



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111181266 A

(43)申请公布日 2020.05.19

(21)申请号 202010025223.9

(22)申请日 2020.01.10

(71)申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 王凯 李烽 刘章麒 孙海阳
张琳 张国豪

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 施昊

(51)Int.Cl.

H02K 1/17(2006.01)

H02K 1/14(2006.01)

H02K 1/24(2006.01)

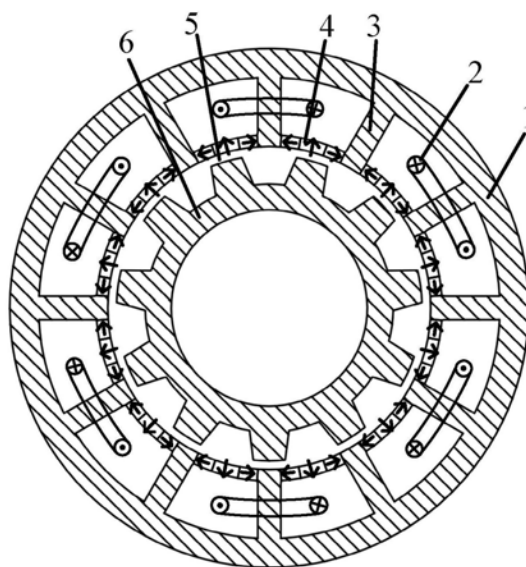
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种直流偏置型磁通反向永磁电机

(57)摘要

本发明公开了一种直流偏置型磁通反向永磁电机,包括永磁型定子和凸极铁芯转子,永磁型定子与凸极铁芯转子之间形成独立的气隙,永磁型定子包括定子轭部和若干定子齿,定子轭部与若干定子齿形成若干定子槽,定在槽内放置电枢绕组,电枢绕组中注入偏置的直流电流,每个定子槽的槽口处均设置有永磁体,所述永磁体与相邻定子齿形成一对磁极,各定子槽槽口处的永磁体数量和充磁方式均相同。本发明可以实现定子电枢绕组多谐波同时工作,通过控制注入直流电流正负实现电机磁场调节,非常适合风力发电、电动车等大功率需求场合。



1. 一种直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:包括永磁型定子和凸极铁芯转子,永磁型定子与凸极铁芯转子之间形成独立的气隙,永磁型定子包括定子轭部和若干定子齿,定子轭部与若干定子齿形成若干定子槽,定在槽内放置电枢绕组,电枢绕组中注入偏置的直流电流,每个定子槽的槽口处均设置有永磁体,所述永磁体与相邻定子齿形成一对磁极,各定子槽槽口处的永磁体数量和充磁方式均相同。

2. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:每个定子槽的槽口处均设置有若干块彼此紧贴且以Halbach方式充磁的永磁体。

3. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:所述电枢绕组为m相, $m \geq 3$ 。

4. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:所述电枢绕组采用集中绕组。

5. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:所述电枢绕组采用隔齿绕的绕制方式且一个定子齿上仅有一套电枢绕组。

6. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:所述永磁体采用钕铁硼永磁体或铁氧体永磁体。

7. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:定子永磁磁场经过凸极铁芯转子调制后产生的谐波与电枢绕组中注入直流电流产生的磁场经凸极铁芯转子调制后产生的谐波具有不同的极对数,这两个不同极对数的磁场均能够与电枢绕组谐波相互作用实现机电能量转换。

8. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:通过控制电枢绕组注入的直流电流的正负方向实现电机多谐波工作,即实现电机的增磁和弱磁调节。

9. 根据权利要求1所述直流偏置型磁通反向永磁电机,其特征在於:若电枢绕组为三相电枢绕组,则电枢绕组的三相电流如下式所示:

$$I_{A1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi) + I_{dc}$$

$$I_{A2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi) - I_{dc}$$

$$I_{B1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi - 2\pi / 3) + I_{dc}$$

$$I_{B2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi - 2\pi / 3) - I_{dc}$$

$$I_{C1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi + 2\pi / 3) + I_{dc}$$

$$I_{C2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi + 2\pi / 3) - I_{dc}$$

