

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

H02K 1/27

[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 93109807.6

[45]授权公告日 2000 年 4 月 19 日

[11]授权公告号 CN 1051654C

[22]申请日 1993.8.11 [24]颁证日 2000.1.22

[21]申请号 93109807.6

[30]优先权

[32]1992.8.12 [33]JP [31]215188/1992

[32]1992.9.8 [33]JP [31]239694/1992

[32]1992.9.29 [33]JP [31]259902/1992

[32]1992.12.18 [33]JP [31]339047/1992

[32]1993.1.8 [33]JP [31]001928/1993

[73]专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京都

[72]发明人 长手隆 石黑明克 山越一成

[56]参考文献

JP 平 4-156243 1992.5.28

审查员 阙东平

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

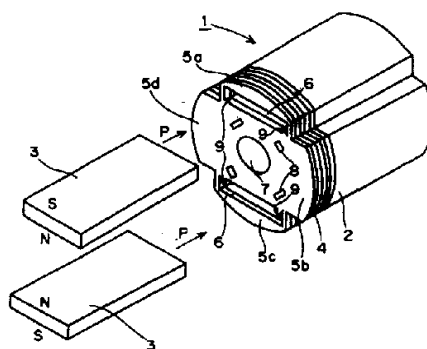
代理人 汪 瑜

权利要求书 1 页 说明书 26 页 附图页数 31 页

[54]发明名称 无刷电机的永磁转子

[57]摘要

一种无刷电机的永磁转子,由多片钢片叠层而成,具有偶数个向外突出的磁极部,磁极部形成有插入激磁永久磁铁的槽口,其特征在于槽口两端的桥接部宽度设定为:当可冲裁宽度和离心力机械强度所容许的宽度小于磁通量容许宽度时,取大于前面两者宽度中较大者的值并小于后者宽度;当前面两者宽度大于后者宽度时,取大于前面两者宽度中较大者的值。当桥接部宽度为 M ,钢片厚度为 T ,则金属模制的桥接部宽度的关系式为: $M/T \geq 1$ 。

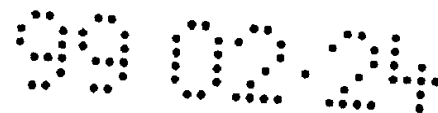


ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种无刷电机的永磁转子, 该永磁转子支撑于上述无刷电机的定子内侧且旋转自如, 上述转子具有多叠层钢片座架, 上述座架又有偶数个向外突出的磁极部, 各磁极部或者每隔一个磁极部, 分别插有激磁永久磁铁, 上述激磁永久磁铁插入上述磁极部所形成的槽口, 其特征在于, 上述槽口两端形成桥接部, 上述桥接部的宽度在可冲裁宽度、磁通量所容许宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度之间, 作如下设定: 当可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度小于磁通量所容许宽度时, 上述桥接部宽度大于可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度中较大者的值, 而且小于磁通量所容许宽度的值; 当可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度大于磁通量所容许宽度时, 上述桥接部宽度大于可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度中较大者的值。

2. 根据权利求 1 所述的无刷电机的永磁转子, 其特征在于: 设上述桥接宽度为 M 、钢片厚度为 T , 则可用金属模制造的桥接部宽度的关系为: $M/T > 1$ 。



说明书

无刷电机的永磁转子

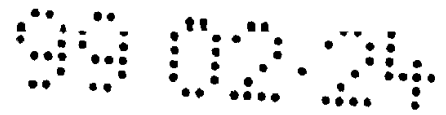
本发明涉及无刷电机的永磁转子，特别是关于具有多叠层钢片座架，并且该座架具有偶数个向外突出的磁极部，各磁极部或者每隔一个磁极部，又分别插有永久磁铁的无刷电机的永磁转子。

众所周知，无刷电机由永磁转子定子组合而成，以往永磁转子将几块激磁永久磁铁插入叠层钢片构成的座架内部，而定子具有与该永磁转子的磁极外周面隔开稍许间隙、且面对面设置的磁极部。

图 35 是采用以往永磁转子的无刷电机的旋转轴正交截面图。图中，以往无刷电机 51 由定子 52 和永磁转子 53 构成。即定子 52 包含支撑在其内侧且旋转自如的永磁转子 53，并具有多个向内突出的定子磁极部 54。定子磁极部 54 上可卷绕图中未示出的线圈。通过该线圈上流过电流，激励定子磁极部 54 所定的磁极。定子磁极部 54 端头的磁极面 55 位于与电机旋转轴 56 的中心距离相等的圆筒面上。

再说永磁转子 53 则由多叠层钢片座架 57 和一对激磁永久磁铁 58 构成。座架 57 的外周有 4 个向外突出的磁极部 59，该磁极部 59 每隔一个就在底部插入激磁永久磁铁 58，并使其 N 极相互面对而置。各磁极部 59 端头的磁极面 60 做成与旋转轴 56 的中心距离相等的曲面，而且旋转磁极面 60 上的所有点，与上述磁极面 55 等距离地对置。

上述永磁转子 53，因为激磁永久磁铁 58 的 N 极同性相斥，所以磁力线如图中所示，从没有装激磁永久磁铁的磁极面 60 出发，



经定子内部，再由装激磁永久磁铁的磁极面 60 进入座架 57 的内部。于是，具有永久磁铁的永磁转子 53 的磁极部成为 S 极，与此相反，没有永久磁铁的永磁转子 53 的磁极部就成为 N 极。

如图所示，为了驱动永磁转子 53 旋转，使沿旋转方向位置稍偏永磁转子 53 的磁极部 59 中心的磁极部 54 激磁为 N 极。永磁转子由于受已激磁的定子磁极部 54 所吸引，所以旋转。接着，再使相对于已旋转永磁转子 53 的位置又有偏移的定子磁极部 54 激磁成 N 极。永磁转子 53 又被这新激磁的定子磁极部 54 吸引，进一步旋转。如此重复操作，永磁转子 53 就会连续旋转驱动。

众所周知，以往的无刷电机利用永磁转子 53 旋转产生的反电动势来决定上述永磁转子的位置。也就是说，由于永磁转子 53 的旋转，激磁永久磁铁 58 的磁力线横穿图中未示出的卷绕在定子 52 的磁极面 55 上的线圈，从而在定子 52 的线圈上产生反电动势。再利用检测该反电动势所在位置的办法，来检测永磁转子 53 各激磁永久磁铁的位置，决定应激磁定子端的磁极位置，并对其激磁。

图 36 分解并画出以往的永磁转子。以往的永磁转子 53 具有座架 57 和激磁永久磁铁 58。座架 57 由许多钢片层叠而成。座架 57 的外周设有磁极部 59，在该磁极部 59 的底部，设置插入激磁永久磁铁 58 的槽口 62。各钢片 61 又通过模压加工出具有凹陷成长方形的填塞部 63。上述各钢片 61 通过互相压入填塞部，层叠为一体。

激磁永久磁铁 58 做成槽口 62 可容纳的大小。安装永磁转子 53 时，在上述激磁永久磁铁 58 的表面涂上粘接剂，再如图所示，让表现为同一极性的磁极面对面插入槽口 62。图中的箭头记号表示激磁永久磁铁的插入方向。

反之，对于因使用条件而不能用粘接剂的永磁转子 53，激磁



永久磁铁 58 要做成与槽口 62 无间隙配合。安装永磁转子 53 时，用气压装置等向图中所示 Q 方向加压，由于这样强制插入槽口 62 内，所以在槽口 62 的两端会有离心方向 R 的力加在连结磁极头部和磁极底部的桥接部 64 上。

图 37 分解并画出本发明申请人曾开发的永磁转子。如图所示，在用于插入激磁永久磁铁的槽口 62 的内周面上，鼓出与激磁永久磁铁 58 相结合的结合爪 62a。激磁永久磁铁 58 能插入槽口 62 内，且具有与结合爪 62a 相配合的截面形状。

采用这种永磁转子结构，激磁永久磁铁 58 只与结合爪 62a 结合，其摩擦阻力小，因此能以小的压力将激磁永久磁铁 58 压入座架 57 内。而且激磁永久磁铁 58 压入座架 57 内后，结合爪 62a 对激磁永久磁铁 58 限位，可防止其脱落。

以往的技术中，如图 35 及图 36 所示，在上述激磁永久磁铁的外周面涂粘接剂后再插入座架的槽口的永磁转子，当在致冷剂或加压流体中工作时，因粘接剂会被致冷剂或加压流体溶解，存在激磁永久磁铁脱落的问题。

至于以往另一种不通过粘接剂而将激磁永久磁铁直接压入座架槽口的永磁转子，压入激磁永久磁铁需用很大的力，往往会因压入力而损坏激磁永久磁铁，或者会因离心方向的插入力加在桥接部而破损。上述永磁转子还会因激磁永久磁铁与座架槽口的尺寸公差配合，要求很高的加工精度，使永磁转子不易制造。又因为处于槽口两端的桥接部与激磁永久磁铁紧靠，激磁永久磁铁的磁力线会在桥接部泄漏而不通往磁极部的外部空间，使磁力线不与电机定子相交，从而使磁力线不会产生驱动永磁转子旋转的力。这样还存在桥接部磁力线泄漏引起的铁损发热。



突出的磁极部，而各磁极部，或者每隔一个磁极部，分别插有激磁永久磁铁的)无刷电机中，让上述激磁永久磁铁插入上述磁极部所形成的槽口，而且在该槽口中，左、右端部设置与上述激磁永久磁铁侧面搭接的突出部。

本发明永磁转子可以是在具有定子和支撑于上述定子内侧且旋转自如的转子(该转子具有多叠层钢片座架，该座架又有偶数个向外突出的磁极部，而各磁极部，或者每隔一个磁极部，分别插有激磁永久磁铁)的无刷电机中，让上述激磁永久磁铁插入上述磁极部处所形成的槽口，并在该槽口中，鼓出与上述激磁永久磁铁配合的结合爪，而且上述座架的叠层钢片中与上述结合爪对应的钢片上，设置吸收上述结合爪倾斜的退爪槽。

本发明永磁转子又可以是在具有定子和支撑于上述定子内侧且旋转自如的转子(该转子具有多叠层钢片座架，该座架又有偶数个向外突出的磁极部，而各磁极部，或者每隔一个磁极部，分别插有激磁永久磁铁)的无刷电机中，在上述座架中至少一方端部，座架的钢片沿旋转方向偏离。

本发明一种无刷电机的永磁转子，该永磁转子支撑于上述无刷电机的定子内侧且旋转自如，上述转子具有多叠层钢片座架，上述座架又有偶数个向外突出的磁极部，各磁极部或者每隔一个磁极部，分别插有激磁永久磁铁，上述激磁永久磁铁插入上述磁极部所形成的槽口，其特征在于，上述槽口两端形成桥接部，上述桥接部的宽度在可冲裁宽度、磁通量所容许宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度之间，作如下设定：当可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度小于磁通量所容许宽度时，上述桥接部宽度大于可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度中较大者的



值,而且小于磁通量所容许宽度的值;当可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度大于磁通量所容许宽度时,上述桥接部宽度大于可冲裁宽度和起因于离心力的机械强度所容许宽度中较大者的值。

本发明一种永磁转子,该永磁转子支撑于上述无刷电机的定子内侧且旋转自如,上述转子具有多叠层钢片座架,上述座架又有偶数个向外突出的磁极部,各磁极部或者每隔一个磁极部,分别插有激磁永久磁铁,其特征在于:上述磁极部上有空隙。

本发明一种永磁转子,该永磁转子支撑于上述无刷电机的定子内侧且旋转自如,上述转子具有多叠层钢片座架,上述座架又有偶数个向外突出的磁极部,各磁极部或者每隔一个磁极部,分别插有激磁永久磁铁,其特征在于:上述各磁极部至少有一个用于层叠上述钢片的连结部。

本发明一种永磁转子,该永磁转子支撑于上述无刷电机的定子内侧且旋转自如,上述转子具有多叠层钢片座架,上述座架又有偶数个向外突出的磁极部,各磁极部或者每隔一个磁极部,分别插有激磁永久磁铁,上述激磁永久磁铁插入上述磁极部所形成的槽口,上述槽口两端形成桥接部,其特征在于,上述桥接部的宽度设定成小于上述激磁永久磁铁外侧至上述磁极部外侧边缘的宽度。

本发明一种永磁转子,该永磁转子支撑于上述无刷电机的定子内侧且旋转自如,上述转子具有多叠层钢片座架,上述座架又有偶数个向外突出的磁极部,各磁极部或者每隔一个磁极部,分别插有激磁永久磁铁,其特征在于:上述激磁永久磁铁外侧至上述磁极部外侧边缘的宽度设定成大约为上述定子的极宽的1.5倍。

本发明一种永磁转子,该永磁转子支撑于上述无刷电机的定子内侧且旋转自如,上述转子具有多叠层钢片座架,上述座架又有偶数个向外突出的磁极部,各磁极部或者每隔一个磁极部,分别插有激磁永久磁铁,其特征在于:在上述磁极部的外周侧且旋转方向的前部或后部,形成所定形状缺口,该缺口形状要使在上述



缺口的缺口面与上述定子的磁极部之间通过的间隙磁通密度与上述缺口面上的相等。

附图简单说明:

图 1 是将本发明永磁转子作分解表示的斜视图。

图 2 是表示本发明永磁转子的截面图。

图 3 是表示本发明另一实施例的关键部分截面图。

图 4 是将本发明另一实施例的永磁转子作分解表示的斜视图。

图 5 是本发明永磁转子的叠层方向中央部的截面图。

图 6 是本发明永磁转子的叠层方向端部的截面图。

图 7 是将本发明永磁转子一部分作放大表示的截面图。

图 8 是表示本发明永磁转子中钢片冲截工序的图。

图 9 是表示本发明所采用冲截模的截面图。

图 10 是将本发明永磁转子作分解表示的斜视图。

图 11 是本发明永磁转子的截面图。

图 12 是使本发明钢片在旋转方向上偏转 m° 后的截面图。

图 13 是使本发明钢片在旋转主向上偏转 m° 后的截面图。

图 14 是本发明永磁转子的截面图。

图 15 是本发明永磁转子的截面图。

图 16 是将本发明另一实施例的永磁转子作分解表示的斜视图。

图 17 是本发明另一实施例的永磁转子的截面图。

图 18 是本发明另一实施例的永磁转子的斜视图。

图 19 是本发明另一实施例的永磁转子的斜视图。

图 20 是将本发明另一实施例的永磁转子作分解表示的斜视



图。

图 21 是本发明另一实施例的永磁转子的截面图。

图 22 是本发明另一实施例的永磁转子的斜视图。

图 23 是本发明另一实施施例的永磁转子的截面图。

图 24 是表示桥接部宽度、桥接部磁通力线密度及桥接部机械强度的关系的曲线。

图 25 是本发明另一实施例的永磁转子的斜视图。

图 26 是本发明另一实施例的永磁转子的截面图。

图 27 是本发明的永磁转子座架的正视图。

图 28 是本发明的永磁转子座架的截面图。

图 29 是表示在与本发明三相四极电机的永磁转子旋转轴成正交的截面上，良好转子旋转中的磁力线流动状况的计算机分析图。

图 30 是表示在与本发明三相四极电机的永磁转子旋转轴成正交的截面上，转子旋转中的磁力线流动状况的计算机分析图。

图 31 是表示在与本发明三相四极电机的永磁转子旋转轴成正交的截面上，转子旋转中的磁力线流动状况的计算机分析图。

图 32 表示间隙磁力线密度。

图 33 表示间隙磁力线密度。

图 34 表示永磁转子与定子之间关系图。

图 35 是表示以往永磁转子与定子的截面图。

图 36 是将以往永磁转子作分解表示的斜视图。

图 37 是将以往永磁转子作分解表示的斜视图。

图 1 将本发明永磁转子作分解表示。永磁转子 1 具有柱状座架 2 和一对板状的激磁永久磁铁 3。上述座架 2 将许多钢片 4 层叠为一体而成。座架 2 具有在外周面上沿辐射方向突起的 4 个磁极部

(5a、5b、5c、5d)。在这些磁极部中,互成对面的2个磁极部5a、5c的底部上,设置一对槽口6,用以插入激磁永久磁铁3。又在座架2的中心部设置用以穿插旋转轴(图示省略)的孔7。钢片4具有使该钢片一部分凹陷的填塞部8,再通过让填塞部8互相压入就能层叠为一体。

在钢片4上形成的槽口6,左右端部设置几个三角形两边突起的突出部9。

激磁永久磁铁3做成截面为矩形的六面体,让表示N极的面向着上述孔7,并沿图示P方向分别插入槽口6内。

图2是表示永磁转子的截面图,而且是表示与座架2旋转轴成正交方向的截面。槽口6分别设置在座架2的磁极部5a和磁极部5c的底部,而且两个槽口与旋转轴大致为等距离。因激磁永久磁铁3的N极互相面对面地设置,如图所示,磁力线在磁极部之间为互斥,并由座架2的磁极部5a和磁极部5c出发,再到达磁极部5b、5d。结果是磁极部5a、5c表现为S极,反之,磁极部5b、5d表现为N极,因而座架2的外周面上有4个分别具有N极与S极的磁极部。

槽口6的两端存在连接磁极部5头部和磁极部5底部的桥接部10,因上述桥接部10与激磁永久磁铁3之间有空隙,由激磁永久磁铁的N极-方出发的磁力线会通过桥接部到达激磁永久磁铁的S极一方,但与激磁永久磁铁有距离,所以通过桥接部的磁力线不多。

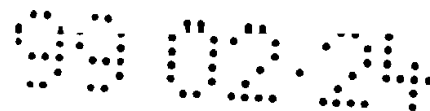
如图所示,激磁永久磁铁3的一部分表面,在磁铁压入时与突出部9的一边配合。突出部9虽因磁铁的尺寸差别会在离心方向R上引起挠曲乃至塑性变形,但能保持在槽口6内。利用此突出部9,



使激磁永久磁铁 3 不与桥接部 10 接触。因此，减少了激磁永久磁铁 3 与槽口 6 的接触摩擦，从而用不大的力就能插入，并进行激磁永久磁铁的定位。另外，压入后，如图所示，激磁永久磁铁 3 的外周面与突出部 9 的一边结合，不会使激磁永久磁铁脱落，而且不会在桥接部 10 上加过大的力。由于本发明永磁转子不用粘接剂把激磁永久磁铁 3 保持在槽口 6 内，因此能避免因粘接剂溶解于致冷剂、或者加压流体而产生激磁永久磁铁 3 脱落的情况。还能使激磁永久磁铁的固定与其加工精度无关。

图 3 表示本发明永磁转子的另一实施例的座架部分。

本实施例中，钢片 4 的突出部 9 呈方形，与图中未示的激磁永久磁铁相配合，在方形突出部 9 的一条底边一侧设置缺口部 11。该突出部 9 通过上述缺口部 11 与形成槽口 6 的钢片 4 的内缘连接。为了与激磁永久磁铁相结合，突出部必须具有一定的倾斜。突出部 9 过大时，激磁永久磁铁的磁力线向该突出部泄漏，因而泄漏磁力线增多。另外，在突出部 9 不具有倾斜的情况下，该突出部 9 会因激磁永久磁铁的压入而变形。利用缺口部 11 位于突出部 9 靠激磁永久磁铁一侧，一方面确保该突出部 9 适度倾斜，一方面具有适度挠曲性，因此用力不大就能插入激磁永久磁铁，而且压入激磁永久磁铁时必须进行的激磁永久磁铁倒角也可省去，也就是说，能简便地进行激磁永久磁铁向槽口的插入。再由于槽口的两端存在连接磁极部头部和磁极部底部的桥接部 10，而且由于上述桥接部 10 与激磁永久磁铁之间有空隙，所以有可能加粗桥接部 10 的底部 10a，结果是可提高桥接部的强度，制造方面尽量减少桥接部 10 的破损，又可借助空隙的存在，减少激磁永久磁铁的桥接部 10 的磁力线泄漏，并且桥接部 10 上铁损引起的发热，也因底部 10a 面积



大而能较快冷却。

上述与激磁场永久磁铁相配合的突出部 9 按方形进行说明，但其形状不限于此，例如做成圆形也可以。

图 4 分解表示第 2 实施例的永磁转子 1。与上述第 1 实施例一样，座架 2 将许多钢片 4(4a、4b)做成互相形状一致，再层叠而成。座架 2 叠层方向中间部分的钢片 4b，在其槽口 6 的内周面上鼓出与激磁永久磁铁 3 结合的结合爪 12。另一方面，座架 2 叠层方向两端部的几块钢片 4a，在同中间部分钢片 4b 的结合爪 12 对应的槽口 6 的内周面上，设置吸收结合爪 12 倾斜的退爪槽 13。

