



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107070150 B

(45)授权公告日 2019.11.12

(21)申请号 201610821367.9

H02K 3/12(2006.01)

(22)申请日 2016.09.14

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 1405948 A,2003.03.26,

申请公布号 CN 107070150 A

CN 204597663 U,2015.08.26,

(43)申请公布日 2017.08.18

CN 201563010 U,2010.08.25,

(73)专利权人 华中科技大学

赵晓明.正弦单极励磁开关磁阻电机电磁转矩分析.《防爆电机》.2016,第51卷(第3期),

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路1037号

审查员 代煜

(72)发明人 曲荣海 贾少锋 李健 李大伟 孔武斌

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心 42201

代理人 李欢

(51)Int.Cl.

H02K 21/04(2006.01)

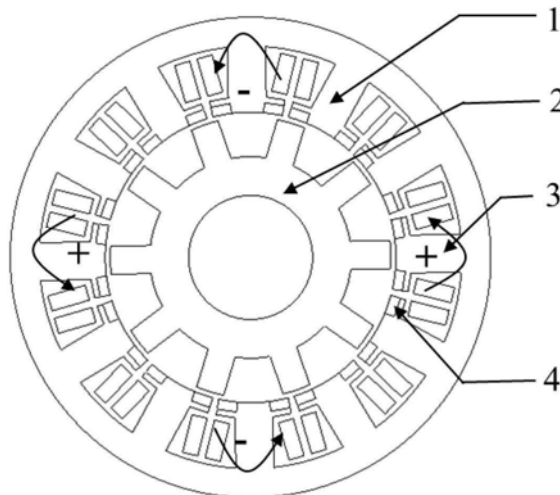
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机

(57)摘要

本发明公开了一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,其包括定子(1)、转子(2)、绕组(3)以及永磁体(4);其中,所述转子(2)为开槽的凸极结构;其特征在于,所述定子(1)为带齿靴结构,且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(4);所述绕组(3)采用分数槽非重叠集中绕组,绕组中电流包括交流分量和直流分量。本发明的混合励磁永磁电机,由于省略了专用的励磁绕组,在同样铜耗的条件下,输出转矩更大;电枢绕组中的直流分量产生的励磁磁场所经过的磁阻较小,因此磁场调节能力很强;在短路故障下短路电流小、可靠性高;此外,电机结构得到较大的简化,加工工艺简单,成本降低。



1. 一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,其包括定子(1)、转子(2)、绕组(3)以及永磁体(4);

其中,所述转子(2)为开槽的凸极结构;

其特征在于,所述定子(1)为带齿靴结构,且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(4);

所述绕组(3)采用分数槽非重叠集中绕组,绕组中电流包括交流分量和直流分量;

所述直流分量的比例 k 满足如下关系时为最佳电流配置方式:

$$\begin{cases} T_{em} = N_r (\psi_{pm} + \psi_{dc}) I_q = N_r \psi_{pm} I_q + N_r I_{dc} L_m I_q \\ I_{dc} = k I_{rms} \\ I_{ac} = \sqrt{1 - k^2} I_{rms} \\ \frac{\partial T_{em}}{\partial k} = 0 \end{cases}$$

其中, T_{em} 为电磁转矩, N_r 为转子槽数, ψ_{pm} 为永磁磁链, I_q 为交流分量变换到q轴的q轴电流, L_m 为绕组等效的激磁电感, I_{dc} 为直流分量的平均值, I_{ac} 为交流分量有效值。

2. 根据权利要求1所述的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,其特征在于,相邻两个定子齿上的所述永磁体磁化方向沿径向相反。

3. 根据权利要求1所述的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,其特征在于,所述绕组(3)的极对数 P_a 满足如下关系:

$$\begin{cases} P_a = |P_{dc} \pm N_r| \\ P_a = |P_m \pm N_r| \end{cases}$$

其中, P_{dc} 为通入直流时气隙圆周所产生的磁势极对数, N_r 为转子槽数, P_m 为永磁体极对数。

4. 根据权利要求1所述的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,其特征在于,所述绕组的每一相的线圈包括两部分,一部分为正线圈,用于注入正的直流;另一部分为负线圈,用于注入与正线圈所通的直流相反方向的直流,两部分线圈中电流的幅值相同、频率相同且相位相同。

5. 根据权利要求4所述的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,其特征在于,所述绕组为A、B和C三相,A相包括所述正线圈A+和负线圈A-,其通入电流分别为 i_{A+} 和 i_{A-} ;B相包括所述正线圈B+和负线圈B-,其通入电流分别为 i_{B+} 和 i_{B-} ;C相包括所述正线圈C+和负线圈C-,其通入电流分别为 i_{C+} 和 i_{C-} ,通入电流满足如下关系:

$$\begin{aligned} i_{A+} &= \sqrt{2} I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha) + I_{dc} \\ i_{A-} &= \sqrt{2} I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha) - I_{dc} \\ i_{B+} &= \sqrt{2} I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha - \frac{2}{3}\pi) + I_{dc} \end{aligned}$$

$$i_{B-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(w_e t + \alpha - \frac{2}{3}\pi) - I_{dc}$$

$$i_{C+} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(w_e t + \alpha + \frac{2}{3}\pi) + I_{dc}$$

$$i_{C-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(w_e t + \alpha + \frac{2}{3}\pi) - I_{dc}$$

