



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103187846 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 22

(21) 申请号 201310079451. 4

GB 2485301 A, 2012. 05. 09, 全文.

(22) 申请日 2013. 03. 13

秦海鸿. 混合励磁双凸极电机基本性能研究. 《中国优秀博士论文全文数据库》. 2006, 第10-90页.

(73) 专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市御道街 29 号

审查员 李娟娟

(72) 发明人 史立伟 周波 魏佳丹 刘颖

(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 彭英

(51) Int. Cl.

H02K 29/00(2006. 01)

H02K 1/14(2006. 01)

H02K 1/24(2006. 01)

H02K 3/28(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102130564 A, 2011. 07. 20, 说明书第 [0007]-[0031] 段, 图 1- 图 8.

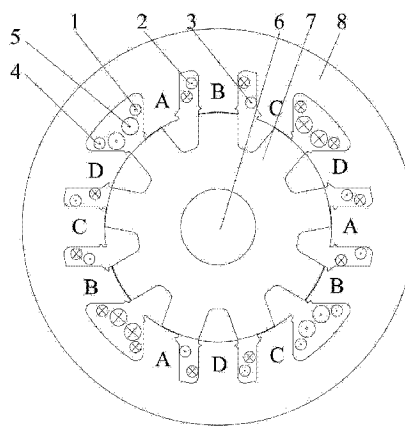
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机

(57) 摘要

本发明公开了一种各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机, 其单元电机为新型的 12/9 或 12/15 凸极结构, 每个励磁元件跨三个定子极绕组, 每相定子绕组的每个定子线圈的分布位置不同, 这种四相定子绕组对称分布的方式达到了各相电感的对称; 利用理论分析和仿真验证的方法确定电机定转子的极弧系数匹配尺寸, 使得电机各相电感上升和下降的电角度为 180°, 励磁绕组总磁导基本保持不变, 电机定位转矩小, 且可以四相同时通电工作。另外, 由于四相定子绕组两两独立, 电机在单相故障后也可以只用两相独立工作, 容错性能好; 而且由于励磁元件的总磁导不变, 故而具有定位转矩小等优点。



1. 一种各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机,包括同转轴设置的定子组件和转子铁心,定子组件包括定子铁心、励磁元件以及 A、B、C、D 四相定子绕组,定子铁心上设置有定子极,励磁元件以及 A、B、C、D 四相定子绕组嵌装在相对应的定子极中,而转子铁心上设置有转子极;其特征在于:所述定子铁心上设置的定子极数目为 $12n$ 个,而转子铁心上设置的转子极数目为 $9n$ 或者 $15n$ 个;励磁元件的数目为 $4n$ 个,分别跨三个定子极分布,且相邻励磁元件的极性相反,同时各励磁元件相互串联;各相定子绕组由同相位的 $3n$ 个定子线圈串联或并联而成,且各相定子绕组间的相位角相差为 90° ;每个励磁元件分别与 A、B、C、D 四相定子绕组中相应的三相定子绕组的定子线圈匝链,该定子线圈按照所匝链的励磁元件的极性进行绕制,且励磁元件与其所匝链的定子绕组的极性一致;另外,当电机极数采用 $12n/9n$ 匹配时,定子极弧系数为 0.667,转子极弧系数为 0.5;当电机极数采用 $12n/15n$ 匹配时,定子极弧系数为 0.4,转子极弧系数为 0.5;其中, n 为自然数,表示单元电机个数;相差为 180° 相位角的两相定子绕组反串联后分别与四相全桥变换器两个桥臂的中点连接。

2. 根据权利要求 1 所述各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机,其特征在于:所述励磁元件为励磁绕组、永磁体或者由励磁绕组、永磁体构成的混合励磁元件。

各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机

技术领域

[0001] 本发明涉及一种各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机,属于特种电机本体设计领域。

背景技术

[0002] 双凸极电机是一种由位置传感器、电力电子功率变换器、永磁或电磁励磁单元、控制器和凸极定转子结构的电机本体组成的新式电机。作为一种新型的变磁阻电机,其磁阻最大值和最小值比值大,有良好的机电能量转换特性和应用前景。

