



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103125069 A

(43) 申请公布日 2013. 05. 29

(21) 申请号 201180046492. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 07. 28

H02P 27/14 (2006. 01)

(30) 优先权数据

H02M 7/487 (2006. 01)

61/368, 295 2010. 07. 28 US

H02K 3/28 (2006. 01)

H02M 7/483 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

H02P 25/22 (2006. 01)

2013. 03. 27

H02K 21/14 (2006. 01)

(86) PCT申请的申请数据

H02P 27/06 (2006. 01)

PCT/US2011/045753 2011. 07. 28

H02M 7/493 (2006. 01)

(87) PCT申请的公布数据

W02012/016062 EN 2012. 02. 02

(71) 申请人 直接传动系统股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 S·M·爱力珀尔 J·D·辛克

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 钱慰民

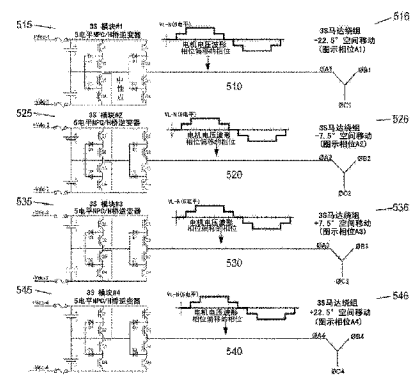
权利要求书2页 说明书10页 附图8页

(54) 发明名称

用于多组电机相移绕组的多电平电压驱动

(57) 摘要

一种系统可包括驱动电机的驱动。该电机可包括：定子，该定子具有均匀地跨其表面分布的不同绕组位置；以及数个线圈，该线圈对称地设置在诸绕组位置间并连接以形成N组多(M)相绕组。对于每个绕组，每个对应线圈可跨单个磁极以形成一整节距的绕组。每个绕组可相对于彼此偏移以减少工作期间某一频率范围内的磁通的谐波含量。驱动可包括处理级，该处理级包括与每个绕组对应的N个独立模块。N个模块中的每一个具有M个输出端口，用以连接至每个对应的绕组。N个模块中的每一个可由直流电源供电并具有M数量的开关矩阵，该开关矩阵具有至少三个输出电平。



N=4，两个N马达绕组供电的5电平逆变器模块的38脉桥图 (图示相位A)

1. 一种电机系统,包括:

定子,多个绕组位置基本均匀地跨所述定子的表面分布;以及

多个导体,所述多个导体形成为基本对称地排列在多个绕组位置间并连接以形成数(N)组多(M)相绕组的多个线圈,其中对于所述绕组中的每一个,每个所述线圈跨越单个磁极以形成整节距绕组,并且其中所述N组绕组中的每一组相对于彼此显著地偏移以便显著减小工作期间在第一频率范围内的磁通的谐波含量;以及

处理级,所述处理级包括与N组绕组中的每一组相对应的N个基本独立的调节模块,所述N个调节模块中的每一个具有用于连接到所述相应N组绕组中的每一个的M个输出口,并且具有第一和第二输入端口,其中所述N个调节模块中的每一个的所述第一和第二输入端口可连接到电压总线的第一节点和第二节点,每个所述模块具有M数量的开关矩阵,每个所述开关矩阵具有至少三个输出电平。

2. 如权利要求1所述的电机系统,其特征在于,所述调节模块中的每一个具有至少五电平开关矩阵。

3. 如权利要求2所述的电机系统,其特征在于,所述至少五电平开关矩阵被配置成输出至少五个幅度电平的电压。

4. 如权利要求1所述的电机系统,其特征在于,还包括配置成在所述定子中旋转的永磁转子。

5. 如权利要求4所述的电机系统,其特征在于,还包括耦合至所述转子从而以与所述转子相同的转速转动的海底泵或压缩机。

6. 如权利要求4所述的电机系统,其特征在于,还包括耦合至所述转子从而以与所述转子相同的转速转动的可浸没泵、以及定子、多个导体,所述转子和所述可浸没泵被配置成位于井眼内。

7. 如权利要求1所述的电机系统,其特征在于,所述至少三电平开关矩阵被配置成输出至少三个幅度电平的电压。

8. 如权利要求1所述的电机系统,其特征在于,第一模块的M个开关矩阵的第一开关矩阵输出第一相位下的电压,而所述第一模块的M个开关矩阵的第二开关矩阵输出与第一相位不同的第二相位下的电压。

9. 如权利要求8所述的电机系统,其特征在于,所述第一开关矩阵将所述第一相位下的电压输出至所述多个导体中的第一个,并且所述第二矩阵将所述第二相位下的所述电压输出至所述多个导体中的第二个。

10. 如权利要求1所述的电机系统,其特征在于,M等于3。

11. 如权利要求1所述的电机系统,其特征在于,N等于4。

12. 如权利要求1所述的电机系统,其特征在于,所述绕组携带在工作期间在毗邻绕组位置之间具有 $\pi/(M*N)$ 电相位差的电流。

13. 一种用于提供机电能量转换的方法,所述方法包括:

提供电机,所述电机包括:

定子,多个绕组位置基本均匀地跨所述定子的表面分布;以及

多个导体,所述多个导体形成为基本对称地排列在多个绕组位置间并连接以形成数(N)组多(M)相绕组的多个线圈,其中对于所述绕组中的每一个,每个所述线圈跨越单个磁

极以形成整节距绕组,并且其中所述 N 组绕组中的每一组相对于彼此显著地偏移以显著地减小工作期间在第一频率范围内的磁通的谐波含量;以及

使用处理级处理所述电机和电压总线之间的能量,所述处理级包括与 N 组绕组中的每一组相对应的 N 个基本独立的调节模块,所述 N 个调节模块中的每一个具有用于连接到所述相应 N 组绕组中的每一个的 M 个输出端口,并具有第一和第二输入端口,其中所述 N 个调节模块中的每一个的所述第一和第二输入端口可连接到电压总线的第一节点和第二节点,每个所述模块具有 M 数量的开关矩阵,每个所述开关矩阵具有至少三个输出电平。

14. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,所述绕组携带在工作期间在毗邻绕组位置之间具有 $\pi / (M * N)$ 电相位差的电流。

15. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,处理所述电机和所述电压总线之间的能量包括将电功率从所述 N 个调节模块提供至所述 N 组绕组。

16. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于, M 等于 3。

17. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于, N 等于 4。

18. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,处理所述电机和所述电压总线之间的能量包括:

第一模块的 M 个开关矩阵的第一开关矩阵输出第一相位下的电压;以及

第一模块的 M 个开关矩阵的第二开关矩阵输出与所述第一相位不同的第二相位下的电压。

19. 如权利要求 13 所述的方法,其特征在于,处理所述电机和所述电压总线之间的能量包括:

所述第一开关矩阵将所述第一相位下的电压输出至所述多个导体中的第一个;以及

所述第二矩阵将所述第二相位下的电压输出至多个导体中的第二个。

用于多组电机相移绕组的多电平电压驱动

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2010 年 7 月 28 日提交的题为“Multi-leveled Phase Shifted Electric Machine System(多电平相移电机系统)”的美国临时专利申请 No. 61/368, 295 的优先权,其公开内容通过援引包含于此。

背景技术

[0003] 一些电力系统将机械能转换成电能和 / 或将电能转换成机械能。例如,发电系统可包括原动机和诸如电机之类的可将机械能转换成电能的机电元件。类似地,马达驱动系统可包括耦合到电机的机械负载。这些系统通常包括用以处理电能(例如通过将 AC(交流电)转换成 DC(直流电)或反之亦然)的无源或有源控制的电力电子器件。此外,这些系统可使用变压器以隔离配电网的不同部分或者用于匹配配电网的不同部分中的电压电平。

发明内容

[0004] 一示范性电力系统包括具有多组定子绕组的电机。每组绕组通过开关矩阵耦合至共同的电压总线。每组绕组可在空间上绕定子以整节距分布,以使定子通量磁通显著减少。减小的定子磁通谐波可与相电流谐波含量相关联。

[0005] 在一些实现中,电机中的定子绕组连接以显著减小或消除来自电力电子设备的时间一谐波电流的影响,包括谐波阶次,谐波阶次是相绕组的组数(N)、每组绕组中的相位数(M)、以及电力一电子转换器中的器件的开关频率的函数。

[0006] 多电平调节以使被馈送至 N 个电机绕组中的每一组的电压波形或电流波形阶梯化。例如,令 N 等于 4,可取得低磁通谐波含量而无需在低电压应用中进行多电平调节。可使用多电平调节来减少或最小化电机的铁心和线圈损耗。通过 3S 技术的多电平调节能显著地减小可变速驱动中的开关损耗,尤其是当电机电压是中等电压时。

[0007] 在一个总的方面,电机系统可包括电机和驱动电机的驱动。电机可包括定子,该定子具有基本均匀地跨定子表面分布的数个绕组位置。电机也可包括基本对称地安置在所述数个绕组位置之间并连接以形成数(N)组多(M)相绕组的数个线圈。对于这些绕组中的每一个,线圈中的每一个可横跨单个磁极以形成一整节距绕组。N 组线圈中的每一组可基本相对于彼此错开以显著减小操作中某一频率范围内的磁通的谐波含量。例如,绕组可在定子的各个狭槽中空间地(例如圆周地)彼此错开,或者绕组可以另一方式基本错开,以减小该频率范围内的磁通的谐波含量。

