[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H02K 1/27 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03154880.6

[45] 授权公告日 2009 年 8 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100525010C

[22] 申请日 1996.5.31 [21] 申请号 03154880.6
分案原申请号 96110043.5
[30] 优先权
[32] 1995. 5.31 [33] JP [31] 134023/95
[32] 1995. 6. 7 [33] JP [31] 140801/95
[32] 1995. 6. 7 [33] JP [31] 140802/95
[32] 1995. 6. 8 [33] JP [31] 142129/95
[73] 专利权人 松下电器产业株式会社
地址 日本大阪府门真市
[72] 发明人 本田幸夫 村上浩 楢崎和成
伊藤浩 神藤正行 浅野能成
角谷直之
[56] 参考文献
US4924130A 1990.5.8
JP799745A 1995.4.11
审查员 薛 飞
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 梁 永

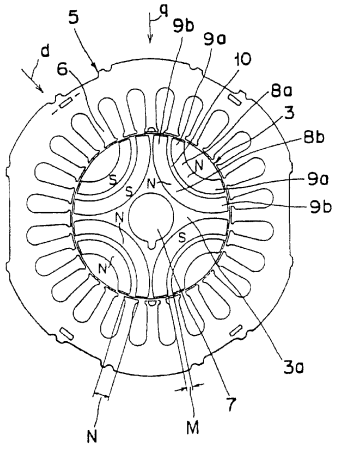
权利要求书 1 页 说明书 16 页 附图 22 页

[54] 发明名称

内装永磁铁的电动机

[57] 摘要

本发明提供了一种电动机，包括：含有绕于一个铁心的多个绕组的定子；和包括一个转子铁心和由上述定子所环绕可转动的转子；其中该转子包括多组埋置在所述转子铁心中的永磁铁，每组所述永磁铁包括沿径向布置的多个永磁铁层，各个永磁铁层之间具有间隙，所述多组永磁铁布置成在该永磁铁外周侧有交替的 N 和 S 极，各组内的永磁铁延伸为使其端部位于靠近上述转子的外周。 本发明的优点在于提供更高转矩和更高输出功率的电动机以及有改进抗退磁性的电动机。



1. 一种电动机，包括:

含有绕于一个铁心的多个绕组的定子；和

包括一个转子铁心和由上述定子所环绕可转动的转子;

其中该转子包括多组埋置在所述转子铁心中的永磁铁层，每组所述永磁铁层是沿径向布置的多个永磁铁层，各个永磁铁层之间具有间隙，所述多组永磁铁布置成在该永磁铁外周侧有交替的 N 和 S 极，各组内的永磁铁延伸为使其端部位于靠近上述转子的外周。

2. 根据权利要求 1 的电动机，其中各永磁铁层有朝上述转子中心延伸的形状。

3. 根据权利要求 2 的电动机，其中各永磁铁层的形状是朝转子中心延伸的弧形。

4. 根据权利要求 1 的电动机，其中每组永磁铁层中两永磁铁层间的间隔是恒定的。

5. 根据权利要求 1 的电动机，其中所述多组永磁铁层的数量是 4 组。

6. 根据权利要求 1 的电动机，其中所述多组永磁铁层的数量是 2 组。

内装永磁铁的电动机

技术领域

本发明涉及在其转子内装有永磁铁的电动机。

背景技术

在高导磁性材料（如铁）制成的转子中有一层永磁铁的电动机已公知。如在现有技术中的表面磁铁电动机，永磁铁加到转子表面上。

近来，环境问题已引起充分的注意。为节能用内装永磁铁的电动机，也就是说用埋在转子内的永磁铁来替代提到的表面磁铁电动机。

图 1 示出现有技术中的内装永磁铁电动机的一例。该电动机由转子 3'和定子 2 组成。在该电动机中，各有相对转子 3'中心延伸的弧形的永磁铁 17 埋在高导磁材料或硅钢片制成的转子铁心 3a'内。示于图 1 的电动机有 4 个极，且 4 组永磁铁 17 沿转子圆周方向排列成 N 极和 S 极交替的形式。该定子 2 有齿 6。

在上述电动机中，导致在各永磁铁中心与转子中心相连的 d 轴方向的电感 Ld（参见图 1）和在从该 d 轴方向转 90°由角度的 q 轴方向的电感（参见图 1）的不同。因此除永磁铁 17 的磁转矩外产生了磁阻转矩，总的转矩 T 表示在等式（1）中：

$$T=Pn\times\{\Psi a\times Iq+1/2\ (Ld-Lq)\times Id\times Iq\} \qquad (1)$$

式中 Pn 表示极对数，Ψa 表示 d 轴磁通，Ld 表示 d 轴电感，Lq 表示 q 轴电感，Iq 表示 q 轴电流和 Id 表示 d 轴电流。等式（1）表示在 dq 变换后的电压等式。电磁转矩和磁阻转矩表示为等式（1）中圆括号{和}内的第一项和第二项。

在现有技术的表面型电动机中，由于永磁体的磁导率约等于空气，电感 Ld 和 Lq 有大致相同的值，因此没有磁阻转矩产生。

相反，在现有技术的内装永磁铁的电动机中，d 轴方向相应于由永磁

铁 17 产生磁通的方向，如图 1 所示在 d 轴方向的磁通 21 贯穿有近似与空气相同磁导率的二永磁铁，因此，由于磁阻增加，d 轴电感 Ld 显著地减少。另一方面，q 轴方向的磁通 22 指向永磁铁 17 的侧面，如图 1 所示穿过该磁铁的侧面。结果，磁阻减少了，而 q 轴电感 Lq 增加了。从而 d 轴电感 Ld 不同于 L 轴电感 Lq。如施加 d 轴电流 Id，则产生磁阻转矩。

图 2 是表示出这种关系的磁通矢量图。由磁通 Ψa 与电正交于磁通方向的电流 Iq 相乘产生了电磁转矩。磁通 Ψa 是总磁通 Ψo 的 d 轴分量。类似地，磁阻转矩由磁通 Ld × Id，Lq × Iq 与正交于磁通流过的电流 Iq，Id 分别相乘而产生的。这样的二转矩之和成为总转矩 T。

总转矩 T 取决于输入电流 Io 的相位 β，这里 Iq=Io × Cos β 和 Id=Io × Sin β。图 3 示出当电流相位改变而电流值保持在 Io 时，电磁转矩、磁阻转矩和总转矩的关系。当电流相位为 0°时电磁转矩最大，而相位 β 增加其变小，在相位为 90°时其变为零。反之，当电流相位为 45°时磁阻转矩为最大值。因此，总转矩 T 在电流相位为 0-45°范围内成为最大。记号 O 表示试验得到的值，且这些值与根据等式（1）计算的值相符。这就是说，以相同的电流，在有埋入在转子内永磁铁的电动机中，实现比表面磁铁电动机更大的磁阻转矩。

其次，对有埋入转子永磁铁的现有技术的电动机的问题加以说明。在电动机中磁阻转矩得到了某种程度的利用。但如图 1 所示，在永磁铁 17 端 17a 近旁的 q 轴方向的磁通流 22 受阻且不能进入转子。磁通的大部分仅触及永磁铁 17 的外周部 18。因此，磁通量较小，q 轴电感 Lq 不能增加。

如上所述，在电感 Lq 和 Ld 间的差别越大（Ld 非常小），用相同的电流产生的磁阻转矩越大。但现有技术电动机的 q 轴电感不能增加到这样的程度，因此电感 Lq 和 Ld 间的差别也就不能做得更大。

发明内容

本发明的目的在于提供带有内装永磁铁的电动机，其高效地产生高输出。

当在带有内装永磁铁的电动机中使用一定量的永磁铁时，d 轴电感 Ld 没有大的物理上的变化。但发明人注意到如作出埋入永磁铁的设计，q 轴电感 Lq 可以增加。在本发明的一个方面，电动机包括定子和带有埋入多

组永磁铁的转子铁心的转子。永磁铁组包括多个永磁铁，多个永磁铁组在永磁铁的外周侧布置成交替的 N 和 S 极。组内的永磁铁延伸以便其端部置于靠边转子外周。由此，为磁通在外侧和内侧的永磁铁间提供了路径。这种结构尽可能地增加了 q 轴电感 Lq 且尽可能地增大了 q 轴电感 Lq 和 d 轴电感 Ld 间的差，以致以同样电流产生的磁阻转矩达到最大限度。一组的永磁铁数，例如是 2。最好各永磁铁有朝该转子中心延伸的弧形。例如，在永磁铁组中两永磁铁间的间隔是恒定的。

因此根据本发明，提供了一种电动机，包括：含有绕于一个铁心的多个绕组的定子；和包括一个转子铁心和由上述定子所环绕可转动的转子；其中该转子包括多组埋置在所述转子铁心中的永磁铁，每组所述永磁铁包括沿径向布置的多个永磁铁层，各个永磁铁层之间具有间隙，所述多组永磁铁布置成在该永磁铁外周侧有交替的 N 和 S 极，各组内的永磁铁延伸为使其端部位于靠近上述转子的外周。

其中各永磁铁有朝上述转子中心延伸的形状。

或者，各永磁铁层的形状是朝转子中心延伸的弧形。

其中每组永磁铁中两永磁铁层间的间隔是恒定的。

永磁铁组的数量是 4 组或是 2 组。

因此永磁铁端部附近磁通的集中减轻了。

在电动机中，各永磁铁的两端朝其端部斜削靠近转子外表面并垂直于转子外表面延伸。于是通过 2 永磁铁间路径的磁通得以增加。

在转子铁心中埋入各包括两永磁铁的多组永磁铁。两永磁铁之一在转子内侧其厚度较在转子外侧的两永磁铁之另外一个大 3%或更多。以不同的方式，转子内侧的永磁铁由有比在转子外侧的两永磁铁中另一个的磁材料的剩磁通密度大 3%或更多的磁材料制成。于是在后侧或内侧的永磁铁的磁通得以提高。

本发明的优点在于提供更高转矩和更高输出功率的电动机。

本发明的另一优点在于提供有改进抗退磁性的电动机。

从下述结合最佳实施例并参见附图的说明中，对本发明的这些和另外的目的和特点将会更加明白。

附图说明

图 1 是有一层内装永磁铁的惯用电劝机的剖面图;

图 2 是 d-q 变换后的磁通矢量图;

图 3 示出电流相位、电磁转矩、磁阻转矩和总转矩的关系曲线;

图 4 示出本发明的实施例的剖面图;

图 5 是图 4 的实施例的局部放大图;

图 6 是内和外永磁铁间间隔宽度与 q 轴电感关系的曲线;

图 7 是实施例中 q 轴方向磁通流的分析图;

图 8 是现有技术电动机中 q 轴方向磁通流的分析图。

图 9 是当该实施例电动机旋转时磁通流的分析图;

图 10 是当现有技术电动机旋转时的磁通流的分析图;

图 11 是所产生转矩对磁铁层数的关系曲线;

图 12 是 q 轴电感对磁铁层数的关系曲线;

图 13 是磁铁磁通对磁铁层数的关系曲线;

图 14 是关于磁铁工作点的磁铁 B-H 磁化曲线的关系图;

图 15 是第一实施例电动机部分的示意剖面图;

图 16 是永磁铁磁通分析结果的图;

图 17 是由绕组产生磁通分析结果的图;

图 18 是由永磁铁和绕组产生完成磁通分析结果的图;

图 19 是本发明第二实施例的剖面图;

图 20 是本发明第三实施例的局部剖面图;

图 21 是说明第二实施例原理的示意图;

图 22 是本发明第四实施例的剖面图;

图 23 是永磁铁 H-B 特性曲线;

图 24 是第一实施例电动机的剖面图;

图 25 是图 24 的局部剖面图;

图 26 是本发明第五实施例的剖面图;

图 27 是图 26 最主要部分放大剖面图; 和

图 28 是在 Pa 上磁通通过量对 Lm/Lt 的关系曲线。

具体实施方式

现在参见附图，其中对所有的附图相同或相应的部分用相同的标号表

示，本发明的实施例将参考附图予以详细说明。图 4 和 5 示出第一实施例有 4 极内装永磁铁的电动机。该电动机包括固着于转轴 7 上的转子 3 和装有转子 3 的定子 2。

转子 3 包括埋入在由高导磁材料制成的转子铁心 3a 内的 4 组 2 层永磁铁 8a，8b。2 层永磁铁组由外侧的永磁铁 8a 和内侧的另一永磁铁 8b 组成，4 组 2 层永磁铁 8a 和 8b 在其外周侧布置成有交替的 N 和 S 极。该内和外侧是相对于转子中心的径向方向加以确定的。以不同的方式来看，1 极的永磁铁在转子 3 的径向方向分为 2 个永磁铁 8a、8b。各就磁铁 8a 和 8b 形成转子 3 中心延伸类似的弧形，而其 2 端 9a、9b 位于靠近转子 3 的外周。外和内永磁铁 8a 和 8b 间的间隔 M 有约恒定的宽度。在图 4 中，d 轴方向是由连接各永磁铁 8a，8b 的中心和转子 3 的中心的方向加以确定的，而 q 轴是由连接相邻极间的分界和转子 3 的中心的方向加以确定的。磁通在 q 轴方向的路径 10 是通过该间隔而形成的。

