(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108566006 A
(43)申请公布日 2018.09.21

(21)申请号 201810219846.2

(22)申请日 2018.03.16

(71)申请人 珠海格力节能环保制冷技术研究中心有限公司
地址 519070 广东省珠海市前山金鸡路789号9栋(科技楼)

(72)发明人 董明珠 胡余生 肖勇 陈彬 童童 卢素华

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限责任公司 11240
代理人 韩建伟 丰佩印

(51)Int.Cl.
H02K 1/27(2006.01)
H02K 29/03(2006.01)

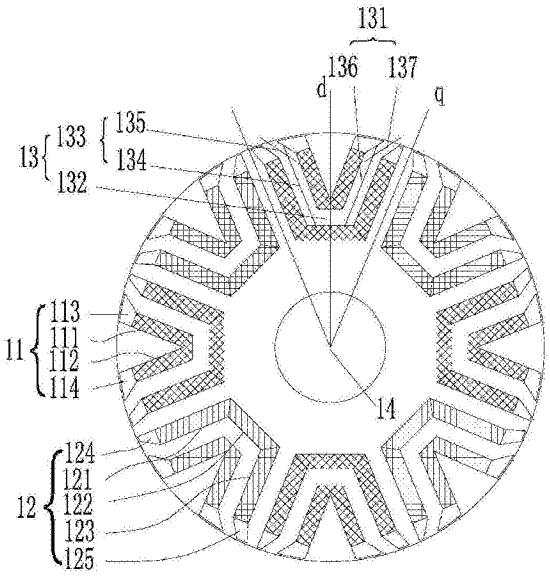
权利要求书4页 说明书11页 附图17页

(54)发明名称

转子结构、永磁辅助同步磁阻电机及电动汽车

(57)摘要

本发明提供了一种转子结构、永磁辅助同步磁阻电机及电动汽车，转子结构包括转子本体，转子本体上设置有永磁体槽组，永磁体槽组包括外层永磁体槽和内层永磁体槽，相邻的外层永磁体槽与内层永磁体槽之间形成导磁通道，导磁通道的至少一端形成有偏折段，偏折段至转子本体的交轴的距离沿径向方向向外逐渐递减，以使导磁通道的末端靠近交轴设置。通过设置导磁通道的至少一端有偏折段，并至转子本体导磁通道到的交轴的距离沿径向方向向外逐渐递减的方式，优化了转子结构的磁路，提升了电机的磁阻转矩，并通过进一步改进永磁体槽形状，使得转子永磁体的整体的抗退磁能力得到了提高，降低电机转矩脉动，降低电机的振动和噪声，增加了电机的抗退磁能力。



CN 108566006 A

1.一种转子结构,其特征在于,包括:

转子本体(10),所述转子本体(10)上设置有永磁体槽组,所述永磁体槽组包括外层永磁体槽(11)和内层永磁体槽(12),相邻的所述外层永磁体槽(11)与所述内层永磁体槽(12)之间形成导磁通道(13),所述导磁通道(13)的至少一端形成有偏折段,所述偏折段至所述转子本体(10)的交轴的距离沿径向方向向外逐渐递减,以使所述导磁通道(13)的末端靠近所述交轴设置。

2.根据权利要求1所述的转子结构,其特征在于,所述导磁通道(13)包括依次连接的第一组成段(131)、第二组成段(132)和第三组成段(133),所述第一组成段(131)的第一端朝向所述转子本体(10)的转轴孔(14)设置,所述第一组成段(131)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿延伸设置,所述第三组成段(133)的第一端朝向所述转轴孔(14)设置,所述第三组成段(133)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿延伸设置,且所述第一组成段(131)与所述第三组成段(133)位于直轴的两侧,所述第一组成段(131)至所述直轴的距离从所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐增加,其中,所述偏折段形成于所述第一组成段(131)和/或所述第三组成段(133)的第二端上。

3.根据权利要求2所述的转子结构,其特征在于,所述第三组成段(133)至所述直轴的距离从所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐增加。

4.根据权利要求3所述的转子结构,其特征在于,所述第三组成段(133)包括:

第一直段(134),所述第一直段(134)的第一端与所述第二组成段(132)相连接;

第二直段(135),所述第二直段(135)的第一端与所述第一直段(134)的第二端相连接,所述第二直段(135)的第二端沿所述转子本体(10)的外边沿延伸并逐渐靠近所述交轴,所述第一直段(134)的几何中心线与所述第二直段(135)的几何中心线的延伸线具有第一夹角,所述第二直段(135)形成所述偏折段。

5.根据权利要求4所述的转子结构,其特征在于,所述第一直段(134)和所述第二直段(135)的宽度相同。

6.根据权利要求2所述的转子结构,其特征在于,所述第一组成段(131)包括:

第三直段(136),所述第三直段(136)的第一端与所述第二组成段(132)相连接;

第四直段(137),所述第四直段(137)的第一端与所述第三直段(136)的第二端相连接,所述第四直段(137)的第二端沿所述转子本体(10)的外边沿延伸并逐渐靠近所述交轴,所述第三直段(136)的几何中心线与所述第四直段(137)的几何中心线的延伸线具有第二夹角,所述第四直段(137)形成所述偏折段。

7.根据权利要求2所述的转子结构,其特征在于,所述外层永磁体槽(11)包括:

第一外层永磁体槽段(111),所述第一外层永磁体槽段(111)的第一端朝向所述转轴孔(14)延伸设置,所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿设置;

第二外层永磁体槽段(112),所述第二外层永磁体槽段(112)的第一端朝向所述转轴孔(14)延伸设置并与所述第一外层永磁体槽段(111)的第一端相对地设置以形成V形结构,所述第二外层永磁体槽段(112)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿设置,所述第一外层永磁体槽段(111)和所述第二外层永磁体槽段(112)位于所述直轴的两侧。

8.根据权利要求7所述的转子结构,其特征在于,所述外层永磁体槽(11)包括:

第一折槽(113),所述第一折槽(113)的第一端与所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端相连通,所述第一折槽(113)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿延伸设置,所述第一折槽(113)的长度方向的几何中心线与所述第一外层永磁体槽段(111)的长度方向的几何中心线具有第三夹角,所述第一折槽(113)的长度方向的几何中心线与所述交轴的距离沿所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐减小。

9.根据权利要求8所述的转子结构,其特征在于,所述第一折槽(113)的靠近所述直轴一侧的侧壁所在的平面与所述第一外层永磁体槽段(111)的靠近所述直轴一侧的侧壁所在的平面共面或者相交。

10.根据权利要求8所述的转子结构,其特征在于,所述第一折槽(113)的宽度沿所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐减小或增加。

11.根据权利要求8所述的转子结构,其特征在于,所述第一折槽(113)的第二端的靠近所述转子本体(10)的外边沿处的侧壁的中点,与所述第一外层永磁体槽段(111)的几何中心线与所述转子本体(10)的外边沿的交点的距离为A,所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端的端部的宽度为M,其中,0.6M≤A。

12.根据权利要求8所述的转子结构,其特征在于,所述第一折槽(113)的第二端与所述转子本体(10)的外边沿之间形成第一隔磁桥,其中,0.4×M≤(H-H1),或者,0.4×M≤(H-H1)≤2×M,M为所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端的端部的宽度,H为所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端至所述转子本体(10)的外边沿的距离,H1为所述第一隔磁桥的宽度。

13.根据权利要求8所述的转子结构,其特征在于,

所述第一折槽(113)的第一端的宽度小于所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端的宽度,和/或

所述第一折槽(113)的第二端的宽度小于所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端的宽度。

14.根据权利要求8所述的转子结构,其特征在于,0.25×M≤D1≤0.8×M,或者,0.3×M≤D1≤0.45×M,其中,M为所述第一外层永磁体槽段(111)的第二端的端部的宽度,D1为所述第一折槽(113)的第二端的宽度。

15.根据权利要求8所述的转子结构,其特征在于,所述外层永磁体槽(11)还包括:

第二折槽(114),所述第二折槽(114)的第一端与所述第二外层永磁体槽段(112)的第二端相连通,所述第二折槽(114)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿延伸设置,所述第二折槽(114)的长度方向的几何中心线与所述第二外层永磁体槽段(112)的长度方向的几何中心线具有第四夹角,所述第二折槽(114)的长度方向的几何中心线与所述交轴的距离沿所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐减小。

16.根据权利要求15所述的转子结构,其特征在于,所述第一折槽(113)与所述第二折槽(114)关于所述直轴对称地设置。

17.根据权利要求15所述的转子结构,其特征在于,所述内层永磁体槽(12)包括依次设置的第一内层永磁体槽段(121)、第二内层永磁体槽段(122)和第三内层永磁体槽段(123),

所述第一内层永磁体槽段(121)、所述第二内层永磁体槽段(122)和所述第三内层永磁体槽段(123)依次连通以形成开口朝向所述转子本体(10)的外边沿的U形结构,或者,

所述第一内层永磁体槽段(121)、所述第二内层永磁体槽段(122)和所述第三内层永磁体槽段(123)依次间隔地设置,所述第一内层永磁体槽段(121)、所述第二内层永磁体槽段(122)和所述第三内层永磁体槽段(123)中相邻的两个之间形成有第二隔磁桥。

18.根据权利要求17所述的转子结构,其特征在于,

所述第一内层永磁体槽段(121)包括第三折槽(124),所述第三折槽(124)的第一端与所述第一内层永磁体槽段(121)的靠近所述转子本体(10)的外边沿的端部相连通,所述第三折槽(124)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿延伸并逐渐靠近所述交轴;

所述第三内层永磁体槽段(123)包括第四折槽(125),所述第四折槽(125)的第一端与所述第三内层永磁体槽段(123)的靠近所述转子本体(10)的外边沿的端部相连通,所述第四折槽(125)的第二端朝向所述转子本体(10)的外边沿延伸并逐渐靠近所述交轴。

19.根据权利要求18所述的转子结构,其特征在于,所述第三折槽(124)与所述第四折槽(125)关于所述直轴对称地设置。

20.根据权利要求18所述的转子结构,其特征在于,所述第一折槽(113)和所述第二折槽(114)的靠近所述直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角A1,所述第一外层永磁体槽段(111)和所述第二外层永磁体槽段(112)的靠近所述直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角A,其中,$2\times A\leqslant A1$。

21.根据权利要求20所述的转子结构,其特征在于,所述第三折槽(124)和所述第四折槽(125)的靠近所述直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角B1,所述第一内层永磁体槽段(121)和所述第三内层永磁体槽段(123)的靠近所述直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角B,其中,$2\times B\leqslant B1$。

22.根据权利要求21所述的转子结构,其特征在于,$1.1\times B1\leqslant A1$。

23.根据权利要求7所述的转子结构,其特征在于,所述转子结构还包括外层永磁体(20)和内层永磁体(30),所述外层永磁体(20)设置于所述外层永磁体槽(11)内,所述内层永磁体(30)设置于所述内层永磁体槽(12)内。

24.根据权利要求23所述的转子结构,其特征在于,所述外层永磁体(20)的靠近所述转子本体(10)的直轴一侧且靠近所述转子本体(10)的边沿处的表面,与所述转轴孔(14)的连线与所述转子本体(10)的直轴之间形成有第五夹角α1,所述内层永磁体(30)的靠近所述转子本体(10)的直轴一侧且靠近所述转子本体(10)的边沿处的表面,与所述转轴孔(14)的连线与所述转子本体(10)的直轴之间形成有第六夹角α2,其中,$1.3\times(\sin\alpha1/\sin\alpha2)\leqslant S1/S2\leqslant 2\times(\sin\alpha1/\sin\alpha2)$,S1为所述外层永磁体(20)的靠近所述转子本体(10)的直轴一侧的表面积,S2为所述内层永磁体(30)的靠近所述转子本体(10)的直轴一侧的表面积。

25.根据权利要求23所述的转子结构,其特征在于,所述内层永磁体(30)的至少部分的厚度大于所述外层永磁体(20)的厚度。

26.根据权利要求23所述的转子结构,其特征在于,所述外层永磁体(20)的厚度为M1,所述内层永磁体(30)的厚度为M2,其中,$1.1M1\leqslant M2\leqslant 1.8\times M1$。

27.根据权利要求23所述的转子结构,其特征在于,所述内层永磁体槽(12)包括第一内层永磁体槽段(121)和第三内层永磁体槽段(123),所述第一内层永磁体槽段(121)包括第三折槽(124),所述第三内层永磁体槽段(123)包括第四折槽(125),所述第三折槽(124)和/或所述第四折槽(125)的第二端的宽度为D2,其中,$D2\leqslant 0.6\times M2$,其中,M2为所述内层永磁

体(30)的厚度。

28.根据权利要求23所述的转子结构,其特征在于,所述第二组成段(132)的靠近所述转子本体(10)的边沿的侧壁的中点至所述转子本体(10)的边沿处的连线的中点为P,以所述转子本体(10)的中心为圆心,所述圆心至点P的距离作为半径,并沿所述转子本体(10)的周向作圆弧,与所述圆弧相交处的所述外层永磁体(20)和所述内层永磁体(30)的厚度总和为M3,所述圆弧的周长为C1,其中,M3/C1=T2,45%≤T2≤70%。

29.根据权利要求23所述的转子结构,其特征在于,位于所述第一外层永磁体槽段(111)或所述第二外层永磁体槽段(112)内的所述外层永磁体(20)的靠近所述直轴一侧的表面的长度为L,所述第一外层永磁体槽段(111)和所述第二外层永磁体槽段(112)的最大宽度为C,其中,0.8×C≤L。

30.根据权利要求1所述的转子结构,其特征在于,

所述导磁通道(13)的宽度沿所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐增加,或者,

所述导磁通道(13)的宽度沿所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐减小,或者,

所述导磁通道(13)的宽度沿所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐增加预设距离后再逐渐减小,或者,

所述导磁通道(13)的宽度沿所述转子本体(10)的径向方向向外逐渐减小预设距离后再逐渐增加。

31.根据权利要求1所述的转子结构,其特征在于,所述永磁体槽组为多个,多个所述永磁体槽组沿所述转子本体(10)均匀地设置。

32.根据权利要求1所述的转子结构,其特征在于,所述内层永磁体槽(12)和所述外层永磁体槽(11)中的至少一个为多个。

33.根据权利要求1所述的转子结构,其特征在于,所述外层永磁体槽(11)呈开口朝向所述转子本体(10)的外边沿的U形结构。

34.一种永磁辅助同步磁阻电机,包括转子结构,其特征在于,所述转子结构为权利要求1至33中任一项所述的转子结构。

35.一种电动汽车,包括转子结构,其特征在于,所述转子结构为权利要求1至33中任一项所述的转子结构。

转子结构、永磁辅助同步磁阻电机及电动汽车

技术领域

[0001] 本发明涉及电机设备技术领域，具体而言，涉及一种转子结构、永磁辅助同步磁阻电机 及电动汽车。

背景技术

[0002] 电动汽车具有节能、环保等特点，得到了迅速的发展。现有的电动汽车驱动电机为了实 现电机的高功率密度、高效率等功能，越来越多的电机采用高性能稀土永磁电机。稀土永磁 电机能够实现高效率和高功率密度，主要依赖于高性能的稀土永磁体，目前应用最多的是钕 铁硼稀土永磁体。但稀土是一种不可再生资源，价格较为昂贵，并且稀土价格的波动也较大， 导致电动汽车驱动电机的生产成本较高，这对于推动电动汽车全面发展是非常不利的。进一 步地，现有技术中了还将铁氧体永磁辅助同步磁阻电机应用于电动汽车，但该种电机存在噪 声大、易退磁、效率低等问题。

