(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103532264 A
(43)申请公布日 2014.01.22

(21)申请号 201310416639.3

(22)申请日 2013.09.12

(71)申请人 东南大学
地址 210096 江苏省南京市四牌楼 2 号

(72)发明人 花为 华浩 鹿泉峰 程明

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所（普通合伙）32204
代理人 柏尚春

(51)Int.Cl.
H02K 1/14(2006.01)
H02K 1/24(2006.01)
H02K 3/04(2006.01)

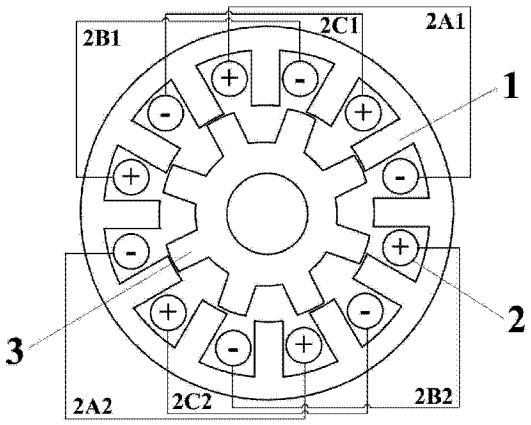
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种整距绕组开关磁阻电机

(57)摘要

本发明公开了一种整距绕组开关磁阻电机，该电机为双凸极结构，定子和转子上均设有凸极齿，但定转子上凸极齿的个数不相等。定子齿上绕有分布式整距绕组线圈，形成多相对称整距绕组结构，线圈为单层圈边，即每个定子槽只放置一个定子绕组线圈的圈边，电机每相绕组的自感大小保持恒定，不随转子位置而变化，但是互感大小会随转子位置而发生周期性变化，即电机依靠互感变化产生的磁阻转矩工作。本发明同时介绍了该整距绕组开关磁阻电机的控制方法，其至少需要两相绕组同时通电。该整距绕组开关磁阻电机结构可以提高电机的材料利用率，增加电机输出转矩并降低转矩脉动。



CN 103532264 A

1. 一种整距绕组开关磁阻电机，包括定子（1）和转子（3），其特征在于，所述的定子（1）上设有偶数个定子齿，且定子齿上绕有整距绕组线圈（2），该绕组为单层线圈结构，即每个定子槽中只放置有一个线圈圈边，每个线圈的两个圈边跨过一个完整定子极距，每相绕组包括若干个线圈，属于一相绕组的各个线圈顺序串联或者并联或者串并混联构成一相绕组，最终形成多相对称整距绕组结构，转子（3）上亦有若干个凸极齿，但没有绕组和永磁体。

2. 按照权利要求 1 所述的整距绕组开关磁阻电机，其特征在于，所述的电机定转子铁心由硅钢片叠压而成，整机不需要永磁体。

3. 按照权利要求 1 所述的整距绕组开关磁阻电机，其特征在于，所述的电机定子（1）和转子（3）均为凸极结构，且转子（3）为内转子，或者外转子。

4. 按照权利要求 1 所述的整距绕组开关磁阻电机，其特征在于，所述的电机是旋转电机，或是直线电机或者直线旋转双自由度电机。

5. 按照权利要求 1 所述的整距绕组开关磁阻电机，其特征在于，所述的电机是径向、轴向、或横向磁场结构。

一种整距绕组开关磁阻电机

技术领域

[0001] 本发明涉及一种整距绕组开关磁阻电机。属于电机制造与控制的技术领域。

背景技术

[0002] 随着电力电子技术、微电子技术和自动控制技术的发展，开关磁阻电机逐渐成为一种可以大规模应用的新电机类型，尤其是稀土永磁材料的剧烈价格波动，使不需使用永磁体的开关磁阻电机的应用越来越广泛。传统开关磁阻电机为双凸极结构，定转子均由普通硅钢片压叠制成，转子上既无永磁体也无绕组，定子上有集中式绕组，其互感不随转子位置变化而变化，但是自感会随转子位置变化而改变，依据“磁阻最小”原理工作，即依靠自感变化产生的磁阻转矩驱动转子。开关磁阻电机具备制造简单、成本低、结构坚固、容错性能好、易于散热、适宜高速运行等优点，在工业驱动、电气调速、电动汽车、家用电器、纺织机械等领域中已显示出强大的竞争力与广阔的应用前景。

[0003] 传统开关磁阻电机定子上若干个凸极齿均匀分布，齿形齿宽完全相同，集中式绕组线圈也均匀分布，即每个定子齿上都套有匝数相同且线径相同的集中式绕组线圈。一个定子槽被分为两半，分属于不同相的两个线圈圈边并列排布在同一个定子槽中。多相对称绕组沿定子圆周均匀分布，若干个线圈根据性能需求串联或者并联或者串并混联组成一相绕组。上述传统绕组结构的开关磁阻电机采用集中式绕组结构，每个时刻只有部分绕组通电，亦只有部分铁心直接参与电磁能量转换，剩余绕组和铁心材料被闲置，故材料利用率较低，且采用集中绕组工作的开关磁阻电机转矩脉动较大，不利于电机驱动系统的平滑稳定工作。

