

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02K 1/14 (2006.01)

H02K 29/00 (2006.01)

H02K 5/24 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610080945.4

[43] 公开日 2006年12月20日

[11] 公开号 CN 1881746A

[22] 申请日 2006.5.23

[21] 申请号 200610080945.4

[30] 优先权

[32] 2005.5.24 [33] JP [31] 2005-151493

[71] 申请人 三美电机株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 高桥勇树 稻本繁典 清原纯一

镰仓吉克

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司

代理人 张敬强

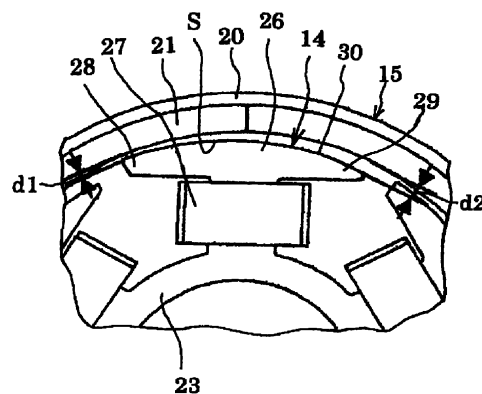
权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图 9 页

[54] 发明名称

单相无刷电动机

[57] 摘要

本发明可抑制成为振动·噪音的诱因的发生转矩和制动转矩的相位差的减少并可减小转矩脉动。单相无刷电动机具备在定子铁芯(23)的凸极齿(26)上缠绕有线圈(27)的定子(14)及与该定子铁芯(14)之间在半径方向上留有空隙且具有相对配置的环状永磁铁(21)的转子(15)。使从定子铁芯(23)的中心到凸极齿(26)的齿端面(30)的距离在凸极齿(26)的旋转方向两端部间不同以使空隙的大小在凸极齿(26)的旋转方向两端部之间存在差距。凸极齿(26)的旋转方向两端部间的最小空隙长度(d1)和最大空隙长度(d2)之间的关系为从 $d1 : d2 = 1 : 2$ 到 $d1 : d2 = 1 : 3$ 。



1. 一种单相无刷电动机，具备在定子铁芯的凸极齿上缠绕有线圈的定子及与该定子铁芯之间在半径方向上留有空隙且具有相对配置的环状永磁铁的转子，而且是使从上述定子铁芯的中心到上述凸极齿的齿端面的距离在上述凸极齿的旋转方向两端部间不同以使上述空隙的大小在上述凸极齿的旋转方向两端部之间产生差距而构成的单相无刷电动机，其特征在于：

在将上述凸极齿的旋转方向的一端部上形成的最小空隙长度设为 d_1 、上述旋转方向的另一端部上形成的最大空隙长度设为 d_2 的情况下，上述凸极齿的旋转方向的一端部上形成的最小空隙长度 d_1 和上述旋转方向的另一端部上形成的最大空隙长度 d_2 之间的关系为从 $d_1 : d_2 = 1 : 2$ 到 $d_1 : d_2 = 1 : 3$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的单相无刷电动机，其特征在于：

上述凸极齿的齿端表面形成为在从最小空隙长度侧一个端部到最大空隙长度侧另一个端部的范围内上述空隙逐渐增大的凸状曲面。

3. 根据权利要求 2 所述的单相无刷电动机，其特征在于：

上述凸状曲面的截面为圆弧状，该圆弧状做成与以从上述定子铁芯的中心向预定方向偏心的点为中心的圆弧相同或近似的大体圆弧。

4. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的单相无刷电动机，其特征在于：

使上述相邻的凸极齿间的旋转方向上的狭缝宽度为 7° 。

5. 根据权利要求 1、2、3 或 4 所述的单相无刷电动机，其特征在于：

上述定子铁芯具有在周向上等间隔地设置的 6 个上述凸极齿，上述永磁铁其 N 极和 S 极在周向上交错且等分地磁化共计 6 个上述凸极齿。

单相无刷电动机

技术领域

本发明涉及单相无刷电动机，特别涉及由定子铁芯和转子永磁铁的相互作用来实现降低齿槽转矩的单相无刷电动机。

背景技术

一般的无刷电动机不但具有作为直流电动机特征的转矩大、控制性良好等，而且可靠性高，所以在工业领域应用广泛。其中，特别广泛地普及化的有单相型和三相型的无刷电动机。

特别是三相无刷电动机需要以电角上互相之间差 120° 相位的三相交流电来通电。因此，需要三个磁力传感器及使用该磁力传感器且为了进行线圈通电的切换而具有三相切换功能的驱动电路。所以，例如，如吹风冷却用电动机，适用于必须廉价地形成的电动机，所以在经济方面不是上策。

这种情况下，理想的是：用一个磁力传感器即可，且还可由一相的廉价驱动电路构成，并使用单相无刷电动机。

图 12 是表示现有单相型无刷电动机一个实例的磁力回路模式图，图 13 是放大图 12 中电动机的一部分的图。在图 12 及图 13 中，该无刷电动机 1 安装并固定于装置（未图示）侧的定子 3 和相对于该定子 2 而被旋转驱动的转子 3 构成。

转子 3 由 6 极被磁化的环状永磁铁 4 和磁轭部 5 构成。另一方面，定子 2 具有配置于永磁铁 4 内周面侧的定子铁芯 6。

定子铁芯 6 例如层叠硅钢板而形成，将在转子 3 的轴（未图示）的轴向上延伸的 6 个狭缝 7、7…及狭缝 8、8…沿圆周方向在等分位置上配设，且在该狭缝 7、7…及狭缝 8、8…中设有在圆周方向上等分地分离的大体为 T 字状的 6 个凸极齿 9、9…。各凸极齿 9、9…上缠绕有导线，形成作为卷线的线圈 10。

