

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101222154 B

(45) 授权公告日 2010.07.28

(21) 申请号 200710003736.4

CN 1700562 A, 2005.11.23, 全文.

(22) 申请日 2007.01.12

US 6940198 B2, 2005.09.06, 全文.

(73) 专利权人 台达电子工业股份有限公司

CN 1659768 A, 2005.08.24, 全文.

地址 中国台湾桃园县龟山乡山顶村兴邦路
31 之 1 号JP 特开平 7-135758 A, 1995.05.23, 摘要,
说明书 10-37 段, 附图 1-2.(72) 发明人 吴立建 金万兵 应建平 黄世民
黄文喜

审查员 黄涛

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100

代理人 任永武

(51) Int. Cl.

H02K 1/27(2006.01)

H02K 1/12(2006.01)

H02K 15/03(2006.01)

(56) 对比文件

US 6784582 B1, 2004.08.31, 全文 .

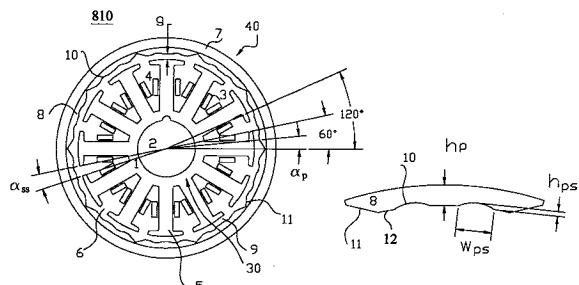
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 13 页

(54) 发明名称

永磁电机的转动结构

(57) 摘要

一种永磁电机的转动结构, 定子的表面包含 K 个突出齿部, 并形成 K 个嵌线槽部, 转子的表面包含 P 对永磁体。每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽, 用以减小齿槽转矩, 每个凹槽的角度位置选择自 n 个角度位置 : $180 \text{Mod}((2P/K)i - P/f, 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, $n = M/(2P)$, M 为 2P 与 K 的最小公倍数, Mod() 为余数运算子, f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数。当每个永磁体在圆周方向的两端包括一对对称的削弧面时, 每个凹槽的角度位置选择自 n 个角度位置 : $180 \times \text{Mod}((2P/K)i - P/f + \beta_0 P/(180f), 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, β_0 为在无这些凹槽时, 具削弧面的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差。



1. 一种永磁电机的转动结构，包括：

一定子，中心具有一定子轴，圆柱形表面具有 K 个突出齿部，这些 K 个突出齿部相对于该定子轴在圆周方向均匀分布，形成 K 个嵌线槽部，K 为大于 1 的自然数；及

一转子，圆环形内表面包含 P 对永磁体，这些 P 对永磁体相对于该定子轴在这些 K 个突出齿部的外围均匀分布，该转子相对于该定子轴做旋转运动，且 P 为一自然数，其特征在于：

每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽，用以减小齿槽转矩，每个凹槽的电气角的角度位置选择自 n 个角度位置 $180 \times \text{Mod}((2P/K)i - P/f, 1)$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，其中，每个凹槽的电气角的角度的基准方向为该定子中心至相邻两个该永磁体的边界，且 $n = M/(2P)$ ，M 为 $2P$ 与 K 的最小公倍数， $\text{Mod}()$ 为余数运算子，f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数，且这些凹槽的槽口宽度 w_{ps} 在 $w_{ps} < 1.5D$ 时，并在不影响结构强度与反电动势的大小及波形下，这些凹槽的槽深选择较深者，其中， $D = 180 \times \text{Mod}(2P/K, 1)$ 。

2. 如权利要求 1 所述的永磁电机的转动结构，其特征在于：

该定子还包括一定子铁心，该定子铁心固定于该定子轴，且该 K 个突出齿部为该定子铁心的延伸；及 / 或

该转子还包括一转子轭部，这些 P 对永磁体固定于该转子轭部。

3. 如权利要求 1 所述的永磁电机的转动结构，其特征在于这些凹槽的槽口宽度 w_{ps} 满足 $0.2D \leq w_{ps} \leq 1.1D$ 。

4. 如权利要求 3 所述的永磁电机的转动结构，其特征在于这些凹槽的槽口宽度 w_{ps} 满足 $w_{ps} = 0.73D$ 。

5. 如权利要求 1 所述的永磁电机的转动结构，其特征在于该定子包括六个嵌线槽部，该转子包括四对永磁体，在 30 度、90 度与 150 度的电气角选项中选择 90 度，据以在每个永磁体的 90 度圆弧面位置设置这些凹槽中的一个。

6. 如权利要求 1 所述的永磁电机的转动结构，其特征在于该定子包括十二个嵌线槽部，该转子包括五对永磁体，在 15 度、45 度、75 度、105 度、135 度与 165 度的电气角选项中选择 45 度与 135 度，据以在每个永磁体的 45 度与 135 度圆弧面位置设置这些凹槽中的两个。

7. 如权利要求 1 所述的永磁电机的转动结构，其特征在于这些凹槽的形状为圆弧形或多边形。

8. 如权利要求 1 所述的永磁电机的转动结构，其特征在于每个永磁体具有这些凹槽外，在圆周方向的两端还包括一对削弧面，该对削弧面相对于每个该永磁体的一径向中心线为对称，且该对削弧面中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p 选择自区间 $\alpha_{\min} - 0.8\alpha_{ss} \leq \alpha_p \leq \alpha_{\min} + 0.8\alpha_{ss}$ ，其中， $\alpha_{\min} = 180 \times \text{min}(\text{Mod}((2P/K)i, 1))$ ， $i = 1, 2, \dots, n-1$ ， α_{ss} 为这些嵌线槽部的其一槽口宽度所对应的电气角， $\text{min}()$ 为最小值运算子，其中：

这些凹槽的角度位置为选择自 n 个角度位置 $180 \times \text{Mod}((2P/K)i - P/f + \beta_0 P/(180f), 1)$ ， $i = 1, 2, \dots, n$ ，其中， β_0 为无这些凹槽时，具削弧面的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差，而该定子包括六个嵌线槽部，该转子包括四对永磁体，每个永磁体包括一对削弧面，且 $\beta_0 = 0$ 度，在 30 度、90 度与 150 度的电气角选项中选择 90 度，据以在每个永磁体的 90 度圆弧面位置设置这些凹槽中的一个；或

该定子包括十二个嵌线槽部,该转子包括五对永磁体,每个永磁体包括一对削弧面,且 $\beta_0 = 180$ 度,在 30 度、60 度、90 度、120 度与 150 度的电气角选项中,选择 60 度与 120 度,据以在每个永磁体的 60 度与 120 度圆弧面位置设置这些凹槽中的两个,而该定子包括十二个嵌线槽部,该转子包括五对永磁体,每个永磁体包括一对削弧面,且 $\beta_0 = 0$ 度,在 15 度、45 度、75 度、105 度、135 度与 165 度的电气角选项中,选择 45 度与 135 度,据以在每个永磁体的 45 度与 135 度圆弧面位置设置这些凹槽中的两个。

9. 一种永磁电机的转动结构,包括:

一定子,其对称于一形状中心轴的圆环形内表面具有 K 个突出齿部,这些 K 个突出齿部相对于该形状中心轴在圆周方向均匀分布,形成 K 个嵌线槽部,K 为大于 1 的自然数;及

一转子,圆柱形表面包含 P 对永磁体,这些 P 对永磁体相对于该形状中心轴在这些 K 个突出齿部的内侧均匀分布,该转子相对于该形状中心轴做旋转运动,且 P 为一自然数,其中:每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽,用以减小齿槽转矩,每个凹槽的电气角的角度位置选择自 n 个角度位置 $180 \text{Mod}((2P/K)i - P/f, 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中,每个凹槽的电气角的角度的基准方向为该定子中心至相邻两个该永磁体的边界,且 $n = M/(2P)$,M 为 $2P$ 与 K 的最小公倍数,Mod() 为余数运算子,f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数,且这些凹槽的槽口宽度 w_{ps} 在 $w_{ps} < 1.5D$ 时,并在不影响结构强度与反电动势的大小及波形下,这些凹槽的槽深选择较深者,其中, $D = 180 \text{Mod}(2P/K, 1)$ 。

10. 如权利要求 9 所述的永磁电机的转动结构,其特征在于:

该定子还包括一定子轭部,且该 K 个突出齿部为该定子轭部的延伸;及 / 或

该转子还包括一转子铁心,该转子铁心对称于该形状中心轴,且这些 P 对永磁体固定于该转子铁心。

永磁电机的转动结构

技术领域

[0001] 本发明是关于一种永磁电机的转动结构,特别是关于一种应用于无刷永磁电机,以减小其齿槽转矩(cogging torque)的转动结构。

背景技术

[0002] 永磁电机具有结构简单、运行可靠;体积小、重量轻;损耗小、效率高;且电机的形状和尺寸可以容易变化等优点,因而应用范围极广,几乎遍及航空航天、国防、工农业与日常生活的各个领域。

[0003] 请参阅图1,其为第一种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图。在图1中,以八极六槽的永磁马达为例,说明永磁电机的转动结构801。永磁电机的转动结构801由一定子30及一转子40组成;其中,圆柱形的定子30固定在永磁电机内部,产生一旋转磁场;转子40为圆环形,围绕定子30,且与定子30是同轴的,具有一转子磁场,转子磁场与定子30的旋转磁场作用,使转子40产生旋转运动。

[0004] 转动结构801的定子30包括一定子铁心1、一定子轴2与六个绕组3;其中,定子铁心1固定于定子轴2上,并由导磁材料构成,定子铁心1延伸出六个突出齿部5,六个突出齿部5形成了六个嵌线槽部4和六个嵌线槽口6,在六个突出齿部5上缠绕有六个绕组3,六个绕组3内流过驱动电流,据以产生定子30的旋转磁场。

[0005] 转动结构801的转子40包括一转子轭部7与八个永磁体8;其中,转子轭部7为圆环形,八个永磁体8以圆环形均匀分布在转子轭部7的内表面,且八个永磁体8为N极、S极交替改变,每个永磁体8为永磁材料构成的一磁极。而转子40相对于定子30的定子轴2旋转,且定子30的突出齿部5外表面、嵌线槽口6与转子40的永磁体8内表面之间形成一气隙9。

[0006] 在图1中,绕组3内通入足够的电流,以使转子40按照需要旋转。由于永磁体8与定子30所形成的嵌线槽部4和嵌线槽口6的相互作用,产生齿槽转矩(cogging torque);而齿槽转矩是指永磁体磁动势分布与定子由于凹槽的存在而产生的气隙磁导分布在相互作用时,引起的转矩波动。因此,根据这个定义,没有驱动电流时转子转动中所受得力矩就是齿槽转矩。

[0007] 齿槽转矩造成的问题为,将导致电机的输出转矩波动,影响电机的平滑旋转,并产生速度波动、振动与噪音。

[0008] 请继续参阅图2,其为第二种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图。在图2中,以十极十二槽的永磁马达为例,说明永磁电机的转动结构802,与图1比较,仅在极数与槽数的不同,而相同的符号代表相同的元件。

[0009] 请继续参阅图3,其为第三种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图。在图3中,以八极六槽的削弧式永磁马达为例,说明永磁电机的转动结构803,与图1比较,本实施例是在图1所示实施例基础上,结合永磁体8两端的一对削弧面11,用以减小齿槽转矩。本实施例中元件符号的定义与图1中的定义相同,仅有不同的是每个永磁体8两端具有一对

削弧面 11, 该对削弧面 11 相对于每个永磁体 8 径向中心线呈对称分布, 且在圆周方向向永磁体 8 端部, 永磁体 8 的原厚度呈逐渐减小。

[0010] 请继续参阅图 4, 其为第四种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图。在图 4 中, 以十极十二槽的削弧式永磁马达为例, 说明永磁电机的转动结构 804, 与图 3 比较, 仅在极数、槽数及削弧面 11 的不同, 而相同的符号代表相同的元件。