[0004] 因此，本发明从解决上述两个问题出发，在现有常规开关磁阻电机结构基础之上，提出了一种采用整距绕组结构的新型开关磁阻电机，通过改变绕组结构，进而改变电机的运行方式，提高电机材料利用率，抑制电机转矩脉动并增大电机输出转矩。

发明内容

[0005] 技术问题：本发明所要解决的技术问题是：提出一种整距绕组开关磁阻电机，该开关磁阻电机依据互感变化产生的磁阻转矩工作，提高了电机的材料利用率，有利于抑制电机转矩脉动并增大输出转矩，并且该结构适用于任意相数、任意定转子齿槽配合的开关磁阻电机。

[0006] 技术方案：为解决上述技术问题，本发明采用的技术方案是：

[0007] 本发明的整距绕组开关磁阻电机，包括定子和转子，所述的定子上设有偶数个定子齿，且定子齿上绕有整距绕组线圈，该绕组为单层线圈结构，即每个定子槽中只放置有一个线圈圈边，每个线圈的两个圈边跨过一个完整定子极距，每相绕组包括若干个线圈，属于一相绕组的各个线圈顺序串联或者并联或者串并混联构成一相绕组，最终形成多相对称整距绕组结构，转子上亦有若干个凸极齿，但没有绕组和永磁体。

[0008] 所述的电机定转子铁心由硅钢片叠压而成，整机不需要永磁体。

[0009] 所述的电机定子和转子均为凸极结构，且转子为内转子，或者外转子。

[0010] 所述的电机是旋转电机，或是直线电机或者直线旋转双自由度电机。

[0011] 所述的电机是径向、轴向、或横向磁场结构。

[0012] 所述的整距绕组开关磁阻电机定子铁心上的凸极齿沿圆周均匀分布，且各个凸极齿的齿形齿宽相同。每个定子槽中均放置有一个线圈圈边。

[0013] 所述的整距绕组开关磁阻电机的绕组自感为一个基本不变的常数，不会随转子位置的变化而改变，但是绕组间的互感会随转子位置变化而改变，电机依靠互感变化产生的磁阻转矩工作，而且在相同条件下，该整距绕组开关磁阻电机的互感变化率会明显大于同样尺寸的传统开关磁阻电机的自感变化率，因此，该整距绕组开关磁阻电机的功率密度会明显增加。

[0014] 所述的整距绕组开关磁阻电机结构可以应用于任意相数、任意定转子齿槽配合的开关磁阻电机(单相 2/2 结构也可以，即成为单个线圈结构，但此时电机只有一相，不存在互感的概念)。以三相定子 12 槽 / 转子 8 极开关磁阻电机结构为例，定子上设有 12 个对称的凸极齿，相应地形成 12 个对称的定子槽，包括第一定子槽、第二定子槽、第三定子槽、第四定子槽、第五定子槽、第六定子槽、第七定子槽、第八定子槽、第九定子槽、第十定子槽、第十一定子槽和第十二定子槽 ；转子上设有 8 个对称的凸极齿 ；总共 6 个分布式整距绕组线圈嵌套在定子齿上，包括第一整距绕组线圈、第二整距绕组线圈、第三整距绕组线圈、第四整距绕组线圈、第五整距绕组线圈和第六整距绕组线圈，其中 ：第一整距绕组线圈和第四整距绕组线圈径向相对，第二整距绕组线圈和第五整距绕组线圈径向相对，第三整距绕组线圈和第六整距绕组线圈径向相对。每个整距绕组线圈的一个圈边放置在一个定子槽中，且完整地占据此定子槽。第一整距绕组线圈的两个圈边分别放置于第一定子槽和第四定子槽，第二整距绕组线圈的两个圈边分别放置于第二定子槽和第五定子槽，第三整距绕组线圈的两个圈边分别放置于第三定子槽和第六定子槽，第四整距绕组线圈的两个圈边分别放置于第七定子槽和第十定子槽，第五整距绕组线圈的两个圈边分别放置于第八定子槽和第十一定子槽，第六整距绕组线圈的两个圈边分别放置于第九定子槽和第十二定子槽，即每个线圈的跨距都等于定子极距，也就是线圈的两个圈边跨过的定子齿数等于电机相数。第一整距绕组线圈和第四整距绕组线圈串联或者并联组成 A 相整距绕组，第二整距绕组线圈和第五整距绕组线圈串联或者并联组成 B 相整距绕组，第三整距绕组线圈和第六整距绕组线圈串联或者并联组成 C 相整距绕组。

[0015] 有益效果 ：与现有技术相比，本发明具有以下有益效果 ：

[0016] 1. 材料利用率大大提高。本发明的电机依靠互感变化产生的磁阻转矩工作，改善了传统开关磁阻电机每个时刻只有通电相绕组附近的铁心参与电磁能量转换，大量铁心材料和绕组材料被空闲浪费的缺点，使电机的材料利用率得以提高。

