



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103403473 B

(45) 授权公告日 2015. 12. 16

(21) 申请号 201180066932. 0

(22) 申请日 2011. 02. 07

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2013. 08. 06

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2011/052480 2011. 02. 07

(87) PCT国际申请的公布数据
W02012/107987 JA 2012. 08. 16

(73) 专利权人 三菱电机株式会社
地址 日本国东京都

(72) 发明人 篠本洋介 畠山和德 楠部真作
松下真也

(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 楼高潮

(51) Int. Cl.

F25B 1/00(2006. 01)

F04B 49/10(2006. 01)

H02P 27/06(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101677223 A, 2010. 03. 24,

CN 1507145 A, 2004. 06. 23,

CN 1604455 A, 2005. 04. 06,

JP 昭 61-91445 A, 1986. 05. 09,

US 2003/0128009 A1, 2003. 07. 10,

审查员 郭静

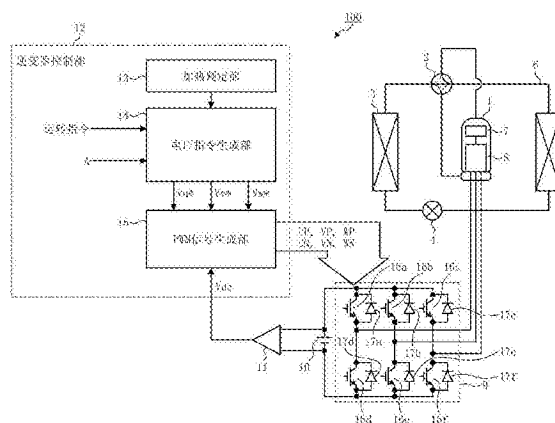
权利要求书3页 说明书11页 附图12页

(54) 发明名称

热泵装置、热泵系统和三相逆变器的控制方法

(57) 摘要

本发明的目的在于高效地加热滞留在压缩机内的制冷剂。逆变器控制部,通过生成与逆变器的各开关元件对应的6个驱动信号,并将所生成的各驱动信号输出到逆变器的对应的开关元件,使逆变器产生高频交流电压。特别是,逆变器控制部在生成上述驱动信号时,对构成各上述串联连接部中的1个的各开关元件的导通或断开状态进行切换,以从零矢量状态转移为上述零矢量以外的实矢量状态,对构成各上述串联连接部中的2个的各开关元件的导通或断开状态同时进行切换,以从上述实矢量状态转移为上述零矢量状态,其中上述零矢量状态为3个上述串联连接部的正电压侧和负电压侧中的一方的各上述开关元件全部导通、另一方的各上述开关元件全部断开的状态。



1. 一种热泵装置,其特征在于,包括:

压缩机,其具有对制冷剂进行压缩的压缩机构;

电动机,其使所述压缩机具有的所述压缩机构动作;

三相逆变器,其由串联连接部以 3 个并联连接而构成,该串联连接部分别包括正电压侧和负电压侧的 2 个开关元件;以及

逆变器控制部,其通过生成与所述三相逆变器的各开关元件对应的 6 个驱动信号,并将所生成的各驱动信号输出到所述三相逆变器的对应的开关元件,使所述三相逆变器产生高频交流电压,其中

所述逆变器控制部在生成所述驱动信号时,由 3 个所述串联连接部的正电压侧及负电压侧中一方的所述各开关元件全部为导通状态、另一方的所述各开关元件全部为断开状态的零矢量状态,对 3 个所述串联连接部中的 1 个的各开关元件的导通或断开状态进行切换,以变化为所述零矢量状态以外的实矢量状态,

再由实矢量状态,对 3 个所述串联连接部中的 2 个的各开关元件的导通或断开状态同时进行切换,以变化为所述零矢量状态。

2. 根据权利要求 1 所述的热泵装置,其特征在于:

所述逆变器控制部包括:

电压指令选择部,其与规定频率的基准信号同步地,将 3 个电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 分别依次切换为预先设定的 2 个值,并选择其中之一;以及

驱动信号生成部,其对所述电压指令选择部所选择的 3 个电压指令值和所述基准信号进行比较,生成与所述三相逆变器的各开关元件对应的 6 个驱动信号。

3. 根据权利要求 2 所述的热泵装置,其特征在于:

所述基准信号是相对时间的数值变化的峰顶和谷底能够被确定的信号,

所述电压指令选择部在所述基准信号的峰顶和谷底这 2 个定时,分别对所述 3 个电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 进行切换。

4. 根据权利要求 1 所述的热泵装置,其特征在于:

所述逆变器控制部,以使所述压缩机对制冷剂进行压缩的压缩运转模式和对所述压缩机进行加热的加热运转模式中的任一模式运转,在以所述压缩运转模式运转的情况下,使所述三相逆变器产生会使得所述电动机旋转的频率的交流电压,在以所述加热运转模式运转的情况下,使所述三相逆变器产生高于在所述压缩运转模式时产生的交流电压的频率且不会使所述电动机旋转的频率的所述高频交流电压。

5. 根据权利要求 4 所述的热泵装置,其特征在于:

所述热泵装置还包括电源部,其对所述三相逆变器施加电压,所述电源部在所述逆变器控制部以所述加热运转模式运转的情况下,对所述三相逆变器施加低于在所述逆变器控制部以所述压缩运转模式运转时的电压。

6. 根据权利要求 5 所述的热泵装置,其特征在于:

所述电源部包括:

三相四线式交流电源;

第一整流器,其以所述交流电源的三相交流输出为输入进行整流;

第二整流器,其以所述交流电源的任意一相与中性点之间的输出为输入进行整流;以

及

切换部,其进行切换,以使在所述逆变器控制部以所述压缩运转模式运转的情况下,对所述三相逆变器施加由所述第一整流器整流后的电压,在所述逆变器控制部以所述加热运转模式运转的情况下,对所述三相逆变器施加由所述第二整流器整流后的电压。

7. 根据权利要求 1 所述的热泵装置,其特征在于:

构成所述三相逆变器的开关元件是宽禁带半导体。

8. 根据权利要求 7 所述的热泵装置,其特征在于:

所述宽禁带半导体是 SiC、GaN 和金刚石中的任一种。

9. 根据权利要求 1 所述的热泵装置,其特征在于:

构成所述三相逆变器的开关元件是超级结构造的 MOSFET。

10. 一种热泵系统,包括:热泵装置,其具备用配管将具有对制冷剂进行压缩的压缩机构的压缩机、第一热交换器、膨胀机构和第二热交换器依次连接而成的制冷剂回路;以及流体利用装置,其对在与所述制冷剂回路连接的所述第一热交换器与制冷剂进行热交换的流体进行利用,所述热泵系统的特征在于:

所述热泵装置还包括:

电动机,其使所述压缩机具有的所述压缩机构动作;

三相逆变器,其由串联连接部以 3 个并联连接而构成,该串联连接部分别包括正电压侧和负电压侧的 2 个开关元件;以及

逆变器控制部,其通过生成与所述三相逆变器的各开关元件对应的 6 个驱动信号,并将所生成的各驱动信号输出到所述三相逆变器的对应的开关元件,使所述三相逆变器产生高频交流电压,其中