发明内容

[0003] 本发明的主要目的在于提供一种转子结构、永磁辅助同步磁阻电机及电动汽车，以解决 现有技术中电机效率低的问题。

[0004] 为了实现上述目的，根据本发明的一个方面，提供了一种转子结构，转子本体上设置有 永磁体槽组，永磁体槽组包括外层永磁体槽和内层永磁体槽，相邻的外层永磁体槽与内层永 磁体槽之间形成导磁通道，导磁通道的至少一端形成有偏折段，偏折段至转子本体的交轴的 距离沿径向方向向外逐渐递减，以使导磁通道的末端靠近交轴设置。

[0005] 进一步地，导磁通道包括依次连接的第一组成段、第二组成段和第三组成段，第一组成 段的第一端朝向转子本体的转轴孔设置，第一组成段的第二端朝向转子本体的外边沿延伸设 置，第三组成段的第一端朝向转轴孔设置，第三组成段的第二端朝向转子本体的外边沿延伸 设置，且第一组成段与第三组成段位于直轴的两侧，第一组成段至交轴的距离从转子本体的 径向方向向外逐渐减小，其中，偏折段形成于第一组成段和/或第三组成段的第二端上。

[0006] 进一步地，第三组成段至交轴的距离从转子本体的径向方向向外逐渐减小。

[0007] 进一步地，第三组成段包括：第一直段，第一直段的第一端与第二组成段相连接；第二 直段，第二直段的第一端与第一直段的第二端相连接，第二直段的第二端沿转子本体的外边 沿延伸并逐渐靠近交轴，第一直段的几何中心线与第二直段的几何中心线的延伸线具有第一 夹角，第二直段形成偏折段。

[0008] 进一步地，第一直段和第二直段的宽度相同。

[0009] 进一步地，第一组成段包括：第三直段，第三直段的第一端与第二组成段相连接；第四 直段，第四直段的第一端与第三直段的第二端相连接，第四直段的第二端沿转子本体的外边 沿延伸并逐渐靠近交轴，第三直段的几何中心线与第四直段的几何中心线的延伸线具有第二 夹角，第四直段形成偏折段。

[0010] 进一步地，外层永磁体槽包括：第一外层永磁体槽段，第一外层永磁体槽段的第一端朝 向转轴孔延伸设置，第一外层永磁体槽段的第二端朝向转子本体的外边沿设置；第二外层永 磁体槽段，第二外层永磁体槽段的第一端朝向转轴孔延伸设置并与第一外层永磁体槽段的第 一端相对地设置以形成V形结构，第二外层永磁体槽段的第二端朝向转子本体的外边沿设置， 第一外层永磁体槽段和第二外层永磁体槽段位于直轴的两侧。

[0011] 进一步地，外层永磁体槽包括：第一折槽，第一折槽的第一端与第一外层永磁体槽段的 第二端相连通，第一折槽的第二端朝向转子本体的外边沿延伸设置，第一折槽的长度方向的 几何中心线与第一外层永磁体槽段的长度方向的几何中心线具有第三夹角，第一折槽的长度 方向的几何中心线与交轴的距离沿转子本体的径向方向向外逐渐减小。

[0012] 进一步地，第一折槽的靠近直轴一侧的侧壁所在的平面与第一外层永磁体槽段的靠近直 轴一侧的侧壁所在的平面共面或者相交。

[0013] 进一步地，第一折槽的宽度沿转子本体的径向方向向外逐渐减小或增加。

[0014] 进一步地，第一折槽的第二端的靠近转子本体的外边沿处的侧壁的中点，与第一外层永 磁体槽段的几何中心线与转子本体的外边沿的交点的距离为A，第一外层永磁体槽段的第二 端的端部的宽度为M，其中，0.6M≤A。

[0015] 进一步地，第一折槽的第二端与转子本体的外边沿之间形成第一隔磁桥，其中，0.4×M ≤，或者，0.4×M≤≤2×M，M为第一外层永磁体槽段的第二端的端部的宽度，H为第一外 层永磁体槽段的第二端至转子本体的外边沿的距离，H1为第一隔磁桥的宽度。

[0016] 进一步地，第一折槽的第一端的宽度小于第一外层永磁体槽段的第二端的宽度，和/或第 一折槽的第二端的宽度小于第一外层永磁体槽段的第二端的宽度。

[0017] 进一步地，0.25×M≤D1≤0.8×M，或者，0.3×M≤D1≤0.45×M，其中，M为第一外层永磁体槽段的第二端的端部的宽度，D1为第一折槽的第二端的宽度。

[0018] 进一步地，外层永磁体槽还包括：第二折槽，第二折槽的第一端与第二外层永磁体槽段 的第二端相连通，第二折槽的第二端朝向转子本体的外边沿延伸设置，第二折槽的长度方向 的几何中心线与第二外层永磁体槽段的长度方向的几何中心线具有第四夹角，第二折槽的长 度方向的几何中心线与交轴的距离沿转子本体的径向方向向外逐渐减小。

[0019] 进一步地，第一折槽与第二折槽关于直轴对称地设置。

[0020] 进一步地，内层永磁体槽包括依次设置的第一内层永磁体槽段、第二内层永磁体槽段和 第三内层永磁体槽段，第一内层永磁体槽段、第二内层永磁体槽段和第三内层永磁体槽段依 次连通以形成开口朝向转子本体的外边沿的U形结构，或者，第一内层永磁体槽段、第二内 层永磁体槽段和第三内层永磁体槽段依次间隔地设置，第一内层永磁体槽段、第二内层永磁 体槽段和第三内层永磁体槽段中相邻的两个之间形成有第二隔磁桥。

[0021] 进一步地，第一内层永磁体槽段包括第三折槽，第三折槽的第一端与第一内层永磁体槽 段的靠近转子本体的外边沿的端部相连通，第三折槽的第二端朝向转子本体的外边沿延伸并 逐渐靠近交轴；第三内层永磁体槽段包括第四折槽，第四折槽的第一端与第三内层永磁体槽 段的靠近转子本体的外边沿的端部相连通，第四折槽的第二端朝向转子本体的外边沿延伸并 逐渐靠近交轴。

[0022] 进一步地，第三折槽与第四折槽关于直轴对称地设置。

[0023] 进一步地，第一折槽和第二折槽的靠近直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角

A1，第 一外层永磁体槽段和第二外层永磁体槽段的靠近直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角A，其中，2×A≤A1。

[0024] 进一步地，第三折槽和第四折槽的靠近直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角B1，第 一内层永磁体槽段和第三内层永磁体槽段的靠近直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角B，其中，2×B≤B1。

[0025] 进一步地，1.1×B1≤A1。

[0026] 进一步地，转子结构还包括外层永磁体和内层永磁体，外层永磁体设置于外层永磁体槽 内，内层永磁体设置于内层永磁体槽内。

[0027] 进一步地，外层永磁体的靠近转子本体的直轴一侧且靠近转子本体的边沿处的表面，与 转轴孔的连线与转子本体的直轴之间形成有第五夹角α1，内层永磁体的靠近转子本体的直轴 一侧且靠近转子本体的边沿处的表面，与转轴孔的连线与转子本体的直轴之间形成有第六夹 角α2，其中，1.3×≤S1/S2≤2×，S1为外层永磁体的靠近转子本体的直轴一侧的表面积，S2为内层永磁体的靠近转子本体的直轴一侧的表面积。

[0028] 进一步地，内层永磁体的至少部分的厚度大于外层永磁体的厚度。

[0029] 进一步地，外层永磁体的厚度为M1，内层永磁体的厚度为M2，其中，1.1M1≤M2≤1.8 ×M1。

[0030] 进一步地，内层永磁体槽包括第一内层永磁体槽段和第三内层永磁体槽段，第一内层永 磁体槽段包括第三折槽，第三内层永磁体槽段包括第四折槽，第三折槽和/或第四折槽的第二 端的宽度为D2，其中，D2≤0.6×M2，其中，M2为内层永磁体的厚度。

[0031] 进一步地，第二组成段的靠近转子本体的边沿的侧壁的中点至转子本体的边沿处的连线 的中点为P，以转子本体的中心为圆心，圆心至点P的距离作为半径，并沿转子本体的周向作 圆弧，与圆弧相交处的外层永磁体和内层永磁体的厚度总和为M3，圆弧的周长为C1，其中，M3/C1＝T2，45％≤T2≤70％。

[0032] 进一步地，位于第一外层永磁体槽段或第二外层永磁体槽段内的外层永磁体的靠近直轴 一侧的表面的长度为L，第一外层永磁体槽段和第二外层永磁体槽段的最大宽度为C，其中，0.8×C≤L。

[0033] 进一步地，导磁通道的宽度沿转子本体的径向方向向外逐渐增加，或者，导磁通道的宽 度沿转子本体的径向方向向外逐渐减小，或者，导磁通道的宽度沿转子本体的径向方向向外 逐渐增加预设距离后再逐渐减小，或者，导磁通道的宽度沿转子本体的径向方向向外逐渐减 小预设距离后再逐渐增加。

[0034] 进一步地，永磁体槽组为多个，多个永磁体槽组沿转子本体均匀地设置。

[0035] 进一步地，内层永磁体槽和外层永磁体槽中的至少一个为多个。

[0036] 进一步地，外层永磁体槽呈开口朝向转子本体的外边沿的U形结构。

[0037] 根据本发明的另一方面，提供了一种永磁辅助同步磁阻电机，包括转子结构，转子结构 为上述的转子结构。

[0038] 根据本发明的另一方面，提供了一种电动汽车，包括转子结构，转子结构为上述的转子 结构。

[0039] 应用本发明的技术方案，通过设置导磁通道的至少一端有偏折段，并至转子本体导磁通 道到的交轴的距离沿径向方向向外逐渐递减的方式，优化了转子结构的磁路，提升

了电机的 磁阻转矩，并通过进一步改进永磁体槽形状，使得转子永磁体的整体的抗退磁能力得到了有 效提高，降低电机转矩脉动，降低电机的振动和噪声，提高了具有该结构的转子结构的电机 效率，增加了电机的抗退磁能力。

附图说明

[0040] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解，本发明的示意性实 施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。在附图中：

[0041] 图1示出了根据本发明的转子结构的实施例一的剖视结构示意图；

[0042] 图2示出了根据本发明的转子结构的实施例二的剖视结构示意图；

[0043] 图3示出了根据本发明的转子结构的实施例三的结构示意图；

[0044] 图4示出了根据本发明的转子结构的实施例四的结构示意图；

[0045] 图5示出了根据本发明的转子结构的实施例五的结构示意图；

[0046] 图6示出了根据本发明的转子结构的实施例六的结构示意图；

[0047] 图7示出了根据本发明的转子结构的实施例七的q轴磁力线行走路径示意图；

[0048] 图8示出了根据本发明的转子结构的实施例八的结构示意图；

[0049] 图9示出了现有转子结构的实施例的q轴磁力线行走路径示意图；

[0050] 图10示出了根据本发明的转子结构的实施例九的结构示意图；

[0051] 图11示出了根据本发明的转子结构的实施例十的结构示意图；

图12示出了根据本发明的转子结构的永磁体槽的结构示意图；

[0052] 图13示出了根据本发明的转子结构的实施例十一的结构示意图；

[0053] 图14示出了根据本发明的转子结构的实施例十二的剖视结构示意图；

[0054] 图15示出了转子结构的永磁体槽末端折槽长度对电机性能影响的示意图；

[0055] 图16示出了根据本发明的转子结构的折槽末端宽度对电机参数影响的示意图；

[0056] 图17示出了转子结构的永磁体厚度占比与转矩关系的示意图；

[0057] 图18示出了转子结构的内、外层永磁体槽面积比值对磁链影响示意图；

[0058] 图19示出了根据本发明的转子结构的q轴磁力线分布的示意图。

[0059] 其中，上述附图包括以下附图标记：

[0060] 10、转子本体；11、外层永磁体槽；12、内层永磁体槽；13、导磁通道；131、第一组成段；132、第二组成段；133、第三组成段；134、第一直段；135、第二直段；136、第三直段； 137、第四直段；14、转轴孔；

[0061] 111、第一外层永磁体槽段；112、第二外层永磁体槽段；113、第一折槽；114、第二折槽；

[0062] 121、第一内层永磁体槽段；122、第二内层永磁体槽段；123、第三内层永磁体槽段；124、 第三折槽；125、第四折槽；

[0063] 20、外层永磁体；

[0064] 30、内层永磁体；

[0065] 40、定子。

具体实施方式

[0066] 需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0067] 结合图1至图8，图10至图19所示，根据本发明的实施例，提供了一种转子结构。

[0068] 具体地，该转子结构包括转子本体10，转子本体10上设置有永磁体槽组，永磁体槽组包 括外层永磁体槽11和内层永磁体槽12，相邻的外层永磁体槽11与内层永磁体槽12之间形成 导磁通道13，导磁通道13的至少一端形成有偏折段，偏折段至转子本体10的交轴的距离沿 径向方向向外逐渐递减，以使导磁通道13的末端靠近交轴设置。

[0069] 在本实施例中，通过设置导磁通道的至少一端有偏折段，并至转子本体导磁通道到的交 轴的距离沿径向方向向外逐渐递减的方式，优化了转子结构的磁路，提升了电机的磁阻转矩， 并通过进一步改进永磁体槽形状，使得转子永磁体的整体的抗退磁能力得到了有效提高，降 低电机转矩脉动，降低电机的振动和噪声，提高了具有该结构的转子结构的电机效率，增加 了电机的抗退磁能力。

[0070] 如图1所示，导磁通道13包括依次连接的第一组成段131、第二组成段132和第三组成 段133，第一组成段131的第一端朝向转子本体10的转轴孔14设置，第一组成段131的第二 端朝向转子本体10的外边沿延伸设置，第三组成段133的第一端朝向转子本体10的转轴孔 14设置，第三组成段133的第二端朝向转子本体10的外边沿延伸设置，且第一组成段131与 第三组成段133位于直轴的两侧，第一组成段131至交轴的距离从转子本体10的径向方向向 外逐渐减小，其中，偏折段形成于第一组成段131或第三组成段133的第二端上，当然也可 以同时在两端形成。这样设置有效引导q轴磁力线f的走向，这样在相同的激磁电流下产生了 更多的磁通，提高了电机的q轴电感，增大了电机的磁阻转矩，提高了电机的效率和功率密 度。

