

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



[12] 发 明 专 利 说 明 书

专利号 ZL 200610107629.1

[45] 授权公告日 2009 年 10 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 100550575C

[22] 申请日 2006.7.28

[21] 申请号 200610107629.1

[30] 优先权

[32] 2005. 12. 1 [33] .JP [31] 2005 - 347741

[73] 专利权人 爱知 ELEC 株式会社

地址 日本爱知县春日井市

[72] 发明人 大熊繁 道木慎二 富田睦雄

佐藤光彦 金子清一

[56] 参考文献

CN1574546A 2005.2.2

JP2002 - 223538A 2002. 8. 9

JP2001 - 178045A 2001. 6. 29

JP2003 - 284275A 2003. 10. 3

审查员 张剑云

[74] 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司

代理人 高龙鑫

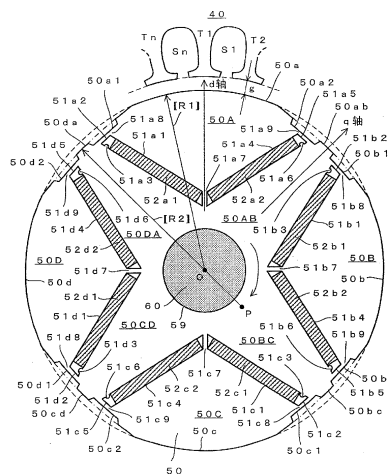
权利要求书 2 页 说明书 21 页 附图 12 页

[54] 发明名称

永磁式旋转机械

[57] 摘要

本发明提供一种在提高永磁式旋转机械的效率的同时,能够降低齿槽转矩的技术。在被设置于转子的主磁极部的磁铁插入孔,插入有永久磁铁。转子的外周面由与d轴交叉的第一外周面和与q轴交叉的第二外周面构成。第二外周面的曲线形状的曲率半径设定得比第一外周面的曲线形状的曲率半径大。在第二外周面,在与磁铁插入孔的转子外周侧端壁对向的位置,形成有凹部。在将第一外周面的开角(机械角)设为 θ 、将转子的极对数设为P、将凹部的开角(机械角)设为A时,以满足 $[(74/P)^{\circ} \leq \theta \leq (86/P)^{\circ}]$ 以及 $[(16/P)^{\circ} \leq A \leq (48/P)^{\circ}]$ 的方式构成。



1. 一种永磁式旋转机械，其具备定子和转子，在上述定子上设置有具有与上述转子的外周面对向的前端面的齿，在上述转子上，从与轴方向成直角的截面来看，在圆周方向交互地配置有主磁极部和辅助磁极部，在上述主磁极部设置有插入了永久磁铁的磁铁插入孔，其特征在于，

上述转子的外周面，从与轴方向成直角的截面来看，具有：

第一外周面，其与主磁极部的 d 轴交叉，并具有在外周方向形成为凸状的第一曲线形状，

第二外周面，其与辅助磁极部的 q 轴交叉，并具有在圆周方向形成为凸状的第二曲线形状，

上述第二曲线形状的曲率半径被设定为大于上述第一曲线形状的曲率半径，

在上述第二外周面，在与上述磁铁插入孔的外周侧端壁对向的位置上形成有凹部，

在将上述第一外周面的开角设为 θ 、将上述转子的极对数设为 P、将上述凹部的开角设为 A 时，以满足 $[(74/P)^\circ \leq \theta \leq (86/P)^\circ]$ 以及 $[(16/P)^\circ \leq A \leq (48/P)^\circ]$ 的方式构成。

2. 根据权利要求 1 所述的永磁式旋转机械，其特征在于，在将上述转子的外周面与上述齿前端面之间的距离的最小值设为 g、将以在从上述转子的中心到外周面的距离之中的最长的距离为半径的假想外周面与上述辅助磁极部的外周面之间的距离的最大值设为 D 时，以满足 $[(0.5) \leq (D/g) \leq (1.6)]$ 的方式构成。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的永磁式旋转机械，其特征在于，在将上述转子的外周面与上述齿前端面之间的距离的最小值设为 g、将以在从上述转子的中心到外周面的距离之中的最长的距离为半径的假想外周面与上述辅助磁极部的外周面之间的距离的最大值设为 D、将上述凹部的深度的最小值设为 h 时，以满足 $[(0.08) \times (g+D)]\text{mm} \leq h \leq [(0.6) \times (g+D)]\text{mm}$ 的方式构成。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的永磁式旋转机械，其特征在于，磁铁插

入孔以在主磁极部的中央部形成桥部的方式而被设置。

5. 根据权利要求 3 所述的永磁式旋转机械，其特征在于，磁铁插入孔以在主磁极部的中央部形成桥部的方式而被设置。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的永磁式旋转机械，其特征在于，上述第一曲线形状是在主磁极部的 d 轴上有曲率中心的圆弧形状，上述第二曲线形状是在辅助磁极部的 q 轴上有曲率中心的圆弧形状。

7. 根据权利要求 3 所述的永磁式旋转机械，其特征在于，上述第一曲线形状是在主磁极部的 d 轴上有曲率中心的圆弧形状，上述第二曲线形状是在辅助磁极部的 q 轴上有曲率中心的圆弧形状。

8. 根据权利要求 4 所述的永磁式旋转机械，其特征在于，上述第一曲线形状是在主磁极部的 d 轴上有曲率中心的圆弧形状，上述第二曲线形状是在辅助磁极部的 q 轴上有曲率中心的圆弧形状。

9. 一种压缩机，具有电动机，其特征在于，使用了权利要求 1 至 8 中任一项所述的永磁式旋转机械作为上述电动机。

10. 一种汽车，其安装了电动机，其特征在于，使用了权利要求 1 至 8 中任一项所述的永磁式旋转机械作为上述电动机。

永磁式旋转机械

技术领域

本发明涉及一种永磁式旋转机械，特别是涉及一种将永久磁铁插入了被设置在转子上的磁铁插入孔中的永磁式旋转机械。

背景技术

作为驱动被设置在空气调节机（空调设备）或者电冰箱等的压缩机的电动机、驱动车辆的电动机、驱动被安装在车辆上的车载设备的电动机，使用了其转子的磁铁插入孔中被插入了永久磁铁的永磁式电动机。这种永磁式电动机通常被称为“永久磁铁埋入式电动机（IPM Motor）”。

在永久磁铁埋入式电动机，在定子上设置有形成收容定子绕线的槽的齿。在转子外周面和齿前端面之间形成间隙的状态下，转子能够旋转地被配置。此外，在转子上设置有主磁极部和辅助磁极部。在主磁极部设置有插入永久磁铁的磁铁插入孔。由此，能够利用由永久磁铁的磁通所产生的磁转矩（magnet torque）、和由辅助磁极部的凸极性所产生的磁阻转矩这两者。

现有的永久磁铁埋入式电动机的转子的外周面，从与转子的轴方向成直角的截面来看，形成为圆形形状。在使用了这种转子的永久磁铁埋入式电动机中，主磁极部和辅助磁极部的交界处，在通过配置了齿的位置时，流过齿的磁通有可能发生急剧的变化。由于流过齿的磁通急剧地变化，从而产生声音或者振动。

为了防止流过齿的磁通发生急剧的变化，提案有具有图 16～图 19 所示的转子的永久磁铁埋入式电动机。图 16 以及图 17 是表示了公开在 JP 特开平 7-222384 号公报上的、在定子的槽内以分布卷绕方式收容定子绕线的形式的永久磁铁埋入式电动机。图 18 以及图 19 是表示了公开在 JP 特开 2002-78255 号公报上的、在定子的槽内以集中卷绕方式收容定子绕线的形式的永久磁铁埋入式电动机。

图 16 所示的永久磁铁埋入式电动机具有设置有齿 T1～Tn 的定子 540 和

转子 550。在转子 550 的各主磁极部设置有插入了永久磁铁 552a~552d 的磁铁插入孔 551a~551d。转子 550 的外周面，从与转子 550 的轴方向成直角的截面来看，由圆弧形形状的外周面 550a~550d 构成。外周面 550a~550d 形成以 K 为中心、以 R1 为半径的圆弧形形状，其中 K 位于连接转子 550 的中心 O 和主磁极部的圆周方向中央部的线（称为“d 轴”）上，并且是从中心 O 离开至磁铁插入孔 551a~551d 侧的位置。

图 18 所示的永久磁铁埋入式电动机，具有与图 16 所示的转子 550 结构相同的转子 750、和设置有具有比图 16 所示的齿的宽度大的宽度的齿的定子 740。

图 17 所示的永久磁铁埋入式电动机具有设置有齿 T1~Tn 的定子 640 和转子 650。在转子 650 的各主磁极部设置有插入了永久磁铁 652a1、652a2~652d1、652d2 的磁铁插入孔 651a1、651a2~651d1、651d2。转子 650 的外周面，从与转子 650 的轴方向成直角的截面来看，由外周面 650a~650d 和外周面 650ab~650da 构成。外周面 650a~650d，与主磁极部的 d 轴交叉，被形成以转子 650 的中心 O 为中心、半径为 R 的圆弧形形状。外周面 650ab~650da，与连接转子 650 的中心 O 和辅助磁极部的圆周方向中央部的线（称为“q 轴”）交叉，具有从圆弧形形状的外周面 650a~650d 开始被切成 V 字状的形状。

图 19 所示的永久磁铁埋入式电动机，具有与图 17 所示的转子 650 结构相同的转子 850、和设置有具有比图 17 所示的齿的宽度大的宽度的齿的定子 840。

图 16~图 19 所示的永久磁铁埋入式电动机，通过从反相等电源装置向定子绕线供给电力来旋转转子。

在图 16 所示的转子 550，如果离开主磁极部的 d 轴附近，则从转子 550 的中心 O 到转子 550 的外周面的距离变短。即，如果离开 d 轴附近，则转子 550 的外周面与定子 540 的各齿 T1~Tn 的前端面（齿前端面）之间的距离（“间隙”）变大。因此，磁通集中（磁通 X1）到转子 550 的外周面与各齿的前端面之间的间隙短的 d 轴附近（在图 16 中为与齿 T1 对向的位置），容易磁饱和。如果 d 轴附近磁饱和了，则磁通会经由齿 T2、Tn 而流过。在此，

转子 550 的外周面与定子 T2、Tn 的前端面之间的间隙比转子 550 的 d 轴附近的外周面与齿 T1 的前端面之间的间隙长，因此经由齿 T2、Tn 流过的磁通减少。

在图 18 所示的转子 750，同样地，磁通也集中到转子 750 的外周面与各齿的前端面之间的间隙短的 d 轴附近，容易磁饱和。如果 d 轴附近磁饱和了，则磁通经由齿 T1 的前端面的圆周方向端部而流过。此时，因为磁通经由转子 750 的外周面与齿 T1 的前端面之间的距离长的间隙而流过，所以流过齿 T1 的磁通减少。

如果磁通减少，则定子绕线的感应电压降低。为了补偿定子绕线的感应电压的低下，有必要增加定子绕线的圈数。但是，如果增加定子绕线的圈数，势必会增大定子绕线的铜损，降低电动机的效率。

在图 17 所示的转子 650，外周面 650a~650d 被形成为以转子 650 的中心 O 为中心的半径为 R 的圆弧形。因此，不会如图 16 所示的转子 550 那样地将磁通集中到 d 轴附近。但是，在形成为圆弧形的外周面 650a~650d 与呈 V 字状凹陷的外周面 650ab~650da 的交界处附近，磁通的量会发生很大变化。因此，定子绕线的感应电压的波形所包含的高次谐波成分变多。

在图 19 所示的转子 850，同样地，在形成为圆弧形的外周面 850a~850d 与被切成 V 字状的外周面 850ab~850da 的交界处附近，磁通的量也会发生很大变化。因此，定子绕线的感应电压的波形所包含的高次谐波成分变多。

近年来，作为永久磁铁埋入式电动机的控制方式，采用没有使用用于检测转子的旋转位置的转子位置检测传感器的无传感器（sensor-less）控制方式。在此无传感器控制方式中，假定定子绕线的感应电压的波形为正弦波，利用输入电压和输入电流计算出转子的旋转位置。在使用这种无传感器控制方式时，如果定子绕线的感应电压的波形所包含的高次谐波成分变多，则转子的旋转位置的计算精度会降低。此时，不能进行最佳控制，会降低永久磁铁埋入式电动机的效率。

