

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H02K 29/03

H02K 1/14



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02815157.7

[43] 公开日 2004 年 10 月 13 日

[11] 公开号 CN 1537354A

[22] 申请日 2002.8.5 [21] 申请号 02815157.7

[30] 优先权

[32] 2001.8.8 [33] JP [31] 240841/2001

[86] 国际申请 PCT/JP2002/007954 2002.8.5

[87] 国际公布 WO2003/028192 英 2003.4.3

[85] 进入国家阶段日期 2004.2.2

[71] 申请人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

[72] 发明人 藤中广康

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

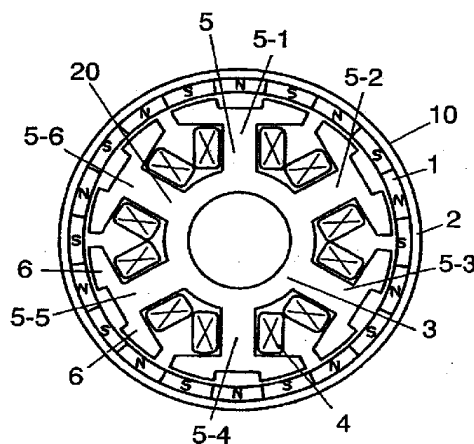
代理人 刘晓峰

权利要求书 3 页 说明书 23 页 附图 29 页

[54] 发明名称 采用微调结构的无刷电动机

[57] 摘要

一种无刷电动机，包括：具有磁体的转子，所述磁体沿旋转方向交替磁化 N 极和 S 极；以及具有多个缠绕了线圈的凸极的芯体。所述芯体面对所述磁体以形成磁路。每个凸极形成齿状并在面对磁体的边缘设有小齿。所述小齿具有与磁体两个磁极相对应的齿距。响应于转子位置给线圈加电驱动转子。这种结构极大地增加了电动机的容积效率。



ISSN 1008-4274

1. 一种无刷电动机，包括：
- 5 具有磁体的转子，所述磁体沿旋转方向交替磁化 N 极和 S 极；以及具有多个缠绕了线圈的凸极的芯体，所述芯体沿径向面对所述磁体，其中小齿设置在凸极面对所述磁体的截面上，所述小齿具有大体与磁体两个极相对应的齿距，并且
- 其中所述转子通过响应于转子位置给线圈加电而被驱动以便旋转。
- 10 2. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机，其特征在于，所述磁体具有不小于 10MGOe 的最大能积。
3. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机，其特征在于，所述电动机是三相无刷电动机并且满足方程式 $P = (2n - 2/3) z$ ，
- 其中“P”表示磁体磁极的数量；
- 15 “z”表示芯体凸极的数量；
- “n”表示设置在其中一个凸极上的小齿的数量。
4. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机，其特征在于，所述电动机是三相电动机并且所述芯体具有 6 个凸极或 9 个凸极。
5. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机，其特征在于，所述磁体在其
- 20 与所述芯体相对一侧具有背轭。
6. 根据权利要求 5 所述的无刷电动机，其特征在于，所述背轭通过沿轴向层压薄板形成，所述薄板由具有高导磁率的软磁材料制成。
7. 根据权利要求 6 所述的无刷电动机，其特征在于，所述薄板是钢板，所述钢板包括硅含量为 2—6.5%质量比的磁性材料。
- 25 8. 根据权利要求 5 所述的无刷电动机，其特征在于，所述背轭通过利用绝缘材料使高渗透性磁性材料粉末凝固形成。
9. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机，其特征在于，与所述磁体相对应的部分由具有两层的磁性主体形成，一层由永磁体部分构成，所述永磁体部分通过利用树脂将高渗透性永磁材料粉末凝固制成，另一层由背轭
- 30 制成，所述背轭通过利用树脂将高渗透性软磁材料粉末凝固制成。

10. 根据权利要求 5 所述的无刷电动机, 其特征在于, 与所述磁体和所述背轭相对应的部分由磁性主体形成, 所述磁性主体通过将多个永磁体粘合在所述背轭面对所述芯体的侧面上制成。

11. 根据权利要求 10 所述的无刷电动机, 其特征在于, 所述磁性主体中的所述多个永磁体被提前磁化, 并通过组装各个被分开的磁极而形成。

12. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机, 其特征在于, 与所述磁体相对应的部分由具有内部永磁体结构的磁性主体形成, 所述结构通过将所述多个永磁体插入背轭而形成, 所述背轭由沿轴向层压的高渗透性软磁性薄板制成。

13. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机, 其特征在于, 所述磁体以预定角度倾斜磁化。

14. 根据权利要求 13 所述的无刷电动机, 其特征在于, 方程式 $\theta = (360/k) \pm 10\%$ 得到满足,

其中“k”是“p”和“z”的最小公倍数;

“p”表示磁体磁极的数量;

“z”表示芯体凸极的数量;

“ θ ”表示旋转中心的斜角。

15. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机, 其特征在于, 所述电动机是三相无刷电动机, 并且以电角表示的小齿的开角处于 145 度至 160 度的范围内。

16. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机, 其特征在于, 所述电动机是三相无刷电动机, 并且所述芯体沿轴线的截面外形是通过结合“n”块基本芯体外形而形成, 所述“n”块基本芯体外形沿旋转方向相互移动 $(60/n)$ 度 $\pm 10\%$, 其中“n”表示每凸极的小齿数量。

17. 根据权利要求 16 所述的无刷电动机, 其特征在于, 方程式 $\beta = 360 - (60/n \pm 10\%)$ 得到满足,

其中 β 表示以电角表示的小齿的齿距。

18. 根据权利要求 16 所述的无刷电动机, 其特征在于, 所述小齿的开角左、右不同, 并且以电角表示的角度差为 60 度 $\pm 10\%$ 。

19. 根据权利要求 16 所述的无刷电动机, 其特征在于, 方程式 $\theta = (180/k) \pm 10\%$ 得到满足,

其中“ θ ”表示在旋转中心到所述磁体的斜角;

“ k ”是“ p ”和“ z ”的最小公倍数;

5 “ p ”表示磁体磁极的数量;

“ z ”表示芯体凸极的数量。

20. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机, 其特征在于, 所述电动机是三相无刷电动机, 所述芯体沿轴向的截面外形是通过结合沿旋转方向彼此移动 $(60/N)$ 度 $\pm 10\%$ 的“ N ”块基本芯体外形形成的, 其中“ N ”表示设置在每相凸极上的小齿数量。

21. 根据权利要求 1 所述的无刷电动机, 其特征在于, 所述电动机是三相无刷电动机, 所述芯体沿轴向的截面外形是通过结合沿旋转方向彼此移动 $(30/n)$ 度 $\pm 10\%$ 的“ n ”块基本芯体外形形成的, 其中每一个基本芯体外形在设置在每一个凸极上的小齿处具有 144 至 160 度的开角, 其中
15 “ n ”表示每凸极的小齿数量, “度”以电角表示。

22. 根据权利要求 21 所述的无刷电动机, 其特征在于, 方程式 $\beta = 360 - (30/n \pm 10\%)$ 得到满足,

其中 β 表示以电角表示的小齿的齿距。

23. 一种包括如权利要求 1 至 22 其中一项所述的无刷电动机的装置。

20 24. 根据权利要求 23 所述的装置, 其特征在于所述装置是便携式信息装置。

25. 根据权利要求 23 所述的装置, 其特征在于所述装置是影音装置。

26. 根据权利要求 23 所述的装置, 其特征在于所述装置是光学介质装置。

25 27. 根据权利要求 23 所述的装置, 其特征在于所述装置是办公自动化装置。

28. 根据权利要求 23 所述的装置, 其特征在于所述装置是家用器具。

29. 根据权利要求 23 所述的装置, 其特征在于所述装置是机器人。

30. 根据权利要求 23 所述的装置, 其特征在于所述装置是车辆。

采用微调结构的无刷电动机

5

技术领域

本发明涉及用作设备驱动源的电动机，尤其涉及采用微调（vernier）结构的无刷电动机。

10 背景技术

电动机被用作各种设备，如影音装置、办公自动化设备、家用器具、运输设备和工厂自动化设备的驱动源。这些装置和设备每年都配备更多的功能，因此这些装置和设备中所采用的电动机数量也相应地增加。当前，所述装置和设备体积变小并且以高速运转。因此市场要求电动机能够以较

15 小的主体输出较大的功率。

各种类型的电动机被使用，例如感应电动机、有刷直流电动机、步进电动机和无刷电动机。本发明涉及无刷电动机。

图 31A 和图 31B 显示了第一实例，即传统无刷电动机。在图 31A 中，定子包括芯体 103 和缠绕在芯体 103 的凸极上的线圈 104。转子包括磁体

20 101 和轴 112，磁体 101 安装在轴 112 上。芯体 103 面对磁体 101，其间具有预定间距。轴 112 的两端由轴承 113 支撑。

在图 31B 中，磁体 101 被磁化以形成 8 个磁极。面对磁体 101 的芯体 103 具有 6 个凸极，所述凸极统一间隔开并缠绕有线圈 104。相邻凸极的电角具有 120 度的相位差。具有相同相位的凸极 105-1 和 105-4 被指定

25 为 U 相，具有相同相位的凸极 105-2 和 105-5 被指定为 V 相，具有相同相位的凸极 105-3 和 105-6 被指定为 W 相。缠绕在每个凸极上的线圈，即 U 相线圈、V 相线圈和 W 相线圈，随检测转子位置而被加电并控制，从而转子受到驱动。

如传统无刷电动机第一实例所示，各个凸极的边缘通常是平的。

30 另一方面，还具有一种电动机被用作混合（HB 式）步进电动机，其

中每个凸极的边缘是锯齿状的，即多个小齿设置在凸极的边缘（微调结构），并且这种 HB 式电动机已经商业化并提供给普通用户。

下面说明通常使用的 HB 式步进电动机。图 32A 和图 32B 说明了第二实例（即传统 HB 式步进电动机）的结构。在两幅图中，磁体 201 沿旋转轴磁化两个磁极（N 极和 S 极）。转子铁芯 211 在整个上侧或者整个下侧磁化 N 极或 S 极。转子铁芯 211 的外壁以统一齿距制成锯齿状，从而在外壁上设置了小齿。上部转子铁芯的小齿的位置在角度上从下部转子铁芯的小齿变换，从而上部转子铁芯的齿的顶点与下部转子铁芯的齿的谷点相应。

定子包括定子芯 203 和缠绕在定子芯 203 的凸极上的线圈 204。转子包括磁体 201、上部和下部转子铁芯 211 和通过磁体 201 延伸的轴 212。定子芯 203 以给定间距面对转子铁芯 211。轴 212 的两端都通过轴承 213 支撑。

在图 32B 中，设置在定子芯 203 内壁上的多个凸极 205 也以与转子铁芯 211 相同的齿距制成锯齿状。这些凸极 205 相对于设置在每相转子铁芯 211 的外壁上的小齿移动给定的角度。给缠绕在各个凸极上的线圈加电将磁化被加电凸极上的小齿。因此凸极上的小齿吸引和排斥转子铁芯上被磁体 201 磁化的另外的小齿，从而产生转矩，用于将转子固定在预定位置。在这种状态下，给所述线圈的相位加电顺序进行，从而驱动转子。

齿状转子铁芯 211 和定子芯 203 的较小角距减小了每相位改变的转子旋转角度，从而能够以精确角距进行定位。这样，定子和转子分别以精确齿距制成齿状，从而增加了电动机输出轴的角分辨率。结果，可以实现在精确齿距的定位。

受上述相同类型的步进电动机的启发，一种方法是用圆柱形磁体磁化的多极替换齿状转子铁芯和沿轴的磁体磁化的两个极的组件。这种思想发展成为具有永磁体的步进电动机，这些电动机在日本专利公报 NO.3140814、NO.3071064 和 NO.2740893 中被披露。这种思想还在日本专利申请 H10-80124 中发展成为磁体回转机械，在日本专利公报 NO.2733824 中发展成为具有永磁体的两相电动机。三相步进电动机也是从这种思想中还发展出来的一种产品，在 1995 年出版的“Japanese Electric

Academy Research Papers, section D, volume 115, second issue” 中披露。

图 33A 和图 33B 显示了与上述三相步进电动机类似的电动机（传统电动机的第三实例）的转子结构。图 34 显示了上述科研论文中讨论的转子结构（传统电动机的第四实例）。

5 该论文称，图 33A 和图 33B 所示转子结构带来下列优点：（1）磁通量分布接近正弦波；（2）磁极的轴向长度可以扩充为两倍；（3）磁路变成二维磁路，从而产生较小的磁阻。这些优点使图 33A 和图 33B 所示电动机与图 34 所示电动机产生相同的输出，但当微步进被启动时能够产生比图 34 所示电动机更精确的角度中间定位。

10 另一方面，只在少数情况下微调结构用于无刷电动机。但是，各种技术都被用于增强无刷电动机的性能，例如改善磁体的性能，开发铁芯的低损耗材料，改善绕组的占空系数以降低铜耗。近来开发出了由钕-铁-硼（Nd-Fe-B）或 Sm-Fe-N 制成的面向磁体的高性能稀土。使用这种磁体使铁芯变得磁饱和，因为相对于具有更大和改善的磁通量密度的高性能磁体，这种磁芯的饱和磁通量密度较低。结果，电动机不能完全利用磁体改善的性能，因而电动机实际上只在某种程度上改善了其性能。

15 上面讨论的现有技术是为步进电动机开发的，所述微调结构主要有助于改善角分辨率。因此现有技术输出密度或容积效率方面不是最优的，所述输出密度代表每单位容积的输出，所述容积效率代表电动机在保持其特性的情况下能多大程度地减小体积，从而现有技术不能应用在无刷电动机上。

20 另外，步进电动机由于其载流方法而总是需要恒定电流，而无刷电动机在不产生转矩的相线圈中不承载电流。因此，通常步进电动机的载流方法在运转过程中比无刷电动机的载流方法效率低。

25 而且，步进电动机擅长于定位控制，但是转矩控制很差。通常采用能够进行转矩控制的无刷电动机进行转矩控制。

发明内容

30 本发明着眼于上述问题，目的在于提供一种采用与上述步进电动机一样的微调结构的高效无刷电动机。微调结构对于无刷电动机是最优的，从

而可以突破传统无刷电动机的容积效率限制，获得能够保持相同尺寸但产生更大输出的无刷电动机。

本发明的无刷电动机包括下列元件：

5 (a)转子，该转子具有沿旋转方向被交替磁化 N 极和 S 极的磁体；以及

(b)具有多个凸极的芯体，其上缠绕了线圈，沿径向面对所述磁体。每个凸极的相对截面以与磁体的两个极大体相同的齿距制成为齿状，从而形成小齿。线圈相应于转子位置被选择性加电，从而驱动转子。

10 在每个凸极的边缘上设置的小齿能够将面对小齿的磁通量选择性地带入凸极。因此，增加小齿的数量而不是增加凸极的数量能够抑制有效磁通量数量的减小，并且磁极的数量可以任意增加，这改善了电动机的容积效率。结果，电动机可以在保持相同特性的条件下减小体积，或者电动机可以在保持相同体积的条件下增加输出。

