



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103490583 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 01

(21) 申请号 201310418173. 0

(22) 申请日 2013. 09. 13

(71) 申请人 江西理工大学

地址 341000 江西省赣州市红旗大道 86 号

(72) 发明人 刘细平 刁艳美 左亮平 黄朝志

(74) 专利代理机构 北京科亿知识产权代理事务
所(普通合伙) 11350

代理人 汤东风

(51) Int. Cl.

H02K 37/02(2006. 01)

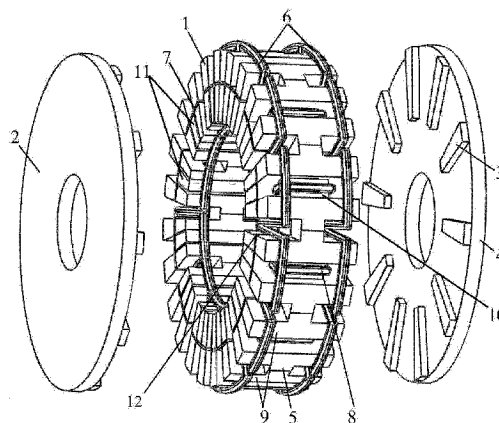
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机

(57) 摘要

一种定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,包括定子和转子,定子由内外两层“H”型单元定子铁心拼接成两个卷绕的同心圆环,隔磁环将两个同心圆环分开,电枢绕组采用集中绕组,电枢绕组缠绕在两个相邻“H”型单元定子铁心的定子齿上,永磁体成N、S极相间分布在相邻“H”型单元定子铁心中间;永磁体与定子槽均采用长方形结构;励磁支架位于永磁体正上方,由隔磁环分开,励磁绕组轴向缠绕在励磁支架上,转子采用盘式结构,包括转子磁轭及成放射状均匀固定于其表面的转子极,定子和转子同轴相连。采用隔磁环将定子分割为内外两部分,使电励磁磁路与永磁体磁路完全并联,两者磁路耦合减少,大大提高了永磁体利用率,电机效率得到明显提高。



1. 一种定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,由定子(1)和转子(2)构成,其特征在于:定子由内外两层“H”型单元定子铁心(5)拼接成两个卷绕的同心圆环,隔磁环(7)将两个同心圆环分开,电枢绕组(6)采用集中绕组,电枢绕组(6)缠绕在两个相邻“H”型单元定子铁心(5)的定子齿(9)上,永磁体(11)成N、S极相间分布在相邻“H”型单元定子铁心(5)中间,永磁体(11)切向充磁;永磁体(11)与定子槽(12)均采用长方形结构;励磁支架(10)位于永磁体(11)正上方,由隔磁环分开,励磁绕组(8)轴向缠绕在励磁支架(10)上,转子(2)采用盘式结构,包括转子磁轭(4)及成放射状均匀固定于其表面的转子极(3),定子和转子同轴相连。

2. 根据权利要求1所述的定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,其特征在于:隔磁环(7)将定子铁心分为内外磁路相互独立的两部分,电励磁磁路与永磁磁路处于完全并列状态。

3. 根据权利要求1所述的定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,其特征在于:所述隔磁环(7)厚度为6-8mm。

4. 根据权利要求1所述的定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,其特征在于:“H”型单元定子铁心(5)个数与定子极数之比为2:1,定子极数与转子极数之比为6:5。

5. 根据权利要求1所述的定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,其特征在于:所述转子极(3)采用附加齿斜角结构。

6. 根据权利要求1所述的定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,其特征是:所述电机中有 $6a$ 个由励磁绕组(8)和励磁支架(10)组成的电励磁单元,且电励磁磁通不受永磁磁通影响, a 为正整数。

7. 根据权利要求1所述的定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,其特征是:电枢绕组(6)在径向平面上呈环形排列,且具有非重叠性,两套电枢绕组在轴向完全对称。

定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机

技术领域

[0001] 本发明涉及一种定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,属于电机制造的技术领域。

背景技术

[0002] 磁通切换永磁电机是一种定子永磁型电机,转子上既无永磁体又无绕组,结构简单;随着转子位置的变化,磁通能够自动切换路径,以致定子绕组内磁链的大小和方向均发生变化,从而产生交变的感应电动势。此类电机具有体积小、重量轻、工作可靠、冷却方便、高功率密度以及效率较高等优点。然而因其磁场不能调节,使此类电机在作为发电机及电动机使用时受到限制。

