



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 205265494 U

(45) 授权公告日 2016. 05. 25

(21) 申请号 201520941758. 5

(22) 申请日 2015. 11. 24

(73) 专利权人 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 秦月梅 朱焜秋 郝正杰

(51) Int. Cl.

H02K 16/04(2006. 01)

H02K 29/03(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

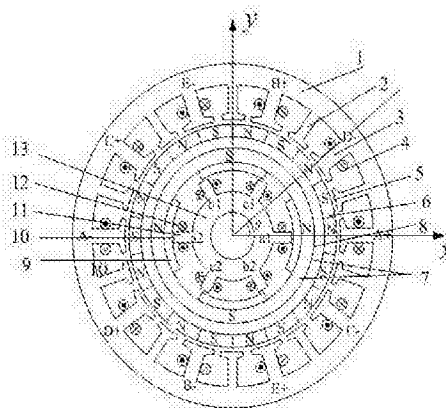
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 实用新型名称

双定子无轴承五相无刷直流电机

(57) 摘要

本实用新型公开一种双定子无轴承五相无刷直流电机,外定子磁轭、转子铁芯和内定子磁轭由外而内同轴心嵌套,外定子磁轭内圆周面上沿圆周方向均匀固定有相互交错排列的 10 个电枢齿和 10 个容错齿,电枢齿上绕有五相转矩绕组;转子铁芯的外表面上均匀分布有 18 极外永磁体,转子铁芯内表面上均匀分布 4 极内永磁体,内定子磁轭外圆周面上沿圆周方向均匀固定 6 个内定子齿,内定子齿上绕有悬浮力绕组;转矩绕组、外永磁体、转子共同作用实现电机旋转,悬浮力绕组、内永磁体、转子共同作用实现转子稳定悬浮,转矩绕组和悬浮力绕组分别独立控制,悬浮力绕组和转矩绕组之间具有自解耦特性,增强了径向悬浮能力并改善悬浮子系统和转矩子系统的动、静态性能。



1. 一种双定子无轴承五相无刷直流电机,其特征是:由外定子磁轭(1)、容错齿(2)、电枢齿(3)、外永磁体(6)、转子铁芯(7)、隔磁铝环(8)、内永磁体(9)、内定子齿(11),内定子磁轭(13)、转矩绕组(4)和悬浮力绕组(12)组成,外定子磁轭(1)、转子铁芯(7)和内定子磁轭(13)三者由外而内同轴心嵌套,外定子磁轭(1)内圆周面上沿圆周方向均匀固定有相互交错排列的10个电枢齿(3)和10个容错齿(2),电枢齿(3)上绕有A、B、C、D、E五相转矩绕组(4),每相绕组绕在1个电枢齿(3)上;转子铁芯(7)的外表面上均匀分布有18极外永磁体(6),18极外永磁体(6)首尾固定相接,均按径向方向充磁且N、S极相互交错布置;转子铁芯(7)的中间固定嵌有隔磁铝环(8);转子铁芯(7)内表面上均匀分布4极内永磁体(9),4极内永磁体(9)按N、S的顺序沿顺时针方向分布且均按径向方向充磁,内定子磁轭(13)外圆周面上沿圆周方向均匀固定6个内定子齿(11),内定子齿(11)上绕有悬浮力绕组(12);电枢齿(3)、容错齿(2)与外永磁体(6)之间存在径向外气隙,内定子齿(11)与内永磁体(9)之间存在径向内气隙。

2. 根据权利要求1所述双定子无轴承五相无刷直流电机,其特征是:相邻两个内永磁体(9)之间相隔 30° ,每极内永磁体(9)所占弧度为 60° 。

3. 根据权利要求1所述双定子无轴承五相无刷直流电机,其特征是:每相转矩绕组(4)由2个线圈组成,共10个线圈按(A+)→(D-)→(B+)→(E-)→(C+)→(A-)→(D+)→(B-)→(E+)→(C-)依次沿逆时针方向分布于电枢齿(3)上。

4. 根据权利要求3所述双定子无轴承五相无刷直流电机,其特征是:所述转矩绕组(4)采用星形链接,采用五相H桥驱动方式,电机正常工作时,转子铁芯(7)逆时针旋转,在任一时刻均有四相转矩绕组(4)同时通电,每相通电时间为 144° 。

