



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105324931 B

(45)授权公告日 2017. 11. 10

(21)申请号 201480033686.2

(22)申请日 2014.06.06

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105324931 A

(43)申请公布日 2016.02.10

(30)优先权数据

P-201300154 2013.06.11 SI

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2015.12.11

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2014/061831 2014.06.06

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2014/198663 EN 2014.12.18

(73)专利权人 GEM发动机公司

地址 斯洛文尼亚卡姆尼克

(72)发明人 S·曼德尔

(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务  
所(普通合伙) 11277

代理人 刘新宇

(51)Int.Cl.

H02P 25/22(2006.01)

(56)对比文件

CN 1338817 A, 2002.03.06,

CN 102386843 A, 2012.03.21,

CN 102868343 A, 2013.01.09,

JP 2009-291040 A, 2009.12.10,

US 2003/0085627 A1, 2003.05.08,

JP 2007-259644 A, 2007.10.04,

审查员 曹杨

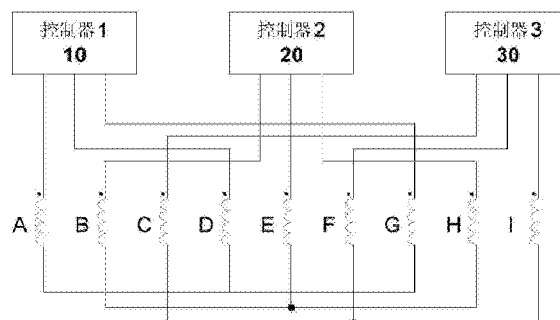
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

模块化多相电机

(57)摘要

提出了包括转子和定子的多相电动马达。转子具有指向定子的多个磁体,并且定子包括指向磁体的多个相位绕组。相位绕组连接至控制单元,其中这些控制单元被配置为选择性地向相位绕组施加电流,以感应作用于磁体的电磁力,从而实现转子的转动。该马达包括至少两个控制单元,其中各控制单元被配置为控制相三个相位绕组的电流供给,以使得向三个相位绕组各自供给不同的相位电流,其中所述不同的相位电流之间的相位偏移为 $120^\circ$ ,以及不存在利用相同的相位电流的两个控制单元。通过使电流分布在至少六个相位内并且利用用作单3相马达的两个或更多个控制单元,在使控制相对于传统系统简化的同时,能够在不存在高绕组电流的关联缺点的情况下进行低电压操作。



1. 一种多相电动马达,包括:

转子(2)和定子(1),

其中,所述转子包括指向所述定子(1)的多个磁体(7),以及

所述定子(1)包括配置在所述定子的圆周面周围且指向所述磁体的多个相位绕组(6),

所述多个相位绕组(6)连接至控制单元(10),所述控制单元(10)被配置为选择性地向所述多个相位绕组施加电流,以感应出作用于所述转子的所述磁体的电磁力,从而实现所述转子的转动,

其中,所述多相电动马达包括至少两个所述控制单元(10),各控制单元(10)被配置为控制向三个相位绕组(6)的电流供给,以使得向所述三个相位绕组各自供给不同的相位电流,其中所述不同的相位电流之间的相位偏移为 $120^\circ$ ,

不存在利用相同的电流相位的两个控制单元,

所述多个相位绕组(6)中的各相位绕组(6)是利用 $m$ 个不同的电流相位中的一个电流相位进行驱动的,以及电流相位之间的相位偏移为 $360^\circ/m$ ,其中 $m$ 是3的倍数且至少等于6,以及

所述多个相位绕组(6)在所述定子(1)的圆周面周围的配置使得:各相位绕组(6)由相对于邻接的相位绕组中的电流在相位上偏移了 $180^\circ+180^\circ/m$ 的电流来驱动,其中 $m$ 是相位电流的总数。

2. 根据权利要求1所述的多相电动马达,其中,如果 $k$ 是控制总共 $m$ 个相位电流向 $m$ 个相位绕组的供给的控制单元(10)的数量,则 $k$ 个控制单元各自被配置为控制相位绕组 $i$ 、 $i+m/3$ 、 $i+m*2/3$ ,其中 $i$ 是满足 $1 \leq i \leq k$ 的整数,并且所述 $m$ 个相位绕组在所述定子的圆周面周围按序列1~ $m$ 排列。

3. 根据权利要求1或2所述的多相电动马达,其中,各控制单元(10)所控制的所述三个相位绕组(6)是采用Y结构配置的。

4. 根据权利要求1或2所述的多相电动马达,其中,各控制单元(10)所控制的所述三个相位绕组(6)是采用德耳塔结构即delta结构配置的。

5. 根据权利要求1或2所述的多相电动马达,其中,各控制单元(10)包括3相半桥电路,所述3相半桥电路被配置为利用大致呈矩形的电流波形来使所述多个相位绕组(6)通电。