所述逆变器控制部在生成所述驱动信号时,由 3 个所述串联连接部的正电压侧及负电压侧中一方的所述各开关元件全部为导通状态、另一方的所述各开关元件全部为断开状态的零矢量状态,对 3 个所述串联连接部中的 1 个的各开关元件的导通或断开状态进行切换,以变化为所述零矢量状态以外的实矢量状态,

再由实矢量状态,对 3 个所述串联连接部中的 2 个的各开关元件的导通或断开状态同时进行切换,以变化为所述零矢量状态。

11. 一种三相逆变器的控制方法,用于对热泵装置中的所述三相逆变器进行控制,所述热泵装置包括:压缩机,其具有对制冷剂进行压缩的压缩机构;电动机,其使所述压缩机具有的所述压缩机构动作;所述三相逆变器,其由串联连接部以 3 个并联连接而构成,该串联连接部分别包括正电压侧和负电压侧的 2 个开关元件;以及

逆变器控制部,其通过生成与所述三相逆变器的各开关元件对应的 6 个驱动信号,并将所生成的各驱动信号输出到所述三相逆变器的对应的开关元件,使所述三相逆变器产生高频交流电压,所述三相逆变器的控制方法的特征在于包括:

所述逆变器控制部在生成所述驱动信号时,由 3 个所述串联连接部的正电压侧及负电压侧中一方的所述各开关元件全部为导通状态、另一方的所述各开关元件全部为断开状态的零矢量状态,对 3 个所述串联连接部中的 1 个的各开关元件的导通或断开状态进行切换,以变化为所述零矢量状态以外的实矢量状态的步骤,

再由实矢量状态,对 3 个所述串联连接部中的 2 个的各开关元件的导通或断开状态同

时进行切换,以变化为所述零矢量状态的步骤。

热泵装置、热泵系统和三相逆变器的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及热泵装置中使用的压缩机的加热方法。

背景技术

[0002] 在专利文献 1 中有如下记载：在制暖时的停止运转期间，对压缩机供给高频低电压。在专利文献 2 中有如下记载：在空调机的周围温度为低温状态的情况下，对压缩机供给与通常运转时相比频率较高的单相交流电压。

[0003] 在专利文献 1 和专利文献 2 中，与外部气温降低相应地对压缩机施加高频交流电压，由此对压缩机进行加热或保温，使压缩机内部的润滑作用顺利进行。

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献 1：日本实开昭 60-68341 号公报

[0006] 专利文献 2：日本特开昭 61-91445 号公报

发明内容

[0007] 在专利文献 1 中，关于高频低电压没有详细记载。因此，不清楚对压缩机供给怎样的高频低电压。

[0008] 在专利文献 2 中，记载有施加 25kHz 的高频单相交流电源。由于是高频单相交流电源，所以如专利文献 2 的图 3 所示那样，全部开关元件断开的全断开区间发生的时间比较长。在全断开区间中，高频电流不会通过续流二极管向电动机回流，而是往直流电源再生。因此，在全断开区间中，由于电流衰减较快且高频电流并非高效地流过电动机，所以导致压缩机的加热效率变差。

[0009] 本发明的目的在于高效地加热滞留在压缩机内的制冷剂。

[0010] 本发明涉及的热泵装置，其特征在于，包括：压缩机，其具有对制冷剂进行压缩的压缩机构；电动机，其使上述压缩机具有的上述压缩机构动作；三相逆变器，其由串联连接部以 3 个并联连接而构成，该串联连接部分别包括正电压侧和负电压侧的 2 个开关元件；以及逆变器控制部，其通过生成与上述三相逆变器的各开关元件对应的 6 个驱动信号，并将所生成的各驱动信号输出到上述三相逆变器的对应的开关元件，使上述三相逆变器产生高频交流电压，上述逆变器控制部在生成上述驱动信号时，对构成各上述串联连接部中的 1 个的各开关元件的导通或断开状态进行切换，以从零矢量状态转移为上述零矢量以外的实矢量状态，对构成各上述串联连接部中的 2 个的各开关元件的导通或断开状态同时进行切换，以从上述实矢量状态转移为上述零矢量状态，其中上述零矢量状态为 3 个上述串联连接部的上述正电压侧和上述负电压侧中的一方的各上述开关元件全部导通、另一方的各上述开关元件全部断开的状态。

[0011] 在本发明涉及的热泵装置中，由于对三相逆变器施加高频电压，所以能够利用电动机的铁损和因绕组中流过电流而产生的铜损高效地加热滞留在压缩机内的制冷剂。

[0012] 特别是，在本发明涉及的热泵装置中，从正电压侧的全部 3 个开关元件导通的状态

态,不会变成上述正电压侧的 3 个开关元件中的 2 个以上的开关元件同时断开,而是变成 1 个开关元件断开的状态。因此,能够使电流高效地流过电动机,其结果是能够高效地加热滞留在压缩机内的制冷剂。

附图说明

- [0013] 图 1 是表示实施方式 1 的热泵装置 100 的结构的图。
- [0014] 图 2 是表示 PWM 信号生成部 15 的输入输出波形的图。
- [0015] 图 3 是表示 8 种开关模式的图。
- [0016] 图 4 是表示逆变器控制部 12 的动作的流程图。
- [0017] 图 5 是在载波信号的峰顶(峰)和谷底(谷)的定时交替切换电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 的情况下的时序图。
- [0018] 图 6 是图 5 所示的电压矢量的变化的说明图。
- [0019] 图 7 是在以图 5 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下的输出电压和流过电动机 8 的电流的说明图。
- [0020] 图 8 是在载波信号的峰顶和谷底的定时交替切换电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 的情况下的与图 5 不同的时序图。
- [0021] 图 9 是在以图 8 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下的输出电压和流过电动机 8 的电流的说明图。
- [0022] 图 10 是表示逆变器 9 的电源部 30 的结构示例的图。
- [0023] 图 11 是实施方式 1 涉及的热泵装置 100 的回路结构图。
- [0024] 图 12 是关于图 11 所示的热泵装置 100 的制冷剂的状态的莫里尔(Mollier)图。
- [0025] [符号的说明]
- [0026] 1 压缩机;2 四通阀;3 热交换器;4 膨胀机构;5 热交换器;6 制冷剂配管;7 压缩机构;8 电动机;9 逆变器;10 直流电源;11 母线电压检测部;12 逆变器控制部;13 加热判定部;14 电压指令生成部;15 PWM 信号生成部;16 开关元件;17 二极管;30 电源部;31 交流电源;32 三相整流器;33 DCL;34 平滑电容器;35 ACL;36 单相整流器;37 平滑电容器;38 切换部;41 压缩机;42、47 热交换器;43、46、51 膨胀机构;44 接收器;45 内部热交换器;48 主制冷剂回路;49 四通阀;50 风扇;52 喷射回路;53 水回路;100 热泵装置。

