



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101416372 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 200780012171. 4

(22) 申请日 2007. 04. 03

(30) 优先权数据

102632/2006 2006. 04. 04 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 10. 06

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2007/000870 2007. 04. 03

(87) PCT申请的公布数据

W02007/113651 EN 2007. 10. 11

(73) 专利权人 丰田自动车株式会社

地址 日本爱知县

(72) 发明人 山下正治

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理

有限责任公司 11258

代理人 王安武 南霆

(51) Int. Cl.

H02K 21/44 (2006. 01)

H02P 6/08 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1373549 A, 2002. 10. 09, 全文.

EP 0909010 A1, 1999. 04. 14, 全文.

WO 2006/019058 A1, 2006. 02. 23, 全文.

US 5672925 A, 1997. 09. 30, 全文.

EP 0707374 A1, 1996. 04. 17, 全文.

EP 0394527 A1, 1990. 10. 31, 全文.

审查员 李子文

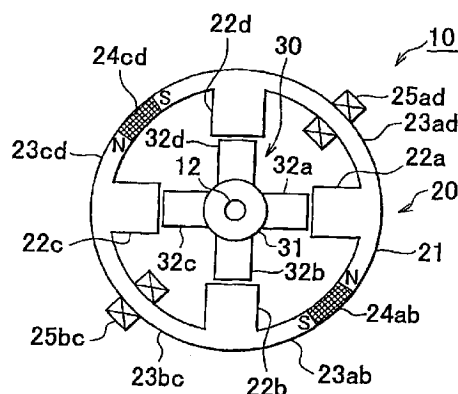
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 13 页

(54) 发明名称

电动机及用于该电动机的电力供应控制装置

(57) 摘要

本发明提供一种电动机及用于该电动机的电力供应控制装置。在定子 (20) 的环形体 (21) 内, 在位于偶数个定子磁极 (22) 之间的交替的极间磁路部分 (23) 中设置有永磁体 (24), 从而产生沿环形体 (21) 的周向指向的磁场。线圈 (25) 绕着未设置有永磁体 (24) 的交替的极间磁路部分 (23) 卷绕, 从而产生与永磁体 (24) 所产生的磁场相反的磁场。当电力未供应到线圈 (25) 时, 由永磁体 (24) 形成环形磁路, 从而, 磁通量不会泄漏到转子。当电力供应到线圈 (25) 时, 永磁体 (24) 的磁场的磁通量和线圈 (25) 的磁场的磁通量彼此结合并从定子磁极 (22) 流到转子 (30) 的转子磁极 (32), 从而获得强大的吸力。



1. 一种电动机,该电动机通过将至少三个基本模块(10)沿转轴(12)延伸的方向相互连接而形成,并且其中通过电力供应控制装置(40)来控制对每个基本模块(10)的电力供应,所述基本模块包括:

定子(20),该定子具有形成磁路的中空圆环形体(21),其中,偶数个定子磁极(22)以有规律的间隔沿该环形体(21)的周向设置,并且所述定子磁极(22)从所述环形体(21)的内表面沿径向向内突出;

转子(30),该转子与所述定子(20)同轴地设置,形成磁路,其中,所述转子(30)具有与所述定子磁极(22)数目相同的转子磁极(32),所述转子磁极(32)从所述转子(30)的外表面沿径向向外突出,所述转子磁极(32)以有规律的间隔沿周向设置,并且当所述转子(30)位于预定的转动位置时,所述转子磁极(32)面向形成于所述定子上的所述定子磁极(22);

永磁体(24),该永磁体设置在位于连续的定子磁极(22)之间的偶数个极间磁路部分(23)中交替的极间磁路部分(23)中,从而沿同一方向产生沿所述环形体的周向指向的磁场;和

线圈(25),该线圈通过使用由所述电力供应控制装置(40)所供应的电力,产生与所述永磁体(24)所产生的磁场相反的磁场,并且绕着其余的未设置永磁体(24)的所述交替的极间磁路部分(23)卷绕,

其中,在每个基本模块(10)之间,所述定子磁极(22)和所述转子磁极(32)彼此面对时的转动位置相差大致相等的相位差,所述相位差是通过将 360° 除以一个基本模块的磁极的数目以及基本模块的数目的乘积得到的值,

其中,所述电力供应控制装置包括:

转动角传感器,其检测所述转子(30)的转动角;以及

电力供应装置,其用于根据所述转动角传感器测得的转动角,在每个基本模块(10)相差与由下述等式表示的电角度对应的相位差时,向所述基本模块(10)的线圈(25)供应电力,上述等式为 $360^\circ/n$ 的电角度,其中“n”表示所述基本模块的数目, 360° 的电角度对应于将 360° 的机械角度除以一个基本模块的磁极数目(m)所得到的值。

2. 如权利要求1所述的电动机,其中:

所述电动机(30)相对于所述转子(30)的转轴对称。

3. 如权利要求1或2所述的电动机,其中:

所述定子(20)和所述转子(30)是软磁体。

4. 如权利要求3所述的电动机,其中:

每个所述定子(20)和所述转子(30)分别通过堆叠多个磁性钢片形成,每个磁性钢片都厚达1毫米。

5. 如权利要求1或2所述的电动机,其中:

当所述定子磁极(22)和所述转子磁极(32)彼此面对并且所述定子磁极(22)和所述转子磁极(32)的中心线重合时,所述定子磁极(22)和所述转子磁极(32)之间的气隙的长度随着离所述定子磁极(22)和所述转子磁极(32)的中心线沿周向的距离的增加而增加,其中:

所述定子磁极(22)和所述转子磁极(32)的彼此面对的端面是部分地形成虚拟圆柱面的弧面,并且其中

所述定子磁极的端面的弧面与所述转子共用转动轴心 (01), 所述转子磁极的端面的弧面形成轴心在中心 (02), 该中心 (02) 相对于所述转子的转动轴心 (01) 沿径向向外偏移, 或者

所述定子磁极的端面的弧面的轴心相对于所述转子的转动轴心 (01) 沿与所述定子磁极的距离增大的方向偏移。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的电动机, 其中:

沿径向向内凹入的凹槽 (26, 27) 在形成所述定子磁极 (22) 的位置处形成于所述定子 (20) 的所述环形体 (21) 的外表面中。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的电动机, 其中:

供所述线圈 (25) 绕其卷绕的所述极间磁路部分 (23) 处的所述环形体 (21) 的半径大于在其中设置有所述永磁体 (24) 的所述极间磁路部分 (23) 处的所述环形体 (21) 的半径。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的电动机, 其中:

在连续的所述基本模块 (10) 之间保持有气隙 (G)。

9. 一种使用如权利要求 1 或 2 中所述的电动机作为用于将转向力供应到车辆的转向轮 (W) 的电动转向系统的驱动单元的用途。

电动机及用于该电动机的电力供应控制装置

技术领域

[0001] 本发明涉及使用由永磁体产生的吸引力的电动机,还涉及用于该电动机的电力供应控制装置。

背景技术

[0002] 在使得车辆的转向轮转动的电动转向系统中,例如面装式永磁电动机(SPM 电动机)用作驱动单元。近些年来,对于更有效和更高功率电动转向系统的需求也在日益增长。然而,如果电动机产生更高功率,那么电动机损失扭矩、定位转矩以及电动机惯性(系统惯性)将随着电动机产生的功率的增长而成比例地增长。因而,驾驶员感受到的操纵感降低。

[0003] 尽管电动机转矩中的波动影响了操纵感,这种转矩波动还是能够通过控制以反馈方式供应到电动机的电流而得到控制。然而,因为当电力未供应到电动机时不能执行反馈控制,所以当电力未供应到电动机时出现的电动机损失转矩可能造成操纵感降低,例如驾驶员的方向盘无意中转动。在电力未供应到电动机时,同样可能产生定位转矩。因此,定位转矩还造成操纵感降低,因为当电力未供应到电动机时不能执行反馈控制。此外,这种电动机损失转矩和定位转矩随着电动机的输出而成比例地增加。这妨碍了电动机效率和电动机输出功率的提高。

[0004] 此外,高功率电动机需要在转子和定子中具有大量磁路。这增加了转子的体积和转动惯量。因此,在电动转向系统中,执行补偿控制以减小由于这种惯性造成的转矩波动。然而,由于电动机的时间常数或者传感器的性能,不能执行完全的补偿。在此情况下,当惯性小时,对此波动的补偿足以使得驾驶员感受到转矩波动。然而,如果惯性大时,惯性将会影响操纵感。

[0005] 日本专利申请文献 No. 2004-236369(JP-A-2004-236369)描述了一种开关磁阻电动机(SR 电动机),该开关磁阻电动机产生高功率并且减小定位转矩。在 JP-A-2004-236369 所描述的电动机中,在定子的围绕转子的内表面上沿着周向设置有多个凸极部分,线圈绕着所述凸极部分卷绕并且所述凸极部分向内延伸,并且永磁体埋在线圈绕其卷绕的凸极部分中。当电力供应到线圈时,由于线圈产生的磁通量和永磁体产生的磁通量所合成的磁通量,转子收到强烈的磁性吸引力的吸引。从而,获得高转矩。为了减小定位转矩,采用下列结构。在该结构中,永磁体埋在凸极部分中靠近该凸极部分的背朝转子转动方向的侧部的位置处,并且永磁体的磁极面朝向凸极部分的内部。

[0006] 然而,即使具有 JP-A-2004-236369 所描述的结构,由于设置在转子的凸极部分处的永磁体,定子和转子之间还是存在贯通磁通量。因此,定位转矩不合适地减小。因而,即使这种电动机用在电动转向系统中,操纵感还是未得到改善。

发明内容

[0007] 本发明抑制由于当电力未供应到电动机时出现的定位转矩等的转矩波动。

[0008] 本发明的第一方面涉及一种电动机,其包括定子,该定子具有形成磁路的中空圆

环形体,其中,偶数个定子磁极以有规律的间隔沿该环形体的周向设置,并且所述定子磁极从所述环形体的内面沿径向向内突出。电动机还包括转子,该转子与所述定子同轴地设置,形成磁路,其中,所述转子具有转子磁极,所述转子磁极从所述转子的外面沿径向向外突出,并且当所述转子在预定的转动位置时,所述转子磁极面朝所述定子磁极。所述电动机还包括:永磁体,其设置在位于连续的定子磁极之间的偶数个极间磁路部分内的交替的极间磁路部分中,从而产生沿周向指向的磁场;和线圈,其绕着其余的未设置有永磁体的交替的极间磁路部分卷绕,从而产生与永磁体所产生的磁场相反的磁场。

