

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H02K 3/28

H02K 19/10 H02K 19/24

H02K 37/02 H02P 7/62



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97197653.8

[45] 授权公告日 2003 年 7 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 1114255C

[22] 申请日 1997.7.8 [21] 申请号 97197653.8

[30] 优先权

[32] 1996. 7. 9 [33] US [31] 08/680,516

[86] 国际申请 PCT/US97/11827 1997.7.8

[87] 国际公布 WO98/01932 英 1998.1.15

[85] 进入国家阶段日期 1999.3.4

[71] 专利权人 埃莫森电器公司

地址 美国密苏里州

[72] 发明人 唐伊凡 李 煜

审查员 何志源

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

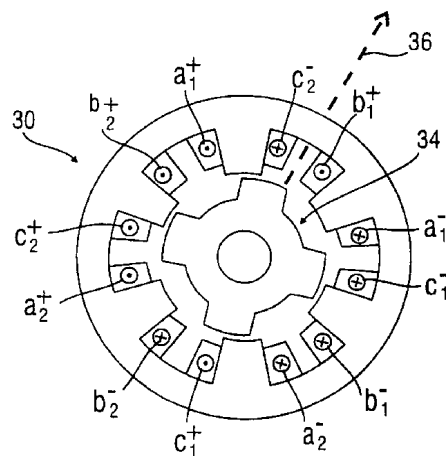
代理人 吕晓章

权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 17 页

[54] 发明名称 具有分节距绕组的磁阻电机及其驱动器

[57] 摘要

一种磁阻电机，包括多个相绕组，其中每一相绕组包含多个分节距线圈。所述磁阻电机可连接到一驱动器，所述驱动器能够激磁一个、两个或多个相绕组，以提供由下列各项导出的输出转矩：(i) 相绕组的自感；(ii) 相绕组的自感和相绕组之间互感的组合；或(iii) 相绕组之间的互感。



ISSN 1008-4274

1. 一种用于磁阻电机的定子，所述磁阻电机限定了多个定子极，每个定子极在其间限定一个间隙，所述磁阻电机包括置于所述定子内的多个相绕组，其中每个相绕组具有位于定子极间隙中的导电部分，由此每个间隙包括至少两个不同相绕组的导电部分，并且每一相绕组含有多个分节距线圈。
2. 如权利要求 1 所述的定子，其中，所述相绕组包含多个并联电连接的分节距线圈。
3. 如权利要求 1 所述的定子，其中，每一相绕组包含多个串联电连接的分节距线圈。
4. 如权利要求 3 所述的定子，其中所述定子限定了六个定子齿，并且其中所述分节距线圈中的每一个都包绕相邻的两个定子齿。
5. 如权利要求 3 所述的定子，其中所述定子限定了十二个定子齿，并且其中所述分节距线圈中的每一个都包绕相邻的两个定子齿。
6. 如权利要求 1 所述的定子，其中，用于所述相绕组的所述线圈置于所述定子内，以使所述各相绕组之间的互感对称。
7. 如权利要求 1 所述的定子，其中，用于所述相绕组的所述线圈置于所述定子内，以使所述各相绕组之间的互感不对称。
8. 一种磁阻电机，包括：
- 如权利要求 1 所限定的定子；
- 限定多个转子极的转子。
9. 如权利要求 8 所述的磁阻电机，其中，所述定子限定六个定子齿，而所述转子限定四个转子极，并且每个线圈都环绕两个定子齿。
10. 如权利要求 9 所述的磁阻电机，其中具有三相绕组并且每相绕组都包含两个分节距线圈。
11. 如权利要求 10 所述的磁阻电机，其中，所述各相绕组之间的互感对称。
12. 如权利要求 8 所述的磁阻电机，其中，所述定子限定十二个定子齿，而所述转子限定八个转子极。
13. 如权利要求 12 所述的磁阻电机，其中具有三相绕组，每相绕组都包含四个分节距线圈，并且其中每个线圈都环绕相邻的两个定子齿。

14. 如权利要求 13 所述的磁阻电机, 其中, 所述线圈置于所述定子内, 以使所述相绕组之间的互感对称。
15. 如权利要求 13 所述的磁阻电机, 其中, 所述线圈置于所述定子内, 以使所述相绕组之间的互感不对称。
- 5 16. 如权利要求 10 所述的磁阻电机, 其中, 所述各相绕组之间的互感不对称。
17. 一种磁阻电机系统, 包括:
如权利要求 8 所限定的一个磁阻电机; 和
一功率驱动器, 所述驱动器具有多个输出, 这些输出电连接到所述磁阻
10 电机的所述相绕组。
18. 如权利要求 17 所述的磁阻电机系统, 其中所述功率驱动器包含一全 H 桥驱动器, 其中具有四个与每一个所述驱动器输出相连的功率开关器件。
19. 如权利要求 17 所述的磁阻电机系统, 其中所述功率驱动器包含一个半 H 桥驱动器, 其中具有两个与每一个所述驱动器输出相连的功率开关器件。
15
20. 如权利要求 17 所述的磁阻电机系统, 其中, 所述功率驱动器包括:
多个开关设置, 其中每一个开关设置都适于提供双极性激磁电流到所述分节距相绕组中的一个, 并且其中所述开关设置的数目小于所述分节距相绕组
20 的数目。
21. 如权利要求 20 所述的系统, 其中每一个所述开关设置都包含一全 H 桥。
22. 如权利要求 20 所述的系统, 其中, 所述开关设置的数目比相绕组的数目少 1。
23. 一种激磁如权利要求 17 所述系统的磁阻电机的方法, 所述磁阻电机包含多个相绕组, 其中每相绕组多个分节距线圈, 所述方法包括激磁所述相绕组中的两个或多个的步骤, 以使对于任何给定的转子位置, 在该位置的所述电机转矩输出是作为转子位置函数的至少一个所述绕组的自感的变化
25 的函数, 并且是作为转子位置函数的至少两个所述绕组之间的互感的变化
30 的函数。

具有分节距绕组的 磁阻电机及其驱动器

5

技术领域

本发明涉及磁阻电机和磁阻电机系统,尤其涉及开关磁阻电机及开关磁阻电机系统。更具体讲,本发明涉及磁阻电机的绕组结构和驱动该电机的驱动器。

10

背景技术

通常,磁阻电机是这样的电机,其中由可动部件向着激磁相绕组的电感为最大的位置的移动趋势而产生转矩。在一种类型的磁阻电机中,相绕组的激励以一被控频率产生。这种电机通常称为同步磁阻电机。在另一类型的磁阻电机中,设有检测可动部件(通常称为“转子”)的位置并用转子位置的函数激励相绕组的电路。这种电机通常称为开关磁阻电机。本发明可应用于同步和开关两种磁阻电机。

通常的磁阻电机,尤其是开关磁阻电机的设计和操作的一般原理已为本领域所知,并已在比如 Stephenson 和 Blake 的《开关磁阻电机和驱动器的特性、设计和应用》(发表于1993年6月21-24日在德国纽伦堡召开的PCIM'93展览会上)中作了讨论。

大多数磁阻电机都包括固定部分,称为“定子”,定子包括含有许多突出部分(或“定子齿”)的叠片,这些齿限定了多个离散的定子极。绕线线圈(通常为铜)置于定子齿之间的间隙内,以形成一相或多相绕组。用于构成磁阻电机的最普通的绕组排列为“单齿”绕组排列,其中每一个定子齿由单个绕线线圈25 圈包绕。然后可将多个线圈以串联或并联方式连接,以形成一相或多相绕组。

图1给出了包括六级定子10和四级转子12的传统的“单齿”磁阻电机的简单示例。包含定子的叠片具有限定六个定子极的六个向内突出的定子齿13-18。每一个定子齿13-18都由一单独的绕线线圈 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 、 c_1 和 c_2 包绕,并且,包绕定子齿的线圈电连接,以形成三相绕组A、B和C。线圈30 的放置由图1中的圆点和叉表示,其中叉表示正电流流入纸面的绕线部分,而圆点表示正电流流出纸面的绕线部分。在典型的单齿磁阻电机的操作中,

在对应于转子旋转全程的三分之一的间隔时激励每一相绕组,以使每一相绕组每隔转子全程时间的三分之一就对正转矩做出贡献。

例如为图 1 所示的单齿磁阻电机在某些方面受到限制,即,在这种机器中产生转矩的机构完全是每一个激励相绕组的自感的函数。由于绕组的单齿特性,在电机相位之间没有互耦合,因而不会因为相绕组之间的互感的变化而产生大的转矩。结果,带有单齿绕组的磁阻电机的最大转矩输出和效率受到了限制,因为这样的绕组的有用间隔受到该绕组的自感增加时段的限制。

尽管单齿绕组结构有潜在的限制,那些从事磁阻电机工作的人们的传统观点是,单齿绕组是称心的,因为相绕组之间的互感通常来讲是不想要的。在有关磁阻电机的出版物中披露了固有的偏见,包括 A. Hughes et al 的《操作模式对 VR 电机的转矩-速度特性的影响》(发表于 1976 年 7 月在英国利兹的利兹大学召开的步进电机和系统方面的国际会议上),该文声称各相之间的互感减小了带有标准的单极激励机的三相磁阻电机的可用转矩。

与上述的单齿电机(其中没有大的互感,并且产生的所有转矩都是自感的函数)相反,已有人提出将磁阻电机设计成其中没有自感,而且转矩的产生完全是各相绕组之间互感变化的函数。这样的磁阻电机采用全节距绕组结构。通常,全节距绕组是包括跨越 M 个定子极的绕组线圈的绕组,其中 M 是等于相绕组数的整数。一种这样的设计是由 B.C. Mecrow 在他的题为《双显极式(doubly salient)磁阻电机的新型绕组结构》的论文中提出的,该文发表于 1992 年 10 月在德克萨斯州的休斯敦召开的 IEEE 工业应用协会年会上。

图 2 示出采用所参考的 Mecrow 的论文中所披露类型的全节距绕组的磁阻电机。通常,这种电机包括六极定子 20 和四极转子 22,它们在结构上基本上等同于图 1 的单齿电机转子 10 和定子 12。图 1 的单齿电机和图 2 的全节距电机的主要差别在于绕组的放置和排列。在图 3 的全节距电机中,只有三个绕组线圈 a、b 和 c,每一个线圈都放置于定子内,以使磁极间间隙内的线圈端部相互偏置 180° 机械角度,如图所示的六定子极/四转子极设计。因为图 2 的电机绕组的全节距特性,实际上两个绕组之间的互感变化的结果便产生转矩。如在 Mecrow 论文中所解释的,在这种电机中,每覆盖转子旋转全程的三分之二周期中激励每相绕组,以使每相绕组都通过两相绕组之间的互感的变化而贡献对应于每一个转子旋转的三分之二周期的正转矩。

根据所参照的 Mecrow 论文,这种全节距、仅有互感的电机使电机形成

的电-机电路的利用更好。Mecrow 的全节距磁阻电机的各种变型已在 P. G. Barrass 和 B. C. Mecrow 和 A. C. Clothier 的题为《全节距绕组开关磁阻驱动的单极性操作》、《全节距绕组开关磁阻和步进电机结构》(IEE 学报-B, 第 40 卷第 1 号(1993 年 1 月)), 和 P. G. Barrass 和 B. C. Mecrow 和 A. C. Clothier 5 的题为《全节距绕组开关磁阻驱动器的双极性操作》(电机及驱动国际会议(1995 年 9 月)), 以及英国专利 GB2,262,843B 号的《双显极式磁阻电机》中作了讨论。

