

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H02P 7/74

H02P 5/00



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00104035.9

[45] 授权公告日 2005 年 8 月 10 日

[11] 授权公告号 CN 1214515C

[22] 申请日 2000.3.13 [21] 申请号 00104035.9

[30] 优先权

[32] 1999.3.11 [33] US [31] 09/266645

[71] 专利权人 BAE 系统控制有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 S·加特里克

审查员 项晓娟

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

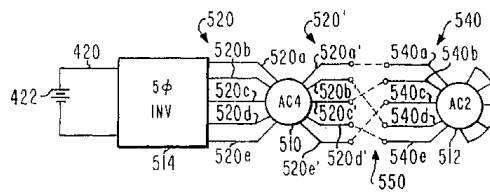
代理人 陈 霁 王忠忠

权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 10 页

[54] 发明名称 多相交流机组控制器

[57] 摘要

用一种具有 $2N + 1$ 相的具有 N 个正交相位分量组的控制系统来独立地控制诸如电动机或发电机的 N 个 AC 机组。在一种特殊的应用中，用一个具有相互独立的两组正交分量的五相控制器独立地控制一台混合动力车。每一组分量控制一个机组，并且对其他机组没有净效应。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种 $2N+1$ 相 AC 机组感应电动机或发电机设备包括：
N 个 AC 机组，上述 N 个 AC 机组各自具有 $2N+1$ 个流过交流电流的
5 绕组；
一个可控的 $2N+1$ 相逆变器，用来产生驱动上述 N 个 AC 机组的
 $2N+1$ 相电流；
连接到上述逆变器和上述 N 个 AC 机组上的互连装置，用于互连
上述 N 个 AC 机组的上述 $2N+1$ 个绕组，让流经每个机组的每个绕组的
10 电流流过上述 N 个 AC 机组中其他每个机组的绕组；以及
连接到上述逆变器的控制装置，用来以 N 组相互正交的相位控制
上述的 $2N+1$ 相电流，从而彼此独立地控制上述 N 个 AC 机组。
2. 按照权利要求 1 的设备，其特征是上述 $2N+1$ 相 AC 机组的 $2N+1$
个绕组在电学上各自按照一种特定的空间相位级数排列；并且
15 用上述互连装置互连上述 N 个 AC 机组的上述绕组，让对应着一
种特定空间相位的一个上述 AC 机组的一个绕组中流动的电流流过另
一个上述 AC 机组的一个具有不同空间相位的绕组。
3. 按照权利要求 1 的设备，其特征在于 N 是二，而 $2N+1$ 是五，
上述逆变器产生五相电流，两个 AC 机组的五个绕组各自以一种特定
20 的空间相位排列在每个机组中；并且
上述互连装置将上述两个 AC 机组中前一个机组的所有五相绕组
互连到上述逆变器中对应的相，并且连接上述前一个 AC 机组的一个
绕组，让电流流过上述两个 AC 机组中另一个机组中的一个对应的绕
组。
- 25 4. 用来控制包括 N 个互连的 $2N+1$ 相 AC 机组的一个 AC 机组系统
的一种方法，AC 机组各自包括对应的空间相位绕组，上述方法包括以
下步骤：
产生 $2N+1$ 相电流，代表 N 组相互正交的电流的二维分组；
按照上述电流的上述相位与上述绕组的上述空间相位的一种特
30 定对应关系，让上述 $2N+1$ 相电流通过上述 N 个 AC 机组中第一个机组
的上述空间相位绕组；并且
按照上述电流的上述相位与上述绕组的上述空间相位之间不同

于上述特定对应关系的一种对应关系,让上述 $2N+1$ 相电流通过上述 N 个 AC 机组中第二个机组的上述空间相位绕组,以这种方式用每一个上述电流的上述二维分组独立地控制上述 N 个 AC 机组其中的一个机组。

5 5. 按照权利要求 4 的方法,其特征是:

 上述产生 $2N+1$ 相电流的步骤中包括对连接到直流电压母线上的一个五相逆变器进行控制的步骤;

 并且还包含一个附加步骤,将上述 N 个 AC 机组中的第一个机组和第二个机组连接到一个部车的第一和第二车轮上。

10 6. 按照权利要求 5 的方法,其特征是上述控制五相逆变器的步骤中包括对连接到一个牵引电池上的五相逆变器开关进行控制的步骤。

 7. 按照权利要求 4 的方法,其特征是:

15 上述产生 $2N+1$ 相电流的步骤中包括对连接到直流电压母线上的一个五相逆变器进行控制的步骤;

 并且还包含一个附加步骤,将上述 N 个 AC 机组中的第一个机组至少连接到一个部车的第一车轮上,并且将上述 N 个 AC 机组中的第二个机组连接到一个机械驱动能源。

20 8. 按照权利要求 7 的方法,其特征是将上述 N 个 AC 机组中的第二个机组连接到机械驱动能源的上述步骤中包括将上述 N 个 AC 机组中的上述第二个机组连接到一台内燃机上的步骤。

多相交流机组控制器

本发明涉及到多相位 AC 机组的控制，特别是涉及到使用受到控制
5 的 $2N+1$ 相分量来独立地控制 N 个 AC 机组。

图1是通常用来表示三相系统的三相AC电流或电压的一种常见的
幅值-时间图，相对的瞬时相位 ωt 是 120° 。缩写AC表示“交流电流”，
它在许多情况下使用不当，因为这一术语可以用来表示交流电压或交
流电流或者是这两种意思。如果瞬时值周期性地保持在正值，随后又
10 保持在负值，这种电压或电流就是“交流”，其中的“正”和“负”是
指电的方向而不是机械的概念。在图1中用 X_a 、 X_b 和 X_c 来表示三个相位，
并且可以分别表示成 $X_a = X_c \cos \omega t$ ， $X_b = X_c \cos(\omega t - 2\pi/3)$ ， $X_c = X_c \cos(\omega t - 4$
 $\pi/3)$ 。正如本领域的技术人员所知，图2表示图1的电流或电压在时间
 $t=0$ 处的一个二维矢量图。在图2中，两个相互垂直的 α 和 β 分量是基
15 本坐标，并且 α 轴对应着“a”轴。另外两个的 b 和 c 轴与 a 轴相距 120° 。
电压或电流 X_a 总是沿着 a 轴的，而其瞬时的幅值随着时间而改变。同样，
 X_b 和 X_c 总是分别沿着 b 和 c 轴，并且其幅值幅值也随着时间而改变。在图
2所示的对应着图1中 $t=0$ 的时间，图2中的 X_a 、 X_b 和 X_c 的幅值合在一起对
20 应着一个矢量。随着图1中的曲线 X_a 、 X_b 和 X_c 的时间或瞬时相位的增加，
图2中的矢量(在箭头 ωt 所指的方向上)逆时针旋转，画出一个圆形
210。每当相位改变 2π ，就会绕着圆形210画出一个完整的圆。为了简
化数学运算，可以用对应的分量 α 和 β 来表示 X_a 、 X_b 和 X_c 的数值。

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} X_a \\ X_\beta \end{bmatrix} = T_{abc2\alpha\beta} \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中的

$$[T_{abc\alpha\beta}] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

公式(1)和(2)合在一起代表用来将由a, b和c表示的矢量转换成由 α 和 β 分量表示的矢量的矩阵变换公式。以上的数学表达式没有考虑到可能与交流励磁有关的共模的(直流或非交流, 或者是交流)电压或电流。在AC系统中, 每一相都可能与用来补偿这一相的交流分量的一个共模分量有关。图2的曲线假设或代表了这样一种没有共模分量的状态。如果在平衡的三相系统中存在共模分量, 它就会被抵消, 不会出现在 α 和 β 分量中。由于共模分量被抵消了, 即使是存在这种共模分量, 它们也不会出现在图2的曲线中。然而, 即使是在图2的二维曲线中没有出现共模分量, 这种共模分量还是可能存在的。

10 为了表示直流分量, 可以用以下的公式(3)和(4)所代表的一种经过修改的变换公式来表示矢量X

$$[X] = \begin{bmatrix} X_\alpha \\ X_\beta \\ X_0 \end{bmatrix} = [T_{abc2\alpha\beta}] \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[T_{abc2\alpha\beta}] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