[0017] 2. 更小的转矩脉动和更大的转矩。本发明的电机采用整距绕组结构，每个时刻至少有两相绕组同时通电，且电机的互感变化率更大，在互感的上升区和下降区都可以产生转矩，因此，通过合理的控制方式能够明显抑制电机的转矩脉动，提高电机的输出转矩。

[0018] 3. 适宜高速运行。本发明的电机绕组设置在定子上，转子上既没有绕组，也没有永磁体，转子转动惯量小，适宜高速运行。

[0019] 4. 结构简单牢靠。本发明的电机中，定子和转子均由硅钢片压制而成。加工简单，

结构牢靠，不需要使用永磁体，材料和制作成本较低。另外，整距绕组线圈为单层绕组，绕组难度较低，且不需槽内相间绝缘。

[0020] 5. 电机可以采用双极性供电。本发明的电机依靠互感变化工作，在任意时刻需要至少两相绕组同时通电，可以采用双极性通电方式，增大了电机控制器的电流利用效率。

[0021] 6. 电机控制方式灵活多样。电机的供电方式有多种，可以采用单极性供电，亦可以采用双极性方波供电或者双极性正弦波供电等方式。

附图说明

[0022] 图 1 是传统绕组结构的三相定子 12 槽 / 转子 8 极开关磁阻电机的横向剖视结构示意图。

[0023] 图 2 是本发明实施例采用的三相定子 12 槽 / 转子 8 极结构的整距绕组开关磁阻电机的横向剖视结构示意图。

[0024] 图 3 是本发明实施例的整距绕组开关磁阻电机的电感波形和几种典型驱动电流波形，其中图 a、b、c、d 分别为单极性 120° 驱动、双极性 120° 驱动、双极性 180° 驱动和双极性正弦波驱动。

[0025] 图 4 是本发明实施例采用的几种功率电路拓扑结构，其中图 a、b、c 分别为不对称半桥电路、独立三相全桥电路、三相六管全桥逆变电路。

[0026] 图中有 :定子 1，整距绕组 2、第一整距绕组线圈 2A1、第二整距绕组线圈 2C1、第三整距绕组线圈 2B1、第四整距绕组线圈 2A2、第五整距绕组线圈 2C2 和第六整距绕组线圈 2B2，转子 3。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图，对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0028] 本发明的一种整距绕组开关磁阻电机，包括定子 1、整距绕组 2 和转子 3。定子 1 上设有偶数个定子齿。相邻定子齿之间形成定子槽，每个定子齿沿定子的径向都有另一个定子齿与其相对。定子齿上绕有整距绕组线圈 2，整距绕组 2 为单层绕组结构，嵌套于定子 1 的定子槽中，每个定子槽中只放置有一个线圈圈边，且一个线圈的两个圈边跨过一个定子整极距，即线圈的两个圈边跨过的定子凸极齿的个数等于电机的相数。每相绕组由若干个线圈通过串联或者并联或者串并混联组成。

[0029] 进一步的，所述的定子 1 和转子 3 均为凸极结构，且转子 3 可以为内转子，或者外转子。当转子 3 为内转子时，定子 1 位于转子 3 的外侧。当转子 3 为外转子时，定子 1 位于转子 3 的内侧。转子 3 上无绕组和永磁体。

[0030] 本发明的整距绕组开关磁阻电机工作机理遵循磁阻最小原理，即磁通总是沿磁阻最小(磁导最大)的路径闭合。当定子齿和转子齿中心线不重合时，即磁导不为最大时，磁场就会产生磁拉力，形成磁阻转矩，使转子 3 转到磁导最大的位置。

[0031] 如图 1 所示，传统绕组结构的三相定子 12 槽 / 转子 8 极开关磁阻电机中，定子上有 12 个集中绕组线圈，按逆时针方向依次称为第一集中绕组线圈至第十二集中绕组线圈，其中 :第一集中绕组线圈和第七集中绕组线圈径向相对，第四集中绕组线圈和第十集中绕组线圈径向相对，上述四个线圈可顺序串联或并联或串并混联后组成 A 相绕组 ;第三集中

绕组线圈和第九集中绕组线圈径向相对，第六集中绕组线圈和第十二集中绕组线圈径向相对，上述四个线圈可顺序串联或并联或串并混联后组成 B 相绕组；第二集中绕组线圈和第八集中绕组线圈径向相对，第五集中绕组线圈和第十一集中绕组线圈径向相对，上述四个线圈可顺序串联或并联或串并混联后组成 C 相绕组。该传统开关磁阻电机利用绕组自感的变化产生磁阻转矩工作，绕组和铁心利用率都较低，在理想线性条件下，其输出转矩公式为：

[0032] $$T=\frac{1}{2}i_a^2\frac{dL_a}{d\theta}+\frac{1}{2}i_b^2\frac{dL_b}{d\theta}+\frac{1}{2}i_c^2\frac{dL_c}{d\theta} \qquad (1)$$