[0008] 驱动可包括处理级,该处理级包括 N 个基本独立模块,这些模块与 N 组绕组中的每一组对应。N 个模块中的每一个可具有 M 个输出端口,用以连接于相应的 N 组绕组中的每一个。N 个模块中的每一个可具有第一和第二输入端口,这些输入端口可连接于电压总线的第一节点和第二节点。模块中的每一个可具有 M 数量的开关矩阵,这些开关矩阵具有至少三个输出电平。N 个模块可以是调节电压、电流和 / 或两者。

[0009] 在一些方面, N 个模块可具有至少五个输出电平。这至少五电平的开关矩阵可被

配置成在至少五个电平振幅下输出电压。

[0010] 在一些方面,电机系统可包括配置成在定子中转动的永磁铁转子。电机系统可进一步包括可浸没泵,该泵耦合至转子从而以与转子相同的转速转动。例如,电机系统可包括可浸没泵,该泵耦合至转子从而以与转子、定子和线圈相同的转速转动。转子和可浸没泵可配置成位于井眼 (wellbore) 内。

[0011] 在一些方面,这至少三电平的开关矩阵可被配置成在至少三个电平振幅下输出电压。在该电机系统中,第一模块的M个开关矩阵的第一开关矩阵输出第一相位下的电压,而每个模块的M个开关矩阵的第二开关模块输出与第一相位不同的第二相位下的电压。第一开关矩阵可将第一相位下的电压输出至第一个线圈,而第二矩阵可将第二相位下的电压输出至第二个线圈。该电机系统可使用例如M等于3和N等于4的参数。

[0012] 在附图和以下描述中阐明本发明的一个或多个实施例的细节。通过说明书和附图以及权利要求书,本发明的其他特征、目标、以及优点将变得显而易见。

附图说明

[0013] 图 1A-1B 示出示例性功率级的示意性示图。

[0014] 图 2 示出电机中的示例性定子绕组配置的示图。

[0015] 图 3 是示出向 N=4 组电机绕组馈电的三电平开关矩阵的电压波形的示意图。

[0016] 图 4 是示出向 N=2 组电机绕组馈电的五电平开关矩阵的电压波形的示意图。

[0017] 图 5 是示出向 N=4 组电机绕组馈电的五电平开关矩阵的拓扑图和关联的电压波形的示意图。

[0018] 图 6 是向两个马达 A、B 馈电的共同转换器的示意图。

[0019] 图 7 是示出一示例性电机系统的示意图。

[0020] 在各附图中相似的附图标记指示相似的部件。

具体实施方式

[0021] 3S 电机可包括定子,该定子具有基本均匀地跨其表面分布的多个绕组位置。3S 电机可进一步包括导体,该导体形成多个线圈,这些线圈在各个绕组位置间基本对称地设置。导体可以是且连接以形成数 (N) 组多 (M) 相绕组。对于 N 组绕组中的每一组,每个线圈可跨过单个磁极以形成整节距绕组。N 组线圈中的每一组可相对于彼此在空间上错开以显著减小某一频率范围内的磁通的谐波含量。在 3S 电机中,N 可以是大于 1 的任何值,例如 N 可等于 2、3、4 或更高的值。

[0022] 电机可包括多个开关矩阵。在一些情形下,电机包括 Q 个有源开关矩阵,其中 Q 个有源开关矩阵中的每一个耦合至 N 组绕组中的每一组。每一组开关矩阵可从 DC 总线被馈送出。

[0023] 可使用多电平调节以使被馈送至 N 个电机绕组中的每一组的电压波形阶梯化。令 N 等于 4,可取得低磁通谐波含量而无需在低电压应用中进行多电平调节。可使用多电平调节来减小或最小化电机的铁心和线圈损耗。通过 3S 技术的多电平调节显著地减小了可变速驱动中的开关损耗,尤其是当电机电压是中等电压时。

[0024] 图 1A-1B 示出能将机械能转换成电能(例如高功率直流发电)或者将电能转换成

机械能(例如高速马达应用)的示例性系统。如图 1A 所示,系统 100 包括一排(N)数量的开关矩阵 105a-105n、电机 110 以及电压总线 115。开关矩阵 105a-105n 中的每一个可包括用于马达驱动的 M 相逆变器和 / 或用于发电的 M 相二极管电桥。开关矩阵 105a-105n 中的每一个分别包括端口 120a-120n,端口 120a-120n 中的每一个包括一组端子(未示出)以供连接到电机 110 上的 N 个相应组的定子绕组之一。在一些实施例中,端口 120a-120n 中的一个或多个可包括一个或多个端子,用以连接到与电机的一组绕组中的各绕组相关联的中性点(例如,针对开放式 Δ 配置的绕组)。开关矩阵 105a-105n 中的每一个还分别包括端口 125a-125n,端口 125a-125n 中的每一个包括一对端子用以供连接到电压总线 115。

[0025] 图 1A 所示的示例性电机 110 是 3S 电机的一个例子,它包括具有 N 组绕组的定子(未示出)。在一些示例中,电机 110 可包括线性电机。在另一示例中,电机 110 可包括旋转电机。在各种应用中,当系统 100 作为发电机工作时,它可接收机械能并输出电能,和 / 或当系统 100 作为马达运行时,它可接收电能并输出机械能。

[0026] 在各实施例中,电机 110 中的 N 组绕组彼此相移以使多个定子电流谐波在系统 100 工作期间显著减小。显著减小的谐波数量是每组绕组中的相位数 M 和绕组组数 N 的函数。

[0027] 在一些示例中(例如具有两个绕组层),对于特定定子配置而言可能的多相(M)绕组组数(N)可如下地计算出:

[0028] $N = \text{定子狭槽数} / (M \cdot \text{磁极数})$ 。

[0029] 基于绕组的组数(例如每一磁极的线圈数),不同实施例可显著地减小或者消除谐波。在一实施例中,可使用一 48 狭槽的定子,作为示例而非限制, $N=2$ 或者 $N=4$ 。各示例中可具有每磁极不同数目的线圈、绕组层、相位数以及定子槽等等。对于三相($M=3$)系统,作为绕组组数(N)的函数的未被显著减小或消除的一次谐波分量可以是 $(6N+/-1)$ 。作为相位数(M)和绕组组数(N)的函数的相移可以表示为 $\pi / (M*N)$ 。

[0030] N 组绕组的每一组与端口 120a - 120n 中的相应一个连接。在电机 110 内,每一组绕组与其它组绕组电绝缘。当马达驱动时,能量分别通过相应的开关矩阵 105a - 105n 从电压总线 115 递送到每组绕组。当发电时,能量分别从每组绕组通过相应的开关矩阵 105a - 105n 供应给电压总线 115。开关矩阵 105a-105n 是调节模块的示例。可使用附加或不同类型的调节模块。

[0031] 在各种实现中,总线 115 上的电压基本上可以是单极的。电压总线 115 包括连接到每个端口 125a - 125n 的正端子的正电轨(例如节点),还包括连接到每个端口 125a - 125n 上的负端子的负电轨(例如节点)。电压总线 115 从开关矩阵 105a-105n 接收直流电压。在一些实现中,开关矩阵 105a-105n 可将电压总线 115 上的单极电压反相。例如,开关矩阵 105a-105n 中的每一个可使用 M 相逆变器来使电压反相。

[0032] 在某些实现中,开关矩阵 105a-105n 使用经反相的电压来提供交流波形,以驱动电机 110 中每个相应的 M 相绕组。开关矩阵 105a-105n 可例如被协调以提供例如受控的电流、电压、转矩、速度和 / 或者位置。在一些示例中,开关矩阵中的开关可在提供给电机的电子基频附近工作,或者在显著高于该基频的频率下工作。用于控制开关矩阵中的开关的技术可包括但不限于,矢量控制、场朝向控制、相位控制、峰值电流控制、平均电流控制、和 / 或脉宽调制、或者这些或其它技术的组合。

[0033] 在一些系统中,开关频率可基于以下因素,例如输出基频、线电流中所需的谐波水

平、负载阻抗、半导体器件的类型以及所使用的驱动拓扑。一般而言,开关损耗可例如直接与开关频率相关。最大结温度或者安全工作区域通常可在制造商的数据表上指定。

[0034] 在高速应用(例如 8000rpm 或更高)中提供高功率(例如 1 兆瓦或更高)可能对 AC 电机和关联的驱动电子器件的设计提出各种实践性挑战。在设计这些系统时,一种挑战涉及与定子谐波电流关联的损耗。例如,定子谐波电流可造成定子铁心中的额外铜和铁损耗。在一些示例中,定子谐波电流也可将谐波分量注入耦合入转子的气隙磁场,从而增加转子中的损耗。系统 100 通过利用与每组绕组中的绕组组数(N)和相位数(M)关联的相移来缓解谐波电流。在一个示例中,系统 100 使谐波电流中的谐波分量减小至 $(6N+/-1)$ 分量(例如对于 $N = 4$,谐波电流中的一次谐波分量可以是第 23 和第 25 个分量)。