具体实施方式

- [0027] 实施方式 1
- [0028] 图 1 是表示实施方式 1 的热泵装置 100 的结构的图。
- [0029] 热泵装置 100 具备通过制冷剂配管 6 将压缩机 1、四通阀 2、热交换器 3、膨胀机构 4、热交换器 5 依次连接而成的制冷循环。在压缩机 1 的内部设置有对制冷剂进行压缩的压缩机构 7 和使压缩机构 7 动作的电动机 8。
- [0030] 此外,对电动机 8 供给电压将其驱动的逆变器 9 与电动机 8 电连接。在逆变器 9 的直流电源 10 设置有母线电压检测部 11,用于检测作为直流电源 10 的电压的母线电压。逆变器 9 的控制输入端与逆变器控制部 12 连接。逆变器控制部 12 具备加热判定部 13、电压指令生成部 14 (电压指令选择部)、PWM 信号生成部 15 (驱动信号生成部)。

[0031] 逆变器 9 是将 2 个开关元件 (16a 和 16d、16b 和 16e、16c 和 16f) 的串联连接电路以三相并联连接而成的三相逆变器。逆变器 9 根据从逆变器控制部 12 传送的 PWM 信号 UP、VP、WP、UN、VN、WN (驱动信号), 对分别对应的开关元件 (UP 对应 16a, VP 对应 16b, WP 对应 16c, UN 对应 16d, VN 对应 16e, WN 对应 16f) 进行驱动。

[0032] 在加热判定部 13 判断为是液体制冷剂滞留在压缩机 1 内的状态 (制冷剂处于静止状态) 的情况下, 逆变器控制部 12 通过电压指令生成部 14 求取对电动机 8 施加的电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 。然后, 基于电压指令生成部 14 求出的电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* , 由 PWM 信号生成部 15 生成 PWM 信号。

[0033] 对 PWM 信号生成部 15 的 PWM 信号的基本生成方法进行说明。

[0034] 图 2 是表示 PWM 信号生成部 15 的输入输出波形的图。

[0035] 例如如式 (1) ~ 式 (3) 所示那样将电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 定义为相位各相差 $2\pi/3$ 的正弦波。其中, θ 是电压指令值的相位 (运转指令的一个示例), A 是电压指令值的振幅。

[0036] (1) $V_u^* = A \cos \theta$

[0037] (2) $V_v^* = A \cos (\theta - (2/3)\pi)$

[0038] (3) $V_w^* = A \cos (\theta + (2/3)\pi)$

[0039] 电压指令生成部 14 基于电压相位指令 θ 和振幅 A , 根据式 (1) ~ 式 (3) 计算电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* , 并将计算出的电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 输出到 PWM 信号生成部 15。PWM 信号生成部 15 将电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 与规定频率且振幅为 $V_{dc}/2$ 的载波信号 (基准信号) 进行比较, 基于相互的大小关系生成 PWM 信号 UP、VP、WP、UN、VN、WN。此外, V_{dc} 是由母线电压检测部 11 检测到的母线电压。

[0040] 例如在电压指令值 V_u^* 比载波信号大的情况下, UP 输出使开关元件 16a 导通的电压, UN 输出使开关元件 16d 断开的电压。此外, 在电压指令值 V_u^* 比载波信号小的情况下则相反, UP 输出使开关元件 16a 断开的电压, UN 输出使开关元件 16d 导通的电压。关于其它信号也同样如此, 通过比较电压指令值 V_v^* 与载波信号来决定 VP、VN, 通过比较电压指令值 V_w^* 与载波信号来决定 WP、WN。

[0041] 在通常的逆变器的情况下, 由于采用互补 PWM 方式, 所以 UP 与 UN、VP 与 VN、WP 与 WN 成为相互相反的关系。因此, 开关模式全部为 8 种, 通过组合 8 种开关模式, 使逆变器输出电压。

[0042] 图 3 是表示 8 种开关模式的图。此外, 在图 3 中对在各开关模式中产生的电压矢量标注 $V_0 \sim V_7$ 的符号。此外, 用 $\pm U$ 、 $\pm V$ 、 $\pm W$ (不产生电压的情况下为 0) 表示各电压矢量的电压方向。这里, $+U$ 是指使通过 U 相流入电动机 8 且通过 V 相和 W 相从电动机 8 流出的 U 相方向的电流产生的电压, $-U$ 是指使通过 V 相和 W 相流入电动机 8 且通过 U 相从电动机 8 流出的 $-U$ 相方向的电流产生的电压。关于 $\pm V$ 、 $\pm W$ 也是同样的解释。

[0043] 通过组合图 3 所示的开关模式输出电压矢量, 能够使逆变器 9 输出所期望的电压。此时, 通过使相位 θ 高速地变化, 并且将定义电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 的调制波 (图 2 中的 3 个正弦波) 的频率提高, 能够输出高频电压。

[0044] 此外, 将不产生电压的电压矢量 V_0 、 V_7 称为零矢量, 将其它电压矢量称为实矢量。

[0045] 除式 (1) ~ 式 (3) 以外, 也可以通过两相调制、三次谐波叠加调制、空间矢量调制

等求得电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 。

[0046] 接着,对逆变器控制部 12 的动作进行说明。

[0047] 图 4 是表示逆变器控制部 12 的动作用的流程图。

[0048] (S1:加热判断步骤)

[0049] 在压缩机 1 的运转停止期间,加热判定部 13 根据制冷剂是否滞留在压缩机 1 内,来判断是否使电压指令生成部 14 动作。

[0050] 在加热判定部 13 因制冷剂滞留在压缩机 1 内而判断为使电压指令生成部 14 动作的情况下(S1 为“是”),使处理前进至 S2,转换为产生预热用的 PWM 信号的加热运转模式。

[0051] 另一方面,在加热判定部 13 因制冷剂未滞留在压缩机 1 内而判断为不使电压指令生成部 14 动作的情况下(S1 为“否”),在经过规定时间之后,加热判定部 13 再次判断是否使电压指令生成部 14 动作。

[0052] (S2:电压指令值生成步骤)

[0053] 电压指令生成部 14 基于电压相位指令 θ 和振幅 A,根据式(1)~式(3)计算电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* ,并将计算出的电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 输出到 PWM 信号生成部 15。

[0054] (S3:PWM 信号生成步骤)

[0055] PWM 信号生成部 15 将由电压指令生成部 14 输出的电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 与载波信号进行比较,得到 PWM 信号 UP、VP、WP、UN、VN、WN,输出到逆变器 9。由此,驱动逆变器 9 的开关元件 16a ~ 16f,对电动机 8 施加高频电压。

[0056] 通过对电动机 8 施加高频电压,利用电动机 8 的铁损和因绕组中流过电流而产生的铜损高效地加热电动机 8。通过加热电动机 8,将滞留在压缩机 1 内的液体制冷剂加热而使其气化,向压缩机 1 的外部排出。

[0057] 经过规定时间后,加热判定部 13 再次返回 S1 判断是否需要进一步加热。

[0058] 此外,如果对电动机 8 施加压缩动作时(压缩运转模式)的运转频率以上的高频电压,则电动机 8 内的转子跟不上频率,不产生旋转或振动。一般而言,压缩动作时的运转频率最高是 1kHz。因此,对电动机 8 施加 1kHz 以上的高频电压即可。而且,如果对电动机 8 施加 14kHz 以上的高频电压,则电动机 8 的铁芯的振动声大致接近可听声频率的上限,因此在降低噪音方面也具有效果。

