



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101884156 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 10

(21) 申请号 200880116448. 2

代理人 侯颖嫫 胡焯

(22) 申请日 2008. 09. 26

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H02K 1/27(2006. 01)

2007-296477 2007. 11. 15 JP

B62D 5/04(2006. 01)

H02K 21/14(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 05. 11

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2008/067470 2008. 09. 26

(87) PCT申请的公布数据

W02009/063696 JA 2009. 05. 22

(71) 申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 中野正嗣 高岛和久 阿久津悟

浅尾淑人

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

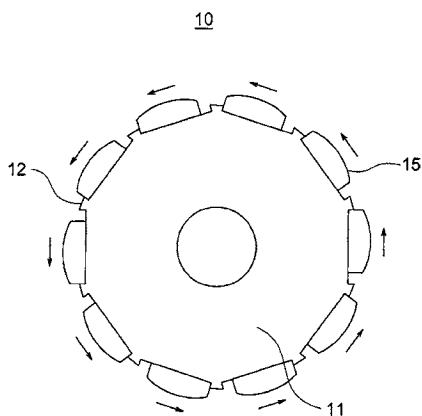
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 19 页

(54) 发明名称

永磁型旋转电机及电动动力转向装置

(57) 摘要

本发明得到一种能够减小因转子侧的偏差所引起的齿槽转矩分量的永磁型旋转电机。在设置有具有多边形的转子铁心及多个永磁体的转子、和具有定子铁心及电枢绕组的定子的永磁型旋转电机中,将极数设为M,将槽数设为N,将M个永磁体沿周向依次设为第1号到第M号,并将第i号(i=1,2,...,M)永磁体中的、离开在径向上到转轴中心的距离相等且在周向上等间隔的基准位置的、周向的位置偏移量设为h_i,这时,定义2πN(i-1)/M(rad)的角度方向的总计M个单位矢量,且对各个单位矢量乘上所述位置偏移量h_i后的总计M个矢量的总和的矢量的大小、比所述位置偏移量h_i的绝对值的最大值要小。



1. 一种永磁型旋转电机,其特征在于,包括:

具有转子铁心及多个永磁体的转子;和

具有定子铁心及电枢绕组的定子,

将极数设为 M (M 为整数),将槽数设为 N (N 为整数),将 M 个永磁体沿周向依次设为第 1 号到第 M 号,并将第 i 号 ($i = 1, 2, \dots, M$) 永磁体中的、离开在径向上到转轴中心的距离相等且在周向上等间隔的基准位置的、周向的位置偏移量设为 h_i ($i = 1, 2, \dots, M$) (含符号),这时,定义 $2\pi N(i-1)/M$ (rad) 的角度方向的总计 M 个单位矢量,且对各个单位矢量乘上所述位置偏移量 h_i 后的总计 M 个矢量的总和的矢量的大小、比所述位置偏移量 h_i 的绝对值的最大值要小。

2. 如权利要求 1 所述的永磁型旋转电机,其特征在于,

所述多个永磁体中,离开在径向上到转轴中心的距离相等且在周向上等间隔的基准位置的、周向的位置偏移在相邻的永磁体中彼此为相反方向。

3. 如权利要求 1 所述的永磁型旋转电机,其特征在于,

利用下述 [数学式 1] 定义的复矢量 K 的大小,比所述位置偏移量 h_i 的绝对值的最大值要小,或者为零,

[数学式 1]

$$K = \sum_{i=1}^M h_i e^{j \frac{2\pi N}{M} (i-1)}$$

(e 为自然对数的底, j 为虚数单位)。

4. 一种永磁型旋转电机,其特征在于,包括:

具有转子铁心及多个永磁体的转子;和

具有定子铁心及电枢绕组的定子,

将极数设为 M (M 为整数),将槽数设为 N (N 为整数),将 M 个永磁体沿周向依次设为第 1 号到第 M 号,并将第 i 号 ($i = 1, 2, \dots, M$) 永磁体中的、周向的形状偏移量设为 c_i ($i = 1, 2, \dots, M$) (含符号),这时,定义 $2\pi N(i-1)/M$ (rad) 的角度方向的总计 M 个单位矢量,且对各个单位矢量乘上所述形状偏移量 c_i 后的总计 M 个矢量的总和的矢量的大小、比所述形状偏移量 c_i 的绝对值的最大值要小。

5. 如权利要求 4 所述的永磁型旋转电机,其特征在于,

所述多个永磁体中,周向的形状偏移在所有永磁体中为相同方向。

6. 如权利要求 4 所述的永磁型旋转电机,其特征在于,

所述多个永磁体中,周向的形状偏移在相邻的永磁体中彼此为相反方向。

7. 如权利要求 4 所述的永磁型旋转电机,其特征在于,

利用下述 [数学式 2] 定义的复矢量 K 的大小,比所述形状偏移量 c_i 的绝对值的最大值要小,或者为零,

[数学式 2]

$$K = \sum_{i=1}^M c_i e^{j \frac{2\pi N}{M} (i-1)}$$

(e 为自然对数的底, j 为虚数单位)。

8. 一种永磁型旋转电机, 其特征在于, 包括:

具有多边形的转子铁心及多个永磁体的转子; 和

具有定子铁心及电枢绕组的定子,

所述多个永磁体中, 离开作为所述多边形的各边中心的基准位置的、周向的位置偏移在所有永磁体中为相同方向。

9. 如权利要求 1、4、或 8 所述的永磁型旋转电机, 其特征在于,

所述转子铁心在外周具有在周向上等间隔且与所述永磁体数量相同的凸起部,

对所述永磁体进行定位使其紧靠所述凸起部。

10. 如权利要求 1、4、或 8 所述的永磁型旋转电机, 其特征在于,

所述转子铁心是层叠电磁钢板而构成的。

11. 如权利要求 1、4、或 8 所述的永磁型旋转电机, 其特征在于,

极数为 $M = 12n \pm 2n$ (n 为 1 以上的整数),

且槽数为 $N = 12n$ 。

12. 如权利要求 1、4、或 8 所述的永磁型旋转电机, 其特征在于,

极数为 $M = 9n \pm n$ (n 为 1 以上的整数),

且槽数为 $N = 9n$ 。

13. 一种电动动力转向装置, 其特征在于,

安装如权利要求 1、4、或 8 所述的永磁型旋转电机, 以作为对方向盘的操纵力施加辅助转矩的电动机。

永磁型旋转电机及电动动力转向装置

技术领域

[0001] 本发明涉及车辆的电动动力转向装置的电动机、或工业用的伺服电动机等永磁型旋转电机及电动动力转向装置。

背景技术

[0002] 近年来,在各种用途中,要求齿槽转矩较小的电动机。例如,有工业用的伺服电动机、和电梯用曳引机等。若关注车辆用途,则电动动力转向装置日益普及,以减少油耗、提高操纵性。在用于电动动力转向装置的电动机中,由于该齿槽转矩通过齿轮传递到驾驶者,因此为了获得平稳的操纵感,对于减小电动机的齿槽转矩有迫切的要求。对此,作为减小齿槽转矩的方法,披露了使用线性规划法使永磁体移动从而调整齿槽转矩的方法(例如,参照专利文献 1);和在槽和极之比为 3 : 2 的情况下、减小齿槽转矩的第 $6 \times p$ 次(p 为极对数)的方法(例如,参照专利文献 2)。

[0003] 专利文献 1 :日本国专利特开 2006-60920 号公报

[0004] 专利文献 2 :日本国专利特表 2006-514522 号公报

[0005] 上述那样的现有的“使用线性规划法使永磁体移动从而调整齿槽转矩的方法”存在如下问题:即,为了变动永磁体的位置来调整齿槽转矩,将费时费力,不适于批量生产电动机。

[0006] 另外,由于永磁体的位置偏移和形状的偏移(例如对称度)是齿槽转矩增加的原因,因此若对于永磁体的位置偏移和永磁体的形状偏移不进行任何管理,则往往齿槽转矩会变得非常大。

[0007] 例如,参照图 27 和图 28 对于 10 极 12 槽的永磁型电动机中的齿槽转矩进行说明。图 27 是表示现有的永磁型电动机的转子的结构的图。另外,图 28 是表示现有的永磁型电动机的齿槽转矩波形及频率分析结果的图。

[0008] 图 27 示出转子 10,在转子铁心 11 的周边配置有 10 个永磁体 15。而且,永磁体 15 的位置分别沿周向随机偏移,另外,对于形状(对称度)也随机偏移。

[0009] 图 27 那样的图形中永磁体 15 有偏移的情况下,齿槽转矩成为图 28(a) 那样的波形,产生非常大的齿槽转矩。而且,若对该波形进行频率分析,则如图 28(b) 那样。关于次数,是将以转子 10 的旋转角度 360 度(机械角)为 1 个周期的分量设为 1 次分量。其中 12 次分量较为显著,它是与定子的槽数一致的分量,是因转子 10 侧的偏差所引起的。

[0010] 另外,上述那样的现有的“在槽和极之比为 3 : 2 的情况下、减小齿槽转矩的第 $6 \times p$ 次(p 为极对数)的方法”是减小极数和槽数的最小公倍数的次数分量的方法。然而,其对于减小因转子侧的偏差所引起的“与槽数一致的齿槽转矩的次数分量”的方法并没有披露。

发明内容

[0011] 本发明是为了解决上述问题而完成的,其目的在于得到能够减小因转子侧的偏差

所引起的齿槽转矩分量的永磁型旋转电机及电动动力转向装置。

[0012] 本发明所涉及的永磁型旋转电机中,设置有具有多边形的转子铁心及多个永磁体的转子、和具有定子铁心及电枢绕组的定子,其中,将极数设为 M (M 为整数),将槽数设为 N (N 为整数),将 M 个永磁体沿周向依次设为第 1 号到第 M 号,并将第 i 号 ($i = 1, 2, \dots, M$) 永磁体中的、离开在径向上到转轴中心的距离相等且在周向上等间隔的基准位置的、周向的位置偏移量设为 h_i ($i = 1, 2, \dots, M$) (含符号),这时,定义 $2\pi N(i-1)/M$ (rad) 的角度方向的总计 M 个单位矢量,且对各个单位矢量乘上所述位置偏移量 h_i 后的总计 M 个矢量的总和的矢量的大小、比所述位置偏移量 h_i 的绝对值的最大值要小。

[0013] 本发明所涉及的永磁型旋转电机起到能使齿槽转矩的次数分量中与定子的槽数一致的次数分量减小的效果。而且,还起到生产率高、适于批量生产的效果。

附图说明

[0014] 图 1 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构的图。

[0015] 图 2 是表示一般的永磁型电动机的结构的剖视图。

[0016] 图 3 是用于说明复矢量的图。

[0017] 图 4 是表示所有永磁体朝同一方向偏移的情况下的复矢量的图。

[0018] 图 5 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 2 结构的图。

[0019] 图 6 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构的图。

[0020] 图 7 是表示相邻的永磁体彼此朝相反方向偏移的情况下的复矢量的图。

[0021] 图 8 是表示所有永磁体的位置偏移的方向相同且为 10 极 12 槽的试制电动机的齿槽转矩波形及频率分析结果的图。

[0022] 图 9 是表示所有永磁体的位置偏移的方向相同且形状偏移的影响最大的情况下的 10 极 12 槽的试制电动机的齿槽转矩波形及频率分析结果的图。

[0023] 图 10 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构的图。

[0024] 图 11 是用于说明永磁体的形状偏移的图。

[0025] 图 12 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 2 结构的图。

[0026] 图 13 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构的图。

[0027] 图 14 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 4 结构的图。

[0028] 图 15 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 5 结构的图。

[0029] 图 16 是放大表示本发明的实施例 3 所涉及的永磁型旋转电机的转子的图。

[0030] 图 17 是表示本发明的实施例 4 所涉及的永磁型旋转电机的转子铁心的立体图。

[0031] 图 18 是表示本发明的实施例 5 所涉及的永磁型旋转电机的第 1 结构的图。

[0032] 图 19 是表示本发明的实施例 5 所涉及的永磁型旋转电机的第 2 结构的图。

[0033] 图 20 是表示本发明的实施例 6 所涉及的永磁型旋转电机的第 1 结构的图。

[0034] 图 21 是表示本发明的实施例 6 所涉及的永磁型旋转电机的第 2 结构的图。

[0035] 图 22 是表示电动动力转向装置的简要结构的图。

[0036] 图 23 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构中没有凸起部的例子的图。

[0037] 图 24 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构中没有

有凸起部的例子图。

[0038] 图 25 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构中没

[0039] 图 26 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构中没

[0040] 图 27 是表示现有的永磁型电动机的转子的结构的图。

[0041] 图 28 是表示现有的永磁型电动机的齿槽转矩波形及频率分析结果的图。

具体实施方式

[0042] 下面,对本发明的实施例 1 ~ 实施例 7 进行说明。

[0043] 实施例 1

[0044] 参照图 1 至图 9、以及图 23 和图 24 说明本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机。图 1 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构的图。此外,各图中,相同标号表示相同或相当的部分。

[0045] 图 1 中,本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子 10 设置有转子铁心 11、多个凸起部 12、和配置在多边形的转子铁心 11 的周边的多个永磁体 15。此外,箭头号表示永磁体 15 的位置偏移的方向。

[0046] 接着,参照附图说明该实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的动作。

[0047] 如上所述,当不管理永磁体的位置和形状的偏差时,会有齿槽转矩变大的情况。例如,考虑图 27 那样的图形。该图 27 表示现有的永磁型电动机的转子 10。在转子铁心 11 的周围配置有永磁体 15。箭头号表示永磁体 15 从基准位置偏移的方向、和永磁体 15 的形状偏移的方向。

[0048] 产生这种图形时,如图 28(a) 所示,形成非常大的齿槽转矩。该电动机是槽数为 12 的例子,如图 28(b) 所示,齿槽转矩的 12 次分量非常大。因而,管理永磁体 15 的位置和形状的偏差非常重要。