[0071] 其中，第三组成段133至交轴的距离从转子本体10的径向方向向外逐渐减小。这样设置 有效引导q轴磁力线f的走向，使得进入导磁通道内的磁力线增多。

[0072] 在本实施例中，第三组成段133包括第一直段134和第二直段135。第一直段134的第一 端与第二组成段132相连接。第二直段135的第一端与第一直段134的第二端相连接，第二 直段135的第二端沿转子本体10的外边沿延伸并逐渐靠近交轴，第一直段134的几何中心线 与第二直段135的几何中心线的延伸线具有第一夹角，第二直段35形成偏折段。这样设置便 于导磁通道内的磁力线高效的导入。

[0073] 其中，第一直段134和第二直段135的宽度相同。这样设置可以更好的引导磁力线更均 匀的进入各导磁通道。

[0074] 在本实施例中，第一组成段131包括第三直段136和第四直段137。第三直段136的第一 端与第二组成段132相连接，第四直段137的第二端与第三直段136的第二端相连接，第四 直段137的第二端沿转子本体10的外边沿延伸并逐渐靠近交轴，第三直段136的几何中心线 与第四直段137的几何中心线的延伸线具有第二夹角，第四直段137形成偏折段。这样设置 便于导磁通道内的磁力线高效的导入。

[0075] 在本实施例中，外层永磁体槽11包括第一外层永磁体槽段111和第二外层永磁体槽段 112，第一外层永磁体槽段111的第一端朝向转子本体10的转轴孔14延伸设置，第一外层永 磁体槽段111的第二端朝向转子本体10的外边沿设置，第二外层永磁体槽段112的第一端朝 向转子本体10的转轴孔14延伸设置并与第一外层永磁体槽段111的第一端相对地

设置以形成 V形结构，第二外层永磁体槽段112的第二端朝向转子本体10的外边沿设置，第一外层永磁 体槽段111和第二外层永磁体槽段112位于直轴的两侧。这样设置便于可以更加有效的引导定 子40的q轴磁链线更均匀的进入各导磁通道，增大电机的q轴电感，提升电机的磁阻转矩。

[0076] 其中，外层永磁体槽11包括：第一折槽113，第一折槽113的第一端与第一外层永磁体 槽段111的第二端相连通，第一折槽113的第二端朝向转子本体10的外边沿延伸设置，第一 折槽113的长度方向的几何中心线与第一外层永磁体槽段111的长度方向的几何中心线具有第 三夹角，第一折槽113的长度方向的几何中心线与交轴的距离沿转子本体10的径向方向向外 逐渐减小。这样设置可以更好的引导定子磁力线更均匀的进入各导磁通道。

[0077] 在本实施例中，第一折槽113的靠近直轴一侧的侧壁所在的平面与第一外层永磁体槽段 111的靠近直轴一侧的侧壁所在的平面共面或者相交。这样设置可以更好的引导定子磁力线更 均匀的进入各导磁通道。

[0078] 其中，第一折槽113的宽度沿转子本体10的径向方向向外逐渐减小或增加。这样设置便 于有向引导磁力线进入导磁通道，获得更大的q轴电感。

[0079] 另外，第一折槽113的第二端的靠近转子本体10的外边沿处的侧壁的中点，与第一外层 永磁体槽段111的几何中心线与转子本体10的外边沿的交点的的距离为A，第一外层永磁体 槽段111的第二端的端部的宽度为M，其中，0.6M≤A。这样设置可以使得磁力线的引导效果 更佳，获得更大的q轴电感。

[0080] 进一步地，第一折槽113的第二端与转子本体10的外边沿之间形成第一隔磁桥，其中， 0.4×M≤(H-H1)，或者，0.4×M≤(H-H1)≤2×M，M为第一外层永磁体槽段111的第二端的端部的宽度，H为第一外层永磁体槽段111的第二端至转子本体10的外边沿的距离，H1为第一隔磁桥的宽度。这样设置可以使得磁力线的引导效果更佳，获得更大的q轴电感。

[0081] 进一步地，第一折槽113的第一端的宽度小于第一外层永磁体槽段111的第二端的宽度， 或第一折槽113的第二端的宽度小于第一外层永磁体槽段111的第二端的宽度。这样设置通过 逐渐变小的导磁通道宽度设计，可以更好的调节内、外层永磁体的磁通面积，实现内、外层 永磁体工作点的一致性调节。

[0082] 在本实施例中，0.25×M≤D1≤0.8×M，或者，0.3×M≤D1≤0.45×M，其中，M为第一外层永磁体槽段111的第二端的端部的宽度，D1为第一折槽113的第二端的宽度。这样设置使得磁力线很容易从转子永磁体槽与转子外圆之间的隔磁桥通过，从而获得较大的交、直 轴电感差值，提升电机的磁阻转矩。

[0083] 在本实施例中，外层永磁体槽11还包括第二折槽114，第二折槽114的第一端与第二外 层永磁体槽段112的第二端相连通，第二折槽114的第二端朝向转子本体10的外边沿延伸设 置，第二折槽114的长度方向的几何中心线与第二外层永磁体槽段112的长度方向的几何中心 线具有第四夹角，第二折槽114的长度方向的几何中心线与交轴的距离沿转子本体10的径向 方向向外逐渐减小。这样设置可以使得磁力线的引导效果更佳，获得更大的q轴电感。

[0084] 其中，第一折槽113与第二折槽114关于直轴对称地设置。这样设置可以更好的引导定子 磁力线更均匀的进入各导磁通道。

[0085] 在本实施例中，内层永磁体槽12包括依次设置的第一内层永磁体槽段121、第二内

层永 磁体槽段122和第三内层永磁体槽段123，第一内层永磁体槽段121、第二内层永磁体槽段122 和第三内层永磁体槽段123依次连通以形成开口朝向转子本体10的外边沿的U形结构，或者，第一内层永磁体槽段121、第二内层永磁体槽段122和第三内层永磁体槽段123依次间隔地设 置，第一内层永磁体槽段121、第二内层永磁体槽段122和第三内层永磁体槽段123中相邻的 两个之间形成有第二隔磁桥。这样设置增强了转子的机械强度。

[0086] 如图1所示，第一内层永磁体槽段121包括第三折槽124，第三折槽124的第一端与第一 内层永磁体槽段121的靠近转子本体10的外边沿的端部相连通，第三折槽124的第二端朝向 转子本体10的外边沿延伸并逐渐靠近交轴；第三内层永磁体槽段123包括第四折槽125，第 四折槽125的第一端与第三内层永磁体槽段123的靠近转子本体10的外边沿的端部相连通，第四折槽125的第二端朝向转子本体10的外边沿延伸并逐渐靠近交轴。设置永磁体槽折槽部 分的夹角，可以更加有效的引导定子40的q轴磁链线更均匀的进入各导磁通道，增大电机的 q轴电感，提升电机的磁阻转矩。

[0087] 在本实施例中，第三折槽124与第四折槽125关于直轴对称地设置。这样设置可以更好 的引导定子磁力线更均匀的进入各导磁通道。

[0088] 其中，第一折槽113和第二折槽114的靠近直轴的一侧的侧壁之间的延长线具有夹角A1，第一外层永磁体槽段111和第二外层永磁体槽段112的靠近直轴的一侧的侧壁之间的延长线具 有夹角A，其中，2×A≤A1。这样设置可以更加有效的引导定子q轴磁链线更均匀的进入各 导磁通道。

[0089] 在本实施例中，第三折槽124和第四折槽125的靠近直轴的一侧的侧壁之间的延长线具 有夹角B1，第一内层永磁体槽段121和第三内层永磁体槽段123的靠近直轴的一侧的侧壁之 间的延长线具有夹角B，其中，2×B≤B1。这样设置可以更加有效的引导定子q轴磁链线更 均匀的进入各导磁通道。

[0090] 进一步地，1.1×B1≤A1。这样设置可以更好的引导磁力线更均匀的进入各导磁通道。

[0091] 另外，转子结构还包括外层永磁体20和内层永磁体30，外层永磁体20设置于外层永磁 体槽11内，内层永磁体30设置于内层永磁体槽12内。这样设置优化了转子结构的磁路，提 升了转子结构的磁力，使得转子结构的整体的抗退磁能力得到了有效提高。

[0092] 在本实施例中，外层永磁体20的靠近转子本体10的直轴一侧且靠近转子本体10的边沿 处的表面，与转子本体10的转轴孔14的连线与转子本体10的直轴之间形成有第五夹角α1，内层永磁体30的靠近转子本体10的直轴一侧且靠近转子本体10的边沿处的表面，与转子本 体10的转轴孔14的连线与转子本体10的直轴之间形成有第六夹角α2，其中，1.3×(sinα1 /sinα2)≤S1/S2≤2×(sinα1/sinα2)，S1为外层永磁体20的靠近转子本体10的直轴一侧 的表面积，S2为内层永磁体30的靠近转子本体10的直轴一侧的表面积。通过将外层永磁体 的排布形状以及内、外层永磁体厚度比值的设置，可以更好的调整永磁体的工作点，使得内、外层永磁的平均工作电机更高，内层永磁体中磁力线进入外层永磁体和直接进入定子40的比 例更加合理，增加了电机的永磁体磁链，提升了电机的效率和功率因数。

[0093] 其中，内层永磁体30的至少部分的厚度大于外层永磁体20的厚度。这样设置使得转子 磁极在圆周上均匀分布。

[0094] 进一步地，外层永磁体20的厚度为M1，内层永磁体30的厚度为M2，其中，1.1M1≤

M2≤1.8×M1。这样设置使得内、外层永磁体抗退磁能力一致。

[0095] 在本实施例中，内层永磁体槽12包括第一内层永磁体槽段121和第三内层永磁体槽段 123，第一内层永磁体槽段121包括第三折槽124，第三内层永磁体槽段123包括第四折槽125，第三折槽124或第四折槽125的第二端的宽度为D2，或第三折槽124和第四折槽125的第二 端的宽度同时为D2，其中，D2≤0.6×M2，其中，M2为内层永磁体30的厚度。这样设置可 以有效增加定子磁通进入转子，提升了电机的q轴电感。

[0096] 在本实施例中，第二组成段132的靠近转子本体10的边沿的侧壁的中点至转子本体10 的边沿处的连线的中点为P，以转子本体10的中心为转轴孔14，转轴孔14至点P的距离作 为半径，并沿转子本体10的周向作圆弧，与圆弧相交处的外层永磁体20和内层永磁体30的 厚度总和为M3，圆弧的周长为C1，其中，M3/C1＝T2，45％≤T2≤70％。通过将永磁体的厚度设置在这个范围内，使得永磁体厚度比导磁通道厚度的比值处于比较优的范围，既可以保 证永磁体工作点较高，获得较大的抗退磁能力和较高的电机空载磁链，又可以使得电机获得 较大的交、直轴电感差值，提升电机的磁阻转矩。

[0097] 在本实施例中，位于第一外层永磁体槽段111或第二外层永磁体槽段112内的外层永磁体 20的靠近直轴一侧的表面的长度为L，第一外层永磁体槽段111和第二外层永磁体槽段112 的最大宽度为C，其中，0.8×C≤L。这样设置可以在相同的转子内放置更多的永磁体，提升 电机的效率和抗退磁能力。

[0098] 在本实施例中，导磁通道13的宽度沿转子本体10的径向方向向外逐渐增加，或者，导 磁通道13的宽度沿转子本体10的径向方向向外逐渐减小，或者，导磁通道13的宽度沿转子 本体10的径向方向向外逐渐增加预设距离后再逐渐减小，或者，导磁通道13的宽度沿转子 本体10的径向方向向外逐渐减小预设距离后再逐渐增加。这样设置使得定子40的磁力线更 多的进入导磁通道，这样可以使得转子获得更大的磁阻转矩，进而提高转子的工作效率。

[0099] 其中，永磁体槽组为多个，多个永磁体槽组沿转子本体10均匀地设置。这样设置使得转 子磁极在圆周上均匀分布，使得电机磁极对称分布，减小电机负载时的转矩脉动，减小电机 的振动和噪声。

[0100] 在本实施例中，内层永磁体槽12和外层永磁体槽11中的至少一个为多个。这样设置提升 了转子结构的磁力，使得转子结构的整体的抗退磁能力得到了有效提高，进而提升了转子的 工作效率，有效地提高了具有该转子结构的电机的工作效率。

[0101] 其中，外层永磁体槽11呈开口朝向转子本体10的边沿的U形结构。这样设置便于形成 稳定的导磁通道。

[0102] 上述实施例中的转子结构还可以用于电机设备技术领域，即根据本发明的另一方面，提 供了一种永磁辅助同步磁阻电机，包括转子结构，转子结构为上述的转子结构。

[0103] 上述实施例中的转子结构还可以用于车辆设备技术领域，即根据本发明的另一方面，提 供了一种电动汽车，包括转子结构，转子结构为上述的转子结构。

[0104] 在本实施例中，电机包含定子结构和转子结构，定子结构包含定子铁芯及其嵌入定子铁 芯的绕组，转子结构上含有放置永磁体槽以及放置在永磁体槽中的永磁体，转子同一个磁极 上包含多层永磁体，本方案中的多层是指层数大于等于2，同一磁极内的永磁体朝定子40方 向具有相同的极性，永磁体槽具有朝转子内侧凸起的形状，永磁体槽的两端靠

近转子外圆，永磁体槽的中心靠近转子内侧，同一磁极内任意两相邻的永磁体槽之间形成导磁通道，其中 一个或多个导磁通道末端具有一段朝内层永磁体方向偏转的转折，如图1及图3所示。

[0105] 如图19所示，永磁辅助同步磁阻电机利用交、直轴电感的差异来产生磁阻转矩，还可以 利用永磁体产生的永磁转矩。其中，可以增加电机的交轴电感、减小电机的直轴电感，可以 提升电机的磁阻转矩，增加电机的空载磁链可以提升电机的永磁转矩。研究发现电机定子40 通入三相对称的交流电时，定子40各个齿上的磁力线并不均匀，越靠近分界线的位置，定子 40齿上的磁力线越多。

[0106] 如图9所示，现有的包含2层永磁体的永磁辅助式同步磁阻电机的q轴磁力线分布示意 图，q轴磁链线有分别从定子齿进入转子的3个导磁通道，导磁通道f3是由两个相邻磁极的 最内层永磁体槽之间形成，导磁通道f2是由最内层永磁体槽和第二层永磁体槽之间形成，导 磁通道f1是第二层永磁体槽到转子外圆之间的导磁区域形成，由于磁力线在定子齿上的不均 匀分布，进入导磁通道f3的磁力线最多，进入导磁通道f1的磁力线最少，导磁通道f3和导 磁通道f2的磁路较为饱和，当电机负载较重时，电机的q轴电感会大幅度下降，影响电机的 磁阻转矩利用。尤其是采用铁氧体的永磁辅助同步磁阻电机，为了提升电机的效率和抗退磁 能力，永磁体较厚，导磁通道的宽度很难增加时，这一现象变得更为严重。为此，本方案提 出了导磁通道末端朝内层永磁体方向偏转的转折，该电机的q轴磁力线f分布示意图如图7所 示。通过在导磁通道末端设置一段朝内层永磁体槽末端偏转的转折，可以有效引导定子q轴 磁力线f的走向，将原来进入高磁饱和区域的磁力线，如图中进入磁通道f2的磁力线，改为 进入低磁饱和区域，如图中的磁通道f1，在相同的激磁电流下产生了更多的磁通，提高了电 机的q轴电感，增大了电机的磁阻转矩，提高了电机的效率和功率密度。