[0059] 这里,在通常的逆变器的情况下,作为载波信号频率的载波频率由逆变器的开关元件的切换速率决定上限。因此,难以输出载波频率以上的高频电压。此外,在通常的 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor,绝缘栅双极型晶体管)的情况下,切换速率的上限是 20kHz 左右。

[0060] 此外,如果定义电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 的调制波的频率达到载波频率的 1/10 左右,则存在带来高频电压的波形输出精度劣化、直流分量叠加等不好影响的可能性。考虑到这一点,在使载波频率为 20kHz 的情况下,如果使调制波的频率为载波频率的 1/10 即 2kHz 以下,则高频电压的频率为可听声频率区域,可能导致噪音恶化。

[0061] 因此,在加热运转模式中,电压指令生成部 14 不通过基于图 4 说明的方法计算电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* ,而是与载波信号同步地将电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 交替切换为 Hi (这里是 +A) 和 Lo (这里是 -A)。

[0062] 图 5 是在载波信号的峰顶(峰)和谷底(谷)的定时交替切换电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、

Vw* 的情况下的时序图。此外,在图 5 中,在从载波信号的谷底到峰顶的区间(以下称为前半部分),设电压指令值 V_u^* 为 Lo,设电压指令值 V_v^* 、 V_w^* 为 Hi,在从载波信号的峰顶到谷底的区间(以下称为后半部分),设电压指令值 V_u^* 为 Hi,设电压指令值 V_v^* 、 V_w^* 为 Lo。此外,UP 与 UN、VP 与 VN、WP 与 WN,分别为相反的导通 / 断开状态,如果知道一方的状态,则也知道另一方的状态,所以这里仅示出 UP、VP、WP。

[0063] 如果将图 5 所示的电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 与载波信号进行比较,则 PWM 信号如图 5 所示那样变化。而且,电压矢量按 V_0 (UP=VP=WP=0)、 V_4 (UP=1, VP=WP=0)、 V_7 (UP=VP=WP=1)、 V_3 (UP=0, VP=WP=1)、 V_0 (UP=VP=WP=0)、...的顺序变化。

[0064] 图 6 是图 5 所示的电压矢量的变化的说明图。此外,在图 6 中表示被虚线包围的开关元件 16 导通,未被虚线包围的开关元件 16 断开的状态。

[0065] 如图 6 所示, V_0 矢量、 V_7 矢量施加时电动机 8 的线间成为短路状态,不输出电压。在这种情况下,电动机 8 的电感中积蓄的能量形成电流,在短路电路中流过。也就是说,通过与逆变器 9 的开关元件 16a ~ 16f 反向并联连接的二极管 17,使在电动机 8 与逆变器 9 中循环的回流电流流过。此外,在 V_4 矢量施加时,通过 U 相流入电动机 8 且通过 V 相和 W 相从电动机 8 流出的 U 相方向的电流(+ I_u 的电流)流过,在 V_3 矢量施加时,通过 V 相和 W 相流入电动机 8 且通过 U 相从电动机 8 流出的 -U 相方向的电流(- I_u 的电流)在电动机 8 的绕组中流过。也就是说,在 V_4 矢量施加时和 V_3 矢量施加时,在电动机 8 的绕组中流过相反方向的电流。而且,由于电压矢量按 V_0 、 V_4 、 V_7 、 V_3 、 V_0 、...的顺序变化,所以 + I_u 的电流和 - I_u 的电流交替在电动机 8 的绕组中流过。特别是,如图 5 所示,由于 V_4 矢量和 V_3 矢量在 1 个载波周期($1/f_c$)的期间内出现,所以能够对电动机 8 的绕组施加与载波频率 f_c 同步的交流电压。

[0066] 此外,由于交替输出 V_4 矢量(+ I_u 的电流)和 V_3 矢量(- I_u 的电流),所以正反转转矩瞬间转换。因此,通过转矩相抵,能够施加抑制转子振动的电压。

[0067] 图 7 是在以图 5 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下的输出电压和流过电动机 8 的电流的说明图。

[0068] 如图 7 所示,流过电动机 8 的电流在电压矢量 V_4 时增加,在电压矢量 V_3 时减少。此外,在作为零矢量的电压矢量 V_0 、 V_7 时,如上所述那样,通过与逆变器 9 的开关元件 16a ~ 16f 反向并联连接的二极管 17,使在电动机 8 与逆变器 9 中循环的回流电流流过。

[0069] 此外,如果使开关元件全部断开,则上述回流电流无法流过,电流仅流过反向并联连接的二极管,而成为电流流入直流电源 10 的再生模式。由于直流电源 10 通常由蓄积电荷的电容器构成,所以在再生模式的情况下,流过电动机 8 的电流急剧衰减。因此,需要延长使开关元件 16a ~ 16f 导通的时间。在开关元件 16a ~ 16f 中利用导通电压(阈值电压)比二极管高的 IGBT 等的情况下,如果延长使开关元件 16a ~ 16f 导通的时间,则因电流流动而产生的流动损耗等会增加。

[0070] 在实施方式 1 涉及的热泵装置 100 中,不使开关元件全部断开,通过利用所谓零矢量的电流在电动机 8 中回流的状态,能够高效地加热滞留在压缩机内的制冷剂。

[0071] 图 8 是在载波信号的峰顶和谷底的定时交替切换电压指令值 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* 的情况下的与图 5 不同的时序图。图 5 与图 8 的不同之处在于,载波信号的相位与电压指令(V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^*)的相位的关系反转。也就是说,在图 8 中,在载波信号的前半部分,设电压指令值

V_{u*} 为 H_i , 设电压指令值 V_{v*} 、 V_{w*} 为 L_o , 在载波信号的后半部分, 设电压指令值 V_{u*} 为 L_o , 设电压指令值 V_{v*} 、 V_{w*} 为 H_i 。

[0072] 如果将图 8 所示的电压指令值 V_{u*} 、 V_{v*} 、 V_{w*} 与载波信号进行比较, 则 PWM 信号如图 8 所示那样变化。而且, 电压矢量按 V_0 ($UP=VP=WP=0$)、 V_3 ($UP=0$, $VP=WP=1$)、 V_7 ($UP=VP=WP=1$)、 V_4 ($UP=1$, $VP=WP=0$)、 V_0 ($UP=VP=WP=0$)、... 的顺序变化。

[0073] 也就是说, 在图 5 中, 图 6 所示的电压矢量从 V_0 起沿顺时针方向变化。与此相对, 在图 8 中, 图 6 所示的电压矢量从 V_0 起沿反时针方向变化。

[0074] 图 9 是在以图 8 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下的输出电压和流过电动机 8 的电流的说明图。此外, 在图 9 中, 虚线表示图 7 所示 (即以图 5 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下) 的输出电压和流过电动机 8 的电流。