[0033] 其中，i_a，i_b，i_c 分别为电机三相绕组的相电流，L_a，L_b，L_c 分别为电机的三相自感，θ 为转子位置。

[0034] 本发明的整距绕组开关磁阻电机绕组结构与传统开关磁阻电机结构完全不同。传统开关磁阻电机采用集中式绕组结构，每个定子齿上均绕有一个集中式绕组线圈，电机每相绕组的自感随转子位置变化而改变，互感则很小且基本保持恒定，不随转子位置变化而改变，因此，电机依靠自感变化而产生的磁阻转矩工作。本发明的整距绕组开关磁阻电机将绕组结构由集中绕组更改为整距绕组，每个定子槽中放置整距绕组线圈的一个圈边，且一个线圈的两个圈边跨过定子的一个极距，即形成单层整距绕组结构。电机每相绕组的自感不随转子位置变化而改变，基本保持一个恒定值，但是，互感会随转子位置变化而明显改变，这样，电机依靠由于互感变化而产生的磁阻转矩工作，其输出转矩公式为：

[0035] $$T=i_ai_b\frac{dM_{ab}}{d\theta}+i_bi_c\frac{dM_{bc}}{d\theta}+i_ai_c\frac{dM_{ca}}{d\theta} \qquad (2)$$

[0036] 其中，i_a，i_b，i_c 分别为电机三相绕组的相电流，M_{ab}，M_{bc}，M_{ca} 分别为电机的三相绕组间互感，θ 为转子位置。

[0037] 整距绕组开关磁阻电机的互感变化率比传统开关磁阻电机的自感变化率要大，而且其转矩公式没有 1/2 项，故其输出转矩会大于传统开关磁阻电机。

[0038] 本发明的整距绕组开关磁阻电机控制方式更加灵活多样，可以使用单极性方波电流驱动，亦可以采用双极性方波电流、双极性正弦波电流驱动等。而且，该电机还可以在电流下降区通入相反极性的两相电流来产生电磁转矩，有利于进一步提高电机的输出转矩。

[0039] 本发明的关键为在不改变电机定转子铁心结构和尺寸的条件下，仅通过改变绕组结构，进而改变电机的运行方式，既能提高电机的输出转矩，又能使电机的转矩脉动得到抑制。

[0040] 本发明可以应用于任意相数、任意定转子齿槽极数组合的开关磁阻电机（单相 2/2 结构也可以，即成为单个线圈结构，但此时电机只有一相，不存在互感的概念）。下面以三相定子 12 槽 / 转子 8 极开关磁阻电机为实施例来具体说明本发明的技术方案及其工作原理。

[0041] 如图 2 所示，本实施例的三相定子 12 槽 / 转子 8 极开关磁阻电机，定子 1 上设有 12 个均匀对称的定子齿，进而形成 12 个相应的定子槽，定子上嵌套有 6 个整距绕组线圈，按逆时针方向依次称为：第一整距绕组线圈 2A1、第二整距绕组线圈 2C1、第三整距绕组线圈 2B1、第四整距绕组线圈 2A2、第五整距绕组线圈 2C2 和第六整距绕组线圈 2B2。

[0042] 其中，第一整距绕组线圈 2A1 与第四整距绕组线圈 2A2 径向相对，顺序串联或者并联组成 A 相绕组；第三整距绕组线圈 2B1 与第六整距绕组线圈 2B2 径向相对，顺序串联或者

并联组成B相绕组；第二整距绕组线圈2C1与第五整距绕组线圈2C2径向相对，顺序串联或者并联组成C相绕组。

[0043] 该整距绕组开关磁阻电机控制方式多样，可根据工况不同灵活选择。图3为可以应用于本发明的整距绕组开关磁阻电机的几种常见驱动电流波形。

[0044] 其中，M_{ab}、M_{bc}和M_{ca}分别为三相整距绕组之间的互感，I_a、I_b和I_c分别为三相整距绕组内的驱动电流。对于该实施例的整距绕组开关磁阻电机，电机转子齿数为8，对应的极对数为8，即绕组互感变化周期为45°机械角度，而45°机械角度对应于360°电气角度。

[0045] 图3（a)所示为单极性120°驱动方式(这里的单极性120°并不是指实际导通角度为120°，而是为了与之后的几种驱动方式比较，实际上，这种驱动方式是指每个周期导通2/3时长)。此驱动方式的电流周期亦为45°机械角度，而且电流为单极性，只存在大于零和等于零的两个电平状态，三相电流分别有15°机械角度的相位差，该种驱动方式可以采用如图4（a）所示的不对称半桥电路。

[0046] 图3（b）所示为双极性120°驱动方式，这种驱动方式的电流周期为90°机械角度，每个周期内，有1/3时长导通正向电流，有1/3时长导通反向电流，有1/3时长无电流通过，电流为双极性，包括大于零、等于零和小于零的三个电平状态，三相电流分别有30°机械角度的相位差，该种驱动方式可以采用如图4（b）所示的独立三相全桥电路和图4（c）所示的三相六管全桥逆变电路。

