(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 108199509 A
(43)申请公布日 2018.06.22

(21)申请号 201711442194.0

(22)申请日 2017.12.27

(71)申请人 江苏大学
地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路301号

(72)发明人 吉敬华 张新星

(51)Int.Cl.
H02K 1/16(2006.01)
H02K 3/28(2006.01)
H02K 3/12(2006.01)
H02K 1/27(2006.01)
H02K 21/14(2006.01)
H02K 15/00(2006.01)

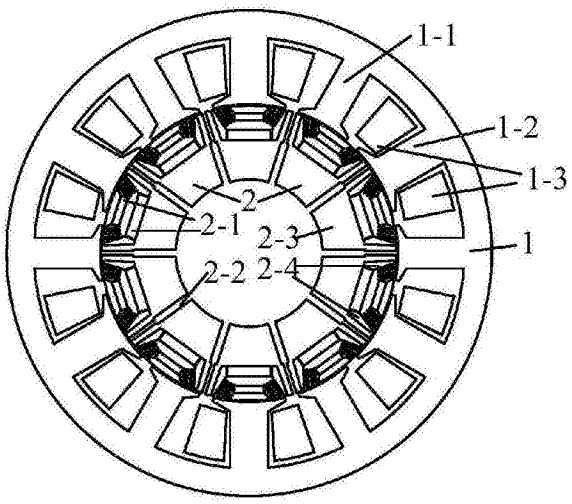
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种分数槽集中绕组永磁同步电机及其提高磁阻转矩的设计方法

(57)摘要

本发明公开了一种分数槽集中绕组永磁同步电机及其提高磁阻转矩的设计方法，包含定子和转子；定子沿周向开槽，形成相间排列的容错齿和电枢齿；电枢绕组绕在电枢齿上，容错齿和电枢齿齿宽不相等，电枢齿齿宽比容错齿宽；转子由永磁体，转子铁芯和磁障组成，永磁体为上下两层永磁体，转子铁芯由多个独立单元构成，样机加工时，转子由非金属材料包裹，形成一个紧凑的结构。转子铁芯沿永磁体轴极方向进行分割，分割时磁障的上半部分宽度较下半部分更窄。此发明的优点在于这种特殊的磁障设计既可以降低直轴电感，又可以尽量减小对交轴电感的影响，且对电机的次谐波有明显的抑制。因此可以有效的提高电机的磁阻转矩并降低电机的铁耗及涡流损耗。



CN 108199509 A

1.一种分数槽集中绕组永磁同步电机，其特征在于，包含定子(1)和转子(2)；定子(1)和转子(2)之间有气隙；

定子(1)沿周向开槽，形成相间排列的容错齿(1-1)和电枢齿(1-2)；电枢绕组(1-3)绕在电枢齿(1-2)上，容错齿(1-1)和电枢齿(1-2)齿宽不相等，电枢齿齿宽比容错齿宽；转子(2)由永磁体(2-1)，转子铁芯(2-3)和磁障a(2-2)，磁障b(2-4)组成，永磁体(2-1)为上下两层永磁体，转子铁芯(2-3)由多个独立单元构成，样机加工时，转子(2)由非金属材料包裹，形成一个紧凑的结构，磁障a(2-2)设置在转子铁芯(2-3)的两个独立单元之间；磁障b(2-4)为永磁体两端的空气槽。

2.根据权利要求1所述的一种分数槽集中绕组永磁同步电机，其特征在于：所述永磁体(2-1)采用双层U型结构，并沿径向依次叠加放置，永磁体采用径向充磁，且同一叠加方向上的两块永磁体充磁方向一致，每层永磁体之间有铁芯间隔。

