



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107222075 A

(43)申请公布日 2017.09.29

(21)申请号 201710605179.7

(22)申请日 2017.07.24

(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 杜悛 卢伟 肖凤 朱孝勇 张超  
左月飞 全力

(51)Int.Cl.

H02K 16/04(2006.01)

H02K 1/14(2006.01)

H02K 1/17(2006.01)

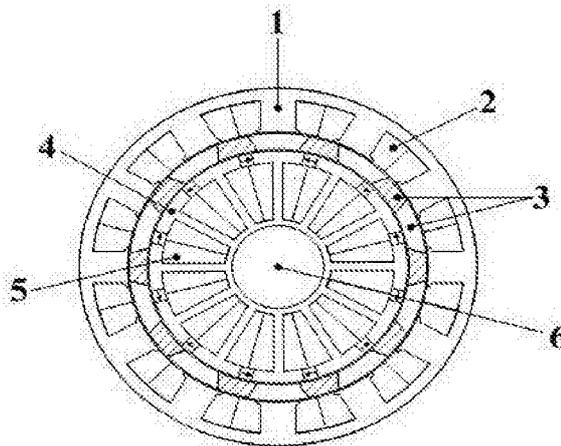
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

## (54)发明名称

一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机

## (57)摘要

本发明公开一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机,中间转子同轴装在外定子和内定子中间,内定子的内定子轭沿圆周方向均匀布置12个T型齿,T型齿上套有励磁绕组,T型齿的齿顶部靠近中间转子,相邻两个T型齿之间形成内定子槽。每两个T型齿的齿顶部之间固定嵌有一块弧形的永磁体,永磁体切向充磁且相邻两块永磁体的充磁方向相反,永磁体的内、外径分别与T型齿的齿顶部的内、外径相等;励磁绕组绕制于内定子T型齿竖置部分,进而形成与永磁磁场并联的电励磁磁场,避免电励磁磁场对永磁体产生退磁作用,向励磁绕组通入不同方向的直流电流时,电励磁磁场与永磁磁场相互作用,实现增磁或弱磁调节。



1. 一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机,包括外定子(1)、中间转子(3)和内定子(4),中间转子(3)同轴装在外定子(1)和内定子(4)中间,其特征是:内定子(4)的内定子轭(13)沿圆周方向均匀布置12个T型齿(14),T型齿(14)上套有励磁绕组(12),T型齿(14)的齿顶部为圆弧形且靠近中间转子(3),相邻两个T型齿(14)之间形成内定子槽(5),每两个T型齿(14)的齿顶部之间固定嵌有一块圆弧形的永磁体(15),永磁体(15)切向充磁且相邻两块永磁体(15)的充磁方向相反,永磁体(15)的内、外径分别与T型齿(14)的齿顶部的内、外径相等且圆心重合。

2. 根据权利要求1所述的一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机,其特征是:内定子轭(13)的径向长度是0.5~1mm,永磁体(15)的外壁弧长与永磁体(15)的径向长度的比值是0.2~0.3,永磁体(15)的径向长度与内定子(4)的径向长度的比值是0.2~0.25。

3. 根据权利要求1所述的一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机,其特征是:外定子(1)由外定子轭(11)、12个外定子齿(10)和12个外定子槽(2)组成,外定子轭(11)沿圆周方向均匀布置12个外定子齿(10),相邻两个外定子齿(10)之间形成外定子槽(2),外定子齿(10)上套有电枢绕组(7);所述12个外定子齿(10)和所述12个T型齿(14)在径向上分别一一对齐,具有相同的中心线。

4. 根据权利要求1所述的一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机,其特征是:中间转子(3)由10个调磁块(9)和10个非导磁材料块(8)沿圆周方向交错连接组成。

5. 根据权利要求3所述的一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机,其特征是:电枢绕组(7)的极对数为4,永磁体(15)的极对数为6。