15 矩阵中最底下一行的元素值是“1/2”, 它代表共模分量。附加的 X_0 分量被称为零序分量。用零序分量代表的共模分量通常是用一个与图2的 α - β 平面正交的矢量来表示的。采用这种与 α - β 平面正交的矢量可以构成一个相互垂直的坐标的三维系统。

20 按照本发明一个方面的一种 $2N+1$ 相AC机组设备包括N个AC机组, 这种AC机组可以是电动机或者发电机。设备包括N个AC机组。这N个AC机组各自具有 $2N+1$ 个流过交流电流的绕组; 当然也可以有更多的绕组, 但是绕组的有效数量应该是 $2N+1$ 。设备还包括一个可控的 $2N+1$ 相逆变器, 用来产生用于N个机组的 $2N+1$ 相电流。将一个互连装置连接到逆变器和N个AC机组上, 用于互连N个AC机组的N个绕组, 让流经每个机组的每个绕组的电流流过N个AC机组中其他的各

个绕组。将一个控制装置连接到逆变器上，用来以 N 个相互正交的一组相位控制 $2N+1$ 相，从而彼此独立地控制 N 个 AC 机组。在按照本发明这一方面的一种具体设备中， $2N+1$ 相 AC 机组的每个 $2N+1$ 个绕组在电学上各自按照一种特定的空间相位级数排列，并且用互连装置互连 N 个 AC 机组中的绕组，让对应着一种特定空间相位的一个 AC 机组的一个绕组中流动的电流流过另一个 AC 机组的一个不同空间相位的绕组。在本发明的一个实施例中，通过一个机组中具有特定空间相位的一个绕组的电流流入另一个机组中具有相同空间相位的一个绕组。

在按照本发明一个方面的具体设备中， N 是二，而 $2N+1$ 是五，两个 AC 机组的五个绕组中每个各自以一种特定的空间相位排列在每个机组中，并且用互连装置将两个 AC 机组中前一个机组的所有五相互连到逆变器中对应的相，并且连接一个 AC 机组的一个绕组，让电流流过另一个 AC 机组中的一个对应的绕组。

用来控制包括 N 个互连的 $2N+1$ 相 AC 机组的一个 AC 机组系统的一种方法，AC 机组中各自包括对应的空间相位绕组，该方法包括以下步骤：产生 $2N+1$ 相电流，表示 N 组相互正交的二维的电流分组。按照电流的相位与绕组的空间相位的一种特定对应关系，让 $2N+1$ 相的上述电流通过 N 个 AC 机组中第一个机组的空间相位绕组，并且按照电流的上述相位与绕组的空间相位之间不同于上述特定对应关系的一种对应关系，让 $2N+1$ 相的电流通过 N 个 AC 机组中第二个机组的空间相位绕组，以这种方式用电流的每一个二维分组独立地控制 N 个 AC 机组中的一个机组。按照实现该方法的一种具体方式，产生 $2N+1$ 相电流的步骤中包括对连接到直流电压母线上的一个五相逆变器进行控制的步骤。实现本发明的这一具体方式还包括一个附加步骤，将 N 个 AC 机组中的第一和第二机组连接到车辆的第一和第二车轮上。按照另一种方式，用来控制五相逆变器的步骤中还包括对五相逆变器连接到一个牵引电池上的开关进行控制的步骤。在实现本发明这一方面的方法的另一种具体方案中，产生 $2N+1$ 相电流的步骤中包括对连接到直流电压母线上的五相逆变器进行控制的步骤，并且还包括一个附加步骤，将 N 个 AC 机组中的第一个至少连接到一部车的第一车轮上，并且将 N 个 AC 机组中的第二个连接到一个机械驱动能源例如是内燃发动机上。

图 1 是通常用来表示三相系统的三相电流或电压的一种常见的幅

值-时间图，相对的瞬时相位 ωt 是 120° ；

图 2 表示图 1 的电流或电压的一个二维矢量图；

图 3a, 3b 和 3c 分别沿着三个相互正交的 X_a , X_b 和 X_c 轴或迪卡儿坐标系表示图 1 的 a, b 和 c 电流或电压分量；

5 图 4 是采用了通过逆变器和直流电压或电流母线互连的两个 AC 机组的设备的简化框图；

图 5a 是按照本发明一方面的五相 AC 机组设备的简化框图或示意图，图 5b 和 5c 是关于图 5a 的 AC 机组中的绕组的示意图，而图 5d 是图 5a 所示设备中的一个互换或相位交换部分的简化示意图；

10 图 6 以框图的形式表示了按照本发明一个方面的五相逆变器的简化示意图；

图 7 用框图的形式表示了现有技术的 AC 机组控制设备的简化示意图；

15 图 8 以框图的形式表示了按照本发明一个方面的设备的示意图，在其中用一个五相控制器独立地控制两个 AC 机组；

图 9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f, 9g, 9h 和 9i 是各种交换电路的简化示意图，与图 5d 的设备共同构成了定义方程的十种可能解；以及

图 10 是由一个 $(2N+1)$ 相控制器控制的 N 个机组的一个简化的总图。

20 本发明人认为，图 2 所表示的并不是唯一可供使用的方式，用其他方式也可以提供新颖和有效的设备。具体地说，图 3a, 3b 和 3c 分别沿着三个相互正交的 X_a , X_b 和 X_c 轴或迪卡儿坐标系表示了图 1 的 a, b 和 c 电压或电流分量。这些电压或电流分量对应着 X_a , X_b 和 X_c 轴上的各种瞬时值。图 3a, 3b 和 3c 从不同的角度表示了同一种矢量分布。

25 为了便于说明，在图 3a, 3b 和 3c 中，立方体的中心与坐标系的中心或原点相吻合。因此，立方体中心的坐标是 000。一个六边形平面 312 通过原点 000，并且将立方体分成相同的两半。轴线 X_a , X_b 和 X_c 在平面 312 上的垂直投影分别用 a' , b' 和 c' 表示，并且这三个投影在平面上相距 120° 。图 3 中的投影 a' , b' 和 c' 对应着图 2 中的轴线 a, b 和

30 c。在图 1 的曲线 X_a , X_b 和 X_c 中，在没有零序分量的情况下，随着时间或瞬时相位的增加，图 3a 的矢量(在箭头 ωt 所指的方向上)逆时针旋转，划出一个圆圈 310。每当相位改变 2π ，就会绕着圆圈 310 画出一

个完整的圆。

众所周知，零序分量是可能随着时间而改变的。在图 3a 中用沿着与 α 和 β 轴垂直的 0 轴的一个分量来表示变化的零序分量。如果零序分量的幅值是固定的，平面 312 就可以和作为立方体主对角线的 0 轴平行地移动。然而，由于零序分量可能随时间而改变，与代表这些分量的矢量的旋转有关，当存在这样的零序分量时，轨迹的平面(圆圈 310 的平面)相对于平面 312 是倾斜的。

图 3b 表示图 3a 的平面 312 的侧面，而图 3c 表示轴线 0 的方向。

可以用矩阵变换公式 [T3] 来完成从图 2 的正交 (a, b, c) 分量到图 3a, 3b 和 3c 的正交分量 ($\alpha, \beta, 0$) 之间的变换

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_0 \end{bmatrix} = [T3] \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix}, \text{ where } [T3] = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{6}}{3} & -\frac{\sqrt{6}}{3} & -\frac{\sqrt{6}}{3} \\ 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

公式 (5) 表示的变换公式可以将图 3a, 3b 和 3c 中用 a, b, c 分量代表的矢量转换成用 α, β 和零序分量代表的一种矢量。这仅仅是从一个坐标系到另一坐标系的矢量变换。

公式 (6) 表示相反的运算过程

$$\begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_c \end{bmatrix} = [T3^{-1}] \begin{bmatrix} X_a \\ X_b \\ X_0 \end{bmatrix}, \text{ where } [T3^{-1}] = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{6}}{3} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ -\frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} \\ -\frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