与单齿-磁阻电机中的相绕组的电感相比, 在全节距磁阻电机中的绕组的全节距特性使各相绕组具有很高的自感。这种较高的自感限制了相绕组电 10 流的变化率, 从而限制了相电流从零增加到峰值的速度, 因此便限制了峰值转矩值。因此, 全节距电机的绕组的全节距特性造成了“高自感负担”, 结果用于给电机供电的驱动器必须在可接受的时间内大到足以驱动电流到其所需要值, 或者由于由较高自感所造成的对相电流波形的限制而必须牺牲该电机的性能。

15 全节距电机还有一个缺点是, 构成用于形成相绕组的全节距线圈需要大量的端部连接(end turn)的铜。这种大量的末端车圆的铜造成了制造成本的增加, 这与绕组中的铜量直接相关。而且, 构成这种全节距绕组所需的相对大量的铜造成了电机正常运行期间电阻或铜损的增加。

20 本发明的一个目的是提供一种改进的磁阻电机, 它能克服单齿电机和全节距电机的所提到的和其它限制。

发明内容

本发明通过提供一种具有包括多个相绕组的定子的磁阻电机, 克服了传统的磁阻电机的所述的和其它的限制, 其中每一相绕组包含多个电连接的 25 “分节距”线圈。该线圈是分节距, 因为其具有在单齿线圈和全节距线圈的受限的节距之间的节距。本发明的电机线圈的分节距特性允许相绕组的自感和相绕组之间的互感都对电机的转矩输出做出贡献。根据定子内分节距线圈的位置, 相绕组之间的互感可以是对称的(例如, 不同相具有相同极性和形式)或者非对称的(例如, 不具有相同极性和形式)。如果分节距绕组为非对称的, 30 提供作为自感和互感的函数的输出转矩所必需的激磁电流在三相绕组之间变换形式。如果分节距绕组是对称的, 提供作为自感和互感的函数或者仅仅

是互感的函数的输出转矩所必需的激磁电流对不同相可以是相同形式的给定定量。

本发明也涉及激励具有如上所述的分节距绕组的磁阻电机的方法。

具体来讲,按照本发明的一个方面,提供了一种用于磁阻电机的定子,
5 所述磁阻电机限定了多个定子极,每个定子极在其间限定一个间隙,所述磁阻电机包括置于所述定子内的多个相绕组,其中每个相绕组具有位于定子极间隙中的导电部分,由此每个间隙包括至少两个不同相绕组的导电部分,并且每相含有多个分节距线圈。

按照本发明的另一个方面,提供了一种磁阻电机,包括上面所述的用于
10 磁阻电机的定子,还包括限定多个转子极的转子。

按照本发明的再一个方面,提供了一种磁阻电机系统,该系统包括上述本发明的磁阻电机,还包括一个功率驱动器,该驱动器具有多个输出,这些输出电连接到所述磁阻电机的所述相绕组。

按照本发明的再一个方面,还提供了一种激磁如上所述本发明的磁阻电
15 机系统的磁阻电机的方法,所述磁阻电机包含多个相绕组,其中每相绕组多个分节距线圈,所述方法包括激磁所述相绕组中的两个或多个的步骤,以使对于任何给定的转子位置,在该位置的所述电机转矩输出是作为转子位置函数的至少一个所述绕组的自感的变化函数,并且是作为转子位置函数的至少两个所述绕组之间的互感的变化函数。

20

附图说明

参照下面所述的说明书及其附图将能理解本发明的各个方面。

图1说明传统的“单齿”磁阻电机的一个例子。

图2说明具有全节距绕组的磁阻电机。

25 图3说明根据本发明的具有分节距绕组的六定子极、四转子极的磁阻电机。

图4说明图3电机的三相绕组的自感和三相绕组的互感作为转子角位置的函数。

图5说明可用于驱动图3的电机的示例性“单相”激磁方案,其中在一给
30 定时间只有一相绕组被激磁。

图6说明可用于驱动图3的电机的示例性“两相”激磁方案,其中有两相

绕组同时被激磁。

图 7 说明利用图 3 的电机可用于实施图 6 的激磁方案的示例性驱动器。

图 8 说明可用于驱动图 3 的电机的示例性“三相”激磁方案，其中三相绕组同时被激磁。

5 图 9 说明利用图 1 的电机可用于实施图 8 的三相激磁方案的示例性驱动器。

图 10 说明根据本发明的具有分节距绕组的六定子极、四转子极磁阻电机的一个替换例子。

10 图 11 说明图 10 中电机的三相绕组的自感和三相绕组之间的互感作为转子角位置的函数。

图 12 说明可用于驱动图 10 的电机的示例性“单相”激磁方案，其中在给定时间仅有一相绕组被激磁。

图 13 说明可用于驱动图 10 的电机的示例性“两相”激磁方案，其中有二相绕组被同时激磁。

15 图 14 说明可用于驱动图 10 的电机的示例性“三相”激磁方案，其中三相绕组被同时激磁。

图 15 说明可用于驱动图 10 的电机的示例性“三相”激磁方案的替换方式，其中三相绕组被同时激磁。

20 图 16 说明根据本发明的具有分节距绕组的十二定子极、八转子极磁阻电机的一个例子。

图 17 说明根据本发明的具有分节距绕组的十二定子极、八转子极磁阻电机的一个替换例子。

图 18 说明可用于驱动图 17 的磁阻电机的对称驱动器。

在上述附图中相同的标符表示相同的部件。

25

具体实施方式

参见附图，尤其是图 3，图中示出了根据本发明的磁阻电机 30。通常，磁阻电机 30 包括限定六个向内的定子极的定子 32 和限定四个向外伸展的转子极的转子 34。定子 32 和转子 34 可构成适当材料(比如为钢)的多叠层形式，并且定子 32 和转子 34 叠层的基本结构可采用构成这样的磁阻电机构件的标准技术来完成。

30

虽然包含定子 32 和转子 34 的叠层可标准化, 但电机 30 的绕组排列不是。在图 3 中有三相绕组 A、B 和 C, 每一相绕组由两个线圈构成, 以便相绕组 A 包含线圈 a_1 和 a_2 , 相绕组 B 包含线圈 b_1 和 b_2 , 而相绕组 C 包含线圈 c_1 和 c_2 。构成相绕组的两个绕组可以串联或并联连接。在图 3 的例子中, 包含每一相绕组的线圈并联连接。对于具有不同的定子极/转子极组合(例如, $N \times 6/N \times 4$)的电机来说, 包括给定相绕组的线圈可以通过串联和并联连接的结合来连接。

如图 3 所示的, 包含每一个相绕组的线圈不是“单齿”线圈, 因为它们环绕多于一个的定子。此外, 包括相绕组的线圈不是全节距线圈。相反, 图 3 的实施例 30 中的线圈是“分节距”线圈, 其跨越(或定子极)比单个齿线圈多的齿, 但比全节距线圈少的齿。

图 3 中电机 30 的分节距线圈的确切安排和方向由圆点和叉表示。用于图中的一般惯例是, 如果将圆点和叉看作箭头, 正电流将从箭头后端(尾端)流出(叉)并流向箭头顶点部(圆点)。正电流将导致“遵守右手定则”的磁场的产生, 即, 如果手指顺着箭头以手指尖指向箭头尖方向, 则其北极对应于手的拇指所指的方向。这样, 流过线圈 a_1 的正电流所产生的磁场的北极是图 3 所示的点箭头 36 的方向。从其它线圈的正激磁将建立类似的磁场。

由于包含绕组 A、B 和 C 的线圈的分节距特性, 当转子 34 在定子 32 内旋转时, 每一绕组的自感和绕组之间的互感都发生变化。因此, 当相绕组适当激磁时, 可实现互感和自感都对输出转矩做贡献。

图 4 说明图 3 中电机 30 的三相绕组 A、B 和 C 的自感 L_A 、 L_B 和 L_C , 以及各相绕组之间的互感 M_{ab} 、 M_{bc} 和 M_{ca} , 作为转子角位置 θ_r 的函数。图中也示出了各自感和互感作为转子角位置函数的导数。

对于图 3 的三相磁阻电机 30, 电机的转矩输出可近似由下面的公式表示, 公式 (1):

$$T_{out} = \frac{1}{2} i_A^2 \frac{\partial L_A}{\partial \theta_r} + \frac{1}{2} i_B^2 \frac{\partial L_B}{\partial \theta_r} + \frac{1}{2} i_C^2 \frac{\partial L_C}{\partial \theta_r} + i_A i_B \frac{\partial M_{AB}}{\partial \theta_r} + i_B i_C \frac{\partial M_{BC}}{\partial \theta_r} + i_C i_A \frac{\partial M_{CA}}{\partial \theta_r}$$

其中, i_A 、 i_B 和 i_C 表示流入相绕组 A、B 和 C 的电流, 而公式中的前三个变量对应于总的自感转矩成分, 而公式中的后三个变量对应于互感转矩成分。

再参照图 4 和公式(1)表明, 流入图 3 的中电机 30 的相绕组中的相激磁

电流可被控制,以使总的转矩输出完全是自感转矩结果,或者完全是互感转矩结果,或者是两者的结合。

图 5 示出可用于驱动图 1 的电机 30 的一个电流切换方案,其中在一给定时间只有一相绕组被激磁,所有的转矩输出是自感的结果。在这个特定的切换方案中,因为在一给定时间只有一相绕组被激磁,因此公式(1)中后三个变量中每一个变量中的电流变量中的一个总是为零,这样此方案中没有互感转矩产生。

比较图 4 和图 5,注意到在图 5 的“单相”激磁方案中,每一相绕组仅在相绕组自感增加的转子旋转期间内被激磁。例如,参照图 4 和图 5,注意到相绕组 A 的自感在 43 和 46 表示的时段内增加,这样,在这些时段内在相绕组 A 中建立电流。同样,相绕组 B 的自感在 41、44 和 47 表示的时段内增加,这样,在这些时段内激磁相 B,而相 C 在 42、45 和 48 表示的时段内被激磁。

因为自感转矩成分是电流平方的函数,图 5 的单相激磁方式中相绕组中电流的极性并不重要。在这方面,图 5 的激磁方案类似于用于绕成标准的“单齿”的开关磁阻电机的切换方案。这样,标准的开关磁阻电机驱动可用图 3 的电机 30。

除了图 5 的单相激磁方案之外,同时有两相绕组被激磁的“两相”激磁方案可用于提供作为相绕组自感和各相绕组之间互感的结合的转矩输出。这种切换方案的电流波形如图 6 所示。在此切换方案中,各相绕组在下列期间被激磁:(i) 其自感增加的旋转期间(即,与用于图 5 中方案相同的激磁间隔);和(ii) 可产生正互感转矩的旋转期间。