15 附图说明

图 1 是说明根据本发明第一示意性实施例的无刷电动机的磁路结构的示意图；

图 2 是将第一实施例的无刷电动机与传统无刷电动机（传统无刷电动机的第五和第六实例）进行比较的对照表；

20 图 3 是说明根据第一实施例的无刷电动机中磁通量流动的示意图；

图 4 是说明根据第一实施例的磁体的最大能积与容积效率之间关系的曲线；

图 5 说明根据第一实施例的另一无刷电动机的磁路结构的示意图；

25 图 6 是说明根据第一实施例的电动机的纵横比与容积效率之间关系的曲线；

图 7 说明了根据第一实施例的磁体的分层结构；

图 8 说明了根据第一实施例的采用粘合磁体的结构；

图 9 说明了根据第一实施例的采用内部磁体的结构；

30 图 10 是说明了根据第一实施例的具有内转子结构的无刷电动机磁路结构的示意图；

图 11 说明了根据本发明第二实施例的无刷电动机的磁体的磁化分布；

图 12A 是说明了根据本发明第二实施例的磁化斜角与齿槽效应转矩之间关系的曲线；

图 12B 是说明了根据本发明第二实施例的电动机的磁化斜角与容积效率之间关系的曲线；

图 13 是说明根据本发明第三实施例的无刷电动机的芯体外形的示意图；

图 14A 说明了根据第三实施例当小齿的电角具有 120 度开角时齿槽效应转矩的波形；

图 14B 说明了根据第三实施例当小齿的电角具有 150 度开角时齿槽效应转矩的波形；

图 14C 说明了根据第三实施例当小齿的电角具有 180 度开角时齿槽效应转矩的波形；

图 15 是说明了齿槽效应转矩如何在小齿上发生的示意图；

图 16A 说明了根据第三实施例在小齿边缘 6-1 发生的转矩波形；

图 16B 说明了根据第三实施例在小齿边缘 6-2 发生的转矩波形；

图 16C 说明了由图 16A 和图 16B 所示波形合成的波形；

图 16D 说明了根据第三实施例的全部电动机的合成波形；

图 17A 说明了根据第三实施例的另一无刷电动机中小齿边缘为圆形的芯体外形；

图 17B 说明了根据第三实施例另一无刷电动机中小齿边缘为倒角的芯体外形；

图 18A 至图 18C 说明了根据本发明第四实施例的无刷电动机的芯体外形的示意图；

图 19A 说明了根据第四实施例在芯体 3-1 中发生的齿槽效应转矩波形；

图 19B 说明了根据第四实施例在芯体 3-2 中发生的齿槽效应转矩波形；

图 19C 说明了根据第四实施例在芯体中发生的齿槽效应转矩波形；

图 20A 至图 20C 说明了根据第四实施例另一无刷电动机的芯体外形的示意图；

图 21A 至图 21C 说明了根据第四实施例另一无刷电动机的芯体外形的

示意图；

图 22A 至图 22C 说明了根据第四实施例另一无刷电动机的芯体外形的示意图；

5 图 23A 至图 23C 说明了根据第四实施例另一无刷电动机的芯体外形的示意图；

图 24A 至图 24C 说明了根据第四实施例另一无刷电动机的芯体外形的示意图；

图 25A 说明了根据本发明第五实施例的无刷电动机的芯体外形；

图 25B 是沿图 25A 中线 $x-x'$ 和 $z-z'$ 的截面图；

10 图 25C 是沿图 25A 中线 $y-y'$ 的截面图；

图 25D 至图 25E 说明了图 25A 所示无刷电动机基本芯体外形；

图 26 是根据本发明第五实施例的芯体凸极截面图；

图 27A 至图 27E 是根据本发明第六实施例的无刷电动机芯体外形的示意图；

15 图 28A 至图 28D 是根据本发明第七实施例的无刷电动机芯体外形的示意图；

图 29A 说明了根据第七实施例在芯体 3-1 中发生的齿槽效应转矩波形；

图 29B 说明了根据第七实施例在芯体 3-2 中发生的齿槽效应转矩波形；

图 29C 说明了根据第七实施例在芯体 3-3 中发生的齿槽效应转矩波形；

20 图 29D 说明了根据第七实施例在芯体中发生的齿槽效应转矩波形；

图 30 是根据本发明第八实施例的各种装置的示意图；

图 31A 是沿轴线获得的无刷电动机第一传统实例的截面图；

图 31B 是沿轴向的垂直线获得的图 31A 所示无刷电动机的截面图；

图 32A 是沿轴线获得的 HB 式步进电动机第二传统实例的截面图；

25 图 32B 是沿轴向的垂直线获得的 HB 式步进电动机的截面图；

图 33A 是根据第三传统实例的三相步进电动机的磁路结构的示意图；

图 33B 说明了图 33A 所示三相步进电动机的转子结构；

图 34 说明了根据第四传统实例的 HB 式步进电动机的转子结构；

图 35 是说明了根据第五传统实例的无刷电动机磁路结构的示意图；

30 图 36 是说明了根据第六传统实例的无刷电动机磁路结构的示意图；

图 37 说明了第七传统实例的芯体的凸极的截面图。

具体实施方式

以下将参照附图说明说明本发明的实施例。

5 实施例 1

图 1 是说明根据本发明第一实施例的无刷电动机的磁路结构的示意图。在图 1 中，圆柱形磁体 1 在其内壁交替并均匀地磁化 N 极和 S 极以总共形成 20 个磁极。背轭 2 固定在磁体 1 的外壁上。芯体 3 由硅钢板制成，所述硅钢板通过冲压冲孔并轴向层叠。芯体 3 包括 6 个彼此等间距的凸极 5（凸极 5-1 至 5-6）。线圈 4 缠绕在每个凸极 5 上。每个凸极 5 制成齿状并在其面对磁体 1 的边缘具有两个小齿 6，从而总共 12 个小齿 6 形成有与磁体 1 的两个磁极（N 极和 S 极，即电角为 360 度）相应的齿距。

第一实施例的创新性特征在于两个小齿设置在每个凸极的边缘，齿距与磁体的两个磁极相对应。这些小齿使每个凸极选择性地接收从面对小齿的磁极发出的磁通量。

在上述结构中，凸极 5-1 和 5-4（U 相）、凸极 5-2 和 5-5（V 相）和凸极 5-3 和 5-6（W 相）分别处于相同相位。这三组的各个相的电角彼此相差 120 度。每组如上所述被指定为一个相，并且三相电源响应于转子 10 的旋转位置供应至线圈 4，磁体 1 固定在转子 10 上。结果，转矩产生并且转子 10 受到驱动。

根据第一实施例的无刷电动机与传统无刷电动机具有相同尺寸。图 35 说明了无刷电动机第五传统实例的磁路，图 36 说明了第六传统实例的磁路。

在图 35 中，圆柱形磁体 501 在其内壁交替并均匀地磁化 N 极和 S 极以总共形成 8 个磁极。背轭 502 固定在磁体 501 的外壁上。芯体 503 包括 6 个彼此等间距的凸极 505，并且线圈 504 缠绕在凸极 505 上。因此第五传统实例的无刷电动机具有 6 个与图 1 所示第一实施例的凸极相同的凸极，但是磁体 501 磁化 8 个磁极，这与第一实施例的 20 个磁极不同。

在图 35 所示传统无刷电动机中，如果磁体在凸极保持外形的情况下磁化更多个磁极，每个凸极的边缘宽度比相应的磁极更宽。来自磁极的磁

通量在凸极边缘形成环，从而降低了为产生转矩作出贡献的有效磁通量。结果，电动机输出较小功率。这证明磁极数量的增加应当伴随凸极数量的增加。

在图 36 所示第六传统实例中，图 35 所示无刷电动机的磁体在磁极数与凸极数的比率不变（4：3）的情况下磁化更多个磁极。在图 36 中，圆柱形磁体 601 在其内壁交替并均匀地磁化 N 极和 S 极以总共形成 20 个磁极。背轭 602 固定在磁体 601 的外壁上。芯体 603 包括 15 个彼此等间距的凸极 605，并且线圈 604 缠绕在凸极 605 上。因此第六传统实例的无刷电动机具有 15 个与图 1 所示第一实施例的凸极不相同的凸极，但是磁体 501 磁化 20 个磁极，这与第一实施例相同。

同样地，通过在凸极边缘上设置小齿可以增加凸极数量，如图 1 所示第一实施例所证明，即在无刷电动机中采用了微调结构。但是，关于图 36 所示的第六传统实例，代替增加凸极数量，通过增加小齿的数量可以增加磁极的数量。

下面将对图 1 所示第一实施例的无刷电动机和图 35、图 36 所示的传统无刷电动机的特性进行相互比较。

首先考虑电动机的容积效率。电动机的变速比倒数通常用作容积效率。容积效率 η 由下列方程式表示：

$$\mu = 1/\mu \propto (\Phi \times t \times m \times z)^2/R$$

其中“ μ ”是变速比；

“R”是电动机相之间的相阻；

“ Φ ”是每个凸极的有效磁通量数量；

“t”是线圈数量；

“m”是转子磁极数量；

“z”是磁体凸极数量。

根据第一实施例的无刷电动机磁路和图 35、图 36 所示传统无刷电动机磁路被采用上述方程式进行比较。图 2 显示了三个电动机（即一个是第一实施例，两个是传统实例）的对照表，并且在假设图 35 所示传统无刷电动机的参数为“1”的情况下计算各个参数。

首先，关于有效磁通量数量“ Φ ”，图 35 所示传统结构包括的每个

凸极比第一实施例的凸极具有面对磁极的较大面积。因此传统结构具有较大有效磁通量数量。在第一实施例中，每个凸极比图 35 所示传统磁极具有面对磁极的较小面积，从而在忽略漏通量和无效磁通量的情况下，有效磁通量是图 35 所示传统凸极的 0.8 倍。在图 35 所示传统结构中，由于增加了凸极数量，每个凸极的有效磁通量数量降低至图 35 所示传统结构的 0.4 倍。

第二，关于线圈数量“ t ”，图 2 所示表格中的三种情况具有相同线圈数量。关于转子磁极数量“ m ”，图 35 所示传统结构具有 8 个磁极，图 36 所示传统结构以及第一实施例具有 20 个磁极。后两种情况的数量是图 35 所示结构的 2.5 倍。

第三，关于磁体凸极数量“ z ”，第一实施例的电动机具有 6 个凸极，与图 35 所示传统结构相同，图 36 所示另一传统结构具有 15 个凸极。

下面，关于相之间的相阻“ R ”，图 1 所示第一实施例的结构比图 35 所示传统结构具有更大的凸极边缘。因此用于绕组的空间变小，这就需要更小直径的电线以获得相同数量的线圈。结果，线圈电阻增加。在第一实施例中，线圈电阻被增加大约 1.25 倍。图 36 所示传统结构与其他结构相比具有更多数量的凸极，因此串联线圈数量增建并且相邻凸极之间的空间变小，而且用于缠绕线圈的空间减小并且每个线圈的电阻增加。结果，图 36 所示传统结构的线圈电阻被增加了图 35 所示传统结构的大约 4 倍。

将上述数字用在上述方程式中，可以证实第一实施例的无刷电动机的容积效率 η 理论上分别成为图 35 和图 36 所示传统电动机容积效率的 3.2 倍和 2 倍。实际上，增加传统无刷电动机的磁极数量“ m ”能够在某种程度上改善容积效率；但是，线圈电阻“ R ”大量增加，结果容积效率不能显著增加。

另一方面，在采用了微调结构的根据第一实施例的无刷电动机中，磁极数量“ m ”可以在适度增加线圈电阻“ R ”的情况下得到增加。结果，容积效率可以充分增加，虽然有效磁通量数量“ Φ ”略微降低。

迄今为止，采用微调结构的第一实施例的无刷电动机在理论上可以获得传统电动机两倍的容积效率。但是，充分利用采用微调结构的这种无刷电动机的容积效率包括一些条件。

首先，有效磁通量数量“ Φ ”不是算术地工作，更确切地讲，微调式无刷电动机的有效磁通量数量“ Φ ”在数学上是图 35 所示传统电动机的 0.8 倍；但是实际上小于 0.8 倍。

数量实际上较小的原因是：通常，磁体的平均磁通量密度在磁化极更多时减小。因为不同磁极之间的边界附近不能完全磁化。换言之，未磁化部分和磁化不足部分存在于附近。因此，微调式无刷电动机的平均磁通量密度小于图 35 所示传统电动机的平均磁通量密度。

图 1 所示微调式磁路产生对转矩产生没有贡献的非有效磁通量数量。

图 3 说明了根据本发明第一实施例的无刷电动机的磁通量流动。在图 3 中，箭头标记显示了磁通量流动。能够对转矩产生作出贡献的磁通量从凸极 5 进入磁体的磁极（例如 S 极），并通过背轭 2 以及其他磁极（例如 N 极），随后返回另一凸极 5。但是，如图 3 所示，许多磁通量通过芯体 3 的部分（凸极 5 的拐角），例如在相邻 N 极和 S 极之间循环的磁通量 7-1 和漏通量 7-2。

平均磁通量密度的降低和上述非有效磁通量进一步将计算的因数（即有效磁通量数量“ Φ ”的 0.8 倍）降低至传统电动机的大约一半。从而在第一实施例中采用的结构的优点在容积效率方面被降低。

随后研究磁体性能的改善。图 4 说明了第一实施例微调式无刷电动机和传统电动机的磁体最大能积与容积效率之间的关系。

在图 4 中，横轴线代表指示磁体性能的最大能积（MGOe）。在传统无刷电动机中，具有低性能磁体的电动机能够与磁体的更好性能按照几乎先行的方式增加其容积效率。在 MGOe=10 附近，增加变慢，并且在 MGOe=15 以上不会再增加。这是因为在芯体中使用的硅钢板具有 1.6-2.0 (T) 的饱和磁场强度，其不允许具有改善性能的磁体产生磁通量密度。因此磁体的厚度极大地减小，并且在运行点的通量密度应该被抑制。结果，即使磁体的性能得到提高，除了体积由于磁体变薄而略微变小之外，容积效率不能得到提高。在面向 Nd-Fe-B 的烧结磁体中目前得到的最大能积可以达到 45-50MGOe；但是，传统无刷电动机不能充分利用该磁体。实际上，某些传统无刷电动机采用具有大约 10MGOe 的 MGOe 树脂磁体，这通常是因为成本是另一个需要严格考虑的因素。

另一方面，在采用微调结构的无刷电动机中，其有效磁通量数量减少为传统电动机的大约一半。因为平均通量密度通过增加磁化极数量而降低并且产生非有效通量。因而芯体在饱和前仍具有通量密度的足够空间。因此，通过改善磁体的性能而增加磁体的通量密度可以充分改善容积效率。

5 如图 4 所示，在 $MGO_e=10$ 以上的区域，根据第一实施例的微调式无刷电动机比传统电动机有利地具有较高容积效率。

图 5 说明了根据本发明第一实施例另一无刷电动机的磁路结构。在图 5 中，与图 1 相同的元件具有相同的附图标记，并且省略相关说明。

在图 1 所示第一实施例中，两个小齿 6 设置在芯体 3 的每个凸极上，并且如果磁体的性能提高超过某个水平，芯体将磁饱和。在这种情况下，小齿的数量被增加到三个或超过三个，因而容积效率可以正比于磁体性能的改善而进一步增加。

充分利用微调式无刷电动机容积效率的另一个条件是充分设定凸极的数量和磁极的数量。在图 1 所示第一实施例中，使用了 6 个凸极和转子磁体的 20 个磁极。

在三相无刷电动机的情况下，设定下列参数从而满足下面的方程式：

$$P = (2n - 2/3) z$$

其中“P”表示磁体磁极的数量；

“z”表示芯体凸极的数量；

20 “n”表示小齿的数量。

则相邻凸极之间的空间被最小化，从而凸极边缘上的小齿与磁体之间的面对区域被最大化。这种状况使磁体的有效磁通量数量最大化，并充分利用磁体的容量。结果，电动机的容积效率得到提高。

图 1 所示第一实施例采用的电机的芯体具有 6 个凸极并且转子具有 25 20 个磁极；但是，也可以使用 3 个凸极和 10 个磁极、9 个凸极和 30 个磁极或者 12 个凸极和 40 个磁极。

图 6 说明了具有不同凸极数量的无刷电动机中磁路的纵横比（长度/外径）与容积效率之间的关系。如图 6 所示，6 个凸极的情况表现出了最高的容积效率；但是，在较小纵横比（即轴向较薄）的情况下，9 个凸极或者 12 个凸极将表现出更好的容积效率。相反，在较大纵横比（即轴向

30

较长)的情况下,3个凸极显示出较好容积效率。

这是因为从芯体伸出的线圈(线圈末端)的高度不能忽略,并且因而凸极的更多数量适于使电动机变薄。但是,在实际纵横比处于0.1至3的范围内时,6个或者9个凸极表现出最好的容积效率,因此6个或者9个凸极通常比较合适。

另外,为了充分利用微调式无刷电动机的容积效率,背轭2的性能是重要的因素。如图3所示,充分大的磁通量通过背轭2,并且通量的数量与根据地点极大地变化。这是因为通过背轭2的磁通量通过转子的旋转强烈变化。

特别是在第一实施例中,磁极数量从传统的8个磁极增加到20个磁极,因此磁通量的频率增加。结果,与通量频率的平方成比例增加的涡流损耗和与通量频率成比例增加的滞后损失变得比传统电动机的大。

