矩设为 100% 时,磁极占有角度  $\theta_1$  在大于  $180^\circ$  且小于或等于  $270^\circ$  的范围内平均转矩大于 100%。另外,磁极占有角度  $\theta_1$  约为  $230^\circ$  时平均转矩增大至最大值、约为 107%。基于所述图 2B 和上述图 2A 的数据,可以认为磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  在  $210^\circ \leq \theta_1 \leq 270^\circ$  的范围内为,不仅可以提高平均转矩而且可以减少转矩脉动的适当范围。

[0068] 然后,在本实施方式的转子 3 中,磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  被设定为在  $210^\circ \leq \theta_1 \leq 270^\circ$  中的  $250^\circ \leq \theta_1 \leq 270^\circ$  范围内的任一个值。由此,不仅可以提高平均转矩而且可以降低转矩脉动,从而可以提高转子 3 的旋转性能。

[0069] 另外,在转子 3 的凸极 24 以及磁体 23 的两个外侧面 24a、23a 中,凸极 24 的外侧面 24a 被构成为,相对于磁体 23 的外侧面 23a 更靠向径向内侧的形式。即,在定子 2 (齿 12 的前端部 12a) 和转子 3 之间的第 2 空隙 G2 中,与凸极 24 对应的空隙距离 B (圆周方向中央部上的最短空隙距离) 设定的要比与磁体 23 对应的空隙距离 A (在圆周方向上保持不变、即在圆周方向上每一个位置都为最短空隙距离) 要大。

[0070] 在此,分别用图 3A、图 3B、图 3A 来显示在改变空隙距离 B、A 的比 B/A 时的最大转矩比、转矩脉动比、以及径向脉动比。转矩脉动以及径向脉动分别为在转子 3 旋转时使其振动增加的要因。

[0071] 首先,在图 3B 中,显示在改变 B/A 时的转矩脉动比,在将 B/A = 1、即把空隙距离 A 和空隙距离 B 为相同时的转矩脉动设为 100% 时,随着所述 B/A 的值从 1 开始变大、即随着凸极 24 处于比磁体 23 更靠向径向内侧的位置,转矩脉动会从 100% 开始下降。在 B/A 的值为 1 ~ 约 1.5 的范围内,转矩脉动会按下降率大体不变的形式下降,而在 B/A 的值为约 1.5 ~ 1.7 的范围内,虽然转矩脉动的下降率变得比在 B/A 的值为 1 ~ 约 1.5 的范围内时要小,但转矩脉动持续下降。详细地讲,以 B/A = 1.2 时的转矩脉动约为 99%、B/A = 1.4 时的转矩脉动约为 98.2%、B/A = 1.6 时的转矩脉动约为 97.5% 的形式下降。也就是说,如果按照  $1 < B/A$  设定的话,可以期待转矩脉动的下降。

[0072] 接着,在图 3C 中,显示了在改变 B/A 时的径向脉动比,与上述一样,在将 B/A = 1 时的径向脉动设为 100% 时,随着所述 B/A 的值从 1 开始变大,径向脉动会以下降率大体上保持不变的形式从 100% 开始下降。详细地讲,以 B/A = 1.2 时的径向脉动约为 89%、B/A =

1.4 时的径向脉动约为 80%、 $B/A = 1.6$  时的径向脉动约为 72% 的形式下降。也就是说, 如果按照  $1 < B/A$  来设定的话, 可以期待径向脉动的下降。

[0073] 接着, 在图 3A 中, 显示在改变  $B/A$  时的最大转矩比, 与上述一样, 在将  $B/A = 1$  时的最大转矩设为 100% 时, 随着所述  $B/A$  的值从 1 开始变大, 最大转矩会从 100% 开始下降。在  $1 < B/A \leq 1.6$  的范围内最大转矩会以下降率大体不变的形式下降, 在  $B/A = 1.6$  时最大转矩约为 92%。在  $B/A$  的值超过 1.6 时, 最大转矩的下降率比在  $1 < B/A \leq 1.6$  的范围内时的要大。也就是说, 在  $1 < B/A \leq 1.6$  的范围内, 最大转矩的下降率较小, 另外, 可以认为该范围为将最大转矩的下降控制在 10% 以内的适当范围。

[0074] 基于上述内容, 在本实施方式的转子 3 中, 与定子 2 相对的凸极 24 的空隙距离 B 和磁体 23 的空隙距离 A 的比  $B/A$  被设定为  $1 < B/A \leq 1.6$  的范围内的任一个值。由此, 不仅可以极力抑制最大转矩的降低, 而且可以降低引起转子 3 旋转时的振动的转矩脉动 (图 3B) 以及径向脉动 (图 3C)。

[0075] 这种实施方式可以降低引起转子 3 旋转时的振动的各个要因, 从而可以提高转子 3 的旋转性能。

[0076] 本实施方式具有以下优点。

[0077] (1) 在本实施方式中, 与齿 12 的前端部 12a 对置的凸极 24 的开角  $\gamma_k \theta$  被设定为, 齿 12 的前端部 12a 的开角  $\tau \theta$  的 2 倍以上的值。所以, 凸极 24 的磁通受到与所述凸极 24 对置的 2 个以上的齿 12 的影响而容易沿径向流动。其结果, 能够改善转子 3 的磁平衡, 从而能够提高增大转矩以及减少振动等旋转性能。

[0078] (2) 本实施方式的电动机 1 具备所谓的换向极型构造的转子 3, 所述转子 3 具有凸极 24, 该凸极 24 位于在所述转子芯 22 的外周部沿圆周方向相邻的磁体 23 之间, 与该转子芯 22 形成为一体并起到磁极作用。另外, 定子 2 具有沿轴向贯穿齿 12 之间的部位的齿槽 ST, 并且具有被配置在所述齿槽 ST 内的齿槽插入部 14a 的、每个相的多个导体段 14, 在从所述齿槽 ST 突出的齿槽插入部 14a 的端部处通过熔接互相电气连接, 从而构成多相的线圈段 13。由于线圈段 13 与以往技术中将连续的导线卷绕在齿上而构成的线圈相比较可以提高相对于齿槽 ST 的占积率, 所以可以提高电动机 1 的输出。因此, 可以通过将转子 3 设为换向极型来减少磁体 23 的个数从而有利于省资源化和低成本化等, 并且可以通过将定子 2 的线圈设为线圈段 13 来提高电动机 1 的输出。

[0079] (3) 磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  以及凸极 24 的磁极占有角度  $\theta_2$  以在圆周方向上相邻的磁体 23 和凸极 24 之间的第 1 空隙 G1 的圆周方向中点为基准来设定 ( $\theta_1 + \theta_2 = 360^\circ$ )。另外, 磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  被设定为在  $210^\circ \leq \theta_1 \leq 270^\circ$  的范围内的任一个值。由此, 与在  $\theta_1 = 180^\circ$ 、即把磁体 23 和凸极 24 的各个磁极占有角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  设为构造上相同的普通构造时相比, 不仅更能够提高平均转矩而且更能够降低转矩脉动 (参照图 2A、2B), 从而有助于提高转子 3 的旋转性能。

[0080] 另外, 即使在将磁体 23 的磁极占有角度  $\theta_1$  设定为在  $150^\circ \leq \theta_1 < 180^\circ$  的范围内的任一个值的情况下, 和将磁极占有角度  $\theta_1$  设为  $180^\circ$  时相比, 能够降低转矩脉动 (参照图 2A), 从而有助于提高转子 3 的旋转性能。

[0081] (4) 在本实施方式中, 在定子 2 和转子 3 之间的第 2 空隙 G2 中、与磁体 23 对应的最短空隙距离 A 和与凸极 24 对应的最短空隙距离 B 的比  $B/A$  被设定为在  $1 < B/A$  范围内



的任一个值。由此,可以降低成为转子 3 旋转时振动的要因的转矩脉动以及径向脉动(参照图 3B、图 3C),从而可以有助于提高转子 3 的旋转性能。

[0082] (5) 在本实施方式中,与磁体 23 对应的最短空隙距离 A 和与凸极 24 对应的最短空隙距离 B 的比  $B/A$  设定为在  $1 < B/A \leq 1.6$  的范围内的任一个值。由此,不仅可以极力抑制转矩的降低,而且可以降低引起转子 3 旋转时的振动的转矩脉动以及径向脉动(参照图 3A、图 3B、图 3C)。从而进一步有助于提高转子 3 的旋转性能。

[0083] (6) 在本实施方式中,磁体 23 以及凸极 24 的个数都为奇数,并且各个磁体 23 被配置在与凸极 24 中的一个成  $180^\circ$  相反的位置上。即,在各个磁体 23 被配置在与凸极 24 中的一个成  $180^\circ$  相反的位置上的构成中,由于产生磁性不平衡而容易使转子 3 旋转时的振动增加,所以如上所述,通过使凸极 23 以及磁体 23 的占有角度适当化或者使空隙距离的比  $B/A$  适当化,会有利于减少转子 3 旋转时的振动。

[0084] 另外,上述第 1 实施方式也可以更改为以下的形式。

[0085] 也可以对上述第 1 实施方式的定子 2 的形状做适当更改。例如,如图 4、图 5A 以及图 5B 所示,在定子芯 4 上的、且在沿圆周方向相邻的齿 12 的前端部 12a 之间,形成有连接所述齿 12 的连续部 31 和空隙部 32。详细地讲,如图 5A 以及图 5B 所示,定子芯 4 由多个层叠部件 E 在轴向上层叠而构成。即,各个层叠部件 E 具有通过层叠而构成圆筒部 11 的部分,和通过层叠而构成齿 12 的部分(以下称层叠部件 E 的齿 12)。另外,在图 4、图 5A 以及图 5B 中,为了便于说明只图示有 4 个层叠部件 E。

[0086] 在各个层叠部件 E 的、且在沿圆周方向相邻的齿 12 的前端部 12a 之间,形成有将所述齿 12 连接在一起的连续部 31,并且通过冲压加工在各个层叠部件 E 的连续部 31 的轴向的两个面形成有沿轴向凹下的凹部 33。即,层叠部件 E 的连续部 31 比层叠部件 E 的齿 12 的轴向厚度要小与凹部 33 的凹下部分对应的轴向厚度。另外,通过将这种层叠部件 E 在轴向上层叠,在各个齿 12 的前端部 12a 之间沿轴向交替地形成有连续部 31 和空隙部 32。

[0087] 分别用图 6A 以及图 6B 来显示对于具有这种定子的电动机 1、不具备上述实施方式的定子 2 那样的连续部 31 的电动机 1(在图 6A 以及图 6B 中用[齿开放]示出的电动机)、以及具有不设空隙部的定子的电动机 1 的齿槽转矩以及平均转矩进行比较的图表。另外,在图 6A 以及图 6B 中,将不具备连续部 31 的电动机 1 的齿槽转矩以及平均转矩分别设为 100%。

[0088] 如图 6 所示,具有本构成(图 5A 以及图 5B 所示的构成)的定子的电动机 1 相对于具有不设连续部 31 的定子的电动机 1,齿槽转矩减少至 1~5%。即使在具有不设空隙部 32 的定子的电动机 1 中,齿槽转矩也同样地减少。另外如图 6B 所示,虽然在平均转矩方面,具有本构成的定子的电动机 1 相对于具有不设连续部 31 的定子的电动机 1 会减少,但相对于具有不设空隙部定子的电动机可以得到 1.5 倍以上的转矩。

[0089] 基于这种构成,由于连续部 31 的设置可以抑制磁通密度的急剧的变化,其结果,可以降低齿槽转矩。另外,由于不仅使齿槽转矩降低,而且通过空隙部 32 各个齿 12 的前端部 12a 之间的磁通变得不易通过,所以可以减少漏磁通,并可以将转矩的降低控制在较小范围内,从而可以使转子 3 的旋转性能提高。另外,可以通过齿 12 的前端部 12a 的连续部 31 来提高定子 2 的芯的刚性。

[0090] 另外,在如图 5A 以及图 5B 所示的例子中,通过冲压加工在各个层叠部件 E 的各个

齿 12 的前端部 12a 之间的连续部 31 上形成有沿轴向凹下的凹部 33 的同时,通过所述凹部 33 形成有空隙部 32。因此,通过在层叠部件 E 的连续部 31 上进行冲压加工而产生的残余应力和由所述冲压加工形成的凹部 33(空隙部 32),各个齿 12 的前端部 12a 之间的磁通变得不易通过,所以可以减少漏磁通,并且可以将转矩的降低控制在较小范围内。

[0091] 另外,虽然在图 5A 以及图 5B 所示的例子中,通过在各个层叠部件 E 的连续部 31 上形成有凹部 33 来形成空隙部 32,但并不仅限于此。

[0092] 例如,在图 7A ~图 7D 所示的例子中,定子芯 4 通过第 1 层叠部件 E1 和第 2 层叠部件 E2 在轴向上交替层叠而构成。即,各个第 1 层叠部件 E1 以及各个第 2 层叠部件 E2 具有通过层叠构成圆筒部 11 的部分和通过层叠构成齿 12 的部分。在图 7A 以及图 7B 中,对所述第 1 以及第 2 层叠部件 E1、E2 的圆筒部 11 以及齿 12 附上与层叠后的各个部件相同的符号。另外,在图 7C 以及图 7D 中,为了便于说明,分别只图示有 2 个第 1 以及第 2 层叠部件 E1、E2。

[0093] 如图 7A 所示,第 1 层叠部件 E1 的各个齿 12 的前端部 12a 之间形成有空隙部 42。而如图 7B 所示,在第 2 层叠部件 E2 的各个齿 12 的前端部 12a 之间形成有连接相邻的齿 12 的连续部 41。于是,通过第 1 层叠部件 E1 和第 2 层叠部件 E2 在轴向上交替地层叠,在各个齿 12 的前端部 12a 之间、且在轴向上交替地形成有连续部 41 和空隙部 42。

[0094] 即使通过这样的构成,也可以得到与图 5A 以及图 5B 所示的例子基本相同的益处。除此之外,在图 7A ~图 7D 所示的例子中,通过第 1 层叠部件 E1 和第 2 层叠部件 E2 在轴向上交替地层叠,可以容易地在各个齿 12 的前端部 12a 之间形成连续部 41 和空隙部 42。

[0095] 另外,例如,在图 8A、图 8B 以及图 8C 所示的例子中,定子芯 4 通过多个层叠部件 E3 沿轴向层叠而构成。即,层叠部件 E3 具有通过层叠而构成圆筒部 11 的部分,通过层叠构成齿 12 的部分。在图 8A 中,对所述第 3 层叠部件 E3 的圆筒部 11 以及齿 12 附上与层叠后的各个部件相同的符号。另外,在图 8B 以及图 8C 中,为了便于说明,只图示有 5 个层叠部件 E3。

[0096] 如图 8A 所示,在层叠部件 E3 的各个齿 12 的前端部 12a 之间沿圆周方向交替地形成有连续部 51 和空隙部 52。于是,层叠部件 E3 以所述连续部 51 和空隙部 52 沿轴向交替排列的形式层叠。换句话说,在轴向上相邻的层叠部件 E3 以互相沿圆周方向错开一个齿 12 的形式层叠。由此,在各个齿 12 的前端部 12a 之间沿轴向交替形成有连续部 51 和空隙部 52。

[0097] 即使通过这样的构成,也可以得到与图 5A 以及图 5B 所示的例子基本相同的益处。除此之外,在图 8A ~图 8C 所示的例子中,由于可以由相同的层叠部件 E3 在各个齿 12 的前端部 12a 之间构成连续部 51 和空隙部 52,所以可以易于备件管理,另外还可以有利于低成本化。

[0098] 也可以对上述第 1 实施方式的转子芯 22 的凸极 24 的形状做适当更改。

[0099] 例如,在图 9A 以及图 9B 所示的例子中,在各个凸极 24 上、与齿 12 对置的外侧面 24a 上,在相对于凸极 24 的圆周方向中心线 Q 为线对称的位置上形成有一对第 1 辅助槽 61。各个第 1 辅助槽 61 成为相互一样的形状,并且具有沿圆周方向对置的一对侧面部 61a、61b。另外,在第 1 辅助槽 61 的侧面部中,将圆周方向内侧(圆周方向中心线 Q 一侧)的部分作为侧面部 61a,而将圆周方向外侧(凸极 24 的圆周方向端部一侧)的部分作为侧面部 61b。

另外,第 1 辅助槽 61 沿轴向延伸为直线状。

[0100] 在此,如图 10 所示,在将以轴线 P 为中心的凸极 24 的开角、以轴线 P 为中心的齿 12 的前端部 12a 的开角、和所述齿的个数分别用  $[YK\theta(^{\circ})]$ 、 $[T\theta(^{\circ})]$ 、和  $[L(\text{个})]$  来表示的情况下,第 1 辅助槽 61 的位置角度 D1(从凸极 24 的圆周方向中心线 Q 起到第 1 辅助槽 61 的侧面部 61a 为止的角度 D1) 被设定成为  $[D1 = T\theta + (a-1) \times 360(^{\circ}) / L - YK\theta / 2]$  (其中 a 为自然数)。所述算式中的  $[360(^{\circ}) / L]$  的值示出了以轴线 P 为中心的、在圆周方向上相邻的齿 12 的前端部 12a 的圆周方向中央区域的角度。也就是说,所述算式的右边  $[T\theta + (a-1) \times 360(^{\circ}) / L]$  示出了沿圆周方向连续的 [a] 个齿 12 的开角。因此,满足所述算式的构成为,从凸极 24 的圆周方向端部 24b(图 10 的左侧端部)起至离该端部 24b 较远的第 1 辅助槽 61 的侧面部 61a 的角度、即  $YK\theta / 2 + D1$  与沿圆周方向连续的 [a] 个齿 12 的圆周方向的两个端部的角度相等。另外,图 10 中示出了  $[a = 3]$  时的构成。

[0101] 也就是说,在这种构成中,如图 10 所示,在凸极 24 的圆周方向端部 24b 与任一齿 12(在图 10 中为齿 12b) 的前端部 12a 的圆周方向第 1 端部 12x(左侧端部)在径向上对齐时,第 1 辅助槽 61 的侧面部 61a 与从齿 12b 开始沿圆周方向(右侧)的顺序数第 a 个齿 12(在图 10 中为齿 12c) 的圆周方向第 2 端部 12y(右侧端部)在径向上对齐。另外,上述的[在径向上对齐]是指凸极 24 的圆周方向端部和齿 12b 的圆周方向端部位于径向的一直线上。

[0102] 在此,图 11 示出了转子 3 旋转时的齿槽转矩波形。在图 11 中用点划线示出的波形(齿槽转矩波形)为齿槽转矩的主要成分波形(没有在各个凸极 24 上形成第 1 辅助槽 61 的构成的齿槽转矩波形),用虚线示出的波形为通过第 1 辅助槽 61 产生的齿槽转矩波形。另外,用实线示出的波形为在图 9 以及图 10 的例子中所示构成的电动机 1 产生的齿槽转矩波形,其为将齿槽转矩的主要成分波形(用点划线示出的波形)和通过第 1 辅助槽 61 产生的齿槽转矩波形(用虚线示出的波形)合成的波形。

[0103] 所述图 11 的转子 3 的旋转角度 R 为,在图 10 所示的状态下的转子 3 的旋转角度。在所述旋转角度 R 中,由于凸极 24 的圆周方向端部 24b 和齿 12b 的圆周方向第 1 端部 12x 在径向上对齐,所以容易使磁通集中于在所述径向上对齐的部分,其结果,齿槽转矩的主要成分成为负的峰值。另外,由于这时第 1 辅助槽 61 的侧面部 61a 和齿 12c 的圆周方向第 2 端部 12y 对齐,所以容易使磁通集中于在所述径向上对齐的部分,其结果,通过第 1 辅助槽 61 产生的齿槽转矩成为正的峰值。由于在所述旋转角度 R 的齿槽转矩的主要成分和通过第 1 辅助槽 61 产生的齿槽转矩的峰值相互为反相、其大小大致相同,所以成为相互抵消的形式(参照图 11 的实线所示的波形)。由此,使转子 3 旋转时产生的齿槽转矩降低。