[0003] 混合励磁电机是一类磁通可控型永磁同步电机,不仅继承了永磁电机的诸多优点,且磁场可灵活调节,特别适合于恒压发电和恒功率宽调速驱动等场合。近年来,经过国内外电机专家的不断努力,相继提出了磁极分割式、爪极式、组合转子式、并列结构式、磁分路式等多种拓扑结构的混合励磁电机,并取得了一定的研究成果。然而以上几种混合励磁电机的永磁体均位于转子上,属于转子永磁型混合励磁电机,往往需要对转子采取特别的辅助措施,如安装不锈钢紧圈等来固定永磁体,转子结构复杂,且电机冷却条件差,散热困难,而较高的温升可能导致永磁体产生不可逆退磁,限制电机出力,降低电机功率密度等,制约了此类电机的性能进一步提高。

[0004] 随着风力发电、石油开采、汽车及电梯驱动等产业的迅猛发展,很多场合需要高效率低速运行的电机,此时轴向磁通电机相比于传统径向磁通电机更具优势,如转子铁心利用率高(95%以上)、散热性好、轴向尺寸短、结构紧凑、重量轻、体积小等。轴向磁通电机可设计有较多的极对数以满足低速运行的需要,并可获得更大的起动转矩和更高的功率密度。国内外科研机构对该类电机进行了深入的研究与开发,例如,国外学者研究了汽车用无铁心发电机,风力发电机、电动车辆用车轮电机、电梯驱动用电机、船舶驱动用电机等,并成功研制了额定转速为 1000r/min 的无铁心轴向磁通发电机、1.6kW 集中绕组轴向磁通永磁风力发电机、转速为 185r/min 功率为 4.1kW 的小型电动客车车轮电机,电梯驱动用 5kW、额定转速为 95r/min 的双转子轴向磁通盘式永磁电动机、船舶用小型双转子盘式永磁电动机等;国内学者研究了基于 Halbach 阵列盘式无铁心永磁同步电机、轴向磁场磁通切换永磁电机、盘式车轮永磁电机、新型抽油机用盘式永磁电机、盘式永磁同步发电机等,取得了丰富的理论和应用研究成果。

[0005] 申请号 200910186156.2 的双转子轴向磁通切换型混合励磁同步发电机公开了一种永磁体位于定子上的轴向磁通切换型混合励磁电机,然而其励磁绕组直接缠绕在永磁体表面,永磁磁势与电励磁磁势呈串联状态,此电机在工作时,励磁绕组中电流产生的热量将导致永磁体温度升高,从而使永磁体存在不可逆退磁的风险,此外,由于电励磁磁路中包括永磁磁阻,因此,为产生一定的电励磁磁通,需要更多的励磁安匝数,导致励磁损耗增加,发热加剧,电机运行效率进一步降低。且其电机中永磁体、定子槽、转子极均采用相同极弧宽

度的扇形结构,永磁体利用率相对较低。

发明内容

[0006] 为解决上述现有技术存在的问题,融合磁通切换型和轴向磁通型永磁电机各自优势,并使之具有较好的磁通调节能力,本发明提出一种改进的、高功率密度、调磁范围较为宽广、磁路相互独立的定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机。

[0007] 为达到上述目的,本发明的技术方案为:

[0008] 一种定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,由定子1和转子2构成,其特征在于:定子由内外两层“H”型单元定子铁心5拼接成两个卷绕的同心圆环,隔磁环7将两个同心圆环分开,电枢绕组6采用集中绕组,电枢绕组6缠绕在两个相邻“H”型单元定子铁心5的定子齿9上,永磁体11成N、S极相间分布在相邻“H”型单元定子铁心5中间,永磁体11切向充磁;永磁体11与定子槽12均采用长方形结构;励磁支架10位于永磁体11正上方,由隔磁环分开,励磁绕组8轴向缠绕在励磁支架10上,转子2采用盘式结构,包括转子磁轭4及成放射状均匀固定于其表面的转子极3,定子和转子同轴相连。