[0047] 图3(c)所示为双极性180°驱动方式，这种驱动方式的电流周期亦为90°机械角度，每个周期内，有1/2时长导通正向电流，有1/2时长导通反向电流，电流为双极性，包括大于零和小于零的两个电平状态，三相电流分别有30°机械角度的相位差，该种驱动方式可以采用如图4（b）所示的独立三相全桥电路和图4（c）所示的三相六管全桥逆变电路。

[0048] 图3（d）所示为双极性正弦波驱动方式，这种驱动方式的电流周期亦为90°机械角度，每个周期内，电流波形均为标准的双极性正弦波，三相电流分别有30°机械角度的相位差，该种驱动方式可以采用如图4（b）所示的独立三相全桥电路和图4（c）所示的三相六管全桥逆变电路。

[0049] 需要说明的是：以上提出的典型驱动电流波形只是几种理想的相电流波形，而不是惟一的，不应认为是对本发明提出的整距绕组开关磁阻电机的限制，任意相近的其它波形的电流也可以驱动本发明的电机。而且，以上提出的电流波形均是理想电流，实际控制中，会存在偏差。

[0050] 图4（a)所示为适用于本发明整距绕组开关磁阻电机的不对称半桥功率电路拓扑结构，包括独立对称的三相结构，每相均有两个开关管和两个续流二极管。

[0051] 图4（b)所示为适用于本发明整距绕组开关磁阻电机的独立三相全桥功率电路拓扑结构，包括独立对称的三相结构，每相均有四个开关管。

[0052] 图4（c)所示为适用于本发明整距绕组开关磁阻电机的三相六管全桥逆变功率电路拓扑结构，包括六个开关管和六个续流二极管。

[0053] 需要指出的，当采用图4（a)和图4（b)所示的三相独立结构的功率电路时，电机的独立三相绕组可以独立连接到主电路上，采用这两种功率电路结构的电机三相绕组电气隔离，可以独立运行，冗余性强、容错性好；而当采用图4（c)所示的三相六管全桥逆变功率电路时，需要将电机的独立三相绕组按照星形或三角形连接在一起，再将它们的另外一端

分别连接到主电路相应的桥臂上。

[0054] 以上所述仅为本发明的较佳实施方式，本发明的保护范围并不以上述实施方式为限，但凡本领域普通技术人员根据本发明所揭示内容所作的等效修饰或变化，皆应纳入权利要求书中记载的保护范围内。