与分布卷绕方式相比，使用集中卷绕方式能够更高效地将定子绕线收容在槽内。并且，来自槽的定子绕线的露出量少。如果来自槽的定子绕线的露

出量少，则定子绕线的铜损少。并且，与分布卷绕方式相比，使用集中卷绕方式时，沿齿端部（从齿本体部向圆周方向两侧凸出的端部）的圆周方向的长度比分布卷绕方式长。所以，与分布卷绕方式相比，齿端部容易磁饱和。

与集中卷绕方式相比，由于使用分布卷绕方式时，来自槽的定子绕线的露出量多，所以定子绕线的铜损多。并且，与集中卷绕方式相比，使用分布卷绕方式时，与转子的1极的主磁极部对向的定子的齿的数量多。因此，从定子的齿流过转子的磁通、或者从转子流过定子的齿的磁通被分散，从而减少了向齿端部的磁通的集中。因此，与集中卷绕方式相比，在齿端部的磁通的疏密差变小，声音和振动都低（例如低了10dB左右）。并且，因为在齿端部的磁通的集中减少了，所以没必要考虑永久磁铁的局部上的减磁。由此，能够使磁化方向上的磁铁的厚度变薄，并且降低永久磁铁的使用量。

无论采用哪一种方式，都要根据安装有永久磁铁埋入式电动机的设备所要求的特性来选择。

在使用了分布卷绕方式或者集中卷绕方式的任一个的情况下，在上述的永久磁铁埋入式电动机，由于磁通集中在转子的特定部位、或者特定部位的磁通量的变化大，所以效率会降低。

另外，本申请人，开发并申请了能够提高效率的永磁式旋转机械（JP特开2004-260972号公报、JP特开2005-86955号公报）。在该永磁式旋转机械，转子的外周面由与主磁极部的d轴交叉的、具有第一曲线形状的第一外周面、和与辅助磁极部的q轴交叉的、具有第二曲线形状的第二外周面构成。第二曲线形状的曲率半径被设定得比第一曲线形状的曲率半径大。

近年来，人们不仅希望提高驱动压缩机等的永磁式旋转机械的效率，还希望能够抑制声音和振动。

发明内容

为此，本发明的目的在于提供一种在能提高效率的同时，能够降低作为产生声音和振动的一个要因的齿槽转矩(Cogging torque)的技术。

本发明的永磁式旋转机械，典型地由在转子的磁铁插入孔中插入永久磁铁的永久磁铁埋入式电机构成。本发明具备定子和转子。在定子上设置有

具有与转子的外周面对向的前端面的齿。在由齿形成的槽内收容有定子绕线。作为将定子绕线收容在槽内的方法，使用例如分布卷绕方式或集中卷绕方式。在转子上，从与转子的轴方向成直角的截面来看，在圆周方向交互地配置有主磁极部和辅助磁极部。在主磁极部，插入了永久磁铁的磁铁插入孔被设置在转子的轴方向。永久磁铁以将不同极性的主磁极部在圆周方向交互配置的方式对每个主磁极部着磁为不同的极性。

转子的外周面，从与轴方向成直角的截面来看，由与连接转子的中心和主磁极部的圆周方向中心的线（“d”轴）交叉的第一外周面、和与连接转子的中心和辅助磁极部的圆周方向中心的线（“q”轴）交叉的第二外周面构成。第一外周面的第一曲线形状以及第二外周面的第二曲线形状沿外周方向形成凸状。第二曲线形状的曲率半径 R_2 被设定为比第一曲线形状的曲率半径 R_1 大（ $R_2 > R_1$ ）。作为第一曲线形状以及第二曲线形状，典型地采用圆弧形形状。

磁铁插入孔，以被设置在转子的外周侧的端壁（外周侧端壁）与第二外周面对向的方式而设置。磁铁插入孔的形状和数量能够做各种变化。并且，在第二外周面，在与磁铁插入孔的外周侧端壁对向的位置上形成有凹部。凹部的宽度设定得比磁铁插入孔的外周侧端壁的宽度大。凹部可以形成为各种形状。例如，可以形成为具有与第二外周面或者第一外周面大致平行的底面的槽形状。

在本发明中，在将第一外周面的宽度设为 θ （开角；机械角）、将转子的极对数设为 P 、将凹部的宽度设为 A （开角；机械角）时，以满足 $[(74/P)^\circ \leq \theta \leq (86/P)^\circ]$ 以及 $[(16/P)^\circ \leq A \leq (48/P)^\circ]$ 的方式构成。

在此，沿第一外周面的圆周方向的长度，可以根据开角 θ （机械角）和第一曲线形状的曲率半径计算出来。同样地，沿凹部的圆周方向的长度，可以根据开角 A 和第二曲线形状的曲率半径计算出来。因此，用长度表示第一外周面的宽度 θ 和凹部的宽度 A 的结构，包含在用开角（机械角）表示第一外周面的宽度 θ 和凹部的宽度 A 的结构中。

在本发明中，由于转子的外周面由具有第一曲线形状的第一外周面和具有第二曲线形状的第二外周面而构成，所以可以抑制流过定子的齿的磁通的

急剧的变化。由此，可以降低定子绕线的感应电压的波形所包含的高次谐波成分，从而能够抑制由高次谐波成分引起的效率的低下。并且，因为在主磁极部的d轴附近的外周面和齿端部之间没有形成长间隙，所以能够抑制磁通的减少。因此，不需要增加用于维持定子绕线的感应电压的定子绕线的圈数，从而可以抑制由于定子绕线的圈数的增加而导致的定子绕线的铜损的增加。

此外，在第二外周面，在与磁铁插入孔的外周侧端壁对向的位置形成有凹部。由此，由永久磁铁产生的磁通经由定子的齿而被短路的情况被抑制，从而能够降低由磁通的短路所产生的齿槽转矩。

进而，第一外周面的宽度以及凹部的宽度以满足上述条件的方式来设定。

因此，在提高永磁式旋转机械的效率的同时，还能够降低齿槽转矩。

本发明除了具有将第一外周面的宽度以及凹部的宽度设定在规定的范围内之外，在将转子的外周面与齿前端面之间的距离（间隙）的最小值设为g、将转子的最外周面与辅助磁极部的外周面之间的距离的最大值设为D时，以满足 $[(0.5) \leq (D/g) \leq (1.6)]$ 的方式构成。

转子的最外周面，对应有以从转子的中心到外周面的距离之中的最大值为半径的假想外周面。例如，第一外周面，在具有以转子的中心为中心的圆形状时，对应有使第一外周面沿圆周方向延伸的假想外周面。

利用这种结构，能够更加降低齿槽转矩。

本发明除了具有将第一外周面的宽度以及凹部的宽度设定在规定的范围内之外，在将转子的外周面与齿前端面之间的距离的最小值设为g、将转子的最外周面与辅助磁极部的外周面之间的距离的最大值设为D、将凹部的深度最小值设为h时，以满足 $[(0.08) \times (g+D) \text{ mm} \leq h \leq (0.6) \times (g+D) \text{ mm}]$ 的方式构成。或者，除了具有将第一外周面的宽度以及凹部的宽度设定在规定的范围内的结构、将 $[D/g]$ 设定在规定的范围内的结构之外，以满足 $[(0.08) \times (g+D) \text{ mm} \leq h \leq (0.6) \times (g+D) \text{ mm}]$ 的方式构成。

凹部的深度，对应有使第二外周面在圆周方向延伸的假想外周面与凹部的底面之间的距离。

利用这样的结构能够进一步降低齿槽转矩。

本发明，除了上述结构之外，还可以在主磁极部的中央设置桥部。作为在主磁极部的中央设置桥部的方法，可以采用隔着主磁极部的中央的桥部，在圆周方向的两侧设置磁铁插入孔的方法。

通过在主磁极部的中央设置桥部，可以增大转子相对于离心力的强度，抑制声音和振动等的发生。

本发明能够将第一外周面形成为在主磁极部的d轴上有曲率中心的圆弧形状，将第二外周面形成为在辅助磁极部的q轴上有曲率中心的圆弧形状。此时，优选采用转子的中心作为第一外周面的曲率中心，采用在q轴上的、从转子的中心向与第二外周面的相反方向离开的点，作为第二外周面的曲率中心。

由此，能够简单地形成第一外周面以及第二外周面。

上述永磁式旋转机械，可以作为驱动压缩机的电动机来使用。

此外，上述的永磁式旋转机械，也可以作为安装在汽车上的电动机、例如驱动汽车的电动机、驱动被安装在汽车上的设备（窗玻璃、雨刷、座位等）的电动机来使用。

通过使用本发明的永磁式旋转机械，在提高永磁式旋转机械的效率的同时，还能够降低齿槽转矩。

附图说明

图1是使用了本发明的第一实施例的永磁式电动机的压缩机的纵向剖面图。

图2是本发明的第一实施例的永磁式电动机的转子的纵向剖面图。

图3是本发明的第一实施例的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

图4是图3的要部的放大图。

图5是表示A（凹部的宽度）与效率/齿槽转矩的关系的图。

图6是表示 $[D$ （转子的最外周面与辅助磁极部的外周面之间的距离的最大值）/ g （转子的外周面与齿前端面之间的间隙的最小值）]与效率/齿槽转矩的关系的图。

图7是表示h（凹部的深度）与齿槽转矩的关系的图。

图 8 是表示定子的齿的变更例的图。

图 9 是用长度来表示凹部的图。

图 10 是说明磁铁插入孔的外周侧端壁与凹部的配置关系的图。

图 11 是说明磁铁插入孔的外周侧端壁与凹部的配置关系的图。

图 12 是说明磁铁插入孔的外周侧端壁与凹部的配置关系的图。

图 13 是本发明的第二实施例的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

图 14 是本发明的第三实施例的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

图 15 是本发明的第四实施例的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

图 16 是现有的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

图 17 是现有的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

图 18 是现有的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

图 19 是现有的永磁式电动机的转子的横向剖面图。

具体实施方式

以下，参照附图来说明本发明的实施例。

图 1、图 2 表示使用了本发明的第一实施例的永久磁铁埋入式电动机 30（下面仅称为“永磁式电动机 30”）的压缩机。图 1 是压缩机 10 的纵向剖面图。图 2 是图 1 所示的永磁式电动机 30 的转子 50 的纵向剖面图。

压缩机 10 由压缩机构部 20、永磁式电动机 30、储液器（accumulator）70 构成。压缩机构部 20 和永磁式电动机 30 被配置在密闭容器 11 内。在密闭容器 11 设置有吸入管 71 和排出管 12。

储液器 70 分离冷却介质（例如冷却气体）和润滑油。由储液器 70 分离的冷却介质经由吸入管 71 被返回压缩机构部 20。此外，由储液器 70 分离的润滑油被返回润滑油存留处 25。

压缩机构部 20 具有气缸 21、和由旋转轴 60 驱动的偏心转子 22。压缩机构部 20 利用偏心转子 22 的旋转在气缸 21 内压缩从吸入管 71 吸入的冷却介质。

在压缩机构部 20 被压缩的冷却介质通过形成在永磁式电动机 30 的定子 40 的槽和孔、形成在转子 50 上的孔、定子 40 与转子 50 之间的空隙（缝隙）

等，从排出管 12 被排出。

此外，利用旋转轴 60 的旋转，被存留在润滑油存留处 25 的润滑油被供给到压缩机构部 20 的滑动部。润滑过滑动部的润滑油，被返回到润滑油存留处 25。

在图 1 所示的压缩机 10 中，混合了冷却介质和润滑油的介质从排出管 12 被排出。

永磁式电动机 30 具有定子 40 和转子 50。

本实施例的定子 40 是层压多张薄板状的电磁钢板而形成的。如图 3 所示，在定子 40 上的内周侧形成有齿 T1~Tn。此外，在定子 40 形成有用于形成使冷却介质流动的通路的槽和孔。定子 40 的外周形状适宜地被确定。

通过定子 40 的齿 T1~Tn 而形成有槽 S1~Sn。并且，在槽 S1~Sn 内收容定子绕线 41（参照图 1）。定子绕线 41 通过例如分布卷绕方式或者集中卷绕方式而被收容在槽 S1~Sn 内。

在齿 T1 的与转子 50 的外周面对向的位置，设置有从齿本体部向转子 50 的旋转方向的两侧延伸的齿端部 T1b 以及 T1c（参照图 4）。由此，在齿 T1，在与转子 50 对向的位置形成有在齿端部 T1b 和 T1c 之间延伸的齿前端面 T1a。其他的齿也是同样。

