



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104319917 B

(45)授权公告日 2016.10.05

(21)申请号 201410593724.1

H02K 3/28(2006.01)

(22)申请日 2014.10.30

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104319917 A

CN 102290883 A, 2011.12.21, 全文.

EP 2169804 A2, 2010.03.31, 全文.

GB 2485217 A, 2012.05.09, 全文.

CN 102231576 A, 2011.11.02, 全文.

(43)申请公布日 2015.01.28

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

审查员 宗雪娇

(72)发明人 花为 苏鹏 张淦 程明 王宝安

(74)专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所

32250

代理人 王斌

(51)Int.Cl.

H02K 1/14(2006.01)

H02K 1/17(2006.01)

H02K 1/16(2006.01)

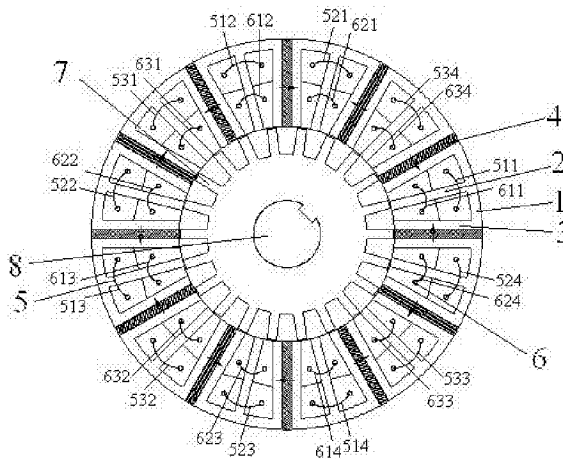
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

冗余型半齿绕磁通切换电机

(57)摘要

本发明公开一种冗余型半齿绕磁通切换电机,包括定子铁心、永磁体、电枢线圈、励磁线圈、转子铁心和轴。定子铁心上设置有容错齿和永磁齿,集中式电枢线圈与集中式励磁线圈均绕制于容错齿上,其中励磁线圈可通过功率变换电路,构成第二套电枢绕组;转子由转子铁心和轴构成,转子铁心上既无永磁体也无电枢绕组,结构简单,适合高速运行。本发明的冗余型半齿绕磁通切换电机,具有转矩(功率)密度高、转矩输出能力强、可靠性高的优点,永磁体上既无电枢绕组也无励磁绕组,能有效避免因绕组发热而引起的永磁体高温退磁;励磁线圈可通过变换电路构成第二套电枢绕组,提高了电机运行的容错性能,具有多种工作模式。



1. 冗余型半齿绕磁通切换电机,包括定子和转子,所述定子和转子均为凸极结构,且两者之间具有气隙;所述定子由定子铁心(1)、永磁体(4)组合而成,所述定子铁心(1)由一个容错齿(2)、两个导磁齿(3)构成,所述容错齿(2)位于两个所述导磁齿(3)之间构成“E”型铁心结构;相邻所述定子铁心(1)之间嵌入所述永磁体(4),所述永磁体(4)充磁方向为切向,且相邻所述永磁体(4)的充磁方向相反;其特征在于,采用半齿绕结构的电枢线圈(5)和励磁线圈(6)并行设置于所述容错齿(2)上,且所述电枢线圈(5)和励磁线圈(6)为集中绕组;

每个电枢线圈(5)与其圆心角分别相隔 90° 、 180° 和 270° 的三个电枢线圈(5)构成一相电枢绕组;各相电枢绕组中的各个电枢线圈(5)内的永磁磁链为单极性变化;各相电枢绕组中圆心角相隔 180° 的两个电枢线圈(5)内的永磁磁链相位相同,且平均值相同,磁链变化具有一致性,同时圆心角相隔 90° 的两个电枢线圈(5)内的永磁磁链相位相差 180° ,且平均值相同,磁链变化具有互补性;各相电枢绕组中圆心角分别为 0° 和 90° 的两个电枢线圈(5)顺向串联组成第一线圈组,圆心角分别为 180° 和 270° 的两个电枢线圈(5)顺向串联组成第二线圈组,所述第一线圈组和所述第二线圈组顺向串联或并联;