## 一种具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电工和电机领域,具体是一种混合励磁永磁电机,适用于电动汽车等具有高转矩密度、宽调速范围需求的应用场合。

### 背景技术

[0002] 传统永磁电机具有高效率、高转矩和高功率密度等优点,广泛应用于电动汽车、风力发电等新能源领域,但由于稀土资源的战略性地位与不可控的恒定励磁磁场,使传统永磁电机在相关领域的发展受到了严重阻碍。因此,降低电机稀土永磁体用量和实现恒功率区的宽调速已成为了永磁电机的技术目标。

[0003] 混合励磁电机是同时具有电励磁绕组和永磁体两种磁源的电机。中国专利公开号为CN105391266A的文献中提出了一种H型铁心混合励磁磁通切换电机,该电机采用H型铁心结构,公共磁路上的励磁磁场与永磁磁场方向相反,减小了公共磁路磁阻,从而提高励磁电流的利用率、系统的效率以及输出功率。但是该电机以牺牲永磁体体积为代价,进而降低了其转矩密度和功率密度。

[0004] 中国专利公开号为CN102820755A的文献中提出一种三维磁路结构的混合励磁同步电机,该电机的励磁绕组置于电机转子端部,励磁磁场通过旋转的导磁桥进入转子,进而实现励磁磁场和永磁磁场的叠加。借助于旋转导磁桥的作用实现混合励磁同步电机无刷化。然而,该电机具有的三维磁路结构,增加了电机设计、分析和制造的难度。中国专利公开号为CN106385153A的文献中提出了一种混合励磁电机,转子结构简单,运行可靠稳定,直流励磁绕组套设在定子齿部,并可以根据运行需要改变励磁电流方向,实现对总励磁磁场的双向调节,具有较好的调磁能力。然而,由于该电机所有磁源均位于定子,不可避免地带来空间上的矛盾和散热困难等问题。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提出了一种结构简单、提高电机的空间利用率、改善电机功率密度和转矩密度的具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机。

[0006] 本发明的具体技术方案为:包括外定子、中间转子和内定子,中间转子同轴装在外定子和内定子中间,内定子的内定子轭沿圆周方向均匀布置12个T型齿,T型齿上套有励磁绕组,T型齿的齿顶部靠近中间转子,相邻两个T型齿之间形成内定子槽。每两个T型齿的齿顶部之间固定嵌有一块弧形的永磁体,永磁体切向充磁且相邻两块永磁体的充磁方向相反,永磁体的内、外径分别与T型齿的齿顶部的内、外径相等。

[0007] 进一步地,内定子轭的径向长度是0.5~1mm,永磁体的外壁弧长与永磁体的径向长度的比值是0.2~0.3,永磁体的径向长度与内定子的径向长度的比值是0.2~0.25。

[0008] 进一步地,外定子由外定子轭、12个外定子齿和12个外定子槽组成,外定子轭沿圆周方向均匀布置12个外定子齿,相邻两个外定子齿之间形成外定子槽,外定子齿上套有电枢绕组;所述12个外定子齿和所述12个T型齿在径向上分别一一对齐,具有相同的中心线。

[0009] 本发明的技术效果为：

1、采用双定子结构，将永磁体、励磁绕组和电枢绕组分别置于内、外定子中，中间转子结构简单，既无永磁材料，也无绕组，解决了传统混合励磁电机各磁源安装空间相互限制的问题，提高了电机的空间利用率，进而改善电机功率密度和转矩密度，并避免了滑环、电刷的使用，便于散热。

[0010] 2、内定子采用T型模块结构，永磁体镶嵌在两个T型齿的齿靴之间，永磁体切向充磁，且相邻永磁体充磁方向相反，因此齿顶横置部分为永磁磁极；励磁绕组绕制于内定子T型齿竖置部分，进而形成与永磁磁场并联的电励磁磁场，避免电励磁磁场对永磁体产生退磁作用；向励磁绕组通入不同方向的直流电流时，电励磁磁场与永磁磁场相互作用，实现增磁或弱磁调节。

[0011] 3、设有内定子轭部导磁桥，为永磁磁场和电励磁磁场提供额外的磁场分路，有效降低励磁磁路磁阻，改善了励磁磁场调节效果，增加了电机的调磁能力。通过合理设置导磁桥宽度，可以在保证较高转矩密度同时，取得较宽的调磁范围。