[0035] 因此,电压总线 115 上的电压脉动频率可以是 $(6Nf_{max})$,其中 f_{max} 是电机的最大输出频率。通常,对于高速电机, f_{max} 在千赫兹范围内。在一些示例中,在不使用高频开关绝缘栅极晶体管(IGBT),或使用显著减小的滤波的情况下,改善电压总线 115 的质量。

[0036] 驱动和电机可以被看作是一个系统。设计标准通常可包括将电机和驱动匹配在一起。在一些情况下,驱动成本可能超过实际电机,并因此基于交流驱动装置或电力电子设备来优化整个系统可能是成本效率最高的方法。

[0037] 在一些实施例中,开关矩阵 105a-105n 能够以串联和 / 或并联的组合的形式进行连接以与电压总线 115 接口。如图 1B 所示,系统 150 包括作为并联开关矩阵对的串联组合连接的开关矩阵 105a-105n。例如,开关矩阵 105a 与开关矩阵 105b 串联连接,而开关矩阵 105n-1 与开关矩阵 105n 串联连接。在此示例中,各组串联连接的开关矩阵 105a-105n 并联地连接以与电压总线 115 接口。

[0038] 图 2 示出电机 110 的示例定子-绕组配置 300。在一些示例中,绕组配置 300 可在 48 槽 /4 磁极定子中使用。在所示配置示图中,配置 300 包括如由垂直线所表示的 48 个狭槽。与其相应槽相关联的一些狭槽号被表示为位于垂直线之上的数字。

[0039] 在一些实施例中,定子配置 300 可使 N 个槽各自分开。在一示例中,定子包括将 N 个槽分开的一串齿结构。例如,可将 N 个相插入到定子配置 300 的这些 N 个狭槽(A1、A2、A3……AN)中。定子配置 300 则可包括 N 组的三相绕组。在一些示例中,每组绕组可包括定子上以整节距架设的单匝线圈。在其它示例中,每组绕组可包括在定子上以整节距架设的多匝线圈。

[0040] 在一些实施例中,狭槽开口尺寸可基本相等。例如,齿宽可以基本相等。在其它实施例中,例如当绕组基本以定子铁心材料形成时,定子配置 300 可包括无齿定子设计(例如环形绕组)。

[0041] 在所述示例中,配置 300 包括每极 4 个狭槽。在一示例中,定子配置 300 可包括每极相等数目的狭槽。例如,定子的每一极可包括 12 个狭槽。配置 300 将每极的 12 个狭槽分开。例如,三相($M = 3$)可插入定子的 12 个狭槽中。结果,定子可被配置成具有 4 组三相绕组(例如, $N=4$)。在一些实施例中,绕组可被分布成每个狭槽仅包含一个相。在所示示例中,绕组 1 (A1)的相 A 占据狭槽 1、13、25、37,而绕组 2 (A2)的相 A 占据槽 2、14、26、38。

[0042] 尽管若干示例被描述为具有特定数目的狭槽、相、匝、磁极等,但是由于可构想出其他配置,这些示例仅作为示例而非限制地给出。

[0043] 在一些示例中,配置 300 可显著缓解定子铁心以及定子与转子之间的气隙中的

谐波。例如,从铁损和转矩脉动的角度来看,配置 300 可显著地减少相电流中的第五和第七谐波分量对发电机的影响。在所示示例中,气隙磁通中的第一未消除的谐波分量可以在 $(6N \pm 1)$ 。在一些实施例中,电机中的第一未消除的谐波磁通分量可以在 $2 * M * (N \pm 1)$ 。

[0044] 在例如海底之类的某些应用中,电机和驱动电子器件之间的距离很远,并需要限制电缆个数和穿透器 (penetrator) 尺寸以降低成本并增加可靠性。结果, N 经常为 2, 或者如果要求冗余则 $N = 3$ 。当 N 小于 4 时,磁通谐波含量增加,这对电机转子温度具有不利的影响。

[0045] 将磁通谐波保持在低水平的一种有效方法是使用向 3S 电机中的每组 N 个绕组馈电的电压波形的多电平调节。通过将更多阶梯 (step) 加入到向每组 N 个绕组馈电的各电压波形中,电机的气隙磁通可更紧密地跟随基准波形并自然地导致较低的谐波分量。当对每组 N 个绕组的馈电电压需要大于 480Vrms (在某些情形下大于 750Vrms) 时,多电平调节也是需要的。可能需要较高的电压以改善马达性能。

[0046] 在某些应用中,需要使电机和驱动电子器件之间的电缆数保持在最小值。例如当 $N=4$ 时,电缆数为 (3 相 * 4 绕组) 12。大数量的电缆特别昂贵并且当电机和驱动电子器件之间的距离大于 100 英尺时是不合需的。

[0047] 当使用 3S 技术时, N 组绕组的最低数量为 2,在这种情形下,电缆的数目被减小至 (3 相位 * 2 绕组 =) 6。当 $N=2$ 时使用二电平开关矩阵将导致高谐波。为了将磁通谐波水平保持在同 $N = 4$ 的情形下那样低,可使用电压波形或电流波形的多电平调节。

[0048] 图 3 示出向 $N=4$ 组的电机绕组馈电的三电平开关矩阵的电压波形。该图示出对于使用 $N=4$ 电机绕组的示例 3S 电机的气隙磁通总和。每个电机绕组可由如图 3 中的上面四个图所示的三电平中性点钳位半桥开关矩阵来馈电。在所示的五个图中的每一个图中,水平轴代表每个工作周期中的相位,从 0° 至 360° (或 0 至 2π 弧度)。上面四个图中的垂直轴表示绕组 #1310、#2320、#3330 和 #4340 的单位阶梯的电压 V_{L-N} 。下面一个图的垂直轴表示绕组 #1310、#2320、#3330 和 #4340 的气隙磁通的总和。在下面一个图中,为避免重复仅示出总和表示的一部分。

[0049] 在该示例性实施例中,气隙磁通与电压 (即 V_{L-N}) 成比例。因此,上面四个图中所示的阶梯电压也可表示由每个绕组产生的气隙磁通。绕组 #1310、#2320、#3330 和 #4340 具有不同的相,彼此相差 15° 。每个阶梯电压的持续时间是 120° ,之后跟随的是 60° 接地电压。每个正和负阶梯电压依次出现。这产生三电平 (-1, 0, 1) 矩形阶梯函数,如上面四个图中所示那样。这些图示出气隙磁通的一般图案,而不显示出具体的量化值。

[0050] 当所有这四个绕组的效果被叠加在一起时,由于气隙磁通可被线性地求和,因此似正弦函数的阶梯函数 350 可被创建为如图 3 下面那个图所示的那样。在这种实现中, $N=4$, 使峰值磁通四倍于由每个绕组产生的磁通。在一些实施例中, N 可以是不同的数目,气隙磁通的总和因此表现出不同的图案。

[0051] 从三电平绕组产生的阶梯波形 350 可具有低失真并减少 dv/dt 应力,由此改善电磁兼容性。使用多电平转换器可降低共模电压,由此降低马达轴承中的应力。对于该多电平系统的输入电流也得以降低。

[0052] 在一些实施例中,在绕组 #1310、#2320、#3330 和 #4340 中产生的该三电平波形可由各种转换技术来产生。例如,可使用具有单独 dc 源的级联 H 电桥转换器。也可使用与

本公开类似的二极管钳位（中性点钳位）结构。也可使用电容器钳位（快速电容器）转换器结构。

[0053] 在一些实施例中，绕组 #1310、#2320、#3330 和 #4340 的三电平波形可使用多种调制和控制技术来产生系统所需的波形。例如，可使用正弦脉宽调制、选择性谐波消除调制和 / 或空间矢量调制。

[0054] 图 4 示出向 $N=2$ 组的电机绕组馈电的五电平开关矩阵的电压波形。该图示出对于使用 $N=2$ 电机绕组的示例性 3S 电机的气隙磁通总和。每个电机绕组可由如图 4 中的上面两个图所示的五电平中性点钳位半桥开关矩阵来馈电。在所示的三个图中的每一个图中，水平轴代表每个工作周期中的相位，从 0° 至 360° （或 0 至 2π 弧度）。上面两个图中的垂直轴表示绕组 #1, 410 和 #2, 420 的单位阶梯的电压 V_{L-N} 。下面一个图的垂直轴表示绕组 #1 和 #2 的气隙磁通的总和。在下面一个图中，为避免重复仅示出总和表示的一部分。

[0055] 在该示例性实施例中，气隙磁通与电压（即 V_{L-N} ）成比例。因此，上面两个图中所示的电压波形也可表示由每个绕组产生的气隙磁通。绕组 #1410 和 #2420 具有不同的相，彼此相差 15° 。每个阶梯电压的持续时间是 150° ，之后跟随的是 30° 接地电压。每个正和负阶梯电压依次出现。阶梯电压包括一个单位的阶梯和两个单位的阶梯，其中两个单位的阶梯比一个单位的阶梯晚 30° 出现并早 30° 结束。这产生五电平 $(-2, -1, 0, 1, 2)$ 矩形阶梯函数，如上面两个图中所示那样。这些图示出气隙磁通的一般图案，而不显示出具体的量化值。

[0056] 当所有这两个绕组的效果被叠加在一起时，由于气隙磁通可被线性地求和，因此似正弦函数的阶梯函数 430 可被创建为如图 4 下面那个图所示的那样。该图类似于图 3 中的图，这表明当 N 等于不同数时可获得相同的磁通曲线。在这种实现中， $N=2$ 。在一些实施例中， N 可以是不同的数，气隙磁通的总和因此表现出不同的图案。