图 5 表示插有激磁永久磁铁 3 的座架 2 的叠层方向中间部分的钢片 4b 上，结合爪 12 与激磁永久磁铁 3 结合，从而在减小激磁永久磁铁 3 压力阻力的同时，还防止激磁永久磁铁 3 脱落。

图 6 表示已压入激磁永久磁铁 3 的座架 2 的压入方向端部截面。激磁永久磁铁 3 的压入侧端部做成倾斜面，使截面积缩小，而且压入方向的座架 2 端部的钢片 4a，因其槽口 6 的内周面上只有退爪槽 13，所以如图 6 所示，激磁永久磁铁的端部与钢片 4a 的槽口 6 内周面不接触。

以下用图 7 说明其于上述结构的第二实施例中永磁转子的作用。

图 7 放大表示座架 2 的一部分，画出了叠层方向中间部分钢片 4b 与端部钢片 4a 的重迭状态以及这些钢片 4a、4b 与激磁永久磁铁 3 的结合状态。

如图 7 所示，激磁永久磁铁 3 只与座架 2 中间部分钢片 4b 的结合爪 12 结合，所以将激磁永久磁铁 3 压入座架 2 时，因结合爪 12 顶端的摩擦阻力小，用不大的压力可将激磁永久磁铁 3 压入。这



种激磁永久磁铁压入时，各钢片 4b 的结合爪 12，因与激磁永久磁铁 3 结合和摩擦，会一点一点向压入方向倾斜。据经验所知，在座架 2 的端部，结合爪的倾斜因累积而变大。本实施例的座架 2 的叠层方向端部钢片 4a，如图 7 所示，在其槽口 6 内周面上有结合爪 12 和调整位置的退爪槽 13，所以利用退爪槽能吸收结合爪 12 的倾斜，结果是能防止钢片 4a 剥离。激磁永久磁铁 3 插入后，结合爪 12 与激磁永久磁铁 3 互相结合，因而又能防止激磁永久磁铁 3 脱落。

若利用本实施例，则由于将具有退爪槽 13 的钢片 4a 在座架 2 端部叠层，通常将激磁永久磁铁 3 做得比座架 2 中具有结合爪 12 的部分长，因此所有的结合爪 12 与激磁永久磁铁 3 充分结合，成为稳定压入状态。如上所述，本实施例能解决象以往永磁转子那样，因座架端部结合爪与一部分激磁永久磁铁不结合而成为不稳定压入状态，结果钢片会因振动等缘故而剥离的问题。

以下用图 8 和图 9 说明能容易制造本实施例的永磁转子的制造方法。

图 8 表示从带状钢片上冲裁座架叠层用钢片的一个工序。如图 8 所示，为了冲裁本实施例的钢片 4a、4b，在冲裁金属模之间，以一定的间距沿 p 方向输送带状钢材 14。在 A 处冲裁带结合爪 12 的槽口 6 或者带退爪槽 13 的槽口 6，在 B 处冲裁旋转轴的孔 7，在 C 处冲裁叠层用钢片 4a 或者 4b 的外形，同时进行叠层。本实施例的钢片冲裁工序中，使用根据冲入深度冲裁不同形状槽口 6 的冲裁金属模。

图 9 表示上述根据冲入深度冲裁不同形状槽口的冲裁金属模。此冲裁金属模由阳模 15 与阴模 16 组成，冲裁金属模的阳模 15

能上下动地支撑在带状钢材 14 的上方，冲裁金属模的阴模 16 被固定设置在带状钢材 14 的下方，将带状钢材 14 以一定间隔送入后，在所定位置停下，冲裁金属模的阳模 15 向下冲，穿透带状钢材 14 后，嵌入冲裁金属模的阴模 16 内。由此，将带状钢材 14 冲裁成金属模阳模 15 的形状。

如图 9 所示，本实施例的冲裁金属模的阳模 15，其下端部和上端部具有不同的形状。下方部份 15a 具有冲裁槽口 6 及结合爪 12 的形状，较之上述部份 15a，上方部分 15b 还具有冲裁退爪槽 13 的形状。若冲入深度在 15a 部分的范围内，则能冲裁带结合爪的槽口 6，若冲入深度达到 15b 部分，则能冲压带退爪槽 13 的槽口 6。

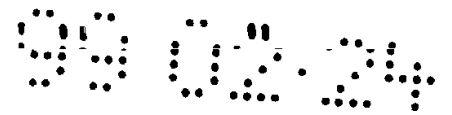
本实施例制造方法，最初以使用 15b 部分范围的冲入深度，冲裁座架 2 端部的钢片 4a 成所定块数，并叠层，然后以使用 15a 部分范围的冲入深度，冲裁座架 2 中间部分的钢片 4b，并叠层，接着以使用 15b 部分范围的冲入深度，冲裁座架 2 的另一端部的钢片 4a 成所定块数，并叠层，从而完成座架 2 的制造。

用此制造方法能以同一制造装置连续制造具有端部带退爪槽 13 的钢片 4a 和中间部分带结合爪 12 的钢片 4b 的座架 2，从而可谋求制造装置简略化和大幅度提高作业效率。

本发明不限于此，显然还能适用于要将激磁永久磁铁插入由任意形状钢片构成的座架中的永磁转子。

还有，前述制造方法的说明中，为了冲裁一块钢片，做成使用三个冲裁金属模依次冲裁。然而，做成一个冲裁金属模根据冲入深度冲压不同形状的钢片当然也是可以的。

如上所述，第 2 实施例的永磁转子的座架，在其叠层方向中间部分配有带结合爪的钢片，在叠层方向端部配有带退爪槽的钢片，



而结合爪可减小激磁永久磁铁压入时的阻力，并防止脱落，退爪槽能吸收激磁永久磁铁压入时结合爪的倾斜，因此可用小的压力压入激磁永久磁铁，而且压入时座架端部的钢片不会剥离，插入后能防止激磁永久磁铁脱落。另外，本实施例的永磁转子能使激磁永久磁铁的长度做得大于座架中具有结合爪的部分的长度，因此所有结合爪都与激磁永久磁铁结合，成为稳定的压入状态，可减少由振动等原因引起钢板剥离的可能性。

本实施例的永磁转子制造方法具有能根据冲入深度冲裁不同形状钢片的冲裁金属模，只要改变冲入深度，就能用同一制造装置连续制造具备带退爪槽的端部钢片和带结合爪的中间部分钢片的座架，所以可谋求制造装置简略化和大幅度提高作业效率。

图 10 表示第 3 实施例永磁转子的分解图。本例中，永磁转子 1 具有两对板状激磁永久磁铁 3。座架 2 与前例相同，也用金属模冲裁多块钢片 4 并层叠而成。座架 2 的一个端部由沿旋转方向偏离钢片 4 的钢片 4' 组成。此外，钢片 4 具有让钢片一部分凹陷的填塞部 8，通过互相压入填塞部 8 而层叠为一体。让激磁永久磁铁 3 往图中 R 方向移动，分别插入槽口 6 内，最后，以孔 7 为中心用填塞部 8 将沿旋转方向偏离的钢板 4' 压入成为一体。

图 11 表示钢片 4 的截面图。槽口 6 设置在钢片 4 的磁极部 5a、5b、5c、5d 的底部，各离座架旋转轴大致等距的地方。激磁永久磁铁 3 分别插入这些槽口内。激磁永久磁铁 3 配置成在座架 2 外周上其相邻磁极 N、S 互异。又在激磁永久磁铁的内侧设置填塞部 8a、8b、8c、8d，以便各钢片相互压入，并通过互相压入填塞部 8a、8b、8c、8d 实现叠层。

将填塞部 8a、8b、8c、8d 相对于旋转轴的间隔设定为以下



关系, 即填塞部 8a 与 8b 的间隔、8b 与 8c 的间隔、8c 与 8d 的间隔均为 m 、填塞部 8d 与 8a 的间隔为 K , 而且

$$p \times m \neq 360^\circ \text{ (} p \text{ 为填塞部数)、} m \neq K.$$

另外, 在填塞部 8a 的近旁形成能使各填塞部 8a、8b、8c、8d 压入的空隙 $8' a$, 在填塞部 8d 的近旁也同样存在一个能使各填塞部 8a、8b、8c、8d 压入的空隙 $8' b$. 而且对空隙 $8' a$ 与填塞部 8a 的间隔 T (相对旋转轴的角度)以及空隙 $8' b$ 与填塞部 8d 的间隔 q (相对旋转轴的角度)分别作以下设定:

$$T = p \times m - 360^\circ \text{ (} p \times m > 360^\circ \text{)}$$

$$q = 360^\circ - p \times m \text{ (} p \times m > 360^\circ \text{)}$$

再者, 填塞部 8a、8b、8c、8d 与空隙 $8' a$ 、 $8' b$ 相对旋转轴都位于同一圆周上.

图 12 表示使钢片 4 在旋转方向上偏转 m° 后的截面图(钢片 4"). 钢片 4" 的填塞部 18a、18b、18c、18d 分别与偏转前的填塞部 8a、8b、8c、8d 对应, 而空隙 $18' a$ 、 $18' b$ 分别与偏转前的空隙 $8' a$ 、 $8' b$ 对应.

图 13 表示使钢片 4 在旋转方向上偏转 m° , 并冲去填塞部 8a、8b、8c、8d 使它们全成为空隙后的截面图(钢片 4'). 钢片 4' 的空隙 19a、19b、19c、19d 分别与偏转前的填塞部 8a、8b、8c、8d, 对应, 并且空隙 $19' a$ 、 $19' b$ 分别与偏转前的 $8' a$ 、 $8' b$ 对应. 空隙 19a、19b、19c、19d 的形成是在用金属模冲压钢片时, 通过让金属模下落加深, 使填塞部全都成为空隙, 如果金属模下落不深, 则加工成为填塞部.

图 14 是将钢片 4" 从上面填塞到钢片 4 上的图. 钢片 4" 的填塞部 20d、20a、20b、20c 分别重叠在钢片 4 的空隙 $8' a$ 和



填塞部 8b、8c、8d 上。同样也能让钢片 4'' 反向旋转，将钢片 4'' 的填塞部 20b、20c、20d、20a 分别重叠在填塞部 8a、8b、8c 和空隙 8' b 上。

钢片 4 的空隙 8' b 对于上述钢片反向旋转后重叠是必不可少的，它使钢片重叠时没有方向性。如图所示，通过叠加钢片 4''，钢片 4'' 的槽口 6'' 相对钢片 4 的槽口倾斜，从而能将激磁永久磁铁 3 扶住。又因槽口倾斜仅仅加在激磁永久磁铁 3 端面的一部分外表上，所以该磁铁端面上基本无磁力线泄漏。而且激磁永久磁铁 3 与以前一样插在钢片 4 的槽口 6 内，因此对槽口不会加过大的力。此外，在用粘接剂固定磁场永久磁铁 3，并让转子在致冷剂或者加压流体内使用的情况下，该粘接剂即使溶解于致冷剂或加压流体，但因钢片 4'' 的存在，激磁永久磁铁 3 仍不会脱落。再者，激磁永久磁铁的固定可以同其加工精度无关。

图 15 是从上面将钢片 4 填塞到钢片 4' 上的图。图中，钢片 4 的填塞部 8a、8b、8c、8d 分别重叠在钢片 4' 的空隙 19a、19b、19c、19' b 上。通过叠加钢片 4，能获得与上述图 14 同样的结果。

图 16 是永磁转子另一实施例的永磁转子分解图。将座架 2 分为二半，并分别从钢片 4' 上面填塞钢片 4，再让这两半座架 2 分别从激磁永久磁铁 3 的两端沿 R 方向相互吻合。各座架 2 磁极部的对位取决于激磁永久磁铁 3，而本情况下，因使用平板状激磁永久磁铁，能简单地进行对位。而且因座架两端钢片偏移，槽口也偏移，能阻止激磁永久磁铁向外脱出。另外，座架端面钢片的槽口为异形时，也能获得同样的效果。

图 17 是永磁转子另一实施例的钢片截面图。槽口 6 设置在钢



片 4 磁极部 5a、5b、5c、5d 底部且与旋转轴距离大致相等的位置上。这些槽口 6 内插入激磁永久磁铁，而且在激磁永久磁铁的内侧形成填塞部 21a、21b、21c、21d，以便各钢片相互压入。还设有即使旋转钢片也能压入填塞部 21a、21b、21c、21d 的空隙 22a、22b、22c、22d，让上述填塞部 21a、21b、21c、21d 旋转 m° ，上述填塞部 21a、21b、21c、21d 就与空隙 22a、22b、22c、22d 相互配合。填塞部 21a 与空隙 22b 的间隔 m 设定为： $p \times m \neq 360^\circ$ (p 为填塞部数， m 为填塞部与空隙的间隔)。再者，上述填塞部和空隙相对于旋转轴为点对称，而且因填塞部和空隙都处在以旋转轴为中心的同一圆周上，所以能获得高速旋转的钢片平衡。

图 18 是永磁转子另一实施例的钢片截面图。此例中，能通过将填塞部 23a、23b、23c、23d 互相压入而叠层。它不仅有填塞部 23a、23b、23c、23d，而且还有能因钢片旋转而压入填塞部 23a、23b、23c、23d 的椭圆形空隙 24a、24b、24c、24d。填塞部 23a、23c 与空隙 24b、24d 处在同一圆周上，而填塞部 23b、23d 与空隙 24a、24c 处在与上述圆周不同的另一圆周上。这样能使空隙面积沿圆周铺长。图 18 中空隙构成椭圆状。通过使空隙为椭圆状，还能作任意的微小角度旋转。另外，上述填塞部及空隙相对于旋转中心为点对称，因而能获得高速旋转的钢片平衡。再由于空隙及填塞部处在几个圆周上，所以能使空隙为任意形状，也能减轻座架本身的重量。另外，上述填塞部为圆形，但不限于此，例如也可做成长方形的 V 状填塞部。座架还可以是非叠层钢片构成，也能用金属一体形成。

图 19 表示永磁转子的另一实施例，此例中，座架 2 以旋转轴



7a 为中心，利用填塞部间距的偏移，形成一个个微小角度的扭曲。在永磁转子 1 的内部，永磁转子 1 的槽口 6 同样以一个个微小角度偏转，因此能固定激磁永久磁铁，而且在磁极部，各旋转磁极面的周向中心处能经常产生最大的反电动势，在槽口 6 中可存有瓦状激磁永久磁铁 3。

图 20 是永磁转子另一实施例的分解图。永磁转子 1，与上例一样把许多钢片 4 叠为一体来构成座架 2，而且钢片 4 上具有使一部分钢片凹陷的填塞部 8，通过互相压入填塞部层叠为一体。激磁永久磁铁 3 做成矩形截面的六面体，再将该激磁永久磁铁 3 分别插入槽口内，最后用圆形铁片 25 安装具有填塞部 8 的钢片，并利用填塞部 8 一体压入，使铁片 25 的外周稍微接触激磁永久磁铁(参见图 21)。这种结构下，填塞钢片时，能通过旋转方向定位销填塞位于座架内部的空隙，从而可防止激磁永久磁铁轴向脱出，而且在将座架热套上旋转轴后也能插入激磁永久磁铁，最后还能填塞铁片 25。再用粘接剂固定激磁永久磁铁，并且转子在致冷剂或加压流体内使用的情况下，即使粘接剂被致冷剂或加压流体溶解，但因存在钢片 25，激磁永久磁铁也不会从槽口脱出。激磁永久磁铁的固定又可以同其加工精度无关。

这样，第 3 实施例的永磁转子利用在插入激磁永久磁铁的槽口的至少一个端部，使座架钢片与同一形状钢片偏填塞部的间距量，激磁永久磁铁就能轴向固定，而且能用填塞间距设定钢片的偏移量，所以上述偏移能设定成微小角度，而且没有激磁永久磁铁的端面磁力线泄漏。又因钢片在单个端部偏移，所以对钢片的轴向倾斜有阻止效果。再因钢片上有空隙，钢片之间填塞部的压入位置变得极简单。空隙的形状能任意设定，所以座架本身的重量也减轻，而



且填塞部及空隙的位置相对旋转轴为点对称，所以座架的平衡也好。另外，将座架热套在旋转轴上后，激磁永久磁铁也容易插入，而且插入后以上述空隙为基准，不难借助填塞固定其他形状的铁板。再者，槽口与激磁永久磁铁的位置调整不需要很高的加工精度，所以永磁转子容易制造。在致冷剂或加压流体下使用也能防止激磁永久磁铁脱落，同时能获得制造容易，装配也不难的永磁转子。

图 22 是第 4 实施例的永磁转子的斜视图。图 23 是与永磁转子旋转轴成正交的截面。此例中，永磁转子 1 具有一对板状的激磁永久磁铁 3。上述座架 2 与前例一样，用金属模具冲裁许多钢片 4，并层叠而成，并且钢片 4 具有使一部分钢片凹陷的填塞部 8，通过互相压入填塞部 8 层叠为一体。此外，本实施例中桥接部 10 做成宽度为 0.35mm。

图 23 中，由于通过桥接部 10 的磁力线不通过座架 2 的外部空间，不会与电机的定子相交，从而也不会产生使永磁转子旋转驱动的力。减少通过该桥接部 10 的磁力线，能更有效地利用激磁永久磁铁 3 的磁力。

通过上述桥接部 10 的磁力线 Φ ，能用下式计算。设桥接部 10 的截面积为 S 、钢片 4 的磁通密度为 B ，则：

$$\Phi = B \times S$$

由此式可知，要减少通过桥接部 10 的磁力线，减小桥接部 10 的截面积 S 即可。从反面看，波及桥接部的离心力破坏可用下式计算，设离心力为 F ，钢片的屈服点为 D ，则：

$$F/S < D$$

截面积 S 又可用下式计算。在图 22 中，设桥接部宽度为 M 、



钢片厚度为 T 、座架厚度为 N ，则

$$S=M \times T \times (N/T) \times 2$$

由此式可知，若座架长度不变，则从桥接部 10 的机械强度考虑，增大容许宽度 M 为好。再者，上式中， (N/T) 为钢片 4 的块数， $(\times 2)$ 是因为桥接部相对 1 个磁极部有 2 处。

图 24 表示桥接部宽度、桥接部的磁通密度以及桥接部的机械强度的关系。具体地说，横轴表示桥接部宽度、纵轴表示取决于桥接部磁通密度和离心力的机械强度。曲线 $L1$ 表示磁通密度曲线， $L2$ 表示起因于离心力的机械强度曲线。曲线 $L1$ 表示，通过金属模可冲裁宽度 a 点，至可容许磁通密度的宽度 b 点，为变化平坦的直线，超过 b 点的宽度，磁通密度就减小。

a 点的金属模可冲裁宽度为钢片厚度所左右，厚度可以由 0.1mm 、 0.35mm 和 0.5mm 中的任一种构成。可用金属模冲制的桥接部宽度有 $M/T > 1$ 的关系。例如对厚度 0.35mm 的钢片，桥接部宽度为 0.35mm 以上时能容易制造。但是，从起因于离心力的机械强度考虑，桥接部存在机械强度所容许宽度的影响。因此，该容许宽度在可用金属模冲制的宽度内时，通过选择可用金属模冲制的宽度和磁通密度所容许的宽度中的任一宽度，就能用金属模进行最小宽度冲制，而且激磁永久磁铁的磁力线损耗少，能获得高效率性能的永磁转子。

另外，起因于离心力的机械强度方面的容许宽度大于磁通密度所容许的宽度时，选前一宽度。这种情况下，因为对金属模冲裁有刚性，能简单制造，而且钢材能用低饱和钢，所以又有制作成本低的优点。

简言之，在可冲裁宽度、磁通量所容许宽度和起因于离心力的

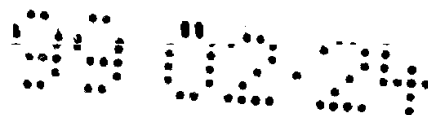


机械强度所容许宽度等三种宽度中，将上述槽口两端的桥接部设定成大于第一种和第三种中较大的一种，同时又小于第二种。不过，作为例外，第三种宽度大于第二种宽度时，选第三种。

图 25 是第 5 实施例的永磁转子的斜视图。图 26 表示与永磁转子的旋转轴正交的截面。此例中，永磁转子 1 有一对板状的激磁永久磁铁 3。上述座架 2，与前例相同，用金属模冲压许多钢片 4，并层叠而成。本实施例中，钢片 4 的各磁极部上设有使一部分钢片凹陷的填塞部 8。用金属模冲压使一部分钢片凹陷而形成该填塞部。因此，能在各磁极部上利用该填塞部 8 的凹陷部位形成空隙。