[0075] 如图 9 所示, 电流在作为实矢量的电压矢量 V_3 、 V_4 反转生成交流的高频电流。但是, 在图 8 所示的相位关系的情况下, 与图 5 所示的相位关系的情况相比, 发生输出电压的上升延迟、输出电压相对于电压指令值 V_{u*} 、 V_{v*} 、 V_{w*} 降低的现象。其结果是, 流过电动机 8 的电流的极性变化延迟, 流过电动机 8 的电流与以图 5 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况相比变少 (参照虚线)。

[0076] 因此, 在以图 8 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下, 与以图 5 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况相比, 对电动机 8 进行预热的电力变小, 尽管是相同的电压指令值 V_{u*} 、 V_{v*} 、 V_{w*} , 预热量也会减少。

[0077] 对在以图 8 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下输出电压的上升延迟的理由进行说明。

[0078] 在以图 8 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下, 电压矢量按 V_0 、 V_3 、 V_7 、 V_4 、 V_0 、... 的顺序变化。在该电压矢量的轨迹中, 在从 V_0 变化到 V_3 的情况和从 V_7 变化到 V_4 的情况下, 产生正电压侧或负电压侧的两个相的开关元件同时变化的两相开关 (参照图 6)。也就是说, 在从零矢量变化到实矢量的情况下, 产生两相开关。

[0079] 在以图 5 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下也产生两相开关。但是, 在以图 5 所示的 PWM 信号使逆变器 9 动作的情况下, 电压矢量按 V_0 、 V_4 、 V_7 、 V_3 、 V_0 、... 的顺序变化。因此, 产生两相开关的是从 V_4 变化到 V_7 的情况和从 V_3 变化到 V_0 的情况 (参照图 6)。也就是说, 在从实矢量变化到零矢量的情况下, 产生两相开关。

[0080] 在产生两相开关的情况下, 分别由开关元件 16 构成的桥臂, 两个同时变化。例如在从 V_0 变化到 V_3 的情况下, $VP=WP=0$ 变化为 $VP=WP=1$ 。即, 开关元件 16e、16f 从导通变成断开, 开关元件 16b、16c 从断开变成导通。

[0081] 零矢量输出时, 由于电流的变化仅是由电动机 8 的阻抗消耗引起的衰减, 所以表示单位时间的电流变化大小的电流时间变化率 di/dt 较小。另一方面, 实矢量输出时, 使电流的极性变化, 电流时间变化率 di/dt 较大。

[0082] 这里, 如果产生两相开关, 则存在电流时间变化率 di/dt 变小的情况。

[0083] 在从实矢量变化为零矢量的情况下, 电流时间变化率 di/dt 从较大的状态变化为较小的状态。在这种情况下, 即使产生两相开关, 电流时间变化率 di/dt 变小, 也由于原本就是电流时间变化率 di/dt 要变化为较小的状态的情况, 所以影响较小。但是, 从零矢量变化为实矢量的情况, 是电流时间变化率 di/dt 从较小状态变化为较大状态的情况。在这

种情况下,如果产生两相开关,电流时间变化率 di/dt 变小,则尽管想要使电流时间变化率 di/dt 变化为较大的状态,也由于电流时间变化率 di/dt 变小,所以影响较大。也就是说,尽管想要使电流变化为使其变大的状态,也由于不再能使电流变大,所以在其影响下,电动机 8 电流极性的变化延迟。

[0084] 因此,在从零矢量变化为实矢量的情况下,如果产生两相开关,则流过电动机 8 的电流的极性变化延迟。

[0085] 此外,由于施加高频电压,从而电动机 8 的电感分量变大、绕组阻抗增高,所以流过绕组的电流减少,流过逆变器 9 的电流也减少。这里,在产生两相开关的情况下,流过电动机 8 且分流到两个开关元件流动的电流同时切断,换向流向反向并联连接的二极管 17。然而,如上所述,由于流过逆变器 9 的电流较少,所以在断开开关元件 16 时产生电流拖尾,需要一些时间电流才会成为 0。因此,如果产生两相开关,则输出电压的上升延迟,导致流过电动机 8 的电流的极性变化延迟。

[0086] 因此,在从零矢量变化为实矢量的情况下,电压指令生成部 14 不生成使两相开关产生的电压指令值,仅在从实矢量变化为零矢量的情况下,生成使两相开关产生的电压指令值。

[0087] 由此,能够顺畅地进行由开关元件 16 的导通 / 断开切换引起的电流的换向。其结果是,能够抑制输出电压的上升延迟,能够按电压指令值得到输出电压,确保预热量。

[0088] 此外,对于逆变器 9,通常设定被称为 T_d 的上下臂短路防止时间。在 T_d 期间,开关元件全部断开,回流电流流动。因此,在 T_d 期间,电流衰减比零矢量时快,容易产生基于图 9 所说明的输出电压失真。因此,在使用具有 T_d 的逆变器的情况下,在从零矢量变化为实矢量时,由不生成使两相开关产生的电压指令值带来的效果显著。

[0089] 如上所述,实施方式 1 涉及的热泵装置 100,通过对电动机 8 施加高频电压,能够利用电动机的铁损和因绕组中流过电流而产生的铜损高效地加热滞留在压缩机内的制冷剂。特别是,由于在从零矢量变化为实矢量的情况下禁止生成使两相开关产生的电压指令值,所以能够使电流在电动机中高效地流动,其结果是能够高效地加热滞留在压缩机内的制冷剂。

[0090] 此外,由于对电动机 8 施加高频电压,所以不会产生旋转转矩或振动。

[0091] 此外,近年来在热泵装置用的压缩机的电动机中,为了高效率化,而广泛使用 IPM (Interior Permanent Magnet : 内置式永磁) 构造的电动机或线圈端较小且绕组电阻较低的集中绕组电动机。集中绕组电动机的绕组电阻较小且因铜损而产生的发热量较少,所以需要在绕组中流过大量电流。如果在绕组中流过大量电流,则流过逆变器 9 的电流也增多,逆变器损耗增大。

[0092] 因此,如果通过施加上述高频电压进行加热,则由高频产生的电感分量增大,绕组阻抗增高。因此,虽然流过绕组的电流变小且铜损减少,但是由于相应地产生因施加高频电压引起的铁损,而能够有效地进行加热。进而,由于流过绕组的电流变小,所以流过逆变器的电流也变小,逆变器 9 的损耗也能够降低,而能够更高效地进行加热。

[0093] 此外,如果通过施加上述高频电压进行加热,则在压缩机是 IPM 构造的电动机的情况下,高频磁通交链的转子表面也成为发热部分。因此,实现制冷剂接触面增加、以及对压缩机构的迅速加热,所以能够高效地进行制冷剂的加热。

[0094] 此外,也可以使加热模式中的直流电压比压缩运转模式中的直流电压低。由此,能够降低由高频引起的切换损耗。

[0095] 图 10 是表示逆变器 9 的电源部 30 的结构示例的图。此外,在图 1 中,将电源部 30 表示为直流电源 10。

[0096] 电源部 30 包括:三相四线式交流电源 31;对交流电源 31 的三相交流输出进行整流的三相整流器 32(第一整流器);DCL33;使三相整流器 32 的输出平滑的平滑电容器 34;ACL35;以交流电源 31 的任意一相与中性点之间的输出为输入进行整流的单相整流器 36(第二整流器);使单相整流器 36 的输出平滑的平滑电容器 37;以及选择平滑电容器 34 和平滑电容器 37 其中之一,并将选择的一方的电压输出至逆变器 9 的切换部 38。