如上所述，采用分布卷绕方式还是采用集中卷绕方式来作为将定子绕线 41 收容在槽 S1~Sn 内的方法，将导致齿 T1~Tn 的形状不同。在图 3 以及图 4，表示了通过分布卷绕方式而将定子绕线 41 收容在槽 S1~Sn 内的齿。

转子 50 为筒形并且能够旋转地被配设在定子 40 的内周侧。此时，转子 50 的外周面和定子 40 的齿 T1~Tn 的前端面 T1a~Tna 之间的距离（缝隙）被设定在规定范围内。

转子 50 是层压多张薄板状的电磁钢板而形成的。如图 2 所示，在转子 50 沿转子 50 的轴方向形成有旋转轴插入孔 59、磁铁插入孔 51、铆接销插入孔 55。

在旋转轴插入孔 59 插入有旋转轴 60。可以采用例如压配合方法或者热配合方法将旋转轴 60 插入旋转轴插入孔 59。

在磁铁插入孔 51 插入有永久磁铁 52。可以采用例如间隙配合方法将永

久磁铁 52 插入磁铁插入孔 51。

在层压体的轴方向两端部配设有端板 53。并且，利用被插入到铆接销插入孔 55 的铆接销 56，将层压体和端板 53 固定成一体。另外，54 是平衡块（balance weight）。

[第一实施例]

接下来，利用图 3 以及图 4 详细地说明第一实施例的永磁式电动机 30 的结构。在以下的各实施例中，采用磁极数为 4（极对数为 2）的转子。图 3 是从与轴方向成直角方向所见的永磁式电动机 30 的剖面图（横向剖面图）。图 4 是图 3 的要部的放大图。

此外，转子，从与轴方向成直角的截面（横向剖面图）来看，在圆周方向交互地配置有主磁极部和辅助磁极部。在主磁极部设置有磁铁插入孔。以下，用主磁极部 A～主磁极部 D 表示各主磁极部，用辅助磁极部 AB～辅助磁极部 DA 表示各辅助磁极部。并且，给被设置在主磁极部 A～D 的要素的符号分别标为记号 a～d，给被设置在辅助磁极部 AB～DA 的要素的符号分别标为记号 ab～da。此外，因为主磁极部 A～D 的结构、辅助磁极部 AB～DA 的结构相同，所以下面主要对主磁极部 A 和辅助磁极部 DA、AB 的结构进行说明。

通过在圆周方向交互地配置主磁极部 A～D 和辅助磁极部 AB～DA，能够利用由被插入到磁铁插入孔内的永久磁铁的磁通所产生的磁转矩、和由辅助磁极部 AB～DA 的凸极性所产生的磁阻转矩这两者。通过调整辅助磁极部 AB～DA 的磁通通路宽度，能够调整磁阻转矩。

此外，将连接转子的中心 O 和主磁极部的圆周方向中心的线表示为“d 轴”，将连接转子的中心 O 和辅助磁极部的圆周方向中心的线表示为“q 轴”。

在本实施例的转子 50 的主磁极部 A，磁铁插入孔 51a1 和 51a4，从转子的中心 O 来看，形成为 V 字状。在磁铁插入孔 51a1 和 51a4 之间（主磁极部 A 的中央部），设置有桥部 51a7。此外，在磁铁插入孔 51a1、51a4 的外周面端壁（被设置在转子的外周侧的端壁）51a2、51a5、与转子 50 的外周面（后述的凹部 50a1、50a2 的底面）之间，设置有桥部 51a8、51a9。

通过设置桥部 51a7～51a9，能够提高转子相对于离心力的强度，并且可

以抑制声音和振动的产生。特别是，通过在主磁极部 A 的中央部设置桥部 51a7，可以更加提高转子相对于离心力的强度。

在磁铁插入孔 51a1 和 51a4 插入有永久磁铁。在本实施例中，从易于制造的观点来看，与轴方向成直角的截面形状为长方形的形状的永久磁铁 52a1 和 52a2 被插入磁铁插入孔 51a1 和 51a4。

在磁铁插入孔 51a1 和 51a4，在外周侧端壁 51a2、51a5 的附近，形成向内侧凸出的凸部 51a3、51a6。通过该凸部 51a3、51a6，永久磁铁 52a1 和 52a2 在磁铁插入孔 51a1 和 51a4 内的移动被限制。由此，在永久磁铁 52a1、52a2 和磁铁插入孔 51a1、51a4 的转子外周侧端部 51a2、51a5 之间形成空隙部（非磁性区域）。通过在永久磁铁 52a1、52a2 的转子外周侧设置空隙部，能够抑制从永久磁铁 52a1、52a2 产生的磁通泄露。在空隙部，填充树脂等非磁性体也可以。

作为永久磁铁，采用铁氧体磁铁和稀土类磁铁等。

在其他的主磁极部 50B~50C 也同样地，呈 V 字状地形成有磁铁插入孔 51b1、51b4~51d1、51d4。并且，在磁铁插入孔 51b1、51b4~51d1、51d4，分别插入有永久磁铁 52b1、52b2~52d1、52d2。此外，在磁铁插入孔 51b1、51b4~51d1、51d4，形成有用于形成防止磁通泄漏的空隙的凸部 51b3、51b6~51d3、51d6。并且，设置有桥部 51b7、51b8、51b9~51d7、51d8、51d9。

被插入在主磁极部 50A~50D 的磁铁插入孔 51a1、51a4~51d1、51d4 中的永久磁铁 52a1、52a2~52d1、52d2，以相邻的主磁极部彼此成为不同极性的方式被磁化。即，以 S 极的主磁极部和 N 极的主磁极部在圆周方向交互地配置的方式被磁化。

例如，在转子 50 的旋转轴插入孔 59 插入旋转轴 60。其后，通过对与转子 50 对向配置的定子 40 的定子绕线 41 通以着磁用电流，从而磁化永久磁铁。

转子 50 的外周面，从与转子 50 的轴方向成直角的截面来看，由第一外周面 50a~50d 和第二外周面 50ab~50da 构成。

第一外周面 50a，与连接转子 50 的中心 O 与主磁极部 50A 的圆周方向中心的线（d 轴）交叉，具有向外周方向形成为凸状的第一曲线形状。此外，

第二外周面 50da、50ab，与连接转子 50 的中心 O 与辅助磁极部 50DA、50AB 的圆周方向中心的线（q 轴）交叉，具有向外周方向形成为凸状的第二曲线形状（参照图 4）。第二外周面 50da、50ab 的曲线形状的曲率半径设定得比第一外周面 50a 的曲率半径大。第一外周面 50a 和第二外周面 50da、50ab 在连接点 A1、A2 连接。

在此，第一外周面 50a 的曲线形状以及第二外周面 50da、50ab 的曲线形状，以在磁铁插入孔 51a1、51a4 的外周侧端壁 51a2、51a5 的外周侧配置有第二外周面 50da、50ab 的方式被设定。即，第一外周面 50a 和第二外周面 50da、50ab 的连接点 A1、A2，被配置在与磁铁插入孔 51a1、51a4 的外周侧端壁 51a2、51a5 对向的外周面的位置的 d 轴侧。

在本实施例中，第一外周面 50a 形成为以转子 50 的中心 O 为中心、半径为 R1 的圆弧形形状。此外，第二外周面 50da、50ab，形成为以位置 P 为中心、半径为 R2（ $R2 > R1$ ）的圆弧形形状，其中位置 P 在 q 轴上、并且从转子 50 的中心 O 沿和第二外周面 50da、50ab 的相反方向（离开第二外周面）离开。其他的第一外周面 50b~50d、第二外周面 50bc、50cd 也是同样地形成的。

另外，第一外周面 50a~50d 和第二外周面 50ab~50da 的曲线形状也可以是圆弧形形状和椭圆形状等凸面形状。此外，第一外周面 50a~50d 的曲率中心或者第二外周面 50ab~50da 的曲率中心的位置可以适当变化。例如，可以将第一外周面 50a~50d 的曲率中心设定在处于 d 轴上、且从转子 50 的中心 O 沿第一外周面 50a~50d 的方向（接近第一外周面的方向）离开的位置。

在本实施例中，第一外周面 50a~50d 对应本发明的“具有第一曲线形状的第一外周面”，第二外周面 50ab~50da 对应本发明的“具有第二曲线形状的第二外周面”。

在本实施例中，转子 50 的外周面是由与 d 轴交叉的、具有第一曲线形状的第一外周面 50a~50d 和与 q 轴交叉的、具有第二曲线形状的第二外周面交互地连接而构成的，第二曲线形状的曲率半径设定得比第一曲线形状的曲率半径大。由此，能够抑制通过定子 40 的齿 T1~Tn 的磁通的急剧变化，可以降低定子绕线的感应电压的波形所包含的高次谐波成分。因此，能够防

止由高次谐波成分导致的效率的低下。此外，因为在转子 50 的主磁极部 d 轴附近的外周面和齿端部之间没有形成长的间隙，所以能够抑制磁通的减少。由此，不需要增加用于维持定子绕线的感应电压的定子绕线的圈数，从而可以抑制由于定子绕线的圈数的增加而导致的定子绕线的铜损的增加。因此能够提高效率。

此外，因为第一外周面 50a~50d 和第二外周面 50ab~50da 的连接部处的磁通量的变化小，所以能够降低定子绕线的感应电压的波形所包含的高次谐波成分。由此，即使在使用无传感器控制方式的情况下也可以高精度地检测出转子的位置，并且能够进行最佳的控制。因此，能够防止由于转子的位置检测精度的低下而导致的效率的低下。

此外，因为与 q 轴交叉的第二外周面 50ab~50da 具有在外周方向形成为凸状的曲线形状，所以与现有例相比能够缩短第二外周面 50ab~50da 与齿前端面 T1a~Tna 之间的距离（间隙）的最大值（例如沿 q 轴的距离）。由此也能够有效地利用磁阻转矩。

但是，虽然在永久磁铁 52a1、52a2 与磁铁插入孔 51a1、51a4 的外周侧端壁 51a2、51a5 之间形成有空隙，由永久磁铁 52a1、52a2 产生的磁通仍然会经由被设置在定子 40 的齿 T1~Tn 而被短路。此时，从永久磁铁 52a1、52a2 产生的磁通，经由对应于齿的本体部的齿前端面和对应于齿端部 T1b、T1c 的齿前端面而被短路。在此，在齿端部 T1b、T1c，磁通容易饱和。因此，因短路磁通的变动有时会产生齿槽转矩。齿槽转矩由于会导致声音和振动的产生，所以有必要降低。

在此，在本实施例中，转子 50 的外周面由第一外周面 50a~50d 和第二外周面 50ab~50da 构成，同时设置了凹部来抑制由被插入磁铁插入孔 51a1、51a4~51d1、51d4 的永久磁铁 52a1、52a2~52d1、52d2 而产生的磁通经由被设置在定子 40 上的齿 T1~Tn 时被短路的现象。

即，如图 3 以及图 4 所示，在第二外周面 50ab~50da，在与磁铁插入孔 51a1、51a4~51d1、51d4 的外周侧端壁 51a2、51a5~51d2、51d5 对向的位置，形成有凹部 50a1、50a2~52d1、52d2。凹部 50a1、50a2~52d1、52d2 的宽度（用开角或者沿圆周方向的长度表示）设定得比磁铁插入孔 51a1、

51a4~51d1、51d4 的外周侧端壁 51a2、51a5~52d2、52d5 的宽度（用开角或者沿圆周方向的长度表示）大。由此，能够减少经由齿 T1~Tn 流过的短路磁通的量，并且能够减低由短路磁通的变动引起的齿槽转矩。

以下，说明用于提高效率同时降低齿槽转矩的转子 50 的各部分的值。

凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 能够形成为各种各样的形状。例如，形成为具有与第二外周面 50da、50ab 大致平行的底面的槽状，或者形成为具有与第一外周面 50a 大致平行的底面的槽状。在本实施例中，凹部 50a1、50a2 形成为具有与第二外周面 50da、50ab 大致平行的底面的槽状。

凹部 50a1、50a2 具有宽度 A 和深度。凹部 50a1、50a2 的宽度 A 是第二外周面 50da、50ab 与凹部 50a1、50a2 的连接点之间的、圆周方向的长度。此外，凹部 50a1、50a2 的深度是使第二外周面 50da、50ab 在圆周方向延伸的假想外周面（图 4 的虚线）与凹部 50a1、50a2 的底面之间的距离。在图 4 中用相对于转子 50 的中心 O 的开角表示凹部 50a1、50a2 的宽度 A。