[0009] 所述隔磁环7将定子铁心分为内外磁路相互独立的两部分,电励磁磁路与永磁磁路处于完全并列状态。

[0010] 所述隔磁环7厚度为6-8mm。

[0011] 所述“H”型单元定子铁心5个数与定子极数之比为2:1,定子极数与转子极数之比为6:5。

[0012] 所述转子极3采用附加齿斜角结构。

[0013] 所述电机中有6a个由励磁绕组8和励磁支架10组成的电励磁单元,且电励磁磁通不受永磁磁通影响,a为正整数。

[0014] 所述电枢绕组6在径向平面上呈环形排列,且具有非重叠性,两套电枢绕组在轴向完全对称。

[0015] 相对于现有技术,本发明的有益效果为:由于直流励磁绕组置于由永磁体和“H”型单元定子铁心所形成的区域内,空间利用率高,结构紧凑;同时,因励磁绕组轴向缠绕在励磁支架上,降低了永磁体退磁的风险,励磁线圈长度大大缩短,且绕组端部较小,致使励磁绕组电阻小,励磁损耗减小,电机效率得以提高;而彼此相互独立的电励磁和永磁磁工作磁路可进一步减小励磁损耗,提高电机工作效率。

[0016] 定子采用“H”型单元定子铁心结构,可大大简化制造工艺。定子铁心由隔磁环将其分为相互独立的两部分,既可避免永磁体退磁的风险,又可防止永磁磁通通过励磁支架形成短路。当无隔磁材料时,定子铁心为一整体,永磁磁通通过定子铁心及励磁支架形成短路,因此定子铁心中的磁密较大,励磁支架中磁密甚至达到饱和。本发明通过用隔磁环将定子铁心分为内外两半部分,定子铁心中的磁力线分布发生明显变化,外半部分定子铁心磁密明显减小,当隔磁块厚度选取合适时,外半部分定子铁心中的磁密减小至几乎为零。且隔磁块厚度对电机漏磁系数有很大的影响作用,隔磁块太薄,漏磁通相对较多,漏磁系数大,隔磁块太厚,漏磁通较少,漏磁系数小,但电机体积相对较大。

[0017] 长方形结构的永磁体可避免永磁体采用扇形结构时上宽下窄而导致磁动势不均匀的缺点,能够有效提高永磁体利用率;定子槽采用长方形结构较之前扇形结构槽口宽度

减小,可降低齿槽转矩;同时,由于永磁体与定子槽的形状改变使定子齿部分横截面积增大,磁阻减小,进一步增大了线圈磁通,提高了感应电动势。

[0018] 转子采用盘式结构,无绕组,结构简单,可靠性高;此外,电机热负荷较低,散热性较好,可进一步降低电机的热损耗,提高电机的效率。转子极采用附加齿斜角结构可增加与定子齿相对重合面积,为磁路提供更小的磁阻,提高感应电动势。

[0019] 控制励磁电流的大小和方向可实现气隙磁场的自由调节,而且可根据实际需要合理安排永磁体和励磁绕组所占空间比例,在保证电机基本功率的基础上,实现所需的气隙磁场强度、电压/转速调节范围,灵活性好。

[0020] 本发明通过将永磁体设计在定子上,使电机成为一种定子永磁型发电机;而相对于转子永磁型电机,为防止电机旋转时造成永磁体损坏的现象,需要对永磁体采取加固的一些措施,定子永磁型发电机就不需考虑这种情况,从而可减小电机的体积,电机的功率密度可得到一定程度的提高。

[0021] 综上所述,本发明由于在永磁体上方增加了励磁支架结构,减小了电励磁损耗,且采用了隔磁环结构,将定子分割为内外两部分,使电励磁磁路与永磁体磁路完全并联,降低了永磁体退磁的风险,并使两者磁路耦合减少,大大提高了永磁体利用率,电机效率得到有效提高。同时,永磁体、定子槽均为长方形与转子极附加齿斜角结构能进一步提高永磁体利用率,减小磁路磁阻,因而提高感应电动势,降低齿槽转矩。本发明充分结合了轴向磁通切换的原理、定子铁心分割和励磁绕组安置在定子上及转子上无任何绕组的结构,可成功解决磁通切换型永磁电机气隙磁场调节困难的缺陷,且调磁效果可根据需要进行调节,因此可有效地提高输出电压的稳定性或拓宽电机的调速范围。本发明是一种结构简单、效率较高和调磁效果明显的新型混合励磁电机。

附图说明

[0022] 图 1 是定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机结构图;

[0023] 图 2 是电枢绕组中磁链、感应电动势与电流的理想波形;