3.根据权利要求1所述的一种分数槽集中绕组永磁同步电机，其特征在于：转子铁芯(2-3)由10个独立单元构成。

4.根据权利要求1所述的一种分数槽集中绕组永磁同步电机，其特征在于：电枢绕组跨距为1个电枢齿，绕组连接方式单层集中绕组。

5.根据权利要求1所述的一种分数槽集中绕组永磁同步电机，其特征在于：所述转子铁芯(2-3)全部采用0.2mm规格的硅钢片材料，转子铁芯(2-3)由2p个独立单元构成，p为转子极对数。

6.根据权利要求1所述的一种分数槽集中绕组永磁同步电机，其特征在于：所述磁障a(2-2)设置为上窄下宽的结构；当直轴磁链经过永磁体(2-1)下方的铁芯时，由于磁障a(2-2)的下半部分较宽，磁链会改变磁通路径穿过磁阻较小的上半部分磁障，从而使直轴电感降低；所述磁障a(2-2)上半部分设计的较窄，使交轴磁链有足够的区间穿过转子铁芯(2-3)，并与定子(1)匝链，形成回路；所述磁障b(2-4)为4层。

7.一种提高分数槽集中绕组永磁同步电机磁阻转矩的设计方法，其特征在于：包括以下步骤：

步骤1：选择分数槽集中绕组的槽极配合，对电枢齿和容错齿的宽度进行参数优化；

步骤2：对电机的交轴和直轴性能进行独立仿真，根据公式

$$\begin{cases} i_d*\cos(\theta)-i_q*\sin(\theta) \\ i_d*\cos(\theta-2.0933)-i_q*\sin(\theta-2.0933) \\ i_d*\cos(\theta+2.0933)-i_q*\sin(\theta+2.0933) \end{cases}$$

，其中，i_d，i_q为电机的直轴电流和交轴电流，θ为电机的电流角，对电机分别加交轴电流和直轴电流，然后观察交轴和直轴磁力线的分布，根据磁力线的分布，在直轴磁路上设置磁障；

步骤3：对电机的转子铁芯进行分割，沿磁极轴线，将转子铁芯分割成上窄下宽的磁障，分割后要对磁障的宽度进行参数优化，将磁障对电机交轴的影响降到最低；

步骤4：将永磁体设置成上下两层的结构，并采用径向充磁，同一叠加方向上的永磁体充磁方向相同。

一种分数槽集中绕组永磁同步电机及其提高磁阻转矩的设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电动机制造技术，特别是涉及到一种提高分数槽集中绕组永磁同步电机磁阻转矩的技术。

背景技术

[0002] 分数槽集中绕组永磁同步电机具有绕组端部短，铜耗低，效率高，容错性能好等诸多特点，因此在很多场合如航空航天、船舶推进、工业驱动等具有较好的应用情景。目前，分数槽集中绕组永磁同步电机面临的最大的挑战就是磁阻转矩的提高。传统的分数槽集中绕组永磁同步电机转矩的主要成分为永磁转矩，这就使得电机在高速运行时弱磁比较困难，从而限制了电机的调速范围。而磁阻转矩的提升有助于提高电机的过载能力和功率密度，而且易于弱磁调速，扩大恒功率运行范围。

[0003] 文献IET Electric Power Applications,9(7):439-438.2015(Increasing the Saliency Ratio of Fractional Slot Concentrated Winding Interior Permanent Magnet Synchronous Motors)介绍了一种提高分数槽集中绕组永磁同步电机磁阻转矩的转子结构设计方法。其转子铁芯由铁磁材料的硅钢片和铝块两部分组成。铁磁材料覆盖在转子表面，起到聚磁作用;转子内部采用铝块来增加直轴磁路磁阻。由于铝的电导率远大于硅钢片，电机会产生非常大的涡流损耗，由此引起的电机温升过高会对电机产生严重的影响，甚至烧毁电机。虽然目前对提高永磁同步电机磁阻转矩的研究很多，但针对分数槽集中绕组的却很少，这也是因为分数槽集中绕组独特的磁路分布。相比于整数槽分布绕组，集中绕组的磁路具有不平衡效应，因此很难在总转矩不变的情况下，有效的提高磁阻转矩。已有的一些提高磁阻转矩的方法都会不同程度上对电机的其他性能产生影响。因此设计能够有效提高分数槽集中绕组永磁同步电机的磁阻转矩并降低电机损耗的转子结构具有重要的意义和实用价值。