比较图 5 和图 6,可以看出部分激磁方案(自感部分)与图 5 的单相激磁方案完全重叠。这样,相 A 在时段 43 和 46 期间内被连续激磁,相 B 在时段 41、44 和 47 期间内被连续激磁,而相 C 在时段 42、45 和 48 期间内被连续激磁。然而,每相绕组另外也在相绕组的激磁产生正互感转矩的时段内被激磁。

参照图 6,用相 A 作为例子,相 A 在时段 43 和 46 期间内被激磁以产生“自感”转矩。相 A 也在时段 41、44 和 47 期间内被激磁。如在图 4 中所表明的,在这些时段内,相 A 和 B 之间的互感增加(同样,相 A 在时段 43 和 46 之间被激磁,其间相 A 和 C 之间的互感增加)。在相 A 不激磁的时段内(时

段 42、45 和 48), 相 A 绕组的自感下降。这样, 不论激磁电流的极性如何, 在此时段内对相 A 绕组的激磁都造成负转矩成分, 由于相 A 绕组的自感。在图 6 的方案中, 相 A 绕组在该相绕组的激磁不产生负自感转矩的所有时段内被激磁。

- 5 以类似于相 A 的激磁方式, 相 C 在其不产生负自感转矩的每一时段内被激磁, 包括时段 42、45 和 48 及时段 43、46 和 49。

在图 6 的两相方式中相 B 的相激磁方案类似于对相 A 和 C 的激磁方案, 其中相 B 在该相绕组的激磁不产生负转矩的所有时段内被激磁。然而, 由于包含相绕组 B 的分节距线圈的确切安排, 图 6 的激磁方案中相 B 的激磁与
10 相 A 和 C 的激磁有所不同, 即, 虽然相 A 和 B 电流是单向的, 相 B 电流是双向的并包括正和负两种极性的电流。例如, 在增加自感的时段内(时段 41、44 和 47), 相 B 激磁电流的极性必须与相 A 中相电流的极性相同, 以获得正互感转矩成分, 因为在这些时段相 A 和 B 之间的互感增加。

然而, 在时段 42、45 和 48 内, 相 B 的自感不变(因而没有自感转矩输出), 但相 B 和相 C 之间的互感却在这些时段内下降, 造成了这些时段内相
15 对于转子位置的相 C 和 B 之间互感的负导数。参照公式(1), 注意到对于负互感斜率, 两个相互连接的绕组中电流的乘积必须为负以产生正转矩。这样, 对于正转矩成分, 相 B 中相电流的极性必须与相 C 中相电流的极性相反。因此, 在时段 42、45 和 48 内, 相 B 的相激磁电流是图 6 中的负极性。

20 图 6 中特定的两相切换方案当用于图 3 的电机 30 时, 比图 5 的单相切换方案能提供更大的转矩输出, 因为在任一给定时间的总转矩成分是激磁相绕组的自感和两个激磁相绕组之间的互感两者的函数。然而, 这种激磁方案需要对相绕组中的一个采用双极激磁电流(本例中为绕组 B), 这就需要特定类型的驱动电流。

25 可与图 3 的电机 30 结合以实施图 6 的激磁方案的一个示例性驱动器示于图 7。图 7 示出包括 DC 总线的示例性驱动器 70, DC 总线由上 DC 总线 70+和下 DC 总线 70-形成。在 DC 总线两侧提供的 DC 电压可由包括电池的适当的电源或 AC-DC 转换器来提供。滤波电容器(未示出)或其它调节装置可用于存储供给 DC 总线的恢复能量和/或用于稳定和调节出现在 DC 总线两端
30 的 DC 电压。

相绕组 A 和 C 中的每一个都通过上部功率开关器件 72 和下部功率开关

器件 73 以及上部和下部反馈二极管 74 和 75 在 DC 总线两端耦合。图 7 中相绕组上的圆点对应于正极电流将流入的绕组中的点。

功率开关器件 72 和 73 可以是任何适当的功率开关器件,而这些装置的确切结构可根据驱动器 30 所耦合的磁阻电机的大小和应用来变化,以及根据用于功率开关器件的开关信号的特性来变化。然而,这些器件通常是包括双极结型晶体管、MOSFETs、IGBTs 等的晶体管,或是其它适当的功率开关器件,比如机械开关。

本领域普通技术人员可以从图 7 中看出,用于绕组 A 和 C 的切换安排允许在相绕组中产生单极电流。具体讲,将功率开关器件 73 和 74 启动到导通状态,从而将 DC 总线两端出现的 DC 电压加到适当的相绕组,以便使电流在以圆点标出的地方流入该相绕组。

用于相绕组 A 和 C 的切换安排能够建立单极电流。因为双极电流必须在相绕组 B 中建立,以完成图 6 的切换方案,因此对该相必须采用不同的切换安排。参照图 7,在此例中用于相 B 绕组的切换安排是 H 桥排列,包括两个上部功率开关器件 76、77 和两个下部功率开关器件 78、79。功率开关器件 76—79 的结构可以与前面对于功率开关器件 72 和 73 所讨论的结构相同,只是功率开关器件 76—79 中的每一个都需要反并联反向恢复二极管,这在某些类型的器件比如 MOSFETs 中是固有的。这种反并联反向恢复二极管没有在图中示出,但如果需要,它们的结构和位置对本领域普通技术人员来讲是很明显的。

通过适当激励与相绕组 B 相连的功率开关器件,可在相 B 绕组中建立双极性电流。例如,如果将功率开关器件 76 和 79 驱动到导通状态,那么 DC 总线两端的 DC 电压将以电流流入图 7 中的圆点所示的相绕组端部的方式加到相绕组 B。这样,这种状况造成了相 B 绕组中正电流的产生。以类似方式,如果将功率开关器件 77 和 78 驱动到导通状态,那么 DC 总线两端的反向电压加到该相绕组,并且电流将流入与图 7 中圆点所标端部相反的相绕组 B 的端部,于是在相绕组 B 中产生负极性电流。

正如本领域技术人员所看到的,通过作为转子位置的函数而激发驱动器 70 的功率开关器件(例如,通过监视转子角位置),可实施图 6(甚至图 5)的激励方案。此外,通过调制加到功率开关器件的驱动信号(例如,通过脉宽调制或脉冲频率调制),可以以驱动器 70 所连接的电机的转子转速和/或输出转

矩可控的方式，来控制相绕组中电流的幅度。这种采用驱动器 70 的控制方案的实施也在本领域普通技术人员在本公开文本所启发下的能力范围之内，因而在此不再更详细地叙述。

除上述讨论的单相和双相激磁方案之外，图 3 中的电机也可以“三相”方式被激磁，其中，在一给定时间，所有三相绕组都被激磁。这种三相激磁方案的一个例子示于图 8。

参照图 8，在对应于上述“两相”激磁方案的间隔期间激磁每一相绕组。然而，每一相绕组也在相绕组的自感减小的保持期间被激磁，这样在保持期间内从该相绕组产生负自感转矩成分。例如，在图 8 的切换方案中，相绕组 A 中时段 42、45 和 48 期间内被激磁。参照图 4，注意到有相绕组 A 的自感减小的那些时段，在那些时段内从相 A 产生负转矩成分。然而，在每一个这些时段内产生涉及相 A 的互感成分。

例如，在时段 42 内，相 A 和 C 之间的互感为零，而相 A 和 B 之间的互感为负。然而，参照图 8，注意到在此时段内相 B 中电流的极性也是负的。这样，在时段 42 内由相 A 和相 B 之间的互感所造成的对转矩做出贡献的净互感为正值。通过适当构造包括相绕组的线圈，或通过在此时段内适当控制流入相绕组 A 和相绕组 B 中的电流的幅度，可以保证在时段 42 期间从相 A 产生的净转矩成分为正值。这样，尽管相 A 绕组的连续激磁造成了某些负自感转矩的产生，但由相 A 的连续激磁而造成的总的转矩成分为正。以类似的方式，相绕组 B 和 C 被连续激磁，以在每一时段内产生净正转矩。

为保证采用图 8 的激磁方案在每一时段在每一相绕组所产生的的净转矩为正值，流入相绕组中的一个(在本例中为相绕组 A)的电流必须连续并且是单一极性，而流入其它两相绕组中的电流必须是双极性的。因此，传统的单极性驱动器不能用于根据图 8 所示的切换方案驱动图 3 的电机 30。可用于实施图 8 的三相激磁方案的一个示例性驱动器示于图 9。

图 9 示出包括 DC 总线 91 的驱动器 90，DC 总线 91 具有正总线 91+和负总线 91-。DC 滤波电容器 92 连接于 DC 总线之间。因为用于图 8 的激磁方案的相 A 中的激磁电流为连续、单极的电流，故相 A 简单地连接于 DC 总线 91 之间。如果相 A 绕组中电流的幅度是通过脉宽调制或其它适当技术控制的，功率开关器件和反馈二极管(未示出)可设置成将相 A 绕组连接到 DC 总线 91。

相绕组 B 和 C 中的每一个都通过包括四个安排成 H 桥结构的功率开关器件的开关设置连接到 DC 总线。这些开关器件可以如上述图 7 的功率开关器件 76—79 的方式操作。特别是,用于驱动器 90 的开关设置数目比相绕组数目少 1。

5 图 3 中的磁阻电机 30 仅是分节距绕组用于提供改进性能的磁阻电机的方式的一个例子。利用分节距绕组的改进的磁阻电机的另一个例子提供于图 10。

图 10 示出了三相、六定子极、四转子极磁阻电机,其定子和转子以前面结合图 3 所述的方式构成。以类似于图 3 的方式,三相绕组 A、B 和 C 中的
10 的每一相都包括两个线圈,每一个线圈都是分节距线圈。然而,图 10 的电机 100 的线圈排列方式与图 3 的电机 30 的线圈排列方式不同之处主要在于,相 B 和 C 绕组的线圈以相反的方向设置于定子中。线圈的确切安排由图 10 中所标的圆点和叉表示。

图 11 示出图 10 的电机 100 的三相绕组 A、B 和 C 的自感和互感作为转
15 子角位置的函数。比较图 11 和图 4 可知,三相绕组的自感基本类似于图 3 的电机 30,但电机 100 的互感与电机 30 的互感的不同之处主要在于,电机 100 的互感都是负的。尤其是,电机 100 的互感是对称的,它们有相同的极性和范围但相位上相差一给定量。

正如图 3 的电机 30 可以单相模式操作,其中所有的转矩输出都由三相
20 绕组的自感提供,电机 100 也可以这样。这种用于电机 100 的切换方案的一个例子如图 12 所示。正如所看到的,用于电机 100 的切换方案实际上等同于图 5 所示的用于图 3 的电机 30 的切换方案。这是因为包括相绕组的线圈的方向并不明显影响相绕组的自感。标准的磁阻驱动器可用于实施图 12 的方案。

25 图 13 示出用于电机 100 的两相切换方案,其中电机的总转矩输出是相绕组的自感和相绕组之间的互感两者的结果。因为电机 100 互感与电机 30 的互感不同,所以用于电机 100 的两相切换方案与用于电机 30 的方案不同。具体讲,由于电机 100 中绕组的特性,两相切换方案允许相电流“对称”的程度使三相绕组的激磁电流形式相同但相互隔开一预定角度量。通常来讲,激
30 磁电流可由等于一个定子极节距的角度量分开。在许多场合下,图 13 的对称两相激磁方案比图 6 的方案易于实施,因为激磁电流的对称特性允许简