5. 根据权利要求4所述双定子无轴承五相无刷直流电机,其特征是:当转子角位置 θ 在 $-18^{\circ}\sim 18^{\circ}$ 时,导通H桥的B、C相上桥臂,导通D、E相下桥臂;当 θ 在 $18^{\circ}\sim 54^{\circ}$ 时,导通B、C相上桥臂,导通A、E相下桥臂;当 θ 在 $54^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 时,导通C、D相上桥臂,导通A、E相下桥臂;当 θ 在 $90^{\circ}\sim 126^{\circ}$ 时,导通C、D相上桥臂,导通A、B相下桥臂;当 θ 在 $126^{\circ}\sim 162^{\circ}$ 时,导通D、E相上桥臂,导通A、B相下桥臂;当 θ 在 $162^{\circ}\sim 198^{\circ}$ 时,导通D、E相上桥臂,导通B、C相下桥臂;当 θ 在 $198^{\circ}\sim 234^{\circ}$ 时,导通A、E相上桥臂,导通B、C相下桥臂;当 θ 在 $234^{\circ}\sim 270^{\circ}$ 时,导通A、E相上桥臂,导通C、D相下桥臂;当 θ 在 $270^{\circ}\sim 306^{\circ}$ 时,导通A、B相上桥臂,导通C、D相下桥臂;当 θ 在 $306^{\circ}\sim 342^{\circ}$ 时,导通A、B相上桥臂,导通D、E相下桥臂。

6. 根据权利要求1所述双定子无轴承五相无刷直流电机,其特征是:悬浮力绕组(12)由a、b、c三相悬浮力绕组组成,分别间隔 120° 空间角度,每相悬浮力绕组(12)由2个线圈组成。

7. 根据权利要求1所述双定子无轴承五相无刷直流电机,其特征是:电枢齿(3)与容错齿(2)不等宽。

双定子无轴承五相无刷直流电机

技术领域

[0001] 本实用新型属于电机领域,具体涉及一种双定子无轴承五相无刷直流电机,适用于航空航天、核电站、电动汽车等要求高可靠性的应用领域。

背景技术

[0002] 无轴承无刷直流电机将转矩绕组和悬浮力绕组共同叠绕在定子齿上,转矩绕组实现电机旋转,悬浮力绕组产生径向悬浮力,实现转子稳定悬浮。该电机同时具备无刷直流电机和磁轴承两者功能,具有磁轴承高速度、高精度、寿命长、无需润滑和密封等优点。而这种无轴承无刷直流电机存在的问题主要有:悬浮力绕组和转矩绕组产生的磁场相互作用,较难实现悬浮力和转矩之间的有效解耦;由于电机电流为方波直流,传统电机的坐标变换控制方法难以应用到无轴承无刷直流电机中。

[0003] 与本发明技术最为接近的电机结构为传统的双定子三相永磁电机,双定子三相永磁电机由于内部永磁体的固有特性,使其容错性能受到限制,特别是绕组短路故障所引起的温升等问题,将造成严重的系统性失效。相比于普通的三相电机而言,多相电机有许多优点,首先,多相电机可以提供更大的输出功率,不仅可以在相同输出功率时有更小的电流,而且大的功率容量为容错时的运行提供保障。其次,由基波电流产生的空间磁动势谐波减小,降低了电机的转矩脉动,由此带来的噪声也得到减小。

发明内容

[0004] 本实用新型的目的在于进一步提高无轴承无刷直流电机的工作性能,实现悬浮力绕组和转矩绕组之间的自动解耦,提高电机的容错能力,本实用新型提出具有很高的容错性能、实现电、磁、热、物理上的隔离的一种双定子无轴承五相无刷直流电机,具有在某一相或几相发生故障时能保证其余非故障相连续运行能力。

[0005] 为实现上述目的,本实用新型采用如下技术方案:本发明由外定子磁轭、容错齿、电枢齿、外永磁体、转子铁芯、隔磁铝环、内永磁体、内定子齿,内定子磁轭、转矩绕组和悬浮力绕组组成,外定子磁轭、转子铁芯和内定子磁轭三者由外而内同轴心嵌套,外定子磁轭内圆周面上沿圆周方向均匀固定有相互交错排列的10个电枢齿和10个容错齿,电枢齿上绕有A、B、C、D、E五相转矩绕组,每相绕组绕在1个电枢齿上;转子铁芯的外表面上均匀分布有18极外永磁体,18极外永磁体首尾固定相接,均按径向方向充磁且N、S极相互交错布置,转子铁芯的中间固定嵌有隔磁铝环;转子铁芯内表面上均匀分布4极内永磁体,4极内永磁体按N、S的顺序沿顺时针方向分布且均按径向方向充磁,内定子磁轭外圆周面上沿圆周方向均匀固定6个内定子齿,内定子齿上绕有悬浮力绕组;电枢齿、容错齿与外永磁体之间存在径向向外气隙,内定子齿与内永磁体之间存在径向向内气隙。