6. 根据权利要求5所述的多相电动马达,其中,所述3相半桥电路被配置为利用大致呈梯形或正弦的电流波形来使所述多个相位绕组(6)通电。

7. 根据权利要求1或2所述的多相电动马达,还包括至少一个控制器(20),所述控制器(20)被配置为控制至少一个控制单元(10)的操作。

8. 根据权利要求1或2所述的多相电动马达,其中,还包括控制器(20),所述控制器(20)被配置为控制所有控制单元(10)的操作。

9. 根据权利要求7所述的多相电动马达,其中,所述控制器(20)利用脉冲宽度调制。

10. 根据权利要求1或2所述的多相电动马达,其中,各相位绕组(6)包括一个线圈元件或者串联或并联连接的多个线圈元件。

11. 根据权利要求10所述的多相电动马达,其中,各相位绕组包括均匀地分布在所述定子的圆周面周围的至少两个线圈元件(6)。

12. 一种具有至少一个轮的电动车辆,包括轮内的根据权利要求1至11中任一项所述的

多相电动马达。

## 模块化多相电机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电机,尤其涉及用在电动车辆的轮毂中的多相电动马达。

### 背景技术

[0002] 电动车辆需要简单、安全、高效且提供良好性能的电动马达。电动马达通常属于工作电压高的电动马达和工作电压低(通常为50V以下)的电动马达这两种电动马达其中之一。高电压电动马达在用在车辆中的情况下显然会对人和动物构成较大的电击风险,因而受制于严格的安全要求,这导致这些高电压电动马达变复杂因而成为高成本的解决方案。由于功率是电流和电压的乘积,因此为了提供相同功率,低电压马达需要更高的工作电流。然而,使传统的低电压三相电动马达利用高绕组电流工作提出了包括如下问题的数个问题:需要更大的线缆和连接器、需要高电流切换所用的更复杂的控制器、需要更大电容要求以及需要低电感。另外,由于绕组的电阻所引起的热损失或铜损失(线圈电阻 $\times$ 线圈电流的平方)变得极大。

[0003] W0 2004073157描述了意图解决该问题的具有分布式绕组的低电压电动马达。在该马达中,总电流跨数个线圈或绕组分布,从而大大降低了绕组电流。然而,单独对各线圈进行控制,从而需要具有大量电子器件的复杂控制器。在GB2462940A中也描述了低电压轮内三相电动马达。该马达具有分布在定子周围的多个独立控制的线圈组。各线圈组包括三个线圈子组,其中以不同的相位驱动各线圈子组。然而,在每个线圈组中使用相同的三个相位。该配置相对于W0 2004073157的公开内容提供了一些简化,然而由于控制器针对各线圈组需要独立的CPU控制器,因此该控制器仍很复杂。

[0004] 因而,尽管已知提供低电压高电流的电动马达,但需要以不会损害高性能的简单且具有成本效益的方式提供这些马达。

### 发明内容

[0005] 上述和其它目的是在如下的多相电动马达中实现的,其中该多相电动马达包括转子和定子,其中:所述转子包括指向所述定子的多个磁体,以及所述定子包括配置在所述定子的圆周面周围且指向所述磁体的多个相位绕组,其中所述相位绕组连接至控制单元,所述控制单元被配置为选择性地向所述相位绕组施加电流,以感应作用于所述转子的所述磁体的电磁力,从而实现所述转子的转动。所述多相电动马达还包括至少两个控制单元,并且各控制单元被配置为控制向三个相位绕组的电流供给,以使得向所述三个相位绕组各自供给不同的相位电流,其中所述不同的相位电流之间的相位偏移为 $120^\circ$ 。此外,不存在利用相同的电流相位的两个控制单元。

[0006] 通过利用两个或更多个控制单元(其中这两个或更多个控制单元各自基本用作控制分离了 $120^\circ$ 的电流相位的简单3相控制器,而且各自与其它的控制单元相比控制不同的相位),可以使电流分布在至少六个相位。因而,能够在不存在高电流的关联缺点的情况下进行低电压操作,同时,控制相对于传统系统极大地简化。

[0007] 优选地,所述相位绕组是利用 $m$ 个不同的电流相位其中之一进行驱动的,其中 $m$ 是3的倍数且至少等于6。然后,在电流相位之间的相位偏移为 $360^\circ/m$ 的情况下是有利的。

[0008] 为了实现最优控制,在定子的圆周面周围的相位绕组的配置如下的情况下特别有利:利用相对于邻接的相位绕组中的电流在相位上偏移了 $180^\circ+180^\circ/m$ 的电流来驱动各相位绕组。因而,控制单元不连接至顺次排列的相位绕组。作为代替,所有线圈单元的相位绕组呈交错配置。因而,在设置有两个控制单元的情况下,第一控制单元控制第一个、第三个和第五个相位绕组,而第二控制单元控制第二个、第四个和第六个相位绕组。

[0009] 根据本发明的特别优选实施例,单个控制单元所控制的相位绕组是如下所述从相位绕组的序列中所选择的:如果 $k$ 是控制总共 $m$ 个相位电流向相位绕组的供给的控制单元的数量,则 $k$ 个控制模块各自被配置为控制相位绕组 $i, i+m/3, i+m*2/3$ ,其中 $i$ 是满足 $1 \leq i \leq k$ 的整数。