[0097] 由于交流电源 31 是三相四线式,所以平滑电容器 34 和平滑电容器 37 的两端电压不同。平滑电容器 37 的两端电压是平滑电容器 34 的两端电压的 $1/\sqrt{3}$ 倍。

[0098] 在压缩运转模式中,使用平滑电容器 34 的两端电压驱动逆变器 9。然而,在加热运转模式中,如果使用平滑电容器 34 的两端电压驱动逆变器 9,则高频化会导致因电动机 8 的电感分量而使得电流减少,从而因电流流动引起的导通损耗降低,然而切换损耗本身会增加。此外,切换损耗取决于逆变器 9 的输入电压。

[0099] 因此,在加热运转模式中,不使用平滑电容器 34 的两端电压,而是使用平滑电容器 37 的两端电压驱动逆变器 9。也就是说,对切换部 38 进行切换,使得在压缩运转模式中从平滑电容器 34 向逆变器 9 输出电压,而在加热运转模式中从平滑电容器 37 向逆变器 9 输出电压。如上所述,平滑电容器 37 的两端电压是平滑电容器 34 的两端电压的 $1/\sqrt{3}$ 倍,因此,能够使加热运转模式时的逆变器 9 的输入电压低于压缩运转模式时的电压,能够减少切换损耗。

[0100] 由此,能够减少加热运转模式时的逆变器 9 的切换损耗,能够提高逆变器 9 的效率,减少消耗电力。此外,由于电压降低,所以也能够降低切换噪声,廉价地实现噪声对策。

[0101] 当然,也可以不采用基于图 10 所说明的方法,而是通过其它方法使加热运转模式时的直流电压低于压缩运转模式时的电压。

[0102] 此外,构成逆变器 9 的开关元件 16a ~ 16f 和与其并联连接的二极管 17a ~ 17f,现在一般而言使用以硅(Si)为材料的半导体是主流。然而,也可以取而代之,使用以碳化硅(SiC)、氮化镓(GaN)、金刚石为材料的宽禁带半导体。

[0103] 由这样的宽禁带半导体形成的开关元件和二极管元件,耐电压性高,且容许电流密度也高。因此,开关元件和二极管元件能够小型化,通过使用这些小型化的开关元件和二极管元件,能够使组装了这些元件的半导体模块小型化。

[0104] 此外,由这样的宽禁带半导体形成的开关元件和二极管元件耐热性也高。因此,能够使散热器的散热片小型化,能够进行水冷部的空气冷却,所以能够使半导体模块进一步小型化。

[0105] 进而,由这样的宽禁带半导体形成的开关元件和二极管元件的电力损耗低。因此,能够使开关元件和二极管元件高效率化,进而能够使半导体模块高效率化。

[0106] 此外,虽然理想的是开关元件 16a ~ 16f 和二极管 17a ~ 17f 双方都由宽禁带半导体形成,但是也可以任一方的元件由宽禁带半导体形成。

[0107] 此外,还可以仅仅是上侧开关元件 16a ~ 16c 或下侧开关元件 16d ~ 16f 由宽禁

带半导体构成。在这种情况下,通过将作为零矢量的电压矢量配给由宽禁带半导体构成的一侧,能够减少因电流流动而产生的流动损耗。

[0108] 此外,还可以仅仅是与开关元件 16a ~ 16f 反向并联连接的二极管 17 由宽禁带半导体构成。这是由于回流电流仅流过电动机 8 的阻抗。特别是,在使得回流电流流动的时间变长的、电压指令值较低的情况下效果大。

[0109] 此外,在使用宽禁带半导体的情况下,由于耐热性提高,所以在加热运转模式中施加高频电压时,也可以使进行空气冷却的风扇电动机停止。特别是,由于在电动机 8 停止运转时进行用于防止制冷剂滞留在压缩机 1 内的预热通电,所以能够使运转停止时(运转待机时)的消耗电力进一步削减掉用来驱动风扇电动机的电力。由此,能够实现待机电力的进一步削减。

[0110] 此外,使用作为高效率的开关元件公知的超级构造的 MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor,金属氧化物半导体场效应晶体管),也能够得到同样的效果。

[0111] 此外,涡旋机构的压缩机中,压缩室的高压释放难以进行。因此,与其他方式的压缩机相比,在液体压缩的情况下对压缩机构施加过大的压力而发生破损的可能性较高。然而,在实施方式 1 的热泵装置 100 中,由于能够对压缩机 1 进行高效率的加热,而能够抑制压缩机 1 内的液体制冷剂的滞留。因此,能够防止液体压缩,所以在使用涡旋式压缩机作为压缩机 1 的情况下也是有效的。

[0112] 进而,还存在频率 10kHz、输出超过 50W 的加热设备受到法令限制的情况。因此,可以事先调整电压指令值的振幅以使输出不超过 50W,或者检测流过的电流或电压,进行反馈控制以使输出在 50W 以下。

[0113] 此外,逆变器控制部 12 由 CPU (Central Processing Unit,中央处理单元)或 DSP (Digital Signal Processor,数字信号处理器)、微型计算机(microcomputer)、电子电路等构成。

[0114] 接着,对热泵装置 100 的回路结构的一个示例进行说明。

[0115] 此外,例如在图 1 中,示出了通过配管将压缩机 1、四通阀 2、热交换器 3、膨胀机构 4、热交换器 5 依次连接而成的热泵装置 100。这里,对热泵装置 100 的更具体的结构进行说明。

[0116] 图 11 是实施方式 1 涉及的热泵装置 100 的回路结构图。

[0117] 图 12 是关于图 11 所示的热泵装置 100 的制冷剂的状态的莫里尔(Mollier)图。在图 12 中,横轴表示比焓,纵轴表示制冷剂压力。

[0118] 热泵装置 100 具备通过配管将压缩机 41、热交换器 42、膨胀机构 43、接收器 44、内部热交换器 45、膨胀机构 46 和热交换器 47 依次连接而成的、使制冷剂循环的主制冷剂回路 48。此外,在主制冷剂回路 48 中,在压缩机 41 的排出侧设置有四通阀 49,能够切换制冷剂的循环方向。此外,在热交换器 47 的附近,设置有风扇 50。此外,压缩机 41 是上述实施方式中进行了说明的压缩机 1,是具有由逆变器 9 驱动的电动机 8 和压缩机构 7 的压缩机。

[0119] 进而,热泵装置 100 具备通过配管从接收器 44 和内部热交换器 45 之间连接到压缩机 41 的喷射管而成的喷射回路 52。在喷射回路 52 中,膨胀机构 51、内部热交换器 45 依次连接。

[0120] 水在其中循环的水回路 53 与热交换器 42 连接。此外,热水器、暖气片或地板供暖等散热器等利用水的装置与水回路 53 连接。

[0121] 首先,对热泵装置 100 的制暖运转时的动作进行说明。在制暖运转时,四通阀 49 沿实线方向设定。此外,该制暖运转不仅是指用于空调的制暖,而且还包含对水提供热来生成热水的供给热水。