其中, I_{dc} 为直流分量平均值, I_{ac} 为交流分量有效值, w_e 为交流分量的电频率, t 为时间。

6. 根据权利要求1-5任一项所述的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机, 其特征在于, 所述绕组(3)的极对数 P_a 和绕组中交流分量的电频率 w_e 分别满足一定关系, 且交流分量与反电势的夹角为零时, 该电机的输出转矩最大;

其中, 所述关系为:

$$P_a = |P_{dc} - N_r|$$

$$w_e = N_r w_r$$

其中, N_r 为转子槽数, P_{dc} 为通入直流时气隙圆周所产生的磁势极对数, w_r 为转子的机械频率。

7. 根据权利要求6所述的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机, 其特征在于, 所述交流分量的电频率 w_e 与转子转速 n 具有如下关系:

$$w_e = N_r w_r = N_r (2\pi \frac{n}{60})$$

8. 根据权利要求1所述的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机, 其特征在于, 定子(1)与转子(2)可以是外定子内转子结构, 也可以是外转子内定子结构。

一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机

技术领域

[0001] 本发明属于混合励磁永磁电机领域,更具体地,涉及一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机。

背景技术

[0002] 在节能减排和保护环境的双重压力,具有能源利用率高、低噪声、环保等优良特性的混合动力及纯电动汽车技术越来越受到各国政府及工业界的重视。我国早已在国家“十二五”规划中将新能源汽车列为七大战略性新兴产业之一。目前,几乎所有的汽车公司都推出了自己的混合动力汽车或纯电动汽车。

[0003] 牵引电机作为混合动力或纯电动汽车的主要动力来源,与常规工业用电机相比,除了要求其具有高效率、高可靠性、高功率密度之外,还要求其具有很宽的恒功率调速范围。

[0004] 根据电机类型,牵引电机可分为以下几类:1.有刷直流电机;2.异步电机;3.磁阻式电机;4.永磁电机;5.混合励磁电机。有刷直流电机、异步电机和磁阻式电机分别由于其固有的结构缺陷:如有刷直流电机需要电刷和机械换向器;异步电机高转子损耗,低速运行效率和功率因数较低;磁阻式电机高的转矩脉动问题,而在牵引电机领域的应用受到限制。而永磁电机由于其固有的高效率、高功率密度等特点,因此目前在电动汽车领域得到了较多的应用。国外代表车型主要有丰田第三代Prius、本田Insight,日产Leaf、通用的Volt增程式电动汽车;国内目前研制的电动汽车也多采用永磁同步电机,如奇瑞瑞虎E3V纯电动汽车、比亚迪的F3DM双模电动汽车和红旗7CA7130N混合动力汽车。

[0005] 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。

[0006] 混合励磁永磁电机是在永磁电机的基础上发展而来的一种电机,其含有永磁体和励磁线圈两周磁势源,同时具有永磁电机功率密度高和电励磁电机磁场调节容易的优点,可以方便的实现低速大转矩输出和宽广的调速范围。目前,国内外已逐渐开始对混合励磁电机在电动汽车方面的应用进行研究。

[0007] 为了克服普通永磁电机的上述缺陷,专利文献CN101662172A公开了一种基于磁通反向原理的混合励磁磁通反向永磁电机,其包括:定子、单相集中励磁绕组、永磁体、三相集中电枢绕组和转子。该发明的特点为:在每个定子齿中部面向气隙开有一个槽,放置单相集中励磁绕组;在每个定子齿面向气隙表面贴装有两个极性相互相反的永磁体,相邻两个定子齿下面的四块永磁体极性交错分布,呈NS-SN分布;三相集中电枢绕组的各线圈均异常横跨于一个定子齿上。该电机存在如下不足:

[0008] (1) 该电机需要专门的励磁绕组,励磁线圈虽然为集中绕组,但是其端部仍然很长,铜材料消耗较大,电机结构复杂;

[0009] (2) 励磁线圈产生的励磁磁势的磁路必须穿过永磁体,从结构上讲,属于串联式混

合励磁结构,由于永磁体的磁导率较低,磁阻较大,因此需要较大的励磁电流才能调节气隙磁密,励磁铜耗较大,磁场调节能力有限

[0010] (3) 此当励磁磁势穿过永磁体时,如果励磁磁势的方向与永磁体磁化方向相反,则永磁体可能存在退磁的风险。

发明内容

[0011] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,由于省略了专用的励磁绕组,在同样铜耗的条件下,输出转矩更大;电枢绕组中的直流分量产生的励磁磁场所经过的磁阻较小,因此磁场调节能力很强;在短路故障下短路电流小、可靠性高;此外,电机结构得到较大的简化,加工工艺简单,成本降低。

[0012] 为实现上述目的,本发明提供了一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,其包括定子、转子、绕组以及永磁体;

[0013] 其中,所述转子为开槽的凸极结构;

[0014] 其特征在于,所述定子为带齿靴结构,且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;