另外，在本实施例中，凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 对应于本发明的“凹部”。

首先，图 5 表示凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的宽度 A 与效率以及齿槽转矩的关系。

图 5 所示的情况如下：图 3 以及图 4 表示的永磁式电动机 30 的转子 50 的磁极数为 4 个（极对数为 2），转子 50 的第一外周面 50a 的半径 R1 为 29.9mm、转子 50 的外周面与定子 40 的齿 T1~Tn 的前端面之间的距离（间隙）的最小值（例如，沿 d 轴的距离）g 为 0.6mm、转子 50 的最外周面（例如半径为 R1 的假想外周面）与第二外周面 50da、50ab 之间的距离的最大值 D 为 0.425mm、凹部 50a1、50a2 的深度的最小值 h 为 0.2mm。

另外，在图 5 中用相对于转子 50 的中心 O 的开角（机械角）表示凹部 50a1、50a2 的宽度 A。

在图 5，横轴表示凹部 50a1、50a2 的宽度 A（开角；机械角），纵轴表示效率（%）以及齿槽转矩(g/m)。此外，双点划线表示将第一外周面 50a 的宽度 θ （开角；机械角）设定为 34°时的情况，长的虚线表示将 θ 设定为 37°时的情况，实线表示将 θ 设定为 40°时的情况，点划线表示将 θ 设定为 43°

时的情况，短的虚线表示将 θ 设定为 46° 时的情况。另外，第一外周面 50a 的宽度 θ 也可以用长度来表示。

根据图 5 可知，在将 θ 设定为 34° 、 37° 、 40° 、 43° 、 46° 的任何一个的情况下，如果凹部 50a1、50a2 的宽度 A 超过 24° ，则与没有设置凹部 50a1、50a2 的情况相比，效率会降低。由此，通过设定 $[0^\circ < \text{凹部的宽度 A (}^\circ; \text{机械角)} \leq 24^\circ]$ ，能够提高效率。

此外，根据图 5 可知，如果凹部的宽度 A 超过 8° ，则与没有设置凹部 50a1、50a2 的情况相比，齿槽转矩会降低。在此，将 θ 设定为 34° 、 46° 时的齿槽转矩的降低效果，要小于将 θ 设定为 37° 、 40° 、 43° 时的降低效果。

由此，通过设定为 $[37^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq 43^\circ]$ 以及 $[8^\circ \leq \text{凹部的宽度 A (}^\circ; \text{机械角)} \leq 24^\circ]$ ，能够有效地降低齿槽转矩。

另外，如果第一外周面 50a 的曲率半径 R1 在 $[22\text{mm} \sim 32.5\text{mm}]$ 的范围内、转子的外周面与齿前端面之间的间隙的最小值 g 在 $[0.45\text{mm} \sim 0.7\text{mm}]$ 的范围内、凹部的深度的最小值 h 在 $[0.1\text{mm} \sim 0.4\text{mm}]$ 的范围内、转子 50 的最外周面与第二外周面 50da、50ab 之间的距离的最大值 D 在 $[0.3\text{mm} \sim 0.7\text{mm}]$ 的范围内，则表示凹部的宽度 A 与效率以及齿槽转矩的关系的曲线图和图 5 所示的曲线图大致相同。

根据上述内容，通过以满足 $[37^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq 43^\circ]$ 以及 $[8^\circ \leq \text{凹部的宽度 A (}^\circ; \text{机械角)} \leq 24^\circ]$ 的方式构成，从而能够在提高效率的同时降低齿槽转矩。

在此，转子 50 的极对数为 2 的情况下的上述条件 $[37^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq 43^\circ]$ 以及 $[8^\circ \leq \text{凹部的宽度 A (}^\circ; \text{机械角)} \leq 24^\circ]$ ，根据转子 50 的极对数而变化。

例如，在转子 50 的极对数为 1 的情况下，变更为极对数为 2 时的条件的 2 倍，即 $[74^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq 86^\circ]$ 以及 $[16^\circ \leq \text{凹部的宽度 A (}^\circ; \text{机械角)} \leq 48^\circ]$ 。此外，在转子 50 的极对数为 3 的情况下，变更为极对数为 2 时的条件的 $2/3$ 倍，即 $[(74/3)^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq (86/3)^\circ]$ 以及 $[(16/3)^\circ \leq \text{凹部的宽度 A (}^\circ; \text{机械角)} \leq (48/3)^\circ]$ 。

因此，在转子 50 的极对数为 P 的情况下，通过以第一外周面 50a 的宽

度 θ 的开角 ($^\circ$; 机械角) 满足 $[(74/P)^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (\text{开角}; \text{机械角}) \leq (86/P)^\circ]$ 、凹部 50a1、50a2 的宽度 A 的开角 ($^\circ$; 机械角) 满足 $[(16/P)^\circ \leq \text{凹部的宽度 } A (\text{开角}; \text{机械角}) \leq (48/P)^\circ]$ 的方式构成, 从而能够在提高效率的同时降低齿槽转矩。

接着, 图 6 表示转子 50 的最外周面 (对应于第一外周面 50a~50d、半径为 R1 的假想外周面) 与第二外周面 50ab~50da 之间的距离的最大值 D、转子 50 的外周面与定子 40 的齿 T1~Tn 的前端面之间的距离 (间隙) 的最小值 g 和效率以及齿槽转矩的关系。

图 6 表示在上述的、能够提高效率的同时相对能够降低齿槽转矩的条件 $[(74/P)^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (\text{开角}; \text{机械角}) \leq (86/P)^\circ]$ 以及 $[(16/P)^\circ \leq \text{凹部的宽度 } A (\text{开角}; \text{机械角}) \leq (48/P)^\circ]$, 表示 (D/g) 与效率以及齿槽转矩之间的关系。此外, 图 6 所示的情况如下: 图 3 以及图 4 表示的永磁式电动机 30 的转子 50 的磁极数为 4 个 (极对数为 2), 转子 50 的第一外周面 50a 的半径 R1 为 29.9mm、凹部 50a1、50a2 的深度的最小值 h 为 0.2mm、第一外周面 50a 的宽度 θ (开角; 机械角) 为 41.5 度。

在图 6, 横轴表示 $[D/g]$, 纵轴表示效率 (%) 以及齿槽转矩 (g/m)。此外, 虚线表示将第一外周面 50a 的宽度 θ ($^\circ$; 机械角) 设定为 37° 时的情况, 实线表示将 θ 设定为 40° 时的情况, 点划线表示将 θ 设定为 43° 时的情况。另外, 第一外周面 50a 的宽度 θ 也可以用长度来表示。

根据图 6 可知, 如果 (D/g) 超过 1.6, 则与没有设置第二外周面 50da、50ab 的情况相比, 效率低下。由此, 通过设定为 $[0 < (D/g) \leq (1.6)]$, 从而能够提高效率。

此外, 根据图 6 可知, 当 (D/g) 在 $[0.5 \sim 1.6]$ 的范围内时, 与没有设置第二外周面 50da、50ab 的情况相比, 齿槽转矩会大宽度地被降低。由此, 通过设定为 $[0.5 \leq (D/g) \leq 1.6]$, 而能够有效地降低齿槽转矩。

另外, 如果第一外周面 50a 的曲率半径 R1 在 $[22\text{mm} \sim 32.5\text{mm}]$ 的范围内、转子的外周面与齿前端面之间的间隙的最小值 g 在 $[0.45\text{mm} \sim 0.7\text{mm}]$ 的范围内、凹部的深度的最小值 h 在 $[0.1\text{mm} \sim 0.4\text{mm}]$ 的范围内、转子 50 的最外周面与第二外周面 50da、50ab 之间的距离的最大值 D 在 $[0.3\text{mm} \sim 0.7\text{mm}]$ 的范

围内,则表示 (D/g) 与效率以及齿槽转矩的关系的曲线图和图6所示的曲线图大致相同。

根据上述内容,通过以满足 $[(74/P)^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq (86/P)^\circ]$ 、 $[(16/P)^\circ \leq \text{凹部的宽度 } A (^\circ; \text{机械角}) \leq (48/P)^\circ]$ 、 $[0.5 \leq (D/g) \leq 1.6]$ 这样的条件的方式构成,从而能够更好地降低齿槽转矩。

接着,图7表示凹部50a1、50a2的深度的最小值 h 与齿槽转矩的关系。作为凹部50a1、50a2的深度的最小值 h ,例如可以使用沿 q 轴的深度。

图7表示在上述的、能够提高效率的同时降低齿槽转矩的条件满足 $[(74/P)^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq (86/P)^\circ]$ 以及 $[(16/P)^\circ \leq \text{凹部的宽度 } A (^\circ; \text{机械角}) \leq (48/P)^\circ]$ 的状态下,表示 h 与齿槽转矩的关系。此外,图7所示的情况如下:图3以及图4表示的永磁式电动机30的转子50的磁极数为4个(极对数为2),转子50的第一外周面50a的曲率半径 $R1$ 为29.9mm、转子50的外周面与齿前端面之间的距离(间隙)的最小值 g 为0.6mm、第一外周面50a的宽度 θ (开角;机械角)为41.5度。

在图7,横轴表示 h ,纵轴表示齿槽转矩(g/m)。

根据图7可知, h 在 $[(0.08) \times (g+D)]\text{mm}$ 和 $[(0.6) \times (g+D)]\text{mm}$ 的范围内,齿槽转矩降低。当凹部50a1、50a2的深度浅时,第二外周面50da、50ab和齿前端面之间的磁阻、与凹部的底面和齿前端面之间的磁阻相差无几。因此,由凹部50a1、50a2导致的齿槽转矩的降低效果下降。当凹部50a1、50a2的深度深时,凹部50a1、50a2的底面和齿前端面之间的磁阻变得过大。此时,因为在第二外周面50da、50ab和凹部50a1、50a2的交界处附近磁阻急剧变化,所以会产生齿槽转矩。

另外,如果第一外周面50a的曲率半径 $R1$ 在 $[22\text{mm} \sim 32.5\text{mm}]$ 的范围内、转子的外周面与齿前端面之间的间隙的最小值 g 在 $[0.45\text{mm} \sim 0.7\text{mm}]$ 的范围内、凹部的深度的最小值 h 在 $[0.1\text{mm} \sim 0.4\text{mm}]$ 的范围内、转子50的最外周面与第二外周面50da、50ab之间的距离的最大值 D 在 $[0.3\text{mm} \sim 0.7\text{mm}]$ 的范围内,则表示 h 与齿槽转矩的关系的曲线图和图7所示的曲线图大致相同。

根据上述内容,通过以满足 $[(74/P)^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq (86/P)^\circ]$ 、 $[(16/P)^\circ \leq \text{凹部的宽度 } A (^\circ; \text{机械角}) \leq (48/P)^\circ]$ 、以及 $\{ (0.08)$

$\times (g+D) \text{ mm} \leq h \leq \{ (0.6) \times (g+D) \text{ mm} \}$ 这样的条件的方式构成,从而能够更进一步地降低齿槽转矩。或者,通过以满足 $[(74/P)^\circ \leq \text{第一外周面的宽度 } \theta (^\circ; \text{机械角}) \leq (86/P)^\circ]$ 、 $[(16/P)^\circ \leq \text{凹部的宽度 } A (^\circ; \text{机械角}) \leq (48/P)^\circ]$ 、 $[0.5 \leq (D/g) \leq 1.6]$ 以及 $\{ (0.08) \times (g+D) \text{ mm} \leq h \leq \{ (0.6) \times (g+D) \text{ mm} \}$ 这样的条件的方式构成,从而能够更好地降低齿槽转矩。

在图3以及图4所示的永磁式电动机30中,与齿T1的转子50的外周面对向的齿端面T1a在齿端部T1b的圆周方向端部和齿端部T1c的圆周方向端部之间延伸,并且形成为与第一外周面50a同心状(以转子50的中心O为中心)的圆弧形。并且,仅由转子50确保了转子50的最外周面与第二外周面50da、50ab之间的距离的最大值D。此距离D,能够由转子50和定子40这两者或者其中任意一个来确保。图8表示由转子50和定子40确保距离D的变更例。图8是转子50和定子40的局部放大图。

在图8所示的变更例中,与齿T1的转子50的外周面对向的齿前端面T1a具有被设置在与齿本体部对应的位置的第一前端面T1e、被设置在与齿前端部T1b对应的位置的第二前端面T1d、被设置在与齿前端部T1c(参照图4)对应的位置的第三前端面T1f(省略图示)。