[0049] 因此,首先,对永磁体的位置和形状的偏移与齿槽转矩的关系进行说明,然后,对齿槽转矩的减小方法进行说明。

[0050] 图 2 是表示一般的永磁型电动机的结构的剖视图。图 2 中,永磁型电动机由转子 10 和定子 20 构成。另外,转子 10 由转子铁心 11 和永磁体 (P1 ~ P10) 15 构成。定子 20 由定子铁心 21、槽 24、和电枢绕组 25 构成。而且,定子铁心 21 由铁心背部 22 和齿形铁心 23 构成,成为由永磁体 15 和电枢绕组 25 产生的磁通通过的磁路。电枢绕组 25 在图 2 的情况下配置在容纳绕组的槽 24 中,成为集中地卷绕于齿形铁心 23 的、所谓集中绕组的结构。

[0051] 然而,本发明并不局限适用于集中绕组,用分布绕组也可得到相同的效果。另外,图 2 中,省略了位于定子铁心 21 的外周的框。

[0052] 转子 10 中,如上所述,有转子铁心 11 和永磁体 15,在转子铁心 11 的外周部沿周向大致等间隔地配置有永磁体 15。另外,永磁体 15 的径向的位置在所有的永磁体 15 中都为大致相同的距离。

[0053] 将电动机的磁极数设为 M ,将槽数设为 N 。图 2 的例子中, $M = 10$ 、 $N = 12$ 。图 2 中,将多边形的各边的中心位置、即在周向上等间隔 ($2\pi/M(\text{rad})$ 的间隔) 的位置设为永磁

体 P1、P2、…、P10 的基准位置。下面说明各个永磁体 15 从该基准位置偏移的情况下齿槽转矩的大小如何变化。

[0054] 施加于各个永磁体 15 的转矩受到定子铁心 21 的槽 24 的影响。由于永磁体 15 在处于与槽 24 相对的位置关系时、和处于与齿形铁心 23 相对的位置关系时其转矩出现差异，因此若使转子 10 旋转一周，则作为施加于永磁体 15 的转矩的脉动分量，含有与槽数一致的次数的脉动分量。而且，由于永磁体 15 的配置的周向的间隔如图 2 所示，为机械角 $\beta = 2\pi/M(\text{rad})$ ，因此施加于永磁体 15 的转矩也变成相位偏移机械角 $2\pi/M(\text{rad})$ 的波形。在永磁体 15 全部位于基准位置的情况下，若求出这些转矩之和，则相互抵消，齿槽转矩波形中不会表现出与槽数一致的次数分量，因此成为低齿槽转矩。但是，若永磁体 15 从基准位置偏移，则不相互抵消，会表现出与槽数一致的次数分量。

[0055] 当沿周向发生位置偏移时，使用复矢量来考虑与槽数一致的齿槽转矩次数分量以怎样的相位、振幅产生。图 3 是用于说明复矢量的图。永磁体 P1 中，当发生偏移量 h_1 的偏移时，假设与槽数一致的次数分量为位于图 3 的实轴方向 (Re) 上的复矢量。由于该矢量的长度与偏移量成正比，因此例如发生 2 倍的偏移量 $2 \times h_1$ 时，如图 3 所示，成为 2 倍长度的矢量。

[0056] 接着，考虑相位。永磁体 P1 和 P2 中，偏移机械角 $\beta = 2\pi/M(\text{rad})$ 。另外，齿槽转矩的与槽数 N 一致的次数分量的周期为 $\alpha = 2\pi/N(\text{rad})$ ，若定义复矢量以 $2\pi/N(\text{rad})$ 绕一周，则施加于永磁体 P1 和 P2 的转矩的相位差 γ 成为 $\gamma = 2\pi N/M(\text{rad})$ 。

[0057] 在 10 极 12 槽的电动机的例子中，相位差 $\gamma = 2\pi \times 12/10(\text{rad}) = 432(\text{度})$ ，其等效于 $432-360 = 72$ 度。因而，成为图 3 那样的位置关系。而且，在位置偏移量的符号反转的情况下，即，偏移的方向相反的情况下，由于齿槽转矩的与槽数一致的次数分量的相位反转，因此如图 3 所示，复矢量的方向也反转。

[0058] 综上所述，复矢量如下。

[0059] (1) 与位置的偏移量成正比。

[0060] (2) 每一永磁体的相位差为 $2\pi N/M(\text{rad})$ 。

[0061] (3) 偏移的方向相反的情况下，相位反转。

[0062] 考虑这 3 个特性，来思考齿槽转矩的减小方法。在所有永磁体中完全没有位置偏移的情况下，所有复矢量成为零矢量，显然，不会产生与槽数一致的次数分量的齿槽转矩。

[0063] 另一方面，在有位置偏移的情况下，一般复矢量的总和不为零，会产生与槽数一致的次数分量的齿槽转矩，从而会增加齿槽转矩。然而，根据位置偏移的图形，在复矢量的总和的大小非常小、或者成为零矢量的情况下，将几乎不产生、或者完全不产生与槽数一致的次数分量的齿槽转矩。

[0064] 例如，考虑图 1 那样的情况。图 1 如上所述，是表示该实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构的图。另外，图 4 是表示所有永磁体朝同一方向偏移的情况下的复矢量的图。在如图 1 所示所有永磁体 15 的位置偏移的方向为逆时针方向即相同的情况下，成为图 4 那样的复矢量。图 4 中示出，永磁体 P1 和 P6 的复矢量为相同方向。其它“永磁体 P2、P7”、“永磁体 P3、P8”、“永磁体 P4、P9”、“永磁体 P5、P10”也分别成为相同方向。另外，这些复矢量成为偏移 72 度的、总计 10 个复矢量，10 个的总和成为零矢量。因而，此时，不产生与槽数一致的次数分量。

[0065] 图 5 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 2 结构的图。如图 5 所示,在所有永磁体 15 的位置都朝着与图 1 相反方向的顺时针的方向偏移的情况下,也可得到相同的效果。

[0066] 图 6 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构的图。另外,图 7 是表示相邻的永磁体彼此朝相反方向偏移的情况下的复矢量的图。如图 6 所示,在相邻的永磁体 15 的位置偏移彼此成为相反方向的情况下,成为图 7 那样的复矢量。如图 7 所示,成为各偏移 36 度的、总计 10 个复矢量,10 个的总和成为零矢量。因而,此时不产生与槽数一致的次数分量。

[0067] 图 8 是表示所有永磁体的位置偏移的方向相同且为 10 极 12 槽的试制电动机的齿槽转矩的波形及频率分析结果的图。与图 28 的现有例相比可知,齿槽转矩的振幅大幅降低。若用次数分量来确认,则与槽数一致的次数分量、即 12 次的分量大幅减小。由此可确认本发明的效果。

[0068] 而且,所有永磁体的位置偏移的方向相同的情况、或相邻的永磁体的位置偏移的方向彼此成为相反方向的情况,与各永磁体分别散乱成为不同的位置关系、且复矢量的总和为零的情况相比,容易管理。另外,由于通过在生产设备中设置使永磁体偏向一边的机构,从而能实现这种位置偏移的图形,因此还可提高生产率。

[0069] 如上所述,在包括具有转子铁心 11 及多个永磁体 15 的转子 10、和具有定子铁心 21 及电枢绕组 25 的定子 20 的永磁型旋转电机中,若永磁体 15 采用离开在周向上等间隔且为多边形的各边中心的基准位置的、周向的位置偏移在所有永磁体 15 的磁极中都朝相同方向偏移(偏向一边)的结构,则由于周向的位置偏移的影响相互抵消,因此起到齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量减小的效果。另外,无需管理对称度便可减小齿槽转矩,能够提高生产率。而且,由于所有永磁体 15 都朝相同方向偏移,因此还起到提高生产率的效果。

[0070] 另外,若永磁体 15 采用离开在周向上等间隔且为多边形的各边中心的基准位置的、周向的位置偏移在相邻的永磁体 15 的磁极中彼此朝相反方向偏移的结构,则由于周向的位置偏移的影响相互抵消,因此起到齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量减小的效果。另外,无需管理对称度便可减小齿槽转矩,能够提高生产率。而且,由于相邻的永磁体 15 中彼此朝相反方向偏移,因此还起到提高生产率的效果。

[0071] 进一步地,为了通用化,使用数学式进行说明。将极数设为 M (M 为整数),将槽数设为 N (N 为整数)。另外,将 M 个永磁体沿周向依次设为第 1 号至第 M 号。将第 i 号($i = 1, 2, \dots, M$) 永磁体中的、离开在周向上等间隔且为多边形的各边中心的基准位置的、周向的位置偏移量设为 h_i ($i = 1, 2, \dots, M$) (含符号) 时,可定义 M 个复矢量。

[0072] 与第 i 号永磁体相关的复矢量的相位角成为 $2\pi N(i-1)/M$ (rad),对该方向的单位矢量乘上偏移量 h_i 后的总计 M 个矢量成为与第 i 号永磁体相关的复矢量。在这些复矢量的总和的矢量的大小较小的情况下,能减小齿槽转矩的次数分量中与定子的槽数一致的次数分量。

[0073] 例如,若使其比位置偏移量 h_i ($i = 1, 2, \dots, M$) 的绝对值的最大值要小,则起到如下效果:即,对齿槽转矩只会产生比 M 个永磁体中 1 个永磁体的位置偏移量份额的影响要小的影响,因此能减小齿槽转矩。

[0074] 另外,若使用数学式进行说明,则如下所示。将极数设为 M (M 为整数),将槽数设为 N (N 为整数)。另外,将 M 个永磁体沿周向依次设为第 1 号至第 M 号。将第 i 号 ($i = 1, 2, \dots, M$) 永磁体中的、离开在周向上等间隔且为多边形的各边中心的基准位置的、周向的位置偏移量设为 h_i ($i = 1, 2, \dots, M$) (含符号) 时,如下式那样定义复矢量 K 。

[0075] [数学式 1]

5

$$[0076] \quad K = \sum_{i=1}^M h_i e^{j \frac{2\pi V}{M} (i-1)}$$

[0077] 式中, e 为自然对数的底, j 为虚数单位。若减小该复矢量 K 的大小,则能减小齿槽转矩的次数分量中与定子的槽数一致的次数分量。例如,只要使复矢量 K 的大小比位置偏移量 h_i ($i = 1, 2, \dots, M$) 的绝对值的最大值要小即可。另外,最好是,将复矢量 K 的大小设为零。

[0078] 若永磁体的位置偏移量为永磁体的周向的宽度的 10% 左右以下,便有效果。例如,对于宽度 10mm 的永磁体有 1mm 的偏移,便起到能减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。此外,永磁体的位置偏移量也可不大,即使为永磁体的周向的宽度的 0.1% 至 1% 左右的微小的量,也可发挥本发明的效果。而且,若为永磁体的周向的宽度的 0.1% 至 1% 左右的偏移量,则由于几乎不会破坏磁对称性,因此还起到如下效果;即,几乎没有因电动机的旋转方向(正转还是反转)所引起的电动机特性的差异。

[0079] 另外,用下述实施例 2 说明详细情况,其中齿槽转矩随着永磁体的形状的偏移而增加。然而,若预先将永磁体的位置偏移设为如本实施例 1 所述那样的图形,则即使不管理永磁体的形状的偏移也能减小齿槽转矩。

[0080] 图 9 是表示所有永磁体的位置偏移的方向相同且形状偏移的影响最大的情况下的 10 极 12 槽的试制电动机的齿槽转矩波形及频率分析结果的图。此时是假设永磁体的形状偏移的影响最大的情况来进行试制的。即使是在这种情况下,与图 28 的现有例相比,也能大幅减小齿槽转矩。因而,若采用本实施例 1,则可起到即使不管理永磁体的形状偏移也能减小齿槽转矩的效果。

[0081] 若将上述那样的实施例 1 用于要求低齿槽转矩的、例如工业用的伺服电动机、电梯用曳引机用电动机、车辆用电动机等,则起到能减小齿槽转矩的效果。此外,对于图 23 和图 24,将在之后进行说明。

[0082] 实施例 2

[0083] 参照图 10 至图 15、以及图 25 和图 26 说明本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机。图 10 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构的图。

[0084] 图 10 中,本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子 10 设置有转子铁心 11、多个凸起部 12、和配置在转子铁心 11 的周边的多个永磁体 15。此外,箭头号表示永磁体 15 的形状偏移的方向。

[0085] 接着,参照附图说明该实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的动作。

[0086] 上述实施例 1 中,对于永磁体的位置偏移进行了说明,但对于因形状偏移的情况而产生的齿槽转矩也可同样地定义复矢量来进行探讨。

[0087] 对于因加工误差所引起的形状偏移,考虑如图 11 那样的情况。在侧面(截面)由直线和圆弧形成的半圆柱体形的永磁体 15 中,圆弧的中心从左右方向的中心偏移,从而成为非对称。

[0088] 对于这种偏移量,复矢量具有以下 3 种特性。

[0089] (1) 与形状的偏移量成正比。

[0090] (2) 每一永磁体的相位差为 $2\pi N/M(\text{rad})$ 。

[0091] (3) 偏移的方向相反的情况下,相位反转。

[0092] 因而,利用上述特性,考虑减小齿槽转矩的方法。

[0093] 在所有永磁体中完全没有形状偏移的情况下,所有复矢量成为零矢量,显然,不会产生与槽数一致的次数分量的齿槽转矩。另一方面,在有形状偏移的情况下,一般复矢量的总和不为零,会产生与槽数一致的次数分量的齿槽转矩,从而会增加齿槽转矩。然而,根据形状偏移的图形,在复矢量的总和的大小非常小、或者成为零矢量的情况下,将几乎不产生、或者完全不产生与槽数一致的次数分量的齿槽转矩。

[0094] 例如,如图 10 所示,所有永磁体 15 的形状偏移的方向相同的情况下,成为图 4 那样的复矢量。其示出永磁体 P1 和 P6 的复矢量为相同方向。其它“永磁体 P2、P7”、“永磁体 P3、P8”、“永磁体 P4、P9”、“永磁体 P5、P10”也分别成为相同方向。另外,这些复矢量成为偏移 72 度的、总计 10 个复矢量,10 个的总和成为零矢量。因而,此时,不产生与槽数一致的次数分量。

[0095] 图 12 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 2 结构的图。如图 12 所示,在形状朝着与图 10 相反的方向偏移的情况下,也可得到相同的效果。

[0096] 图 13 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构的图。如图 13 所示,在相邻的永磁体 15 的形状偏移彼此成为相反方向的情况下,成为图 7 那样的复矢量,即成为各偏移 36 度的、总计 10 个复矢量,10 个的总和成为零矢量。因而,此时,不产生与槽数一致的次数分量。