[0011] 请继续参阅图 5, 其为第五种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图。在图 5 中, 以十极十二槽的削弧式永磁马达为例, 说明永磁电机的转动结构 805, 与图 4 比较, 仅在削弧面 11 对应的角度范围较小, 而相同的符号代表相同的元件。

[0012] 接着, 以八极六槽的永磁马达为例, 说明一种现有的内转子永磁电机的转动结构。内转子永磁电机的转动结构由一定子及一转子组成; 其中, 圆环形的定子为固定, 以形成永磁电机的外部结构, 并产生一旋转磁场; 转子为圆柱形, 被定子围绕, 且与定子是同轴的, 具有一转子磁场, 转子磁场与定子的旋转磁场作用, 使转子产生旋转运动。

[0013] 内转子永磁电机转动结构的定子包括一定子铁环与六个绕组; 其中, 定子铁环为圆环形, 对称于一形状中心轴, 并由导磁材料构成, 定子铁环由外周的一定子轭部及六个突出齿部构成, 六个突出齿部从定子轭部向形状中心轴延伸, 且相对于形状中心轴为均匀分布, 六个突出齿部形成了六个嵌线槽部和六个嵌线槽口, 在六个突出齿部上缠绕有六个绕组, 六个绕组内流过驱动电流, 据以产生定子的旋转磁场。

[0014] 内转子永磁电机转动结构的转子包括一转子铁心及八个永磁体; 其中, 转子铁心为圆柱形, 八个永磁体相对于形状中心轴均匀分布在转子铁心的表面, 且八个永磁体为 N 极、S 极交替改变, 每个永磁体为永磁材料构成的一磁极。而转子相对于形状中心轴旋转, 且定子的突出齿部内表面、嵌线槽口与转子的永磁体外表面之间形成一气隙。

[0015] 以上图 3、图 4 与图 5 所介绍的现有的外转子永磁电机的转动结构, 及图 3、图 4 与图 5 所对应的现有的内转子永磁电机的转动结构, 虽具有减小齿槽转矩的功效; 然而, 其效果仍无法满足所需要的功效。因此, 如何改善上述现有的手段的缺失, 为发展本发明的主要动机。

发明内容

[0016] 本发明的第一构想为: 提出一种永磁电机的转动结构, 用以减小其齿槽转矩, 转动结构包括一定子及一转子, 定子的表面包含 K 个突出齿部, 并形成 K 个嵌线槽部, 转子的表面包含 P 对永磁体, 借助极数槽数配比 $2P/K$ 与半极数周波数配比 P/f , 在每个永磁极圆弧面的合适角度位置设置凹槽, 达成减小永磁电机的齿槽转矩的功效。

[0017] 本发明的第二构想为: 提出一种永磁电机的转动结构, 用以减小其齿槽转矩, 转动结构包括一定子及一转子, 定子的表面包含 K 个突出齿部, 并形成 K 个嵌线槽部, 转子的表面包含 P 对永磁体, 每个永磁极圆弧面的两端具有削弧面, 借助极数槽数配比 $2P/K$ 与半极数周波数配比 P/f , 在每个永磁极圆弧面的合适角度位置设置凹槽, 达成减小永磁电机的齿槽转矩的功效。

[0018] 根据第一构想所提出的一较佳实施例中, 一种永磁电机的转动结构, 包括一定子及一转子; 其中, 定子的中心具有一定子轴, 圆柱形表面具有 K 个突出齿部, 上述 K 个突出齿部相对于定子轴在圆周方向均匀分布, 形成 K 个嵌线槽部, K 为大于 1 的自然数; 转子的圆

环形内表面包含 P 对永磁体, 上述 P 对永磁体相对于定子轴在上述 K 个突出齿部的外围均匀分布, 转子相对于定子轴做旋转运动, 且 P 为一自然数。

[0019] 而每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽, 用以减小齿槽转矩, 每个凹槽的角度位置选择自 n 个角度位置 $180 \text{Mod}((2P/K)i-P/f, 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, $n = M/(2P)$, M 为 2P 与 K 的最小公倍数, Mod() 为余数运算子, f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数。

[0020] 根据第二构想所提出的一较佳实施例中, 一种永磁电机的转动结构, 包括一定子及一转子; 其中, 定子的中心具有一定子轴, 圆柱形表面具有 K 个突出齿部, 上述 K 个突出齿部相对于定子轴在圆周方向均匀分布, 形成 K 个嵌线槽部, K 为大于 1 的自然数; 转子的圆环形内表面包含 P 对永磁体, 上述 P 对永磁体相对于定子轴在上述 K 个突出齿部的外围均匀分布, 转子相对于定子轴做旋转运动, 且 P 为一自然数。另外:

[0021] 每个永磁体在圆周方向的两端还包括一对削弧面, 该对削弧面相对于每个该永磁体的一径向中心线为对称, 且该对削弧面中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p 选择自区间 $\alpha_{\min}-0.8\alpha_{ss} \leq \alpha_p \leq \alpha_{\min}+0.8\alpha_{ss}$, 其中, $\alpha_{\min} = 180 \times \min(\text{Mod}((2P/K)i, 1), i = 1, 2, \dots, n-1)$, α_{ss} 为这些嵌线槽部的其一槽口宽度所对应的电气角, $n = M/(2P)$, M 为 2P 与 K 的最小公倍数, Mod() 为余数运算子, min() 为最小值运算子。

[0022] 而每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽, 用以减小齿槽转矩, 每个凹槽的角度位置选择自 n 个角度位置 $180 \times \text{Mod}((2P/K)i-P/f+\beta_0 P/(180f), 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数, β_0 为在无这些凹槽时, 具削弧面的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差。

[0023] 根据第一构想所提出的一较佳实施例中, 一种永磁电机的转动结构, 包括一定子及一转子; 其中, 定子中对称于一形状中心轴的圆环形内表面具有 K 个突出齿部, 上述 K 个突出齿部相对于形状中心轴在圆周方向均匀分布, 形成 K 个嵌线槽部, K 为大于 1 的自然数; 转子的圆柱形表面包含 P 对永磁体, 上述 P 对永磁体相对于形状中心轴在上述 K 个突出齿部的内侧均匀分布, 转子相对于形状中心轴做旋转运动, 且 P 为一自然数。

[0024] 而每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽, 用以减小齿槽转矩, 每个凹槽的角度位置选择自 n 个角度位置 $180 \text{Mod}((2P/K)i-P/f, 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, $n = M/(2P)$, M 为 2P 与 K 的最小公倍数, Mod() 为余数运算子, f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数。

[0025] 根据第二构想所提出的一较佳实施例中, 一种永磁电机的转动结构, 包括一定子及一转子; 其中, 定子中对称于一形状中心轴的圆环形内表面具有 K 个突出齿部, 上述 K 个突出齿部相对于形状中心轴在圆周方向均匀分布, 形成 K 个嵌线槽部, K 为大于 1 的自然数; 转子的圆柱形表面包含 P 对永磁体, 上述 P 对永磁体相对于形状中心轴在上述 K 个突出齿部的内侧均匀分布, 转子相对于形状中心轴做旋转运动, 且 P 为一自然数。另外:

[0026] 每个永磁体在圆周方向的两端还包括一对削弧面, 该对削弧面相对于每个该永磁体的一径向中心线为对称, 且该对削弧面中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p 选择自区间 $\alpha_{\min}-0.8\alpha_{ss} \leq \alpha_p \leq \alpha_{\min}+0.8\alpha_{ss}$, 其中, $\alpha_{\min} = 180 \times \min(\text{Mod}((2P/K)i, 1), i = 1, 2, \dots, n-1)$, α_{ss} 为这些嵌线槽部的其一槽口宽度所对应的电气角, $n = M/(2P)$, M 为 2P 与 K 的最小公倍数, Mod() 为余数运算子, min() 为最小值运算子。

[0027] 而每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽,用以减小齿槽转矩,每个凹槽的角度位置选择自n个角度位置 $180 \times \text{Mod}((2P/K)i - P/f + \beta_0 P / (180f), 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$,其中, f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数, β_0 为在无这些凹槽时,具削弧面的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差。

附图说明

- [0028] 图1为第一种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图;
- [0029] 图2为第二种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图;
- [0030] 图3为第三种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图;
- [0031] 图4为第四种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图;
- [0032] 图5为第五种现有的外转子永磁电机的转动结构断面图;
- [0033] 图6为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第一较佳实施例的断面图;
- [0034] 图7为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第二较佳实施例的断面图;
- [0035] 图8为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第三较佳实施例的断面图;
- [0036] 图9为图1、图3、图6与图8所示永磁电机的齿槽转矩随机械角的变化图;
- [0037] 图10为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第四较佳实施例的断面图;
- [0038] 图11为图2、图4与图10所示永磁电机的齿槽转矩随机械角的变化图;
- [0039] 图12为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第五较佳实施例的断面图;
- [0040] 图13为图2、图5与图12所示永磁电机的齿槽转矩随机械角的变化图;
- [0041] 图14为本发明所提出的永磁电机的齿槽转矩峰值随凹槽的槽口宽度的第一种变化图;
- [0042] 图15为本发明所提出的永磁电机的齿槽转矩峰值随凹槽的槽口宽度的第二种变化图;及
- [0043] 图16为本发明所提出的永磁电机的齿槽转矩峰值随凹槽的槽口宽度的第三种变化图。

具体实施方式

[0044] 为了叙述清楚本发明所提出的永磁电机的转动结构及减小其齿槽转矩的方法,下面列举多个较佳实施例加以说明:

[0045] 为了方便利用符号说明齿槽转矩的问题,以下将永磁电机的转动结构与符号结合起来。永磁电机的转动结构由一定子30及一转子30组成;其中,定子30的表面均匀分布K个突出齿部5,并形成K个嵌线槽部5,K为大于1的自然数;转子40的表面均匀分布P对永磁体8,P为一自然数,其中,定子30的表面与转子40的表面隔着气隙9互相面对。定义 $2P$ 与 K 的最小公倍数为M。当转子40相对于定子30做旋转运动时,将产生齿槽转矩,定义齿槽转矩的周波数f为转子40转动一圈所产生的齿槽转矩循环波数,通常f等于 $2P$ 与 K 的最小公倍数M。在图1中, $P = 4$, $K = 6$, $M = 24$,齿槽转矩的周波数f为24次。

[0046] 为了减小永磁电机的齿槽转矩,所提出的方案为,根据极数槽数配比 $2P/K$ 与半极数周波数配比 P/f ,在永磁体的圆弧面上选择合适的位置,设置合适大小的凹槽,这样,永磁电机的齿槽转矩就会大大减小。

[0047] 如此,减小永磁电机齿槽转矩的方法包括下列步骤:

[0048] (a) 在永磁体的圆弧面上无凹槽的状态,决定齿槽转矩的周波数。

[0049] (b) 计算 n 个电气角的角度位置:

[0050] $180 \text{Mod}((2P/K)i - P/f, 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, $n = M/(2P)$, M 为 $2P$ 与 K 的最小公倍数, $\text{Mod}()$ 为余数运算子, 用以求余数, f 为在永磁体的圆弧面上无凹槽的状态, 齿槽转矩的周波数, 而角度的基准方向为定子中心至相邻两永磁体的边界。

[0051] (c) 选择这些 n 个角度位置中至少一个位置, 在每个永磁体圆弧面的每个被选择的位置, 设置一个凹槽。

[0052] 以上步骤中, 步骤 (c) 还包括下列步骤:

[0053] 根据对称性、分布均匀性与设置凹槽的方便性, 且符合反电动势的要求, 选择这些凹槽的位置。

[0054] 接着, 以实施例说明上述的方法。请参阅图 6, 其为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第一较佳实施例的断面图。图 6 的永磁电机的转动结构 806 以图 1 的外转子永磁电机为基础, 再加上减小齿槽转矩的结构, 其为八极六槽的永磁马达结构, 但是不限用于永磁马达, 相同的结构还可应用于永磁发电机。在图 6 中, 永磁电机的转动结构 806 由一定子 30 及一转子 40 组成; 其中, 圆柱形的定子 30 固定在永磁电机内部, 产生一旋转磁场; 转子 40 为圆环形, 围绕定子 30, 且与定子 30 是同轴的, 具有一转子磁场, 转子磁场与定子 30 的旋转磁场作用, 使转子 40 产生旋转运动。

[0055] 转动结构 806 的定子 30 包括一定子铁心 1、一定子轴 2 与六个绕组 3; 其中, 定子铁心 1 固定于定子轴 2 上, 并由导磁材料构成, 定子铁心 1 延伸出六个突出齿部 5, 六个突出齿部 5 形成了六个嵌线槽部 4 和六个嵌线槽口 6, 在六个突出齿部 5 上缠绕有六个绕组 3, 六个绕组 3 内流过驱动电流, 据以产生定子 30 的旋转磁场。

[0056] 转动结构 806 的转子 40 包括一转子轭部 7 与八个永磁体 8; 其中, 转子轭部 7 为圆环形, 八个永磁体 8 以圆环形均匀分布在转子轭部 7 的内表面, 且八个永磁体 8 为 N 极、S 极交替改变, 每个永磁体 8 为永磁材料构成的一磁极。而转子 40 相对于定子 30 的定子轴 2 旋转, 且定子 30 的突出齿部 5 外表面、嵌线槽口 6 与转子 40 的永磁体 8 内表面之间形成一气隙 9。

[0057] 另外, 每个永磁体 8 在圆周方向的圆弧面 12 包含至少一凹槽 10, 用以减小齿槽转矩, 这些凹槽的形状为圆弧形或多边形。本实施例的结构为 $P = 4, K = 6, M = 24, f = 24$, 经计算可知, 可能的凹槽 10 角度位置为: $30^\circ, 90^\circ$ 与 150° 电气角。在考虑对称性与设置凹槽的方便性后, 本实施例选择在每个永磁体 8 圆周方向的 90° 圆弧面 12 位置设置凹槽, 而角度的基准方向为定子中心至相邻两永磁体 8 的边界。

[0058] 接着介绍在十极十二槽的永磁电机, 减小其齿槽转矩的情形。请参阅图 7, 其为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第二较佳实施例的断面图。图 7 的永磁电机的转动结构 807 以图 2 的外转子永磁电机为基础, 再加上减小齿槽转矩的结构, 两图中, 相同的符号代表相同的元件。在图 7 中, 为了减小齿槽转矩, 在每个永磁体 8 圆周方向的圆弧面 12 设置至少一凹槽 10。本实施例的结构为 $P = 5, K = 12, M = 60, f = 60$, 经计算可知, 可能的凹槽角度位置为: $15^\circ, 45^\circ, 75^\circ, 105^\circ, 135^\circ$ 与 165° 电气角。在考虑对称性、分布均匀性与设置凹槽的方便性后, 本实施例选择在每个永磁体 8 圆周方向的 45° 与 135° 圆弧面

12 位置设置凹槽 10, 而角度的基准方向为定子中心至相邻两永磁体 8 的边界。

[0059] 接着, 介绍在八极六槽的内转子永磁电机, 减小其齿槽转矩的情形。内转子永磁电机的转动结构由一定子及一转子组成; 其中, 圆环形的定子为固定, 以形成永磁电机的外部结构, 并产生一旋转磁场; 转子为圆柱形, 被定子围绕, 且与定子是同轴的, 具有一转子磁场, 转子磁场与定子的旋转磁场作用, 使转子产生旋转运动。

[0060] 内转子永磁电机转动结构的定子包括一定子铁环与六个绕组; 其中, 定子铁环为圆环形, 对称于一形状中心轴, 并由导磁材料构成, 定子铁环由外周的一定子轭部及六个突出齿部构成, 六个突出齿部从定子轭部向形状中心轴延伸, 且相对于形状中心轴为均匀分布, 六个突出齿部形成了六个嵌线槽部和六个嵌线槽口, 在六个突出齿部上缠绕有六个绕组, 六个绕组内流过驱动电流, 据以产生定子的旋转磁场。

[0061] 内转子永磁电机转动结构的转子包括一转子铁心及八个永磁体; 其中, 转子铁心为圆柱形, 八个永磁体相对于形状中心轴均匀分布在转子铁心的表面, 且八个永磁体为 N 极、S 极交替改变, 每个永磁体为永磁材料构成的一磁极。而转子相对于形状中心轴旋转, 且定子的突出齿部内表面、嵌线槽口与转子的永磁体外表面之间形成一气隙。

[0062] 另外, 每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽, 用以减小齿槽转矩, 这些凹槽的形状为圆弧形或多边形。本实施例的结构为 $P = 4$, $K = 6$, $M = 24$, $f = 24$, 经计算可知, 可能的凹槽角度位置为: 30° 、 90° 与 150° 电气角。在考虑对称性与设置凹槽的方便性后, 本实施例选择在每个永磁体圆周方向的 90° 圆弧面位置设置凹槽, 而角度的基准方向为定子中心至相邻两永磁体的边界。

[0063] 在先前技术中, 图 3、图 4 与图 5 的外转子永磁电机及图 3、图 4 与图 5 所对应的内转子永磁电机, 在每个永磁体 8 圆周方向的两端形成一对削弧面 11, 用以减小齿槽转矩, 该对削弧面 11 相对于每个永磁体 8 径向中心线呈对称分布, 且在圆周方向向永磁体 8 端部, 永磁体 8 的原厚度呈逐渐减小。为了进一步减小永磁电机的齿槽转矩, 在既有每个永磁体 8 的该对削弧面 11 的情况下, 根据极数槽数配比 $2P/K$, 调整该对削弧面 11 的每一个所对应的圆周方向角度范围, 并根据极数槽数配比 $2P/K$ 与半极数周波数配比 P/f , 在永磁体的圆弧面 12 上选择合适的位置, 设置合适大小的凹槽, 这样, 永磁电机的齿槽转矩就会大大减小。

[0064] 如此, 减小永磁电机齿槽转矩的方法包括下列步骤:

[0065] (p) 在永磁体无削弧面且其圆弧面上无凹槽的状态, 决定齿槽转矩的周波数。

[0066] (q) 在角度区间 $\alpha_{\min} - 0.8 \alpha_{ss} \leq \alpha_p \leq \alpha_{\min} + 0.8 \alpha_{ss}$, 选择该对削弧面中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p , 其中, $\alpha_{\min} = 180 \times \min(\text{Mod}((2P/K)i, 1), i = 1, 2, \dots, n-1)$, α_{ss} 为这些嵌线槽部 6 的其一槽口宽度 w_{ss} 所对应的电气角, $n = M/(2P)$, M 为 $2P$ 与 K 的最小公倍数, Mod 为余数运算子, 用以求余数, $\min()$ 为最小值运算子, 而角度的基准方向为定子中心至相邻两永磁体 8 的边界。

[0067] (r) 在永磁体 8 无凹槽 10 时, 决定具削弧面 10 的齿槽转矩波形与无削弧面 10 的齿槽转矩波形的相位差。

[0068] (s) 在永磁体 8 无凹槽 10 与具削弧面 11 的状态, 决定齿槽转矩的周波数; 通常, 此周波数相当于在无削弧面 10 的状态, 齿槽转矩的周波数。

[0069] (t) 计算 n 个电气角的角度位置:

[0070] $180 \times \text{Mod}((2P/K)i - P/f + \beta_0 P/(180f), 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, $n = M/(2P)$, M 为 $2P$ 与 K 的最小公倍数, Mod 为余数运算子, f 为在永磁体 8 无凹槽 10 与具削弧面 11 的状态, 齿槽转矩的周波数, β_0 为在永磁体 8 无凹槽 10 时, 具削弧面 11 的齿槽转矩波形与无削弧面 11 的齿槽转矩波形的相位差, 而角度的基准方向为定子中心至相邻两永磁体 8 的边界。

[0071] (u) 选择这些 n 个角度位置中至少一个位置, 在每个永磁体圆弧面的每个被选择的位置, 设置一个凹槽 10。

[0072] 以上步骤中, 步骤 (u) 还包括下列步骤:

[0073] 根据对称性、分布均匀性与设置凹槽的方便性, 且符合反电动势的要求, 选择这些凹槽 10 的位置。

[0074] 接着, 以实施例说明上述的方法。请参阅图 8, 其为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第三较佳实施例的断面图。图 8 的永磁电机的转动结构 808 以图 3 的外转子永磁电机为基础, 再加上减小齿槽转矩的结构, 两图中, 相同的符号代表相同的元件。本实施例的结构为 $P = 4, K = 6, M = 24, f = 24$; 根据步骤 (q), 计算并选择永磁体 8 该对削弧面 11 中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p 。而在决定用以减小齿槽转矩的结构中, 需要用到在永磁体 8 无凹槽 10 时, 具削弧面 11 的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差 β_0 , 此相位差 β_0 的数据内含于图 9 中。

[0075] 请参阅图 9, 其为图 1、图 3、图 6 与图 8 所示永磁电机的齿槽转矩随机械角的变化图。图 1、图 3、图 6 与图 8 的永磁电机皆是八极六槽。在图 9 中, 波形 A1 为图 1 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 A1 可以看出, 在四种情况下, 当永磁体无凹槽且无削弧面时, 永磁电机具有最大的齿槽转矩。波形 B1 为图 6 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 B1 可以看出, 在永磁体的圆弧面上选择合适的位置设置凹槽, 可以减小永磁电机的齿槽转矩。波形 C1 为图 3 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 C1 可以看出, 在每个永磁体的圆弧面的两端形成一对对称的削弧面, 可以减小永磁电机的齿槽转矩, 而其效果比图 6 的设置凹槽的情况要好。波形 D1 为图 8 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 D1 可以看出, 在每个永磁体的圆弧面的两端形成一对对称的削弧面, 并在永磁体的圆弧面上选择合适的位置设置凹槽, 则永磁电机的齿槽转矩是最小的, 且齿槽转矩的周波数是其他三种情况的两倍。此外, 比较波形 A1 与波形 C1 获得, 在永磁体无凹槽时, 具削弧面的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差 β_0 为 0° 。

[0076] 再参阅图 8, 并根据步骤 (t); 经计算可知, 可能的凹槽 10 角度位置为: $30^\circ, 90^\circ$ 与 150° 电气角。在考虑对称性与设置凹槽的方便性后, 本实施例选择在每个永磁体 8 圆周方向的 90° 圆弧面 12(本实施例被凹槽 10 取代) 位置设置凹槽 10, 而角度的基准方向为定子 30 中心至相邻两永磁体 8 的边界。

[0077] 请继续参阅图 10, 其为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第四较佳实施例的断面图。图 10 的永磁电机的转动结构 810 以图 4 的外转子永磁电机为基础, 再加上减小齿槽转矩的结构, 两图中, 相同的符号代表相同的元件。本实施例的结构为 $P = 5, K = 12, M = 60, f = 60$; 根据步骤 (q), 计算并选择永磁体 8 该对削弧面 11 中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p 。而在决定用以减小齿槽转矩的结构中, 需要用到在永磁体 8 无凹槽 10 时, 具削弧面 11 的齿槽转矩波形与无削弧面 11 的齿槽转矩波形的相位差 β_0 , 此相位差 β_0 的数据内含于图 11 中。