图 26 中，箭号表示各磁极部与定子磁极部之间的磁力线流向。定子 26 的内部设有永磁转子 3，定子磁极部 27 由未图示的线圈激磁。两槽口 6 位于座架 2 的磁极部 5a、5c 的底部，并设置在与座架 2 的旋转轴 2 等距离的位置上。如上所述，这些槽口 6 中激磁永久磁铁 3 将表现为 N 极的面互相对着配置，所以磁力线如图所示，在磁极之间受排斥，从座架 2 的磁极部 5a、5c 出发，到达磁极部 5b、5d。结果是磁极部 5a、5c 表现为 S 极，反之，磁极部 5b、5d 表现为 N 极，座架 2 的外周面就成了具有 4 个磁极部，且每一个磁极都有 N 和 S 极性。

座架 2 中，钢片叠层用的填塞部 8 设在各磁极部，各磁极部上的磁力线流向如图 26 的箭号所示，避开填塞部 8 到达座架 2 的磁极面。这是因为填塞部 8 由钢片凹陷所构成，凹陷部成为空隙，而空隙部相对于钢片，其透磁率低，所以在填塞部磁阻增加。因此，磁力线在位于磁极部的填塞部 8 处左右分散，不会集中于旋转方向。这样一来，由这些磁力线产生的反电动势也在磁极部的中心处变得最大，从而能防止永磁转子各磁极部的位置检测误差。



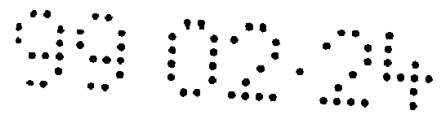
另外，由于填塞部 8 设在各磁极部 5a ~ 5b 上，所以外力不易传到连结磁极部的底部和头部的桥接部 10 上，磁极部的头部上即使加上意外的外力，也不会在座架 2 的钢片上产生剥落和间隙。

图 27 和图 28 说明永磁转子的另一实施例，分别画出座架 2 的正视图与截面图。在前例中，用使钢片凹陷的填塞部作钢片 4 的连结部。本实施例则在各磁极部 5a5b、5c、5d 上开贯通孔，让轴 28 穿过，以连结叠层钢片而构成座架 2。由于用铝、不锈钢等非磁性材料作轴 28，所以磁阻在轴部分增加，能获得与前例同样的效果。再者，本实施例中连结轴 28 两端的固定是用铆接固定，但也可采用螺旋紧固，焊接等任意方法。

各磁极部 5a ~ 5d 上的连结部及空隙位置不必位于磁极部的中心，以位于相对磁极部中心靠转子旋转方向一侧，并使其最接近磁极部头部为好。通过将空隙或连结部配置在旋转方向一侧，可抵挡要向旋转方向集中的磁力线流，有效促使磁力线集中到磁极部中心。另外，受阻向旋转方向集中的磁力线，在空隙或连结部处分散后，又要在磁极部集中到旋转方向。此时，因空隙或连结部设置在最接近转子旋转方向的磁极部头部，已分散的磁力线在集中于旋转方向之前，到达磁极部头部，结果是磁力线向磁极部中心部集中。因此，能更可靠地防止各磁极部的位置检测误差。

各磁极部上连结部或空隙不限于一个，也可以设置几个。此外，上述实施例说明的转子结构是座架的外周上形成 4 个磁极部，每隔一个磁极部插入激磁永久磁铁，但也不限于上述结构，形成任意偶数个磁极部，在每个磁极部插入激磁永久磁铁也能适用。

若利用本实施例的永磁转子，则因结构上是使连结各钢片的部位设在各磁极部，连结部上的磁阻增大，所以能抑制磁力线向旋转



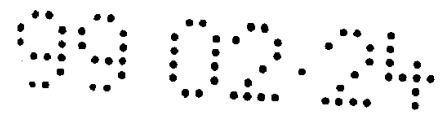
方向集中。另外，用连结部设置在各磁极部的位置上，促使磁力线集中于各磁极部中心的方法，在磁极部中心处产生最大反电动势，因而能获得正确检测永磁转子磁极部位置的无位置传感器的无刷电机。

由于连结部设在各磁极部，外力不易传到连结磁极部的底部和头部的桥接部，即使意外的外力加到磁极部头部，也能防止构成永磁转子的座架钢片剥离和有间隙等形变，从而能提供强度优良的永磁转子。

图 29 为计算机分析图，表示与三相四极电机(24 极)永磁转子的旋转轴成正交的截面上，正常旋转中的磁力线流动状况。由该图的磁力线流可知：因激磁永久磁铁存在上磁极部，定子磁极部(磁极)来的磁力线转弯，三个定子磁极部来的磁力线流向一个激磁永久磁铁。由于磁铁的一半磁力线通过上述激磁永久磁铁上磁极部，因此激磁永久磁铁与上述磁极部外缘的宽度 a 和定子磁极部的宽度 b 之间的关系以($a=1.5 \times b$)为好[包括 a 大致为 $1.5 \times b$ 的情况]。即 a 部分通过磁铁的半数磁力线，也即定子磁极部磁力线的 1.5 倍。在上述的($a=1.5 \times b$)情况下，双方磁通密度相等，磁力线容易流动，磁力线泄漏少，因而损耗小、电机效率高。

由于通常定子磁极部的宽度 b 不变，若宽度 a 大于($1.5 \times b$)，则因转子与定子间的间隙已定，激磁永久磁铁就相对接近旋转轴，因此，等于激磁永久磁铁外侧的磁极部面积扩大，转子外侧的间隙磁通密度下降。而且，若磁极部面积扩大，则为了维持离心力强度，桥接部宽度就加粗，从而损耗增多，电机效率下降。此外，磁铁的磁路也变长，泄漏量增多。

反之，宽度 a 小于($1.5 \times b$)时，激磁永久磁铁相对离旋转轴较



远而靠近定子，因激磁永久磁铁外侧的磁极部面积缩小，磁力线变得不易转弯并容易饱和，而且磁通密度增高、损耗(铁损)增多，容易发生热引起的磁铁退磁。

如上所述，当 a 大致等于 $(1.5 \times b)$ 时，能避免上述不良情况，一方面能确保桥接部的强度，同时又能设置后文将说明的转子磁极部缺口(消除局部性磁力线集中)。当然，上述宽度 a 大于桥接部的宽度。

图 30 和图 31 是计算机分析图，表示与三相四极电机(24 极)永磁转子的旋转轴成正交的截面上，旋转中的磁力线流动状况。图 30 是在转子磁极部上设置缺口 29 后的情况，图 31 是没有设缺口的情况。图 32 及图 33 表示间隙磁通密度，且分别与图 30 和图 31 对应。无缺口 29 的情况下，磁力线分别集中于定子磁极部 103、104、105，且与定子线圈通过的电流(转矩大小)成正比。磁通量的大小依次为：磁极部 103 的磁力线、磁极部 104 的磁力线、磁极部 105 的磁力线。磁通局部性饱和，各定子磁极部之间的转矩产生偏差，因而发生转子的旋转变动。

与此相反，在设缺口 29 的情况下，因流入转子磁极部 203、204、205 的磁力线量基本相同，转子磁极部不仅没有极端的磁力线弯曲，而且磁极部的饱和也减少，各定子磁极部之间的转矩没有偏差，因而转子的旋转变动、振动也少。图 34 表示三相四极电机(24 极)永磁转子与定子的关系。A 为 2 个定子磁极部(2 极)的端部间隔，缺口 29 的宽度与此间隔对应，即角度 A 为缺口角度。再者，在图 34 中，非缺口部位的间隙 G 为 0.5mm、缺口部位的最大间隙 B 为 1.3mm、最大间隙 B 离转子中心的角度为 25° ，即自转子中心起 25° 处最偏。(至少偏 2 倍以上间隙)，缺口终端位置离转子中



心的角度为 34° 。上述值在三相四极电机的 12 极及 36 极情况下也相同。另外，三相六极电机的 18 极和 36 极情况下，缺口角度 A 为 16.7° 、缺口终结位置离转子中心的角度为 22.7° 。