发明内容

[0004] 本发明的目的是为了解决分数槽集中绕组永磁同步电机磁阻转矩低的问题，提出了一种简单有效、工程上易于执行的方法。该方法保证了电机转子结构机械强度、电磁转矩等性能在安全范围以内的同时，有效提高了电机的磁阻转矩并降低了电机的损耗。

[0005] 为了实现上述发明目的，本发明采用如下技术方案:电机整体结构由定子和转子两部分组成，转子铁芯由2p(p为电机极对数)个独立单元构成，各单元之间的磁障宽度根据要求合理设置。

[0006] 该电机包含定子和转子两个部分，定子和转子的构成材料为硅钢片。定子和转子之间具有气隙，气隙的长度根据电机的实际大小及要求合理选取。所述定子由铁芯，绕组构成，所述转子包括独立转子铁芯单元，永磁体和空气槽。

[0007] 进一步，所述定子上沿圆周开槽，大槽和小槽相间排列，形成容错齿和电枢齿两种

齿结构，槽内放置单层绕组，绕组连接方式为三相集中式绕组并绕于电枢齿部。

[0008] 进一步，所述电枢齿的宽度比容错齿宽，是因为由于绕组绕在电枢齿上，电机大部分的磁链将会通过电枢齿与转子铁芯形成回路，从而产生转矩。较宽的电枢齿有利于更多的磁链通过，可以在一定程度上缓解电机的磁场饱和程度。

[0009] 进一步，此发明采用单层绕组的结构，可以很好的实现相间隔离，降低绕组相间短路的故障率，提高电机的可靠性。此外，相比于双层绕组，单层绕组有更好的隔热作用，这也有利于降低电机温升。

[0010] 所述转子由独立的转子铁芯，永磁体和空气槽组成，整个转子铁芯由非金属材料包裹，形成一个紧凑的结构。

[0011] 进一步，所述永磁体采用双层U型结构，并沿径向依次叠加放置。永磁体采用径向充磁，且同一叠加方向上的两块永磁体充磁方向一致。每层永磁体之间有铁芯间隔，铁芯的宽度需根据可求合理优化设置。

[0012] 进一步，所述双层永磁体之间还设置了磁障，这些磁障可以在一定程度上增加直轴磁路的长度，使得直轴磁路的磁阻增加，从而起到降低直轴磁路磁阻的作用。

[0013] 进一步，所述转子铁芯全部采用硅钢片材料，这就解决了其他材料会增加电机损耗的问题。整个转子铁芯由2p个独立单元构成。根据分数槽集中绕组永磁同步电机磁路的不平衡效应，即电机中通过每个永磁体的磁链是不相同的。此外直轴磁链也与整数槽分布绕组不同，大部分直轴磁链通过永磁体下方的铁芯而不穿过磁阻最大的永磁体，造成直轴磁路磁阻变小，磁阻转矩降低。

[0014] 进一步，将所述各独立铁芯单元之间的磁障设置为上窄下宽的形式。根据电机中的磁阻最小原理，即磁通总是沿着磁阻最小的路径闭合。当直轴磁链经过永磁体下方的铁芯时，经过下层较宽的磁障时，会改变磁通路径穿过磁阻较小的上层磁障，从而使直轴电感降低。所述上层磁障设计的较窄，是为了减小对交轴磁链的影响，使交轴磁链有足够的区间穿过转子铁芯，并与定子铁芯匝链，形成回路。从而减小对总的电磁转矩的影响。所述下层磁障，增加次谐波磁路的磁阻，对电机次谐波起到削弱和抑制的作用。而次谐波的降低，可以有效的降低电机的铁耗和涡流损耗，提高电机的效率。