[0015] 所述绕组采用分数槽非重叠集中绕组,绕组中电流包括交流分量和直流分量。

[0016] 进一步地,相邻两个定子齿上的所述永磁体磁化方向沿径向相反。

[0017] 进一步地,所述绕组的极对数 P_a 满足如下关系:

$$[0018] \quad \begin{cases} P_a = |P_{dc} \pm N_r| \\ P_a = |P_m \pm N_r| \end{cases}$$

[0019] 其中, P_{dc} 为通入直流时气隙圆周所产生的磁势极对数, N_r 为转子槽数, P_m 为永磁体极对数。

[0020] 进一步地,所述绕组的每一相的线圈包括两部分,一部分为正线圈,用于注入正的直流;另一部分为负线圈,用于注入与正线圈所通的直流相反方向的直流,两部分线圈中电流的幅值相同、频率相同且相位相同。

[0021] 进一步地,所述绕组为A、B和C三相,A相包括所述正线圈 A_+ 和负线圈 A_- ,其通入电流分别为 i_{A+} 和 i_{A-} ;B相包括所述正线圈 B_+ 和负线圈 B_- ,其通入电流分别为 i_{B+} 和 i_{B-} ;C相包括所述正线圈 C_+ 和负线圈 C_- ,其通入电流分别为 i_{C+} 和 i_{C-} ,通入电流满足如下关系:

$$[0022] \quad i_{A+} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha) + I_{dc}$$

$$[0023] \quad i_{A-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha) - I_{dc}$$

$$[0024] \quad i_{B+} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha - \frac{2}{3}\pi) + I_{dc}$$

$$[0025] \quad i_{B-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha - \frac{2}{3}\pi) - I_{dc}$$

$$[0026] \quad i_{C+} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha + \frac{2}{3}\pi) + I_{dc}$$

$$[0027] \quad i_{C-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha + \frac{2}{3}\pi) - I_{dc}$$

[0028] 其中, I_{dc} 为直流分量平均值, I_{ac} 为交流分量有效值, w_e 为交流电频率, t 为时间。

[0029] 进一步地, 所述直流分量的比例 k 满足如下关系时为最佳电流配置方式:

$$[0030] \begin{cases} T_{em} = N_r (\psi_{pm} + \psi_{dc}) I_q = N_r \psi_{pm} I_q + N_r I_{dc} L_m I_q \\ I_{dc} = k I_{rms} \\ I_{ac} = \sqrt{1 - k^2} I_{rms} \\ \frac{\partial T_e}{\partial k} = 0 \end{cases}$$

[0031] 其中, N_r 为转子槽数, ψ_{pm} 为永磁磁链, I_q 为交流分量变换到 q 轴的 q 轴电流, L_m 为绕组等效的激磁电感, I_{dc} 为直流分量的平均值, I_{rms} 为交流分量有效值。

[0032] 进一步地, 所述绕组的极对数 P_a 和绕组中交流分量的电频率 w_e 分别满足一定关系, 且交流分量与反电势的夹角为零时, 该电机的输出转矩最大; 其中, 所述关系为:

$$[0033] P_a = |P_{dc} - N_r|$$

$$[0034] w_e = N_r w_r$$

[0035] 其中, N_r 为转子槽数, P_{dc} 为通入直流时气隙圆周所产生的磁势极对数, w_r 为转子的机械频率。

[0036] 进一步地, 所述交流分量的电频率 w_e 与转子转速 n 具有如下关系:

$$[0037] w_e = N_r w_r = N_r (2\pi \frac{n}{60})$$

[0038] 优选地, 定子与转子可以是外定子内转子结构, 也可以是外转子内定子结构。

[0039] 总体而言, 通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比, 能够取得下列有益效果:

[0040] (1) 该电机在结构上无励磁绕组, 但仍具有和带励磁绕组的混合励磁电机同样的磁场调节能力。在保证磁场调节能力的前提下, 只有一套绕组, 结构简单、加工方便, 便于采用自动化嵌线, 提高生产率, 降低成本;

[0041] (2) 由于省略了励磁绕组, 因此定子上电枢绕组可利用的空间更大, 在同样铜耗的条件下, 由于可利用的电负荷更高, 因此输出转矩更大;

[0042] (3) 电枢绕组通入的直流分量所产生的励磁磁场与永磁磁场为并联式, 因此磁场调节能力强, 调速范围更宽;

[0043] (4) 在发生短路故障时, 由于空载反电势较小, 因此短路电流也较小, 避免故障时烧毁电机;

[0044] (5) 转子上无任何绕组和永磁体, 鲁棒性好, 高速运行可靠性高。

附图说明

[0045] 图1为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑, 其定子为12槽, 转子为10槽, 绕组为4对极, 永磁体极对数为6, 直流励磁极对数为6;

[0046] 图2(a)为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑, 其定子为12槽, 转子为10槽, 绕组为4对极, 永磁体极对数为6, 直流励磁极对数为6;

[0047] 图2(b)为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑, 其定子为12槽, 转子为11槽, 绕组为5对极, 永磁体极对数为6, 直流励磁极对数为6;

[0048] 图2(c)为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑,其定子为12槽,转子为13槽,绕组为7对极,永磁体极对数为6,直流励磁极对数为6;