其中, I_{A1+} 和 I_{A2-} 分别为A相正线圈和负线圈的正弦电流,和 I_{B2-} 分别为B相正线圈和负线圈的正弦电流, I_{C1+} 和 I_{C2-} 分别为C相正线圈和负线圈的正弦电流, I_{\max} 为三相正弦电流的最大值, ω_e 为交流电频率, φ 为电流初始相位角,t为时间, I_{dc} 为注入电枢绕组的直流电流分量。

一种直流偏置型磁通反向永磁电机

技术领域

[0001] 本发明属于电机领域,特别涉及了一种直流偏置型永磁电机。

背景技术

[0002] 永磁电机由于高转矩密度、高功率密度和高效率等特点而在工业、航空、轨道交通等领域有广泛的应用。然而由于运行工况的复杂性等问题对永磁电机的设计提出了很大的挑战,比如永磁转子的机械强度、高温退磁和弱磁退磁等问题。近年来,由于内永磁转子的散热困难和永磁高速可靠性等问题,定子永磁型电机(磁通切换电机、磁通反向电机等)由于永磁放置灵活多样和易于散热等优点得到了广泛的研究。

[0003] 然而,永磁电机由于采用永磁体作为单一磁势源,导致电机内气隙磁场调节困难。为满足电动汽车宽调速范围的要求,大多采用矢量控制技术进行弱磁,因此在高速时,系统的效率会较低。混合励磁电机通过在电机定子侧添加直流励磁绕组实现对定子永磁场的调节,解决了定子永磁型电机磁场调节困难的问题。目前国内外学者对定子永磁型电机混合励磁电机进行了相应的研究。

[0004] 为了克服磁通反向电机定子磁场难于调节的问题,中国专利申请(公开号CN107070150A)公开了一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,该电机包括定子、转子、绕组以及永磁体,其中,转子为开槽的凸极结构,定子为带齿靴结构,在定子齿顶端的两侧或奇数定子齿顶端的中间开槽用于安放所述永磁体。绕组采用分数槽集中绕组,绕组中电流包括交流分量和直流分量。该电机存在以下不足:永磁体位于定子齿上,增加了电机的有效气隙,电机的转矩密度不高;此外由于有效气隙的增加电机的电感降低,电机的短路电流增加,降低了电机故障运行的可靠性。

发明内容

[0005] 为了解决上述背景技术提到的技术问题,本发明提出了一种直流偏置型磁通反向永磁电机。

[0006] 为了实现上述技术目的,本发明的技术方案为:

[0007] 一种直流偏置型磁通反向永磁电机,包括永磁型定子和凸极铁芯转子,永磁型定子与凸极铁芯转子之间形成独立的气隙,永磁型定子包括定子轭部和若干定子齿,定子轭部与若干定子齿形成若干定子槽,定在槽内放置电枢绕组,电枢绕组中注入偏置的直流电流,每个定子槽的槽口处均设置有永磁体,所述永磁体与相邻定子齿形成一对磁极,各定子槽槽口处的永磁体数量和充磁方式均相同。

[0008] 基于上述技术方案的首选方案,每个定子槽的槽口处均设置有若干块彼此紧贴且以Halbach方式充磁的永磁体。

[0009] 基于上述技术方案的首选方案,所述电枢绕组采用集中绕组。

[0010] 基于上述技术方案的首选方案,所述电枢绕组为 m 相, $m \geq 3$ 。

[0011] 基于上述技术方案的首选方案,所述电枢绕组采用隔齿绕的绕制方式且一个定子

齿上仅有一套电枢绕组。

[0012] 基于上述技术方案的优选方案,所述永磁体采用钕铁硼永磁体或铁氧体永磁体。

[0013] 基于上述技术方案的优选方案,定子永磁磁场经过凸极铁芯转子调制后产生的谐波与电枢绕组中注入直流电流产生的磁场经凸极铁芯转子调制后产生的谐波具有不同的极对数,这两个不同极对数的磁场均能够与电枢绕组谐波相互作用实现机电能量转换。