[0003] 传统的双凸极电机为三相电机,采用内转子的 6N/4N 极结构,定子极数为 6N,转子极数为 4N, N 为自然数,表示单元电机数。为了进一步提高电机的可靠性,要求电机能在故障后主动重构系统的软硬件结构,在不损失性能或仅降低部分性能指标的情况下,使系统实现容错运行。四相电机拥有四相定子绕组,这种相数冗余的设计使得四相电机成为容错电机的研究热点和发展方向。

[0004] 目前已有的技术中,研究最多的为三相 6N/4N 结构的电励磁双凸极电机,该电机的励磁绕组跨 3 个定子极绕制。也有一些其他新式的双凸极电机研究,例如授权的中国发明专利 ZL200410014568.5 :8/6 极双凸极电机的转矩脉动减小方法及其 8/6 极双凸极电机,公开了一种转子斜极结构的 8/6 极四相双凸极电机,并利用正弦波驱动等方法减小转矩脉动。申请号为 201110062872.7 的中国发明专利 :四相双凸极电机,公开了一种单元电机为 8/6 结构的四相双凸极电机,其定子上每隔 4 个凸极齿槽内嵌绕励磁绕组或安放永磁磁钢,每个定子的凸极齿上分别套装有集中电枢绕组。授权的发明专利 CN201120430138.7 :一种四相双凸极电机,也公开了一种 8/6 极结构,定子上每隔 4 个凸极齿槽内装有嵌绕励磁绕组的电励磁双凸极电机。

[0005] 以上技术所涉及的四相电机皆为 8/6 极结构的双凸极电机,该电机有两个励磁元件,每个励磁元件匝链四相定子绕组,这四相定子绕组有两相位于励磁元件中间,另外两相位于励磁元件的边缘,各相磁路路径长短不一,导致位于励磁元件中间的两相磁导小,因此这种四相双凸极电机四相电感不均衡。而且,传统的四相双凸极电机是由四相开关磁阻电机发展来,其定转子的极弧系数匹配使得电机各相电感上升的电角度为 135° ,这种电机设计没有考虑双凸极电机的励磁绕组和永磁体使得电机具有较大的定位转矩,这也加大了电机总的转矩脉动。

发明内容

[0006] 本发明为解决传统四相双凸极电机存在的定位转矩和各相电感不对称等问题,提供一种各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机,其单元电机为新型的 12/9 或 12/15 凸极结构,每个励磁元件跨三个定子极绕制,每相定子绕组的每个定子线圈的分布位置不同,这种四相定子绕组对称分布的方式达到了各相电感的对称;利用理论分析和仿真验证的方法确定电机定转子的极弧系数匹配尺寸,使得电机各相电感上升和下降的电角度为 180° ,励

磁绕组总磁导基本保持不变,电机定位转矩小,且可以四相同时通电工作。另外,由于四相定子绕组两两独立,电机在单相故障后也可以只用两相独立工作,容错性能好;而且由于励磁元件的总磁导不变,故而具有定位转矩小等优点。

[0007] 为实现以上的技术目的,本发明将采取以下的技术方案:一种各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机,包括同转轴设置的定子组件和转子铁心,定子组件包括定子铁心、励磁元件以及 A、B、C、D 四相定子绕组,定子铁心上设置有定子极,励磁元件以及 A、B、C、D 四相定子绕组嵌装在相对应的定子极中,而转子铁心上设置有转子极;所述定子铁心上设置的定子极数目为 $12n$ 个,而转子铁心上设置的转子极数目为 $9n$ 或者 $15n$ 个;励磁元件的数目为 $4n$ 个,分别跨三个定子极分布,且相邻励磁元件的极性相反,同时各励磁元件相互串联;各相定子绕组由同相位的 $3n$ 个定子线圈串联或并联而成,且各相定子绕组间的相位角相差为 90° ;每个励磁元件分别与 A、B、C、D 四相定子绕组中相应的三相定子绕组的定子线圈匝链,该定子线圈按照所匝链的励磁元件的极性进行绕制,且励磁元件与其所匝链的定子绕组的极性一致;另外,当电机极数采用 $12n/9n$ 匹配时,定子极弧系数为 0.667,转子极弧系数为 0.5;当电机极数采用 $12n/15n$ 匹配时,定子极弧系数为 0.4,转子极弧系数为 0.5;其中, n 为自然数,表示单元电机个数。