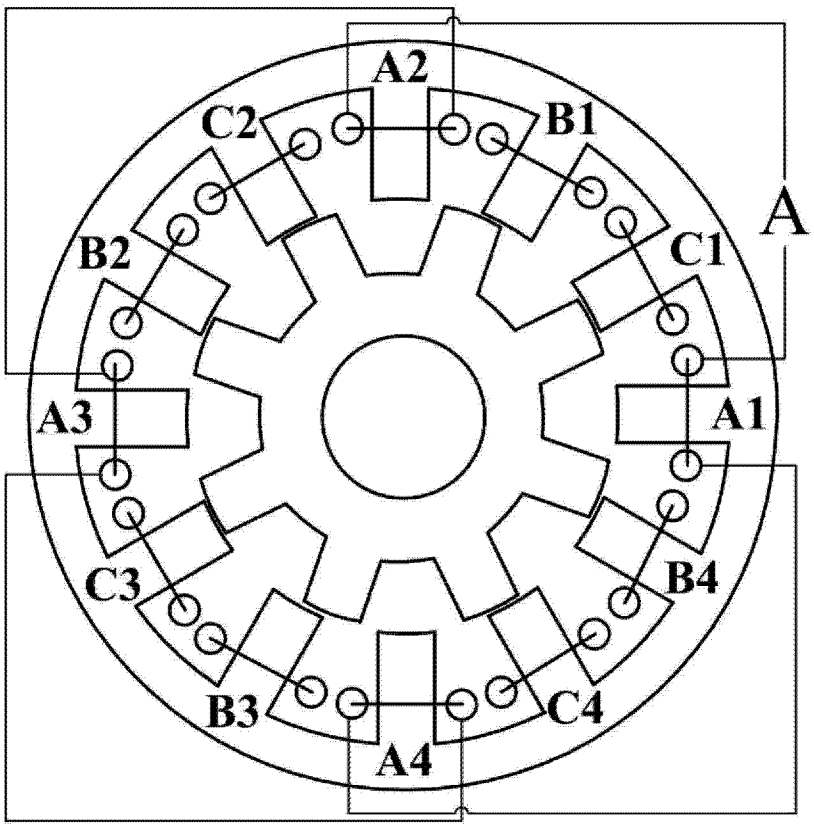


图 1

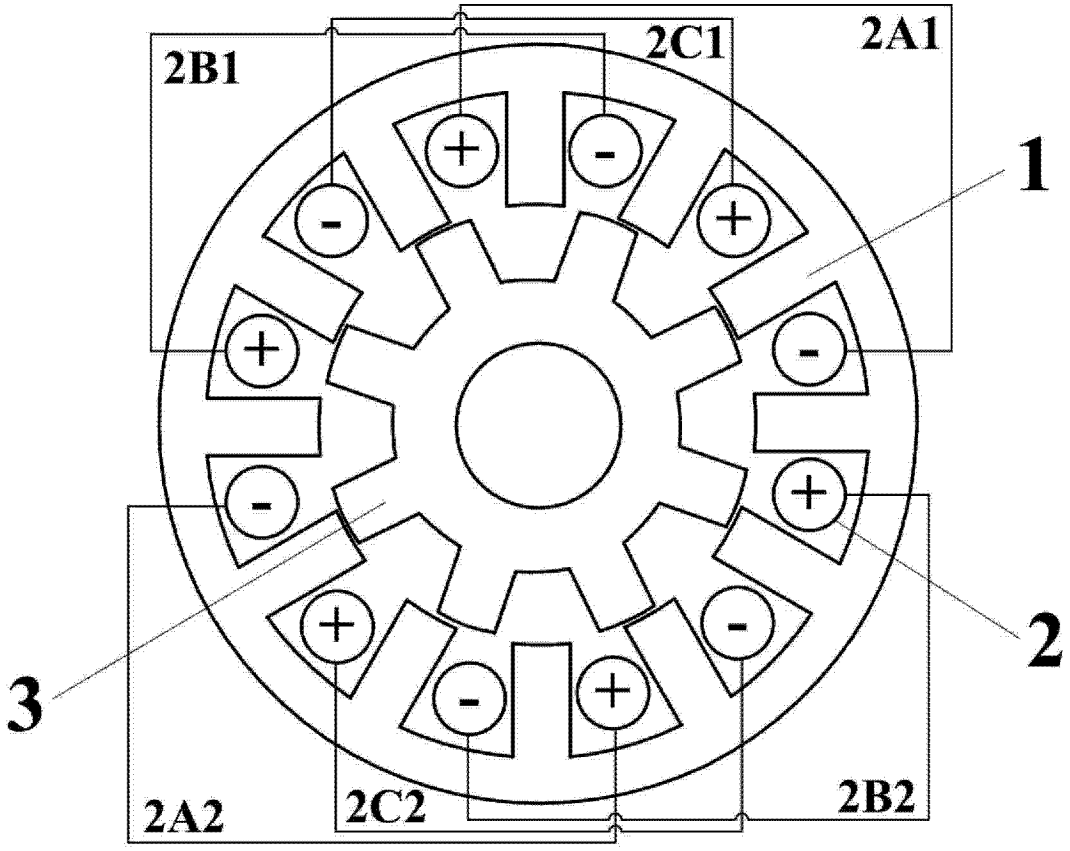
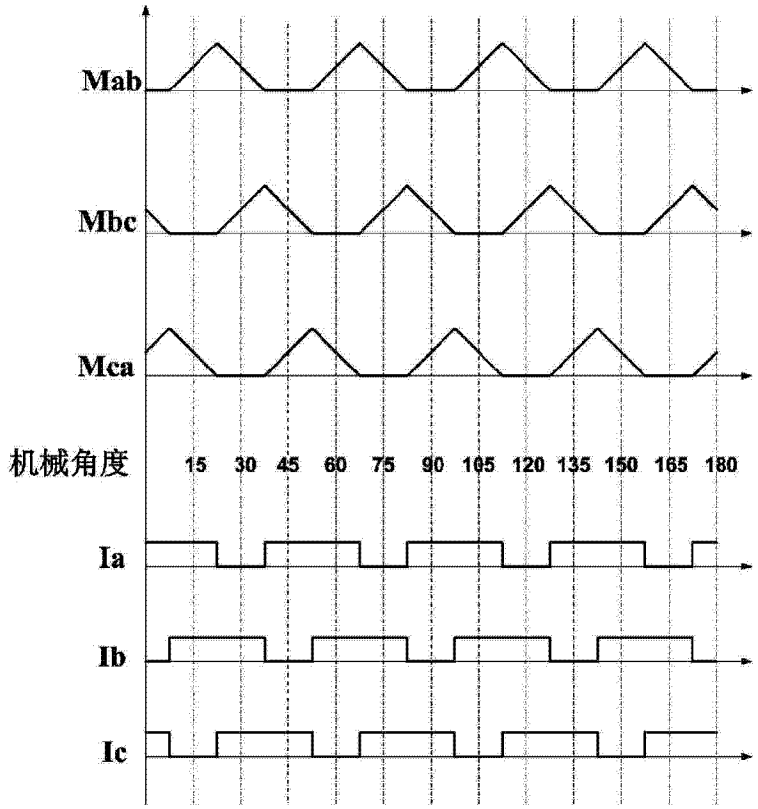
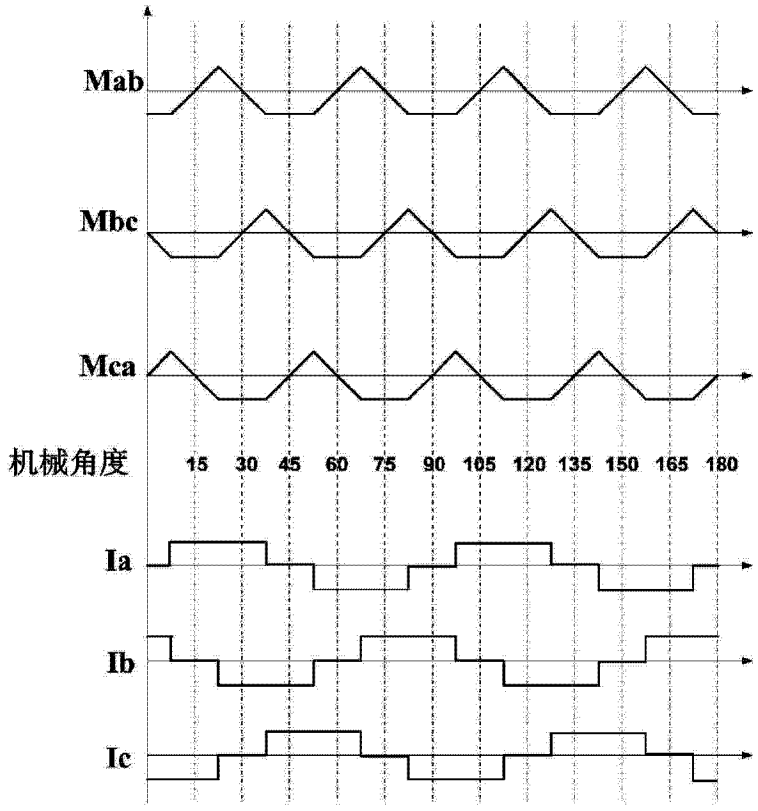