[0014] 基于上述技术方案的优选方案,通过控制电枢绕组注入的直流电流的正负方向实现电机多谐波工作,即实现电机的增磁和弱磁调节。

[0015] 基于上述技术方案的优选方案,若电枢绕组为三相电枢绕组,则电枢绕组的三相电流如下式所示:

$$[0016] \quad I_{A1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi) + I_{dc}$$

$$[0017] \quad I_{A2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi) - I_{dc}$$

$$[0018] \quad I_{B1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi - 2\pi/3) + I_{dc}$$

$$[0019] \quad I_{B2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi - 2\pi/3) - I_{dc}$$

$$[0020] \quad I_{C1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi + 2\pi/3) + I_{dc}$$

$$[0021] \quad I_{C2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi + 2\pi/3) - I_{dc}$$

[0022] 其中, I_{A1+} 和 I_{A2-} 分别为A相正线圈和负线圈的正弦电流,和 I_{B2-} 分别为B相正线圈和负线圈的正弦电流, I_{C1+} 和 I_{C2-} 分别为C相正线圈和负线圈的正弦电流, I_{\max} 为三相正弦电流的最大值, ω_e 为交流电频率, φ 为电流初始相位角, t 为时间, I_{dc} 为注入电枢绕组的直流电流分量。

[0023] 采用上述技术方案带来的有益效果:

[0024] (1) 本发明将定子上的永磁体放置于槽口且采用Halbach等具有聚磁效果的排列方式,相比于现有直流偏置型永磁电机,减小了电机的有效气隙,有利于提高电机的转矩密度和电磁性能,同时增加了电机的电感,有利于抑制电机短路故障时的短路电流,提高电机运行可靠性;

[0025] (2) 本发明采用集中绕组,相比于分布式绕组,可以节约端部,有利于节约材料和降低电机铜耗,降低电机加工难度和成本,提高电机效率等;

[0026] (3) 本发明在定子上隔齿绕制一套电枢绕组且在电枢绕组中注入直流电流,可以解决传统一套交流绕组一套直流绕组混合励磁电机两套绕组之间的绝缘和电磁耦合问题;

[0027] (4) 本发明定子永磁磁场经过凸极铁芯转子调制后产生的谐波和直流励磁磁场经凸极铁芯转子调制后产生的谐波可以同时与电枢绕组谐波相互作用实现机电能量转换,实现多谐波同时工作且具有良好的调磁性能;

[0028] (5) 本发明直流励磁磁场磁路经过定转子铁芯和气隙形成回路,由于永磁体的磁阻比较大而很少经过永磁体,降低了永磁体的退磁风险;

[0029] (6) 本发明将永磁体设置于槽口,有利于永磁体的散热,采用凸极转子提高了电机运行的可靠性。

附图说明

[0030] 图1是本发明实施例的结构示意图;标号说明:1、永磁型定子;2、电枢绕组;3、定子

齿;4、永磁体;5、气隙;6、凸极铁芯转子;

[0031] 图2是本发明实施例的永磁体排列示意图;标号说明:7、8、9、三块永磁体;

[0032] 图3是本发明实施例的定子齿标号示意图;标号说明:10-15、定子齿标号;

[0033] 图4是本发明电枢绕组注入直流电流时电机磁力线分布图;

[0034] 图5是本发明永磁体单独励磁和注入直流时电机空载反电势波形图;

[0035] 图6是本发明电磁转矩波形图。

具体实施方式

[0036] 以下将结合附图,对本发明的技术方案进行详细说明。

[0037] 如图1所示,本发明设计了一种直流偏置型磁通反向永磁电机,包括永磁型定子1和凸极铁芯转子6,永磁型定子1与凸极铁芯转子6之间形成独立的气隙5,永磁型定子1包括定子轭部和若干定子齿3,定子轭部与若干定子齿3形成若干定子槽,定在槽内放置电枢绕组2,电枢绕组2中注入偏置的直流电流,每个定子槽的槽口处均设置有永磁体4,所述永磁体与相邻定子齿形成一对磁极,各定子槽槽口处的永磁体数量和充磁方式均相同。