[0015] 进一步，所述独立转子铁芯单元之间存在上窄下宽的磁障，所述磁障可以作为电机的散热通道，有利于电机的通风散热，缓解电机温升过高的问题。

[0016] 本发明实施的对象为分数槽集中绕组永磁同步电机。该方案具有以下优点：

[0017] (1)本发明采用单层分数槽集中绕组，可以有效的实现相间隔离，降低电机相间短路的风险；容错齿结构的采用，可以有效的降低电机磁场的饱和程度，提高电机的容错性能。

[0018] (2)本发明创造性的将电机的转子铁芯分割成2p个独立单元，各单元之间设置上窄下宽的磁障。通过磁障的设置可以有效增加直轴磁路磁阻，降低直轴电感，且对交轴磁路影响较小。因此，可以在总的电磁转矩不变的情况下，有效提高磁阻转矩。

[0019] (3)本发明可以有效的降低直轴电感，提高电机的凸极率。凸极率的提高，可以使电机具有更好的弱磁性能，更宽的调速范围。

[0020] (4)本发明中各独立转子单元之间的磁障，可以有效削弱和抑制次谐波，降低电机的损耗，提高电机的效率。

[0021] (5)本发明采用双层永磁体径向叠加放置的结构，不仅可以起到增加直轴磁路磁阻的作用，也可以降低永磁体的涡流损耗，缓解电机的温升，降低永磁体高温退磁的风险。

[0022] (6)本发明中的所有磁障的设置，均可以作为电机的通风散热通道，起到降低电机温升的作用。

[0023] 综上：本发明的永磁同步电机有效的降低直轴电感，提高电机的磁阻转矩和凸极率，使电机具有更好的弱磁性能和更宽的调速范围。此外，磁障的设置有效的削弱和降低了次谐波，从而降低了电机的损耗，提高了电机的效率。同时，磁障也为电机的通风散热提供通道，降低了电机的温升，减小了永磁体高温退磁的风险。

附图说明

[0024] 下列附图为本发明的分数槽集中绕组永磁同步电机的实施例，其中：

[0025] 附图1为型分数槽集中绕组永磁同步电机结构示意图。

[0026] 附图2为型分数槽集中绕组永磁同步电机交轴磁路示意图。

[0027] 附图3为型分数槽集中绕组永磁同步电机直轴磁路示意图。

[0028] 附图4为传统分数槽集中绕组永磁同步电机与新兴永磁同步电机的轴电感对比示意图。

[0029] 附图5为传统分数槽集中绕组永磁同步电机与新型永磁同步电机负载转矩对比示意图。

[0030] 附图6为传统分数槽集中绕组永磁同步电机与新型永磁同步电机永磁体涡流损耗和转子铁耗对比示意图。

具体实施方式

[0031] 请参考图1，本发明为一种高磁阻转矩比例的分数槽集中绕组永磁同步电机磁阻转矩的提升方法，主要是通过增加直轴磁路磁阻，减小直轴电感来达到设计目的。本发明结构包含定子1，转子2，定子1和转子2之间具有气隙，气隙长度根据电机结构和实际要求选取。

[0032] 以12槽10极电机为例，图1是新型分数槽集中绕组永磁同步电机的结构示意图。所述定子1包含容错齿1-1和电枢齿1-2两种结构。电枢绕组1-3绕在电枢齿1-2上。电枢齿和容错齿的齿宽比例可通过优化达到最佳效果。转子2由永磁体2-1，转子铁芯2-4和磁障2-2，2-3组成。永磁体2-1包括上下两层永磁体，转子铁芯2-4由10个独立单元构成，样机加工时，转子铁芯可由非金属材料包裹，形成一个紧凑的结构。