[0107] 另外，以转子最内层永磁体为第一层，从内朝外计算的第二层永磁体槽的末端具有一段 朝内层永磁体槽末端方向偏转的转折，如图11所示，通过永磁体槽末端的偏转，可以更好的 引导定子磁力线更均匀的进入各导磁通道。

[0108] 进一步的，永磁体槽末端发生转折部分的宽度从靠近转子外表面朝里逐渐增加。通过将 永磁体槽转折部分的宽度设置成外窄内宽，一方面可以减少永磁体槽偏转后，导磁通道f2入 口宽度变小，导致的q轴磁通下降，另一方面还可以更好的引导原从进入导磁通道f2的磁力 线，变成从导磁通道f3进入转子。

[0109] 如图10至图14所示，为了更好的引导磁力线从高磁饱和导磁通道通过转为从低磁饱和 导磁通道通过，将转折后的第二层永磁体槽末端边线的中点与转折前第二层永磁体槽末端边 线的中点的距离定义为A，第二层永磁体槽未转折部分靠近过转子末端的宽度为M，0.6M≤ A。导磁通道末端未转折前的形状由下述方法确定，当永磁体槽内安装平板永磁体时，延长永 磁体槽的两条边线，永磁体槽靠近转子的外边线与转子外圆的距离与永磁体槽转折后相同； 当永磁体槽内安装弧形永磁体时，在弧形永磁体槽的端点作弧形的相切线，并延长切线，永 磁体槽靠近转子的外边线与转子外圆的距离与转折后相同。通过控制永磁体槽末端偏转的幅 度，将A设置成大于等于0.6M，可以使得磁力线的引导效果更佳，获得更大的q轴电感。

[0110] 在本实施例中，转折后的第二层永磁体槽末端边线的靠近外侧的端点与转折前的

第二层 永磁体槽末端边线的靠近内侧的端点相比，更靠近转子的Q轴。这样设置是为了实现更好的 磁力线引导效果。

[0111] 进一步的，转折后的第二层永磁体槽末端边线靠近外侧的端点与转折前的第二层永磁体 槽末端边线靠近内侧的端点的距离为Ga，Ga的距离大致等于定转子气隙长度g的整数倍。通 过将Ga的距离设置成定转子气隙长度g的整数倍，有可以有效减少气隙的谐波磁场含量，降 低电机的谐波损耗和转矩脉动，这里范围是0.95倍到1.05倍。

[0112] 进一步的，第二层永磁体槽末端转折部位的长度为H-H1，永磁体槽未转折部分末端的宽 度为M，满足0.4×M≤(H-H1)。其中H为永磁体槽转折部分的外边线到转子外圆的距离，H1为永磁体转子转折部分与转子外圆形成的磁桥厚度，永磁体槽未转折部分末端的宽度为M。

[0113] 如图15所示，研究发现永磁体槽转折部分的长度对电机q轴电感和电机磁链有较大影响，当0.4×M≤(H-H1)时，可以明显提升q轴电感，但大于2×M，会导致第二层永磁体磁通 面积减少，导致电机空载磁链下降，因此，优选地，0.4×M≤(H-H1)≤2×M。

[0114] 如图5所示，为了更好的固定永磁体，第二层永磁体槽末端转折部位的靠近转子内侧的 宽度Md小于永磁体槽未转折部分末端的宽度M。第二层永磁体槽转折部分末端的宽度D1小 于第二层永磁体槽未转折部分末端的宽度M，0.25×M≤D1≤0.8×M，优选地，0.3×M≤D1 ≤0.45×M。

[0115] 研究发现，永磁体槽转折部分末端的宽度D1对于电机的交、直轴电感都有一定影响，如 图16所示，当宽度D1大于0.8×M时，永磁体槽末端对q轴磁通阻挡较多，会导致q轴电感 下降，如果宽度D1小于0.25×M时，d轴电感的磁力线很容易从转子永磁体槽与转子外圆之 间的隔磁桥通过，为了获得较大的交、直轴电感差值，提升电机的磁阻转矩，0.25×M≤D1 ≤0.8×M，进一步更优的，0.3×M≤D1≤0.45×M。另外，永磁体槽末端发生转折的部分不 放置永磁体，可以有效减缓末端永磁体的局部退磁，提升电机的抗退磁能力。

[0116] 进一步的，转子永磁体的层数为2层或者3层。通过将转子永磁体的层数为2层或者3 层，既可以提升电机的磁阻转矩，又可以避免永磁体层数过多，带来的单层永磁体工作点下 降，提升了电机的效率和抗退磁能力。

[0117] 其中，电机转子永磁体为铁氧体永磁体，以转子中心为转轴孔14作圆弧，圆弧经过从最 外层永磁体外边线的中心点P，圆弧处转子永磁体厚度的总和与该圆弧圆周长的比值为 45%-70%。在电机转子永磁体为铁氧体时，通过将永磁体的厚度设置在这个范围内，使得永 磁体厚度比导磁通道厚度的比值处于比较优的范围，既可以保证永磁体工作点较高，获得较 大的抗退磁能力和较高的电机空载磁链，又可以使得电机获得较大的交、直轴电感差值，提 升电机的磁阻转矩。优选地，圆弧处转子永磁体厚度的总和与该圆弧圆周长的比值为 55%-65%。

[0118] 在本实施例中，为了增强转子的机械强度，各层永磁体槽中间具有1个或多个隔磁桥。 并且，转子内层永磁体槽在靠近转子外圆的两端放置平板永磁体。第二层永磁体槽靠近转子 外圆的末端放置平板永磁体。通过在永磁体槽末端放置平板永磁体，可以在相同的转子内放 置更多的永磁体，提升电机的效率和抗退磁能力。

[0119] 进一步的，转子永磁体层数为两层，外层永磁体槽大致程V型，V型永磁体槽中一侧永 磁体的长度为L，V型排布永磁体的最大宽度为C，满足0.8×C≤L。外层永磁体槽大致程U

型，至少由三段永磁体组成，外层永磁体和内层永磁体靠近转子外侧的表面积比值为S1/S2，外层永磁体和内层永磁体靠近转子外表面末端的外侧顶点与转子中心形成的夹角分别为2× α1、2×α2，满足一下关系：1.3×(sinα1/sinα2)≤S1/S2≤2×(sinα1/sinα2)。

[0120] 通过将外层永磁体的排布形状以及内、外层永磁体面积比值的设置，可以更好的调整永 磁体的工作点，使得内、外层永磁的平均工作电机更高，内层永磁体中磁力线进入外层永磁 体和直接进入定子40的比例更加合理，增加了电机的永磁体磁链，提升了电机的效率和功率 因数。内、外层永磁体表面积比值对电机磁链的影响如图所示，通过将内、外层永磁体表面 积比值设置成1.3×(sinα1/sinα2)≤S1/S2≤2×(sinα1/sinα2)，可以获得较大的电机空 载磁链。优选地，1.5×(sinα1/sinα2)≤S1/S2≤1.8×(sinα1/sinα2)。

[0121] 在本实施例中，转子最内层两侧平板永磁体厚度M2大于第二层末端平板永磁体的厚度 M1，1.1×M1≤M2≤1.8×M1，研究发现，在定子40施加方向磁场时，内、外层永磁体的工 作点并不相同，内层永磁体的工作点要低于外层永磁体，使得内层永磁体更容易出现局部退 磁，影响电机整体抗退磁能力，为了缓解这一现象，将内层永磁体厚度M2设置成大于外层永 磁体M1，为了使得内、外层永磁体抗退磁能力一致，1.1×M1≤M2≤1.8×M1。优选地，1.1 ×M1≤M2≤1.3×M1。

[0122] 其中，内、外层矩形永磁体形成导磁通道宽度不相等，导磁通道宽度靠近转子外表面宽 度越小。通过逐渐变小的导磁通道宽度设计，可以更好的调节内、外层永磁体的磁通面积，实现内、外层永磁体工作点的一致性调节。

[0123] 在本实施例中，外层永磁体槽转折部分外边线的夹角为A1，外层永磁体槽未转折部分外 边线的夹角为A，2×A≤A1，内层永磁体槽末端外表面具有切边，内层永磁体槽切边部分外 边线的夹角为B1，永磁体槽未切边部分外边线的夹角为B，2×B≤B1，并且1.1×B1≤A1。通过设置永磁体槽未转折部分外边线的夹角与未转折部分的夹角，可以更加有效的引导定子q 轴磁链线更均匀的进入各导磁通道，增大电机的q轴电感，提升电机的磁阻转矩。转子内层 永磁体槽的外表面末端具有切边，斜切后永磁体槽端部的宽度为D1，永磁体槽未斜切部分端 部的宽度为D2，D1≤0.6×D2。通过切边减少内层永磁体槽末端的宽度，可以有效增加定子 磁通进入转子，提升了电机的q轴电感。内层永磁体槽末端具有一段朝磁极分界线向偏转的 转折，可以更好的分配进入导磁通道f2和导磁通道f3的磁力线数量，减少导磁通道的局部饱 和，提升电机的磁阻转矩。所有永磁体槽末端具有一段朝磁极分界线向偏转的转折，可以进 一步调节各导磁通道的磁力线分布，减少局部饱和。所有转子磁极在圆周上均匀分布。

[0124] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员 来说，本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等 同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