[0078] 请参阅图 11, 其为图 2、图 4 与图 10 所示永磁电机的齿槽转矩随机械角的变化图。图 2、图 4 与图 10 的永磁电机皆是十极十二槽。在图 11 中, 波形 A2 为图 2 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 A2 可以看出, 在三种情况中, 当永磁体 8 无凹槽 10 且无削弧面 11 时, 永磁电机具有最大的齿槽转矩。波形 C2 为图 4 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 C2 可以看出, 在每个永磁体 8 的圆弧面 12 的两端形成一对对称的削弧面 11, 可以减小永磁电机的齿槽转矩。波形 D2 为图 10 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 D2 可以看出, 在每个永磁体 8 的圆弧面 12 的两端形成一对对称的削弧面 11, 并在永磁体 8 的圆弧面 12 上选择合适的位置设置凹槽 10, 则永磁电机的齿槽转矩是最小的, 且齿槽转矩的周波数是其他两种情况的两倍。此外, 比较波形 A2 与波形 C2 获得, 在永磁体 8 无凹槽 10 时, 具削弧面 11 的齿槽转矩波形与无削弧面 11 的齿槽转矩波形的相位差 β_0 为 180° 。

[0079] 再参阅图 10, 并根据步骤 (t); 经计算可知, 可能的凹槽角度位置为: 30° 、 60° 、 90° 、 120° 与 150° 电气角。在考虑对称性、分布均匀性与设置凹槽的方便性后, 本实施例选择在每个永磁体 8 圆周方向的 60° 与 120° 圆弧面 12 位置设置凹槽 10, 而角度的基准方向为定子 30 中心至相邻两永磁体 8 的边界。

[0080] 请继续参阅图 12, 其为本发明所提出的永磁电机的转动结构的第五较佳实施例的断面图。图 12 的永磁电机的转动结构 812 以图 5 的外转子永磁电机为基础, 再加上减小齿槽转矩的结构, 两图中, 相同的符号代表相同的元件。本实施例的结构为 $P = 5$, $K = 12$, $M = 60$, $f = 60$; 根据步骤 (q), 计算并选择永磁体 8 该对削弧面 11 中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p , 与图 10 比较, 本实施例所选的 α_p 角较小。而在决定用以减小齿槽转矩的结构中, 需要用到在永磁体 8 无凹槽 10 时, 具削弧面 11 的齿槽转矩波形与无削弧面 11 的齿槽转矩波形的相位差 β_0 , 此相位差 β_0 的数据内含于图 13 中; 由于 α_p 角与图 10 不同, β_0 角也会有变化。

[0081] 请参阅图 13, 其为图 2、图 5 与图 12 所示永磁电机的齿槽转矩随机械角的变化图。图 2、图 5 与图 12 的永磁电机皆是十极十二槽。在图 13 中, 波形 A2 为图 2 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 A2 可以看出, 在三种情况中, 当永磁体 8 无凹槽 10 且无削弧面 11 时, 永磁电机具有最大的齿槽转矩。波形 C3 为图 5 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 C3 可以看出, 在每个永磁体 8 的圆弧面 12 的两端形成一对对称的削弧面 11, 可以减小永磁电机的齿槽转矩。波形 D3 为图 12 的永磁电机的齿槽转矩波形, 由波形 D3 可以看出, 在每个永磁体 8 的圆弧面 12 的两端形成一对对称的削弧面 11, 并在永磁体 8 的圆弧面 12 上选择合适的位置设置凹槽 10, 则永磁电机的齿槽转矩是最小的, 且齿槽转矩的周波数是其他两种情况的两倍。此外, 比较波形 A2 与波形 C3 获得, 在永磁体 8 无凹槽 10 时, 具削弧面 11 的齿槽转矩波形与无削弧面 11 的齿槽转矩波形的相位差 β_0 为 0° 。

[0082] 再参阅图 12, 并根据步骤 (t); 经计算可知, 可能的凹槽 10 角度位置为: 15° 、 45° 、 75° 、 105° 、 135° 与 165° 电气角。在考虑对称性、分布均匀性与设置凹槽的方便性后, 本实施例选择在每个永磁体 8 圆周方向的 45° 与 135° 圆弧面 12 位置设置凹槽 10, 而角度的基准方向为定子 30 中心至相邻两永磁体 8 的边界。

[0083] 接着, 以实施例说明上述方法应用于内转子永磁电机的情形。此处的永磁电机的转动结构以先前技术所介绍的八极六槽内转子永磁电机为基础, 再加上每个永磁体两端对称的削弧面及减小齿槽转矩的结构。本实施例的结构为 $P = 4$, $K = 6$, $M = 24$, $f = 24$; 根

据步骤 (q), 计算并选择永磁体该对削弧面中的每一个对应的角度范围在圆周方向的角度 α_p 。而在决定用以减小齿槽转矩的结构中, 需要用到在永磁体无凹槽时, 具削弧面的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差 β_0 , 此相位差 β_0 为 0° 。根据步骤 (t); 经计算可知, 可能的凹槽角度位置为: 30° 、 90° 与 150° 电气角。在考虑对称性与设置凹槽的方便性后, 本实施例选择在每个永磁体圆周方向的 90° 圆弧面位置设置凹槽, 而角度的基准方向为定子中心至相邻两永磁体的边界。

[0084] 接着考虑凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps} 与槽深 h_{ps} 对永磁电机的齿槽转矩的影响, 为了能够显示出槽口宽度 w_{ps} 对齿槽转矩的影响, 以下定义一比数 $D = 180 \text{Mod}(2P/K, 1)$, 并以图形显示齿槽转矩峰值随 w_{ps}/D 的变化。

[0085] 请参阅图 14, 其为本发明所提出的永磁电机的齿槽转矩峰值随凹槽的槽口宽度的第一种变化图。在图 14 中, 外转子永磁电机的定子 30 的嵌线槽口 6 的宽度 w_{ss} 所对应的电气角 α_{ss} 为 44° , 其中包括四条曲线, 分别代表在不同槽深 h_{ps} 的凹槽 10 时, 齿槽转矩峰值随凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps}/D 的变化图。如图所示, 随着永磁体 8 的凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps} 的宽度增加, 齿槽转矩的峰值逐渐变小。当凹槽 10 的槽口宽度 $w_{ps} = 0.73D$ 时, 齿槽转矩的峰值最小。当凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps} 大于 $0.73D$ 这个数值后, 齿槽转矩的峰值将会随着凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps} 的增大而增大。当凹槽 10 的槽口宽度 $w_{ps} = 1.5D$ 时, 齿槽转矩的峰值将会大于永磁体 8 无凹槽 10 时的值, 也就是说凹槽 10 的设置恶化了齿槽转矩。随着凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps} 进一步增加, 当达到约 2 倍 D 时, 齿槽转矩的峰值大小又会再次小于永磁体 8 无凹槽 10 时的值。从图中可以看出, 当凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps} 满足 $0.2D \leq w_{ps} \leq 1.1D$ 时, 齿槽转矩的峰值减小得比较明显。

[0086] 在图 14 中也可以看出, 当凹槽 10 的槽深 h_{ps} 越深, 则在 $w_{ps} < 1.5D$ 范围内, 齿槽转矩的峰值也会越小, 此说明凹槽 10 的槽深 h_{ps} 越深对齿槽转矩的抑制越强。但是凹槽 10 的槽深 h_{ps} 过深对绕组 3 中反电动势的影响也会变强, 亦即反电动势的大小和波形都会受到影响。所以, 凹槽 10 的槽深 h_{ps} 需要综合考虑这些因数而选择一最佳值。

[0087] 请参阅图 15, 其为本发明所提出的永磁电机的齿槽转矩峰值随凹槽的槽口宽度的第二种变化图。在图 15 中, 外转子永磁电机的定子 30 的嵌线槽口 6 的宽度 w_{ss} 所对应的电气角 α_{ss} 为 20° , 且其中包括两条曲线, 分别代表在每个永磁体 8 圆弧面 12 的两端无削弧面 11 时, 无凹槽 10 的齿槽转矩峰值与具凹槽 10 的齿槽转矩峰值随凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps}/D 的变化图。图中的变化趋势与图 14 相似, 在此不在赘述。

[0088] 请参阅图 16, 其为本发明所提出的永磁电机的齿槽转矩峰值随凹槽的槽口宽度的第三种变化图。在图 16 中, 外转子永磁电机的定子 30 的嵌线槽口 6 的宽度 w_{ss} 所对应的电气角 α_{ss} 为 44° , 且其中包括两条曲线, 分别代表在每个永磁体 8 圆弧面 12 的两端具一对对称的削弧面 11 时, 无凹槽 10 的齿槽转矩峰值与具凹槽 10 的齿槽转矩峰值随凹槽 10 的槽口宽度 w_{ps}/D 的变化图。图中的变化趋势与图 14 相似, 在此不在赘述。

[0089] 比较图 14、图 15 与图 16 可知, 当定子 30 的嵌线槽口 6 的宽度 w_{ss} 所对应的电气角 α_{ss} 较小时, 永磁电机的齿槽转矩也会较小。

[0090] 本发明的特点为: 一种永磁电机的转动结构, 定子的表面包含 K 个突出齿部, 并形成 K 个嵌线槽部, 转子的表面包含 P 对永磁体。每个永磁体在圆周方向的圆弧面包含至少一凹槽, 用以减小齿槽转矩, 每个凹槽的角度位置选择自 n 个角度位置 $180 \text{Mod}((2P/K) i - P)/n$

$f, 1), i = 1, 2, \dots, n$, 其中, $n = M/(2P)$, M 为 $2P$ 与 K 的最小公倍数, $\text{Mod}()$ 为余数运算子, f 为无这些凹槽时的齿槽转矩周波数。当永磁体在圆周方向的两端包括一对对称的削弧面时, 每个凹槽的角度位置选择自 n 个角度位置 $180 \times \text{Mod}((2P/K)i - P/f + \beta_0 P/(180f), 1)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 其中, β_0 为在无这些凹槽时, 具削弧面的齿槽转矩波形与无削弧面的齿槽转矩波形的相位差。

[0091] 综上所述, 本发明的永磁电机的转动结构及减小其齿槽转矩的方法确实能达到发明构想所设定的功效。但以上所述的仅为本发明的较佳实施例, 凡是熟悉本领域技术的人士, 在根据本发明精神所作的等效修饰或变化, 皆应涵盖于以下的本申请权利要求范围内。