[0008] 另外,本申请所述励磁元件可以为励磁绕组、永磁体或者由励磁绕组、永磁体构成的混合励磁元件。

[0009] 所述四相定子绕组分别与四个 H 桥变换器的桥臂中点连接;或者相差为 180° 相位角的两相定子绕组反串联后分别与四相全桥变换器两个桥臂的中点连接。

[0010] 根据以上的技术方案,相对于现有技术,本发明具有以下有益效果:

[0011] 1. 四相电机在任意时刻会有四相电感都在变化,且各相电感的变换率相等,由于其中两个定子极和转子极在脱离,另外两个定子极和转子极在以相同的速度啮合,因此,励磁绕组总磁导基本保持不变,作为电动机运行时励磁绕组通电产生的定位转矩较小,电机总的转矩脉动小;

[0012] 2. 该电机有 A、B、C、D 四相定子绕组,每相定子绕组由三个线圈组成,分别位于一个励磁极(励磁元件)的三个不同位置,避免了传统电机各相磁路长短不一的结构引起的各相电感不相等的问题,实现了四相定子绕组的对称;

[0013] 3. 相对于传统 12/8 极三相双凸极电机来说,本发明的双凸极电机的四相定子绕组可以同时工作,在两相导通的同时给另外两相换相,换相转矩脉动小;

[0014] 4. 相对于 12/8 极电机,本电机四相皆可以出力,绕组利用率高,转子极数多,在同样的转速下磁链变化率大,电机功率大;

[0015] 5. 本发明的电机具有四相定子绕组,在一相出现故障的同时可以利用其余三相或两相继续工作,有更高的容错能力。

附图说明

[0016] 图 1 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机 12/9 极结构示意图;

[0017] 其中:1、A 相定子绕组;2、B 相定子绕组;3、C 相定子绕组;4、D 相定子绕组;5、励磁绕组;6、轴;7、转子铁心;8、定子铁心。

[0018] 图 2 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机 12/15 极结构示意图;

[0019] 其中 :1、A 相定子绕组 ;2、B 相定子绕组 ;3、C 相定子绕组 ;4、D 相定子绕组 ;5、励磁绕组 ;6、轴 ;7、转子铁心 ;8、定子铁心。

[0020] 图 3 是传统四相双凸极无刷直流电机四相电感图。

[0021] 图 4 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机四相定子绕组与四相全桥变换器连接图。

[0022] 图 5 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机四相定子绕组与四相 H 桥变换器连接图。

[0023] 图 6 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机四相电感图。

[0024] 图 7 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机电动工作原理图。

[0025] 图 8 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机反电势图

[0026] 图 9 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机用永磁励磁的示意图 ;

[0027] 其中 :1、A 相定子绕组 ;2、B 相定子绕组 ;3、C 相定子绕组 ;4、D 相定子绕组 ;5、永磁体 ;6、轴 ;7、转子铁心 ;8、定子铁心。

[0028] 图 10 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机用永磁和电磁混合励磁的示意图 ;

[0029] 其中 :1、A 相定子绕组 ;2、B 相定子绕组 ;3、C 相定子绕组 ;4、D 相定子绕组 ;5、永磁体 ;6、轴 ;7、转子铁心 ;8、定子铁心 ;9、励磁绕组。