按照本发明的一个方面，在图 3a, 3b 和 3c 中表示的三相系统使我们认识到可以用一个 $2N+1$ 维的超立方体来代表多相系统。可以用这样一种方式来表示一个五相系统，它具有诸如平面 312 那样的两个相互正交的平面，还有一条零序轴线。代表五相系统的这两个平面分别占据一个四维立体空间中的二维空间。这两个相互正交的平面仅仅在

坐标系的原点处交叉，因而没有相互作用。这一原理可以普遍地适用于任何奇数相，例如七，九等等。按照本发明的一个方面，通过对 $2N+1$ 相的电压或电流进行控制来控制 N 个 AC 机组(电动机或发电机)。

图 4 是两个 AC 机组 410 和 412 的简化框图，它们各自通过一个逆变器 414，416 5 连接到用电池表示的直流电压母线 420 和直流电压源 422。本领域的技术人员都知道，母线可包括一个以上导体。图 4 中的 AC 机组可以是一个电动机或发电机。在一种操作模式下，机组 410 和 412 都按照电动机方式工作，向负载(未示出)提供机械能量，能量是分别通过逆变器 414 和 416 由电源 422 提供的。在另一种操作模式 10 下，机组 410 和 412 都可以按照发电机方式工作，逆变器 414 和 416 按照整流模式工作，将发电机产生的电能整流成直流。在又一种操作模式下，机组 410 按照发电机方式工作，而机组 412 是一个电动机，用于从机组 410 通过逆变器 414 向电源 422 提供能量，并且从电源 422 通过逆变器 416 向机组 412 提供能量。在最后一种操作模式下，提供 15 给电动机 412 的能量最终是由发电机 410 产生的。不幸的是，由发电机 410 产生的能量必须通过逆变器 414 和 416 才能到达电动机 412。

图 5a 表示了按照本发明一个方面的设备。在图 5a 中，用电池 422 表示的直流电源(它还包括一个直流电压源)被连接到图 4 所示的直流 20 母线 420 上。母线 420 连接到一个五相逆变器 514，用来将母线 420 上的直流电压或电流转换成一组导体 520 或电流路径 520a, 520b, 520c, 520d 和 520e 上的五相电压或电流。流经这些导体或电流路径的电流或电压通过一个相位交换设备 550 提供给一个五相 AC 机组 510。图 5b 表示图 5a 中的 AC 机组 510 的绕组，这些绕组连接到一组 25 导体或路径 520 上。如图 5b 所示，AC 机组 510 包括一组 530 的五个绕组 530a, 530b, 530c, 530d 和 530e。本领域的技术人员都知道，五相一组绕组 530 中的单个绕组 523a, 530b, 530c, 530d 和 530e 是实际排列在机组 510 内部的，为一组绕组 530 提供渐进相位的电流或电压，就会产生绕着机组渐进的磁场。具体地说，如果分别从绕组 520a, 520b, 520c, 520d 和 520e 提供给绕组 530a, 530b, 530c, 530d 30 和 530e 的电流或电压的相位增量是 72° ，相位 1(0°)通过路径 520a 提供给绕组 530a，相位 2(72°)通过路径 520b 提供给绕组 530b，相位 3(144°)通过路径 520c 提供给绕组 530c，相位 4(216°)通过路径

520d 提供给绕组 530d, 而相位 5(288°) 通过路径 520e 提供给绕组 530e, 一组绕组 530 的实际位置是这样的, 用同相相加的磁场构成机组中的旋转磁场。这种旋转磁场可以将电能转换成机械运动, 或将机械运动转换成相当的电能。绕组 530a, 530b, 530c, 530d 和 530e 上
5 分别远离导体 520a, 520b, 520c, 520d 和 520e 的端部分别被连接到电流路径或导体 520a', 520b', 520c', 520d' 和 520e' 上。本领域的技术人员都知道, 从一个导体流入一个绕组的电流, 例如是在图 5b 中从导体 520a 流入绕组 530a 的电流也会在连接的其他对应的绕组中流动, 对绕组 530a 来说也就是连接或路径 520a'。

10 图 5c 表示了图 5a 中与 AC 机组 512 有关的绕组及其与导体或路径当中的一组导体或路径 540 的连接。如图 5c 所示, AC 机组 512 包括一组 532 五个 532a, 532b, 532c, 532d 和 532e。图 5c 的机组 512 还涉及到一组 540 导体或路径 540a, 540b, 540c, 540d 和 540e。正如本领域的技术人员所知以及上文所述, 五相一组绕组 532 中的单个
15 绕组 532a, 532b, 532c, 532d 和 532e 是实际排列在机组 512 内部的, 如果为 530 提供渐进相位的电流或电压, 就会产生绕着机组渐进的磁场。具体地说, 如果分别从导体 540a, 540b, 540c, 540d 和 540e 提供给绕组 532a, 532b, 532c, 532d 和 532e 的电流或电压的相位增量是 72° , 相位 1(0°) 通过路径 540a 提供给绕组 532a, 相位 2(72°)
20 通过路径 540b 提供给绕组 532b, 相位 3(144°) 通过路径 540c 提供给绕组 532c, 相位 4(216°) 通过路径 540d 提供给绕组 532d, 而相位 5(288°) 通过路径 540e 提供给绕组 532e, 一组绕组 540 的实际位置是这样的, 用同相相加的磁场构成 AC 机组 512 中的旋转磁场。这种旋转磁场可以将电能转换成机械运动, 或将机械运动转换成相应的电
25 能。绕组 532a, 532b, 532c, 532d 和 532e 上分别远离导体 540a, 540b, 540c, 540d 和 540e 的端部分别通过一组 540' 电流路径或导体中的 540a', 540b', 540c', 540d' 和 540e' 连接到一个公共或“短路的”导体 542 上。本领域的技术人员都知道, 从一个导体流入一个绕组的电流, 例如是在图 5c 中从导体 540a 流入绕组 532a 的电流也会在连接的
30 其他对应的绕组中流动, 对绕组 532a 来说也就是连接或路径 540a'。

图 5d 是图 5a 中的一个可能的互连或相位交换设备 550 的具体示意图。在图 5d 中, 用 550 表示的互连设备将一组 520' 导体或电流路径

5 连接到一组导体或电流路径 540 的电流路径的导体上。按照本发明的一个方面，互连设备 550 的导体或电流路径的连接方法是，让一定的电流在相应的机组中产生旋转磁场，用剩下的电流来抵销磁场。具体说，在如图 5a 所示的两个 AC 机组之一中，由与两个正交平面之一（结合图 3a、3b 和 3c 进行描述）相关的电流（ α_1 、 β_1 ）产生的磁场相加面形成旋转磁场，而与两正交平面中另一个相关的电流（ α_2 、 β_2 ）产生抵消的磁场，所以不产生旋转磁场。在图 5d 中，承载任意定为 0° 相位的电流或电压的导体 520a' 通过一个互连路径 550a 连接到一组导体 540 中对应的导体 540a 上。互连组 550 的导体 550b 将一组导体 520' 中的 72° 导体 520b' 互连到一组 540 中的导体 540d 上。一组导体 550 中的导体 550c 将一组导体 520' 中的 144° 导体 520c' 互连到一组 540 中的导体 540b，一组导体 550 中的导体 550d 将一组 520' 中的 216° 导体 520d' 互连到一组 540 中的导体 540e，而一组导体 550 中的导体 550e 将一组导体 520' 中的 288° 导体 520e' 互连到一组 540 中的导体 540c。

10 按照图 5a、5b、5c 和 5d 所示的互连方式就可以独立地操作两个 AC 机组 510 和 512。

独立地操作图 5a、5b、5c 和 5d 所示的两个机组 510 和 512 可以被认为是以三相方式来操作两个机组中的每一个，每个机组所需要的电流或电压加在一起产生旋转磁场。每个机组的这些电压或电流可以被看成是处在一个平面内的 α 和 β 分量，例如参照图 2、3a、3b 和 3c 所述的情况，但是正如上文所述，此处的这两个平面（ α_1 、 β_1 ）和（ α_2 、 β_2 ）是正交的。总共五相电压或电流可以被看成是与两个正交平面有关的电压或电流的矢量和。两个平面的正交性质所产生的实际结果就是与第一平面有关的五相电压或电流的分量加在一起形成一个旋转磁场，而与两个正交平面之二有关的电压或电流则被抵销了。相加还是抵销是取决于每个机组内部的相位是如何叠加的。图 5a 和 5d 所示的互连设备与图 5b 和 5c 的绕组配置结合在一起的结果是，在 AC 机组 510 中另外还有与一个平面（ α_1 、 β_1 ）有关的磁场，并且抵销与第二平面（ α_2 、 β_2 ）有关的磁场，而机组 512 中的相位是按照这样相加的方式重新排列的，与第二平面（ α_2 、 β_2 ）加在一起产生旋转磁场，并且抵销与第一平面（ α_1 、 β_1 ）有关的磁场。