[0104] 基于这种构成,可以通过形成在与齿 12 对置的凸极 24 的外侧面 24a(表面)上的第 1 辅助槽 61 来使凸极 24 内的磁通的流动适当化,从而可以控制齿槽转矩使其变小。另外,由于构成为使上述算式  $[D1 = T\theta + (a-1) \times 360(^{\circ}) / L - YK\theta / 2]$  成立的形式,所以产生于凸极 24 的第 1 辅助槽 61 中的齿槽转矩成为使产生于该凸极 24 的圆周方向端部 24b 的齿槽转矩降低的消除成分。因此,可以使产生于整个电动机 1 的齿槽转矩降低,从而可以提高转子 3 的旋转性能。另外,由于第 1 辅助槽 61 与凸极 24 的圆周方向的两个端部分别对应设置成一对,所以可以进一步降低齿槽转矩。

[0105] 另外,图 12 示出了在改变第 1 辅助槽 61 的开槽角度 W 时的齿槽转矩的大小。如

图 12 所示,如果使开槽角度  $W$  从 0 开始增大的话齿槽转矩就会降低,在开槽角度  $W$  约为 1.2 时齿槽转矩变为最小。

[0106] 另外,也可以在如图 9A、图 9B 以及图 10 所示的构成的基础上,除了第 1 辅助槽 61 还另外设置图 13 所示的第 2 辅助槽 62。与第 1 辅助槽 61 一样,在相对于凸极 24 的圆周方向中心线  $Q$  为线对称的位置上设置有一对第 2 辅助槽 62,各个第 2 辅助槽 62 成为相互一样的形状,并且具有沿圆周方向对置的一对侧面侧面部 62a、62b。另外,在第 2 辅助槽 62 的侧面部中,将径向内侧(圆周方向中心线  $Q$  一侧)的部分作为侧面部 62a,而将径向外侧(凸极 24 的圆周方向端部一侧)的部分作为侧面部 62b。另外,第 2 辅助槽 62 沿轴向延伸为直线状。

[0107] 在此,第 2 辅助槽 62 的位置角度  $D2$ (从凸极 24 的圆周方向中心线  $Q$  起到第 2 辅助槽 62 的侧面部 62a 为止的角度  $D2$ ) 被设定成为  $[D2 = D1 + 360(^{\circ})/L]$  的形式。由此,第 2 辅助槽 62 的位置角度  $D2$  设定为,从凸极 24 的圆周方向端部 24b 起至离该端部 24b 较远的第 2 辅助槽 62 的侧面部 62a 的角度(即、 $YK \theta / 2 + D1$ ) 与沿圆周方向连续的  $[a+1]$  个齿 12 的圆周方向的两个端部的角度相等。另外,图 13 中示出了  $[a = 3]$  时的构成。

[0108] 也就是说,在这种构成中,在凸极 24 的圆周方向端部 24b 与任一个齿 12b 的前端部 12a 的圆周方向第 1 端部 12x 在径向上对齐时,第 1 辅助槽 61 的侧面部 61a 与从齿 12b 开始沿圆周方向(右侧)的顺序数第  $a$  个齿 12c 的圆周方向第 2 端部 12y 在径向上对齐,而第 2 辅助槽 62 的侧面部 62a 与从齿 12b 开始沿圆周方向(右侧)的顺序数第  $(a+1)$  个齿 12d 的圆周方向第 2 端部 12z 在径向上对齐。

[0109] 基于这种构成,不仅产生于第 1 辅助槽 61 中的齿槽转矩而且产生于第 2 辅助槽 62 的齿槽转矩也成为,使产生于该凸极 24 的圆周方向端部 24b 的齿槽转矩降低的消除成分,由此可以进一步降低产生于整个电动机 1 的齿槽转矩。

[0110] 虽然在上述第 1 实施方式中,磁体 23 和凸极 24 的个数分别为 5 个、即用 10 个磁极来构成转子 3,但并不仅限于此,磁体 23 和凸极 24 的个数也可以根据构成做适当更改。

[0111] 关于上述第 1 实施方式,也可以对磁体 23 以及凸极 24 的两个外侧面 23a、24a 的形状做适当更改。虽然将磁体 23 的外侧面 23a 设为相同圆周的弯曲形状、且将凸极 24 的外侧面 24a 设为比所述外侧面 23a 的曲率更大的弯曲形状,也可按相反的形式来设定。另外,两个外侧面 23a、24a 也可以分别设为相同圆周的弯曲形状,或者,两个外侧面 23a、24a 也可以分别设为曲率较大的弯曲形状。另外,不仅可以按固定曲率设定外侧面 23a、24a 的弯曲形状,也可以设为在圆周方向上使曲率改变的形状或者设为直线性变化的形状。除此之外,也可以对磁体 23 的形状和具备凸极 24 的转子芯 22 的形状进行适当更改。

[0112] 下面,参照附图对将本发明具体化了的第 2 实施方式进行说明。

[0113] 如图 14A,本实施方式的内转子型的电动机 201 具备近似圆环状的定子 202、和被配置在所述定子 202 的径向内侧的定子 203。

[0114] 定子 202 具备圆筒部 211 和定子芯 204,其中,所述定子芯 204 具有沿着所述圆筒部 211 的内周面的圆周方向排列的多个(在本实施方式中为 12 个)齿 212。齿 212 从圆筒部 211 的内周面向径向内侧延伸。齿 212 在圆周方方向上等间隔地形成,U 相、V 相、W 相的线圈 213 以集中绕组的形式依次卷绕在各个齿 12 上。在各个齿 212 的前端部上形成有向圆周方向两侧突出的一对突出部 212a,各个齿 212 的表面 212b(径向内侧)形成于从一

侧的突出部 212a 到另一侧的突出部 212a 的范围内。另外,齿 212 构成为,相对于所述圆周方向中心线成为线对称的形式。

[0115] 转子 203 具备:近似圆环状的转子芯 222,其由固装在旋转轴 221 的外周面的、磁性金属材料形成;多个(在本实施方式中为 4 个)磁体 223,所述多个磁体 223 以沿着圆周方向排列的形式被固装在所述转子芯 222 的外周部上;和凸极 224,其被配置在所述转子芯 222 的外周部、且在沿圆周方向相邻的磁体 223 之间。各个磁体 223 起到 N 极的作用。凸极 224 与转子芯 222 形成为一体。也就是说,各个磁体 223 以及凸极 224 沿着圆周方向按等角度间隔、交替地配置在转子 203 的外周。转子 203 被构成为,使凸极 224 相对于 N 极的磁体 223 起到 S 极的作用的、8 个磁极的所谓换向极型。另外,转子 203 的磁极(8 磁极)为齿 212 的个数(12 个)的  $2/3$  倍,转子 203 的磁极和齿 212 的个数的比为  $2:3$ 。

[0116] 磁体 223 的外侧面 223a 成为以轴线 P 为中心的圆弧状,并且与齿 212 的前端部 212b 径向对置。另外,磁体 223 的圆周方向长度大于凸极 24 的圆周方向长度。磁体 223 的内侧面 223b 被固装在,设置于在转子芯 222 的圆周方向上相邻的凸极 224 之间的固装面 225 上。在磁体 223 与该磁体 223 沿圆周方向相邻的凸极 224 之间设有空隙。另外,磁体 223 被构成为,其各自的外侧面 223a 位于同一圆周上的形式。

[0117] 凸极 224 的轴向剖面呈近似扇状,并且具有以向径向外侧突出的形式弯曲的外侧面 224a(径向外侧面)。在各个凸极 224 的外侧面 224a,且在相对于凸极 240 的圆周方向中心线 S 为线对称的位置上形成有一对辅助槽 231、232(都为第 1 辅助槽)。各个辅助槽 231、232 成为相互一样的形状,并且具有沿圆周方向对置的一对侧面部 231a、231b、232a、232b。另外,在辅助槽 231、232 的侧面部中,将径向内侧(圆周方向中心线 S 一侧)的部分分别作为侧面部 231a、232a,而将径向外侧(凸极 224 的圆周方向端部一侧)的部分分别作为侧面部 231b、232b。

[0118] 辅助槽 231、232 沿轴向延伸为直线状。另外,辅助槽 231、232 的深度、即径向尺寸被设定成,约为凸极 224 的径向尺寸的  $1/3$ 。另外,如上所述,由于辅助槽 231、232 以相对于凸极 224 的圆周方向中心线 S 成为线对称的形式形成,所以,以轴线 P 为中心、从所述圆周方向中心线 S 起至辅助槽 231 的内侧的侧面部 231a 为止的角度和以轴线 P 为中心、从圆周方向中心线 S 起至辅助槽 232 的内侧的侧面部 232a 为止的角度相等,以下将该角度作为辅助槽 231、232 的位置角度 KC1(参照图 14B)。

[0119] 在此,在本实施方式中,如图 15A 所示,以轴线 P 为中心的齿 212 的表面 212b 的圆周方向的两个端部 212c、212d 之间的开角 KA 构成为,比以轴线 P 为中心的凸极 224 的圆周方向两个端部 224b、224c 之间的开角 KB 小。而且,辅助槽 231、232 的位置角度 KC1 设定为  $KC1 = KA - KB/2$  的形式。即,由此,如图 15A 所示,在齿 212 与凸极 224 在径向上对置的状态下,且在齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 1 端部 212c 与凸极 224 的圆周第 1 端部 224b(详细地讲,凸极 224 的圆周方向侧面与径向的外侧面 224a 交叉的部分)在径向上对齐时,齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 2 端部 212d 与辅助槽 231 的侧面部 231a(详细地讲,侧面部 231a 与凸极 224 的外侧面 240a 交叉的部分)在径向上对齐。另外,如图 15B 所示,同样在齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 2 端部 212d 与凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 在径向上对齐时,齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 1 端部 212c 与辅助槽 232 的侧面部 232a 在径向上对齐。另外,上述的[在径向上对齐]是指凸极 224 的圆周方向端部 224b、224c 和

齿 212 的圆周方向端部 212c、212d 位于径向的一条直线上。

[0120] 在此,图 16 示出了转子 203 旋转时的齿槽转矩波形。在图 16 中、用双点划线示出的波形为齿槽转矩的主要成分波形,其与没有在各个凸极 224 上形成辅助槽 231、232 的电动机产生的齿槽转矩波形相同。用点划线示出的波形为通过辅助槽 231、232 产生的齿槽转矩波形。另外,用实线示出的波形为由本实施方式的电动机 201 产生的齿槽转矩波形,其为将齿槽转矩的主要成分波形(用双点划线示出的波形)和通过辅助槽 231、232 产生的齿槽转矩波形(用点划线示出的波形)合成的波形。

[0121] 图 16 示出了图 15A 所示的转子 203 的旋转角度 R1 时、即凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 与对置的齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 在径向上对齐时的齿槽转矩。所述旋转角度 R1 中,由于凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 和齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 在径向上对齐,所以容易使磁通偏向齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 集中,其结果,齿槽转矩的主要成分增大,齿槽转矩的主要成分(双点划线示出的波形)变为负的峰值。

[0122] 在此,本实施方式的电动机 201 中,如上所述,由于辅助槽 231、232 的位置角度 KC1 被设定为  $KC1 = KA - KB/2$  的形式,使得位于旋转角度 R1 时的齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 与辅助槽 231 的侧面部 231a 在径向上对齐。由此,此时的磁通容易偏向齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 分散,并且不易使磁通偏向齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 集中。如图 16 所示,通过辅助槽 231、232 产生的齿槽转矩成为与位于旋转角度 R1 时的齿槽转矩的主要成分反相位(正)的峰值、即对于齿槽转矩的主要成分的消除成分,所述峰值通过辅助槽 231 产生。因此,整个电动机 201 产生的齿槽转矩(用实线示出的波形)、即将齿槽转矩的主要成分和通过辅助槽 231、232 产生的齿槽转矩合成而构成的齿槽转矩,在旋转角度为 R1 时,齿槽转矩的主要成分的峰值被抑制了的波形。这样,可以通过辅助槽 231 降低齿槽转矩,从而可以提高转子 203 的旋转性能。另外,通过辅助槽 231、232 产生的齿槽转矩的峰值的绝对值比齿槽转矩的主要成分的峰值的绝对值要小。

[0123] 另外,另一侧的辅助槽 232 也产生与辅助槽 231 相同的作用。详细地讲,如图 15B 所示,在凸极 224 与齿 212 对置的状态下,且在凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 与齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 在径向上对齐时(图 15B 中的旋转角度 R2),齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 与辅助槽 232 的侧面部 232a 在径向上对齐。由此,与上述的辅助槽 231 的情况一样,如图 16 所示,通过辅助槽 231、232 产生的齿槽转矩成为与在旋转角度 R2 时的齿槽转矩的主要成分反相位的峰值、即对于齿槽转矩的主要成分的消除成分。由此,可以进一步降低齿槽转矩,从而可以提高转子 203 的旋转性能。

[0124] 图 17 中实线所示的图表,显示在改变比  $W1/T$  时的齿槽转矩比,该比  $W1/T$  为以辅助槽 231、232 内侧(圆周方向中心线 S 侧)的侧面部 231a、232a 为基准的辅助槽 231、232 的圆周方向宽度  $W1$ (参照图 15B)与相邻的齿 212 的前端部之间(突出部 212a 之间)的圆周方向间隔  $T$ (参照图 14B)的比。在所述图 17 中,在  $W1/T = 0$ 、即在形成辅助槽 231、232 的构成的情况下的齿槽转矩设为 [1] 时,从  $W1/T = 0$  起到  $W1/T = 2.5$  为止齿槽转矩会减少,在  $W1/T = 2.5$  时齿槽转矩为最小值,约为 [0.5]。然后,从  $W1/T = 2.5$  到  $W1/T = 3.5$ ,虽然齿槽转矩从最小值开始增大,但小于 [1]。也就是说,由于在  $0 < W1/T < 3.5$  的范围内齿槽转矩小于 [1],所以如果将  $W1/T$  的值设定在该范围内的话,和没有形成辅助槽 231、232 的构成相比,更可以期待齿槽转矩的下降,在  $W1/T = 2.5$  的情况下齿槽转矩的降低

效果变得最大,齿槽转矩约为一半。

[0125] 本实施方式具有以下的优点。

[0126] (7) 在本实施方式中,在转子 203 的凸极 224 的外侧面 224a 形成有辅助槽 231、232,其位置角度  $KC1$  被构成为满足算式  $KC1 = KA - KB/2$  的形式。因此,在转子 203 旋转时,在齿 212 与凸极 224 径向对置、且齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 1 端部 212c 与凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 在径向上对齐时,齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 与辅助槽 231 的侧面部 231a 在径向上对齐。另外,在转子 203 旋转时,在齿 212 与凸极 224 径向对置、且齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 2 端部 212d 与凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 在径向上对齐时,齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 与辅助槽 232 的侧面部 232a 在径向上对齐。这时,由于在偏向与辅助槽 231、232 的侧面部 231a、232a 对齐的齿 212 的圆周方向第 1 以及第 2 端部 212c、212d 产生的齿槽转矩(通过辅助槽 231、232 产生的齿槽转矩)成为,抑制在偏向与凸极 224 的圆周方向第 1 以及第 2 端部 224b、224c 沿径向对齐的齿 212 的圆周方向端部 212c、212d 产生的齿槽转矩(主要成分)使其变小的消除成分,所以可以使产生于整个电动机 201 的齿槽转矩降低,从而可以提高转子 203 的旋转性能。

[0127] (8) 在本实施方式中,以相对于凸极 224 的圆周方向中心线 S 成为线对称的形式,在圆周方向上并列设有一对辅助槽 231、232。即,由于辅助槽 231、232 与凸极 224 的圆周方向第 1 以及第 2 端部 224b、224c 分别对应设置为一对的形式,所以可以进一步降低齿槽转矩。

[0128] (9) 在本实施方式中,辅助槽 231、232 的圆周方向宽度  $W1$  与在圆周方向上相邻的齿 212 之间的间隔  $T$  的比  $W1/T$  设定在  $0 < W1/T < 3.5$  的范围内。由此,可以降低齿槽转矩(参照图 17),从而有助于提高转子 203 的旋转性能。

[0129] 下面,参照附图对本发明具体化了的第 3 实施方式进行说明。

[0130] 如图 18A 以及图 18B 所示,本实施方式的电动机 301 在所述第 2 实施方式的构成的基础上,在凸极 224 的外侧面 224a 上形成作为第 2 辅助槽的内侧辅助槽 341、342。下面,对与所述第 2 实施方式相同的构成附上相同的符号省略详细的说明。

[0131] 内侧辅助槽 341、342 形成于比辅助槽 231、232(第 1 辅助槽)更靠向圆周方向内侧的位置,且相对于凸极 224 的圆周方向中心线 S 成为线对称的形式。各个内侧辅助槽 341、342 成为相互一样的形状,并且具有沿圆周方向对置的一对侧面部 341a、341b、342a、342b。另外,在内侧辅助槽 341、342 的侧面部中,将内侧(圆周方向中心线 S 一侧)的部分分别作为侧面部 341a、342a,而将外侧(凸极 224 的圆周方向端部一侧)的部分分别作为侧面部 341b、342b。

[0132] 内侧辅助槽 341、342 与所述外侧的辅助槽 231、232 同样沿轴向延伸为直线状,内侧辅助槽 341、342 的深度(径向尺寸)被设定成,与辅助槽 231、232 的深度大致相等、约为凸极 224 的径向尺寸的  $1/3$ 。另外,如上所述,由于内侧辅助槽 341、342 以相对于凸极 224 的圆周方向中心线 S 成为线对称的形式形成,所以,以轴线 P 为中心、从所述圆周方向中心线 S 起至内侧辅助槽 341 的外侧的侧面部 341b 为止的角度和以轴线 P 为中心、从圆周方向中心线 S 起至内侧辅助槽 342 的外侧的侧面部 342b 为止的角度相等,以下将该角度设为内侧辅助槽 341、342 的位置角度  $KC2$ (参照图 18B)。

[0133] 在此,在用  $KD$  来表示以轴线 P 为中心的磁体 223 和凸极 224 之间的开角时,内侧

辅助槽 341、342 的位置角度  $KC2$  被设定为  $KC2 = KA - KB/2 - KD$  的形式。另外,与所述第 2 实施方式一样,  $KA$  以及  $KB$  为齿 212 的表面 212b 的开角  $KA$  以及凸极 224 的开角  $KB$  (参照图 15A)。由此,如图 19A 所示,在齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 1 端部 212c 和与径向对置的凸极 224 相邻的磁体 223 的圆周方向第 1 端部 323b (详细地讲,磁体 223 的圆周方向侧面与径向的外侧面 323a 交叉的部分) 在径向上对齐时,齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 与内侧辅助槽 341 的外侧的侧面部 341b (详细地讲,侧面部 341b 与凸极 224 的外侧面 224a 交叉的部分) 在径向上对齐。另外,同样地,如图 19D 所示,在齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 和与径向对置的凸极 224 相邻的磁体 223 (图 19A 中、位于右下的磁体 223) 的圆周方向第 1 端部 323c 在径向上对齐时,齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 1 端部 212c 与内侧辅助槽 342 的外侧的侧面部 342b 在径向上对齐。

[0134] 在此,图 20 示出了转子 303 旋转时的齿槽转矩波形。在图 20 中、用双点划线示出的波形为齿槽转矩的主要成分波形,其与没有在各个凸极 224 上形成辅助槽 231、232 的电动机产生的齿槽转矩波形相同。用点划线示出的波形为通过辅助槽 231、232 以及内侧辅助槽 341、342 产生的齿槽转矩波形。另外,用实线示出的波形为由本实施方式的电动机 301 产生的齿槽转矩波形,其为将齿槽转矩的主要成分波形 (用双点划线示出的波形) 和通过辅助槽 231、232 以及内侧辅助槽 341、342 产生的齿槽转矩波形 (用点划线示出的波形) 合成的波形。

[0135] 将图 19A 所示的转子 303 的旋转角度、即齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 和与径向对置的凸极 224 相邻的磁体 223 的圆周方向第 1 端部 323b 对齐时的旋转角度设为  $R3$ 。这时,由于所述齿 212 的至少一部分与磁体 223,在径向上从对置的状态向非对置状态过渡,所以容易使磁通偏向齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 集中,其结果,齿槽转矩的主要成分增大。