[0122] 在压缩机 41 成为高温高压的气相制冷剂(图 12 的点 1),从压缩机 41 排出,在作为冷凝器且作为散热器的热交换器 42 进行热交换而液化(图 12 的点 2)。此时,利用从制冷剂散发的热,将在水回路 53 中循环的水加热,用于制暖和供给热水。

[0123] 在热交换器 42 液化的液相制冷剂,在膨胀机构 43 被减压,成为气液两相状态(图 12 的点 3)。在膨胀机构 43 成为气液两相状态的制冷剂,在接收器 44 与被吸入至压缩机 41 的制冷剂进行热交换,被冷却后液化(图 12 的点 4)。在接收器 44 液化的液相制冷剂,分岔流向主制冷剂回路 48 和喷射回路 52。

[0124] 在主制冷剂回路 48 中流动的液相制冷剂,在内部热交换器 45 与在膨胀机构 51 被减压而成为气液两相状态的在喷射回路 52 中流动的制冷剂进行热交换,进一步被冷却(图 12 的点 5)。在内部热交换器 45 冷却后的液相制冷剂,在膨胀机构 46 被减压而成为气液两相状态(图 12 的点 6)。在膨胀机构 46 成为气液两相状态的制冷剂,在作为蒸发器的热交换器 47 与外部空气进行热交换,被加热(图 12 的点 7)。然后,在热交换器 47 被加热的制冷剂,在接收器 44 进一步被加热(图 12 的点 8),被吸入压缩机 41。

[0125] 另一方面,在喷射回路 52 中流动的制冷剂,如上所述,在膨胀机构 51 被减压(图 12 的点 9)后,在内部热交换器 45 进行热交换(图 12 的点 10)。在内部热交换器 45 进行了热交换的气液两相状态的制冷剂(喷射制冷剂),维持气液两相状态不变,从压缩机 41 的喷射管流入压缩机 41 内。

[0126] 在压缩机 41,从主制冷剂回路 48 被吸入的制冷剂(图 12 的点 8),被压缩至中间压力并被加热(图 12 的点 11)。喷射制冷剂(图 12 的点 10)与被压缩至中间压力并被加热的制冷剂(图 12 的点 11)合流,温度降低(图 12 的点 12)。然后,温度降低后的制冷剂(图 12 的点 12)进一步被压缩、加热,成为高温高压而被排出(图 12 的点 1)。

[0127] 此外,在不进行喷射运转的情况下,使膨胀机构 51 的开度为全闭。也就是说,在进行喷射运转的情况下,膨胀机构 51 的开度比规定开度大,但是在不进行喷射运转时,使膨胀机构 51 的开度比规定开度小。由此,制冷剂不向压缩机 41 的喷射管流入。

[0128] 这里,膨胀机构 51 的开度由微型计算机等控制部通过电子控制来进行控制。

[0129] 接着,对热泵装置 100 的制冷运转时的动作进行说明。在制冷运转时,四通阀 49 沿虚线方向设定。此外,该制冷运转不仅是指用于空调的制冷,而且还包含从水中去除热来生成冷水或进行冷冻等。

[0130] 在压缩机 41 成为高温高压的气相制冷剂(图 12 的点 1),从压缩机 41 排出,在作为冷凝器且作为散热器的热交换器 47 进行热交换而液化(图 12 的点 2)。在热交换器 47 液化的液相制冷剂,在膨胀机构 46 被减压,成为气液两相状态(图 12 的点 3)。在膨胀机构 46 成为气液两相状态的制冷剂,在内部热交换器 45 进行热交换,被冷却后液化(图 12 的点 4)。在内部热交换器 45 中,在膨胀机构 46 成为气液两相状态的制冷剂与使在内部热交换器 45 液化的液相制冷剂在膨胀机构 51 被减压而成为气液两相状态的制冷剂(图 12 的点 9)进行

热交换。在内部热交换器 45 进行了热交换的液相制冷剂(图 12 的点 4),分岔流向主制冷剂回路 48 和喷射回路 52。

[0131] 在主制冷剂回路 48 中流动的液相制冷剂,在接收器 44 与被吸入至压缩机 41 的制冷剂进行热交换,进一步被冷却(图 12 的点 5)。在接收器 44 冷却后的液相制冷剂,在膨胀机构 43 被减压而成为气液两相状态(图 12 的点 6)。在膨胀机构 43 成为气液两相状态的制冷剂,在作为蒸发器的热交换器 42 进行热交换,被加热(图 12 的点 7)。此时,通过制冷剂吸收热,将在水回路 53 中循环的水冷却,用于制冷和冷冻。

[0132] 然后,在热交换器 42 被加热的制冷剂,在接收器 44 进一步被加热(图 12 的点 8),被吸入压缩机 41。

[0133] 另一方面,在喷射回路 52 中流动的制冷剂,如上所述,在膨胀机构 51 被减压(图 12 的点 9)后,在内部热交换器 45 进行热交换(图 12 的点 10)。在内部热交换器 45 进行了热交换的气液两相状态的制冷剂(喷射制冷剂),维持气液两相状态不变,从压缩机 41 的喷射管流入。

[0134] 关于在压缩机 41 内的压缩动作,与制暖运转时同样。

[0135] 此外,在不进行喷射运转时,与制暖运转时同样,使膨胀机构 51 的开度为全闭,使得制冷剂不流入压缩机 41 的喷射管。

[0136] 此外,在上述说明中,使得热交换器 42 是使制冷剂与在水回路 53 中循环的水进行热交换的板式热交换器这样的热交换器并进行了说明。热交换器 42 并不限于此,也可以是使制冷剂与空气进行热交换的热交换器。