[0033] 图2是新型分数槽集中绕组永磁同步电机交轴磁路示意图。从图中可见，转子铁芯各单元之间的磁障对交轴磁路没有影响，交轴磁路依然经过转子铁芯与定子铁芯交链，形成回路，产生转矩。

[0034] 图3为新型分数槽集中绕组永磁同步电机直轴磁路示意图。从图中可见，由于对转子铁芯进行了分割，转子铁芯各单元之间形成了上窄下宽的磁障，这些磁障增加了直轴磁路的磁阻，使直轴电感降低，从而获得更高的磁阻转矩。

[0035] 图4为新型分数槽集中绕组永磁同步电机与传统永磁电机直轴电感的对比示意图。从图中可以看出，新型结构的直轴电感明显比传统电机下降很多，下降比例达到48％，

效果很明显。

[0036] 图5为传统和新型永磁同步电机负载转矩示意图。从图中可以看出，与传统电机相比，新型永磁同步电机的总转矩几乎没有降低，但其磁阻转矩已达到传统电机的2倍。表明新型结构相比于传统结构在磁阻转矩上有很大的提升。因此，新型结构的永磁电机具有更宽的恒功率运行范围和更好的弱磁调速性能。

[0037] 图6为传统和新型永磁同步电机转子涡流损耗和转子铁耗的对比示意图。从图中可以看出，相比于传统永磁电机，新型电机的涡流损耗降低了70.9％，转子铁耗也降低了45％。可以看到，本发明在有效提高磁阻转矩的同时，也有效降低了电机的损耗，缓解了电机的温升问题。

[0038] 本发明的分数槽集中绕组永磁同步电机磁阻转矩的设计方法包括以下步骤：

[0039] 步骤1：选择分数槽集中绕组的槽极配合，对电枢齿和容错齿的宽度进行参数优化；

[0040] 步骤2：对电机的交轴和直轴性能进行独立仿真，根据公式

$$\begin{cases} i_d*\cos(\theta)-i_q*\sin(\theta) \\ i_d*\cos(\theta-2.0933)-i_q*\sin(\theta-2.0933) \\ i_d*\cos(\theta+2.0933)-i_q*\sin(\theta+2.0933) \end{cases}$$

，(其中，i_d，i_q为电机的直轴电流和交轴电流，θ为电机的电流角)对电机分别加交轴电流和直轴电流，然后观察交轴和直轴磁力线的分布，根据磁力线的分布，在直轴磁路上设置磁障，从而增加直轴磁阻，降低直轴电感，提高电机的磁阻转矩比例；

[0041] 步骤3：对电机的转子铁芯进行分割，沿磁极轴线，将转子铁芯分割成上窄下宽的磁障，分割后要对磁障的宽度进行参数优化，将磁障对电机交轴的影响降到最低；

[0042] 步骤4：将永磁体设置成上下两层的结构，并采用径向充磁，同一叠加方向上的永磁体充磁方向相同。

[0043] 综上，本发明的一种提高分数槽集中绕组永磁同步电机磁阻转矩的设计方法。定子铁芯沿周向开槽，定子采用容错齿和电枢齿交错的结构。其优点在于电枢齿的齿宽比容错齿宽，可以降低磁路的饱和程度。每个定子槽放置一层绕组，绕组连接形式采用三相分数槽集中绕组。转子采用永磁体内嵌式结构，永磁体采用双层U型结构，并沿径向依次叠加放置，每层永磁体之间留有间隙。永磁体采用径向充磁，且同一方向的永磁体充磁方向一致。转子铁芯由10个独立单元组成。其特征如下：转子铁芯沿永磁体轴极方向进行分割，分割时磁障的上半部分宽度较下半部分更窄。此发明的优点在于这种特殊的磁障设计既可以降低直轴电感，又可以尽量减小对交轴电感的影响，且对电机的次谐波有明显的抑制。因此可以有效的提高电机的磁阻转矩并降低电机的铁耗及涡流损耗。