而且，在该单相无刷电动机 1 的情况下，将通向线圈 10、10…的电流根

据转子 3 的位置来依次切换，得到连续的旋转力。

图 14 是表示无刷电动机 1 中转子 3 的旋转位置和发生转矩之间关系的特性图，竖轴是转矩 (gf·cm)，横轴是转子 3 的转角 (deg)。虽然图 12 所示类型的单相无刷电动机 1 可得到图 14 所示的发生转矩 T1，但是在通电切换点 (图 14A 部) 中，存在转矩 T1 为 0 的旋转位置，即所谓的“死点”。在转子 3 停止于该“死点”上时，由于不可能产生转矩，且由磁力传感器所进行的位置检测也变得不可能，所以不能自启动。

对此，已知的现有技术有，在转子 3 的旋转方向上，加工定子铁芯 6 的凸极齿 9 的齿端面以使定子铁芯 6 和永磁铁 4 的空隙长度能够变化，且产生例如图 15 所示的制动转矩 (ディテントトルク) (齿槽转矩) T2，并将其添加到发生转矩 T1 以得到图 16 所示的合成转矩 T3，从而没有“死点”且流畅地进行自启动 (例如，参照专利文献 1—美国第 3873897 号专利)。再有，图 15 及图 16 也为：竖轴是转矩 (gf·cm)，横轴是转子 3 的转角 (deg)。这里，电动机的合成转矩 T3 通过制动转矩 T2 的相位和发生转矩 T1 的相位差而使转矩脉动量变化。

根据专利文献 1 公开的发明的现有型电动机，虽然制动转矩的相位根据铁芯和永磁铁的空隙长度的倾斜而变化，但是在制动转矩的相位和制动转矩的相位差不充分的情况下，转矩脉动增大，且成为振动·噪音的原因，并在电动机质量上成为大问题。

发明内容

于是，产生了以下有待解决技术问题：抑制成为振动·噪音的诱因的发生转矩和制动转矩的相位差的减少而使转矩脉动减小，所以本发明以解决问题为目的。

本发明是为实现上述目的而提出的技术方案，方案 1 所述的发明是一种单相无刷电动机，具备在定子铁芯的凸极齿上缠绕有线圈的定子及与该定子铁芯之间在半径方向上留有空隙且具有相对配置的环状永磁铁的转子，使从上述定子铁芯的中心到上述凸极齿的齿端面的距离在上述凸极齿的旋转方向两端部间不同以使上述空隙的大小在上述凸极齿的旋转方向两端部之间存在差距而构成的单相无刷电动机，其特征在于，提供一种在将上述凸极齿的旋

转方向的一端部上形成的最小空隙长度设为 d_1 、上述旋转方向的另一端部上形成的最大空隙长度设为 d_2 的情况下，上述凸极齿的旋转方向的一端部上形成的最小空隙长度 d_1 和上述旋转方向的另一端部上形成的最大空隙长度 d_2 之间的关系为 $d_1 : d_2 = 1 : 2$ 到 $d_1 : d_2 = 1 : 3$ 的单相无刷电动机。

根据该构成，制动转矩和发生转矩的相位差为磁极间角度的四分之一的角度，即 15° ，通过相位交错的效果而降低了制动转矩和发生转矩的合成转矩的脉动量。

根据方案 1，方案 2 所述的发明提供一种单相无刷电动机，其特征在于，上述凸极齿的齿端表面形成为在从最小空隙长度侧一个端部到最大空隙长度侧另一个端部的范围内上述空隙逐渐增大的凸状曲面。

根据该构成，由于利用从加工有最大空隙长度的凸极齿的齿端表面到加工有最小空隙长度的凸极齿的齿端表面的范围内连续的凸状曲面来形成凸极齿的齿端表面，所以得到了上述空隙长度在转子旋转方向上连续且不同的电动机。

根据方案 2，方案 3 所述的发明提供一种单相无刷电动机，其特征在于，上述凸状曲面的截面为圆弧状，该圆弧状做成与以从上述定子铁芯的中心向预定方向偏心的点为中心的圆弧相同或近似的大体圆弧。

根据该构成，由于上述连续曲面的截面外周形状是具有以上述定子铁芯中心附近的偏心点为中心而描绘的圆弧或与其类似的大体圆弧的凸状曲线，所以容易制成具有上述空隙长度的大小在旋转方向上逐渐变化的齿端表面的凸极齿。

根据方案 1、2 或 3，方案 4 所述的发明提供一种单相无刷电动机，其特征在于，使上述相邻的凸极齿间的旋转方向上的狭缝宽度为 7° 。

根据该构成，通过使相邻的凸极齿间的旋转方向上的狭缝宽度为 7° ，可抑制发生转矩和制动转矩的相位差的减小。

根据方案 1、2、3 或 4，方案 5 所述的发明提供一种单相无刷电动机，其特征在于，上述定子铁芯具有在周向上等间隔地设置的 6 个上述凸极齿，上述转子永磁铁其 N 极和 S 极在周向上交错且等分地磁化共计 6 个上述凸极齿。

根据该构成，得到了在周向上交错且均等地磁化 6 个磁极和 6 个凸极构造的单相无刷电动机，这样，可相对于各磁极产生磁极的 1/4 相位交错。

发明效果：

方案 1 所述的发明，由于制动转矩和发生转矩的相位差增大且合成转矩的脉动量降低，所以可抑制电动机的振动和噪音。而且，单相无刷电动机虽然在构造上磁极和铁芯凸极的数量相同，但是可相对于各磁极而产生磁极的四分之一相位交错，所以可与磁极数无关地且效率良好地发挥上述脉动量的降低效果。