[0009] 根据本发明的第一方面,在所述环形体的内面上形成偶数个定子磁极,并且永磁体和线圈交替地设置在位于连续的定子磁极之间的极间磁路部分处。极间磁路部分的数目等于定子磁极的数目。在这些极间磁路部分之间,在交替的极间磁路部分中设置有永磁体,并且线圈绕着未设置有永磁体的极间磁路卷绕。永磁体设置为产生沿着所述环形体的周向指向的磁场。线圈绕着极间磁路部分卷绕,使得当电力供应到所述线圈时,该磁场与永磁体所产生的磁场相反。例如,如果有两个定子磁极,则形成两个极间磁路部分。在此情况下,永磁体设置在其中一个极间磁路部分中,线圈绕着另一个极间磁路部分卷绕。如果定子磁极的数目是四个或更多,永磁体设置在交替的极间磁路部分中。永磁体设置为使得永磁体所产生的磁场沿同一方向指向。

[0010] 因此,当电力未供应到线圈时,磁通量由于永磁体所产生的磁场而沿着环形磁体的周向流动,并且磁通量不会从定子磁极朝向转子泄漏。当电力供应到线圈时,在绕其卷绕有线圈的极间磁路部分中产生与永磁体所产生的磁场相反的磁场。因此,永磁体所产生的磁场的磁通量以及线圈所产生的磁场的磁通量彼此结合,并从定子磁极流向转子的转子磁极。即,永磁体所产生的磁场被线圈所产生的相反的磁场所推回。于是,产生从极间磁路部分经过定子磁极、转子磁极、转子磁体、相邻的转子磁极、相邻的定子磁极到极间磁路部分的磁通量的流动。类似地,线圈所产生的磁场被永磁体所产生的磁场推回。于是,产生从极间磁路部分经过定子磁极、转子磁极、转子磁体、相邻的转子磁极、相邻的定子磁极到极间磁路部分的磁通量的流动。

[0011] 因此,当电力未供应到线圈时,磁极之间(定子磁极和转子磁极之间)的磁通量的流动受到抑制,这防止产生定位转矩和损失转矩。从而,根据本发明的第一方面,当电力未供应到线圈时,可以抑制转矩波动。

[0012] 在本发明的第一方面中,所述转子可相对于转子的转轴对称。由此结构,可以防止沿垂直于转轴的方向指向的力变得不平衡,从而,减小噪音和振动。

[0013] 在本发明的第一方面中,所述定子和转子可以是软磁体。这提高了电动机的效率(从电动机输出的能量与输入到电动机中的能量的比值)。

[0014] 在本发明的第一方面中,每个定子和转子都可通过堆叠多个磁性钢片所形成,每个磁性钢片都厚达1毫米。由此结构,可以合适地减小涡流损失和滞后损失。因而,电动机实现高效率。

[0015] 在本发明的第一方面中,当定子磁极和转子磁极彼此面对并且定子磁极和转子磁极的中心线重合时,定子磁极和转子磁极之间的气隙的长度将会随着定子磁极和转子磁极的中心线之间的距离的增加而增加。在此情况下,定子磁极和转子磁极的彼此面对的端面可以是形成虚拟圆柱面的一部分的弧面,所述虚拟圆柱面包括定子磁极和转子磁极中的一

者的端面,所述虚拟圆柱面的轴线可相对于转轴的中心沿径向偏移,使得气隙在周向上的长度随着中心线之间的距离的增加而增加。

[0016] 由此结构,相对于转子移动的量,转矩适当地和平滑地变化。转子磁极和定子磁极随着转子的转动而彼此靠近和彼此原理。当转子磁极和定子磁极在彼此相对的同时朝向彼此运动时,转矩的变化增加。因而,形成具有较小转矩波动的电动机。

[0017] 在本发明的第一方面中,沿径向向内凹入的凹槽可在形成定子磁极的位置处形成于定子的环形体的外面中。

[0018] 由此结构,当永磁体所产生的磁场被线圈所产生的磁场推回时,凹槽引导磁通量朝向定子磁极流动。因此,当电力供应到线圈时,磁通量被合适地传递到转子,这使得在磁极之间可以有效地产生吸力。此外,环形体的重量得以减小。

[0019] 在本发明的第一方面中,在绕其卷绕有线圈的极间磁路部分处的环形体的半径可以大于在其中设置有永磁体的极间磁路部分处的环形体的半径。

[0020] 由此结构,当电力供应到线圈时,更易于引导永磁体的沿环形体的周向流动的磁通量朝向定子磁极,因为在设置有永磁体的极间磁路部分以及绕其卷绕有线圈的极间磁路部分之间环形体的半径不同。因而,当电力供应到线圈时,可以合适地朝向转子引导磁通量,这使得可以在磁极之间有效地产生吸力。此外,得以确保在环形体内侧上用于卷绕线圈的更大的空间,因为在绕其卷绕有线圈的极间磁路部分处的环形体的半径大于在设置有永磁体的极间磁路部分处的环形体的半径。这减小了铜损。

[0021] 本发明的第二方面涉及一种组合电动机,该组合电动机包括至少三个基本模块,每个基本模块都是由根据本发明的第一方面的电动机所形成。根据本发明的第二方面,在该处定子磁极和转子磁极朝向彼此的转动位置处每个基本模块之间相差一个大致相等的相位差。

[0022] 由此结构,可以恒定地产生转矩而不论转子的转动角度和转动角速度。即,当电动机仅由一个基本模块形成时,如果转子停止在某一转动角处,电动机可能不能启动。然而,在这些基本模块之间的磁极的相位在转子转动的方向上彼此偏移,使得吸力能够平均地(以有规律的转动角度间隔)产生。因此,不会出现这种不便。从而,组合电动机能够有效地应用于系统作为电动转向系统,在该电动转向系统中,电动机转矩是必需的,即使在电动机的转动角速度为零——即电动机停止时也是如此。

[0023] 在本发明的第二方面中,所述至少三个基本模块可以沿转轴延伸的方向彼此连接,并且在连续的基本模块之间保持有气隙。

[0024] 由此结构,可以防止磁通量在基本模块之间泄漏,这减小了转矩波动。

[0025] 本发明的第三方面涉及一种电力供应控制装置,其对供应到根据本发明第二方面的组合电动机的电力进行控制。该电力供应控制装置包括:转动角传感器,其检测转子的转动角;以及电力供应装置,其用于根据所述转动角传感器测得的转动角在每个基本模块的相位差等于由下列等式表示的电角度——为 $360^\circ / n$ 的电角度时将电力供应到所述基本模块的线圈。这里,“n”表示基本模块的数目, 360° 的电角度相当于将 360° 的机械角度除以一个基本模块的磁极数目“m”所得到的值。

[0026] 由此结构,电力被供应到所述基本模块达一段时间,在此期间,所述转子转动过预定转动角,并且电力在每个基本模块都不同的时间时被供应到基本模块的线圈。这使得可

以在顺时针方向或逆时针方向合适地转动电动机。

[0027] 根据本发明的第四方面,根据本发明的第二方面的组合电动机在使得车辆的转向轮转动的电动转向系统用作驱动单元。由此设置,操纵感得以改善,因为当电力未供应到线圈是转矩波动相当小的电动机用在电动转向 系统中。

附图说明

[0028] 从参照附图对示例实施例进行的下面描述中,可以明白本发明的前述和其它目的、特征和优点,其中相同或相应的部分将由相同的附图标记表示,其中:

[0029] 图 1 是根据本发明的实施例的基本模块的横截面图,这通过沿所述基本模块将其径向切开而获得;

[0030] 图 2A 和 2B 是示出基本模块中磁通量分布的视图;

[0031] 图 3 是示意性地示出电动机的视图;

[0032] 图 4A 到 4C 是示出基本模块之间相位差的视图;

[0033] 图 5A 和 5B 是示出转矩特性相对于电动机的转动角的视图;

[0034] 图 6A 和 6B 是示出定子磁极和转子磁极之间位置关系的视图;

[0035] 图 7 是示意性地示出电力供应控制装置的视图;

[0036] 图 8 是示意性地示出根据本发明的实施例的改进实例的电力供应控制装置的视图;

[0037] 图 9 是示出当转子沿顺时针方向转动时电力被供应到每个基本模块的时间期间的正时曲线图;

[0038] 图 10 是示出当转子沿逆时针方向转动时电力被供应到每个基本模块的时间期间的正时曲线图;

[0039] 图 11 是示出供应到根据本发明的实施例的改进实例的电动机的波形的视图;

[0040] 图 12 是示出根据本发明的实施例的改进实例的磁极之间的气隙的形状的视图;

[0041] 图 13A 到 13C 是示出根据本发明的实施例的改进实例的磁极的端部肩台部分的形状的视图;

[0042] 图 14A 和 14B 是示出根据本发明的实施例的改进实例的环形体中形成凹槽的视图;

[0043] 图 15 是根据本发明的实施例的改进实例的环形体的部分放大视图;

[0044] 图 16 是根据本发明的实施例的改进实例的基本模块的横截面视图,这通过沿所述基本模块将其径向切开而获得;以及

[0045] 图 17 是示意性地示出电动转向系统的视图。

具体实施方式

[0046] 此后,将参照附图描述根据本发明的实施例的电动机和用于该电动机的电力供应控制装置。如图 3 所示,通过将三个基本模块 10(第一基本模块 10A、第二基本模块 10B 和第三基本模块 10C:这些基本模块将被总称为基本模块 10)沿轴向彼此连接而形成根据本发明的实施例的电动机 1。电动机 1 用作电动转向系统的驱动单元,这将在稍后详细描述。首先,将描述基本模块 10。图 1 示出形成根据本发明的实施例的电动机 1 的基本模块 10。