20 25 30

图 6 表示了可以用于图 5a 中所示设备的一种五相逆变器的简化示

意图。在图 6 中，包括电流路径 420a 和 420b 在内的直流电压或直流
电流母线 420 被连接到电源 422 上。五个受控的电流路径 610a, 610b,
610c, 610d 和 610e 从导体 420a 延伸到 420b。每个路径 610a, 610b,
610c, 610d 和 610e 包括两个用 X_s 表示的可控开关。电流路径 610a
5 包括一个上开关 612a₁ 和一个下开关 612a₂，中间有一个抽头 614a。电
流路径 610b 包括一个上开关 612b₁ 和一个下开关 612b₂，中间有一个抽
头 614b，电流路径 610c 包括一个上开关 612c₁ 和一个下开关 612c₂，
中间有一个抽头 614c，电流路径 610d 包括一个上开关 612d₁ 和一个下
开关 612d₂，中间有一个抽头 614d，而电流路径 610e 包括一个上开关
10 612e₁ 和一个下开关 612e₂，中间有一个抽头 614e。一组导体 520 中的
AC 导体 520a, 520b, 520c, 520d 和 520e 分别被连接到抽头 614a,
614b, 614c, 614d 和 614e 上。图 6 的逆变器 514 还包括一个用方框
608 表示的开关控制器，它按照一种适于产生五相电流或电压的方式控
制各个开关。用于切换逆变器的控制器在现有技术中是公知的，而用
15 于五相操作方式的控制器也应该是属于本领域普通技术人员的知识范
围。

图 7 是现有技术中的一种磁场定向控制 (FOC) 型三相 AC 机组控制
器的一个简化框图。图 7 中的 AC 机组是由相对 0° ， 120° 和 240° 相
位的 a, b 和 c 相驱动的一个感应式机组 (电动机或发电机)。在图中用
20 712 表示公共电流路径或短路母线。用 714a 和 714b 表示的电流采样
器对 a 和 b 导电路径中的电流采样，并且将采样信号连接到一个 T3 框
716。框 716 根据 $I_a + I_b + I_c = 0$ 来确定导体 C 中的电流，并且执行从 (a,
b, c) 坐标系到 (α , β) 坐标系的 T3 变换。所得的 I_α 和 I_β 和来自一个
传感器 718 的关于电枢或转子角度 θ 的信息一起被连接到一个 FOC 控
25 制器 720。这种控制器是现有技术中公知的，无需进一步说明。控制器
720 产生 d_α 和 d_β 占空周期控制信号，将这些信号用于以框 722 表示的
反变换 $T3^{-1}$ ，用来将 d_α 和 d_β 占空周期控制信号变换成 d_a , d_b 和 d_c 控制
信号。 d_a , d_b 和 d_c 控制信号被用于一个三相逆变器 724，用来控制流向
或来自母线 420 和图中用电池 422 表示的一个有关的电源的功率。图 7
30 所示设备的一种具体应用就是混合电动车的驱动系统，在这种场合
下，电源 422 是一个牵引电池，电动机 710 驱动车辆的至少一个车轮，
而 FOC 控制器被用来接收其他控制信号，由这些信号指示出应该提供

给电动机的功率，需要采用的再生制动量，以及其他各种信号。

在上述的混合电动车应用中，可以将由燃料操作的机器来驱动的另一
 5 另一种发电机形式的AC机组连接到三相逆变器上，在1998年10月27日
 授予Hoffman等人的美国专利US5828201和1999年2月9日授予
 Hoffman等人的美国专利US5869950中有更详细的说明。

按照本发明的一个方面，FOC控制设备针对一对AC机组采用五相控制
 方式。图8表示了按照本发明这一方面的设备。在图8中，由受控的
 五相逆变器824在一组导体821上产生五相电压或电流，用于如图5a所
 10 示的连接并用框810表示的两个五相电动机。用814a, 814b, 814c和814d
 表示的一组电流传感器814中的四个电流传感器检测其所在的各个导
 体或电流路径中的电流，并且将相应的信号 i_a , i_b , i_c 和 i_d 连接到一个
 T5框816，用来确定没有测量的第五个(e)电流值，并且将测得的a, b,
 c, d和e电流分量转换成两个相互正交的平面内的电流，再加上一个零
 序分量。具体地说，图8的框816将 i_a , i_b , i_c , i_d 和 i_e 变换或转换成 $i_{\alpha 1}$,
 15 $i_{\beta 1}$ 和 $i_{\alpha 2}$, $i_{\beta 2}$ 分量及一个0分量。 $i_{\alpha 1}$ 和 $i_{\beta 1}$ 分量和涉及到与第一电动机
 的转子角位置的 θ_1 检测信息一起被提供给用“AC电动机矢量控制”表
 示的一个框820₁，它是用于框810的两个五相电动机中的第一电动机的
 FOC控制器。FOC控制器820₁的输出包括被提供给一个T5⁻¹变换框822的
 控制信号 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$ 。框816产生的 $i_{\alpha 2}$ 和 $i_{\beta 2}$ 分量和涉及到与第二电动机
 20 的转子角位置的 θ_2 检测信息一起被提供给用“AC电动机矢量控制”表
 示的一个框820₂，它是用于框810的两个五相电动机中的第二电动机的
 FOC控制器。FOC控制器820₂的输出包括和来自FOC控制器820₁的控制信
 号 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$ 及来自框816的零序电流信号一起被提供给T5⁻¹变换框822的
 控制信号 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$ 。框822对 $i_{\alpha 1}$, $i_{\beta 1}$, 0, $i_{\alpha 2}$ 和 $i_{\beta 2}$ 信号执行T5⁻¹变换，
 25 将它们转换成五相逆变器控制信号 V_a , V_b , V_c , V_d 和 V_e 信号。框822产
 生的 V_a , V_b , V_c , V_d 和 V_e 信号被提供给五相逆变器框824，用来控制图6中
 的一组开关612。

图8的T5框816代表了(a, b, c, d, e)坐标系和($\alpha 1$, $\beta 1$, 0, α
 2, $\beta 2$)坐标系之间的变换。具体的变换公式参见公式(7)

$$\begin{bmatrix} v_{\alpha 1} \\ v_{\beta 1} \\ v_0 \\ v_{\alpha 2} \\ v_{\beta 2} \end{bmatrix} = T5 \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_0 \\ v_d \\ v_e \end{bmatrix} \quad (7)$$

在公式(8)中给出了矩阵[T5]的一种可能的解。

$$[T5] = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{10}}{5} & \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) & -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) & -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) & \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) \\ 0 & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}+\sqrt{5}) & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}-\sqrt{5}) & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}-\sqrt{5}) & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}+\sqrt{5}) \\ \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{\sqrt{5}}{5} \\ \frac{\sqrt{10}}{5} & -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) & \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) & \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) & -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) \\ 0 & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}-\sqrt{5}) & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}+\sqrt{5}) & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}+\sqrt{5}) & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5}-\sqrt{5}) \end{bmatrix} \quad (8)$$

5 同样，公式(9)中确定了图8的框822中的矩阵[T5⁻¹]

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \\ v_d \\ v_e \end{bmatrix} = [T5^{-1}] \begin{bmatrix} v_{\alpha 1} \\ v_{\beta 1} \\ v_0 \\ v_{\alpha 2} \\ v_{\beta 2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

用公式(10)来表示矩阵[T5⁻¹].