单而廉价的转子位置转换器和简单而廉价的控制电路。

由于用于图 13 的激磁方案中的所有三相绕组的激磁电流都是双向的，标准的开关磁阻驱动器不能用于实施该切换方案。可采用适当的三相、双向驱动器，比如三相全 H 桥驱动器。此外，由于该对称激磁电流类似于标准的感应电动机中的激磁电流，通过很少或不用硬件修改就可以采用标准的感应电动机驱动器来根据图 12 的激磁方案驱动电机 100。

两种不同的“三相”激磁方案可用于操作图 10 的电机 100，以使其总的转矩输出由三相绕组之间的互感提供。图 14 所示的一个这样的激磁方案类似于图 8 的用于电机 30 的激磁方案。在两个例子中，用于相绕组 A 的相激磁电流连续。因为包括图 10 的电机 100 的相 B 和 C 的线圈的定向与包括电机 30 的相 B 和 C 的线圈的定向相反，在相激磁期间任何时候，图 14 的激磁方案中电机 100 的相绕组 B 和 C 的相激磁电流的极性，和图 8 的激磁方案中相 A 和 B 的相激磁电流的极性相反。利用图 10 的电机 100，图 9 的驱动器 90 可用于实施图 14 的激磁方案。

电机 100 的一种替代三相切换方案示于图 15。在此激磁方案中，三相绕组的激磁电流相同但相互之间相差一恒定角度量(在此例中是一个定子极节距)。任何能够建立三相双极性电流的驱动器(比如全 H 桥或传统的感应电动机驱动器)都可以用于建立图 15 中所示的激磁电流。当采用图 13 的两相激磁方案时，图 15 的三相激磁方案的激磁电流是对称的，这样就潜在减小了转子位置转换器和控制电路的复杂性，否则的话需要实施非对称切换方案。

上述图 3 和 10 的六定子极/四转子极电机只是根据本发明的分节距绕组的样例。分节距绕组也可以用于具有不同定子极/转子极组合的磁阻电机。例如，图 16 示出根据本发明的具有十二定子极和八转子极的示例性磁阻电机。

图 16 的电机 160 具有以前面结合图 3 的电机 30 的转子和定子所描述的方式构成的十二极定子 162 和八极转子 164。三相绕组 A、B 和 C 置于定子 162 内，每一相绕组包含如图 16 所示排列的四个分节距线圈。对于电机 30 和 100 的线圈，包含给定相绕组的线圈可以串联或并联关系连接在一起。

图 16 的电机 160 类似于图 3 的电机 30 之处在于，按照两相或三相激方案的电机的激磁要求类似于与电机 30 相连的切换方案所示的非对称相电流。电机 160 的非对称特性取决于分节距线圈置于电机内的方式。在图 16 的电

机中，线圈置于定子内，因此三相绕组之间的互感不对称。

因为电机 160 的多相激磁在所有的三相绕组中都要求双极性电流，因此合适的三相双极性电流驱动器(例如每相具有四个开关的三相 H 桥)可用于驱动电机 160。

- 5 图 17 示出为分节距十二定子极、八转子极电机 170 设计的替代形式。电机 170 具有以实际上等同于电机 160 的方式构成的转子和定子，但包含三相绕组的线圈以图 17 所说明的不同方式置于定子内三相绕组。用在电机 170 中的分节距绕组排列是“对称”的，因为互感是对称的(因而可接受两相和三相激磁方案的激磁电流也是对称的)。在此方式中，电机 170 类似于图 10 的电机 100。

正如电机 160 一样，电机 170 可按照单相、两相和三相激磁方案被激磁。每一相具有四个开关的标准的 H 桥驱动器可用于驱动电机 160。而且，因为电机 170 的对称特性，仅有六个功率开关器件的对称逆变器可用于驱动电机 170。一种具有这样一个驱动器的系统示于图 18。

- 15 图 18 示出具有确定正线 181+和负线 181-的 DC 总线 181 的对称驱动器 180。由 DC 电源 182 提供 DC 电压给 DC 总线，DC 电源 182 可以是 DC 电池、AC-DC 转换器或其它适当的 DC 电源。连接于 DC 总线 181 的线之间的是上 DC 电容器 183 和下 DC 电容器 184。电容器 183 和 184 在公共点 185 连接在一起。一组电源开关器件 186 也连接于 DC 总线之间。每一组电源开关器件都与磁阻电机 170 的三相绕组 A、B 和 C 中的一个相连，并且每一组电源开关器件都包含一个上部电源开关器件和一个下部电源开关器件。利用上述的电源开关器件，包含组 186 的电源开关器件可以是晶体管、机械开关等。通常，当电源开关器件在非导通状态下驱动时，电源开关器件也可以提供电流回路。对于特定类型的器件(例如，功率 MOSFETs)。由于这类器件所提供的固有的二极管，这种回路是可用的。对于其它类型的器件，有必要在功率开关器件两端增加反馈二极管。在图 18 的例子中，所示出的包含组 186 的功率开关器件由晶体管开关和二极管组成，但二极管可以是晶体管的固有二极管。

- 25 30 连接到每一组 186 的两个功率开关的结点的是电机 170 的相绕组 A、B 和 C 中的一个的一端。三相绕组的另一端以星接方式连接在一起。三相绕组的结点被引出并电连接到结点 185。

控制器和电流调节器 188 接收表示相绕组中的电流的电流反馈信号和来自转子位置转换器 189 并代表转子角位置的信号。响应于转子位置转换器 189 的输出信号和电流反馈信号，控制器 188 产生选通信号，用于驱动包含组 186 的功率开关器件。开关信号的确切特性和形式取决于驱动电机 170 所选的激磁方案而变化，并且能够由本领域普通技术人员在本发明启发下推导出。

对称驱动器 180 可用于驱动前面所述的图 10 的对称电机 100。

虽然没有说明，但图 18 的驱动器 180 可用于驱动三相绕组的公共连接点悬空而不是连接到公共结点 185 的电机。

在此所图示和说明的分节距电机提供比传统的单齿和全节距磁阻电机更突出的优点。尤其是，根据本发明构成分节距电机的成本相比较而言通常比构成全节距或单齿电机的成本在铜和钢两方面都要少。此外，由于自感和互感都用于输出转矩，因而可得到最小转矩波纹的平滑转矩，并且，转矩输出的增加带来了更高的转矩密度。更进一步，根据本发明可用于分节距电机的对称、双极性激磁方案允许采用标准的感应电机脉宽调制逆变器来驱动电机，并且只需很少或不需硬件修改。

上述的几个示范性实施例只是通过举例方式说明的而不是为了限制目的。在不偏离本发明的范围和精神的情况下可以对在此披露的实施例和方法进行多种修改。例如，本发明可用于具有各种相、定子极/转子极组合的多种磁阻电机实施例，和用于具有与本应用实例中不同的转子结构的磁阻电机。本发明打算仅由所附的权利要求书的范围和精神来限制。