定子 2 有预定数量的齿 4，和绕于其间的定子绕组 10（未示出）。当对定子绕组施加交变电流时产生旋转磁场。由此产生了作用于转子 3 的电磁转矩和磁阻转矩，以转动转子 3。

为降低在永磁铁 8a 和 8b 的磁力损耗，希望在外和内永磁铁 8a 和 8b 间的间隔 M 尽可能的小。但为增加 q 轴电感 Lq，亦希望该间隔足够大而不使其磁饱和。因此，该间隔 M 设置成约为齿 4 宽度 N 的一半，以便由在定子绕组流过电流产生的磁通不饱和。

用示于图 6 关于间隔 M 和 q 轴电感 Lq 的试验数据来加以说明。如间隔 M 小于齿 4 宽度 N 的 1/3，q 轴电感迅速变小。另一方面，即使间隔 M 大于齿 4 宽度 N，q 轴电感 Lq 也难以改变。由此试验数据，最好外和内永磁铁 8a 和 8b 间的距离，即间隔 M 大于定子 2 齿宽 N 的 1/3。

为把磁通提高到尽可能的大，在内侧的永磁铁 8b 构造成在极距（90°，如按本实施例有 4 极）范围内尽可能的大。另一方面，为有效地利用电磁转矩，相邻永磁铁 8a 和 8b 间的间隙 s（图 5）尽可能小以消除漏磁通。从成本的角度看，最好把外和内永磁铁 8a，8b 设计成一极的磁铁量保持不变。

在上述结构中，电动机运转时没有磁饱和的形成了在 q 轴方向流通的路径 10。因此，q 轴电感 Lq 可增加到最大。与此同时，通过利用与现有

技术有一层内装永磁铁的电动机有大约相同的磁铁量，d 轴电感 Ld 做成与现有技术电动机一样的小。换句话说，在通过利用相同的磁铁量 d 轴同感 Ld 不改变的同时，q 轴感 Lq 增加了 15%或更多（图 11），以便由 q 轴电感 Lq 和 d 轴电感 Ld 间的差引出的磁阻转矩可利用到最大限度。其次，该电动机有合适的结构，以在用相同电流驱动电动机时，最大限度地利用电磁转矩和磁阻转矩二者。在上述实施例中，各永磁铁 8a 和 8b 形成为朝转子中心延伸的弧形。但该永磁铁可有另外的形状，如朝转子中心延伸的凹入的 U 形。在本实施例中虽然各永磁铁 8a，8b 到端头 9a、9a 都是永磁铁，其端头 9a、9a 可以包括空隙（空气层）或可以是由合成树脂填充的层。

本实施例电动机的性能可进一步加以说明。如上所述，在第一实施例的电动机中，在外和内永磁铁间提供了磁通的路径。其次减小了磁阻以显著地增加了 q 轴电感 Lq。显然由于电感 Ld 和 Lq 间差的增加，以相同电流更有效地产生了磁阻转矩。

图 7 和 8 分别示出在有埋入 2 层磁铁的本发明电动机和有一层埋入磁铁的现有技术电动机中，在 q 轴方向磁通如何容易地流动。如图 8 中所示，在用一极中一磁铁的现有技术电动机中，磁铁 17 是厚的且因此其端头 17a 阻碍由定子绕组所产生的磁通 11 进入转子。另一方面，如图 7 所示，在有埋入 2 层磁铁的本实施例电动机中，由于在外永磁铁 8a 和内永磁铁 8b 间存在磁通的路径 10，由定子绕组的产生的磁通 11 不受该永磁铁的阻碍，而平稳地穿过路径 10 到达在对侧的出口 12。换句话说，在现有技术和本发明间磁通流的这种差别与 q 轴电感 Lq 的大小成正比，本实施例的电动机便于磁通的有效通过而有较大的 Lq。

图 9 和 10 分别是当电动机用同量电流以 K 方向实际转动时，在本发明电动机和现有技术电动机中磁通流和磁通量的图。发现电感 Lq 的上述差别使在本实施例电动机（图 9）较现有技术电动机（图 10）中有可能产生更多的磁通。这就是说由于更多的磁通产生了更大的转矩。

图 11 示出所产生转矩与磁铁层数的关系的试验数据。以恒定电流和恒定转速对额定输出 750W 电动机的转矩加以测量。如上述在 9 轴方向的磁通流过在两层结构中的内和外永磁铁之间。磁阻的减少较一层磁铁的现有技术电动机更多，导致产生更大的 q 轴电感 Lq。同时，因为使用了相同

的磁铁量（和 d 轴电感 Ld 亦非常小），d 轴电感 Ld 很难改变。q 轴电感 Lq 和 d 轴电感 Ld 间的差于是增加，这就增加了以同样电流产生的磁阻转矩。于是磁阻转矩和电磁转矩之和的总转距增加了约 15%。

但如图 11 所示，如永磁铁层数进一步增加到 3 或 4 层，该总转矩反而减小。

图 12 示出磁铁层数和 q 轴电感 Lq 间关系的试验数据。当层数从 1 变到 2 时，q 轴电感 Lq 增加约 50%。但当磁铁层数进一步增加到 3 或 4 时，Lq 稍有增加，或者说不如当层数从 1 变到 2 时那样有利。这就意味着当磁铁层数布置成 3 或更多层时，q 轴电感 Lq 变化没达到形成在分为二层的永磁铁间的 q 轴方向用于磁路的路径不饱和的程度。

另一方面，在示于图 13 的实施例中，当永磁铁布置成 2 层时，由永磁铁产生的磁通最高，反之，在其它情况下该磁通较低。换句话说，当磁铁层数增加时，在 q 轴方向的磁通易于通过，以致 q 轴电感 Lq 增加。但如层数是 3 或更多，各永磁铁变薄，因此永磁铁的工作点变低，因此产生磁通的量减少。其次如图 11 的清楚显示，由磁铁磁通产生的电磁转矩和由 q 轴电感 Lq 和 d 轴电感 Ld 间的差产生的磁阻转矩之和决定的总转矩，在磁铁分为 2 层时为最大，而当磁铁层数小于 2 或大于 2 时总转矩减小。

等式（2）示出磁导系数 P 的计算公式，它决定了磁铁的工作点。

$$P=(Lm\times Ag\times K_f)/(Lg\times Am\times Kr) \qquad (2)$$

式中 Lm 表示磁铁的厚度，Lg 表示气隙长度，Am 表示磁铁的截面积，Ag 表示气隙的截面积，K_f 表示磁势的损失系数，和 Kr 表示漏磁系数。如气隙长度 Lg，气隙截面 Ag（磁势损失系数 K_f 和漏磁系数 Kr 保持不变时，磁导系数 P 正比于磁铁厚度 Lm 而反比于磁铁的截面 Am。图 14 示出永磁铁的 B-H（磁通密度-磁场）曲线。现有技术一层磁铁的工作点是由在 B_2 点的磁密所决定的。在两层磁铁的情况下，磁铁厚度 Lm 降低了而截面积 Am 增加了，因此工作点 B_1 与 B_2 没有不同或稍有增加。另一方面，如磁铁数是 3 或更多，厚度 Lm 的减小变得更有影响，工作点降至 B_3。

总起来说，在转子中有埋入永磁铁的电动机中，为利用磁阻转矩增加在 q 轴电感 Lq 和 d 轴电感 Ld 间的差，每一极布置成 2 层永磁铁的结构最有利，对利用等式（1）表示的电磁转矩和磁阻转矩最有效。另外，由相同

电流产生的转矩增大了，且也大大地改善了电动机的性能。

另外，当按本实施例永磁铁布置成 2 层时，磁通穿过定子 2 齿 4 到转子 3 沿形成在内和外永磁铁 8a、8b 间的路径 10 平滑地导至另外的齿 4。其次，永磁铁 8a、8b 防止退磁或其改善了永磁铁的抗退磁性。与此相反，现有技术表面磁铁电动机或现有技术有内装一层磁铁的电动机存在退磁问题。这就是说在 q 轴方向的磁通从齿 4 流到转子 3 势必影响永磁铁，因此该永磁铁经受退磁。

然后来说明本发明的第二和第三实施例。在第一实施例的电动机中，如图 15 所示，在永磁铁 8a 和 8b 间的间隔 3b 是恒定的。由埋入在转子铁心 3a 的永磁铁 8a，8b 产生的磁通和由定子 2 绕组产生的磁通相叠加的磁通，势必产生永磁铁 8a，8b 在转子 3 旋转方向 R 的领前侧的端头 9a、9b 的间隔或间隙 3b 处集中的问题。下面参见图 16-18 来加以说明。图 16 示出仅由永磁铁 1、2 形成的磁通分析。图 17 示出由定子 2 绕组 10 产生的磁通，其中永磁铁被看作磁气隙 8c。图 18 示出由永磁铁 8 和绕组 10 产生的合成磁通。磁力线位于永磁铁 8a，8b 在图 15-18 示出转子 3 旋转方向 R 的领前侧的端头 9a、9b 的各间隔 3b 处调整地聚集。图 18 中用 5 标出的空白示出齿 4 间的间隔。磁通在间隔 3b 处的集中引起铁损的增加，使转子铁心 3a 发热甚至降低该电动机的效率。

另外，在第一实施例的电动机中，2 层永磁铁 8a、8b 基本上相互平行地隔置。因此，二永磁铁 8a、8b 在转子 3 表面相当的磁通仅由转子铁心 3a 外侧的永磁铁 8a 的外周侧的表面积来决定，这就是说位于永磁铁 8a 内侧的永磁铁 8b 两端 9b 处的电磁转矩并未充分利用。

在这些情况下，希望减小在二永磁铁端之间位于旋转方向 R 前侧间隔 3b 处所产生磁通的集中并提高电动机的效率。

在本发明的第二实施例中，为解决这些问题，在有效利用电磁转矩和磁阻转矩的同时，把有永磁铁的转子以减小在特定位置处磁通的集中来设计。图 19 表示了本发明第二实施例的电动机。该电动机包括固着于转轴 7 的转子 3 和装有转子 3 的定子 2。转子 3 包括埋入在其转子铁心 3a 中的 4 组永磁铁 8a，8b。用作磁极的各组永磁铁 8a，8b 在转子 3 径向方向它们之间以间隔 3b 隔置。各组永磁铁 8a，8b 相邻以 S 和 N 极交替布置。且在

各组中的永磁铁 8a，8b 在其外周表现有相同的极性。在第一实施例中，所有的转子外侧永磁铁 8a 和内侧永磁铁 8b 有转子向心方向的弧形。

各组永磁铁 8a 和 8b 端部 9a、9b 间在转子 3 旋转方向 R 的领前侧的间隔 3b 有宽于其它部分的宽度 W，而在永磁铁另一端的间隔有较小的宽度 X。

同时定子 2 有多个齿 4，在其内设置有绕组 10。当电流施加于绕组 10 时产生旋转磁场。

在上述电动机中，转子 3 涂有高磁导磁铁的主体 3a，因此在接受自绕组 10 产生的旋转磁场时易于通过磁通，低磁导率的磁铁 8（8a，8b）使磁通不容易通过。与此同时，如图 19 所示，转子 3 示出通过各组永磁铁 8 中心的径向方向之 d 轴方向电感，和与该 d 轴 90°电角度相交之 q 轴方向电感。

在该电动机中，由绕组 10 产生的流通不让在图 19 的 d 轴方向通过，由此显著地降低了该电感。另一方面，在与 d 轴方向有电角度正交的 q 轴方向，内和外永磁铁 8b 和 8a 的间隔处产生了磁路。因此，便于磁通通过而增加了电感，或有效地利用了磁阻转矩。在图 19 中所示的 Pa 方向亦形成了磁路。

在示于图 4 的第一实施例中，当转子 3 以 R 方向旋转时，永磁铁 8a 和 8b 在转子旋转方向 R 领前侧的端部 9a 和 9b 的间隔 3b（有宽度 X）处磁通集中且易于饱和。与此相反，根据本发明，因为永磁铁 8a 和 8b 在旋转方向 R 领前侧的端部 9a 和 9b 间的间隔 3b 设置为如图 19W 表示有更宽的宽度，磁通在间隔 3b 处的集中得以缓解。

在本实施例中，转子 3 的旋转位置和转数预先由霍尔装置或编码器（encoder）加以检测。为产生大的磁阻转矩和大的电磁转矩，相应于转子 3 转速频率并有相移的交流加到定子 2 的绕组 10，以便该电流在从 q 轴稍有相移的位置处有峰值。