每个励磁线圈(6)与每个电枢线圈(5)在空间位置上一一对应,每相电枢绕组中与各电枢线圈(5)对应位置的各个励磁线圈(6)顺向串联构成一个励磁线圈组;各个励磁线圈组采用顺向串联构成能够调节气隙磁场的一套励磁绕组,或者各个励磁线圈组采用“星”型连接构成一套电枢绕组。

2. 根据权利要求1所述的冗余型半齿绕磁通切换电机,其特征在于,所述的并行设置于所述容错齿(2)上电枢线圈(5)和励磁线圈(6)位置可以交换。

3. 根据权利要求1所述的冗余型半齿绕磁通切换电机,其特征在于,所述转子由转子铁心(7)和轴(8)构成,所述转子铁心(7)设置在定子铁心(1)内部构成内转子结构,或者设置在定子铁心(1)外部构成外转子结构。

4. 根据权利要求1所述的冗余型半齿绕磁通切换电机,其特征在于,所述的转子铁心(7)可以为直槽结构或斜槽结构。

5. 根据权利要求1所述的冗余型半齿绕磁通切换电机,其特征在于,所述的定子铁心(1)、容错齿(2)、永磁齿(3)和转子铁心(7)均为导磁材料。

6. 根据权利要求1所述的冗余型半齿绕磁通切换电机,其特征在于,所述的永磁体(4)为钕铁硼、钕钴及铁氧体永磁材料。

冗余型半齿绕磁通切换电机

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于磁通切换原理的无刷电机,特别是涉及一种冗余型半齿绕磁通切换电机,属于电机制造技术领域。

背景技术

[0002] 传统定子永磁型磁通切换电机具有转矩(功率)密度高、转矩输出能力强、效率高等优点,永磁体和集中式电枢绕组均置于定子侧,易于冷却和散热,转子侧既无永磁体也无电枢绕组,结构简单、机械强度高、适合高速运行,且能够运行在环境较为恶劣的条件下。电枢绕组具有一致性和互补性,能有效抵消每相永磁磁链与空载感应电动势中的高次谐波,提高永磁磁链与空载感应电动势波形的正弦性。

[0003] 然而,在风力发电、新能源电动汽车、工业驱动、多电飞机/舰艇等应用领域,不但要求电机具有很好的转矩转速特性,满足设备运行工况多变的条件,而且对电机系统的可靠性有极高需求。目前,传统磁通切换永磁电机均采用一套电枢绕组。当电枢绕组发生故障时,将导致电机无法正常运行,且对负载造成冲击;此外,永磁型磁通切换电机仅由永磁体励磁,存在高温不可逆退磁的风险,且磁场不可调节,不能很好地满足电机运行环境多变的需求。

[0004] 文件CN102290883A中提出了一种带容错齿的冗余励磁双电枢绕组多相磁通切换型电机,具有两套电枢绕组和一套励磁绕组,使得电机具有多种工作方式,有效提高了电机的容错能力和可靠性。但是,两套电枢绕组分布采用径向对称结构,在仅有一套绕组工作模式下,由于气隙内存在单边电枢磁场,将产生较大的径向磁拉力,进而引起较大的转矩脉动和噪声。

[0005] 此外,传统定子永磁型磁通切换电机与文件CN102290883A中所提出的一种带容错齿的冗余励磁双电枢绕组多相磁通切换型电机存在如下共性:定子磁极均由定子导磁单元与永磁体共同构成,集中式电枢绕组线圈绕制于定子磁极上,且把永磁体包含其中。在电机工作过程中,电枢绕组因通入交流电产生铜耗、铁耗等损耗而发热,电枢绕组产生的热量将直接传递给与其相接触的永磁体,进而引起永磁体温度上升,影响永磁体性能,甚至产生不可逆退磁。此外,由于定子永磁型磁通切换电机的电枢绕组线圈绕制于由定子导磁单元与永磁体共同构成的定子磁极上,形成一个相对封闭的空间,减小了永磁体的表面散热系数,以及永磁体与冷却系统中空气或冷却液之间的导热系数,不利于永磁体与冷却系统之间的热量传递。基于上述背景与瓶颈问题,本发明提出了一种冗余型半齿绕磁通切换电机,以抑制电机运行过程中的发热并避免永磁体发生不可逆退磁,从而全面满足上述应用领域对电机系统的性能需求。

发明内容

[0006] 针对现有技术的不足,本发明提出了一种转矩(功率)密度高、效率高、转矩输出能力、容错性能强、可靠性高的冗余型半齿绕磁通切换电机,能够有效避免电机运行过程中所