本发明很适合作需精确旋转和耐久性的小型电唱机、各种音响设备、办公自动化设备等的无刷电机的转子。

说明书附图

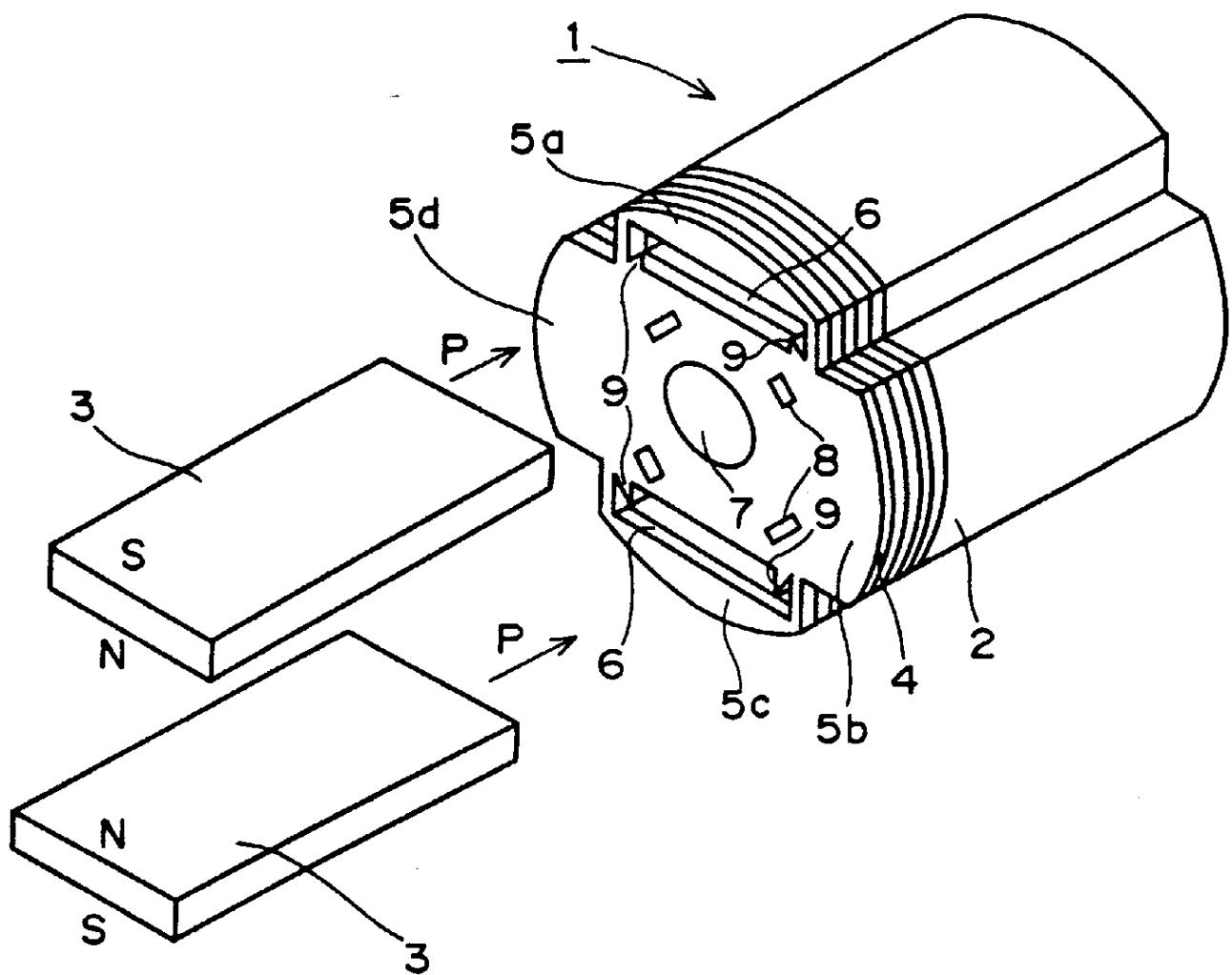


图 1

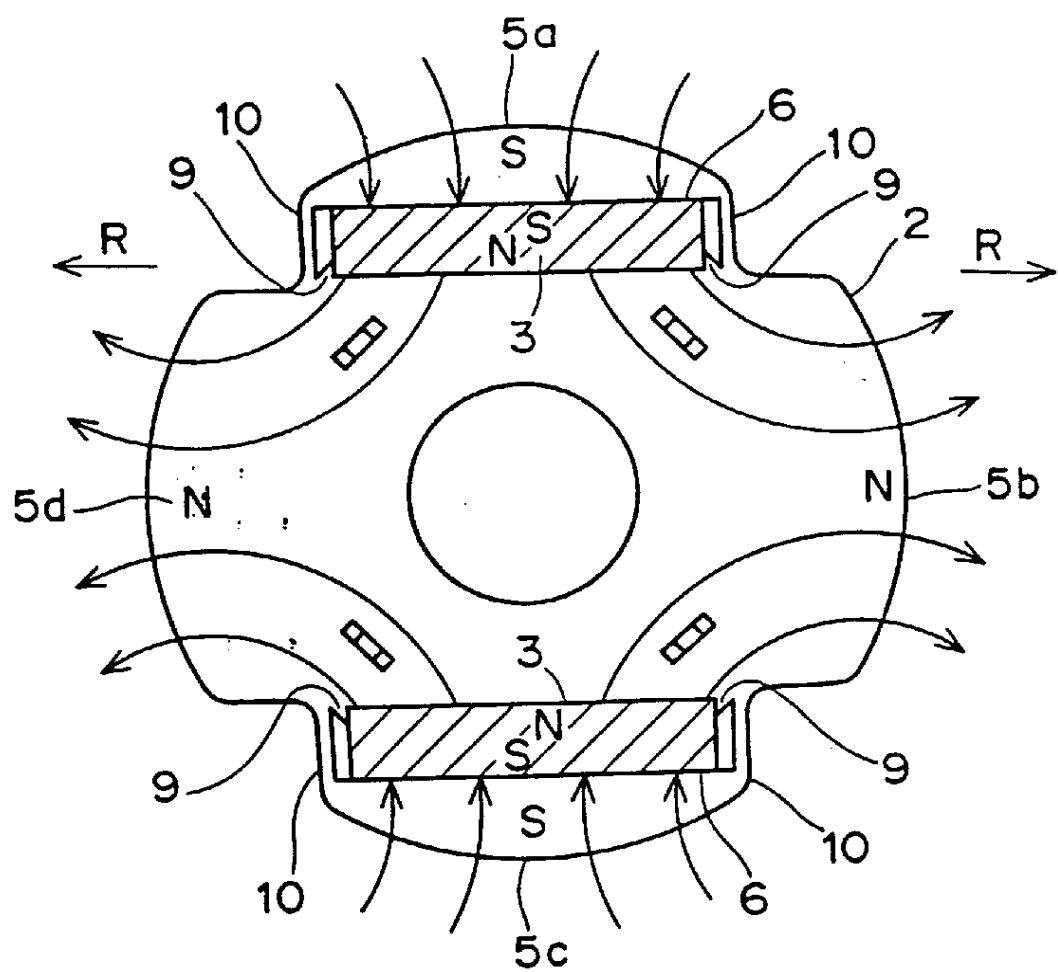


图 2

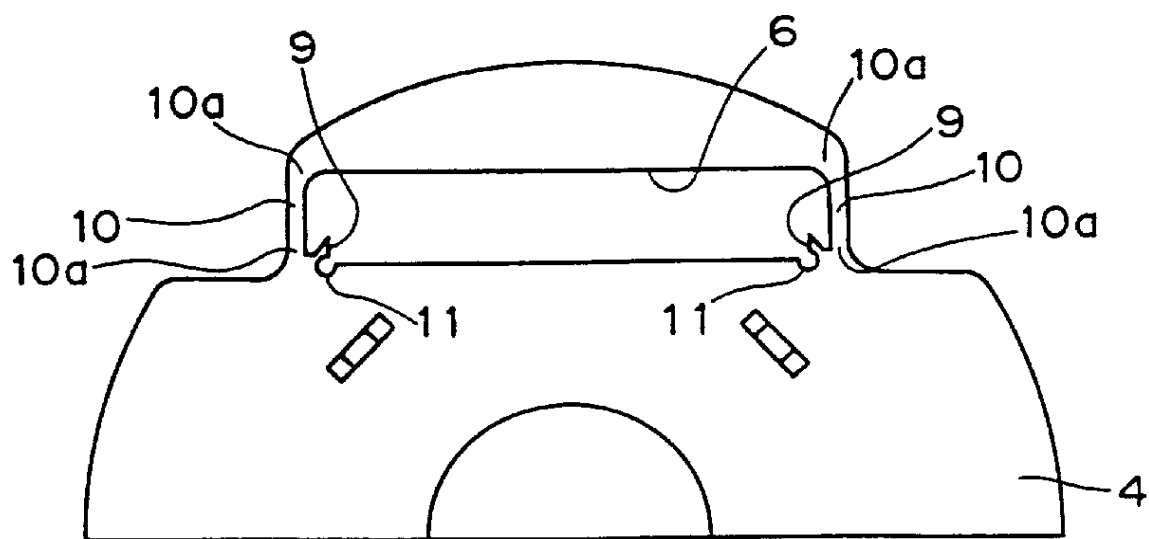


图 3

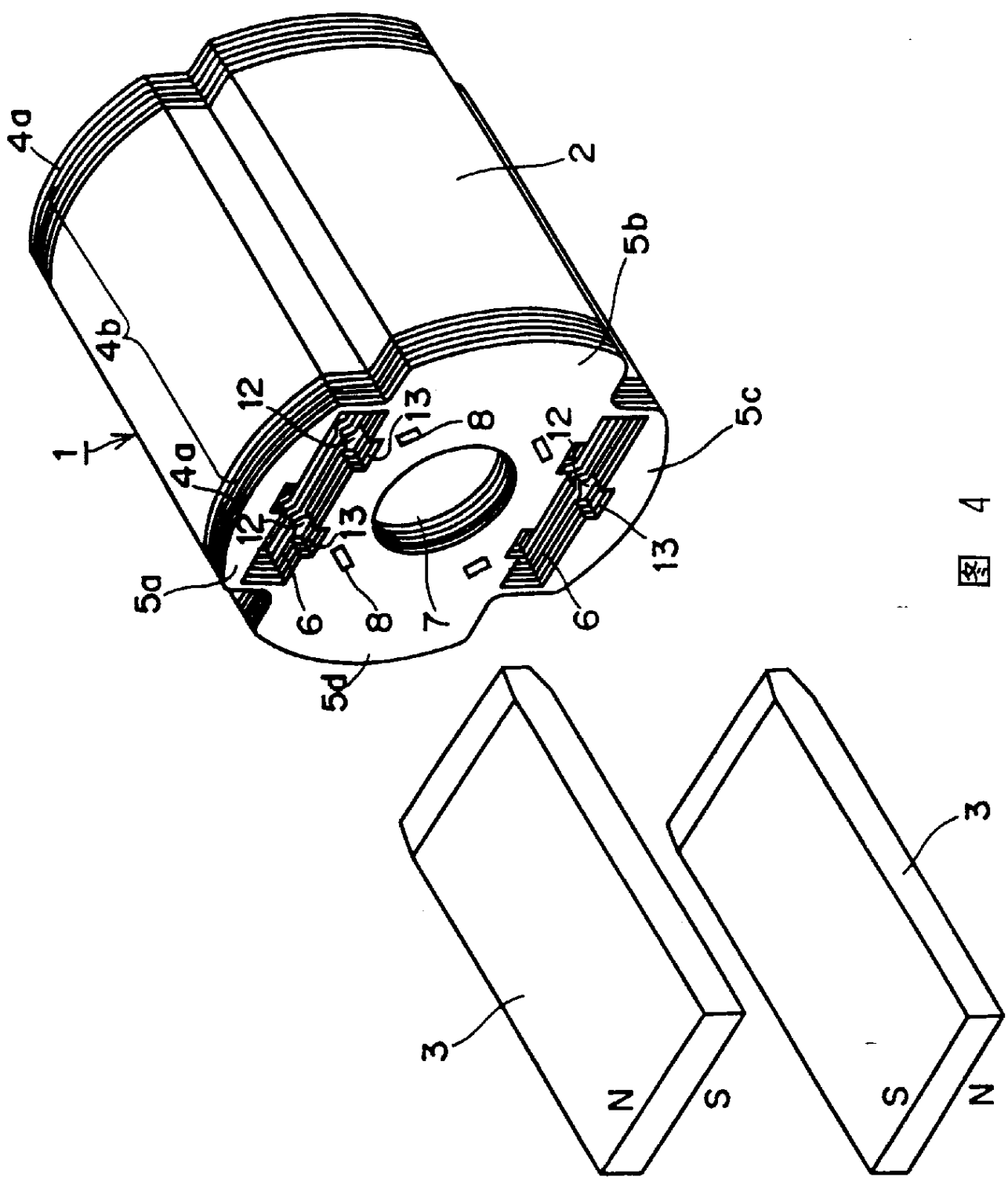


图 4

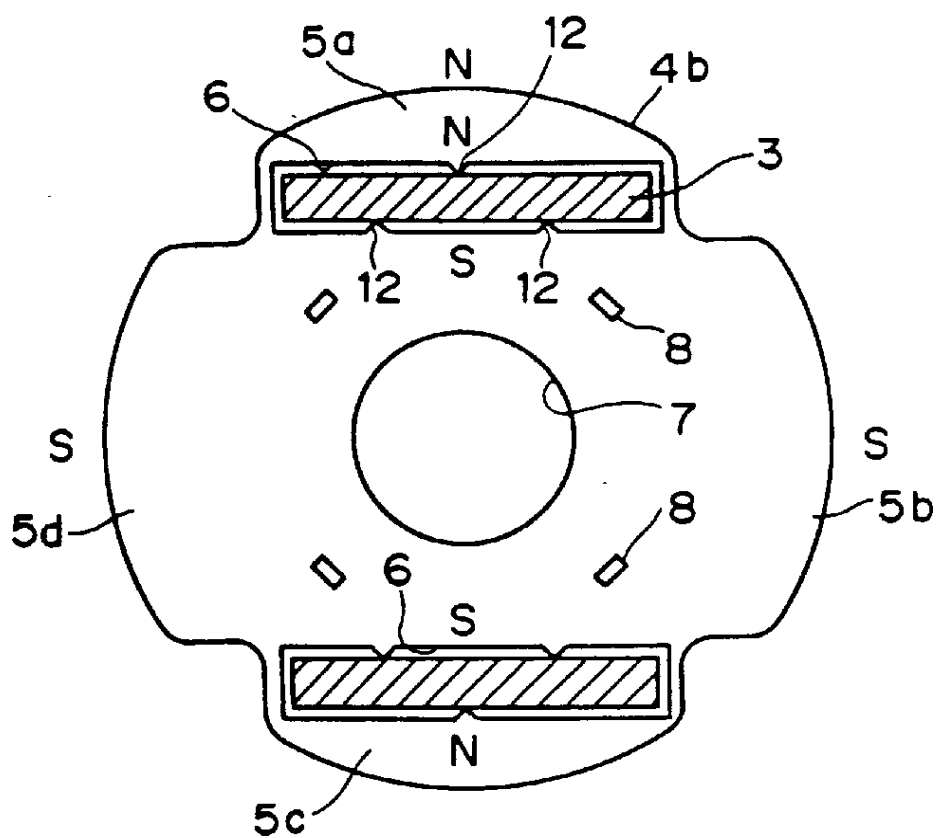


图 5

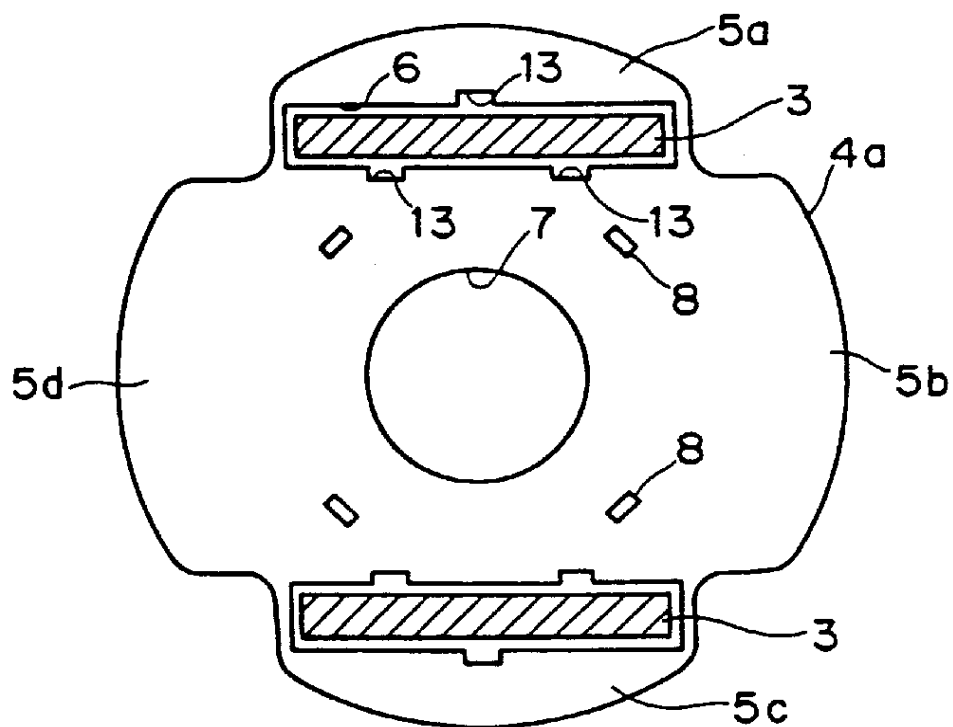