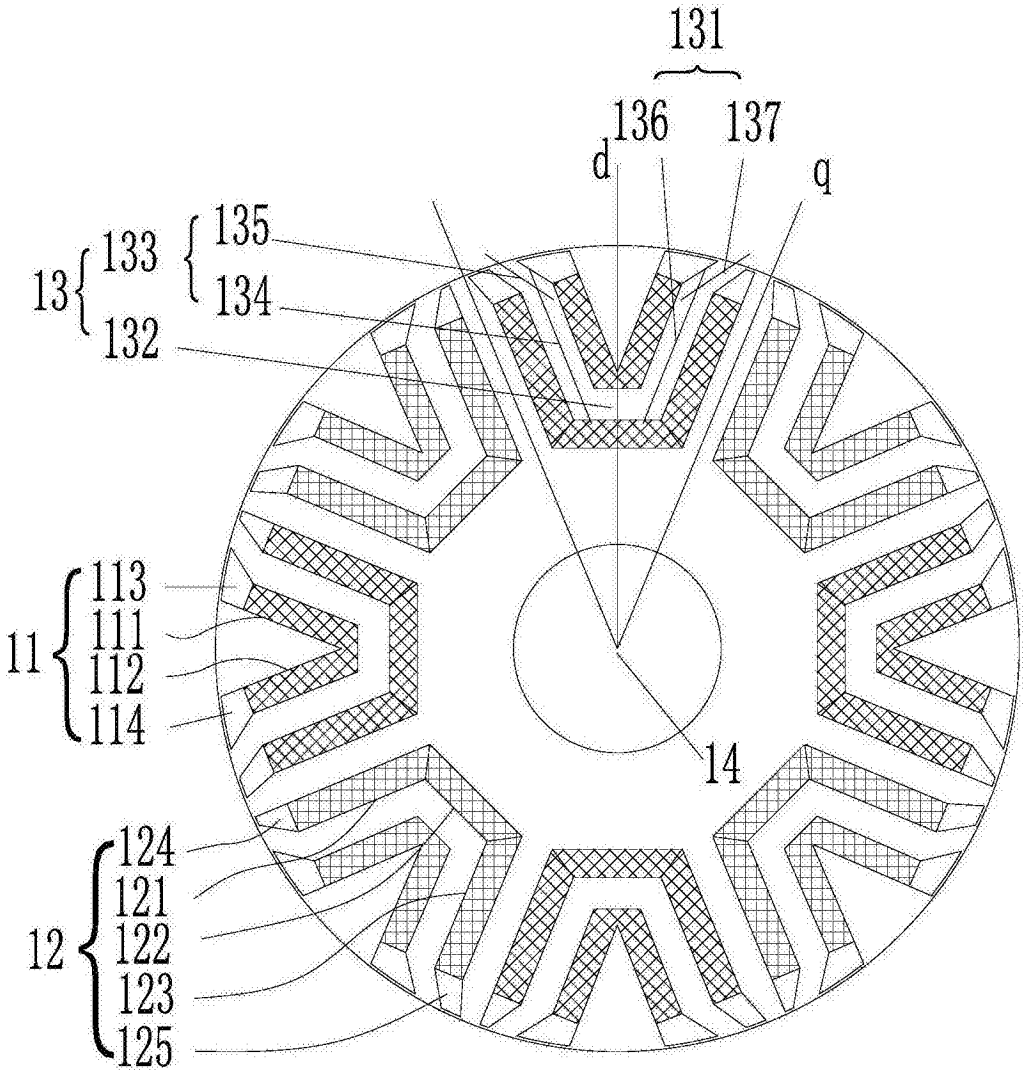

131
136
137
d
q
13
133
135
134
132
113
11
111
112
114
14
124
121
12
122
123
125

图1

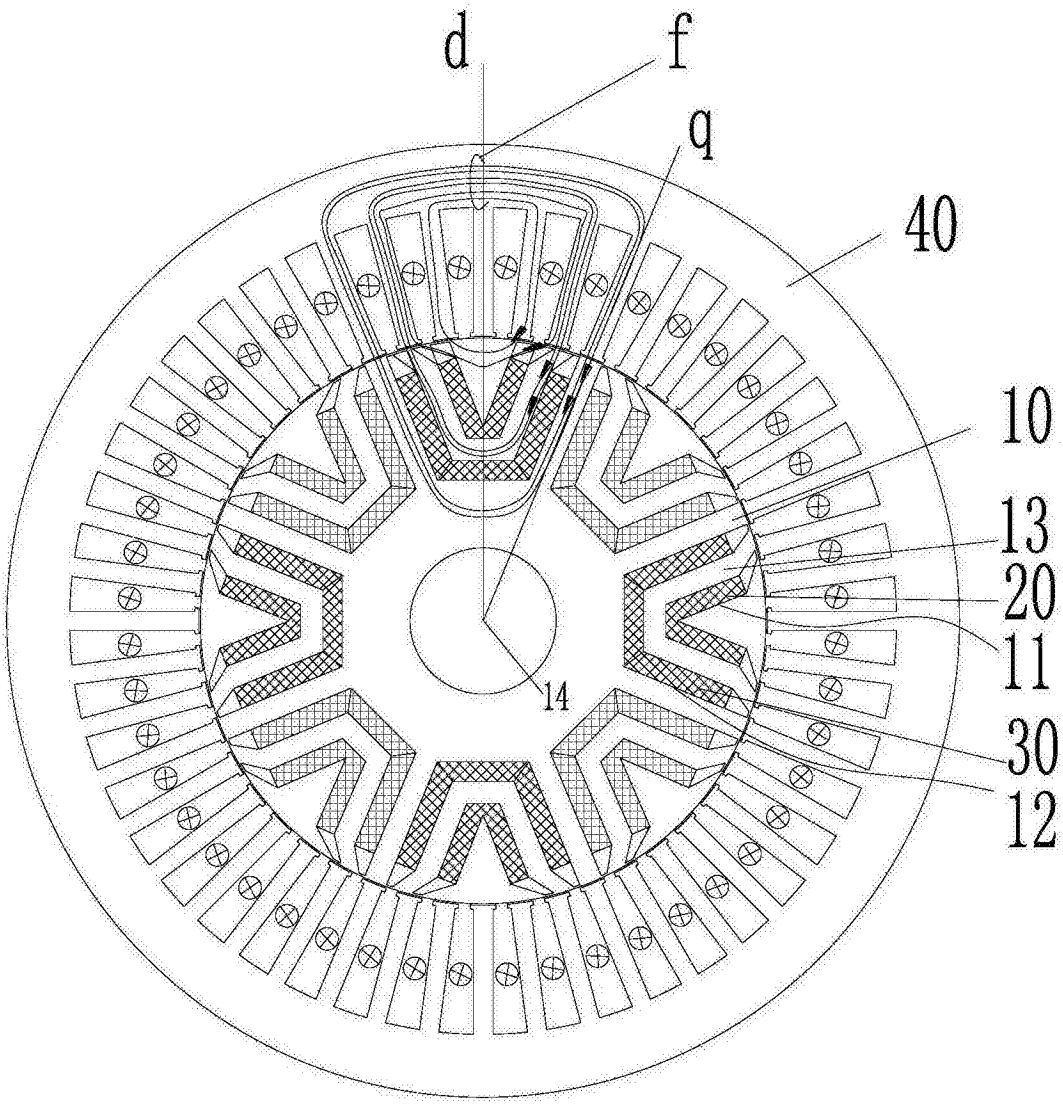


图2

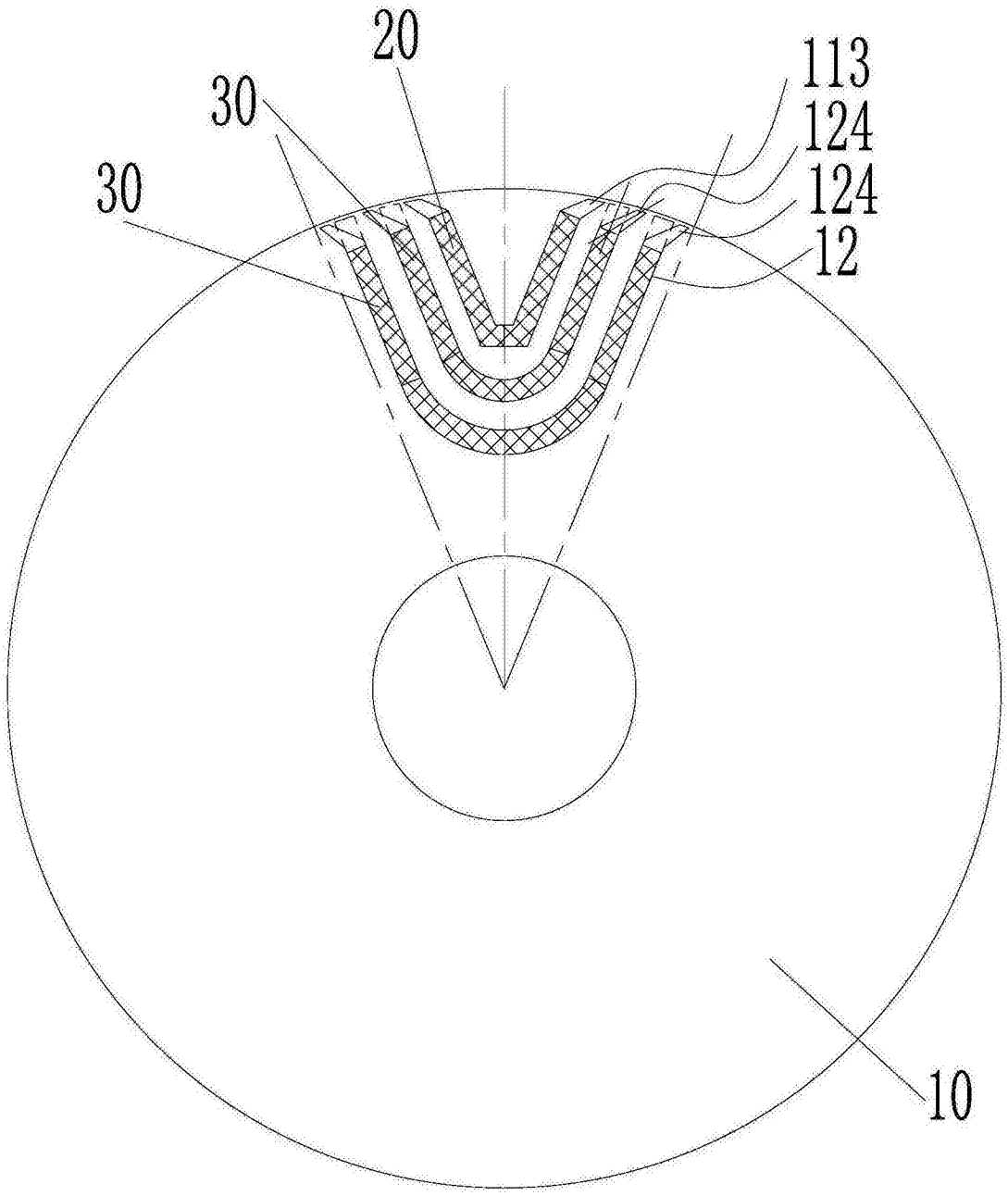


图3

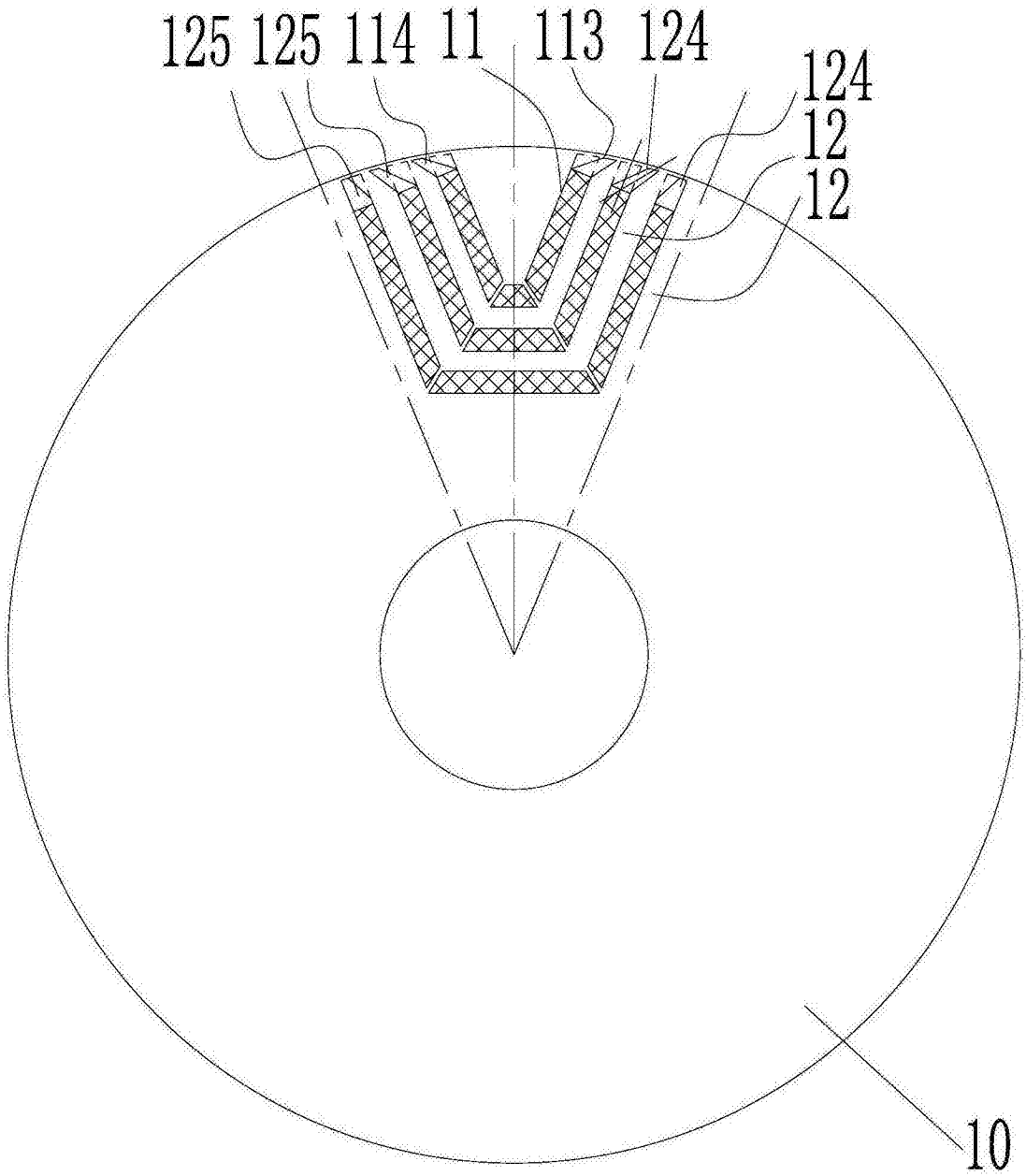


图4

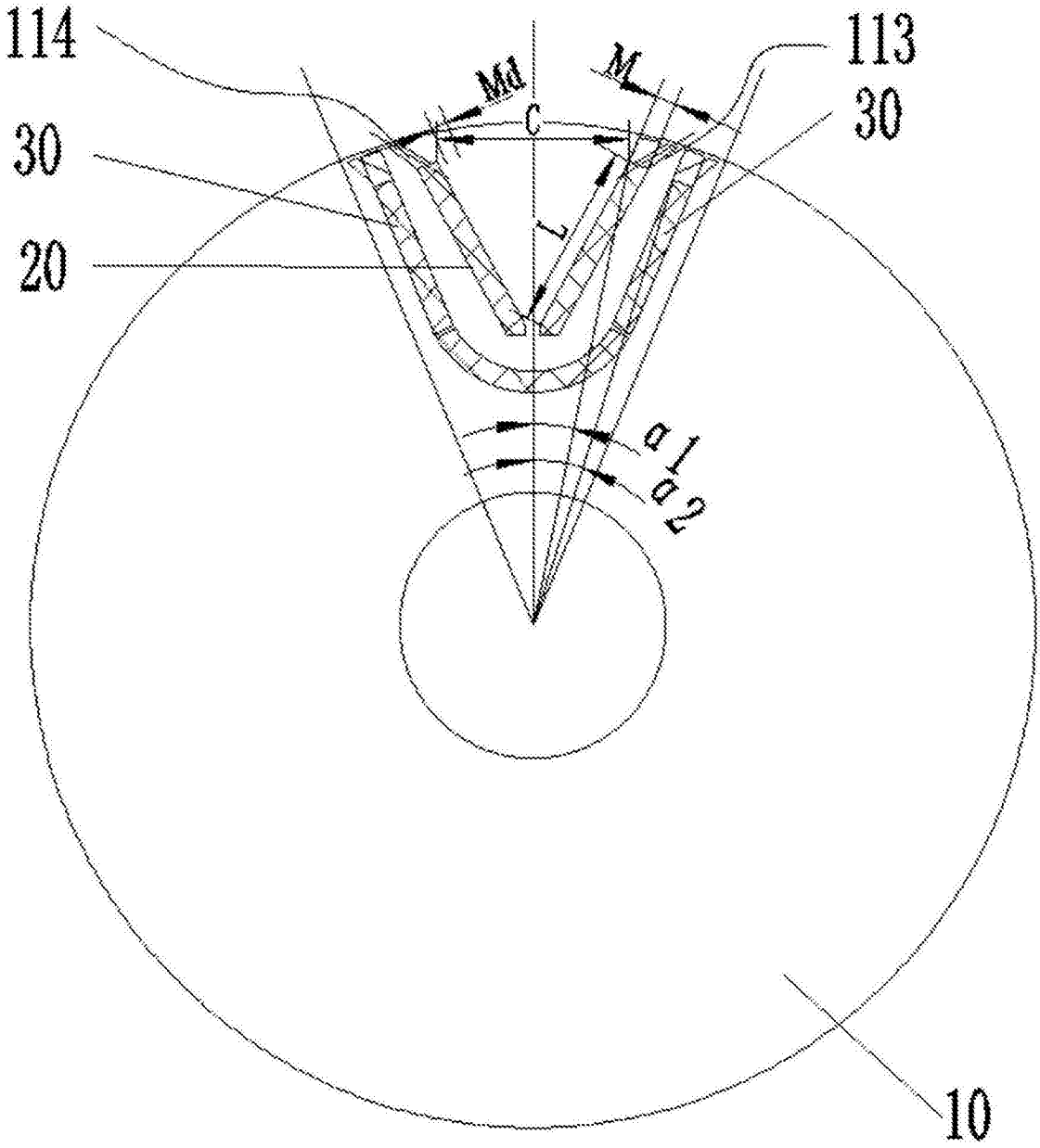


图5

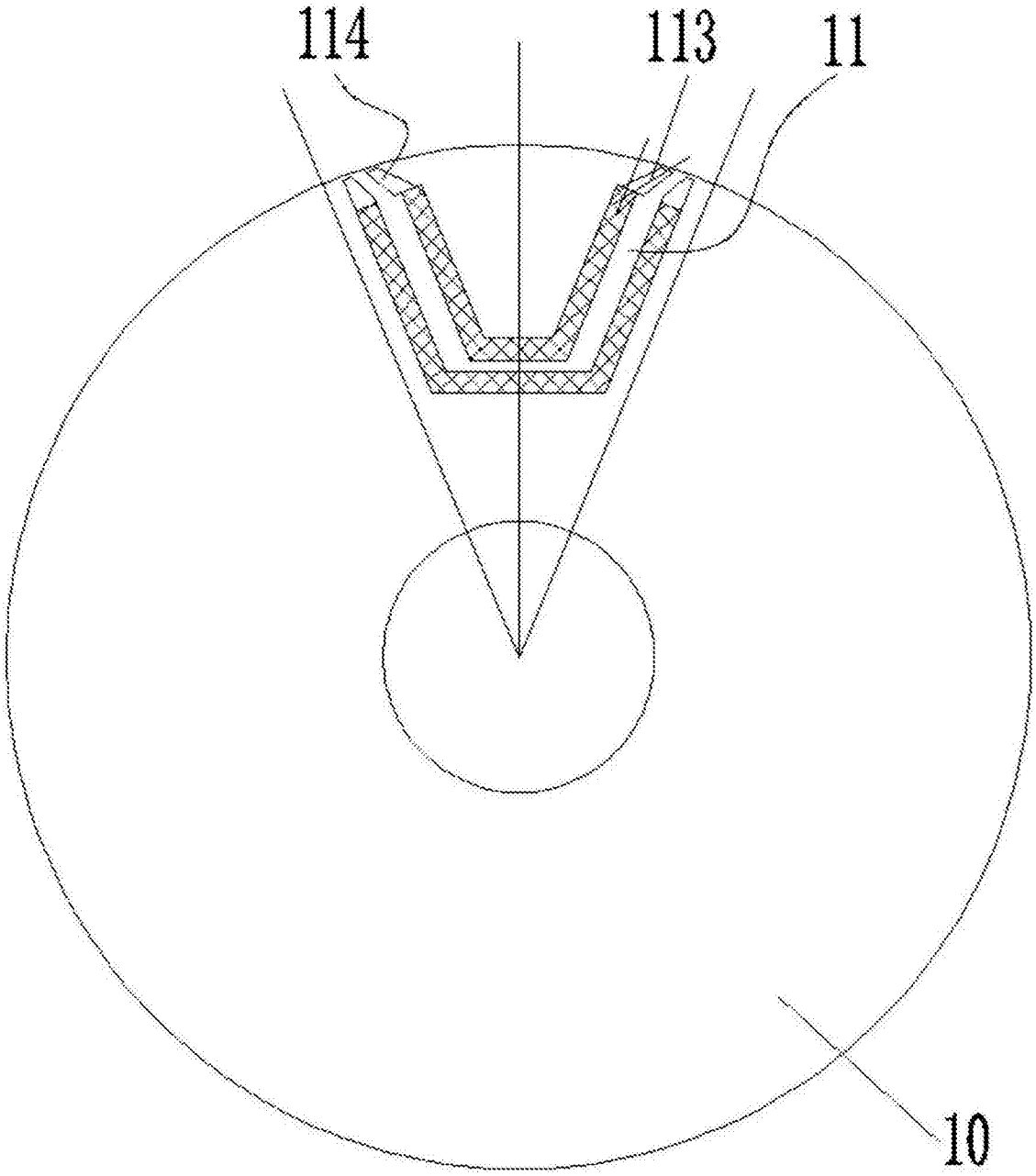


图6