产生的热量对永磁体造成不可逆退磁,同时在电枢绕组发生故障时,可以通过绕组重构,全方面提高电机系统的容错性能与可靠性。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0008] 本发明冗余型半齿绕磁通切换电机包括定子和转子,所述定子和转子均为凸极结构,且两者之间具有气隙;所述定子由定子铁心、永磁体组合而成,所述定子铁心由一个容错齿、两个导磁齿构成,所述容错齿位于两个所述导磁齿之间构成“E”型铁心结构;相邻所述定子铁心之间嵌入所述永磁体,所述永磁体充磁方向为切向,且相邻所述永磁体的充磁方向相反;采用半齿绕结构的电枢线圈和励磁线圈并行设置于所述容错齿上,且所述电枢线圈和励磁线圈为集中绕组;

[0009] 每个电枢线圈与其圆心角分别相隔 90° 、 180° 和 270° 的三个电枢线圈构成一相电枢绕组;各相电枢绕组中的各个电枢线圈内的永磁磁链为单极性变化;各相电枢绕组中圆心角相隔 180° 的两个电枢线圈内的永磁磁链相位相同,且平均值相同,磁链变化具有一致性,同时圆心角相隔 90° 的两个电枢线圈内的永磁磁链相位相差 180° ,且平均值相同,磁链变化具有互补性;各相电枢绕组中圆心角分别为 0° 和 90° 的两个电枢线圈顺向串联组成第一线圈组,圆心角分别为 180° 和 270° 的两个电枢线圈顺向串联组成第二线圈组,所述第一线圈组和所述第二线圈组顺向串联或并联;

[0010] 每个励磁线圈与每个电枢线圈在位置上一一对应,每相电枢绕组中与电枢线圈对应的位置的每个励磁线圈顺向串联构成一个励磁线圈组;针对一台m相的冗余励磁半齿绕磁通切换电机,应构成m个励磁线圈组。其连接方式可根据电机运行情况有两种选择:1)各励磁线圈组顺向串联成为一套直流励磁绕组,实现电机冗余励磁运行;2)各励磁线圈组采用与电枢绕组完全相同的连接方式“星”形连接,构成另外一套电枢绕组,实现电机冗余电枢运行。总之,不论是冗余励磁或者冗余电枢,均可提高电机的容错运行能力、可靠性及控制灵活性。

[0011] 所述的双层设置于所述容错齿上电枢线圈和励磁线圈位置可以交换。

[0012] 所述转子由转子铁心和轴构成,所述转子铁心设置在定子铁心内部构成内转子结构,或者设置在定子铁心外部构成外转子结构。转子铁心可以为直槽结构或斜槽结构。

[0013] 所述的定子铁心、容错齿、永磁齿和转子铁心均为导磁材料。永磁体为钕铁硼、钕钴及铁氧体永磁材料。

[0014] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0015] 1)冗余型半齿绕磁通切换电机具有传统定子永磁型磁通切换电机转矩(功率)密度高、转矩输出能力强、效率高等优点。

[0016] 2)永磁体切向充磁,且相邻两块永磁体充磁方向相反,即一个磁极下容错齿中的磁通由相邻两块永磁体并联提供,具有聚磁特性,有效提高了永磁体的利用率,增加了输出转矩密度与功率密度。

[0017] 3)电枢绕组与励磁绕组均为集中式线圈组成,采用半齿绕结构,减小了端部绕组的长度,与文件CN101079557A中提出的传统定子永磁型磁通切换电机相比,本发明电机的电枢线圈与励磁线圈均设置在容错齿上,端部绕组跨度较小,降低了铜耗,提高了电机运行效率。

[0018] 4)每相电枢绕组具有互补特性。每相绕组的两套线圈组所匝链的永磁磁链中的高

次谐波,特别是偶次谐波可以互相抵消,优化了永磁磁链的正弦性,抑制了空载感应电势的谐波含量。

[0019] 5)电枢线圈与励磁线圈均设置在容错齿上,永磁体与电枢线圈及励磁线圈分离,能有效防止电机工作过程中,电枢线圈与励磁线圈发热而引起的永磁体高温退磁。

[0020] 6)电枢线圈与励磁线圈均设置在容错齿上,增加了永磁体的散热面积,提高了永磁体的表面散热系数以及永磁体与冷却系统中空气或冷却液之间的导热系数,抑制了永磁体的升温;此外,电枢线圈与励磁线圈产生的热量通过容错齿、定子铁心轭部以及定子永磁齿传递。在冷却系统运行正常的条件下,仅有一部分热量传递给永磁体,有效减小了永磁体温度的上升。

