



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1846342 B

(45) 授权公告日 2012. 04. 18

(21) 申请号 200480024963. X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2004. 08. 27

H02K 37/16(2006. 01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

306240/2003 2003. 08. 29 JP

JP 昭 58-108762 A, 1983. 07. 25, 全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

JP 特开 2001-258221 A, 2001. 09. 21, 全文.

2006. 02. 28

US 3818690, 1974. 06. 25, 全文.

(86) PCT申请的申请数据

JP 特开 2002-136095 A, 2002. 05. 10, 说明书第 0001 段, 0005 段, 0013 - 0014 段, 0022 - 0027 段、附图 1.

PCT/JP2004/012410 2004. 08. 27

(87) PCT申请的公布数据

审查员 赵晶

W02005/022730 JA 2005. 03. 10

(73) 专利权人 精工精密有限公司

地址 日本国千叶县

(72) 发明人 山本正美 伊藤彰浩 田中正人

森永真司 岩本哲也

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

代理人 徐谦 经志强

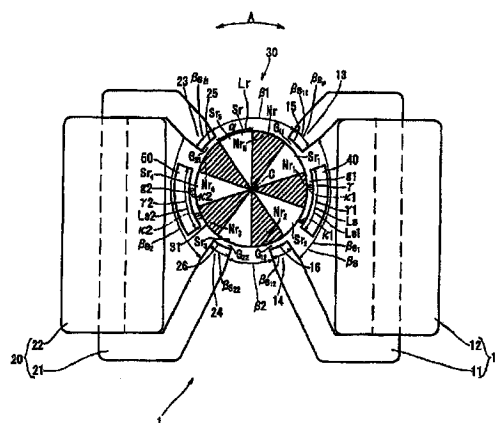
权利要求书 1 页 说明书 14 页 附图 10 页

(54) 发明名称

电磁致动器

(57) 摘要

本发明的目的在于,在步进电机等具有转子及定子的电磁致动器中提高转矩。具有:转子(30),其在周面(31)上具有多个磁极(Nr<sub>1</sub>、Nr<sub>2</sub>、Nr<sub>3</sub>、Nr<sub>4</sub>、Nr<sub>5</sub>、Sr<sub>1</sub>、Sr<sub>2</sub>、Sr<sub>3</sub>、Sr<sub>4</sub>、Sr<sub>5</sub>);电磁铁形式的多个定子(10、20)。定子(10、20)具有与转子(30)的周面(31)相相对的一对磁极(13、14、23、24),而且,在一对磁极(13、14、23、24)之间设置有辅助磁轭(40、50),该辅助磁轭在比转子(30)的磁极(Nr、Sr)的周向(A)的扩展角度(α)更大的角度范围(γ1、γ2)内,沿周向(A)来延伸,且由软磁性材料体来形成。



1. 一种电磁致动器,具有:永久磁铁型转子(30、30a、30b),其在周面(31)上具有多个磁极(Nr、Sr);电磁铁形式的多个定子(10、10a、10b、20、20a、20b、60、70),其具有与前述转子(30、30a、30b)的周面(31)相面对的至少两个磁极(13、14、23、24、63、64、73、74),该电磁致动器的特征在于:

在前述多个定子(10、10a、10b、20、20a、20b、60、70)的至少一个定子的两个磁极(13、14、23、24、63、64、73、74)之间,设置有辅助磁轭(40、40a、40b、50、50a、50b、80、90),该辅助磁轭在比前述转子(30、30a、30b)的磁极(Nr、Sr)的周向(A)的扩展角度( $\alpha$ )更大的角度范围内,沿周向(A)来延伸,周向(A)的端部相对该两个磁极(13、14、23、24、63、64、73、74)具有距离,提供该两个磁极(13、14、23、24、63、64、73、74)之间的静磁路的一部分,并且提供在前述转子(30、30a、30b)的邻接磁极(Nr、Sr)之间进行连接的静磁路。

2. 根据权利要求1所述的电磁致动器,其特征在于:在前述各定子(10、10a、10b、20、20a、20b、60、70)的前述磁极(13、14、23、24、63、64、73、74)之间,设置有辅助磁轭(40、40a、40b、50、50a、50b、80、90),该辅助磁轭在比前述转子(30、30a、30b)的磁极(Nr、Sr)的周向(A)的扩展角度( $\alpha$ )更大的角度范围内,沿周向(A)来延伸。

3. 根据权利要求1或2所述的电磁致动器,其特征在于:在前述多个定子(10、10a、10b、20、20a、20b、60、70)中的一个定子(10a)与相邻该一个定子(10a)的另一个定子(20a)之间,设置有辅助磁轭(5),该辅助磁轭在比前述转子(30、30a、30b)的磁极(Nr、Sr)的周向(A)的扩展角度( $\alpha$ )更大的角度范围内,沿周向(A)来延伸。

4. 根据权利要求1或2所述的电磁致动器,其特征在于:在前述辅助磁轭(5、40、40a、40b、50、50a、50b、80、90)的前述转子(30、30a、30b)的磁极(Nr、Sr)周向(A)的中间部分,形成有沟槽、切口或开口(44、54)。

5. 根据权利要求3所述的电磁致动器,其特征在于:在前述辅助磁轭(5、40、40a、40b、50、50a、50b、80、90)的前述转子(30、30a、30b)的磁极(Nr、Sr)周向(A)的中间部分,形成有沟槽、切口或开口(44、54)。

6. 根据权利要求1、2或5所述的电磁致动器,其特征在于:前述辅助磁轭(5、40、40a、40b、50、50a、50b、80、90)未被绕线。

7. 根据权利要求3所述的电磁致动器,其特征在于:前述辅助磁轭(5、40、40a、40b、50、50a、50b、80、90)未被绕线。

8. 根据权利要求4所述的电磁致动器,其特征在于:前述辅助磁轭(5、40、40a、40b、50、50a、50b、80、90)未被绕线。

## 电磁致动器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及比如可用作步进电机的电磁致动器。

### 背景技术

[0002] 对搭载于便携仪器的小型照相机的变焦驱动用等中所采用的步进电机而言,优选具有较小的平面尺寸及较薄的厚度。在用于便携仪器的场合下,驱动源多采用电池,且希望提高电机的效率并降低电耗。在照相机变焦驱动用那样希望进行高精度位置控制的场合下,保证较高的旋转位置精度,比如步进电机的转子被多极化,从而可指定 20 阶/转左右的旋转位置。当小直径转子被多极化时,有选择地应与该转子的磁极面对的定子的磁极宽度便减小,而易于饱和,进而易于增大漏磁。此外,当转子被小型化且被多极化时,转子的各磁铁部分的形状各向异性便难以忽视,转子的各磁铁部分的磁化状态便有可能难以被完全称为永久磁铁。

[0003] 为了改进在这种步进电机的旋转性能及特性中、步进旋转时的停止稳定性,提出了一种使软磁性材料体接近于转子来配置的技术(专利文献 1、专利文献 2)。

[0004] 专利文献 1:JP 特开 2003-32991 号公报

[0005] 专利文献 2:JP 特开 2002-136095 号公报

[0006] 然而,在这些专利文献 1 及 2 的现有技术所提出的是:为了提高转子的步进旋转位置上的静磁稳定性,来使转子在步进旋转位置上更可靠地停止这一目的,而在转子的磁极间角度以下(典型的是其 1/2 左右)的范围内,设置软磁性材料体的技术(专利文献 1);为了通过降低转子的步进旋转位置上的静磁稳定性,来抑制转子过度靠近步进旋转位置(降低无激磁保持转矩(detent torque)),而使转子易于圆滑地旋转这一目的,在转子的磁极间角度以下(典型的是其 1/2 左右)的范围内,设置软磁性材料体的技术(专利文献 2),但是不能提高步进电机的转矩。

### 发明内容

[0007] 本发明鉴于前述事实而成,其目的在于,提供一种可提高转矩的电磁致动器。

[0008] 本发明涉及的电磁致动器具有:永久磁铁型转子,其在周面上具有多个磁极;电磁铁形式的多个定子,其具有与前述转子的周面相面对的至少两个磁极,其中,在前述多个定子的至少一个定子的两个磁极之间设置有辅助磁轭,该辅助磁轭在比前述转子的磁极的周向扩展角度更大的角度范围内,沿周向来延伸,周向(A)的端部相对该两个磁极(13、14、23、24、63、64、73、74)具有距离,提供该两个磁极之间的静磁路的一部分,并且提供在前述转子(30、30a、30b)的邻接磁极(Nr、Sr)之间进行连接的静磁路。

[0009] 根据本发明,可提供一种可提高转矩的电磁致动器。

[0010] 附图说明

[0011] 图 1 是根据本发明的一个优选实施例的步进电机的立体说明图。

[0012] 图 2 是图 1 的步进电机的模式平面说明图。

[0013] 图 3 表示图 1 的电机中的 2 相励磁旋转动作, 图 3A、图 3B、图 3C、图 3D 是表示依次转移的状态 Q1、Q2、Q3、Q4 的模式平面说明图。

[0014] 图 4 表示图 1 的电机中的 1-2 相励磁旋转动作的一部分, 图 4A、图 4B、图 4C、图 4D 是表示依次转移的状态 Q1、Q12、Q2、Q23 的模式平面说明图。

[0015] 图 5 表示图 1 的电机中的 1-2 相励磁旋转动作的其余部分, 图 5A、图 5B、图 5C、图 5D 是表示依次转移的状态 Q3、Q34、Q4、Q41 的模式平面说明图。

[0016] 图 6 表示图 1 的步进电机的变形例 ( 实施例 2 ), 图 6A 是一变形例的平面说明图, 图 6B 是图 6A 的步进电机的立体说明图, 图 6C 是另一变形例的平面说明图, 图 6D 是图 6C 的步进电机的立体说明图。

[0017] 图 7 是根据本发明的另一优选实施例 ( 实施例 3 ) 的步进电机的立体说明图。

[0018] 图 8 是图 7 的步进电机的模式平面说明图。

[0019] 图 9 是根据本发明的另一优选实施例 ( 实施例 4 ) 的步进电机的立体说明图。

[0020] 图 10 是图 9 的步进电机的模式平面说明图。

[0021] 图 11 是根据本发明的另一优选实施例 ( 实施例 5 ) 的步进电机的立体说明图。

[0022] 图 12 是图 11 的步进电机的模式平面说明图。

[0023] 图 13 是表示在图 1 的步进电机中, 进行如图 3 所示的 2 相励磁旋转动作的场合下转矩的变化的曲线图。

[0024] 符号说明如下 :

[0025] 1、1a、1b、1c 步进电机 5 软磁性材料体 ( 相间 )

[0026] 10、10a、10b 定子 11 磁轭

[0027] 12 线圈 13、14 磁极 15、16 端面

[0028] 20、20a、20b 定子 21 磁轭 22 线圈

[0029] 23、24 磁极 25、26 端面 30、30a、30b 转子

[0030] 31 周面 36 转子轴 ( 电机的输出轴 )

[0031] 40、50、80、90 辅助磁轭 ( 软磁性材料体 )

[0032] 41、42、51、52 周向两端部分

[0033] 43、53 薄壁部 44、54 开口

[0034] 45、55 轴线方向两端厚壁部 60 定子

[0035] 61 磁轭 62 线圈 63、64 磁极

[0036] 70 定子 71 磁轭 72 线圈

[0037] 73、74 磁极 A 周向 A1 旋转方向

[0038]  $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 、 $G_{21}$ 、 $G_{22}$  空隙 ( 定子磁极与转子周面的间隙 )

[0039]  $g1$ 、 $g2$  空隙 ( 辅助磁轭与转子周面的间隙 )

[0040]  $Ls$ 、 $Ls1$ 、 $Ls2$  辅助磁轭的周向长度

[0041]  $K1$ 、 $K2$  闭合磁路

[0042]  $Nr$ 、 $Nr_1$ 、 $Nr_2$ 、 $Nr_3$ 、 $Nr_4$ 、 $Nr_5$ 、 $Nr_6$ 、 $Nr_7$  N 极 ( 转子磁极 )

[0043]  $Q1$ 、 $Q12$ 、 $Q2$ 、 $Q23$ 、 $Q3$ 、 $Q34$ 、 $Q4$ 、 $Q41$  电机的状态

[0044]  $Sr$ 、 $Sr_1$ 、 $Sr_2$ 、 $Sr_3$ 、 $Sr_4$ 、 $Sr_5$ 、 $Sr_6$ 、 $Sr_7$  S 极 ( 转子磁极 )