$$[TS^{-1}] = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{10}}{5} & 0 & \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{\sqrt{10}}{5} & 0 \\ \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5+\sqrt{5}}) & \frac{\sqrt{5}}{5} & -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5-\sqrt{5}}) \\ -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5-\sqrt{5}}) & \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5+\sqrt{5}}) \\ -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5-\sqrt{5}}) & \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5+\sqrt{5}}) \\ \frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}-1) & -\frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5+\sqrt{5}}) & \frac{\sqrt{5}}{5} & -\frac{\sqrt{10}}{20}(\sqrt{5}+1) & \frac{\sqrt{5}}{10}(\sqrt{5-\sqrt{5}}) \end{bmatrix} \quad (10)$$

公式(10)至少有十个解，图5d的相位交换排列表示了其中之一。在图9a, 9b, 9c, 9d, 9e, 9f, 9g, 9h和9i中表示了其它九个解，无需进一步的描述。

5 图10表示一种采用 $2N+1$ 相的通用的 N -机组系统。在图10中对应着图5a的元件都用相同的符号来表示。电池422通过母线420连接到一个 $(2N+1)$ 相逆变器上，它按照本发明的方式在一组导体1020a的 $(2N+1)$ 个导体上产生 $(2N+1)$ 相驱动信号。一组导体1020a连接到一个 $(2N+1)$ -绕组机组1010a的一组 $(2N+1)$ 个连接点上。机组1010a的 $(2N+1)$ 个绕组的另一端通过一组导体1020a'连接到第一相位交换框1050a。这一相位交换框通过一组导体1020b连接到同样具有 $(2N+1)$ 个绕组的第二机组1010b的端子上。机组1010b绕组的另一端通过一组导体1020b'连接到第二相位交换框1050b。相位交换框1050b的输出通过另一组导体1020c继续连接，直至将最后一组导体连接到第 N 个机组1010N的端子上。机组1010N上远离其它机组的 $(2N+1)$ 个端子被连接到一个公共导体1042上。

本发明的其它实施例对于本领域的技术人员来说都是公知的。例如，本领域的技术人员都知道，控制器的各种实施例中可能包括模拟或数字电路，或同时采用两种电路。在本文的电气系统中使用的术语“之间”和“跨接”的意思并不是机械或者空间中的概念。这种控制器的说明并没有涉及AC机组用作发电机和电动机，这取决于机组所处的驱动和负载状态，机组可以根据具体的状态在任意一种模式下工作，在发电机操作状态下，系统中的“逆变器”部分所执行的功能相当于整流，从发电机提取AC能量，并且将AC能量提供给直流电压或电流母

线。电流传感器组814的传感器检测四个具体相a, b, c和d相的电流, 而本领域的技术人员都知道可以对一个N-相系统中任意的N-1相进行检测, 并且可以通过计算来确定第N相。

因此, 按照本发明一个方面的 $2N+1$ 相(五相)AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)设备中包括了多N个AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810), 这些AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)可以是电动机或者发电机。设备中包括N个AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)。这N个AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)各自具有 $2N+1$ 相绕组(530, 532), 在绕组中流过交流电流; 当然可以有更多的绕组(530, 532), 但是绕组(530, 532)的有效数量应该是 $2N+1$ 。设备中也包括一个可控的 $2N+1$ 相逆变器(414, 416, 514, 724, 824), 用来为N个机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)产生 $2N+1$ 相的电流。将一个互连设备(550)连接到逆变器(414, 416, 514, 724, 824)和N个AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)上, 用来互连N个AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)的N个绕组(530, 532), 让流经每个机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)的每一个绕组的电流流经N个AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)当中其它的每一个机组的绕组(530, 532)。控制设备(608, 716, 720, 722, 816, 820₁, 820₂, 822)被连接到逆变器(414, 416, 514, 724, 824)上, 用来以N个相互正交的组的相位控制 $2N+1$ 相, 从而彼此独立地控制N个AC机组(410, 412, 510, 512, 710, 810)。在按照本发明这一方面的具体设备中, $2N+1$ 相AC机组(510, 512, 810)上各自的 $2N+1$ 相绕组(530, 532)在电气上按照特定的空间相位依次排列, 并且用互连设备(550)互连N个AC机组(510, 810)的绕组(530, 532), 让流经一个AC机组(510, 512, 810)中对应着一个特定空间相位(b)的绕组(530b)的电流流经另一个AC机组(512, 810)中具有不同的空间相位(d)的一个绕组(532d)。在本发明的一个实施例中, 流经一个机组(510, 810)中具有特定空间相位(a)的绕组(530a)的电流流经另一个机组(512, 810)中具有相同空间相位(a)的一个绕组(532a)。

在按照本发明一个方面的具体设备(图5a, 8)中, N是2, $2N+1$ 是五, 两个AC机组(510, 512, 810)的五个绕组(绕组530和532)各自按照特定的空间相位排列在每个机组(510, 512, 810)中, 并且用互连设备(550)

将两个AC机组中第一个机组(510)的所有五相互连到逆变器(514, 824)上对应的相位, 再连接一个AC机组(510)的一个绕组(530a), 让电流流经另一个AC机组(512)中的一个对应的绕组(532a).

按照本发明的用来控制包括N个互连的 $2N+1$ 相AC机组的一种AC机组系统的一种方法, AC机组各自包括对应的空间相位绕组, 该方法包括以下步骤, 产生 $2N+1$ 相电流, 代表N个相互正交的组的二维电流分组。按照电流的相位与绕组的空间相位的一种特定的对应关系, 将电流提供给N个AC机组中第一个机组的空间相位绕组, 并且按照电流的相位与绕组的空间相位之间不同于上述特定对应关系的一种对应关系, 5 将电流提供给N个AC机组中第二个机组的空间相位绕组, 以这种方式用每一个电流的二维分组独立地控制N个AC机组其中的一个机组。在实现这种方法的一种具体模式下, 产生 $2N+1$ 相电流的步骤中包括对连接到直流母线上的一个五相逆变器进行控制的步骤。实现本发明的这种具体模式还包括一个附加步骤, 将N个AC机组中的第一个和第二个连接到10 一部车的第一和第二车轮上。按照另一种模式, 控制五相逆变器的步骤还包括对五相逆变器连接到一个牵引电池上的开关进行控制的步骤。在实现本发明这一方面的方法的再一种具体模式下, 产生 $2N+1$ 相电流的步骤中包括对连接到直流电压母线上的五相逆变器进行控制的步骤, 并且还包括一个附加步骤, 将N个AC机组中的第一个至少连接到15 一部车的第一车轮上, 并且将N个AC机组中的第二个机组连接到一个机械驱动能源, 这种能源可以是一台内燃发动机。