图 6

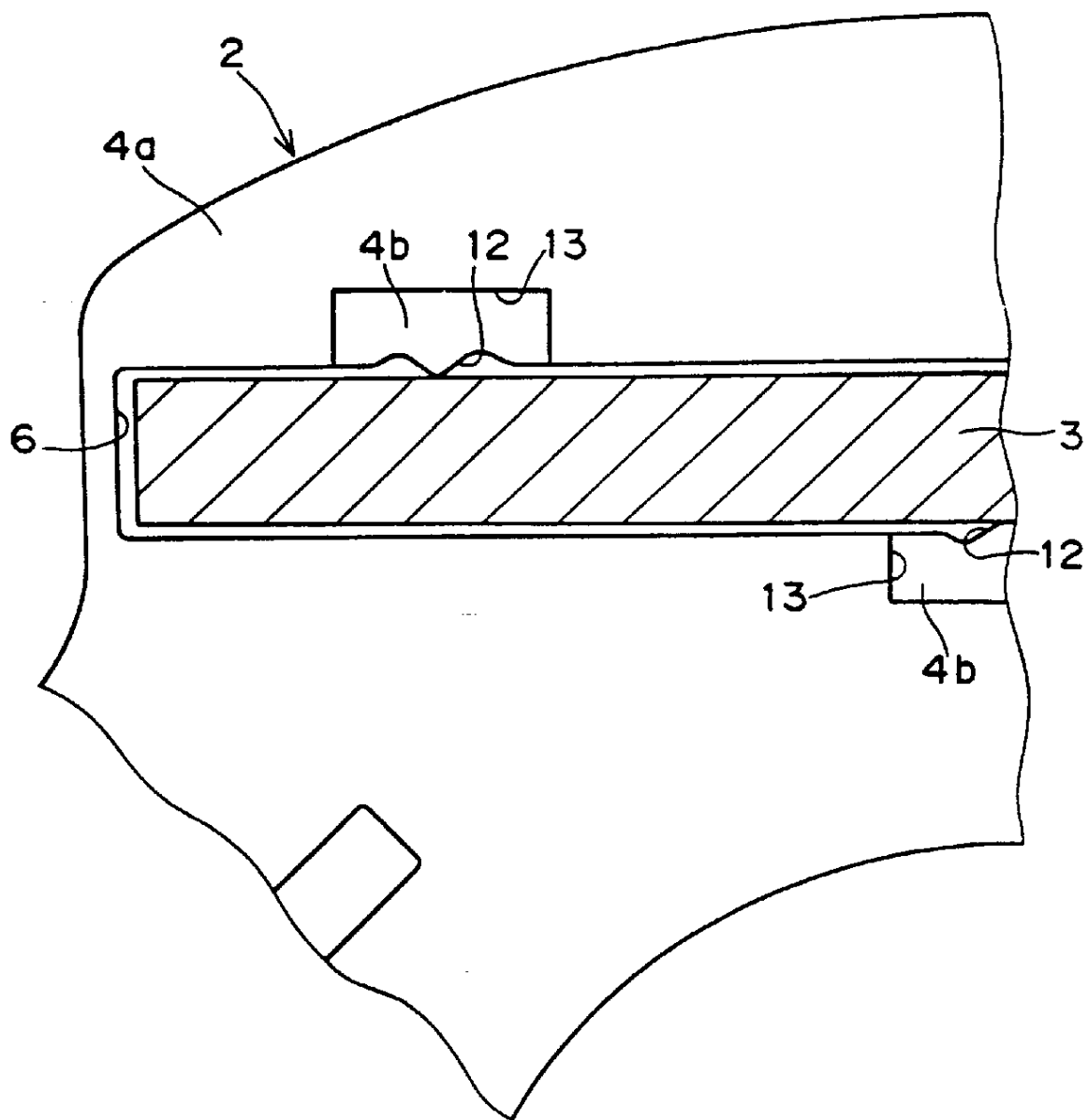


图 7

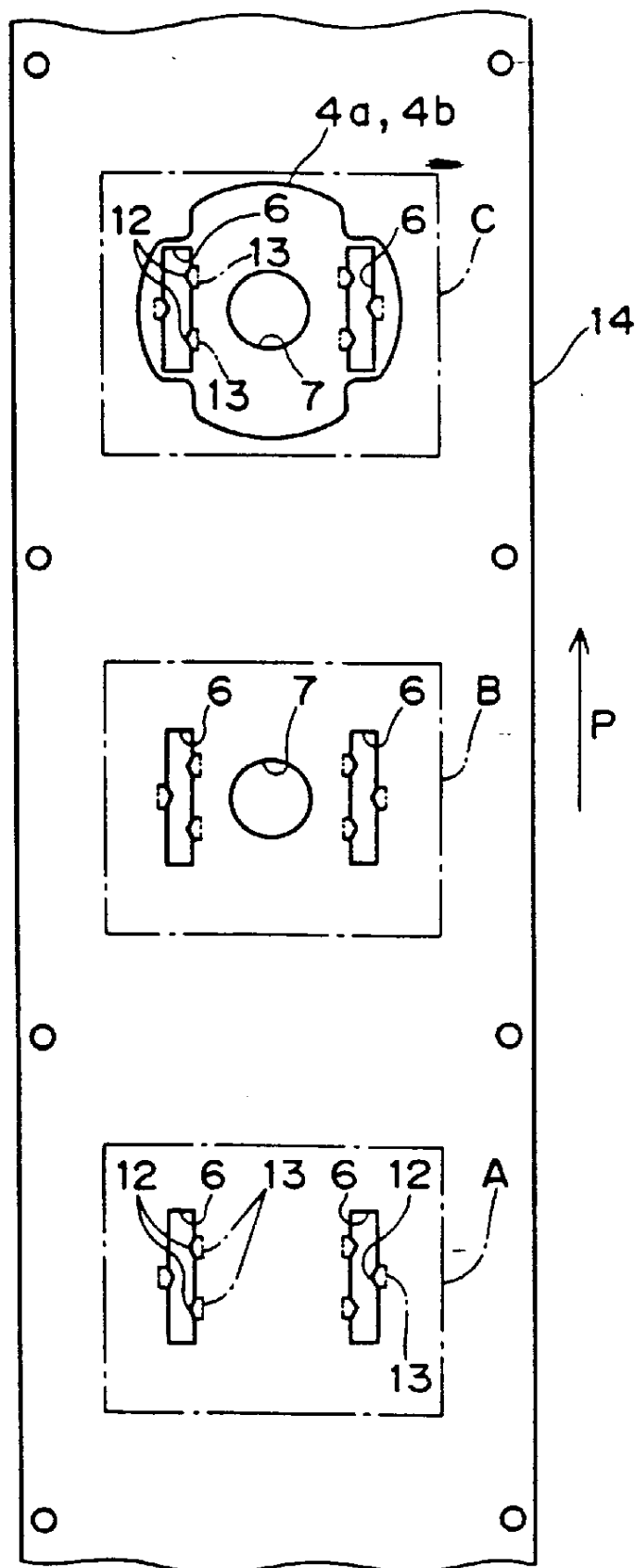


图 8

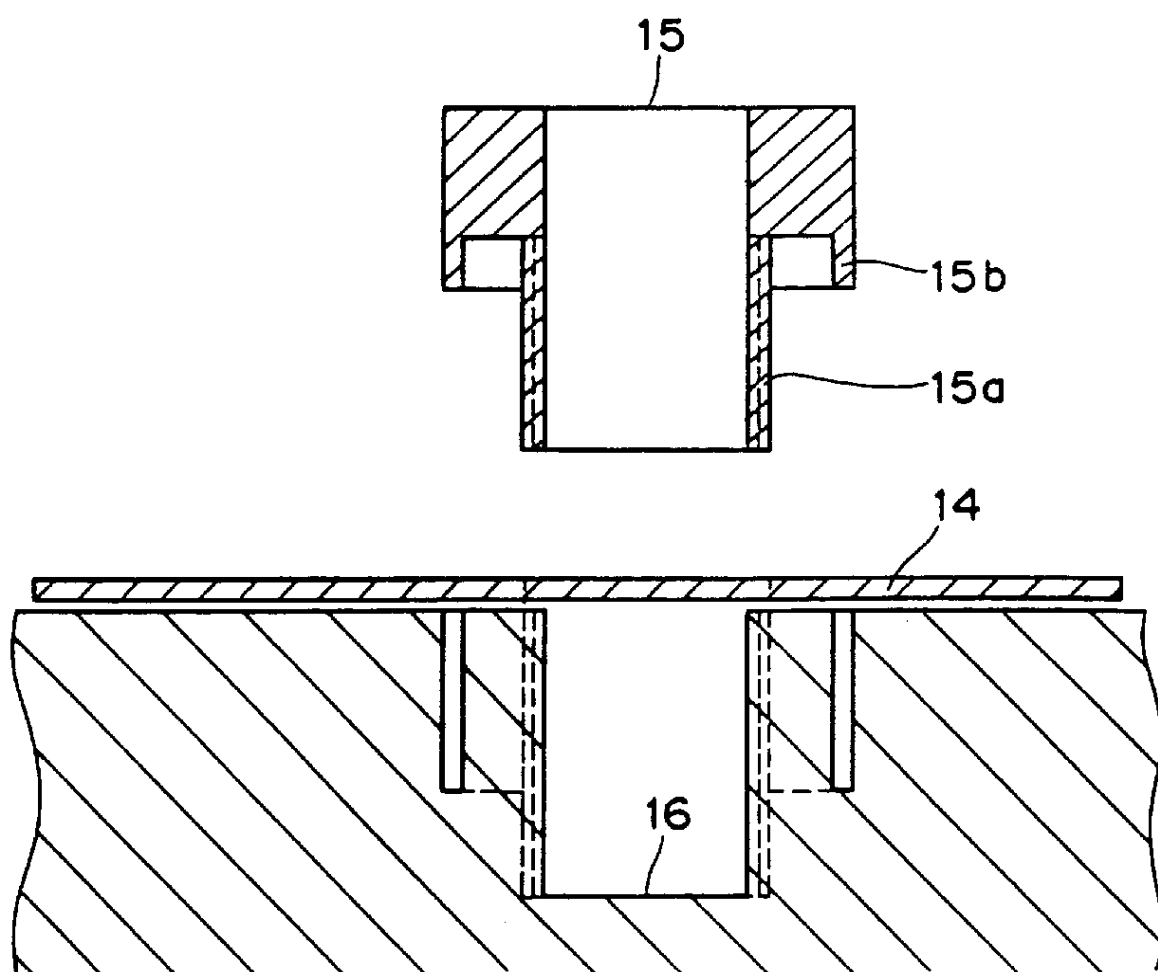


图 9

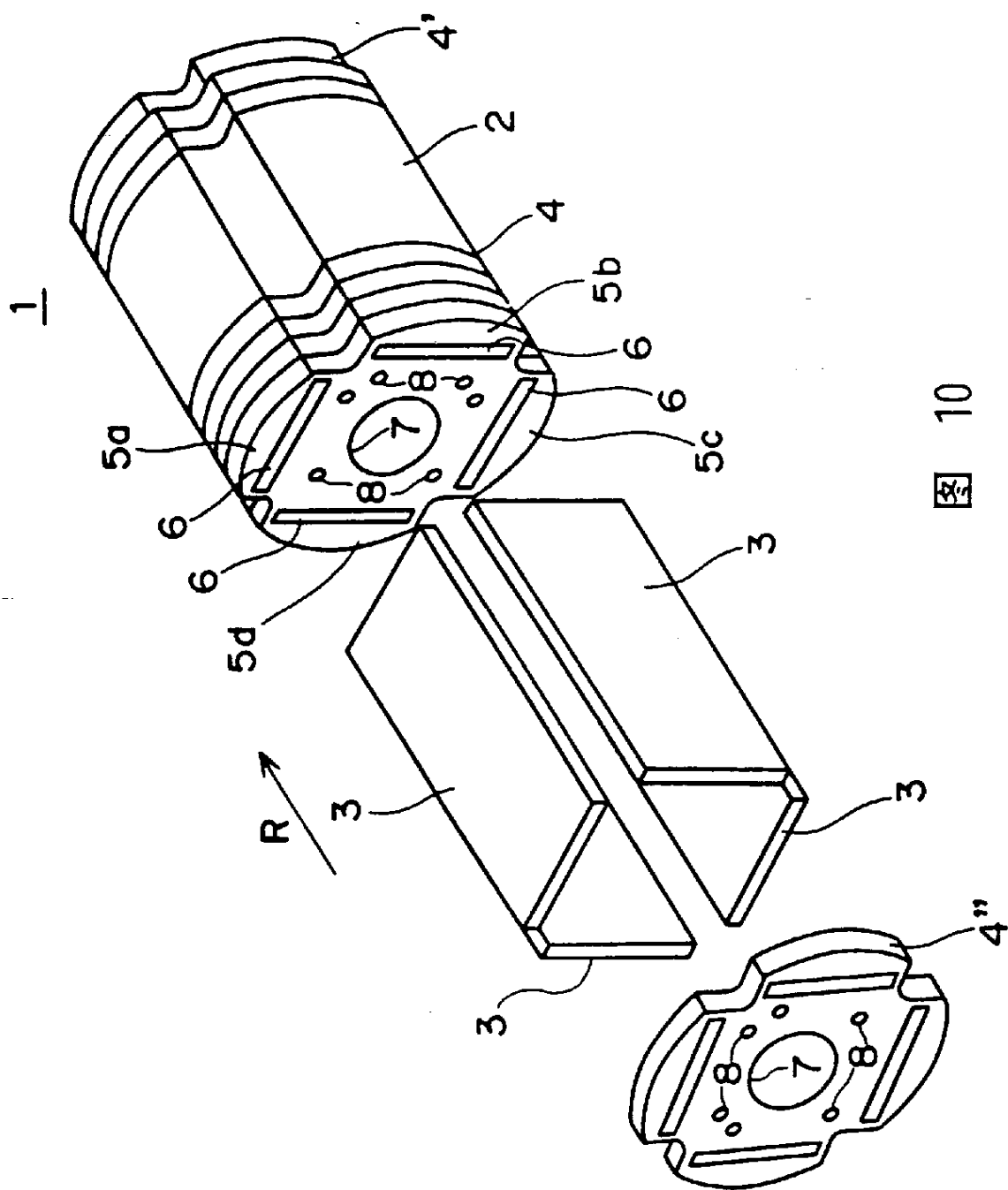


图 10

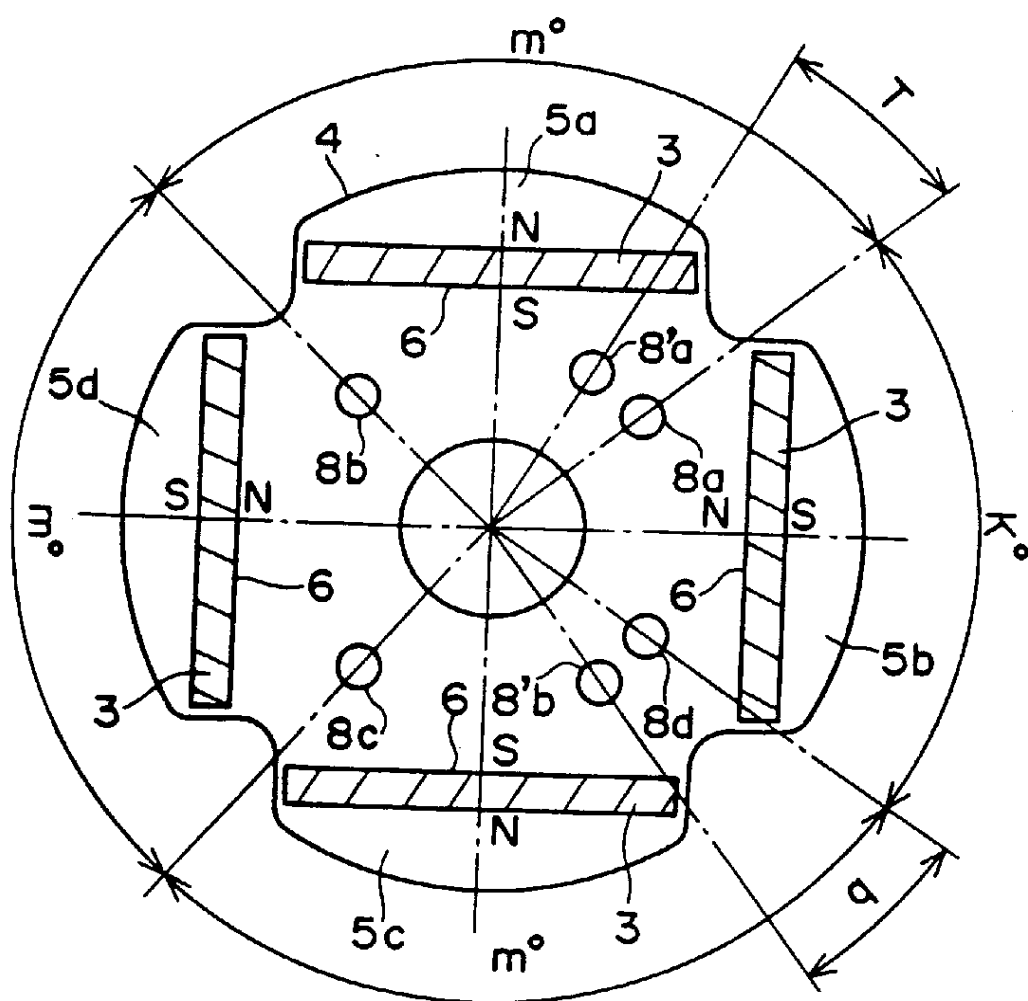
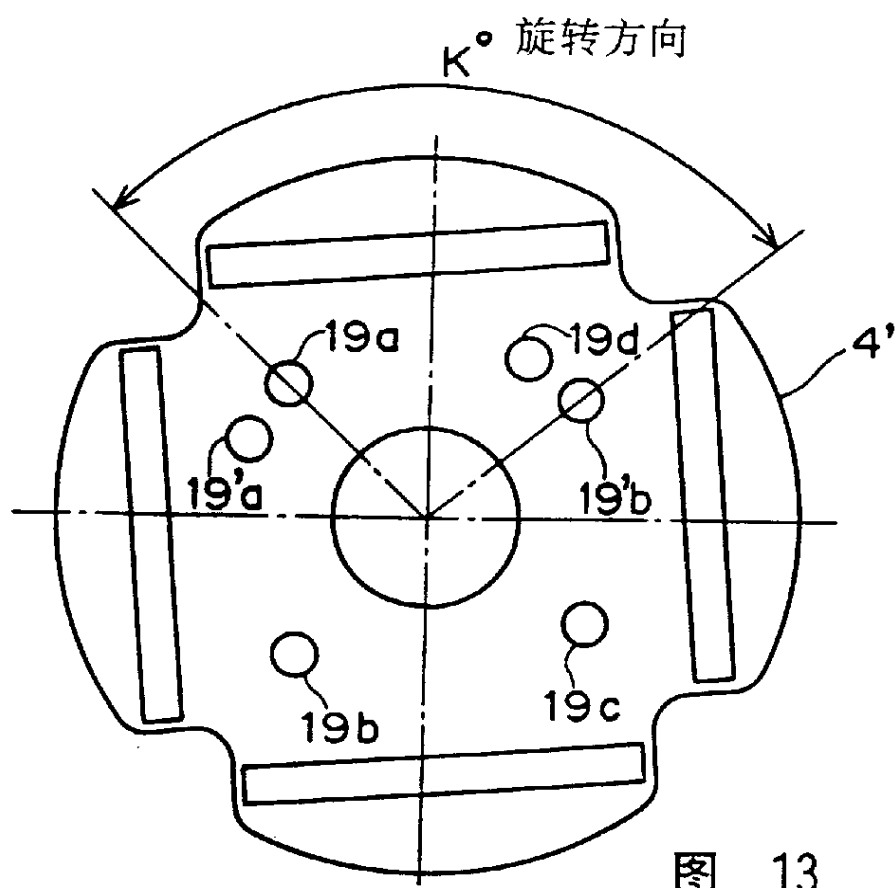
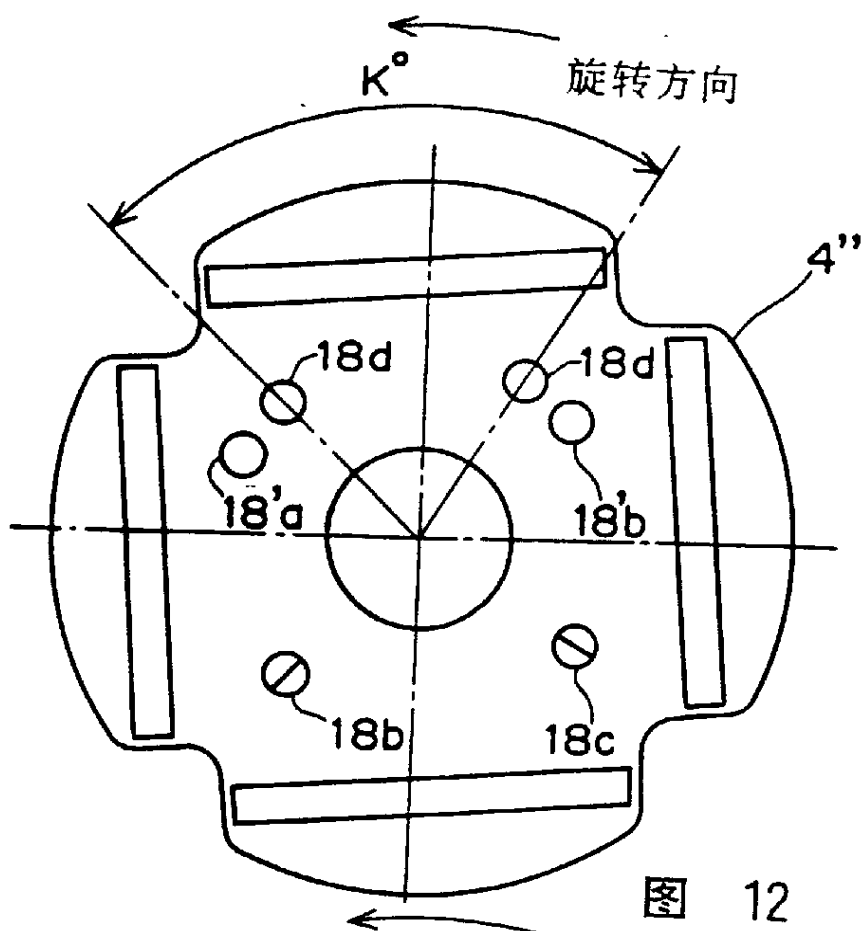