因此,下列方法适于构建背轭:沿轴向层压硅钢板。随后利用例如树脂的绝缘材料使绝缘软磁材料凝固。另一种方法是:如图7所示,与图1所示磁体1和背轭2相对应的部分由具有两层(即永磁体层8和背轭层9)的磁体形成。永磁体层8通过利用树脂使高强制性磁粉凝固而制成,背轭层9通过使用树脂使高渗透性磁粉凝固而制成。这些方法背轭的高频磁性,从而背轭的损耗得到抑制并且特性改善。

当硅钢板用作背轭时,硅含量希望为2—6.5%质量比(优选为6.5%)。当硅含量为6.5%质量比时,硅钢板的铁损被最小化,使性能更有效。随着硅含量的增加,钢板变得易碎并不足以工作。考虑到易于工作,希望选择范围为2—6.5%的适当值,从而易于工作和提高效率能够兼顾

另外,在本实施例中,说明了圆柱形磁体;但是,如图8所示,多个磁体1可以设置并固定在背轭2内壁上。另一种方法示于图9中,即背轭2通过轴向层压硅钢板形成,并且磁体块插入预先冲制的孔中。这称为内部磁体结构。同样地,磁体被分为多个块,并且这些块在装配之前被磁化。这个方法可以容易地进行磁化并便于充分利用磁体容量。

磁体可以如图8所示模制成半圆柱形,因而相邻极之间的影响可以得到抑制并且可以增加有效磁通量密度。磁体块如图9所示埋入轭中,因此转子在机械上强度增大。

上述第一实施例说明了外部转子电动机，其中芯体设置在内部并且转子设置在芯体外部。但是，内部转子电动机也可以适用于第一实施例，内部转子电动机芯体设置在外部并且装置设置在芯体内部，如图 10 所示。通常，在转矩导向的电动机中，外部转子电动机是优选的，因为磁体和芯体之间的面对区域可以很大；另一方面，在快速反应导向的电动机中，内部转子电动机是优选的，因为转子的外径较小并且转子的惯性力矩也较小。根据应用可以进行适当选择。

电动机中包括的齿槽效应转矩通过在转子旋转时周期性地改变芯体与磁体之间的磁能而产生。在微调式无刷电动机中，可以产生较大齿槽效应转矩，这是因为较小旋转角度由于磁极数量增加而比传统无刷电动机产生磁能的较大变化。

下列实施例（第二至第七实施例）展示了造成根据第一实施例的微调式无刷电动机所的齿槽效应转矩问题的解决方案。

实施例 2

图 11 说明了根据本发明第二实施例的无刷电动机的磁体的磁化分布。第二实施例中采用的无刷电动机的磁路结构与第一实施例中的相同。在图 11 中，磁体 21 沿预定斜角 θ 磁化，因此磁极位置在上端和下端不同，其中角度 θ 是从旋转中心观测的角度并称为圆心角。

在具有微调结构的无刷电动机中，“p”=磁体磁极的数量，“z”=芯体凸极的数量，则齿槽效应转矩的波形每旋转一圈重复“k”次，其中“k”是“p”和“z”的最小公倍数。

磁体的倾斜磁化沿层压方向均分齿槽效应转矩的波形，从而齿槽效应转矩的绝对值变小。

图 12A 说明了磁化斜角与齿槽效应转矩之间的关系。图 12B 说明了磁化斜角与电动机容积效率之间的关系。如图 12A 所示，随着斜角增加，齿槽效应转矩将变小，并且在斜角大约 6 和 12 度时获得最小值，而在其他角度时获得略高的值。因为倾斜磁化沿芯体的层压方向均分齿槽效应转矩的波形，斜角被设定得与齿槽效应转矩周期的整倍数相一致，从而齿槽效应转矩被最小化。

如图 12 B 所示，随着斜角的增加电动机的容积效率将降低。这是因

为当斜角变大时，磁极相位在磁体的上端和下端相互不同，因此，线圈按照与正确的供电相位偏离的供电相位供电。结果，电动机的容积效率降低。

上述讨论证明，斜角 θ 优选设置在 6 度，以与齿槽效应转矩的一个周期对应，从而齿槽效应转矩的减小可以与容积效率的增加相匹配。在磁体的轴向长度等于芯体的轴向长度的情况下，斜角 θ 被设定得与上述齿槽效应转矩的周期相一致；但是，当这两个轴向长度不同时，斜角的轻微变化经常减小齿槽效应转矩。

当满足下列方程式时，齿槽效应转矩减小和容积效率提高的兼容性变得有效：

$$10 \quad \theta = (360/k) \pm 10\%$$

其中“k” = “p” 和 “z” 的最小公倍数；

“p” = 磁体磁极的数量；

“z” = 芯体凸极的数量。

实施例 3

在上述第二实施例中，在磁化中采用了斜角。在本实施例中，设计出了一种芯体外形，从而可以减小齿槽效应转矩。图 13 说明了根据第三实施例的无刷电动机的芯体外形。该无刷电动机与第一实施例的电动机具有下列不同：与图 1 所示第一实施例中的相比，在图 13 中，芯体 33 在外形凸极 35 的边缘上的小齿 36 上具有不同开角 α 。其他结构保持与第一实施例中相同。

在小齿上的开角 α 的变化极大地改变了齿槽效应转矩。图 14 说明了根据小齿处开角 α 的变化的齿槽效应转矩波形。图 14A 说明了在电角的开角 $\alpha = 120$ 度时的波形，图 14B 说明了 150 度时的波形，图 14C 说明了 180 度时的波形。

如图 14A 所示，在电角旋转 360 度的过程中齿槽效应转矩重复波形 6 次（对于 360 度机械角为 60 次）。这个数字与凸极数量“6”和磁极数量“20”的最小公倍数“60”相一致。这不是第三实施例的特别现象，而是采用微调结构的无刷电动机中的一般现象。换言之，周期与凸极数量和磁极数量的最小公倍数相一致的齿槽效应转矩也发生在采用微调结构的无刷电动机中。该周期下面被称为基本齿槽效应转矩周期。

在图 14C 中，当小齿 6 的开角 α 增加时，齿槽效应转矩的周期和绝对值大致等于图 14A 所示情况；但是图 14C 中的波形具有图 14A 相位相反。另一方面，在如图 14B 所示开角 α 以电角表示被设定为 150 度时，频率的周期是基本齿槽效应转矩周期两倍的齿槽效应转矩发生并且绝对值变得非常小。

图 15 和图 16A 至图 16D 说明了图 14B 所示现象的原因。为了简化说明，考虑了下列条件：图 15 所示磁体 31 的 N 极和 S 极的边界正好到达小齿 36 的边缘拐角 6-1。

在图 15 所示状况下，磁体 31 与小齿 36 之间的磁能变化，并且如图 16A 所示转矩发生。当小齿 36 的边缘拐角 6-1 与 N 极和 S 极之间的边界相一致时该转矩的波形接近于 0。

在这种情况下，在小齿的另一个边缘拐角 6-2，转矩也按照相同的方式发生，并且其波形在边缘拐角 6-2 与 N 极和 S 极之间的边界相一致时接近于 0。转矩在边缘拐角 6-2 和边缘拐角 6-1 处的波形相对于图 16B 所示的点对称。以电角表示将开角 α 设定为 150 度使边缘拐角 6-1 和 6-2 的相位不同。这样各个转矩相互抵消，因此转矩在小齿 36 处的第三分量被完全除去，如图 16C 所示。

在整体的电动机中，第一、第二、第四和第五分量被发生在其他小齿上的转矩抵消，其相位的电角彼此相差 120 度，并且具有第六和向前分量的转矩发生，如图 16D 所示。总之，具有基本齿槽效应转矩周期的半周期的齿槽效应转矩发生，并且齿槽效应转矩的绝对值变小。

第三实施例证明，齿槽效应转矩在以电角表示的小齿 6 的开角为 150 度时最小化。按照这种方式，当以电角表示的小齿的开角为 90 度或 210 度时，发生在两个边缘拐角处的齿槽效应转矩的第三分量被除去，随后发生相同的现象。

第三实施例证明，当以电角表示的小齿的开角为 150 度时齿槽效应转矩最小化。考虑从 150 度略微偏移，例如以电角表示的小齿的开角为 140 度或 160 度时，发生在小齿上的齿槽效应转矩第三分量的 50% 被除去。在以电角表示的开角为 145 度或 155 度时，第三分量的 74% 被除去。为了获得实际的性能，因此优选将开角设定在 145 度至 155 度之间，此时第

三分量减小至小于 25%。齿槽效应转矩的基本分量被这样幅度地降低，从而齿槽效应转矩被抑制到较低水平。

在下列三种情况下，电动机变成几乎相等的条件，其中从磁特性方面来看小齿 36 的开角变小，并且当小齿 36 的开角 α 略大于上述优选范围 145 度至 155 度时（电角种大约 5 度），齿槽效应转矩被最小化：

1. 小齿 36 的外形是与芯体相比具有较小“R”（半径）的圆形，如图 17B 所示；

2. 小齿 36 的外形是如图 17B 所示的倒角形；或者

3. 芯体种的磁饱和等影响被考虑到小齿 36 的外形中。

因此，将以电角表示的小齿开角设定在 145 度与 160 度之间、85 度与 100 度之间或者 205 度与 220 度之间可以产生具有基本齿槽效应转矩周期的半周期的齿槽效应转矩，并且齿槽效应转矩的绝对值被抑制到较低水平。

但是，当小齿的开角被设定在 85 度与 100 度之间时，小齿与磁体之间的面对区域变小，从而有效磁通量的数量减小。相反，当小齿的开角被设定在 205 度与 220 度之间时，开角变得大于磁极的宽度。因而非有效磁通量产生，这增加了铁损。由于这两个因素（即降低有效磁通量数量和增加铁损）都降低效率，希望将小齿的开角设定在 145 度与 160 度之间。

实施例 4

上述第三实施例说明了通过改变小齿开角降低齿槽效应转矩的方法。在第四实施例中，着重考虑将小齿的齿距作为降低齿槽效应转矩的方法。

图 18A 至图 18C 说明了根据第四实施例的无刷电动机的芯体外形。图 19A 说明了第四实施例中在芯体 3-1 处发生的齿槽效应转矩的波形。图 19B 说明了在芯体 3-2 处发生的齿槽效应转矩的波形。图 19C 说明了在第四实施例中使用的芯体中发生的齿槽效应转矩的波形。

在图 18A 中，圆柱形磁体 41 在其内壁交替并均匀地磁化 N 极和 S 极，背轭 42 固定在磁体 41 的外壁上。芯体 43 由硅钢板制成，所述硅钢板通过冲压冲孔并轴向层叠。芯体 43 包括 6 个彼此等间距的凸极 45。线圈（未示出）缠绕在每个凸极 45 上。每个凸极 45 制成齿状并在其面对磁体 41 的边缘具有两个小齿 6，从而总共形成 12 个小齿 36。

第四实施例与图 1 所示第一实施例有下列几点不同：图 1（即第一实施例）所示每个凸极边缘上开齿的小齿 36 的齿距被设定为两个磁极的宽度，即电角为 360 度。在图 18A 所示第四实施例中，以电角表示的小齿 46 的齿距设定为 330 度，比第一实施例中小。下面将说明采用这种外形的原因。

图 18A 所示外形通过将图 18B 所示芯体 3-1 的阴影部分和图 18C 所示芯体 3-2 的阴影部分结合而形成。图 18B 所示芯体 3-1 的外形与图 1 所示第一实施例的相同，但是以电角表示逆时针旋转 15 度（机械角度中为 1.5 度）。图 18C 所示芯体 3-2 的外形也与第一实施例的相同，但是与芯体 3-1 相反地以电角表示顺时针旋转 15 度（机械角度中为 1.5 度）。

下面将参照图 19A 至图 19C 说明齿槽效应转矩的减小。图 19A 所示实线显示了在芯体 3-1 处发生的齿槽效应转矩的波形。如在第一实施例所说明的那样，芯体 3-1 处的齿槽效应转矩每次旋转显示 60 次重复，即每周以电角表示为 60 度（机械角度为 6 度），这是因为 20 个磁极和 6 个凸极的最小公倍数是 60。芯体 3-1 的阴影部分与整个芯体的一半相对应，因此阴影部分的齿槽效应转矩变成一半并且以虚线画出图 19A 所示波形。

按照相同的方式，图 18C 所示芯体 3-2 的阴影部分处的齿槽效应转矩以虚线画出图 19B 所示波形。图 19A 和图 19B 所示齿槽效应转矩波形的比较显示相同的转矩大小、相同的周期和 180 度中的不同相位。

因此，在第四实施例中的芯体 43 处发生的齿槽效应转矩画出了波形，其中图 18B 所示芯体 3-1 的阴影部分处的齿槽效应转矩与图 18C 所示芯体 3-2 的阴影部分处的齿槽效应转矩结合。因此，图 19A 中虚线与图 19B 中虚线的结合转矩画出了图 19C 所示波形，其中两个转矩的第一、第三、第五和向前分离相互抵消。图 19C 中的振幅变得小于原始波形，并且周期变为原始周期的一半。结果，根据第四实施例的无刷电动机的齿槽效应转矩可以被抑制到较低水平。

在第四实施例中，根据下列方法选择来自两个芯体外形的阴影部分：从凸极中选择相同数量的阴影部分和非阴影部分，所述凸极的位置关系与磁极相互一致。

任何不遵从上述方法的结合导致不降低齿槽效应转矩的结果，并且失

去各个相的平衡，这有时会使电动机的特性退化。

只要遵循上述方法，采用合适的结合可以得到除了图 18A 至图 18C 所示之外的其他芯体形状。根据第四实施例的不同无刷电动机的各种芯体外形示于图 20A 至图 20C、图 21A 至图 21C、图 22A 至图 22C、图 23A 至图 23C、图 24A 至图 20D 中。

如各图所示，可以得到各种外形：图 20A 至图 20C 说明了齿距以电角表示大于 360 度的芯体外形，图 21A 至图 21C 说明了齿距大于 360 度和齿距小于 360 度交替设置的芯体外形。图 22A 至图 22C 说明了齿距为 360 度但凸极齿距变化的芯体外形。图 23A 至图 23C 说明了小齿的开角在左、右相差给定角度的芯体外形。也可以得到上述之外的其他外形

在上述实例中，以电角表示相位相差 30 度的芯体外形可以结合，但是不必只具有 30 度的差异，而是可以调节 ± 10 度，从而基本齿槽效应转矩周期的分量被除去大约 70%，这产生了足够的益处。

上述实例说明了两个不同外形的结合，所述外形的各个齿槽效应转矩彼此在相位上相差 180 度。但是，在如图 24A 所示每个凸极设置三个小齿的情况下，通过结合相位以电角表示彼此相差 20 度的芯体外形可以减小齿槽效应转矩。

因此可以得出结论，三相无刷电动机通常可以采用下述结构减小其齿槽效应转矩：假设小齿数量=每凸极“n”，彼此偏离 $(60/“n”度) \pm 10\%$ 的基本芯体外形的“n”块被适当结合。希望小齿的齿距能够小于如图 18A 和图 24A 的 360 度，虽然这在前面没有详细说明。

更一般地，在三相电动机的情况下，假设一个凸极上设置的小齿数量是“n”，并且以电角表示的小齿的齿距是 β 则满足下列方程式可以使相邻凸极间具有较大空间，抑制凸极间的磁干扰并改善线圈绕组的工作：

$$\beta = 360 - (60/n \pm 10\%)$$

在左、右开角如图 23A 所示相差给定角度的情况下，芯体与磁体之间的磁引力在左、右不同，从而转子总是沿恒定方向被推动至轴承。因此，当使用允许轴与轴承之间具有间隔的浸油烧结轴承时，所述轴的颤动可以被抑制并且旋转精度可以得到提高。

上述第三和第四实施例说明了通过设计芯体外形减小齿槽效应转矩

的方法。如果在第二实施例中说明的倾斜磁化与第三或第四实施例结合，还可以进一步减小齿槽效应转矩。

在上述第二实施例中，斜角 θ 被设定得与基本齿槽效应转矩周期大体一致。但是，在第三和第四实施例中，各个齿槽效应转矩的第一分量大体被除去，从而只用一半的斜角就可将齿槽效应转矩减小至满意的水平。

换言之，假设磁体磁极数量为“p”并且磁体凸极数量为“z”，则斜角 θ 被设定得满足下列方程式，从而减小齿槽效应转矩可以与改善电动机的容积效率相匹配：

$$\theta = 180/k \pm 10\%$$

其中“k”是“p”和“z”的最小公倍数。

实施例 5

图 25A 说明了根据本发明第五实施例的无刷电动机的芯体外形。图 25B 是沿图 25A 中线 x-x'和 z-z'的截面图。图 25C 是沿图 25A 中线 y-y'的截面图。图 25D 至图 25E 说明了图 25A 所示无刷电动机基本芯体外形。图 26 是根据本发明第五实施例的芯体凸极截面图。