基本模块 10 包括固定到电动机壳 11 的定子 20 以及设置在定子 20 中从而可将轴 12 用作转轴转动的转子 30。

[0047] 定子 20 由中空圆环形体 21 形成,所述环形体具有四个一体模制的定子磁极 22a、22b、22c 和 22d。定子磁极 22a、22b、22c 和 22d 沿环形体 21 的周向以有规律的间距形成于环形体 21 的内面上。定子磁极 22a、22b、22c 和 22d 沿环形体 21 的径向从环形体 21 的内面向内突出。在定子 20 中,能够形成磁路。在本发明的实施例中,定子 20 通过沿轴向重叠多个磁性钢片而形成中空的圆柱形状,每个磁性钢片都被压成预定形状(每个磁性钢片由软磁材料制成,并且厚达 1 毫米)。每个定子磁极 22a、22b、22c 和 22d 形成为齿形。定子磁极 22a、22b、22c 和 22d 以有规律的间隔设置,使得其端部定位于与环形体 21 同轴的虚拟圆柱面上。

[0048] 永磁体 24ab 和 24cd 紧紧地埋在环形体 21 中。永磁体 24ab 埋在定子磁极之间的环形磁路部分 23ab(此后,称之为“极间磁路部分 23ab”)中,该环形磁路部分 23ab 是环形体 21 在定子磁极 22a 和定子磁极 22b 之间的一部分。永磁体 24cd 埋在定子磁极之间的环形磁路部分 23cd(此后,称之为“极间磁路部分 23cd”)中,该环形磁路部分 23cd 是环形体 21 在定子磁极 22c 和定子磁极 22d 之间的一部分。这两个永磁体 24ab 和 24cd 指向为使得产生沿着环形体 21 周向的相同方向的磁场。即,两个永磁体 24ab 和 24cd 设置为永磁体 24ab 的南极和永磁体 24cd 的北极在环形体的磁路上彼此相对。在本发明的实施例中,这两个永磁体 24ab 和 24cd 设置为使得产生图 1 中的沿逆时针方向指向的磁场。线圈 25ad 和 25bc 绕定子磁极之间的环形磁路部分卷绕,所述环形磁路部分中既未埋有永磁体 24ab,也未埋有永磁体 24cd。线圈 25ad 绕定子磁极之间的环形磁路部分 23ad(此后,称之为“极间磁路部分 23ad”)卷绕,该环形磁路部分 23ad 是环形体 21 在定子磁极 22a 和定子磁极 22d 之间的一部分。线圈 25bc 绕定子磁极之间的环形磁路部分 23bc(此后,称之为“极间磁路部分 23bc”)卷绕,该环形磁路部分 23bc 是环形体 21 在定子磁极 22b 和定子磁极 22c 之间的一部分。两个线圈 25ad 和 25bc 分别绕极间磁路部分 23ad 和 23bc 卷绕,使得在电力供应到线圈 25ad 和 25bc 时,产生与永磁体 24ab 和 24cd 所产生的磁场相反的磁场。在本发明的实施例中,线圈 25ad 和 25bc 分别绕极间磁路部分 23ad 和 23bc 卷绕,使得产生在图 1 中沿顺时针方向指向的磁场。下面将描述线圈 25ad 和 25bc 的电力控制电路。

[0049] 在环形体 21 中,永磁体 24ab 和 24cd 与线圈 25ad 和 25bc 交替地设置。永磁体 24ab、永磁体 24ab、线圈 25ad 和线圈 25bc 分别设置在极间磁路部分 23ab、23cd、23ad 和 23bc 处。极间磁路部分 23ab、23bc、23cd 和 23ad 形成四个磁极 22a、22b、22c 和 22d 之间的磁路。此后,当不必区分两个永磁体 24ab 和 24cd 时,这两个永磁体将被总称为永磁体 24。同样,当不必区分两个线圈 25ad 和 25bc 时,这两个线圈将总称为线圈 25。当不必区分四个极间磁路部分 23ab、23cd、23ad 和 23bc 时,这些极间磁路部分将被总称为极间磁路部分 23。同样,不必区分四个磁极 22a、22b、22c 和 22d 时,这些磁极将被总称为磁极 22。

[0050] 磁极 22 的数目不限于四个。定子 20 可设置有任意偶数个定子磁极 22。此外,在环形体 21 中,永磁体 24 埋在这些偶数个极间磁路部分 23 中的位于连续的定子磁极 22 之间的交替的极间磁路部分 23 中,使得产生沿周向指向的磁场。此外,线圈 25 绕着未设置有永磁体 24 的交替的极间磁路部分 23 卷绕,使得产生与永磁体 24 所产生的磁场相反的磁场。在此情况下,如果定子磁极 22 是两个,永磁体 24 将埋在其中一个极间磁路部分 23 中,而线

圈 25 将绕着另一个极间磁路部分 23 卷绕。钕基磁铁可用作永磁体 24。永磁体 24 的磁力设定为仅通过两个永磁体 24 的磁力,在环形体 21 中获得 90%或以上的饱和磁通量。

[0051] 转子 30 由圆柱形的中心磁路部分 31 形成,其具有四个一体模制的转子磁极 32a、32b、32c 和 32d。中心磁路部分 31 固定到轴 12,轴 12 以可转动的方式配合到电动机壳 11。转子磁极 32a、32b、32c 和 32d 沿周向以有规律的间隔形成于中心磁路部分 31 的外面上。转子磁极 32a、32b、32c 和 32d 从中心磁路部分 31 的外面沿径向向外突出。转子 30 相对于转轴对称,并与定子 20 同轴。与定子 20 中一样,转子 30 中也能形成磁路。在本发明的实施例中,转子 30 通过沿轴向重叠多个磁性钢片而形成,每个磁性钢片都被压成预定形状(每个磁性钢片由软磁材料制成,并且厚达 1 毫米)。此后,当不必区分四个转子磁极 32a、32b、32c 和 32d 时,这些转子磁极将被总称为转子磁极 32。每个转子磁极 32a、32b、32c 和 32d 都形成为齿形。转子磁极 32 的数目与定子磁极 22 的数目相等。当转子 30 位于预定转动角时,这些转子磁极 32 朝向定子磁极 22。

[0052] 在基本模块 20 中,在定子磁极 22 和转子磁极 32 之间保持有具有预定长度的气隙。在包括具有外径达 100 毫米的定子 20 的基本模块 10 中,气隙的平均长度可位于从 0.2 毫米到 1.5 毫米的范围内。

[0053] 接下来,将描述基本模块 10 的操作原理。图 2A 和 2B 示出了磁学分析的结果。图 2A 示出当电力未供应到线圈 25 时的磁通量分布。图 2B 示出当电力供应到线圈 25 时的磁通量分布。图 2A 和 2B 示出了在包括磁极的基本模块 10 中的磁学分析的结果,这些磁极的尺寸与图 1 中示出的基本模块 10 的磁极的尺寸略微不同。然而,在图 1 中示出的基本模块 10 中能够获得大体相同的结果。如图 2A 所示,当电力未供应到线圈 25 时,永磁体 24 所产生的磁场形成环形磁路,磁通量沿着环形体 21 的周向流动而经过该环形磁路。因此,磁通量不会从定子磁极 22 朝向转子 23 泄漏。从而,在此情况下几乎不产生电动机损失转矩和定位转矩。

[0054] 当电力同时供应到两个线圈 25 时,如图 2B 所示,在绕其卷绕有线圈 25 的极间磁路部分 23 中产生与永磁体 24 所产生的磁场相反的磁场。接着,已经沿着环形体 21 的周向流动的永磁体 24 的磁通量的方向发生改变。从而,由永磁体 24 所产生的磁场的磁通量和由线圈所产生的磁场的磁通量彼此结合,然后从定子磁极 22 流动到转子 30 的转子磁极 32。即,永磁体 24ab 所产生的磁场被沿永磁体 24ab 所产生的磁场的方向与该永磁体 24ab 相邻的线圈 25ad 所产生的相反的磁场推回。然后,产生从极间磁路部分 23ab 经过定子磁极 22a、转子磁极 32a、转子中心磁路部分 31、转子磁极 32b 和定子磁极 22b 到极间磁路部分 23ab 的磁通量的流动。同样,永磁体 24cd 所产生的磁场被沿永磁体 24cd 所产生的磁场的方向与该永磁体 24cd 相邻的线圈 25bc 所产生的相反的磁场推回。然后,产生从极间磁路部分 23cd 经过定子磁极 22c、转子磁极 32c、转子中心磁路部分 31、转子磁极 32d 和定子磁极 22d 到极间磁路部分 23cd 的磁通量的流动。

[0055] 线圈 25ad 所产生的磁场被沿线圈 25ad 所产生的磁场的方向与该线圈 25ad 相邻的永磁体 24ab 所产生的相反的磁场推回。然后,产生从极间磁路部分 23ad 经过定子磁极 22a、转子磁极 32a、转子中心磁路部分 31、转子磁极 32d 和定子磁极 22d 到极间磁路部分 23ad 的磁通量的流动。同样,线圈 25bc 所产生的磁场被沿线圈 25bc 所产生的磁场的方向与该线圈 25bc 相邻的永磁体 24cd 所产生的相反的磁场推回。然后,产生从极间磁路部分

23bc 经过定子磁极 22c、转子磁极 32c、转子中心磁路部分 31、转子磁极 32b 和定子磁极 22b 到极间磁路部分 23bc 的磁通量的流动。

[0056] 因此,在基本模块 10 中,通过有效地使用永磁体 24 和线圈 25 的磁力,高量级的磁通量在磁极之间(在定子磁极 22 和转子磁极 32 之间)经过。这使得即使紧凑的基本模块 10 也能够产生大的吸力。此外,因为既没有永磁体也没有线圈安装到转子 30,所以惯性远低于 DC 无刷电动机、SPM 电动机或 IPM 电动机(一种嵌入式磁性同步电动机)的惯性。转子 30 具有偶数个转子磁极 32,这些转子磁极以有规律的间隔设置并相对于轴 12 对称。因此,能够使得沿着垂直于轴 12 的方向指向的合力为零。这抑制了噪音和振动。此外,当转子 30 转动时,在磁极之间的所有部分的有规律的间隔处产生吸力。而且,因为转子 30 和定子 20 由软磁材料制成,电动机效率得以提高。在本发明的实施例中,沿周向观察时,每个定子磁极 22 和每个转子磁极 32 的端部都是两边对称的。因此,吸力的大小是相对于定子磁极 22 的中心两边对称的,从而,无论电动机是沿顺时针方向还是沿逆时针方向转动,都能得到同样的结果。因此,基本模块 10 适合作为在横向操纵车轮的电动转向系统中使用的电动机。