[0038] 如图2所示,每个定子槽的槽口处均设置有3块彼此紧贴且以Halbach方式充磁的永磁体7、8、9。通过调整定子槽口三块永磁体的极弧(θ_1 和 θ_2)和电机结构等参数优化电机的输出转矩和弱磁等性能。

[0039] 在本实施例中,电机采用集中绕组,而非分布式绕组,降低了电机端部绕组长度,减小了铜耗,缩小了电机体积,提高了电机功率密度和效率。电机采用隔齿绕且齿上仅有一套电枢绕组,避免了传统采用一套直流绕组实现调磁两套绕组间的绝缘和耦合问题,提高了电机运行可靠性。永磁体采用钕铁硼永磁体或铁氧体永磁体。

[0040] 本发明设计的电机的工作原理符合传统的磁齿轮磁场调制原理,满足 $P_r = P_s \pm P_a$, P_r 为转子极对数即凸极转子齿数, P_s 为定子永磁极对数(此处指定子齿数), P_a 为电枢绕组极对数。如图1所示,本实施例中的电机定子对数为12,转子极对数为11,定子永磁磁场在旋转转子的调制作用下调制出1对极的磁场。按照传统的理论,为了得到较大的反电势,电机定子需要绕制成1对极的分布绕组。按照经典绕组理论,该类电机绕制成一对极电枢绕组电机端部会非常长,导致很大的电机铜耗和电机轴向长度,大大降低电机的效率。此外,电机的磁场也很难通过直流励磁调节,只能通过传统的负的 i_d 电流控制实现弱磁。本实施例的电机采用12槽结构,定子绕制成分数槽集中绕组将可以充分利用多电枢绕组谐波,实现磁场的灵活调节,故采用集中分数槽绕组,即电枢绕组和直流励磁绕组均绕制在单个齿上。虽然定子电枢绕组绕制成了5对极,但定子电枢绕组中也含有幅值较大的1对极的磁场可以与定转子调制出的1对极磁场相互作用实现机电能量转换。此外,在定子电枢绕组中注入了偏置的直流电流将产生6对极的直流励磁磁场,其形成的6对极定子永磁场经过11个凸极铁芯转子调制出5对极的磁场,该磁场与电枢绕组的5对极磁场相互作用实现磁场调节。

[0041] 通过控制电枢绕组注入直流电流的正负方向可以实现电机多谐波工作,即实现电机的增磁和弱磁调节。此增磁和弱磁并非增强和削弱定子永磁磁场经过凸极铁芯转子调制后产生的谐波,而是通过注入直流电流后形成的磁场经转子凸极调制后形成的新的谐波磁场与电枢绕组中含有的谐波相互作用实现调磁。

[0042] 本实施例以三相电枢绕组为例,结合图3具体说明电机的绕组连接方式:定子齿10

上绕A1+线圈 (A1+表示A相正线圈,其他的线圈标识符可类推),定子齿13上绕A2-线圈 (A2-表示A相负线圈);定子齿11上绕B2-线圈,定子齿14上绕B1+线圈;定子齿12上绕C1+线圈,定子齿15上绕C2-线圈。每个定子齿上的电枢绕组分别单独通过电机控制器控制。

[0043] 电枢绕组中的直流电流注入方法如下:

$$[0044] \quad I_{A1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi) + I_{dc}$$

$$[0045] \quad I_{A2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi) - I_{dc}$$

$$[0046] \quad I_{B1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi - 2\pi/3) + I_{dc}$$

$$[0047] \quad I_{B2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi - 2\pi/3) - I_{dc}$$

$$[0048] \quad I_{C1+} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi + 2\pi/3) + I_{dc}$$

$$[0049] \quad I_{C2-} = I_{\max} \sin(\omega_e t + \varphi + 2\pi/3) - I_{dc}$$

[0050] 其中, I_{A1+} 和 I_{A2-} 分别为A相正线圈和负线圈的正弦电流,和 I_{B2-} 分别为B相正线圈和负线圈的正弦电流, I_{C1+} 和 I_{C2-} 分别为C相正线圈和负线圈的正弦电流, I_{\max} 为三相正弦电流的最大值, ω_e 为交流电频率, t 为时间, φ 为电流初始相位角, I_{dc} 为注入电枢绕组的直流电流分量。