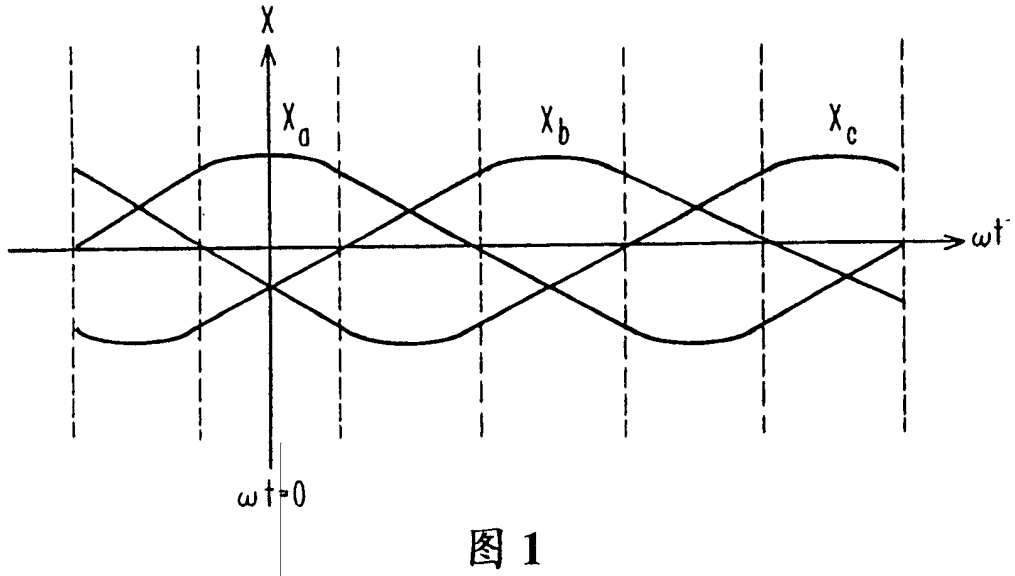


图 1

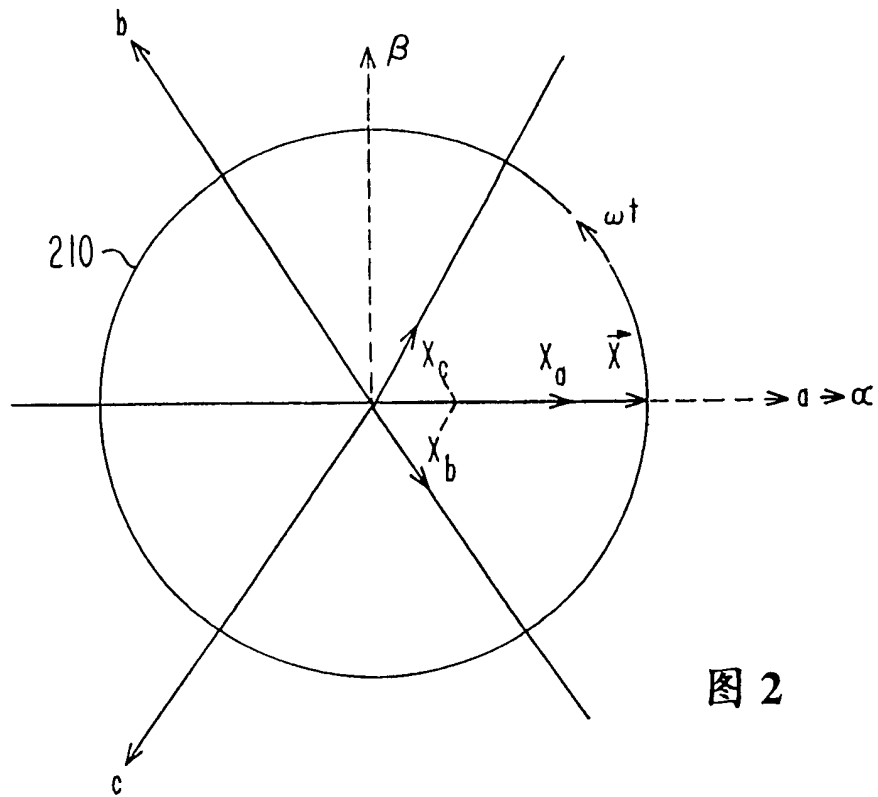


图 2

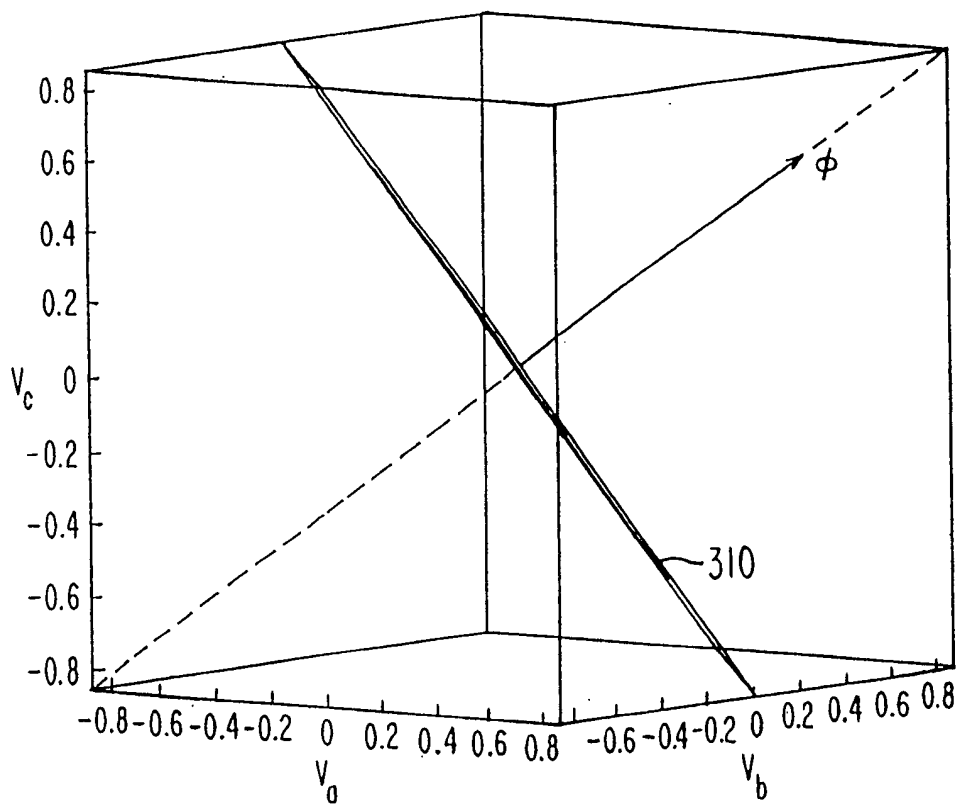


图 3b

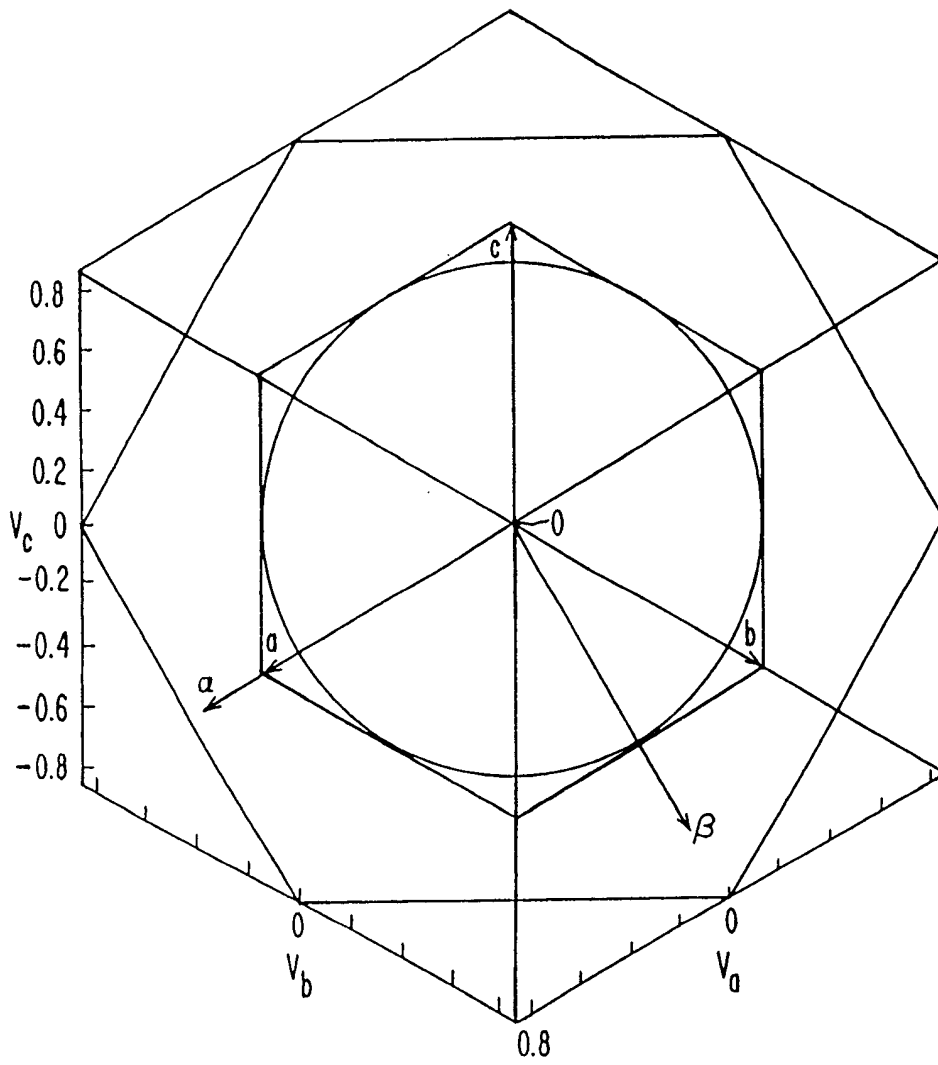


图 3c

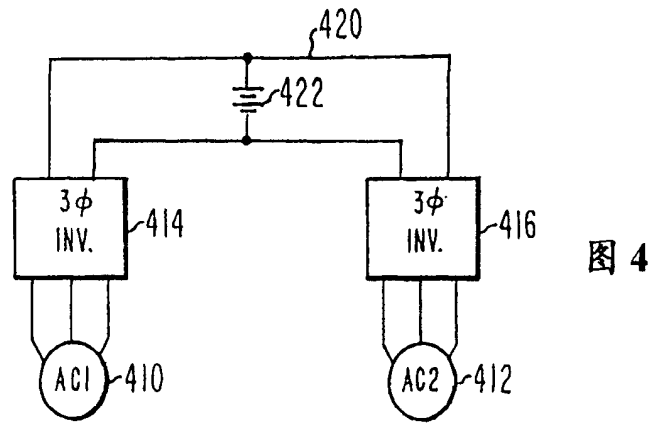


图 4

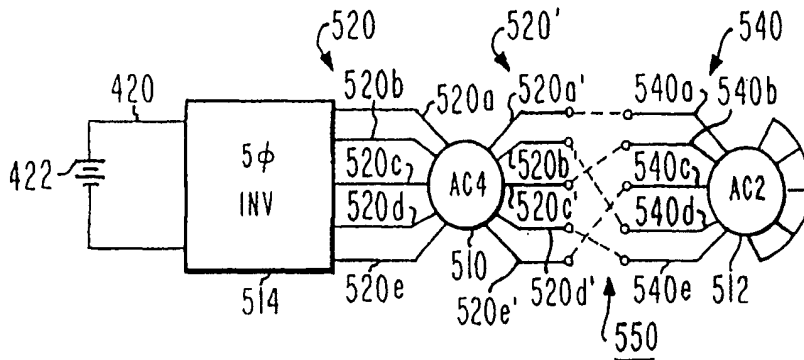


图 5a

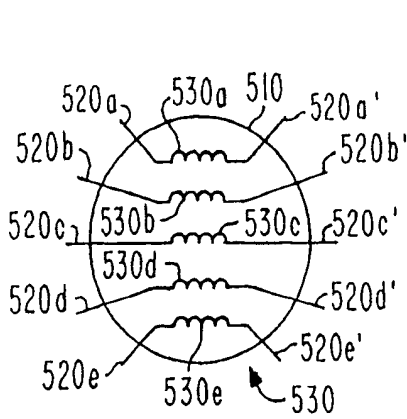


图 5b