[0021] 7)在气隙磁场需要调节的工况下,可通过变换电路,励磁线圈组顺向串联共同构成励磁绕组,励磁绕组与永磁体共同提供气隙磁场,实现了电机气隙磁场的可调节性,既可以通过增磁提高电机的输出转矩密度,也可以通过弱磁,扩大电机的恒功率调速范围,使电机运行具有更佳的可控性。

[0022] 8)在永磁体发生不可逆退磁故障时,可通过电励磁绕组提供励磁磁场,维持电机的正常运行,提高了电机的容错能力。

[0023] 9)在电枢绕组发生故障时,励磁绕组线圈组可通过外接变换电路,重构成第二套电枢绕组,实现了电枢绕组的容错运行,提高了电机系统的可靠性。

[0024] 10)在电机高转矩输出工况下,励磁绕组线圈组可通过外接变换电路,构成第二套电枢绕组,共同产生电枢磁场,提高输出转矩密度与功率密度,满足电机驱动系统运行环境多变的要求。

[0025] 11)本发明的冗余型半齿绕磁通切换电机,由于互补特性使得互补的两个线圈组所在主磁路中的磁场能量与定转子相对位置的导数正负相反,相互抵消,有效减小了定位力矩的大小,抑制了输出转矩脉动。

[0026] 12)本发明的冗余型半齿绕磁通切换电机,其特征在于该电机既可以做电动运行也可以做发电运行。

附图说明

[0027] 图1为本发明冗余型半齿绕磁通切换电机结构示意图;

[0028] 图2为本发明冗余型半齿绕磁通切换电机励磁绕组变换电路示意图;

[0029] 图3为本发明冗余型半齿绕磁通切换电机纯永磁励磁条件下,单相线圈内永磁磁链;

[0030] 图4为本发明冗余型半齿绕磁通切换电机不同励磁工况下,单相线圈内永磁磁链;

[0031] 图5为本发明冗余型半齿绕磁通切换电机电枢绕组与励磁线圈组构成的冗余电枢绕组中所匝链的三相永磁磁链;

[0032] 图6为本发明冗余型半齿绕磁通切换电机定位力矩。

[0033] 图中:1、定子铁心,2、容错齿,3、导磁齿,4、永磁体,5、电枢线圈,6、励磁线圈,7、转子铁心,8、轴。

具体实施方式

[0034] 本发明冗余型半齿绕磁通切换电机,下面以三相冗余型半齿绕磁通切换电机为例,详细阐述本发明的具体实施方式。

[0035] 如图1所示,本发明磁通切换电机包括定子和转子,所述定子和转子均为凸极结构,且两者之间具有气隙;所述定子由定子铁心1、永磁体4组合而成,所述定子铁心1由一个容错齿2、两个导磁齿3构成,所述容错齿2位于两个所述导磁齿3之间构成“E”型铁心结构;相邻所述定子铁心1之间嵌入所述永磁体4,所述永磁体4充磁方向为切向,且相邻所述永磁体4的充磁方向相反;采用半齿绕结构的电枢线圈5和励磁线圈6并行设置于所述容错齿2上,且所述电枢线圈5和励磁线圈6为集中绕组。

[0036] 所述的A相电枢绕组中电枢线圈511与电枢线圈512、513、514空间位置圆心角分别相差 90° 、 180° 和 270° ;各相电枢绕组中的各个电枢线圈5内的永磁磁链为单极性变化;电枢线圈511与513径向相对,电枢线圈内匝链的永磁磁链相位相同,且平均值相同,磁链变化具有一致性,同理,电枢线圈512与514径向相对,电枢线圈内匝链的永磁磁链变化也具有一致性;电枢线圈511与512空间位置圆心角相差 90° ,电枢线圈内的永磁磁链相位相差 180° ,且平均值相同,磁链变化具有互补性,因此顺向串联成为第一线圈组,同理,电枢线圈513与514空间位置圆心角相隔 90° ,磁链变化也具有互补性,因此顺向串联成为第二线圈组;所述第一线圈组和所述第二线圈组顺向串联或并联。