[0045]  $Tr$ 、 $Ts$  转矩

- [0046]  $\alpha$  转子磁极的扩展角度（转子磁极的角度间隔）
- [0047]  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  邻接定子的邻接磁极间（相间）的角度间隔
- [0048]  $\beta_{s_{11}}$ 、 $\beta_{s_{12}}$ 、 $\beta_{s_{21}}$ 、 $\beta_{s_{22}}$ 、 $\beta_{s_p}$  定子磁极的扩展角度
- [0049]  $\beta_{s_1}$ 、 $\beta_{s_2}$ 、 $\beta_s$  定子磁极间的角度间隔
- [0050]  $\gamma$ 、 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $\gamma_m$  辅助磁轭的扩展角度
- [0051]  $\kappa_1$ 、 $\kappa_2$  辅助磁轭与转子之间的磁路

### 具体实施方式

[0052] 本发明的实施方式涉及的电磁致动器具有：转子，其在周面上具有多个磁极；电磁铁形式的多个定子，其具有与该转子的周面相面对的至少两个磁极，其中，在至少一个定子的磁极之间设置有辅助磁轭，该辅助磁轭在比转子磁极的周向扩展角度中心角更大的角度范围内，沿周向来延伸。

[0053] 本发明的实施方式涉及的电磁致动器中，在定子的磁极之间设置有辅助磁轭，该辅助磁轭在比转子磁极的周向扩展角度更大的角度范围内沿周向来延伸，因而可以提供一种与转子周面相面对，且在该邻接磁极之间进行连接的静磁路，从而使辅助磁轭跨越（连接）转子的邻接磁极。这样，由于用辅助磁轭（一般由软磁性材料来形成），来提供从定子的一个磁极经由转子而到达该定子的另一个磁极的静磁路的至少一部分，因而可提高该定子的磁极前面的空隙（磁隙）中的磁场强度，从而可提高转子的转矩即旋转性能。

[0054] 辅助磁轭提供转子的邻接磁极之间的静磁路，由此，转子中磁极与辅助磁轭相面对的磁铁部分，便通过静磁来相连，这一点有助于提高性能。

[0055] 在典型情况下，转子在半径方向被磁化。然而，从磁化技术的关系出发，中心附近内侧的磁化方向·分布，也可以与半径方向相异。在典型的情况下，从周向来看，在同一长度即同一角度范围内，转子磁极得到扩展，而邻接磁极间的周向间隔及角度也相同。然而根据情况，也可以具有某种程度的差异。换言之，在典型情况下，转子交互地具有多个磁极，即具有相同数量的N极及S极，且各磁极的周向扩展及角度均相同，但也允许有一定的差异。转子周面的磁极数在典型情况下，最好为10极～14极左右，但根据情况，也可以少于或多于该数量。

[0056] 转子是在周面具有磁极的永久磁铁型转子，由永久磁铁材料，尤其是由保持力较大的永久磁铁材料来形成，适合采用所谓的硬（质）磁性材料。然而，由于与转子的各表面磁极相对应的磁化区的长宽比（磁化方向的长度/宽度（正交方向的长度））不一定很大，因而受到取决于各磁化区的形状的反磁场的影响，可能难以完全被磁化，但在这种场合下，通过使该磁化区与其它磁化区进行静磁性连接，可以提高转子周面上的磁极强度及磁通密度。

[0057] 定子是一种包含励磁用线圈的电磁铁形式，且具有：磁轭，其用软磁性材料，典型的是如透磁合金那样透磁率较高且饱和磁化较大的磁性材料来形成；励磁线圈，其使该磁轭磁化。磁轭的形状为：具有励磁时成为磁极的至少两个端部的“U”形及“C”形状，或者与此类似的形状。定子的磁极部被配置成：经由狭窄的空隙及磁极间隙（磁极间隙），来与转子的周面相面对。在本说明书中，由于不拘泥于一对“U”形脚部的朝向本身，因而只要没有明确说明或文章中没有特殊限定的情况下，所谓“U”形及“C”形便可看作是同一形状。另

外,根据场合的不同,比如也可以整体上具有“E”形形状的那样形成分支。在典型情况下,定子的磁极,在转子的各磁极扩展角度的  $1/2$  角度范围内扩展。然而根据情况,也可以小于该值,或者,只要是转子的磁极扩展角度以下,则根据进行励磁旋转的条件,也可以大于该值。

[0058] 比如,在定子磁极间配置有转子各磁极的扩展角度的  $3/2$  左右的辅助磁轭的场合下,当定子磁极的扩展角度为转子各磁极的扩展角度的  $1/2$  左右之时,在典型情况下,定子的一对磁极间的间隔,是与转子磁极间隔相一致的转子磁极扩展角度的  $5/2$  倍以上。即,在定子磁极间配置有辅助磁轭的场合下,在典型情况下,定子磁极与辅助磁轭的邻接端部的角度间隔,是转子磁极的扩展角度的  $1/2$  倍以上。然而,只要定子的磁极实质上没有与辅助磁轭的邻接端部静磁性地直接接合,则定子的磁极与辅助磁轭的邻接端部的角度间隔也可以小些。换言之,只要与在定子的磁极与转子的周面之间流通的磁通相比,在定子的磁极与辅助磁轭的邻接端部之间流通的磁通少到可忽略的程度,则定子的磁极与辅助磁轭的邻接端部的角度间隔也可以更小些。

[0059] 在步进电机等电磁致动器中,设置有两个以上的定子。只要在周向邻接的定子不經由转子及辅助磁轭来相互静磁性地实质上分离,则在周向邻接的定子的相互邻接磁极间的角度间隔,便可以实质上为 0。

[0060] 作为针对定子的励磁线圈的驱动方式,在典型情况下,可以采用 2 相励磁旋转驱动或 1-2 相励磁旋转驱动。也可以进行其它不同的励磁旋转动作。

[0061] 在典型情况下,在各定子的一对磁极之间设置辅助磁轭。在多个定子中的一个定子的磁极之间,也可以设置辅助磁轭。

[0062] 辅助磁轭在大于转子磁极的周向扩展角度的角度范围内沿周向延伸,由此,使转子周面的不同磁极(N极及S极)双方同时实质上相面对,只要如此,便可以与转子磁极的周向扩展角度相同,或者大于转子的磁极周向扩展角度。然而,为了在转子周向邻接的不同磁极之间可靠地提供静磁路,辅助磁轭最好是转子磁极周向扩展角度的  $3/2$  倍以上。此外,为了将定子的一对磁极间的角度抑制到某种程度的范围内,辅助磁轭相对转子磁极的周向扩展角,最好不过于大。

[0063] 如前述有关定子配置的说明所述,有必要避免定子与辅助磁轭直接静磁性耦合,为此,辅助磁轭的周向端部,有必要相对定子的磁极离开一定距离,最好离开转子磁极周向扩展角度的  $1/2$  以上。然而,为了在定子各磁极前面的磁隙部分之外的部分中,将定子的一对磁极间的静磁路的磁阻抑制到最低限,只要能避免辅助磁轭直接被静磁性耦合,则辅助磁轭的端部最好接近定子的邻接磁极。在典型情况下,辅助磁轭的端部,相对定子的邻接磁极,以转子的磁极周向扩展角度的  $1/2$  左右的间隔来配置。只要能避免在辅助磁轭与定子之间实质上形成短路的静磁路,则根据情况,辅助磁轭与定子也可以经由截面面积较小的部分(该部分磁饱和)而连接成一体,以便可用作机械性上是一体部件,但磁性上分离的部件。

[0064] 为了在与相对转子周面面对的区域之间得到静磁耦合,辅助磁轭经由与定子磁极和转子周面之间的空隙(磁隙)实质上相同的间隙,与转子周面接近配置。然而,为了在转子中辅助磁轭所面对的一个磁极(N极或S极)与不同于该一个磁极的其它邻接磁极(S极或N极)之间提供周向延伸的静磁路,辅助磁轭也可以被设计成:在与一个磁极面对的一部分中,在与转子之间具有较小的空隙,且在与另一个邻接磁极(S极或N极)面对的另一部

分中,在与转子之间具有较小的空隙,并且在一个部分与另一部分之间,具有磁阻较小的接续部分及连接部分。在该场合下,在辅助磁轭的一部分及另一部分这两处位置之外的部分中,也可以与转子的周面实质上分离。比如,在辅助磁轭中的周向两端部分之间,可以具有在与轴向平行的方向延伸的沟槽及切口,或者在辅助磁轭中的周向两端部分之间,也可以具有开口部。辅助磁轭,可以具有大于圆板状转子的轴向厚度的轴向长度,也可以具有相同的轴向长度,只要能与转子周面的磁极静磁性强固耦合,则也可以具有短于转子的轴向厚度的轴向长度。

[0065] 为了提供磁阻较低的静磁路,辅助磁轭由软磁性材料来形成,最好使用透磁率较高的材料。

[0066] 接下来,结合附图来说明本发明的优选实施例。

[0067] 实施例 1

[0068] 图 1 及图 2 表示根据本发明的第一实施例的步进电机 1。步进电机 1 具有:两组定子 10、20;转子 30;由软磁性材料形成的辅助定子及辅助磁轭 40、50。

[0069] 转子 30,大致具有圆板状及环状板形状。在其周面 31 上,在半径方向实质上等间隔地,由磁化了的永久磁铁结构体来形成 10 个磁极。图 2 中,区域  $Nr_1 \sim Nr_5$  (在不加区别的场合或者统称时,用符号  $Nr$  来表示) 的周面,被磁化成 N 极,而其余的区域  $Sr_1 \sim Sr_5$  (在不加区别的场合或者统称时,用符号  $Sr$  来表示) 的周面,则被磁化成 S 极。然而,图 2 的模式图的目的在于:以易于理解的方式来表示 N、S 磁极在周面 31 上实质上交互等间隔来出现、即只区别周面 31 及其附近的磁化状态,并不是用该模式图来严密地规定半径方向内侧的磁化状态。在典型情况下,如图 1 的立体图所示,转子 30 由以下部分来组成:环形板状转子本体 35;嵌有环形板状转子本体 35 的转子轴(电机输出轴)36。转子轴也可以与转子本体一体形成。

[0070] 定子 10 由用软磁性材料形成的“U”形及“C”形磁轭 11 及定子线圈 12 来形成,磁轭 11 两端的磁极 13、14,经由狭窄空隙  $G_{11}$ 、 $G_{12}$  来位于转子 30 的周面 31 附近。沿着磁极 13、14 的前端面 15、16 的周向 A 的扩展角度(从转子中心看去的角度)是  $\beta_{s_p}$  ( $\beta_{s_{11}}$ 、 $\beta_{s_{12}}$ ),实质上是转子 30 的一个磁极 N、S 的扩展角度  $\alpha$  的 1/2。此外,磁极 13、14 之间的周向 A 的开启角度  $\beta_{s_1}$ ,是转子 30 的磁极扩展角  $\alpha$  的 5/2,不论转子 30 的旋转位置如何,两个磁极 13、14 均与转子 30 的相反的磁极  $Nr$ 、 $Sr$  或  $Sr$ 、 $Nr$  相面对。

[0071] 定子 20 具有与定子 10 同样的构成,因而省略详细说明。

[0072] 定子 10 的磁极 13 与定子 20 的磁极 23 之间在周向 A 的开启角度  $\beta_1$ ,是转子 30 的扩展角度  $\alpha$  的 2 倍(磁极 13、23 的相对角度间隔为  $5\alpha/2$ )。定子 10 的磁极 14 与转子 30 的磁极 24 之间在周向 A 的角度  $\beta_2$ ,是转子 30 的扩展角度  $\alpha$  的 1 倍(磁极 14、24 的相对角度间隔为  $3\alpha/2$ )。因此,比如在后述的 2 相励磁旋转动作中,每当转子 30 进行两次 1/20 旋转时,两个磁极 13、14 便重复与转子 30 的相反的磁极  $Nr$ 、 $Sr$  或  $Sr$ 、 $Nr$  相面对这一过程,而每当转子 30 进行两次 1/20 旋转时,两个磁极 23、24 也重复与转子 30 的相反的磁极  $Nr$ 、 $Sr$  或  $Sr$ 、 $Nr$  相面对这一过程。