图 11



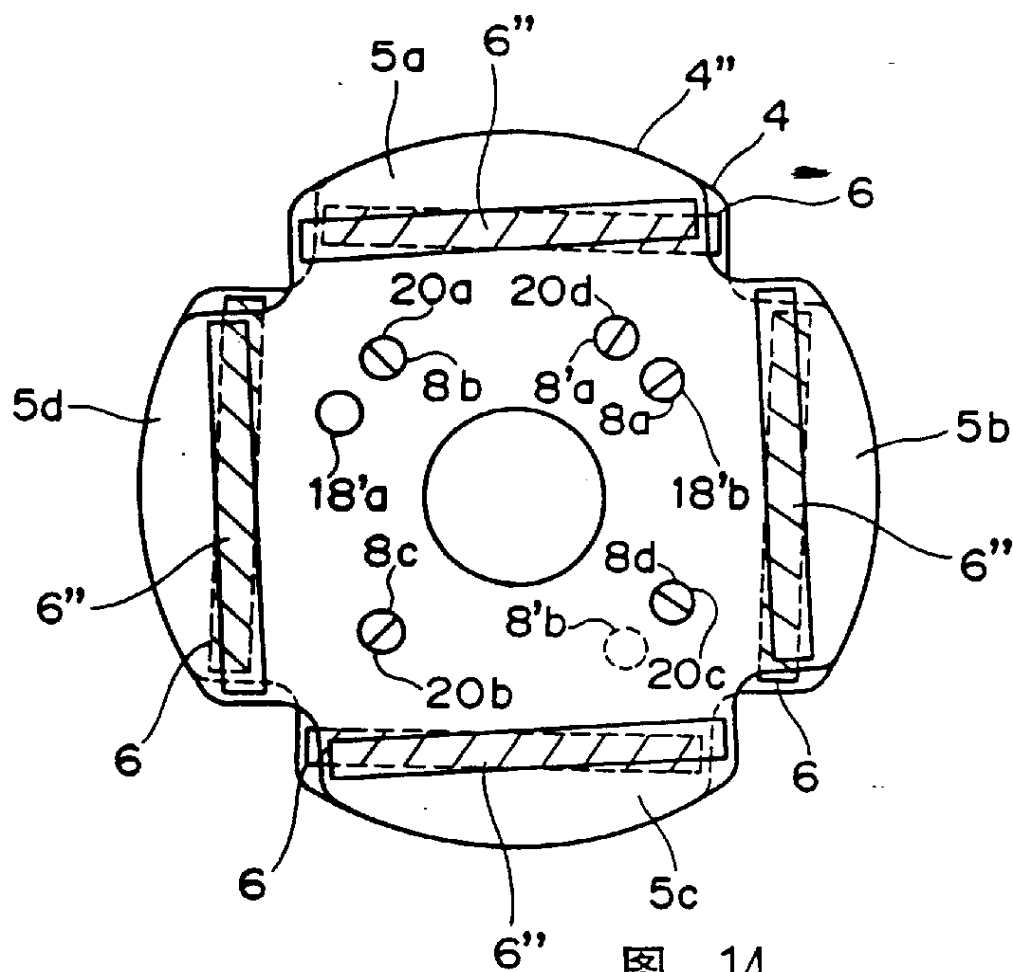


图 14

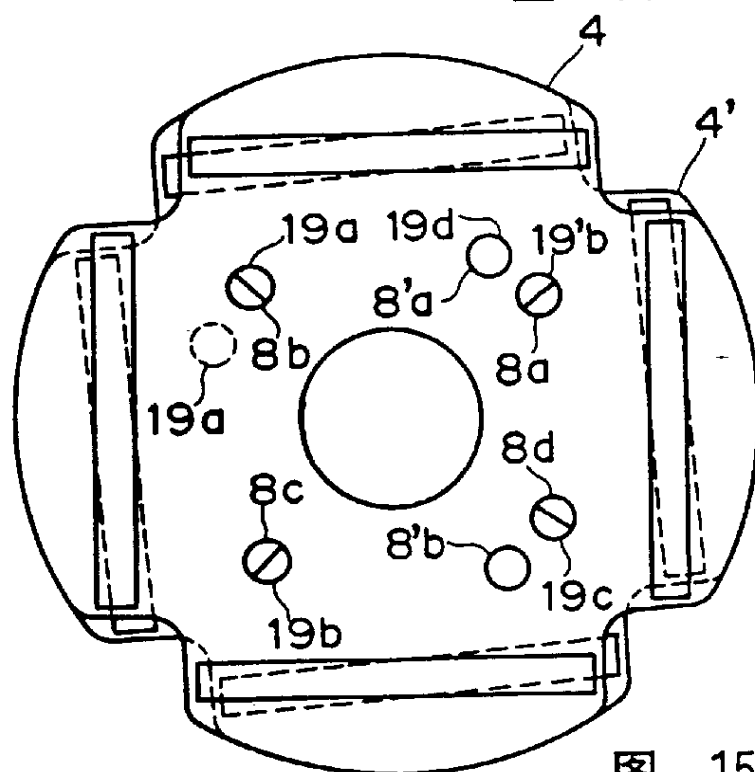


图 15

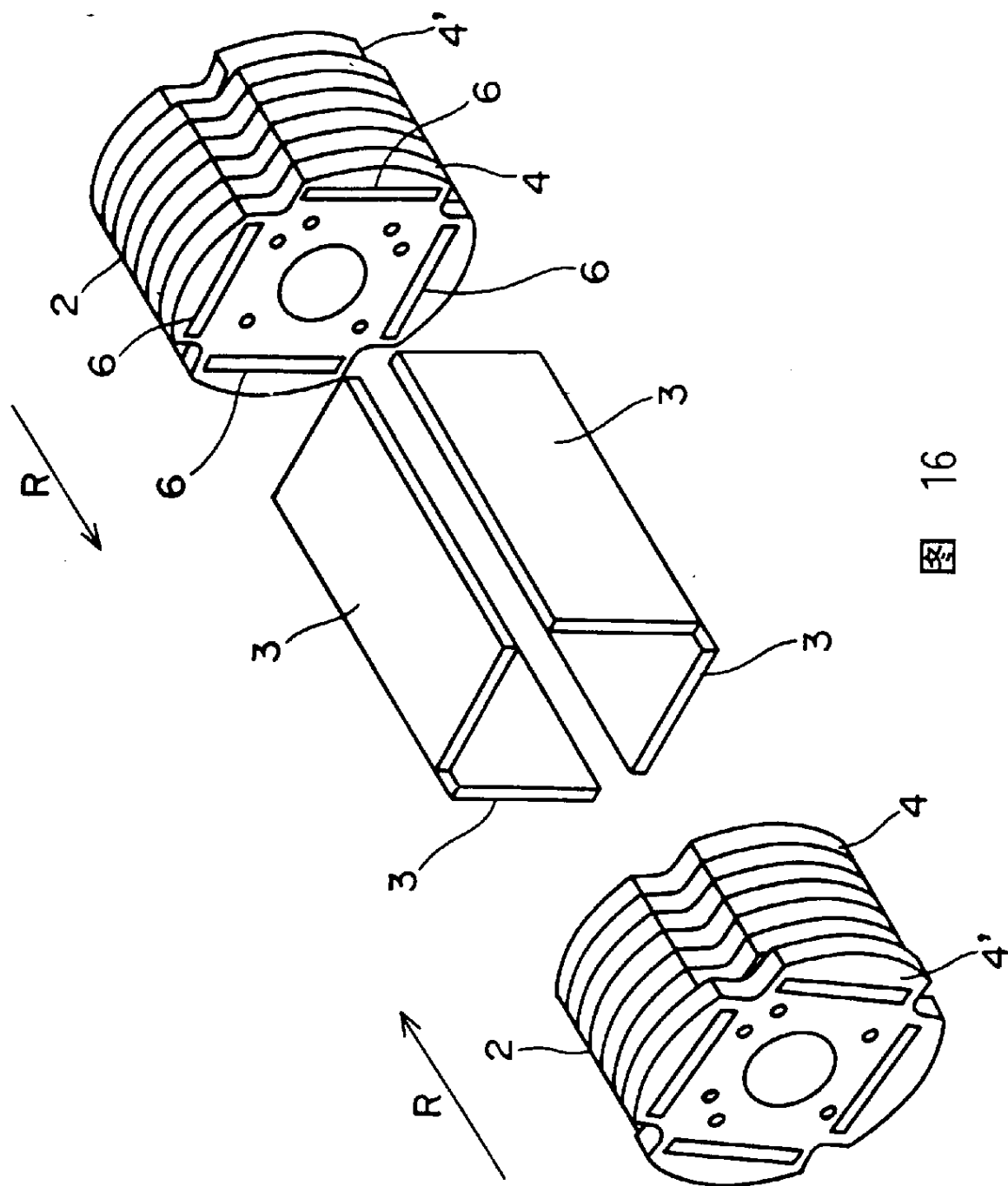


图 16

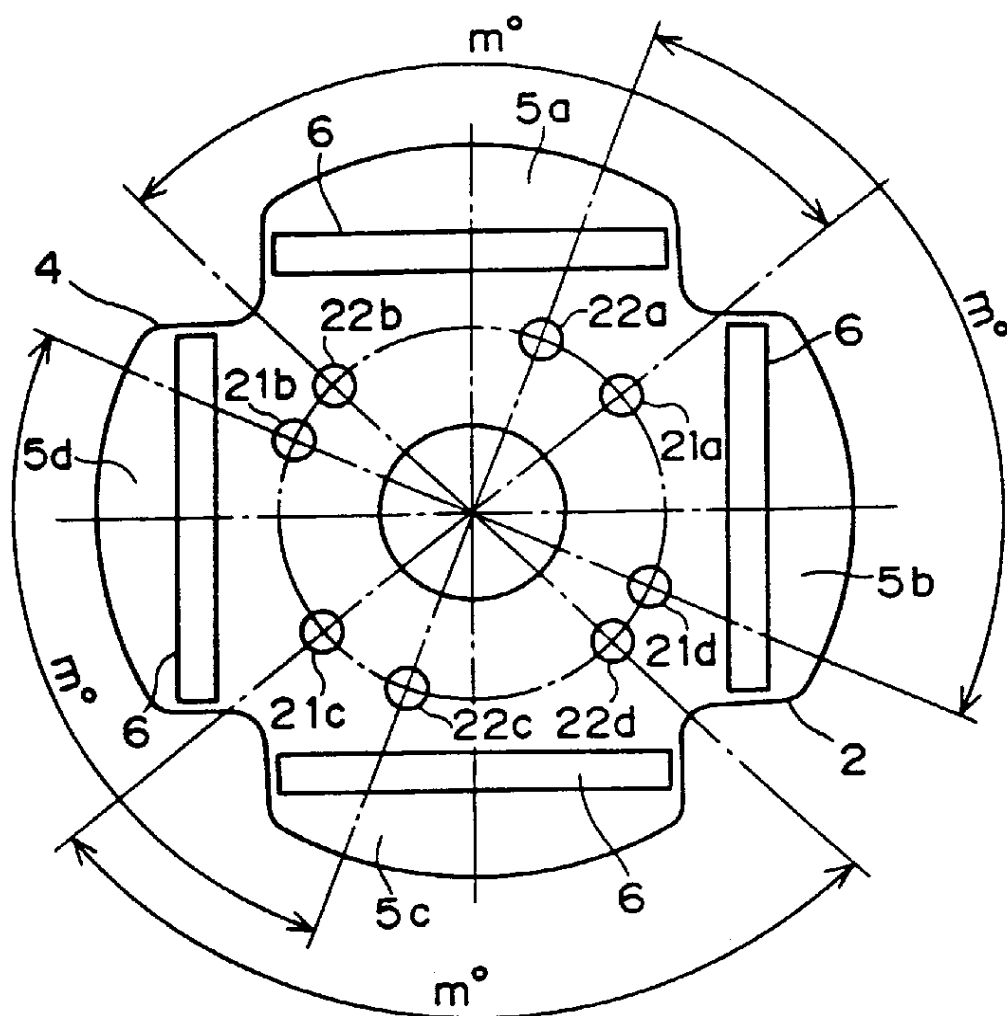


图 17

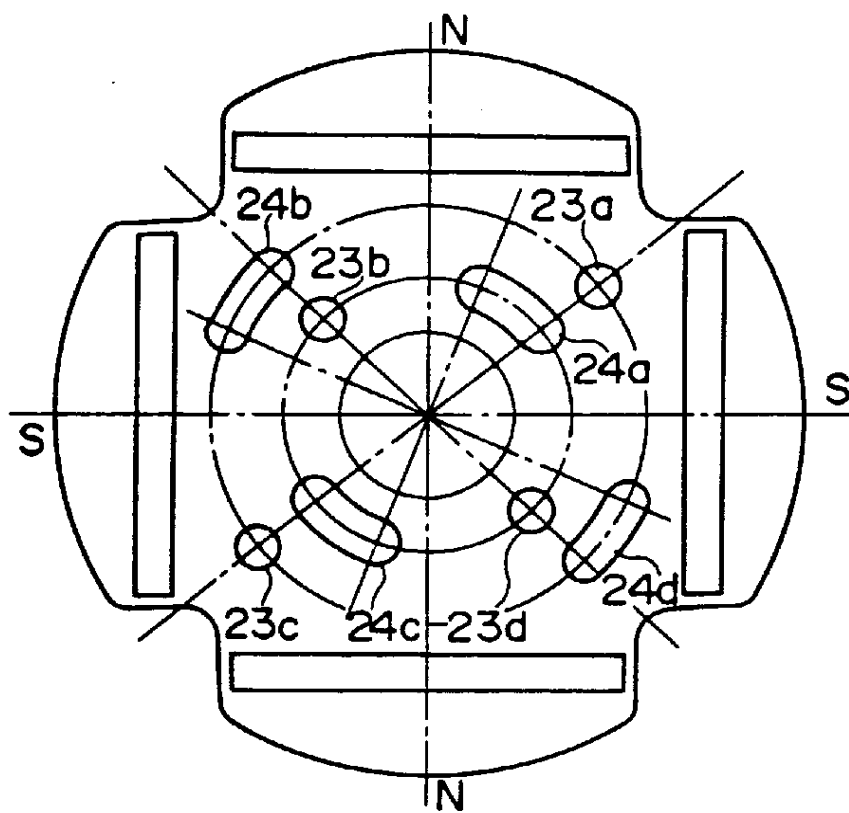


图 18

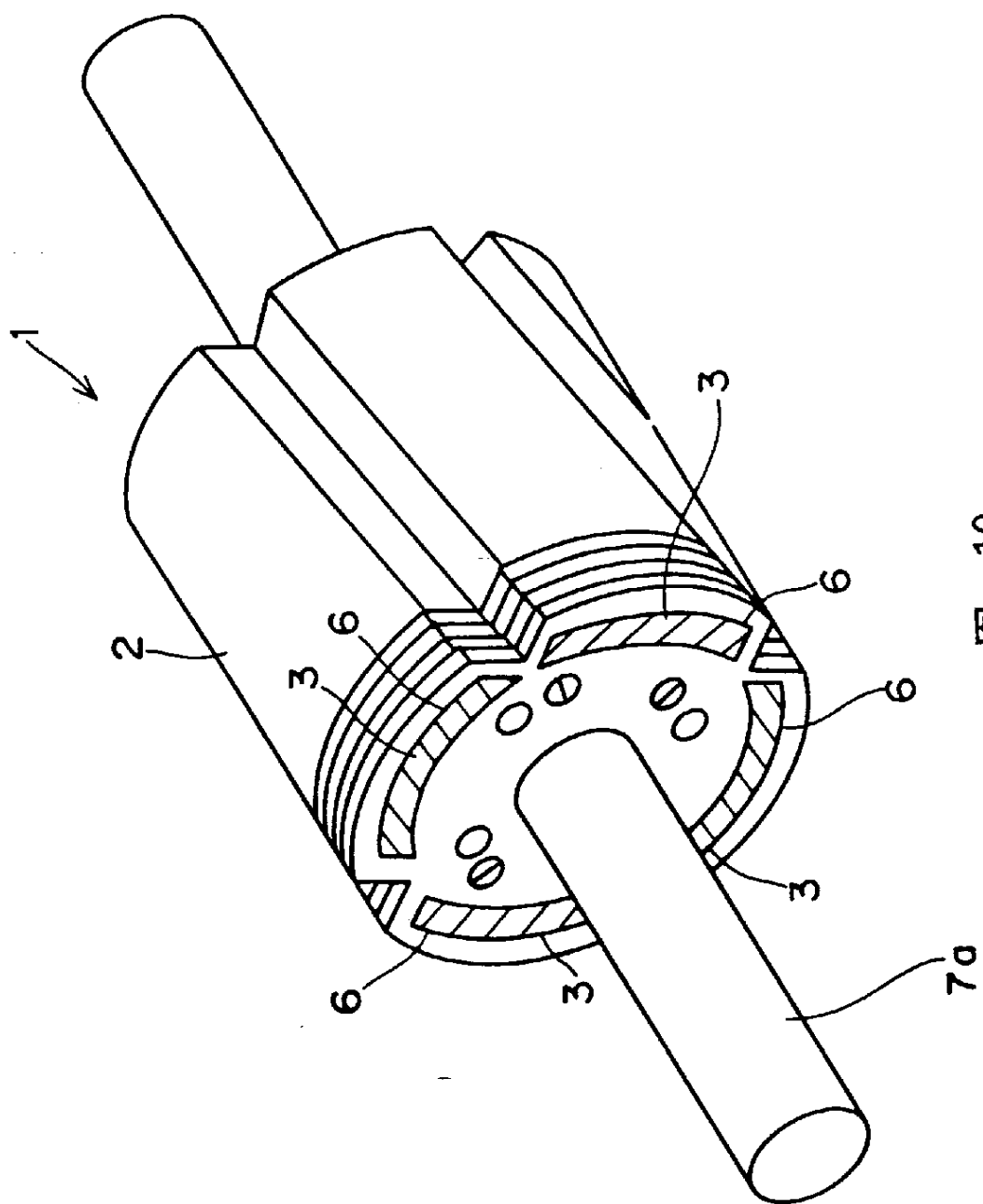


图 19

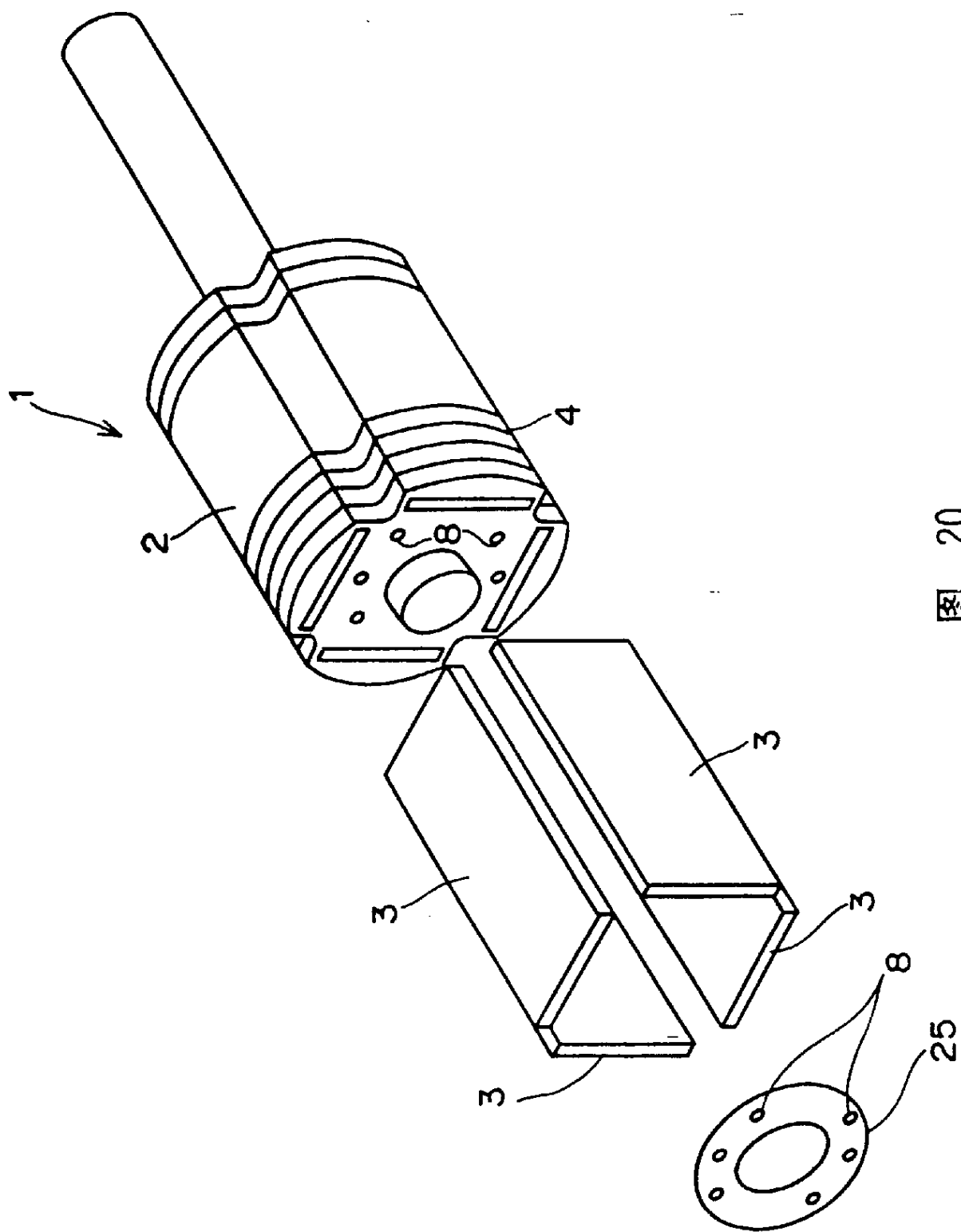


图 20

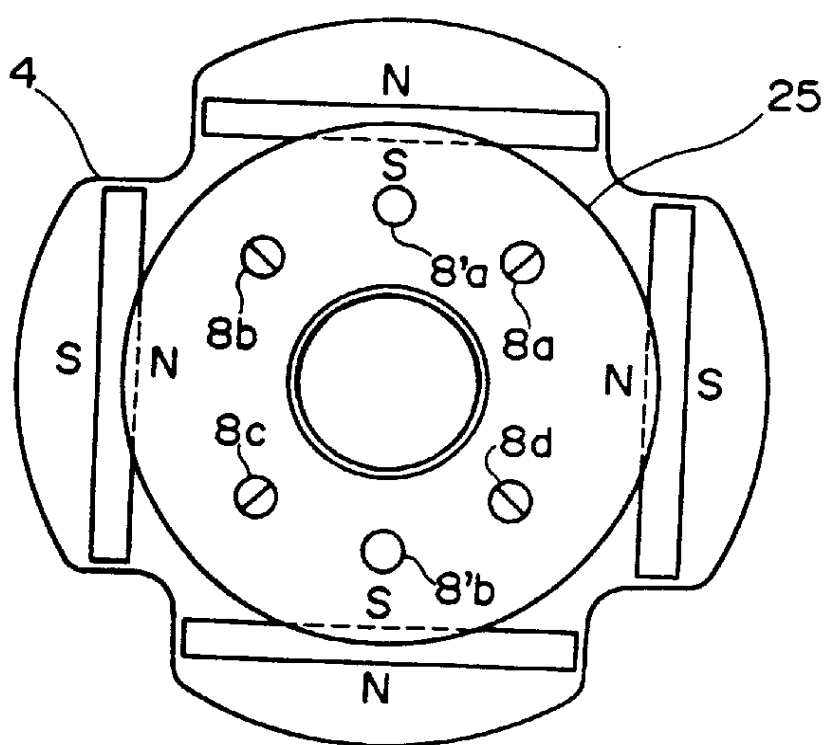