[0051] 当电枢绕组中按照上式注入直流电流后将在电机定子侧产生6对极的直流励磁磁场,该6对极的直流励磁场经过11个转子凸极调制后与三相电枢绕组通电后的磁场相互作用实现调磁效果。

[0052] 图4给出了电机电枢绕组注入直流电流时电机磁力线分布图,从图中可以看出,直流励磁磁场很少经过永磁体,在电机弱磁运行时大大减小了电机的退磁风险。

[0053] 图5给出了永磁体单独励磁和电枢绕组中注入直流电流时(直流电流密度为 $2A/mm^2$)电机的空载反电势波形图,从图中可以看出,采用电枢绕组中注入直流电流的方式可以实现磁场的灵活调节,但是由于磁场和绕组的不对称,反电势中含有大量的偶次谐波,然而该偶次谐波不会影响电机转矩性能。

[0054] 图6给出了注入直流电流为 $2A/mm^2$ 时电机的输出电磁转矩性能(图中的第一套绕组指A1+,B2-和C1+线圈绕组;第二套绕组指A2-,B1+和C2-线圈绕组),从图中可以看出,虽然电机反电势中含有大量偶次谐波,当各相线圈通入交流电流单独作用时会差生较大的转矩脉动,然而该转矩脉动可以通过各相绕组的互补作用抵消掉。

[0055] 以上实施例仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围。例如定子槽口放置的永磁体可以有多种结构,只要定子槽口放置的永磁体能与相邻的定子齿形成一对极磁场即可。本发明以三相单元电机为例进行了说明,本发明可以拓展到M相极槽配合的多绕组谐波混合励磁永磁电机,此外该思想也可扩展到轴向磁通和直线等多种电机中,凡是按照本发明提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明保护范围之内。