[0024] 图 3a 是无隔磁环时定子铁心磁密分布图;

[0025] 图 3b 是有隔磁环(即定子分割)时定子铁心磁密分布图。

[0026] 图 4 为隔磁环厚度与漏磁系数关系图。

[0027] 其中:定子 1,转子 2,转子极 3,转子磁轭 4,“H”型单元定子铁心 5,电枢绕组 6,隔磁环 7,励磁绕组 8,定子齿 9,励磁支架 10,永磁体 11,定子槽 12。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本发明做进一步详细说明:

[0029] 如图 1 所示,

[0030] 一种定子分割式轴向磁通切换型混合励磁同步电机,由定子 1 和转子 2 构成,其特征在于:定子由内外两层“H”型单元定子铁心 5 拼接成两个卷绕的同心圆环,隔磁环 7 将两个同心圆环分开,电枢绕组 6 采用集中绕组,电枢绕组 6 缠绕在两个相邻“H”型单元定子铁心 5 的定子齿 9 上,永磁体 11 成 N、S 极相间分布在相邻“H”型单元定子铁心 5 中间,永磁体 11 切向充磁;永磁体 11 与定子槽 12 均采用长方形结构;励磁支架 10 位于永磁体 11 正

上方,由隔磁环分开,励磁绕组 8 轴向缠绕在励磁支架 10 上,转子 2 采用盘式结构,包括转子磁轭 4 及成放射状均匀固定于其表面的转子极 3,定子和转子同轴相连。

[0031] 所述隔磁环 7 将定子铁心分为内外磁路相互独立的两部分,电励磁磁路与永磁磁路处于完全并列状态。

[0032] 所述隔磁环 7 厚度为 6-8mm。

[0033] 所述“H”型单元定子铁心 5 个数与定子极数之比为 2:1,定子极数与转子极数之比为 6:5。

[0034] 所述转子极 3 采用附加齿斜角结构。

[0035] 所述电机中有 6a 个由励磁绕组 8 和励磁支架 10 组成的电励磁单元,且电励磁磁通不受永磁磁通影响,a 为正整数。

[0036] 所述电枢绕组 6 在径向平面上呈环形排列,且具有非重叠性,两套电枢绕组在轴向完全对称。

[0037] 所述永磁体 11 为钕铁硼永磁材料。

[0038] 所述励磁支架 10 由导磁材料制成。

[0039] “H”型单元定子铁心 5 和转子 2 采用卷绕式硅钢片,可以轴向和周向导磁,材料可选用 0.5mm 厚 50W470 冷轧无取向硅钢片。

[0040] 隔磁环 7 由不导磁材料制成,可采用不锈钢材料。

[0041] 永磁体 11 直接粘贴在相邻的“H”型单元定子铁心 5 之间,电机的两个转子 2 轴向完全对齐,且对称地分布在定子的两侧,定子 1 和转子 2 同轴安装,通过轴承柔性连接。

[0042] 图 1 中,“H”型单元定子铁心数为 24,定子极数为 12,转子齿数为 10,转子极数为 10。

[0043] 此外,从提高电机气隙磁密和永磁体的热稳定性考虑,选择具有较高内禀矫顽力和剩磁密度的钕铁硼永磁材料作为电机永磁体的材料。

[0044] 本发明电机具体工作原理如下:

[0045] 无励磁电流时,电机可看成为一台轴向磁通切换型永磁电机,气隙磁场主要由内层铁心中散嵌着的永磁体 11 建立,根据电机磁路磁阻最小的原则,电机工作于磁通切换状态,绝大部分磁通由永磁体 11N 极出发,经内半部分“H”型单元定子铁心 5、气隙、转子齿 9、转子磁轭 4、相邻的转子齿 9、气隙、相邻的内半部分“H”型单元定子铁心 5,再回到永磁体 S 极。这部分磁通参与电机的能量转换,为电机的主磁通。当转子 2 转过相邻的两个“H”型单元定子铁心 5 时,从磁路的角度看,磁通切换电机磁路经历一个周期,此时穿过电枢绕组 6 的磁通也经历一个周期,分别为磁通穿出电枢绕组 6 和磁通进入电枢绕组 6,因此,电枢绕组 6 中的感应电动势也变化一个周期,如图 2 所示。