第一前端面T1e,形成为与转子50的第一外周面50a同心状(以转子50的中心O为中心)的圆弧形。

第二前端面T1d,形成为从第一前端面T1e开始、在齿端部T1b的圆周方向端部(图8的左侧的端部)的方向、与转子50的外周面之间的间隙渐渐增大的倾斜面。倾斜面既可以为直线也可以为曲线。使第一前端面T1e沿圆周方向延伸的假想前端面与第二前端面T1d之间的距离之中的最长的距离(最大间隙差)是D2。

另外,第二前端面T1d,是为了抑制由永久磁铁产生的磁通经由齿端部T1b被短路而设置的。因此,第二前端面T1d的宽度W优选设定得比被插入到磁铁插入孔的永久磁铁的宽度(或者磁铁插入孔的宽度)长。

第三前端面T1f的形状与第二前端面T1d的形状相对于齿T1的中心线为线对称。

在图8所示的变更例,转子50的最外周面(图8中用虚线表示的半径

为 R_1 的假想外周面)与第二外周面 50da、50ab 之间的距离的最大值 D_1 (沿 q 轴的距离)、和第二前端面 T1d 的最大间隙差 D_2 的和 $[D_1+D_2]$,与上述的距离 D 对应。

即使用该距离 $[D_1+D_2]$ 替代上述条件 D ,也能够获得上述效果。

这样,通过将齿前端面 T1a 的圆周方向的两端部侧做成倾斜面,能够防止磁通在齿端部急剧变化。由此,能够更加降低齿槽转矩。

以上,用相对于第二外周面 50ab~50da 的曲率中心 O 的开角(机械角)表示在与磁铁插入孔 51a1、51a4~51d1、51d4 的外周侧端壁 51a2、51a5~51d2、51d5 对向的位置形成的凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的宽度 A 。

在此,凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的圆周方向的长度可以利用凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的开角(机械角)和第二外周面 50ab~50da 的曲率半径 R_2 计算出来。

因此,如图 9 所示,凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的宽度 A ,也能够用对应于开角(机械角)的长度来表示。例如,可以用沿圆周方向的长度来表示。用长度表示凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的宽度 A 的结构被包含于用开角(机械角)表示凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的宽度 A 的结构中。

此外,磁铁插入孔 51a1、51a4~51d1、51d4 的外周侧端壁 51a2、51a5~51d2、51d5 和凹部 50a1、50a2~50d1、50d2 的配置关系能够进行适当的选择。

例如,如图 10 所示,也可以在凹部 50a1 的旋转方向侧的位置配置外周侧端壁 51a2。或者如图 11 所示,也可以在凹部 50a1 的中央的位置配置外周侧端壁 51a2。或者如图 12 所示,也可以在凹部 50a1 的反旋转方向侧的位置配置外周侧端壁 51a2。

即,如果将外周侧端壁 51a2 配置在与凹部 50a1 对向的位置,则能够防止由永久磁铁产生的磁通经由齿、特别是齿端部而流过。

在以上的实施方式中,虽然在呈 V 字形状配置的磁铁插入孔插入了与轴方向成直角的截面形状为长方形的板状的永久磁铁,但是磁铁插入孔和永久磁铁的形状、数量等可以进行各种变更。

下面,参照图 13~图 15 说明在其他的实施例中使用的转子。另外,图

13~图 15 表示与转子的轴方向成直角的截面（横截面）。

[第二实施例]

图 13 所示的第二实施例的转子 150, 在磁铁插入孔的外周侧端壁和凹部之间形成空隙部这一点与第一实施例的转子 50 不同。

在第二实施例, 在主磁极部 150A, 以从转子 150 的中心 O 来看, 大致呈 V 字形状的方式配置有磁铁插入孔 151a1、151a3。

在磁铁插入孔 151a1、151a3 分别插入与轴方向成直角的截面形状为长方形的板状的永久磁铁 152a1、152a2。

在本实施例中, 以永久磁铁 152a1、152a2 和磁铁插入孔 151a1、151a3 的外周侧端壁 151a2、151a4 之间不形成空隙的方式, 将永久磁铁 152a1、152a2 插入磁铁插入孔 151a1、151a3。并且, 在磁铁插入孔 151a1、151a3 的外周侧端壁 151a2、151a4 和第二外周面 150da、150ab（凹部 150a1、150a2 的底面）之间形成有空隙部 151a5、151a6。在磁铁插入孔 151a1、151a3 的外周侧端壁 151a2、151a4 和空隙部 151a5、151a6 之间、空隙部 151a5、151a6 和第二外周面 150da、150ab（凹部 150a1、150a2 的底面）之间, 设置有桥部 151a8、151a9、151a10、151a11。这样, 通过设置多个桥部, 可以更有效地提高转子相对于离心力的强度。

在本实施例的转子 150, 在第二外周面 150da、150ab, 在空隙部 151a5、151a6 对向的位置形成有凹部 150a1、150a2。

[第三实施例]

图 14 所示的第三实施例的转子 250 的磁铁插入孔以及永久磁铁的形状和第一实施例的转子 50 不同。

在第三实施例中, 在主磁极部 250A 设置有具有圆弧形形状的截面形状的磁铁插入孔 251a1。圆弧形形状在转子的中心方向呈凸状地形成。

在磁铁插入孔 251a1 插入有具有和磁铁插入孔 251a1 大致相同的截面形状的永久磁铁 252a。

在本实施例的转子 250 中, 在永久磁铁 252a 和第二外周面 250da、250ab（凹部 250a1、250a2 的底面）之间没设置空隙部。

[第四实施例]

图 15 所示的第四实施例的转子 350 的磁铁插入孔的形状和第一实施例的转子 50 不同。

在第四实施例中，在主磁极部 350A，在与 d 轴大致成直角的方向上设置有磁铁插入孔 351a1。

在磁铁插入孔 351a1 插入与轴方向成直角的截面形状为长方形的形状的永久磁铁 352a。

在本实施例中，以在永久磁铁 352a 和磁铁插入孔 351a1 的外周侧端壁 351a2、351a3 之间不形成空隙的方式，将永久磁铁 352a 插入磁铁插入孔 351a1。并且，在磁铁插入孔 351a1 的外周侧端壁 351a2、351a3 和第二外周面 350da、350ab(凹部 350a1、350a2 的底面)之间形成有空隙部 351a4、351a5。此时，在磁铁插入孔 351a1 的外周侧端壁 351a2、351a3 和空隙部 351a4、351a5 之间、空隙部 351a4、351a5 和第二外周面 350da、350ab(凹部 350a1、350a2 的底面)之间，设置有桥部 351a6、351a7、351a8、351a9。

本发明不限于实施方式中说明的结构，可以进行各种变更、追加、删除。

例如，在转子的主磁极部，在径方向仅配置 1 层永久磁铁，而构成单层结构的转子，但是也可以在径方向配置多层永久磁铁，而构成多层结构的转子。

此外，磁铁插入孔的形状和永久磁铁的形状、数量等也能够进行各种变更。并且，永久磁铁的材料也可以进行各种变更。

此外，作为定子的槽数量和转子的极对数的组合，可以进行各种组合。

此外，虽然对永久磁铁埋入式电动机进行了说明，但是本发明可以作为各种结构的永磁式电动机等而构成。

此外，针对将永磁式旋转机械作为驱动被设置在空气调节机(空调设备)和电冰箱等的压缩机的电动机来使用的情况进行了说明，但是本发明的永磁式旋转机械，还可以应用在其它的领域中。例如，能够作为被安装在汽车上的电动机来使用。作为被安装在汽车上的电动机，对应有例如驱动汽车的电动机、驱动被安装在汽车上的设备(窗玻璃、雨刷、座位、方向盘、门等)的电动机等。