方案 2 所述的发明，由于通过采取凸极一个端部为最小空隙长度的构成而可增大制动转矩和发生转矩的相位差，所以除了方案 1 的发明效果以外，还可容易地得到具有与用途符合地转矩脉动降低效果的电动机。

方案 3 所述的发明，由于上述空隙长度在转子旋转方向上逐渐不同，所以除了方案 2 的发明效果以外，还可进一步有效地抑制电动机的振动·噪音。

方案 4 所述的发明，由于可效率良好地抑制发生转矩和制动转矩的相位差的减少，所以除了方案 1、2 或 3 的发明效果以外，不但抑制电动机的振动·噪音的效果也好，而且提高了电动机的旋转特性并进一步提高电动机的控制精度。

方案 5 公开的发明，可容易地制造具有由方案 1、2、3 或 4 的发明所得的上述特别效果的 6 磁极和 6 凸极构造的单相无刷电动机。

附图说明

图 1 是作为本发明第 1 实施方式表示的单相无刷电动机的外观图。

图 2 是图 1 所示单相无刷电动机的立体图。

图 3 是表示图 1 所示单相无刷电动机的内部构造的磁力回路模式图。

图 4 是图 3 所示磁力回路的部分放大图。

图 5 是图 3 所示定子铁芯的俯视图。

图 6 是最小空隙长度 d_1 和最大空隙长度 d_2 之间关系为 $d_1 : d_2 = 1 : 3$ 的图 1 所示的单相无刷电动机发生转矩和制动转矩的特性图。

图 7 是将最小空隙长度 d_1 和最大空隙长度 d_2 之间关系为 $d_1 : d_2 = 1 : 3$ 的图 1 所示的单相无刷电动机发生转矩和制动转矩合成的合成转矩的特性

图。

图 8 是最小空隙长度 d_1 和最大空隙长度 d_2 之间关系为 $d_1:d_2=1:1.5$ 的单相无刷电动机的发生转矩和制动转矩的特性图。

图 9 是将最小空隙长度 d_1 和最大空隙长度 d_2 之间关系为 $d_1:d_2=1:1.5$ 的单相无刷电动机的发生转矩和制动转矩合成的合成转矩的特性图。

图 10 是最小空隙长度 d_1 和最大空隙长度 d_2 之间关系为 $d_1:d_2=1:2$ 的本发明第二实施方式的单相无刷电动机的发生转矩和制动转矩的特性图。

图 11 是将最小空隙长度 d_1 和最大空隙长度 d_2 之间关系为 $d_1:d_2=1:2$ 的本发明第二实施方式的单相无刷电动机的发生转矩和制动转矩合成的合成转矩的特性图。

图 12 是表示现有单相无刷电动机的内部构造的磁力回路模式图。

图 13 是图 12 所示的磁力回路的部分放大图。

图 14 是图 12 所示的无刷电动机的发生转矩的特性图。

图 15 是图 12 所示的无刷电动机的制动发生转矩的特性图。

图 16 是将图 12 所示的无刷电动机的发生转矩和制动转矩合成的合成转矩特性图。

图中：

11—单相无刷电动机	12—基板	13—外壳
14—定子	15—转子	16—驱动器 IC
17—磁力传感器	18—轴承	19—轴承
20—转子盒	21—永磁铁（转子永磁铁）	
22—轴	23—定子铁芯	24—狭槽
25—狭缝	26—凸极齿	27—线圈
28—凸极齿的一个端部	29—凸极齿的另一个端部	
30—齿端面	d —空隙长度	d_1 —最大空隙长度
d_2 —最大空隙长度	L —距离	θ —狭缝宽度

具体实施方式

下面将举出合适实施例来说明本发明的单相无刷电动机。本发明的优选方式用于实现抑制成为振动·噪音的诱因的发生转矩和制动转矩的相位差的

减少并有效减小合成转矩的目的，其实现通过：具备定子及在半径方向上空出空隙且具有相对配置的环状永磁铁的转子，且使从定子铁芯的中心 O 到凸极齿的齿端面的距离在上述旋转方向两端部间不同以使上述空隙的大小在凸极齿的旋转方向两端部之间存在差距，并在将凸极齿的旋转方向的一端部上形成的最小空隙长度设为 d_1 、旋转方向的另一端部上形成的最大空隙长度设为 d_2 的情况下，上述凸极齿的旋转方向的一端部上形成的最小空隙长度 d_1 和上述旋转方向的另一端部上形成的最大空隙长度 d_2 之间的关系设定为 $d_1:d_2=1:2$ 到 $d_1:d_2=1:3$ ，上述凸极齿的齿端表面形成为在从最小空隙长度侧一个端部到最大空隙长度侧另一个端部的范围内上述空隙逐渐增大的凸状曲面，该大体圆弧状包含以从上述中心 O 与上述齿端表面相对侧的预定偏移点为中心的圆弧和相同或近似的大体圆弧，使相邻凸极齿间的旋转方向上的狭缝宽度为 7° 。

上述连续曲面的截面形状可形成为上述空隙的大小在旋转方向上逐渐不同，例如，用下面的方法描绘（参照图 5）。即，将具有最小空隙长度侧一端和上述铁芯中心 O 之间的距离尺寸 L 的可动直线设为 T，随着从最小空隙长度侧一端 E 前进到最大空隙长度侧另一端 F，该齿端表面缓慢地向中心 O 侧倾斜，使可动直线 T 的基端与预定方向，即连接中心 O 和最小空隙长度侧一端 E 的方向大体为直角，且在移动位置到与最小空隙长度侧一端 E 相反侧（图 5 中下侧）的同时，将可动直线 T 的前端作为旋转到最大空隙长度时上述前端的圆弧状轨迹曲线来进行描绘。