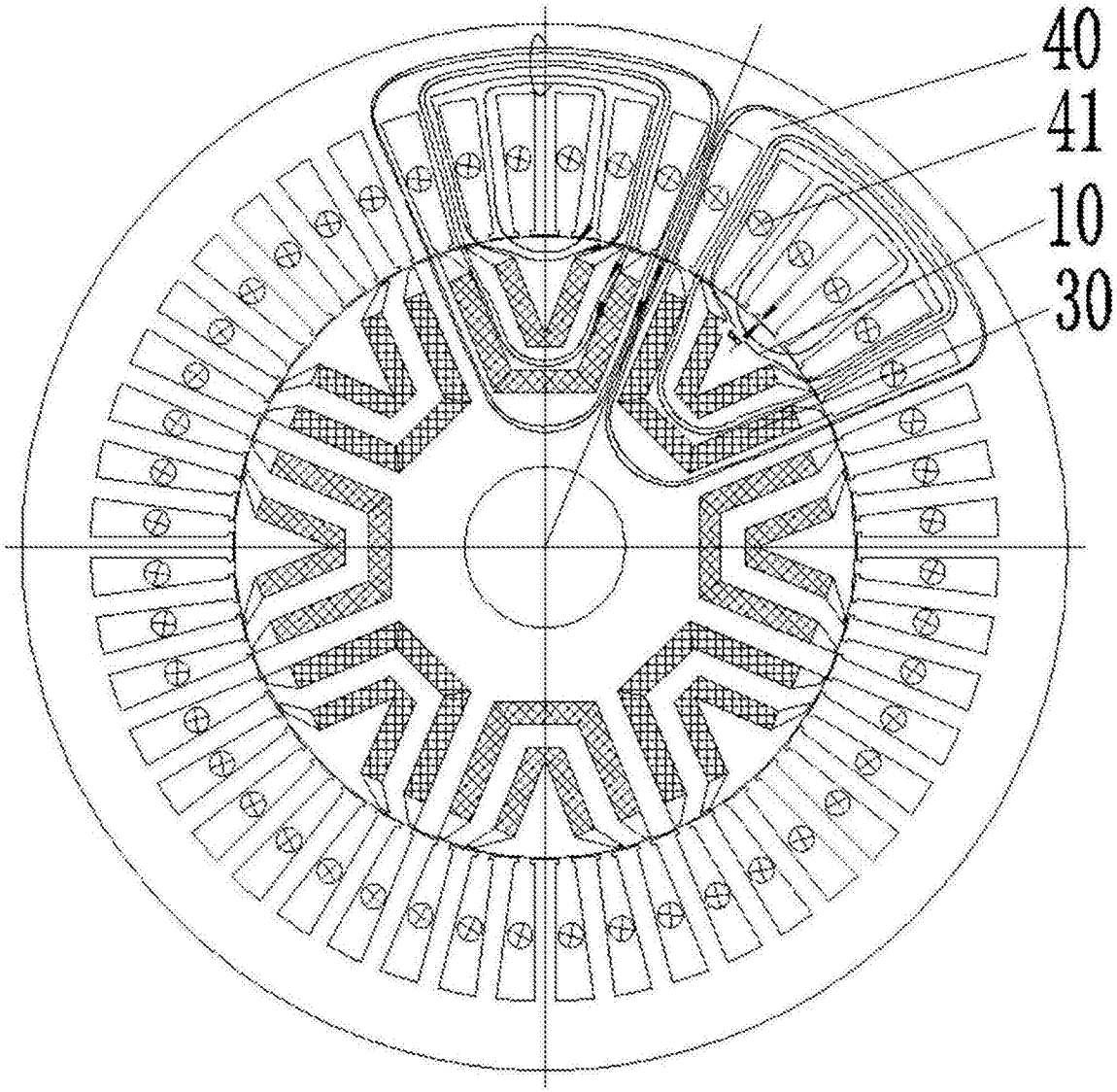


图7

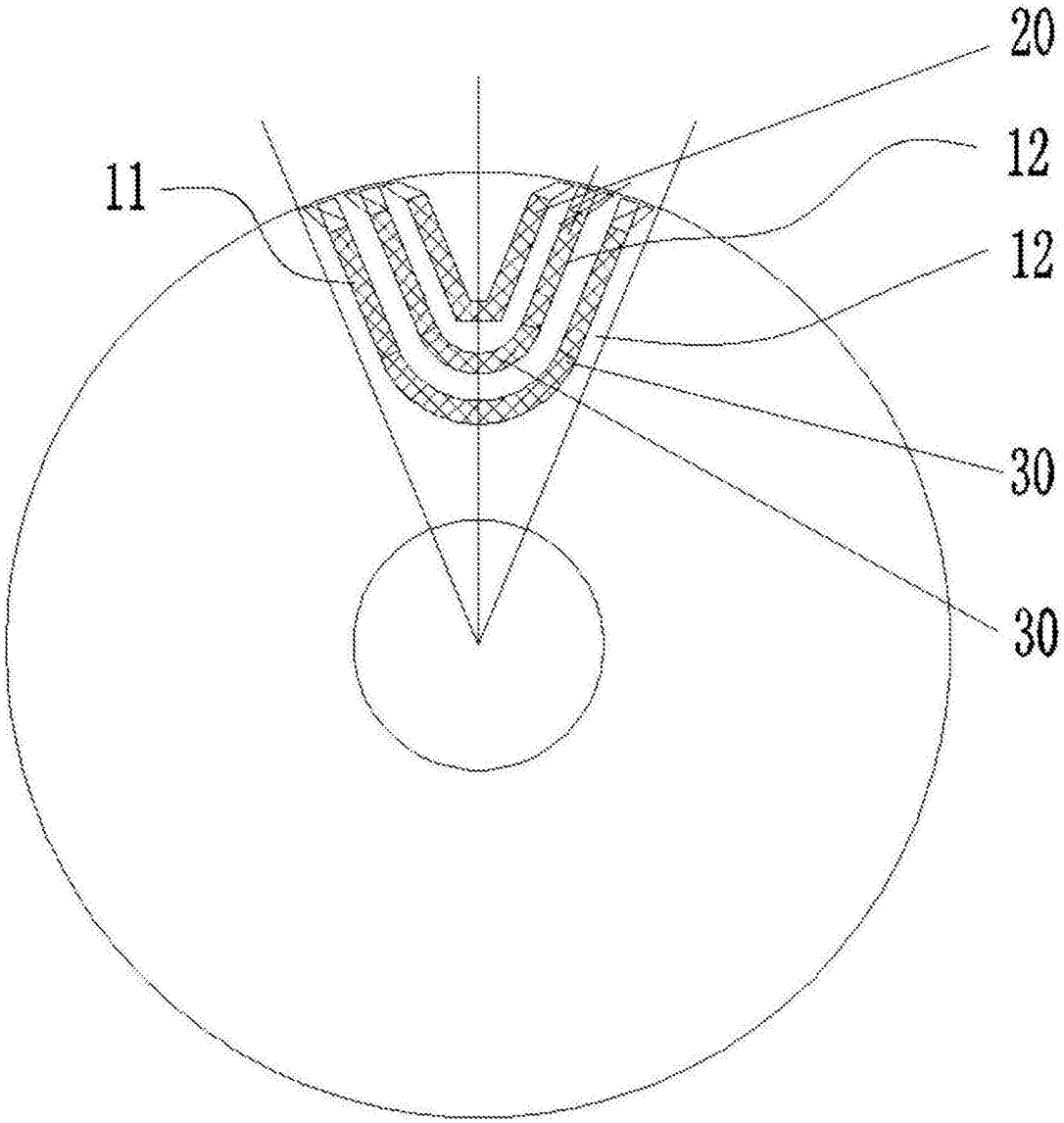


图8

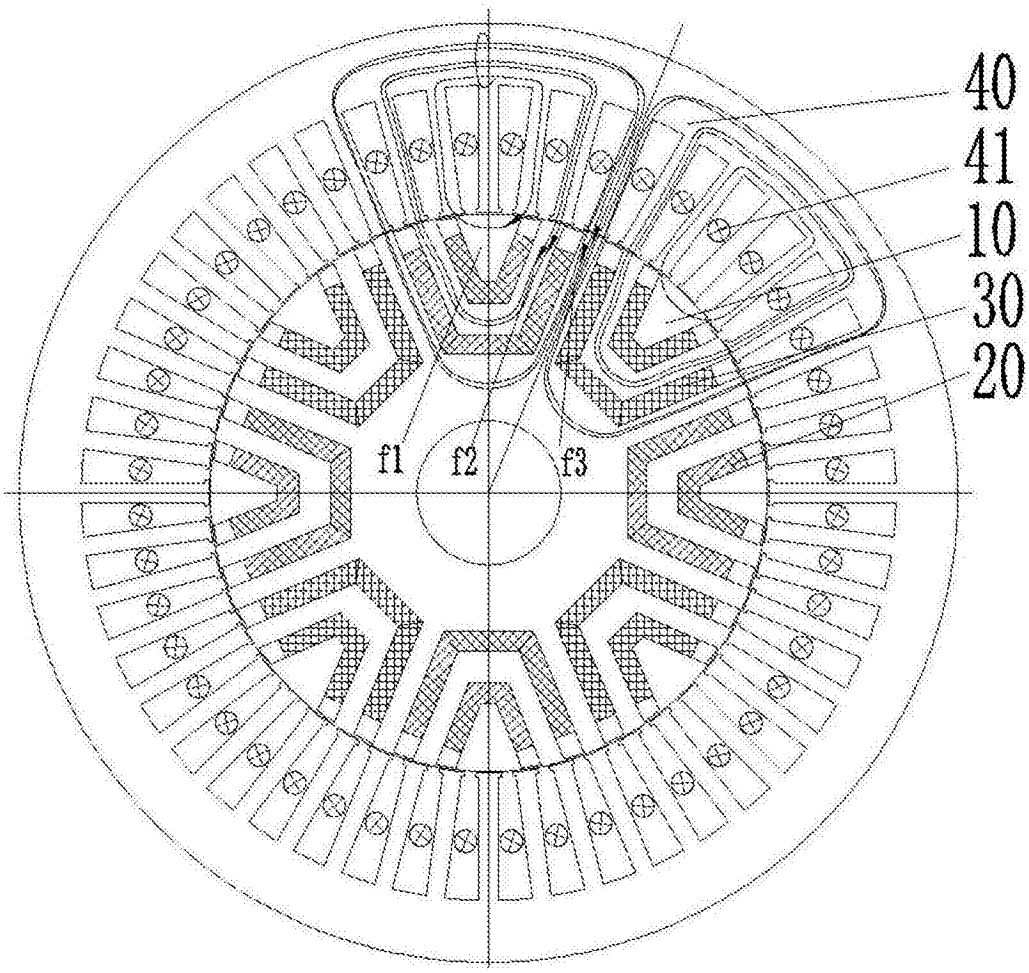


图9

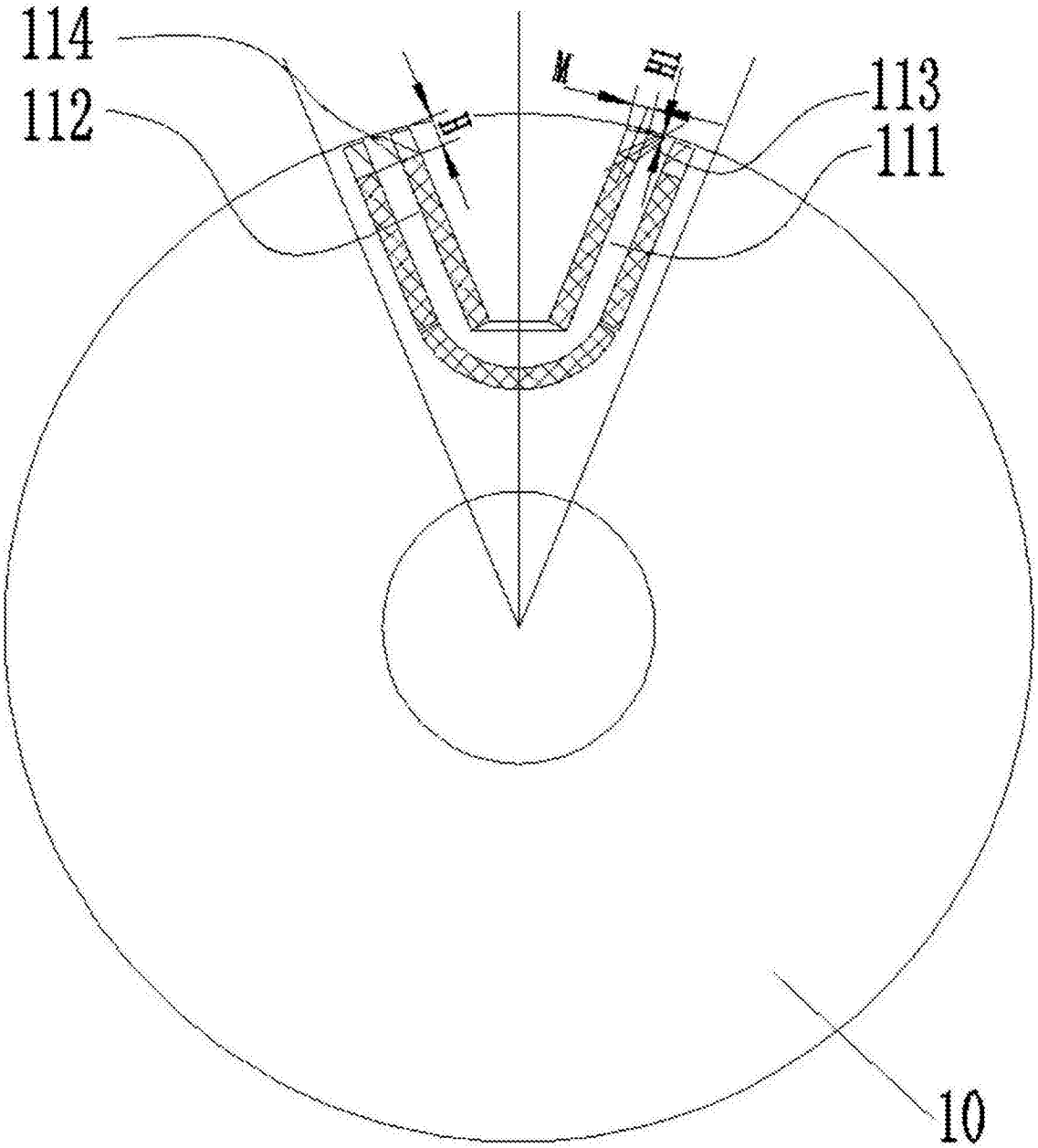


图10

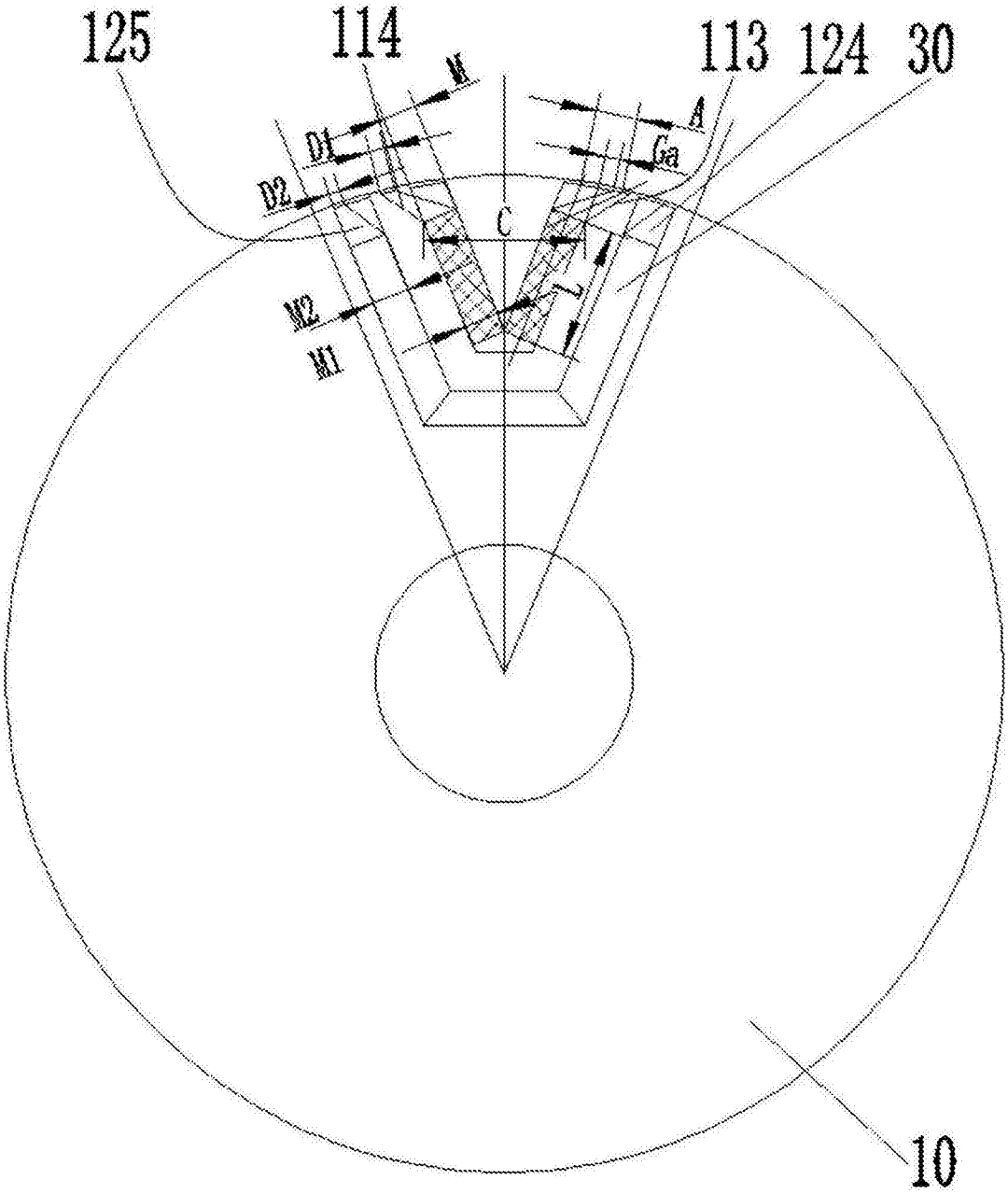


图11

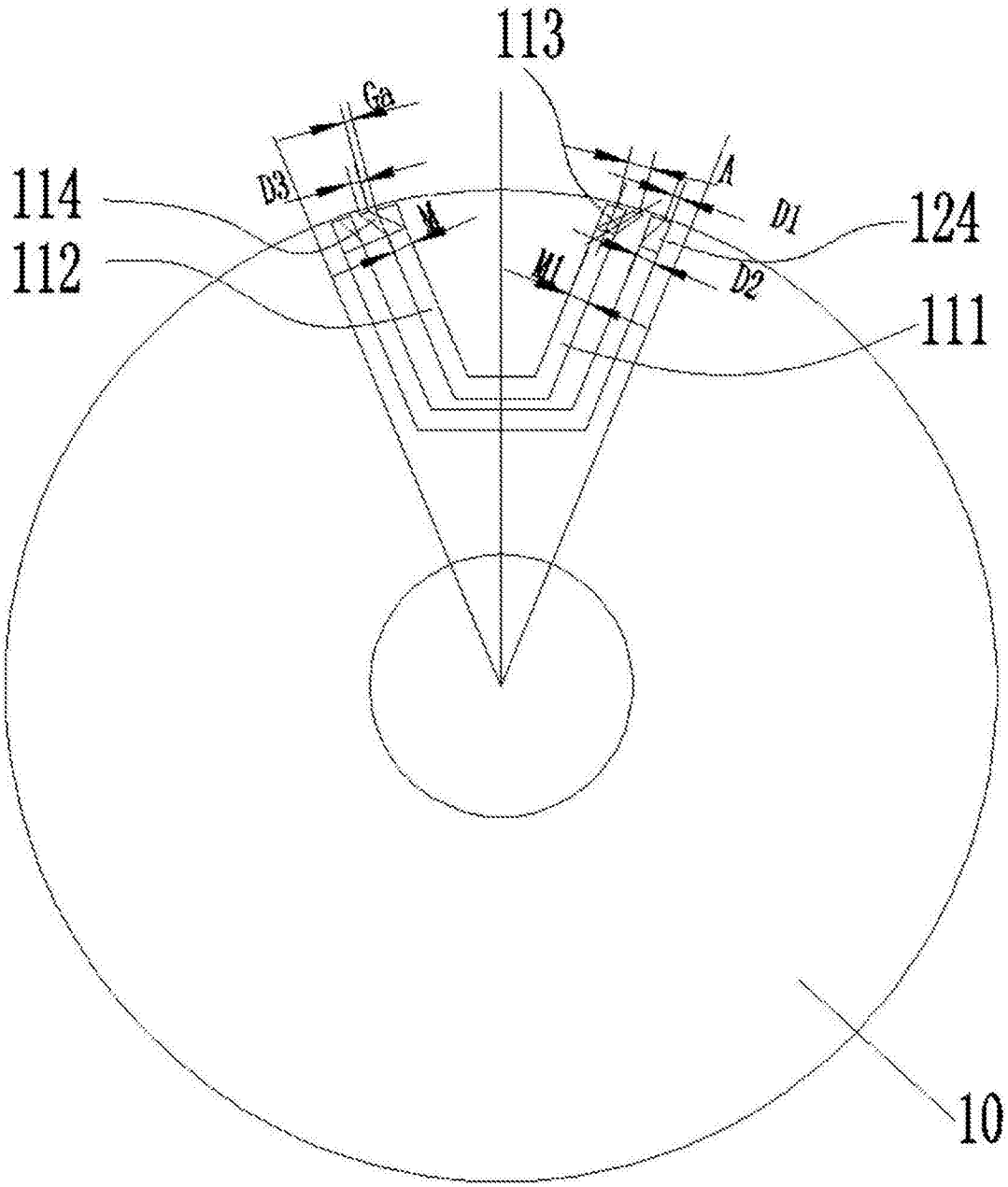


图12

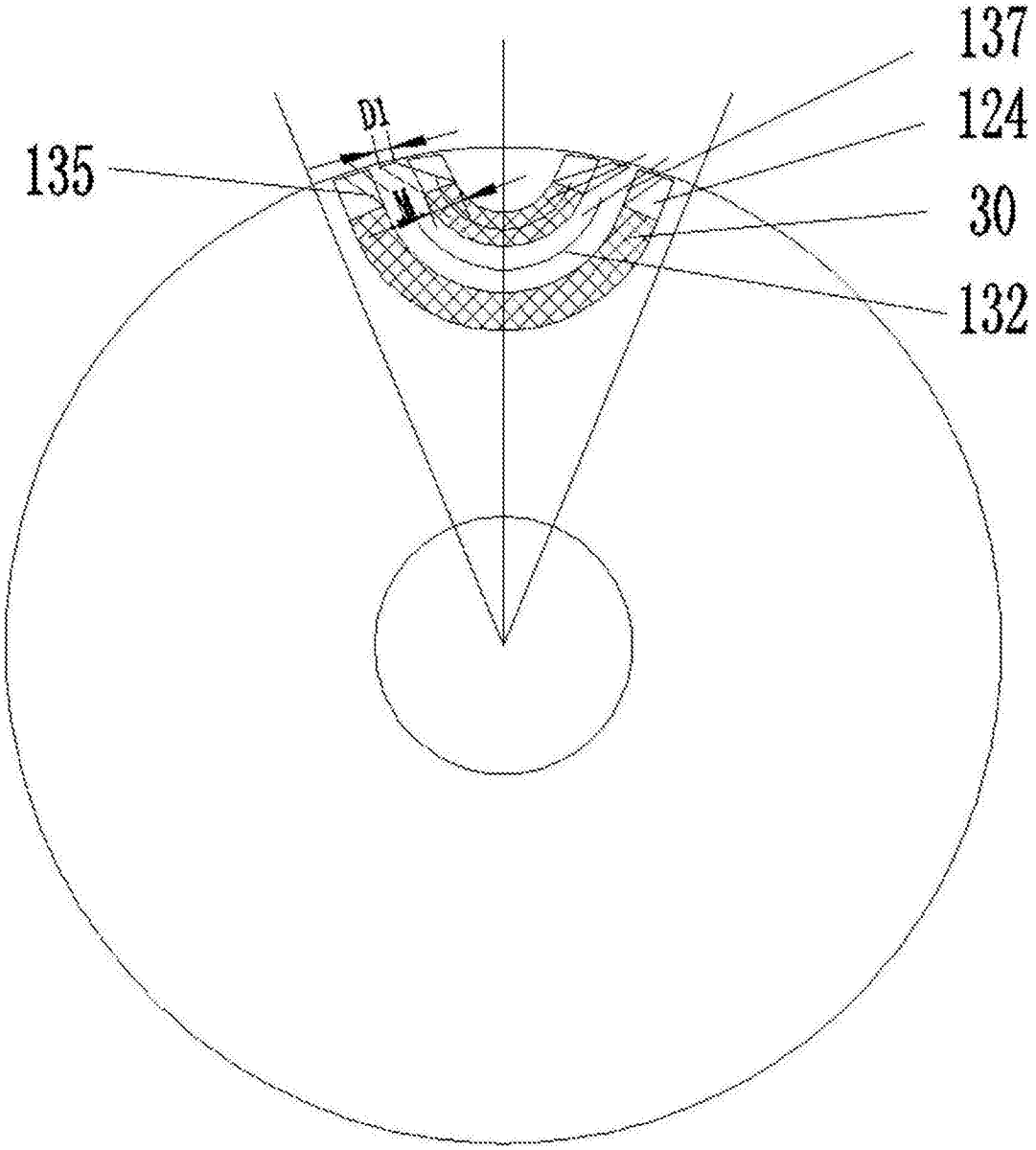


图13

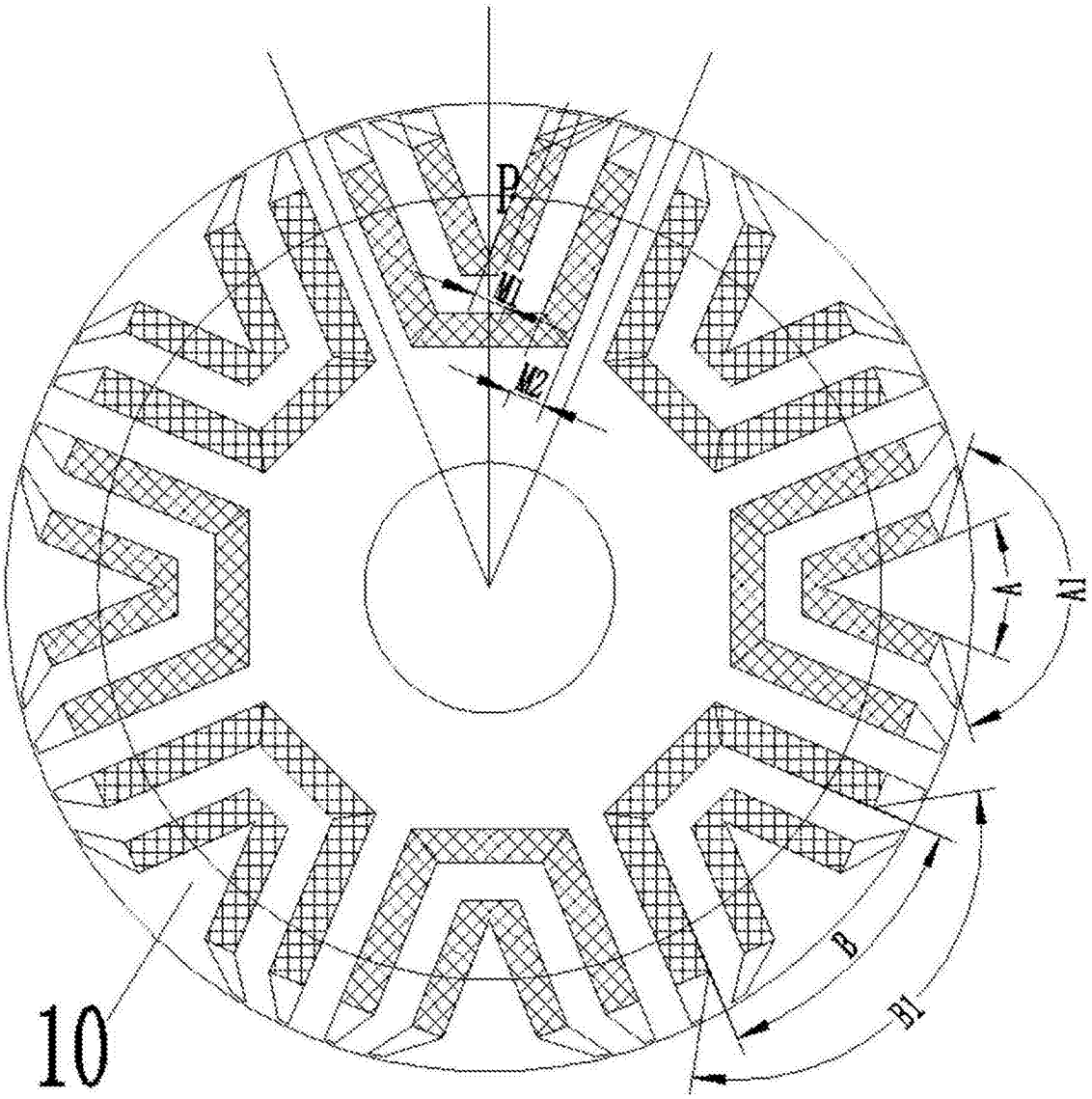