[0057] 在一些实施例中，在绕组 #1410、#2420 中产生的该五电平波形可经由各种转换技术来产生。例如，可使用具有单独 dc 源的级联 H 电桥转换器。也可使用与本公开类似的二极管钳位（中性点钳位）结构。也可使用电容器钳位（快速电容器）的转换器结构。

[0058] 在一些实施例中，绕组 #1410 和 #2420 的五电平波形可使用多种调制和控制技术来产生系统所需的波形。例如，可使用正弦脉宽调制、选择性谐波消除调制和 / 或空间矢量调制。

[0059] 图 5 示出向 $N=4$ 组电机绕组馈电的五电平开关矩阵的拓扑图和关联的电压波形两者。该图示出使用 $N=4$ 逆变器模块的示例性 3S 电机的应用。逆变器模块 515、525、535 和 545 均为五电平的，与图 4 的结构相似。在这种实现中，3S 逆变器模块向 N 个马达绕组 516、526、536 和 546 中的每一个馈送经调制的功率（例如图示的电压波形和 / 或在一些实施例中的电流波形）。对于 $N=4$ ，该图示出分别向四个 3S 马达绕组 516、526、536 和 546 馈电的四个 3S 模块 #1515、#2525、#3535 和 #4545，这四个 3S 马达绕组 516、526、536 和 546 以 15° 间距从 -22.5° 空间移位至 22.5° 。逆变器模块 515、525、535 和 545 是示例调节模块，它们可用来处理电压总线和电机绕组之间的能量。调节模块可包括电压调节模块、电流调节模块或配置成调节电信号的额外或不同属性的模块。

[0060] 在一些例子中，3S 模块被用来驱动 3S 马达以获得若干利益。例如，使用具有空间移位的 3S 马达的多电平逆变器允许减少 N 组绕组的数目并使 3S 电机工作在比没有多电平

调节的情况下更高的电压和频率下。使 3S 电机工作在较高电压下在一些情形下可改善性能和制造。空间移位的 3S 技术使谐波减少至 $(N \times M \times 2) + 1$ ，其中 M 是相位的数目。对于 $N=2$ 和 $M=3$ ，在某些情形下可消除低于 11 次的所有谐波。

[0061] 3S 模块可使用多电平波形以向每个 N 马达绕组供电以便以某些谐波为目标来实现前述的 $(N \times M \times 2) + 1$ 消除。另外，多电平波形（例如电压、电流和 / 或两者）同 3S 技术整合了磁通谐波消除以及定子线圈和铁心损耗减少这两个优点。

[0062] 这四排中的最上面一排 510 示出 3S 模块 #1515，该 3S 模块 #1515 是五电平 NPC/H 电桥逆变器，它馈送 3S 马达绕组 516 (-22.5) 度空间移位的绕组的三个相（图示为 A1）。该 3S 模块 #1515 可包括电源 $+V_{dc-1}$ 和 $-V_{dc-1}$ 、中性点接地连接、两组二极管 D1、D2 以及两组开关晶体管 Q1-Q4。3S 模块 #1515 在时间原点产生相对中性点电压波形的五电平相位以及在 (-22.5) 度空间移位下 3S 马达绕组 516 的三个相的输出（图示为相 A1）。

[0063] 开关 Q1-Q4 的状态由外部控制器控制，该外部控制器可控制开关的相位、幅度、持续时间和 / 或其它参数。电压电平和开关状态的一个例子示出于下面的表 1 中。

电压	开关状态							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1'	Q2'	Q3'	Q4'
2Vdc	1	1	1	1	0	0	0	0
1Vdc	0	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	0
-1Vd c	0	0	0	1	1	1	1	0
-2Vd c	0	0	0	0	1	1	1	1

[0065] 表 1 电压电平和开关状态

[0066] 第二排 520 示出 3S 模块 #2525，该 3S 模块 #2525 是另一五电平 NPC/H 电桥逆变器，它馈送 3S 马达绕组 526 (-7.5) 度空间移位的绕组的三个相（图示为 A2）。该 3S 模块 #2, 525 可包括电源 $+V_{dc-1}$ 和 $-V_{dc-1}$ 、中性点接地连接、两组二极管 D1、D2 以及两组开关晶体管 Q1-Q4。3S 模块 #2525 产生相对中性点电压波形的五电平相移的相位以及在 (-7.5) 度空间移位下 3S 马达绕组 526 的三个相的输出（图示为相 A2）。在与如表 1 所示的 3S 模块 #1515 的机制相似的切换机制下，开关 Q1-Q4 的状态受外部控制器控制。

[0067] 第三排 530 示出 3S 模块 #3535，该 3S 模块 #3535 是另一五电平 NPC/H 电桥逆变器，它馈送 3S 马达绕组 536 7.5 度空间移位的绕组的三个相（图示为 A3）。该 3S 模块 #3535 可包括电源 $+V_{dc-1}$ 和 $-V_{dc-1}$ 、中性点接地连接、两组二极管 D1、D2 以及两组开关晶体管 Q1-Q4。3S 模块 #3535 产生相对中性点电压波形的五电平相移的相位以及在 7.5 度空间移位下 3S 马达绕组 536 的三个相的输出（图示为相 A3）。在与如表 1 所示的 3S 模块 #1515 的机制相似的切换机制下，开关 Q1-Q4 的状态受外部控制器控制。

[0068] 第四排 540 示出 3S 模块 #4545，该 3S 模块 #4545 是另一五电平 NPC/H 电桥逆变器，

它馈送 3S 马达绕组 546 22.5 度空间移位的绕组的三个相（图示为 A4）。该 3S 模块 #4545 可包括电源 $+V_{dc-1}$ 和 $-V_{dc-1}$ 、中性点接地连接、两组二极管 D1、D2 以及两组开关晶体管 Q1-Q4。3S 模块 #4545 产生相对中性点电压波形的五电平相移的相位以及在 22.5 度空间移位下 3S 马达绕组 546 的三个相的输出（图示为相 A4）。在与如表 1 所示的 3S 模块 #1515 的机制相似的切换机制下，开关 Q1-Q4 的状态受外部控制器控制。

[0069] 图 6 是示出向两个马达 A、B 馈电的公共转换器的示意图。示例性系统 600 包括公共转换器 610 和子系统 620，该子系统 620 包括 3S 逆变器模块系统和 3S 马达系统。公共转换器 610 向子系统 620 提供基本功率源。该转换器 610 可以是电磁变压器、开关式电源、DC-DC 转换器和 / 或其它电磁功率源。转换器 610 也可包括不同类型的整流器。

[0070] 转换器 610 可包括电压源，该电压源电磁地耦合于子系统 620 的直流功率源。该直流功率源将 $+V_{dc}$ 和 $-V_{dc}$ 电压提供给子系统 620 中的 3S 模块。

[0071] 子系统 620 可包括两个马达 A 和 B、它们的开关模块 #1 至 #4 以及相应的马达绕组 A、B 和 C（例如对于相应 #1、#2、#3 和 #4 切换模块的 A1、A2、A3 和 A4）。在这种实现中，马达 A、B 可工作在不同的负载条件，例如转速和扭矩。马达 A、B 使用 3S 技术，所述 3S 技术通过导体线圈的空间移位而显著地减少了谐波。

[0072] 马达 A 的开关模块 #1-#4 可类似于 3S 模块 #1-#4，这些模块是如图 5 所示的多电平 NPC/H 电桥逆变器。在一些实施例中，马达 A 的多电平波形的开关模块 #1-#4 可经由各种转换技术来产生。例如，可使用具有单独 dc 源的级联 H 电桥转换器。也可使用与本公开类似的二极管钳位（中性点钳位）结构。也可使用电容器钳位（快速电容器）转换器结构。

[0073] 在一些实现中，马达 A 的多电平波形的开关模块 #1-#4 可使用各种调制和控制技术来产生系统所需的波形。例如，可使用正弦脉宽调制、选择性谐波消除调制和 / 或空间矢量调制。

[0074] 类似地，马达 B 的开关模块 #1-#4 可类似于 3S 模块 #1-#4，这些模块是如图 5 所示的多电平 NPC/H 电桥逆变器。在一些实现中，马达 B 的多电平波形的开关模块 #1-#4 可经由各种转换技术来产生。例如，可使用具有单独 dc 源的级联 H 电桥转换器。也可使用与本公开类似的二极管钳位（中性点钳位）结构。也可使用电容器钳位（快速电容器）转换器结构。

[0075] 在一些实现中，马达 B 的多电平波形的开关模块 #1-#4 可使用各种调制和控制技术来产生系统所需的波形。例如，可使用正弦脉宽调制、选择性谐波消除调制和 / 或空间矢量调制。

[0076] 3S 模块将多电平波形功率传输至每个相的马达绕组。在图 6 中，示出相 A 的传输。该相位差可类似于图 5 的相位差，以 15° 间隔从 -22.5° 至 22.5° 。对于马达 A、B 两者，马达绕组可包括四个空间移位的绕组。四个绕组中的每一个连接于 3S 多电平模块。该连接示意图允许一个公共转换器向两个单独的马达供电并且每个电动机具有各自的开关模块和相应的绕组以与用于减少谐波的模块耦合。在一些实施例中，公共转换器 610 可连接于三个或更多个马达，这些马达包括多电平开关模块和空间移位的绕组。