当然，本发明的上述曲面并不限于此，只要是在从最小空隙长度侧的齿端表面到最大空隙长度侧的齿端表面的范围内使上述空隙逐渐增大的大体圆弧状前面，则皆包含于本发明电动机内。

实施例

图 1 是作为本发明第 1 实施方式而表示的单相无刷电动机的外观图，图 2 是图 1 所示单相无刷电动机的分解立体图。图 3—图 5 表示其各部分的详情。再有，虽然图示形式适用于电子设备的吹风冷却用外转子型无刷电动机，但本发明当然并不限于此。

图 1 及图 2 所示的单相无刷电动机 11 是外转子形状，且是 6 磁极·6 凸

极形状的单相无刷电动机。单相无刷电动机 11 由相对于在装置（未图示）侧经基板 12 固定的外壳 13 而安装的定子 14 和相对于该定子 14 而被旋转驱动的转子 15 构成。此外，基板 12 上除安装了组装有控制驱动电流的供给等并驱动电动机的电路的驱动器 IC16 和检测转子 15 的旋转位置的磁力传感器 17 以外，还安装了转子用轴承 18 及轴承 19。

转子 15 由转子盒 20 和永磁铁 21 及轴 22 构成。转子盒 20 呈帽形，且内部同轴固定了轴 22 的一端。该轴 22，其另一端侧嵌入轴承 18 及轴承 19，可相对于定子 14 旋转地被保持。此外，转子盒 20 的内周面上固定有环状永磁铁 21。永磁铁 21 朝向圆周方向将 N 极、S 极交错地以等间隔配置，且在内周面上设有 6 个磁极。

定子 14 同心地配置于永磁铁 21 的内周面侧，且具有固定在外壳 13 的外周的环状定子铁芯 23。该定子铁芯 23 由层压例如硅钢板而形成，且将在轴 22 的轴向上延伸的 6 个狭槽 24、24…及 6 个狭缝 25、25…沿圆周方向等分地设置。通过该狭槽 24、24…及狭缝 25、25…，在圆周方向上以 60°间隔等分地设有成为分离的大体为 T 字状凸极的 6 个凸极齿 26、26…。在各凸极齿 26、26 形成有将导线卷绕成所定圈数而成的作为绕线的线圈 27。各线圈 27 的构成为分别连接到驱动器 IC16，通过驱动器 IC16 的控制来供给驱动用电流并得到连续的旋转力。

如图 4 中放大所表示的那样，定子 14 的凸极齿 26、26…的各齿端面（齿的外侧端面）30 为上述凸极齿 26、26…和永磁铁 21 的内周面之间的空隙长度在转子 15 的旋转方向上即凸极齿 26、26…的旋转方向两端部 28、29 之间有差距。在本实施方式中，从上述定子铁芯 23 的中心 O 到上述凸极齿的齿端面 30 的距离（空隙长度）形成为在上述凸极齿 26 的旋转方向两端部 28、29 之间互相不同。具体地说，凸极齿 26 的旋转方向一端 28 侧制造有最小空隙长度 d_1 ，旋转方向另一端 29 侧制造有最大空隙长度 d_2 ，从旋转方向一端 28 侧到旋转方向另一端 29 侧由连续曲面 S 形成。

再有，在本实施方式中，将旋转方向一端 28 侧的最小空隙长度 d_1 和旋转方向另一端 29 的最大空隙长度 d_2 之间关系设定为 $d_1 : d_2 = 1 : 3$ 。此外，上述齿前端 30 的曲面 S 形状由于在这里形成为以铁芯中心 O 附近偏心点 C

为中心的圆弧面状,所以最小空隙长度侧端部 28 的曲率半径 L 和最大空隙长度侧端部 29 的曲率半径 R 相同。

如图 5 所示, 如果将连接与上述凸极齿 26 的最大空隙长度侧端部 29 相邻侧的凸极齿 26A 的旋转方向中心 P 和定子铁芯 23 的中心 O 的径向直线设为 D , 则在图 5 中, 上述偏心点 C 位于径向直线 D 上的从中心 O 向下侧侧(与凸极齿 26 相反的一侧) 移动一些的位置上。

曲面 S 的正视大致呈圆弧状曲线用例如下面的方法描绘。即, 如果将与从最小空隙长度侧一端 28 到中心 O 的距离大体相同长度的定直线 H 的内侧(铁芯中心 O 侧) 端点设为 $H1$ 、外侧端点设为 $H2$, 则将内侧端点 $H1$ 以铁芯中心 O 为起点沿径向直线 D 向下侧方向(远离最大间隙长度侧另一端 29 的方向) 连续位移, 同时, 在将定直线 H 旋转移动到最大间隙长度侧另一端 29 侧时, 由外侧端点 $H2$ 描绘的凸状曲线来形成上述曲线。这时, 外侧端点 $H2$ 的轨迹曲线为铁芯中心 O 和齿端面 30 间的距离随着朝向图中顺时针方向而变小的大体圆弧形状, 如上所述, 类似于以从铁芯中心 O 向图中下侧偏心的点 C 为中心而描绘的圆弧。

再有, 相邻凸极齿 26、26 间的狭缝 25 的宽度 θ 设定为 7° 。如果如此形成, 则可抑制发生转矩和制动转矩的相位差的减少, 从而可抑制电动机的振动和噪音。