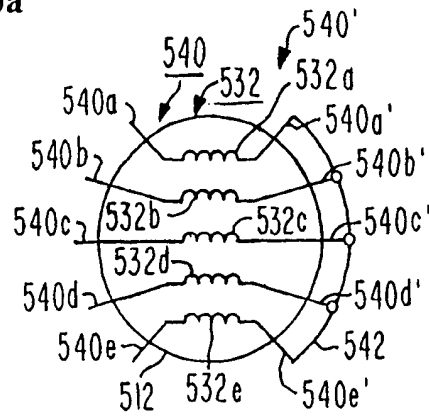


图 5c

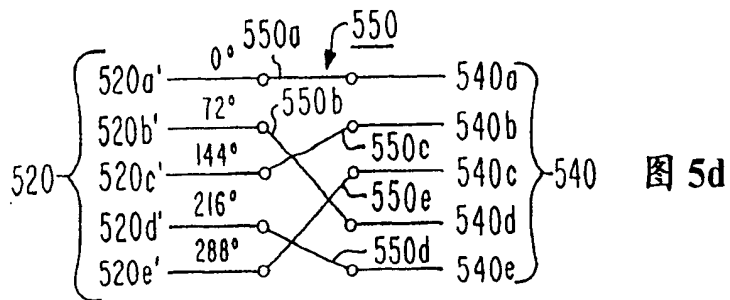


图 5d

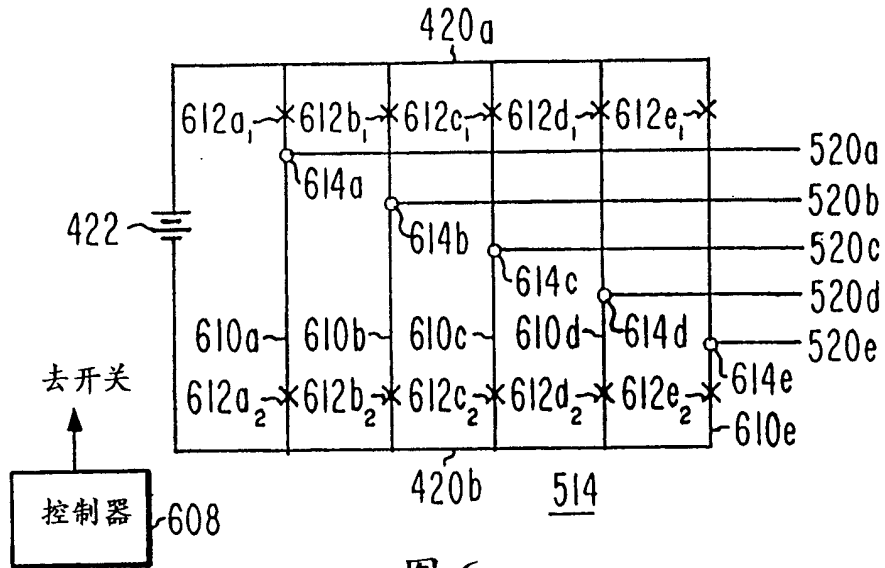


图 6

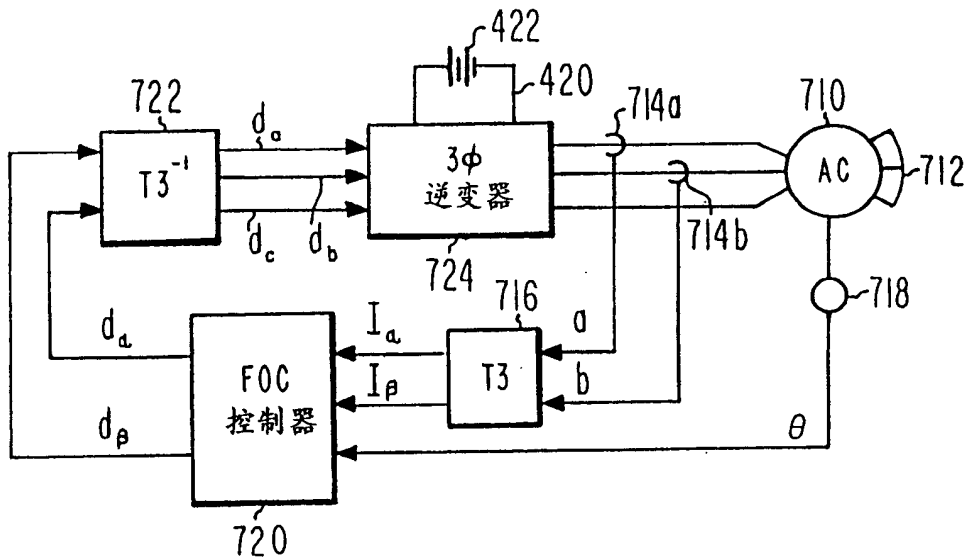


图 7

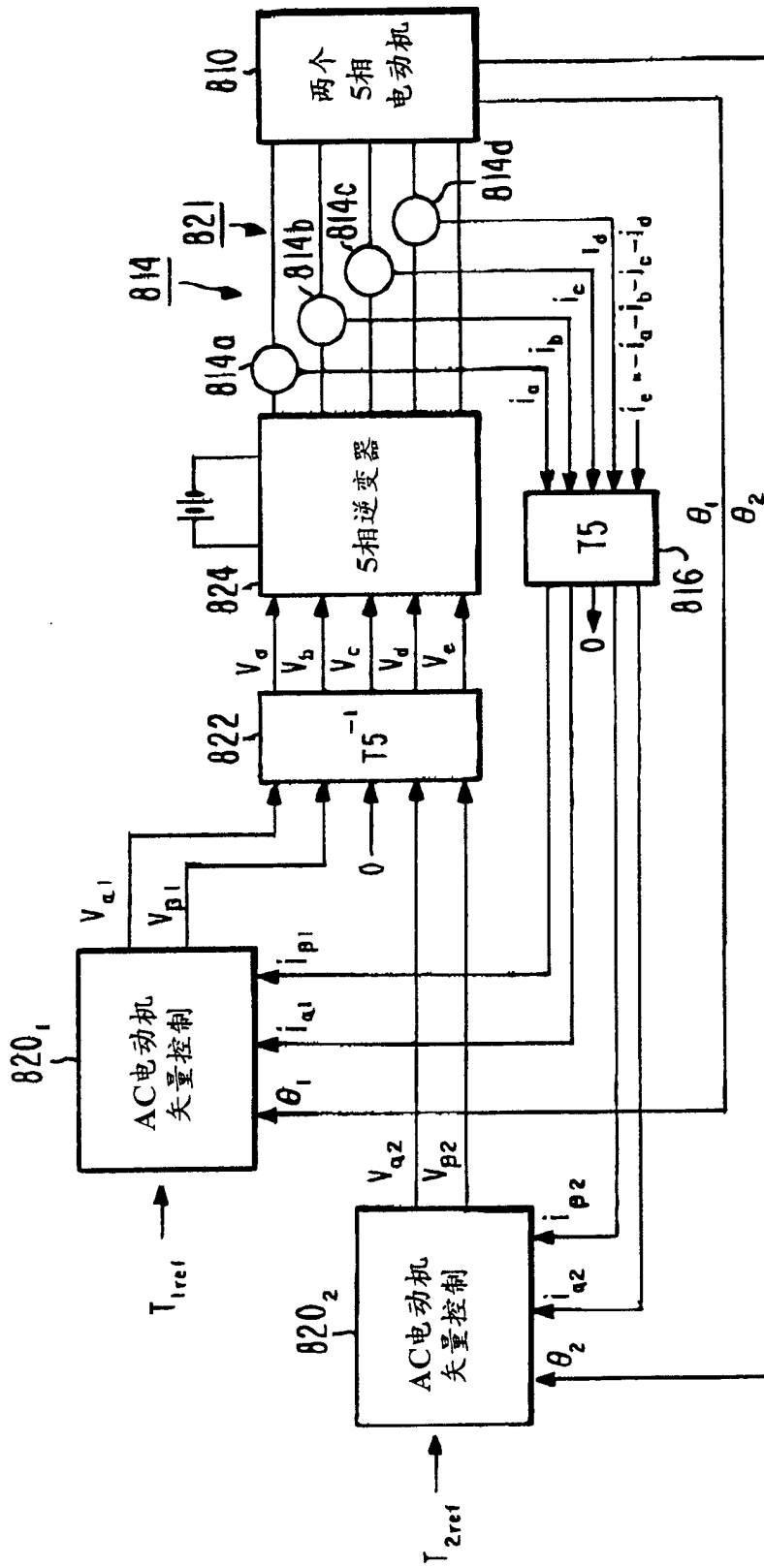


图 8

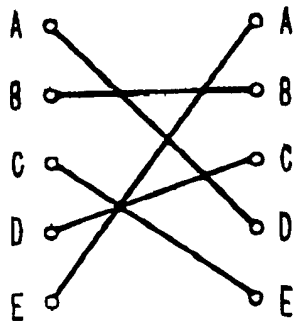


图 9a

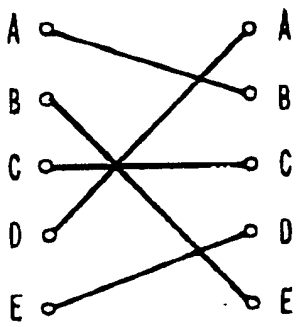


图 9b

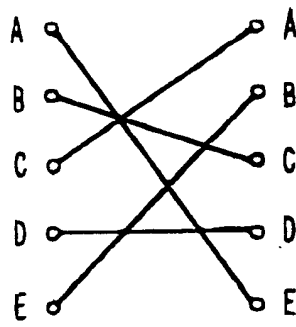