图14

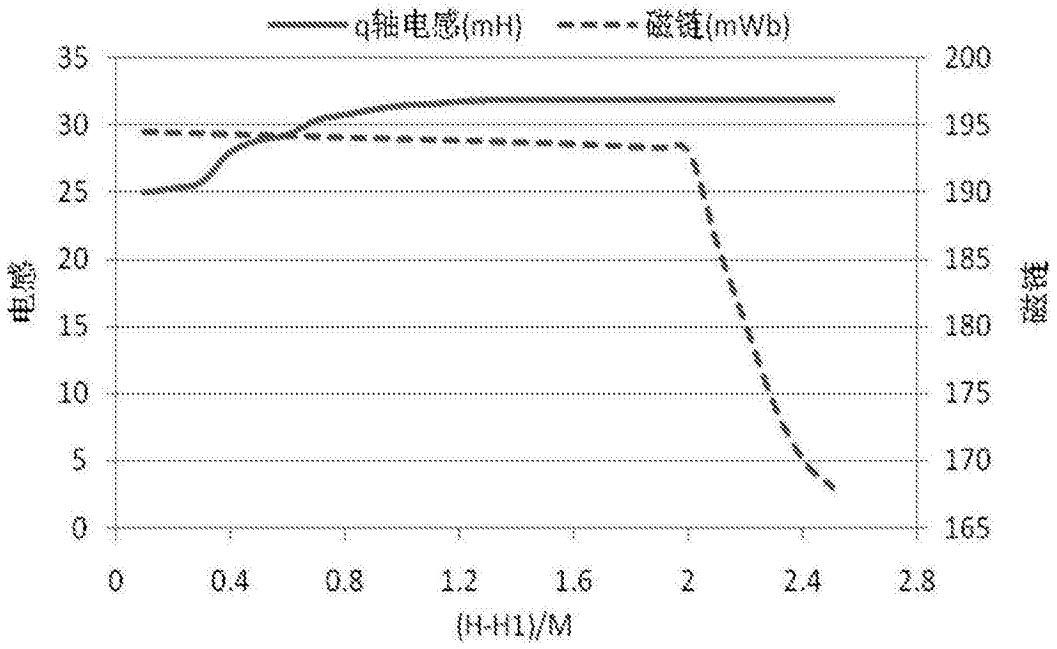

q轴电感(mH)
磁链(mWb)
电感
磁链
35
30
25
20
15
10
5
0
200
195
190
185
180
175
170
165
0
0.4
0.8
1.2
1.6
2
2.4
2.8
(H-H1)/M

图15

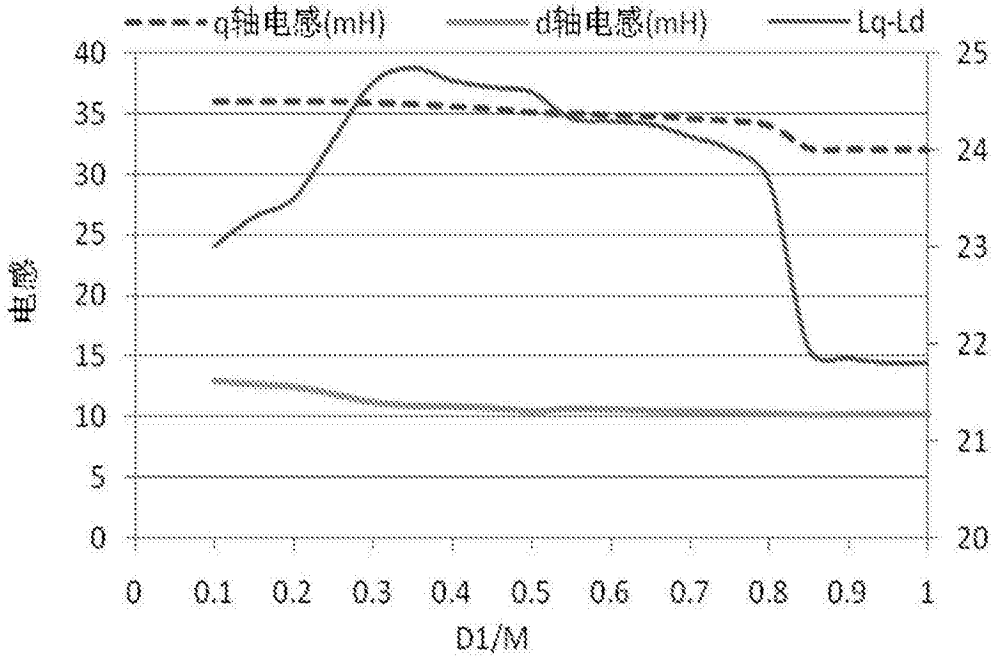

q轴电感(mH)
d轴电感(mH)
Lq-Ld
电感
40
35
30
25
20
15
10
5
0
25
24
23
22
21
20
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
D1/M

图16