[0057] 因为磁极之间的气隙的长度大于或等于 0.2 毫米,所以可以防止在电力未供应到线圈 25 时磁通量朝向转子 30 泄漏。这最小化了环形体 21 的横截面。而且,因为气隙的长度小于或等于 1.5 毫米,所以合适地改变吸力和产生足够大小的吸力之间的平衡得以最优地保持,这使得当微笑的电流流经线圈 25 时,易于控制磁通量的大小。

[0058] 形成基本模块 10 的软磁体通过重叠多个电磁钢片而形成,每个电磁钢片厚达 1 毫米。因此,可以合适地减小涡流损失和滞后损失。因而,电动机实现高效率。

[0059] 因为将钕基磁铁用作埋在环形体 21 中的永磁体 24,所以获得强磁力,从而基本模块 10 的尺寸可以减小。在基本模块 10 中,永磁体 24 的磁通量的流动方向由供应到线圈 25 的电力改变为朝向转子磁极 32 的方向。因此,环形体 21 和用在磁通量饱和点附近。线圈 25 所能有效产生的磁通量的强度与永磁体 24 的磁力成正比。因而,定子 20 的尺寸与通过将 2 乘以磁力的平方($2 \times (\text{磁力的平方})$)所获得的值成反比。因此,通过使用产生强磁力的钕基磁铁,减小了基本模块 10 的尺寸。即使供应到线圈的电流小,也能产生对转子 30 的磁力。

[0060] 接下来,将描述根据本发明的实施例的电动机 1,其中三个基本模块 10 彼此连接。如图 3 所示,通过使得第一基本模块 10A、第二基本模块 10B 和第三基本模块 10C 沿轴线彼此连接——即通过将各个基本模块 10 的转子 30 固定到用作由三个基本模块 10 共用的转轴的轴 12 而形成电动机 1。在本发明的实施例中,在电动机 1 中使用三个基本模块 10。然而,基本模块 10 的数目不限于三个。当电动机 1 用在电动转向系统中时,基本模块 10 的数目可以增加。

[0061] 如图 4A、4B 和 4C 所示,各个基本模块 10 的转子 30 以转子 30 的转子磁极 32 保持对齐的方式固定到轴 12。同时,基本模块 10 的定子 20 以定子 20 之间的定子磁极 33 的位置沿转子 30 转动的方向彼此偏移 30° 的机械角度的方式固定到电动机壳 11。即,定子磁极 22 的相位沿转子 30 转动的方向彼此偏移,使得在转子 30 转动时,基本模块 10(以有规律的转动角间隔)产生均匀的吸力。该相位差是通过将 360° 除以一个基本模块的磁极的数目以及基本模块的数目的乘积得到的值($360^\circ / (\text{一个基本模块的磁极的数目} \times \text{基本模$

块的数目))。在本发明的实施例中,因为每个基本模块具有四个磁极,有三个基本模块,基本模块 10 之间的相位差是 30° 。相位差设定为当转子 30 转动时产生均匀的吸力,即磁极之间的吸力在整个基本模块 10 中以预定的转动角间隔产生。因此,基本模块 10 之间的定子磁极的位置无需彼此以有规律的间隔偏移。在基本模块 10 之间的转子 30 的相位可以彼此偏移。可选地,在基本模块 10 之间的定子 20 和转子 30 的相位都可以彼此偏移。

[0062] 提供基本模块 10,使得定子磁极 22 和转子磁极 32 之间的相对相位彼此以有规律的间隔偏移,使得可以恒定地产生转矩,而与转子 30 的转动角和转动角速度无关。即,当电动机仅由一个基本模块 10 形成时,如果转子 30 停止在某一转动角处,电动机可能不能启动。然而,在基本模块 10 之间的磁极的相位沿着转子 30 转动的方向彼此偏移,从而产生均匀的吸力。因此,不会产生这种不便。从而,作为电动转向系统,即使电动机的转动角速度为零,即,即使电动机停止,也能产生转矩。

[0063] 如图 3 所示,气隙 G 被保持在连续的基本模块 10 之间。气隙 G 防止磁通量在基本模块 10 之间泄漏。因而,减小转矩波动。

[0064] 检测转子 30 的转动角(机械角度)的转动角传感器 14 配合到电动机 1 的轴 12。如图 7 所示,对供应到基本模块 10 的线圈的电力进行控制的电力供应控制装置 40 连接到电动机 1。电力供应控制装置 40 包括电动机控制器 41 和开关部分 42,电动机控制器 41 主要由微型计算机形成并计算电动机控制量(供应到电动机的电力的量),开关部分根据来自于电动机控制器 41 的控制信号将电力从电力供应单元 B 供应到线圈 25。电动机控制器 41 从操纵转矩传感器 58 接收转矩信号 T_r 并从车速传感器(未示出)接收车速信号 V ,并计算与电动转向系统所需的辅助转矩相对应的目标电力供应量,其中该操纵转矩传感器 58 检测如图 17 中示出的驾驶员的方向盘 51 的转向转矩。电动机控制器 41 还根据来自于转动角传感器 14 的转动角 θ 确定将电力供应到线圈 25 的时间期间。开关部分 42 包括设置在基本模块 10 的线圈 25 和电力供应单元 B 之间的开关元件 S1、S2 和 S3。例如 MOS-FET(金属氧化物场效应晶体管)用作开关元件 S1、S2 和 S3。除了开关部分 42,还可形成包括六个开关元件 S1、S2、S3、S4、S5 和 S6 的开关部分 43,如图 8 所示。

[0065] 接下来,将描述由电力供应控制装置 40 所执行的供应到电动机 1 的电力的控制。下面将描述将电力供应到每个基本模块 10 的线圈 25 的时间期间。下面将不提供根据用于电动转向系统的辅助转矩对电力供应量的控制的描述。下面的描述基于电力供应量保持恒定的假定而提供。

[0066] 图 6A 和 6B 解释了基本模块 10 中转子磁极 32 相对于定子磁极 22 的运动。第一基本模块 10A 的定子磁极 22 的中心线与下一转子磁极 32 的中心线下一次重合处的转动角是 360° 的电角度。因此,当一个基本模块 10 的磁极数目“m”时,将 360° 的机械角度除以“m”得到的值等于 360° 的电角度。在本发明的实施例中, 90° 的机械角度相当于 360° 的电角度。

[0067] 图 9 示出当转子 30 沿顺时针方向转动时电力供应到每个基本模块 10 的线圈 25 的期间。如图 9 所示,从电角度为 180° 直到电角度为 360° 的时间段期间,电力供应到第一基本模块 10A 的线圈 25。电力开始供应到第二基本模块 10B 的线圈 25 的时间从电力开始供应到第一基本模块 10A 的时间偏移一个与用 360° 除以基本模块 10 的数目“n”得到的相位相等的电角度($360^\circ/n$)。在本发明的实施例中,因为基本模块 10 的数目“n”为三,电

力开始供应到第二基本模块 10B 的线圈 25 的时间从电力开始供应到第一基本模块 10A 的线圈 25 的时间偏移一个 120° 的电角度。电力开始供应到第三基本模块 10C 的线圈 25 的时间从电力开始供应到第二基本模块 10B 的线圈 25 的时间偏移一个与第一基本模块 10A 和第二基本模块 10B 之间相同的相位差。这种到线圈 25 的电力供应优选地以矩形波的方式执行。

[0068] 图 10 示出当转子 30 沿顺时针方向转动时电力供应到每个基本模块 10 的线圈 25 的期间。从电角度为 0° 直到电角度为 180° 的时间段期间, 电力供应到第一基本模块 10A 的线圈 25。电力开始供应到第二基本模块 10B 的线圈 25 的时间从电力开始供应到第一基本模块 10A 的时间偏移一个与用 360° 除以基本模块 10 的数目“n”得到的相位相等的电角度 ($360^\circ / n$)。同样, 电力开始供应到第三基本模块 10C 的线圈 25 的时间从电力开始供应到第二基本模块 10B 的线圈 25 的时间偏移一个与第一基本模块 10A 和第二基本模块 10B 之间相同的相位差。

[0069] 从而, 供应到每个基本模块 10 的线圈的电力开始于达到预定的电动机转动角的预定时间, 并且持续的时间段为直到达到另一预定电动机转动角时。从而, 无论转子 30 沿顺时针方向还是沿逆时针方向转动, 都会产生转矩。通过分别调节开关部分 42 的开关元件 S1、S2 和 S3 的占空比来对供应到基本模块 10 的线圈 25 的电流的大小进行控制。即, 当电力基于电动机转动角以矩形波的方式供应到线圈时, 开关元件 S1、S2 和 S3 以与以矩形波的方式供应到线圈 25 的电力的间隔相比极其短的间隔接通和断开。通过分别调节开关元件 S1、S2 和 S3 的占空比来改变供应到线圈 25 的电流值。

[0070] 电力可以以梯形波的方式供应到线圈 25, 如图 11 所示。即, 每隔一个预定的时间段, 电流值就在该时间段的每个开始和结束阶段以预定速率改变, 在该时间段内电力供应到线圈 25。在此情况下, 供应到一个基本模块 10 的线圈的电流升高的时间段以及供应到另一个基本模块 10 的线圈的电流降低的时间段彼此重叠。从而, 以下列方式增大供应到线圈的电流: 其中表示电流的线是倾斜的, 这种增大减小了磁通量中的变化。因此, 电动机效率得以提高。

[0071] 图 5A 和 5B 示出了当电动机沿顺时针方向转动时基本模块 10 中产生的转矩相对于电动机转动角的过渡情形。图 5A 示出在第一基本模块 10A 中产生的转矩。图 5B 示出在模块 10A、10B 和 10C 中产生的转矩以及这些转矩合成的转矩。如图 5B 可见, 通过将模块 10A、10B 和 10C 中产生的转矩加到一起, 在任一电动机转动角都可以获得恒定的转矩。