[0136] 在此,本实施方式的电动机 301 中,如上所述,由于内侧辅助槽 341、342 的位置角度  $KC2$  被设定为  $KC2 = KA - KB/2 - KD$  的形式,使得位于旋转角度  $R3$  时的齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 与内侧辅助槽 341 的外侧的侧面部 341b 在径向上对齐。由此,此时的磁通容易向齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 分散,并且不易使磁通偏向齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 集中。如图 20 所示,通过辅助槽 231、232 以及内侧辅助槽 341、342 产生的齿槽转矩成为与位于旋转角度  $R3$  时的齿槽转矩的主要成分反相位 (正) 的成分、即对于齿槽转矩的主要成分的消除成分,所述消除成分通过内侧辅助槽 341 产生。因此,整个电动机 301 产生的齿槽转矩 (用实线示出的波形) 在旋转角度为  $R3$  时,齿槽转矩的主要成分的峰值部分被抑制了的波形。这样,可以通过内侧辅助槽 341 降低齿槽转矩,从而可以提高转子 303 的旋转性能。

[0137] 另外,另一侧的内侧辅助槽 342 也产生与内侧辅助槽 341 相同的作用。详细地讲,如图 19D 所示,在齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 和与径向对置的凸极 224 相邻的磁体 223 的圆周方向第 1 端部 323c 在径向上对齐时 (图 20 中的旋转角度  $R4$ ),齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 与内侧辅助槽 342 的侧面部 342a 在径向上对齐。由此,与上述的内侧辅助槽 341 的情况一样,如图 20 所示,通过辅助槽 231、232 以及内侧辅助槽 341、342 产生的齿槽转矩成为与在旋转角度  $R4$  时的齿槽转矩的主要成分反相位的峰值、即对于齿槽转矩的主要成分的消除成分。由此,可以进一步降低齿槽转矩,从而可以提高转子 303 的旋转性



能。

[0138] 另外,由于在本实施方式中具备内侧辅助槽 341、342 和辅助槽 231、232,所以,如第 2 实施方式中所述,即使在旋转角度 R1 以及 R2 时也可降低齿槽转矩。

[0139] 在图 17 中用点划线所示的图表,显示在改变比  $W2/T$  时的齿槽转矩比,该比  $W2/T$  为以内侧辅助槽 341、342 外侧的侧面部 341b、342b 为基准的内侧辅助槽 341、342 的圆周方向宽度  $W2$  (参照图 18B) 与相邻的齿 212 的前端部之间 (突出部 212a 之间) 的圆周方向间隔  $T$  (参照图 18B) 的比。在所述图 17 中,在  $W2/T = 0$ 、即在没有形成内侧辅助槽 341、342 的构成的情况下的齿槽转矩设为 [1] 时。如图 17 所示,从  $W2/T = 0$  起到  $W2/T = 0.6$  为止齿槽转矩会减少,在  $W2/T = 0.6$  时齿槽转矩为最小值,约为 [0.7]。然后,从  $W2/T = 0.6$  到  $W2/T = 1.2$ ,虽然齿槽转矩从最小值开始增大,但小于 [1]。也就是说,由于在  $0 < W2/T < 1.2$  的范围内齿槽转矩小于 [1],所以在该范围内来设定  $W2/T$  的话,和没有形成内侧辅助槽 341、342 的构成相比更可以期待齿槽转矩的下降,在  $W2/T = 0.6$  的情况下齿槽转矩的降低效果变得最大,齿槽转矩约为 70%。

[0140] 本实施方式具有以下优点。

[0141] (10) 在本实施方式中,在转子 303 的凸极 224 的外侧面 224a 形成有内侧辅助槽 341、342,其位置角度  $KC2$  被构成为满足算式  $KC2 = KA - KB/2 - KD$  的形式。因此,在转子 303 旋转时,在齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 1 端部 212c 和与沿径向对置的凸极 224 相邻的磁体 223 的圆周方向第 1 端部 323b 在径向上对齐时,齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 与内侧辅助槽 341 的侧面部 341b 在径向上对齐。另外,在转子 303 旋转时,在齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 2 端部 212d 和与径向对置的凸极 224 相邻的磁体 223 的圆周方向第 1 端部 323c 在径向上对齐时,齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 与内侧辅助槽 342 的侧面部 342b 在径向上对齐。这时,由于在偏向与内侧辅助槽 341、342 的侧面部 341a、342a 对齐的齿 212 的圆周方向端部 212c、212d 产生的齿槽转矩 (通过内侧辅助槽 341、342 产生的齿槽转矩) 成为,抑制在偏向与磁体 223 的圆周方向第 1 端部 323b、323c 沿径向对齐的齿 212 的圆周方向端部 212c、212d 产生的齿槽转矩 (主要成分) 使其变小的消除成分,所以可以使产生于整个电动机 301 的齿槽转矩降低,从而可以提高转子 303 的旋转性能。

[0142] (11) 在本实施方式中,以相对于凸极 224 的圆周方向中心线 S 成为线对称的形式,在圆周方向上并列设有一对内侧辅助槽 341、342。即,由于内侧辅助槽 341、342 与位于凸极 224 两侧的磁体 223 的圆周方向第 1 端部 323b、323c 分别对应设置为一对的形式,所以可以进一步降低齿槽转矩。

[0143] (12) 在本实施方式中,内侧辅助槽 341、342 的圆周方向宽度  $W2$  与在圆周方向上相邻的 212 之间的圆周方向间隔  $T$  的比  $W2/T$  设定在  $0 < W1/T < 1.2$  的范围内。由此,可以降低齿槽转矩 (参照图 17),从而有助于提高转子 303 的旋转性能。

[0144] (13) 在本实施方式中,由于在凸极 224 上具备作为第 1 辅助槽的辅助槽 231、232,和作为第 2 辅助槽的内侧辅助槽 341、342,所以能够进一步降低齿槽转矩。

[0145] 下面,参照附图对将本发明具体化了的第 4 实施方式进行说明。

[0146] 本实施方式的电动机 401 与前述第 2 实施方式不同的是,不是在凸极 224 而是在齿 212 上具备辅助槽 (齿侧辅助槽 451、452)。因此,对与前述第 2 实施方式相同的构成附上相同的符号省略详细的说明。

[0147] 如图 21A 以及图 21B 所示,在齿 212 的表面 212b 上形成有一对齿侧辅助槽 451、452。各个齿侧辅助槽 451、452 具有沿圆周方向对置的一对侧面部 451a、451b、452a、452b,并分别沿轴向延伸。各个齿侧辅助槽 451、452 成为相互一样的形状,并以相对于齿 212 的圆周方向中心线 H 成为线对称的形式形成。另外,在齿侧辅助槽 451、452 的侧面部中,将内侧(圆周方向中心线 H 一侧)的部分分别作为第 1 侧面部 451a、452a,而将外侧(齿 212 的圆周方向端部一侧)的部分分别作为第 2 侧面部 451b、452b。

[0148] 齿侧辅助槽 451、452 以相对于齿 212 的圆周方向中心线 H 成为线对称的形式形成。因此,以轴线 P 为中心、从所述圆周方向中心线 H 起至齿侧辅助槽 451 的外侧的侧面部 451b 为止的角度和以轴线 P 为中心、从圆周方向中心线 H 起至齿侧辅助槽 452 的外侧的侧面部 452b 为止的角度相等,以下将该角度设为齿侧辅助槽 451、452 的位置角度 KC3(参照图 21B)。

[0149] 在此,在用 KE 来表示在圆周方向上相邻的齿 212 的圆周方向中心线 H 之间的角度时,齿侧辅助槽 451、452 的位置角度 KC3 被设定为  $KC3 = KA/2 + KE - KB$  的形式。另外,与前述第 2 实施方式一样,KA 以及 KB 为齿 212 的表面 212b 的开角 KA 以及凸极 224 的开角 KB(参照图 15A)。由此,如图 22A 所示,凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 和径向对置的齿 212 的表面 212b 的圆周方向第 1 端部 212c 在径向上对齐时,凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 与在圆周方向第 1 端部 224b 处对齐的齿 212 相邻的齿(图 22A 中的齿 212e)的、齿侧辅助槽 451 的外侧的侧面部 451b(详细地讲,侧面部 451b 与齿 212 的表面 212b 交叉的部分)在径向上对齐。另外同样,如图 22B 所示,凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 和径向对置的齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 在径向上对齐时,凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 与在圆周方向第 2 端部 224c 处对齐的齿 212 相邻的齿(图 22B 中的齿 212f)的、齿侧辅助槽 452 的外侧的侧面部 452b 在径向上对齐。

[0150] 在此,图 23 示出了转子 403 旋转时的齿槽转矩波形。在图 23 中、用双点划线示出的波形为齿槽转矩的主要成分波形,其与没有在各个齿 212 上形成齿侧辅助槽 451、452 的电动机产生的齿槽转矩波形相同。用点划线示出的波形为通过齿侧辅助槽 451、452 产生的齿槽转矩波形。另外,用实线示出的波形为由本实施方式的电动机 401 产生的齿槽转矩波形,其为将齿槽转矩的主要成分波形(用双点划线示出的波形)和通过齿侧辅助槽 451、452 产生的齿槽转矩波形(用点划线示出的波形)合成的波形。

[0151] 将图 22A 所示的转子 403 的旋转角度、即凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 和径向对置的齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 对齐时的旋转角度设为 R5。这时,容易使磁通偏向凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 集中,其结果,齿槽转矩的主要成分增大,齿槽转矩的主要成分波形成为负的峰值(参照图 23)。

[0152] 在此,本实施方式的电动机 401 中,如上所述,由于齿侧辅助槽 451、452 的位置角度 KC3 被设定为  $KC3 = KA/2 + KE - KB$  的形式,使得位于旋转角度 R5 时的凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 与齿 212e 的齿侧辅助槽 451 的外侧的侧面部 451b 在径向上对齐。由此,此时的磁通容易向凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 分散,并且不易使磁通偏向凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 集中。如图 23 所示,通过齿侧辅助槽 451、452 产生的齿槽转矩成为与位于旋转角度 R5 时的齿槽转矩的主要成分反相位(正)的成分、即对于齿槽转矩的主要成分的消除成分,所述消除成分通过齿侧辅助槽 451 产生。因此,整个电动机 401 产生

的齿槽转矩（用实线示出的波形）在旋转角度为 R5 时，齿槽转矩的主要成分的峰值部分被抑制了的波形。这样，可以通过齿侧辅助槽 451 降低齿槽转矩，从而可以提高转子 403 的旋转性能。

[0153] 另外，另一侧的齿侧辅助槽 452 也产生与齿侧辅助槽 451 相同的作用。详细地讲，如图 22B 所示，在凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 和径向对置的齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 在径向上对齐时（图 23 中的旋转角度 R6），齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 与齿 212f 的齿侧辅助槽 452 的外侧的侧面部 452b 在径向上对齐。由此，与上述的齿侧辅助槽 451 的情况一样，如图 23 所示，通过齿侧辅助槽 451、452 产生的齿槽转矩成为与在旋转角度 R6 时的齿槽转矩的主要成分反相位的峰值、即对于齿槽转矩的主要成分的消除成分，从而在旋转角度 R6 时的整个电动机 401 的齿槽转矩（用实线示出的波形）被控制变得较小。由此，可以进一步降低齿槽转矩，从而可以提高转子 403 的旋转性能。

[0154] 图 24 显示在改变比  $W3/T$  时的齿槽转矩比，该比  $W3/T$  为以齿侧辅助槽 451、452 外侧的侧面部 451b、452b 为基准的齿侧辅助槽 451、452 的圆周方向宽度  $W3$ （参照图 22B）与相邻的齿 212 的前端部之间（突出部 212a 之间）的圆周方向间隔  $T$ （参照图 22B）的比。在所述图 24 中，在  $W3/T = 0$ 、即在没有形成齿侧辅助槽 451、452 的构成的情况下的齿槽转矩设为 [1] 时。如图 24 所示，随着从  $W3/T = 0$  开始变大齿槽转矩会减少，在  $W3/T = 0.7$  附近时齿槽转矩为最小值（约为 50%）。在  $W3/T$  进一步变大时，虽然齿槽转矩从最小值开始增大，但在  $W3/T = 1.125$  的范围内齿槽转矩小于 [1]。也就是说，由于在  $0 < W3/T < 1.125$  的范围内齿槽转矩小于 [1]，所以在该范围内来设定  $W3/T$  的话，和没有形成齿侧辅助槽 451、452 的构成相比，更可以期待齿槽转矩的下降，在  $W3/T = 0.7$  的情况下齿槽转矩的降低效果变得最大，齿槽转矩约为 50%。

[0155] 本实施方式具有以下的优点。

[0156] (14) 在本实施方式中，在齿 212 的表面 212b 形成有齿侧辅助槽 451、452，其位置角度  $KC3$  被构成为满足算式  $KC3 = KA/2 + KE - KB$  的形式。因此，在转子 403 旋转时，在凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 和径向对置的齿 212 的圆周方向第 1 端部 212c 在径向上对齐时，凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 与圆周方向端部对齐的、齿 212 的相邻的齿 212e 的齿侧辅助槽 451 的侧面部 451b 在径向上对齐。另外，在转子 403 旋转时，在凸极 224 的圆周方向第 2 端部 224c 和径向对置的齿 212 的圆周方向第 2 端部 212d 在径向上对齐时，凸极 224 的圆周方向第 1 端部 224b 与圆周方向端部对齐的、齿 212 的相邻的齿 212f 的齿侧辅助槽 452 的侧面部 452b 在径向上对齐。这时，由于通过齿侧辅助槽 451、452 产生的齿槽转矩成为，抑制齿槽转矩的主要成分使其变小的消除成分，所以可以使产生于整个电动机 401 的齿槽转矩降低，从而可以提高转子 403 的旋转性能。

[0157] (15) 在本实施方式中，由于以相对于齿 212 的圆周方向中心线 H 成为线对称的形式，在圆周方向上并列设有一对齿侧辅助槽 451、452，所以可以进一步降低齿槽转矩。

[0158] (16) 在本实施方式中，齿侧辅助槽 451、452 的圆周方向宽度  $W3$  与在圆周方向上相邻的 212 之间的圆周方向间隔  $T$  的比  $W3/T$  设定在  $0 < W3/T < 1.125$  的范围内。由此，可以降低齿槽转矩（参照图 24），从而有助于提高转子 403 的旋转性能。

[0159] 另外，上述第 2～第 4 实施方式也可以更改为以下的形式。

[0160] 虽然在上述第 3 实施方式中，具备了作为第 1 辅助槽的辅助槽 231、232 和作为第

2 辅助槽的内侧辅助槽 341、342,也可以构成为只具备内侧辅助槽 341、342 的形式。

[0161] 也可以构成为在第 4 实施方式中增加第 2 实施方式的辅助槽 231、232 和第 3 实施方式的内侧辅助槽 341、342 的形式。

[0162] 虽然在上述第 2 ~ 第 4 实施方式中,各具备一对辅助槽 231、232,内侧辅助槽 341、342,或者齿侧辅助槽 451、452,也可以各具备 1 个。

[0163] 虽然在上述第 2 ~ 第 4 实施方式适用于由 4 个凸极 224 和 4 个磁体 223 构成的 8 个磁极的转子 403,也可以适当更改磁极数。随着此更改,定子 202 的磁极数也适当更改。

[0164] 下面,参照附图对将本发明具体化了的第 5 实施方式进行说明。

[0165] 图 25 以及图 26 显示内转子型的无刷电动机 501。用于本实施方式的电动机 501 的转子 503 具备:近似圆环状的转子芯 522,其由固装在旋转轴 521 的外周面的、磁性金属材料形成;7 个磁体 523,所述多个磁体 523 以沿着圆周方向排列的形式被固装在所述转子芯 522 的外周部上;和凸极 524,其被配置在所述转子芯 522 的外周部、且在沿圆周方向相邻的磁体 523 之间。各个磁体 523 起到 N 极的作用。凸极 524 与转子芯 522 形成为一体。磁体 523 以及凸极 524 沿着圆周方向按等角度间隔、交替地配置在转子 503 的外周部上。在本实施方式中,各个磁体 523 被配置在与凸极 524 中的一个成  $180^\circ$  相反的位置上。转子 503 被构成为,使凸极 524 相对于 N 极的磁体 523 起到 S 极的作用的、14 个磁极的所谓换向极型。另外,定子 502 使用由线圈 513 卷绕在定子芯 504 的 12 个齿 512 上的 12 个磁极构成的部件。

[0166] 转子 503 的磁体 523 的圆周方向长度稍大于凸极 524 的圆周方向长度。磁体 523 被形成为近似长方柱形,其具有呈弯曲形状的外侧面 523a 和平坦的内侧面 523b。磁体 523 的内侧面 523b 被固装在,设置于在转子芯 522 的圆周方向上相邻的凸极 524 之间的固装面 525 上。在磁体 523 与该磁体 523 沿圆周方向相邻的凸极 524 之间设有第 1 空隙 S1。各个磁体 523 的外侧面 523a 被形成为,位于同一圆周上的弯曲形状的形式。

[0167] 凸极 524 的圆周方向长度比磁体 523 的圆周方向长度要小与凸极 524 和磁体 523 之间的第 1 空隙 S1 对应的量。凸极 524 的轴向剖面呈近似扇状,并且具有以向径向外侧突出的形式弯曲的外侧面 524a。也就是说,各个凸极 524 的外侧面 524a 形成为弯曲形状,该弯曲形状的圆周方向中央部相对于圆周方向的两个端部更凸向径向外侧,即、从该弯曲形状的圆周方向中央部起越趋向圆周方向端部就逐渐向径向内侧弯曲。另外,所有外侧面 524a 的曲率为一定,并从圆周方向中央部向两侧对称。

[0168] 另外,在凸极 524 以及磁体 523 的两个外侧面 524a、523a 中,凸极 524 的外侧面 24a 被构成为,相对于磁体 523 的外侧面 523a 更靠向径向内侧的形式。即,在定子 502(齿 512 的表面(前端部))和转子 503 之间的第 2 空隙 S2 中,与凸极 524 对应的空隙距离 B(在这种情况下,圆周方向中央部上的最短空隙距离)设定的要比与磁体 523 对应的空隙距离 A(在圆周方向上保持不变、即在圆周方向上的每一个位置都为最短空隙距离)要大。

[0169] 在此,用图 27、图 28、图 29 来显示在改变比 B/A 时的径向脉动比、转子不平衡力比、以及转矩脉动比,所述比 B/A 为在定子 502 和转子 503 之间的第 2 空隙 S2 中,对应于凸极 524 的空隙距离 B 和对应于磁体 523 的空隙距离 A 的比。所述径向脉动比、转子不平衡力、以及转矩脉动比分别为在转子 503 旋转时使其振动增加的要因。

[0170] 在图 27 中,显示了在改变 B/A 时的径向脉动比,在将  $B/A = 1$ 、即将空隙距离 A 和

空隙距离 B 为相同时的径向脉动设为 [1] 时,随着所述 B/A 的值开始变大(随着凸极 524 处于比磁体 523 更靠向径向内侧的位置),径向脉动从 [1] 开始按下降率大体不变的形式下降。详细地讲,以在  $B/A = 1.2$  时的径向脉动约为 [0.89]、在  $B/A = 1.4$  时的径向脉动约为 [0.8]、在  $B/A = 1.6$  时的径向脉动约为 [0.72] 的形式下降。也就是说,如果按照  $1 < B/A$  来设定的话,可以期待转矩脉动的下降。

[0171] 接着,在图 28 中,显示了在改变 B/A 时的转子不平衡力比,与上述一样,在将  $B/A = 1$  时的转子不平衡力设为 [1] 时,随着所述 B/A 的值开始变大,转子不平衡力下降,并下降至最小值后开始稍增大。详细地讲,从  $B/A = 1$  至  $B/A = 1.4$  为转子不平衡力下降的范围,在越接近  $B/A = 1.4$  时转子平衡力的下降幅度逐渐变小,在  $B/A = 1.4$  时转子平衡力变为最小值、约为 [0.3]。从  $B/A = 1.4$  至  $B/A = 1.6$  为转子不平衡力稍增大的范围,在  $B/A = 1.6$  时增大至约为 [0.4]。也就是说,如果按照  $1 < B/A$  来设定的话,至少至测定的  $B/A = 1.6$  为止,可以期待转子不平衡力的下降,特别是在  $1.25 < B/A < 1.6$  的范围内,转子不平衡力的下降效果最大,约为  $B/A = 1$  时的转子不平衡力的 40% 以下。