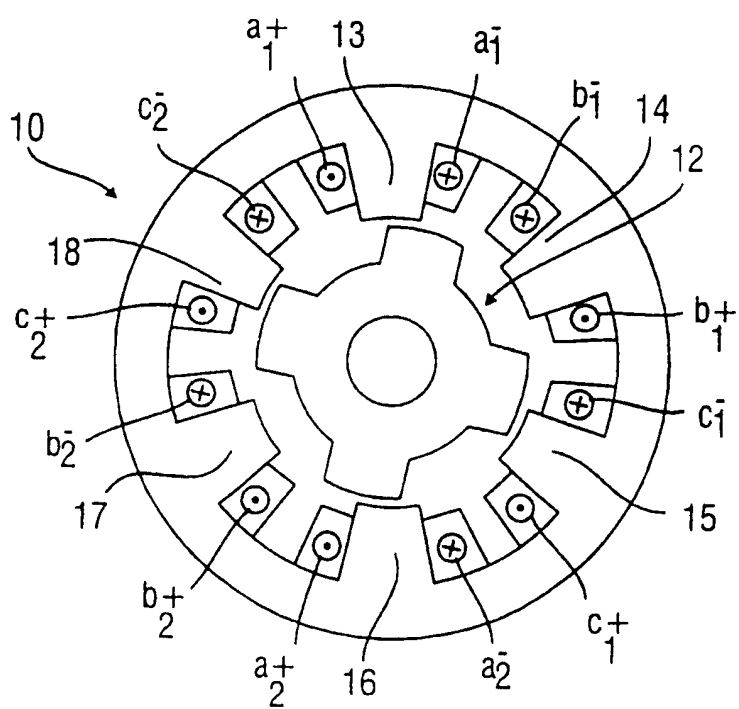


图 1

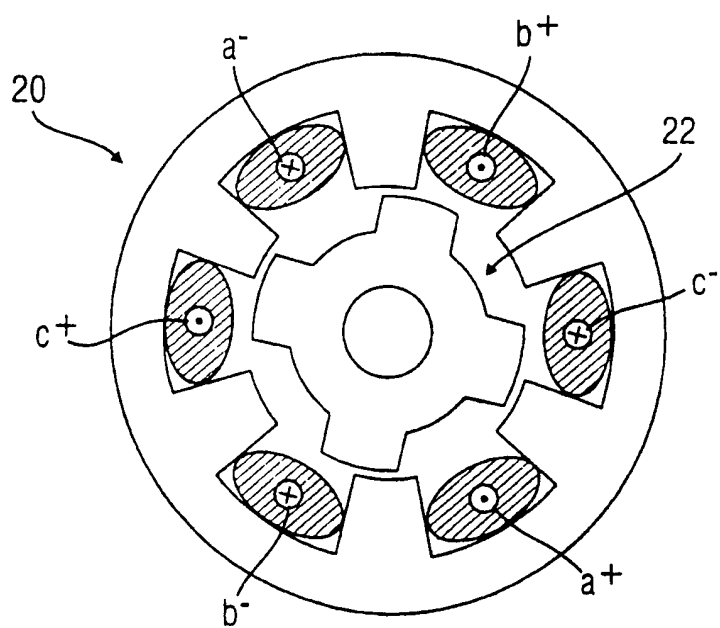


图 2

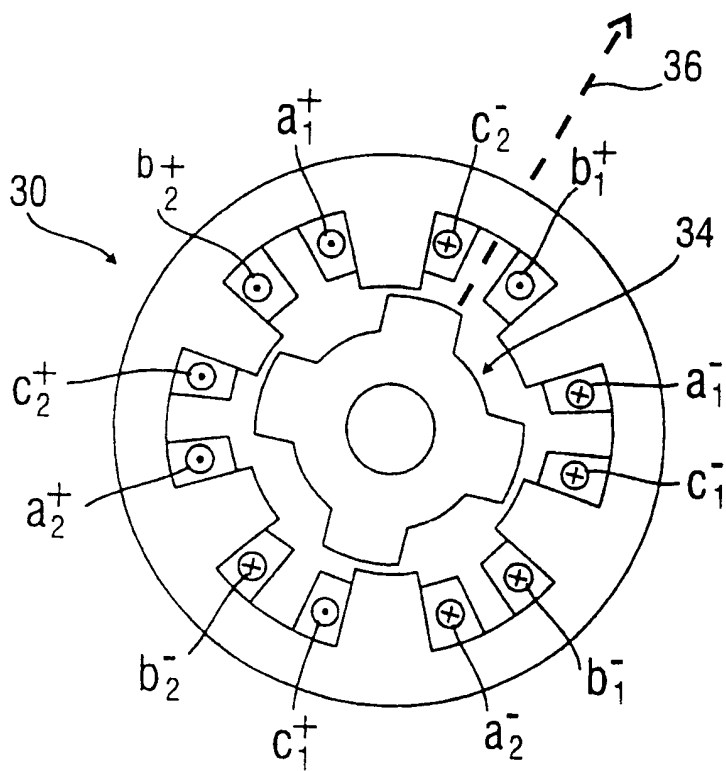


图 3

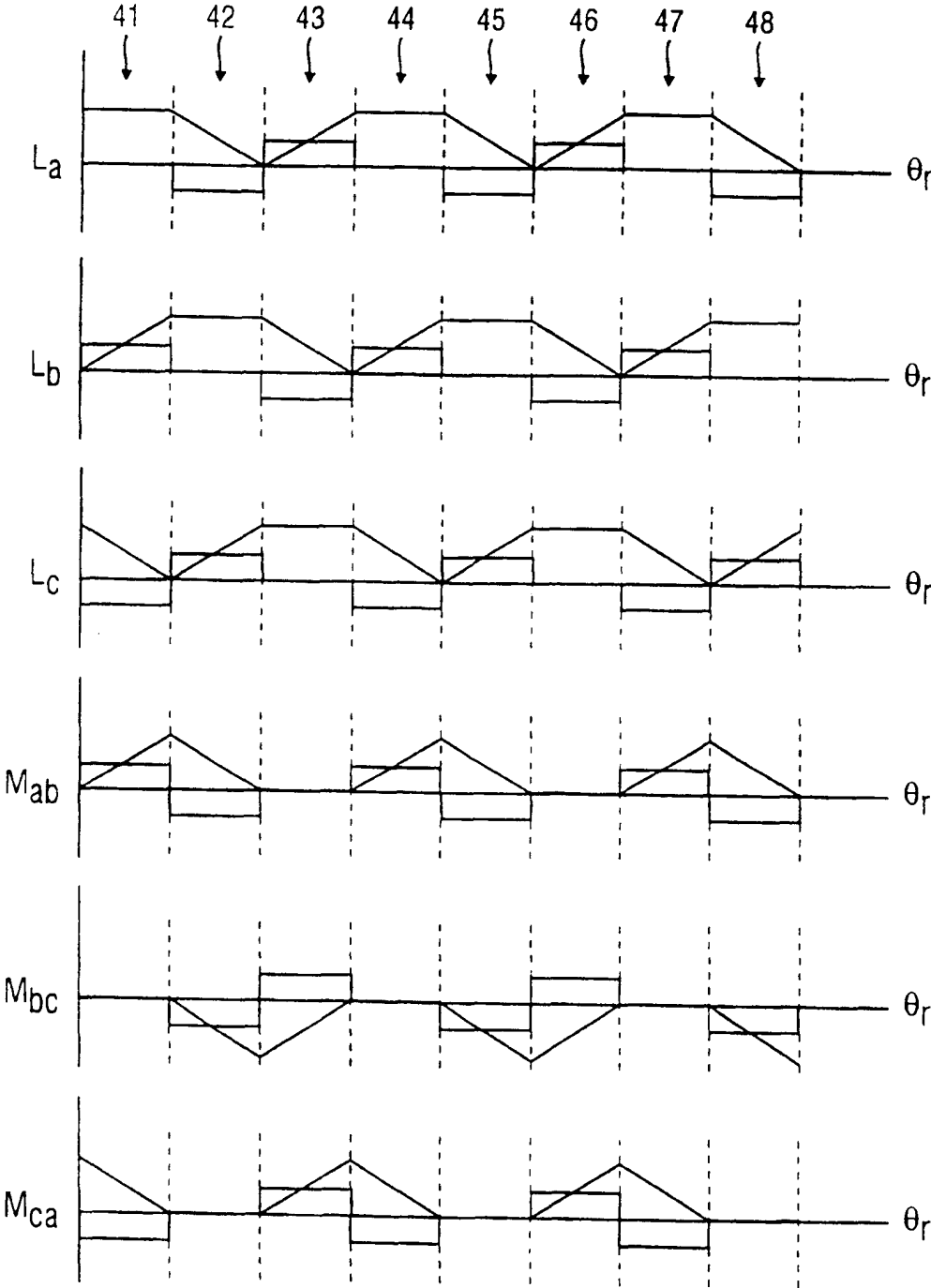


图 4

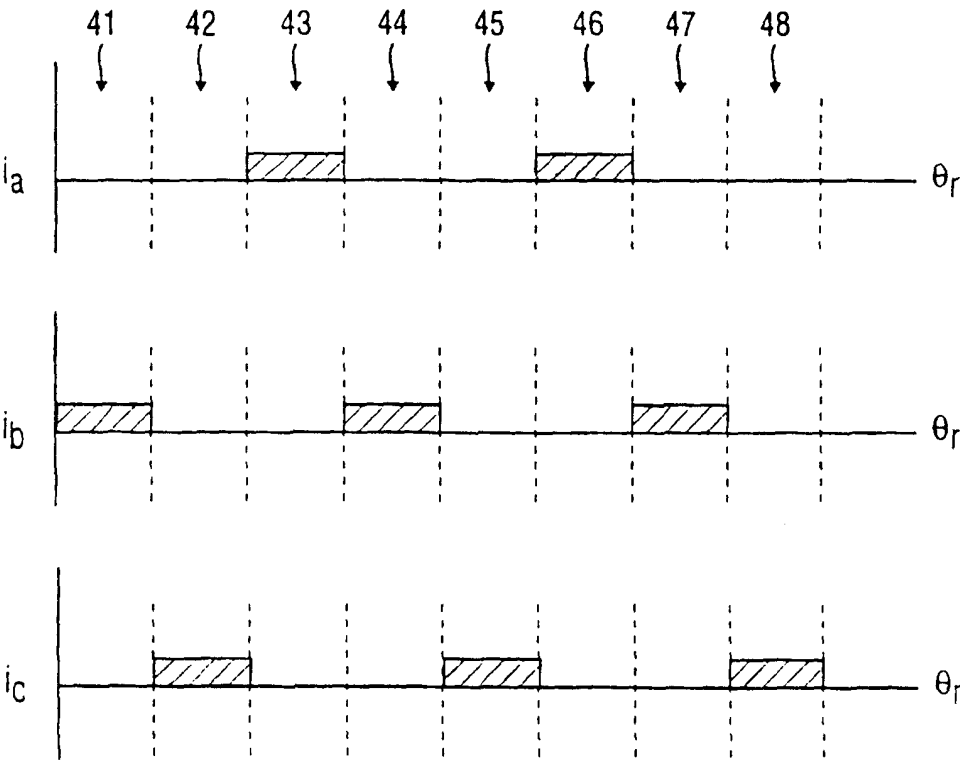