[0006] 进一步地,相邻两个内永磁体之间相隔 30° ,每极内永磁体所占弧度为 60° 。

[0007] 进一步地,每相转矩绕组由2个线圈组成,共10个线圈按(A+)→(D-)→(B+)→(E-)→(C+)→(A-)→(D+)→(B-)→(E+)→(C-)依次沿逆时针方向分布于电枢齿上;转矩绕组4

采用星形链接,采用五相H桥驱动方式,电机正常工作时,转子铁芯7逆时针旋转,在任一时刻均有四相转矩绕组4同时通电,每相通电时间为 144° :当转子角位置 θ 在 $-18^\circ \sim 18^\circ$ 时,导通H桥的B、C相上桥臂,导通D、E相下桥臂;当 θ 在 $18^\circ \sim 54^\circ$ 时,导通B、C相上桥臂,导通A、E相下桥臂;当 θ 在 $54^\circ \sim 90^\circ$ 时,导通C、D相上桥臂,导通A、E相下桥臂;当 θ 在 $90^\circ \sim 126^\circ$ 时,导通C、D相上桥臂,导通A、B相下桥臂;当 θ 在 $126^\circ \sim 162^\circ$ 时,导通D、E相上桥臂,导通A、B相下桥臂;当 θ 在 $162^\circ \sim 198^\circ$ 时,导通D、E相上桥臂,导通B、C相下桥臂;当 θ 在 $198^\circ \sim 234^\circ$ 时,导通A、E相上桥臂,导通B、C相下桥臂;当 θ 在 $234^\circ \sim 270^\circ$ 时,导通A、E相上桥臂,导通C、D相下桥臂;当 θ 在 $270^\circ \sim 306^\circ$ 时,导通A、B相上桥臂,导通C、D相下桥臂;当 θ 在 $306^\circ \sim 342^\circ$ 时,导通A、B相上桥臂,导通D、E相下桥臂。

[0008] 本实用新型的优点在于:

[0009] 1、本实用新型中的转矩绕组、外永磁体、转子共同作用,实现电机旋转,悬浮力绕组、内永磁体、转子共同作用,实现转子稳定悬浮,转矩绕组和悬浮力绕组分别独立控制,在结构上实现悬浮力绕组和转矩绕组之间具有自解耦特性,不存在彼此制约,从而增强了径向悬浮能力并改善悬浮子系统和转矩子系统的动、静态性能。

[0010] 2、外定子转矩绕组采用多相电机结构,电枢齿与容错齿不等宽,易于实现 144° 平顶波的反电势,各相电枢绕组间的容错齿起到了隔离作用,不仅可以使每相通过容错齿形成自己的闭合磁路,从而实现了磁隔离,还在一定程度上避免了相与相之间的热量交换,实现了热隔离,当一相绕组发生短路或开路故障时,对其它相绕组产生的不利影响变小且可以通过容错控制实现正常旋转,而没有绕组的容错齿对其产生的瞬间热量有隔离作用,实现了热隔离,提高了电机的效率,降低了温升。

[0011] 3、悬浮力绕组采用与普通电机相似的三相结构,用三相逆变器驱动,a、b、c三相自由度方向悬浮力可调,能提供更加精准的合成悬浮力,且与功率放大器相比,三相功率逆变器具有体积小、成本低、功率损耗低的优点。

附图说明

[0012] 下面结合附图和具体实施方式对本实用新型做进一步详细说明。

[0013] 图1是本实用新型双定子无轴承五相无刷直流电机的径向结构示意图;

[0014] 图2是图1中五相转矩绕组的通电时序图;

[0015] 图3是图1中五相转矩绕组磁势图;

[0016] 图4是图1中a相、b相、c三相悬浮力绕组通电时序图;

[0017] 图5是图1中内永磁体磁力线和三相悬浮力绕组通电电磁磁力线示意图;

[0018] 图6(a)、(b)、(c)分别是a相、b相、c相悬浮力绕组通电时悬浮力产生的相位图,其中图6(a)是a相为正电流,b、c相为负电流时悬浮力相位图,图6(b)是b相为正电流,a、c相为负电流时悬浮力相位,图6(c)是c相为正电流,a、b相为负电流时悬浮力相位。