[0049] 图2(d)为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑,其定子为12槽,转子为14槽,绕组为8对极,永磁体极对数为6,直流励磁极对数为6;

[0050] 图3为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机绕组引出线与逆变器的连接图;

[0051] 图4为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机在几种不同励磁情况时的A相反电势波形;

[0052] 图5为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机在几种不同励磁情况时的转矩波形;

[0053] 图6为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机电磁转矩随电流中直流分量比例的变化关系,其中相电流有效值为19A;

[0054] 图7为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机采用注入直流方式的转矩增加变化曲线。

[0055] 在图1、图2(a)、图2(b)和图2(c)中,相同的附图标记用来表示相同的元件或结构,其中:1一定子,2—转子,3—A相绕组,4—永磁体。

具体实施方式

[0056] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0057] 图1为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑,其定子为12槽,转子为10槽,绕组为5对极,永磁体极对数为6,直流励磁极对数为6。如图1所示,该混合励磁永磁电机包括定子1、转子2和绕组3和永磁体4,

[0058] 其中,所述转子2为开槽的凸极结构,采用无取向硅钢片叠压而成,电机的转子部分只有铁心,无任何绕组和磁钢,因此结构非常简单、可靠。

[0059] 如图1所示,所述定子1为带齿靴结构,用硅钢片叠压而成,在每个定子齿靴的两边挖掉形成小槽,永磁体4就放置在该小槽中,并用胶与定子齿粘牢固,相邻两个定子齿上的永磁体磁化方向沿径向相反;

[0060] 如图1所示,所述绕组3采用分数槽非重叠集中绕组,绕组中电流包括交流分量和直流分量,与现有的混合励磁永磁电机相比,由于省略了专用的励磁绕组,电机结构得到较大的简化,且绕线和嵌线工艺简单,端部绕组很短,端部长度占电机总长度比例较小,便于采用自动化嵌线,提高生产率,降低成本;由于省略了励磁绕组,因此定子上电枢绕组可利用的空间更大,在同样铜耗的条件下,由于可利用的电负荷更高,因此输出转矩更大;每一个励磁绕组产生的励磁磁通不经过永磁体,而经过永磁体中间的铁心,因此,电枢绕组中的直流分量产生的励磁磁场所经过的磁阻较小,因此磁场调节能力很强。

[0061] 此外,本发明所提供的集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机,由于当电枢绕组不通电时,永磁体产生的磁场有很大一部分会通过两块磁钢之间的定子齿形成漏磁,因此

在电枢绕组空载时,空载反电势就比较小。由于空载反电势较小,在发生故障时,短路电流较小,对电机的危害很小。相比于传统的永磁电机在故障情况下由于难以灭磁而使得短路电流较大的这个缺陷,所提出的混合励磁永磁电机具有在短路故障下短路电流小、可靠性高的优点。

[0062] 如图1所示,所述绕组3的极对数 P_a 满足如下关系:

$$[0063] \quad \begin{cases} P_a = |P_{dc} \pm N_r| \\ P_a = |P_m \pm N_r| \end{cases}$$

[0064] 其中, P_{dc} 为通入直流时气隙圆周所产生的磁势极对数, N_r 为转子槽数, P_m 为永磁体极对数,采用绕组理论和分数槽绕组的槽电势星形图,可以得到三相电枢绕组的排布。

[0065] 在确定三相电枢绕组的排布后,需要将三相电枢绕组的每一相的线圈分成两部分,一部分定义为正线圈,注入正的直流;另一部分线圈为负线圈,注入与正线圈所通的直流相反方向的直流。而在两部分线圈中的交流电流具有相同幅值、相同频率和相同相位。

[0066] 图3为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机绕组引出线与逆变器的连接图。如图3所示,从电机的出线端来说,虽然是三相电机,但由于每一相都分成了2个子相,因此总共有六根引出线,所述绕组为A、B和C三相,A相包括所述正线圈A+和负线圈A-,其通入电流分别为 i_{A+} 和 i_{A-} ;B相包括所述正线圈B+和负线圈B-,其通入电流分别为 i_{B+} 和 i_{B-} ;C相包括所述正线圈C+和负线圈C-,其通入电流分别为 i_{C+} 和 i_{C-} ,每一相绕组的线圈分成两个子相需保证所有绕组通入直流后气隙圆周所产生的磁势极对数为 P_{dc} 。

[0067] 绕组中所通入电流的满足如下关系:

$$[0068] \quad i_{A+} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha) + I_{dc}$$

$$[0069] \quad i_{A-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha) - I_{dc}$$

$$[0070] \quad i_{B+} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha - \frac{2}{3}\pi) + I_{dc}$$

$$[0071] \quad i_{B-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha - \frac{2}{3}\pi) - I_{dc}$$

$$[0072] \quad i_{C+} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha + \frac{2}{3}\pi) + I_{dc}$$

$$[0073] \quad i_{C-} = \sqrt{2}I_{ac} \sin(\omega_e t + \alpha + \frac{2}{3}\pi) - I_{dc}$$