[0037] 每个励磁线圈6与每个电枢线圈5在空间位置上一一对应,A相电枢绕组中与电枢线圈511、512、513和514对应位置的励磁线圈为611、612、613和614,所述四个励磁线圈顺向串联构成一个励磁绕组线圈组a';同理,B相电枢绕组中电枢线圈对应位置下的励磁线圈621、622、623和624顺向串联构成一个励磁绕组线圈组b',C相电枢绕组中电枢线圈对应位置下的励磁线圈631、632、633和634顺向串联构成一个励磁绕组线圈组c';所述的三个励磁绕组线圈组a'、b'和c',其连接方式可根据电机运行情况,通过功率变换电路,顺向串联成为一套励磁绕组,或“星”形连接构成第二套电枢绕组。运行原理参见图2,当开关1与开关2均置于右侧时,三个励磁绕组a'、b'和c'顺向首尾串联,构成一套励磁绕组,通过通入励磁电流调节气隙磁场,实现电机的冗余励磁运行;当开关1与开关2同时置于左侧时,三个励磁绕组a'、b'和c'“星”形连接,重构成第二套电枢绕组,实现电机的冗余电枢运行。上述两种运行方式都极大程度提高了电机系统的可靠性。

[0038] 所述的定子铁心1、容错齿2、永磁齿3与转子铁心7均为硅钢片,永磁体4为钕铁硼、钕钴、铁氧体等永磁体材料。

[0039] 三相冗余型半齿绕磁通切换电机,具有传统定子永磁型磁通切换电机转矩(功率)密度高、转矩输出能力强、效率高等优点。每相电枢绕组具有互补特性,抵消了每相绕组中两套线圈组所匝链的永磁磁链高次谐波特别是偶次谐波,优化了永磁磁链的正弦性,抑制了空载感应电动势的谐波含量,单相电枢绕组永磁磁链波形参照附图3所示。

[0040] 电枢线圈与励磁线圈均绕置在容错齿上,永磁体与电枢线圈及励磁线圈分离,有效防止电机工作过程中,电枢线圈与励磁线圈发热而引起的永磁体高温退磁。由于永磁体及相邻的永磁齿上既无电枢线圈也无励磁线圈,增加了永磁体的散热面积,提高了永磁体的表面散热系数以及永磁体与冷却系统中空气或冷却液间的导热系数,减小了永磁体的温升;此外,电枢线圈与励磁线圈产生的热量通过容错齿、定子铁心轭部以及定子永磁齿传递,在设置有冷却系统的条件下,仅有一部分热量传递给永磁体,有效抑制了永磁体温度的

上升。

[0041] 参照附图6可知,冗余型半齿绕磁通切换电机,由于磁路具有互补特性,互补的两个线圈组所在主磁路中的磁场能量与定转子相对位置的导数正负相反,相互抵消,有效减小了定位力矩的大小,抑制了输出转矩脉动。

[0042] 冗余型半齿绕磁通切换电机在不同工况运行时具有以下特点:

[0043] 1、纯永磁励磁:此时电机仅靠永磁体产生励磁磁场,通过控制电枢电流调节电机的输出转矩、功率密度与调速性能。可通过图2所示的变换电路,将励磁绕组变换为第二套电枢绕组共同工作,提高输出转矩与功率密度。

[0044] 2、混合励磁:励磁绕组与永磁体共同提供气隙磁场,实现了电机气隙磁场的可调节性,既可以通过增磁提高电机的输出转矩与动态性功能,亦可以通过弱磁,扩大电机的恒功率调速范围,使电机运行具有更佳的可控性。此外,通过励磁电流与电枢电流的协调控制,可以实现电机系统在整个运行范围内的在线效率优化,励磁绕组对永磁磁链的调节如图4所示。

[0045] 3、故障运行:

[0046] (1) 永磁体退磁故障:在永磁体发生不可逆退磁故障时,可通过电励磁绕组提供励磁磁场,维持电机的正常运行,提高了电机的容错能力。

[0047] (2) 电枢绕组故障:在电枢绕组发生故障时,励磁绕组可通过外接变换电路,构成第二套电枢绕组,实现了电机的容错运行,提高了电机运行的可靠性,电枢绕组和冗余电枢绕组内永磁磁链如图5所示。