[0019] 图中:1—外定子磁轭;2—容错齿;3—电枢齿;4—转矩绕组;5—气隙A;6—外永磁体;7—转子铁芯;8—隔磁铝环;9—内永磁体;10—气隙B;11—内定子齿;12—悬浮力绕组;13—内定子磁轭;14—悬浮力绕组通电磁力线;15—内永磁体磁力线。

具体实施方式

[0020] 参见图1,本实用新型双定子无轴承五相无刷直流电机由外定子磁轭1、容错齿2、电枢齿3、外永磁体6、转子铁芯7、隔磁铝环8、内永磁体9、内定子齿11,内定子磁轭13、转矩绕组4和悬浮力绕组12组成。外定子磁轭1、转子铁芯7和内定子磁轭13三者由外而内地同轴心嵌套,外定子磁轭1内圆周面上沿圆周方向均匀固定20个外定子齿,20个外定子齿由10个电枢齿3和10个容错齿2组成,每相电枢齿3之间有独立的容错齿2,电枢齿3和容错齿2相互交错排列。在电枢齿3上绕有转矩绕组4。

[0021] 外永磁体6是18极,N、S极相互交错布置,均按径向方向充磁,18极外永磁体6的两侧首尾固定相接,18极外永磁体6均匀分布在转子铁芯7的外表面上,外永磁体6与20个外定子齿之间存在径向外气隙5,外气隙5的径向距离为0.5mm。转子铁芯7的中间固定嵌有隔磁铝环8,隔磁铝环8将转子铁芯7分为内外两部分,且与内外转子铁芯7之间紧密相贴。在转子铁芯7内表面上均匀分布4极内永磁体9,内永磁体9均按径向方向充磁,相邻两个内永磁体9之间相隔 30° ,每极内永磁体9所占弧度为 60° 。内定子磁轭13外圆周面上沿圆周方向均匀固定6个内定子齿11,内定子齿11上绕有悬浮力绕组12。内定子齿11与内永磁体9之间存在径向内气隙10,内气隙10的径向距离为0.5mm。

[0022] 转矩绕组4、外永磁体6、转子铁芯7共同作用,实现电机旋转,悬浮力绕组12、内永磁体9、转子铁芯7共同作用,实现转子稳定悬浮。

[0023] 转矩绕组4采用20槽、不等齿宽的容错齿结构,由A、B、C、D、E五相组成,采用分数槽集中绕组,每相转矩绕组4由2个线圈组成,共10个线圈,线圈按(A+)→(D-)→(B+)→(E-)→(C+)→(A-)→(D+)→(B-)→(E+)→(C-)依次沿逆时针方向分布于电枢齿3上。转矩绕组4采用集中隔齿绕制,每相绕组绕在1个电枢齿3上,每相绕组之间间隔一个容错齿2,绕组端部互不交叠,实现热隔离。

[0024] 悬浮力绕组12由a、b、c三相悬浮力绕组组成,分别间隔 120° 空间角度,采用集中绕组,每相悬浮力绕组12由2个线圈组成,共6个线圈,悬浮力绕组12为2极。其中,a相悬浮力绕组由线圈a₁、a₂组成,b相悬浮力绕组由线圈b₁、b₂组成,c相悬浮力绕组由线圈c₁、c₂组成。并且6个线圈按线圈a₁→c₁→b₁→a₂→c₂→b₂的顺序依次沿逆时针方向分布于内定子齿11上。将线圈a₁、a₂串联,作为a相悬浮力绕组,将线圈b₁、b₂串联,作为b相悬浮力绕组,将线圈c₁、c₂串联,作为c相悬浮力绕组。

[0025] 18极外永磁体6按N、S的顺序间隔贴于转子铁芯7外表面,18极外永磁体6与转矩绕组4共同作用,实现电机旋转。4极内永磁体9按径向方向充磁,并且按N、S的顺序沿顺时针方向贴于转子铁芯7内表面,4极内永磁体9与2极悬浮力绕组12共同作用,实现电机的稳定悬浮。