[0010] 各控制单元所控制的所述三个相位绕组可以是采用Y字形结构(Y结构)或者采用德耳塔即 $\Delta$ 结构配置的。

[0011] 根据本发明的优选实施例,各控制单元包括3相半桥电路,所述3相半桥电路被配置为优选利用大致呈矩形的电流波形来使所述相位绕组(6)通电。

[0012] 这种控制器电路构造简单或容易利用,并且构成简单但高度有效形式的控制。由于控制器电路仅需在任一时间使所连接的三个相位绕组中的两个相位绕组通电,因此在使用矩形波形来驱动相位绕组的情况下,该控制特别简单。可选地,3相半桥电路可被配置为使用大致梯形或正弦的电流波形。

[0013] 根据又一实施例,至少一个控制器被配置为控制至少一个控制单元的操作。在这种配置中,针对各控制单元的控制器可以彼此独立或以某种方式联网,以提供信息的交换。

[0014] 在优选实施例中,中央控制器被配置为控制所有控制单元的操作,以通过控制向相位绕组施加各个不同相位电流的序列来向转子的转动提供足够精细的控制。

[0015] 控制器优选利用脉冲宽度调制。

[0016] 根据又一实施例,各相位绕组包括并联或串联连接的一个或多个线圈元件。优选地,各相位绕组包括均匀地分布在定子的圆周面的周围的至少两个线圈元件。

[0017] 根据又一方面,本发明涉及一种具有至少一个轮的机动车辆,包括如上所述的轮内电动马达。

## 附图说明

[0018] 通过以下参考附图以示例方式给出的针对优选实施例的说明,本发明的其它目的和优点将变得明显。在附图中:

[0019] 图1示出根据本发明实施例的多相轮内电动马达;

[0020] 图2a示出针对多相电动马达的各相的顺次排列的相位绕组所用的感应电压波形;

[0021] 图2b示出多相电动马达的顺次排列的相位绕组所用的驱动电流波形;

[0022] 图3示意性示出根据本发明实施例的多相电动马达的3相模块化控制配置;

[0023] 图4示意性示出单个3相模块化控制单元;以及

[0024] 图5示意性示出根据本发明实施例的多相电动马达的中央控制单元。

## 具体实施方式

[0025] 在以下说明中,以各种方式参考电机和电动马达。术语“电机”通常被理解为涵盖电动马达和发电机这两者。然而,在本发明的上下文中,术语电动马达不限于将电能转换成运动的配置,而且还意图包含运动可以生成电力的配置。因而,在本发明中,可以互换地使用术语电机和发电机,而并未意图区分这两者的含义。在以下说明所参考的各个图中,针对相同的部分使用相同的附图标记。

[0026] 图1示出适合轮毂使用的、即适合安装在电动车辆的轮毂中的电机。该电机包括固定的内定子1和绕定子1可转动的外转子2。在转子2和定子1之间,存在小的空气隙3。在例示实施例中,转子配置在内定子的外部;然而,应当理解,可以反转这些元件的位置以提供转动的内转子和固定的外定子。内定子1由磁性材料制成并且安装至轴4。在定子1的外周上,定子1配置有聚集了线圈元件6的多个槽5。槽5大致定义了突出部分,其中在这些突出部分的周围配置有线圈元件6。在例示实施例中,定子1具有18个槽5,因而配置有18个线圈元件6。在转子2绕定子转动时,在具有与相邻线圈元件6中所感应出的电压的相位不同的相位的各线圈元件6中感应出电压或emf。在例示实施例中,线圈元件具有在图1中的字母A、B、C、D、E、F、G、H和I所示的九个不同相位处的感应电压。另外,两个线圈元件6将具有相同的感应电压相位。这两个线圈元件6位于定子上的正相对位置。例如,参考图1,感应电压相位相同的两个线圈元件A以与定子的半径垂直相交的点划线为中心。在典型实施例中,各相位的两个元件6串联连接到一起,但并联连接也是可以的。应当理解,将以不同的电气相位驱动定子上所配置的所有线圈元件的实施例是可以的。同样,多于两个线圈元件连接到一起并且以相同的电气相位进行驱动的实施例也是可以的。为了本发明的目的,将作为驱动电流或感应电压承载相同电气相位的各线圈元件或线圈元件组称为相位绕组6。

[0027] 转子2也由磁性材料(例如,钢)制成,并且具有固定在内表面上的20个磁体7。这些磁体配置有交替的正相反极性N-S和S-N,并且彼此隔开非常小的间隙。磁体7的数量基本是设计选择;然而,由于马达在没有施加转动力的位置可能静止,因此重要的是磁体7和线圈永远不能完全对准。另外,可以通过选择与线圈元件6的数量接近的磁体的数量来减少齿槽转矩。