接着, 为了确认本发明的单相无刷电动机 11 的作用和效果, 对下述实施例 1、2、3 进行验证。对该实施例 1—3 的结果进行说明。

图 6 是表示在与本实施方式的构造相同且将旋转方向一端 28 侧的最小空隙长度 $d1$ 和旋转方向另一端 29 侧的最大空隙长度 $d2$ 之间关系设定为 $d1:d2=1:3$ 及将相邻凸极齿 26、26 间的狭缝 25 的宽度 θ 设定为 7° 的情况下, 发生转矩和制动转矩相对于转角的关系的特性图。再有, 图中, $T1$ 表示发生转矩, $T2$ 表示制动转矩。图 7 表示图 6 中发生转矩 $T1$ 和制动转矩 $T2$ 的合成转矩 $T3$ 。在图 6 及图 7 中, 竖轴是转矩 ($gf\cdot cm$), 横轴是转子 3 的转角 (deg)。

从图 6 及图 7 所示可知, 在实施例 1 及本实施方式的构造中, 发生转矩 $T1$ 和制动转矩 $T2$ 的相位差为磁极间角度四分之一的角度, 即 15° , 且由相位偏差的效果可降低 35% 以上的合成转矩的脉动。

图 8 是比较例，是表示在与本实施方式的构造相同且将旋转方向一端 28 侧的最小空隙长度 d_1 和旋转方向另一端 29 侧的最大空隙长度 d_2 之间关系设定为 $d_1: d_2=1: 1.5$ 及将相邻凸极齿 26、26 间的狭缝 25 的宽度 θ 设定为 7° 的情况下，发生转矩和制动转矩相对于转角的关系的特性图。再有，图中， T_1 表示发生转矩， T_2 表示制动转矩。图 9 表示图 8 中发生转矩 T_1 和制动转矩 T_2 的合成转矩 T_3 。

这里，将旋转方向一端 28 侧的最小空隙长度 d_1 和旋转方向另一端 29 侧的最大空隙长度 d_2 之间关系设定为 $d_1: d_2=1: 3$ 的图 6 及图 7 所示的实施例 1（本实施方式）的结果和设定为 $d_1: d_2=1: 1.5$ 的图 8 及图 9 所示的比较例的结果进行比较。在 $d_1: d_2=1: 1.5$ 的比较例的构造中，发生转矩 T_1 和制动转矩 T_2 的相位差限于 11° ，与实施例 1 的构造比较少 4° 。其结果，40AT（例如线圈为 80 匝，输入电流为 0.5A）时，对于输入时的转矩脉动，比较例中为 77.7gf·cm，与此相对，实施例 1 中为 64.2gf·cm。由此可知，通过使用本实施方式的构造，能降低 17.4% 的转矩脉动。

图 10 是表示本发明的第二实施方式，将旋转方向一端 28 侧的最小空隙长度 d_1 和旋转方向另一端 29 侧的最大空隙长度 d_2 之间关系设定为 $d_1: d_2=1: 2$ 及将相邻凸极齿 26、26 间的狭缝 25 的宽度 θ 设定为 7° 的情况下，发生转矩和制动转矩相对于转角的关系的特性图。再有，图中， T_1 表示发生转矩， T_2 表示制动转矩。图 11 表示图 10 中发生转矩 T_1 和制动转矩 T_2 的合成转矩 T_3 。

在实施例 2 的构造的结果中，发生转矩 T_1 和制动转矩 T_2 的相位差为 13° ，40AT（例如线圈为 80 匝，输入电流为 0.5A）时，输入时的转矩脉动为 68.0gf·cm。其与上述比较例的 $d_1: d_2=1: 1.5$ ，具有能够降低 12.5% 的转矩脉动的效果。

再有，在本发明中，为了降低转矩脉动，理想的是使实际启动时的发生转矩和制动转矩的峰值相等。制动转矩由于因永磁铁的形状、材质及整体的磁力回路（磁路宽度，磁极数）而变化，所以可相应地维持最小空隙长度 d_1 和最大空隙长度 d_2 的关系，改变间隙的大小。在构造上，虽然单相无刷电动机磁极与凸极齿 26 的数量相同，但是由于本发明可相对于各磁极发生磁极的