图 5

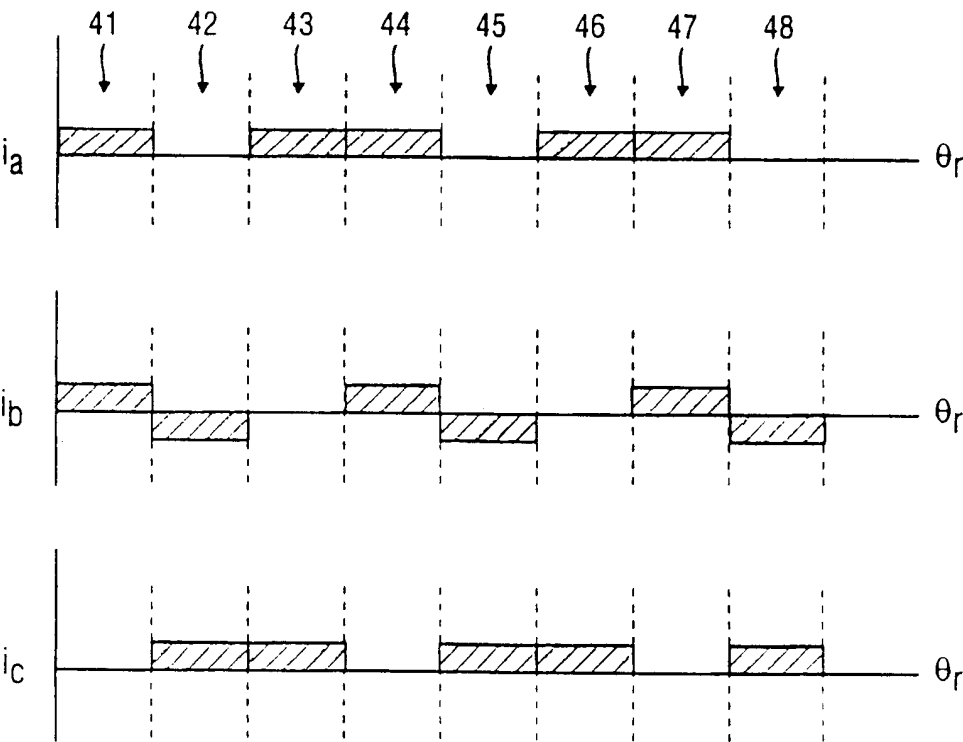


图 6

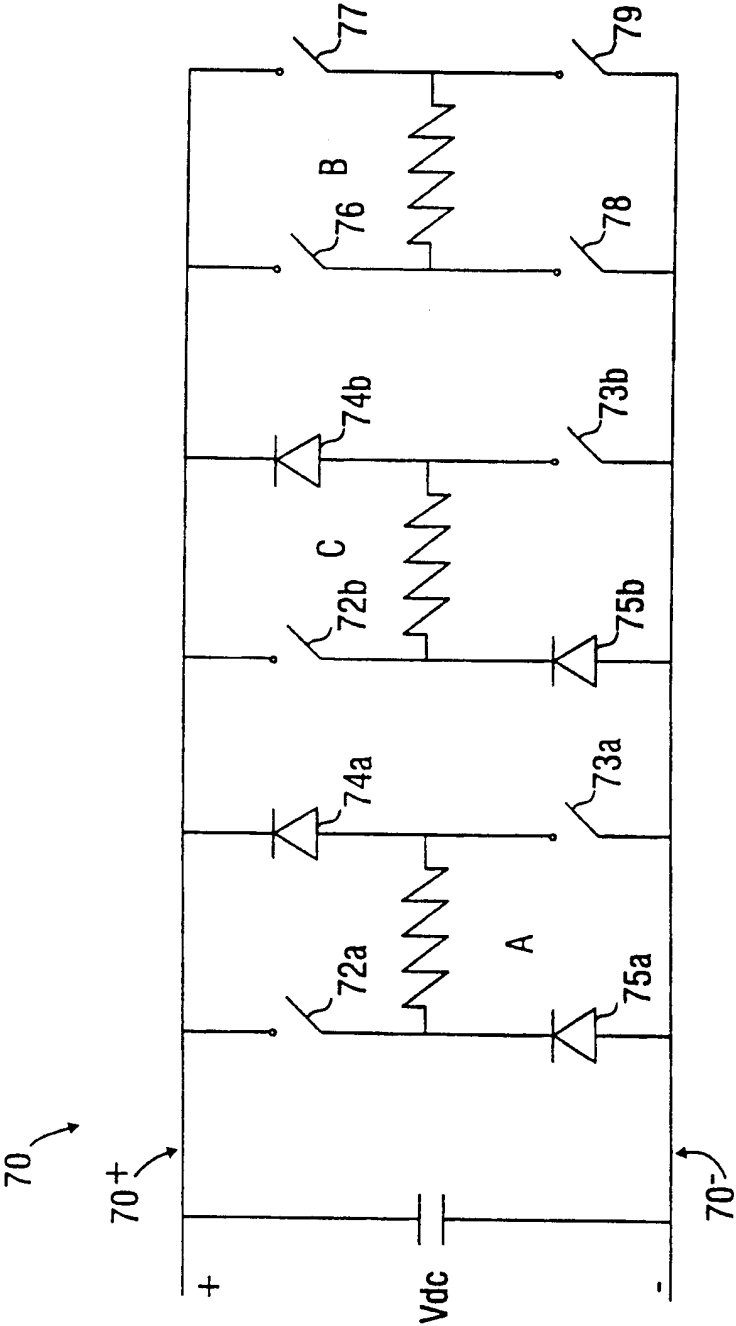


图 7

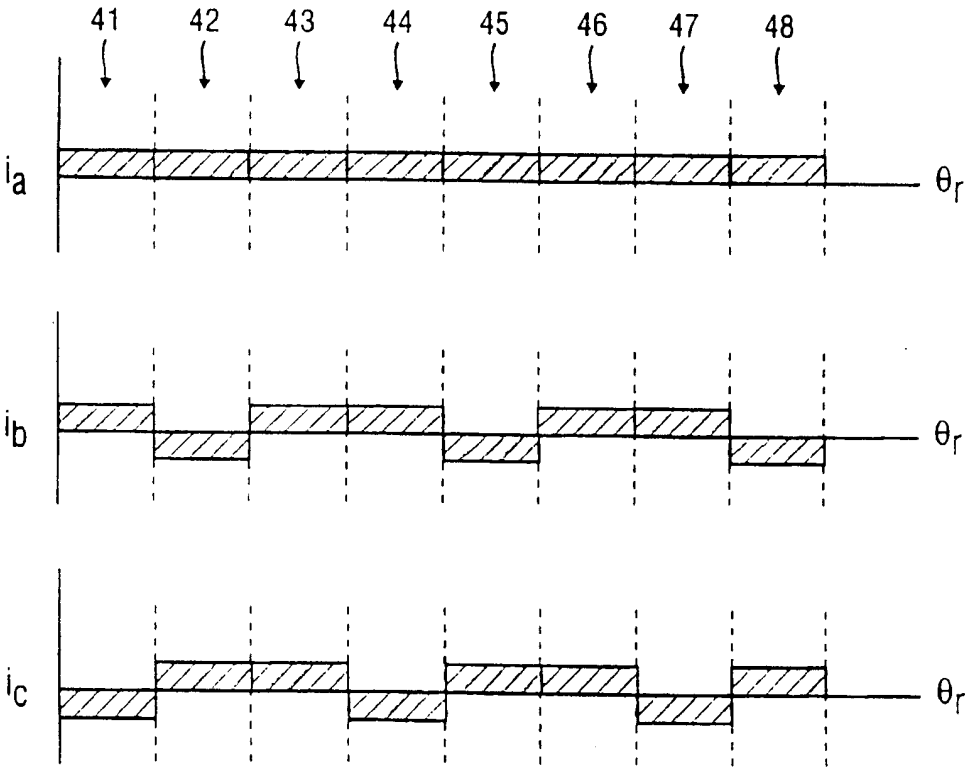


图 8

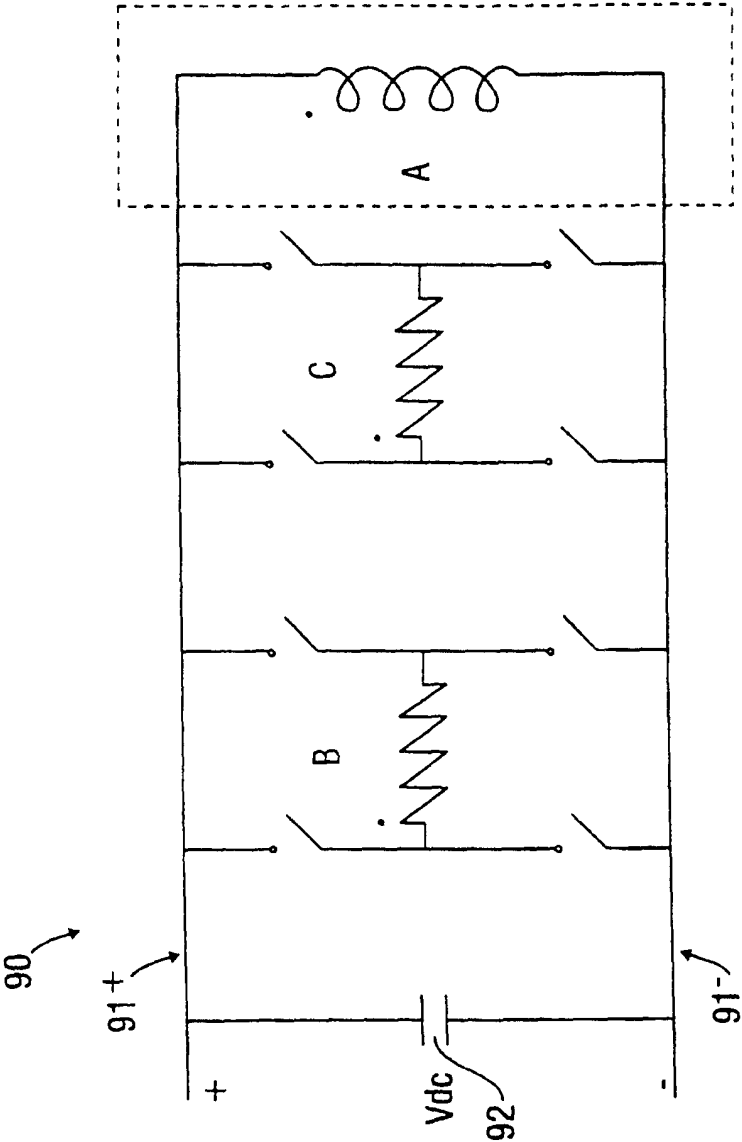


图 9