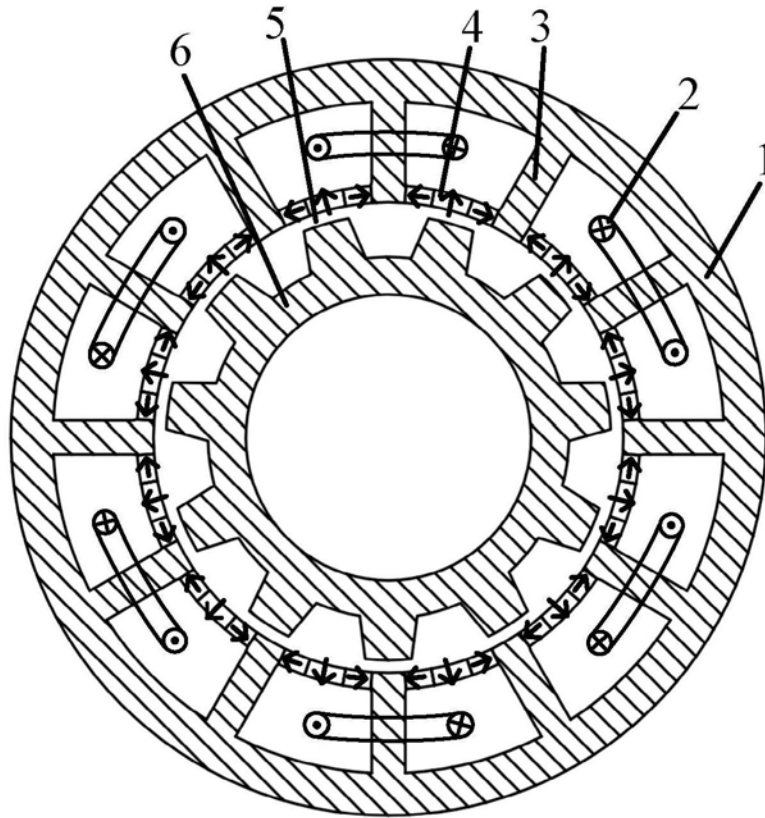


图1

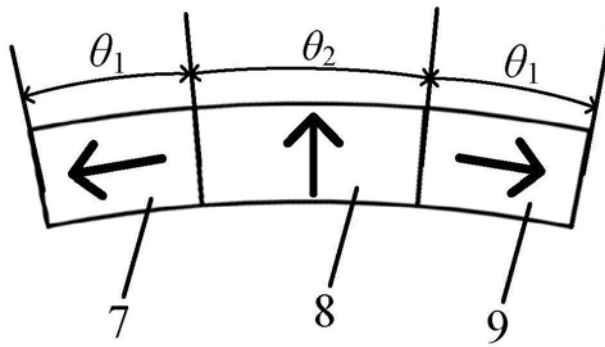


图2

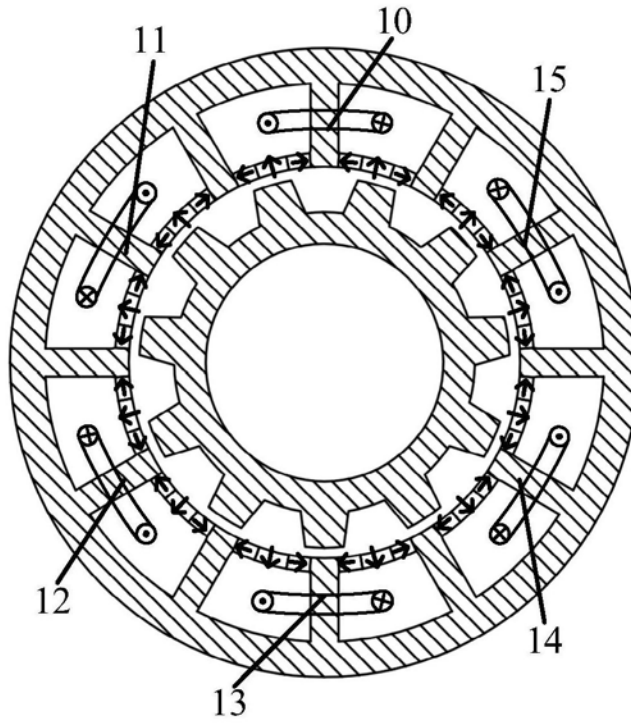


图3