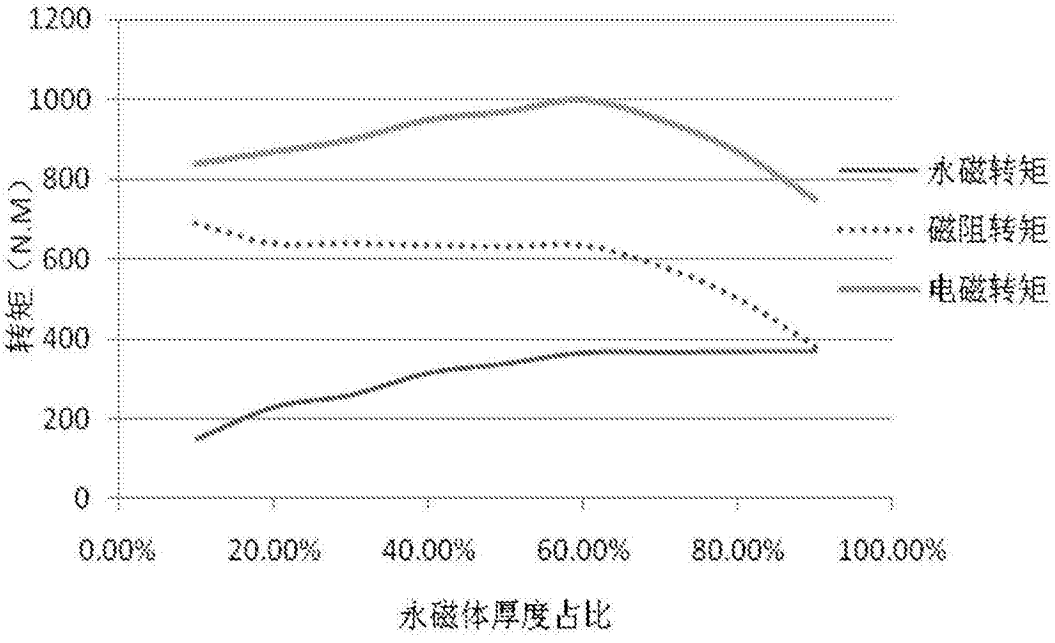

1200
1000
800
600
400
200
0
转矩（N.M）
永磁转矩
磁阻转矩
电磁转矩
0.00%
20.00%
40.00%
60.00%
80.00%
100.00%
永磁体厚度占比

图17

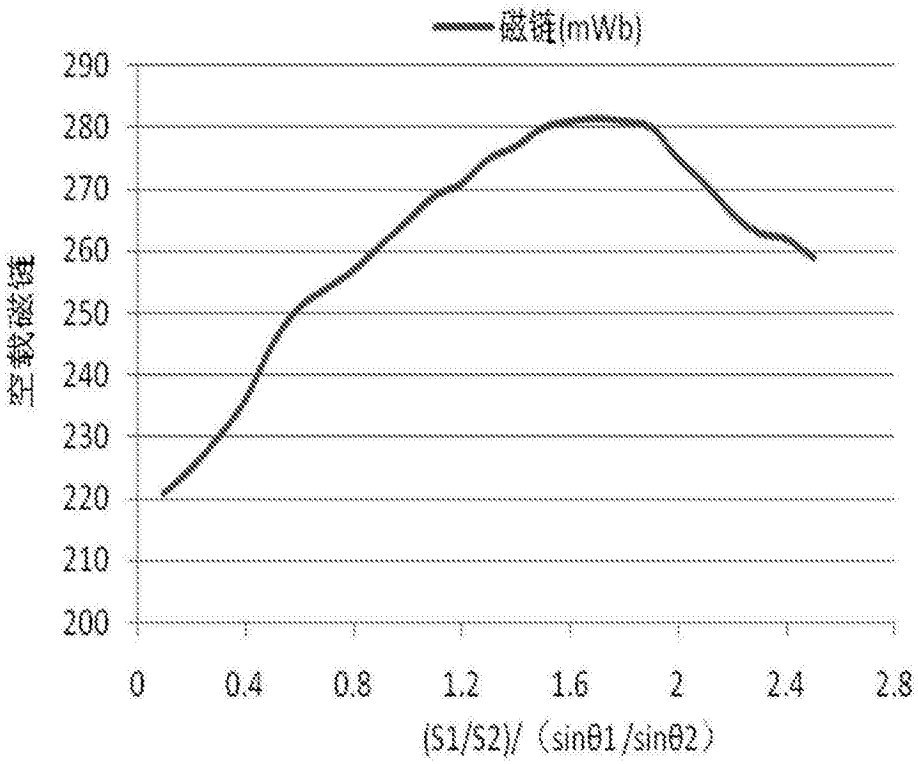

磁链(mWb)
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
空载磁链
0
0.4
0.8
1.2
1.6
2
2.4
2.8
(S1/S2)/（sinθ1/sinθ2）

图18

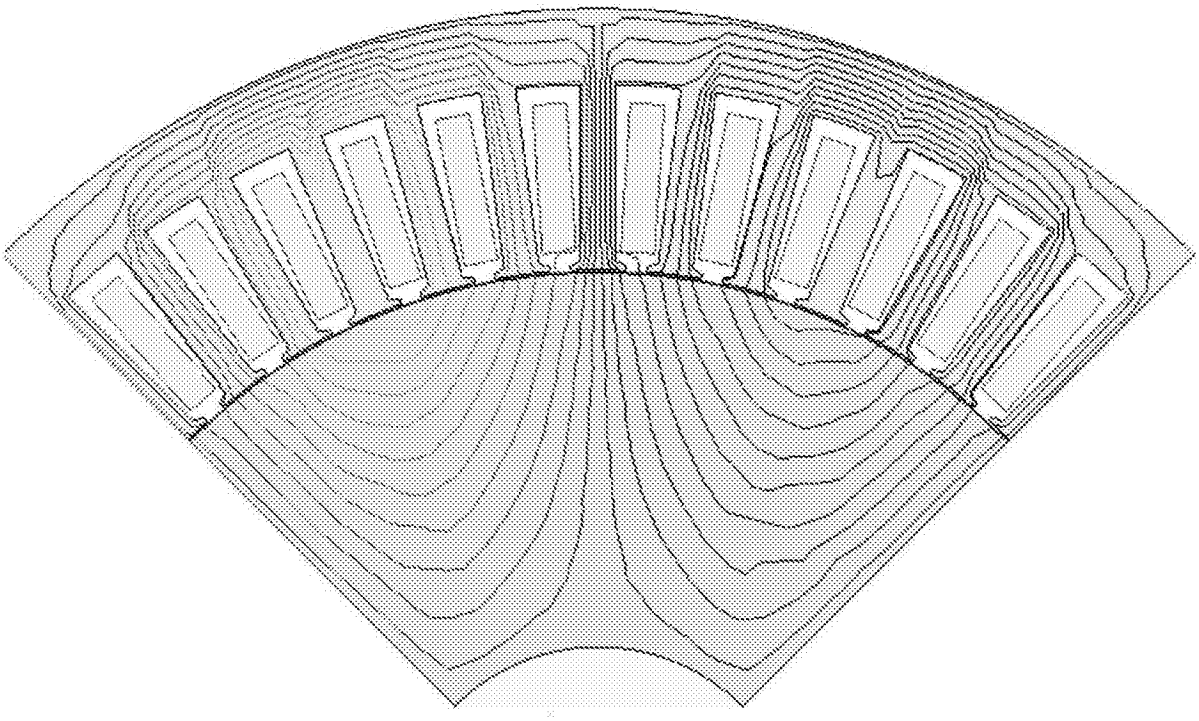


图19