在上述第四实施例中，重点放在芯体的截面图上并设计出了减小齿槽效应转矩的方法。在第五实施例中，截面外向那个被沿轴向分开，从而减小齿槽效应转矩。

如图 25A-25C 所示，芯体 3 形成有上截面、中截面和下截面。上截面和下截面的芯体外形是相同的，并且如图 25B 所示，全部 12 个小齿的开角以电角表示为 150 度。中截面的芯体外形在 12 个小齿具有以电角表示 210 度的开角。

除了小齿的开角，根据第五实施例的芯体在凸极上的线圈缠绕部分在上截面和下截面具有宽度“w1”，宽度“w1”比线圈缠绕部分在中截面的宽度“w2”窄。

第五实施例基本按照与第四实施例的相同的结构建成。

图 25B 所示芯体 53 的上截面和下截面是通过结合图 25D 和图 25E 所示的芯体 3-1 和 3-2 的阴影部分构建而成。图 25C 所示芯体 53 的中截面通过结合图 25D 和图 25E 所示的芯体 3-1 和 3-2 的阴影部分之外的部分构建而成。

另外在芯体 53 中，关于凸极的线圈缠绕部分的宽度，上截面和下截面的宽度“ w_1 ”根据小齿的开角小于中截面的宽度“ w_2 ”。因为上截面和下截面具有较小的齿开角通过所述齿的少量磁通量，因此线圈缠绕部分的较窄宽度不会负面影响磁特性。

5 另一方面，这些较窄的线圈缠绕部分产生下列优点：图 26 说明了第五实施例中使用的凸极线圈缠绕部分的截面图。图 37 出于对比目的说明了无刷电动机第七传统实例的凸极线圈缠绕部分的截面图，其中线圈缠绕部分具有恒定宽度。在图 26 所示第五实施例中，芯体 55 设有绝缘膜 50 并且线圈 54 缠绕其上。另一方面，在图 37 所示第七传统实例中，芯体
10 705 设有绝缘膜 710 并且线圈 704 缠绕其上。

将图 26 的情况与图 37 的情况相比较可以证明，图 26 的情况比图 37 的情况每圈使用较短线圈长度。因此，当缠绕相同直径的线圈时，在图 26 所示情况中会出现较低线圈电阻，因此电动机的容积效率增加。另外，线圈 54 形成五边形，所述五边形将施加在芯体边缘的压力分配在 6 个地点，因此，比图 37 所示情况薄的绝缘膜可以保持相同的绝缘能力。较薄的绝缘膜可以使用较多线圈，从而进一步增加电动机的容积效率。
15

第六实施例

图 27A 至图 27E 是根据本发明第六实施例的无刷电动机芯体外形的示意图。

20 在上述第四和第五实施例中，芯体通过将基本芯体外形的相应数量与每凸极小齿数量“ n ”相结合构建而成。通过结合更多数量的基本外形可以进一步减小齿槽效应转矩，尽管其变得更加复杂。

如图 27A 所示，在第六实施例的芯体中，在小齿处以电角表示具有 315 度齿距的凸极与具有 345 度齿距的另外凸极交替设置。这种外形通过结合图 27B 至图 27E 所示四种基本外形而形成。这四种外形以电角表示相位相差 15 度。
25

同样地，将结合的基本外形的数量增加，从而在第四或第五实施例中不能除去的第二分量和向前分量可以被取消，尽管结构变得有些复杂。结果，齿槽效应转矩可以被进一步减小。

30 一般地，在三相无刷电动机的情况下，假设每相凸极上设置的小齿总

数量为“N”，并且芯体沿轴向的截面外形通过结合“N”块基本芯体外形而形成。这些外形彼此变换（电角中为 $60/“N”$ 度） $\pm 10\%$ 。这种结构可以提供具有很低齿槽效应转矩的电动机。

第七实施例

5 图 28A 至图 28D 是根据本发明第七实施例的无刷电动机芯体外形的示意图。在第七实施例中，将第三实施例中说明的设定小齿开角的方法与第四和第五实施例中说明的结合多个基本芯体外形的方法结合起来。这种结合的方法可以进一步降低齿槽效应转矩。

10 图 28A 说明了第七实施例的芯体外形。如图 28A 所示，第七实施例的芯体 73 具有各个凸极 75 形成齿状的外形并每极设有三个小齿。每个小齿 76 具有电角中为 350 度的齿距，并且具有电角中为 150 度的开角。

这种外形通过结合如图 28B 至 28D 所示三个芯体外形的阴影部分而形成，所述三个芯体外形的相位以电角表示彼此变换 10 度。在三个芯体 3-1、3-2 和 3-3 的这些外形中，小齿的开角被设定为以电角表示 150 度。

15 下面参照图 29A 至图 29D 说明第七实施例的芯体 73 中齿槽效应转矩的减小。三个芯体 3-1、3-2 和 3-3 的外形在凸极最初具有 150 度的开角。因此，如图 29A 至图 29C 中的实线所示，具有基本齿槽效应转矩周期的半周期（电角中 30 度的周期）的齿槽效应转矩产生。所述齿槽效应转矩还具有较低绝对值。

20 这三个芯体外形以电角表示相互变换 10 度相位，并且第七实施例的芯体外形通过结合 $1/3$ 每个这些外形而形成。因此，通过这种芯体外形产生的齿槽效应转矩彼此抵消，从而齿槽效应转矩的振幅变得基本上与图 29D 所示一样小，并且周期变得小于原始波形的 $1/3$ 。

25 在第三实施例中采用了最初具有小的齿槽效应转矩和所述齿槽效应转矩的短周期的芯体外形。第七实施例采用了这种芯体外形作为基本外形，并且在第四和第五实施例中采用的半角度变换芯体外形与之结合，从而所述齿槽效应转矩可以被极大地降低。

通常，三相无刷电动机优选如下构造：设置在一个凸极上的小齿数量 = “n”；

30 沿轴向的芯体截面外形在设置在每个凸极上的小齿处具有以电角表

示 145—160 度的开角，并且这种芯体外形用作基本外形；并且

“n”块基本芯体外形被结合并沿旋转方向相互变换（ $30/n$ 度） $\pm 10\%$ 以形成芯体外形。

另外如图 28A 所示，小齿的齿距被设定为以电角表示小于 360 度。
5 通常，设置在一个凸极上的小齿数量 = “n”，小齿的齿距 = 电角中的 β 度，并且设定 β 满足下列方程式。则相邻凸极之间的空间可以较大，凸极之间的磁干扰可以得到抑制，并且绕组线圈的工作可以有效进行：

$$\theta = 360 - (30/n \pm 10\%)$$

根据第一至第七实施例，电动机的容积效率可以超过两倍，并且能够
10 提供保持相同特性的体积缩小的电动机。如果尺寸保持与传统电动机相同，则输出可以极大地增加，因此使用这种电动机的装置可以改善其性能。

第八实施例

图 30 是根据本发明第八实施例的各种装置的示意图。在图 30 中，装置 801 包括下列元件：

15 外壳 802；
安装在外壳 802 上的电动机 807；
用于驱动电动机 807 的驱动器 805；
用于为驱动器 805 提供动力的电源 808；和
将由电动机 807 驱动的负载 809，例如机械部分。

20 电动机 807 和驱动器 805 形成电动机驱动装置 803。在装置 801 中，电源 808 通过驱动器 805 驱动电动机 807，并且旋转转矩通过电动机 807 的输出轴传输至负载 809。根据第一至第七实施例的任何电动机都可以用作电动机 807。

下面将说明根据第八实施例的数个装置。首先，本发明的无刷电动机
25 用于信息终端、便携式微型光盘播放器等之中，从而这些装置体积缩小并且重量减轻。这是因为所述电动机变得更小更轻，而且保持与传统电动机一样的性能。

在办公自动化设备、家用器具等中采用本发明的无刷电动机作为驱动
30 源能够使这些装置和器具以高速运转，同时在不增大体积的情况下执行更多功能。

更明确而言，在光学介质装置中，本发明的无刷电动机例如可以用作
5 主轴电动机，所述主轴电动机旋转 CD-ROM 盘、DVD、光盘或者微型光
盘等。采用这种无刷电动机可以使这些装置体积减小，重量降低。

本发明的无刷电动机可以用于办公自动化设备中，例如它可以用作鼓
5 形电动机，所述鼓形电动机旋转复印机的光电导体鼓。本发明的复印机从
而可以高速运转并执行更多功能。在激光束印刷机的情况下，本发明的无
刷电动机可以用作激光扫描用的多角镜扫描器电机。这种使用方式使打印
机更精确和高速地进行打印。在硬盘装置的情况下，本发明的无刷电动机
10 例如可以用作旋转硬盘的主轴电动机。这种应用使这些硬盘装置以高速读
/写数据。

在家用器具中采用本发明的无刷电动机，例如在空调器的室内单元或
者室外单元中装备的送风机的风扇电机中，可以使空调器改善其性能。这
是因为与传统电动机体积和重量相同的这种电动机可以输出更大功率。

在用于驱动机器人的旋转接头的执行器中采用本发明的无刷电动机
15 可以改善工业机器人的反应，这是因为与传统电动机体积和重量相同的这
种电动机可以输出更大功率。这种应用因而可以改善机器人（例如两足行
走机器人）离接近人类的机器人的当前状态，并且这种机器人能够进行更
复杂的行为，例如跑、跳或者投。

本发明的无刷电动机还可以用作驱动车辆轮子的电动机，所述车辆可
20 以是燃料电池驱动的车辆或者电动车辆，因此具有相同特性的电动机可以
减小体积和重量。结果，这些车辆本身的重量可以减轻，这使其活动性能
或者燃油里程得到改善。由于所述电动机虽然具有紧凑的机体但可以输出
足够能量，它适于用作轮内（in-wheel）电机（容纳在轮子内的电机）。

上述例证性实施例证明，本发明极大地改善了电动机的容积效率，并
25 且在保持传统特性的条件下使电动机体积缩小，或者在保持传统体积的情
况下提高电动机输出的效率。

在装置中采用这种电动机可以使这些装置体积缩小并执行更多功能。

工业适用性

本发明极大地改善了电动机的容积效率，并且在保持传统特性的条件
30 下使电动机体积缩小，或者在保持传统体积的情况下提高电动机输出的效
率。在装置中采用这种电动机可以使这些装置体积缩小并执行更多功能。

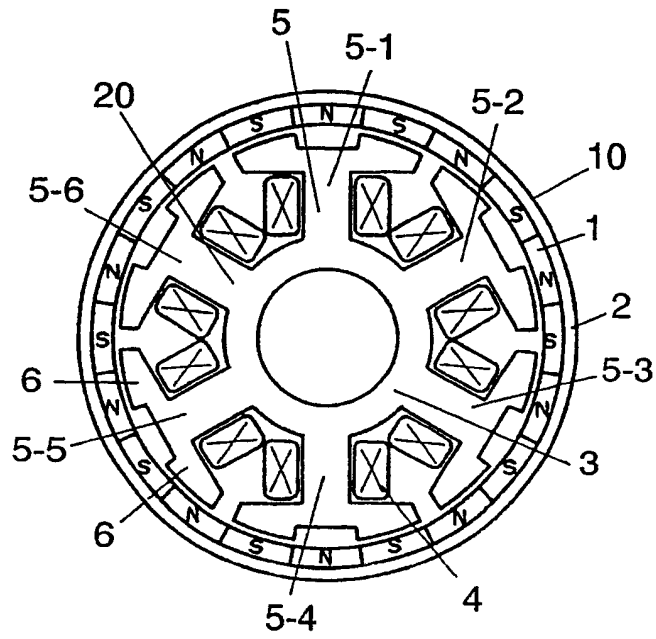


图 1

	图 1 微调型	图 35 传统型	图 36 传统型
有效磁通量 ϕ	0.8x	1.0x	0.4x
线圈匝数 t	1.0x	1.0x	1.0x
磁极 m	20 极	8 极	20 极
凸极 z	6 极	6 极	15 极
线圈电阻 R	1.25x	1.0x	4.0x
容积效率 η	3.2x	1.0x	1.55x