[0073] 辅助磁轭 40 由部分圆筒状体来形成,在定子 10 的磁极 13、14 之间,经由空隙  $g_1$  来与转子 30 的外周面 31 相面对。辅助磁轭 40 的周向 A 扩展角度  $\gamma$  ( $\gamma > 1$ ),是转子 30 的磁极  $Nr$ 、 $Sr$  的扩展角度  $\alpha$  的 3/2 倍,换言之,在空隙  $g_1$  大小为可忽视的程度的场合下,辅助

磁轭 40 周向 A 的长度  $L_s$  ( $L_{s1}$ ), 是转子 30 的磁极长度  $L_r$  的  $3/2$  倍。

[0074] 因此, 辅助磁轭 40 在任意时刻, 在半径方向与转子 30 的周向 A 上邻接的两个磁极  $N_r$ 、 $S_r$  相面对。其结果是, 在辅助磁轭 40 中, 形成磁通经路 (静磁路)  $\kappa 1$ , 该磁通从转子 30 所面对的磁极  $N_r$  进入辅助磁轭 40, 并从该辅助磁轭 40 内通过, 然后从该辅助磁轭 40 返回到转子 30 中与该辅助磁轭 40 面对的磁极  $S_r$ 。

[0075] 辅助磁轭 40 从定子 10 的磁极 13、14 来等间隔配置, 在该例中, 从定子 10 的磁极 13、14 只离开  $\gamma/2$  角度 ( $L_s/2$  的周向距离)。

[0076] 辅助磁轭 50 具有与辅助磁轭 40 相同的构成, 因此省略其详细说明。

[0077] 以下基于图 3, 来说明使如上所述构成的步进电机 1 进行 2 相励磁旋转的场合下的动作。

[0078] 图 3A 中, 将定子 10 的端子  $V_1$ 、 $V_2$  分别设为正、负, 在线圈 12 中流通电流  $I_1$ , 以进行磁化, 从而使磁极 13、14 分别成为 N 极及 S 极, 而且将定子 20 的端子  $V_3$ 、 $V_4$  分别设为负、正, 在线圈 22 中流通电流  $I_2$ , 从而使磁极 23、24 分别磁化成为 S 极及 N 极, 即处于状态 Q1。

[0079] 在该图 3A 的状态 Q1 之下, 转子 30 的磁极  $S_{r1}$  的 A1 方向前半部分及磁极  $N_{r2}$  的 A1 方向前半部分, 分别与定子 10 中被磁化为 N 极的磁极 13 及磁化为 S 极的磁极 14 相面对, 而转子 30 的磁极  $N_{r4}$  的 A1 方向后半部分及磁极  $S_{r3}$  的 A1 方向后半部分, 则分别与定子 20 中被磁化为 S 极的磁极 23 及磁化为 N 极的磁极 24 相面对, 在这一状态下, 被引到定子 10、20 的面对磁极上。以下假设磁极  $S_{r1}$  与定子 10 的磁极 13 相相对来在下文进行说明, 不过, 从旋转对称性的观点出发, 即使取代磁极  $S_{r1}$ , 显然对其它磁极  $S_{r2}$ 、 $S_{r3}$ 、 $S_{r4}$ 、 $S_{r5}$  的任意一个而言也是同样的。

[0080] 在该状态 Q1 之下, 转子 30 中磁极  $N_{r1}$  整体及磁极  $S_{r2}$  的一部分与辅助磁轭 40 相面对, 从转子 30 的磁极  $N_{r1}$  出发, 并通过辅助磁轭 40 返回到磁极  $S_{r2}$  的磁路  $\kappa 1$ , 形成于转子 30 与辅助磁轭 40 之间。因此, 对定子 10 而言, 由软磁性材料的辅助磁轭 40 来提供一种闭合磁路 K1 的磁通的相当部分, 该闭合磁路 K1 中, 磁通从磁极 (N 极) 13 通过空隙  $G_{11}$  而进入到面对的转子的磁极  $S_{r1}$ , 并从转子磁极  $N_{r2}$  通过, 然后从空隙  $G_{12}$  中通过, 返回到定子 10 的磁极 (S 极) 14。因此, 与没有辅助磁轭 40 的场合相比, 可大幅降低该闭合磁路 K1 的磁阻。其结果是, 对应于电流  $I_1$  的定子 10 的磁极 13、14 的前面空隙  $G_{11}$ 、 $G_{12}$  中的磁场强度可得到提高, 针对转子 30 的磁极  $S_{r1}$ 、 $N_{r2}$  的静磁引力也可得到提高。

[0081] 同样, 在状态 Q1 之下, 转子 30 的磁极  $N_{r3}$  的一部分及磁极  $S_{r4}$  整体与辅助磁轭 50 相面对, 从转子 30 的磁极  $N_{r3}$  出发, 并通过辅助磁轭 50 返回到磁极  $S_{r4}$  的磁路  $\kappa 2$ , 形成于转子 30 与辅助磁轭 50 之间。因此, 对定子 20 而言, 由软磁性材料的辅助磁轭 50 来提供一种闭合磁路 K2 的磁通的相当部分, 该闭合磁路中, 磁通从磁极 (N 极) 24 通过空隙  $G_{22}$  而进入到面对的转子的磁极  $S_{r3}$ , 并从转子 30 的磁极  $N_{r4}$  通过, 然后返回到定子 20 的磁极 (S 极) 23。因此, 与没有辅助磁轭 50 的场合相比, 可大幅降低该闭合磁路 K2 的磁阻。其结果是, 对应于电流  $I_2$  的磁极 24、23 的前面空隙  $G_{22}$ 、 $G_{21}$  中的磁场强度可得到提高, 针对转子 30 的磁极  $S_{r3}$ 、 $N_{r4}$  的静磁引力也可得到提高。

[0082] 在该状态 Q1 之下, 前述静磁引力的增大, 可提高步进电机 1 的转子 30 的静磁稳定性。换言之, 这还意味着转子 30 在状态 Q1 的旋转位置处被可靠地维持在停止状态。

[0083] 在后续的步骤中, 如图 3B 所示, 保持定子 10 的原状态, 使定子 20 的线圈 22 的端

子 V3、V4 的正负反转,分别成为正、负,在线圈 22 中流通电流  $-I_2$ ,从而使磁极 23、24 分别磁化为 N 极及 S 极,即处于状态 Q2。

[0084] 在该状态 Q2 之下,磁极 23、24 分别变为 N 极及 S 极。转子 30 的磁极  $Sr_5$  被引向磁极 23,同时转子的磁极  $Nr_3$  被引向磁极 24,因而转子 30 在 A1 方向只旋转  $1/20$ ,从而成为图 3B 所示的位置。

[0085] 同样,在该状态 Q2 之下,转子 30 的磁极  $Nr_1$  的一部分及磁极  $Sr_2$  整体与辅助磁轭 40 相面对,从转子 30 的磁极  $Nr_1$  出发并通过辅助磁轭 40 而返回到磁极  $Sr_2$  的磁路  $\kappa 1$ ,形成于转子 30 与辅助磁轭 40 之间。因此,对定子 10 而言,由软磁性材料形成的辅助磁轭 40 来提供一种闭合磁路 K1 的磁通的相当部分,该闭合磁路中,磁通从磁极 (N 极) 13 通过空隙  $G_{11}$  而进入到面对的转子 30 的磁极  $Sr_1$ ,并从转子 30 的磁极  $Nr_2$  通过,然后通过空隙  $G_{12}$ ,返回到定子 10 的磁极 (S 极) 14。因此,与没有辅助磁轭 40 的场合相比,可大幅降低该闭合磁路 K1 的磁阻。其结果是,对应于定子电流  $I_1$  的定子 10 的磁极 13、14 的前面空隙  $G_{11}$ 、 $G_{12}$  中的磁场强度可得到提高,针对转子 30 的磁极  $Sr_1$ 、 $Nr_2$  的静磁引力也可得到提高。与转子 30 的辅助磁轭 40 相面对的磁铁部分的作用也与前述相同。

[0086] 同样,在状态 Q2 之下,转子 30 中磁极  $Nr_4$  的一部分及磁极  $Sr_4$  与辅助磁轭 50 相面对,从转子 30 的磁极  $Nr_4$  出发,并通过辅助磁轭 50 而返回到磁极  $Sr_4$  的磁路  $\kappa 2$ ,形成于转子 30 与辅助磁轭 50 之间。因此,对定子 20 而言,由软磁性材料形成的辅助磁轭 50 来提供一种闭合磁路 K2 的磁通的相当部分,该闭合磁路中,磁通从磁极 (N 极) 23 通过空隙  $G_{21}$  而进入到面对的转子的磁极  $Sr_5$ ,并从转子的磁极  $Nr_3$  通过,而返回到定子 20 的磁极 (S 极) 24。因此,与没有辅助磁轭 50 的场合相比,可大幅降低该闭合磁路 K2 的磁阻。其结果是,对应于电流  $-I_2$  的定子 20 的磁极 23、24 的前面空隙  $G_{21}$ 、 $G_{22}$  中的磁场强度可得到提高,针对转子 30 的磁极  $Sr_5$ 、 $Nr_3$  的静磁引力也可得到提高。与转子 30 的辅助磁轭 50 相面对的磁铁部分的作用也与前述相同。

[0087] 在该状态 Q2 之下,这种静磁引力的增大,可提高步进电机 1 的转子 30 的静磁稳定性。换言之,意味着转子 30 在状态 Q2 的旋转位置处被可靠地维持在停止状态。

[0088] 另一方面,对从状态 Q1 至状态 Q2 的转子 30 的旋转而言,随着因辅助磁轭 40、50 的配置引起的闭合磁路 K1、K2 的磁阻的降低,其磁隙 (空隙)  $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 、 $G_{21}$ 、 $G_{22}$  中的磁场强度便增大,转矩由此而增大。

[0089] 在后续的步骤中,如图 3C 所示,保持定子 20 的原状态,使定子 10 的线圈 12 的端子 V1、V2 的正负反转,而分别成为负、正,并在线圈 12 中流通电流  $-I_1$ ,而使磁极 13、14 分别磁化成为 S 极及 N 极,即处于状态 Q3。

[0090] 在该状态 Q3 之下,转子 30 的磁极  $Sr_3$  被引向已变为 N 极的磁极 14,同时转子磁极  $Nr_1$  被引向已变为 S 极的磁极 13,因而转子 30 在 A1 方向上只旋转  $1/20$ ,而到达图 3C 所示的位置。

[0091] 在该状态 Q3 之下,转子 30 中磁极  $Nr_2$  的一部分及磁极  $Sr_2$  整体与辅助磁轭 40 相面对,从转子 30 的磁极  $Nr_2$  出发并通过辅助磁轭 40 而返回到磁极  $Sr_2$  的磁路  $\kappa 1$ ,形成于转子 30 与辅助磁轭 40 之间。因此,对定子 (磁铁) 10 而言,由辅助磁轭 40 来提供一种闭合磁路 K1 中的相当部分,该闭合磁路中,磁通从磁极 (N 极) 14 通过空隙  $G_{12}$  而进入到面对的转子磁铁 30 的磁极  $Sr_3$ ,并从转子磁铁 30 的磁极  $Nr_1$  通过,然后通过空隙  $G_{11}$  而返回到定子

(磁铁)10的磁极(S极)13,因此,与没有辅助磁轭40的场合相比,可大幅降低该闭合磁路K1的磁阻。其结果是,对应于定子电流 $-I_1$ 的定子10的磁极13、14的前面空隙 $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 中的磁场强度可得到提高,针对转子30的磁极 $Nr_1$ 、 $Sr_3$ 的静磁引力也可得到提高。