[0046] 当施加励磁电流时,电励磁工作磁路与永磁体 11 单独工作时的磁通路径基本相同,不同之处在于:永磁体 11 磁通经过内层铁心构成磁路;电励磁磁通经过外层铁心构成磁路。两者工作磁路完全相互独立。当励磁电流大于零时,电机合成气隙磁场增强,电枢绕组匝链的有效磁链增多,感应电动势也相应提高,此时,励磁电流对永磁体 11 起增磁作用;同理,当励磁电流小于零时,电机合成气隙磁场被削弱,电枢绕组 6 匝链的有效磁链减少,绕组感应电动势也相应降低,此时,励磁电流对永磁体 11 起弱磁作用。

[0047] 由于直流励磁绕组置于由永磁体 11 和“H”型单元定子铁心 5 所形成的区域内,空

间利用率高,结构紧凑;同时,因励磁绕组轴向缠绕在励磁支架 10 上,降低了永磁体退磁的风险,励磁线圈长度大大缩短,且绕组端部较小,致使励磁绕组 8 电阻小,励磁损耗减小,电机效率得以提高;而彼此相互独立的电励磁和永磁磁工作磁路可进一步减小励磁损耗,提高电机工作效率。

[0048] 定子采用“H”型单元定子铁心结构,可大大简化制造工艺。定子铁心由隔磁环 7 将其分为相互独立的两部分,既可避免永磁体退磁的风险,又可防止永磁磁通通过励磁支架形成短路。当无隔磁材料时,定子铁心为一整体,永磁磁通通过定子铁心及励磁支架形成短路,因此定子铁心中的磁密较大,励磁支架中磁密甚至达到饱和,如图 3a 所示。本发明通过用隔磁块将定子铁心分为内外两半部分,定子铁心中的磁力线分布发生明显变化,外半部分定子铁心磁密明显减小,当隔磁块厚度选取合适时,外半部分定子铁心中的磁密减小至几乎为零,如图 3b 所示。且隔磁块厚度对电机漏磁系数有很大的影响作用,隔磁块太薄,漏磁通相对较多,漏磁系数大,隔磁块太厚,漏磁通较少,漏磁系数小,但电机体积相对较大。

[0049] 表 1 隔磁块厚度对电机漏磁系数的影响

[0050]	隔磁块厚度 (H_{geci}/mm)	0	2	4	6	8	10
	总磁通 (Φ_{pm}/mWb)	0.4477	0.4096	0.3775	0.3651	0.3606	0.3526
	主磁通 (Φ_{σ}/mWb)	0.2179	0.2171	0.2578	0.2834	0.3009	0.3071
	漏磁系数	2.054	1.886	1.464	1.288	1.198	1.148
	隔磁块厚度 (H_{geci}/mm)	12	14	16	18	20	22
	总磁通 (Φ_{pm}/mWb)	0.3502	0.3498	0.3491	0.3482	0.3479	0.3479
	主磁通 (Φ_{σ}/mWb)	0.3153	0.3223	0.3274	0.3307	0.3341	0.3366
	漏磁系数	1.111	1.085	1.066	1.053	1.041	1.033

[0051] 表 1 与图 4 为漏磁系数对应隔磁块厚度之间的计算数据。漏磁系数随着厚度的增加而减小,当隔磁块厚度从 0 增加至 8mm 时,漏磁系数减小较明显,隔磁块厚度继续增加时漏磁系数变化较小。因此隔磁块厚度为 6 ~ 8mm 较为合适。

[0052] 永磁体 11 采用长方形结构可避免因扇形结构上宽下窄导致的磁动势不均匀,可有效提高永磁体利用率;定子槽 12 采用长方形结构较之前扇形结构槽口宽度减小,可降低齿槽转矩;且由于永磁体 11 与定子槽 12 的形状改变使定子齿 9 横截面积增大,使磁路中磁阻减小,进一步增加了电枢绕组 6 中匝链的磁通,提高了感应电动势。

[0053] 转子采用盘式结构,无绕组,结构简单,可靠性高;此外,电机热负荷较低,散热性较好,可进一步降低电机的热损耗,提高电机的效率。转子极 3 采用附加齿斜角结构可增加与定子齿 9 相对重合面积,为磁路提供更小的磁阻,提高感应电动势。

[0054] 控制励磁电流的大小和方向可实现气隙磁场的自由调节,而且可根据实际需要合理安排永磁体和励磁绕组所占空间比例,在保证电机基本功率的基础上,实现所需的气隙磁场强度、电压 / 转速调节范围,灵活性好。