[0074] 其中, I_{dc} 为直流分量平均值, I_{ac} 为交流分量有效值, ω_e 为交流电频率, t 为时间。

[0075] 图4为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机在几种不同励磁情况时的A相反电势波形。由图4可知,电枢绕组中通入的直流是能改变气隙磁场进而影响电枢绕组反电势的。

[0076] 图5为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机在几种不同励磁情况时的转矩波形。由图5可知,电枢绕组中通入不同大小的直流,电机的电磁转矩是发生改变的。

[0077] 传统的定子永磁型电机的转矩表达式为:

$$[0078] \quad T_{em} = N_r \psi_{pm} I_q$$

[0079] 其中, N_r 为转子槽数, ψ_{pm} 为永磁磁链, I_q 为交流分量变换到q轴的q轴电流;

[0080] 而当注入直流后,由于注入直流的作用是在绕组中产生磁链,因此电机的转矩表达式为:

$$[0081] \quad T_{em} = N_r (\psi_{pm} + \psi_{dc}) I_q = N_r \psi_{pm} I_q + N_r I_{dc} L_m I_q$$

[0082] 其中, N_r 为转子槽数, ψ_{pm} 为永磁磁链, L_m 为绕组等效的激磁电感;

[0083] 由上式可知,采用注入直流的正弦电流方式,转矩不仅包含永磁转矩,还包含直流分量和交流分量作用产生的电磁转矩。原有的永磁转矩与电流成正比关系,而新引入的转矩分量与电流的平方成正比关系。

[0084] 当采用直流偏置的电流模式时,定义直流分量比例 k , 则

$$[0085] \quad I_{dc} = k I_{rms}$$

$$[0086] \quad I_{ac} = \sqrt{1 - k^2} I_{rms}$$

[0087] 其中, I_{dc} 为直流分量的平均值, I_{rms} 为交流分量有效值;

[0088] 因此电机的最大转矩电流比可以采用下列公式确定:

$$[0089] \quad \frac{\partial T_e}{\partial k} = 0$$

[0090] 对电磁转矩求关于直流分量比例 k 的导数,并另导数为零,此时的 k 即为最大转矩电流比时的最佳电流配置方式。

[0091] 图6为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机电磁转矩随电流中直流分量比例的变化关系,其中相电流有效值为19A;可以发现,采用直流偏置的电流模式后,转矩有所增加。

[0092] 图7为本发明实施例的一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机采用注入直流方式的转矩增加变化曲线。如图7所示,随相电流增加,转矩密度的增加比例越来越大,由于新引入的转矩分量与电流平方成正比,因此随电流的增加,新引入的转矩占比越来越大。

[0093] 在本实施例中,所述绕组3的极对数 P_a 和绕组中交流分量的电频率 w_e 分别满足一定关系,且交流分量与反电势的夹角为零时,该电机的输出转矩最大;

[0094] 其中,所述关系为:

$$[0095] \quad P_a = |P_{dc} - N_r|$$

$$[0096] \quad w_e = N_r w_r$$

[0097] 其中, N_r 为转子槽数, P_{dc} 为通入直流时气隙圆周所产生的磁势极对数, w_r 为转子的机械频率;

[0098] 所述交流分量的电频率 w_e 与转子转速 n 具有如下关系:

$$[0099] \quad w_e = N_r w_r = N_r \left(2\pi \frac{n}{60} \right)$$

[0100] 在本发明的优选实施例中,定子1与转子2可以是外定子内转子结构,也可以是外转子内定子结构。

[0101] 本发明的另一个实施例如图2(a)所示,其电机拓扑基本相同,区别仅在于槽极配合和永磁体的安放位置不同。如图2(a)所示,一种集中绕组式混合励磁永磁型电机拓扑,其定子为12槽,转子为10槽,绕组为4对极,永磁体极对数为6,直流励磁极对数为6;在奇数定子齿顶端的中间开槽,永磁体4安放在所述开槽中,偶数定子齿的顶端不开槽,不放置永磁体4。

[0102] 本发明的另一个实施例如图2(b)所示,其电机拓扑基本相同,区别仅在于槽极配合和永磁体的安放位置不同。图2(b)所示,一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑,其定子为12槽,转子为11槽,绕组为5对极,永磁体极对数为6,直流励磁极对数为6;在奇数定子齿顶端的中间开槽,永磁体4安放在所述开槽中,偶数定子齿的顶端不开槽,不安放永磁体4。

[0103] 本发明的另一个实施例如图2(c)所示,其电机拓扑基本相同,区别仅在于槽极配合和永磁体的安放位置不同。如图2(c)所示,一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑,其定子为12槽,转子为13槽,绕组为7对极,永磁体极对数为6,直流励磁极对数为6;在奇数定子齿顶端的中间开槽,永磁体4安放在所述开槽中,偶数定子齿的顶端不开槽,不安放永磁体4。

[0104] 本发明的另一个实施例如图2(d)所示,其电机拓扑基本相同,区别仅在于槽极配合和永磁体的安放位置不同。如图2(d)所示,一种集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑,其定子为12槽,转子为14槽,绕组为8对极,永磁体极对数为6,直流励磁极对数为6;在奇数定子齿顶端的中间开槽,永磁体4安放在所述开槽中,偶数定子齿的顶端不开槽,不安放永磁体4。