[0048] 以上仅是本发明的具体应用范例,对本发明的保护范围不构成任何限制。除上述实施例外,本发明还可以有其他实施方式。凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案,均落在本发明所要求保护的范围之内。

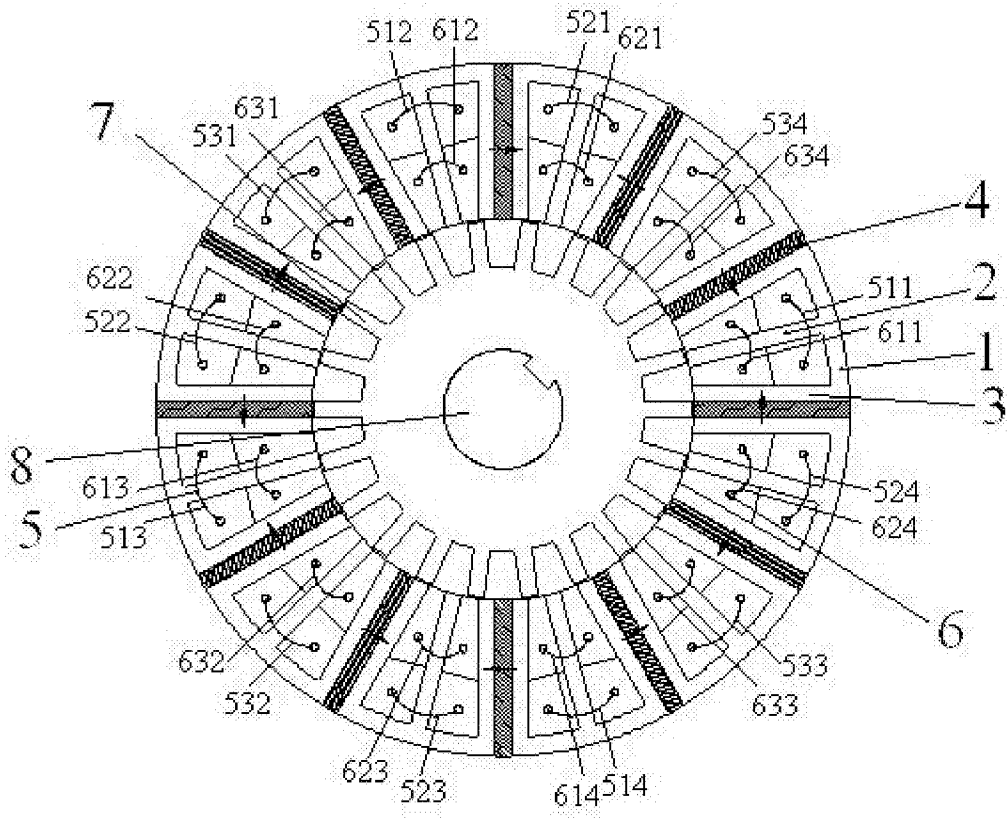


图1

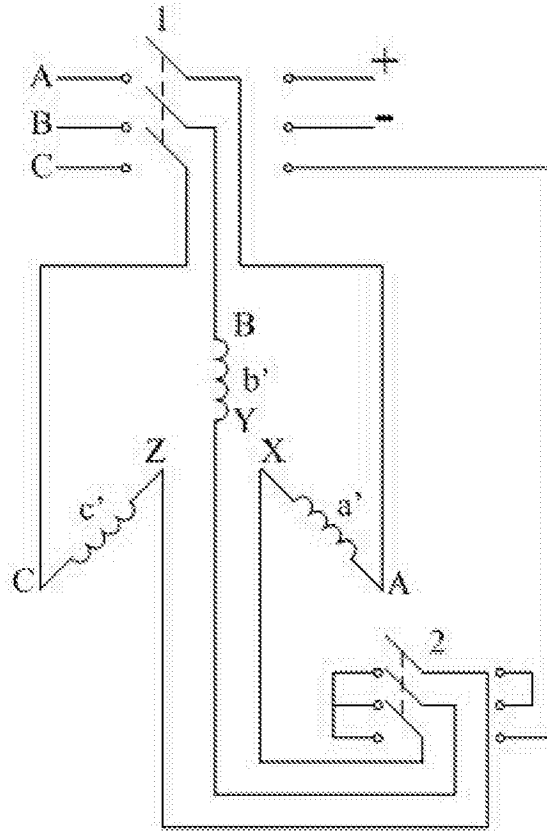


图2

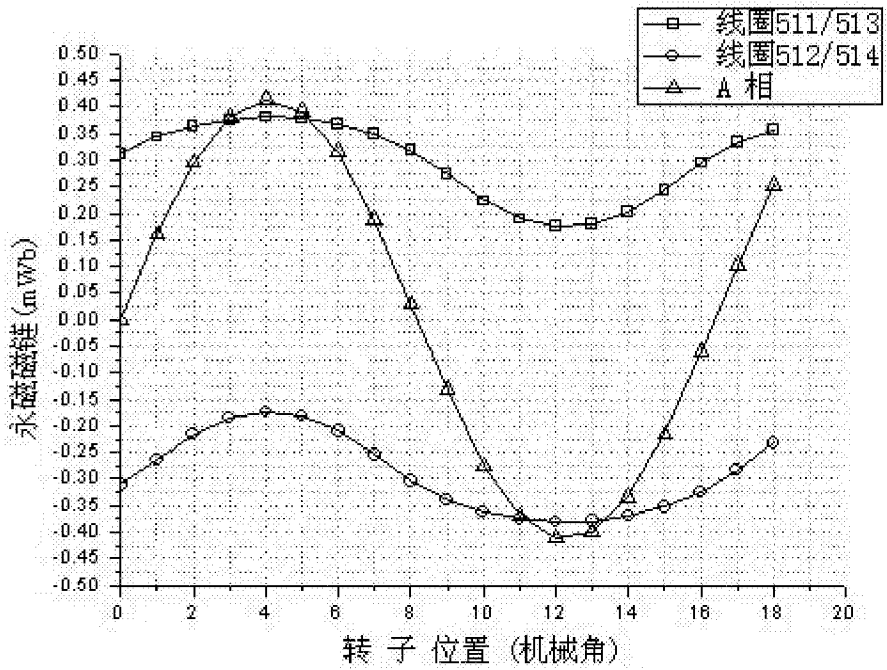


图3