图 2

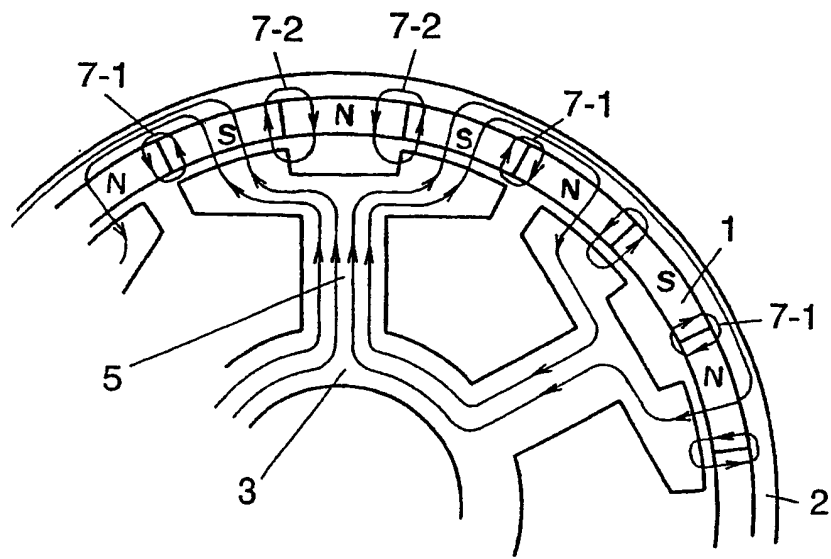


图 3

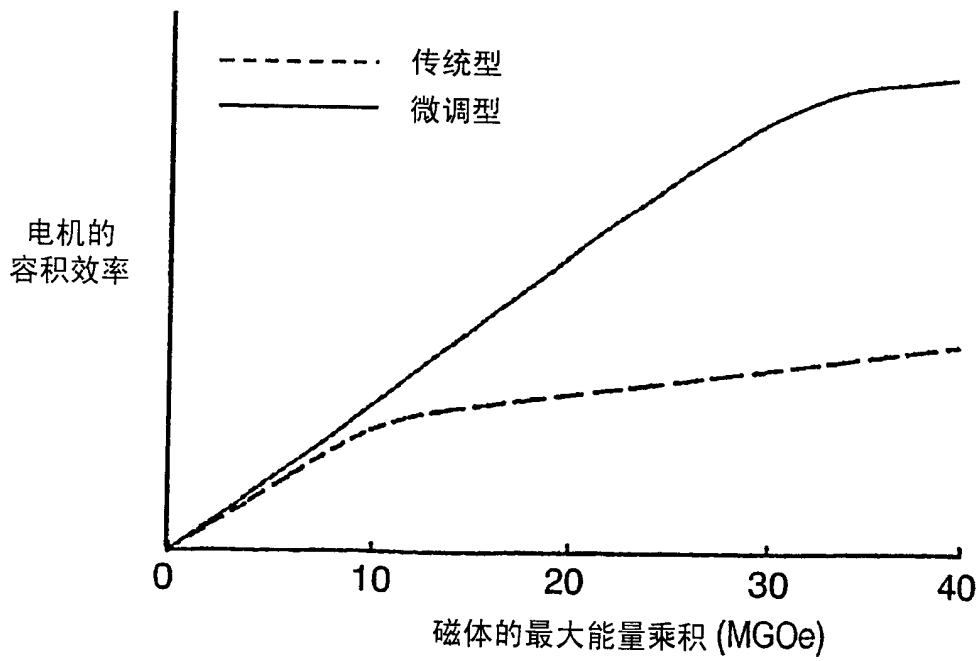


图 4

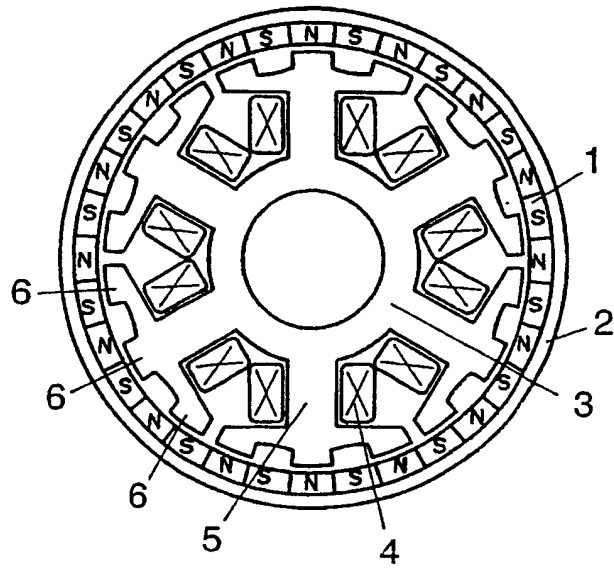


图 5

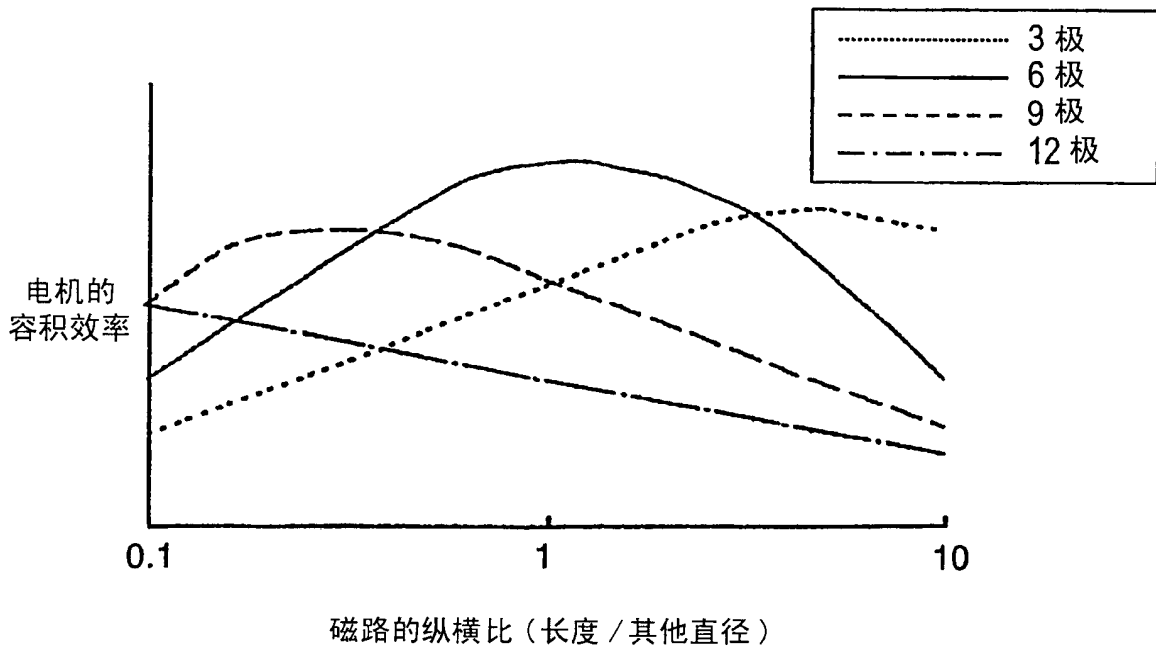


图 6

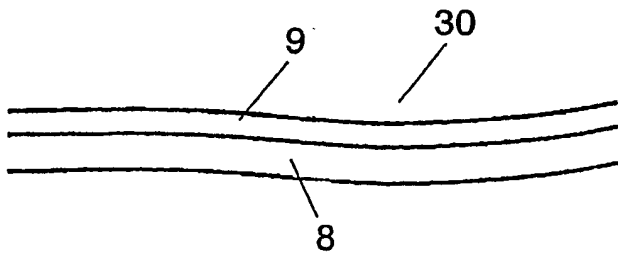


图 7

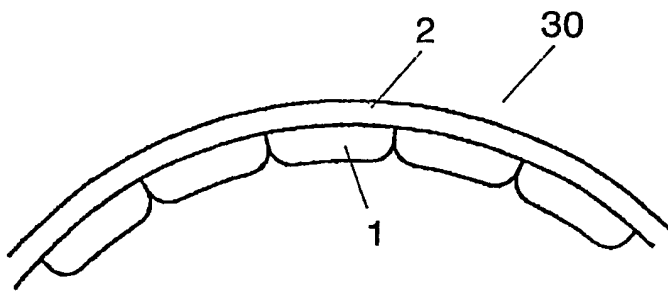


图 8

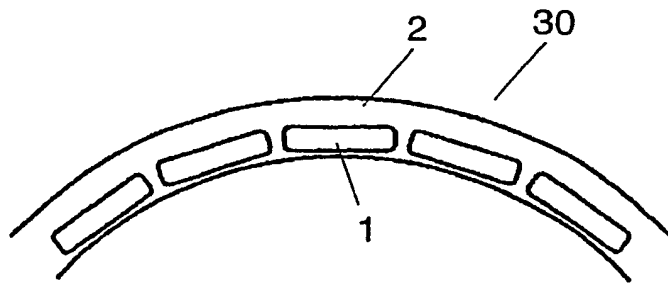


图 9

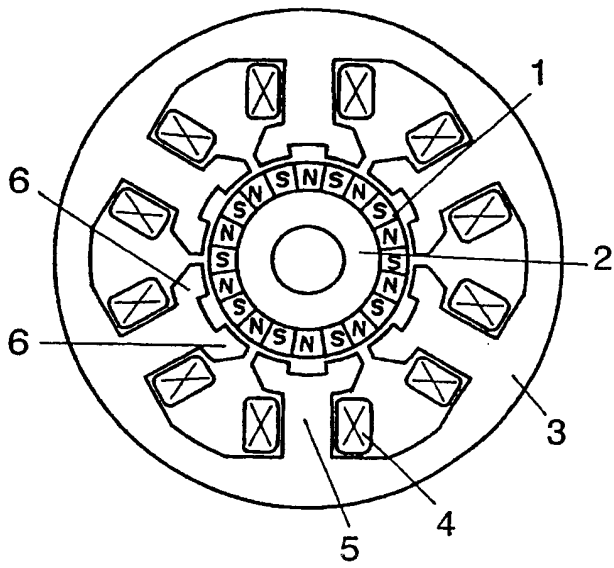


图 10

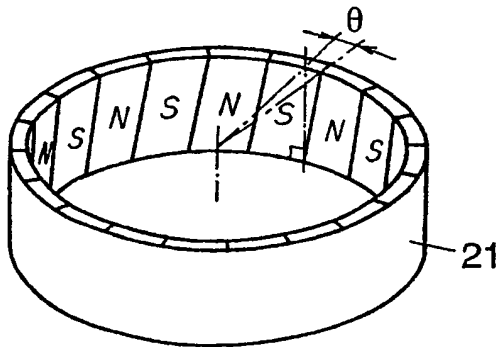


图 11

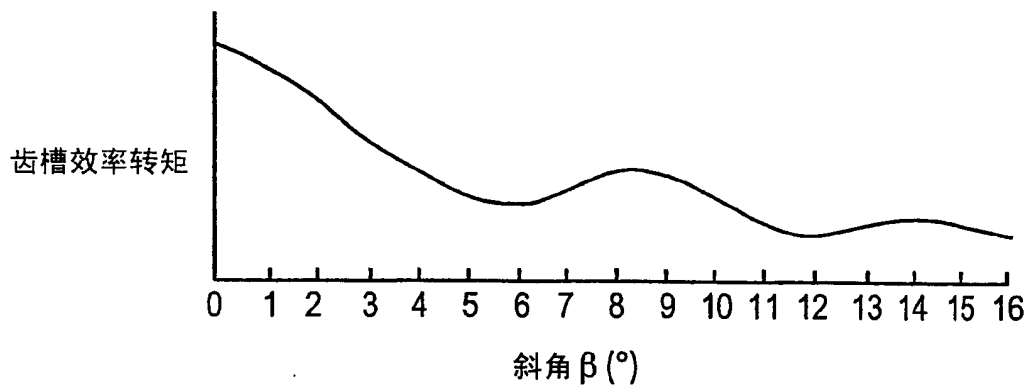


图 12A

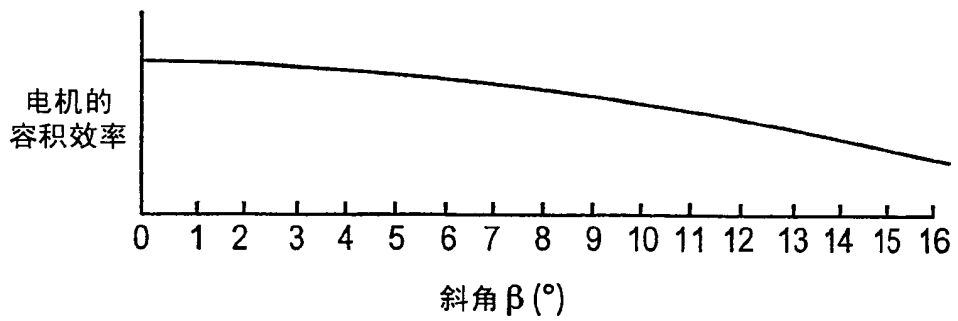


图 12B

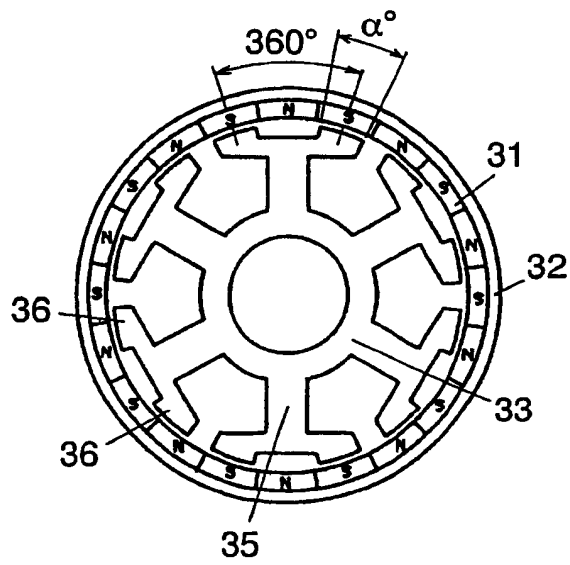


图 13

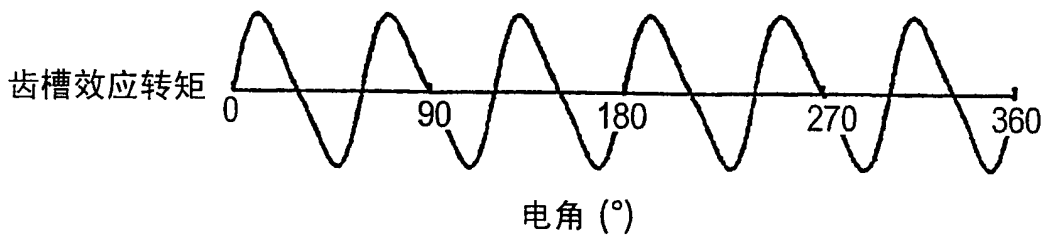


图 14A

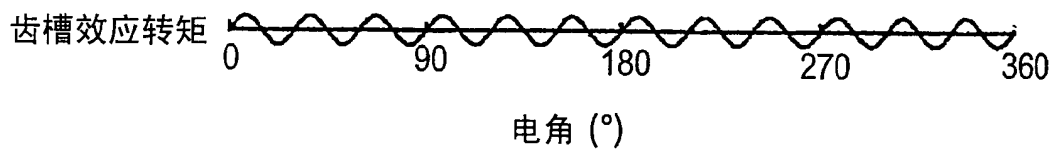


图 14B

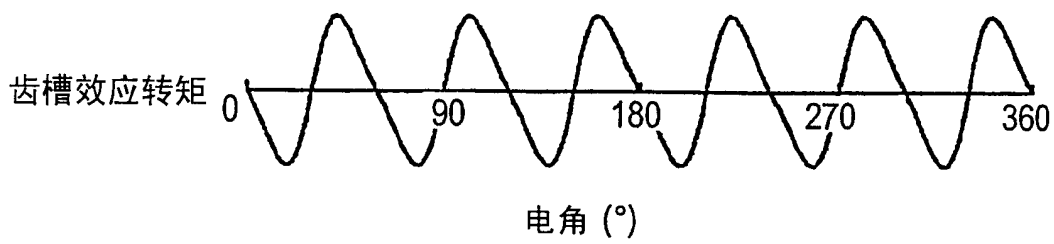


图 14C

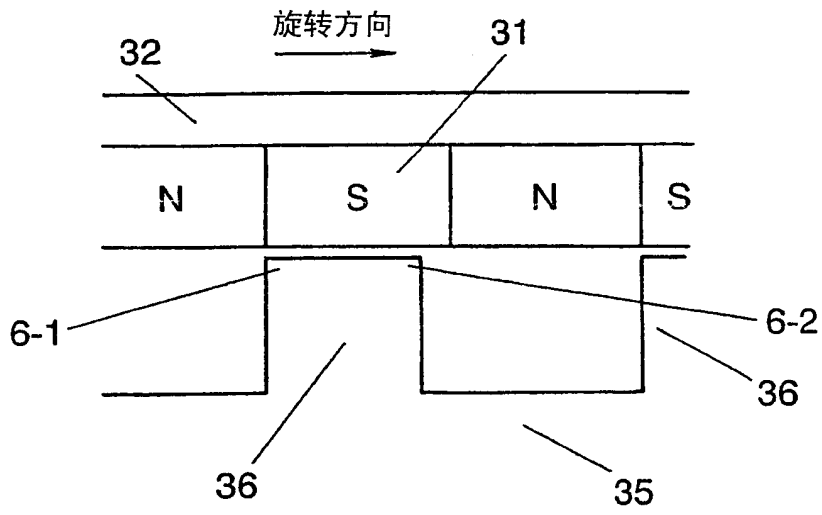


图 15

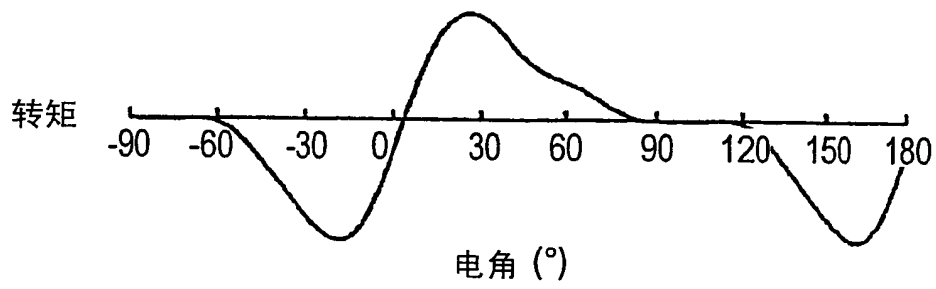


图 16A

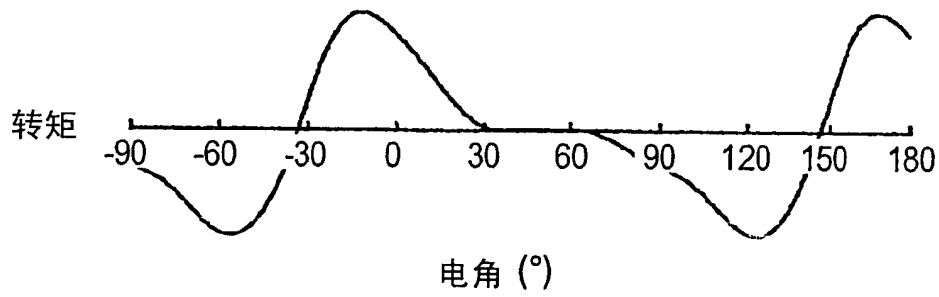


图 16B

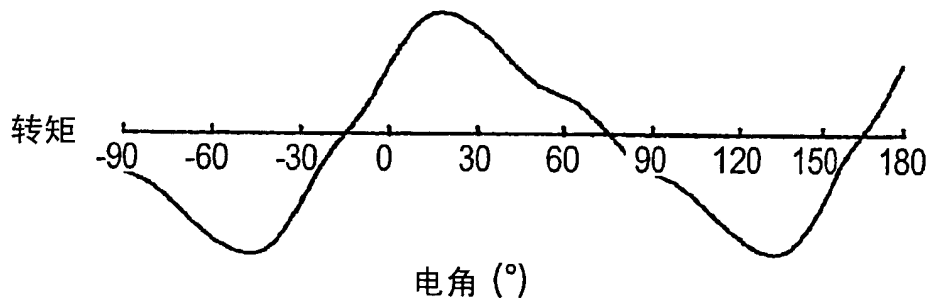


图 16C