[0012] 4、利用转子铁心块即调磁块对气隙励磁磁场进行调制，产生与电枢绕组极对数相同的谐波分量，实现了无刷化，避免了复杂的三维磁路结构，降低了电机设计和分析的难度。

## 附图说明

[0013] 图1为本发明具有T型铁心内定子的双定子混合励磁电机的结构示意图；

图2为图1所示电机的四分之一结构以及三相绕组分布图；

图3为图2中内定子T型模块的结构放大以及尺寸标注图；

图4为本发明局部结构展开图以及在增磁情况下的磁路示意图；

图5为本发明局部结构展开图以及在弱磁情况下的磁路示意图；

图6为本发明在励磁磁场增磁时合成磁场示意图；

图7为本发明在励磁磁场弱磁时合成磁场示意图；

图8为本发明在通入不同励磁电流下电枢绕组空载磁链波形图；

图中：1. 外定子；2. 外定子槽；3. 中间转子；4. 内定子；5. 内定子槽；6. 转轴；7. 电枢绕组；8. 非导磁材料块；9. 调磁块；10. 外定子齿；11. 外定子轭部；12. 励磁绕组；13. 内定子轭部；14. 内定子T型齿；15. 永磁体；16. 永磁体磁通；17. 电励磁磁通。

## 具体实施方式

[0014] 参见图1和图2，本发明包括外定子1、中间转子3、内定子4和转轴6。中间转子3同轴安装在外定子1和内定子4中间，与转轴6同步旋转。外定子1内壁和中间转子3外壁之间设有外气隙8-1，中间转子3内壁和内定子4外壁之间设有内气隙8-2，气隙的厚度与电机的功率等级、所选取的永磁材料以及内定子4、外定子1、中间转子3加工和装配工艺有关。

[0015] 外定子1由外定子轭11、12个外定子齿10和12个外定子槽2组成，外定子轭11沿圆周方向均匀布置12个外定子齿10，相邻两个外定子齿10之间形成外定子槽2。外定子齿10上套有集中电枢绕组7。图2中的“+”为电枢绕组7的进线方向，“-”为电枢绕组7的出线方向，A、B、C三相电枢绕组7为双层绕组，电枢绕组7的极对数为 $P=4$ 。

[0016] 中间转子3由10个调磁块9和10个非导磁材料块8沿圆周方向交错连接组成,调磁块9由硅钢片叠压而成,每两个导磁块9之间是非导磁材料块8。

[0017] 内定子4由内定子轭13、12个T型齿14、12个永磁体15和12个内定子槽5组成。内定子轭13作为本发明的导磁桥,内定子轭13沿圆周方向均匀布置12个T型齿14,T型齿14径向横截面为T型,T型齿14的齿顶部是齿靴,是圆弧形结构,齿靴靠近中间转子3,与中间转子3之间是内气隙8-2,T型齿14的底部是齿根,齿根与内定子轭13连为一体。相邻两个T型齿14之间形成内定子槽5。每两个T型齿14的齿靴之间固定嵌有一块圆弧形永磁体15,永磁体15为切向充磁,且相邻两块永磁体15的充磁方向相反,永磁体15的极对数为6。圆弧形永磁体15的内、外径分别与圆弧形T型齿14的齿靴的内、外径相等并且两个圆弧形的圆心重合。永磁体15与T型齿14的内外壁都平齐。12个外定子齿10和12个T型齿14在径向上分别一一对齐,具有相同的中心线。

[0018] 在T型齿14上套有集中式励磁绕组12,励磁方式为直流励磁。由于内定子齿采用了T型模块化设计,在加工内定子时,可以先将励磁绕组12预先绕制好后进行拼装,降低绕线难度,提高槽满率。