[0077] 在一些情况下，电机可包括工作在马达驱动模式以向负载提供扭矩的功率级。该电机可进一步包括定子和具有数个绕组的转子。定子可包括经空间移位的分相绕组且相的总数 = $M*N$ ，其中 N 是独立、绝缘中性的 M 相绕组的数目。在某些实现中，可基于定子中的

狭槽数、转子磁极的数目以及所需谐波消除量来选择 N。在毗邻的 M 相绕组之间可以有 $\pi / (M \cdot N)$ 的电气相位差。可将类似的定子结构和绕组布局考量应用于马达驱动和发电应用。

[0078] 图 7 示出示例电机系统 700, 该电机系统 700 包括耦合至伴随设备 704 的电机 702。示例性电机 702 可作为从机械运动中产生电功率的发电机而工作, 作为从电力产生机械运动的马达而工作, 或在产生电功率和机械驱动两者之间交替。在产生电功率时, 原动机将机械运动提供给电机 702, 而电机 702 将机械运动转换成电功率。在某些情况下, 伴随设备 704 可以是原动机。在马达驱动时, 从电机 702 输出的机械运动可驱动另一设备。在某些情况下, 电机 702 可驱动伴随设备 704。在某些情况下, 电机 702 可作为马达工作并在规定条件下驱动原动机, 并在规定条件期间切换以产生电功率并由原动机驱动。电机 702 可配置成主要产生电功率, 主要用于马达驱动或在产生电功率和马达驱动两者的情况下都是相当高效的。

[0079] 概括地说, 电机 702 包括固定部件和可运动部件, 所述电机 702 随着可运动部件相对于固定部件移动通过磁场的相互作用产生电功率, 和 / 或当将电功率施加于固定部件时使可运动部件移动。转子 706 被耦合至伴随设备 704 以驱动伴随设备 704 和 / 或由伴随设备 704 驱动。尽管图 7 示出被耦合至水平取向的伴随设备 704 的水平取向的电机, 然而其它实现可提供一垂直取向的电机, 该垂直取向的电机除其它取向以外尤其耦合至垂直取向的伴随设备并能驱动它。附加地, 在其它情况下, 电机 702 可以是另一类型的电机。例如, 电机 702 可以是线性电机, 其中可运动部件是一线性往复轴。图 7 所示的示例性电机 702 可作为交流 (AC)、同步、永磁 (PM) 电机工作, 该电机具有转子 706 和定子 708, 其中转子 706 包括永磁铁而定子 708 包括围绕铁心的多个成形绕组或电缆绕组。在其它情况下, 电机可以是其他类型的电机, 例如 AC、非同步、感应式电机, 其中转子和定子两者均包括绕组, 或者是另一类型的电机。在某些情况下, 电机 702 由机壳 710 承载并被包含在机壳 710 内。机壳 710 可完全与伴随设备 704 分离, 与伴随设备 704 分离和耦合于伴随设备 704, 或部分地或全部地与伴随设备 704 共享 (即电机 702 和伴随设备 704 由同一机壳承载并纳入在其内)。

[0080] 在伴随设备 704 是原动机的情况下, 伴随设备可包括数个不同可能的设备。例如, 原动机可包括用以将流体 (气 / 液) 流转换成机械能的流体马达、用以使空气 / 燃料混合物燃烧并将来自燃烧的能量转换成机械能的气体涡轮系统、内燃机和 / 或其它类型原动机中的一个或多个。在伴随设备 704 由电机 702 驱动的情况下, 伴随设备可包括数个不同的可能的设备。例如, 伴随设备 704 可包括旋转泵和 / 或往复泵、旋转压缩机和 / 或往复压缩机、混合设备或其它设备中的一个或多个。泵的一些例子包括离心泵、轴流泵、回旋叶片泵、齿轮泵、螺旋泵、凸轮泵、螺杆泵、往复正位移或柱塞泵、隔膜泵和 / 或其它类型的泵。压缩机的一些例子包括离心压缩机、轴流式压缩机、叶轮式压缩机、螺杆式压缩机、往复正位移压缩机和 / 或其它类型的压缩机。电机 702 可同时耦合至两个或更多个伴随设备 704。

[0081] 尽管图示出一个伴随设备 704, 电机 702 也可被耦合至两个或更多个伴随设备 704 (以驱动设备 704 和 / 或由设备 704 驱动)。在某些情况下, 可在电机 702 的每端设置一个或多个伴随设备 704。例如, 在具有两个伴随设备 704 的配置中, 一个伴随设备可设置在电机 702 的一端而另一伴随设备可设置在电机的相对一端。又如, 具有两个伴随设备 704 的配置可使一个伴随设备设置在电机 702 的一端, 而使另一伴随设备耦合至第一伴随设备。另外, 如果提供多个伴随设备 704, 则这些伴随设备不需要全是同一类型的伴随设备。

[0082] 某些实施例可带来一个或多个优点。例如,在使用标准的 AC 转换器拓扑和冷却方法时,一些系统可能因为较高的基频而具有重量和体积减小的电机。在一些实施例中,诸如半导体器件之类的 AC 驱动组件的输出能力可通过使用低开关频率但仍然在线路电流中维持低谐波失真来增大。可基于对处理开关谐波损耗降低的要求来获得经优化的定子尺寸,对处理开关谐波损耗降低的要求可关联于较高频率的 PWM 逆变器运行或者仅使用一个三相二极管电桥。转子中的谐波耦合 / 加热可显著减小。功率转换器上的模块化设计在某些实施例中可提供显著的容错性,其可获得经改进的冗余和更高的可用性。定子绕组绝缘上的应力可被减小,和 / 或绕组的绝缘电压电平可通过与每一线圈的多个匝和每一磁极的多个线圈作出不同连接来减小。一些实施例通常可实现高的系统效率和较低的总成本。一些实施例可能不需要 PWM 控制技术,和 / 或可提供无齿轮高速 AC 转换器系统。