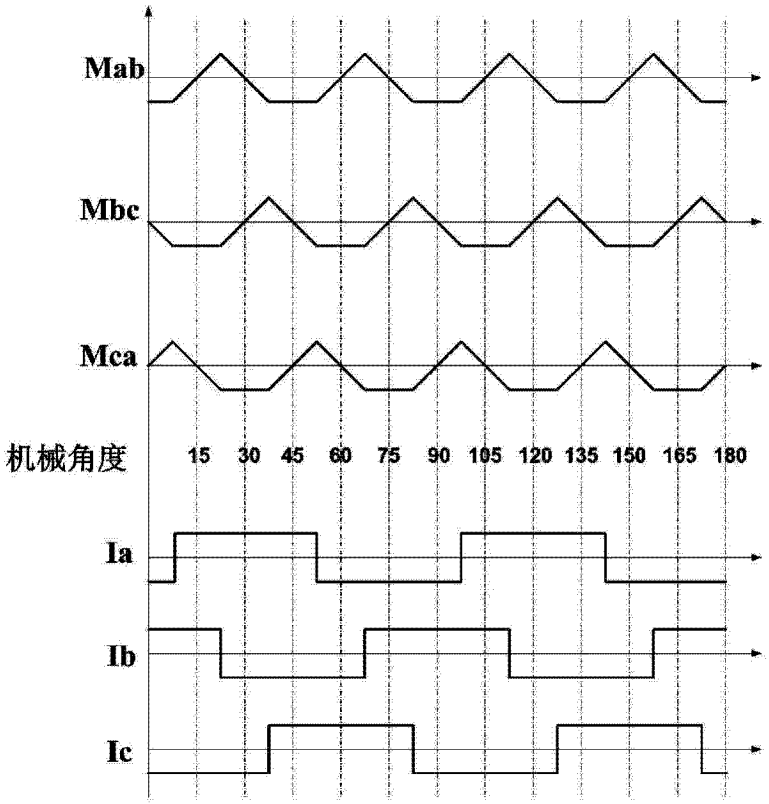
图 2


Mab
Mbc
Mca
机械角度
15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180
Ia
Ib
Ic

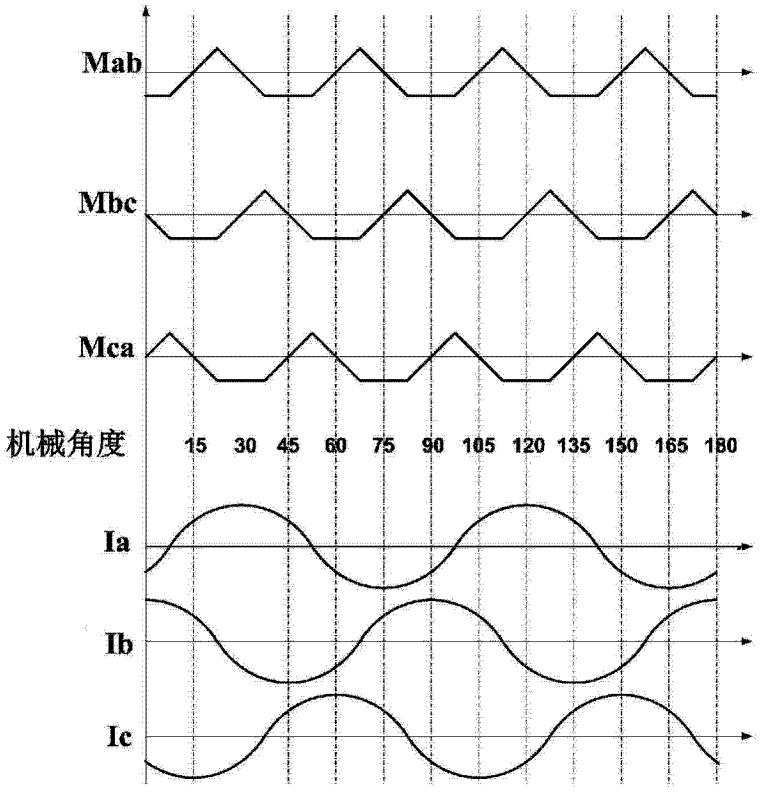
(a)