[0019] 外定子1、调磁块9和内定子4均采用硅钢片叠制,永磁体15材料选择钕铁硼或铁氧体等类型的永磁材料。

[0020] 参见图3,内定子4的径向长度是 $R_{ist}$ ,内定子轭13的径向长度是 $R_{yok}$ ,T型齿14的齿顶部即齿靴部分的外壁弧长是 $l_t$ ,永磁体15的外壁弧长是 $l_{pm}$ ,永磁体15的径向长度是 $R_{pm}$ ,T型齿14的最小切向宽度是 $R_w$ ,内定子槽5的径向长度是 $R_{slo}$ 。为保证在较大转矩同时取得较宽调磁范围,内定子轭13的径向长度 $R_{yok}$ 取 $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 范围之间,永磁体15的外壁弧长 $l_{pm}$ 与永磁体15的径向长度 $R_{pm}$ 的比值 $l_{pm}/R_{pm}$ 取 $0.2\sim 0.3$ 范围之间,永磁体15的径向长度 $R_{pm}$ 与内定子4的径向长度的比值 $R_{pm}/R_{ist}$ 取 $0.2\sim 0.25$ 范围之间,其中: $R_{ist}=R_{slo}+R_{pm}+R_{yok}$ , $2R_{yok}\leq R_w\leq 6R_{yok}$ ,T型齿14的外壁弧长 $l_t$ 和永磁体15的外壁弧长 $l_{pm}$ 共同构成内定子4的外弧长的 $1/12$ 。

[0021] 参见图4和图5,本发明工作时,永磁体15产生永磁磁通16-1和永磁磁通16-2,其中,永磁磁通16-1的路径如下:依次经过图4中从左至右的第二个永磁体15、第二个调磁块9、第二个外定子齿10、外定子轭11、第一个外定子齿10、第一个调磁块9回到第二个永磁体15。永磁磁通16-2的路径如下:依次经过第二个永磁体15、第二个内定子T型齿14、内定子轭13、第一个内定子T型齿14回到第二个永磁体15。励磁电流产生的电励磁磁通17的路径如下:依次经过第二个内定子T型齿14、第二个调磁块9、第二个外定子齿10、外定子轭11、第一个外定子齿10、第一个调磁块9、第一个内定子T型齿14、内定子轭13。永磁磁通16-1、永磁磁通16-2和电励磁磁通17相互并联,构成一个转子极上的总磁通。

[0022] 参见图6,永磁体15和励磁绕组12共同工作,且电励磁磁场起增磁作用,其中永磁磁通16-1与电励磁磁通17叠加,永磁磁通16-2与电励磁磁通17相抵。

[0023] 参见图7,永磁体15和励磁绕组12共同工作,且电励磁磁场起弱磁作用时,其中永磁磁通16-1与电励磁磁通17相抵,永磁磁通16-2与电励磁磁通17叠加。

[0024] 参见图8,向励磁绕组12通入不同直流电时A相的空载磁链波形,可以看出该电机电枢绕组匝链的磁链可以随励磁电流幅值和方向自由调节。

[0025] 假设以径向向上为参考正方向,以径向向下为参考负方向,当向励磁绕组12通入正向电流时,励磁磁场对气隙主磁场起增磁作用;当向励磁绕组12通入负向电流时,励磁磁

场对气隙主磁场起弱磁作用。电枢反应磁通与永磁磁通在磁路上是并联关系,降低了永磁体的去磁程度和不可逆去磁风险。

[0026] 当励磁绕组12不通电时,此时该电机为普通的永磁同步电机,由于饱和导磁桥的存在,永磁体15产生的大部分永磁磁通会穿过电枢绕组7,匝链到电枢绕组7的磁链呈正弦周期性变化。