[0097] 若试制所有永磁体 15 的形状偏移的方向相同且为 10 极 12 槽的电动机来测定齿槽转矩,则可得到与图 8 所示的齿槽转矩波形及频率分析结果相同的测定结果,与图 28 的现有例相比,齿槽转矩的振幅大幅降低。若用次数分量来确认,则与槽数一致的次数分量、即 12 次的分量大幅减小。

[0098] 而且,所有永磁体 15 的形状偏移的方向相同的情况、或相邻的永磁体 15 的形状偏移的方向彼此成为相反方向的情况,与各永磁体 15 分别散乱成为不同的方向、且复矢量的总和为零的情况相比,要容易管理。

[0099] 如上所述,在包括具有转子铁心 11 及多个永磁体 15 的转子 10、和具有定子铁心 21 及电枢绕组 25 的定子 20 的永磁型旋转电机中,若永磁体 15 采用磁体形状的偏移在所有永磁体 15 的磁极中都朝相同方向偏移的结构,则由于磁体形状的偏移(对称度)的影响相互抵消,因此起到齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量减小的效果。另外,无需管理永磁体 15 的形状偏移便可减小齿槽转矩,能够提高生产率。而且,由于所有永磁体 15 中都朝相同方向偏移,因此还起到提高生产率的效果。

[0100] 另外,若永磁体 15 采用磁体形状的偏移在相邻的永磁体 15 的磁极中彼此朝相反方向偏移的结构,则由于磁体形状的偏移(对称度)的影响相互抵消,因此起到齿槽转矩的

次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量减小的效果。另外,无需管理永磁体 15 的形状偏移便可减小齿槽转矩,能够提高生产率。而且,由于相邻的永磁体 15 中彼此朝相反方向偏移,因此还起到提高生产率的效果。

[0101] 进一步地,为了通用化,使用数学式进行说明。将极数设为 M (M 为整数),将槽数设为 N (N 为整数)。另外,将 M 个永磁体沿周向依次设为第 1 号至第 M 号。将第 i 号 ($i = 1, 2, \dots, M$) 永磁体中的、形状偏移量设为 c_i ($i = 1, 2, \dots, M$) (含符号) 时,可定义 M 个复矢量。

[0102] 与第 i 号永磁体相关的复矢量的相位角成为 $2\pi N(i-1)/M$ (rad),对该方向的单位矢量乘上偏移量 c_i 后的总计 M 个复矢量成为与第 i 号永磁体相关的复矢量。在这些复矢量的总和的矢量的大小较小的情况下,能减小齿槽转矩的次数分量中与定子的槽数一致的次数分量。

[0103] 例如,若使其比形状偏移量 c_i ($i = 1, 2, \dots, M$) 的绝对值的最大值要小,则起到如下效果:即,由于对齿槽转矩只会产生比 M 个永磁体中 1 个永磁体的位置偏移量份额的影响要小的影响,因此能减小齿槽转矩。

[0104] 另外,若使用数学式进行说明,则如下所示。将极数设为 M (M 为整数),将槽数设为 N (N 为整数)。另外,将 M 个永磁体沿周向依次设为第 1 号至第 M 号。将第 i 号 ($i = 1, 2, \dots, M$) 永磁体中的、形状偏移量设为 c_i ($i = 1, 2, \dots, M$) (含符号) 时,如下式那样定义复矢量 K 。

[0105] [数学式 2]

$$[0106] \quad K = \sum_{i=1}^M c_i e^{j \frac{2\pi N}{M} (i-1)}$$

[0107] 式中, e 为自然对数的底, j 为虚数单位。若减小该复矢量 K 的大小,则能减小齿槽转矩的次数分量中与定子的槽数一致的次数分量。例如,只要使其比形状偏移量 c_i ($i = 1, 2, \dots, M$) 的绝对值的最大值要小即可,最好是将其设为零。

[0108] 若永磁体的形状偏移量为永磁体的周向的宽度的 10% 左右以下,便有效果。例如,对于宽度 10mm 的永磁体有 1mm 的偏移,便起到能减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。此外,永磁体的形状偏移量也可不大,即使为永磁体的周向的宽度的 0.1% 至 1% 左右的微小的量,也可发挥本发明的效果。而且,若为永磁体的周向的宽度的 0.1% 至 1% 左右的偏移量,则由于不会较大地破坏磁对称性,因此还起到如下效果:即,几乎没有因电动机的旋转方向(正转还是反转)所引起的电动机特性的差异。

[0109] 图 14 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 4 结构的图。该图 14 示出永磁体 15 的位置偏移和形状偏移为相同方向。在这种情况下,由于位置偏移的影响和形状偏移的影响分别相互抵消,因此能大幅减小齿槽转矩的与槽数一致的次数分量。

[0110] 图 15 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 5 结构的图。该图 15 示出永磁体 15 的位置偏移和形状偏移在相邻的永磁体 15 中彼此为相反方向。在这种情况下,也同样地可得到如下效果:即,由于位置偏移的影响和形状偏移的影响分别相互抵消,因此能大幅减小齿槽转矩的与槽数一致的次数分量。此外,对于图 25 和图 26,将在

之后进行说明。

[0111] 实施例 3

[0112] 参照图 16 说明本发明的实施例 3 所涉及的永磁型旋转电机。图 16 是放大表示本发明的实施例 3 所涉及的永磁型旋转电机的转子的图。

[0113] 图 16 是对永磁体 15 和转子铁心 11 的部分进行放大示出。永磁体 15 朝逆时针方向、偏向一边进行配置。在相邻的永磁体 15 之间的部分,在转子铁心 11 的外周沿周向等间隔地设置有与永磁体 15 数量相同的凸起部 12。通过设置这种凸起部 12,以使永磁体 15 沿周向偏向一边直至紧靠该凸起部 12,从而能进行定位。因而,能预先实现如上述实施例 1 所述那样的永磁体 15 的位置偏移的图形,其结果是起到能减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。

[0114] 实施例 4

[0115] 参照图 17 说明本发明的实施例 4 所涉及的永磁型旋转电机。图 17 是表示本发明的实施例 4 所涉及的永磁型旋转电机的转子铁心的立体图。

[0116] 该图 17 示出转子铁心 11 为层叠铁心的情况的例子。图 17 是从斜向观察层叠铁心的图,省略永磁体进行示出。层叠铁心例如是层叠电磁钢板那样的板状材料而构成的。其起到如下效果:即,设置凸起部 12 时,能通过用金属模冲压电磁钢板从而容易实现。当使永磁体的位置偏移方向全都相同时、即偏向一边时,在转子铁心 11 由轴(转轴)等块状的铁心构成的情况下,由于在偏向一边紧靠的部分(凸起部)中,永磁体和轴间短路而构成电路,因此容易流过涡流,因涡流损耗所引起的发热较大。因此,会担心效率下降、热消磁等。另一方面,在由层叠铁心构成的情况下,由于层叠铁心和永磁体的接触电阻较大,因此涡流损耗较小,能够兼顾低齿槽转矩和高效率,此外还起到防止热消磁的效果。

[0117] 实施例 5

[0118] 参照图 18 和图 19 说明本发明的实施例 5 所涉及的永磁型旋转电机。图 18 是表示本发明的实施例 5 所涉及的永磁型旋转电机的第 1 结构的图。另外,图 19 是表示本发明的实施例 5 所涉及的永磁型旋转电机的第 2 结构的图。

[0119] 图 18 是极数为“10”、槽数为“12”的永磁型电动机。作为齿槽转矩的大小的标准,已知有极数和槽数的最小公倍数。最小公倍数越大,齿槽转矩越小。图 18 的电动机中,最小公倍数成为“60”。

[0120] 例如,同样地当槽数为“12”,但极数为不同的“8”时,最小公倍数成为“24”。因而,在这种情况下可知,即使是相同的槽数,也是最小公倍数较大、即 10 极 12 槽的那个电动机更倾向于齿槽转矩较小。然而,这是假设永磁体 15 的位置和形状中没有任何偏差的状态时的情况,在实际的电动机批量生产时,需要对于永磁体 15 的位置和形状考虑偏差。极数和槽数的最小公倍数越大的电动机,越容易受到这种偏差的影响。

[0121] 因此,如图 18 的箭头号的方向所示,通过采用使永磁体 15 的位置和形状全都偏向同一方向的结构,从而可起到减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。

[0122] 另外,虽未图示,但显然在相邻的永磁体 15 中位置和形状彼此朝相反方向偏移的情况下,也可起到相同的效果。另外,对于如上述实施例 1 至 4 所说明的那样的磁体位置的图形,也可得到相同的效果。

[0123] 图 19 是极数为“14”、槽数为“12”的永磁型电动机。作为齿槽转矩的大小的标准, 已知有极数和槽数的最小公倍数。最小公倍数越大, 齿槽转矩越小。图 19 的电动机中, 最小公倍数成为“84”。

[0124] 例如, 同样地当槽数为“12”, 但极数为不同的“8”时, 最小公倍数成为“24”。因而, 在这种情况下可知, 即使是相同的槽数, 也是最小公倍数较大、即 14 极 12 槽的那个电动机更倾向于齿槽转矩较小。然而, 这是假设永磁体 15 的位置和形状中没有任何偏差的状态时的情况, 在实际的电动机批量生产时, 需要对于永磁体 15 的位置和形状考虑偏差。极数和槽数的最小公倍数越大的电动机, 越容易受到这种偏差的影响。

[0125] 因此, 如图 19 的箭头号的方向所示, 通过采用使永磁体 15 的位置和形状全都偏向同一方向的结构, 从而可起到减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。

[0126] 另外, 虽未图示, 但显然在相邻的永磁体 15 中位置和形状彼此朝相反方向偏移的情况下, 也可起到相同的效果。另外, 对于如上述实施例 1 至 4 所说明的那样的磁体位置的图形, 也可得到相同的效果。

[0127] 一般而言, 极数 M 和槽数 N 分别用 $M = 12n \pm 2n$ 、 $N = 12n$ (n 为 1 以上的整数) 来表示的情况, 与以往经常使用的 $M = 2n$ 、 $N = 3n$ 或 $M = 4n$ 、 $N = 3n$ (n 为 1 以上的整数) 的情况相比, 若在极数 M 相同、或者槽数 N 相同的情况下进行比较, 由于其最小公倍数较大, 因此具有容易受到永磁体的偏差的影响从而齿槽转矩容易增大的倾向。

[0128] 但是, 根据本实施例 5, 通过采用使永磁体 15 全都偏向同一方向的结构, 从而可起到减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。另外, 虽然未图示, 但显然在相邻的永磁体 15 中彼此朝相反方向偏移的情况下, 也可起到相同的效果。另外, 对于如上述实施例 1 至 4 所说明的那样的磁体位置的图形, 也可得到相同的效果。

[0129] 实施例 6

[0130] 参照图 20 和图 21 说明本发明的实施例 6 所涉及的永磁型旋转电机。图 20 是表示本发明的实施例 6 所涉及的永磁型旋转电机的第 1 结构的图。另外, 图 21 是表示本发明的实施例 6 所涉及的永磁型旋转电机的第 2 结构的图。

[0131] 图 20 是极数为“8”、槽数为“9”的永磁型电动机。作为齿槽转矩的大小的标准, 已知有极数和槽数的最小公倍数。最小公倍数越大, 齿槽转矩越小。图 20 的电动机中, 最小公倍数成为“72”。

[0132] 例如, 同样地当槽数为“12”, 但极数为不同的“8”时, 最小公倍数成为“24”。因而, 在这种情况下可知, 即使是相同的槽数, 也是最小公倍数较大、即 8 极 9 槽的那个电动机更倾向于齿槽转矩较小。然而, 这是假设永磁体 15 的位置和形状中没有任何偏差的状态时的情况, 在实际的电动机批量生产时, 需要对于永磁体 15 的位置和形状考虑偏差。极数和槽数的最小公倍数越大的电动机, 越容易受到这种偏差的影响。

[0133] 因此, 如图 20 的箭头号的方向所示, 通过采用使永磁体 15 的位置和形状全都偏向同一方向的结构, 从而可起到减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。

[0134] 另外, 虽未图示, 但显然在相邻的永磁体 15 中位置和形状彼此朝相反方向偏移的情况下, 也可起到相同的效果。另外, 对于如上述实施例 1 至 4 所说明的那样的磁体位置的

图形,也可得到相同的效果。

[0135] 图 21 是极数为“10”、槽数为“9”的永磁型电动机。作为齿槽转矩的大小的标准,已知有极数和槽数的最小公倍数。最小公倍数越大,齿槽转矩越小。图 21 的电动机中,最小公倍数成为“90”。

[0136] 例如,同样地当槽数为“12”,但极数为不同的“8”时,最小公倍数成为“24”。因而,在这种情况下可知,即使是相同的槽数,也是最小公倍数较大、即 10 极 9 槽的那个电动机更倾向于齿槽转矩较小。然而,这是假设永磁体 15 的位置和形状中没有任何偏差的状态时的情况,在实际的电动机批量生产时,需要对于永磁体 15 的位置和形状考虑偏差。极数和槽数的最小公倍数越大的电动机,越容易受到这种偏差的影响。

[0137] 因此,如图 21 的箭头号的方向所示,通过采用使永磁体 15 的位置和形状全都偏向同一方向的结构,从而可起到减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。

[0138] 另外,虽未图示,但显然在相邻的永磁体 15 中位置和形状彼此朝相反方向偏移的情况下,也可起到相同的效果。另外,对于如上述实施例 1 至 4 所说明的那样的磁体位置的图形,也可得到相同的效果。

[0139] 一般而言,极数 M 和槽数 N 分别用 $M = 9n \pm n$ 、 $N = 9n$ (n 为 1 以上的整数) 来表示的情况,与以往经常使用的 $M = 2n$ 、 $N = 3n$ 或 $M = 4n$ 、 $N = 3n$ (n 为 1 以上的整数) 的情况相比,若在极数 M 相同、或者槽数 N 相同的情况下进行比较,由于其最小公倍数较大,因此具有容易受到永磁体的偏差的影响从而齿槽转矩容易增大的效果。