图 21

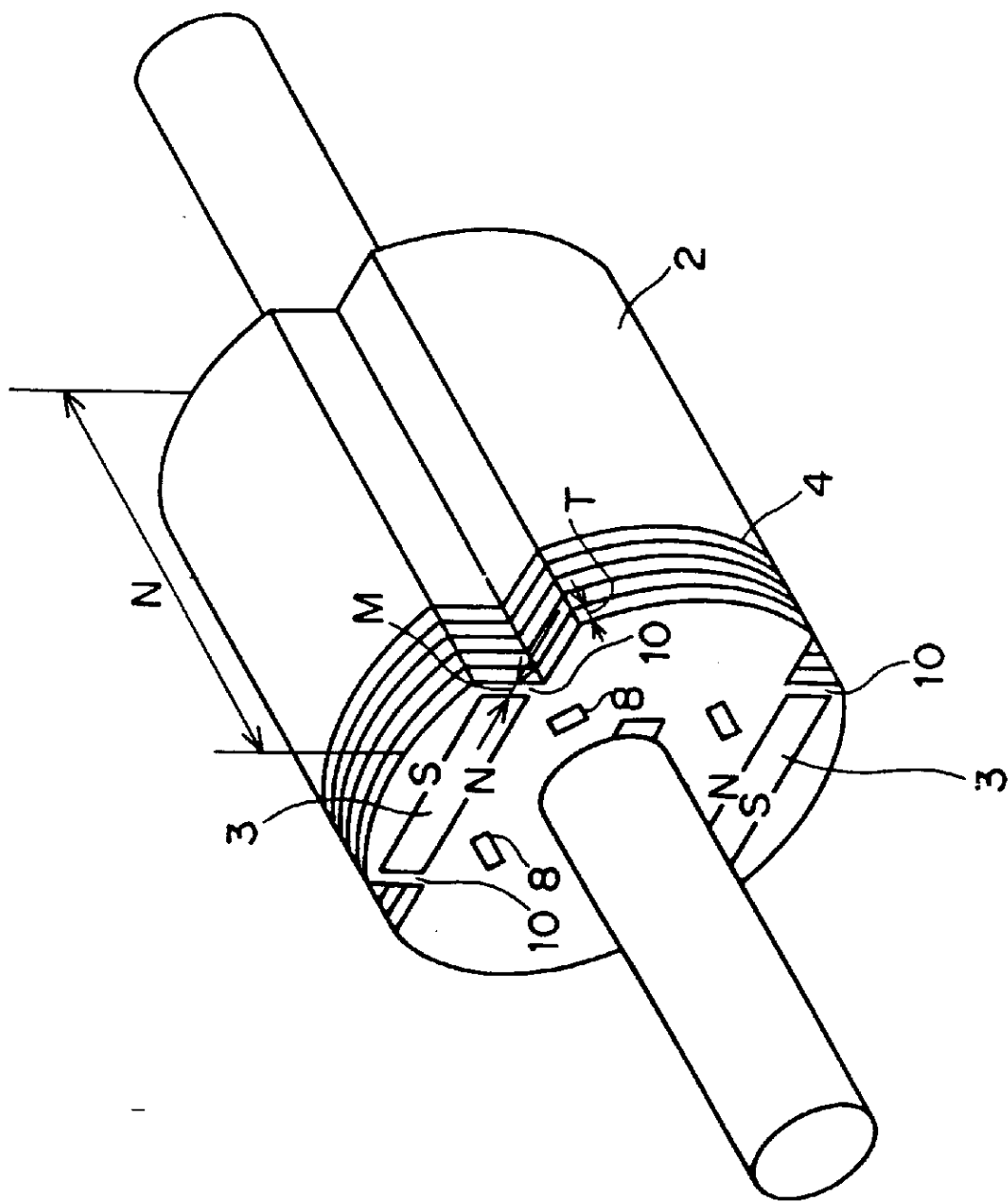


图 22

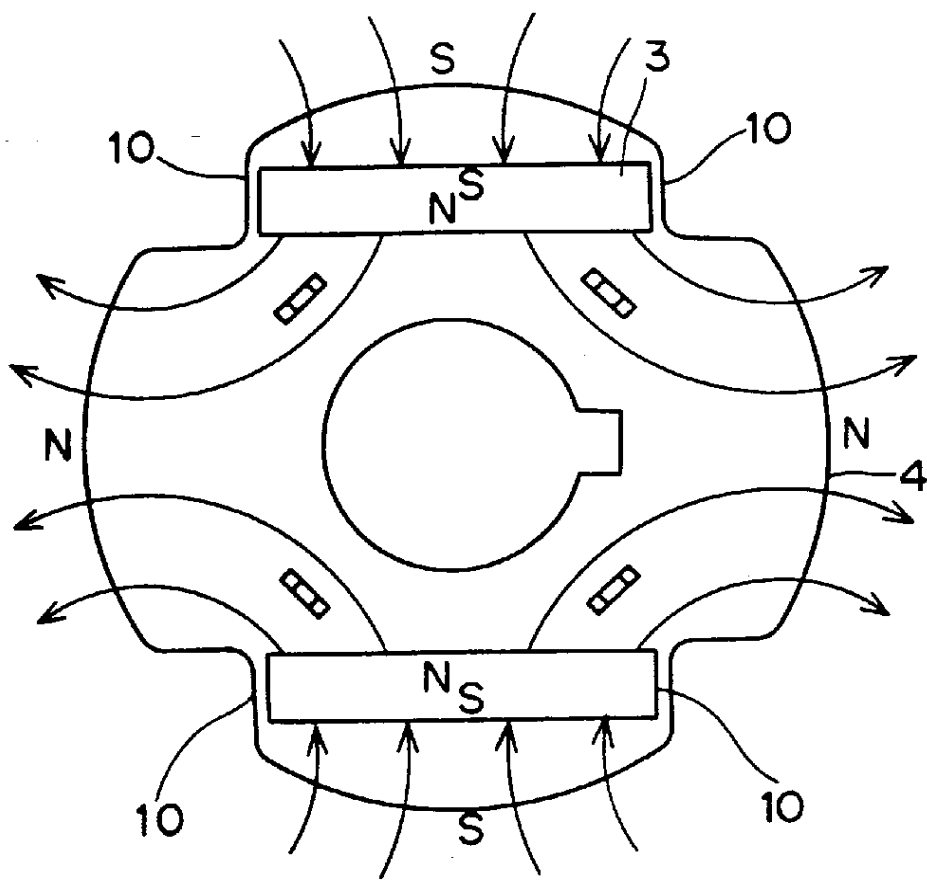


图 23

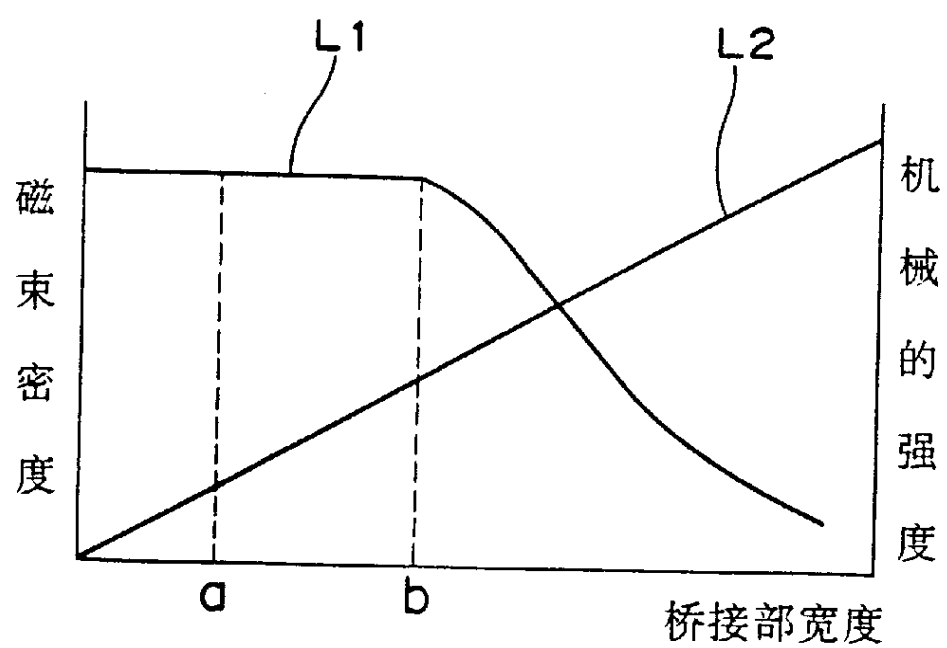


图 24

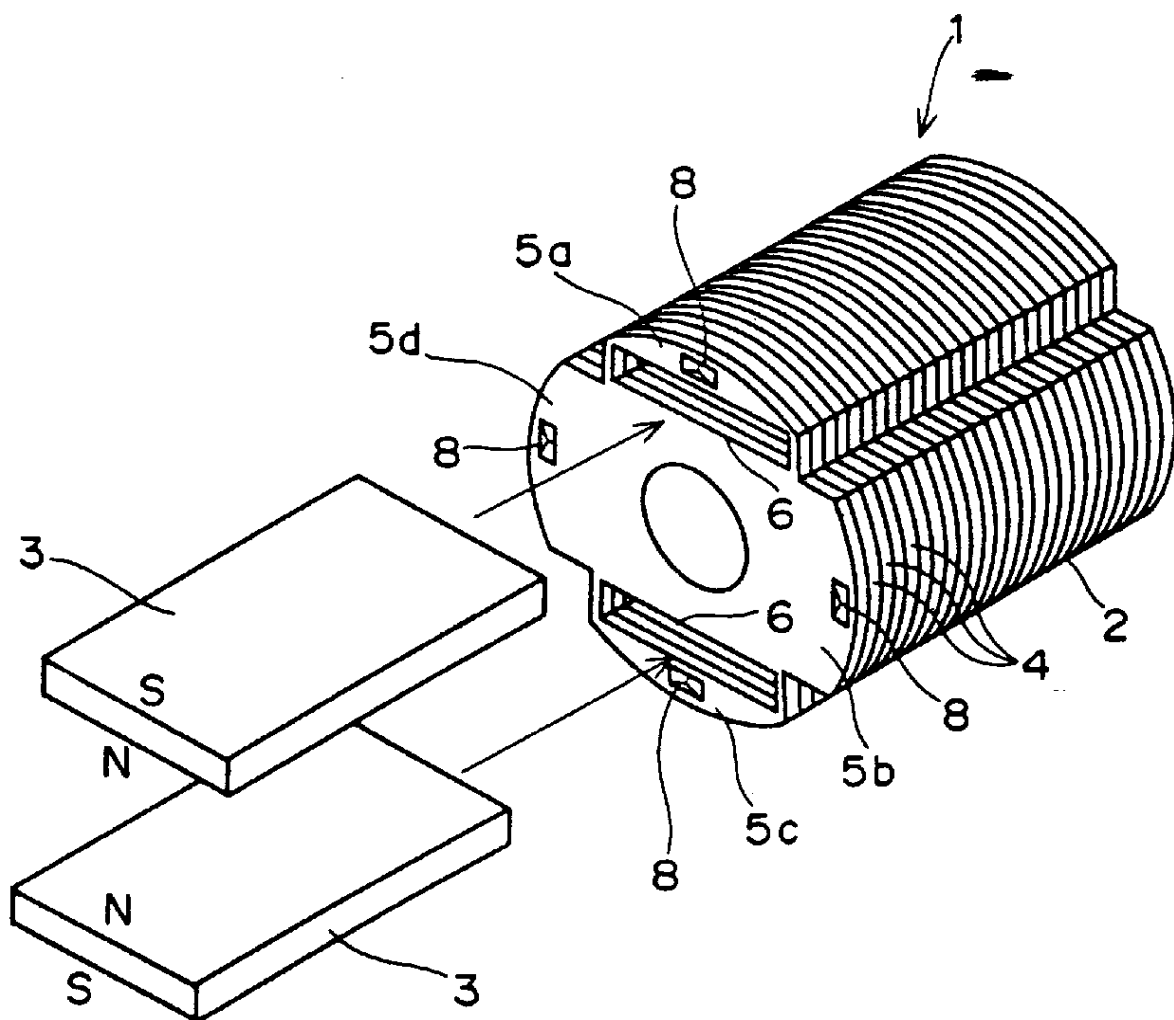


图 25

转子旋转方向

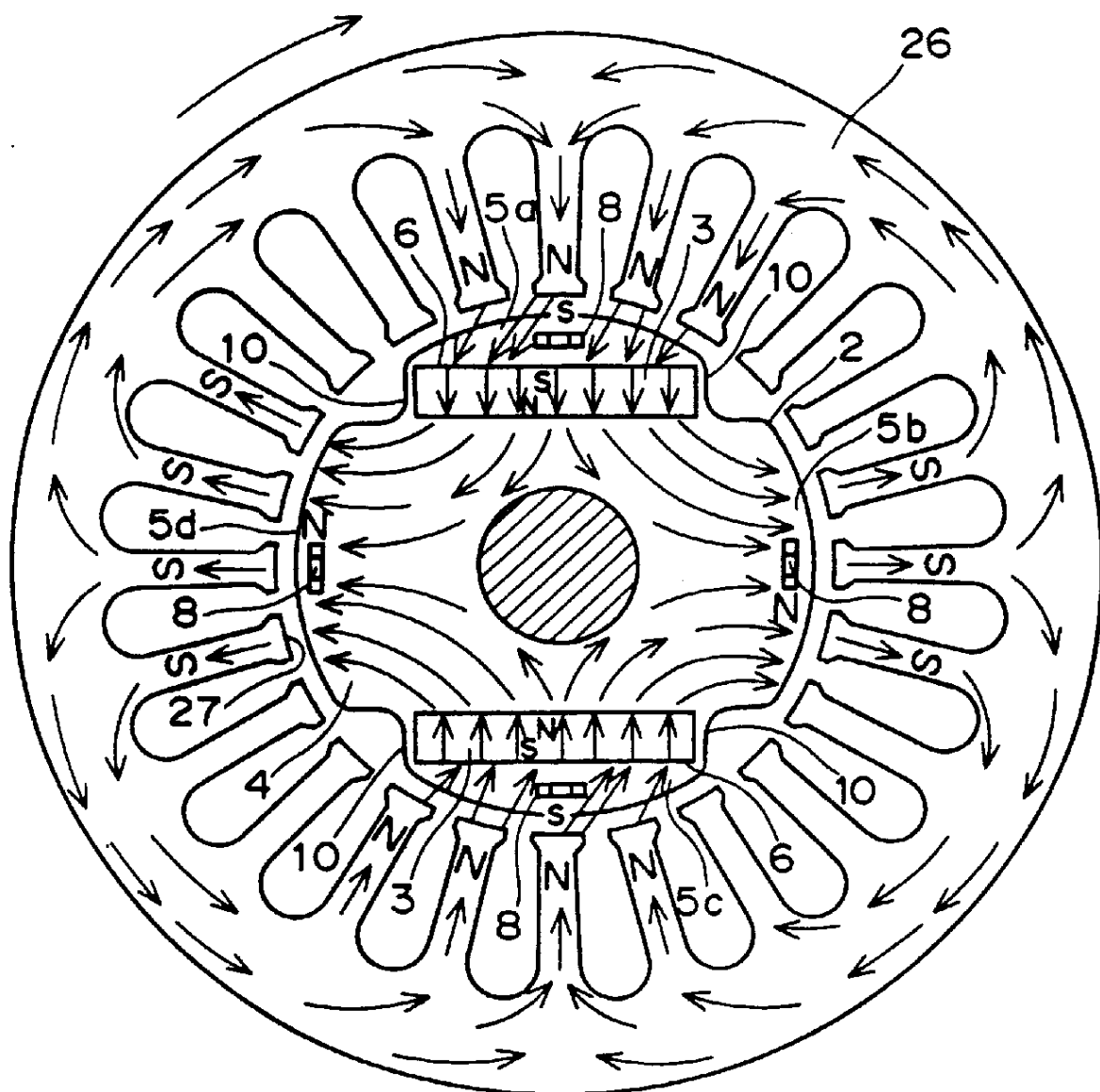


图 26

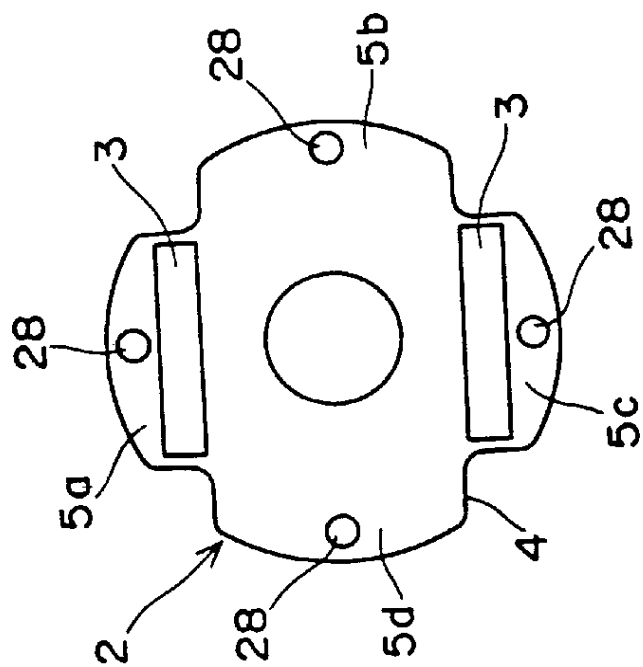


图 27

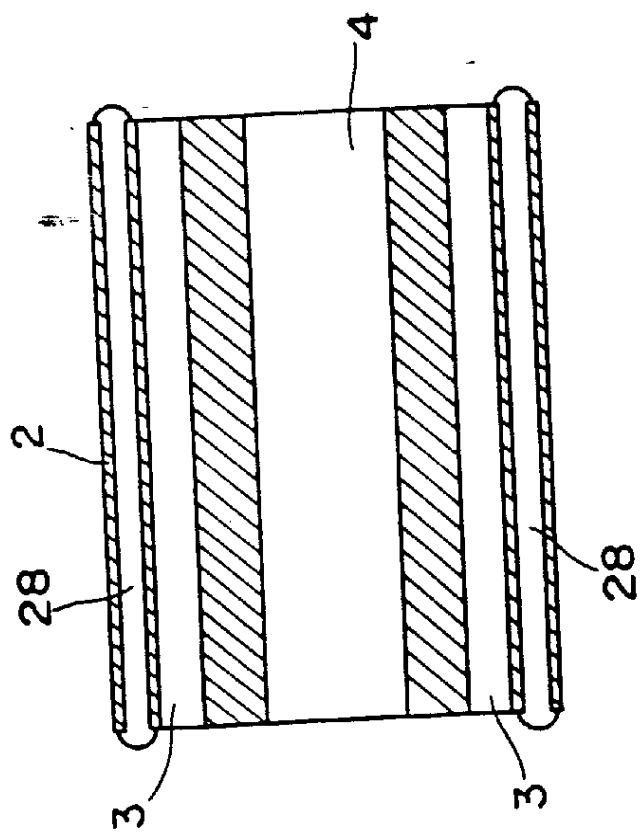


图 28

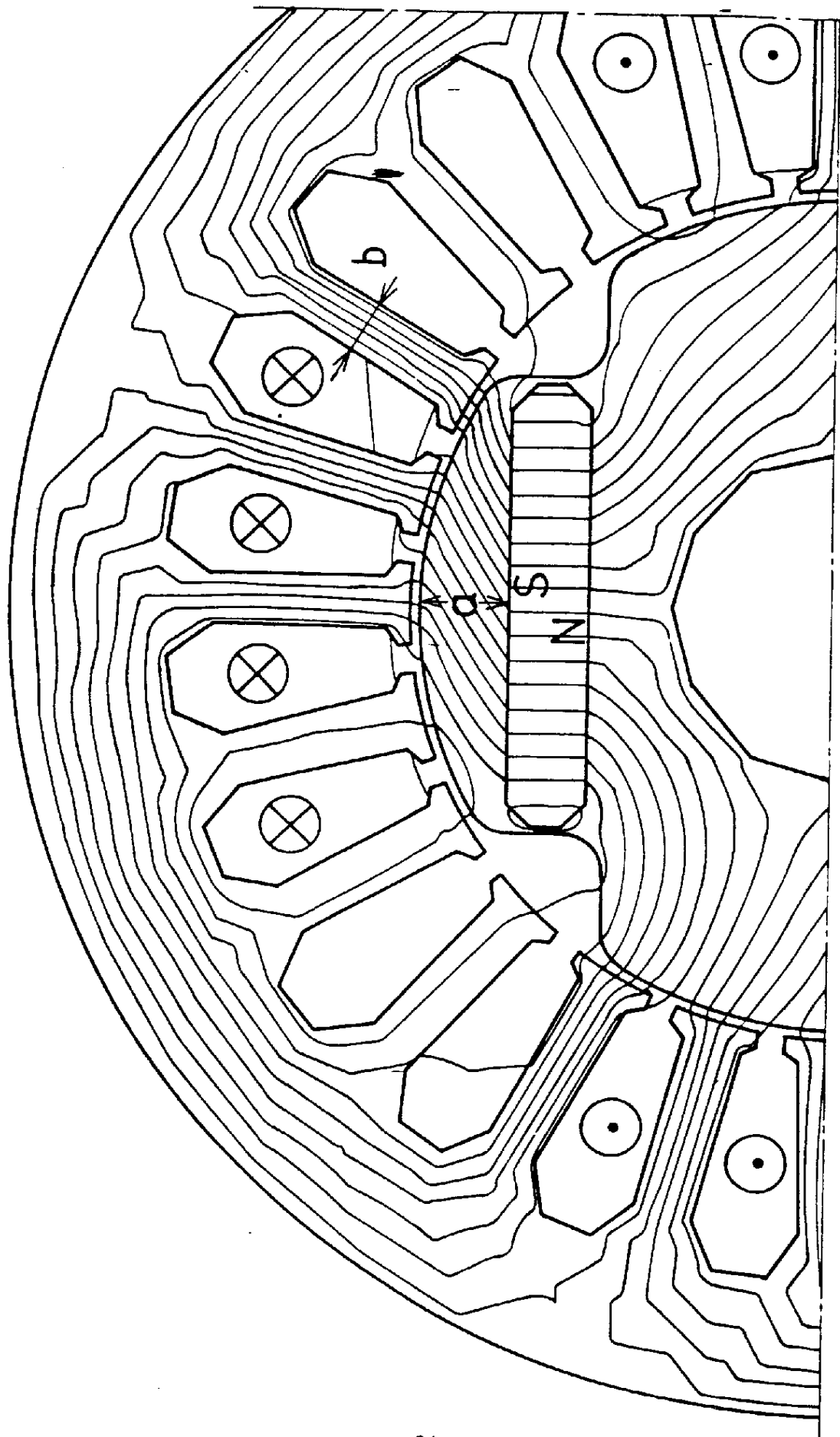