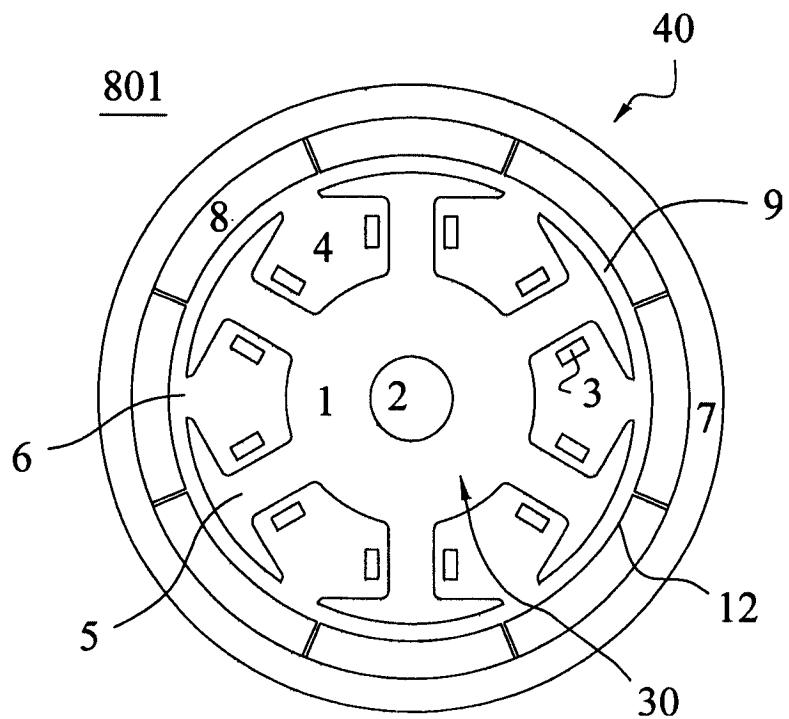


图 1

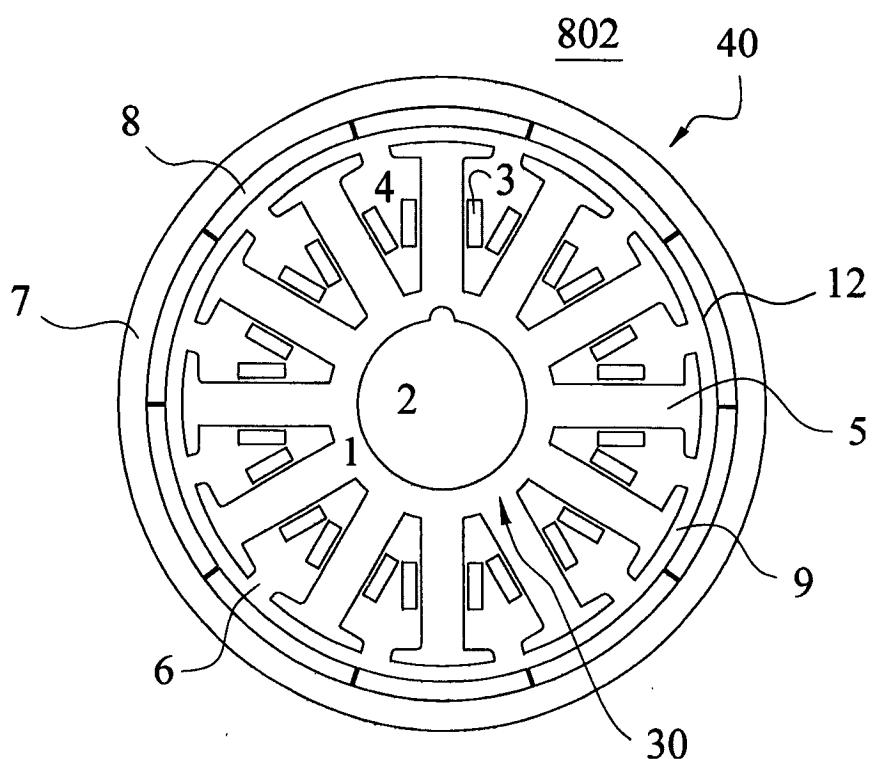


图 2

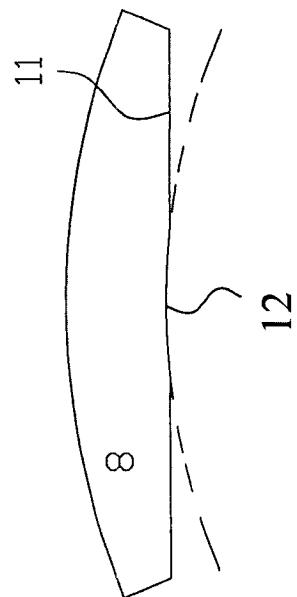
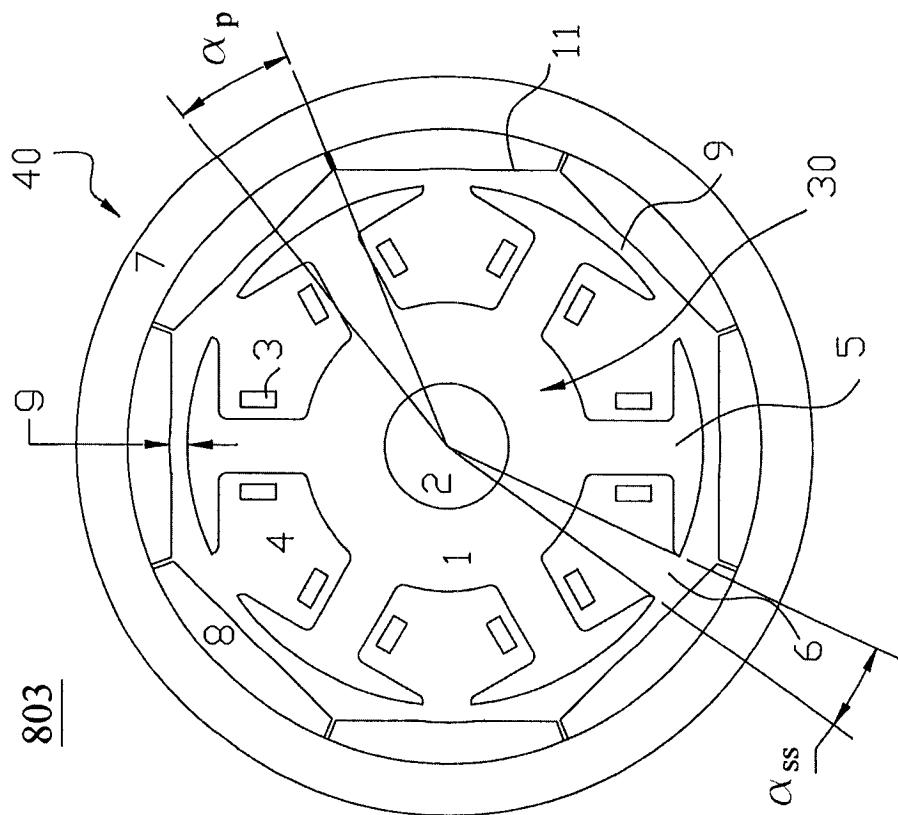


图 3



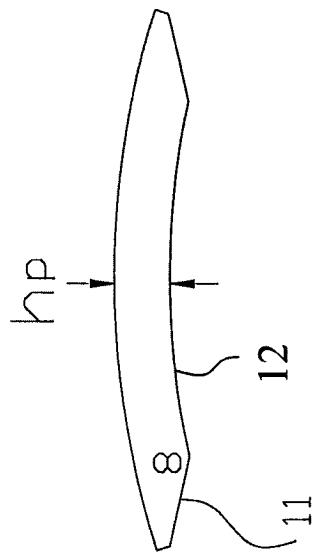
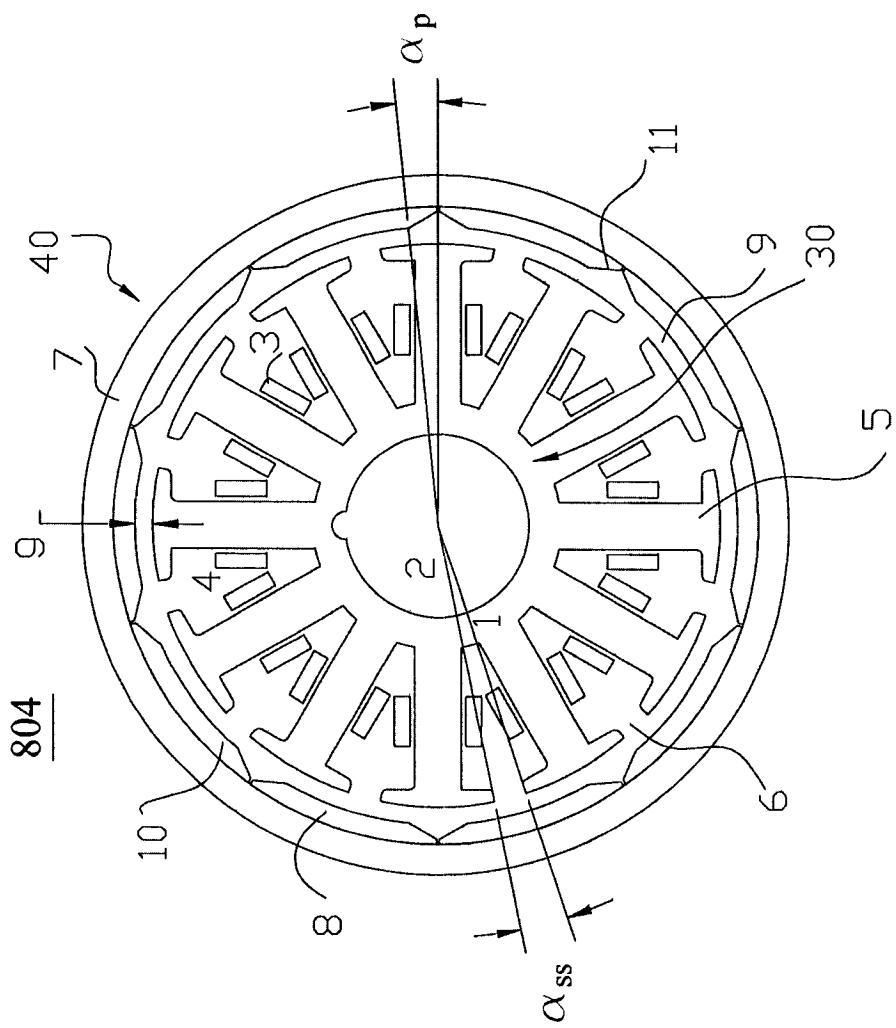