[0026] 已有的双定子电机结构,转矩绕组基本采用三相永磁电机,无刷直流电机的转矩大于永磁电机,且五相无刷直流电机的转矩大于三相电机,同样的电流,五相无刷直流电机的转矩出力力度更大,并且在电机转子转过的 360° 电角度中,三相无刷直流电机每隔 60° 电角度换一次向,而五相无刷直流电机每隔 36° 电角度换一次向,故其合成转矩的转矩脉动比三相无刷直流电机小,且五相电机更容易实现容错控制。本实用新型中五相转矩绕组4采用星形链接,采用五相H桥驱动方式。电机正常工作时,转子逆时针旋转,在任一时刻均有四相转矩绕组4同时通电,参见图2,每相通电时间为 144° ,A、B、C、D、E各相电流相位依次相差 72° ,每隔 36° 电角度就换一次向。参见图3,其中A、B、C、D、E方向为各相单独通电时的磁

势方向, $F_{AB/CD}$ 为 A、B、C、D 四相同时导通时的合成磁势方向, 且 A、B 相为上桥臂导通, C、D 相为下桥臂导通, 四相转矩绕组 4 的 10 种组合导通方式及合成磁势参见图 3, 分别为磁势 $F_{AB/DE}$ 、 $F_{BC/DE}$ 、 $F_{BC/AE}$ 、 $F_{CD/AE}$ 、 $F_{CD/AB}$ 、 $F_{DE/AB}$ 、 $F_{DE/BC}$ 、 $F_{AE/BC}$ 、 $F_{AE/CD}$, 形成一个圆周。转矩绕组 4 通电顺序取决于转子角位置 θ , 根据电枢磁势保持与转子磁场相垂直, 产生转矩最有效的原则, 当转子角位置 θ 在 $-18^\circ \sim 18^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{BC/DE}$ 有效, 则导通 B、C 相上桥臂, 导通 D、E 相下桥臂; 当 θ 在 $18^\circ \sim 54^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{BC/AE}$ 有效, 则导通 B、C 相上桥臂, 导通 A、E 相下桥臂; 当 θ 在 $54^\circ \sim 90^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{CD/AE}$ 有效, 则导通 C、D 相上桥臂, 导通 A、E 相下桥臂; 当 θ 在 $90^\circ \sim 126^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{CD/AB}$ 有效, 则导通 C、D 相上桥臂, 导通 A、B 相下桥臂; 当 θ 在 $126^\circ \sim 162^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{DE/AB}$ 有效, 则导通 D、E 相上桥臂, 导通 A、B 相下桥臂; 当 θ 在 $162^\circ \sim 198^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{DE/BC}$ 有效, 则导通 D、E 相上桥臂, 导通 B、C 相下桥臂; 当 θ 在 $198^\circ \sim 234^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{AE/BC}$ 有效, 则导通 A、E 相上桥臂, 导通 B、C 相下桥臂; 当 θ 在 $234^\circ \sim 270^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{AE/CD}$ 有效, 则导通 A、E 相上桥臂, 导通 C、D 相下桥臂; 当 θ 在 $270^\circ \sim 306^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{AB/CD}$ 有效, 则导通 A、B 相上桥臂, 导通 C、D 相下桥臂; 当 θ 在 $306^\circ \sim 342^\circ$ 时, 选择磁势 $F_{AB/DE}$ 有效, 则导通 A、B 相上桥臂, 导通 D、E 相下桥臂。按照此导通顺序, 则转矩绕组 4 合成磁势呈逆时针旋转, 产生旋转转矩, 使电机旋转。为了形成 144° 平顶的梯形波反电势, 电枢齿 3 与容错齿 2 不等宽, 每相转矩绕组 4 之间被容错齿 2 隔开, 起到了隔离作用, 调节容错齿 2 与电枢齿 3 各宽度, 易形成 144° 平顶的梯形波反电势, 不仅可以使每相通过容错齿 2 形成自己的闭合磁路, 从而实现了磁隔离, 还在一定程度上避免了相与相之间的热量交换, 实现了热隔离, 实现无刷直流电机结构。同时, 容错齿 2 能实现磁场、热量、和物理上的近似完全隔离, 每一相可看做独立的部分, 当某相绕组发生故障时, 切除掉该相, 通过补偿其他相可实现电机的正常运行。