[0140] 但是,根据本实施例 6,通过采用使永磁体 15 全都偏向同一方向的结构,从而可起到减小齿槽转矩的次数分量中与定子 20 的槽数一致的次数分量的效果。另外,虽然未图示,但显然在相邻的永磁体 15 中彼此朝相反方向偏移的情况下,也可起到相同的效果。

[0141] 实施例 7

[0142] 参照图 22 说明本发明的实施例 7 所涉及的永磁型旋转电机的适用例。图 22 是表示电动动力转向装置的简要结构的图。

[0143] 图 22 中,电动动力转向装置设置有与方向盘 30 耦合、且接受方向盘 30 的操纵力的柱轴 31。而且,与柱轴 31 连接有蜗轮 32(图中省略详细情况,仅示出齿轮箱),操纵力传递至蜗轮 32。蜗轮 32 对于由控制器 33 驱动的电动机 34 的输出(转矩、转速),一边将旋转方向改变 90 度并且使旋转减速,一边进行传递,对操纵力施加电动机 34 的辅助转矩。

[0144] 操纵力通过与蜗轮 32 连接的手柄关节 35 进行传递,方向也被改变。转向齿轮 36(图中省略详细情况,仅示出齿轮箱)将手柄关节 35 的旋转减速,同时变换成齿条 37 的直线运动,获得所要的位移。利用该齿条 37 的直线运动使车轮移动,从而能进行车辆的方向转换等。

[0145] 这种电动动力转向装置中,由电动机 34 产生的齿槽转矩通过蜗轮 32 和柱轴 31,传递至方向盘 30。因而,电动机 34 产生较大的齿槽转矩的情况下,无法获得平稳的转向感。

[0146] 因此,通过提供具有上述实施例 1 至 6 所示的任一种电动机、和控制流过该电动机的绕组的电流的控制器 33 的电动动力转向装置,该装置利用控制器 33 控制电动机输出的转矩(辅助转矩),从而能确保平稳的操纵感。而且,还起到能提高生产率的效果。

[0147] 至此为止的实施例中,对转子铁心 11 中有凸起部 12 的例子进行了说明,但本发明

并不是仅限于有该凸起部 12 才成立的。如图 23、图 24、图 25 及图 26 所示,显然在没有凸起部 12 的情况下也能发挥相同的效果。图 23 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构中没有凸起部的例子的图。图 24 是表示本发明的实施例 1 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构中没有凸起部的例子的图。图 25 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 1 结构中没有凸起部的例子的图。而且,图 26 是表示本发明的实施例 2 所涉及的永磁型旋转电机的转子的第 3 结构中没有凸起部的例子的图。