具体实施方式

[0030] 附图非限制性地公开了本发明所涉及优选实施例的结构示意图 ;以下将结合附图详细地说明本发明的技术方案。

[0031] 图 1 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机 12/9 极结构示意图。各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机包括定子铁心、转子铁心、定子绕组、励磁绕组、电机端盖、电机外壳、轴、轴承、位置传感器和全桥变换器,所述定子极和转子极采用凸极式结构,定子极数为 12,转子极数为 9,定子极弧系数为 0.667,转子极弧系数为 0.5 ;每个励磁线圈跨三个定子极绕制,相邻励磁线圈绕制方向相反,即 4 个励磁线圈分为 2 个 S 极和 2 个 N 极,N 极与 S 极间隔排列,定子极上缠绕的定子绕组为集中绕组,其绕制方向与所匝链的励磁绕组同向 ;同相位的三个绕组串联或并联后可得到相位角依次相差 90° 的 A 相、B 相、C 相、D 相四相定子绕组 ;四相双凸极无刷直流电机的每个励磁线圈匝链三个定子线圈,即第一个励磁线圈匝链 A 相、B 相、C 相三个定子线圈,第二个励磁线圈匝链 D 相、A 相、B 相三个定子线圈,第三个励磁线圈匝链 C 相、D 相、A 相三个定子线圈,第四个励磁线圈匝链 B 相、C 相、D 相三个定子线圈。而传统 m 相的双凸极电机的每个励磁线圈都匝链 m 相个定子线圈,每个定子线圈都位于励磁绕组的固定位置,各相磁路长短不一,各相磁阻也不一致。从图 1 可以看出,本发明提出的电机每相定子绕组的三个线圈相对于励磁线圈的位置各不相同,每相定子绕组的三个线圈皆有两个短磁路线圈的和有一个长磁路线圈,因此,由三个线圈串联组成的各相定子绕组的电感对称。

[0032] 图 2 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机 12/15 极结构示意图。电机定子极弧系数为 0.4,转子极弧系数为 0.5。电机的励磁绕组和定子绕组绕制方式与图 1 所示电机相同。

[0033] 图 3 是传统四相双凸极无刷直流电机四相电感图,从图中可以看出 A 相、B 相、C 相和 D 相电感幅值不相等。这是因为该电机每个励磁线圈匝链四个定子线圈,靠近励磁线圈的 A 相和 D 相磁路短,磁阻小,电感大;远离励磁绕组的相磁路长,磁阻大,电感小。作为发电机运行时输出电压不相等,作为电动机运行时各相转矩不相等,存在转矩脉动。

[0034] 图 4 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机四相电感图,从图中可以看出在定子圆周方向上的定子绕组依次排列的 A 相、B 相、C 相和 D 相电感幅值相等,相位差为 90° 电角度,四相电感圆周对称。

[0035] 图 5 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机四相定子绕组与四相 H 桥变换器连接图。在定子圆周方向上的定子绕组依次排列的 A 相、B 相、C 相和 D 相四相定子绕组分别接四个 H 桥变换器的桥臂中点即可组成四相 H 桥控制电路。四相 H 桥变换器各相独立控制,当其中一相出现故障时,不会影响其他相工作,电机具有较强的容错能力。

[0036] 图 6 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机四相定子绕组与四相全桥变换器的连接图。在定子圆周方向上的定子绕组依次排列的 A 相、B 相、C 相和 D 相相位差为 90° 电角度,把相位差为 180° 电角度的 A 相和 C 相定子绕组反串联后接四相全桥变换器第一桥臂和第二桥臂的中点,把相位差为 180° 电角度的 B 相和 D 相定子绕组反串联后接四相全桥变换器第三桥臂和第四桥臂的中点,即可构成四相双凸极无刷直流电机主控制电路。

[0037] 图 7 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机电动工作原理图。在给励磁绕组通以正向的励磁电流后,控制器根据位置传感器检测的信号控制变换器给电感上升的相通正向电流,给电感下降的相通负向电流,电机即可以作为电动机运行。

[0038] 图 8 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机反电势图。当外界原动机拖动本发明的电机旋转时,本电机利用上述变换器的续流二极管整流或者接全桥整流电路即可作为发电机运行。