图 4



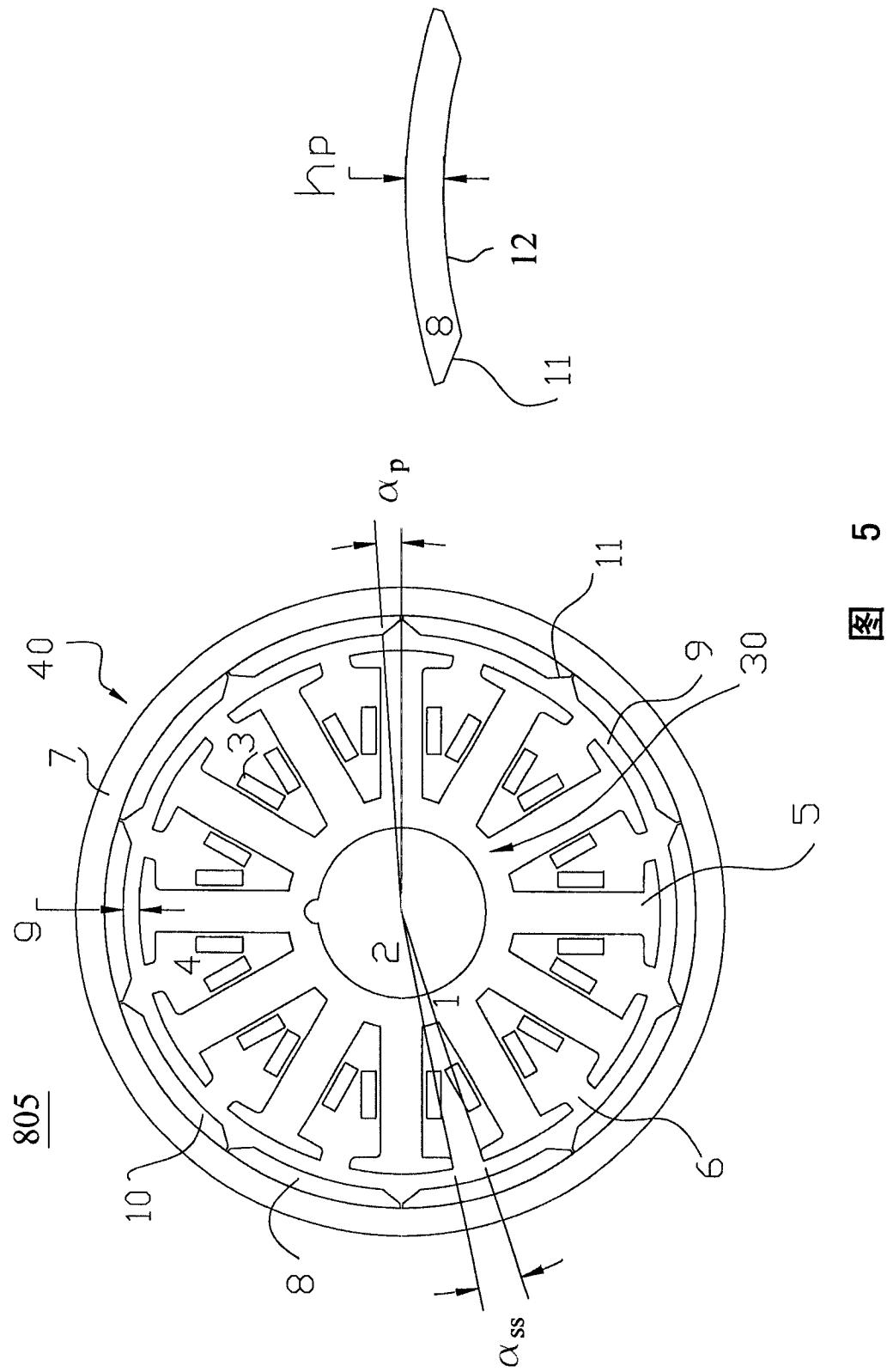
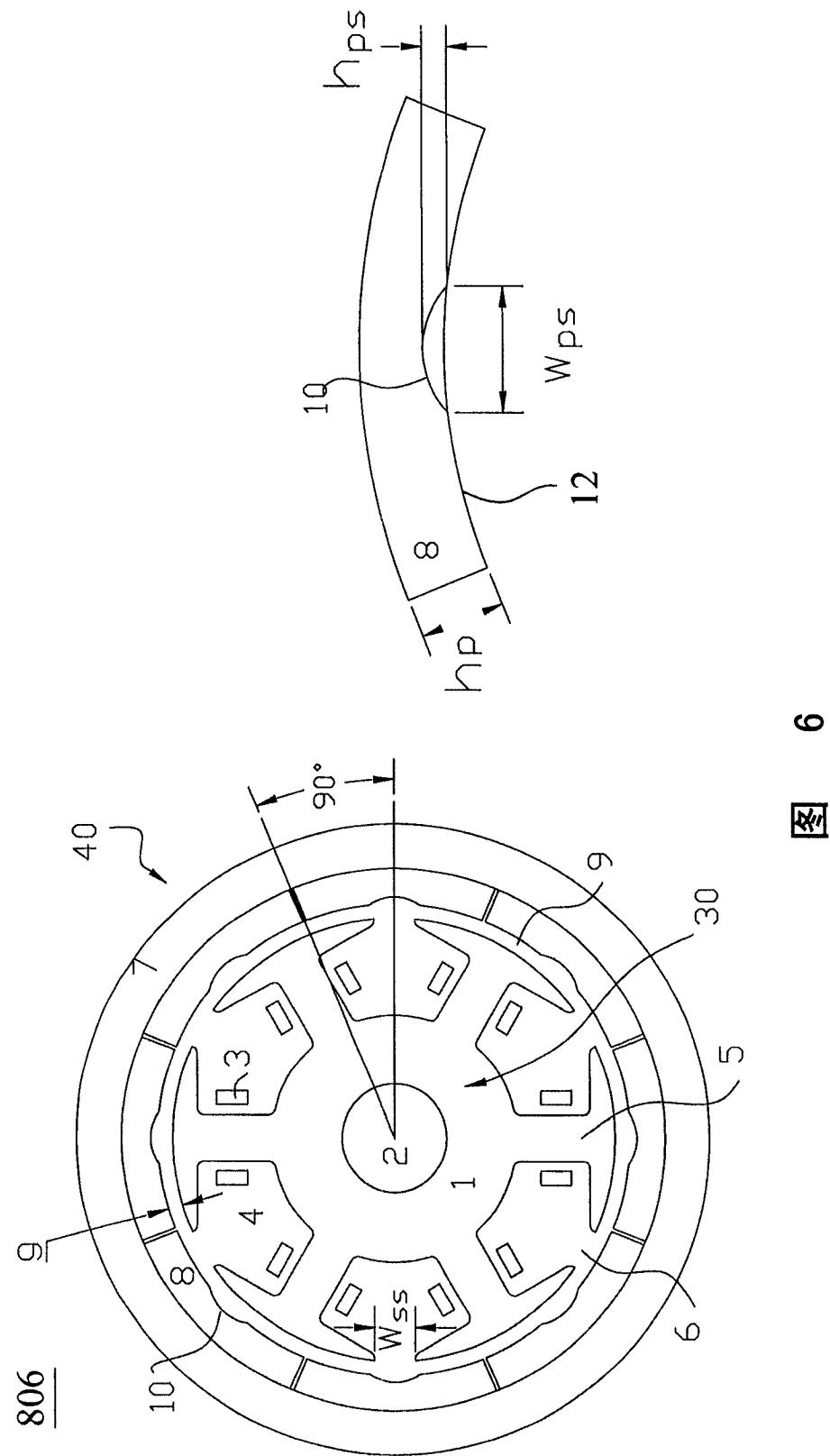


图 5



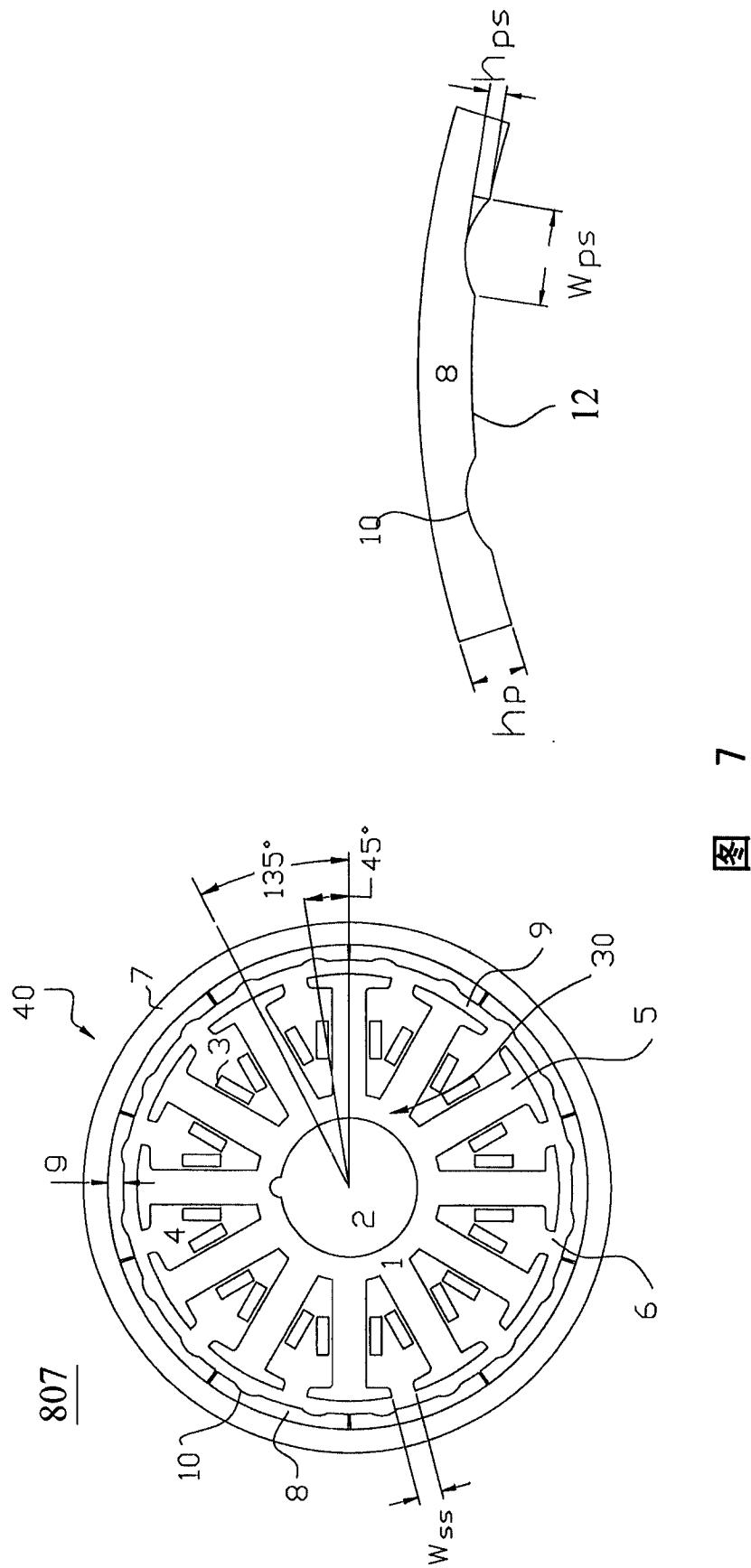
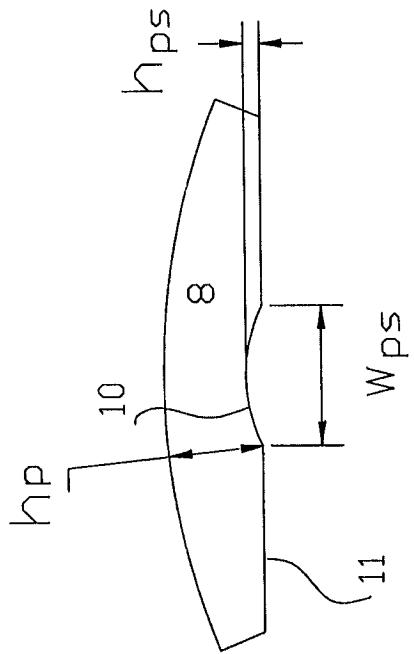
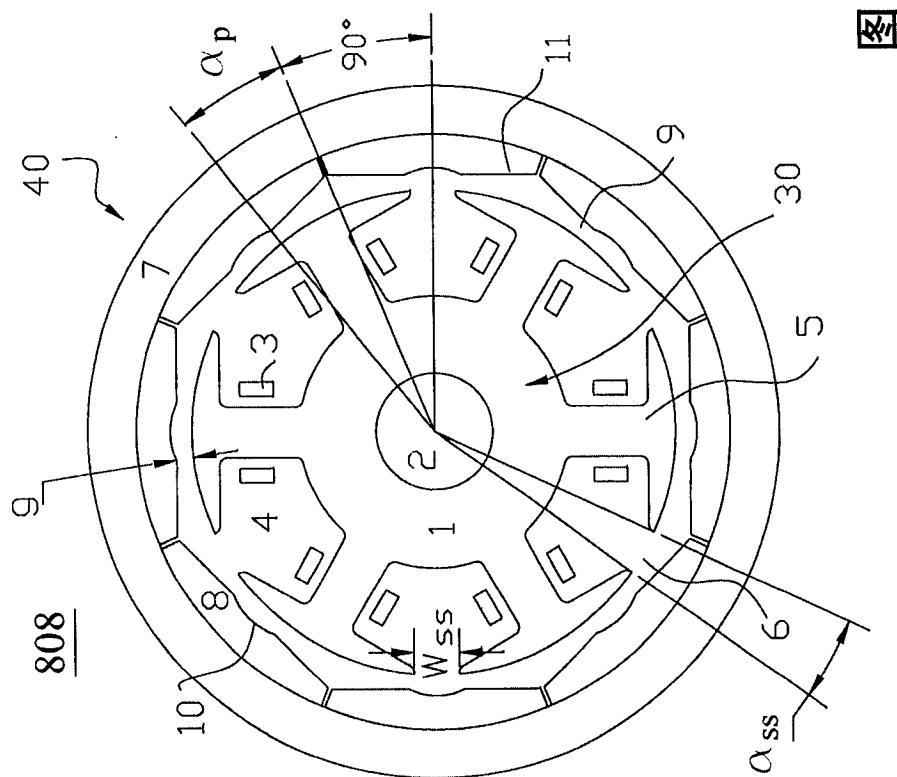