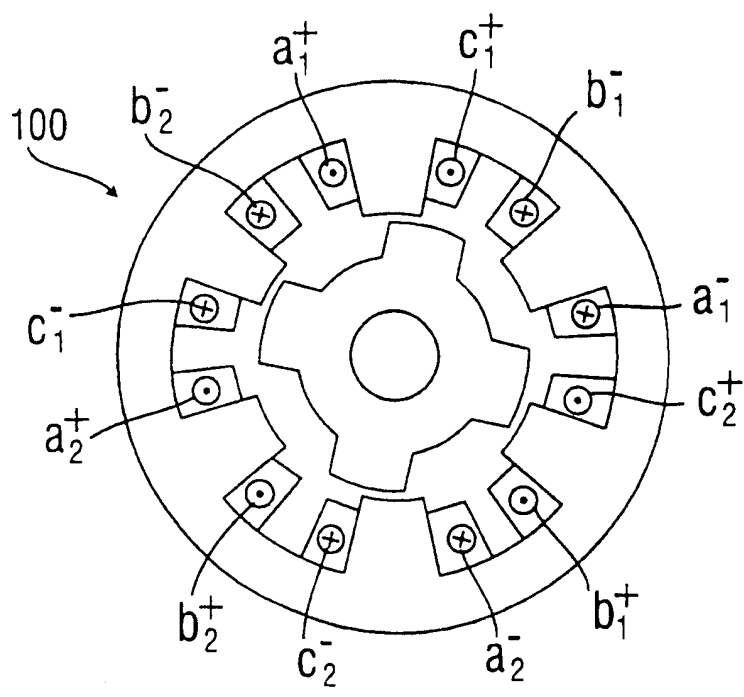


图 10

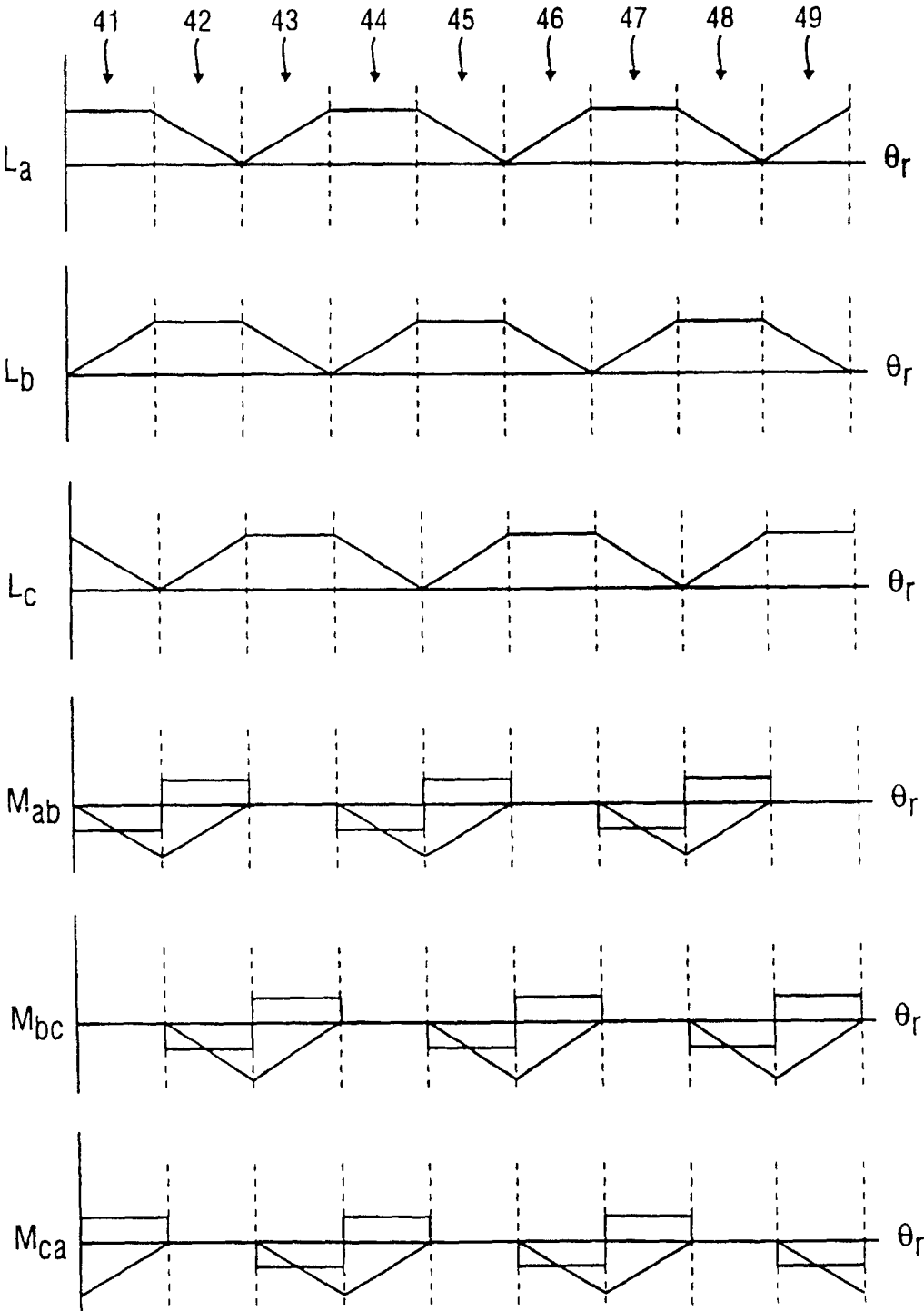


图 11

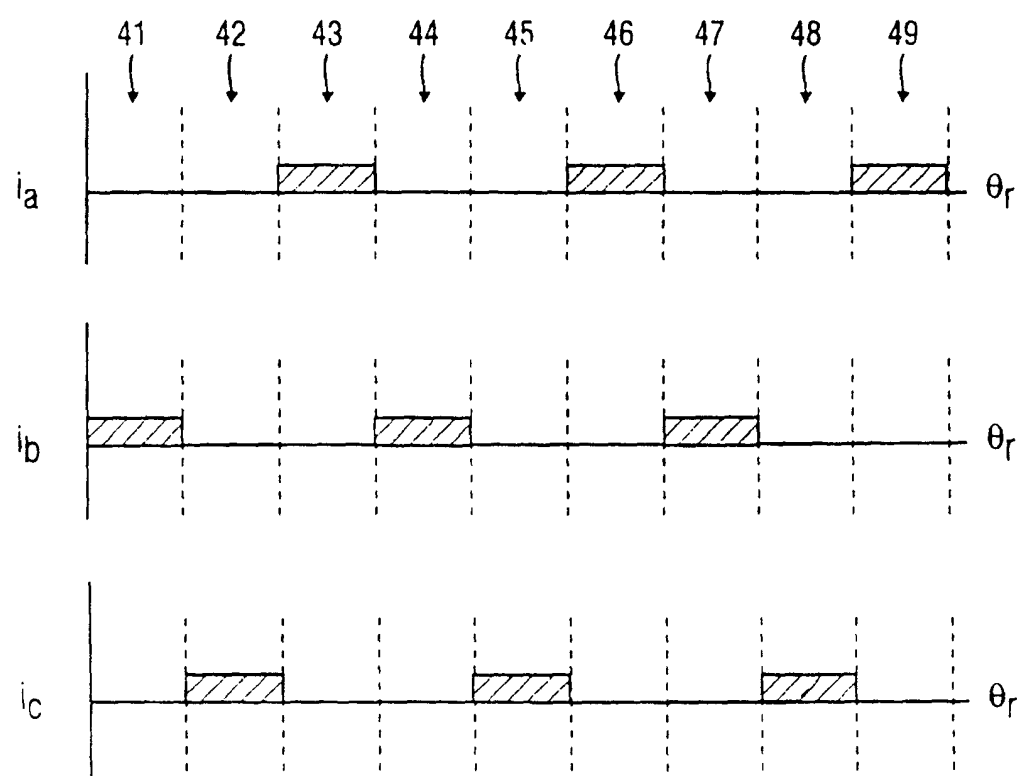


图 12

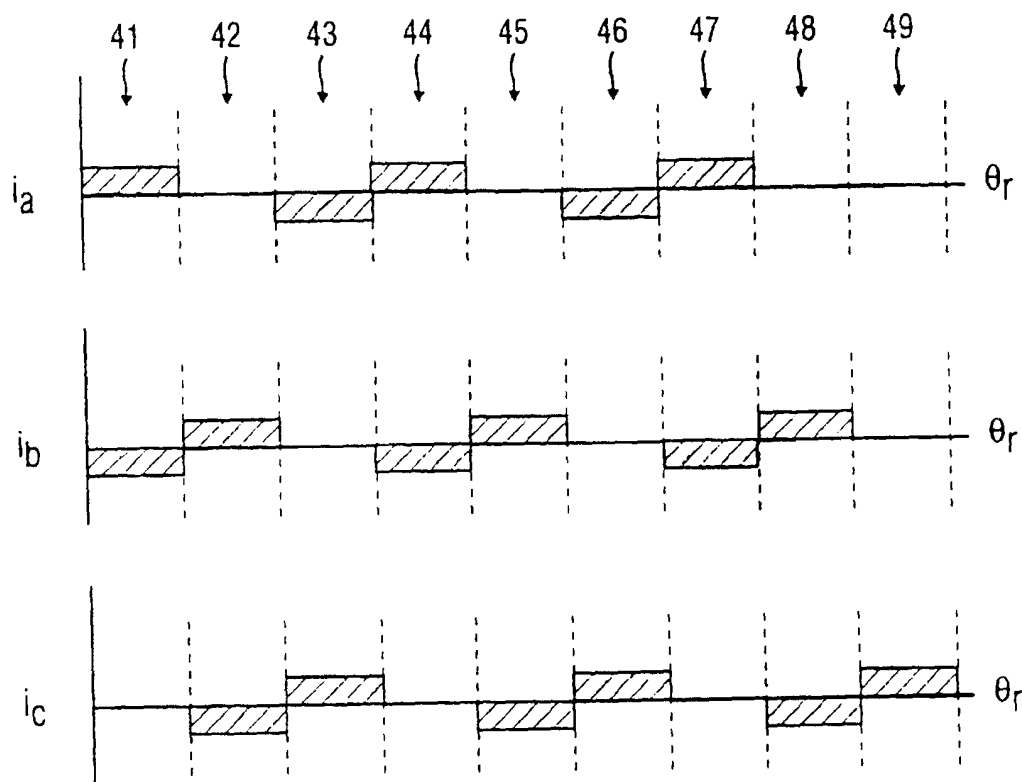


图 13

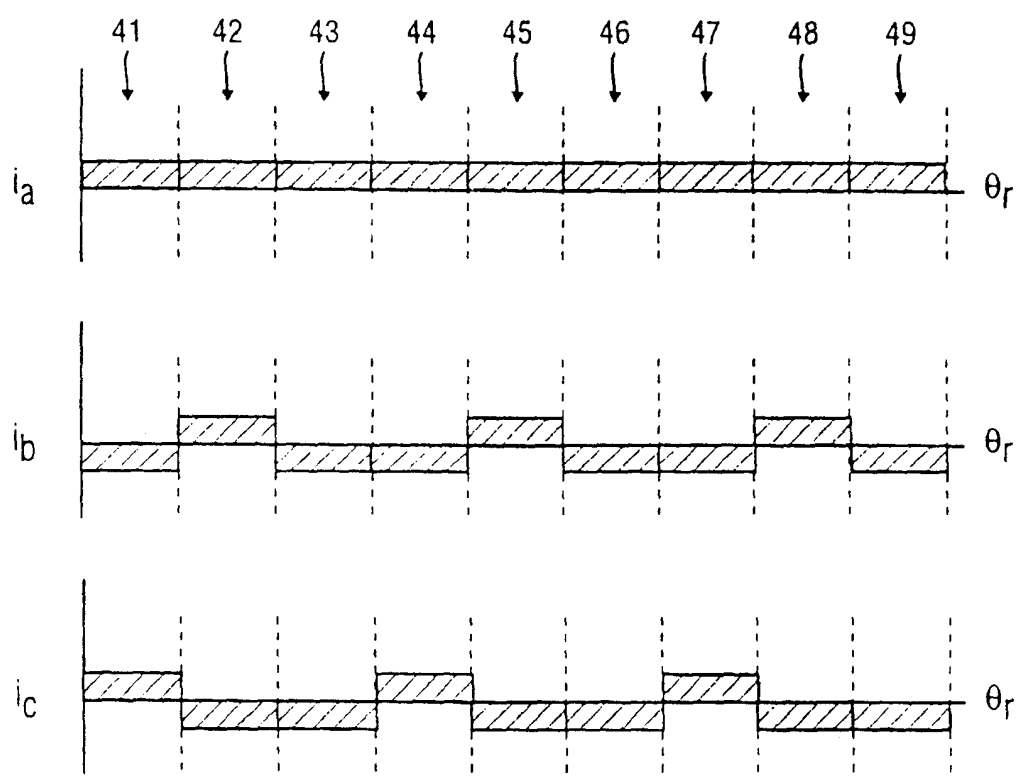