在根据第二实施例的上述电动机中，如上所述，在转子旋转方向领前侧的间隔的扩宽可防止所产生磁道的集中是有利的。另外，当以 2 层埋入的各永磁铁有朝转子中心延伸的弧形时，关系到磁阻转矩的磁通沿该弧形平滑地引导在永磁铁间。因此与磁路形成有关的磁阻得以减小，从而改善

了电动机的效率。

其次，本发明的第 3 实施例参照图 20 和 21 来加以说明。如图 20 所示，在第 3 实施例中，在 2 层中内侧的永磁铁 8b 的曲率中心 Rb 设置成比在外侧的永磁铁 8a 的曲率中心 Ra 更远离转子 3 的圆心。由此永磁铁 8a、8b 端部 9a、9b 间的各间隔 3b 张开的形成。除此而外，第二实施例的结构为第二实施例所共有，图 20 所示电动机中共有的部分以相同的标号表示，这里省去了相应的说明。

在第 3 实施例中，永磁铁 8a 和 8b 在旋转方向 R 领前侧端部 9a、9b 间的各间隔 3b 保持宽度 W，或该间隔在转子的领前侧在任何时候是宽的，不管转子 3 的旋转方向，即无论转子 3 是向前或向后旋转。如同第 2 实施例，磁通在间隔 3b 的集中于是减小，铁损也得以降低。如图 21 所示，由永磁铁 8b 在图 21（参见（a））用阴影线表示的部分 9c、9d 还可增加磁通。换句话说，如图 21（b）所示，由永磁铁 8a 在侧面产生的磁道 N 由布置在上述永磁铁 8a 后侧且如永磁铁 8a 有相同的表面积的永磁铁 8b 在中心部形成的磁通 N 所补充。同时，如（c）所示，在磁铁 8b 两端 9c、9d 产生的磁道直接到达转子 3 的表面。由此，除外侧永磁铁 8a 表面积外，内侧和磁铁 8b 两端的表面积也有效地加入磁铁作用。于是由永磁铁 8a 的磁道和由两端 9c、9d 的磁道之和输出到转子 3 的表面。因此由于永磁铁 8 的有效表面积增加了，磁通量也有效地增加了，以致产生了更强的电磁转矩。

在第 2 和第 3 实施例中，运用了 4 组永磁铁 8a，8b，但这些组的数量可以不同于 4。而且永磁铁 8 的形状不限制于朝转子中心延伸的弧形。尽管各永磁铁 8a、8b 都由永磁铁制成直到端部 9a、9b，但其端部 9a、9b 可是空隙（空气层）或由合成树脂制成。这就是说，这些实施例基于其精神可以各种方式改进，其亦在本发明的范围内。

其次，下面要说明为解决第 1 实施例电动机另外问题的本发明的第 4 和第 5 实施例。在第 1 实施例的电动机中，为有效利用磁阻转矩，在永磁铁 8a 和 8b 间提供间隔用于磁通在这里穿过。如图 16 所示，从内侧永磁铁 8b 两端出来的磁通不进入外侧永磁铁 8a，这就是说在外侧永磁铁 8a 的两端没补充。外永磁铁 8a 缺少整体上内永磁铁 8b 的补充。影响电磁转矩的外侧永磁铁 8a 的磁通量于是减少了，因此降低了总的电磁转矩。

对本发明第 4 实施例电动机将予以详细的说明。图 22 是本发明第 4 实施例电动机的剖面图。该电动机包括固着于转轴 7 的转子 3 和装有转子 3 的定子 2。转子 3 包括埋入在铁制转子铁心 3a 中的 4 组永磁铁 8a 和 8b。用作磁极的各组永磁铁 8a、8b 在转子 3 径后方向以它们之间间隔形成为 2 层。永磁铁组 8a、8b 设置成彼此相邻而有 S 和 N 极交替布置。但各组 2 层永磁铁 8a、8b 在其外周有相同极性。外和内永磁铁 8a、8b 都形成类似的朝转子 3 圆心延伸的弧形。两层结构布置的外和内永磁铁 8a、8b 其间以恒定距离相互平行。注意，如图 22 中所示，在转子 3 径向方向，内永磁铁 8b 有厚度 Wb，而外永磁铁 8a 有较 Wb 小 5%的厚度 Wa。

另一方面，定子 2 包括多个齿 4。绕组 10 设置在齿 4 之间。通过对绕组 10 施加交流而产生旋转磁场。

图 23 是 H（磁场）-B（磁通密度）特性图，这里纵座标代表磁通密度 B，横座标代表磁场 H。永磁铁 8a、8b 由有图 23 所示去磁曲线 11 的钕铁磁铁制成。外磁铁 8a 的工作点 K_1 位于连接剩余磁通密度 Br 和矫顽力 Hc 的直线上。由于内永磁铁 8b 比外永磁铁 8a 厚，该内永磁铁 8b 的工作点升到更高的位置 K_2。

在图 23 中 K_1 和 K_2 间的差 P 表示在磁通密度 B 方面的差。在第 4 实施例中，K_2 比 K_1 大近 4%。

如上所述，由于在内永磁铁 8b 的磁通密度较外永磁铁增加了约 4%，有足够的磁通量加到外永磁铁 8a，于是即使有部分磁通漏泄也足以补充外永磁铁 8a。

如上述，在根据第 4 实施例的电动机中，各永磁铁形成为朝转子中心延伸的弧形，且两层永磁铁在转子内侧的永磁铁厚度制成转在转子外侧的永磁铁大 3%或更多。在厚度上的差有助于提高确定在后侧永磁铁磁通密度的工作点。于是与第 1 实施例电动机相比，由于内侧永磁铁磁通密度得以增加。因为内侧永磁铁的充分补充，即使在外侧永磁铁 8a 两端，第一实施例的问题也得到了解决。通过本实施例提供的有永磁铁的转子由此有效地利用电磁转矩。但，如内周侧永磁铁厚度的增加小于外侧永磁铁 3%，补充效果不充分。下面将说明本发明的第 5 实施例。在本实施例中内和外永磁铁 8b、8a 形成有相同的厚度。只要该形状是相关的，本实施例与图 19

所示第 4 实施例是相同的。但本实施例有这样的特点，外永磁铁 8a 是铁氧体磁铁而内永磁铁是钕铁磁铁。

在图 23 中，标号 11、12 分别代表钕铁磁铁（永磁铁 8b）和铁氧体磁铁（永磁铁 8a）的 H（磁道）-B（磁道密度）特性。从图 23 可清楚看出，钕铁磁铁 11 的剩磁通密度 Br 约 3 倍于铁氧体磁铁 12 剩磁通密度 Br'。外永磁铁 8a 有由图 23 工作点 K_3 决定的磁通密度，由永磁体 8b 有由图 23 工作点 K_1 决定的磁通密度。

K_1 和 K_3 间的差 Q 代表内和外永磁铁 8b，8a 磁通密度的差。内永磁铁 8b 有近两倍或更大于外永磁铁 8a 的密度。

于是，甚至当内和外永磁铁 8b，8b 有相同的厚度，如由更大剩磁通密度 Br 材料制成的永磁铁布置在后侧（内侧），类似于第 4 实施例，外永磁铁 8a 能得到充分的补充。

如上述，在本发明第 5 实施例的电动机中，两层结构的永磁铁由彼此间剩磁通密度差别在 3%或以上的磁铁材料制成，且有更大剩磁通密度的永磁铁布置在后侧（内侧）。如与第 1 实施例电动机相比，类似于第 4 实施例，由于后侧永磁铁磁通密度得以增加。因此由本实施例提供的有永磁铁的电动机有效地利用了电磁转矩。

但如内侧永磁铁剩磁通密度的增加小于外侧永磁铁的 3%，补充效果不充分。

虽然 4 极永磁铁 8 使用于第 4 和第 5 实施例中，但使用的极数可以不是 4。尽管在第 5 实施例中使用了铁氧体磁铁 12 和钕铁磁铁 11 作为有不同剩磁通密度的磁铁材料，但亦可使用其它类型的结合，如钴磁铁和铝镍钴磁铁。另外，同样系列但有不同剩磁通密度的磁铁可以结合。而且在第 4 和第 5 实施例中的各永磁铁 8a 和 8b 通常都由永磁铁制成直到其端部，该端部可以是气隙（空气层）或由合成树脂层制成。另外，第 4 和第 5 实施例的特征可以结合。换句话说，本发明并不局限于第 4 和第 5 实施例，可以根据其精神以各种方式改进，它不应排除在本发明的保护范围之外。

其次来说明根据本发明的第 6 实施例。首先说明通过第 6 实施例要解决的问题。图 24 示出第 1 实施例的电动机，其中为有效利用磁阻转矩，转子有 2 层永磁铁。根据第 1 实施例，4 组 2 层永磁铁 8a 和 8b 其间在转子 3

径向方向有间隔地埋入在转子铁心 3a 中。各组永磁铁 8a、8b 在其外周侧有相同的极性。在转子中的内和外侧的各永磁铁 8a、8b 形成为类似的朝转子中心延伸的弧形。

该外和内永磁铁 8a 和 8b 设置成其间保持恒定距离的同心圆。因为 2 层永磁铁 8a、8b 有朝转子圆心延伸的弧形，其端部 9a、9b 变成约垂直于转子表面。

如图 24 和 25 所示，各永磁铁 8a、8b 在其所有长度上有相同的宽度，该永磁铁的前端面 15a、15b 是扁平的。另外，彼此相邻的内永磁铁 8b、8b 在到达前端面 15b、15b 前在点 16、16 以距离 g 成为最接近处，且其在前端为类似扇的开口。

第 1 实施例电动机转子 3 由包括电磁转矩和磁阻转矩的同步转矩在 R 方向所转动。电磁转矩由在定子 2 齿 4 绕组 10 产生的旋转磁场和由永磁铁 8a、8b 产生的磁场所引起，而磁阻转矩是由在转子铁心 3a 的表面和在内和外永磁铁 8b 和 8b 的间隔形成上述旋转磁场的磁路所产生的。

在第 1 实施例的上述电动机中，得到磁阻转矩的最有效磁通是沿示于图 3 的磁路 Pa 建立的。换句话说，在磁通从一齿 4 到另一齿 4 流动中，穿过外永磁铁 8a 后表面磁通的密度越高，所产生的磁阻转矩越大。

但形成磁空间的永磁铁 8a、8b 的端面 15a、15b，在转子 3 置于示于图 25 所在旋转位置时其间以可观的距离与齿 4 相对。结果在该位置磁路 Pa 被过份弯曲了，且在磁路 Pa 的磁阻最后增大了。于是在磁路 Pa 的磁通密度被可观地降低，使其不可能产生足够的磁阻转矩。

另外，在第 1 实施例的电动机中，在内侧彼此相邻的永磁铁 8b 变为靠得最近的该点 16、16 位于距转子 3 外周可观的内侧。穿过永磁铁间隔的相当磁通在点 16、16 距离 g 处受阻，且在点 16、16 外侧的扇状部成为死区 7。死区 7 的存在从产生足够的电磁转矩和磁阻转矩的观点看不是可取的。

下面对解决了这个问题的本发明第六实施例给予充分的说明。图 26 示出第六实施例的电动机 3。该电动机包括固定于转轴 7 的转子 3 和装有转子 3 的定子 2。转子 3 包括在转子 3 径向间隔开的四组两层永磁铁 8a 和 8b。该四组永磁铁在转子 3 圆周向以恒定距离埋入在转子 3 的转子铁心 3a

中。四组永磁铁 8a、8b 彼此相邻以 N 和 S 极交替布置。而且永磁铁 8a、8b 在其外周侧设置成有相同极性。外和内永磁铁 8a、8b 形成类似的朝转子中心延伸的弧形。组内的外和内磁铁 8a、8b，在它们间除其端部 9a、9b 外，以近恒定的距离平行布置。

永磁铁 8a、8b 的端部 9a、9b 为楔形，该端部朝转子 3 外表面变薄。它们近似垂直于转子 3 的表面。外永磁铁 8a 的端部 9a 在其两侧被切以形成变窄的顶端。另一方面，内永磁铁 8b 端部 9b 这样形成，永磁铁 8b 和在内侧靠近前一永磁铁的另一永磁铁 8b 的外表面在其间以恒定的距离 g 在转子 3 径向彼此平行地延伸（参见图 27）。而且该永磁铁 8b 端部 9b 在内侧被切成仅在其内表面侧变窄。图 27 示出该切开部 17。

因为如上述端部 9a、9b 变窄，永磁铁 8b、8a 的前端在内侧和在外侧可延伸到转子 3 表面附近的位置，而没有转子铁心 3a 强度的减弱。

定子 2 提供了多个齿 4，以绕组 10 绕于其间。当交流加到绕组 10 时产生旋转磁场。由于该旋转磁场转子 3 以图 26 的 R 方向转动。在图 26 中，为产生磁阻转矩最有效的磁通流通路径指示为 Pa。