[0092] 同样,在该状态Q3之下,转子30中磁极 $Sr_4$ 的一部分及磁极 $Nr_4$ 整体与辅助磁轭50相面对,从转子30的磁极 $Nr_4$ 出发并通过辅助磁轭50而返回到磁极 $Sr_4$ 的磁路 $\kappa 2$ ,形成于转子30与辅助磁轭50之间。因此,对定子(磁铁)20而言,由辅助磁轭50来提供一种闭合磁路K2中的相当部分,该闭合磁路中,磁通从磁极(N极)23通过空隙 $G_{21}$ 而进入到面对的转子(磁铁)30的磁极 $Sr_5$ ,并从转子(磁铁)30的磁极 $Nr_3$ 通过,而返回到定子(磁铁)20的磁极(S极)24,因此,与没有辅助磁轭50的场合相比,可大幅降低该闭合磁路K2的磁阻。其结果是,对应于定子电流 $-I_2$ 的定子20的磁极23、24的前面空隙 $G_{21}$ 、 $G_{22}$ 中的磁场强度可得到提高,针对转子30的磁极 $Sr_5$ 、 $Nr_3$ 的静磁引力也可得到提高。

[0093] 在该状态Q3之下,这种静磁引力的增大,可提高步进电机1的转子30的静磁稳定性。换言之,意味着转子30在状态Q3的旋转位置处被可靠地维持在停止状态。

[0094] 另一方面,对从状态Q2至状态Q3的转子30的旋转而言,随着因辅助磁轭40、50的配置而引起的闭合磁路K1、K2的磁阻的降低,其磁隙 $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 、 $G_{21}$ 、 $G_{22}$ 中的磁场强度便增大,转矩由此而增大。

[0095] 同样在后续的步骤中,如图3D所示,保持定子10的原状态,使定子20的线圈22的端子V3、V4的正负反转,分别成为负、正,在线圈22中流通电流 $I_2$ ,而使定子20的磁极23、24分别磁化成为S极及N极,即处于状态Q4。由此,使转子30只旋转 $1/20$ 转。在该场合下同样,基于与前述同样的理由,从状态Q3至状态Q4的A1方向转矩及该状态Q4的静磁稳定性这双方均得到提高。

[0096] 同样在后续的步骤中,如图3A所示,保持定子20的原状态,使定子10的端子V1、V2的正负反转,分别成为正、负,在线圈12中流通电流 $I_1$ ,而使磁极13、14分别磁化成为N极及S极,即处于状态Q1。由此,使转子30只旋转 $1/20$ 转。在该场合下同样,基于与前述同样的理由,从状态Q4至状态Q1的A1方向转矩及该状态Q1的静磁稳定性这双方均得到提高。

[0097] 此后,重复循环前述状态Q2、Q3、Q4、Q1,而使转子30向A1方向旋转。由此,可在具有辅助磁轭40、50的电机1中,提高转矩及步进旋转位置上的静磁稳定性。

[0098] < 试验例 >

[0099] 利用磁场解析法,模拟了在图1及图2所示的步进电机1中,如图3所示进行了2相励磁旋转动作的场合。模拟条件及结果如下所示。

[0100] 模拟条件

[0101] 1. 关于转子30

[0102] (1) 形状:图1所示的环状体

[0103] • 外径:3mm,内径:0.6mm,厚度:1.2mm(如果假设在半径方向形成有磁化区,则长宽比相当于1.3~6.4左右)

[0104] (2) 磁性条件

[0105] • 适用材料:SmFeN系粘合磁铁

[0106] • 最大能量积: $(BH)_{\max} = 111.4\text{kJ/m}^3$

- [0107] • 磁化方向 :半径方向
- [0108] • 磁化分布 (外周面 31 上的磁通密度分布) : $\sin 5 \theta$  ( $\theta$  是以磁极区的中央为原点的角度)
- [0109] 2. 关于定子 10、20
- [0110] (1) 磁轭 11、21 的磁性条件
- [0111] • 适用材料 :45 透磁合金
- [0112] • 比透磁率 : $\mu_m = 45000$
- [0113] • 保磁力 : $H_c = 10A/m$
- [0114] • 磁场 1000A/m 下的磁通密度  $B = 1.4T$
- [0115] (2) 线圈 12、22 的励磁条件
- [0116] • 各相线圈的励磁 :55AT
- [0117] 3. 关于辅助磁轭 40、50
- [0118] (1) 磁条件
- [0119] • 适用材料 :45 透磁合金
- [0120] • 比透磁率 : $\mu_m = 45000$
- [0121] • 抗磁场 : $H_c = 10A/m$
- [0122] • 磁场 1000A/m 下的磁通密度  $B = 1.4T$
- [0123] 4. 关于整体的外形形状
- [0124] • 宽度 (X 向长度) :约 10mm, 深度 (Y 向长度) :约 6.6mm, 高度 :约 2.7mm
- [0125] 模拟结果
- [0126] 1. 对图 1 及图 2 所示的电机 1 (模拟模型)、以及从该电机 1 除去了辅助磁轭 40、50 的以往电机 (比较例), 分别求算 :转子 30 向逆时针方向从图 3A 的状态 Q1 旋转至图 3C 的状态 Q3 为止的 36 度时的转矩。图 13 表示在各状态下, 以比较例电机场合下的转矩  $T_r$  为基准 (相对值), 模拟模型场合下的转矩  $T_s$ 。
- [0127] 2. 从图 13 可看出, 在具有辅助磁轭 40、50 的试验示例电机 1 中, 与未配备辅助磁轭的以往电机相比, 转矩可增加 1.3 倍~ 1.7 倍。
- [0128] 图 3 中, 所说明的是进行基于 2 相励磁的旋转的例。当然, 也可以取代它, 如图 4 及图 5 所示, 而进行 1-2 相励磁。图 4A 中, 转子 30 的旋转位置与图 3A 相同。
- [0129] 在图 4A 中, 电机 1 处于与图 3A 完全相同的状态 Q1。因此, 有关图 3A 的说明, 可原样适于处于图 4A 的状态 Q1 下的电机 1。
- [0130] 接下来, 如图 4B 所示, 停止对定子 20 的线圈 22 的通电, 并解除定子 20 的励磁。在该状态下, 转子 30 的磁极  $Sr_1$  的高磁化中央部分, 在半径方向正对着定子 10 的磁极 (N 极) 13, 而且, 转子 30 的磁极  $Nr_2$  的高磁化中央部分, 在半径方向正对着定子 10 的磁极 (S 极) 14。处于转子 30 从状态 Q1 在 A1 方向只旋转了 1/40 的状态 Q12。此时, 定子 20 的两端磁极 23、24, 分别正对着转子 30 的 N 极与 S 极的边界部分。
- [0131] 转子 30 中, 磁极  $Nr_1$  的大约 2/3 部分及磁极  $Sr_2$  的大约 2/3 部分, 与辅助磁轭 40 相对, 并形成从转子 30 的磁极  $Nr_1$  出发并通过辅助磁轭 40 而返回到磁极  $Sr_2$  的磁路  $\kappa 1$ 。因此, 对定子 10 而言, 由软磁性材料形成的辅助磁轭 40 来提供一种闭合磁路 K1 的磁通中相当部分, 该闭合磁路中, 磁通从磁极 (N 极) 13 通过空隙  $G_{11}$  而进入到面对的转子的磁极

$Sr_1$ , 并从转子的磁极  $Nr_2$  通过, 然后通过空隙  $G_{12}$ , 而返回到定子 10 的磁极 (S 极) 14。因此, 与没有辅助磁轭 40 的场合相比, 可大幅降低该闭合磁路 K1 的磁阻。其结果是, 对应于定子电流  $I_1$  的定子 10 的磁极 13、14 的前面空隙  $G_{11}$ 、 $G_{12}$  中的磁场强度可得到提高, 针对转子 30 的磁极  $Sr_1$ 、 $Nr_2$  的静磁引力也可得到提高。

[0132] 另一方面, 在状态 Q12 下, 转子 30 中 N 极  $Nr_4$  的大约 1/4 部分和 N 极  $Nr_3$  的大约 1/4 部分以及 S 极  $Sr_4$ , 与辅助磁轭 50 相面对。

[0133] 在该状态 Q12 之下, 如前述的定子 10 与转子 30 之间的静磁引力的增大, 可提高步进电机 1 的转子 30 的静磁稳定性。换言之, 意味着转子 30 在状态 Q12 的旋转位置处被可靠地维持在停止状态。

[0134] 另一方面, 对从状态 Q1 至状态 Q12 的转子 30 的旋转而言, 随着因辅助磁轭 40 的配置而引起的闭合磁路 K1 的磁阻的降低, 其磁隙 (空隙)  $G_{11}$ 、 $G_{12}$  中的磁场强度便增大, 转矩由此而增大。

[0135] 在后续的步骤中, 如图 4C 所示, 保持定子 10 的原状态, 使定子 20 的线圈 22 的端子 V3、V4 分别成为正、负, 在线圈 22 中流通电流  $-I_2$ , 而使磁极 23、24 分别磁化成为 N 极及 S 极, 即处于状态 Q2。该状态与图 3B 的状态 Q2 相同, 因而可按原样来适用该图的说明。

[0136] 另一方面, 对从状态 Q12 至状态 Q2 的转子 30 的 1/40 旋转而言, 随着因辅助磁轭 40、50 的配置而引起的闭合磁路 K1、K2 的磁阻的降低, 其磁隙  $G_{11}$ 、 $G_{12}$ 、 $G_{21}$ 、 $G_{22}$  中的磁场强度便增大, 转矩由此而增大。

[0137] 接下来, 如图 4D 所示, 停止对线圈 12 的通电, 并解除定子 10 的励磁。在该状态下, 转子 30 的磁极  $Sr_5$  的高磁化中央部分, 在半径方向实质上正对着定子 20 的磁极 (N 极) 23, 而且, 转子 30 的磁极  $Nr_3$  的高磁化中央部分, 在半径方向实质上正对着定子 20 的磁极 (S 极) 24。处于转子 30 从状态 Q2 在 A1 方向只旋转了 1/40 的状态 Q23。此时, 解除了励磁的定子 10 的两端磁极 13、14, 分别正对着转子 30 的 N 极与 S 极的边界部分。

[0138] 在该状态 Q23 下, 转子 30 中磁极  $Nr_4$  的大约 2/3 部分及磁极  $Sr_4$  的大约 2/3 部分, 与辅助磁轭 50 相面对, 并形成从转子 30 的磁极  $Nr_4$  出发并通过辅助磁轭 50 而返回到磁极  $Sr_2$  的磁路  $\kappa 2$ 。因此, 对定子 20 而言, 由软磁性材料形成的高透磁率辅助磁轭 50 来提供一种闭合磁路 K2 中的相当部分, 该闭合磁路中, 磁通从磁极 (N 极) 23 通过空隙  $G_{21}$  而进入到面对的转子磁铁的磁极  $Sr_5$ , 并从转子磁铁的磁极  $Nr_3$  通过, 然后通过空隙  $G_{22}$ , 而返回到定子磁铁 20 的磁极 (S 极) 24, 因此, 与没有辅助磁轭 50 的场合相比, 可大幅降低该闭合磁路 K2 的磁阻。其结果是, 对应于定子电流  $-I_2$  的定子 20 的磁极 23、24 的前面空隙  $G_{21}$ 、 $G_{22}$  中的磁场强度可得到提高, 针对转子 30 的磁极  $Sr_5$ 、 $Nr_3$  的静磁引力也可得到提高。

[0139] 另一方面, 在状态 Q23 下, 转子 30 中 N 极  $Nr_1$  的大约 1/4 部分和 N 极  $Nr_2$  的大约 1/4 部分以及 S 极  $Sr_2$ , 与辅助磁轭 40 相面对。

[0140] 在该状态 Q23 之下, 如前述的定子 20 与转子 30 之间的静磁引力的增大, 可提高步进电机 1 的转子 30 的静磁稳定性。换言之, 意味着转子 30 可在状态 Q23 的旋转位置处被可靠地维持在停止状态。

[0141] 对从状态 Q2 至状态 Q23 的转子 30 的旋转而言, 随着因辅助磁轭 50 的配置而引起的闭合磁路 K2 的磁阻的降低, 其磁隙  $G_{21}$ 、 $G_{22}$  中的磁场强度便增大, 转矩由此而增大。

[0142] 接下来, 如图 5A 所示, 保持定子 20 的励磁状态, 在线圈 12 的端子 V1、V2 之间流

通电流  $-I_1$ , 从而对定子 10, 分别使磁极 14、13 成为 N、S 极, 而处于与图 3C 同样的状态 Q3。该状态 Q3 与图 3C 的说明相同, 从状态 Q23 向状态 Q3 的转移, 与前述图 4C 的说明实质上相同。