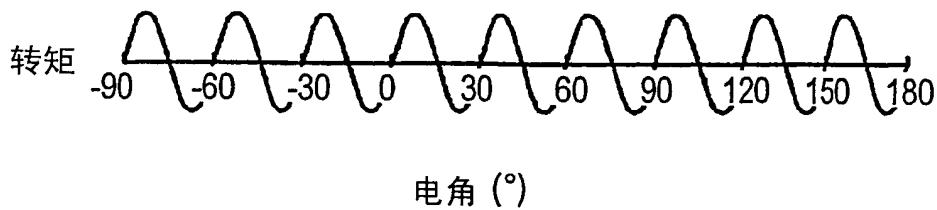


图 16D

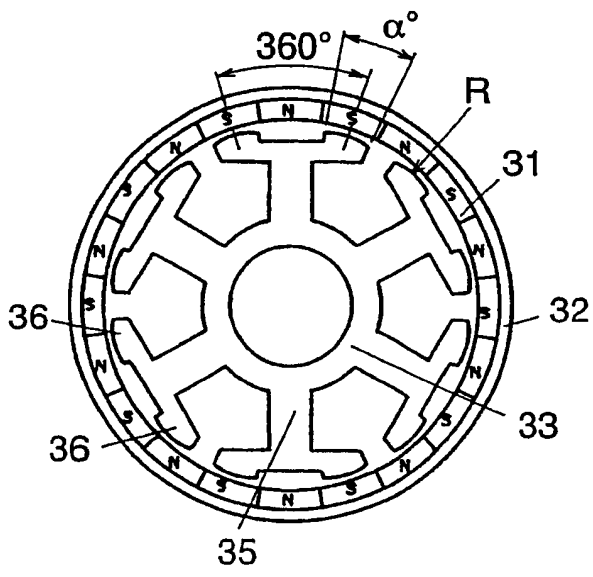


图 17A

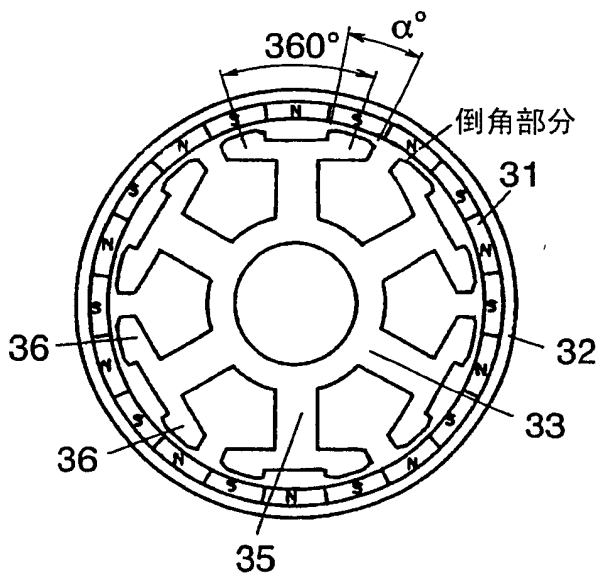


图 17B

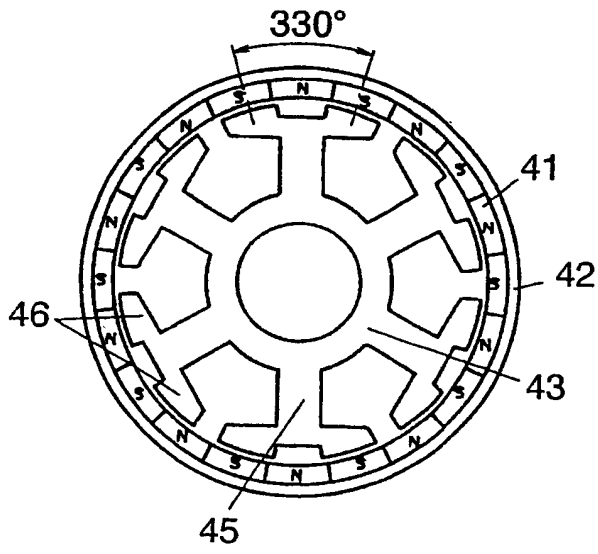


图 18A

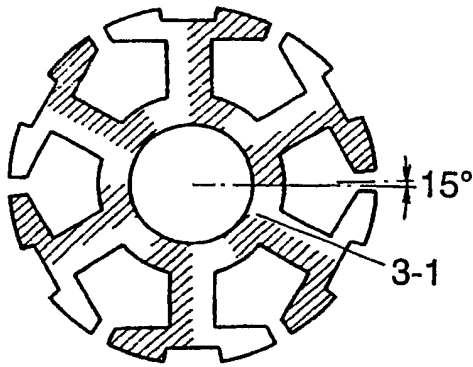


图 18B

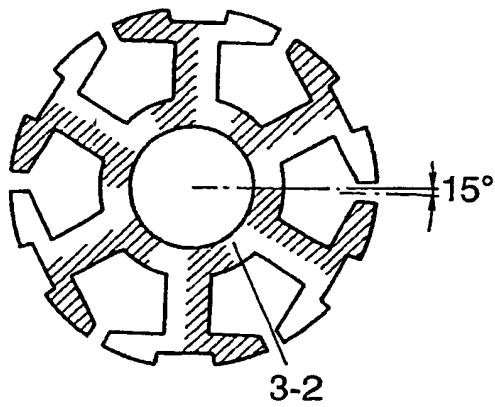


图 18C

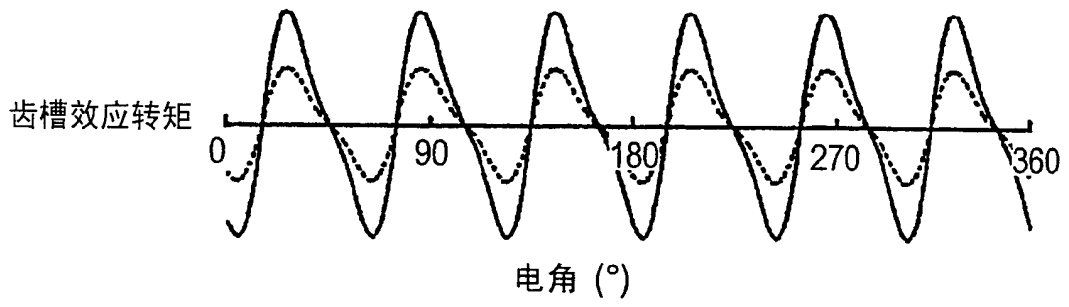


图 19A

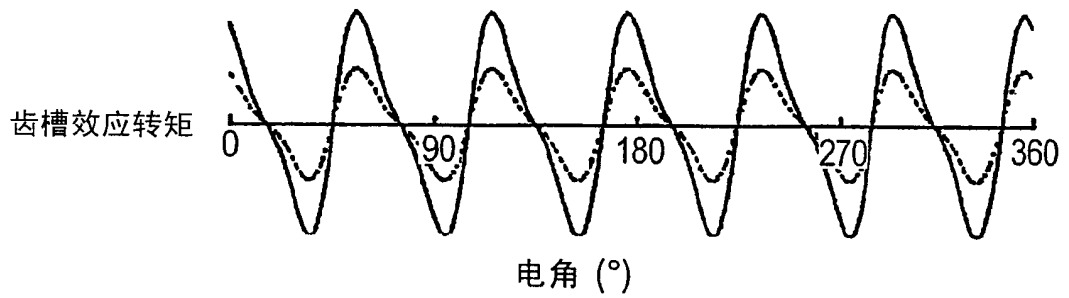


图 19B

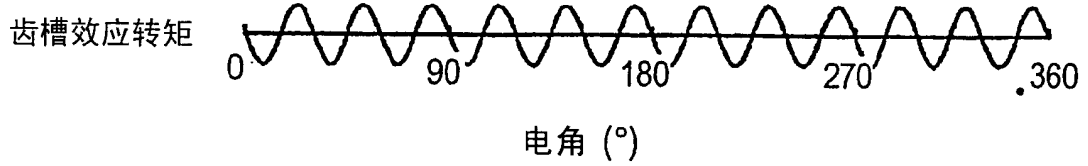


图 19C

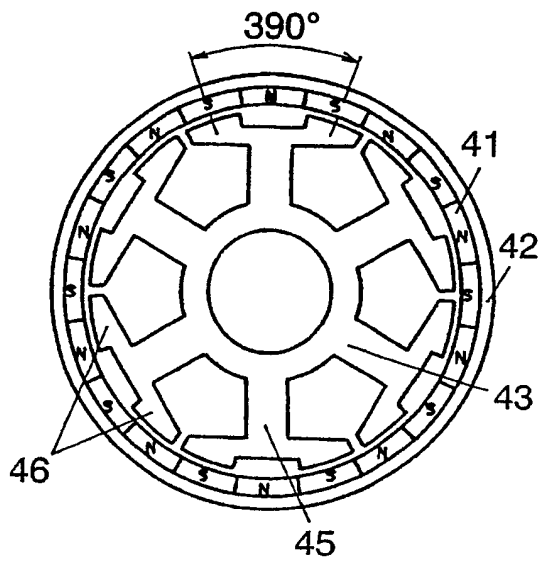


图 20A

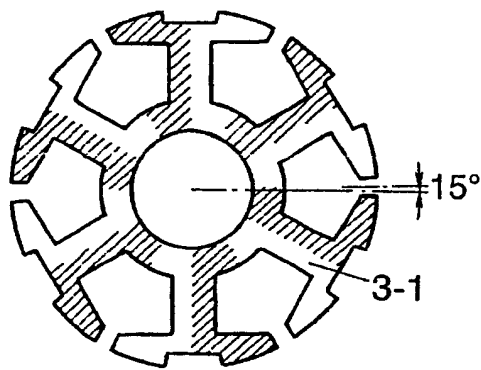


图 20B

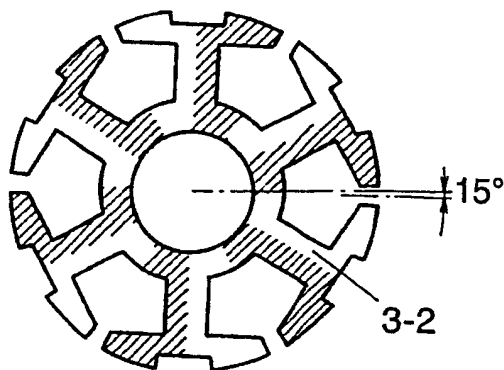


图 20C

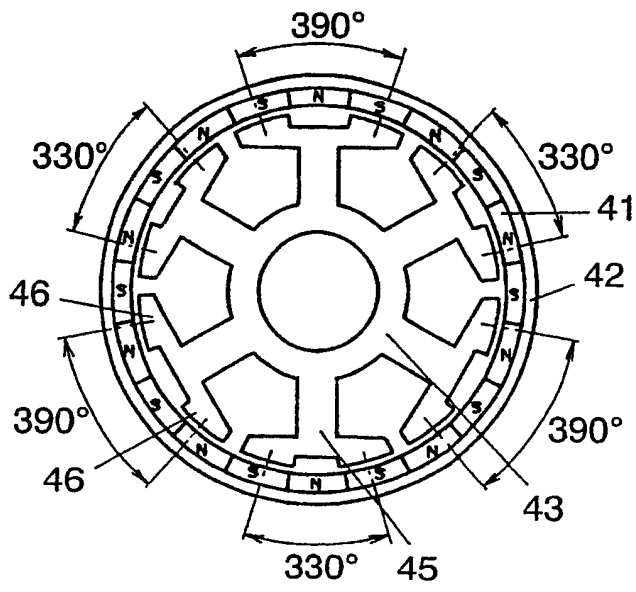


图 21A

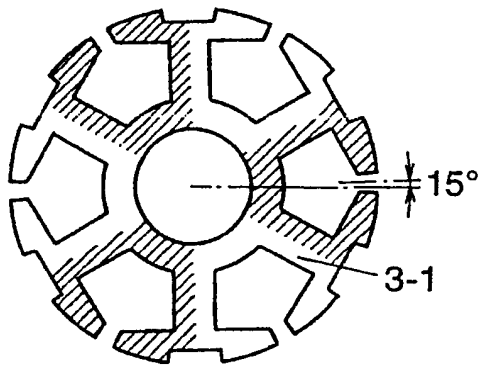


图 21B

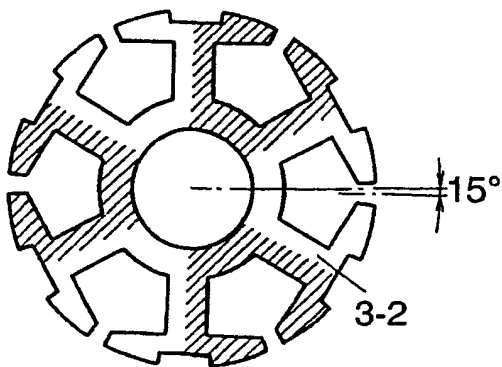


图 21C

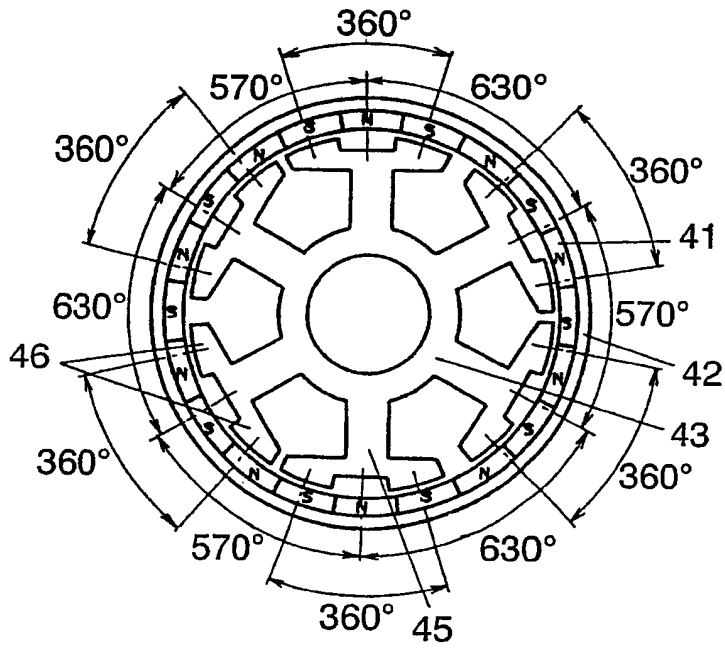


图 22A

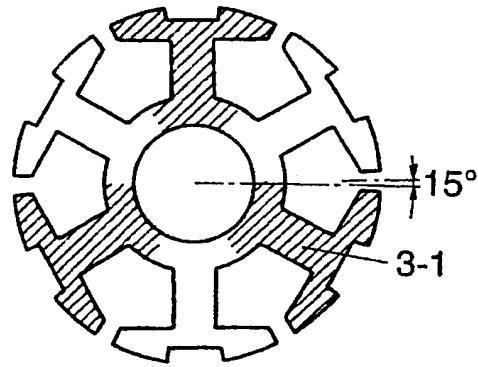


图 22B

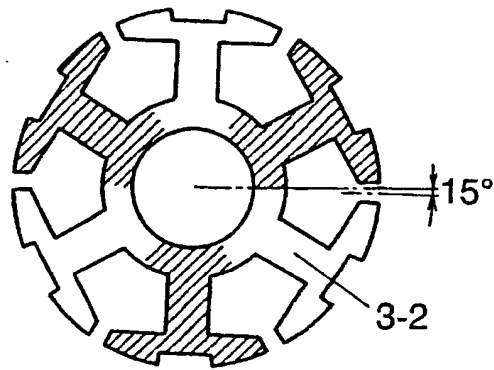


图 22C

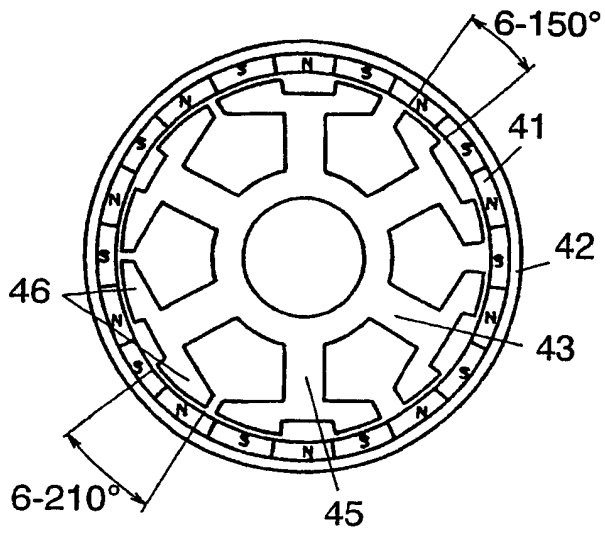


图 23A