[0105] 在本发明的技术方案中,实施例中给出了效果较优的永磁体安放位置及槽极配合方案的集中绕组直流偏置型混合励磁永磁电机拓扑,但本发明不限于上述实施例中的极槽配合方案及其永磁体安放位置的组合,只要满足上述通入直流时产生的磁势极对数 P_{dc} 、转子槽数 N_r 及永磁体极对数 P_m 之间的关系的槽极配合方案均可,具体的永磁体安放位置、槽极配合方案及其组合方式根据实际情况确定。

[0106] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

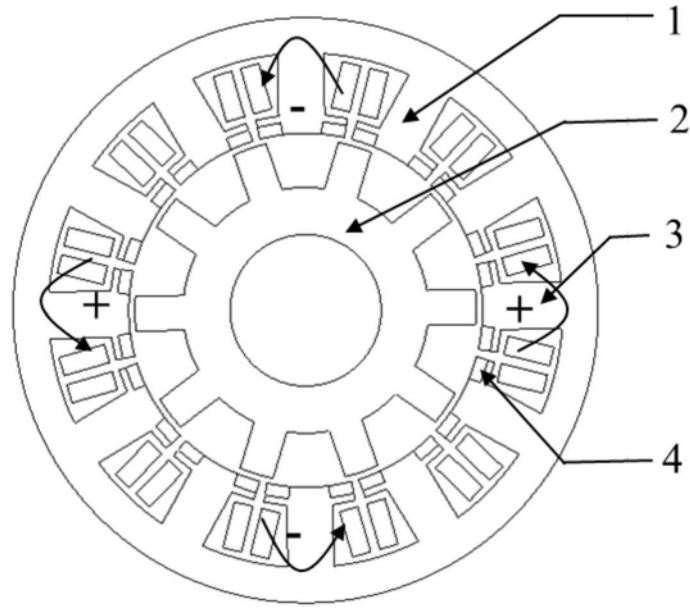


图1

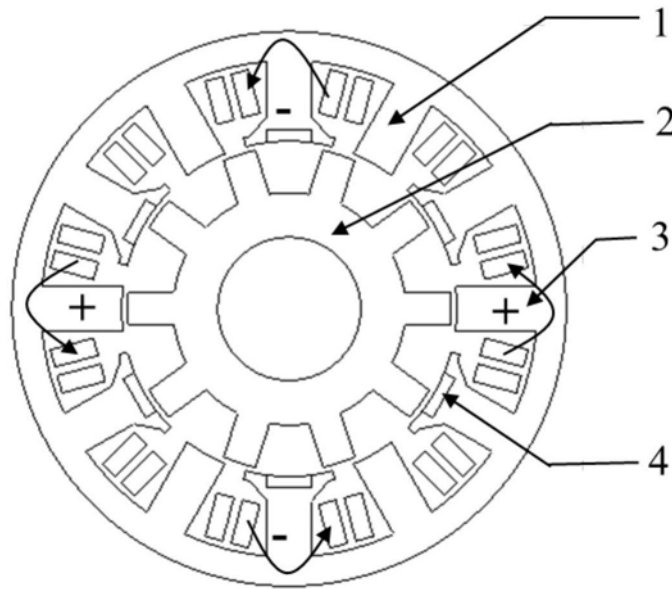


图2(a)

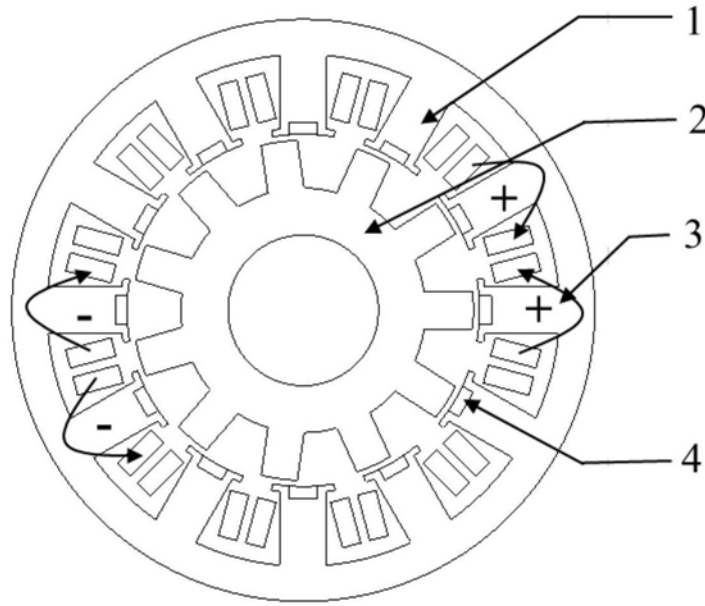


图2 (b)