[0143] 接下来, 如图 5B 所示, 停止对线圈 22 的通电, 并解除定子 20 的励磁, 而进入状态 Q34。除了定子 10 及转子 30 的极性相异之外, 该状态 Q34 与图 4B 所示的状态 Q12 相同。因而与有关状态 Q12 的说明同样, 可提高静磁稳定性, 且可提高从状态 Q3 至状态 Q34 的转矩。

[0144] 接下来, 保持定子 10 的励磁状态, 在定子 20 的线圈 22 中流通电流  $I_2$ , 而处于与图 3D 同样的状态 Q4。在该状态 Q4 下, 与前述说明的状态 Q1、Q2、Q3 同样, 可提高静磁稳定性, 且可提高从状态 Q34 至状态 Q4 的转矩, 这也与前述场合相同。

[0145] 接下来, 如图 5D 所示, 停止对线圈 12 的通电, 并解除定子 10 的励磁, 而进入状态 Q41。除了定子 20 与转子 30 的极性相异之外, 该状态 Q41 与图 4D 所示的状态 Q23 相同。因而与有关状态 Q23 的说明同样, 可提高静磁稳定性, 且可提高从状态 Q4 至状态 Q41 的转矩。

[0146] 此外, 保持定子 20 的励磁状态, 在定子 10 的线圈 12 的端子 V1、V2 之间流通电流  $I_1$ , 而返回到图 4A 所示的状态 Q1。从状态 Q41 向状态 Q1 的转移, 与前述有关从状态 Q12 向状态 Q2 的转移及从状态 Q23 向状态 Q3 的转移的说明实质上相同, 可提高从状态 Q41 至状态 Q1 的转矩。

[0147] 以上说明了电机 1 具有两个辅助磁轭 40、50 的例。然而根据情况, 也可以没有辅助磁轭 40、50 中的一个。在该例中, 有关转子 30 的旋转方向的辅助磁轭 40、50 的扩展角  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ , 相对转子 30 的磁极  $N_r$ 、 $S_r$  的扩展角  $\alpha$  是  $3/2$  倍。然而, 只要角度  $\gamma_1$ 、 $\gamma_2 > \alpha$ , 则也可以小于  $3/2$  倍。反之, 只要不与邻接定子的磁极发生直接静磁耦合, 则也可以大于  $3/2$  倍。这里, 所谓辅助磁轭 40、50 实质上离开定子的磁极 13、14、23、24, 系指在定子磁极 13、14、23、24 的磁化状态下 (不经由转子磁铁), 静磁性分离。

[0148] 在该示例中, 尽管辅助磁轭 40 与 50 的扩展角相同, 但两者的大小也可以相异。

[0149] 此外, 在图 1 的立体图中, 尽管部分圆筒状的辅助磁轭 40、50 与转子 30 相比具有较长的轴向长度, 但是只要能充分抑制在转子 30 的周面上流通的磁力线在轴线方向的泄漏, 则也可以比其更短。比如, 也可以与转子 30 的轴向高度 (厚度) 相同。即, 比如对辅助磁轭 50 而言, 如图 1 中的假想线 50i 所示, 上端也可以位于与转子 30 的上表面 33 几乎平齐的位置上 (下端也同样)。

[0150] 实施例 2

[0151] 此外, 只要辅助磁轭 40 及 50 中, 与转子 30 的不同磁极部分  $N_r$ 、 $S_r$  双方相面对的部分实质上静磁耦合, 则也可以取代壁厚沿周向 A 相同这一做法, 而是如图 6A 及图 6B 所示, 设置分别在周向 A 的两端部分 41、42 及 51、52 的中间具有沟槽及切口的薄壁部 43 及 53。也可以如图 6C 及图 6D 所示, 在周向 A 的中间部分形成开口 44 及 54, 并通过开口 44 及 54 的轴线方向两侧的厚壁部 45 及 55, 来连接周向 A 的两端部分 41、42 及 51、52。这样, 通过在辅助磁轭 40、50 中形成沟槽、切口及开口 44、45, 可以减轻步进电机 1 的重量。

[0152] 实施例 3

[0153] 在上文中, 所说明的是转子 30 具有 10 个磁极的例, 但转子 30 的极数也可以多于

或少于该数。

[0154] 接下来,基于图 7 及图 8,来说明转子按等角间隔来配有 12 个磁极的电机 1a。图 7 及图 8 中的电机 1a 中,对与图 1 至图 6 所示电机 1 的部件及要素相同的部件及要素,采用同一符号,而对不同的部件及要素,则在其符号之后附加一个“a”。

[0155] 除了磁极数为 12 个之外,该转子 30a 与转子 30 的构成相同。即,转子 30a 具有:6 个 N 极  $Nr_1 \sim Nr_6$  (在不加区别时或者在统称时,用符号  $Nr$  来表示);6 个 S 极  $Sr_1 \sim Sr_6$  (在不加区别时或者在统称时,用符号  $Sr$  来表示),各磁极的扩展角度  $\alpha$  为 30 度 (360 度/12)。

[0156] 在电机 1a 中,除了磁极 14、24 之间所成的角度为  $\beta_2 = 0$ 、磁极 13、23 之间所成的角度为  $\beta_1 = 5\alpha$  之外,定子 10a、20a 与定子 10、20 的构成相同。即,在电机 1a 中,各定子的磁极间隔  $\beta_{s_1} = \beta_{s_2} = 5/2\alpha$ ,磁极宽度  $\beta_{s_{11}} = \beta_{s_{12}} = \beta_{s_{21}} = \beta_{s_{22}} = \beta_s = \alpha/2$ ,这一点与电机 1 的场合相同 (为了简化图示,在图 7 及图 8 中未示出这些符号)。然而在该例中,如上所述, $\alpha = 30$  度。

[0157] 辅助磁轭 40a、50a,从定子 10a、20a 的磁极只离开  $\alpha/2$ ,在角度范围  $3\alpha/2$  内扩展,这一点与电机 1 的场合相同。

[0158] 在电机 1a 中同样,辅助磁轭 40a 在大于  $\alpha$  的角度范围内扩展,因而辅助磁轭 40a 持续地与转子 30a 的邻接磁极  $Nr$ 、 $Sr$  同时相面对。由此,在定子 10a 的磁极 13、14 之间的磁路的相当部分中,提供磁阻较小的磁路,因而在与磁极 13 相面对的磁极  $Nr$  或  $Sr$  以及与磁极 14 相面对的磁极  $Sr$  或  $Nr$  之间的间隙  $G_{11}$ 、 $G_{12}$  中的磁场强度可得到提高。辅助磁轭 50a 也同样作用。即,辅助磁轭 50a 在大于  $\alpha$  的角度范围内扩展,因而辅助磁轭 50a 持续地与转子 30a 的邻接磁极  $Nr$ 、 $Sr$  同时相面对,由此,在定子 20a 的磁极 23、24 之间的磁路相当部分中,提供磁阻较小的磁路,因而在与磁极 23 相面对的磁极  $Nr$  或  $Sr$  以及与磁极 24 相面对的磁极  $Sr$  或  $Nr$  之间的间隙  $G_{21}$ 、 $G_{22}$  中的磁场强度可得到提高。在该场合下同样,辅助磁轭 40、50 具有提高转子的磁化的作用。因此,在电机 1a 中,与电机 1 的有关图 3 和图 4 及图 5 的说明同样,与没有辅助磁轭 40a、50a 的场合相比,可提高针对转子 30a 的转矩。通过如此来使转子 30a 多极化,可以提高旋转位置精度。

[0159] 实施例 4

[0160] 辅助磁轭,也可以被设置于定子 10a 的磁极之间或者定子 20a 的磁极之间的任意一方。

[0161] 图 9 及图 10 表示电机 1b 示例,在该示例中,不仅在定子磁极之间设置辅助磁轭,而且还在这之间即定子 10a 与定子 20a 之间,设置部分圆筒状且由软磁性材料形成的辅助磁轭 5。

[0162] 为便于说明,在图 10 中,采用相对电机 1b 的定子 10a、20a 固定的 X-Y 正交坐标系,并将在附图平面内沿像对称中心线  $Mc$  来上升的向上方向设为 Y 轴正向,而将向右方向设为 X 轴正向。

[0163] 辅助磁轭 5 被配置于定子 10a 与定子 20a 之间,且在角度范围  $\gamma_m = 4\alpha$  的范围内扩展。辅助磁轭 5,经由狭窄空隙  $g_3$  来与转子 30a 的周面 31 相面对,在两端相对于邻接磁极 13、23 隔着角度  $\alpha/2$  这一间隙来设置。在典型情况下,辅助磁轭 5 以像对称中心线  $Mc$  为中心在两侧扩展,只要在正常的动作中在邻接磁极 13、23 之间实际上不发生静磁耦合,则其周向 A 的扩展角度 (长度)  $\gamma_m$  最好大一些。

[0164] 在电机 1a 中, 定子 10a、20a 及辅助磁轭 40a、50a 实际上位于比转子 30a 更靠近 -Y 方向, 因而可易于向转子 30a 施加 -Y 方向力, 从而可抑制转子 30a 的旋转。而在电机 1b 中, 在比转子 30a 的中心轴线 C 更靠近 +Y 方向的相当区域内, 辅助磁轭 5 处于与转子 30a 的周面 31 相面对的位置上。被转子 30a 的磁极磁化了的辅助磁轭 5 对转子 30a 施加 +Y 方向的力, 该 +Y 方向的偏向力与由定子 10a、20a 及辅助磁轭 40a、50a 而施加到转子 30a 上的 -Y 方向偏向力相平衡, 因而转子 30a 便可在旋转中心轴线 C 处稳定地定位, 所以转子 30a 便可平滑地旋转。其结果是, 可以由配置于定子 10a、20a 的磁极之间的辅助磁轭 40a、50a 而增大了的转矩, 来使转子 30a 有效地平滑旋转。

[0165] 实施例 5

[0166] 在本发明的电机中, 定子数也可以多于两个, 在该场合下, 辅助磁轭的数量也可以是一个、两个或者更多, 在典型情况下, 在各定子的磁极之间设置辅助磁轭。然而, 只要各辅助磁轭大于转子的磁极扩展角度  $\alpha$  (或者与此对应的周向长度), 则也可以增大定子的磁极间的间隔 (定子磁极间的角度间隔及定子磁极间所包含的转子磁极数), 并在定子的磁极之间设置多个静磁独立的辅助磁轭。此外, 除了辅助磁轭之外, 不以转子的磁极扩展角度  $\alpha$  以下的扩展角度来用作本发明所述的辅助磁轭的软磁性材料体, 也可以与转子周面对置来配置到周向 A 的一部分中。

[0167] 图 11 及图 12 表示电机 1c, 该电机具有: 配有 14 个磁极的转子 30b; 四个定子 10b、20b、60、70; 四个辅助磁轭 40b、50b、80、90。

[0168] 定子 10b、20b, 相对 14 极的转子 30b 以  $5\alpha/2$  这一角度范围来配置。除了这一点之外, 与电机 1a 及电机 1b 的定子 10a、20a 同样来构成, 定子 10b、20b 整体, 在接近 180 度的角度范围内扩展。辅助磁轭 40b、50b, 相对 14 极的转子 30b 以  $3\alpha/2$  这一角度范围来配置。

[0169] 除了所设置的周向上的位置不同之外, 定子 60 与定子 10b 或 20b 同样来构成, 且具有: U 形 (或 C 形) 以及与此类似形状且由软磁性材料来构成的辅助磁轭 61、励磁线圈 62。定子 70 也与定子 60 同样来构成。其结果是, 定子 10b、20b、60、70, 便在中心轴线 C 的周围, 在相互只偏移了 90 度的位置上旋转对称。

[0170] 辅助磁轭 80 针对定子 60 的相对位置, 与辅助磁轭 40b 针对定子 10b 的相对位置以及辅助磁轭 50b 针对定子 20b 的相对位置实质上相同, 辅助磁轭 80 的形状也与辅助磁轭 40b 及辅助磁轭 50b 的形状实质上相同。同样, 辅助磁轭 90 针对定子 70 的相对位置, 与辅助磁轭 40b 针对定子 10b 的相对位置以及辅助磁轭 50b 针对定子 20b 的相对位置实质上相同, 辅助磁轭 90 的形状也与辅助磁轭 40b 及辅助磁轭 50b 的形状实质上相同。其结果是, 辅助磁轭 40b、50b、80、90, 便在中心轴线 C 的周围, 在相互只偏移了 90 度的位置上旋转对称。