[0172] 在图 29 中,显示了在改变 B/A 时的转矩脉动比,与上述一样,在将  $B/A = 1$  时的转矩脉动设为 [1] 时,随着所述 B/A 的值开始变大,转矩脉动以暂时下降且下降至最小值后再次增大的形式变化。详细地讲,从  $B/A = 1$  至  $B/A = 1.2$  为转矩脉动下降的范围,在越接近  $B/A = 1.2$  时转矩脉动的下降幅度逐渐变小,在  $B/A = 1.2$  时转矩脉动变为最小值、约为 [0.47]。从  $B/A = 1.2$  至  $B/A = 1.6$  为转矩脉动增大的范围,从  $B/A = 1.2$  开始转矩脉动的增大程度也逐渐地变大,在  $B/A = 1.55$  时的转矩脉动与  $B/A = 1$  相同。转矩脉动在  $B/A = 1.55$  之后继续增大。也就是说,如果按照  $1 < B/A < 1.55$  来设定的话,可以期待转矩脉动的下降,特别是在  $1.15 < B/A < 1.25$  的范围内,转矩脉动的下降效果最大,约为  $B/A = 1$  时的转矩脉动的一半以下。

[0173] 基于上述内容,在本实施方式的转子 503 中,空隙距离 B、A 的比 B/A 设定在  $1 < B/A < 1.55$  的范围内的任一个值。由此,可以降低引起转子 503 旋转时的振动的径向脉动(图 27)、转子不平衡力(图 28)、以及转矩脉动(图 29),特别是对于着重降低转子不平衡力的转子将 B/A 设定在 [1.4] 附近,并且对于着重降低转矩脉动的转子将 B/A 设定在 [1.2] 附近这种实施方式可以降低引起转子 503 旋转时的振动的各个要因,从而可以提高转子 503 的旋转性能。

[0174] 本实施方式具有以下优点。

[0175] (17) 在本实施方式中,在定子 502 和转子 503 之间的空隙 S2 中,对应于凸极 524 的空隙距离 B 和对应于磁体 523 的空隙距离 A 的比 B/A 被设定  $1 < B/A$  的范围内的任一个值。由此,可以分别降低成为转子 3 旋转时的振动的要因的径向脉动、转子不平衡力以及转矩脉动(参照图 27 ~ 图 29),从而可以提高转子 503 的旋转性能。即,可以提供提高了旋转性能的电动机 501。

[0176] 另外,通过将空隙距离 A、B 的比 B/A 设定在  $1.25 < B/A < 1.6$  的范围内的任一个值,除了可以降低径向脉动,还能够有效地降低转子不平衡力。

[0177] 另外,通过将空隙距离 A、B 的比 B/A 设定在  $1 < B/A < 1.55$  的范围内的任一个值,除了可以降低径向脉动,还可以有效地降低转矩脉动。在这种情况下,进一步通过将空隙距离 A、B 的比 B/A 设定在  $1.15 < B/A < 1.25$  的范围内的任一个值,能够进一步有效地

降低转矩脉动。

[0178] 另外,通过将空隙距离 A、B 的比  $B/A$  设定在  $1.2 < B/A < 1.4$  的范围内的任一值,除了可以降低径向脉动,还可以有效地降低转子不平衡力以及转矩脉动。

[0179] (18) 上述实施方式中,磁极 523 以及凸极 524 的个数为奇数、且各个磁体 523 被配置在与凸极 524 中的一个成  $180^\circ$  相反的位置上。即,在各个磁体 523 被配置在与凸极 524 中的一个成  $180^\circ$  相反的位置上的构成中,由于产生磁性不平衡而容易使转子 503 旋转时的振动增加,所以如上所述,通过使空隙距离的比  $B/A$  适当化会有利于减少转子 3 旋转时的振动。

[0180] 另外上述第 5 实施方式也可以更改为以下的形式。

[0181] 关于上述第 5 实施方式,也可以对凸极 524 以及磁体 523 的两个外侧面 524a、523a 的形状做适当更改。虽然将磁体 523 的外侧面 523a 设为相同圆周的弯曲形状、且将凸极 524 的外侧面 524a 设为比所述外侧面 523a 的曲率更大的弯曲形状,也可按相反的形式来设定。另外,两个外侧面 524a、523a 也可以设为相同圆周的弯曲形状,或者,另个外侧面 524a、523a 也可以每个都设为曲率较大的弯曲形状。另外,不仅可以按固定曲率设定外侧面 524a、523a 的弯曲形状,也可以设为在圆周方向上使曲率改变的形状或者设为线性变化的形状。

[0182] 除此之外,也可以对磁体 523 的形状和包括凸极 524 的转子芯 522 的形状进行适当更改。

[0183] 另外,第 1 ~ 第 5 实施方式也可以更改为以下的形式。

[0184] 对于上述各个实施方式的数值范围也可以根据情况等做适当更改。

[0185] 虽然在上述各个实施方式中,定子 2、202、502 的线圈以线圈段 13 的形式来构成,但不仅限于此,也可以为将连线卷绕在齿 12 上的构成。

[0186] 虽然上述各个实施方式适用于内转子型的电动机 1、100、400、500,也可以适用于外转子型的电动机的转子。

[0187] 关于上述各个实施方式,也可以对磁体 23、223、523 的形状或包括凸极 24、224、524 的转子芯 22、222、522 的形状做适当更改。

[0188] 虽然在上述各个实施方式中,以使磁体 23、223、523 起到 N 极的作用、且使凸极 24、224、524 起到 S 极的作用的形式来构成,也可以构成为使磁体 23、223、523 起到 S 极的作用、且使凸极 24、224、524 起到 N 极的作用的形式。