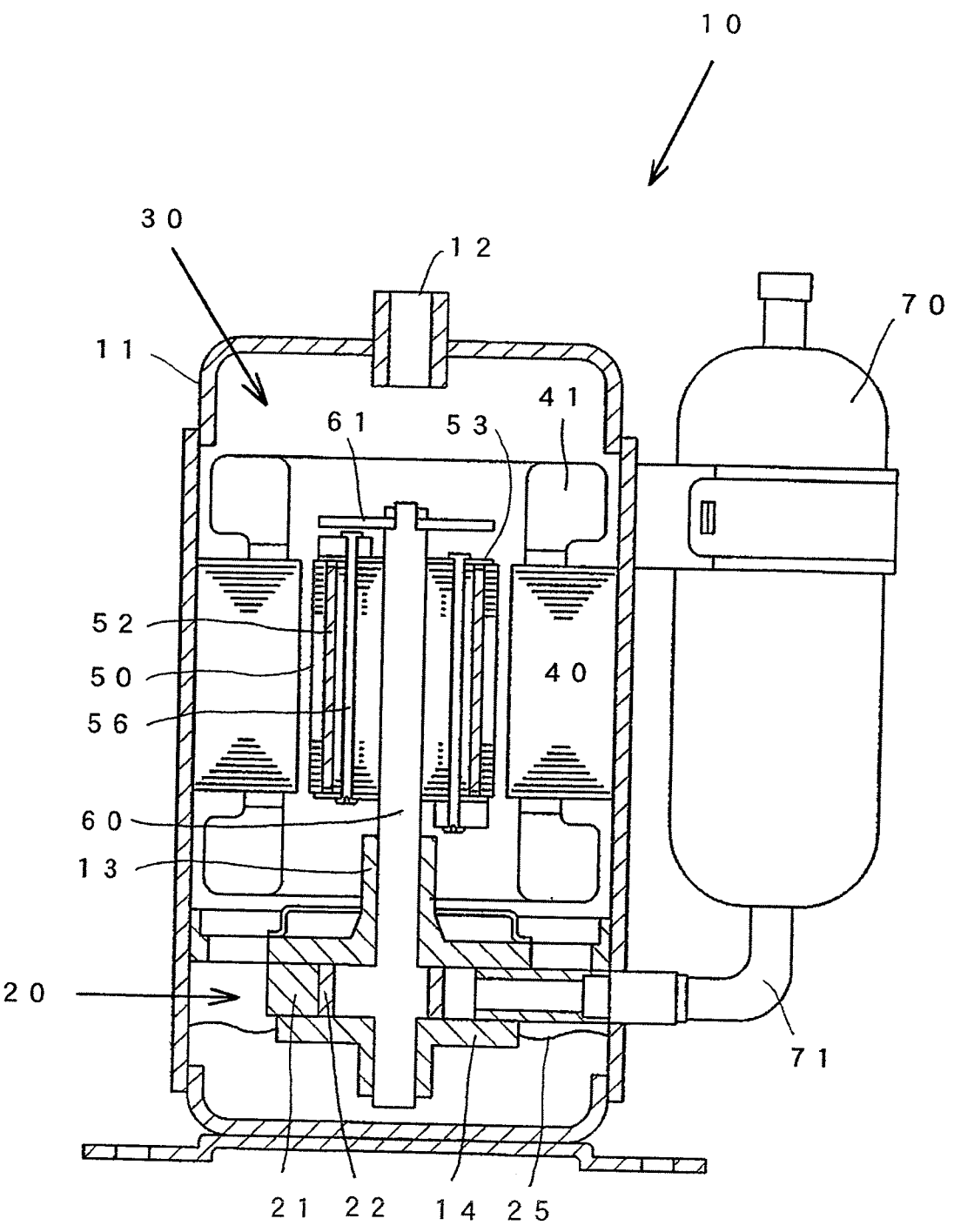


图 1

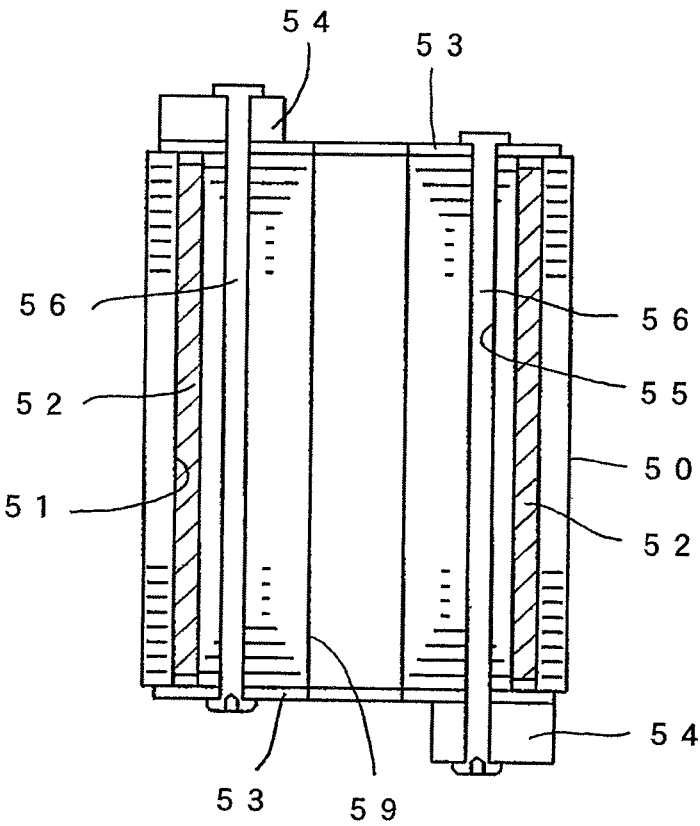


图 2

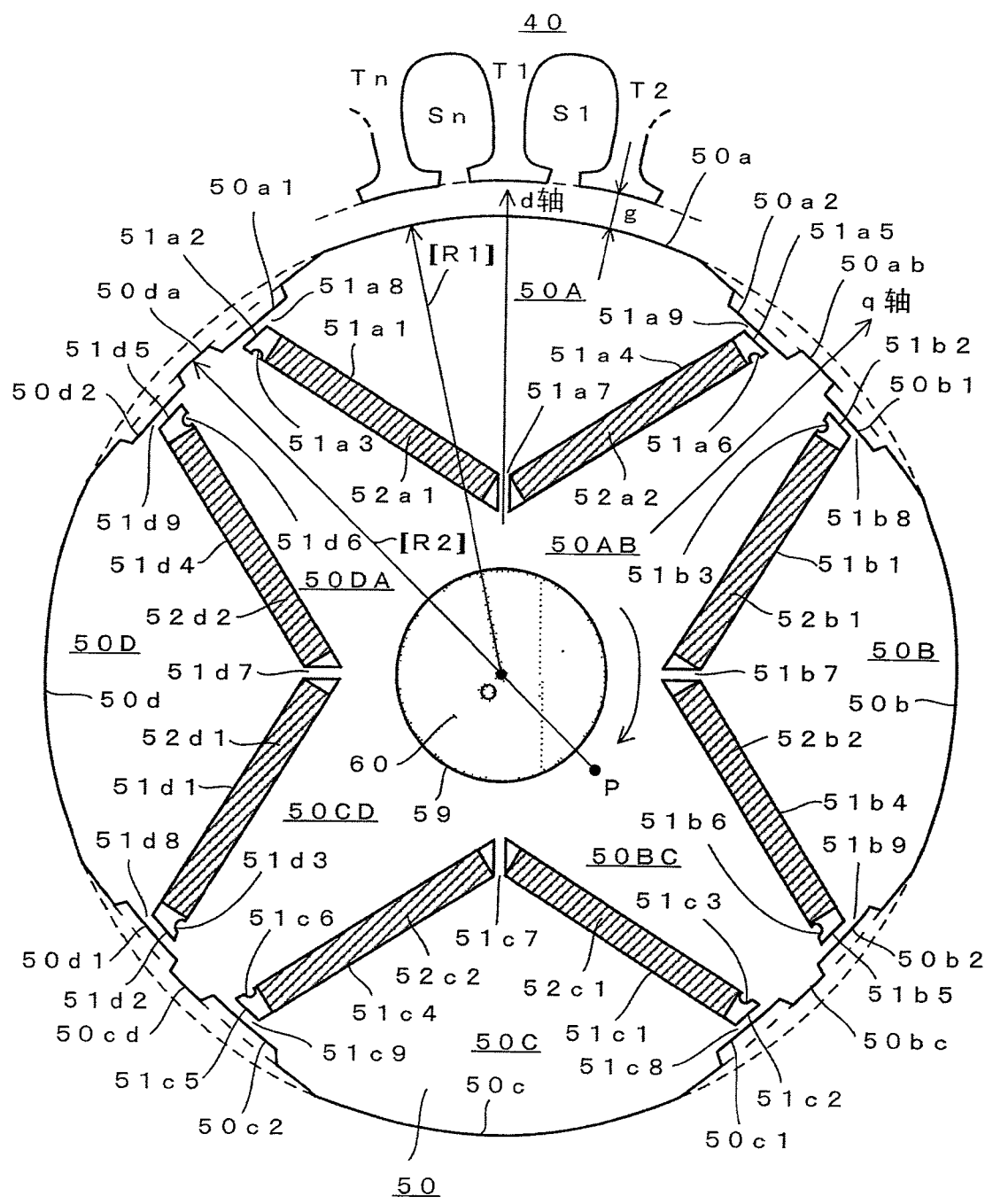


图 3

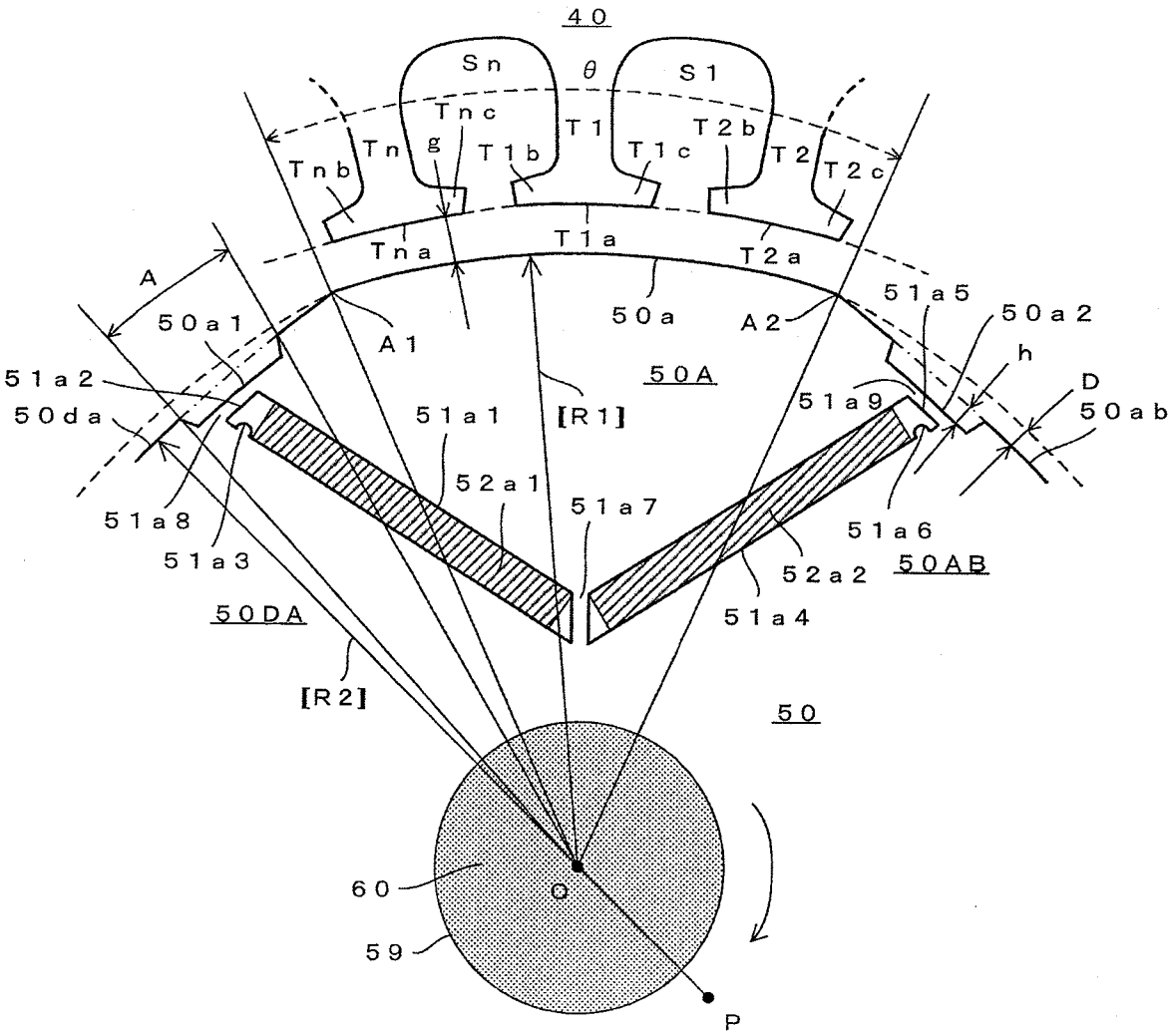


图 4

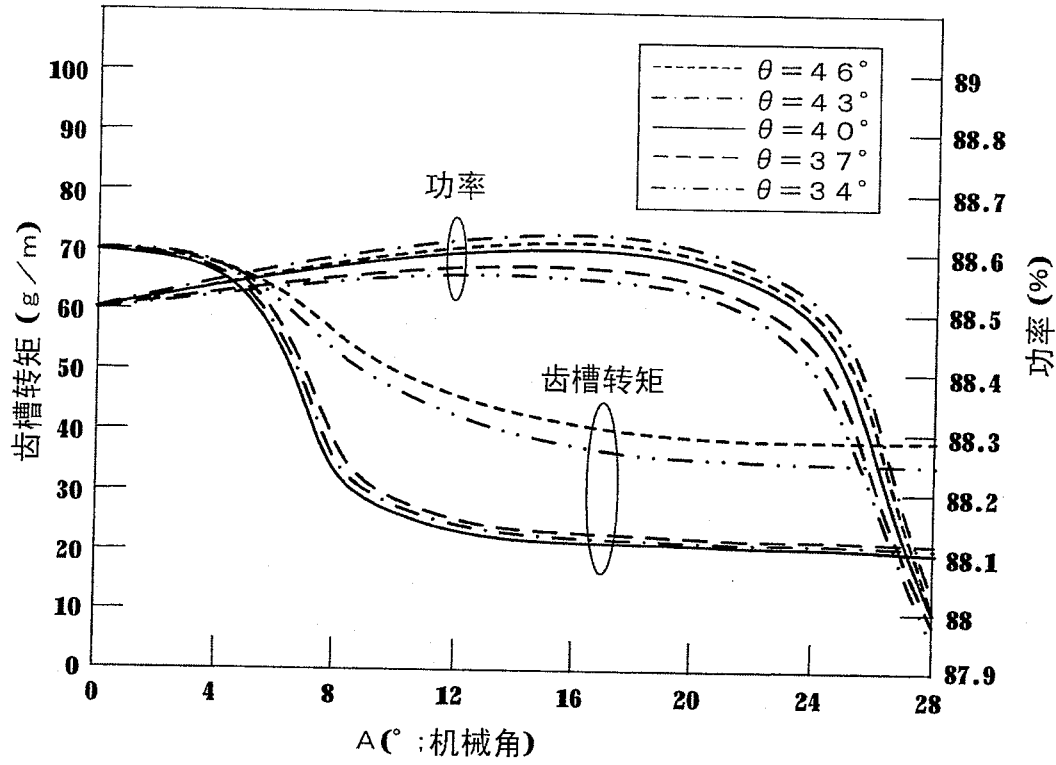


图 5

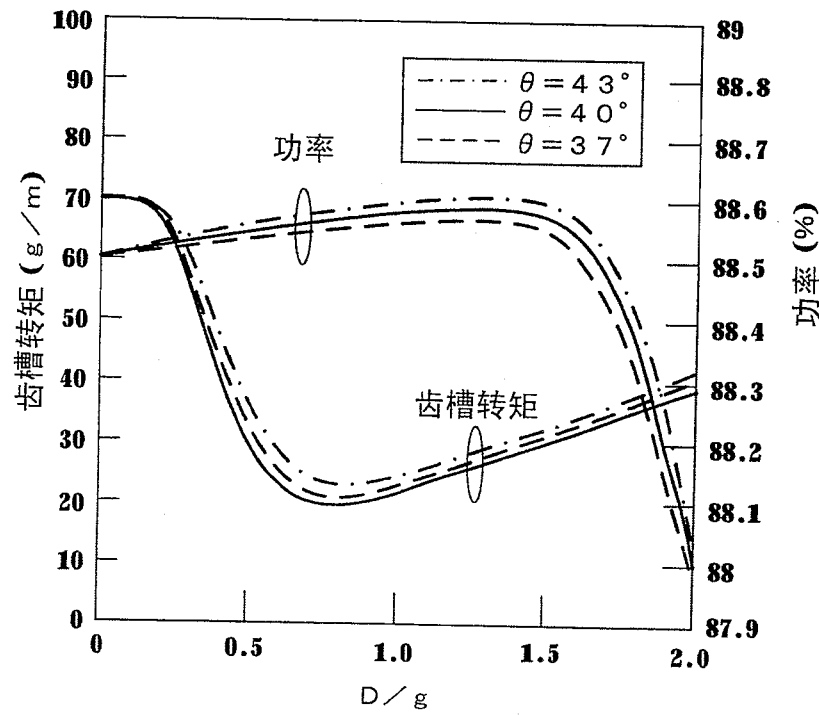


图 6