图 14

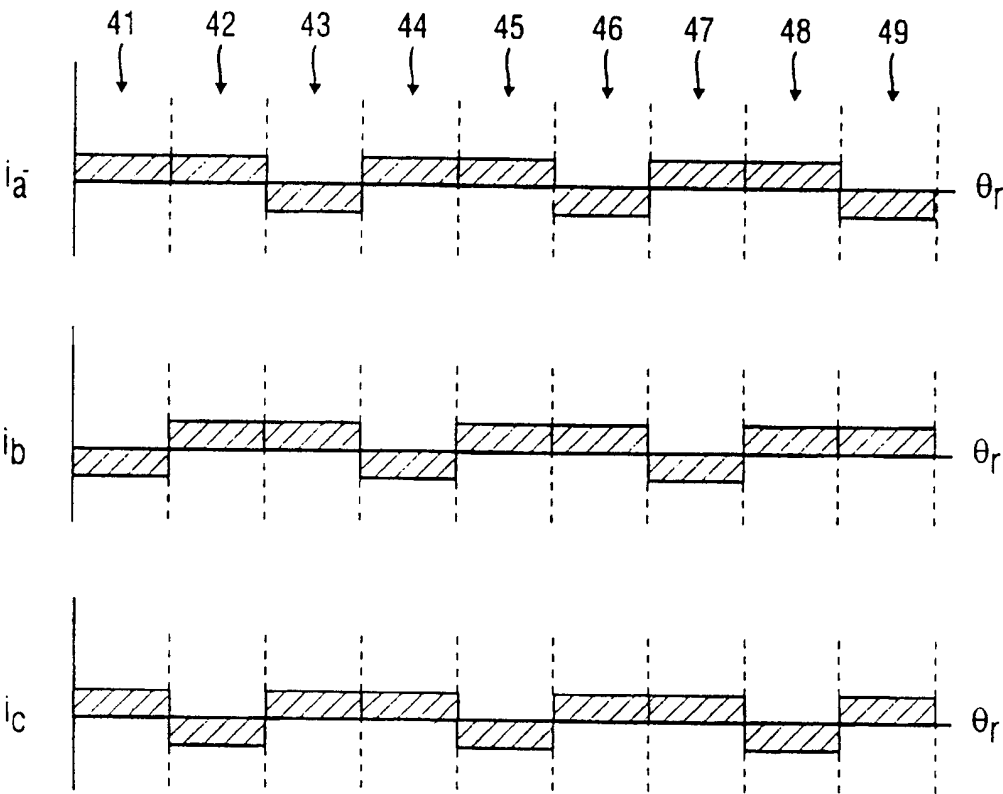


图 15

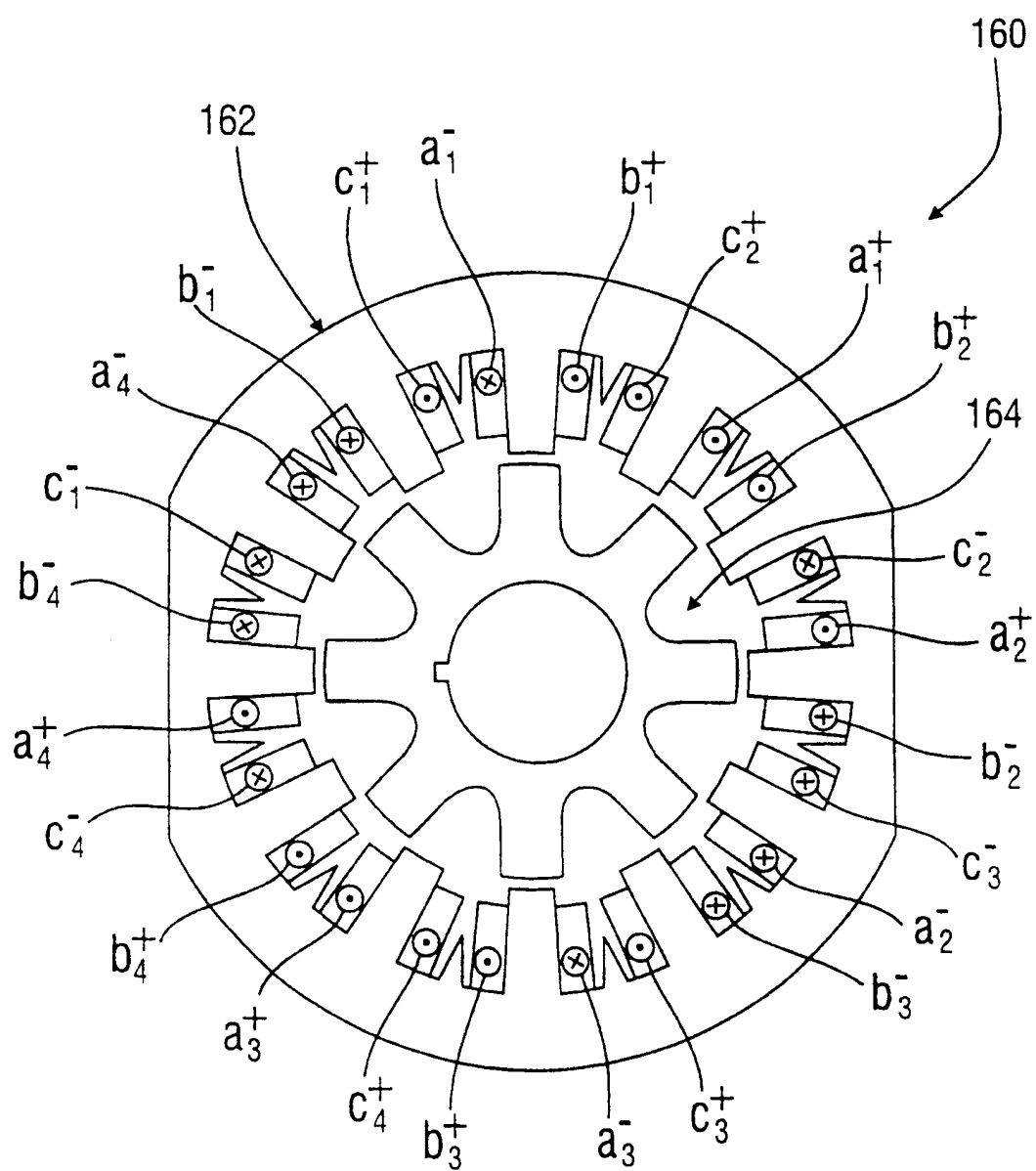


图 16

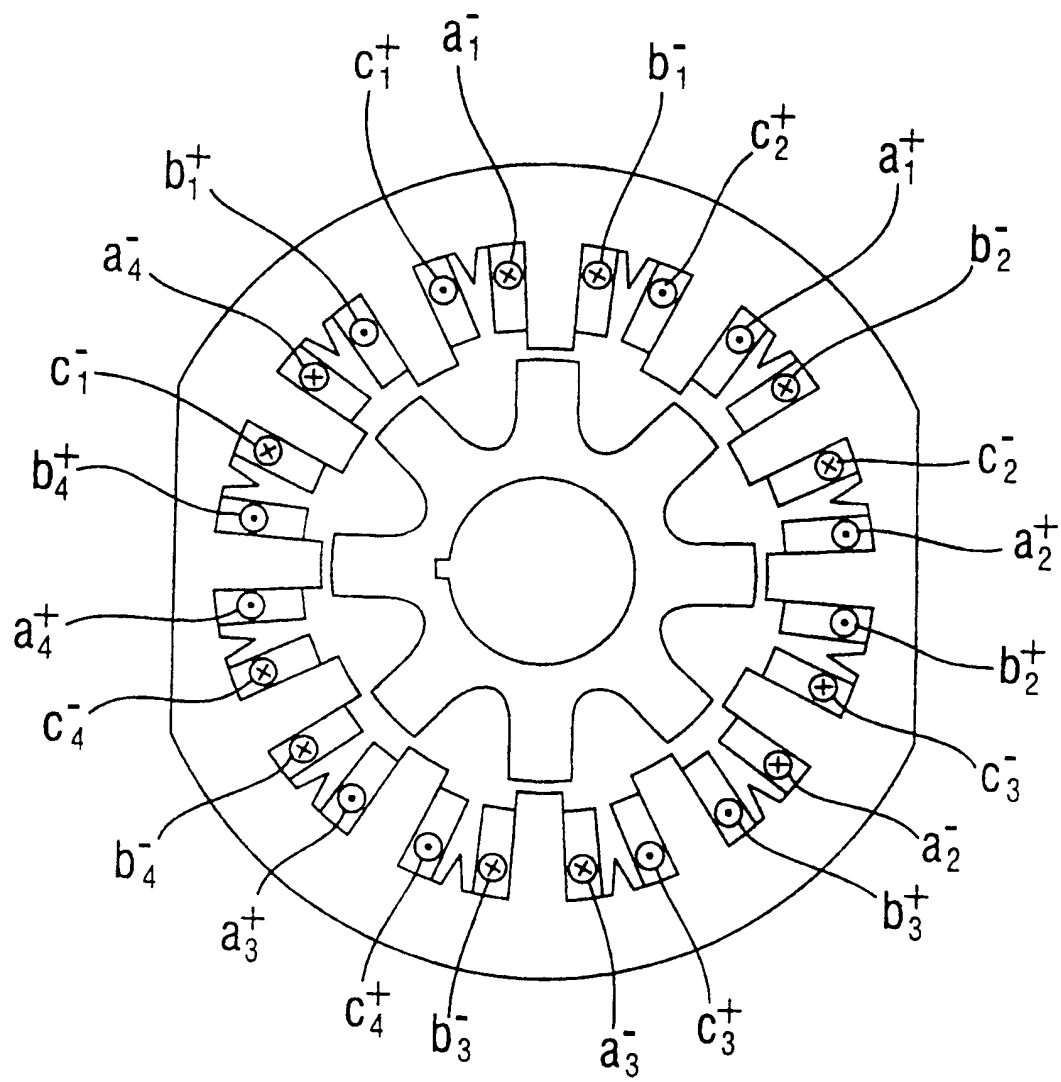


图 17

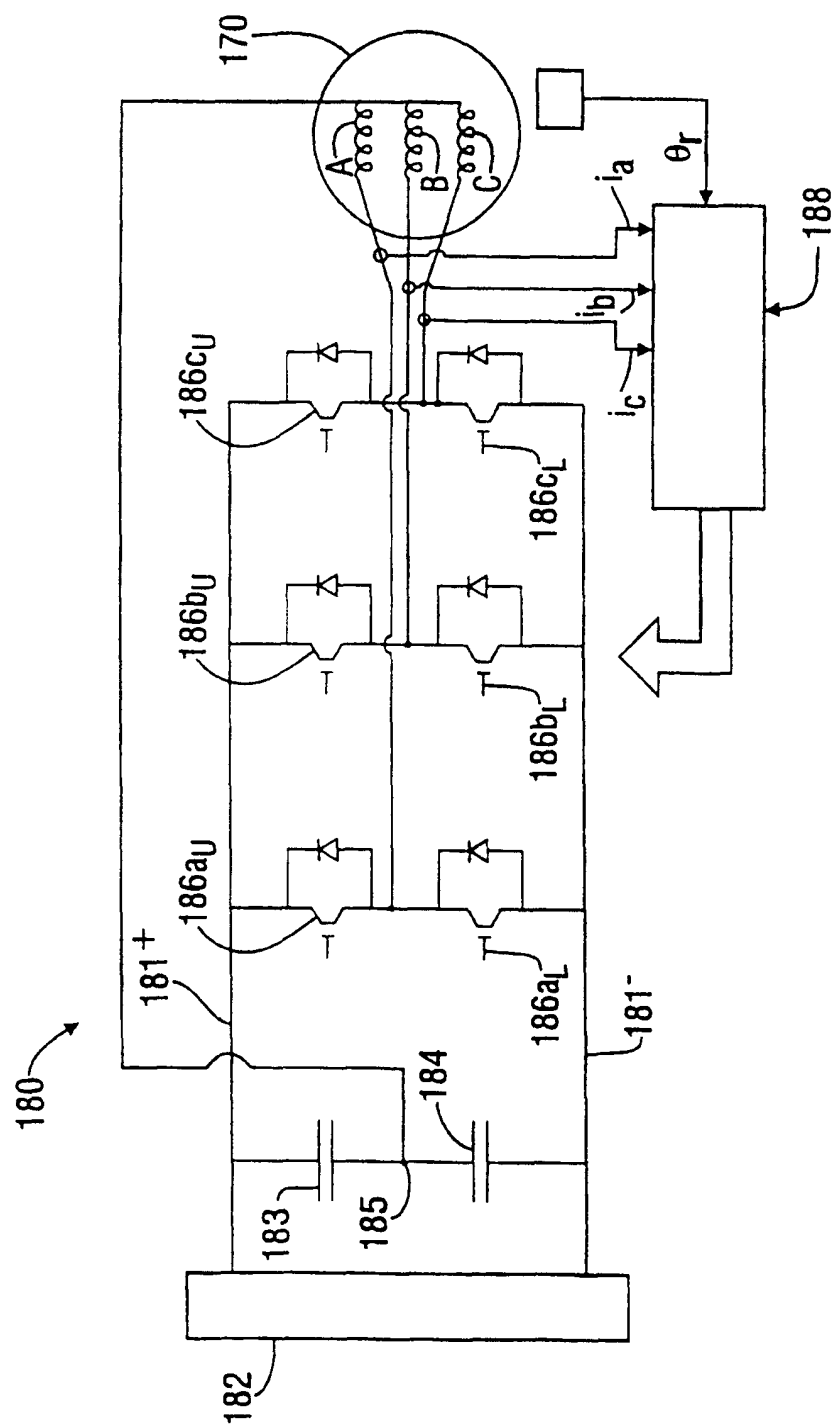


图 18