[0189] 关于上述各个实施方式,也可以适当更改磁极数。随着此更改,定子 2、202、502 的磁极数也可适当更改。

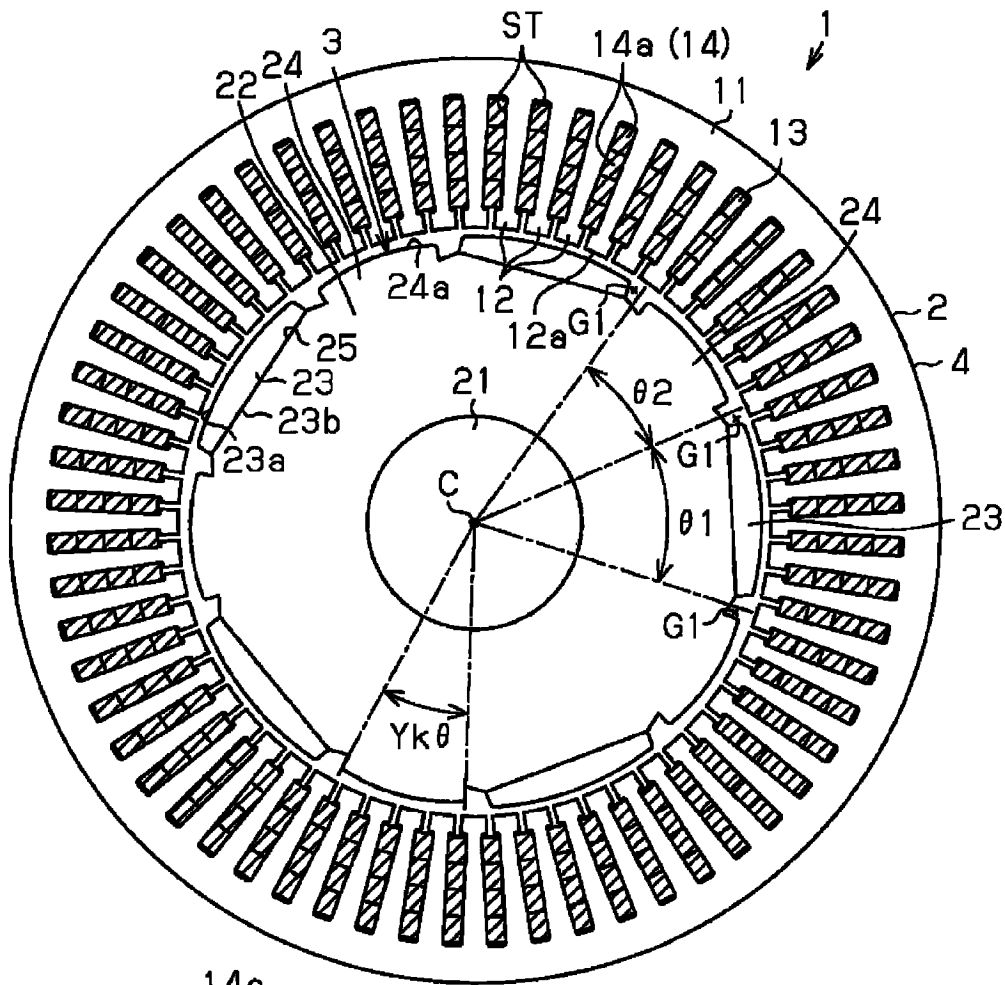


图 1A

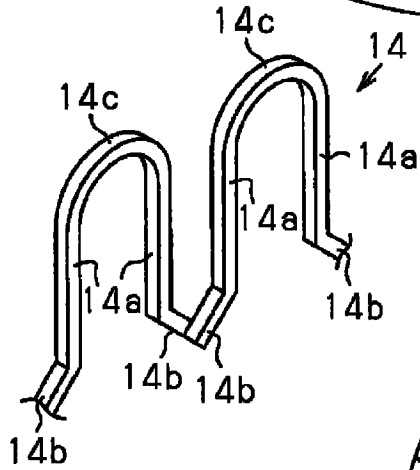


图 1C

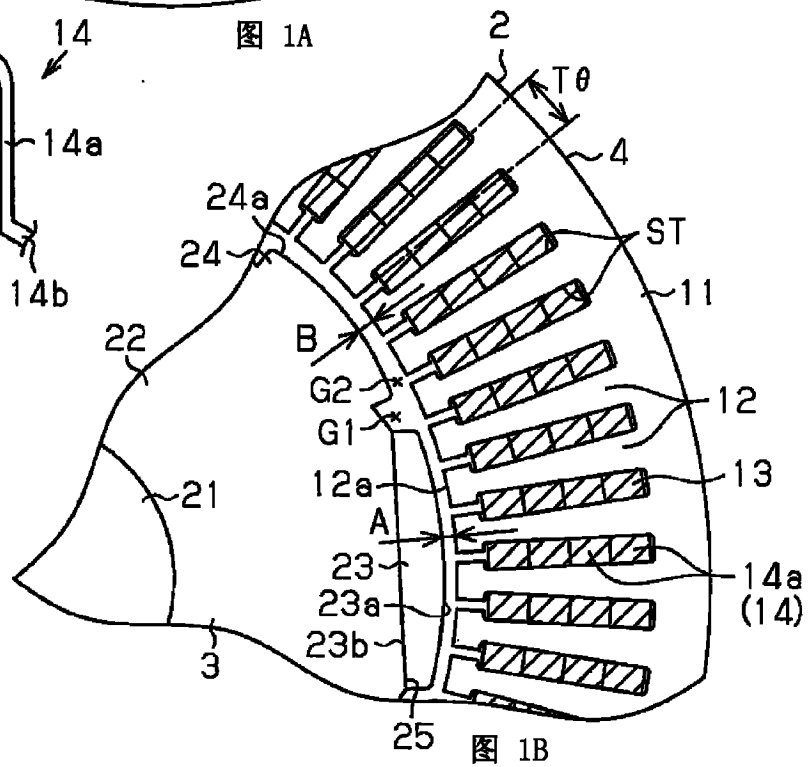


图 1B

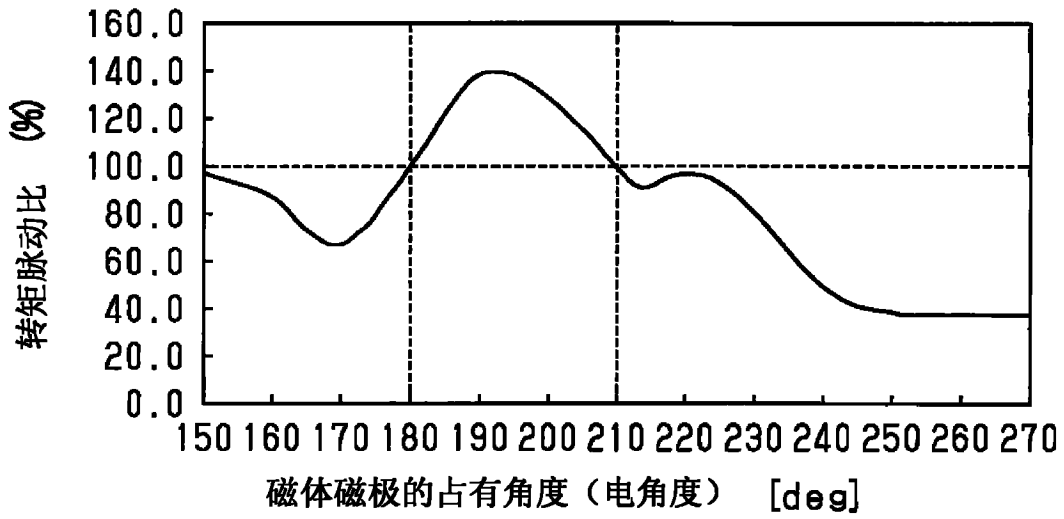


图 2A

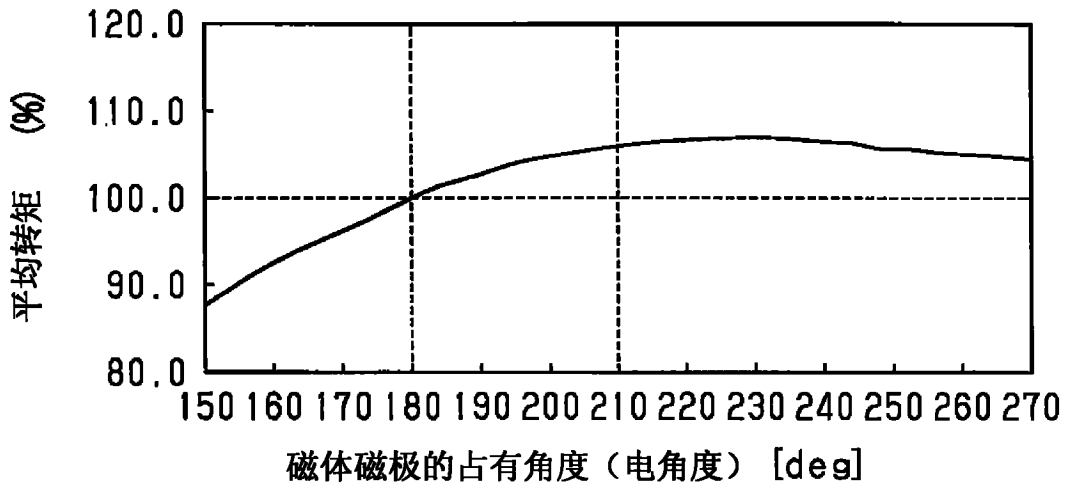


图 2B

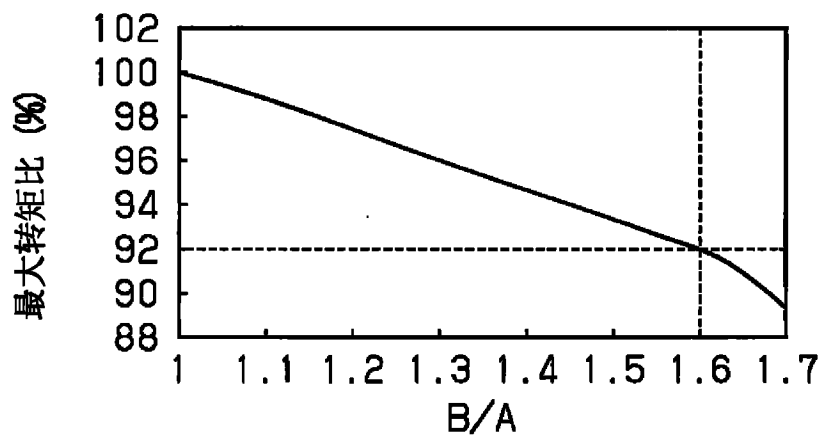


图 3A



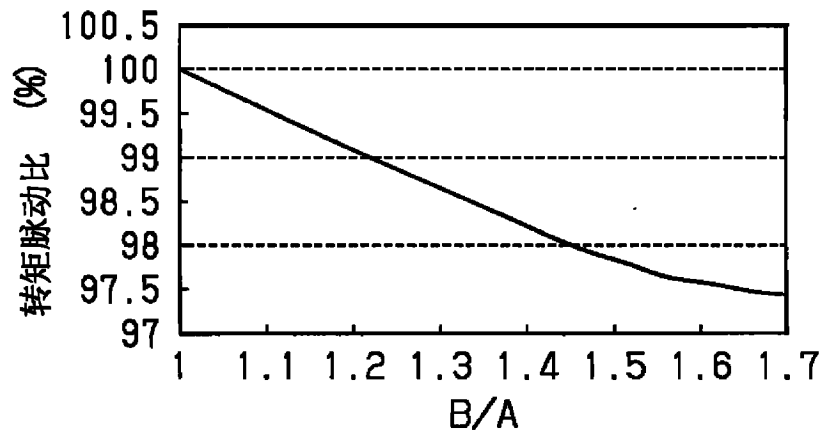


图 3B

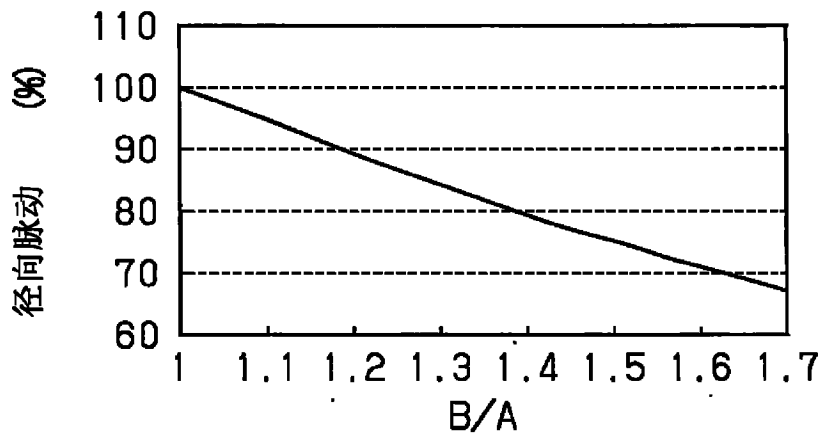


图 3C

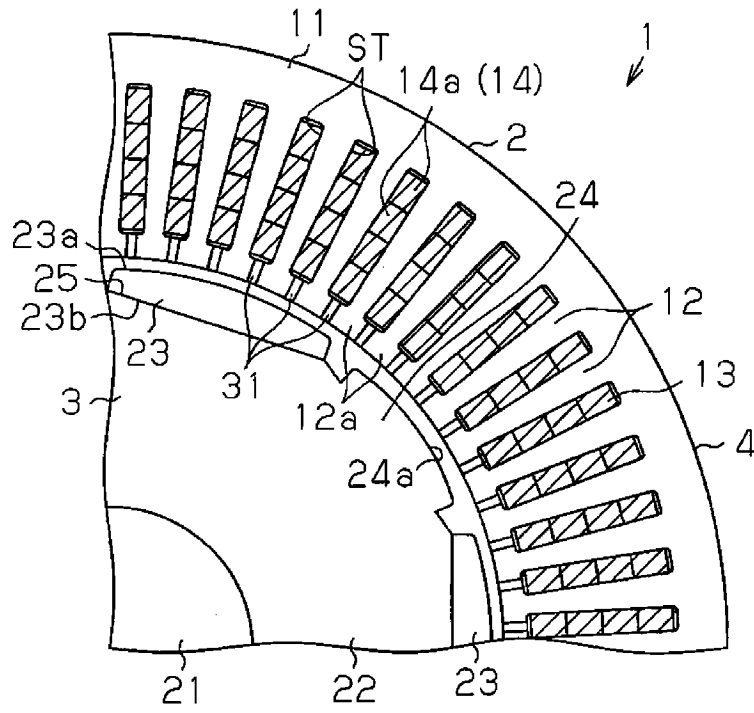


图 4

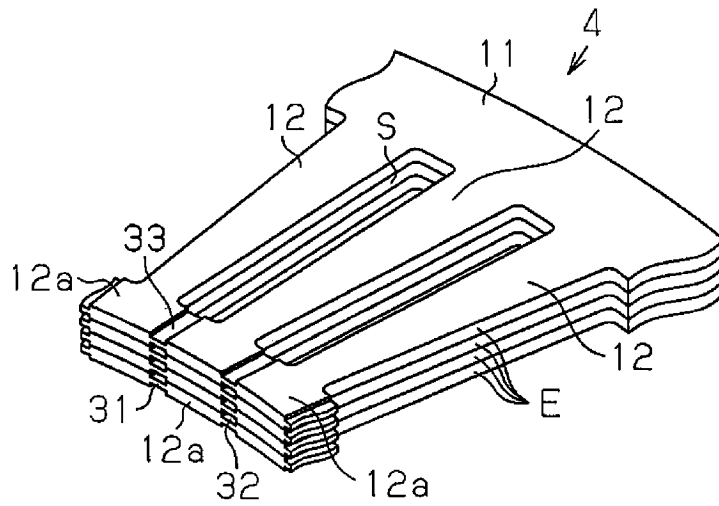


图 5A

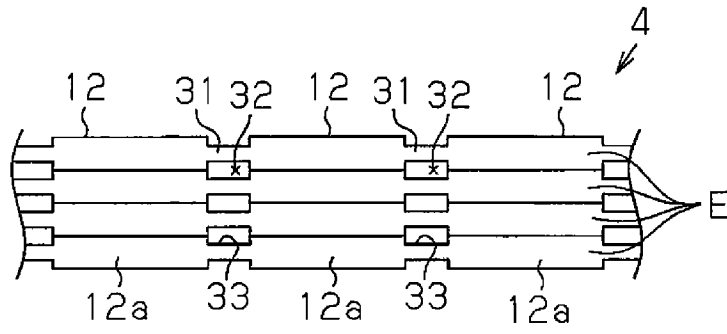


图 5B

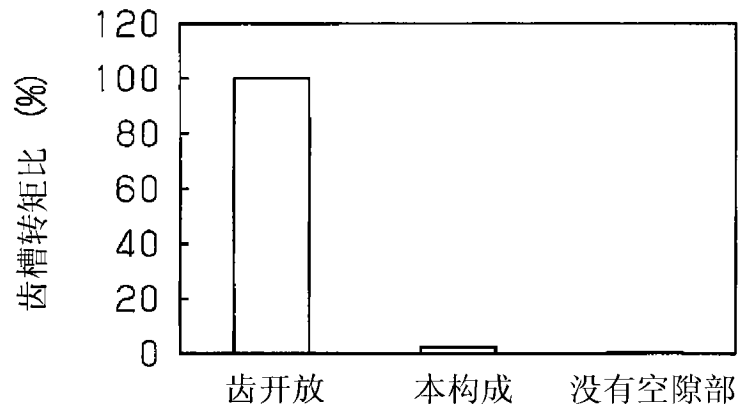


图 6A