四分之一相位偏差，所以可与磁极数无关地效率良好地发挥转矩脉动降低效果。

此外，本发明可在不脱离本发明的精神的情况下进行多种变化，且本发明当然也包括这些变化。

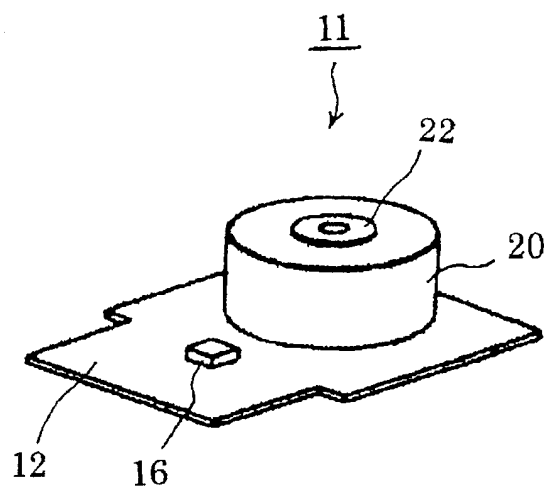


图1

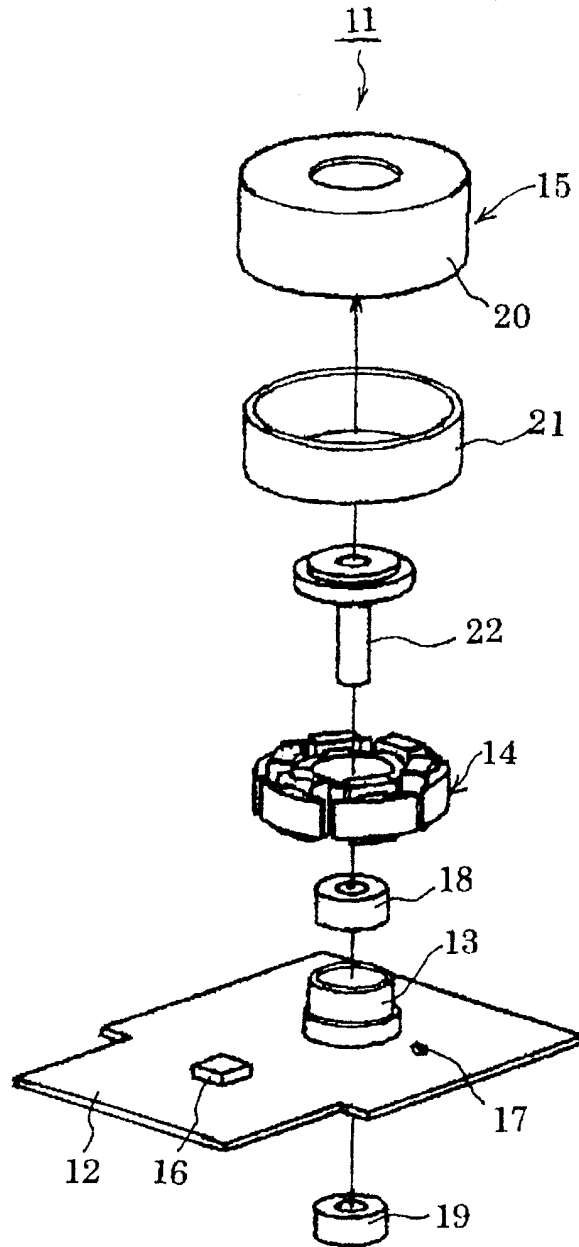


图2

图3

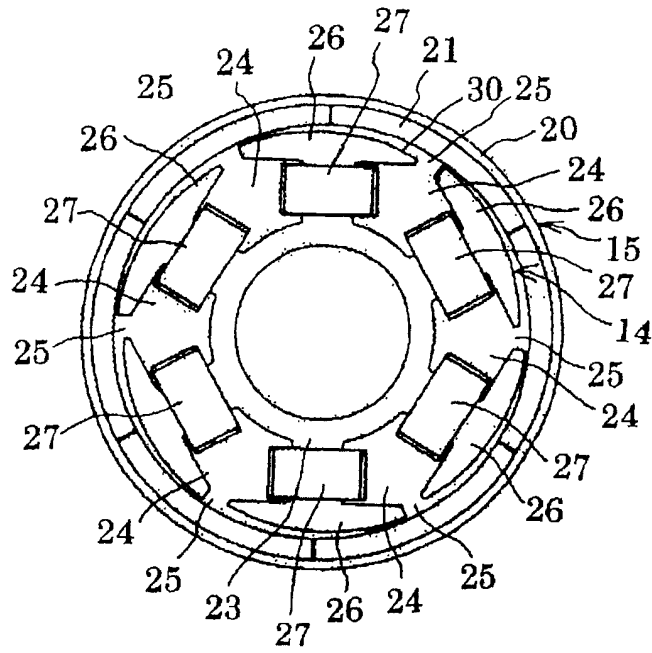


图4

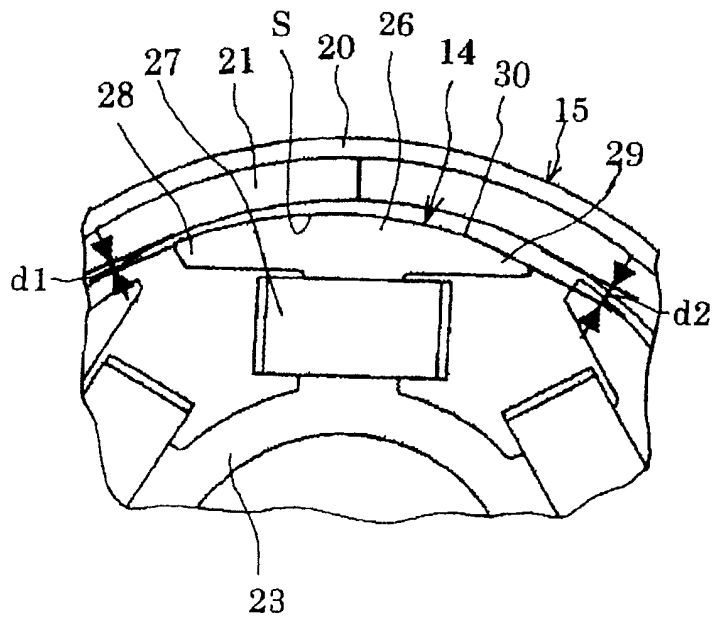


图5