[0072] 这里所描述的电动机 1 和电力供应控制装置 40 可在用于车辆的电动转向系统中用作驱动单元。如图 17 所示, 电动转向系统将转向辅助转矩供应到转向机构 50 中, 该转向机构包括由驾驶员转动的驾驶员的方向盘 51、固定到驾驶员的方向盘 51 的转向轴 52、沿车体的车辆宽度方向运动的齿条 53、将转向轴 52 的转动转换成齿条 53 的运动的齿条齿轮机构 54 以及将齿条 53 的横向运动转换到相应车轮 W 的转向节臂 55 的转向横拉杆 56。电动转向系统包括配合到转向轴 52 的减速齿轮 57、与减速齿轮 57 啮合并将转矩供应到转向轴 52 的电动机 1、检测供应到转向轴 52 的转向转矩的转向转矩传感器 58 以及对供应到电动机 1 的电力进行控制的电力供应控制装置 40。

[0073] 1 用于电动转向系统, 即使产生高功率, 既不会产生损失转矩也不会产生滞后转矩, 还使得电动机惯性保持较低。此外, 使得多个基本模块 10 彼此结合, 抑制了电动机 1 被

驱动时的转矩波动。因而,通过所述电动转向系统,即使实现高功率输出和高效率,驾驶员感受到的操纵感也不会降低。

[0074] 接下来,将描述基本模块 10 的结构的改进实例。首先,将描述基本模块 10 的转子磁极 32 和定子磁极 22 的端部形状的改进实例。图 12 示出根据本实施例的改进实例的转子磁极 132 和定子磁极 122 的端部形状。在改进实例中,在彼此面向对方的转子磁极 132 和定子磁极 122 之间保持的气隙的长度随着到磁极的中心线沿周向的距离的增加而增加。在改进实例中,定子磁极 122 的端面形成为弧面,所述弧面形成与转子 30 共用转动轴心 01 并且半径为 $R1$ 的虚拟圆柱面的一部分。同时,转子磁极 132 的端面形成为弧面,所述弧面形成轴心在中心 02 并且半径为 $R2$ 的虚拟圆柱面的一部分,该中心 02 相对于转子 30 的转动轴心 01 沿径向向外偏移距离 δ 。

[0075] 通过这种结构,与转子 30 移动的量相比,转矩缓慢并且平滑地变化。在转子 30 转动时转子磁极 132 和定子磁极 122 彼此靠近并且相互远离。当转子磁极 132 和定子磁极 122 彼此面向对方而相对运动时,转矩的变化减小。例如,如果通过使用图 5 中示出的转矩特性来表示转矩的变化,获得最大转矩的区域“t”能够形成为平坦的。因而,形成具有较小转矩波动的电动机。在改进实例中,转子磁极 132 的端面弯曲处的角度较大。可选地,定子磁极的端面弯曲处的角度可以较小。即,形成定子磁极的端面的弧面可以是虚拟圆柱面的一部分,该虚拟圆柱面的轴心在相对于转子 30 的转动轴心 01 沿与定子磁极的距离增大的方向偏移的位置处。而且,定子磁极的端面也可做成平坦的。

[0076] 接下来,将描述基本模块 10 的转子磁极 32 和定子磁极 22 的端部肩台部分的形状的改进实例。图 13A、13B 和 13C 分别示出根据三个改进实例的转子磁极 232、332 和 432。在图 13A、13B 和 13C 中,转子磁极 232、332 和 432 的端部是沿轴向从前部观察的。图 13A 中的转子磁极 232 通过切割每个端部肩台部分而形成,使得端部肩台部分的截面具有弧形。形成有弧面 P1 (形成半径为 R 的虚拟圆柱面的一部分的弧面)。弧面 P1 的半径 R 远小于形成转子磁极 232 的端面的中央部分的弧面 (形成所述虚拟圆柱面的一部分的弧面) 的半径。图 13B 中示出的转子磁极 332 通过斜切每个端部肩台部分使得形成斜面 P2 而形成。图 13C 中示出的转子磁极 432 通过将每个端部肩台部分斜切成两部分使得形成斜面 P3 和 P4 而形成。根据这些改进实例,可使得吸力相对于转子 30 的转动量的初始改变特性较为合适。

[0077] 例如,在图 5A 中的转矩特性中,在转矩增加区域“s”中转矩增加的速率可以通过调节磁极端部肩台部分的形状而调节。当多个基本模块 10 结合使用时,在转矩增加期间,产生转矩的时间段彼此重叠。因此,在本实施例的改进实例中,转子磁极 32 的每个端部肩台部分被切成预定形状。从而,获得合适的转矩特性,并且形成具有较小转矩波动的电动机。端部肩台部分的形状不限于这些改进实例中描述的那些形状。例如,端部肩台部分的形状可通过结合多个弧面、将端部肩台部分斜切成三个或多个部分或者既形成弧面又斜切端部肩台部分而形成。可选地,定子磁极 22 的端部肩台部分可以被切成预定形状。进一步可选地,转子磁极 32 和定子磁极 22 的端部肩台部分都可以被切成预定形状。

[0078] 接下来,将描述基本模块 10 中定子 20 的环形体 21 的改进实例。图 14A 和 14B 示出了根据改进实例的形成有定子磁极 22 的定子 20 的部分。图 14A 示出第一改进实例,图 14B 示出第二改进实例。在第一改进实例中,沿径向向内凹入的凹槽 26 在定子磁极 22 形成的位置处形成于环形体 21 的外面中。在第二改进实例中,沿径向向内凹入的凹槽 27 在

定子磁极 22 形成的位置处形成于环形体 21 的外面中。在第一改进实例中,凹槽 26 是 V 形截面并且由两个斜面 26a 和 26b 限定的空间。在第二改进实例中,凹槽 27 是大体上为 V 形截面并且由两个弧面 27a 和 27B(每个弧面都形成半径为 R 的虚拟圆柱面的一部分)限定的空间。在第一和第二改进实例中,每个凹槽 26 和 27 的中心可与定子磁极 22 的中心线重合。

[0079] 根据这些改进实例,当永磁体 24 所产生的磁场被线圈 25 所产生的磁场推回时,限定凹槽 26 的斜面 26a 和 26b 或者限定凹槽 27 的弧面 27a 和 27B 将磁通量的流动朝向定子磁极 22 引导。因此,当电力供应到线圈 25 时,能够使得磁通量合适地朝向转子流动。因而,磁极之间的吸力能够有效地产生。此外,环形体 21 的重量得以减轻。

[0080] 接下来,将参照图 15 和 16 描述基本模块 10 的环形体 21 的改进实例。环形体 121 的半径(内径和外径)在形成定子磁极 22 的边界处变化。环形体 21 在每个绕其分别卷绕有线圈 25ad 和 25bc 的极间磁路部分 23ad 和 23bc 处的外径 R2 大于在每个分别埋有永磁体 24ab 和 24cd 的极间磁路部分 23ab 和 23cd 处的外径 R1。在此情况下,因为每个极间磁路部分 23 沿径向的宽度是相同的,所以环形体 21 在极间磁路部分 23ad 和 23bc 处的内径大于在极间磁路部分 23ab 和 23cd 处的内径。即,在环形体 121 中,在形成定子磁极 22 的边界处,环半径改变预定长度,该环半径是沿周向连接极间磁路部分 23 沿径向的中心的直线到转子的转轴之间的距离。

[0081] 从而,环形体 21 到轴心的距离在分别设置有永磁体 24ab 和 24cd 的极间磁路部分 23ab 和 23cd 处以及绕其分别卷绕有线圈 25ad 和 25bc 的极间磁路部分 23ad 和 23bc 处不同。因此,当电力供应到线圈 25 时,更容易引导永磁体 24 的沿着环形体 121 的周向流动的磁通量朝向定子磁极 22。因而,当电力供应到线圈 25 时,使得磁通量合适地朝向转子 30 流动,并且能够在磁极之间有效地产生吸力。此外,因为环形体 21 在每个绕其分别卷绕有线圈 25ad 和 25bc 的极间磁路部分 23ad 和 23bc 处的半径大于环形体 21 的在每个分别埋有永磁体 24ab 和 24cd 的极间磁路部分 23ab 和 23cd 处的半径,所以确保在环形体 121 的内侧具有用于线圈 25 的更大的空间。因为转子 30 设置在环形体 121 的内侧上,所以用于线圈 25 的空间严格受限。然而,根据改进实例,这种不便被最小化。

[0082] 尽管已经描述了根据本发明的实施例的电动机和用于该电动机的电力供应控制装置,应该理解的是,本发明绝不限于所述实施例。相反,本发明意图覆盖本发明范围内的多种改进和等同形式。

[0083] 例如,根据本发明的电动机和用于该电动机的电力供应控制装置用于电动转向系统中。然而,这种电动机和电力供应控制装置也可合适地用于其它设备中。而且,基本模块的数目和磁极的数目可根据具体应用而合适地选定。