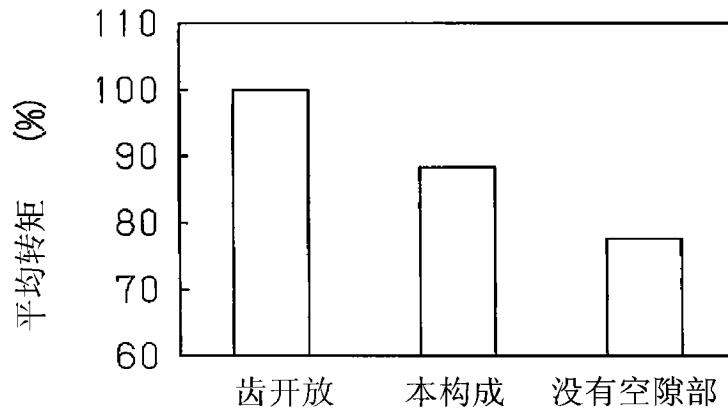


图 6B

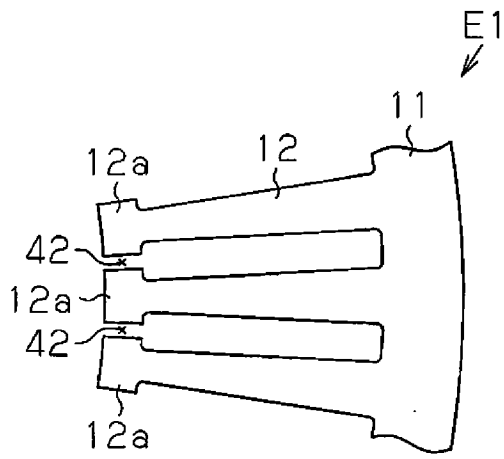


图 7A

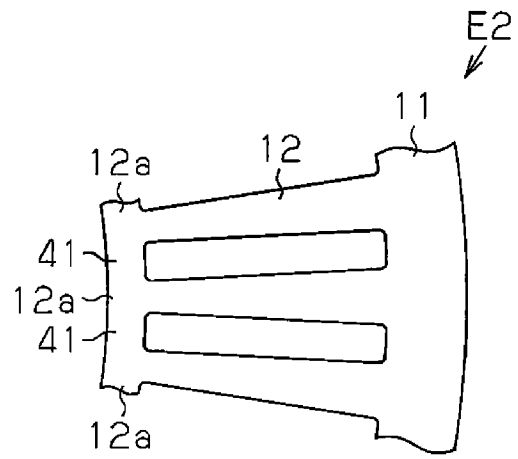


图 7B

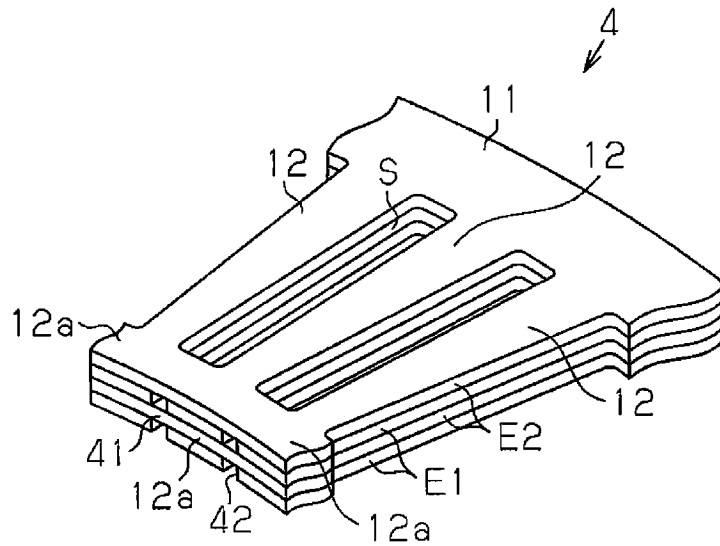


图 7C

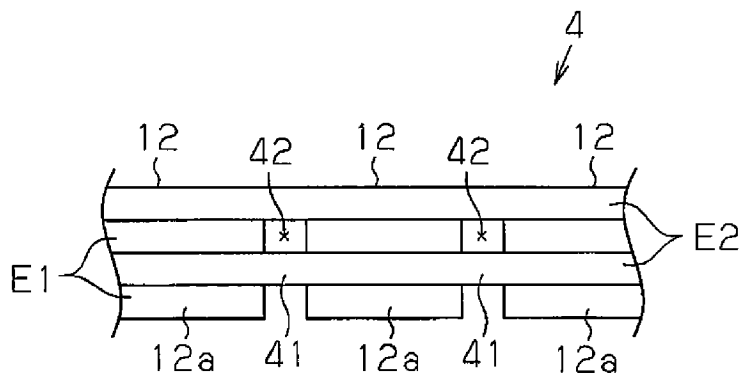


图 7D

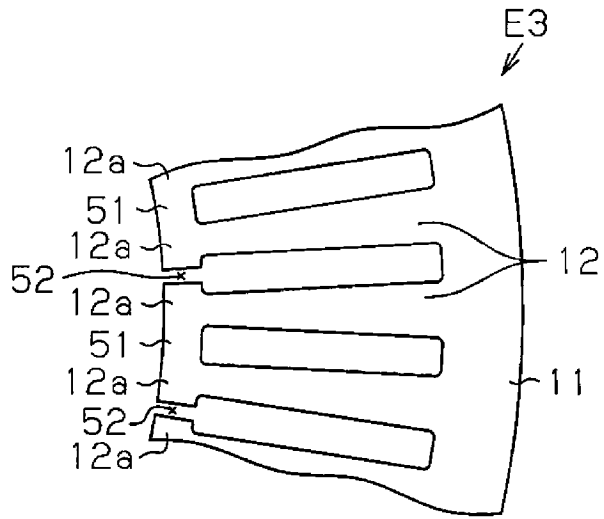


图 8A

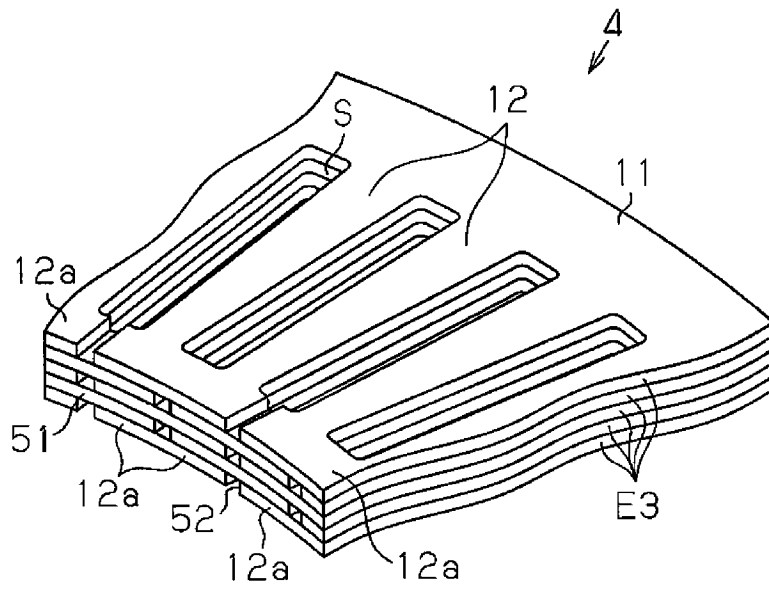


图 8B

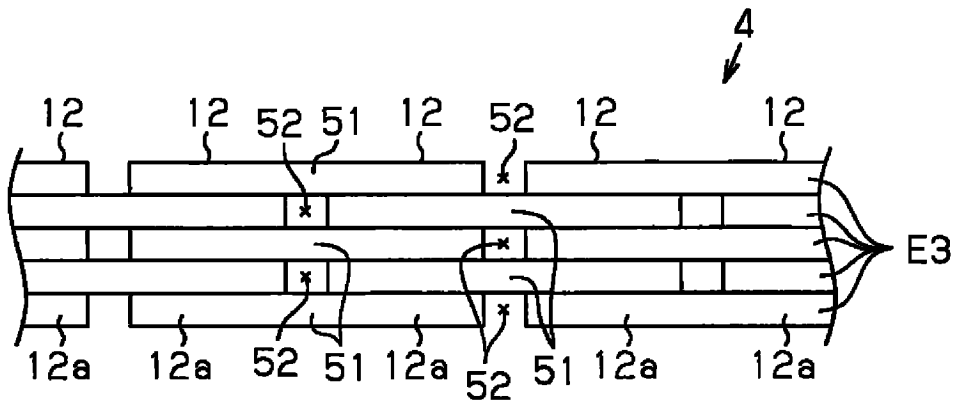


图 8C

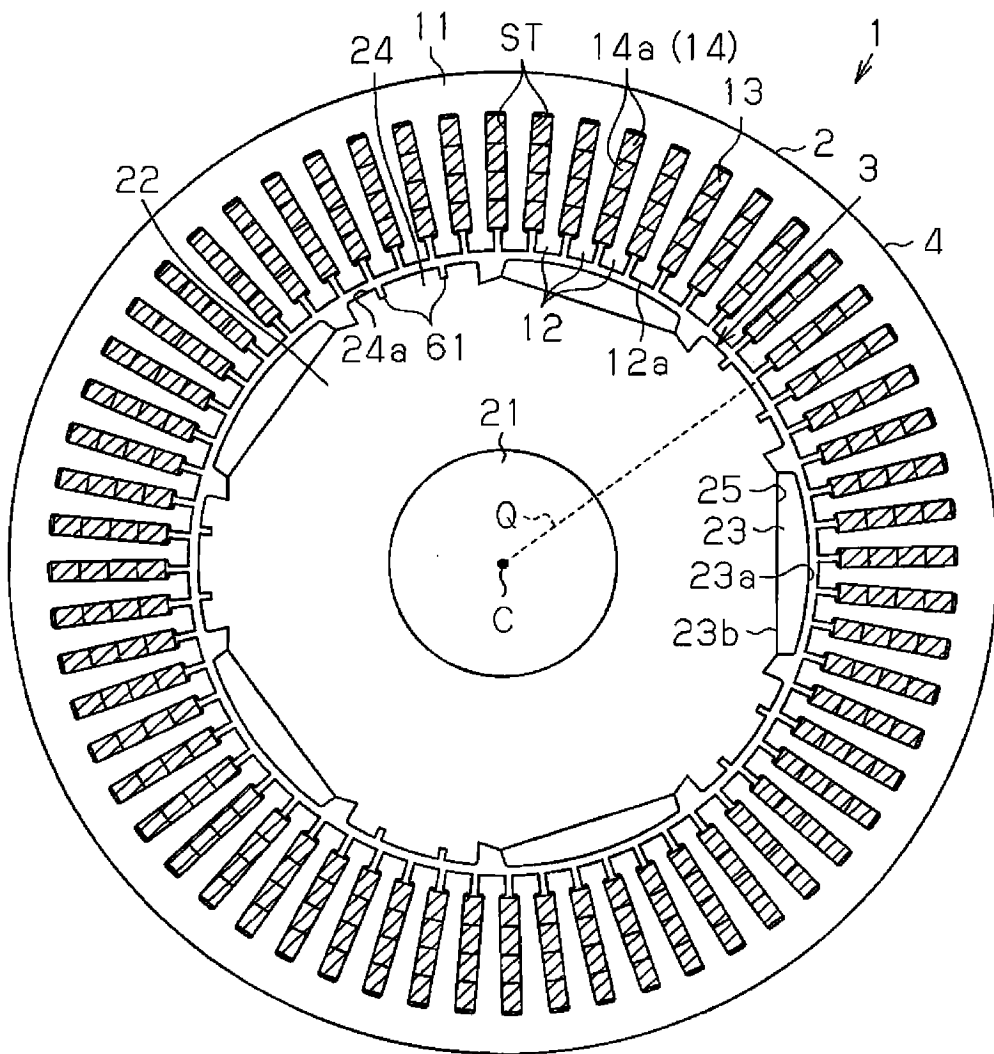


图 9A

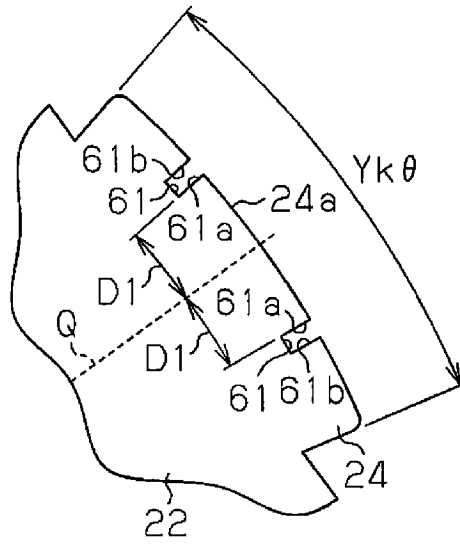


图 9B

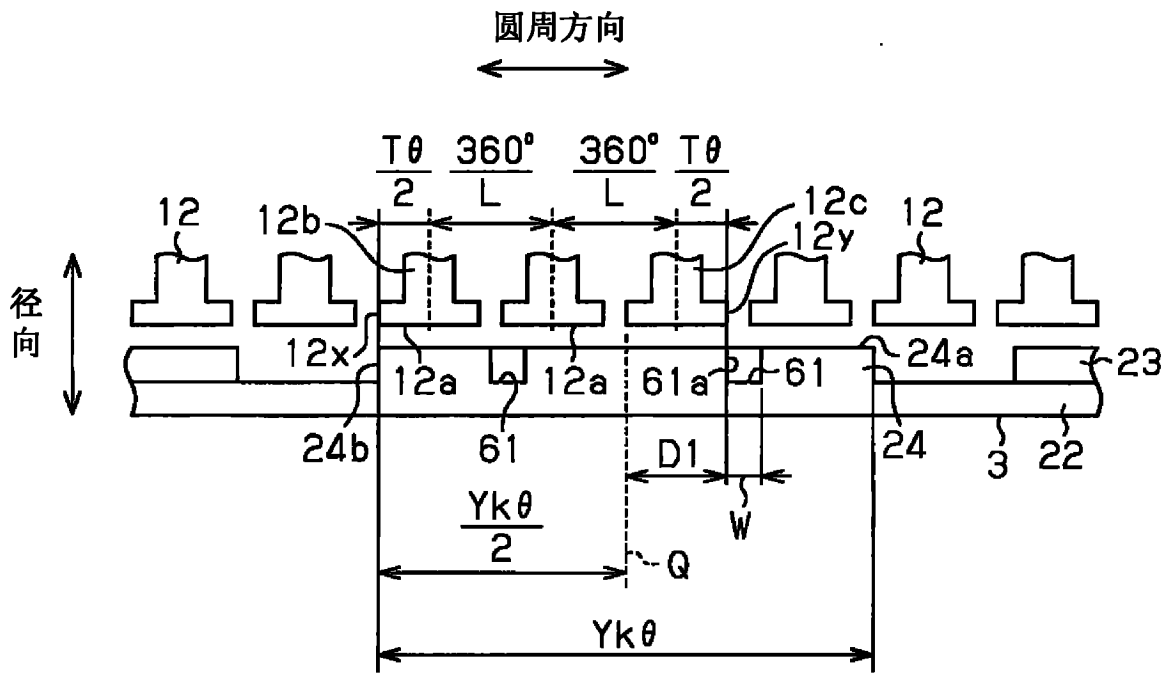


图 10

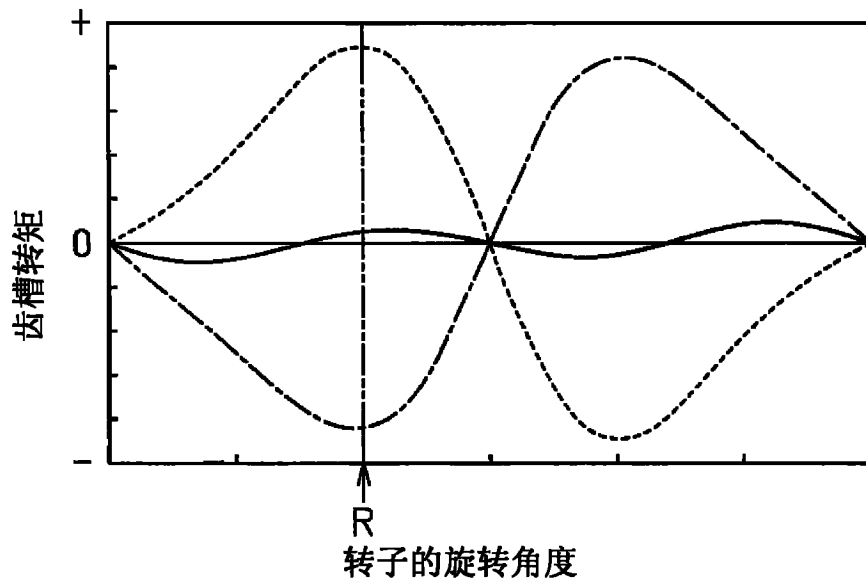


图 11

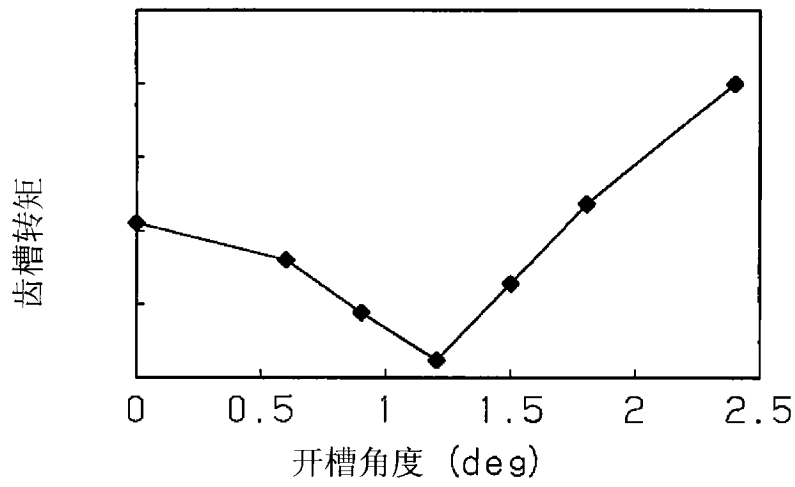


图 12