[0039] 图 9 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机用永磁励磁的示意图。电机的励磁功能全部用永磁体取代,即每三个定子极与另外三个定子极之间安装有永磁体,相邻永磁体极性相反。电机的定子绕组绕制方式与图 1 所示电机相同。

[0040] 图 10 是本发明各相电感对称的四相双凸极无刷直流电机用永磁和电磁混合励磁的示意图。电机的励磁功能有励磁绕组和永磁体提供,即每两个定子极之间安装有励磁绕组和永磁体。电机定子绕组绕制方式与图 1 所示电机相同。

[0041] 其工作原理为:

[0042] 在本电机励磁绕组上通有电流,此时在电机内部会建立起磁场,产生的磁通将经过各相的定子轭部、定子齿部、空气隙、转子齿部、转子轭部形成闭合回路。

[0043] 电机既可以作为发电机运行,又可以作为电动机运行,当电机以电动机方式运行时可以根据传感器检测到的位置信号,使用控制器对变换器进行控制。当某相定子极与转子极啮合时,给该相通以正向电流;当某相定子极与转子极脱离时,给该相通以负向电流,电机即可对外输出转矩。

[0044] 由于本电机极弧系数和极数匹配合理,因此电机各相反电势波形的宽度为 180° 电角度,因此本电机任意一相都可以全周期导通工作,即本电机可以四相同时通电运行,因此具有较高的功率密度。

[0045] 电机发电运行时,原动机带动本电机按一定方向旋转,四相电枢绕组匝链的磁链随着转子位置改变而变化,从而产生四相交变的感应电势。当其作为直流发电机时,用外接的变换器或整流桥整流输出直流电能供给各种电气负载或向蓄电池充电。