如图 27 所示，在本实施例中，关系式满足:

$$Lm1=0.4\times Lt$$

和 $Lm2=0.4Lt$

其中 Lt 表示齿 4 前端间的宽度，Lm1 表示外永磁铁 8a 前端的宽度，而 Lm2 表示内永磁铁 8b 前端的宽度。二永磁铁 8a、8b 前端的宽度 Lm1、Lm2 最好不大于 $0.7\times Lt$。

图 28 示出永磁铁 8a、8b 前端宽度 Lm（=Lm1=Lm2）和齿 4 前端宽度 Lt 的比例 Lm/Lt 和在磁路 Pa 中流过磁通量的关系。如 Lm/Lt 不大于 0.7，磁通量成为预定值或更高，且它是稳定的。

根据本实施例，满足关系:

$$Ls=1.5\times Lk$$

其中 Lk 代表内和外永磁铁 8a、8b 前端间的间距，和 Ls 代表齿 4 的齿距，如图 2 所示。最好间距 Lk，Ls 保持由等式（3）或（4）所表示的关系:

$$1.3\times Ls\leqslant Lk\leqslant 1.7\times Ls \qquad (3)$$

或

$$1.3\times Lk\leqslant Ls\leqslant 1.7\times Lk \qquad (4)$$

其中 Lk 表示转子内周侧永磁铁和转子外周侧永磁铁的前端的间距，和 Ls 表示定子齿的齿距。最好是永磁铁 8a、8b 的前端面 15a、15b 与齿 4 前端不要同时一致。

尽管在第 6 实施例用了组永磁铁 8a、8b，但允许使用不同的组数。另外，尽管在第 6 实施例各永磁铁 8a、8b 都由永磁铁制成直到端部 9a、9b，该端部可以是气隙（空气层）或由合成树脂层制成。永磁铁 8 不受两导结构的限制，可以形成为 1 层或 3 层或更多层。而内和外永磁体 8a、8b 前端的间距设置为保持 Ls=1.5，可以采用不同于该实施例的间距，如满足 Ls=Lk 按第 1 实施例示于图 24。尽管在本实施例的电动机中永磁铁 8a、8b 前端在其侧面被切去而变窄，但该前端可倒圆成类似圆顶。换句话说，本发明不受上述实施例的限制，可基于其目的以各种形式加以改进，这都属于本发明的保护范围。

这里对本实施例的优点进一步说明。因为各永磁铁 8a、8b 的二前端在靠近转子 3 表面位置变窄且与转子 3 表面约成直角的埋入，甚至当转子 3 转到如图 25 所示旋转位置时，有效产生磁阻转矩的磁路 Pa 的磁通密度维持是高的。这就是说由于永磁铁 8a、8b 的相对表面在其前端变窄，在磁路 Pa 的磁通即使定子 2 齿 4 处于对着永磁铁 8a、8b 端的位置亦平稳地引入到转子 3。因此如与第一实施例相比，有效地产生了磁阻转矩。

因为永磁铁 8a、8b 变窄的前端宽度 Lm 不大于定子齿 4 前端的宽度 Lt 的 70%，更多的磁通被导入到磁路 Pa，以致上述运行可完成得更加有效（参见图 28）。

当永磁铁 8a、8b 其间有一定距离在转子 3 径向以 2 层埋入，且各永磁铁 8a、8b 两端在转子 3 内侧被切而主要在其内表面变窄时，更多的磁通导入在内和外永磁铁 8a、8b 间，因此在对磁阻转矩的产生起有效作用的磁路 Pa 上的磁通密度增加了，而显然得到了大的磁阻转矩。

在两层结构中，如内和外永磁铁 8a、8b 在前端部分的间距 Lk 是相应于等式（2）中齿 4 间距 Ls 的 1.3-1.7 倍，或如 Ls 设置成是 1.3-1.7 部 Lk，因此不使二永磁铁的前端而与齿 4 前端面同时一致，从齿 4 的磁通可平衡地导入在内和外永磁铁 8a、8b 间，以致产生大的磁阻转矩。

如相邻永磁铁的二端的外表面大致相互平行在转子 3 径向方向延伸，

永磁铁和相邻上述永磁铁的另一永磁铁的端部的间隔为不变，由此消除了死区。如二端的间隔设置得小，小于第 1 实施例最小距离 g，则有效产生永磁铁电磁转矩的表面区域扩展了。另一方面，如二端的间隔设置成大于该最小距离 g，在该间隔中的磁通量增加了，以致增加了产生的磁阻转矩。

根据本实施例，即使在转子处于第一实施例难于利用磁阻转矩的旋转位置时，在转子内亦形成磁通流动，以便于产生磁阻转矩。由此本实施例提供了有效利用磁阻转矩的有永磁铁的转子。

虽然对本发明已结合最佳实施例并参见附图做了充分说明，要指出的是对所属领域技术人员来说显然就此可作出各种变化和改进。应当明白这些变化和改进都包括在本发明由所附权利要求所限定的保护范围之内。

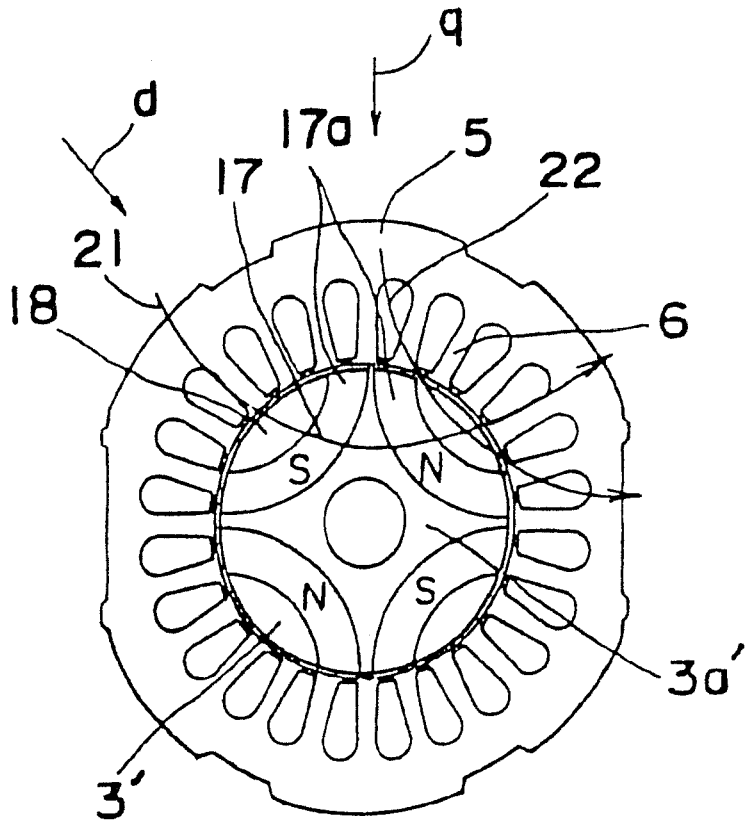


图 1

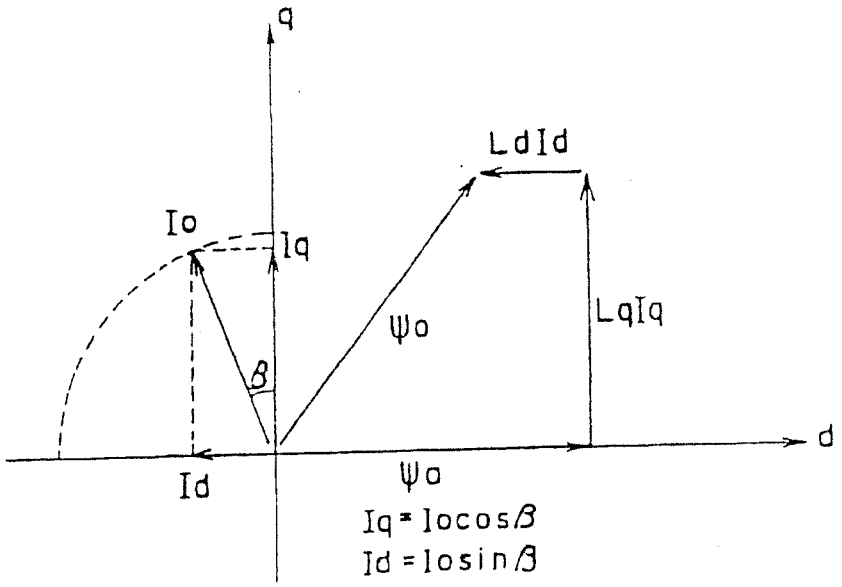

q
LdId
Io
Iq
LqIq
ψo
β
d
Id
ψo
Iq = Iocosβ
Id = Iosinβ

图 2

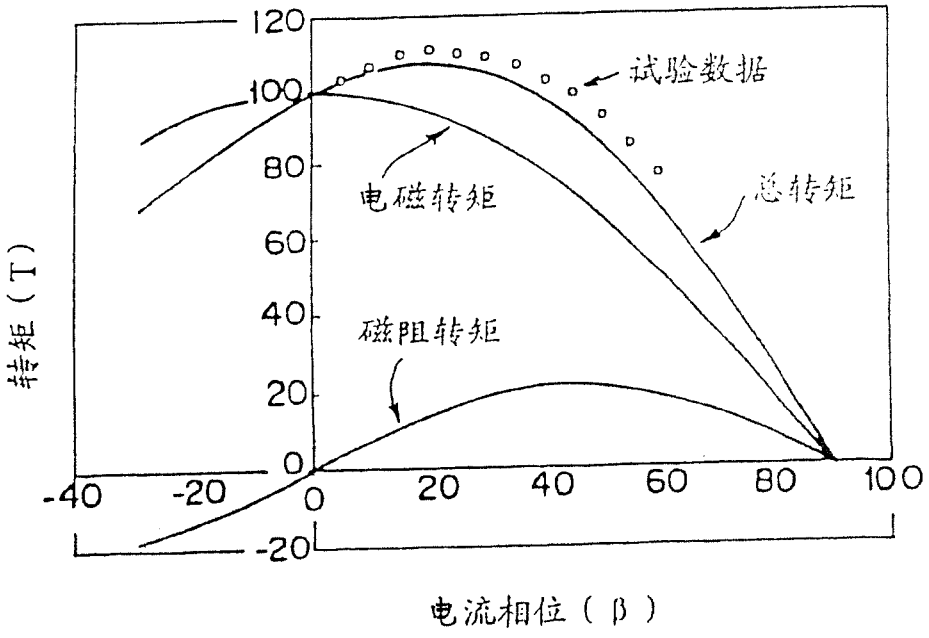

120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-20
0
20
40
60
80
100
试验数据
电磁转矩
总转矩
磁阻转矩
转矩（T）
电流相位（β）