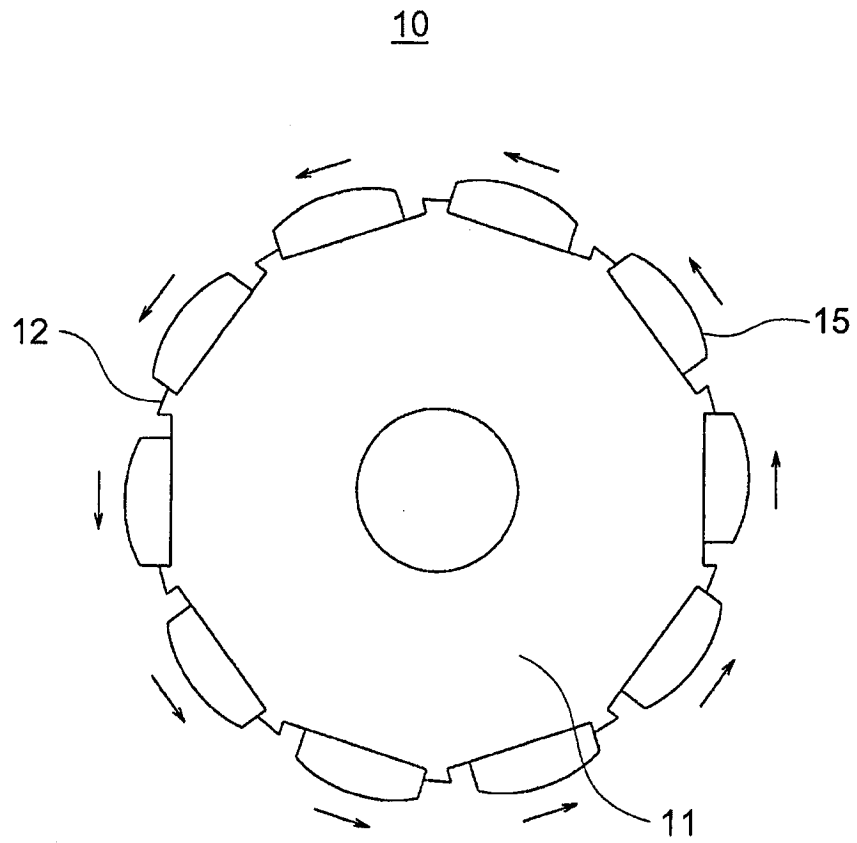


图 1

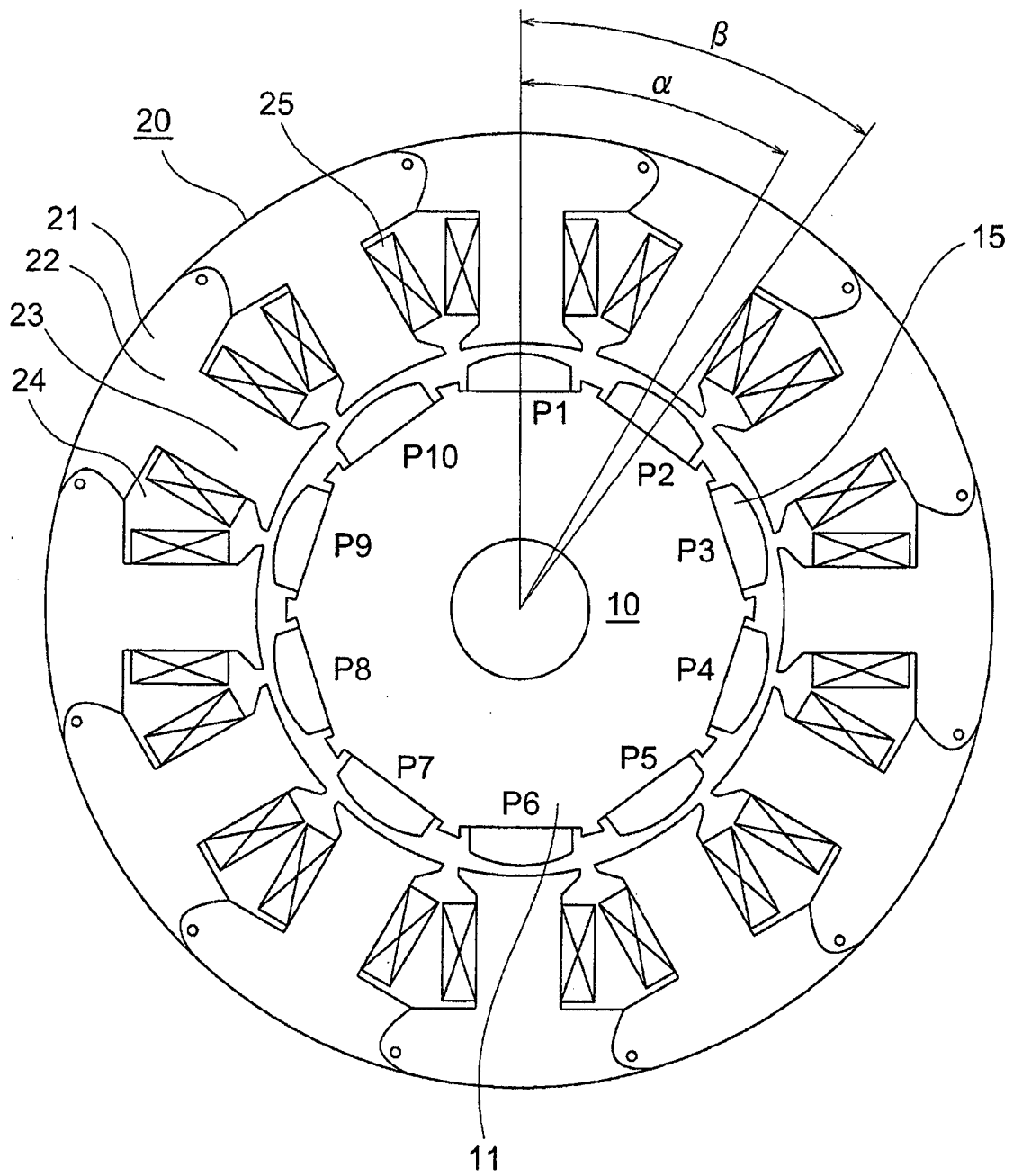


图 2

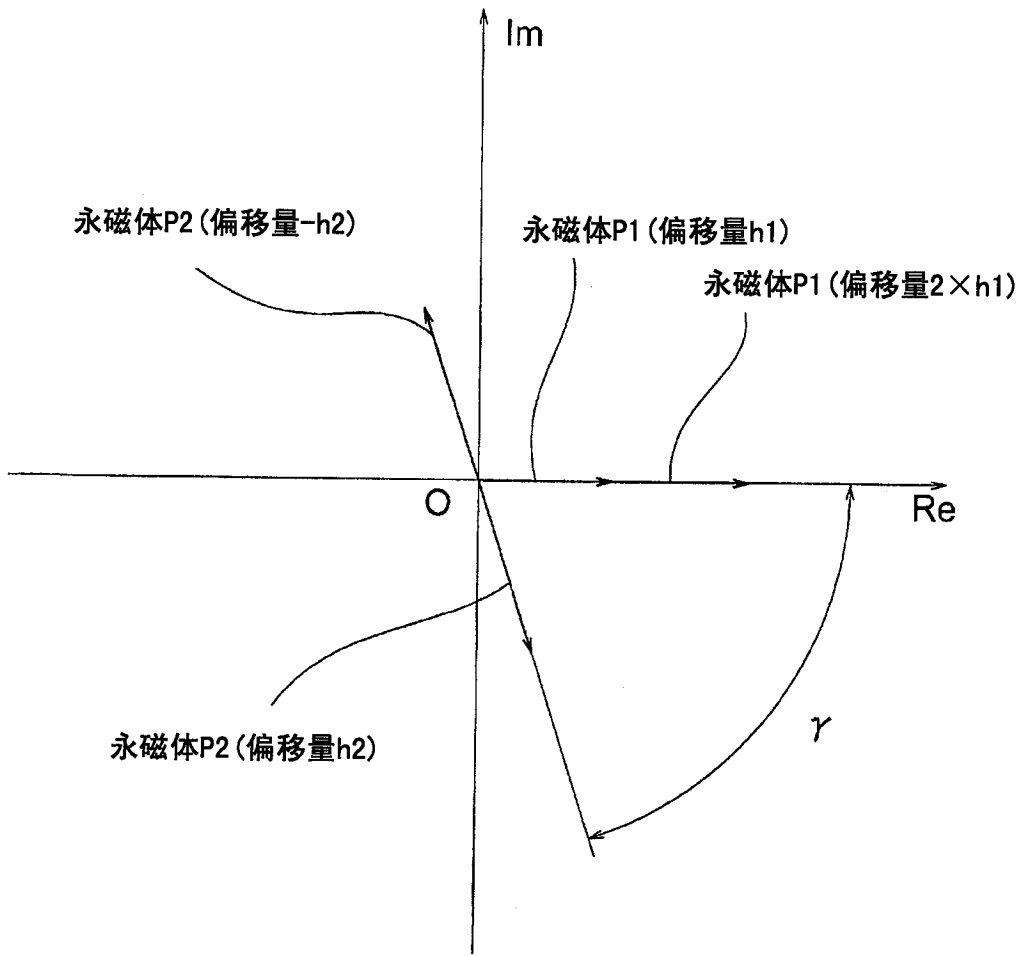


图 3

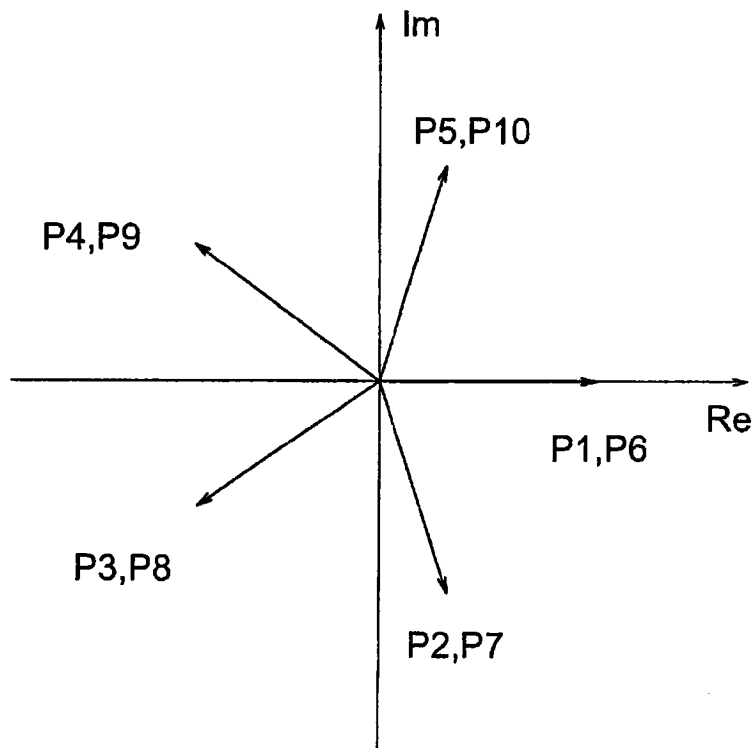


图 4

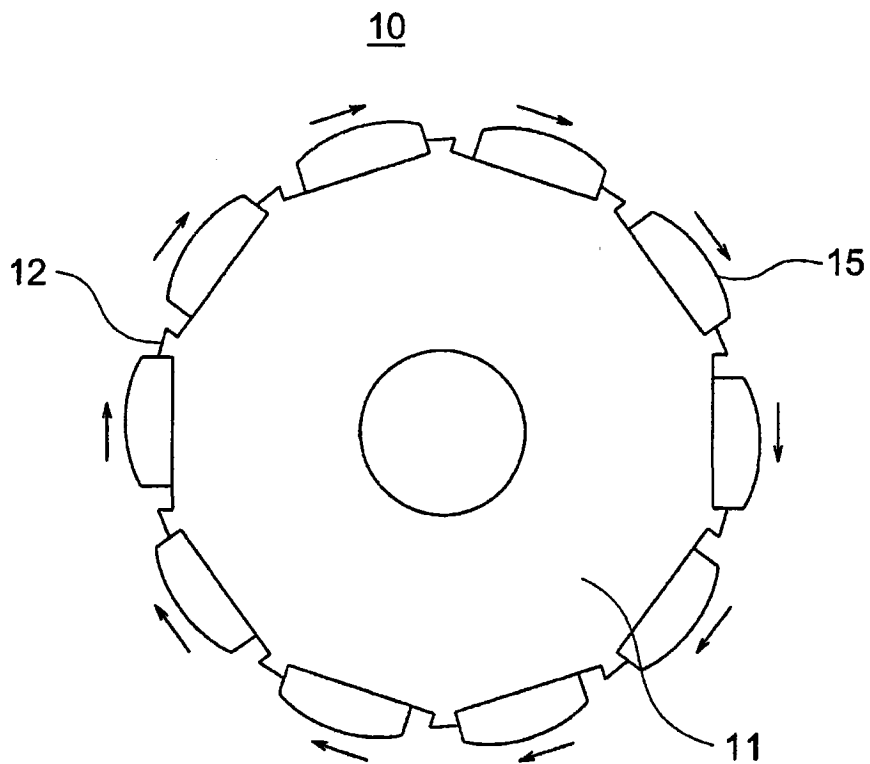


图 5

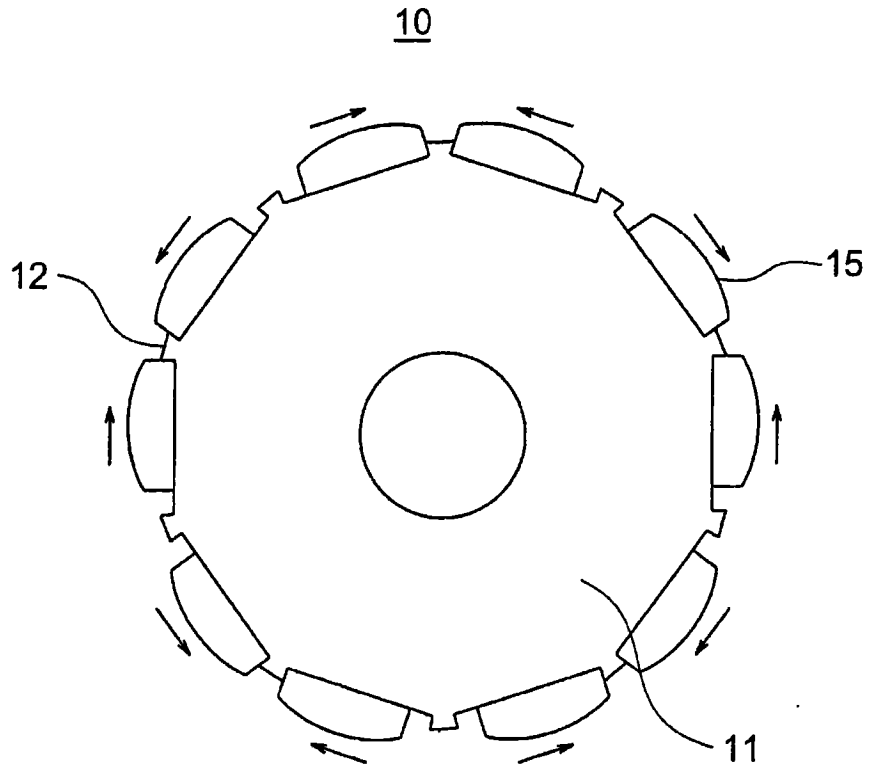


图 6

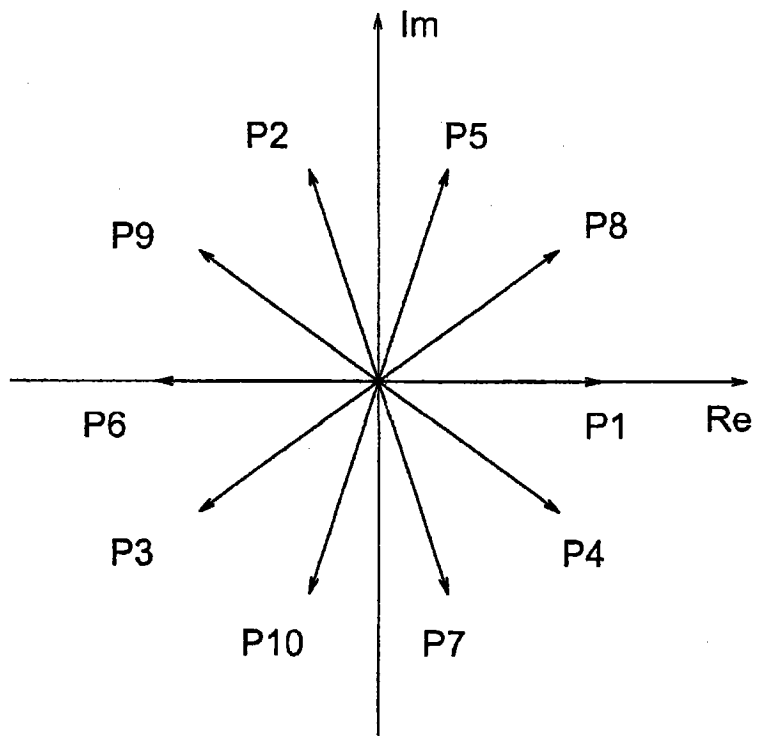


图 7

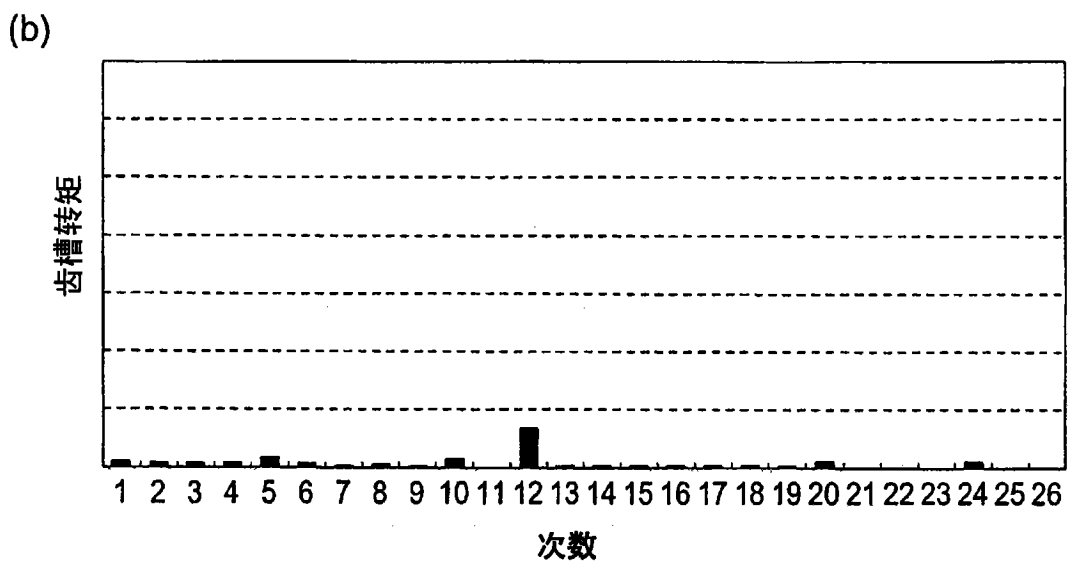
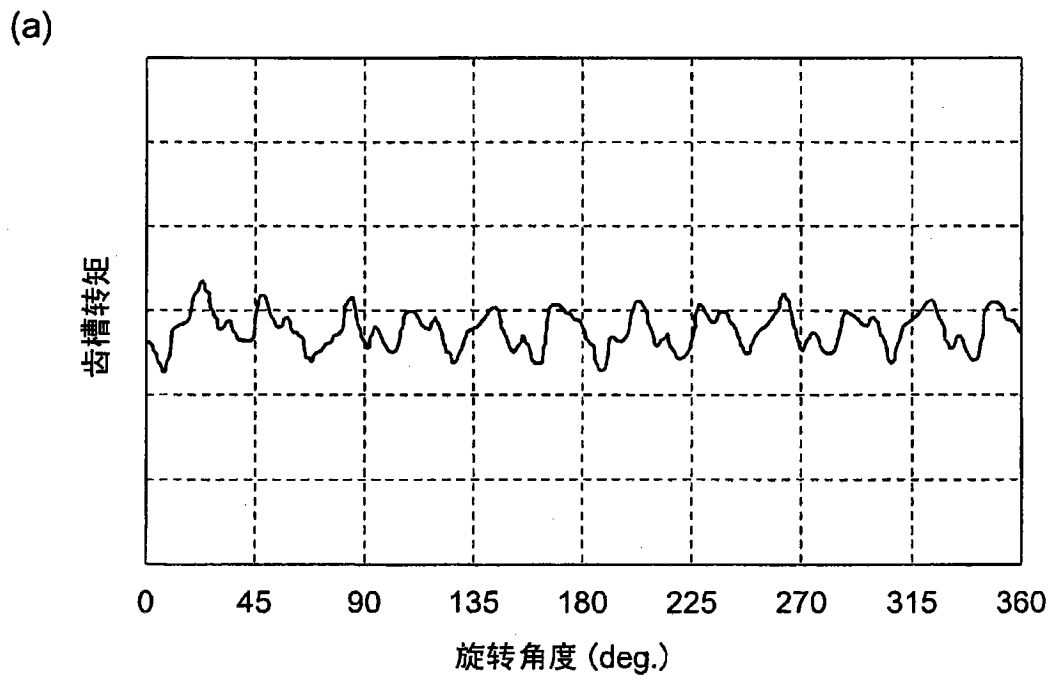
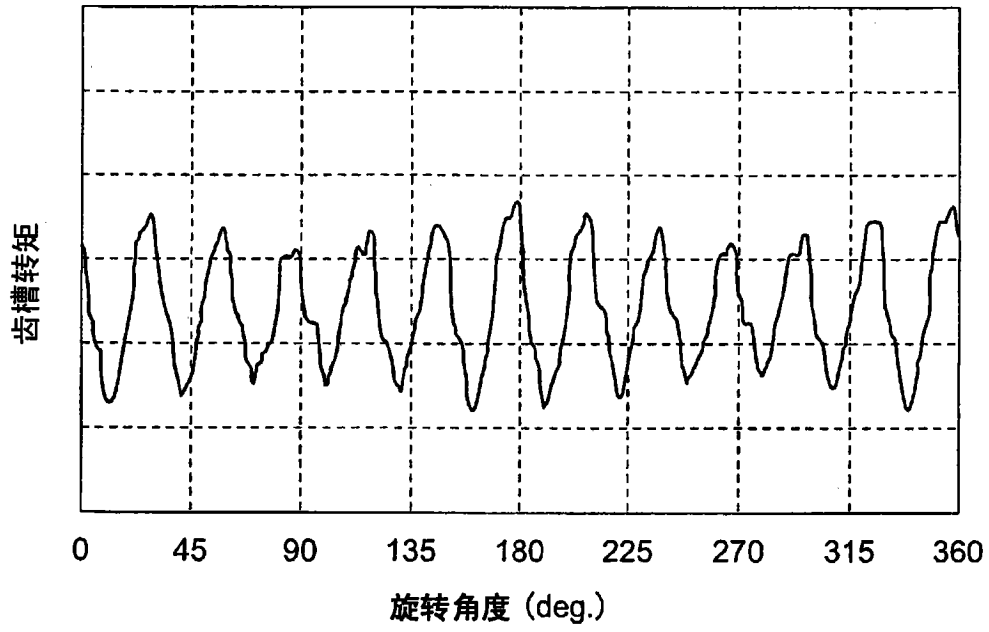


图 8

(a)



(b)