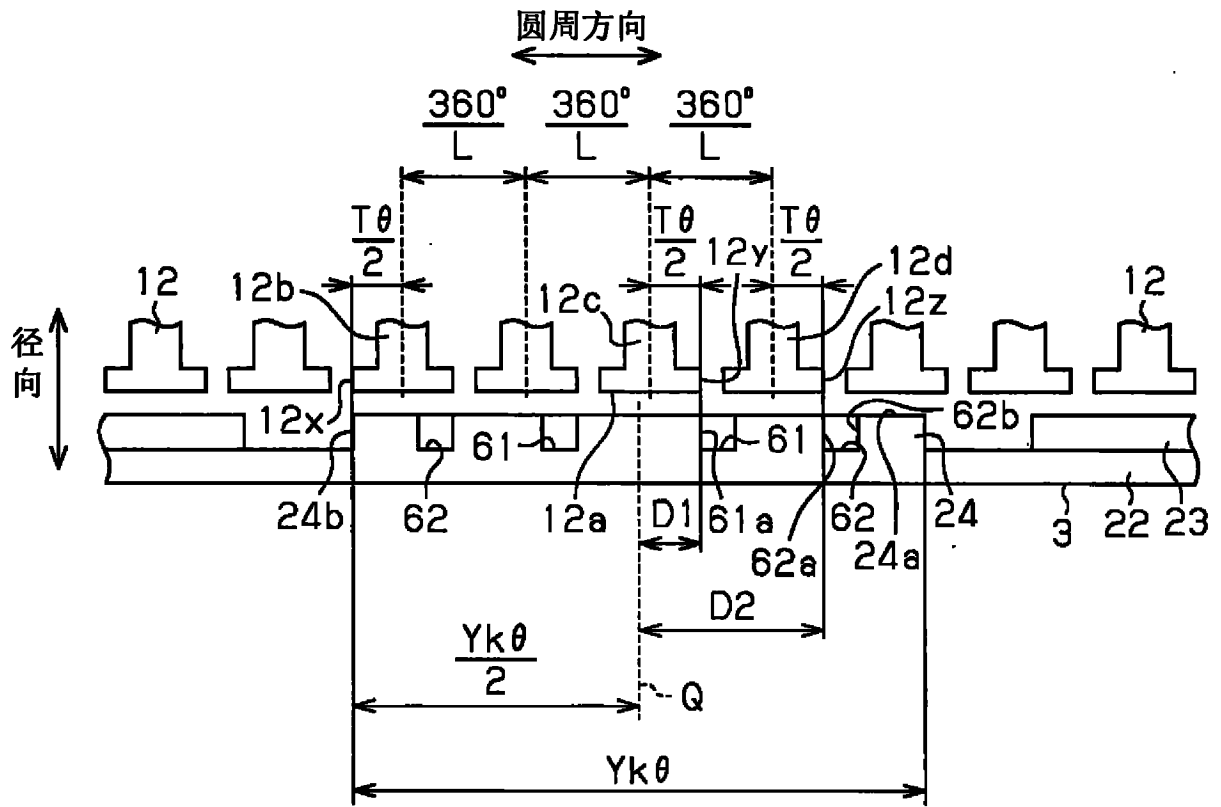


图 13

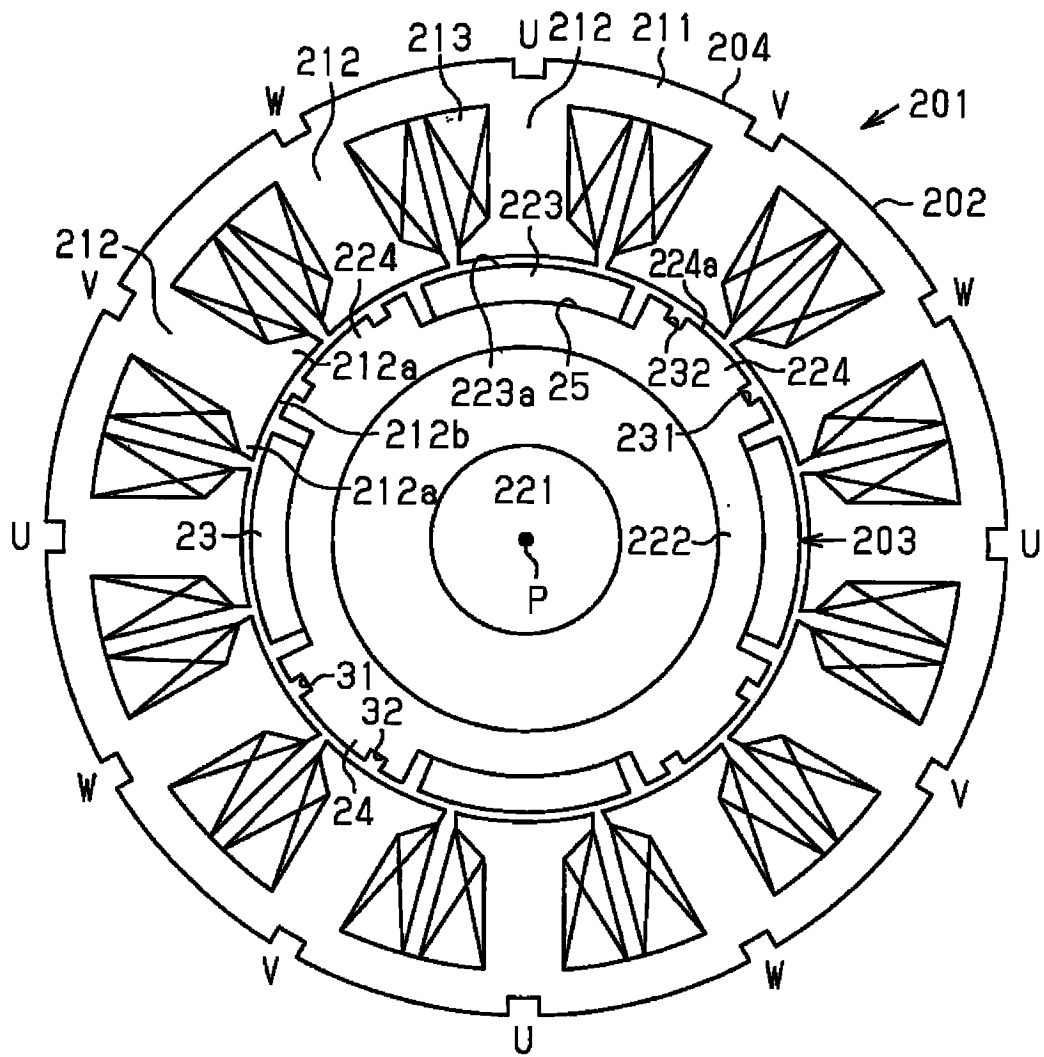


图 14A

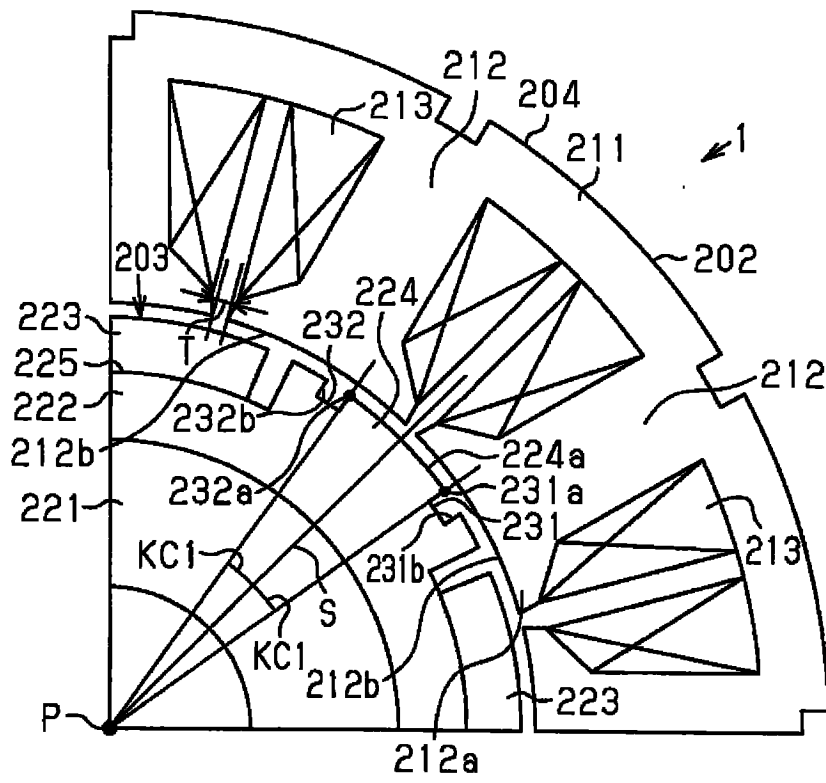


图 14B

旋转角度 :R1

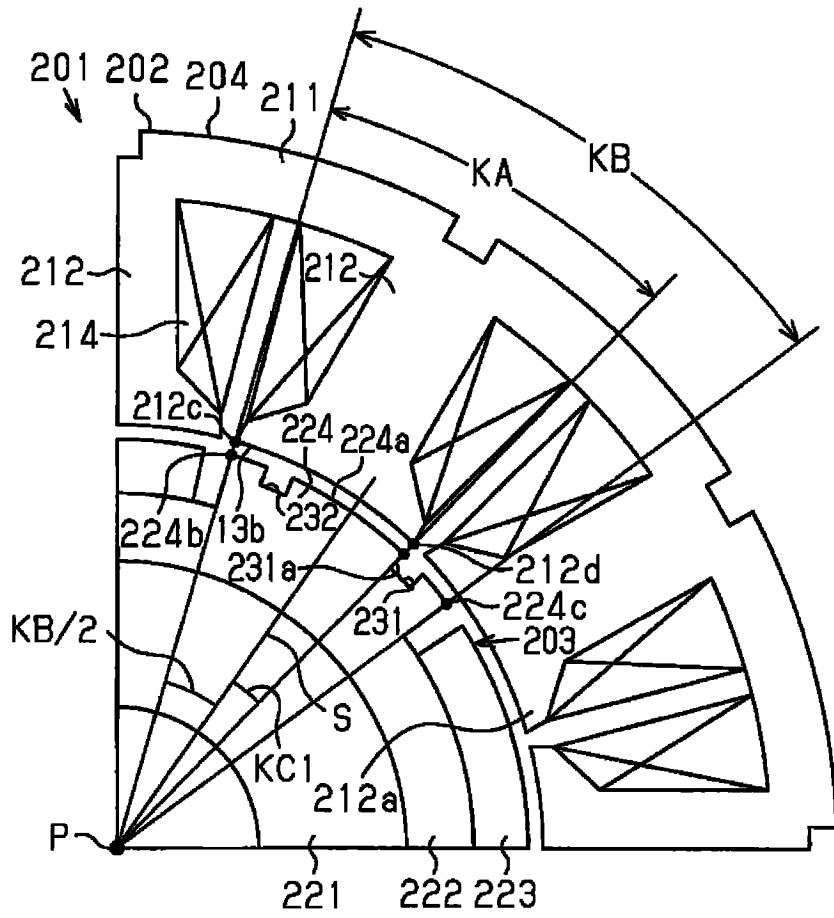


图 15A

旋转角度 :R2

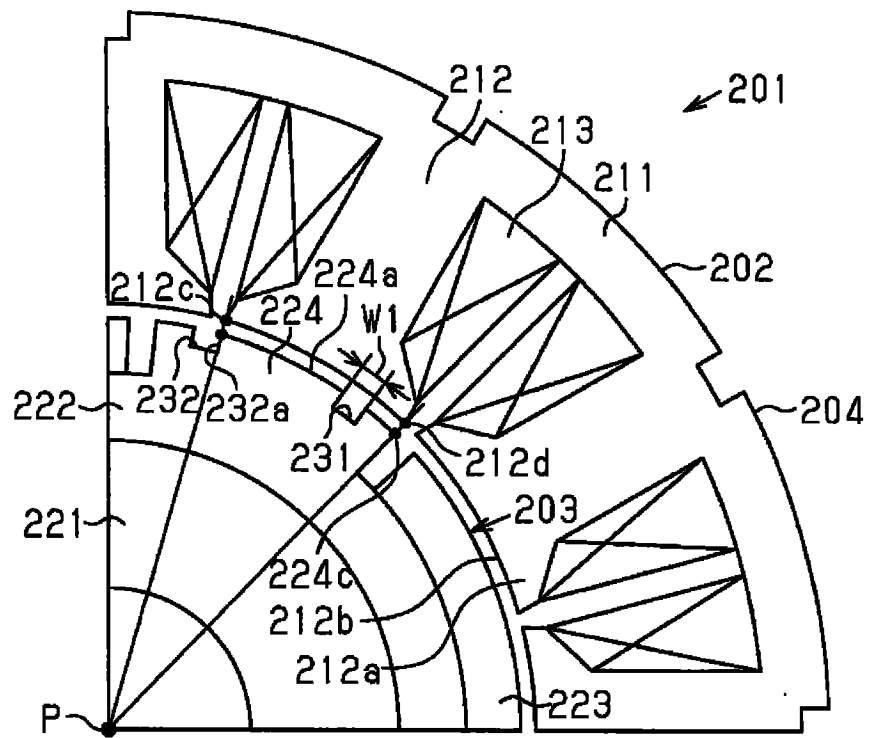


图 15B

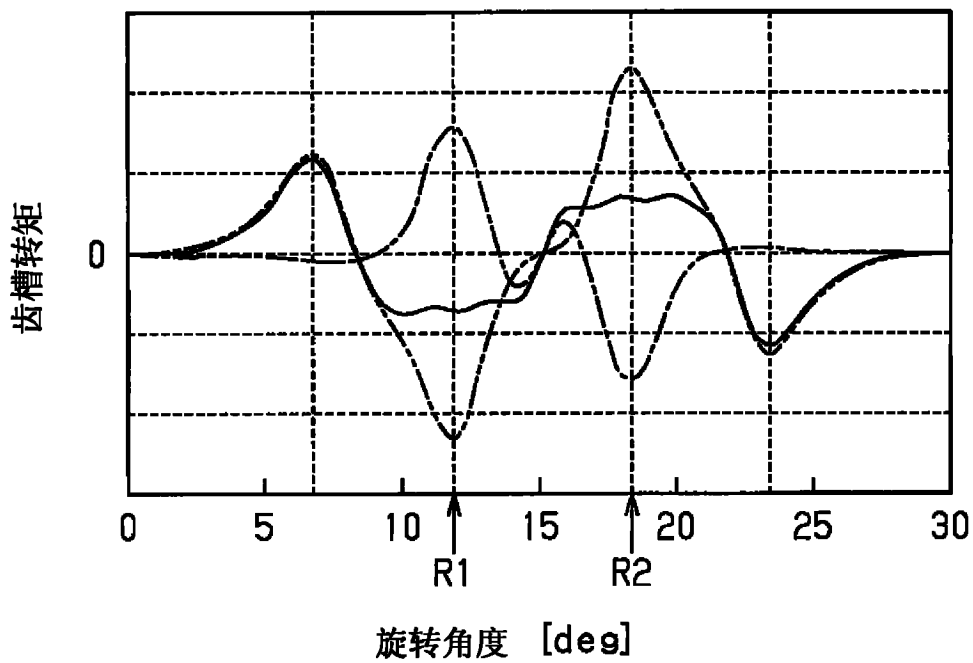


图 16

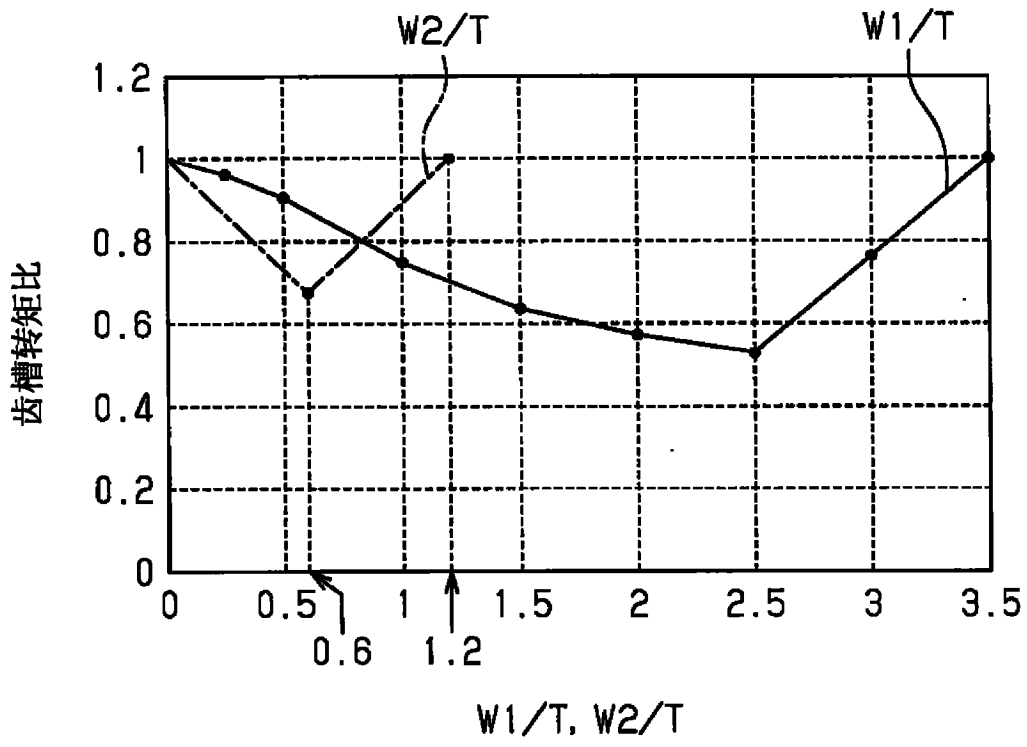


图 17

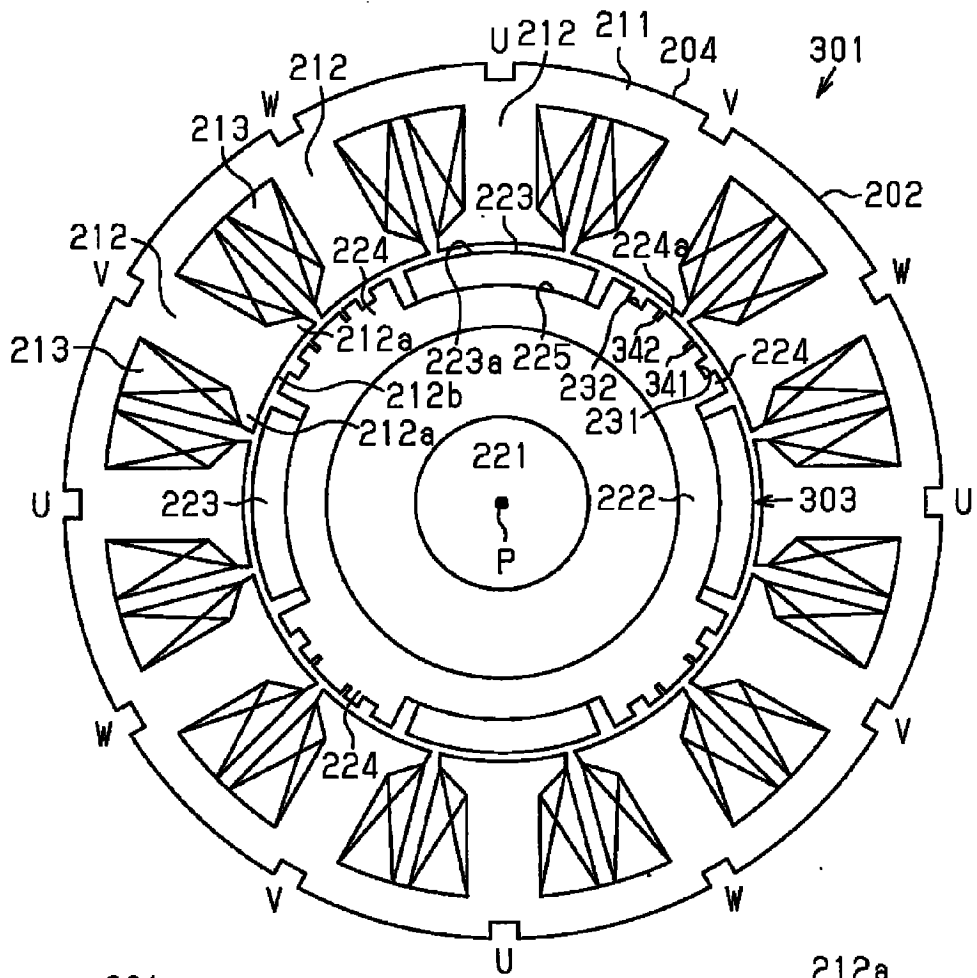


图 18A

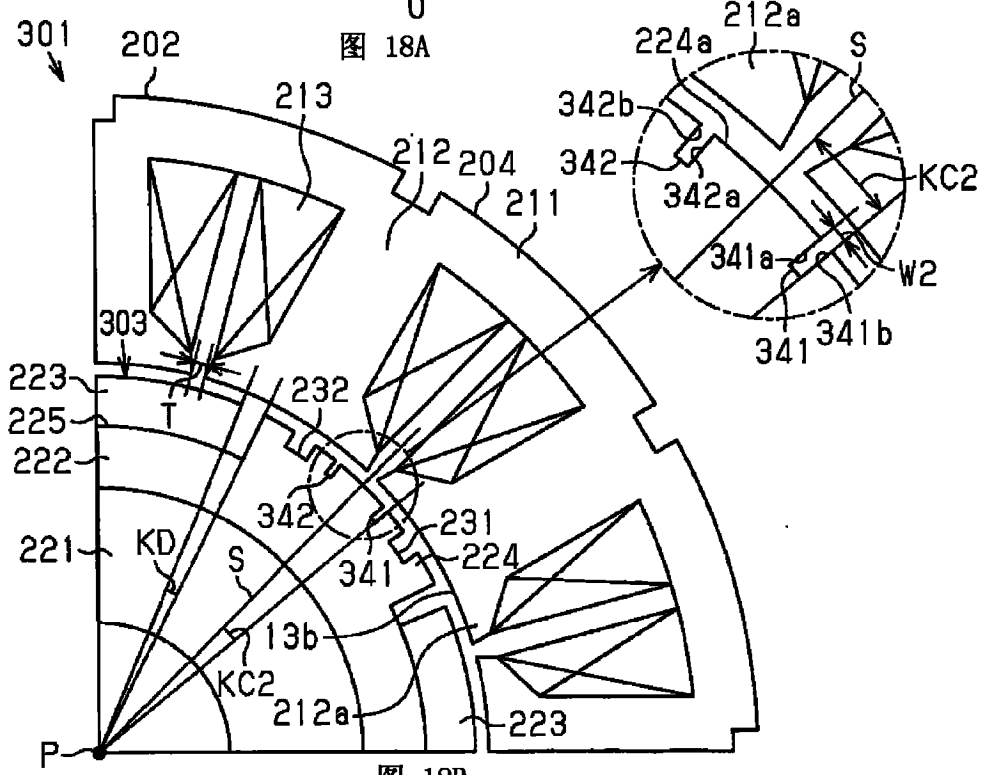


图 18B

旋转角度 :R3

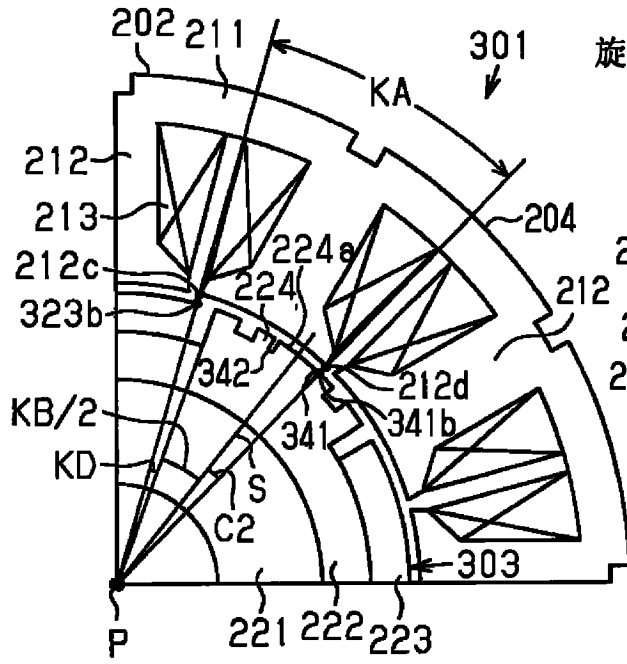


图 19A

旋转角度 :R1

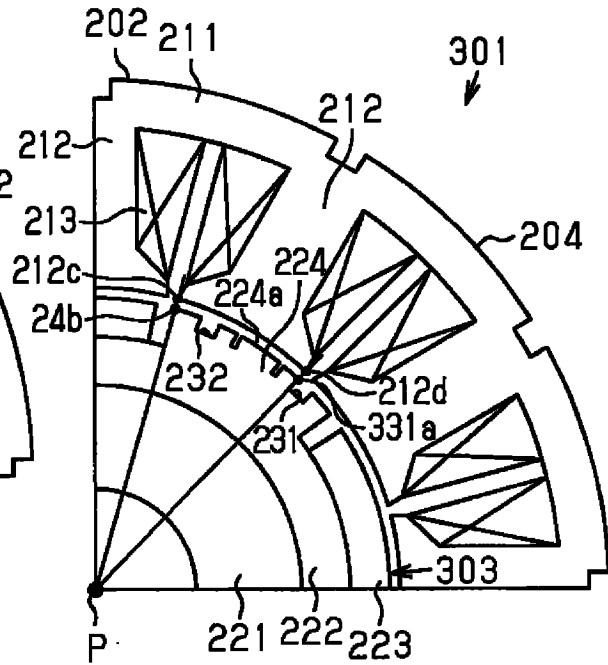


图 19B



旋转角度 : R2

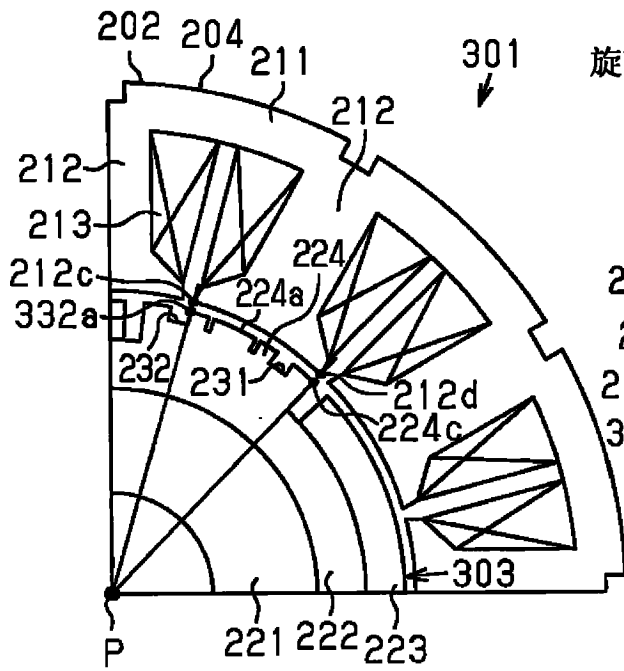


图 19C

旋转角度 : R4