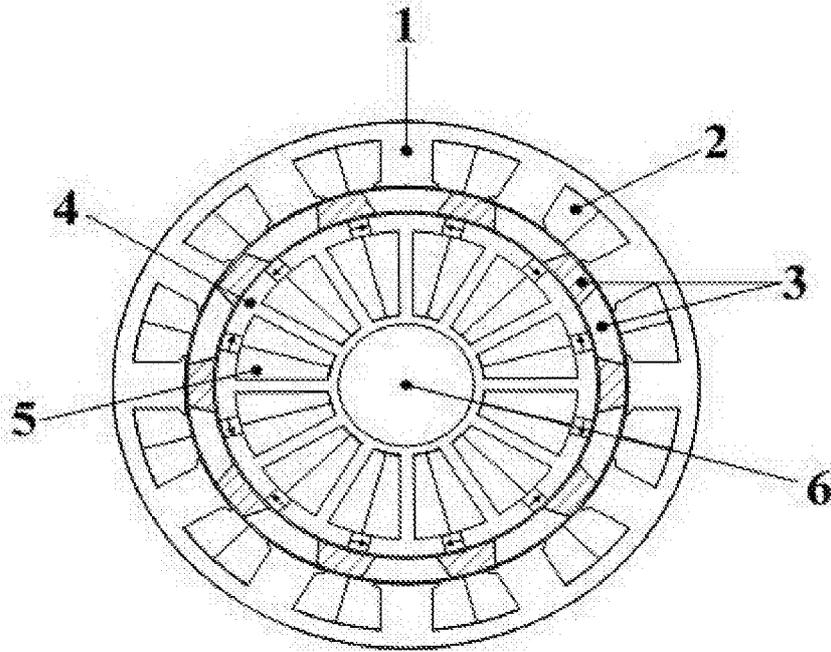


图1

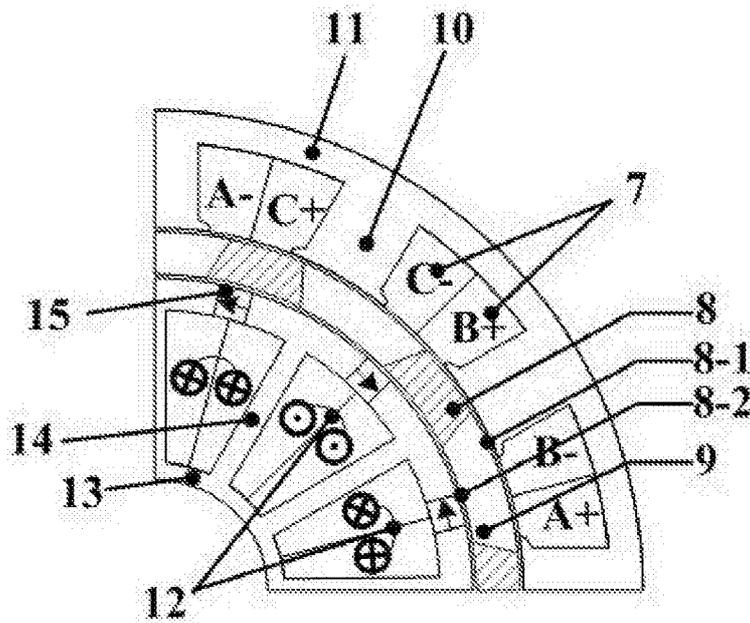


图2

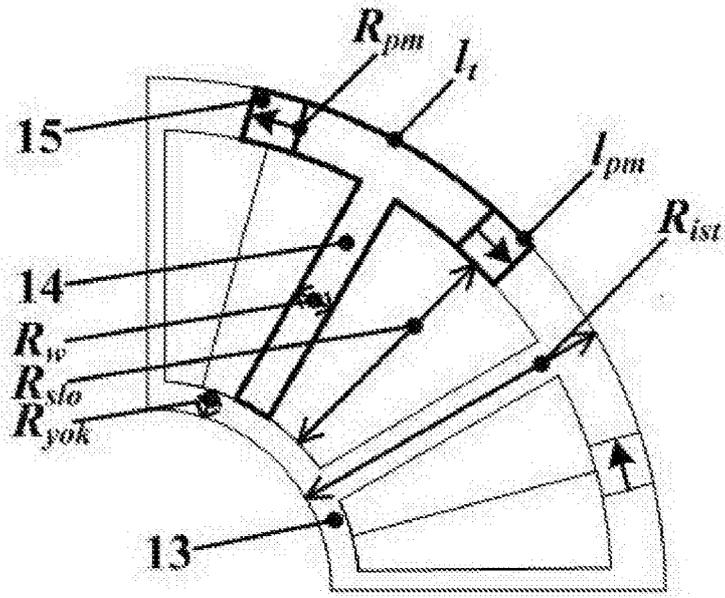