[0044] 在本说明书的描述中，参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示意性实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0045] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例，本领域的普通技术人员可以理解：在不脱离本发明的原理和宗旨的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型，本

发明的范围由权利要求及其等同物限定。

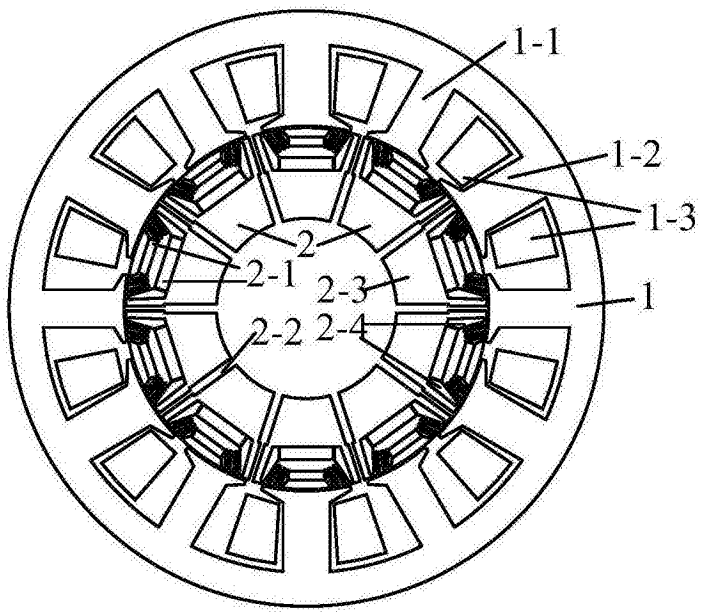


图1