[0171] 如上构成的电机 1c 中, 辅助磁轭 40b、50b、80、90, 也可以使分别对应的定子 10b、20b、60、70 的磁极间的静磁路磁阻得到降低, 而增大针对转子 30b 的转矩。

[0172] 在不脱离其技术思想的范围内, 本发明不限于步进电机, 也可适用于具有定子及多极转子的电磁致动器。

[0173] 本申请基于在 2003 年 8 月 29 日提出的日本国专利申请特愿 2003-306240。在本说明书中, 参照并引用了该说明书、权利要求范围及全部附图。

[0174] 产业上的可利用性

[0175] 本发明涉及的电磁致动器,比如可用于便携设备的驱动装置。

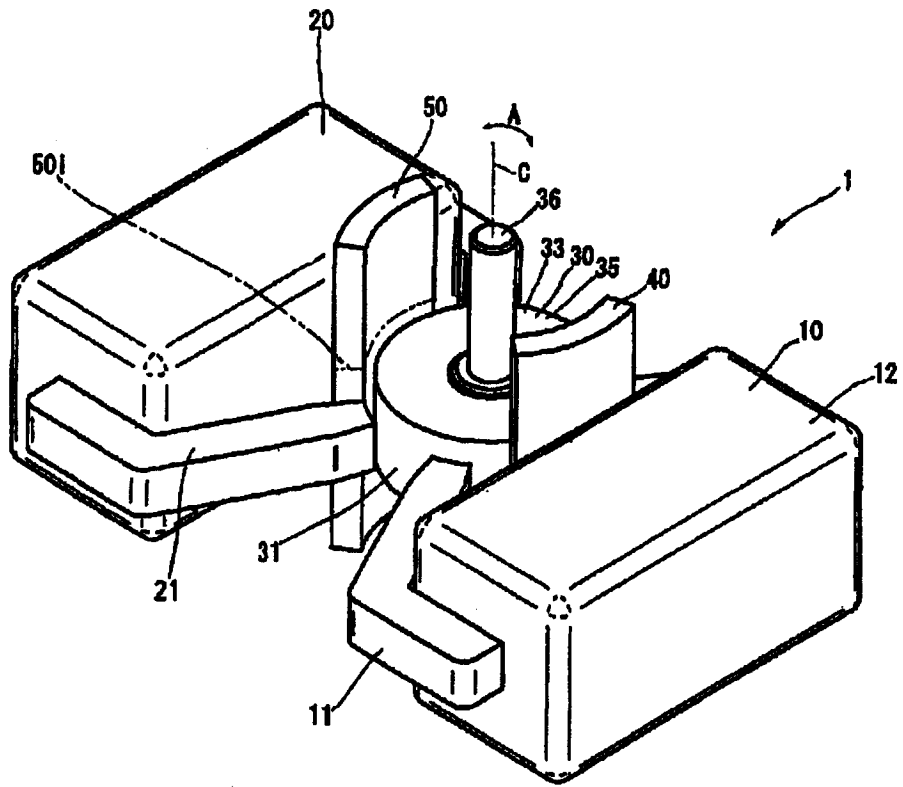


图1

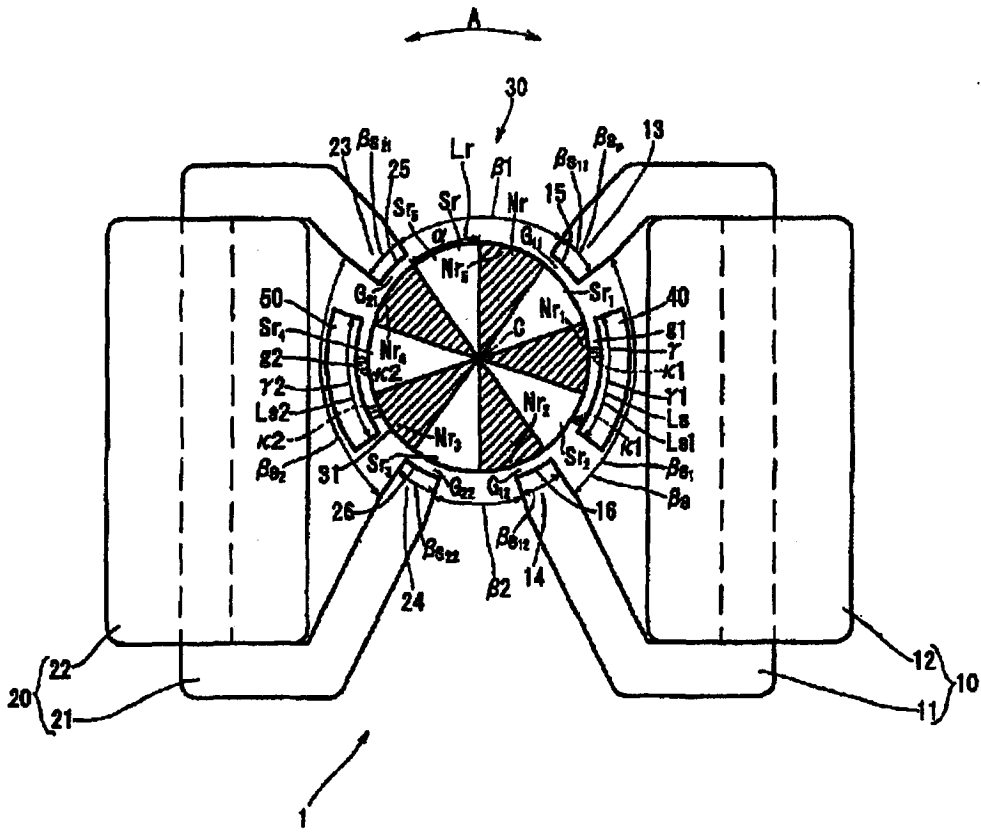


图2

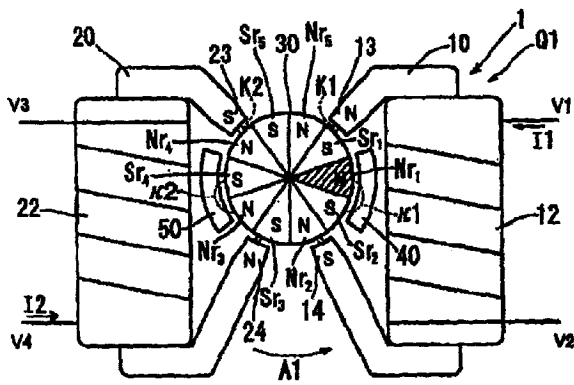


图3A

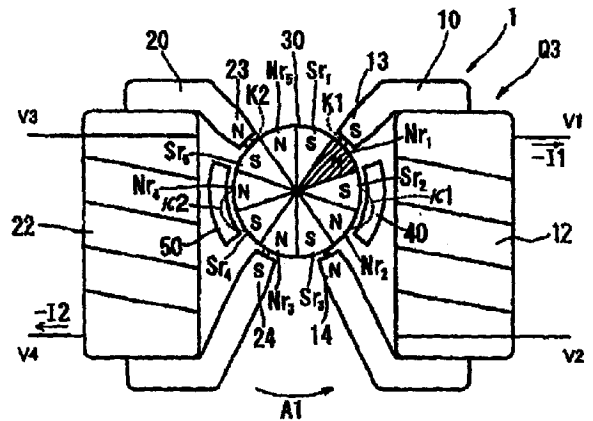


图3C