[0027] 已有的双定子电机结构, 内定子悬浮力绕组采用四极结构, 采用两个差分功率放大器驱动。本实用新型中内定子悬浮力绕组 12 采用与普通电机相似的三相结构, 采用逆变器驱动, a、b、c 相三自由度方向悬浮力可调, 能够提供更加精准的合成悬浮力。转子悬浮时, 三相悬浮力绕组 12 通电顺序取决于转子的偏心位置, 若转子中心点向 x 轴负方向偏移, 则控制悬浮力电流产生 x 轴正方向的悬浮力即可将其拉回至中心位置。悬浮力绕组 12 与转矩绕组 4 互相独立控制, 悬浮力绕组电流按 a、b、c 方向相位依次相差 120° 。参见图 4, 当 a 相电流为正向最大 u_{a1} 时, b、c 相电流分别为负向 u_{b1} 、 u_{c1} 。当 a 相悬浮力绕组按图 5 所示方式通电, 则 b、c 相电流方向与图 5 方向相反。 a_1 相与 x 轴正方向同向, 设 b_1 、 c_1 方向分别为 b、c 相正方向, 悬浮力绕组通电磁力线 14 和内永磁体磁力线 15 参见图 5 虚线, x 轴负方向磁场增强, x 轴正方向磁场减弱, 同时 b、c 反方向磁场增强, 正方向磁场减弱。相对于悬浮力绕组 12, 转子为外转子, 所以产生 x 轴正方向悬浮力 F_a , b、c 正方向悬浮力 F_b 、 F_c , 参见图 6(a), 悬浮力 F_a 大于 F_b 和 F_c , 通过调节 a、b、c 三相电流改变 F_a 、 F_b 、 F_c 三相悬浮力大小, 将向 x 轴负方向偏移的转子拉回至中心处。同理参见图 6(b)、6(c), b 相、c 相悬浮力绕组分别通正向最大电流时产生的悬浮力分别为 F_b 、 F_c 、沿 b、c 轴方向分布, 悬浮力绕组三相导通时所产生的悬浮力方向共同决定一个平面, 改变相应悬浮力绕组电流的大小, 可以产生在此平面内大小和方向可控的悬浮力, a、b、c 三自由度方向可调使得悬浮力的输出更加精确, 从而支承转子稳定悬浮。