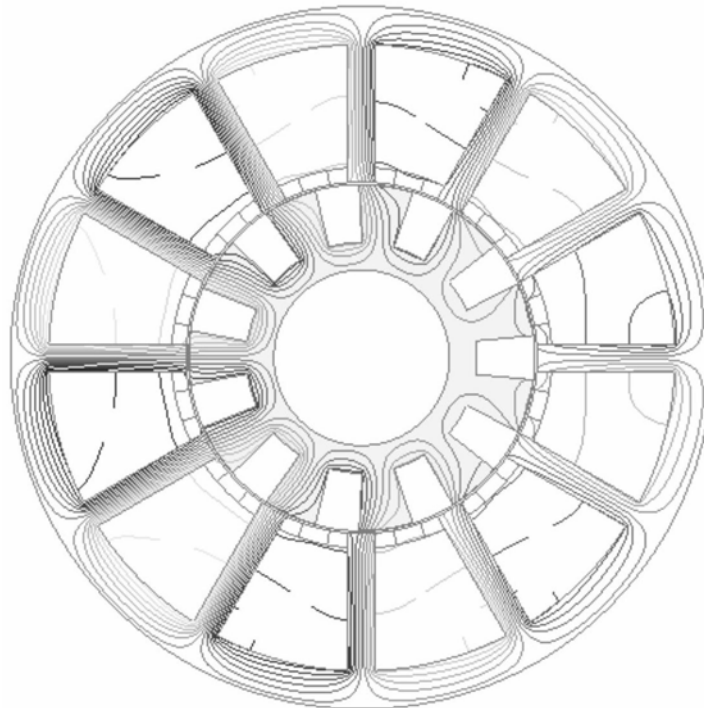


图4

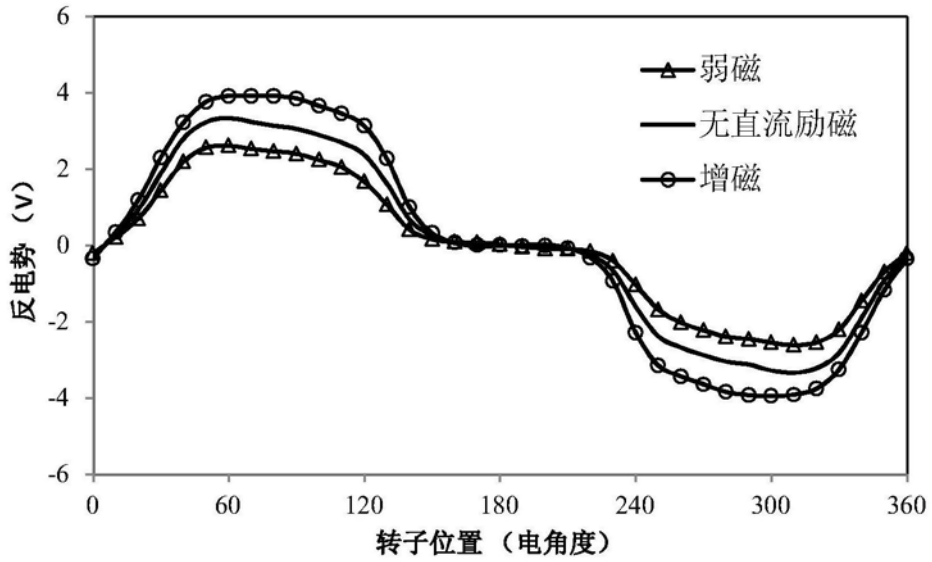


图5

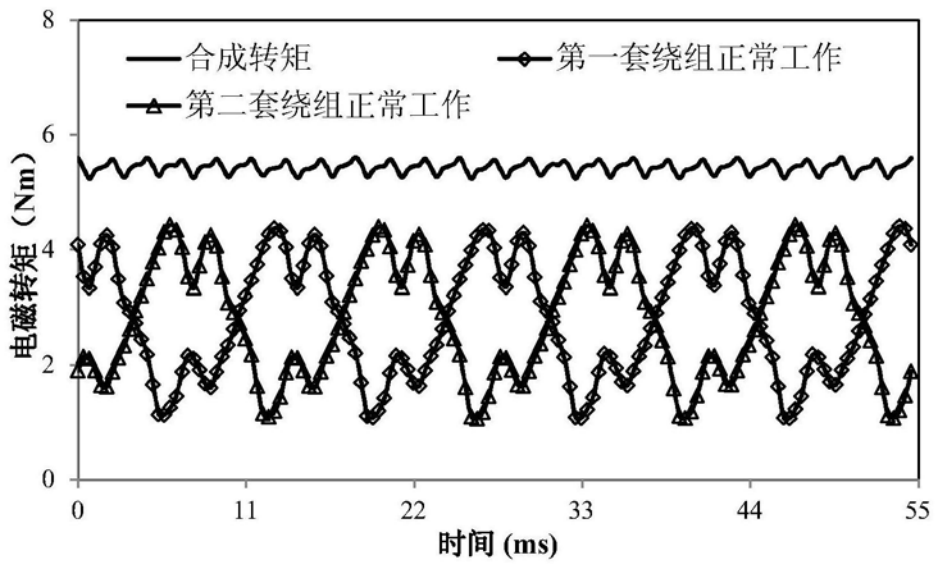


图6