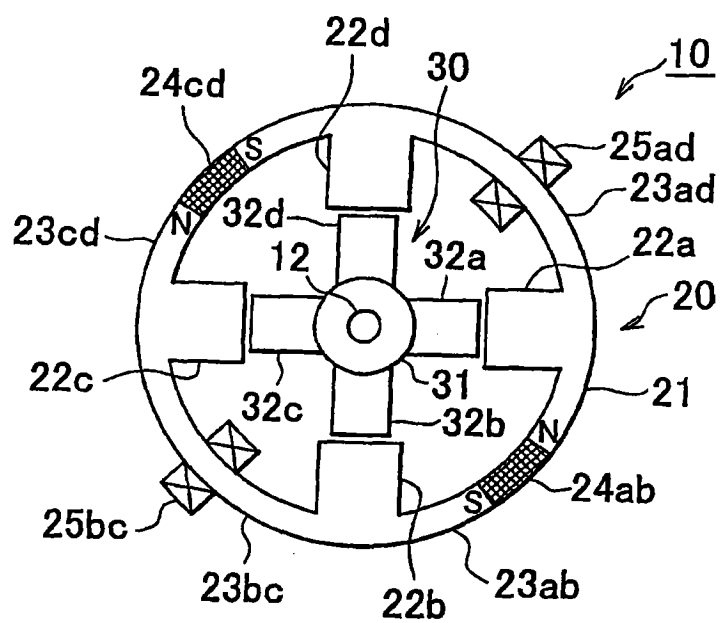
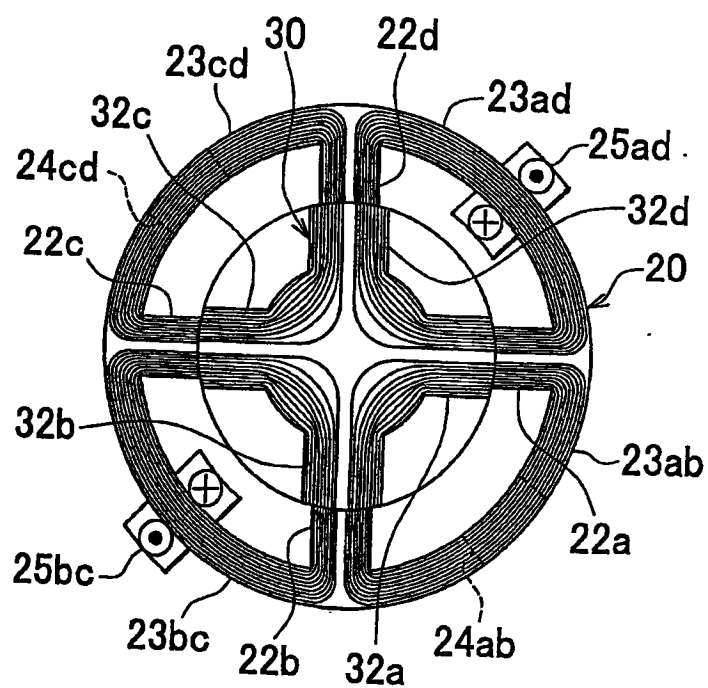
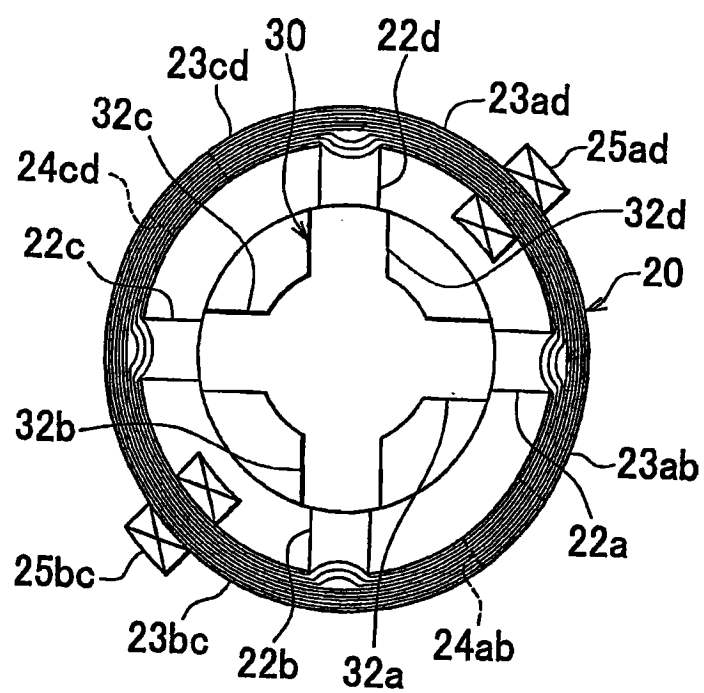


图 1



当供应电流时

图 2B



当未供应电流时

图2A

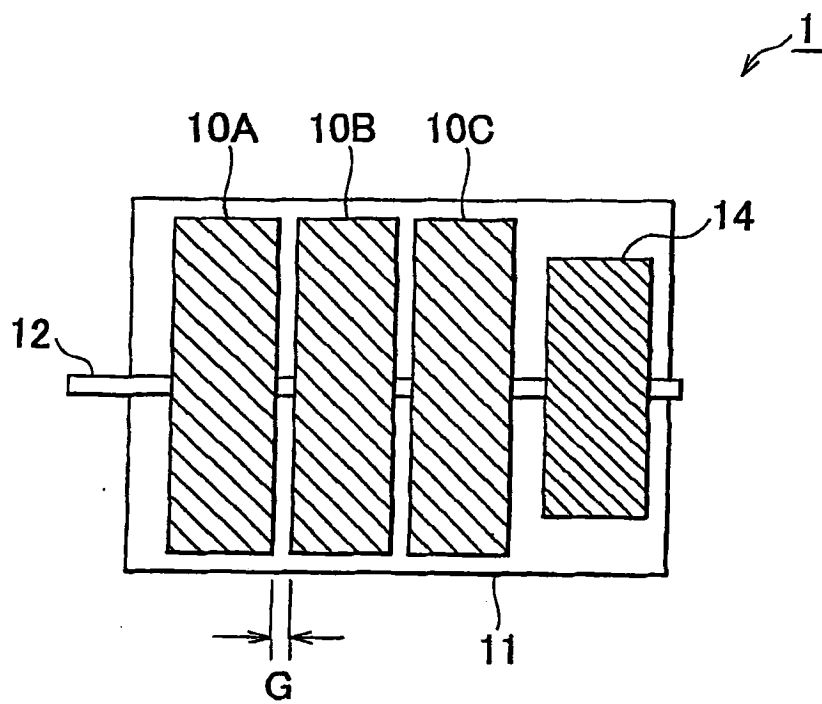


图 3

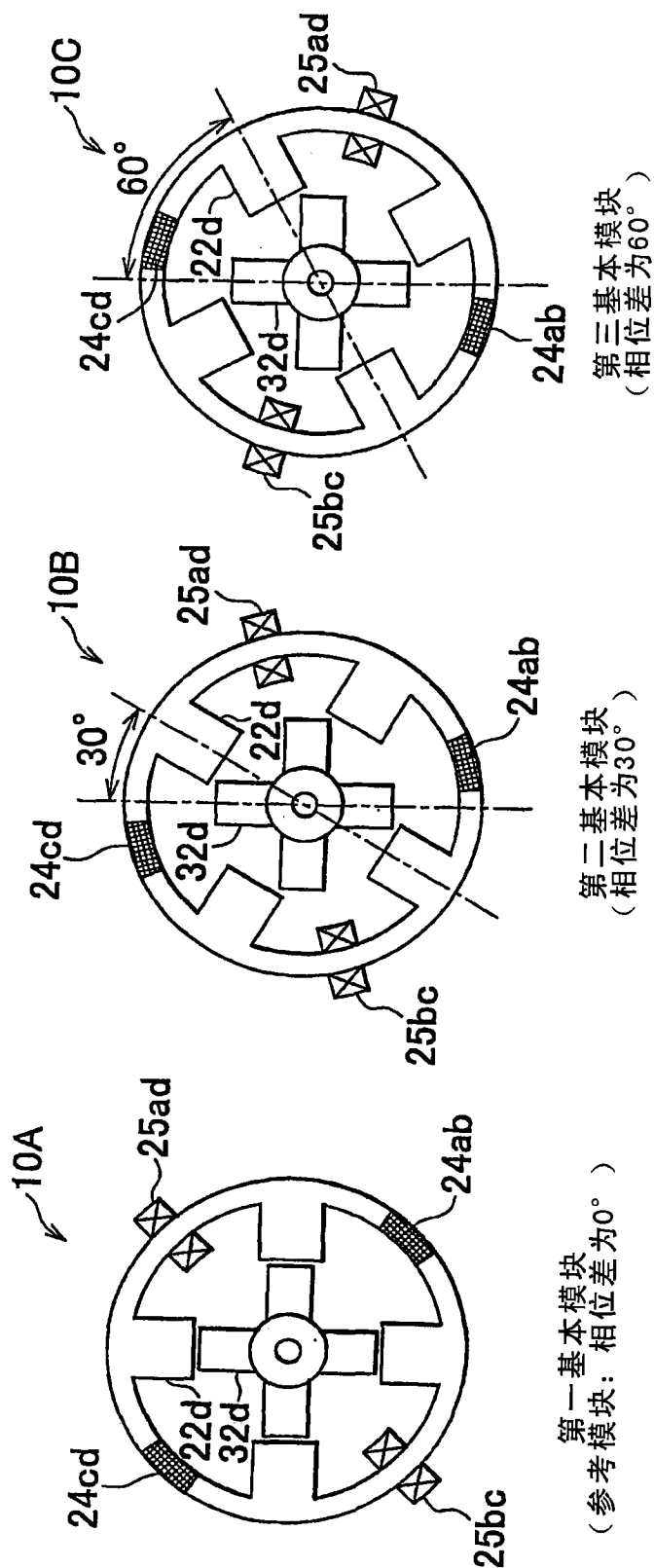
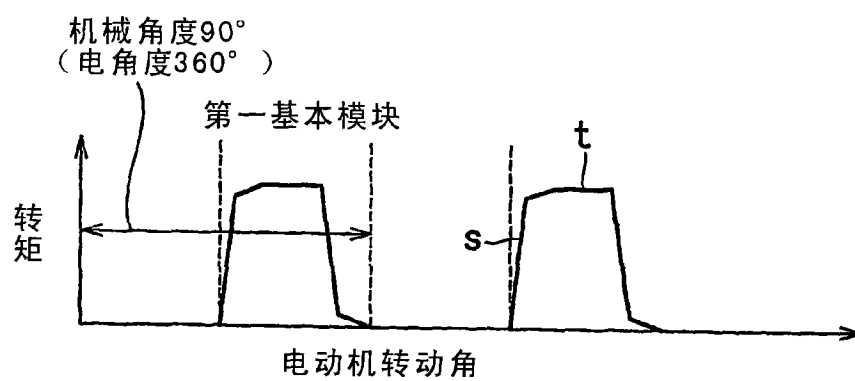