Mab
Mbc
Mca
机械角度
15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180
Ia
Ib
Ic

(b)


Mab
Mbc
Mca
机械角度
15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180
Ia
Ib
Ic

(c)


Mab
Mbc
Mca
机械角度
15 30 45 60 75 90 105 120 135 150 165 180
Ia
Ib
Ic

(d)

图 3

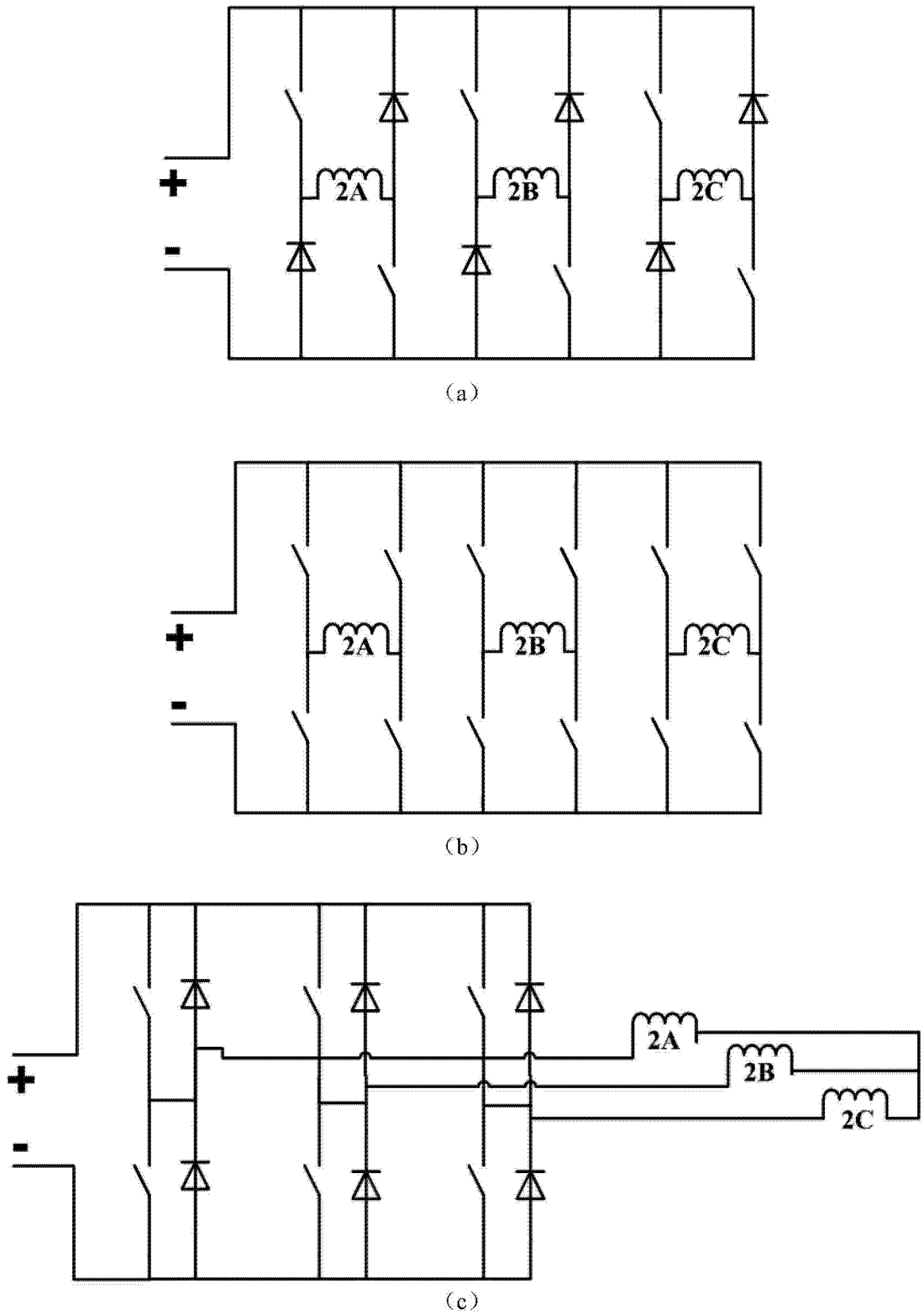


图 4