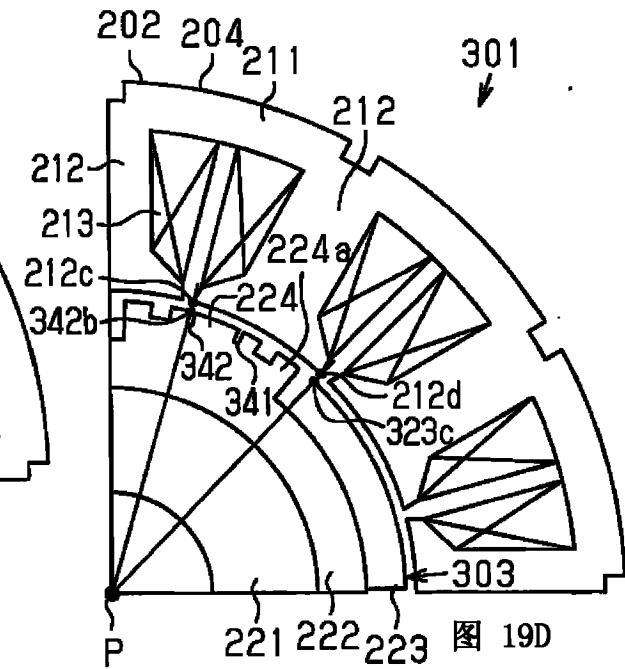


图 19D

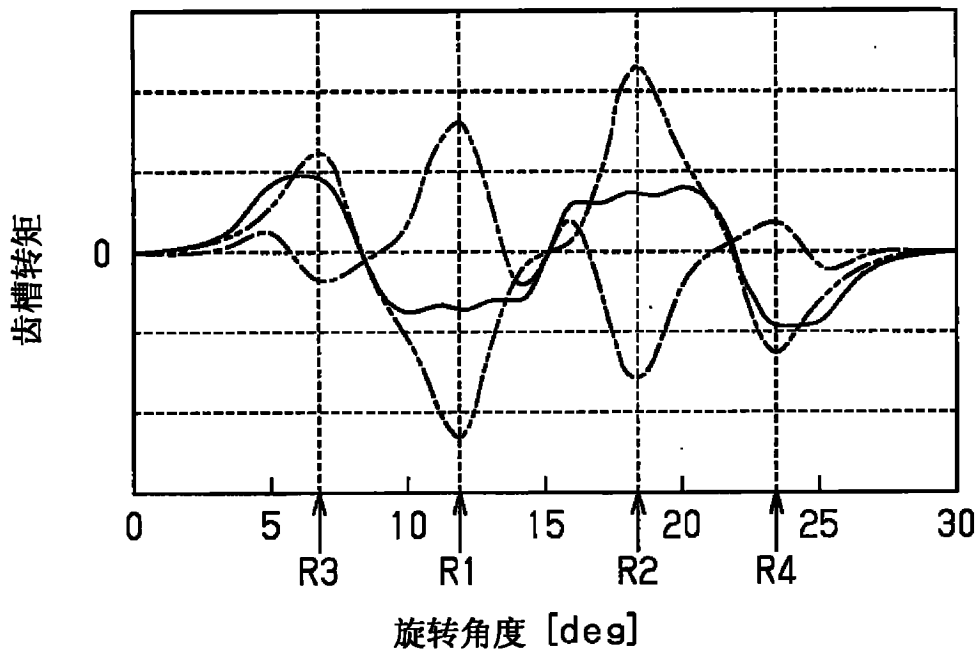


图 20

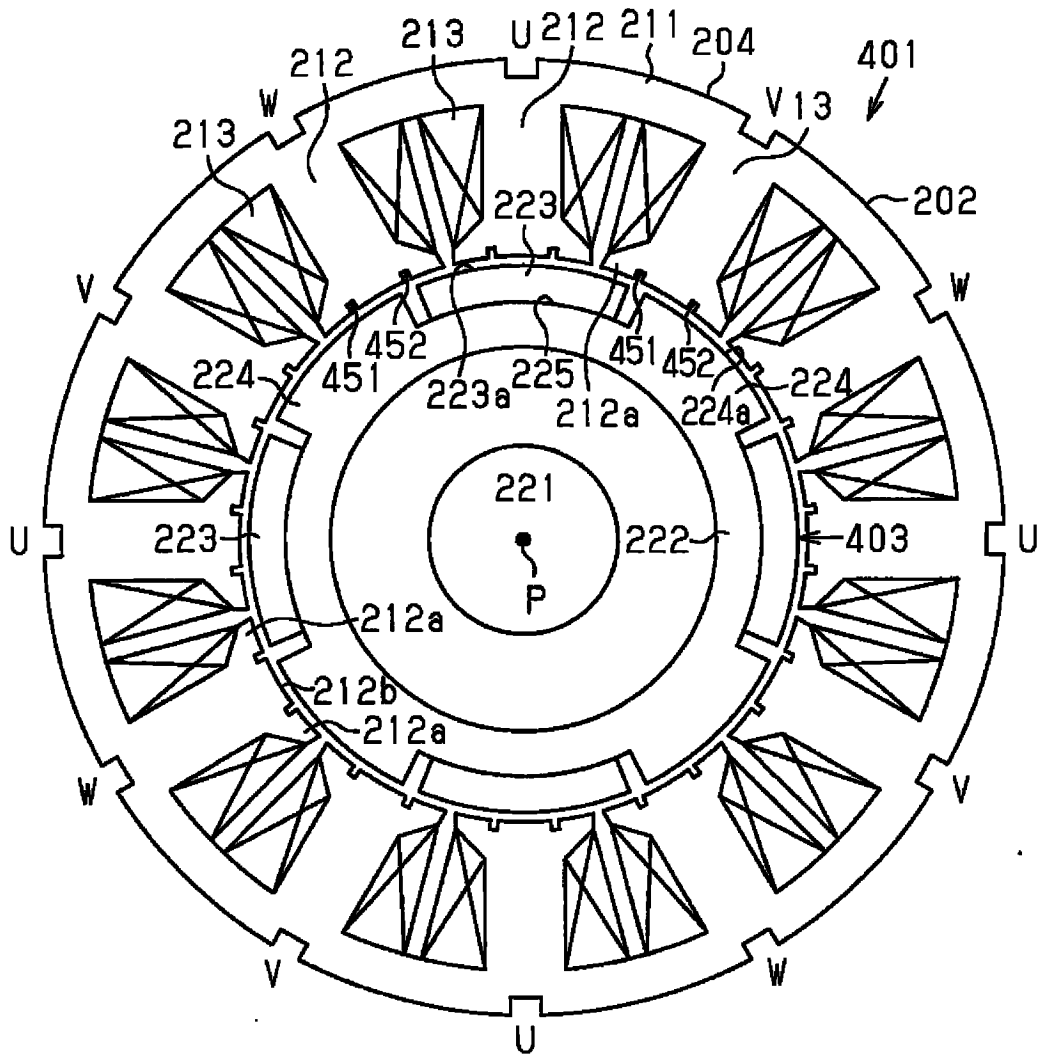


图 21A

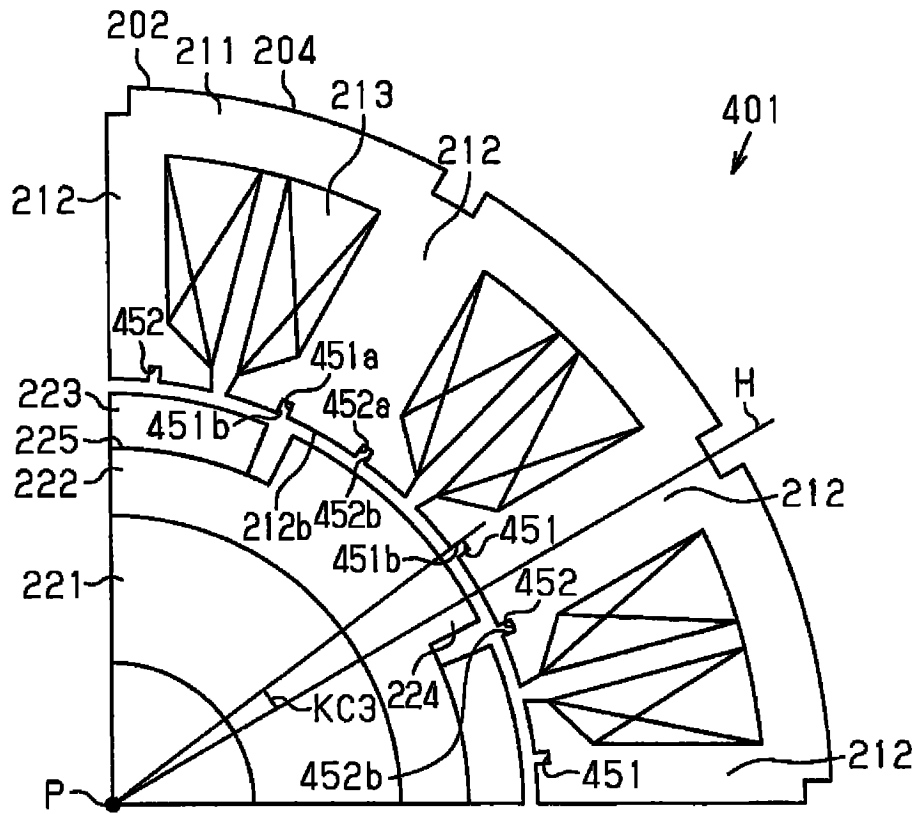


图 21B

旋转角度 : R5

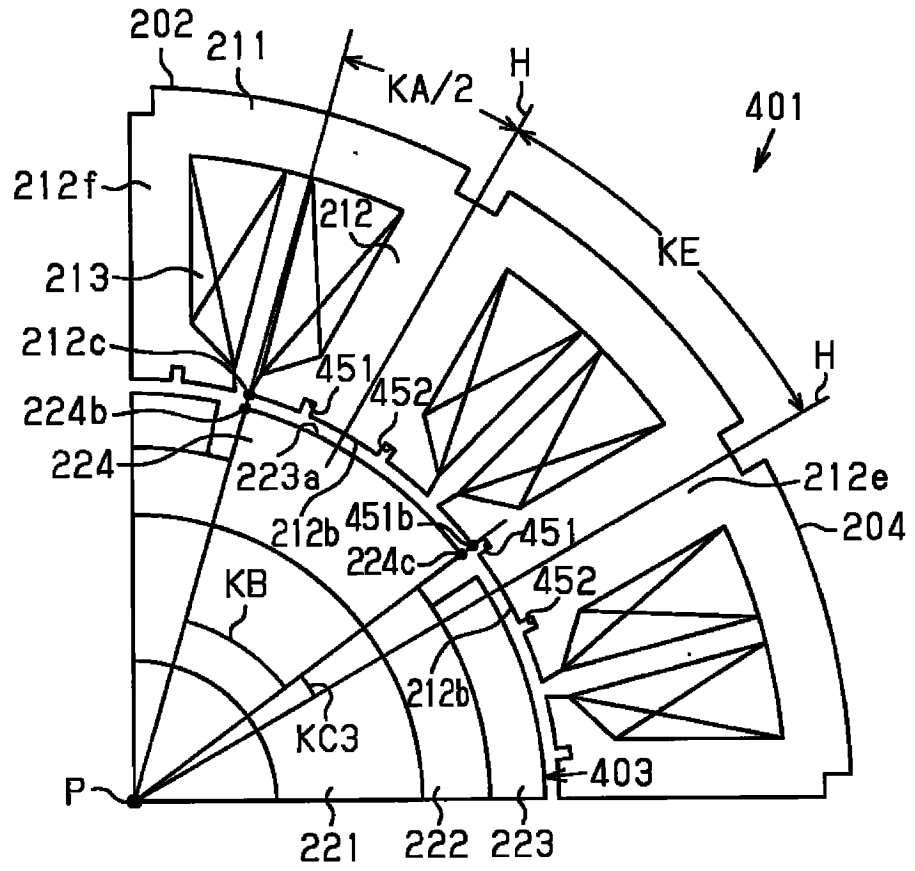


图 22A

旋转角度 :R6

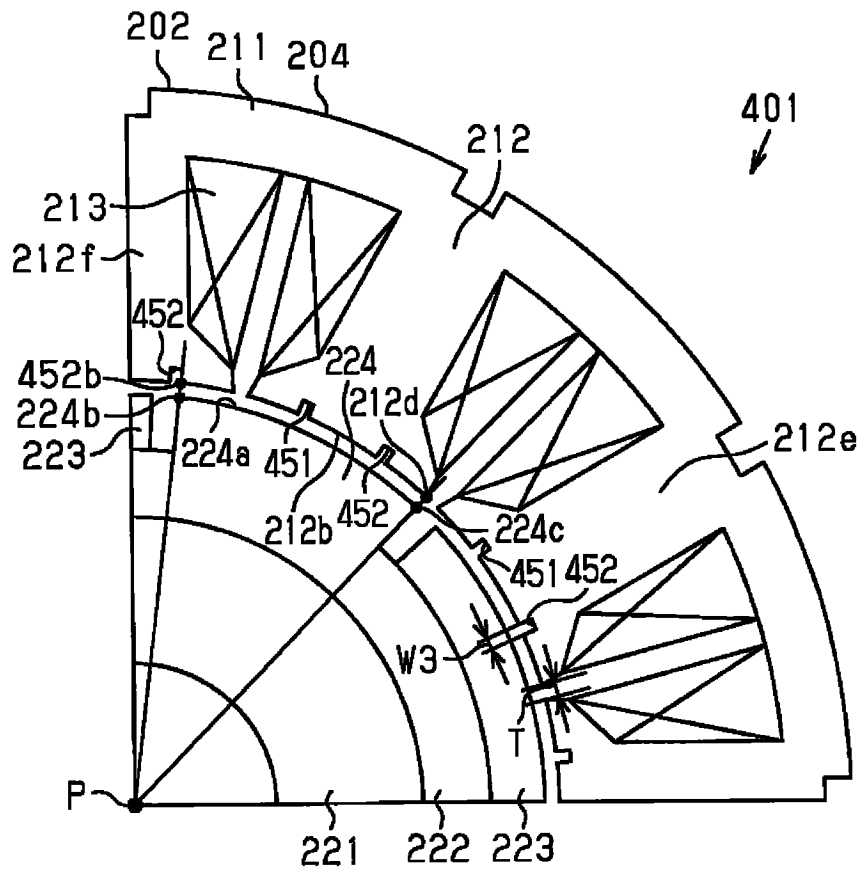


图 22B

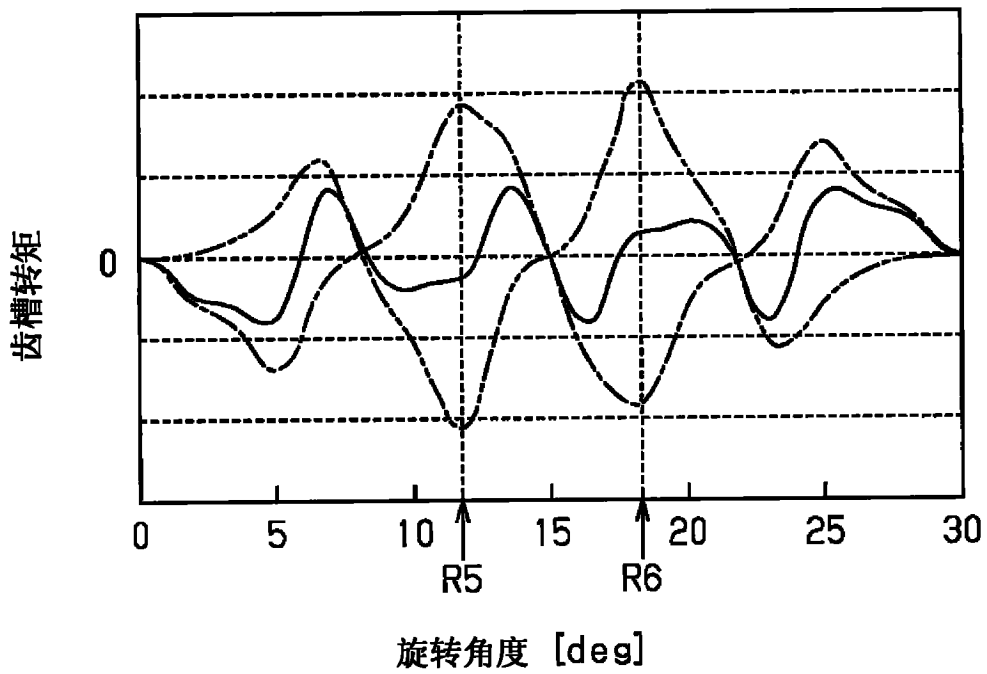


图 23

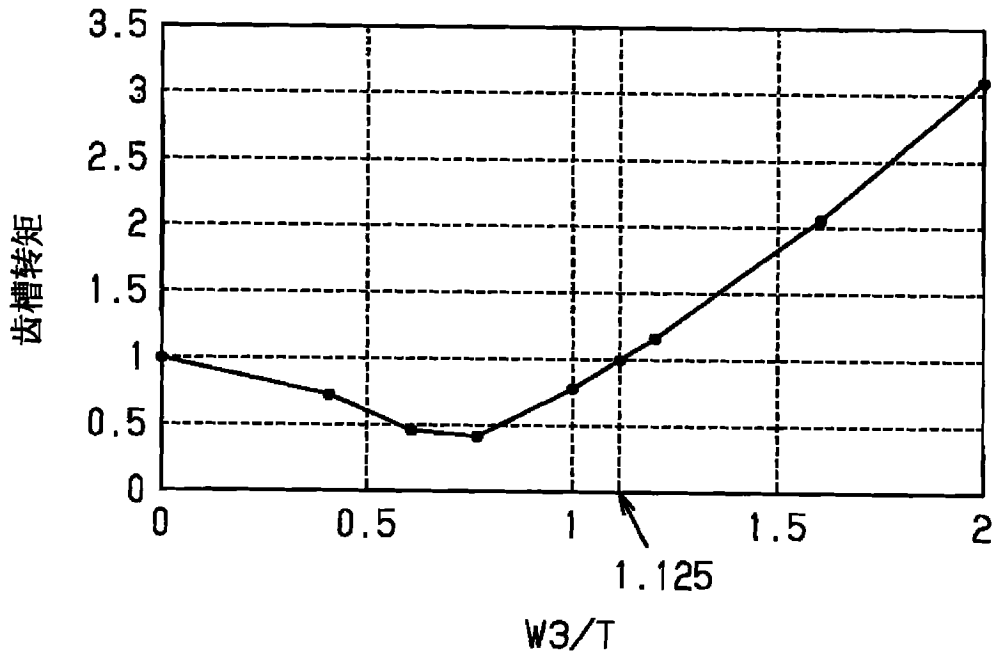


图 24

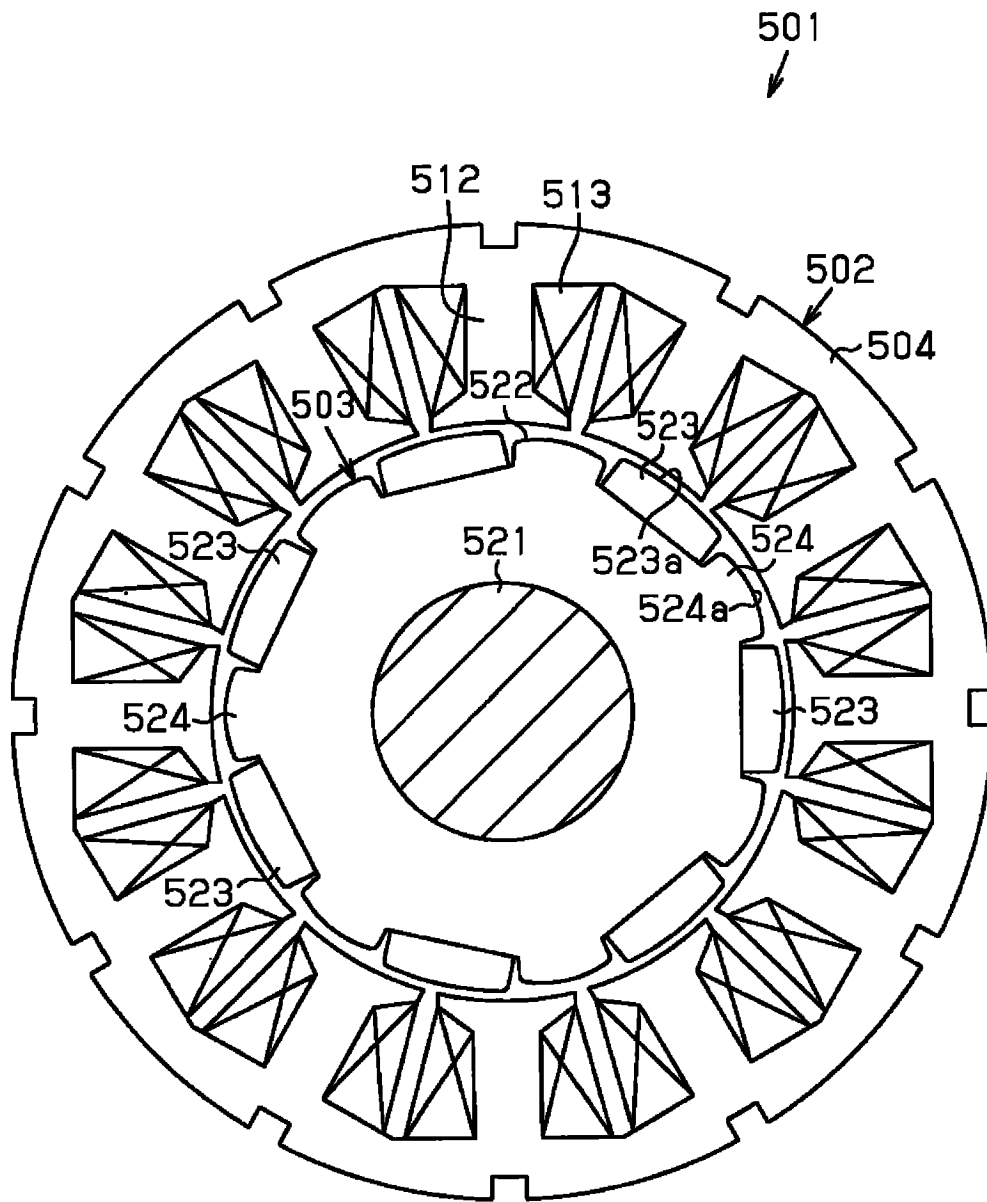


图 25

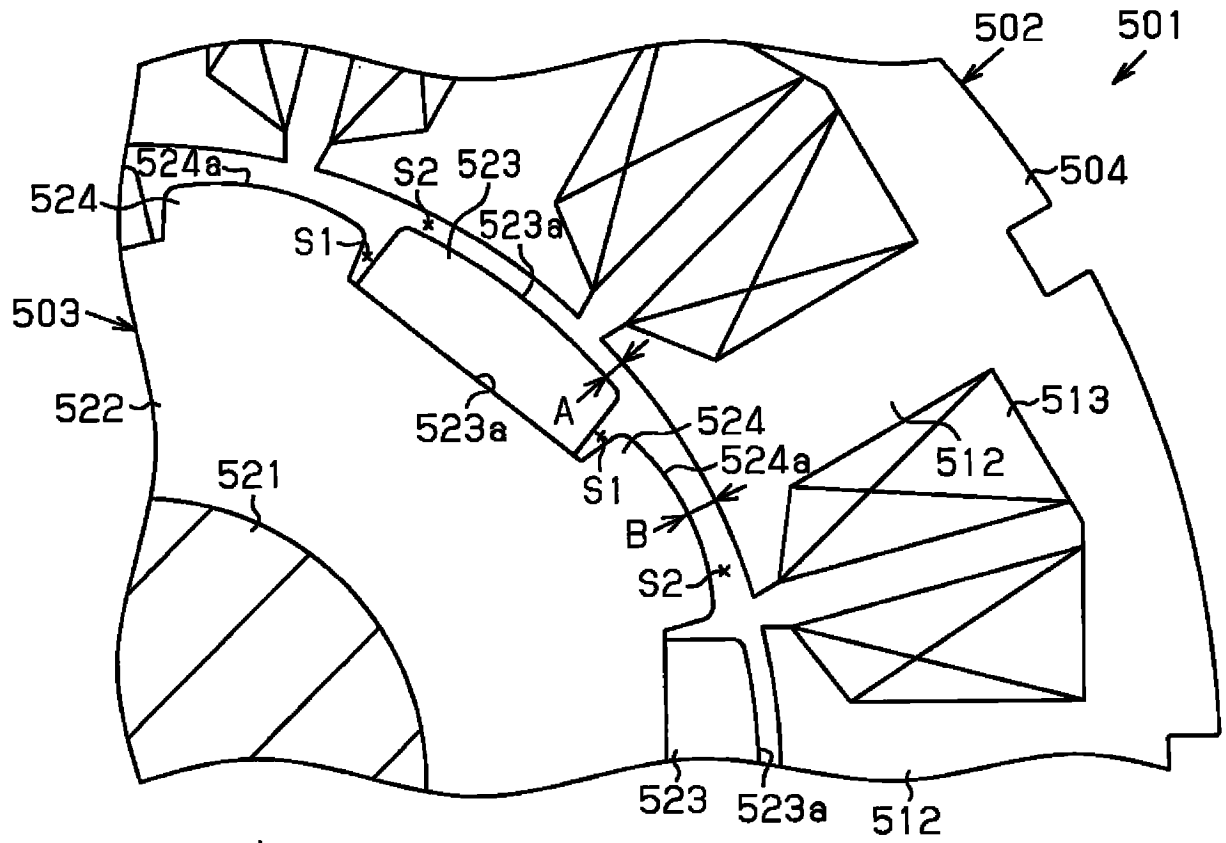


图 26

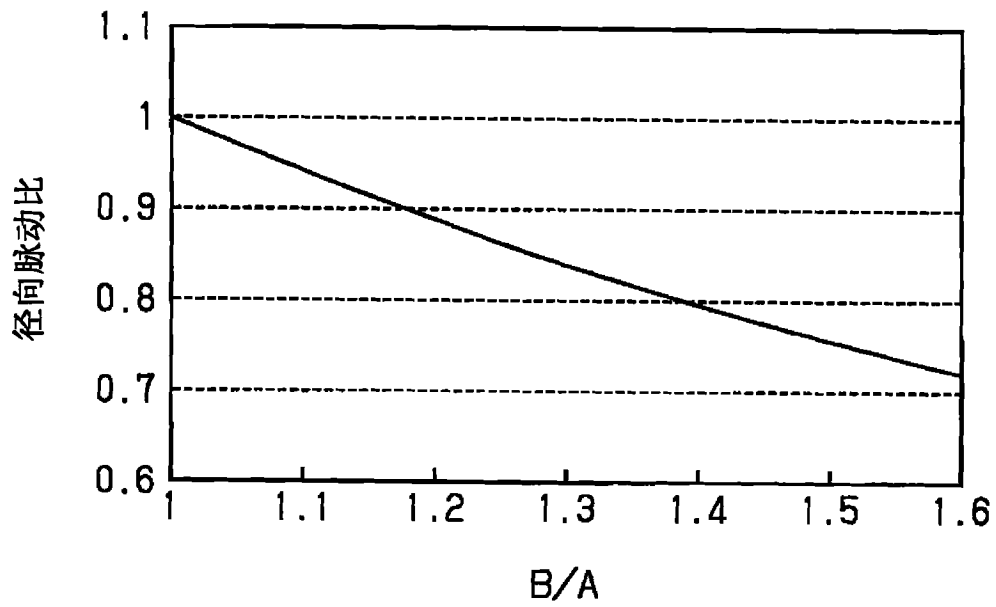


图 27



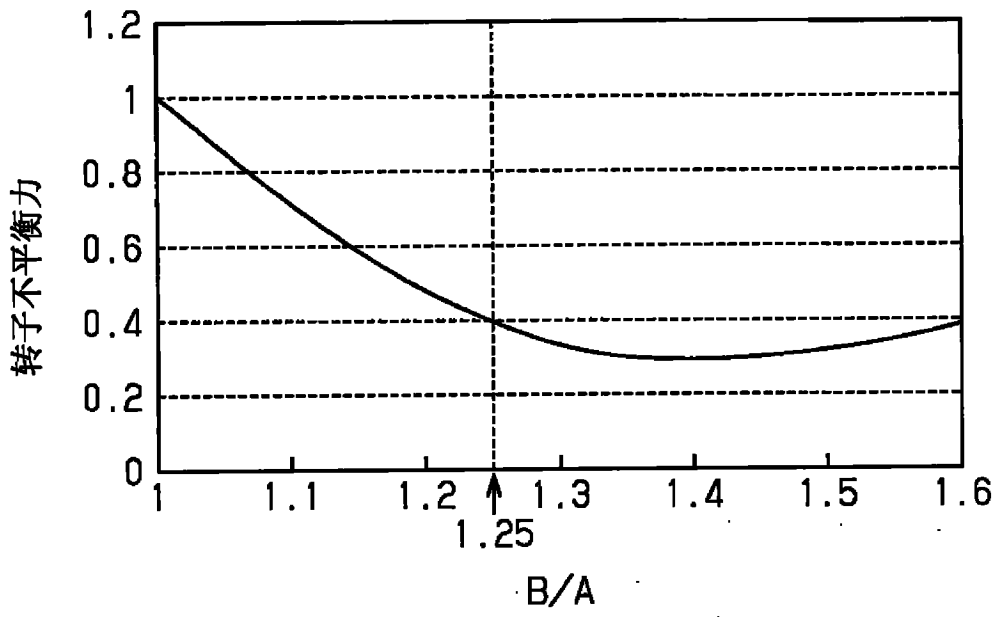


图 28

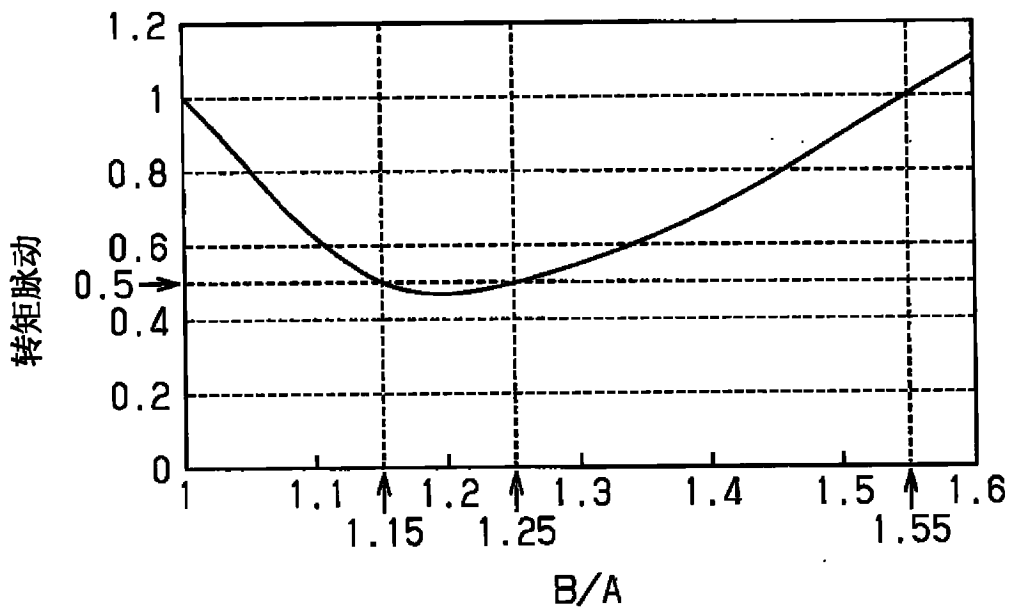


图 29