图4A

图4B

图4C

图5A



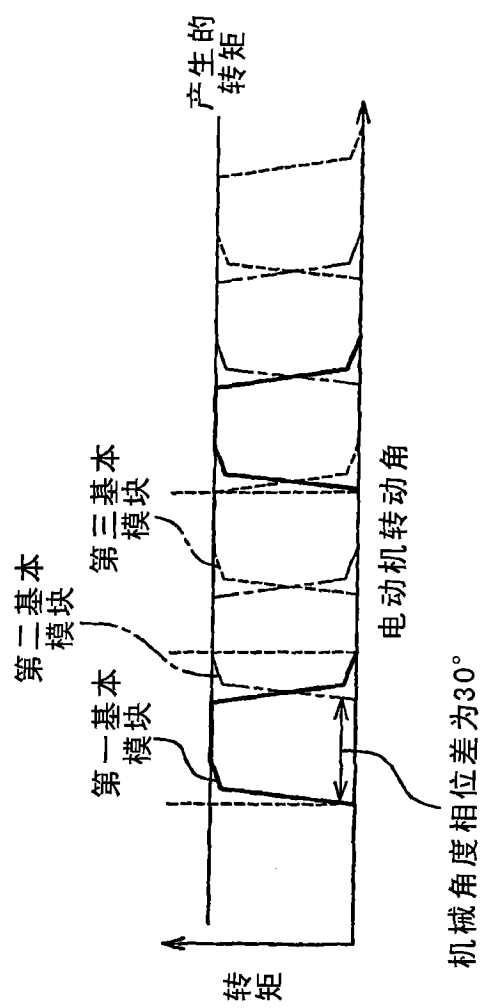


图5B

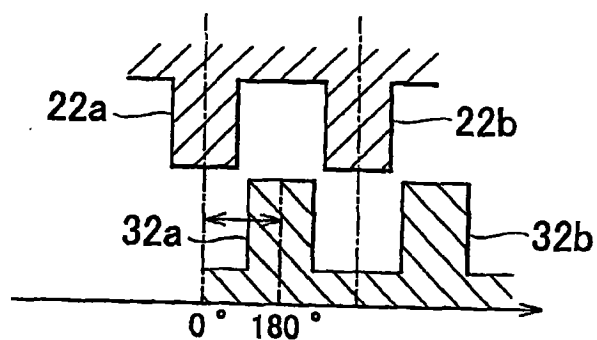
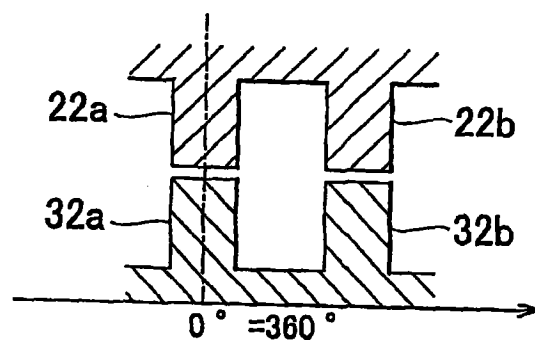
电角度为 180° 的情况电角度为 0° 或 360° 的情况