[0028] 在使转子2绕定子1转动、使得磁体7通过线圈元件6的情况下,作为磁通量改变的结果,在元件6中感应出周期性的感应电压或emf。图2a示出在马达2绕定子1移动时、在一个电气周期内在九个相位A~I各自的相位绕组6中感应出的九个电压信号 $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$ 、 $U_D$ 、 $U_E$ 、 $U_F$ 、 $U_G$ 、 $U_H$ 和 $U_I$ 。在定子2绕定子的一次完整转动内发生数个电压周期。更具体地,电气周期与磁体对的转动周期/数量相对应。如从图2a显而易见,感应电压具有依赖于转子2的角度位置的周期性梯形形状。以相位绕组A上出现的感应电压 $U_A$ 作为示例,从图2a可以看出,该感应电压 $U_A$ 在周期开始时(即,在 $0^\circ$ 处)具有0V,然后在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 内线性增加,其中在 $30^\circ$ 处,该感应电压 $U_A$ 到达恒定的正值。保持该值,直到 $150^\circ$ 为止,其中在角度为 $150^\circ$ 处感应电压线性减小,直到 $210^\circ$ 为止,之后到达恒定的负值。维持该值直到 $330^\circ$ 为止,之后电压线性增加,以在该周期结束时在 $360^\circ$ 处到达0V。各后续相位绕组具有偏移了 $200^\circ$ (即,偏移了 $20^\circ$ 绝对值并且反相)的电压相位,使得相位绕组B上的感应电压在角度位置 $20^\circ \sim 50^\circ$ 内减少,其中在 $50^\circ$ 的位置处感应电压到达恒定的负值。通常,几何邻接的相位绕组的相位之间的相位偏移可

被定义为 $180^\circ + 180^\circ/m$ , 其中 $m$ 是相数。因而, 对于具有6个相位的马达, 邻接的相位绕组之间的相位偏移将为 $210^\circ$ , 并且对于具有12个相位的马达, 相位偏移将为 $195^\circ$ 。

[0029] 在例示实施例中, 尽管感应电压的形状基本为梯形, 但这依赖于包括磁体的大小和形状、定子的几何形状、绕组的类型等的多个已知因素, 使得本领域普通技术人员将能够通过改变设计元素来对电机作出修改以实现不同的感应电压波形。

[0030] 为了使电动马达转动, 必须按正确的顺次方式通过电流流动使各相位绕组6通电。理想的电流波形将具有与图2a所示的感应电压相同的形状和符号, 但由于实现矩形波形更为简单, 因此在简单的电流控制中更常用矩形波形。图2b示出供给至各个线圈绕组A~I的代表电流波形 $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 、 $I_D$ 、 $I_E$ 、 $I_F$ 、 $I_G$ 、 $I_H$ 和 $I_I$ 。注意, 作为矩形波形的结果, 各相位电流在整个周期的 $2/3$ 个周期内在与感应电压的峰值相对应的位置处具有恒定值, 但在该周期的其余 $1/3$ 个周期期间为零。以供给至第一相位的电流 $I_A$ 作为示例, 其中该电流 $I_A$ 的值在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 内为零, 然后在 $30^\circ \sim 150^\circ$ 内为恒定的正值 $I_0$ , 在 $150^\circ \sim 210^\circ$ 内再次为零, 在 $210^\circ \sim 330^\circ$ 内为恒定的负值 $-I_0$ , 最后在 $330^\circ \sim 360^\circ$ 内为零。各后续相位的电流波形偏移了 $200^\circ$  (即, 偏移了 $20^\circ$ 并且反相)。

[0031] 通过这样使电流分布在九个相位内, 可以提供转矩脉动最小的适合马达的控制的电流切换序列。更一般地, 观察到: 通过采用三个相位的倍数 (但至少为六个相位), 在与使用三个或更少相位的马达进行比较的情况下, 可以利用若干因素而减少转矩脉动。另外, 如下所述, 可以以特别简单的方式来实现电流波形的控制。

[0032] 参考图3, 示出例示针对各种绕组相位的电流控制的示意图。根据本发明, 使用各自控制三个不同相位的独立控制模块10来实现经由各种相位绕组6的控制或驱动电流。如图3所示, 示出各自连接至利用不同的电流相位所驱动的三个相位绕组的三个控制模块10。选择相位绕组之间的电流和感应相位电压相对于彼此偏移了 $120^\circ$ 的三个相位绕组。将意识到, 图2b所示的相位电流的几何序列与电气域的情况并不相同。在电气域中, 九个相位顺次偏移了 $40^\circ$  (即, 将 $360^\circ$ 除以相数)。使用图2b的电流参考, 电流相位的电气相位序列为 $I_A$ 、 $I_C$ 、 $I_E$ 、 $I_G$ 、 $I_I$ 、 $I_B$ 、 $I_D$ 、 $I_F$ 和 $I_H$ 。因而, 第一三相控制模块 (控制器1) 10控制针对相位A、G和D的电流。第二控制模块10 (控制器2) 控制针对相位B、H和E的电流, 而第三控制模块10 (控制器3) 控制针对相位C、I和F的电流。以Y字形结构示出连接至各控制模块10的3个相位绕组。然而, 还可以以德耳塔 ( $\Delta$ , delta) 结构连接这三者。在图3中利用点示出各线圈的取向, 而且在图2和4中也利用点示出各线圈的取向。通过选择相对于彼此偏移了 $120^\circ$ 的三个相位, 可以利用共通地用于无刷DC电动马达 (还已知为BLDC马达) 的简单三相控制策略, 其中在该简单三相控制策略中, 在任何时间, 仅两个相位正处于导通。可以参考图2b来更好地理解该情形。在考虑驱动相位绕组6中的A、G和D的电流波形的情况下, 显然, 在任何单个角度位置处, 相位绕组6其中之一的施加电流将为零, 而将利用极性相反的峰电流来驱动其余两个相位绕组。例如, 采用 $180^\circ$ 的角度位置, 相位绕组A未接收到驱动电流, 相位绕组D具有正的驱动电流, 并且相位绕组G具有负的驱动电流。显然, 这在使用诸如梯形或正弦等的更复杂波形的情况下不适用, 但对于矩形波形而言是可实现的。