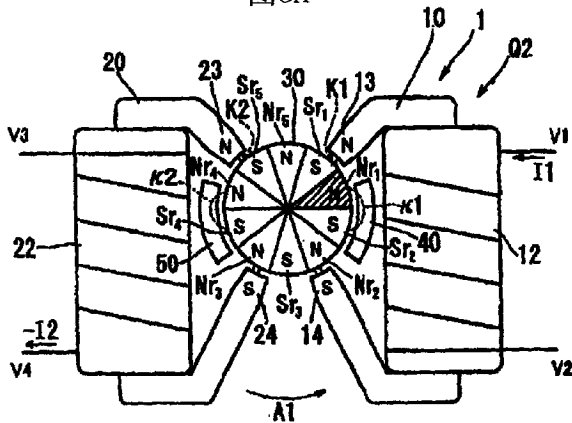


图3B

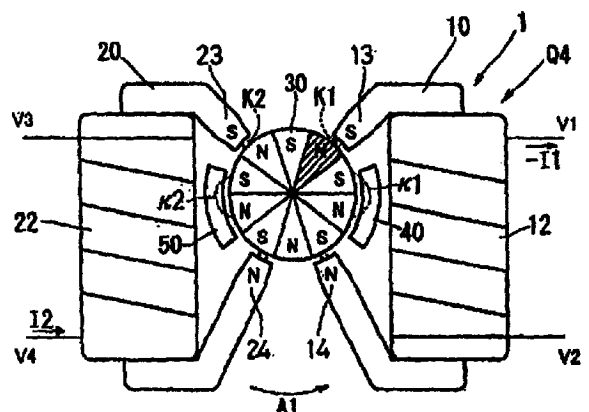


图3D

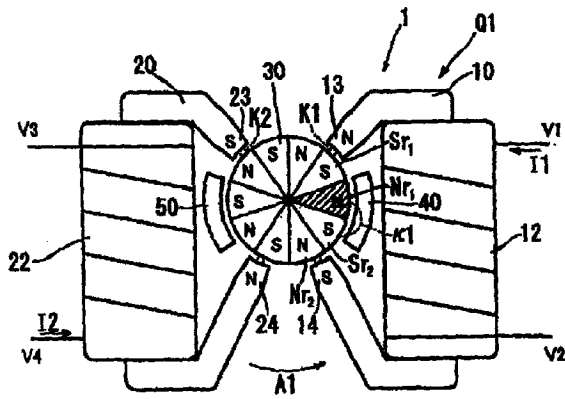


图4A

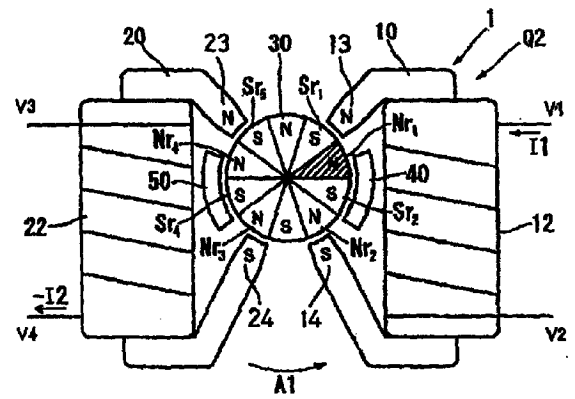


图4C

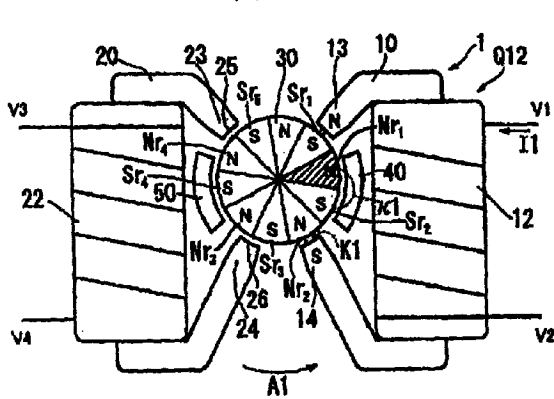


图4B

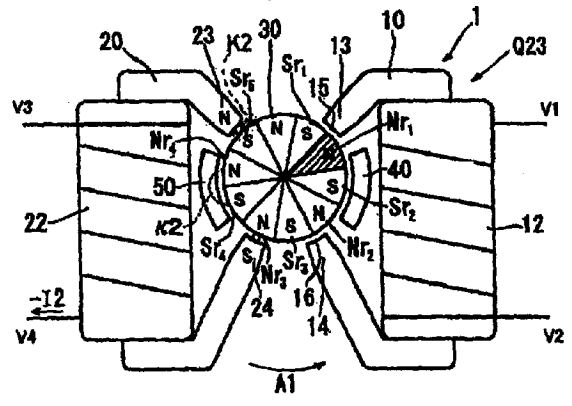


图4D

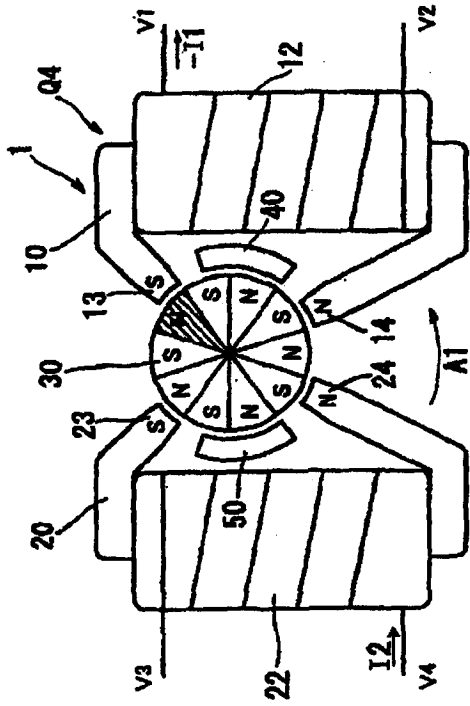


图5C

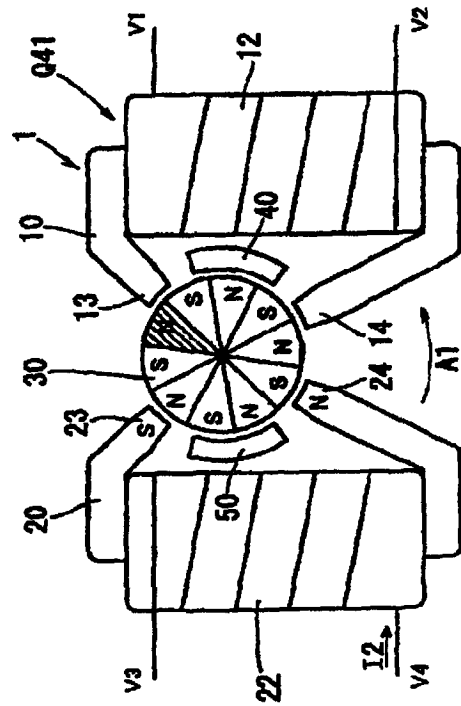


图5D

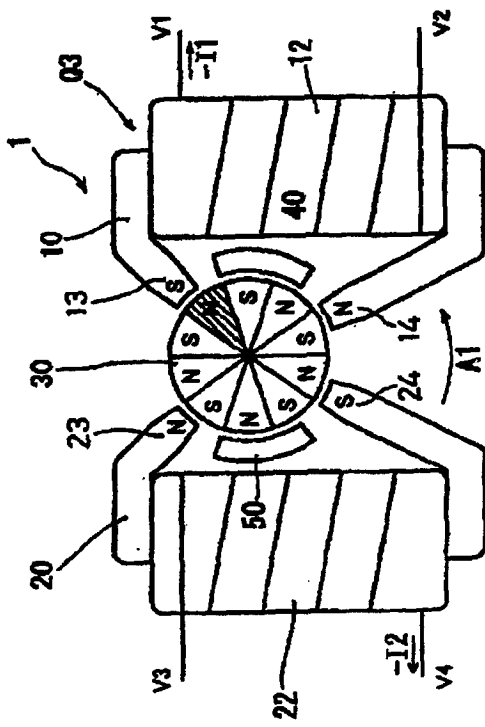


图5A

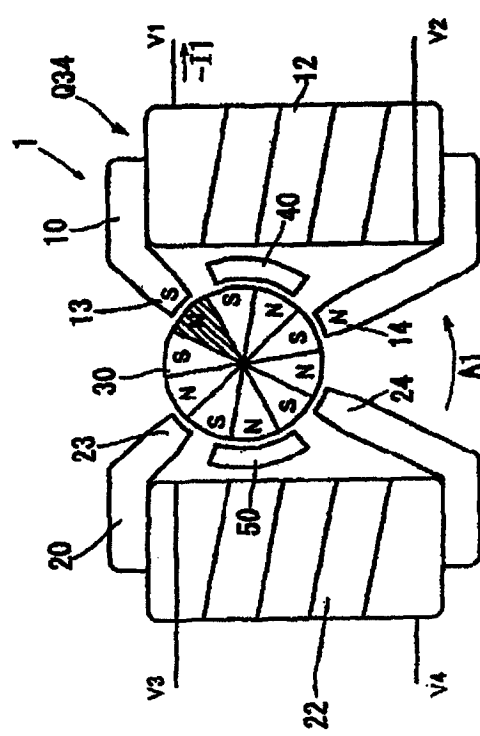


图5B

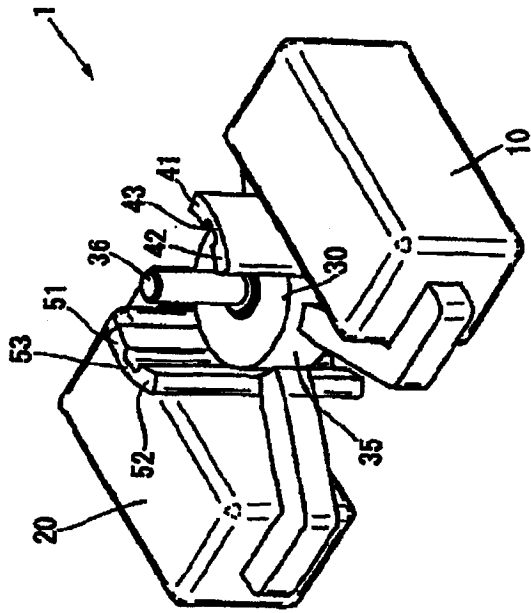