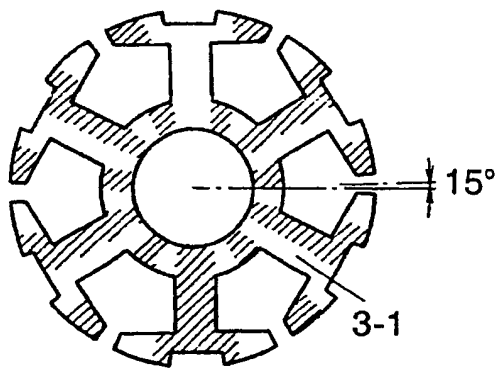


图 23B

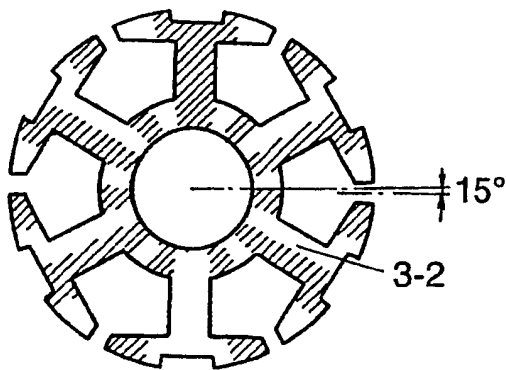


图 23C

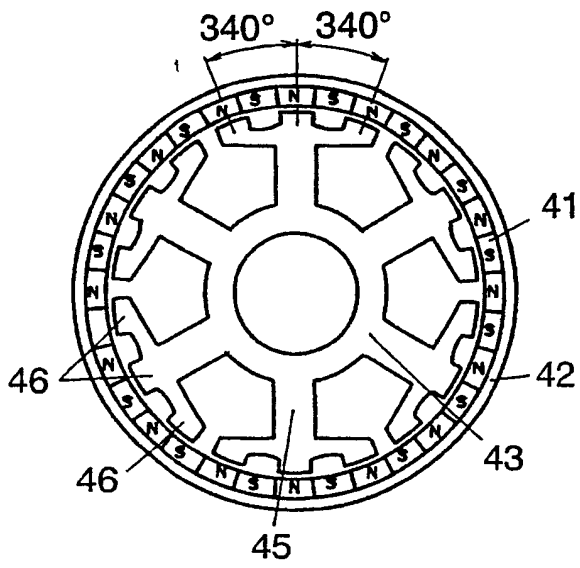


图 24A

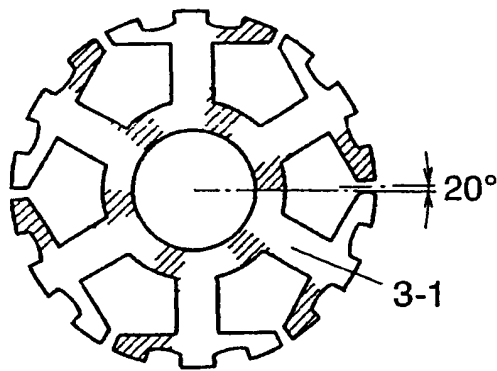


图 24B

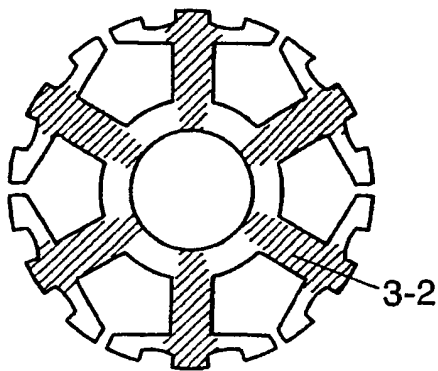


图 24C

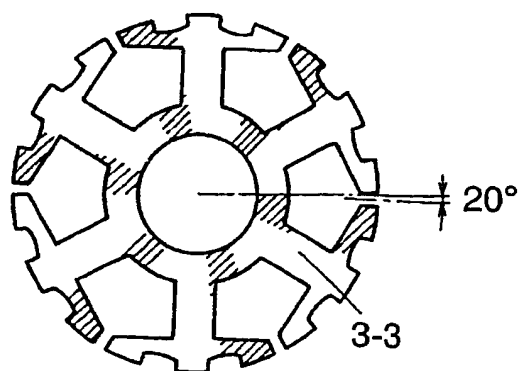


图 24D

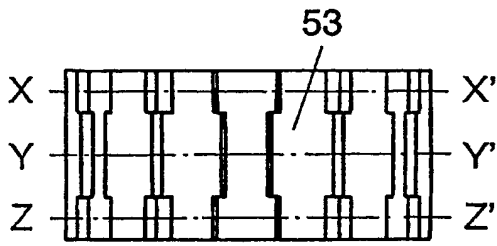


图 25A

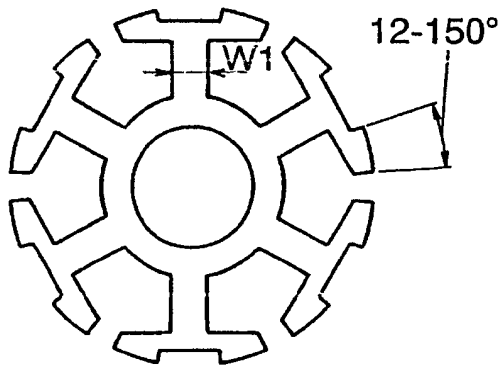


图 25B

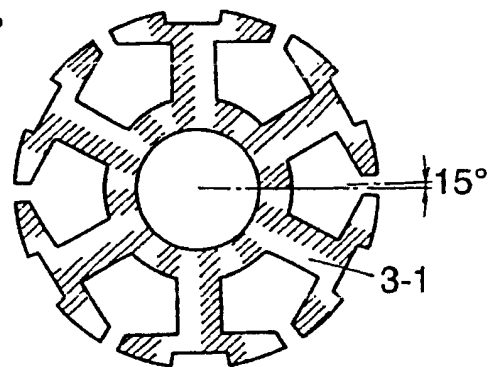


图 25D

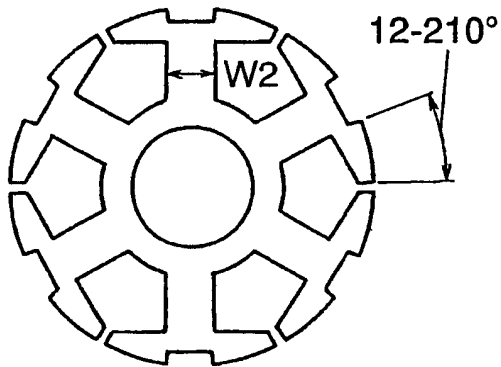


图 25C

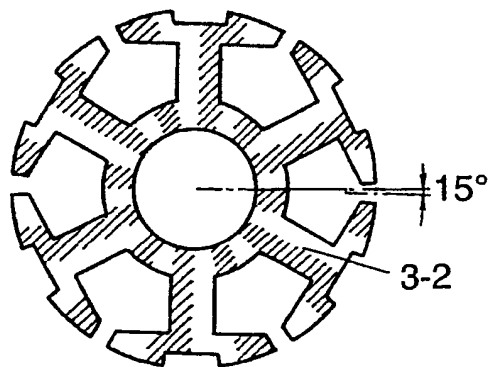


图 25E

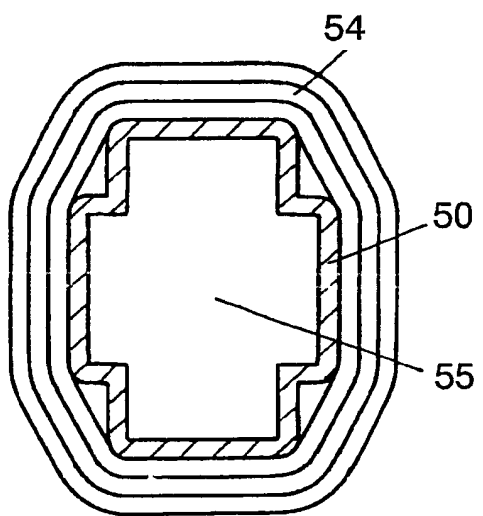


图 26

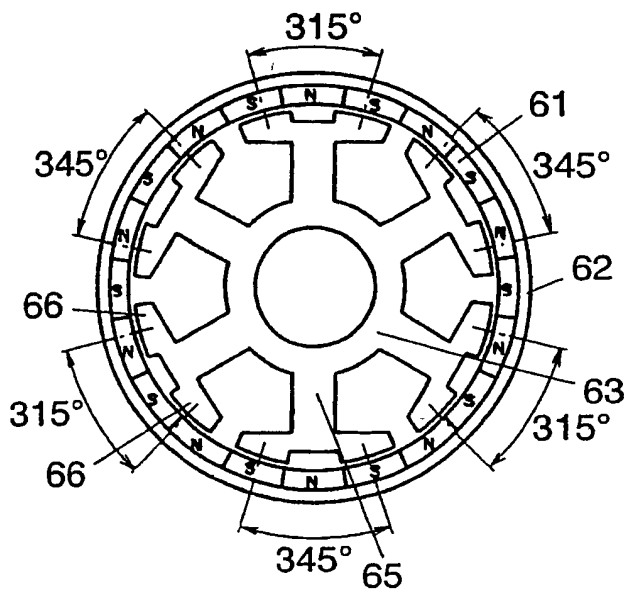


图 27A

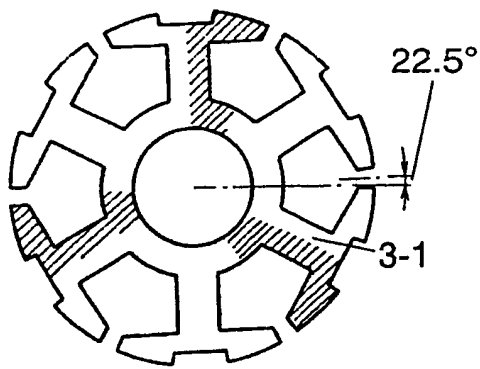


图 27B

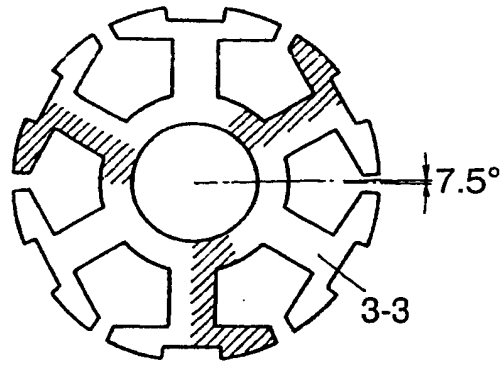


图 27D

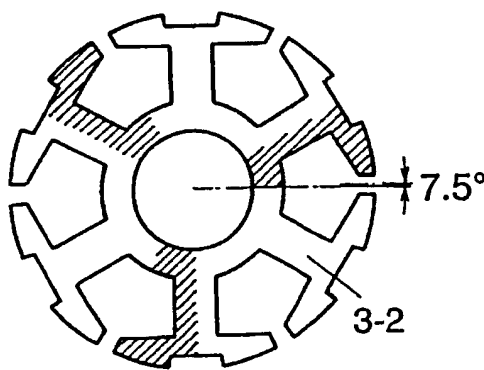


图 27C

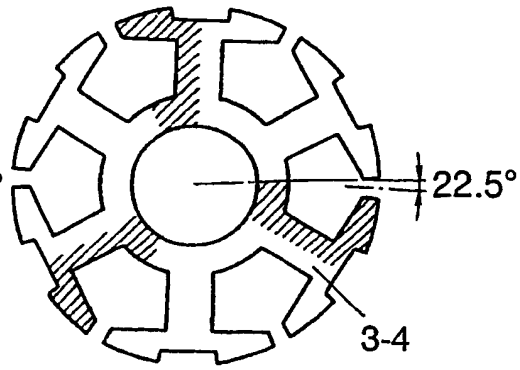


图 27E

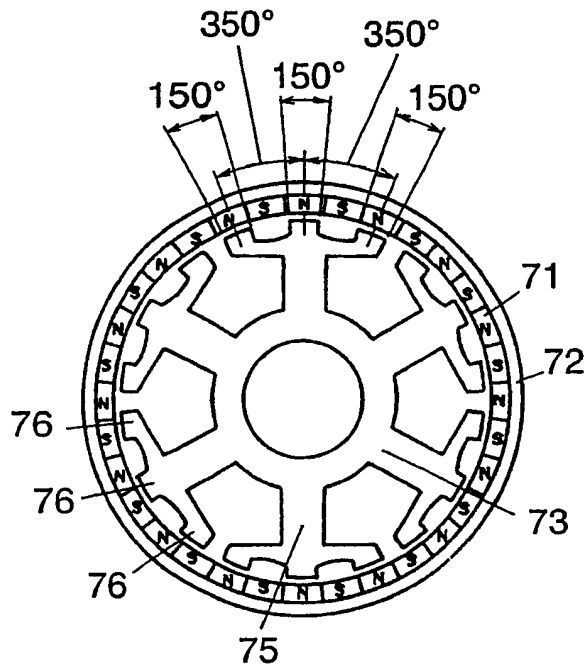


图 28A

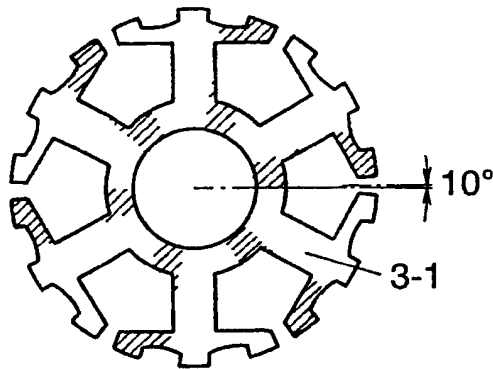


图 28B