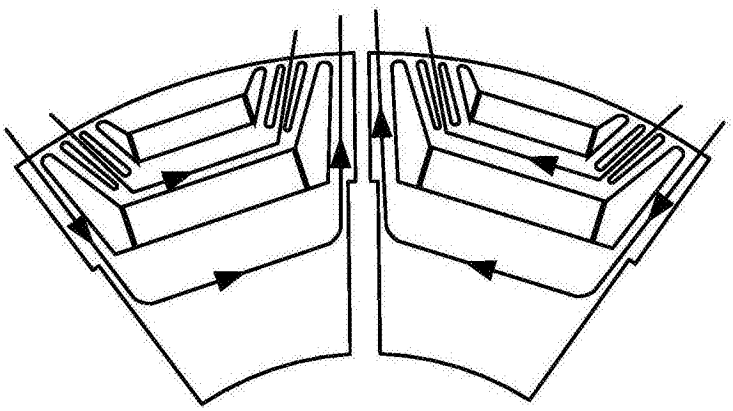


图2

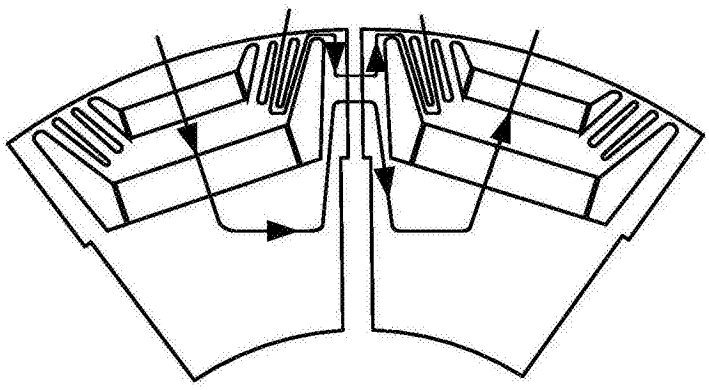


图3

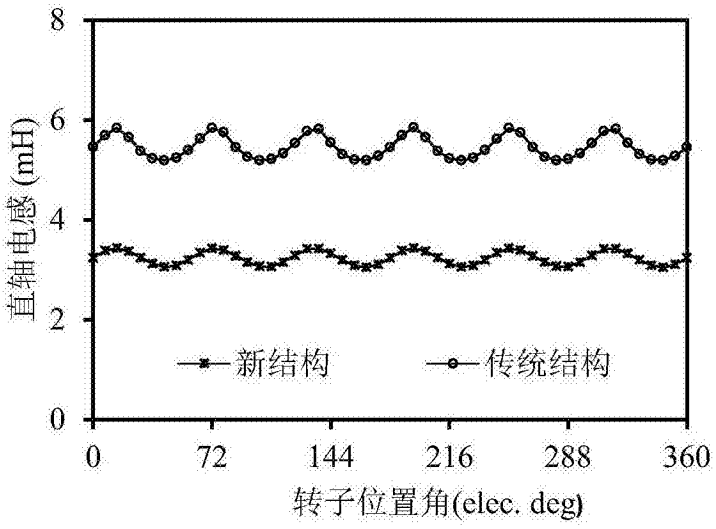

8
6
4
2
0
直轴电感 (mH)
新结构
传统结构
0
72
144
216
288
360
转子位置角(elec. deg)

图4

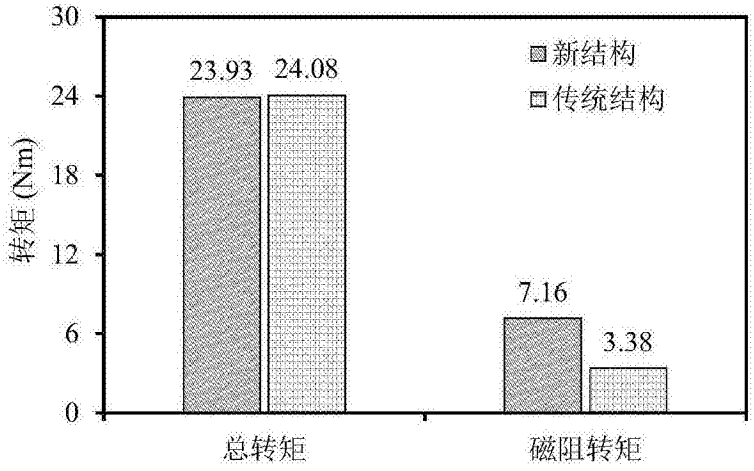

30
24
18
12
6
0
转矩 (Nm)
23.93
24.08
7.16
3.38
新结构
传统结构
总转矩
磁阻转矩

图5

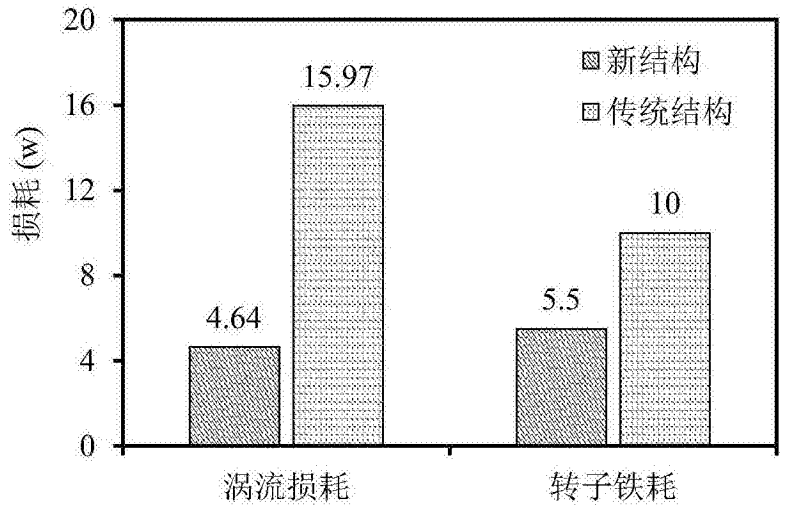


图6