[0055] 本发明通过将永磁体设计在定子上,使电机成为一种定子永磁型发电机;而相对于转子永磁型电机,为防止电机旋转时造成永磁体损坏的现象,需要对永磁体采取加固的一些措施,定子永磁型发电机就不需考虑这种情况,从而可减小电机的体积,电机的功率密度可得到一定程度的提高。

[0056] 综上所述,本发明由于在永磁体上方增加了励磁支架结构,减小了电励磁损耗,且采用了隔磁环结构,将定子分割为内外两部分,使电励磁磁路与永磁体磁路完全并联,降低了永磁体退磁的风险,并使两者磁路耦合减少,大大提高了永磁体利用率,电机效率得到有效提高。且永磁体、定子槽均为长方形与转子极附加齿斜角结构能进一步提高永磁体利用率,减小磁路磁阻,因而提高感应电动势,降低齿槽转矩。本发明充分结合了轴向磁通切换的原理、定子铁心分割和励磁绕组安置在定子上及转子上无任何绕组的结构,可成功解决磁通切换型永磁电机气隙磁场调节困难的缺陷,且调磁效果可根据需要进行调节,因此可有效地提高输出电压的稳定性或拓宽电机的调速范围。本发明是一种结构简单、效率较高和调磁效果明显的新型混合励磁电机。

[0057] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何不经过创造性劳动想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