图3

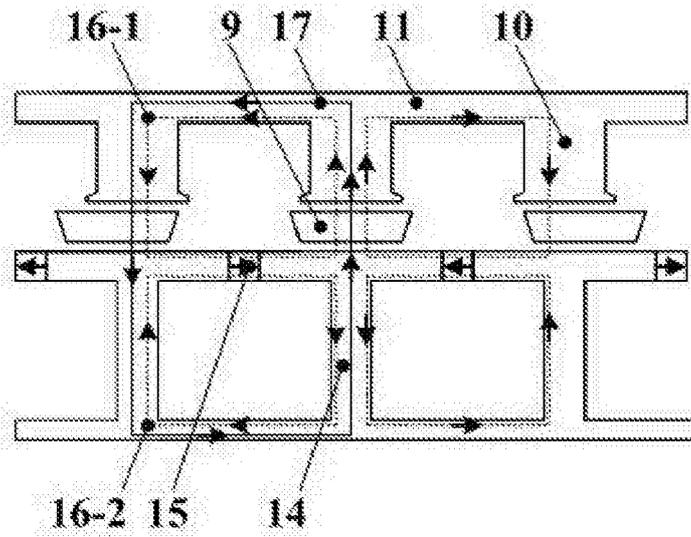


图4

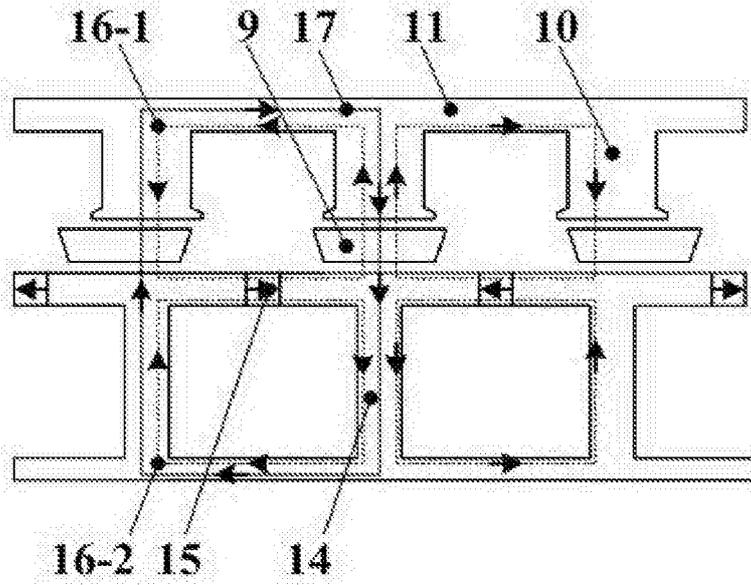


图5