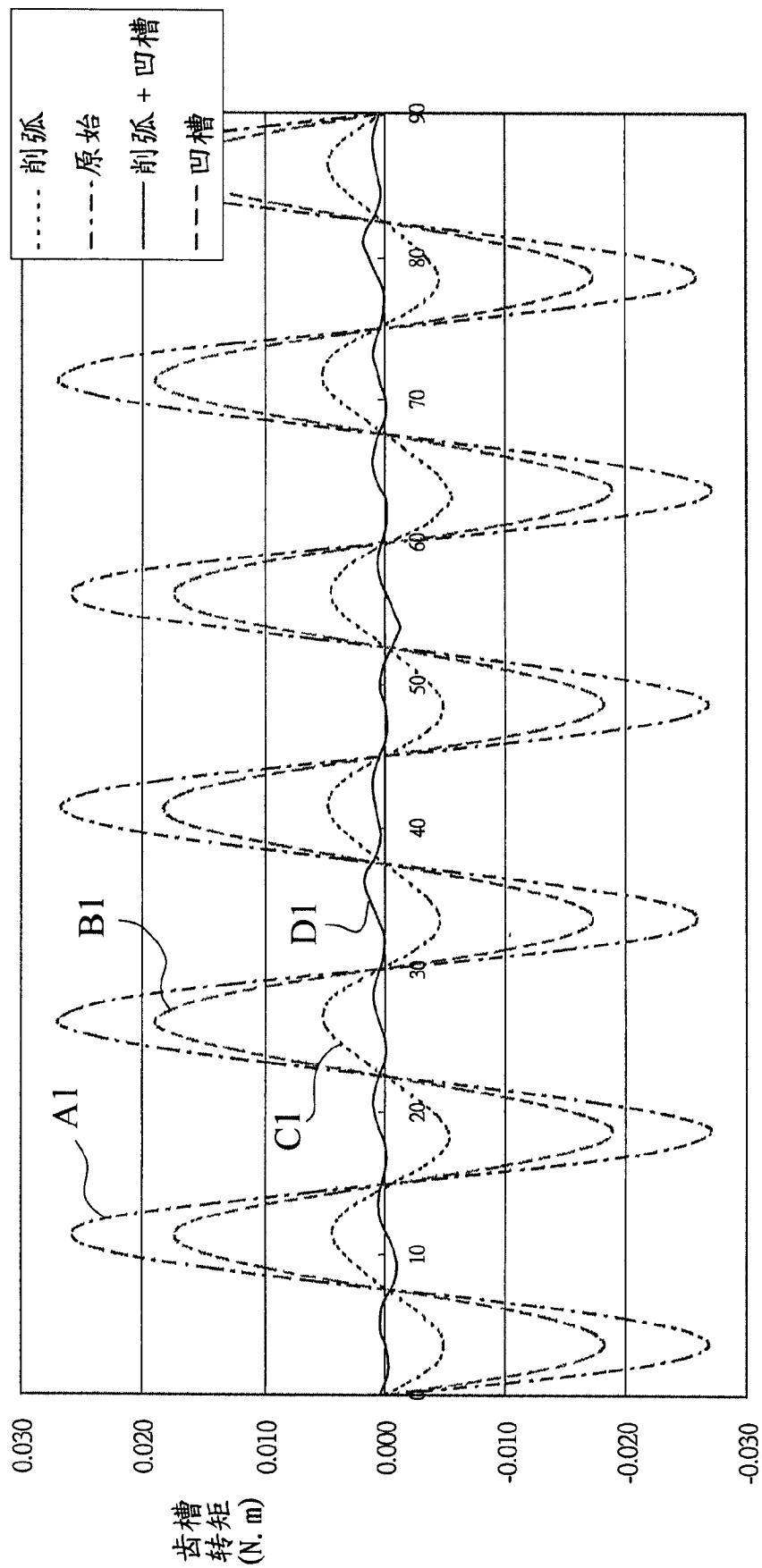
图 7



8



图



位置 (机械角)