图6B

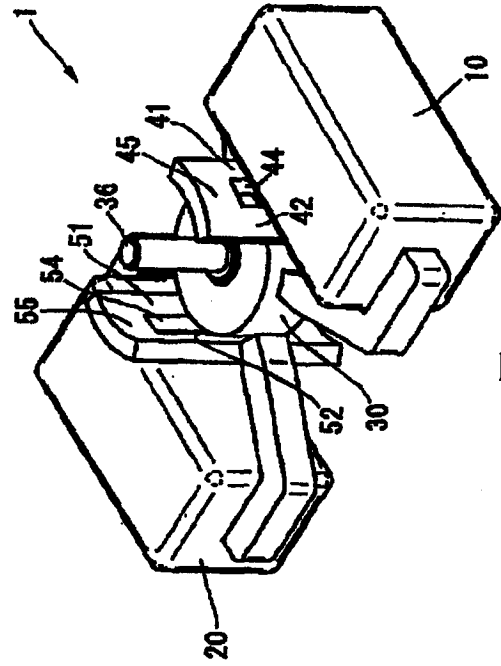


图6D

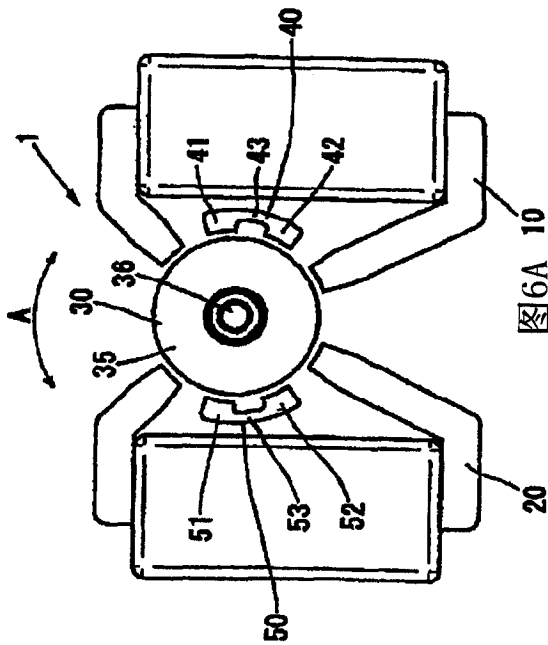


图6A 10

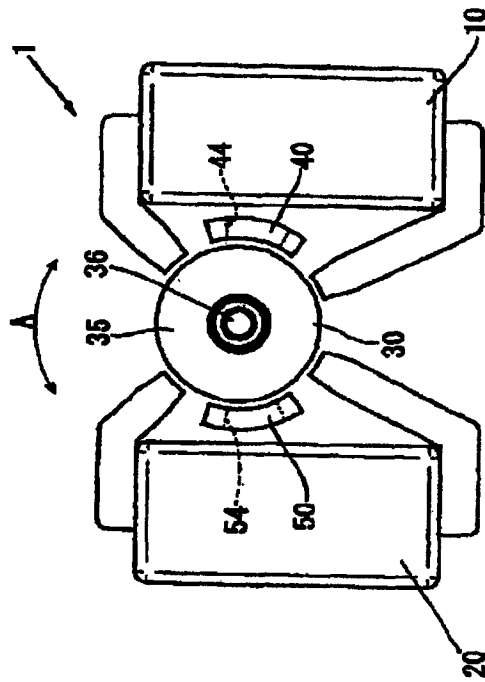


图6C

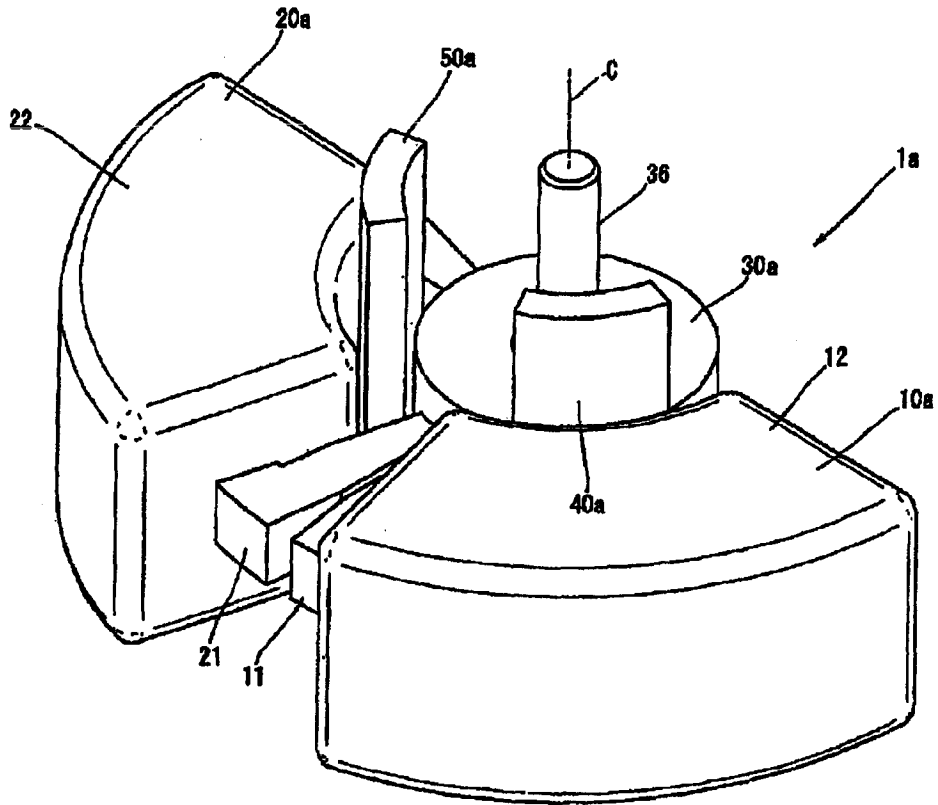


图7

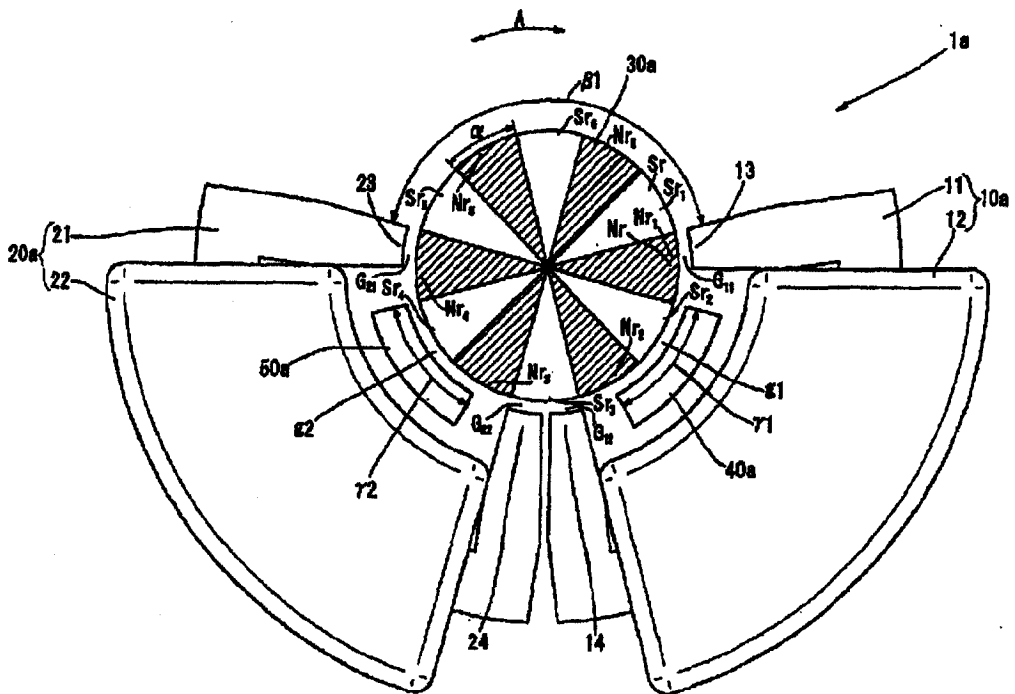


图8

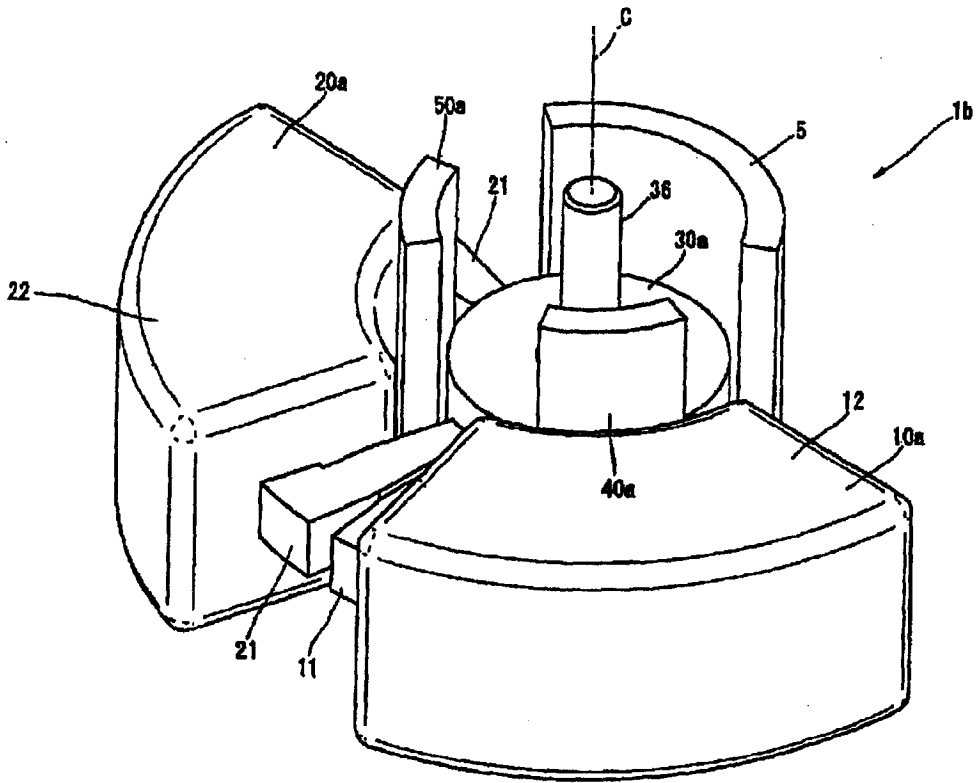


图9

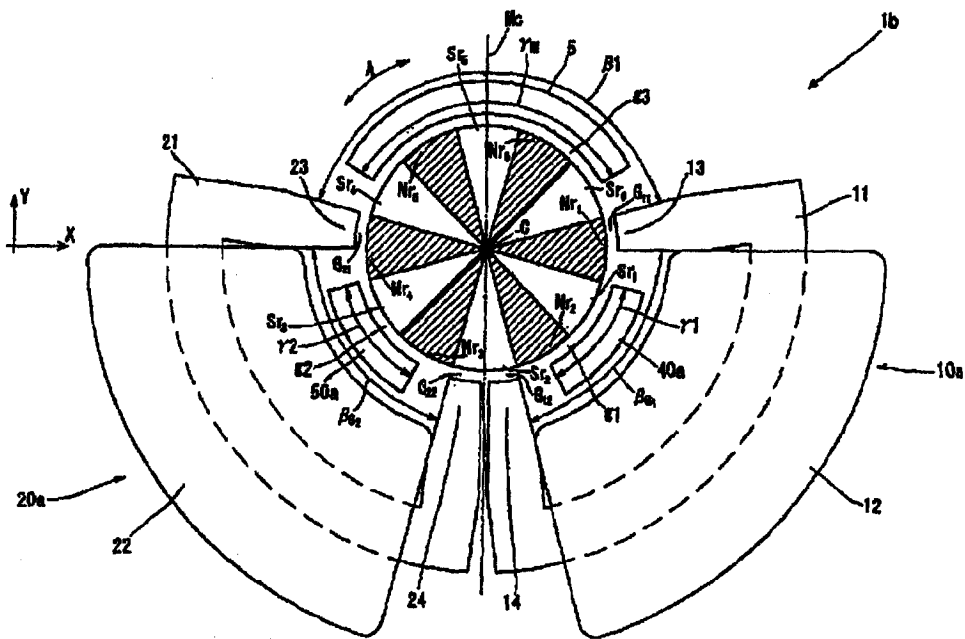


图10

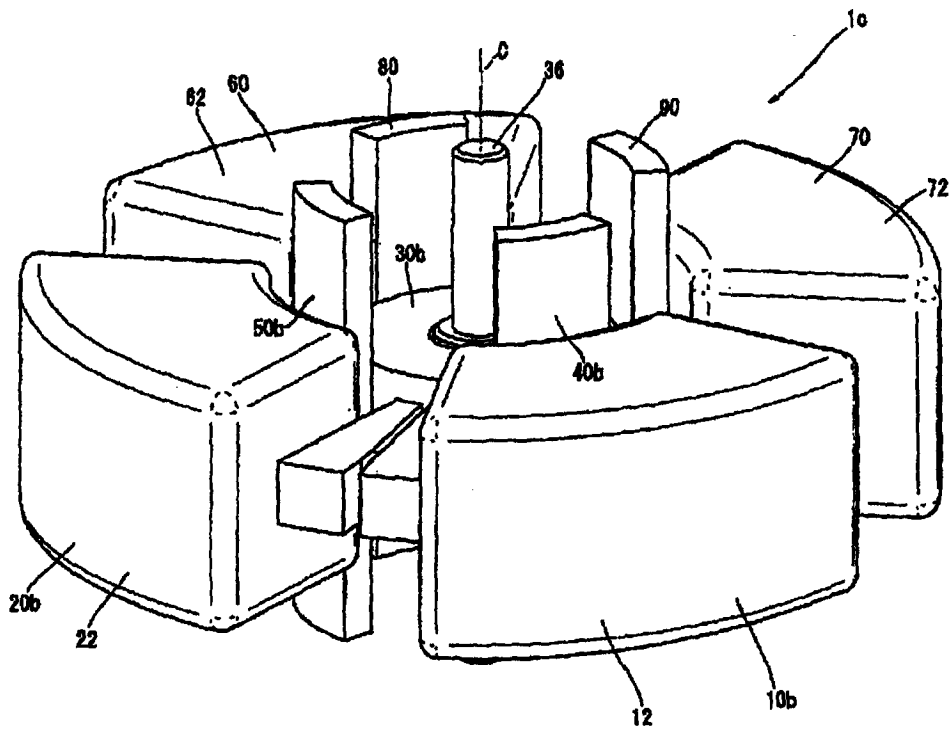


图11

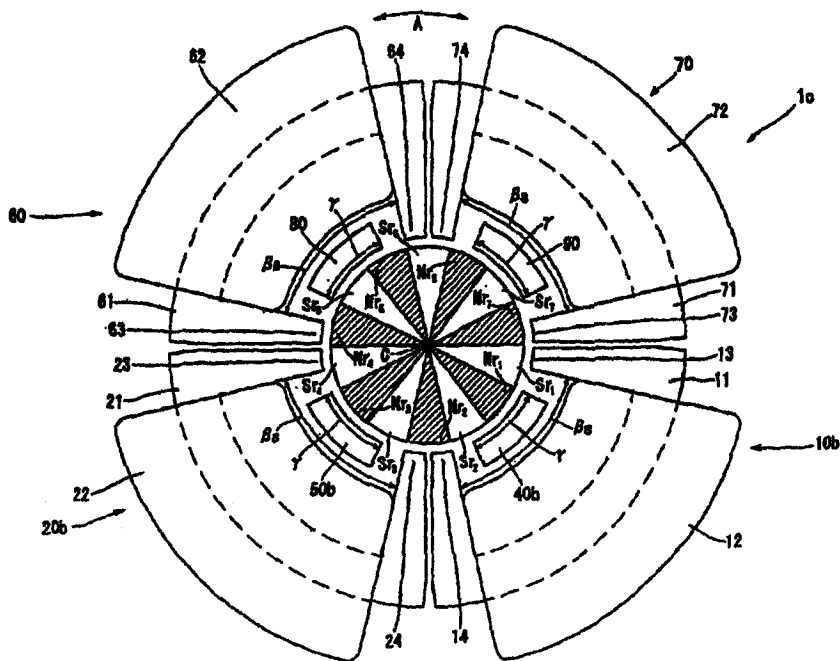


图12

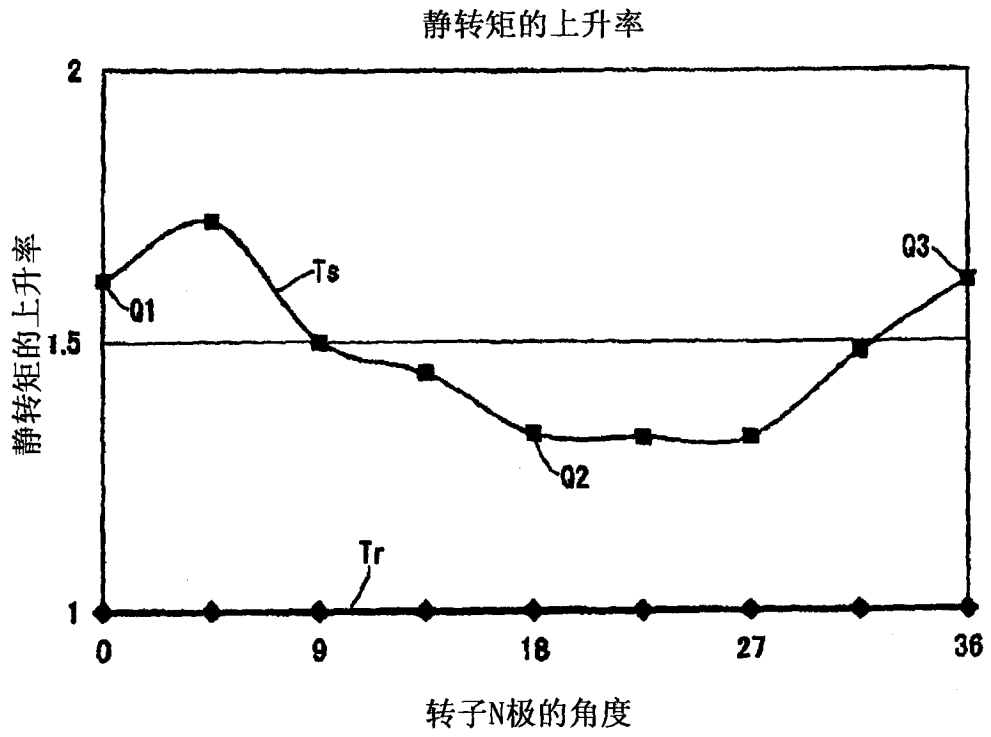


图13