图 3

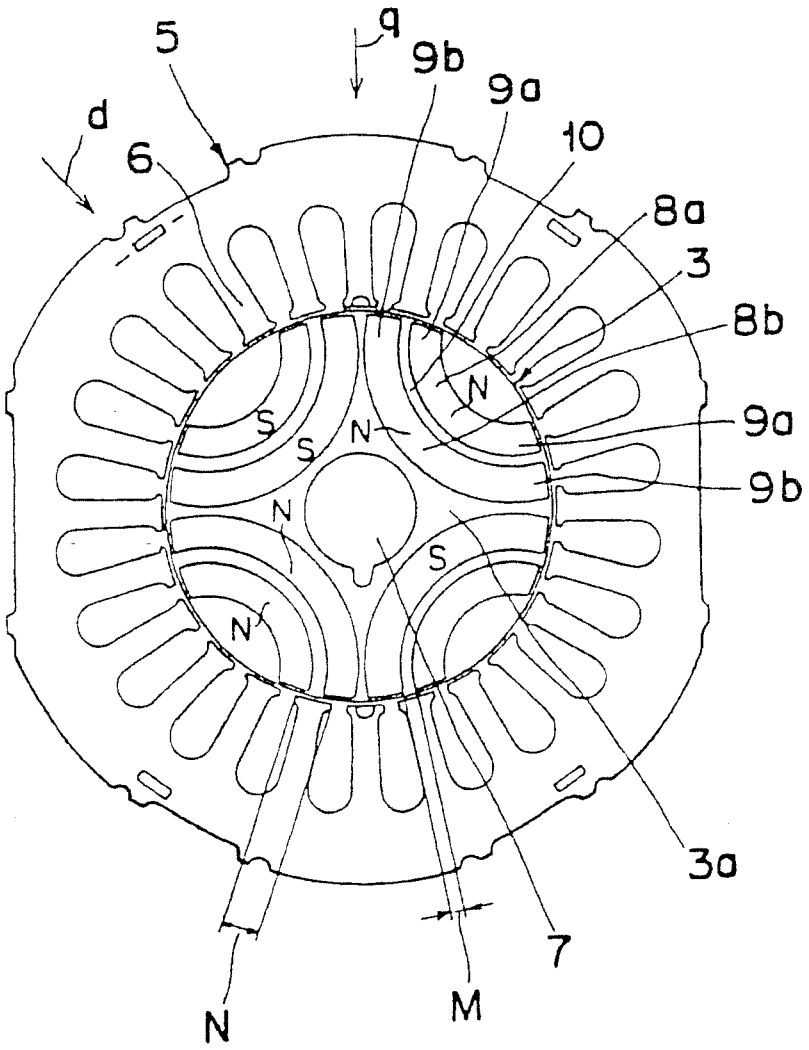


图 4

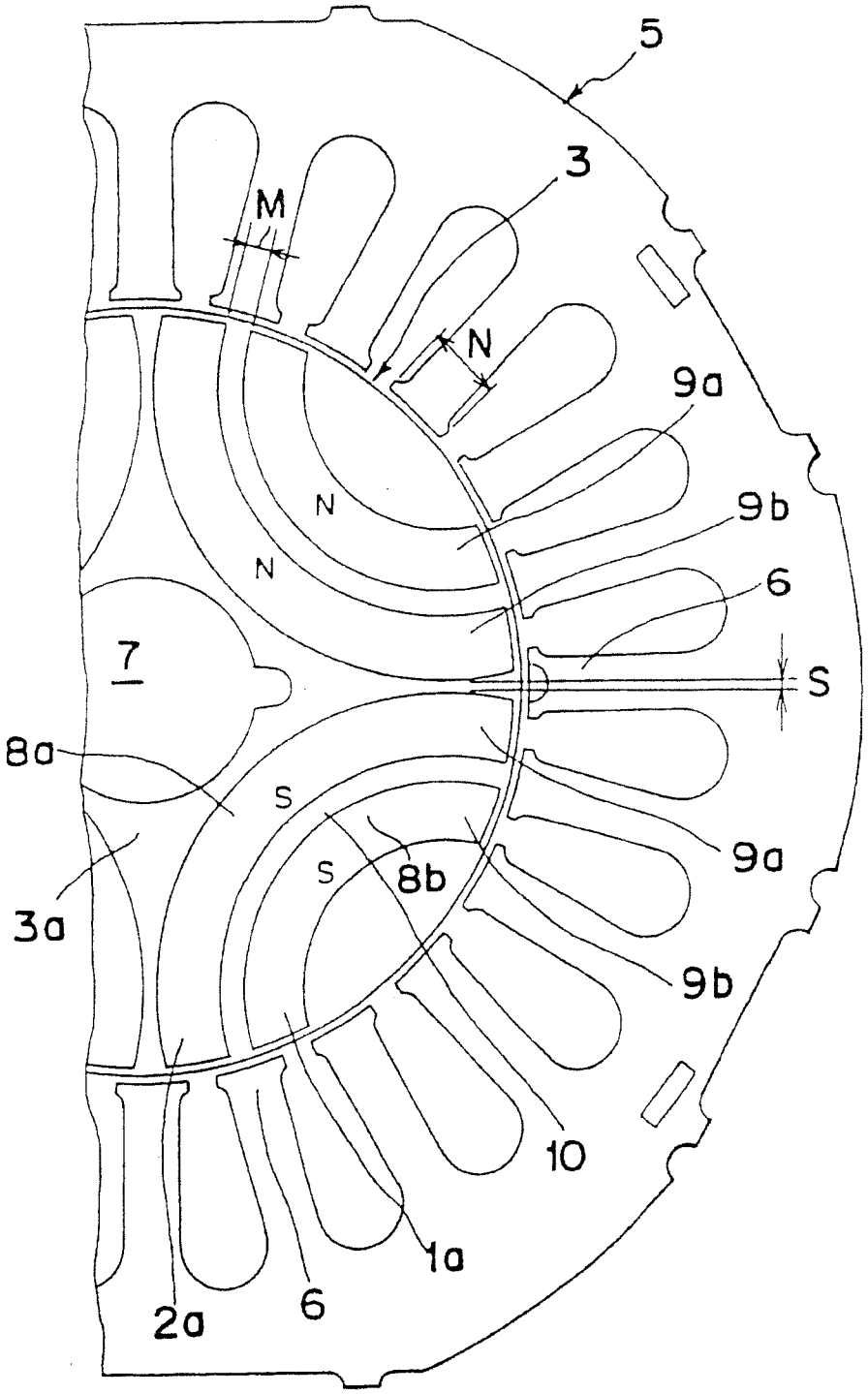


图 5

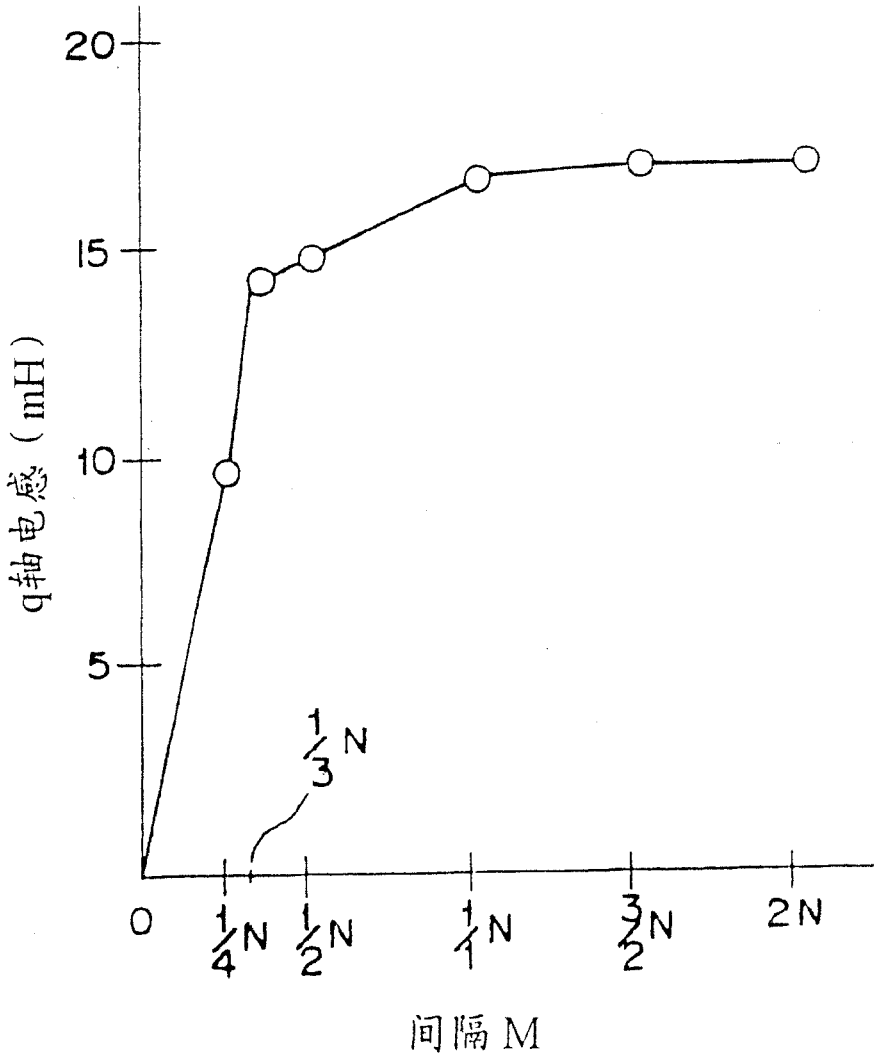


图 6

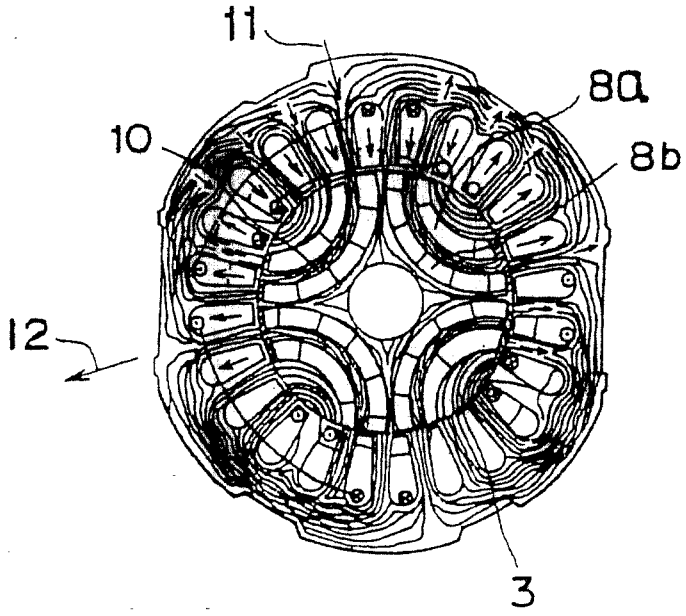


图 7

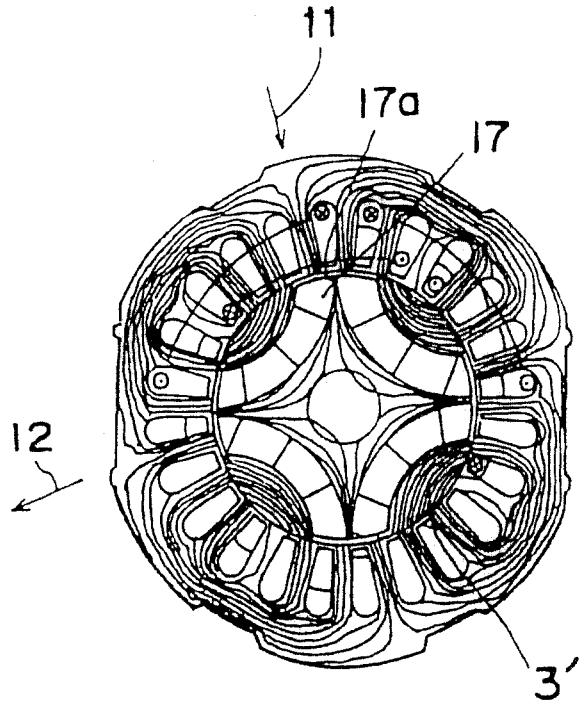


图 8

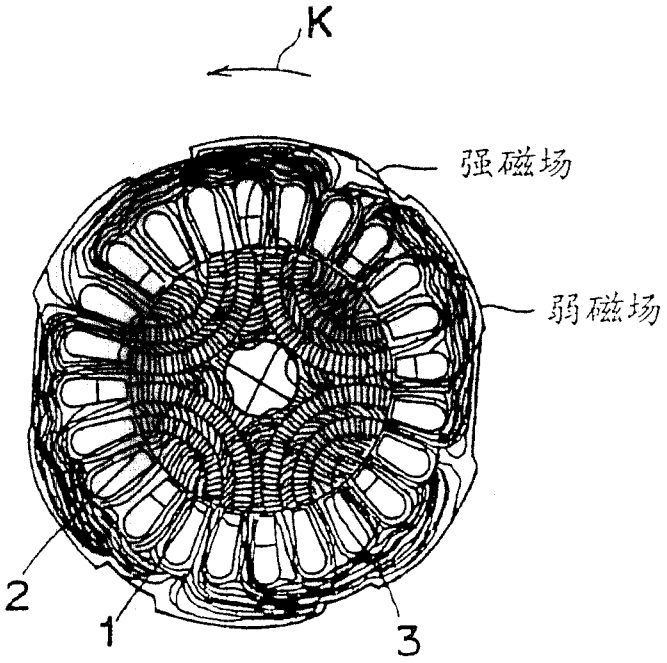


图 9

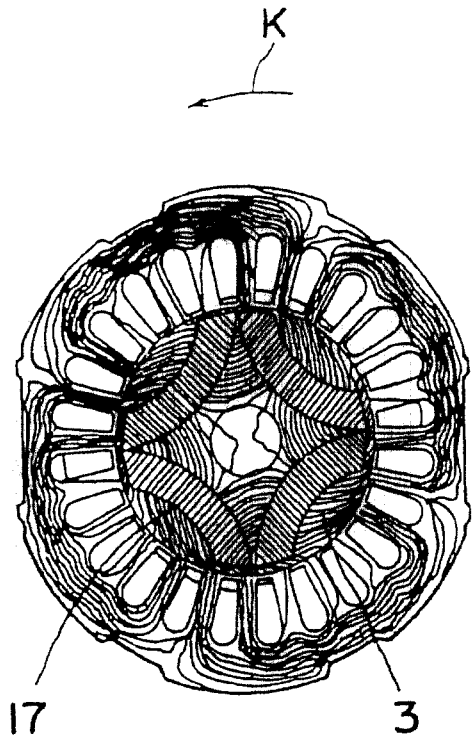


图 10