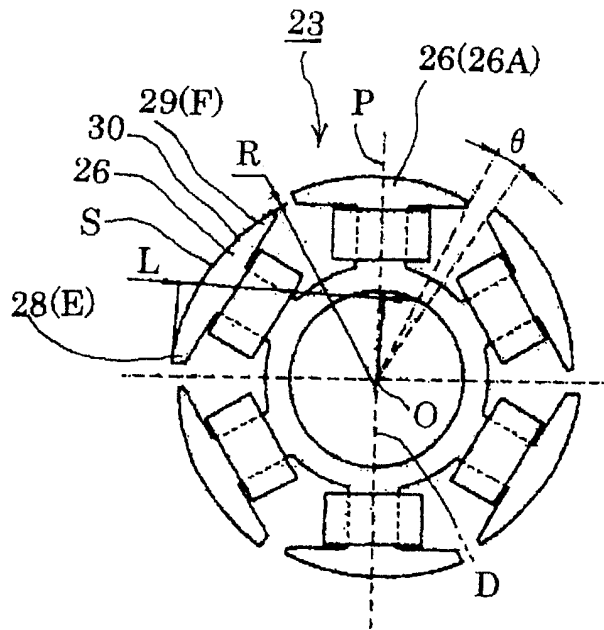


图6

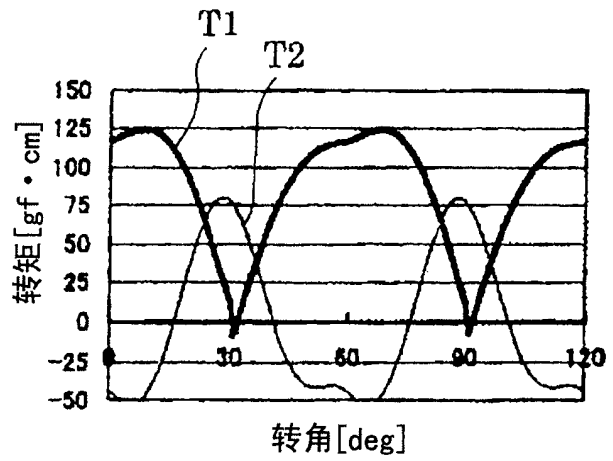


图7

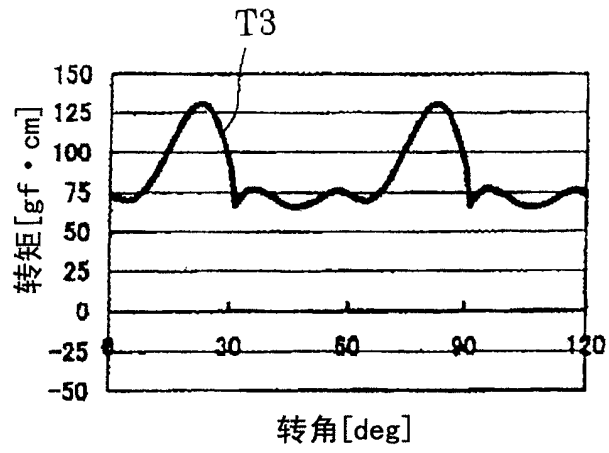


图8

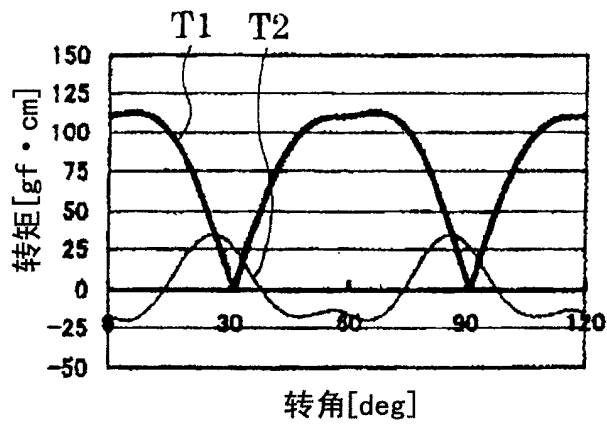


图9

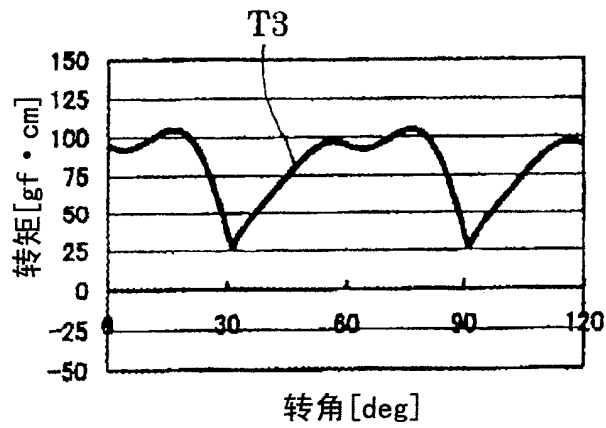


图10

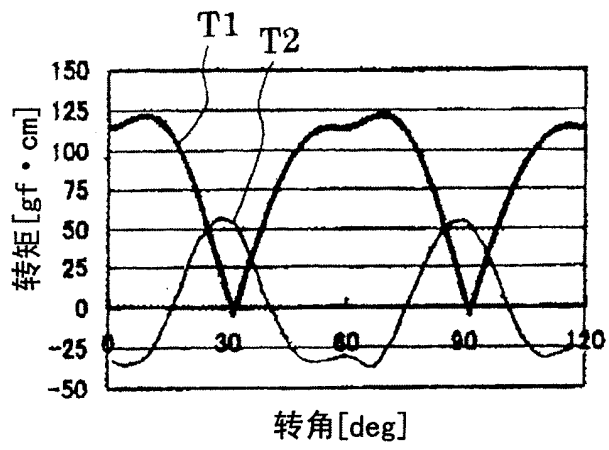


图11