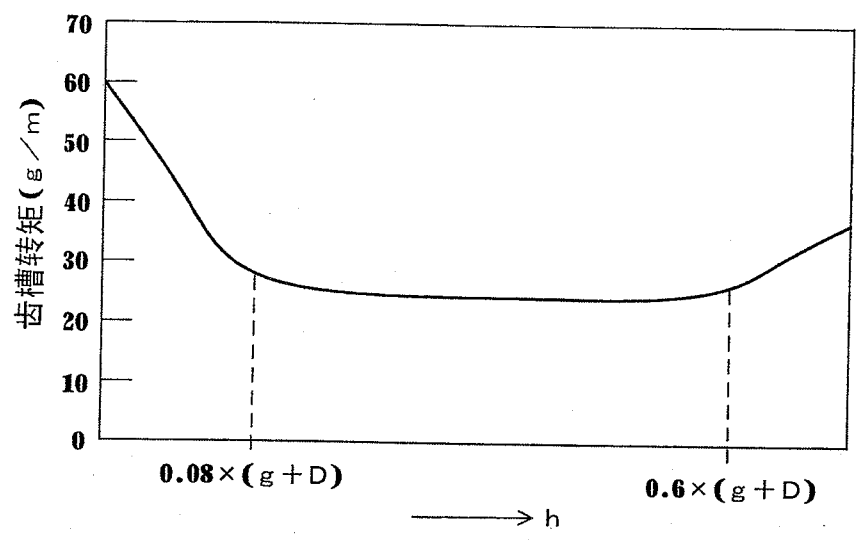


图 7

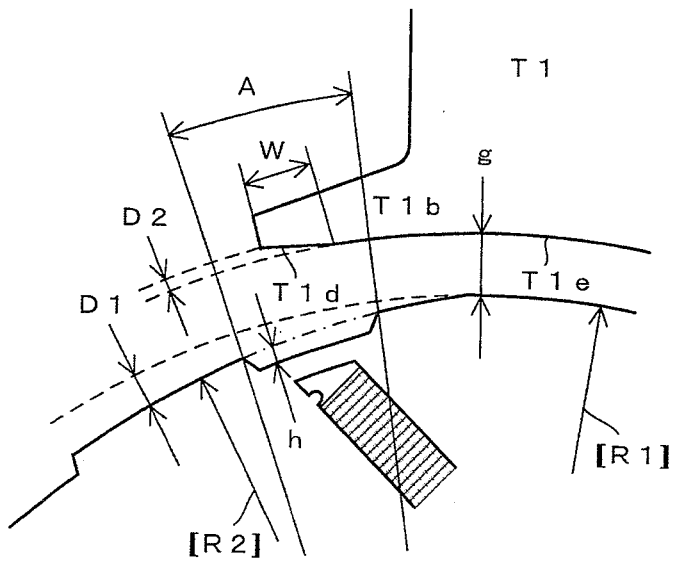


图 8

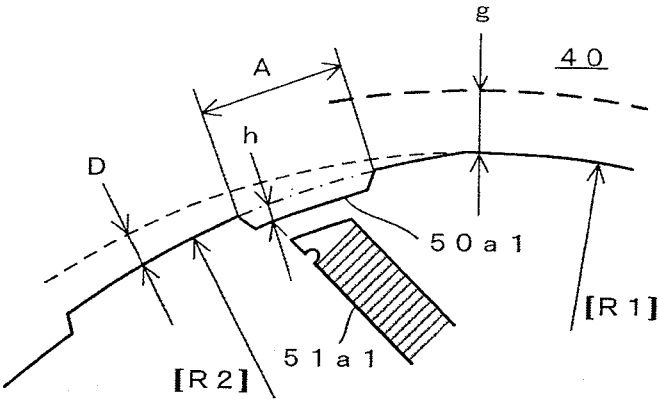


图 9

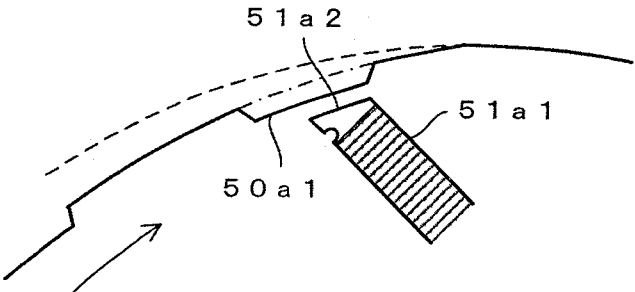


图 10

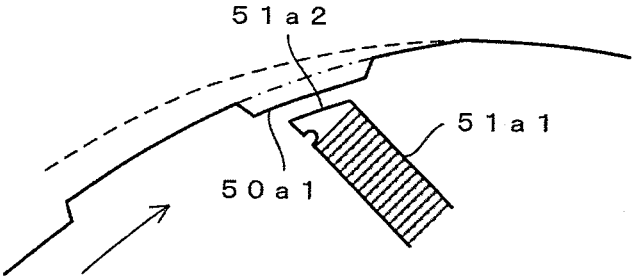


图 11

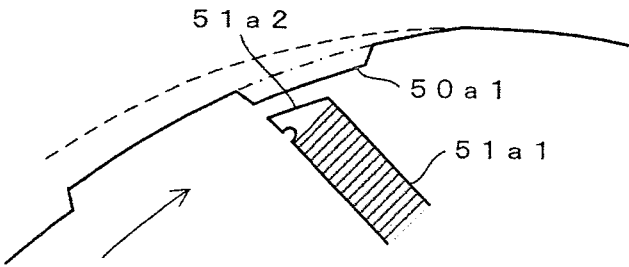


图 12

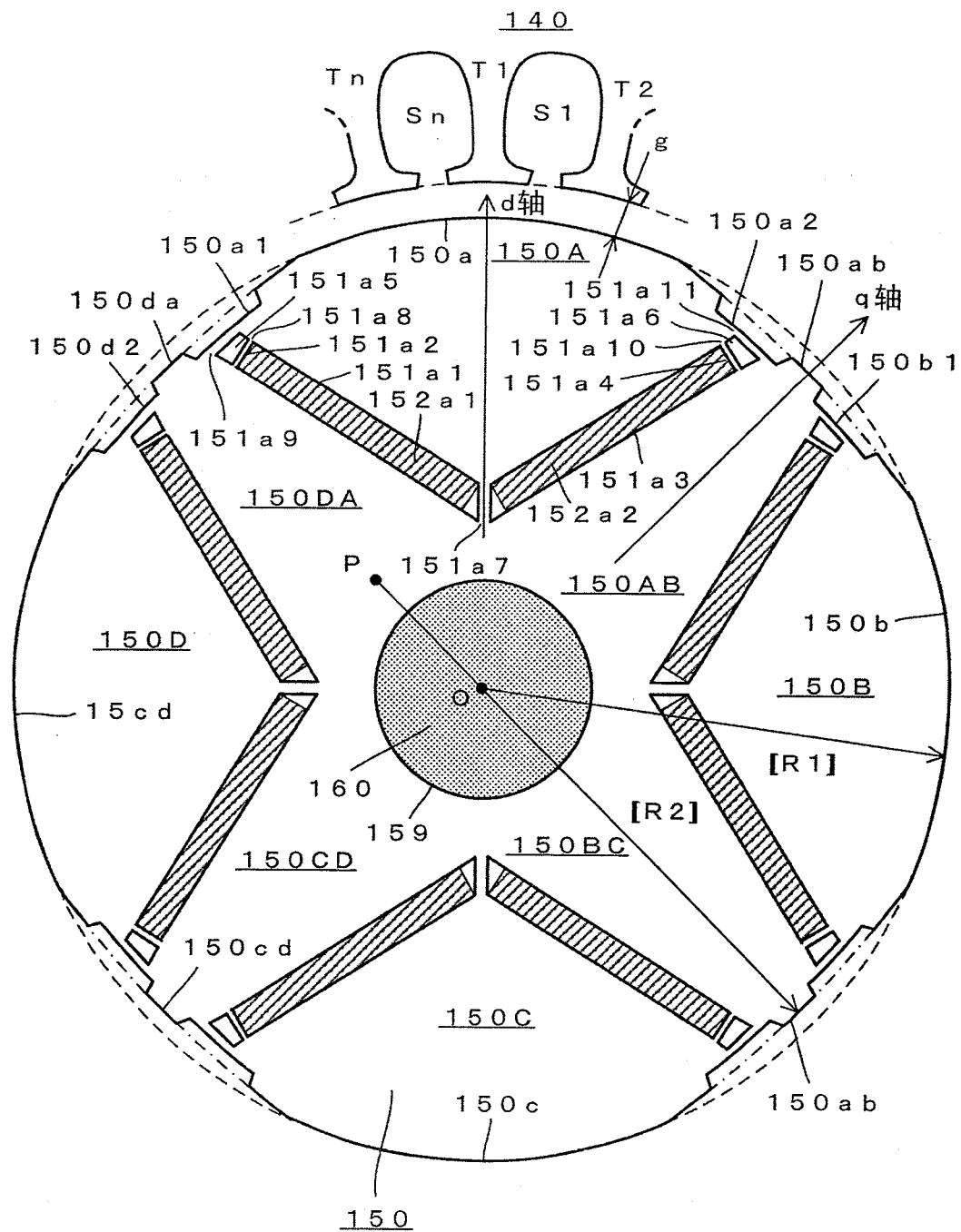