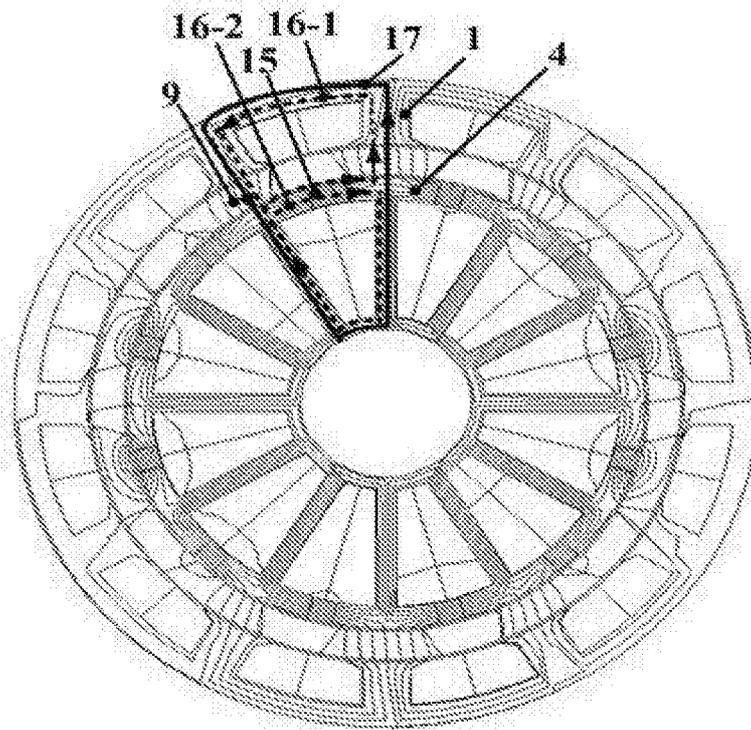


图6

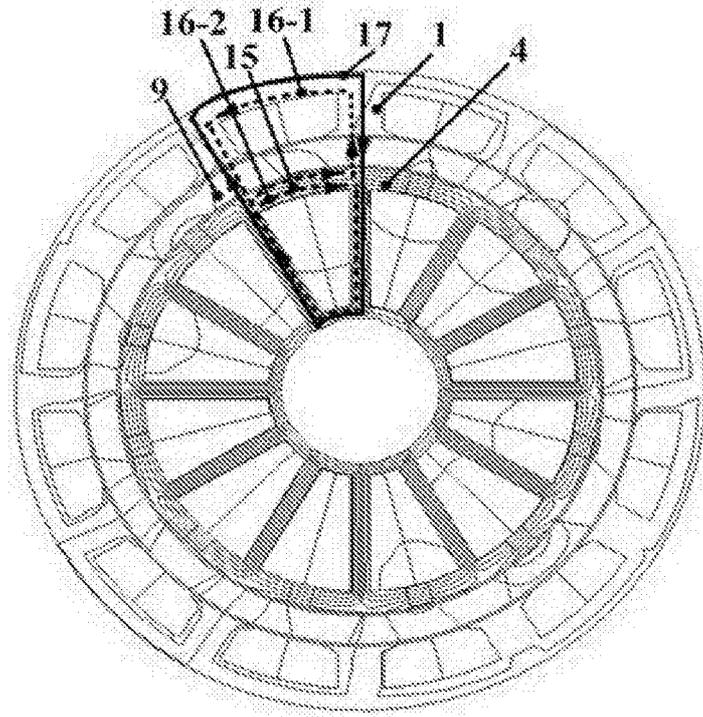


图7

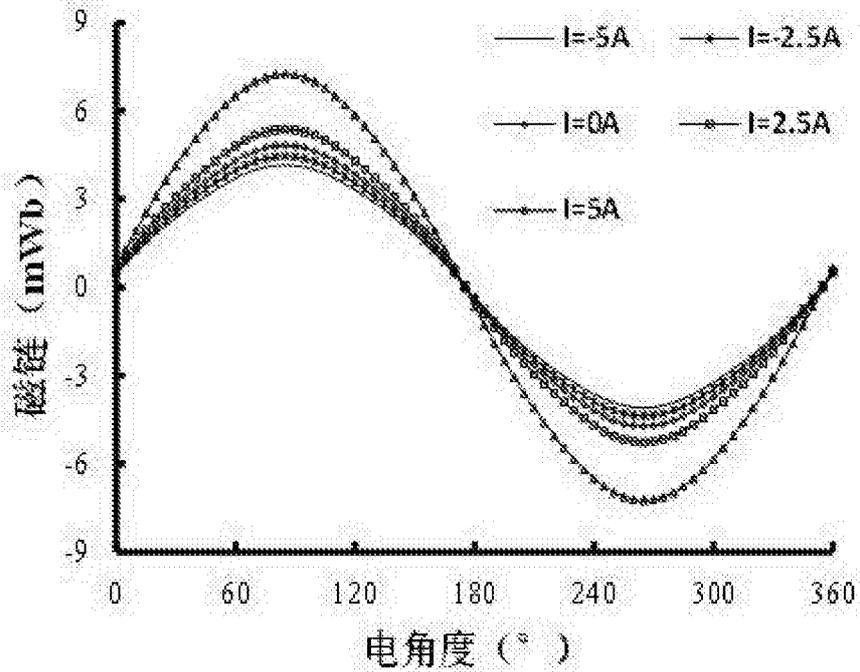


图8