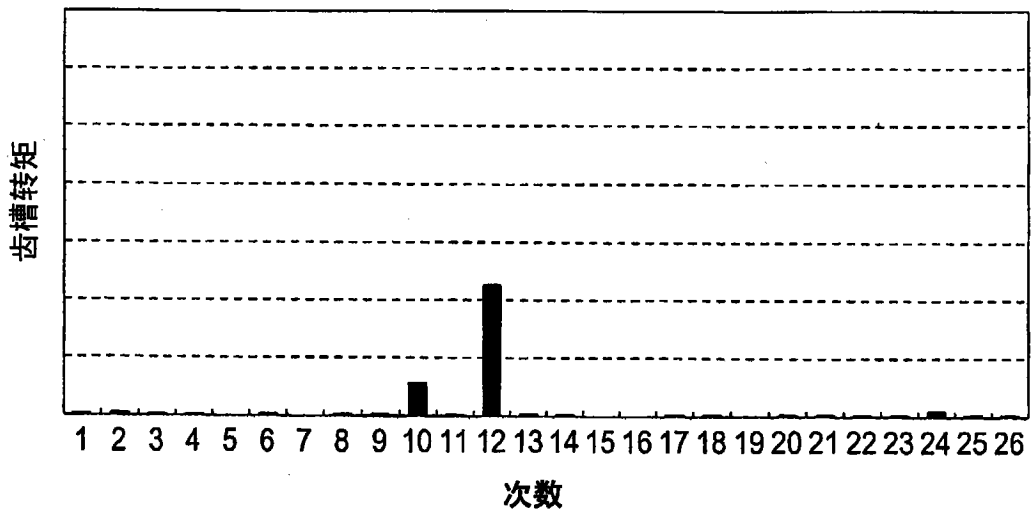


图 9

10

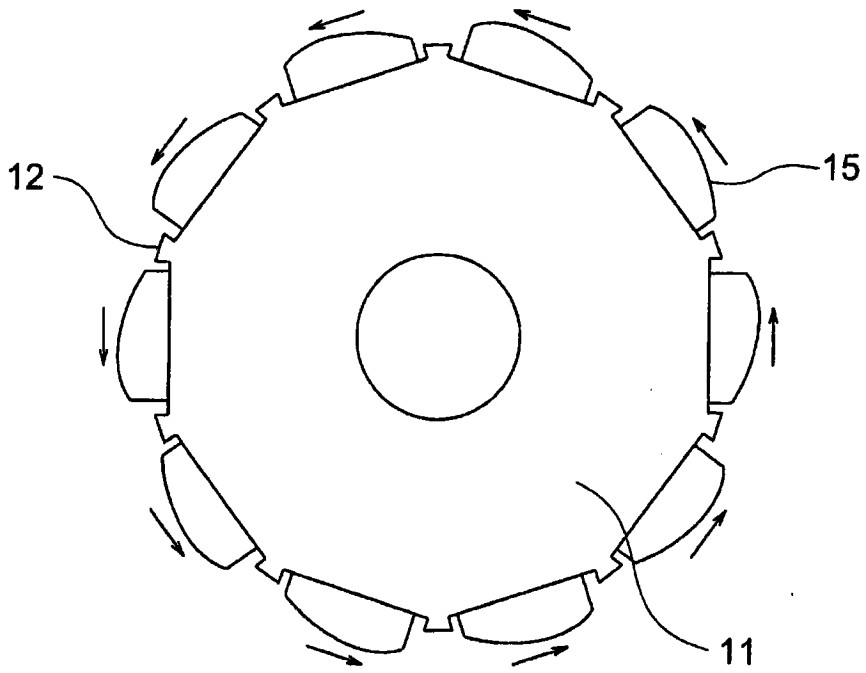


图 10

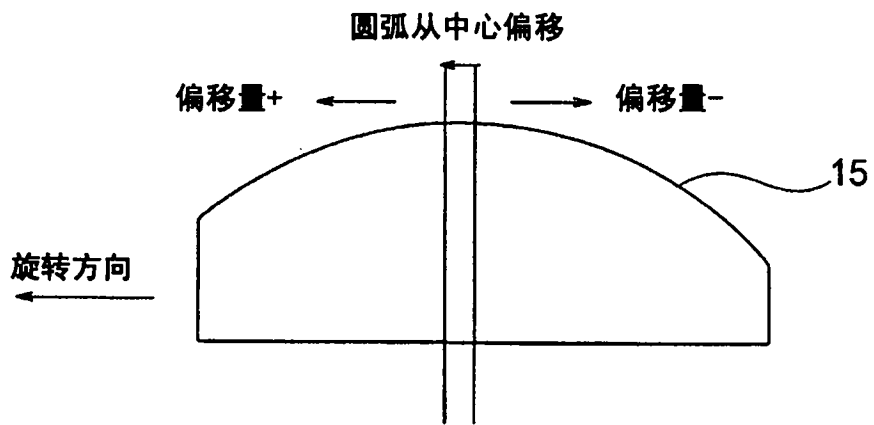


图 11

10

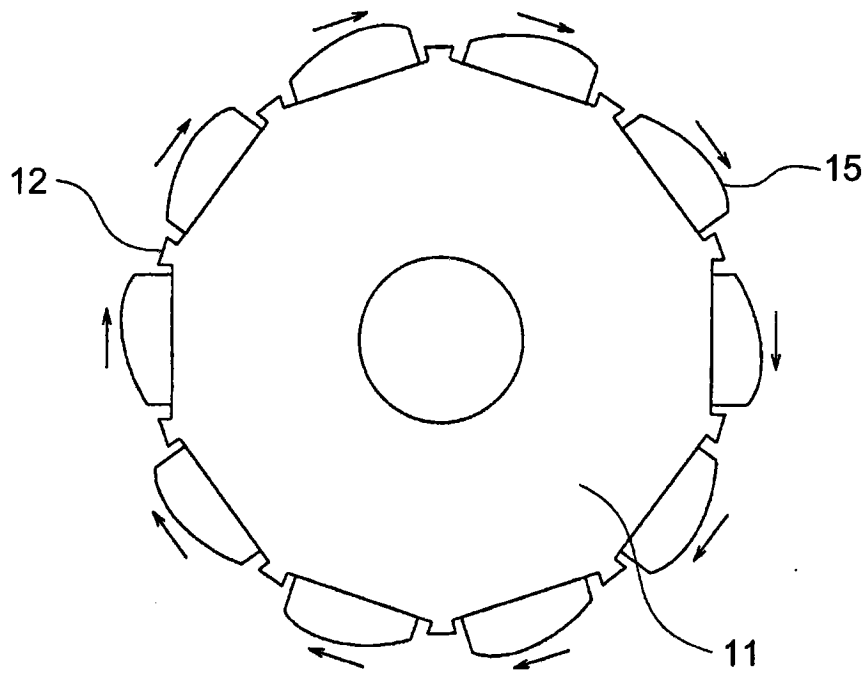


图 12

10

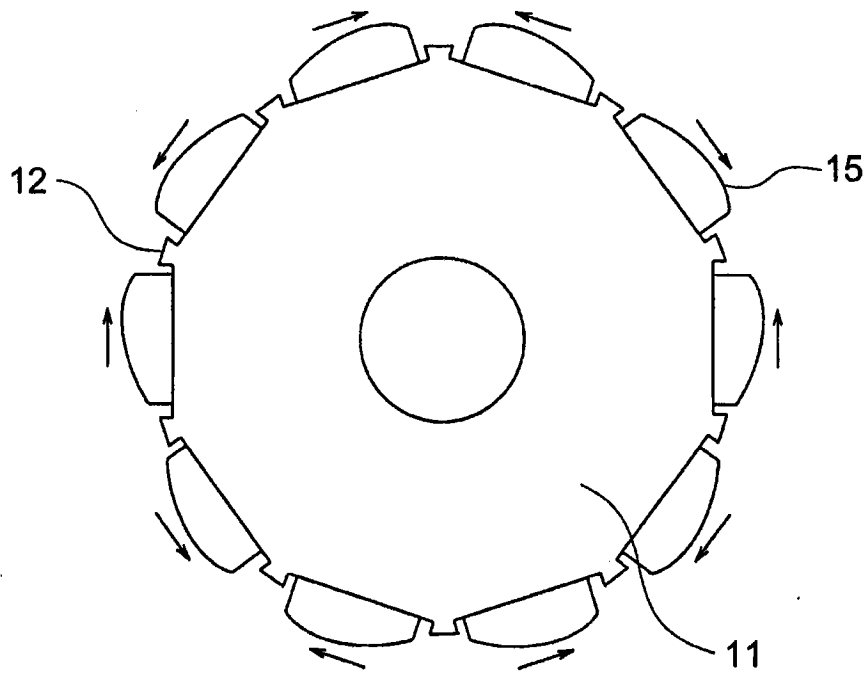


图 13

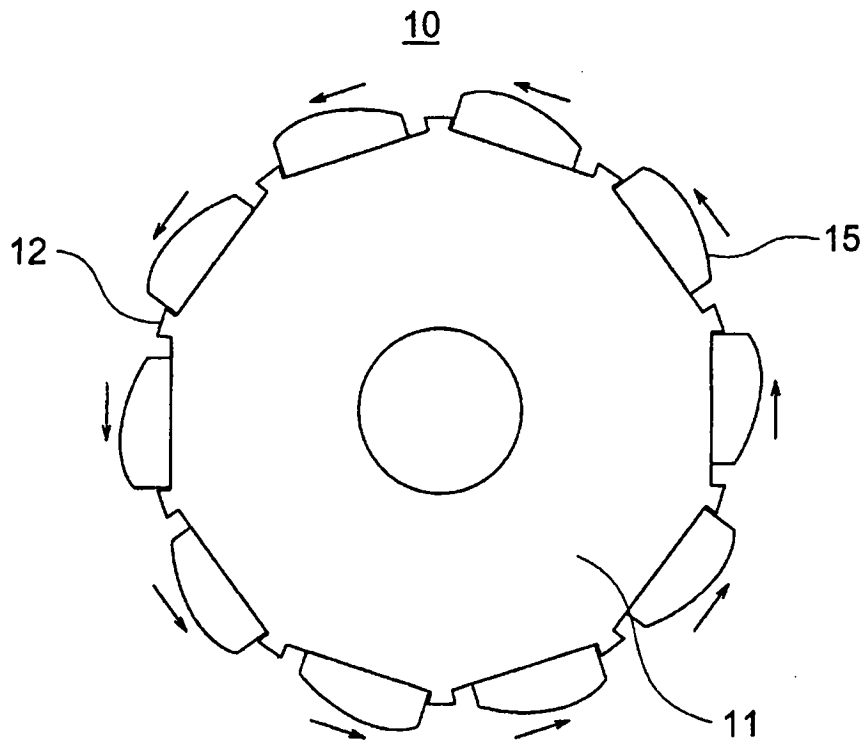


图 14

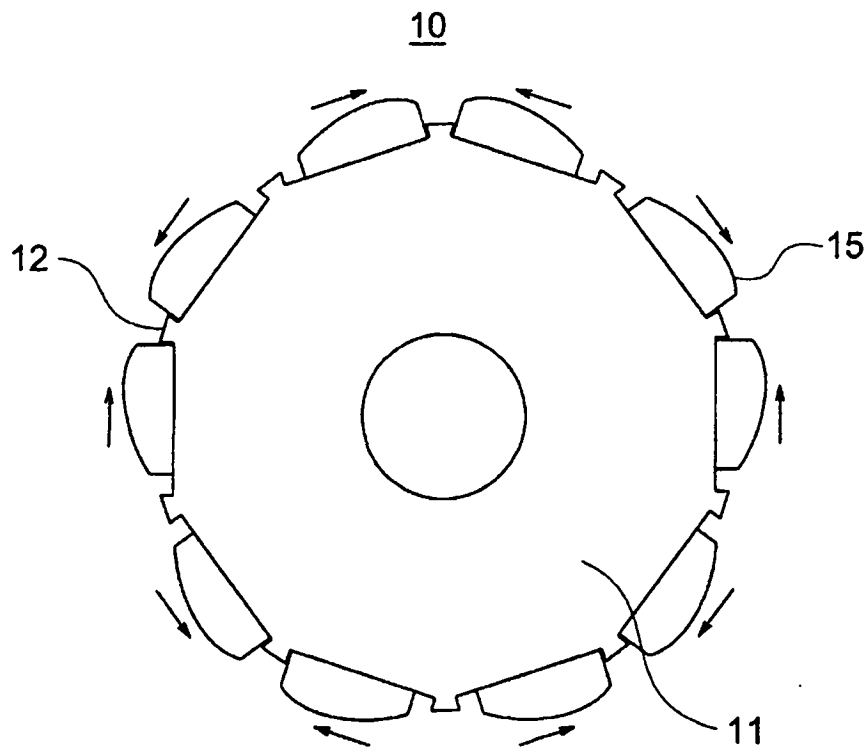