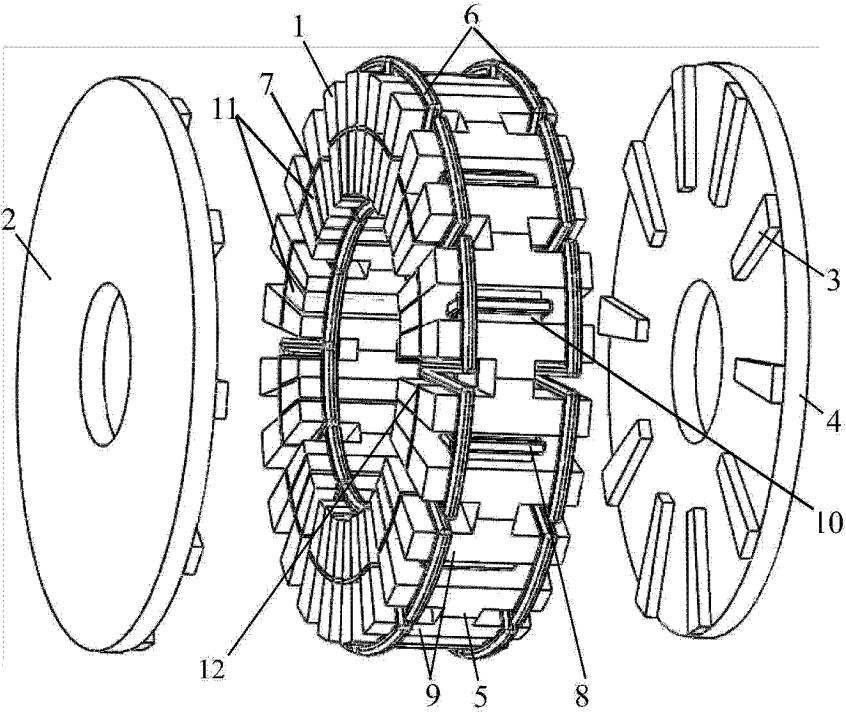


图 1

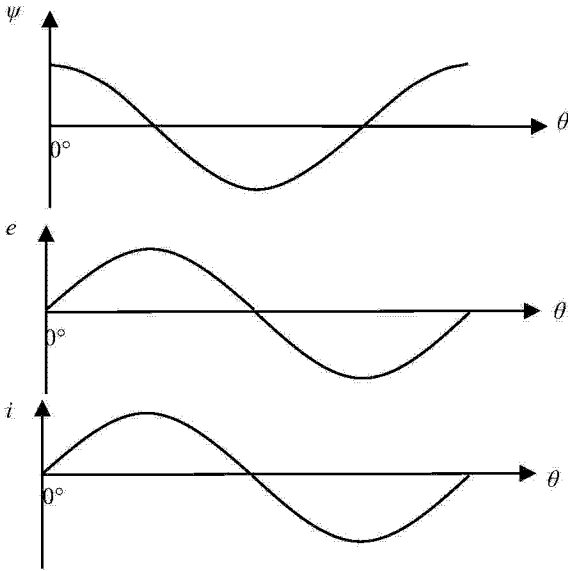


图 2

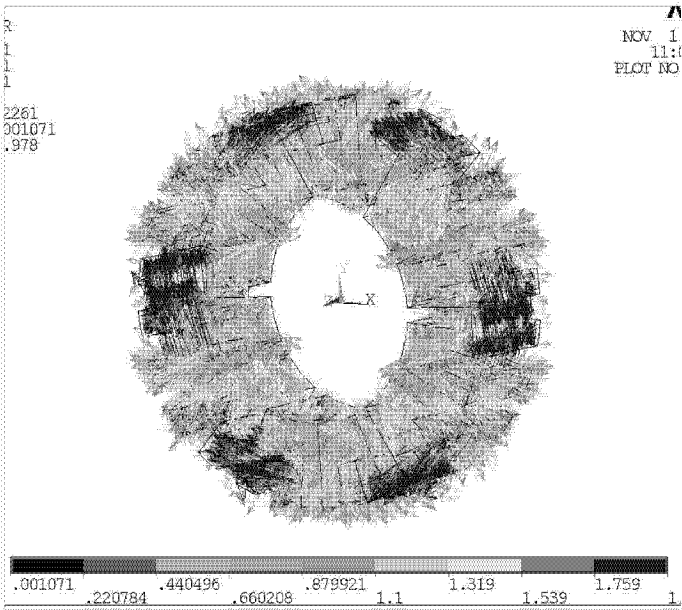


图 3a

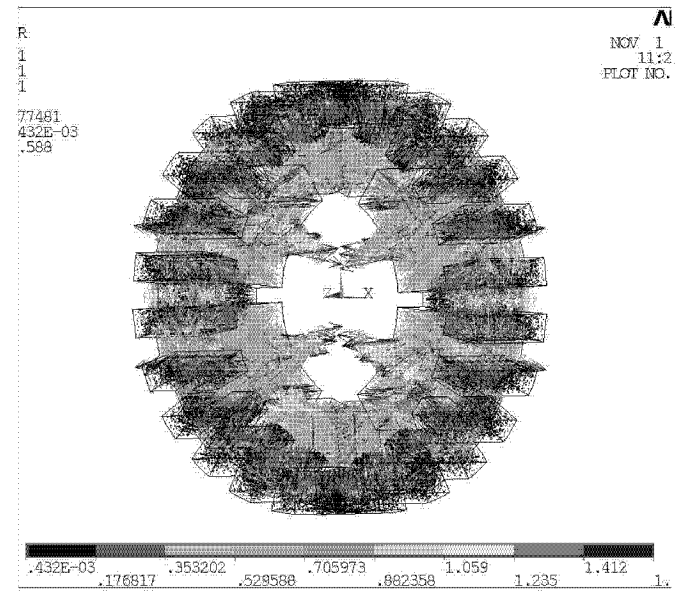


图 3b

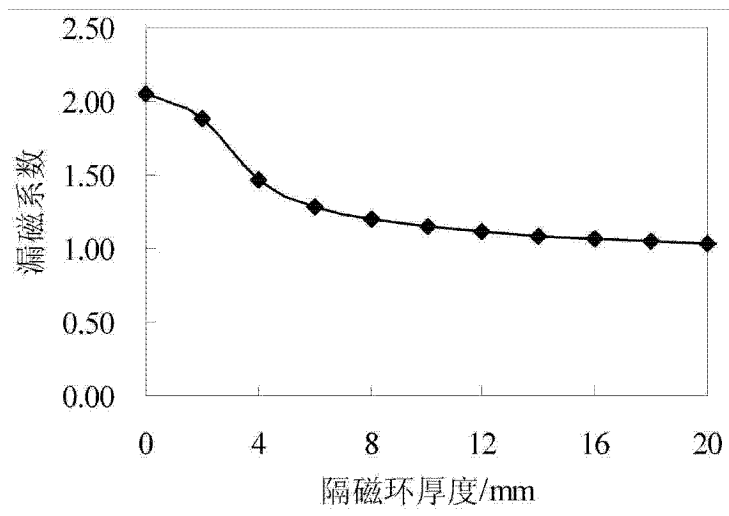


图 4