[0033] 控制相位绕组电流的该模块化方法可以应用于任何多相结构, 其中在该多相结构中, 相数是3的倍数, 即 $m = k \cdot 3$ , 其中 $k$ 是大于或等于2的整数且 $m$ 是相数。因而, 例如, 在使用6、9、12、15、18或更多个相位的情况下, 可以应用该模块化3相控制。更一般地, 对于相位偏

移为 $360^\circ/m$ 的 $m$ 个相位绕组,需要 $k$ 个控制模块。此外, $k$ 个控制模块各自将控制线圈绕组 $i$ 、 $i+m/3$ 、 $i+m*2/3$ ,其中 $i$ 是满足 $1 \leq i \leq k$ 的整数。通过将此应用于图1的典型实施例,第一控制模块10控制与A、D和G相对应的第1个、第4个、第7个线圈绕组6。第二控制模块10控制与B、E和H相对应的第2个、第5个和第8个相位绕组,而第三控制模块10控制与C、F和I相对应的第3个、第6个和第9个相位绕组。

[0034] 在本典型实施例中,尽管驱动电流具有矩形波形,但应当理解,其它的周期函数也可用于控制各3相控制模块10中的电流,从而使这些周期函数适用于其它磁性马达,其中这些周期函数包括但不限于梯形波形和正弦波形。可以以独立于其它控制模块的方式控制各控制模块10。

[0035] 尽管图3所示的控制模块10被示出为连接至仅三个相位绕组,但应当理解,所例示的各线圈意图代表利用相同的电流相位所驱动的所有相位绕组。

[0036] 图4示出单个三相控制模块10。如图4更清楚地所示,三个线圈绕组A、D和G以Y字形结构(Y结构)连接到一起。为了控制针对这三个相位的电流,控制模块包括配置成半桥结构并且连接至DC电源12的六个半导体开关元件14。在例示实施例中,这些开关元件是金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET),但还可以使用诸如绝缘栅双极晶体管(IGBT)等的其它半导体技术。利用外部控制单元(参见图5)所提供的逻辑信号1L、1H、2H、2L、3H、3L来控制开关元件14。这种3相控制模块的结构和功能在电动马达控制的领域内是众所周知的,并且这里将不进行详细说明。实质上,控制信号用于使开关成对地进行工作,以使得线圈绕组的两个分支一次连接至DC电源。各开关14在 $1/3$ 的时间内在工作中。

[0037] 如图5所示,处理单元20(CPU)提供针对各个开关元件100的控制信号。处理单元20具有各种接口30、40、50,其中经由这些接口30、40、50来与马达中的各种元件或控制模块10进行信号的接收或发送。更具体地,处理单元20经由位置数据接口30从马达接收位置数据。该位置数据表示转子2相对于定子1的取向。处理单元20还经由电流数据接口40接收与在各控制模块10中所测量到的电流有关的数据。利用在各控制模块中所实现的简单3相控制,仅需确定单相电流、即经由任何单一绕组的电流。在梯形或其它周期性电流相位波形在使用中的情况下,必须测量各模块中的至少两个相位电流。最后,处理单元20将控制信号经由电流控制接口50发送至各控制模块10。基于经由位置数据接口所获得的所测量位置和经由电流数据接口40所获得的各模块中的所测量电流,处理单元20将控制信号经由电流控制接口50发送至各控制模块10,以实现相位电流切换的所需序列和相位电流的大小。应用诸如脉冲波调制(PWM)等的开关元件的快速切换的常见控制策略。

[0038] 使用模块化控制模块和共通处理单元意味着针对多相马达驱动实现了硬件的显著减少。此外,通过适当地选择相位,可以以非常简单却能实现低电压电动马达的最佳电流分布的方式来控制3个相位的任何倍数的相位。

[0039] 在典型实施例中,尽管提供了单个共通处理单元20或控制器来控制所有的控制单元10的操作,但应当理解,该功能可以由被配置为响应于位置信号和所测量电流来控制一个或多个控制单元的个体专用控制器来实现。

[0040] 如参考图1和图3所述,相位绕组A~I的顺次排列与电气域中的相位的顺序并不相同。然而,本发明不限于典型实施例所示的特定几何排列。相反,相位绕组可以是采用表示电气域中不断增加的相位偏移的序列、或者采用其它排列配置成的。