图 9c

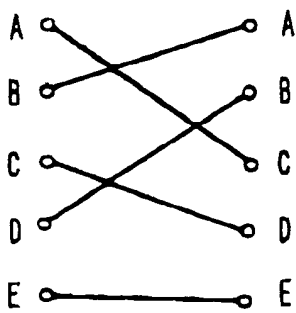


图 9d

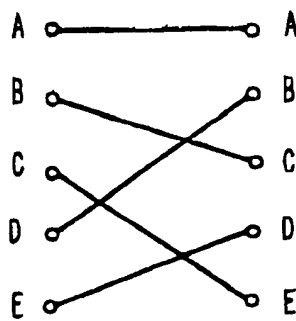


图 9e

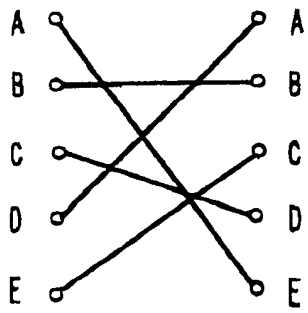


图 9f

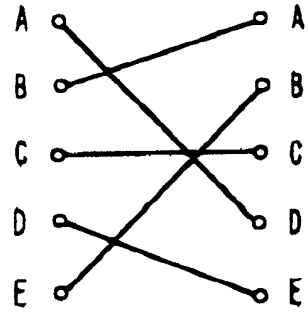


图 9g

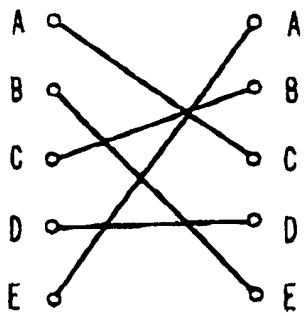


图 9h

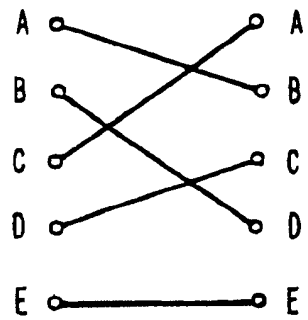


图 9i

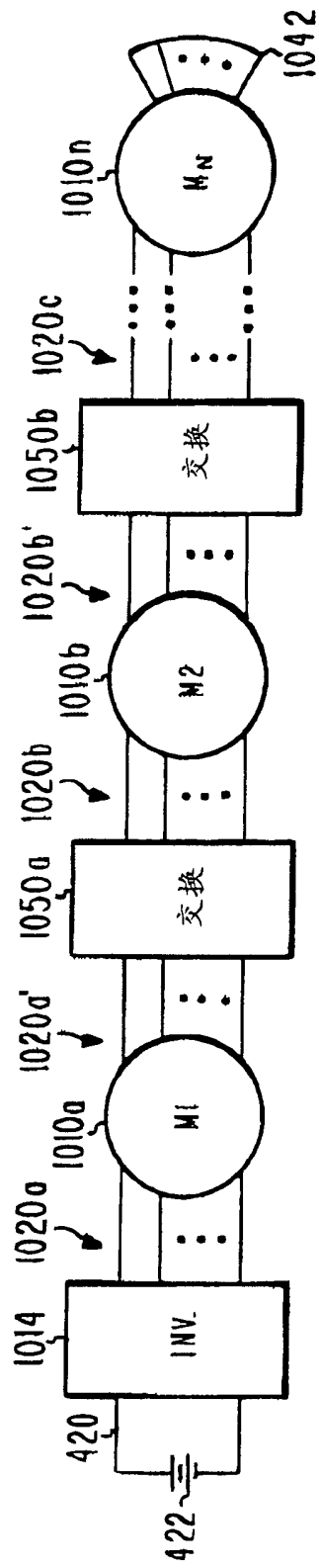


图 10