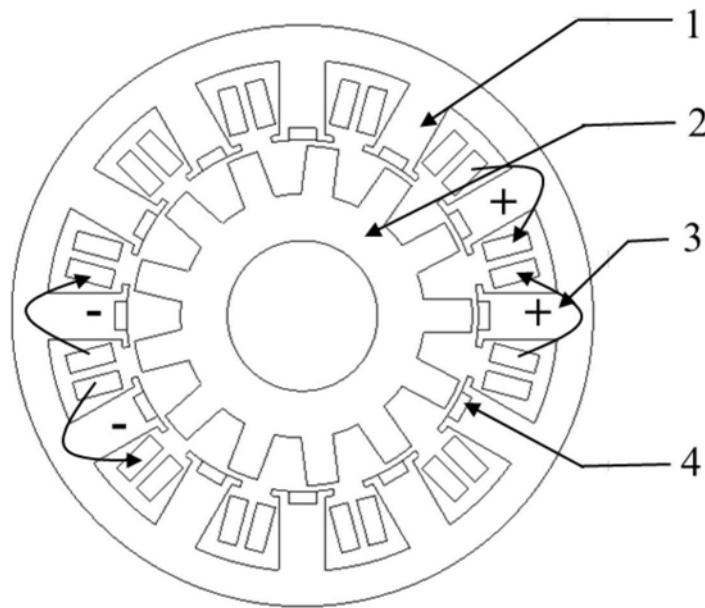


图2 (c)

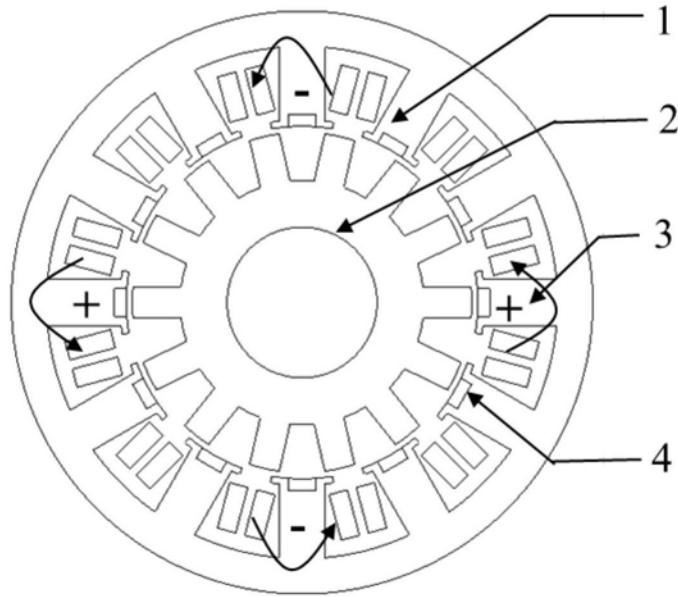


图2(d)