图 15

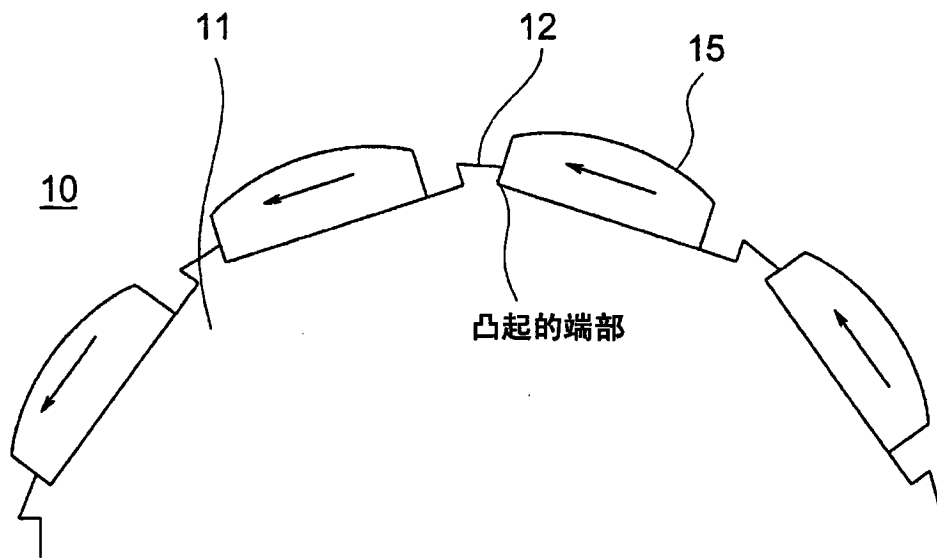


图 16

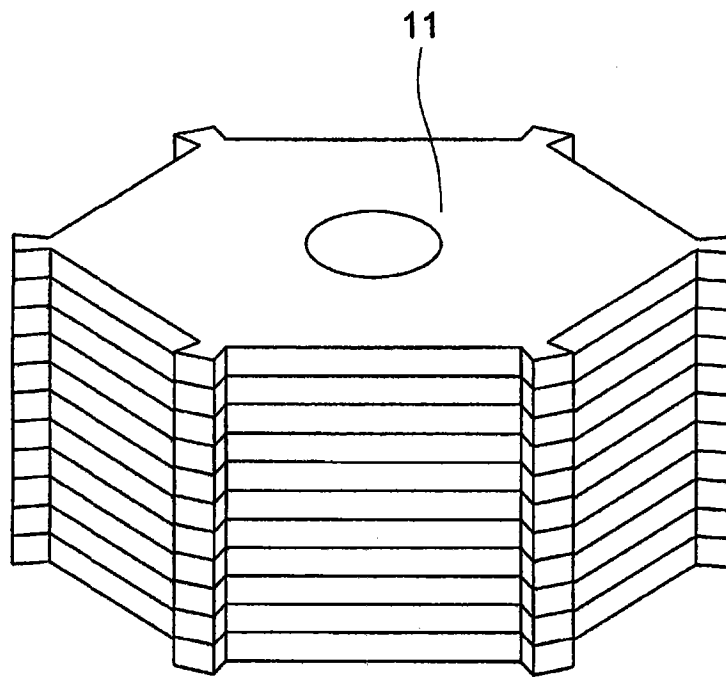


图 17

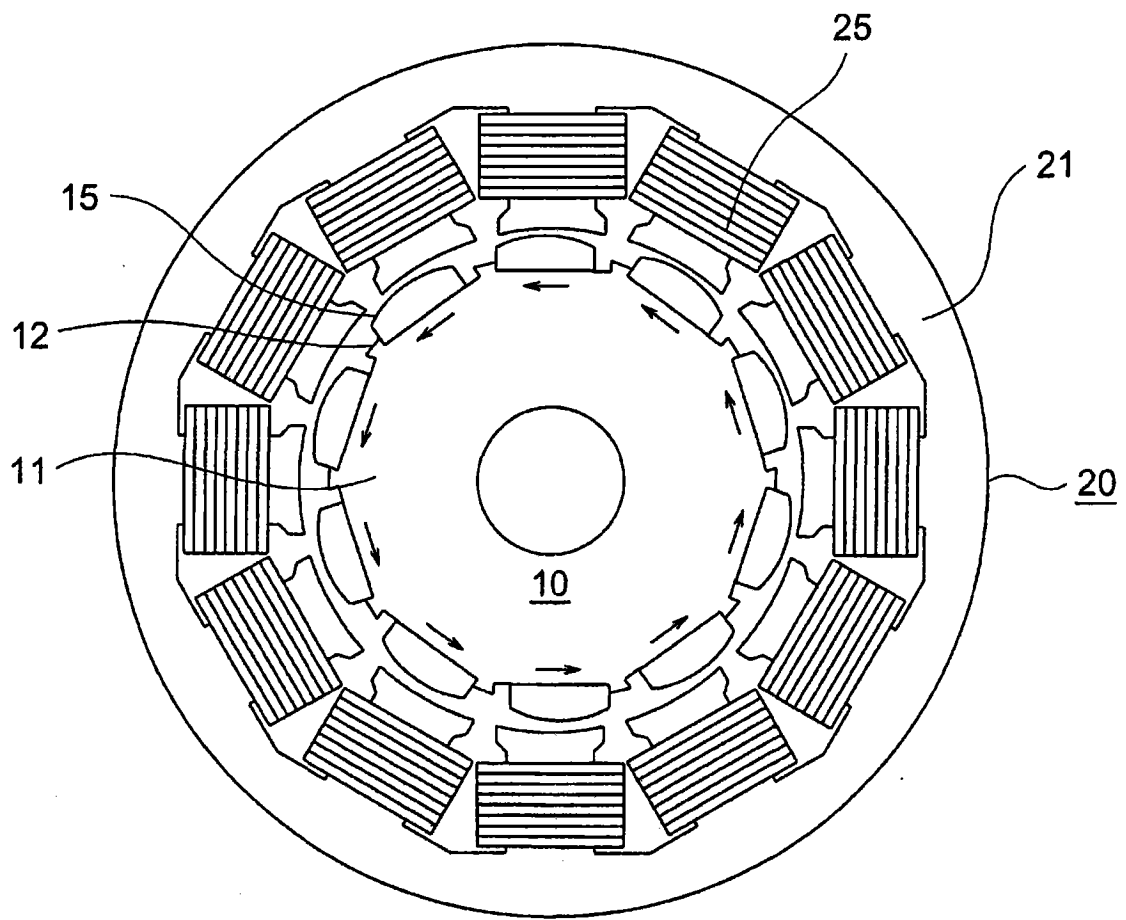


图 18

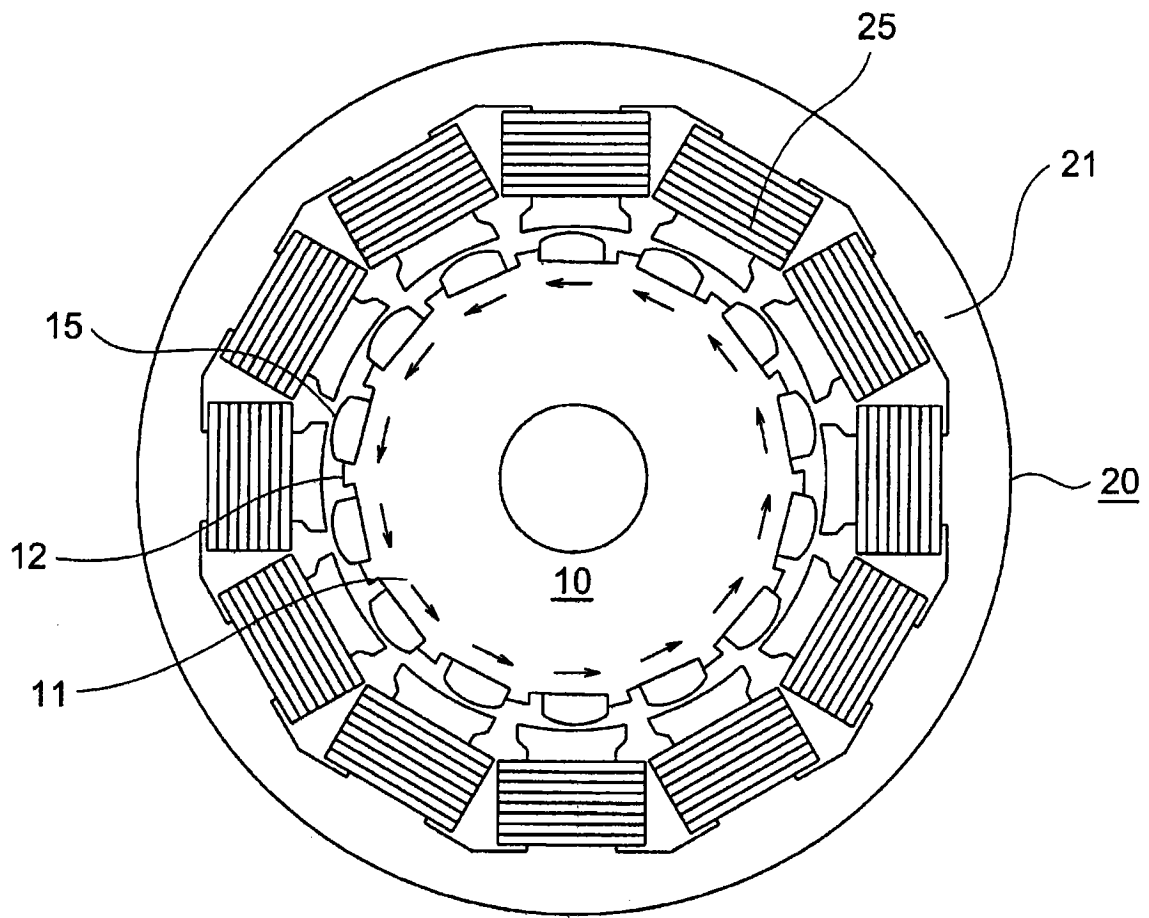


图 19

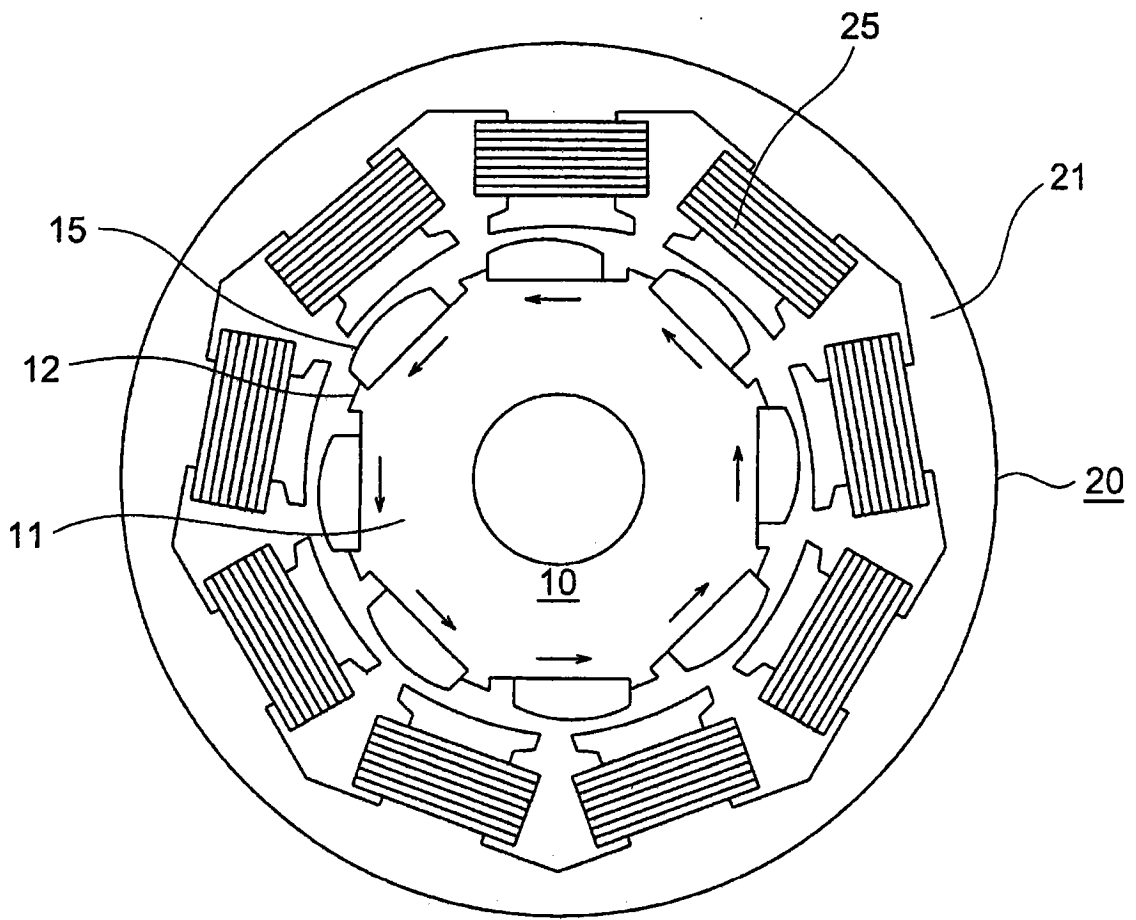


图 20

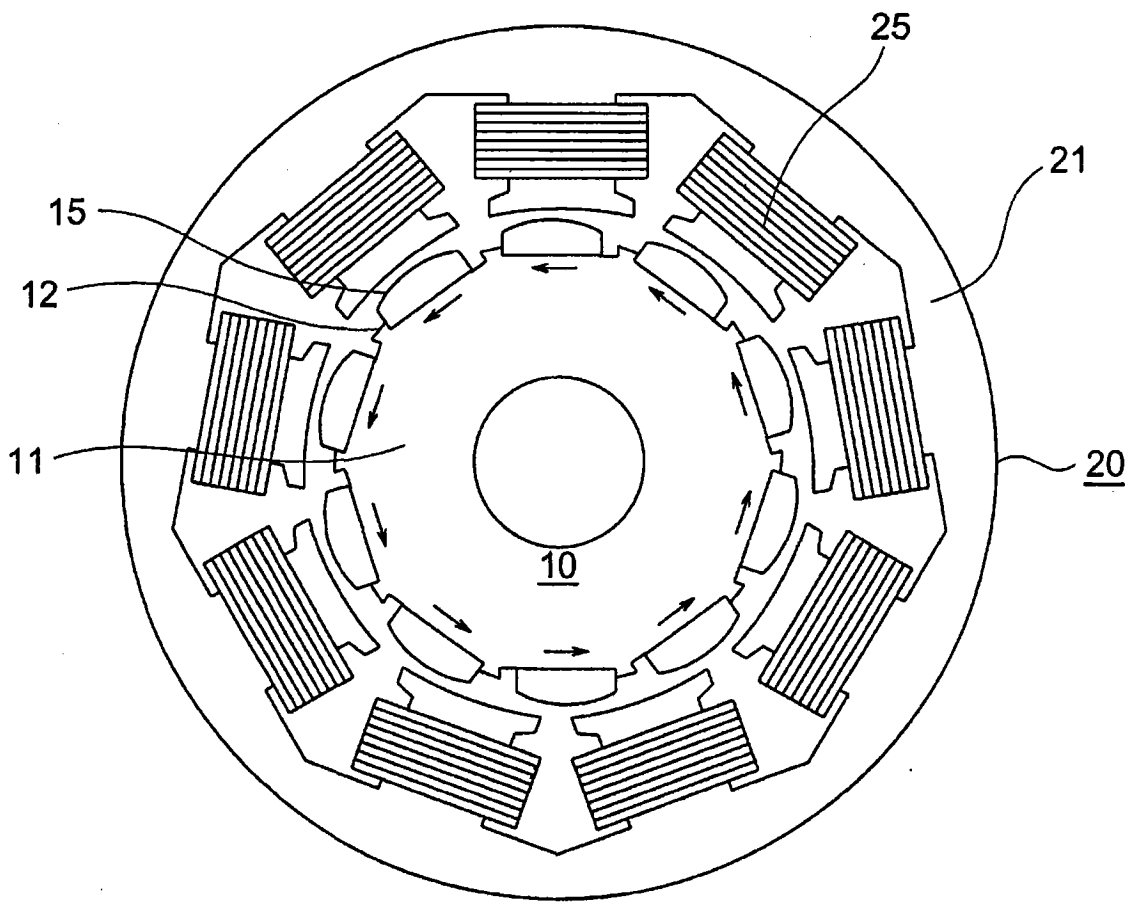


图 21

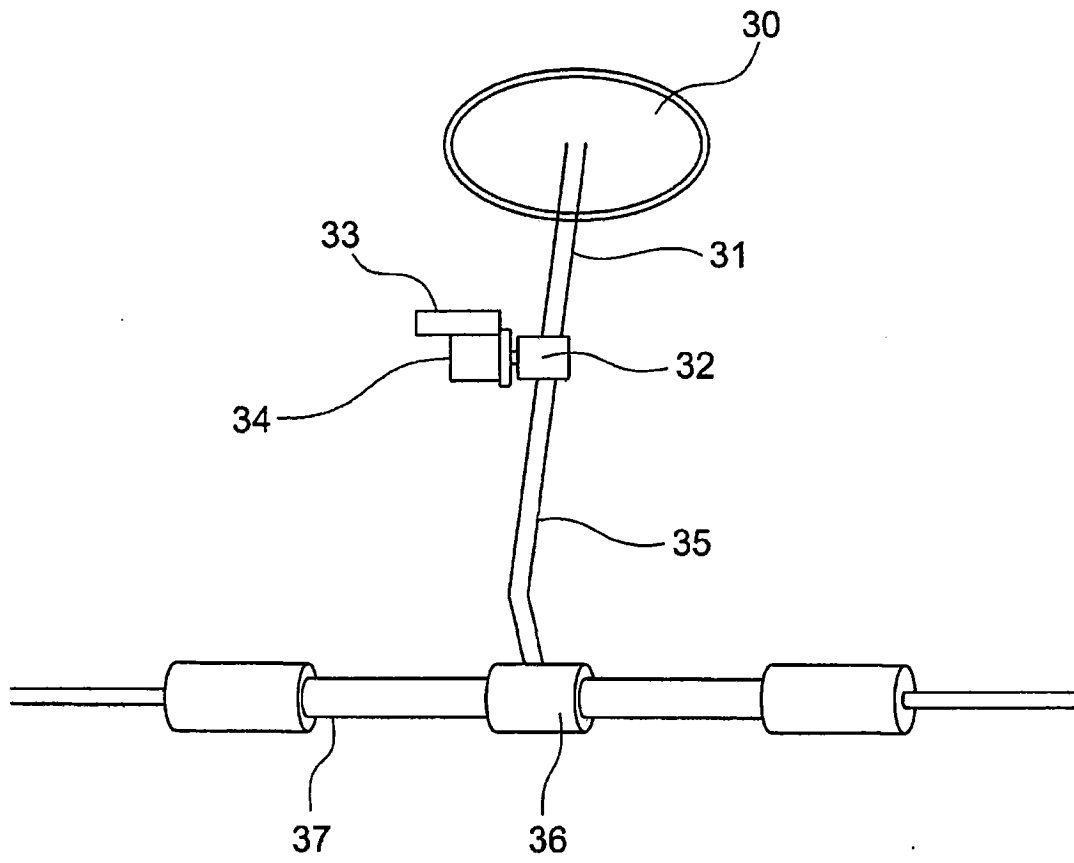


图 22