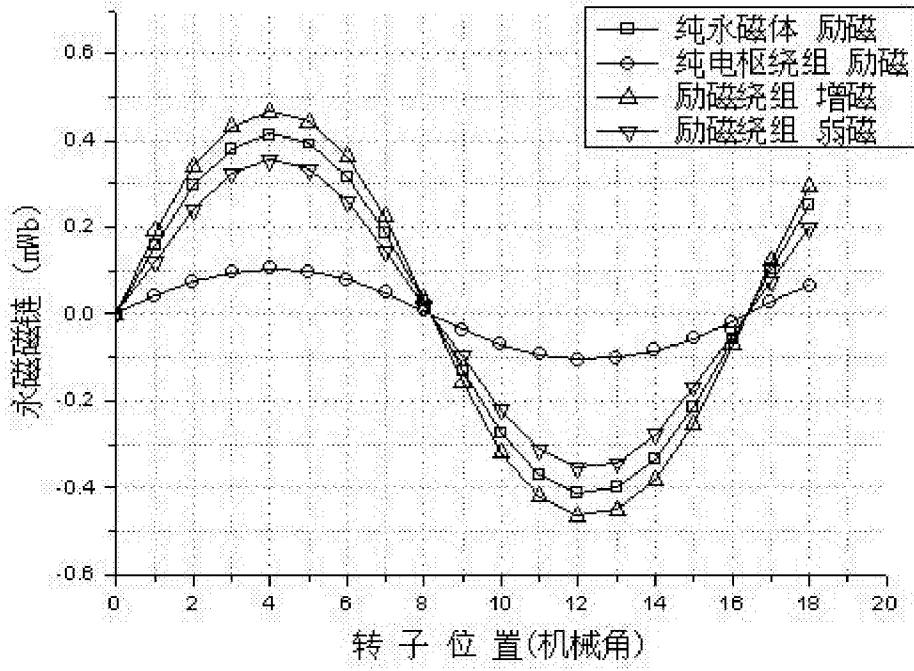


图4

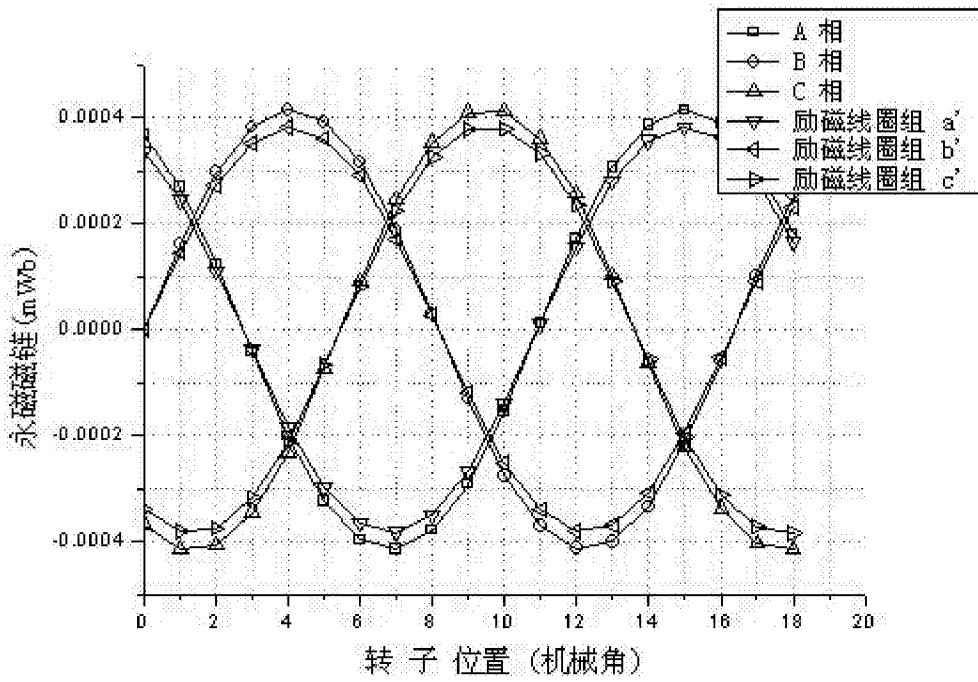


图5

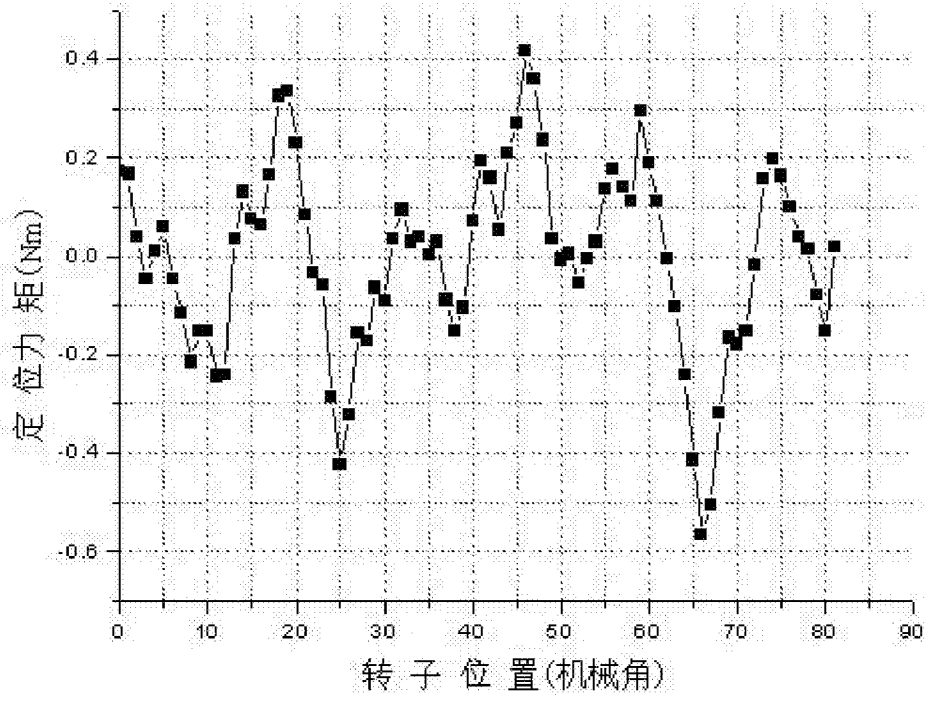


图6