图6B

图6A

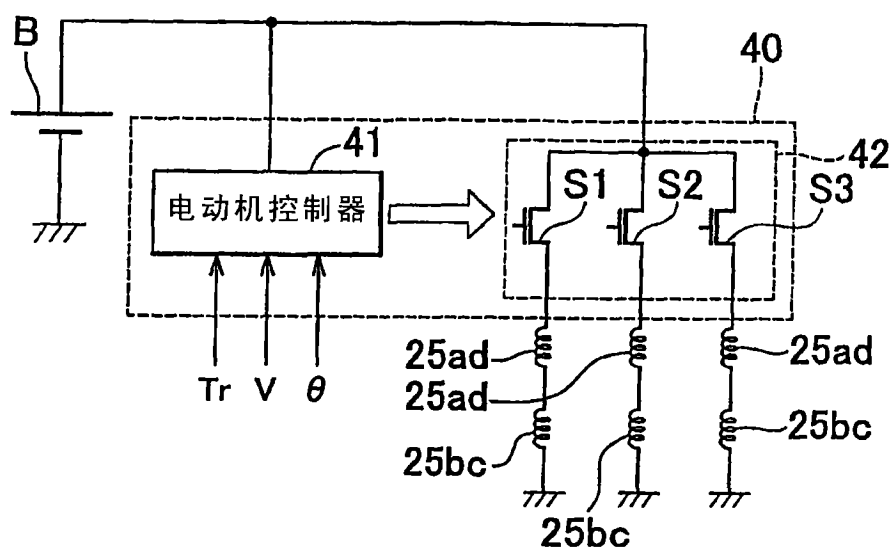


图 7

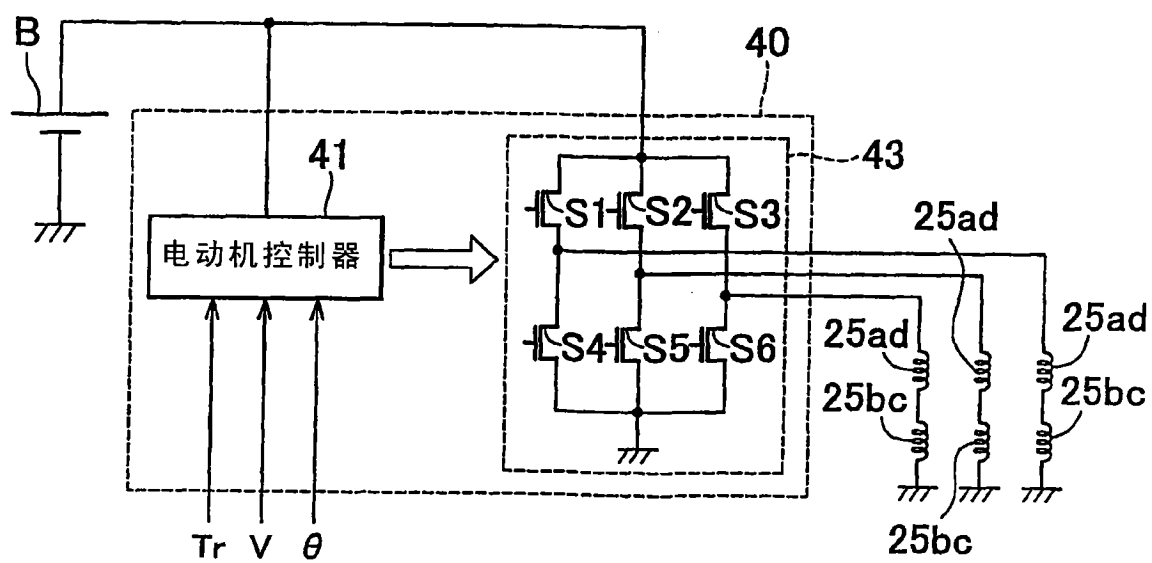


图 8

顺时针转动

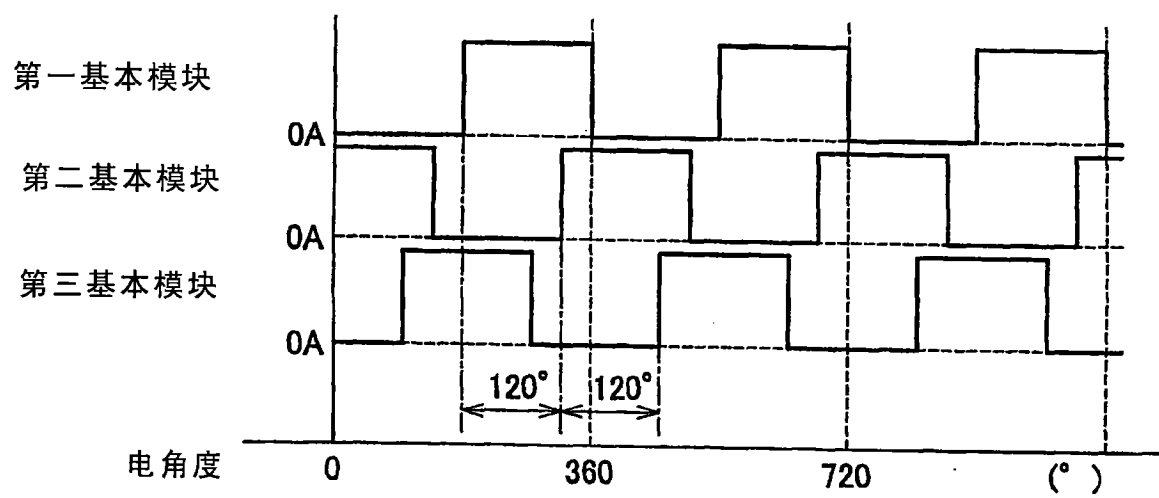


图9

逆时针转动

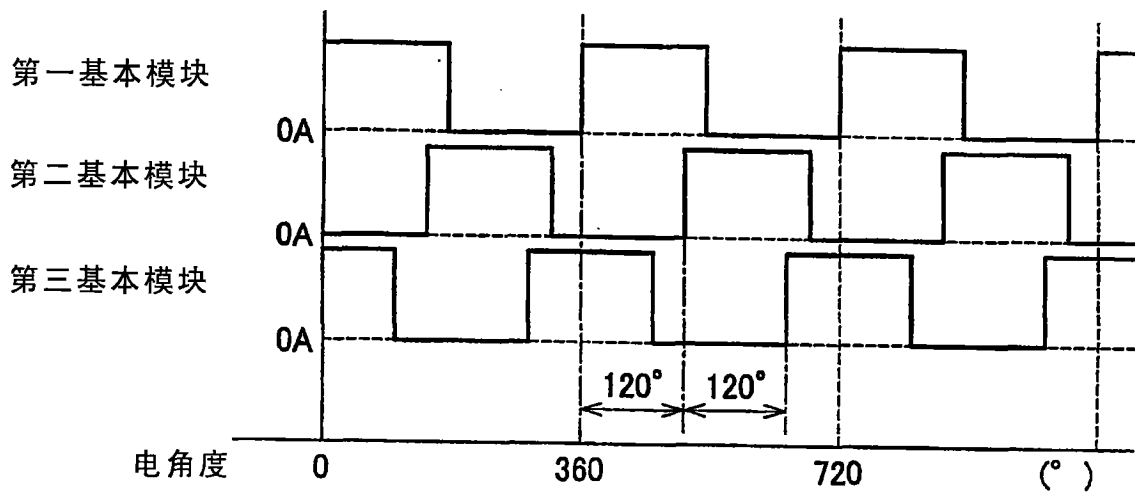


图10

顺时针转动

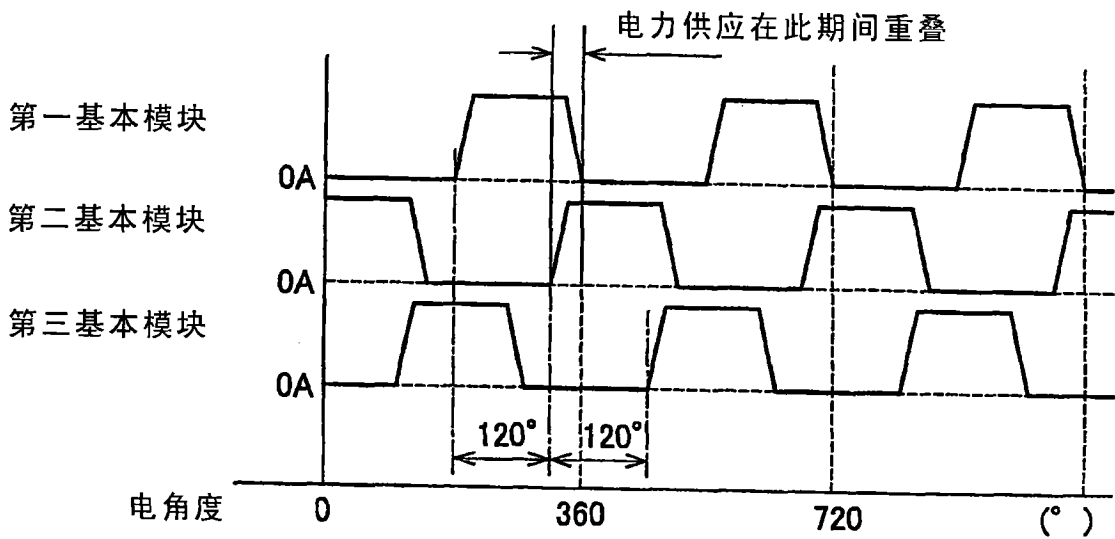


图11

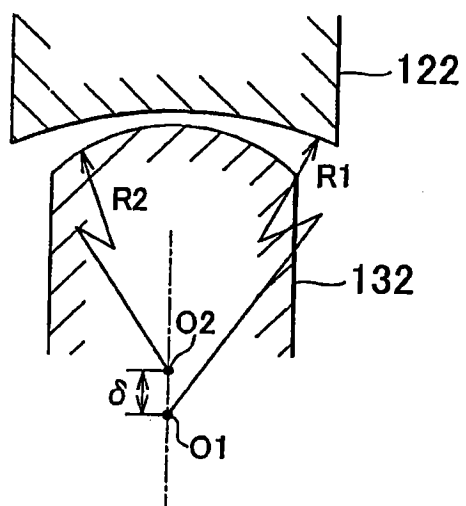


图 12

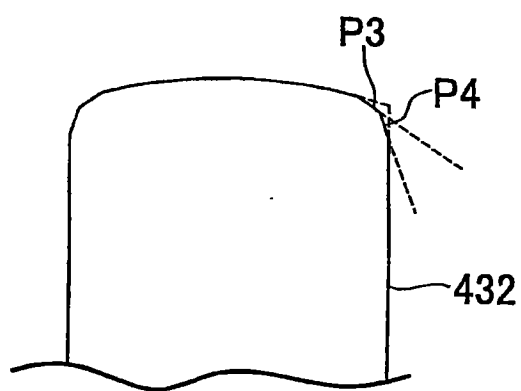


图13C

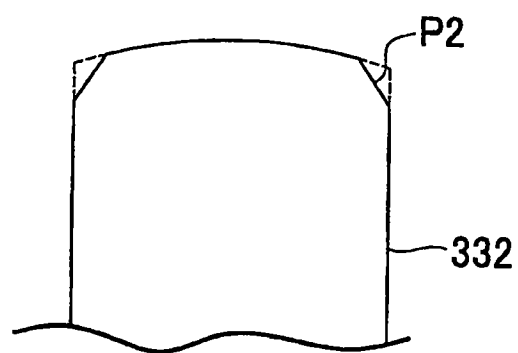


图13B

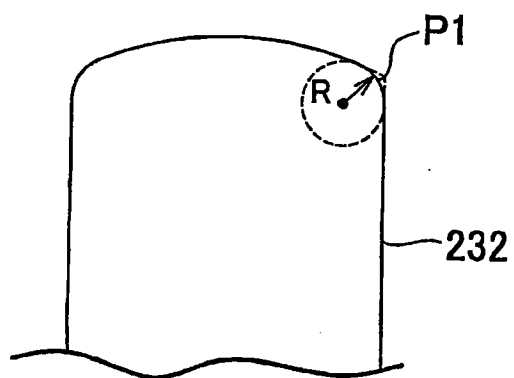


图13A

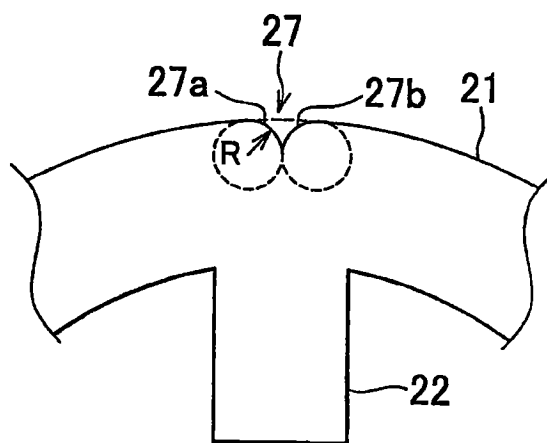


图14B

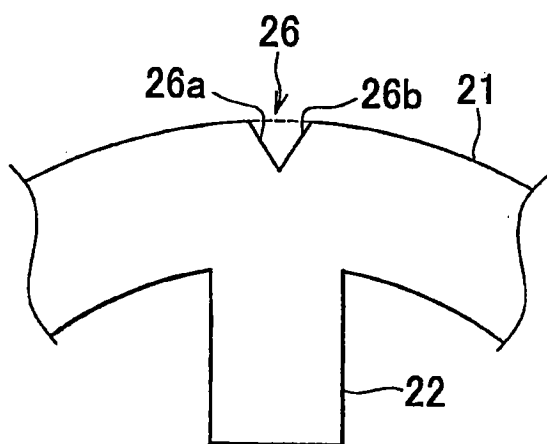


图14A

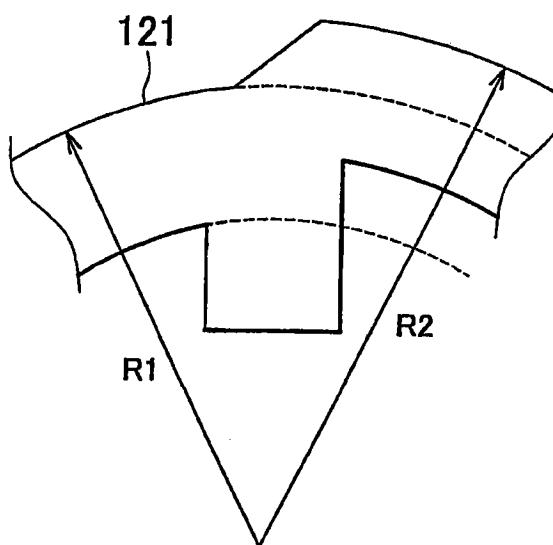


图 15

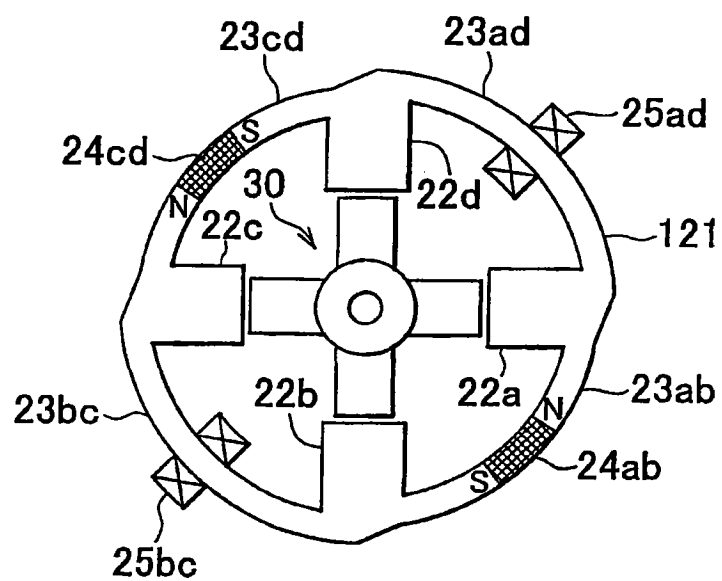


图 16

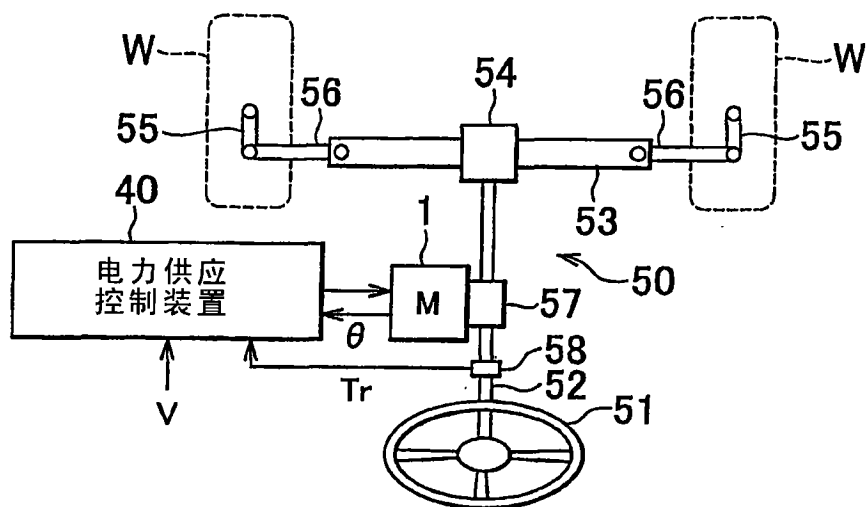


图 17