[0041] 应当理解,本发明不限于所示的明确实施例,并且上述配置还可应用于不同电机的范围,其中这些电机包括但不限于PSMS电机、磁阻电机和直线电动马达。

[0042] 附图标记说明

[0043] 1.定子

[0044] 2.转子

[0045] 3.空气隙

[0046] 4.轴承轴

[0047] 5.槽

[0048] 6.相位绕组

[0049] 7.磁体

[0050] 10.控制模块

[0051] 12.DC电源

[0052] 14.开关元件

[0053] 20.CPU单元

[0054] 30.位置数据接口

[0055] 40.电流数据接口

[0056] 50.电流控制接口

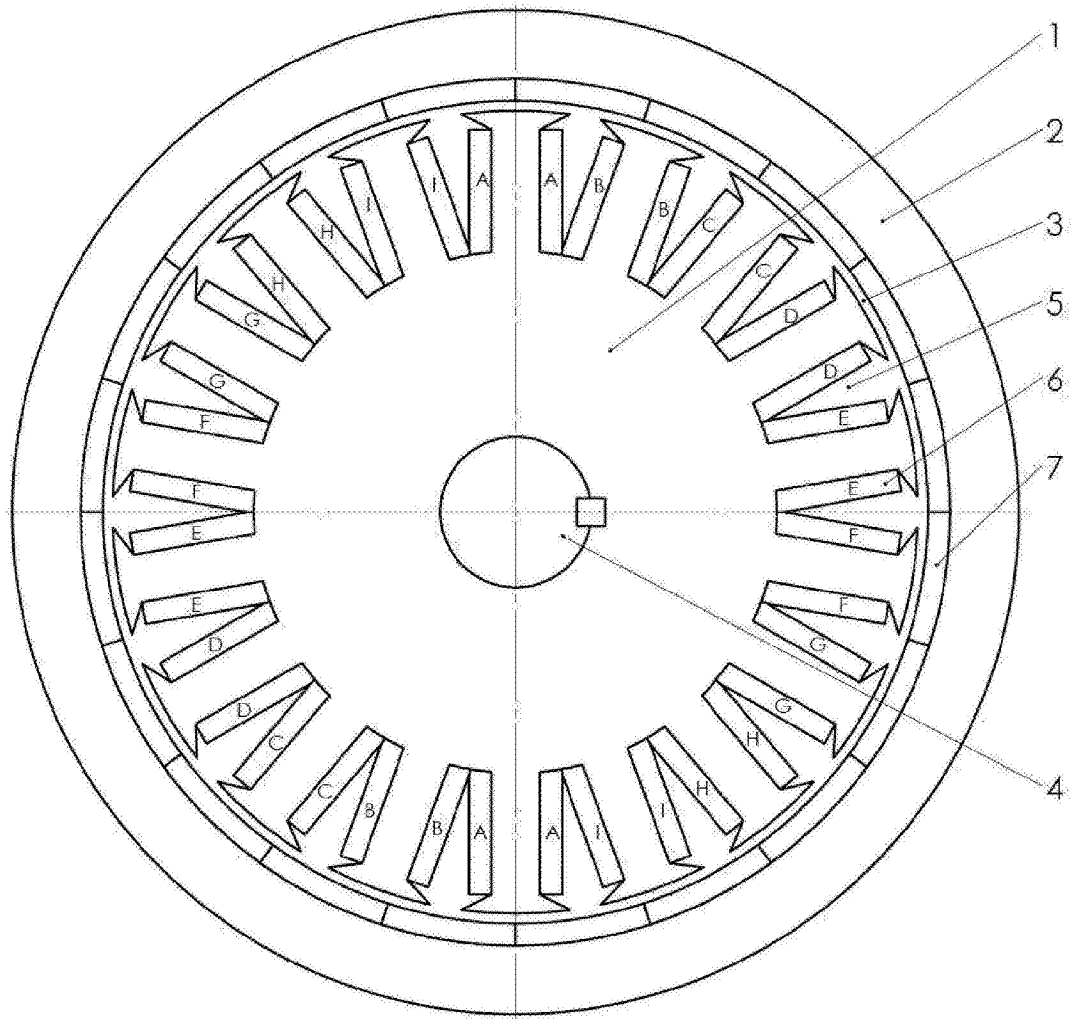


图1

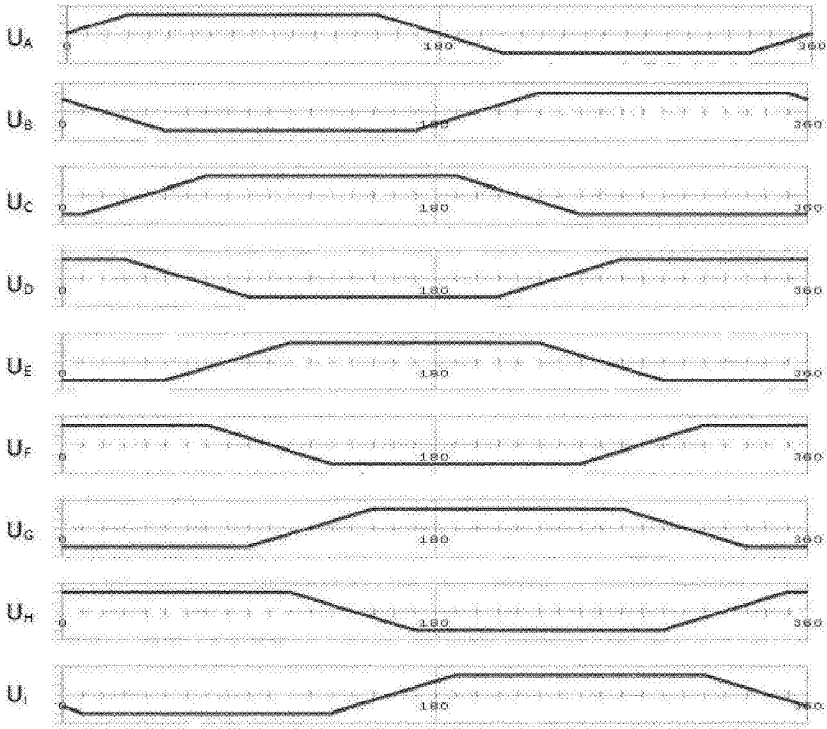