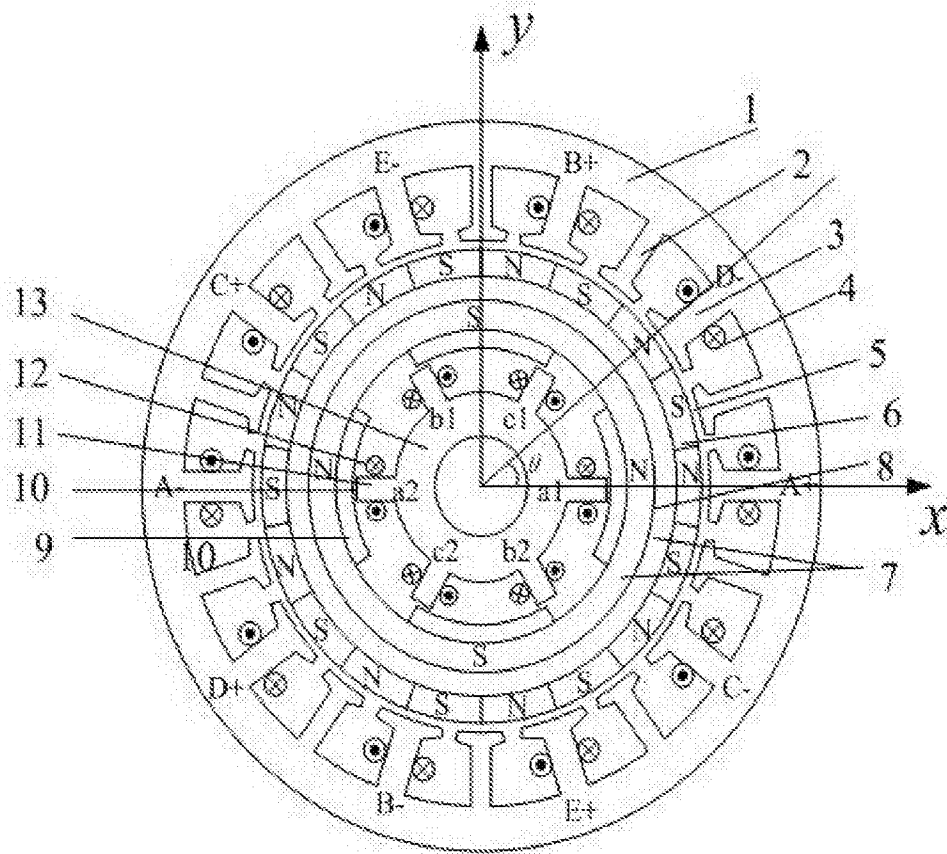


图1

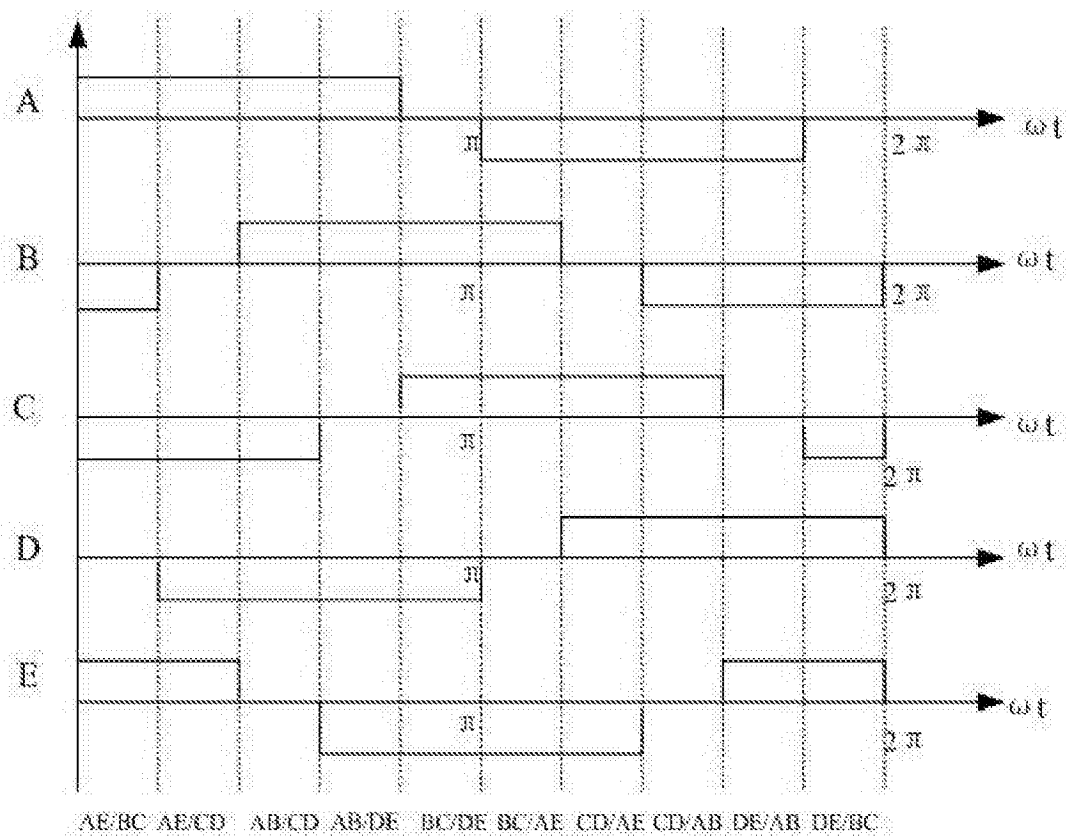


图2

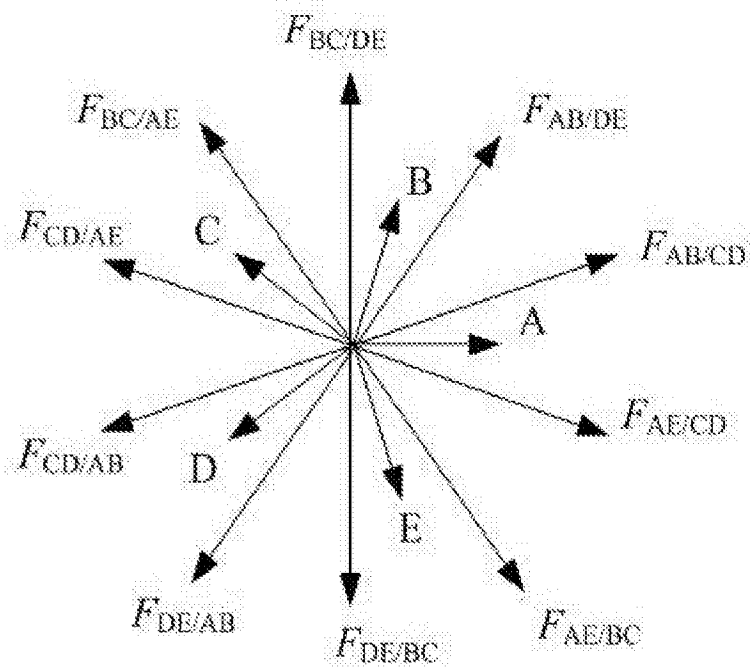