图 29

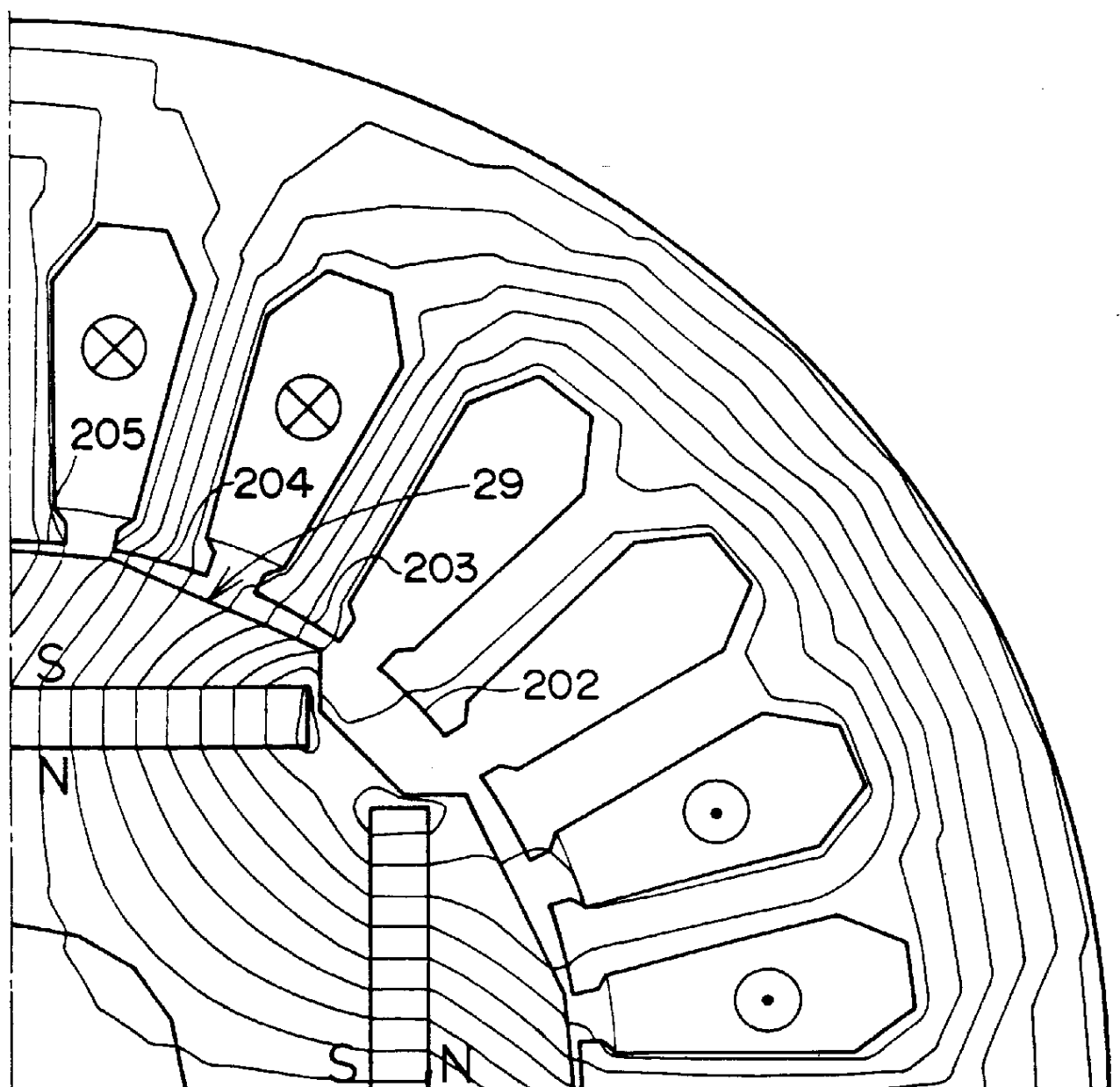


图 30

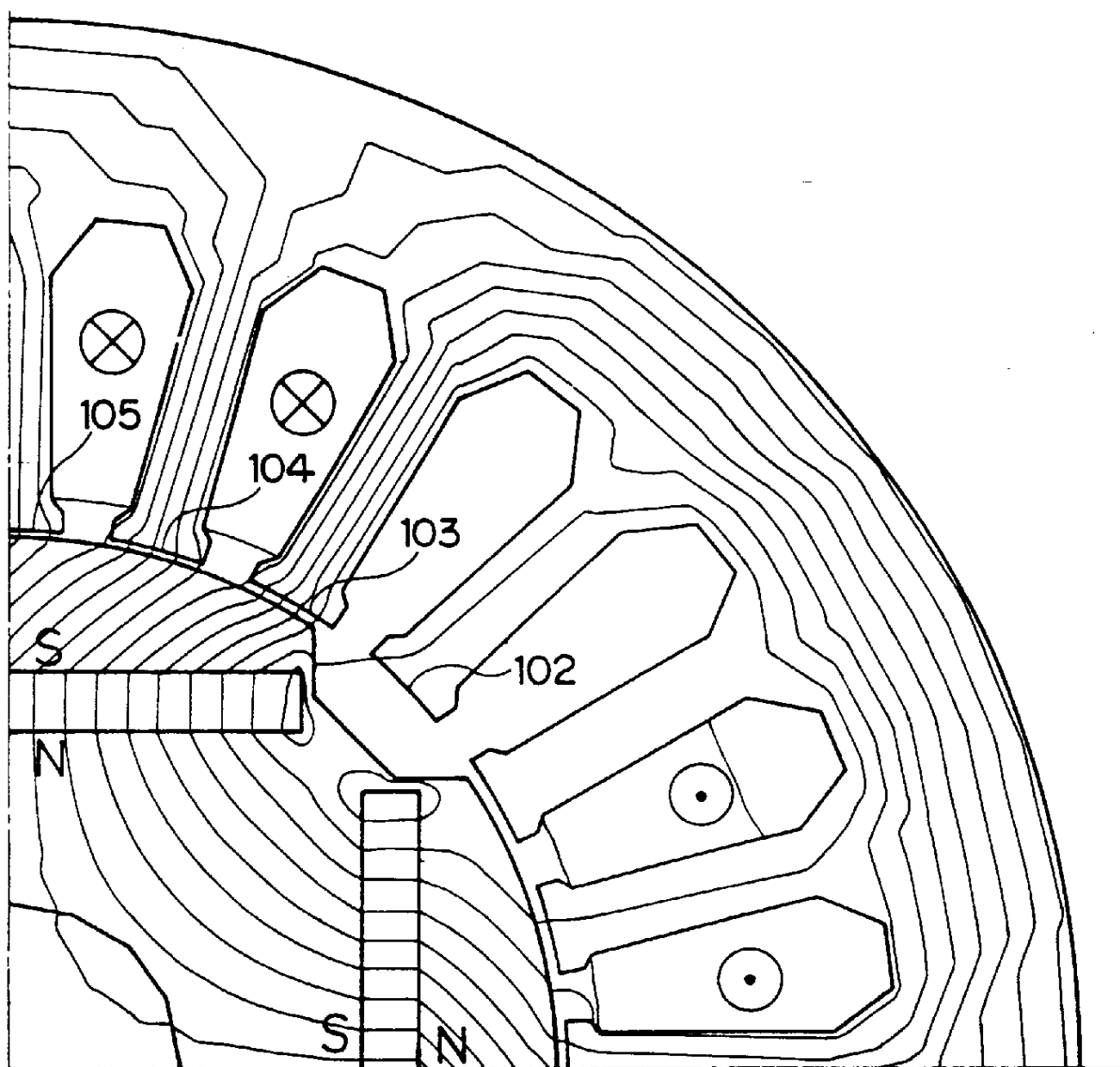


图 31

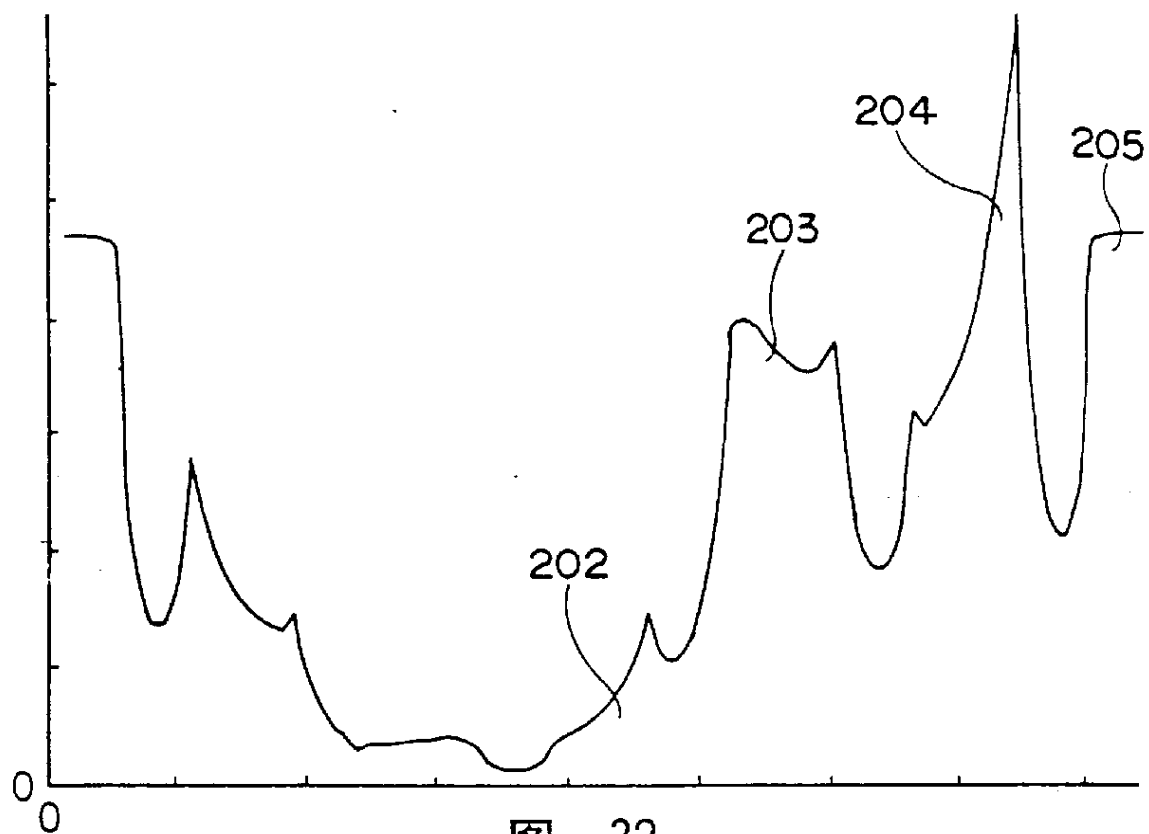


图 32

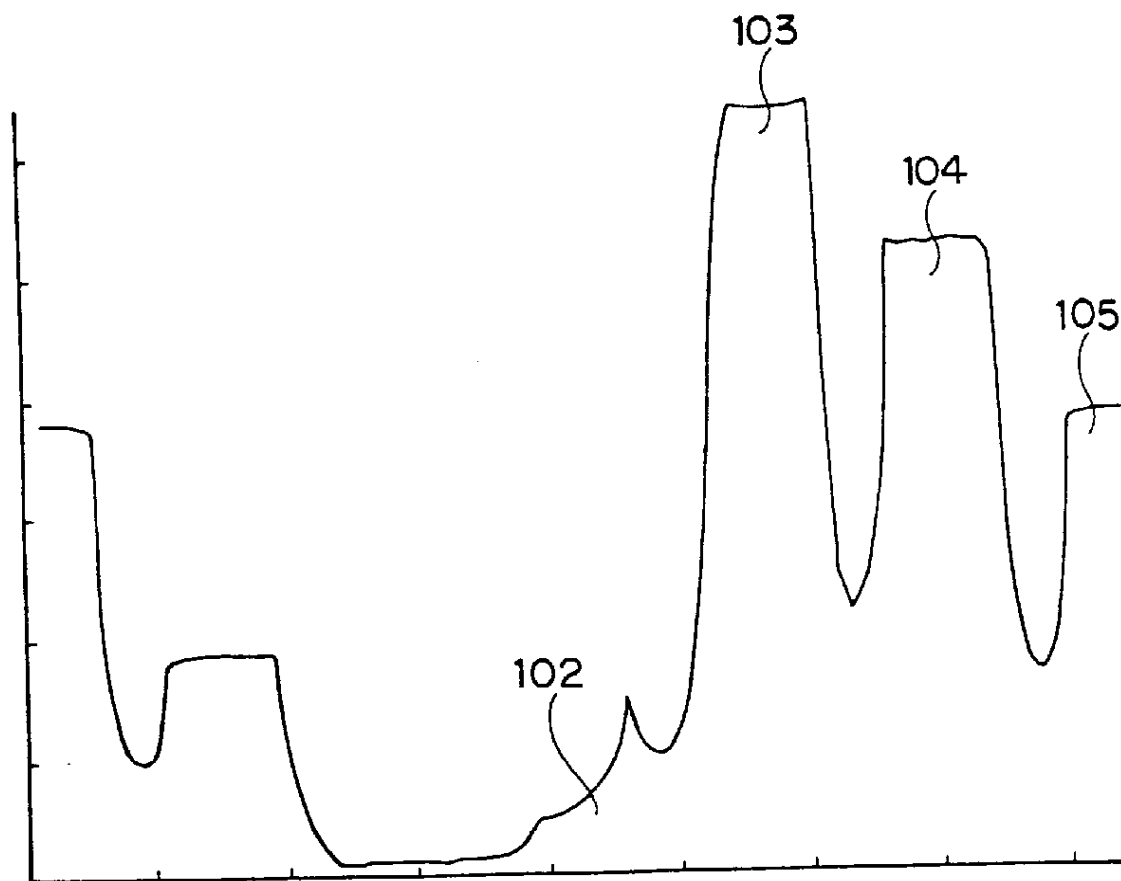


图 33

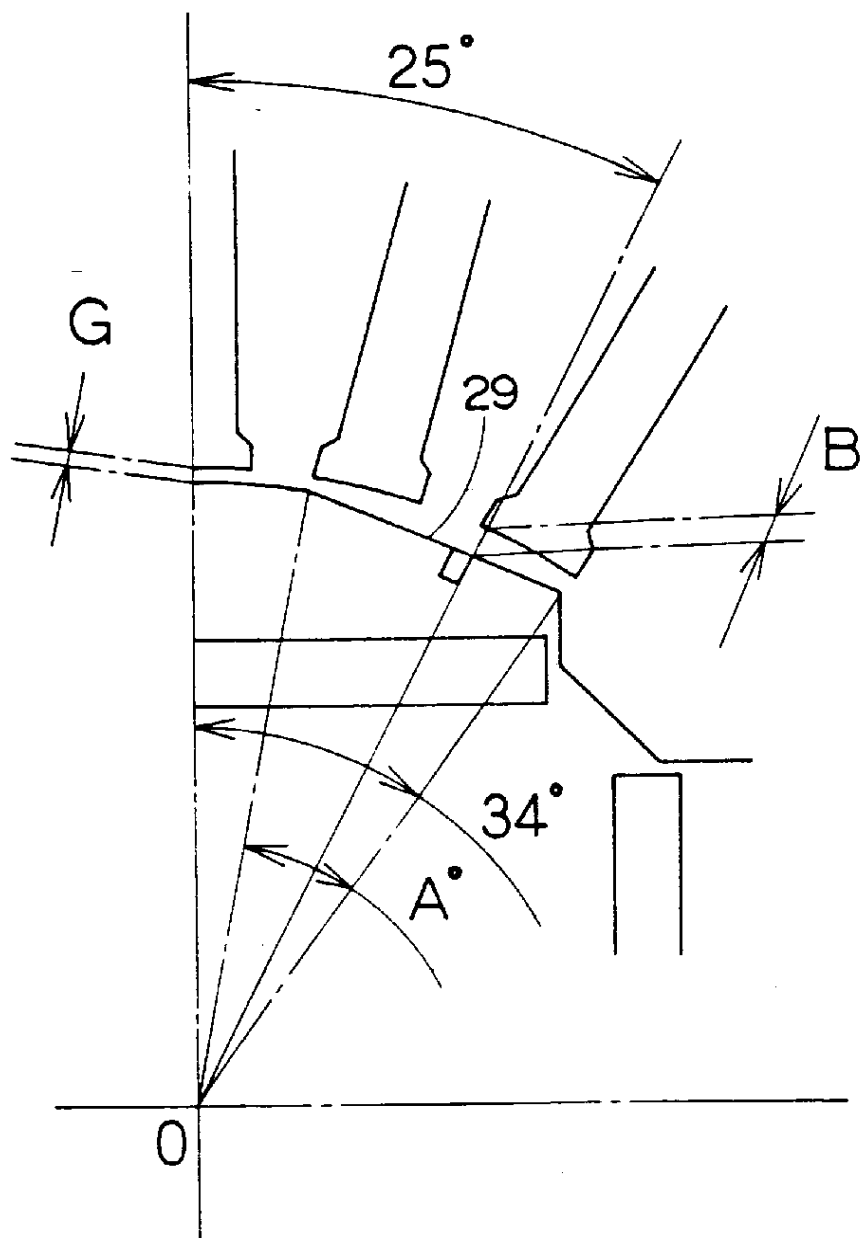


图 34

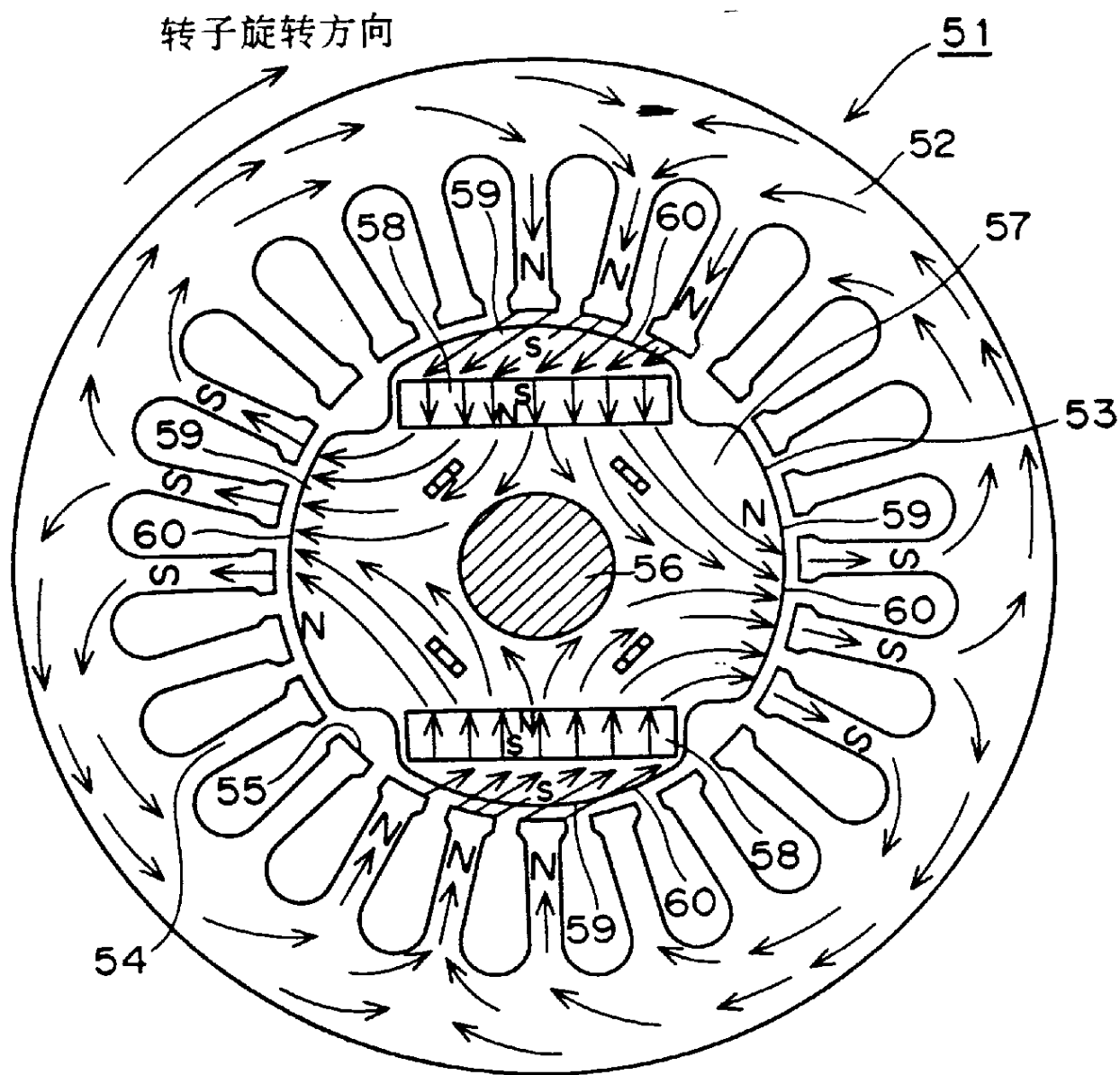


图 35

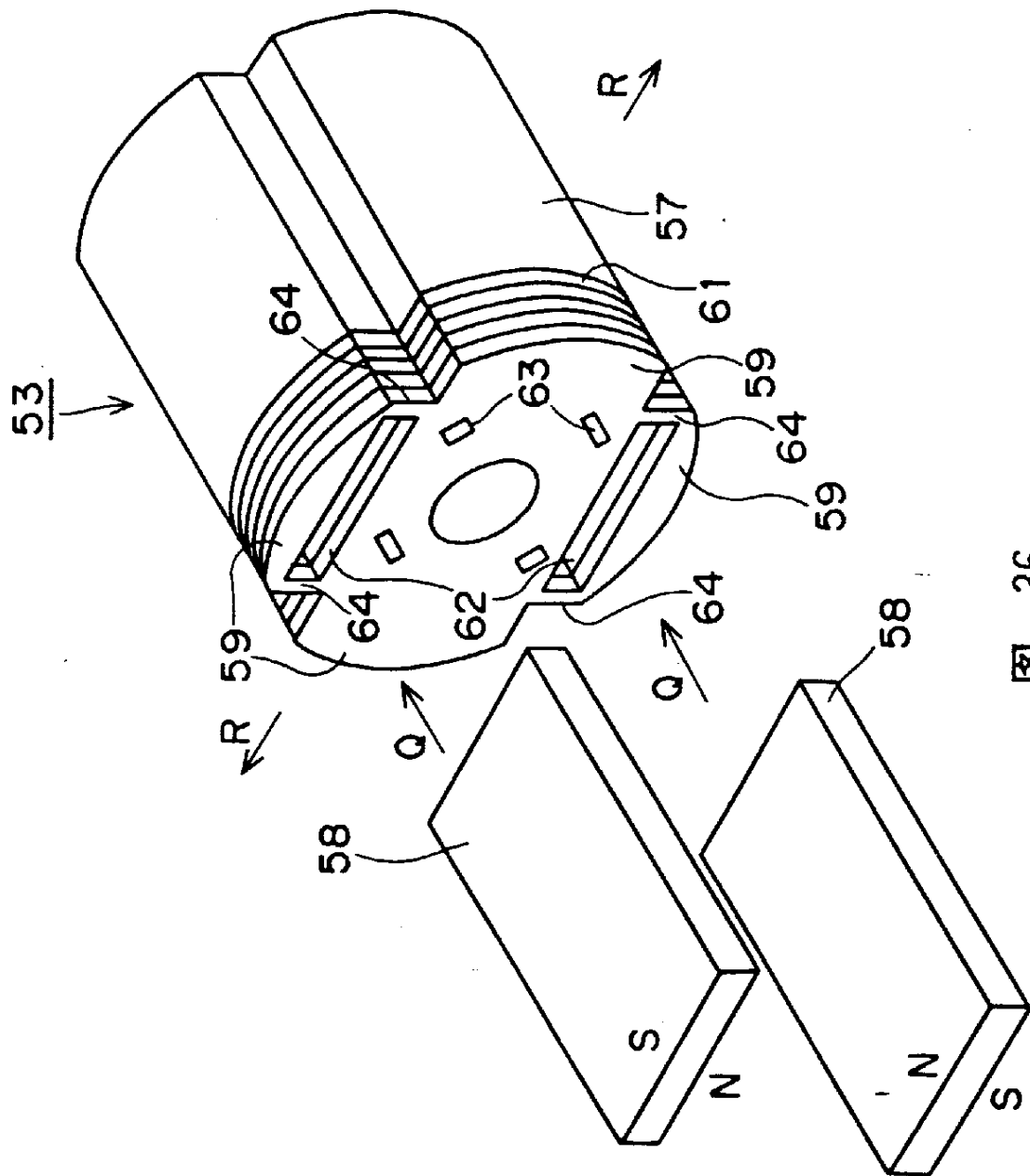


图 36

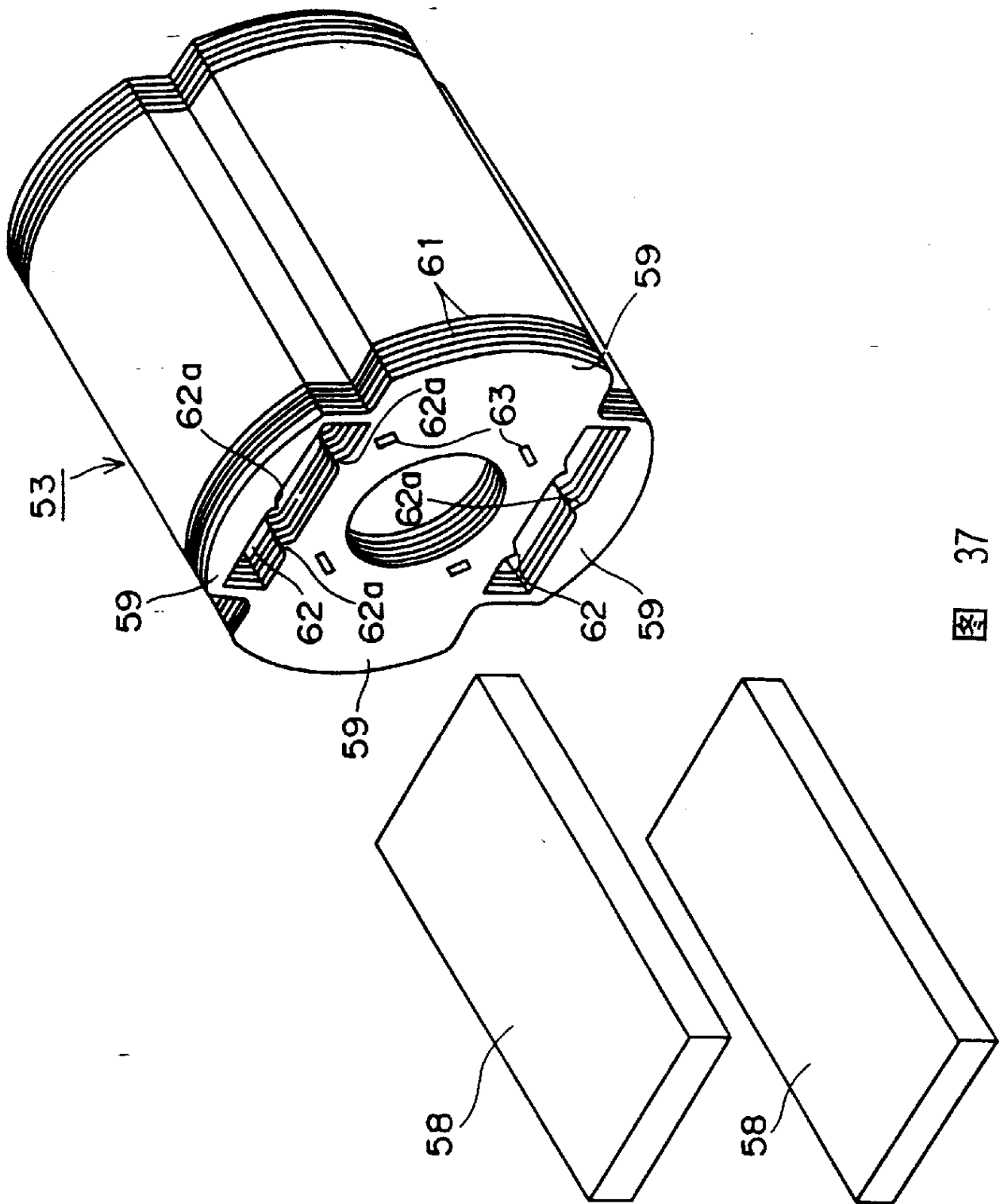


图 37