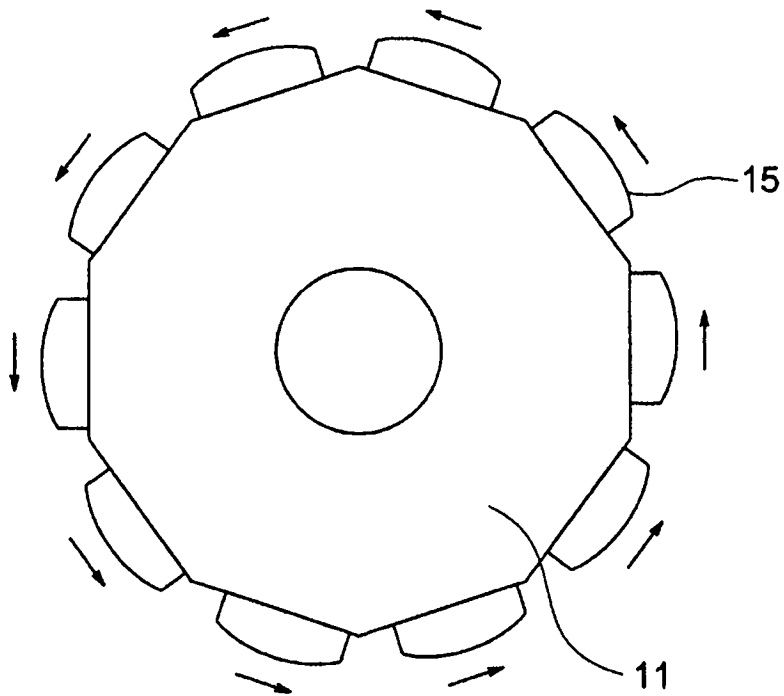


图 23

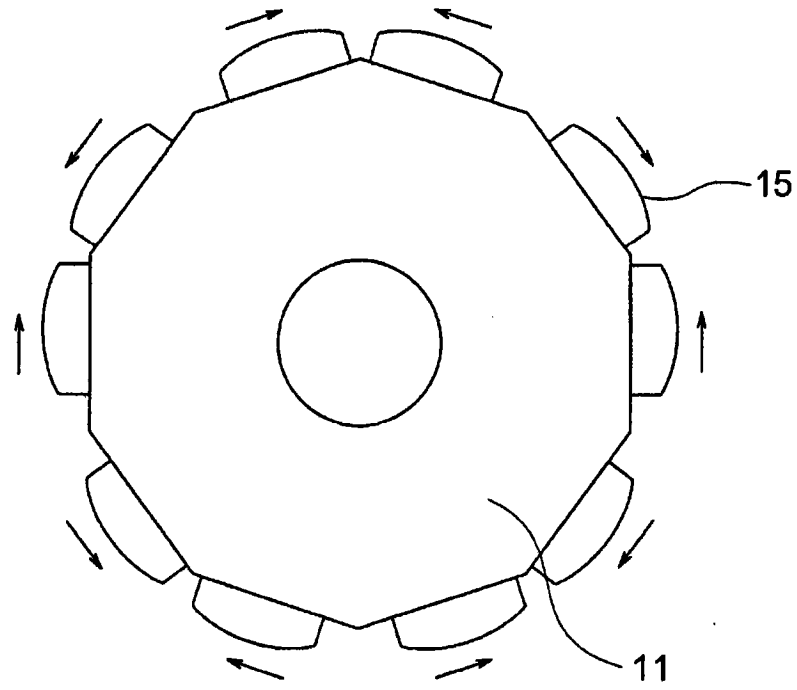


图 24

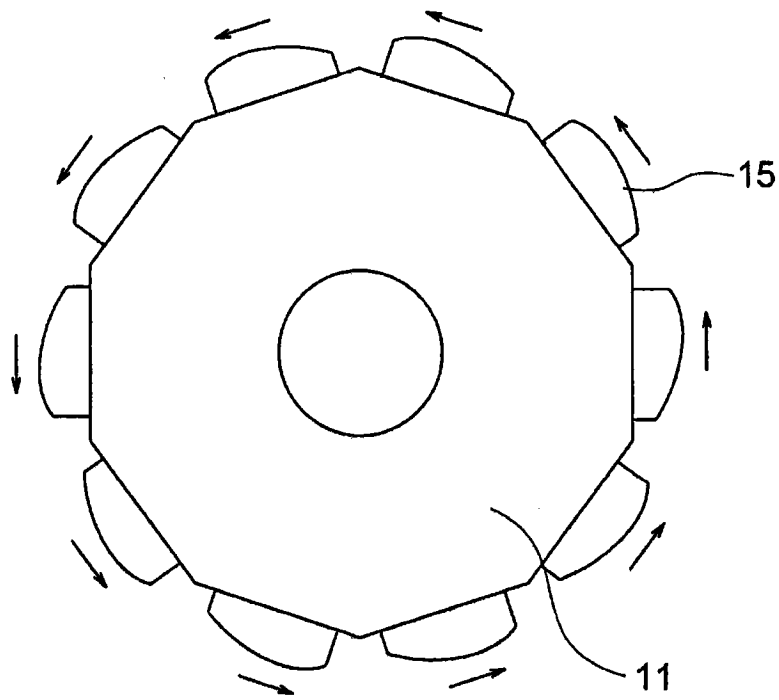


图 25

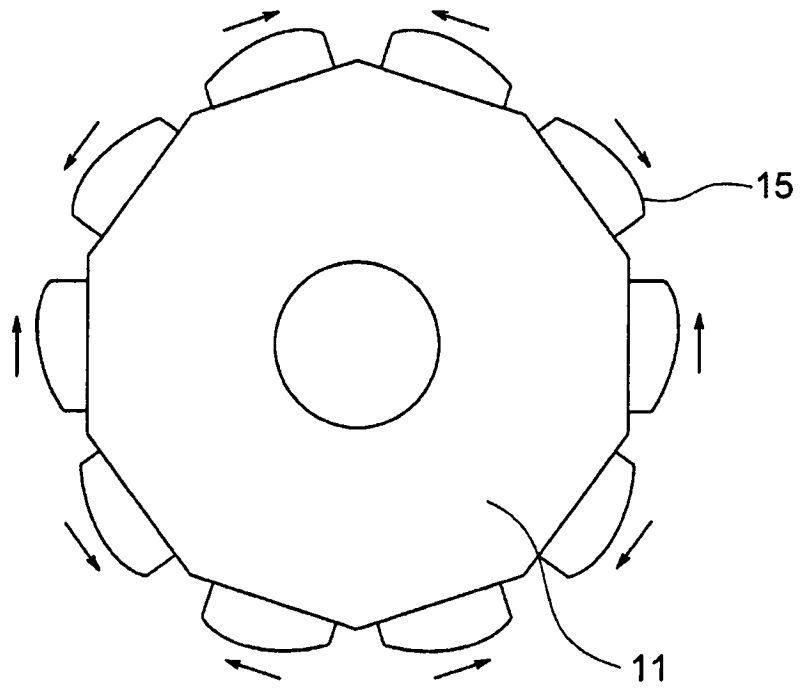


图 26

10

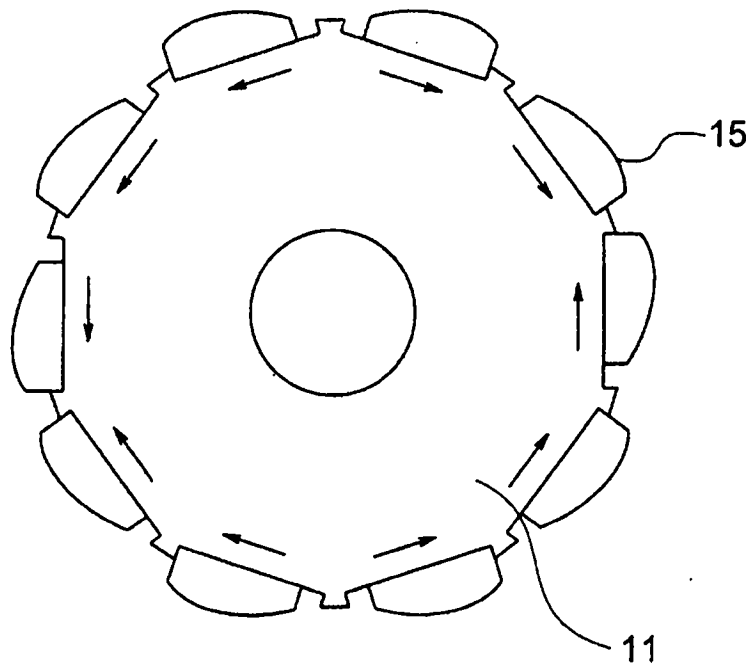
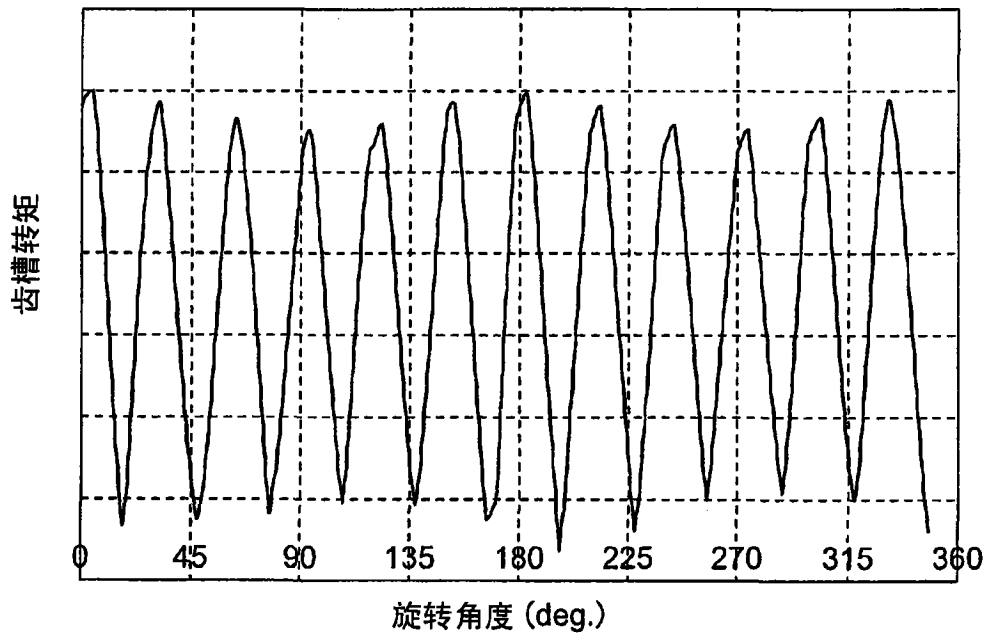


图 27

(a)



(b)

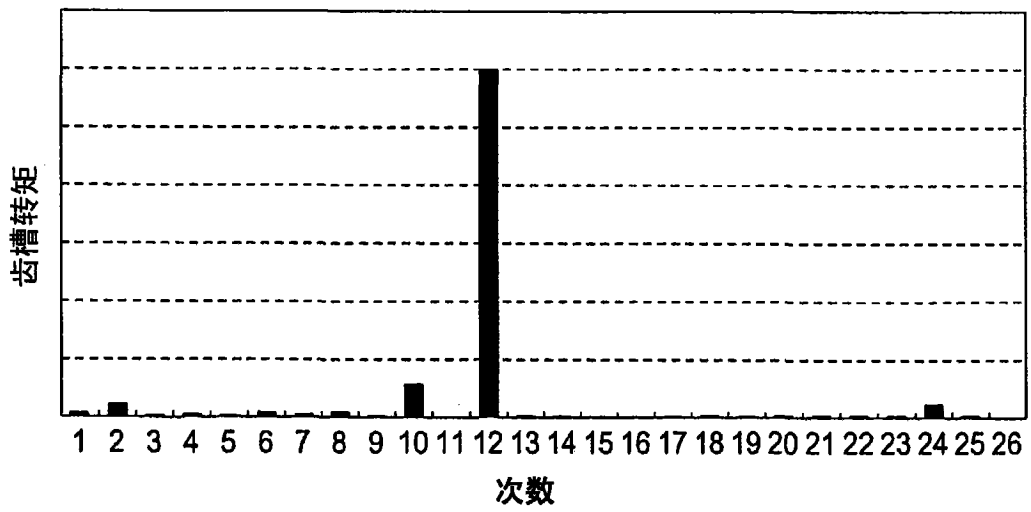


图 28