图3

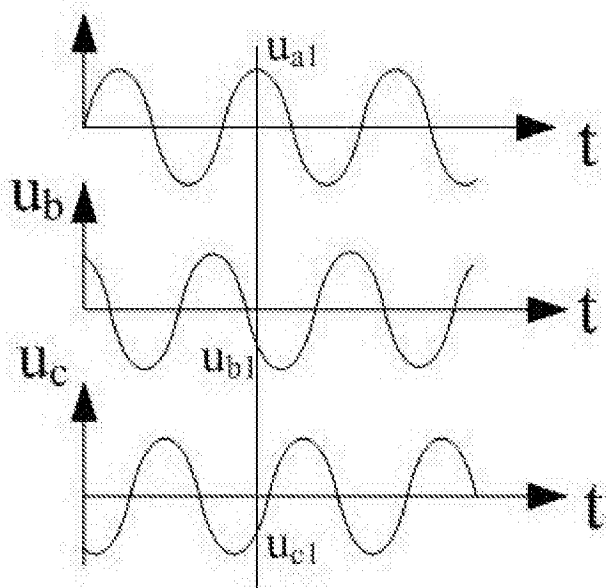


图4

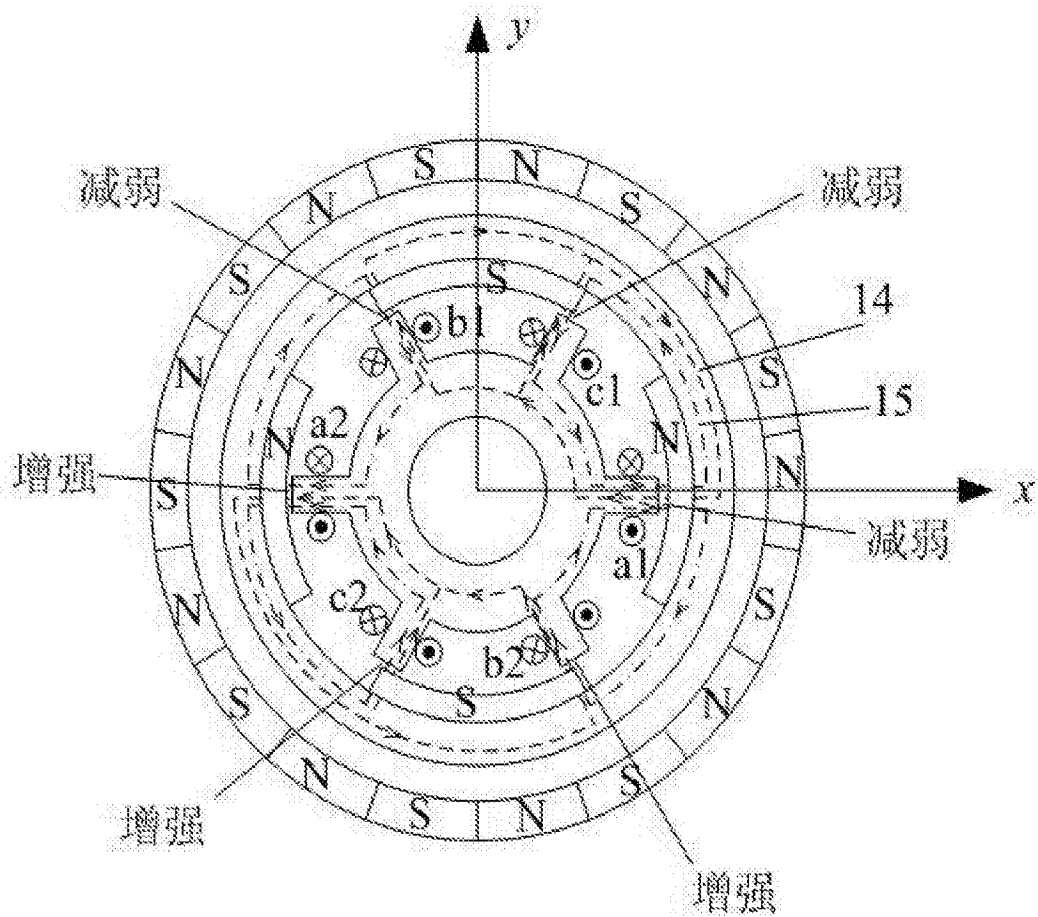


图5