[0083] 已经描述了本发明的多个实施例。然而,应当理解的是,在不背离本发明的精神和范围的情况下可作出多种修改。因此,其他实施例也在所附权利要求的范围之内。

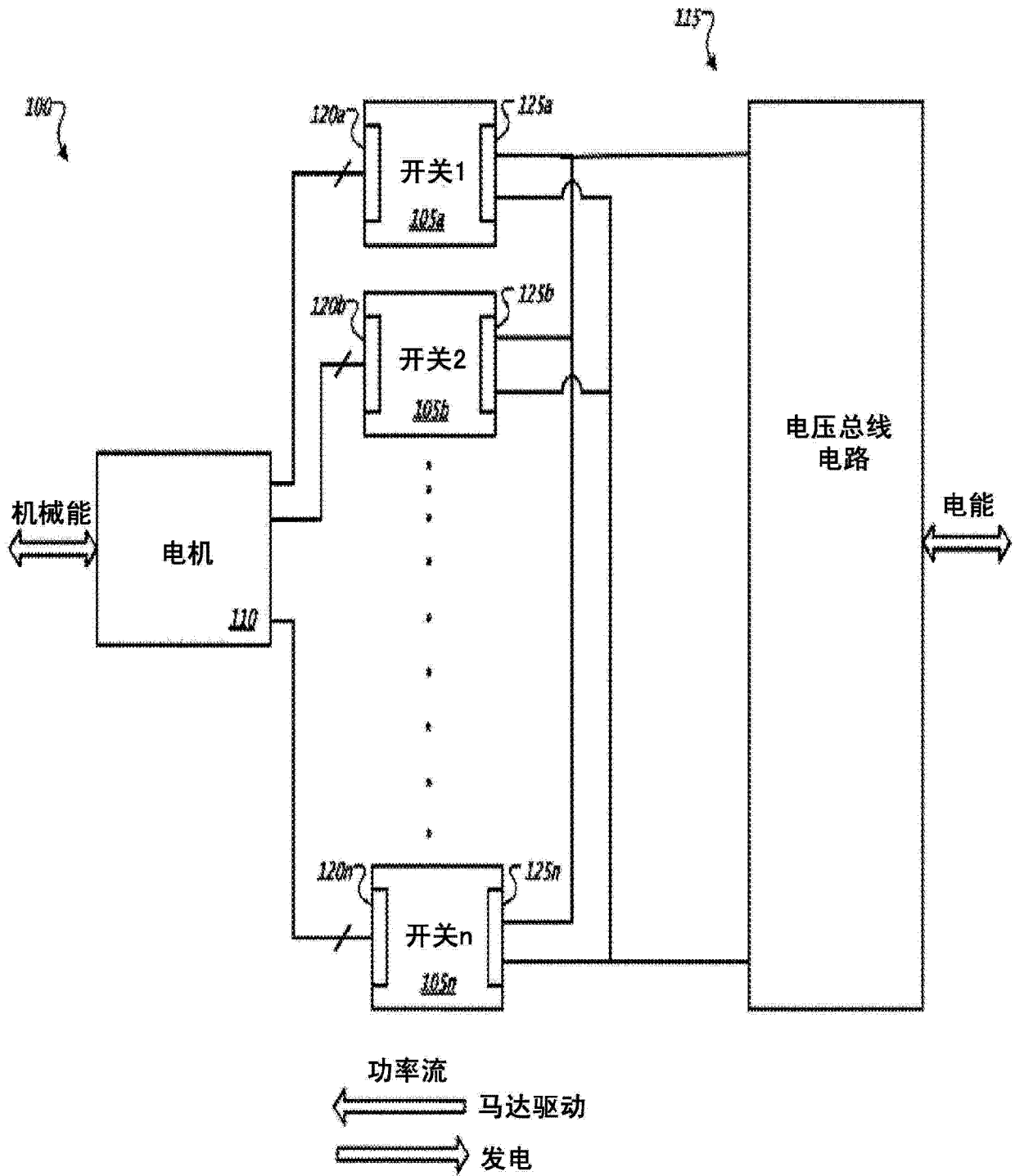


图 1A

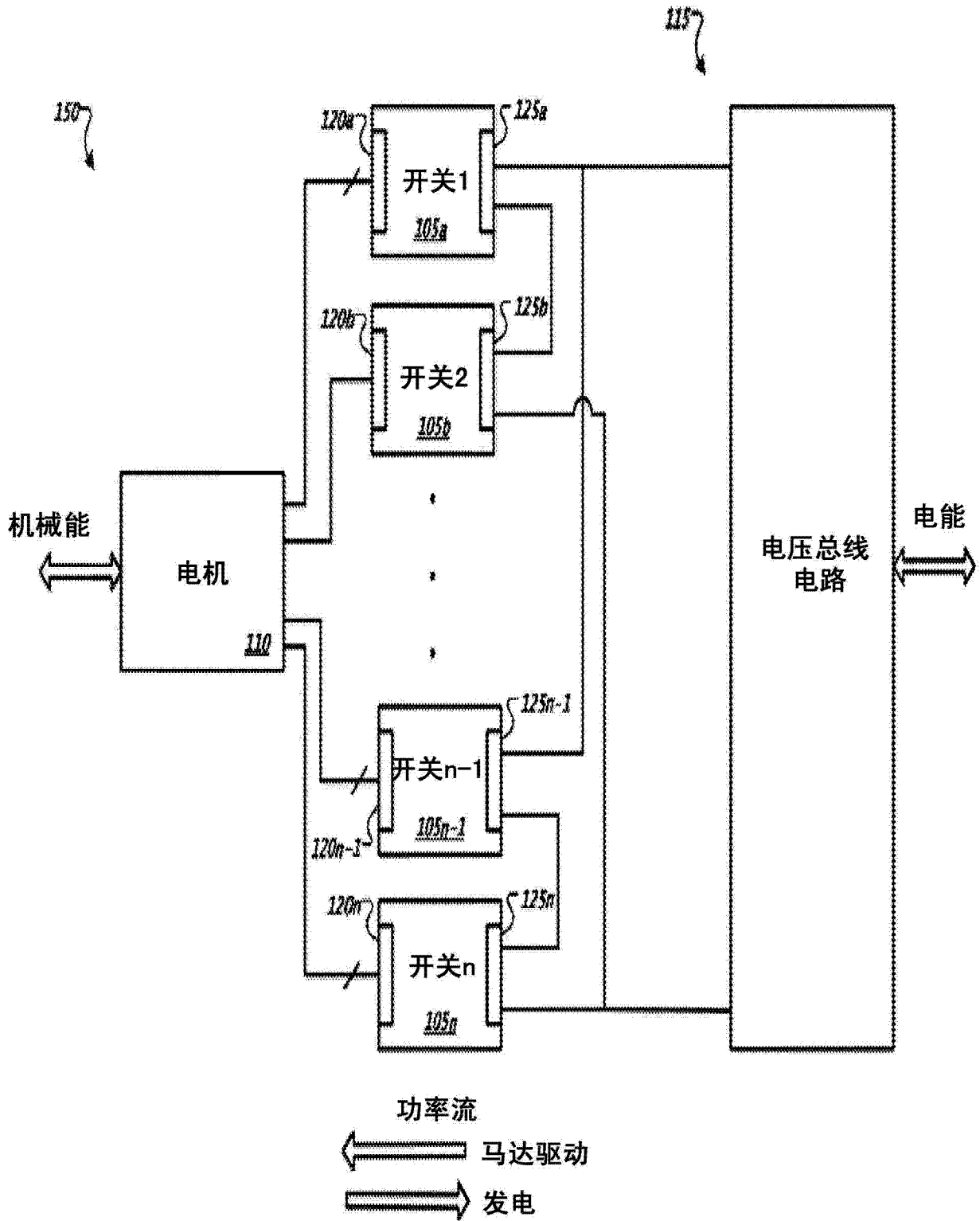