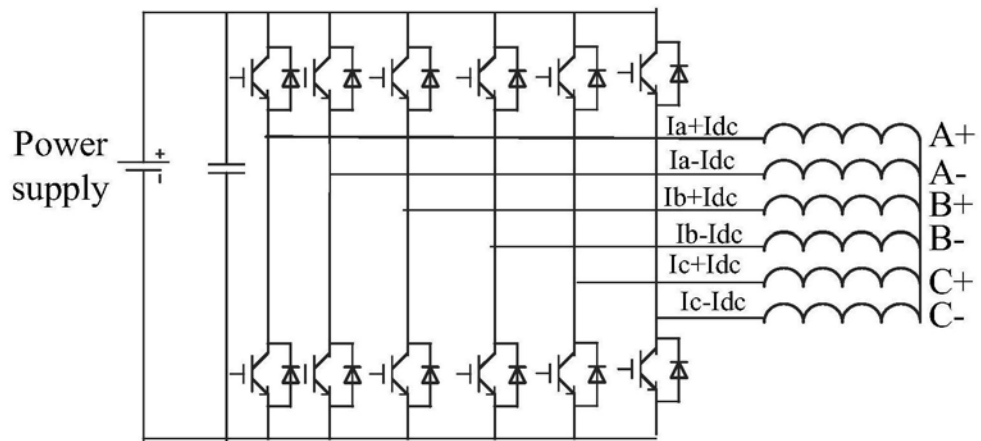


图3

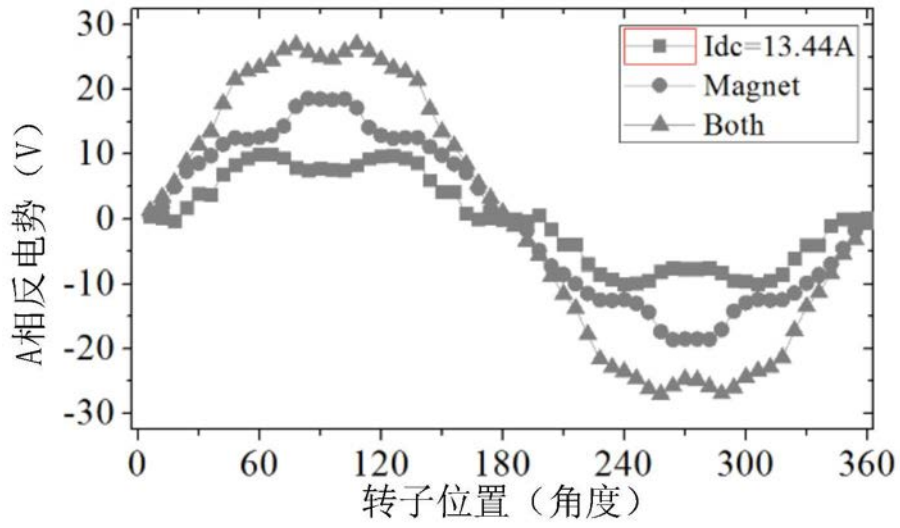


图4

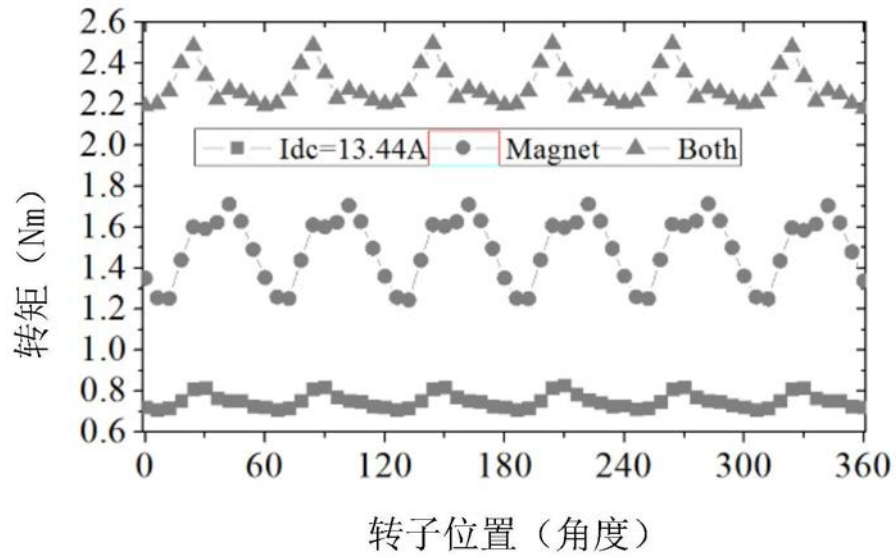


图5

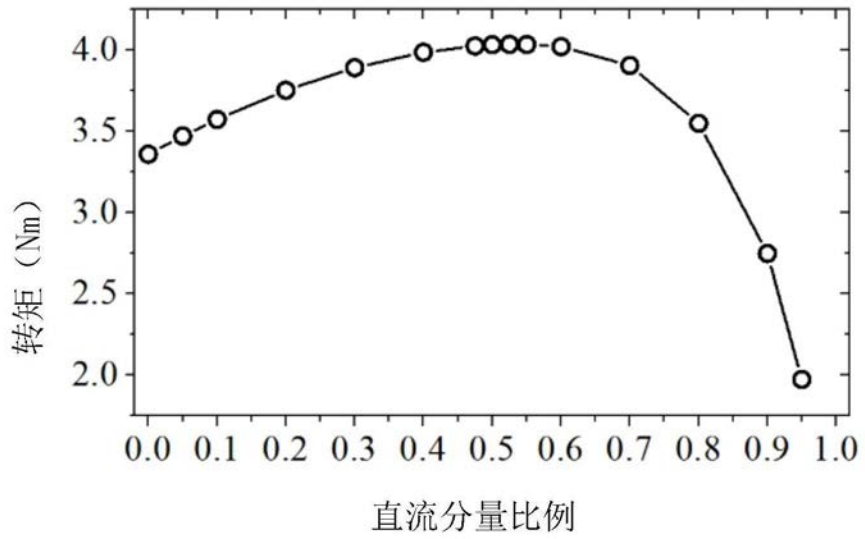


图6

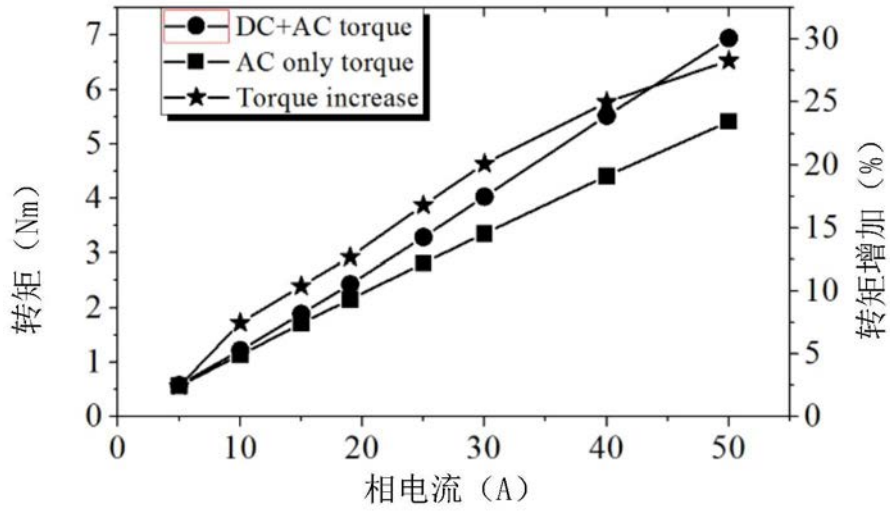


图7