图2a

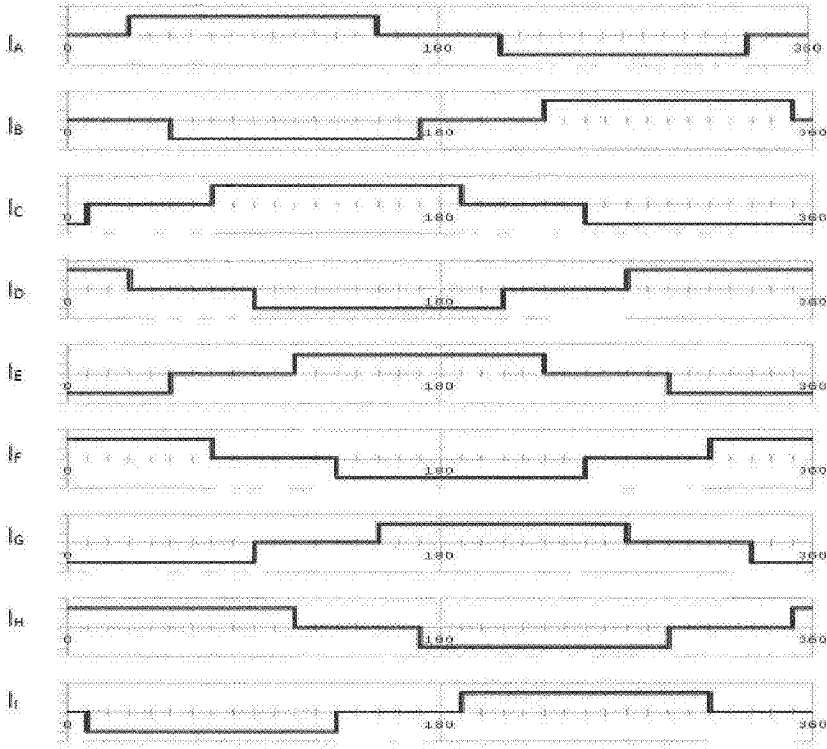


图2b

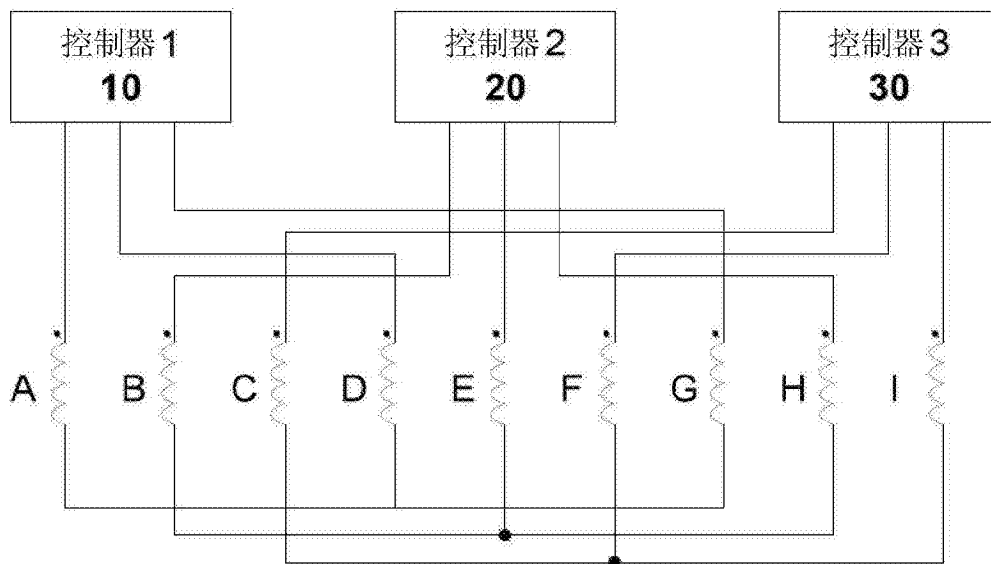


图3

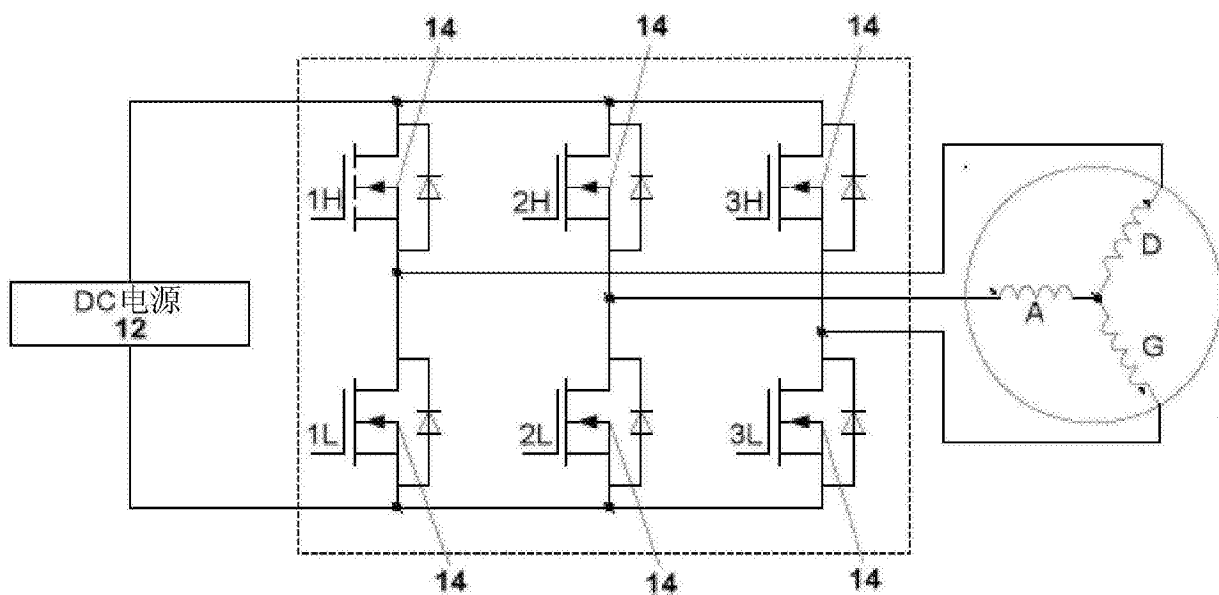


图4

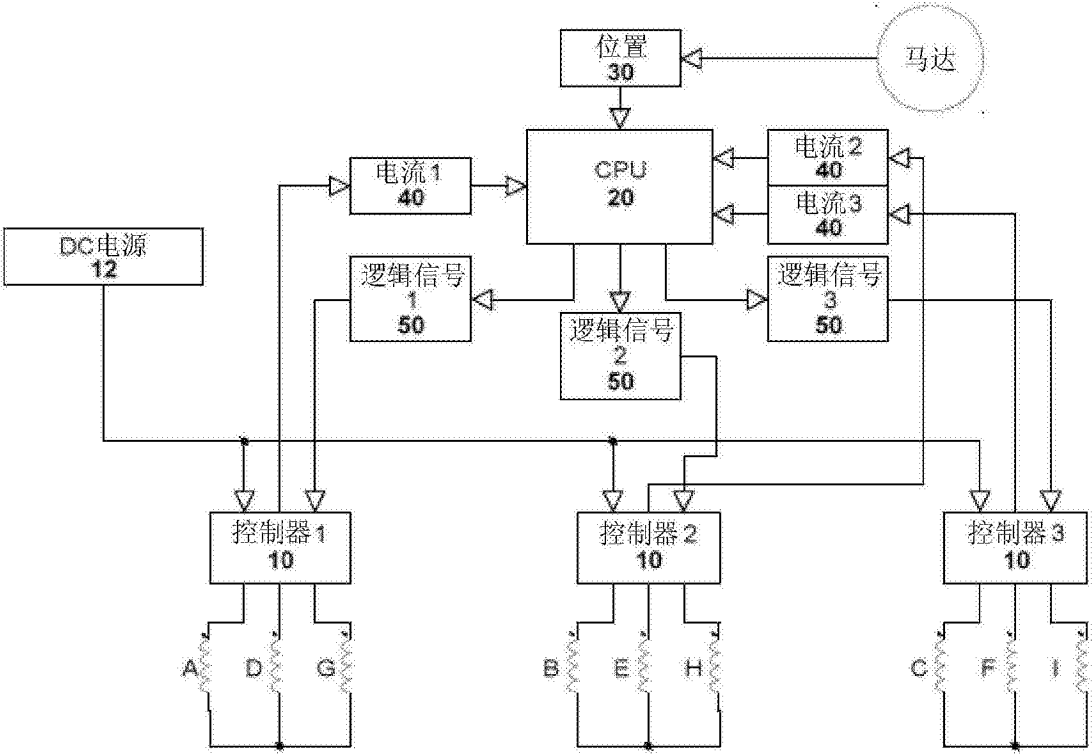


图5