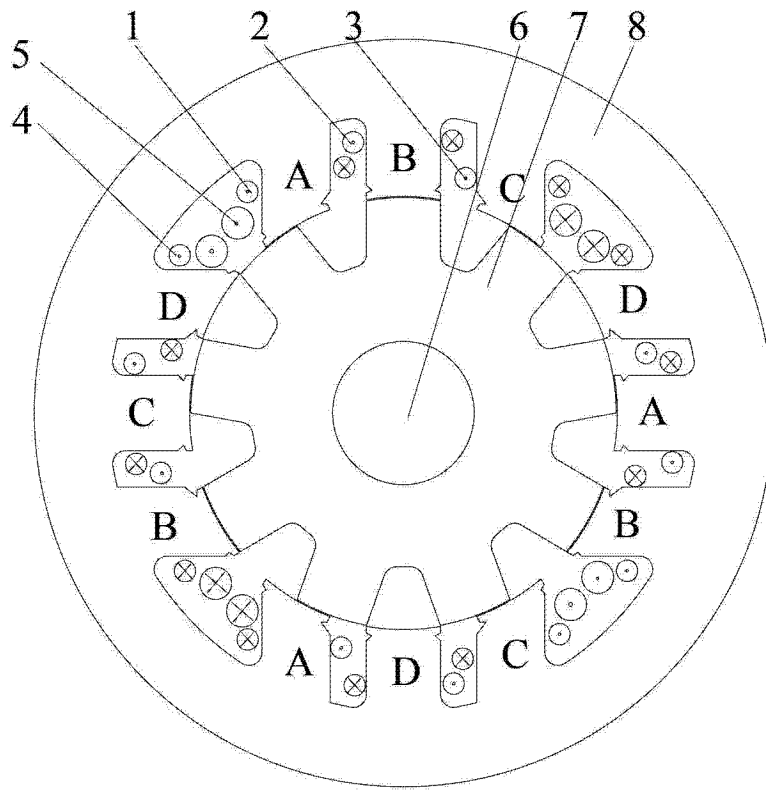


图 1

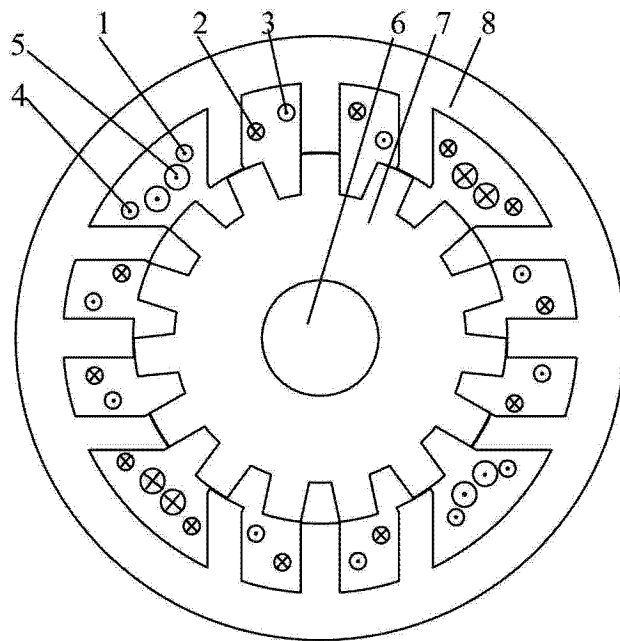


图 2

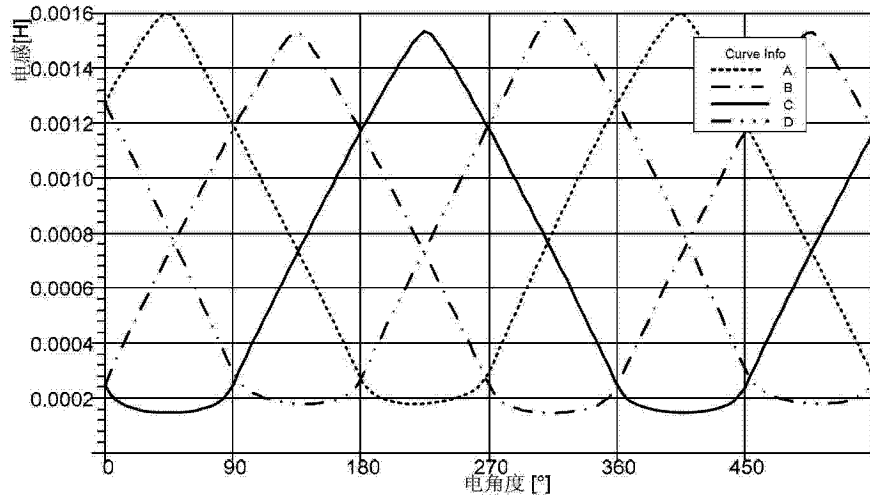


图 3