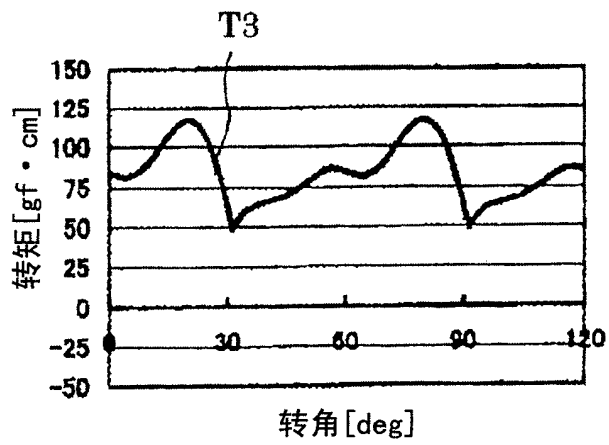


图12

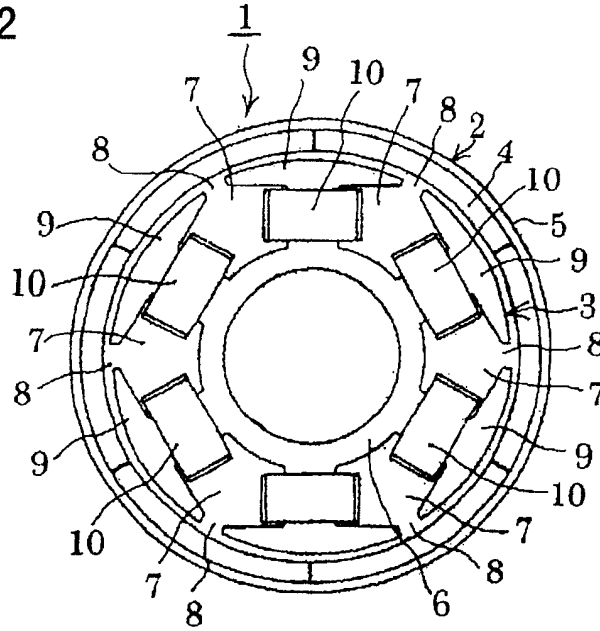


图13

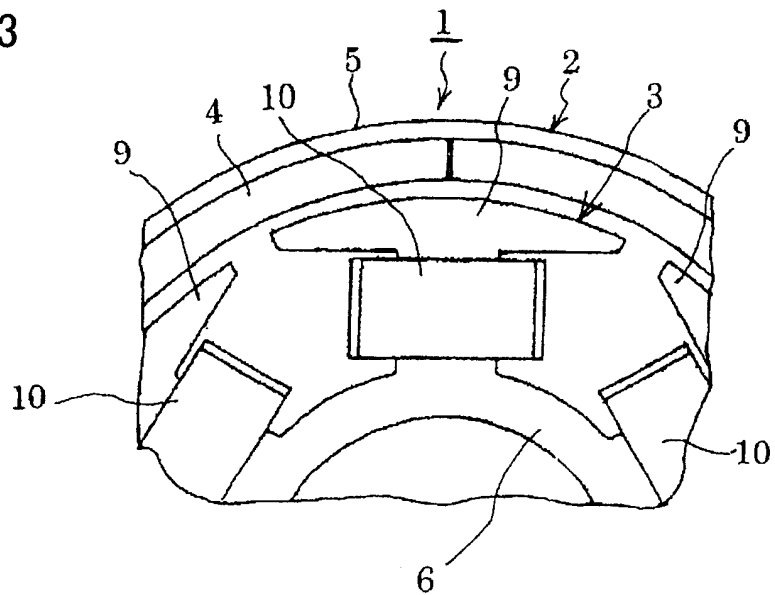


图14

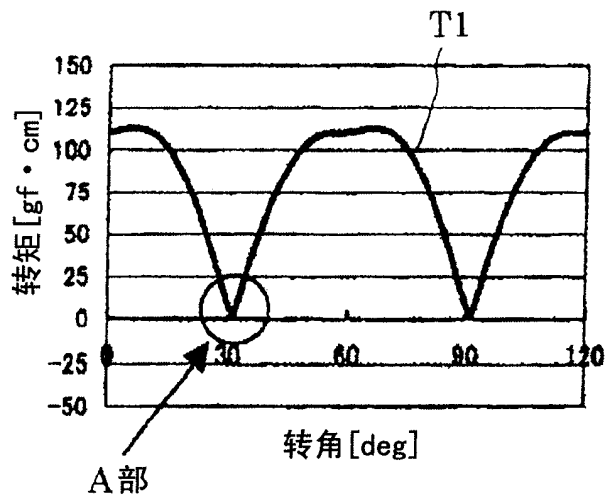
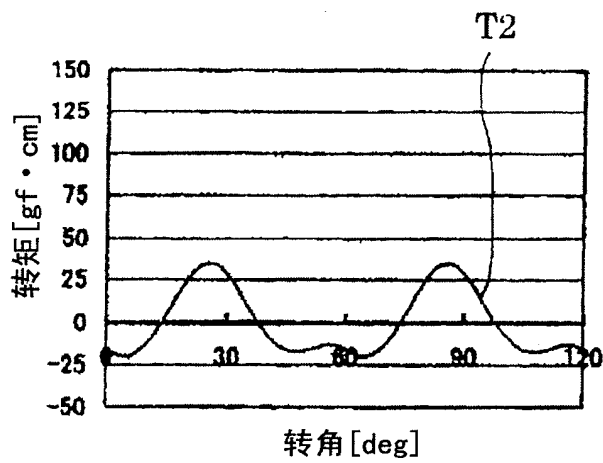


图15



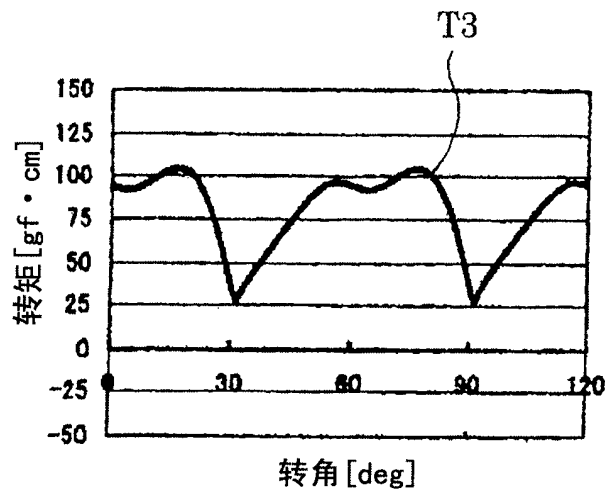


图16