图 1B

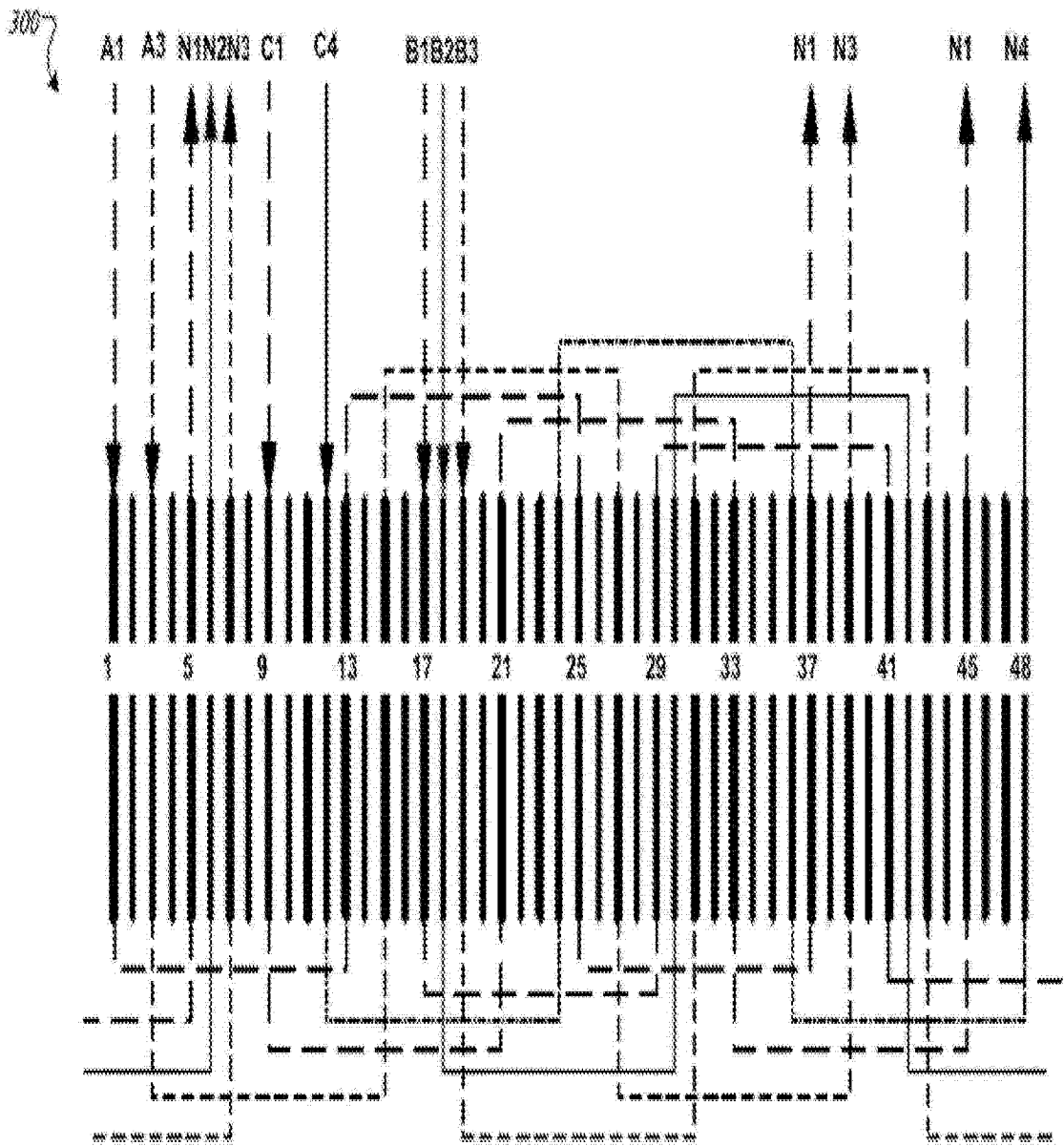


图 2

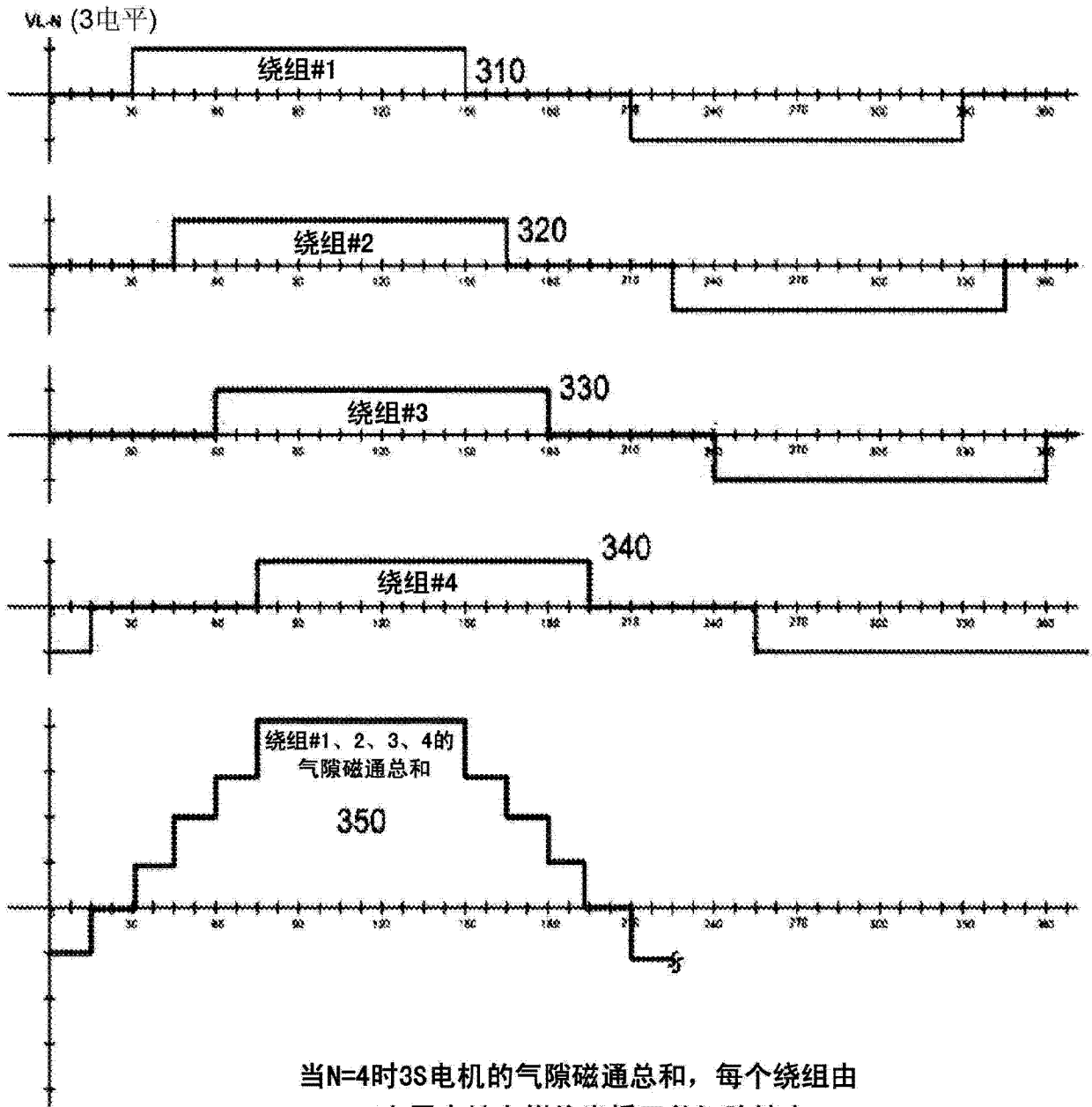
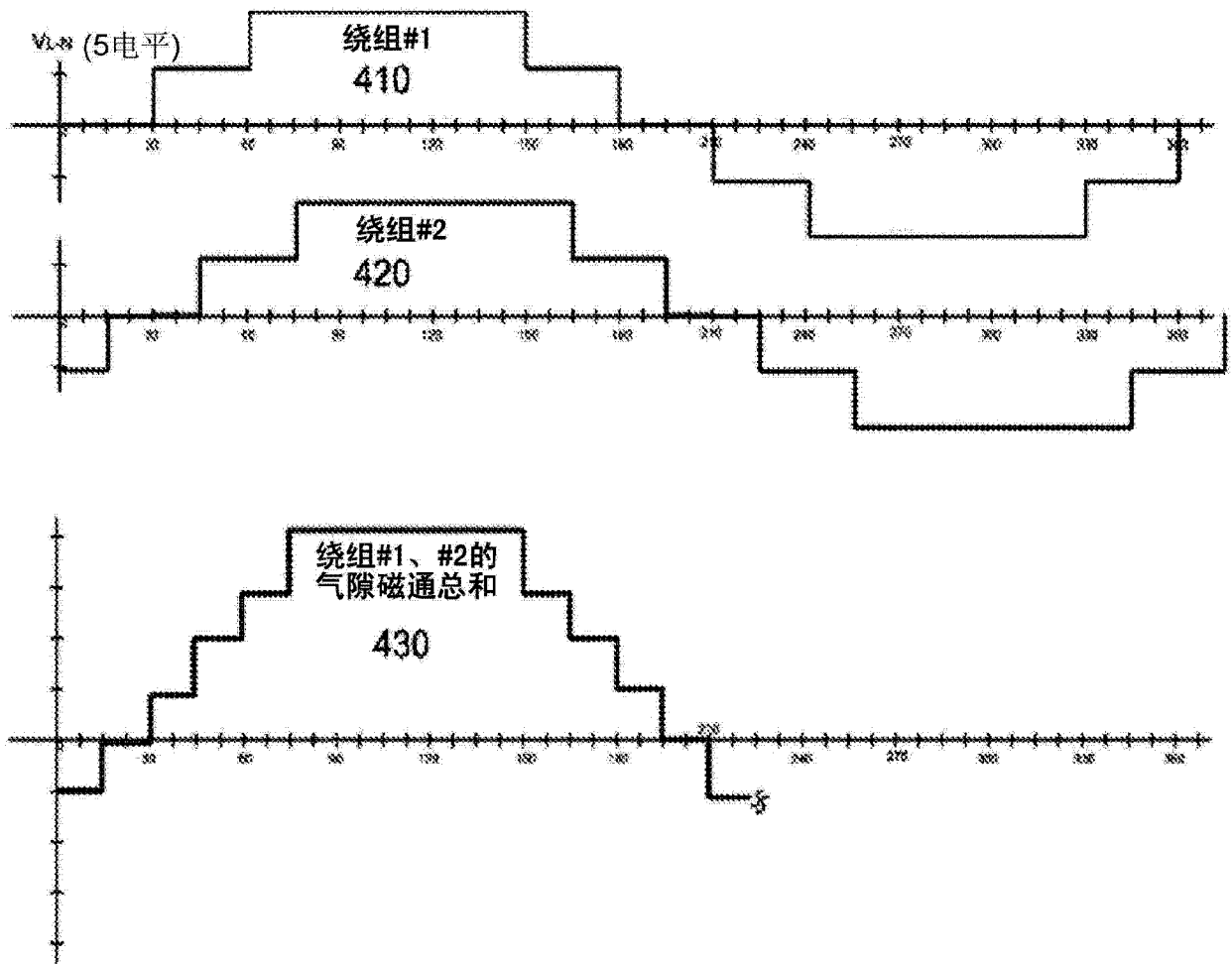
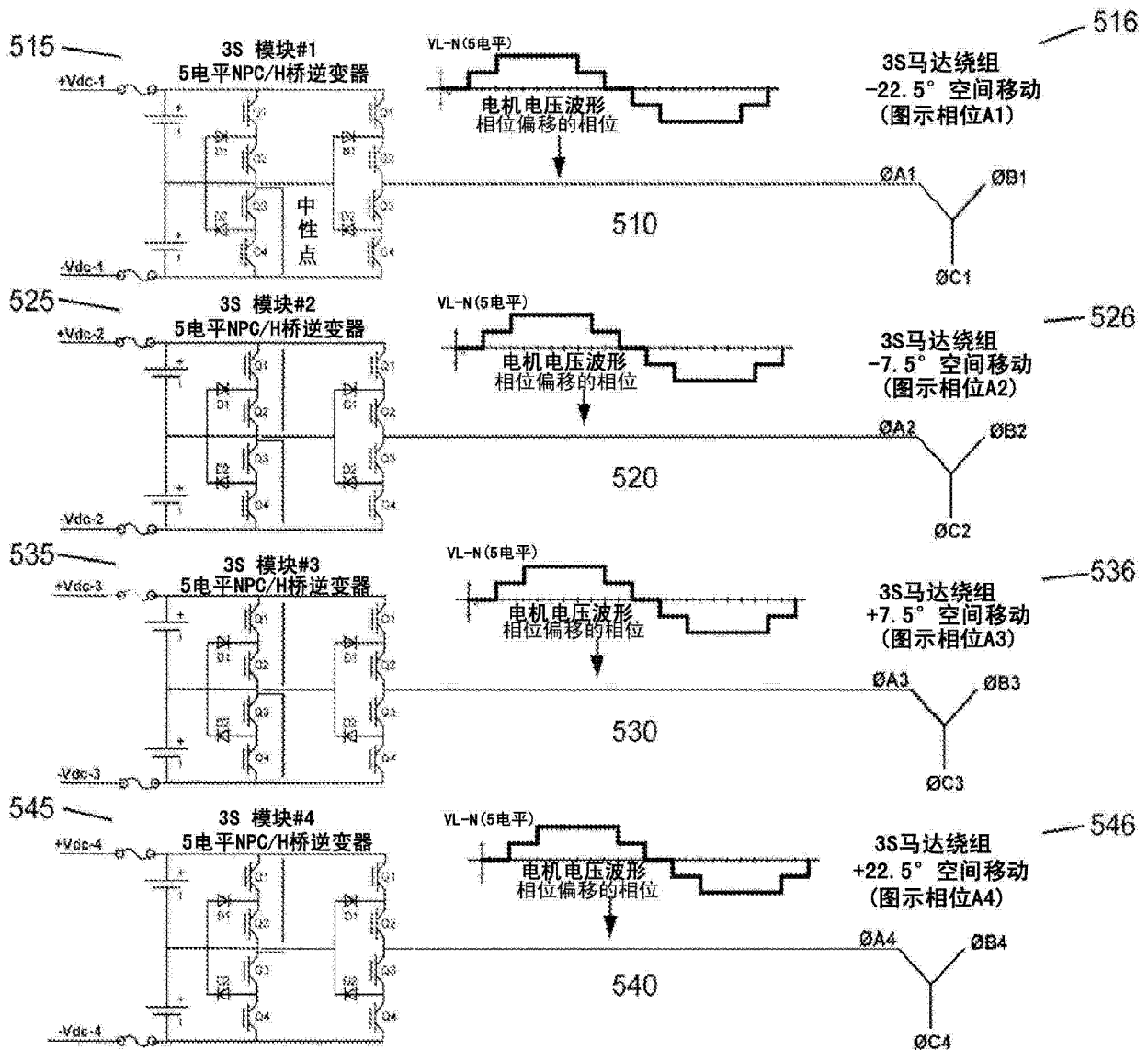