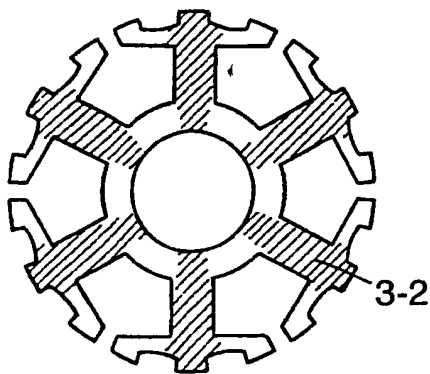


图 28C

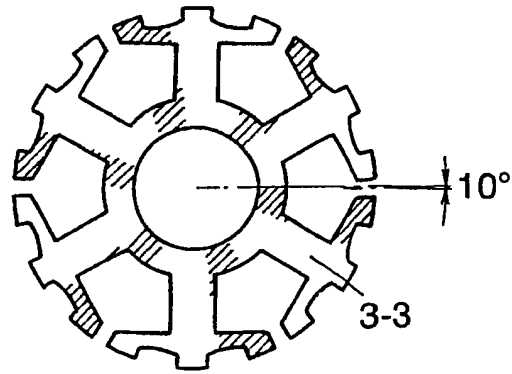


图 28D

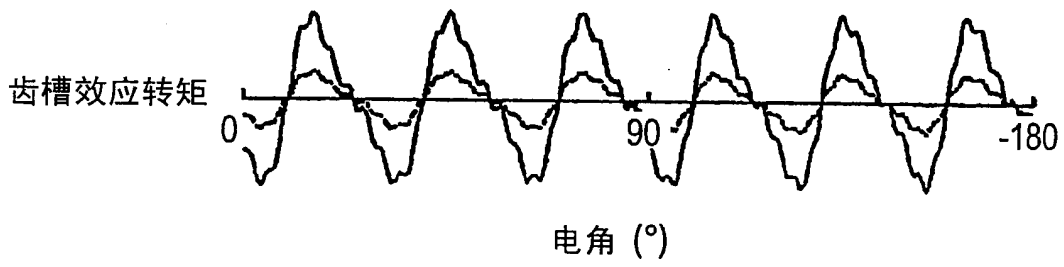


图 29A

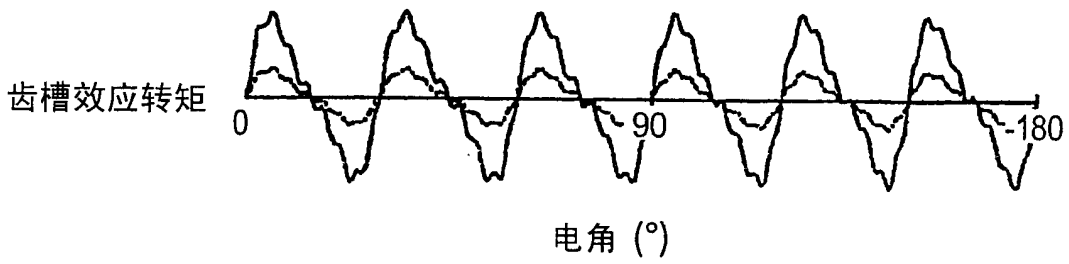


图 29B

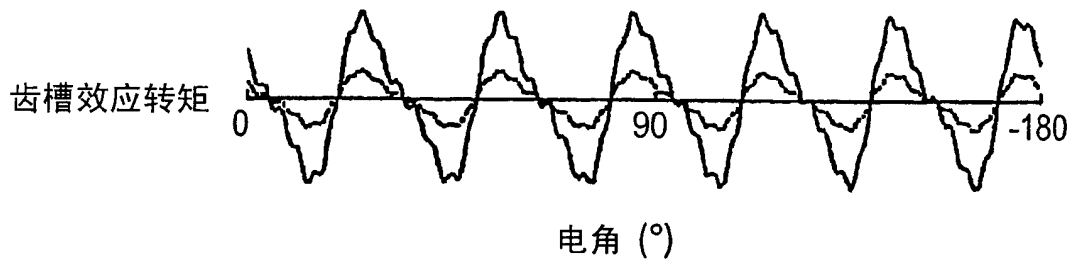


图 29C

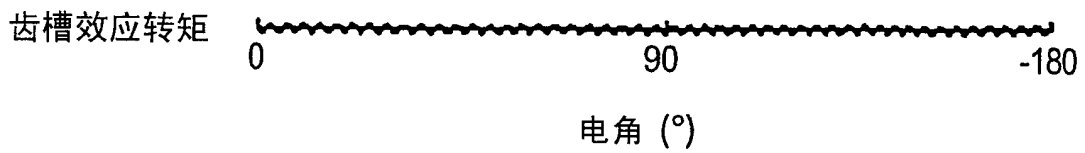


图 29D

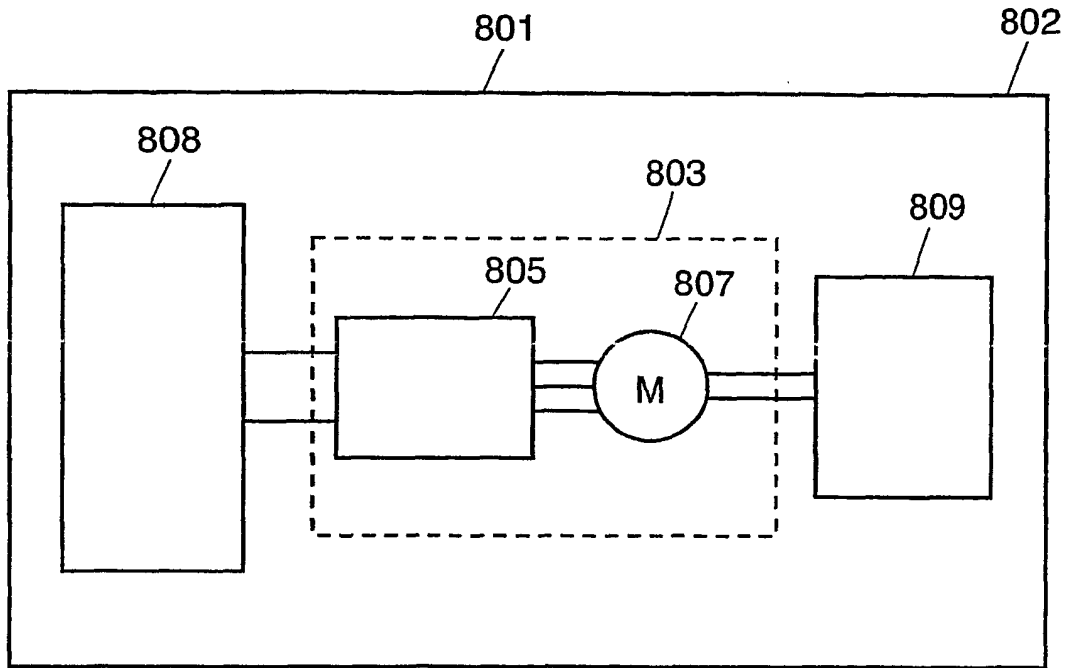


图 30

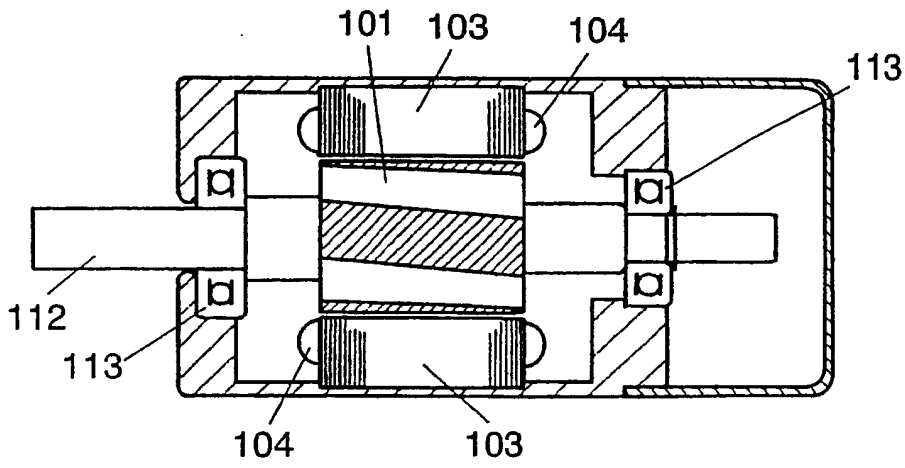


图 31A

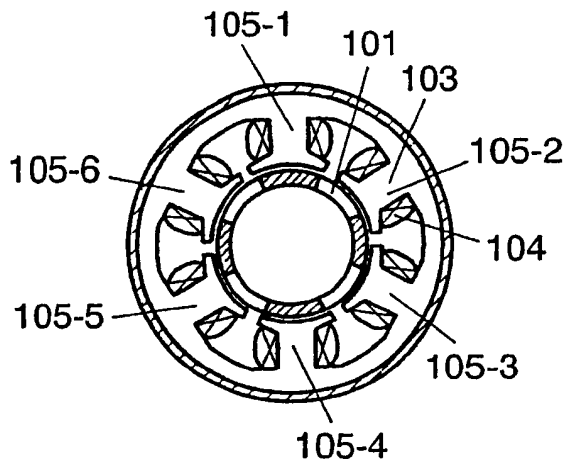


图 31B

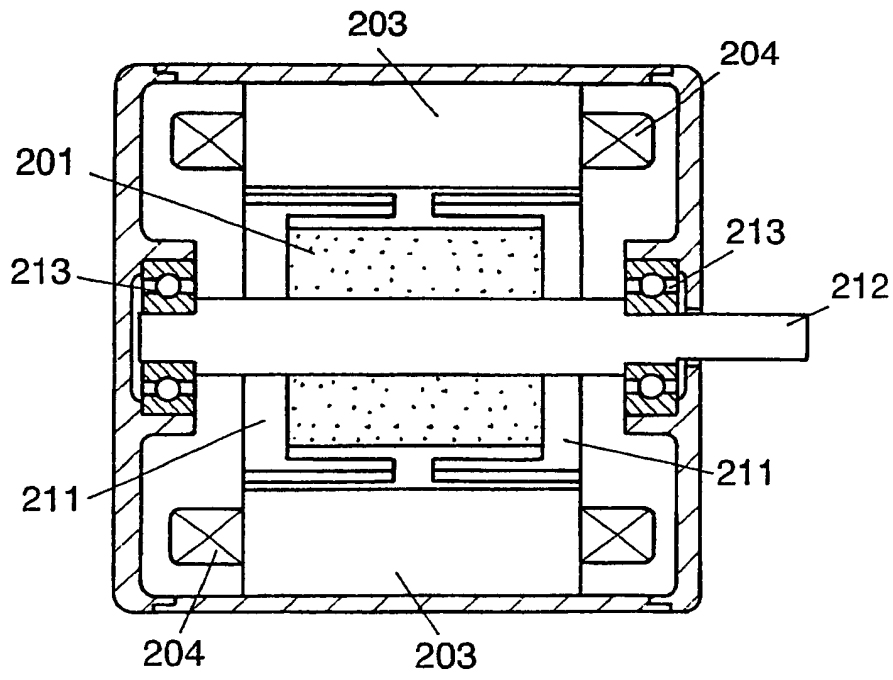


图 32A

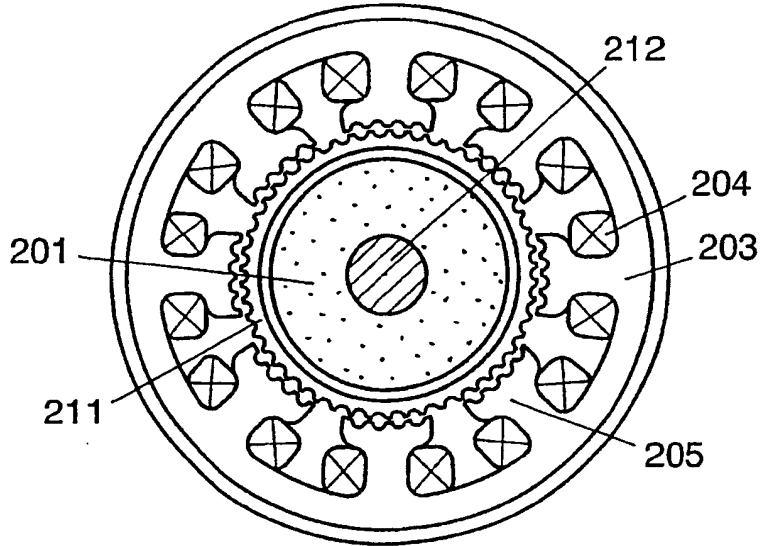


图 32B

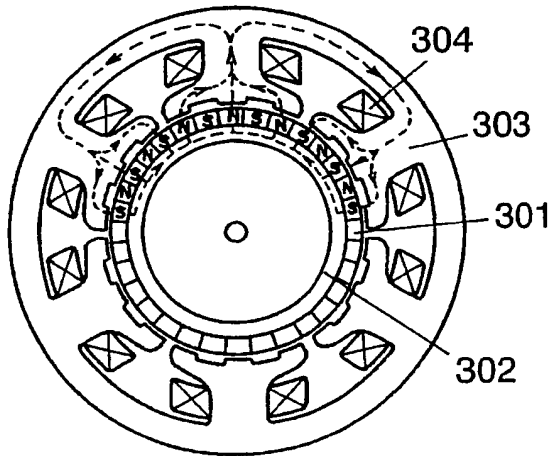


图 33A

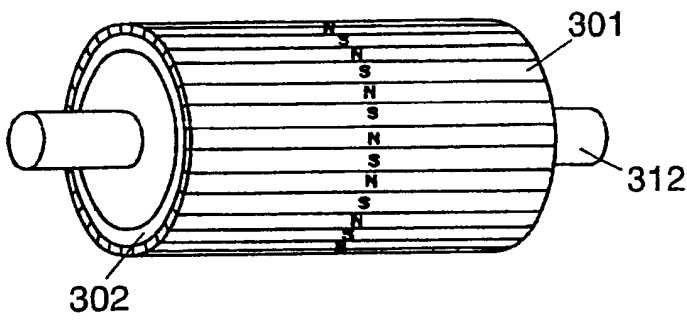


图 33B

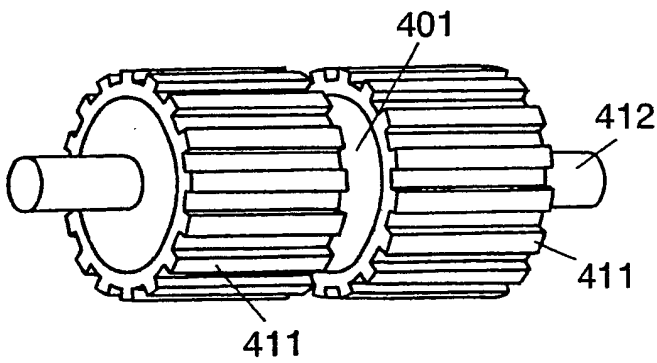


图 34

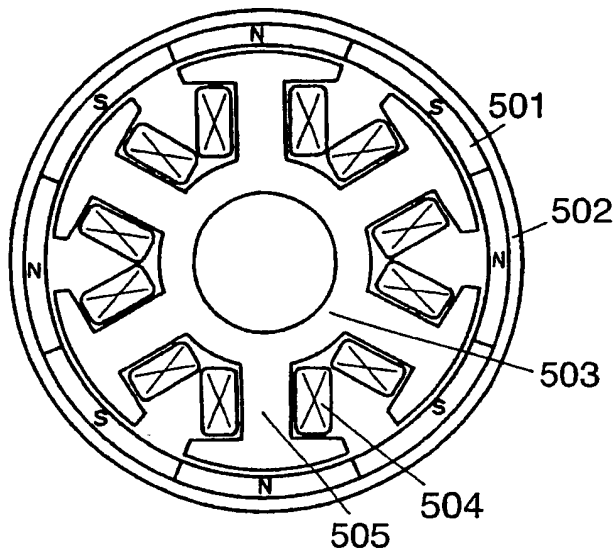


图 35

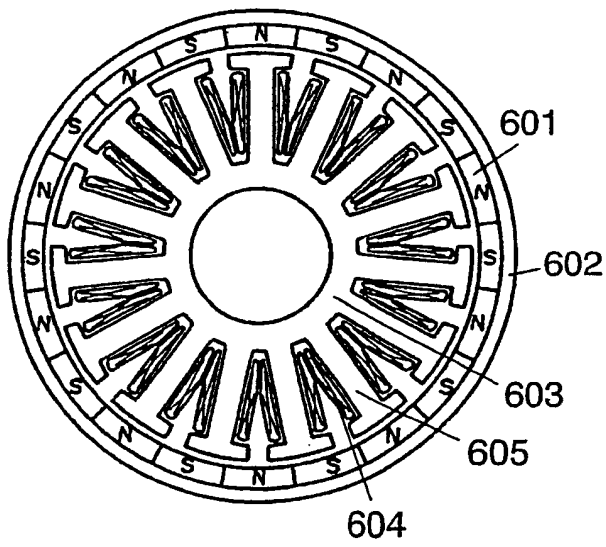


图 36

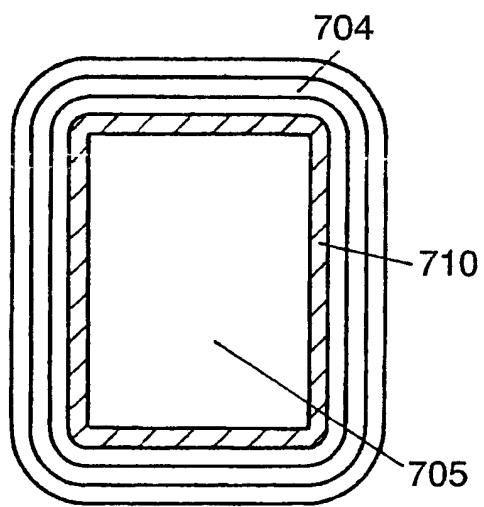


图 37

图中标号

- 1 磁体
- 2 背轭
- 3 芯体
- 4 线圈
- 5 凸极
- 6 小齿
- 8 永磁体
- 9 背轭层
- 10 转子
- 20 定子
- 30 磁性主体
- 50 绝缘薄膜
- 801 装置
- 807 无刷电机