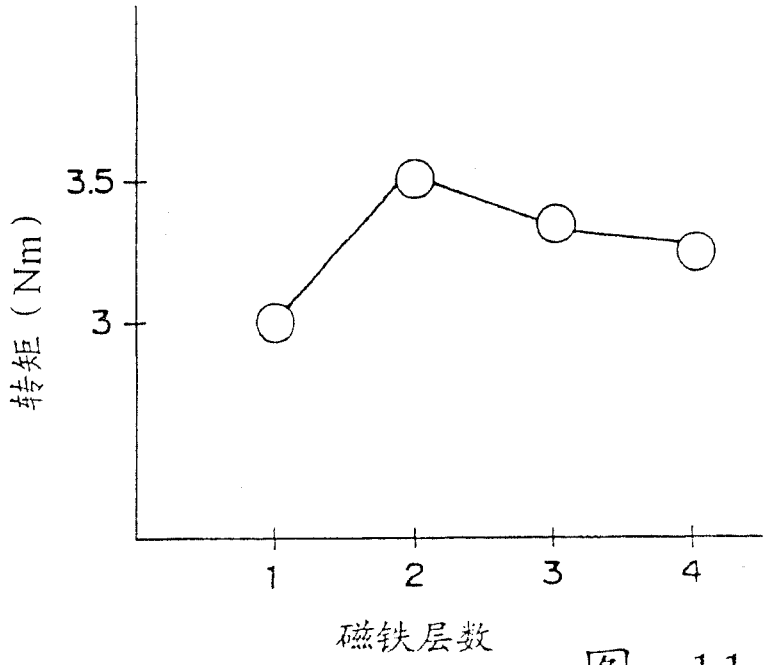


图 11

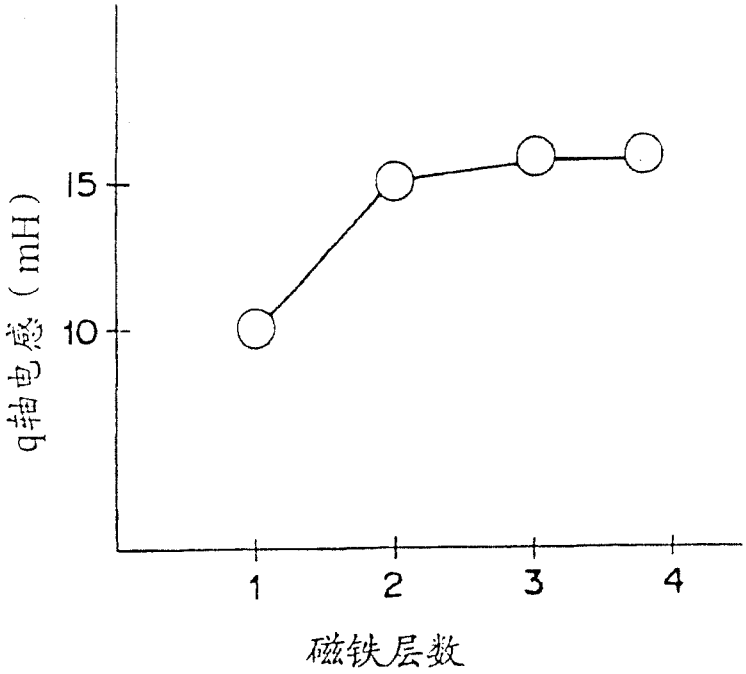


图 12

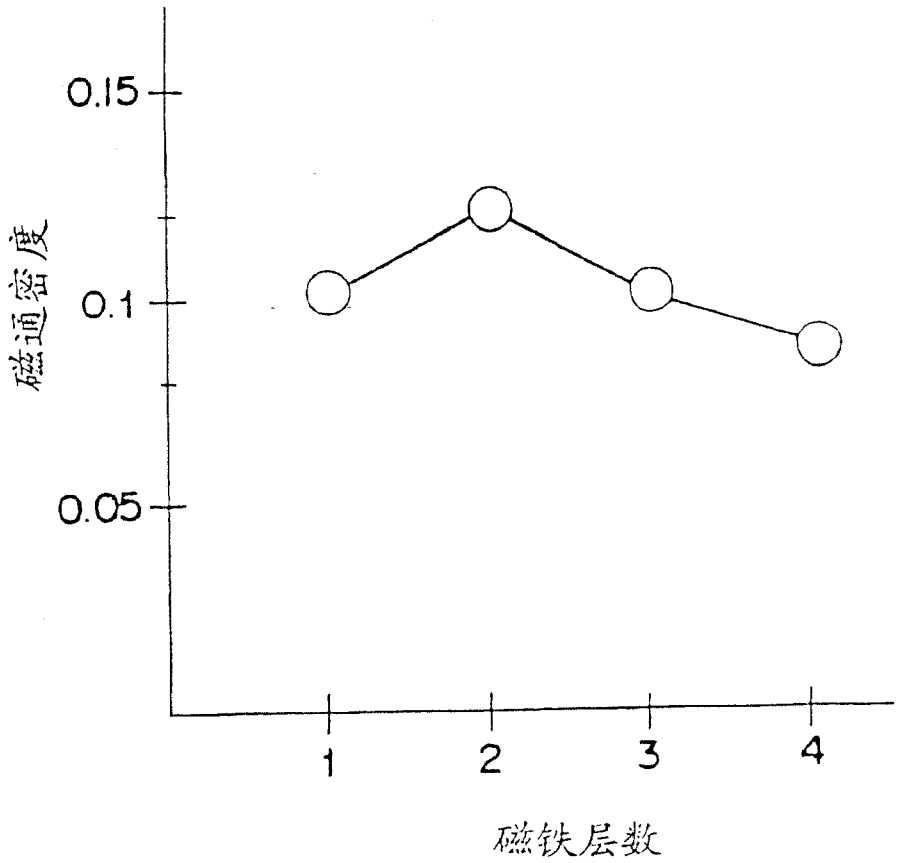


图 13

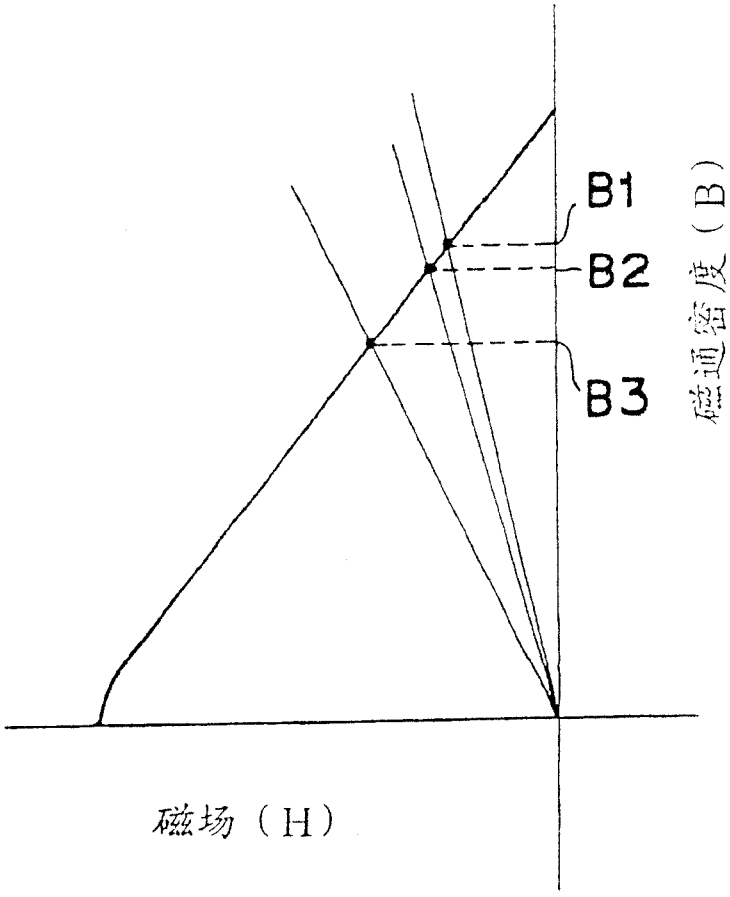


图 14

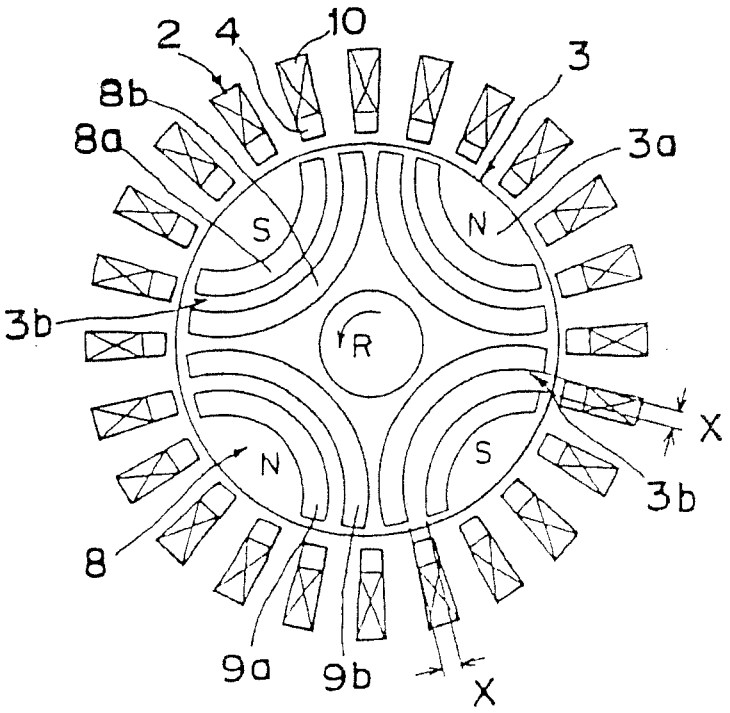

2
4
10
3
8b
8a
3a
S
N
3b
R
X
N
S
3b
8
9a
9b
X

图 15

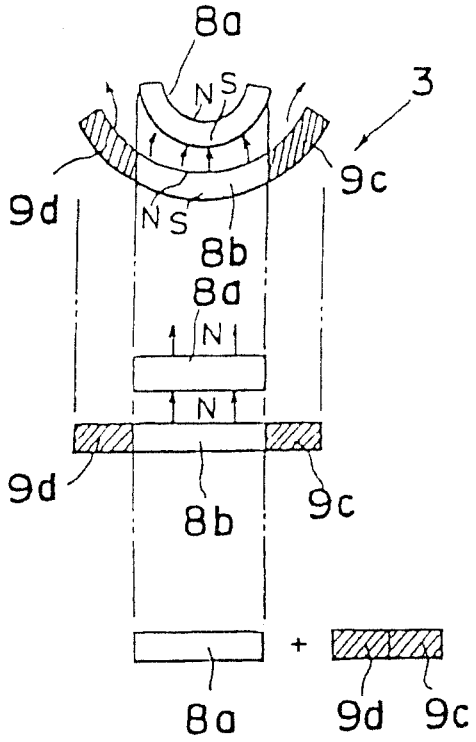

8a
N
S
3
9d
9c
N
S
8b
8a
N