图 3



N=2时电机的气隙磁通总和，每个绕组由五电平中性点钳位全桥开关矩阵馈电

图 4



N=4, 向每个N马达绕组供电的5电平逆变器模块的3S拓扑图
(图示相位A)

图 5

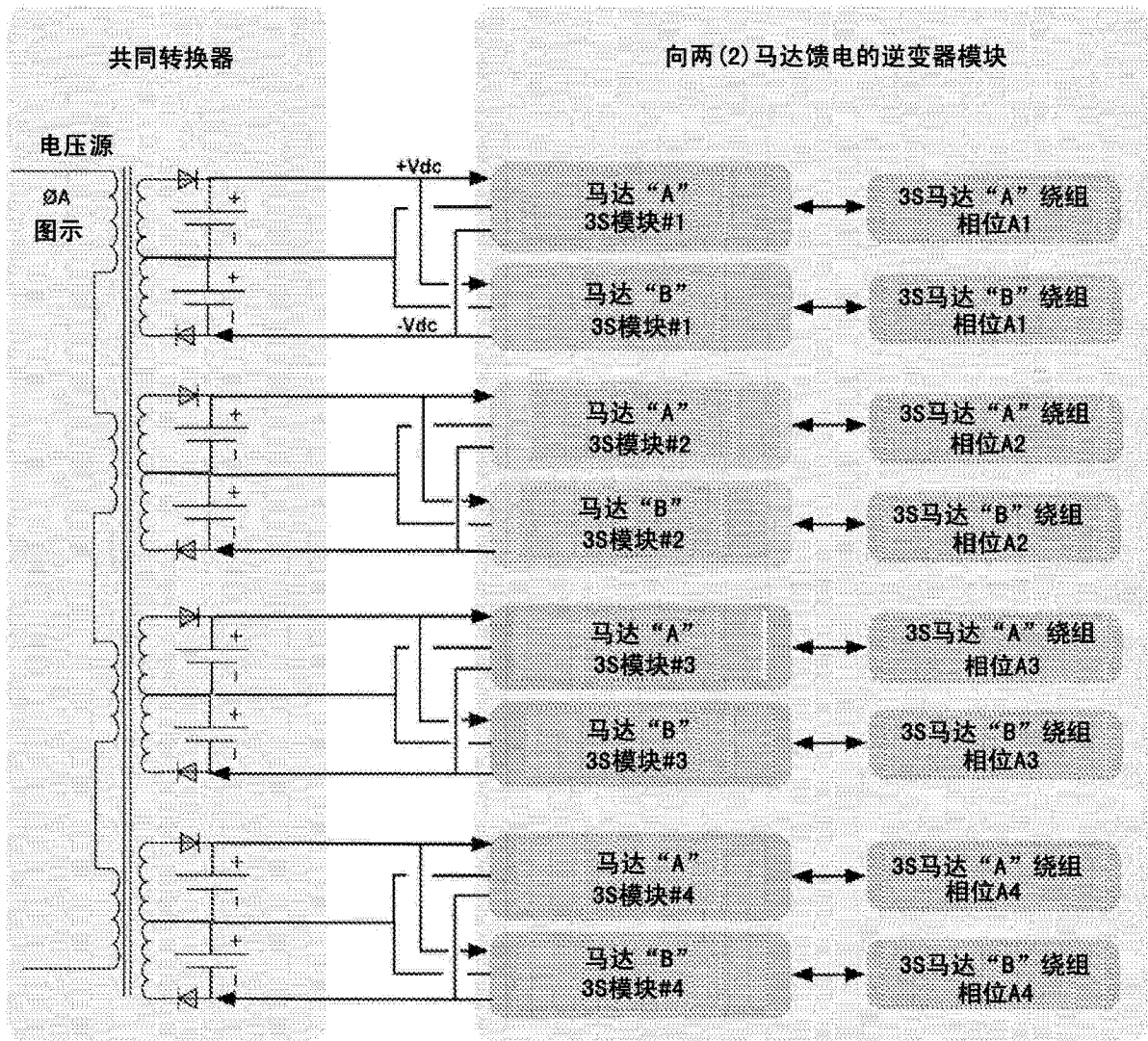


图 6

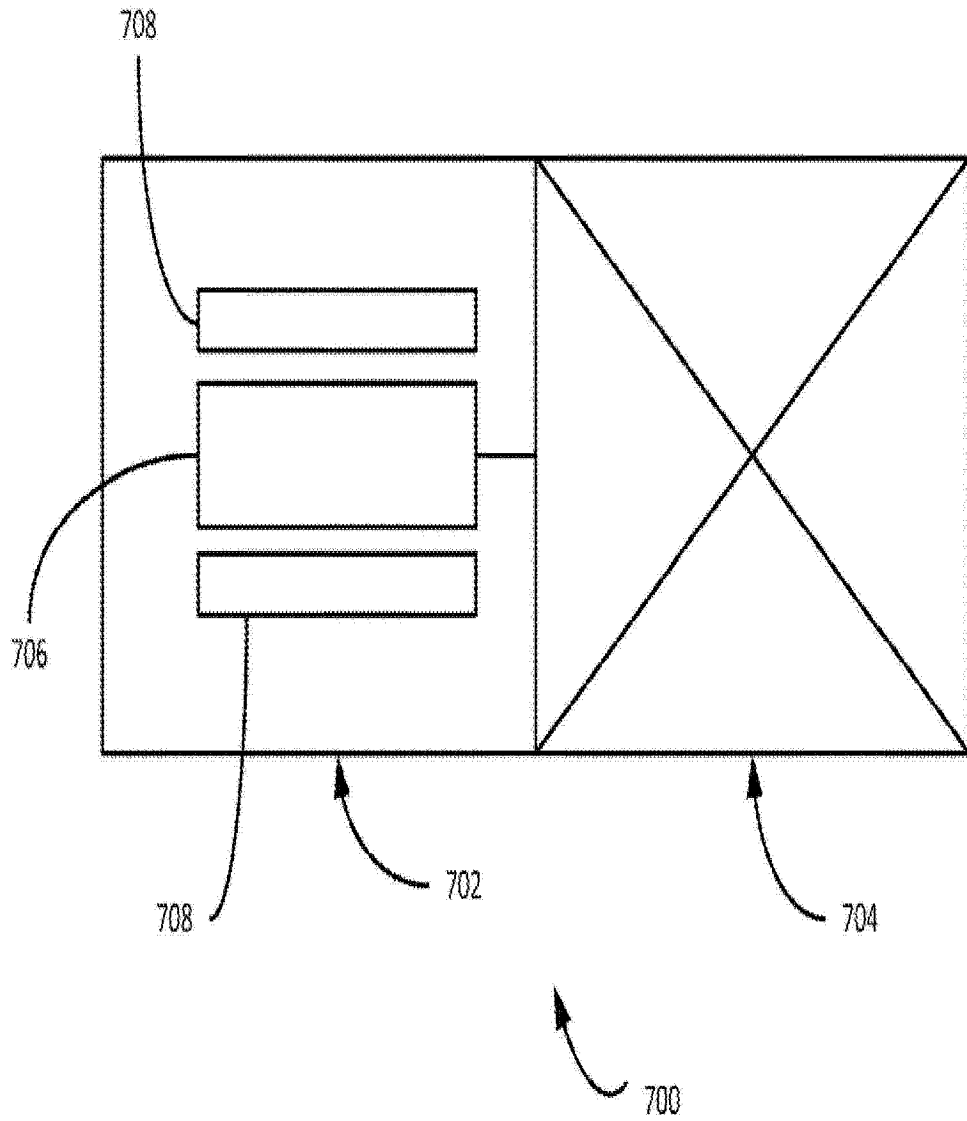


图 7