图 13

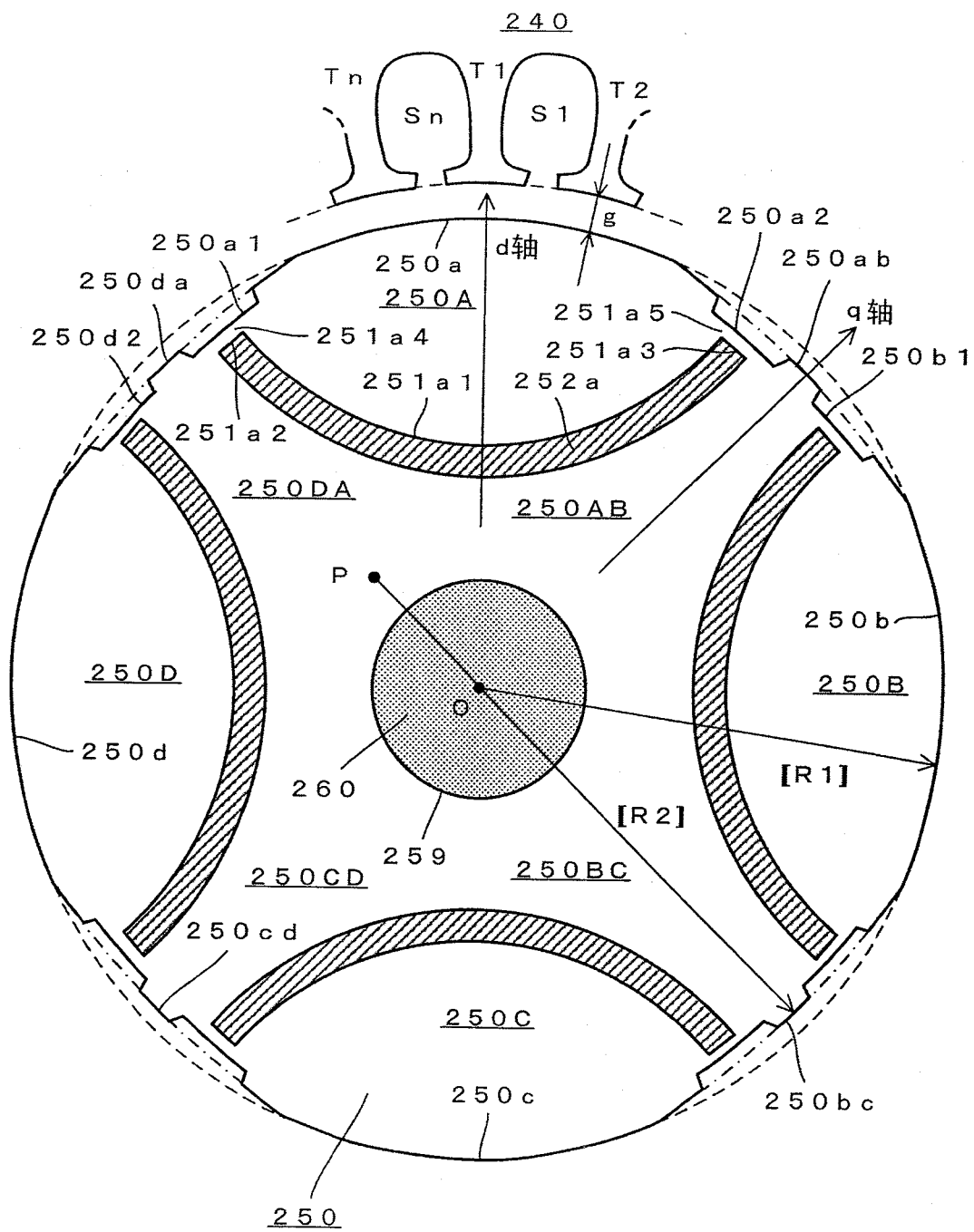


图 14

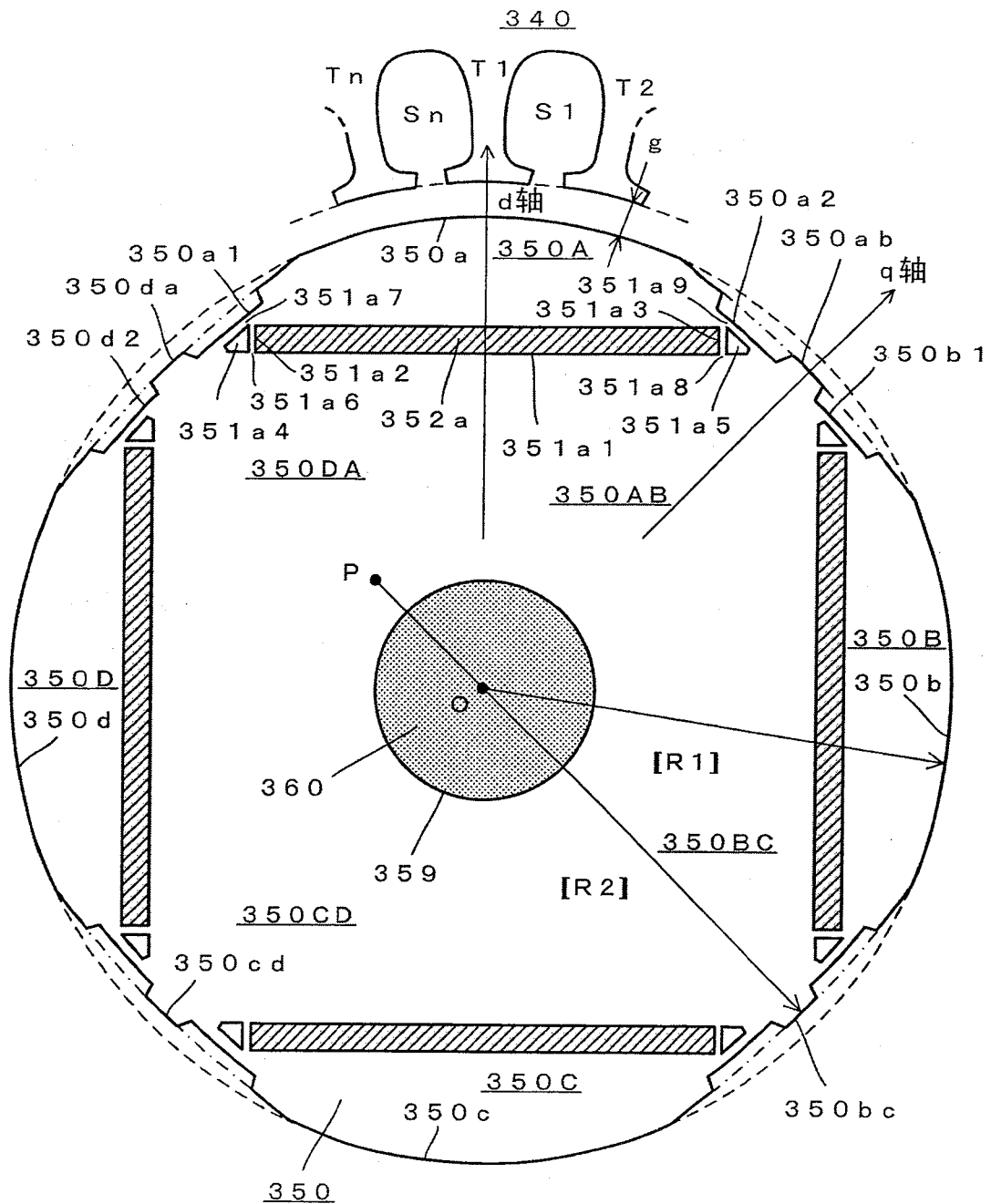


图 15

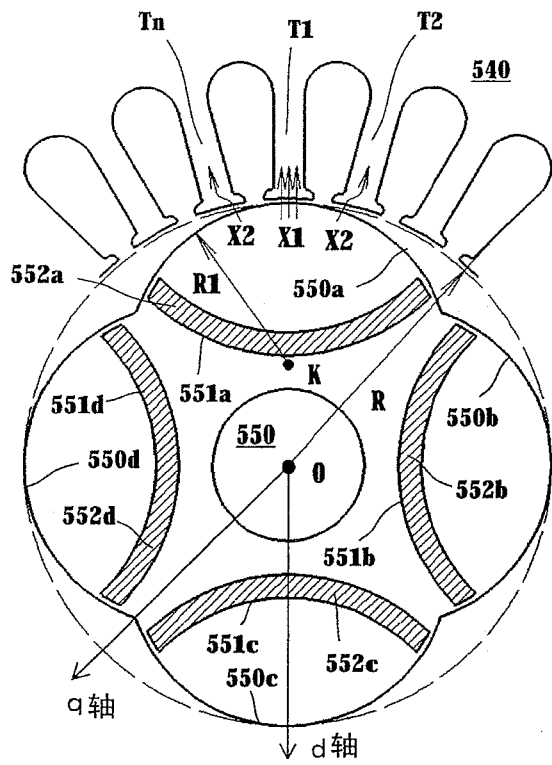


图 16

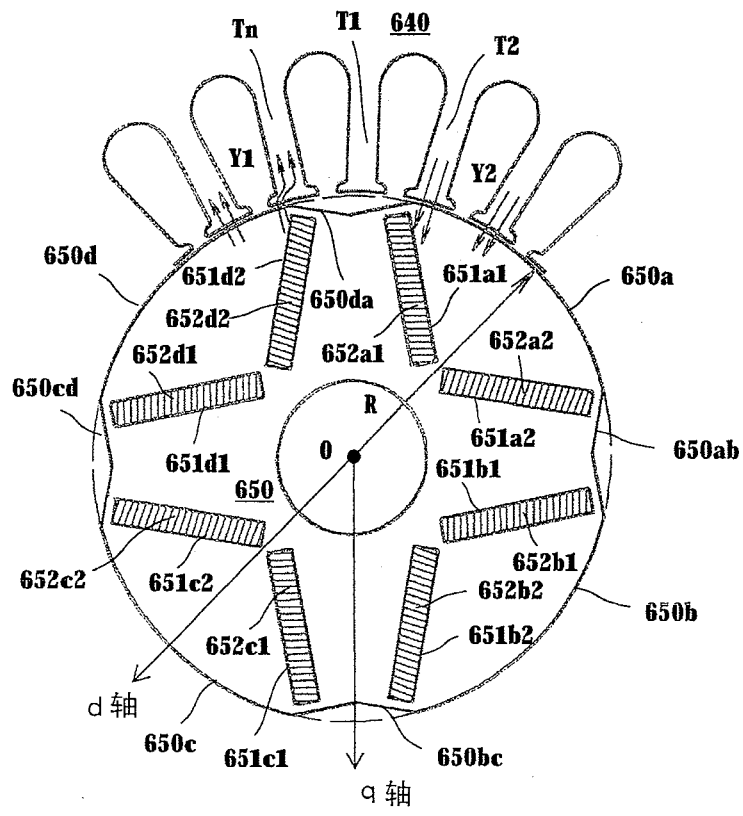


图 17

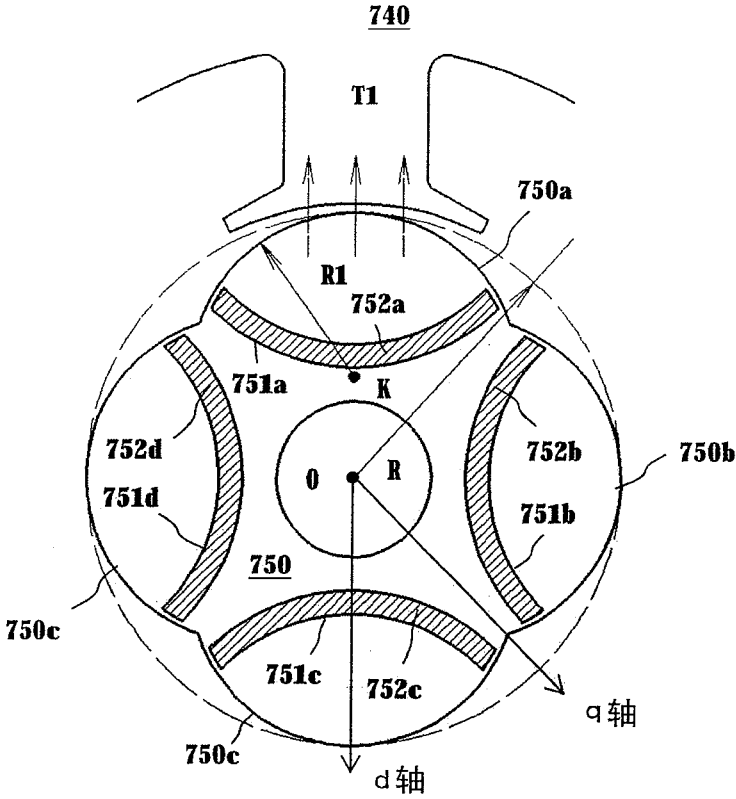


图 18

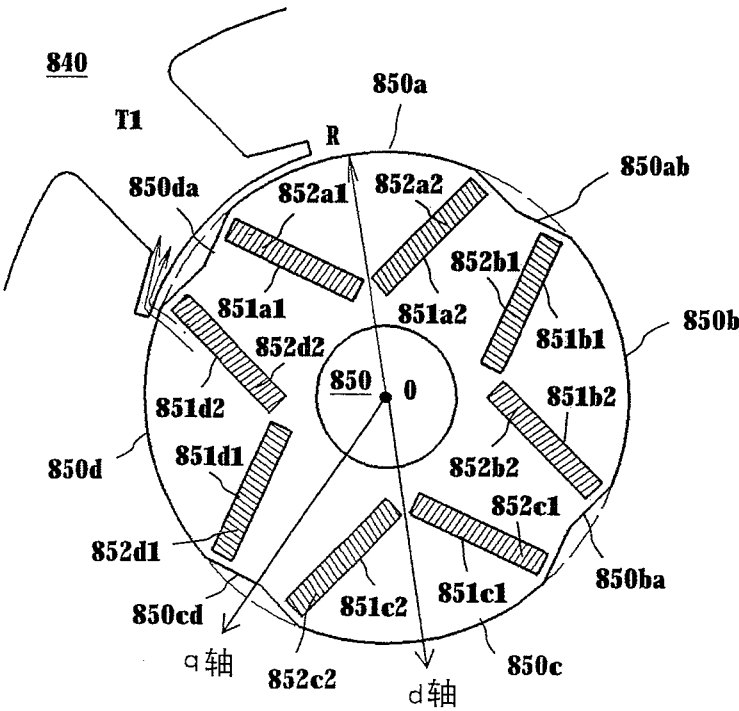


图 19