图 9

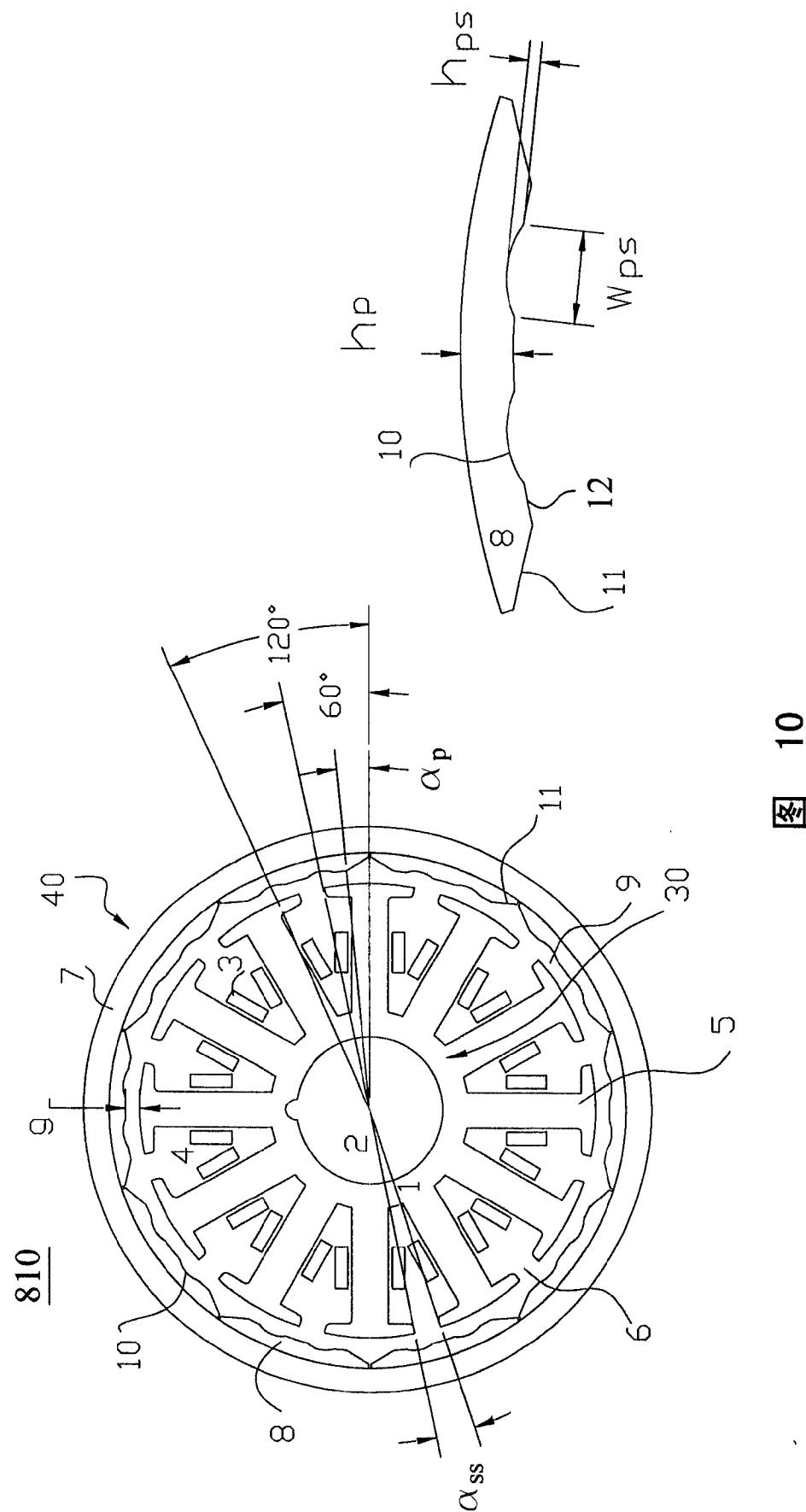


图 10

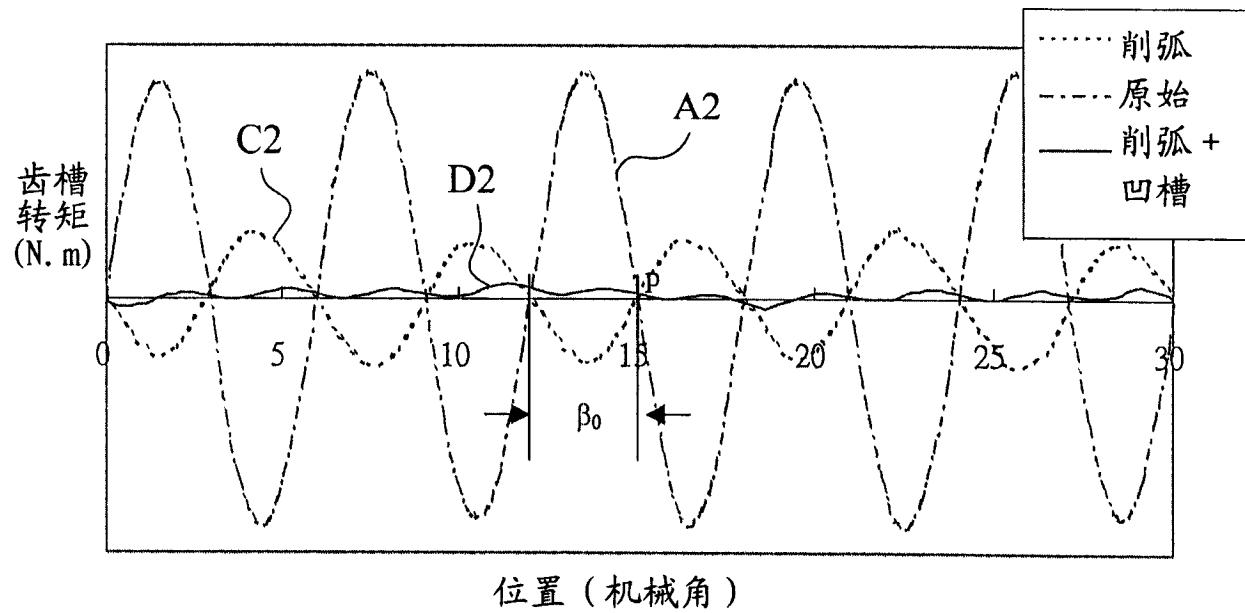


图 11

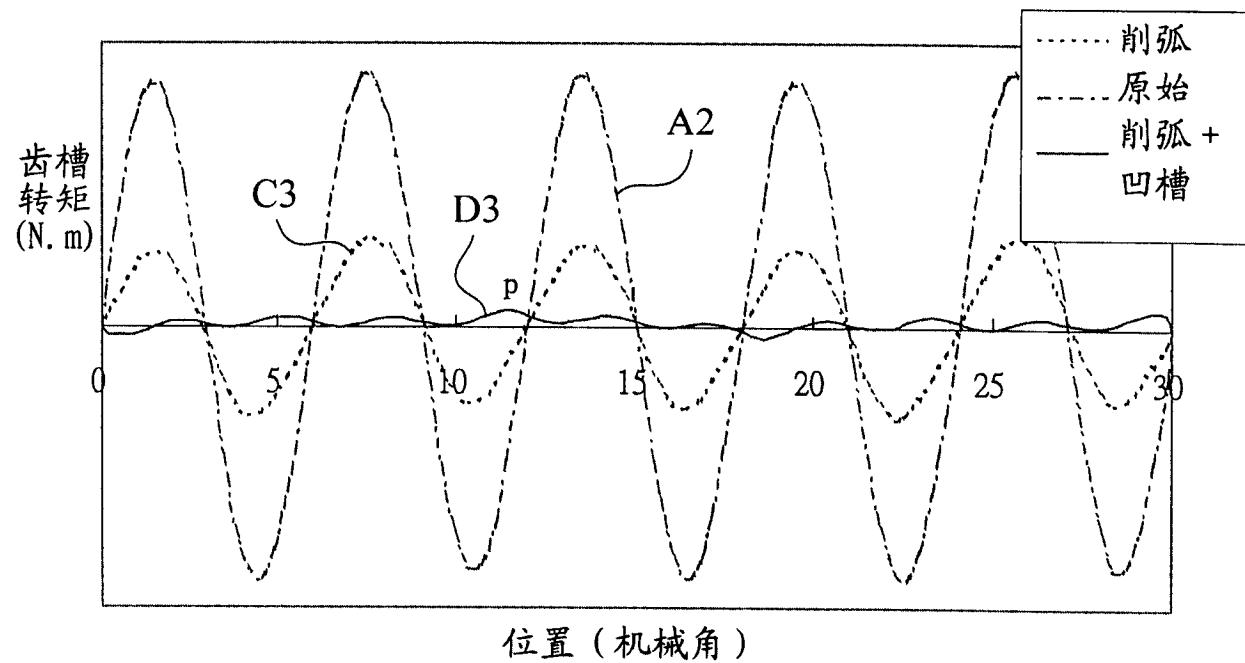
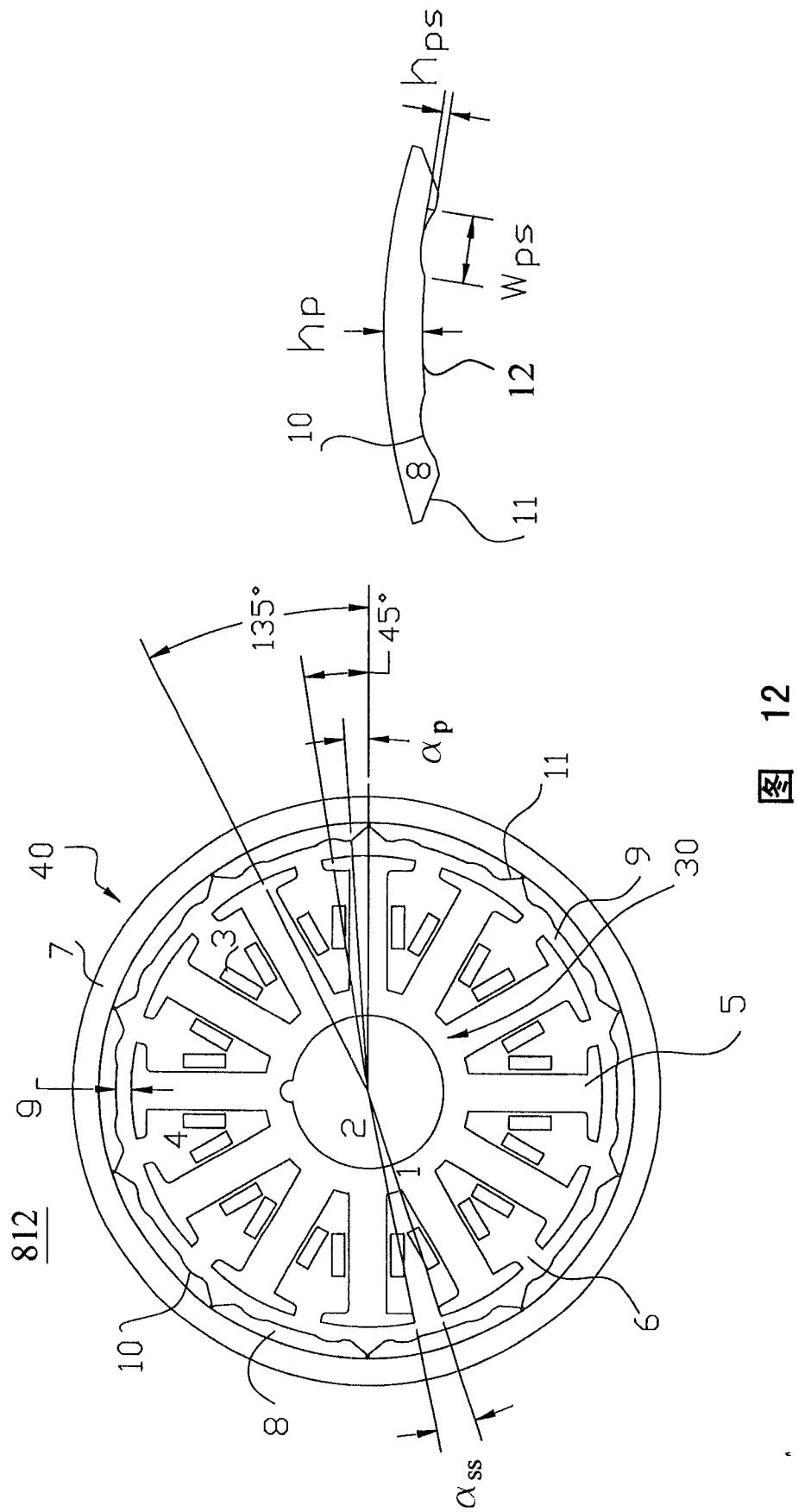


图 13



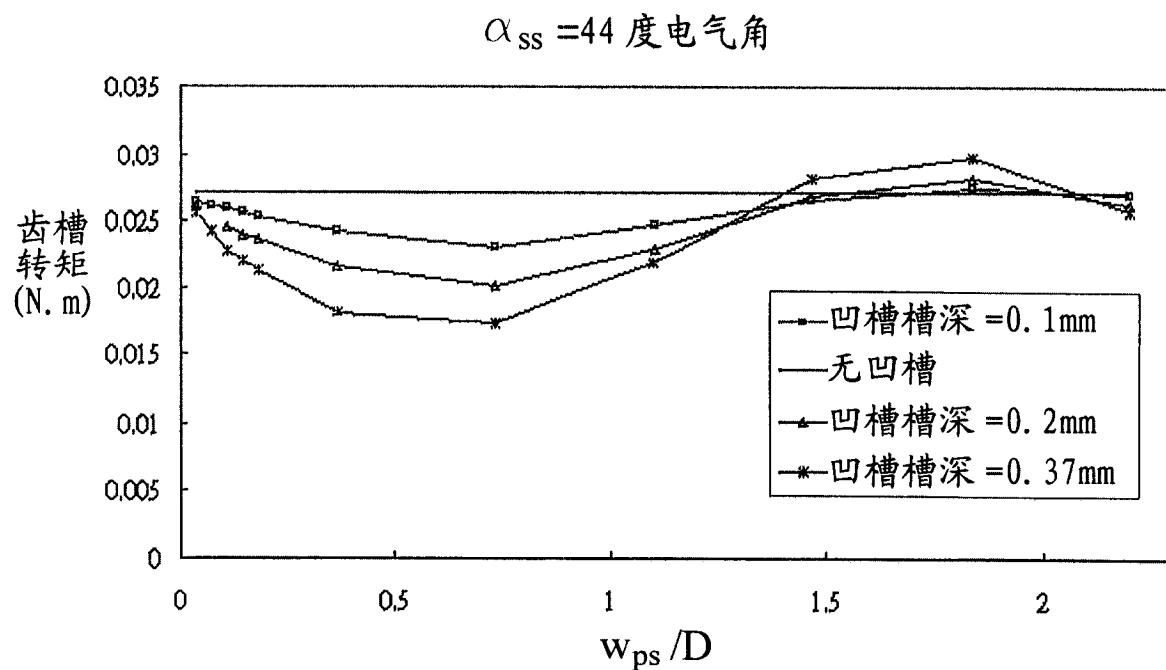


图 14

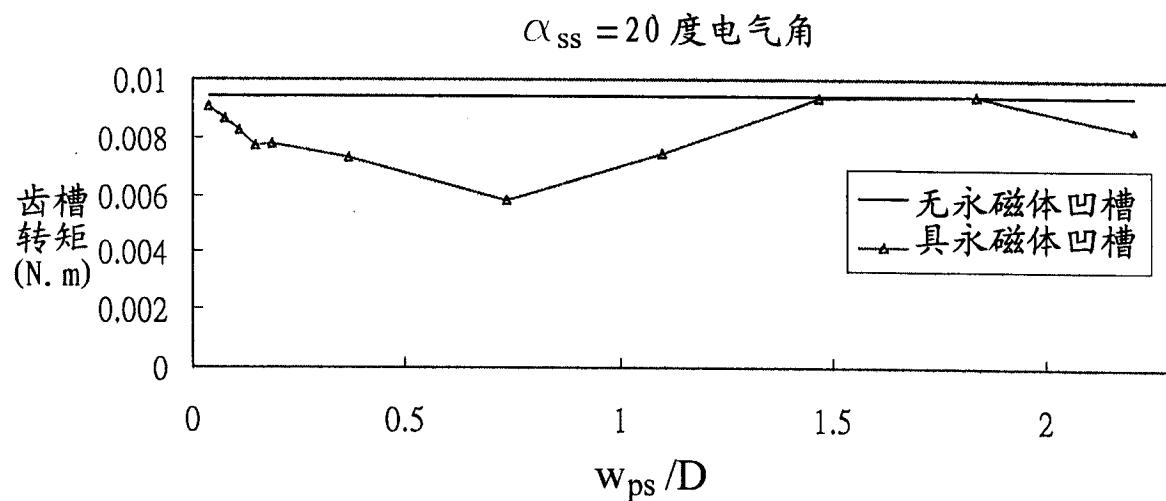


图 15

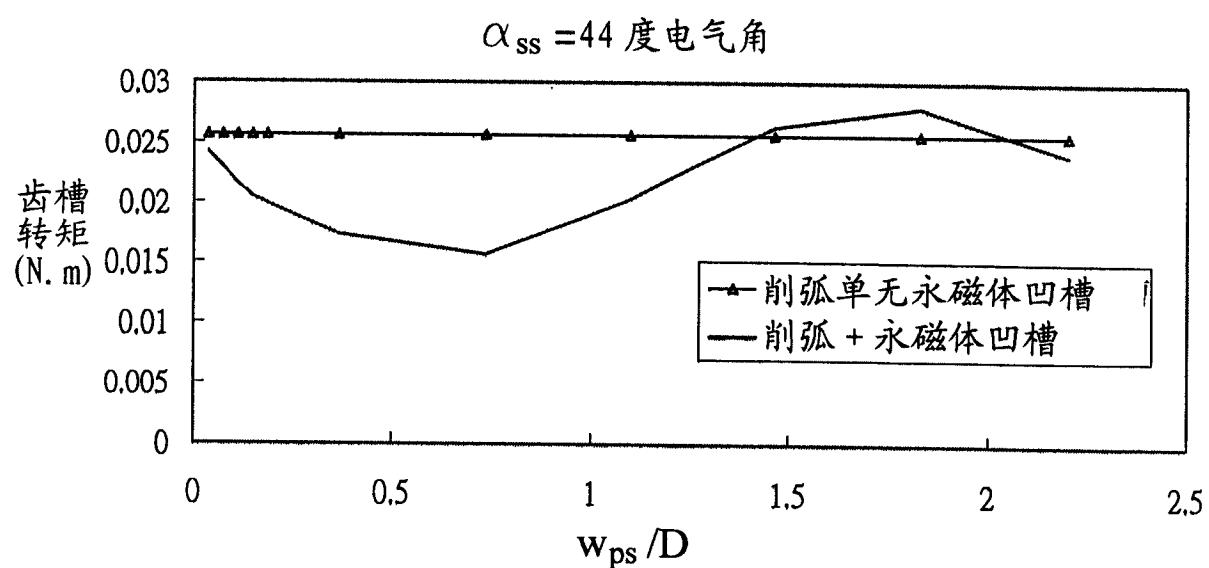


图 16