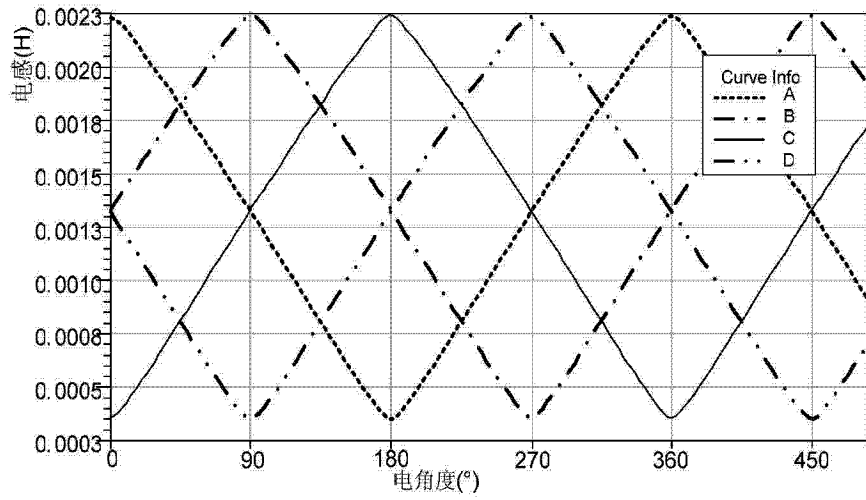


图 4

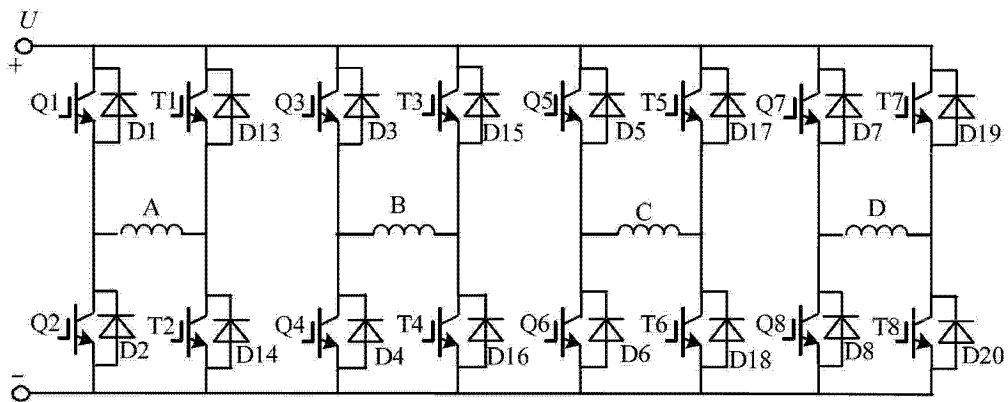


图 5

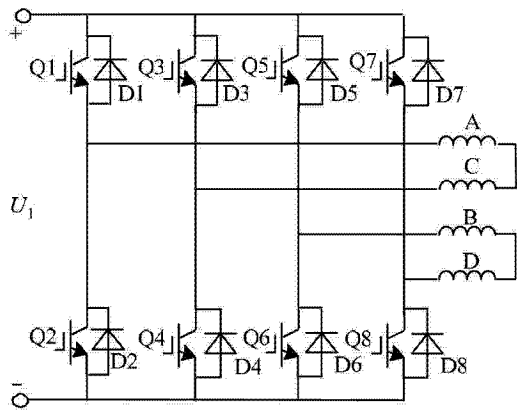


图 6

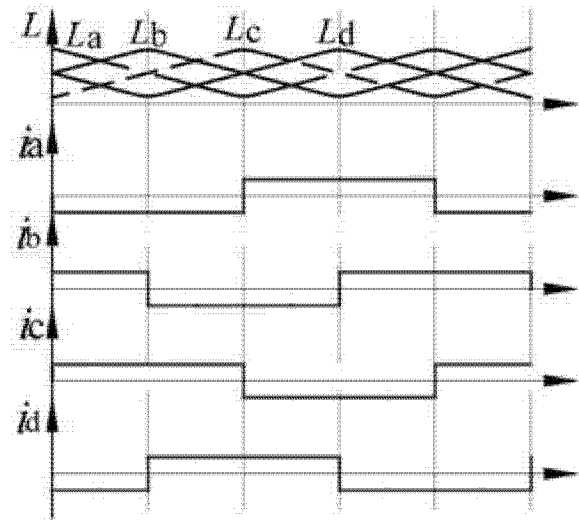