N
9d
9c
8b
+
8a
9d
9c

图 21

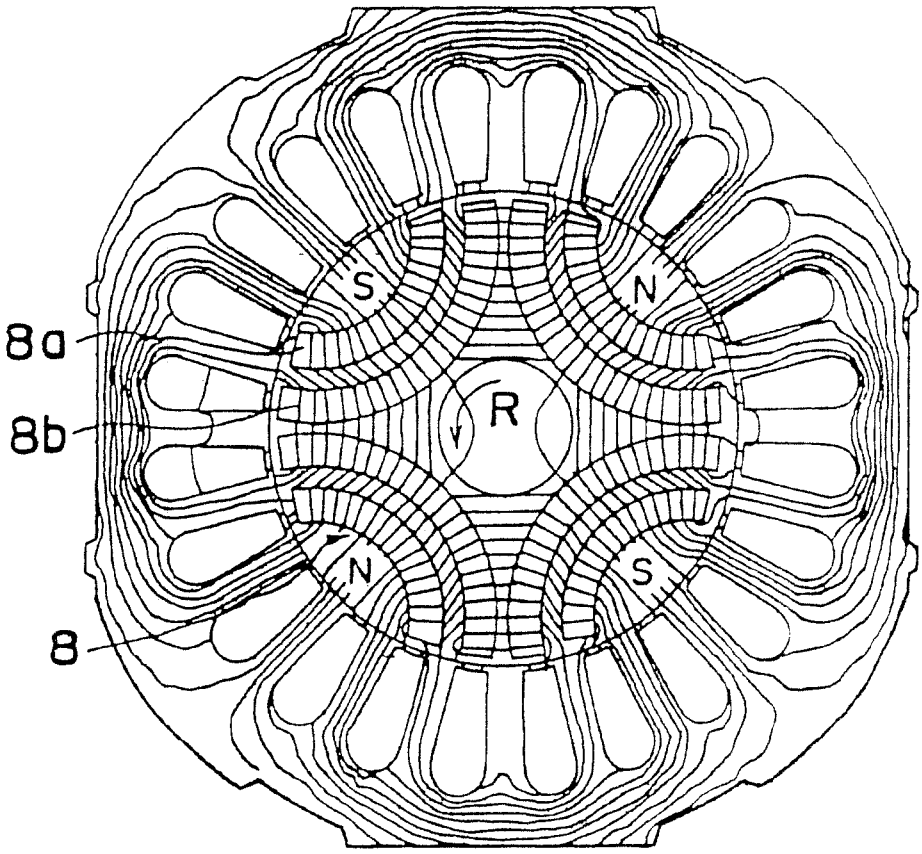


图 16

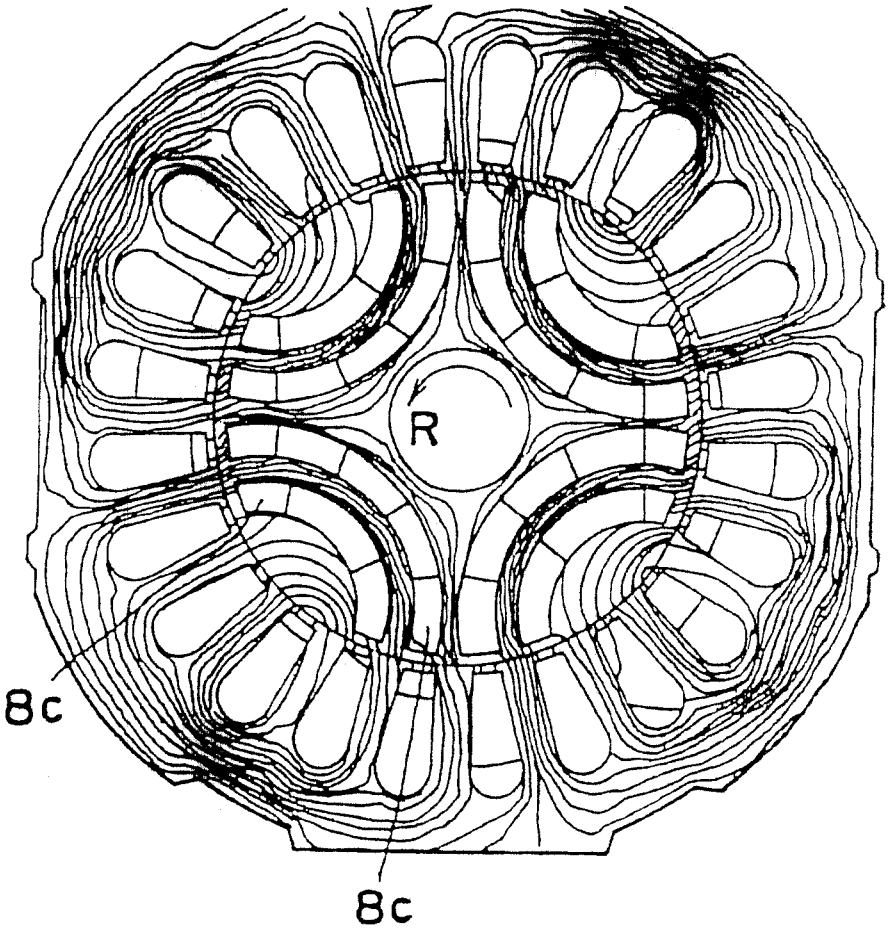


图 17

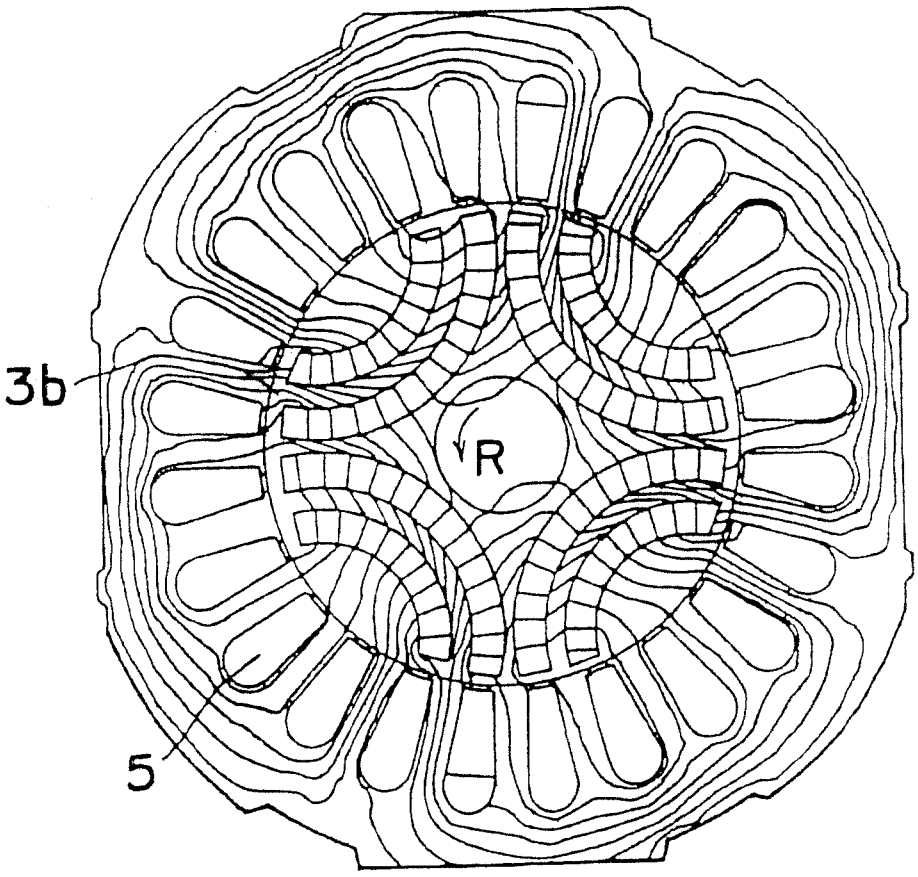


图 18

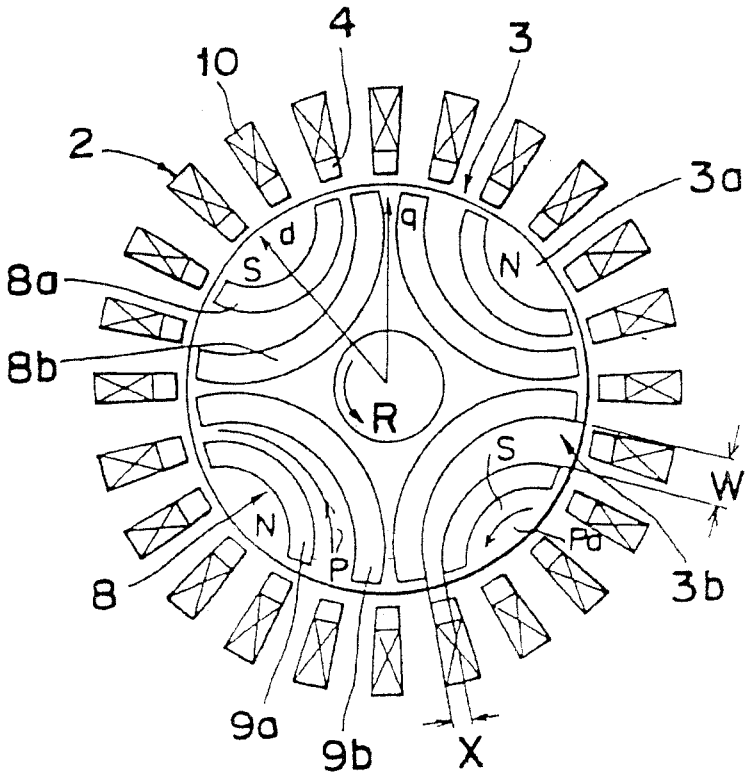

4
3
10
2
3a
d
q
S
N
8a
8b
R
S
W
N
P
Pa
8
3b
9a
9b
X

图 19

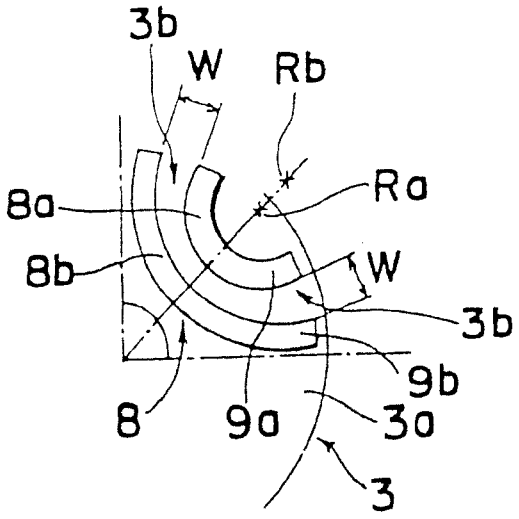

3b
W
Rb
Ra
8a
8b
W
3b
9b
8
9a
3a