图 7

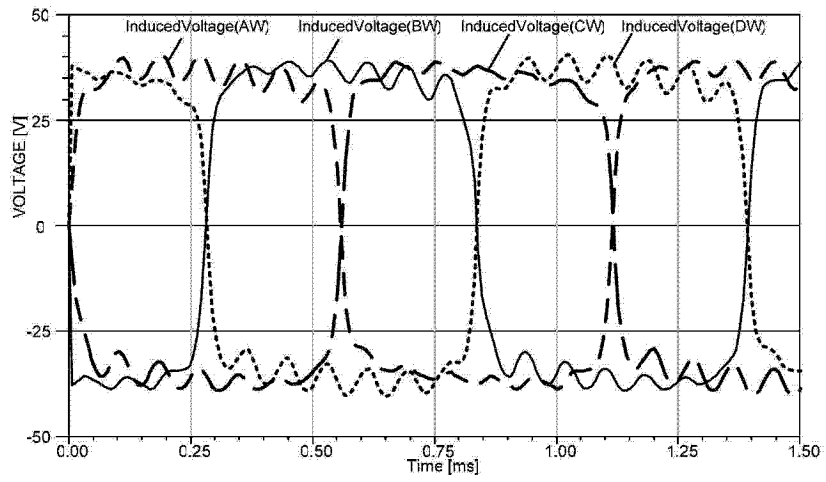


图 8

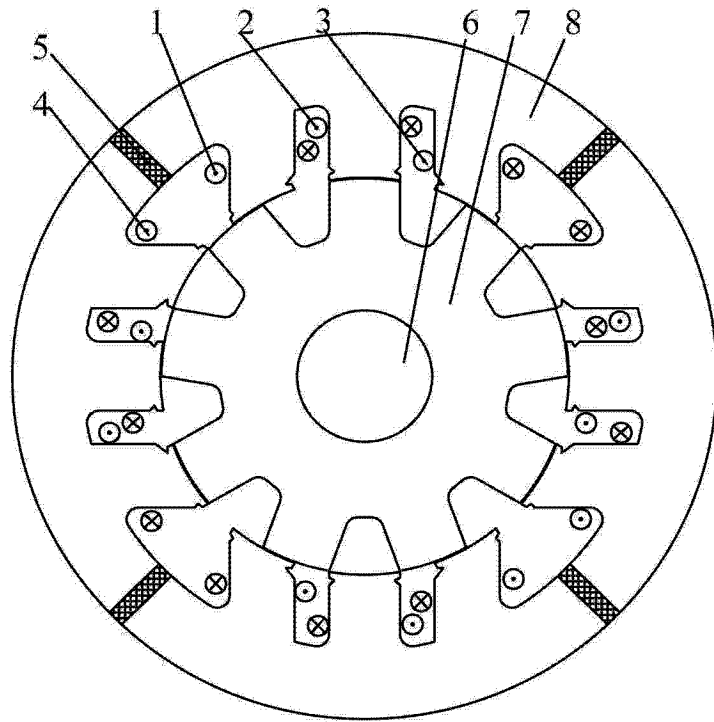


图 9

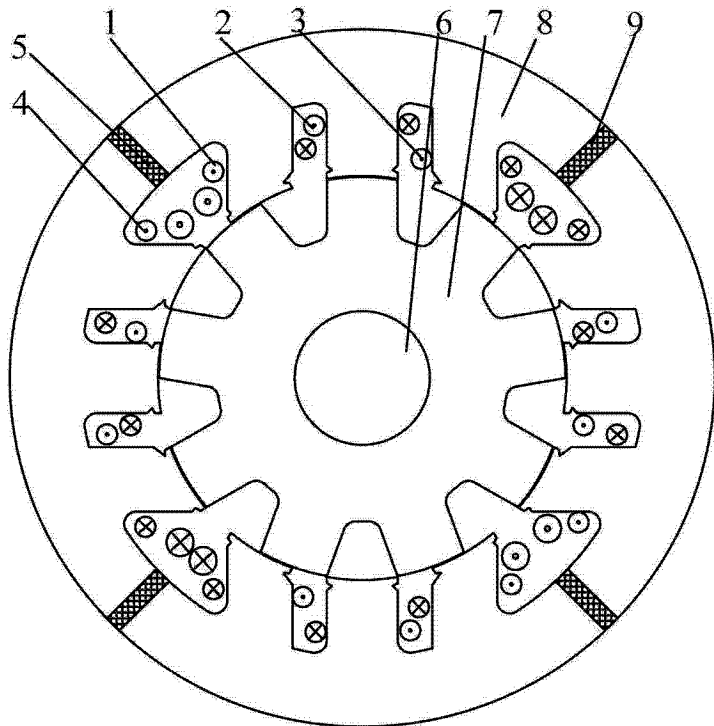


图 10