3

图 20

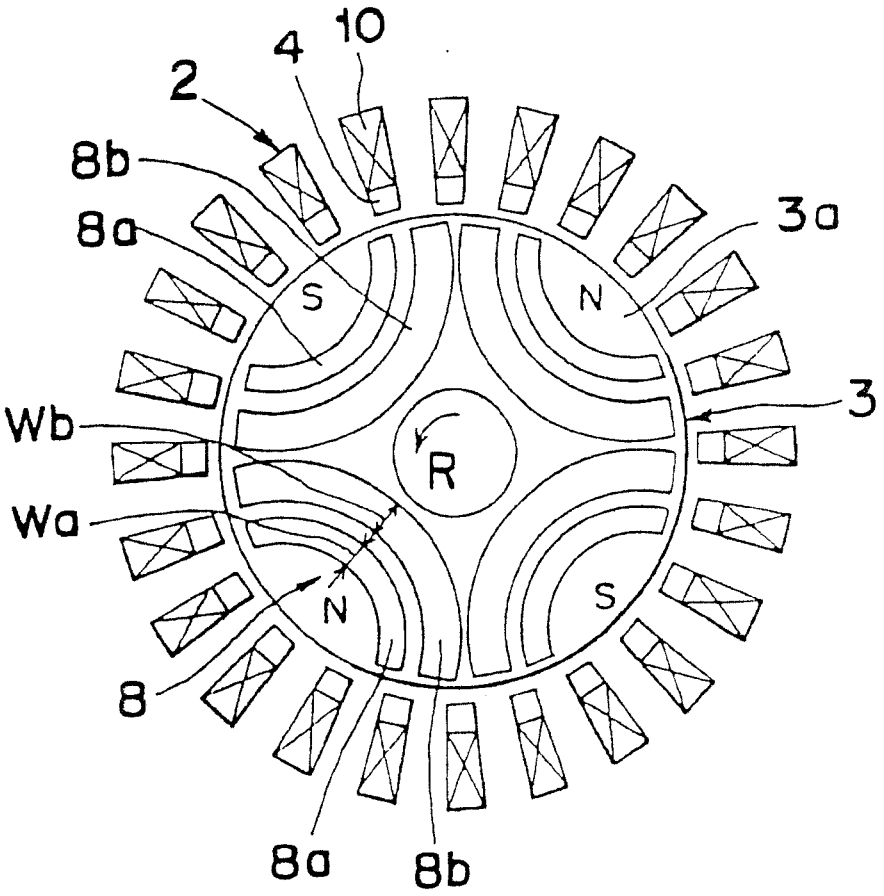


图 22

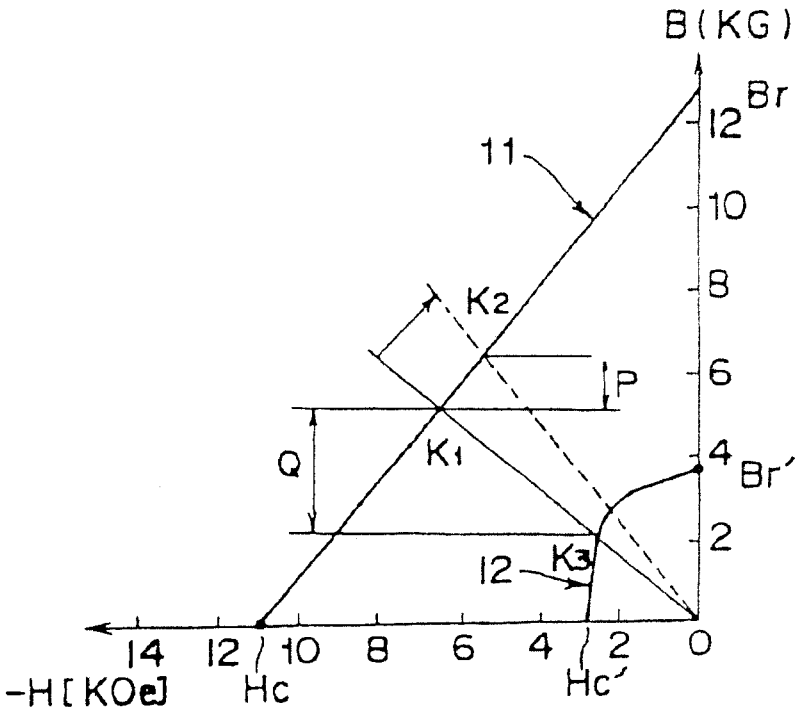


图 23

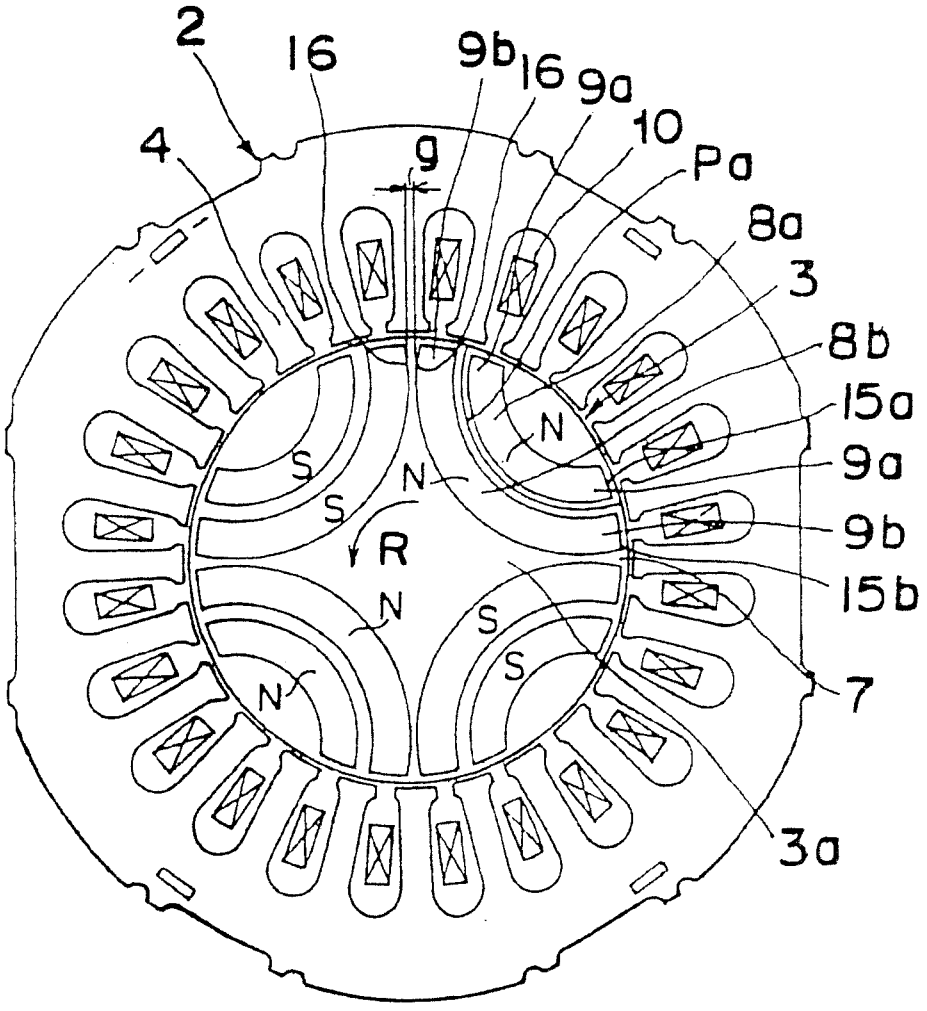


图 24

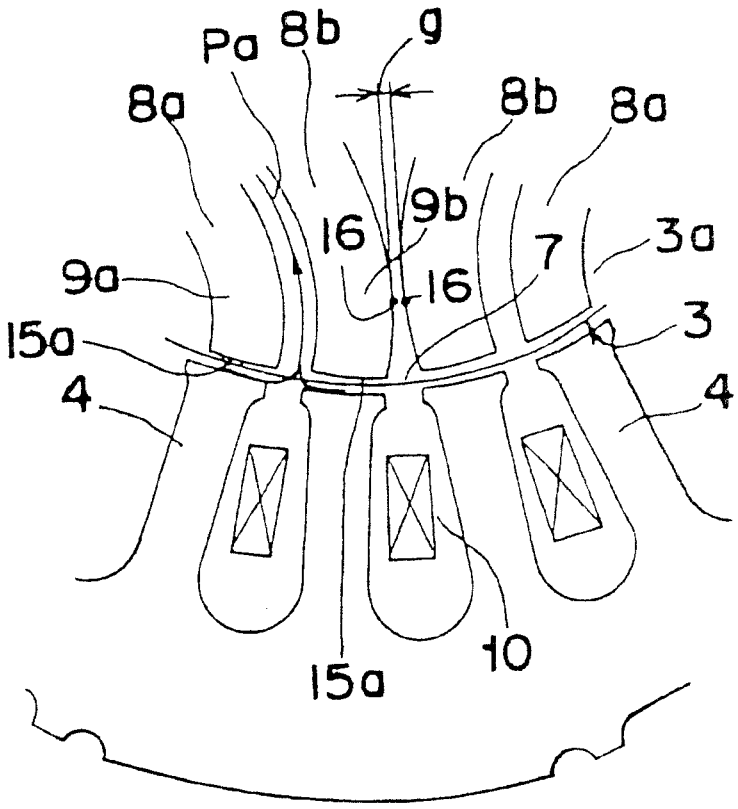


图 25

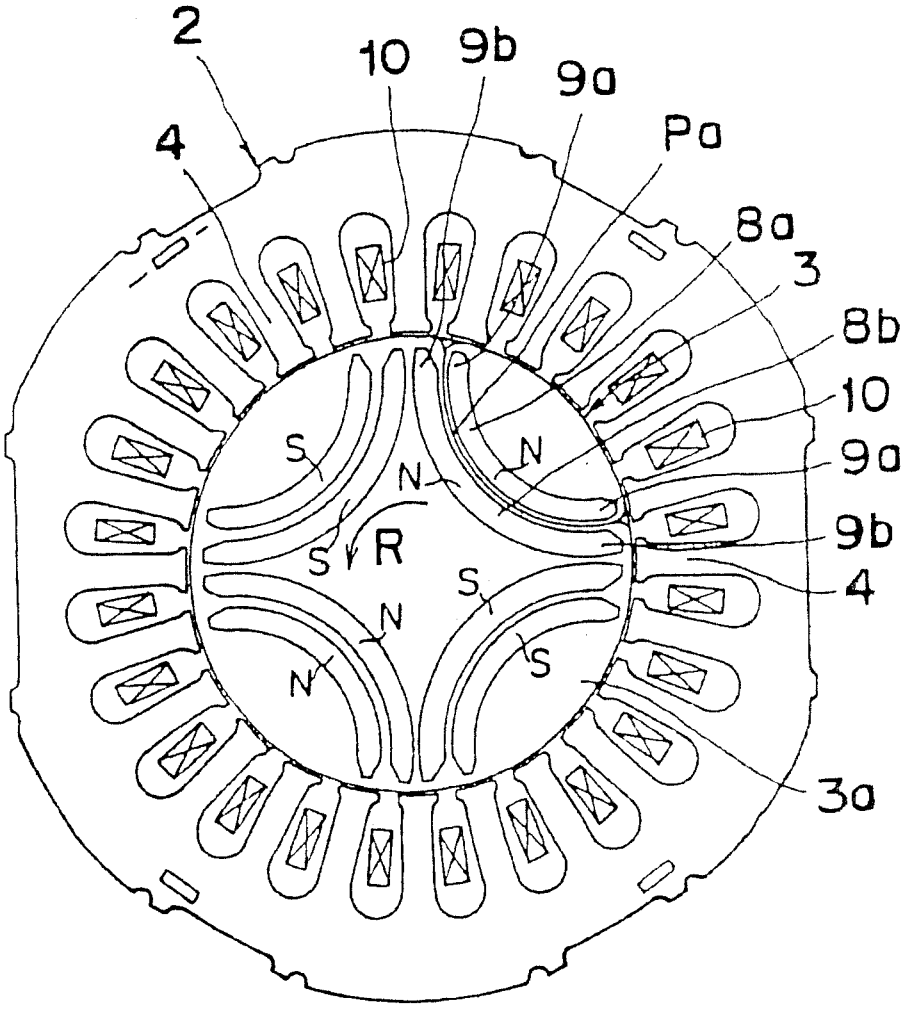


图 26

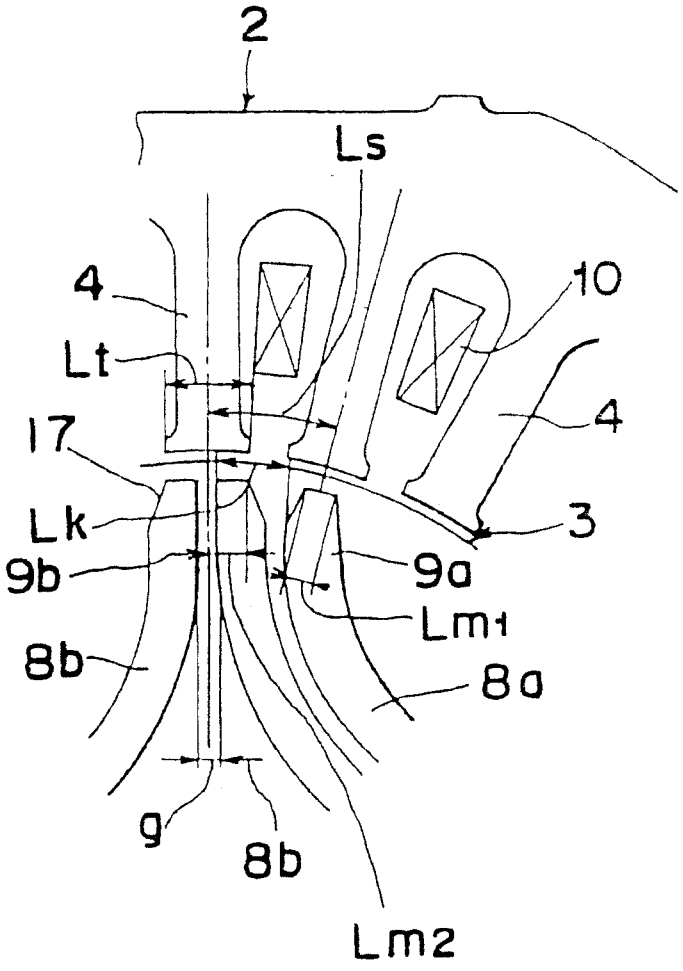


图 27

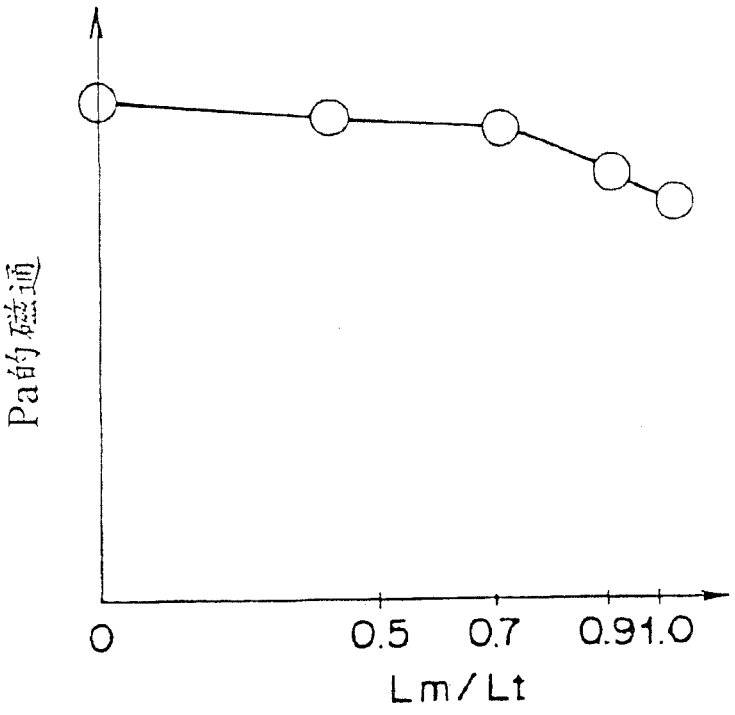


图 28