[0137] 此外,水回路 53 也可以并非是使水循环的回路,而是使其它流体循环的回路。

[0138] 如上所述,热泵装置 100 能够作为空调机、热泵式热水器、冷藏柜、冷冻机等采用了逆变器压缩机的热泵装置使用。

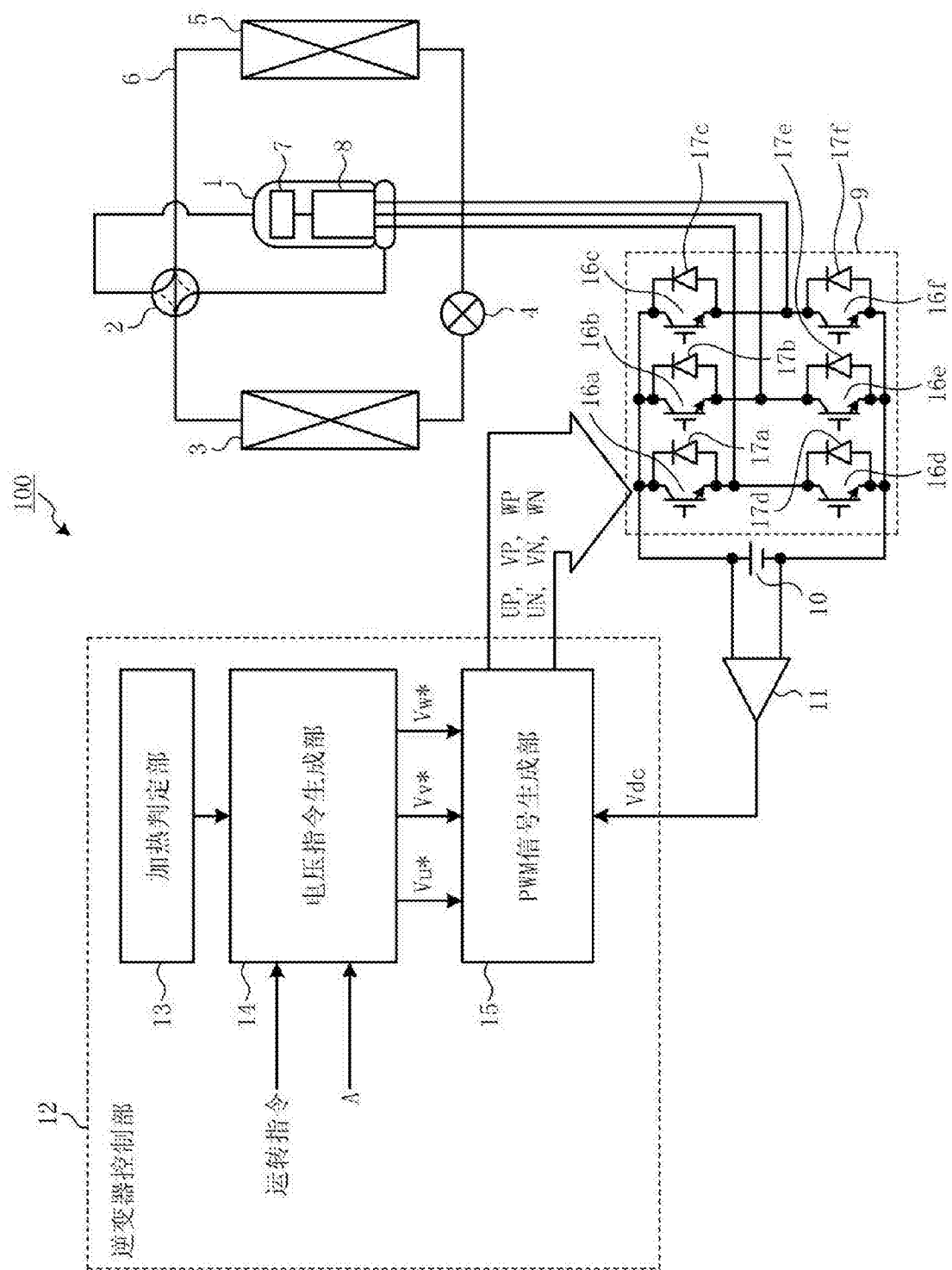


图 1

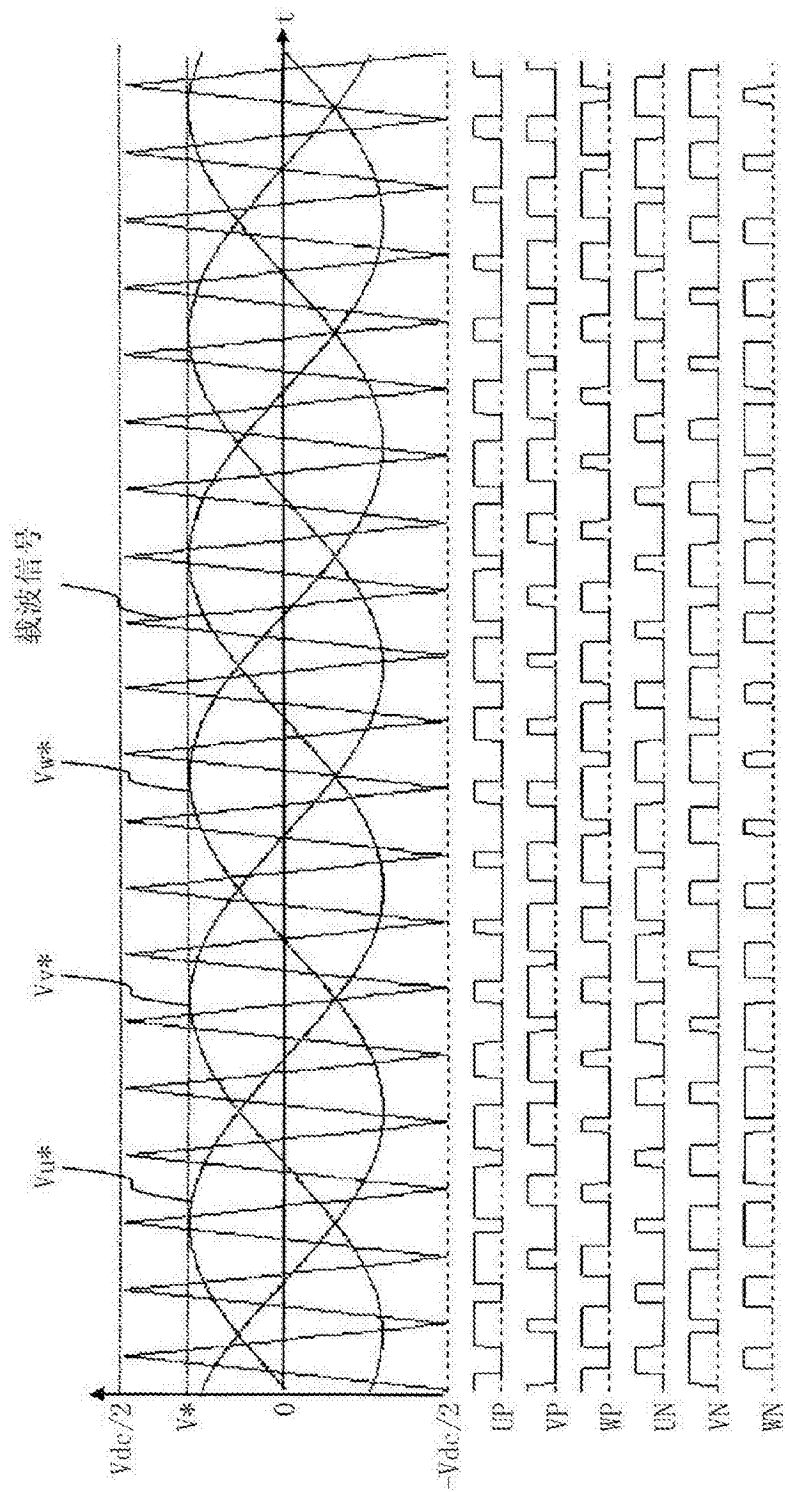


图 2

电压矢量	电压方向	UP	VP	WP	UN	VN	WN
V0	0	0	0	0	1	1	1
V1	+W	0	0	1	1	1	0
V2	+V	0	1	0	1	0	1
V3	-U	0	1	1	1	0	0
V4	+U	1	0	0	0	1	1
V5	-V	1	0	1	0	1	0
V6	-W	1	1	0	0	0	1
V7	0	1	1	1	0	0	0

图 3

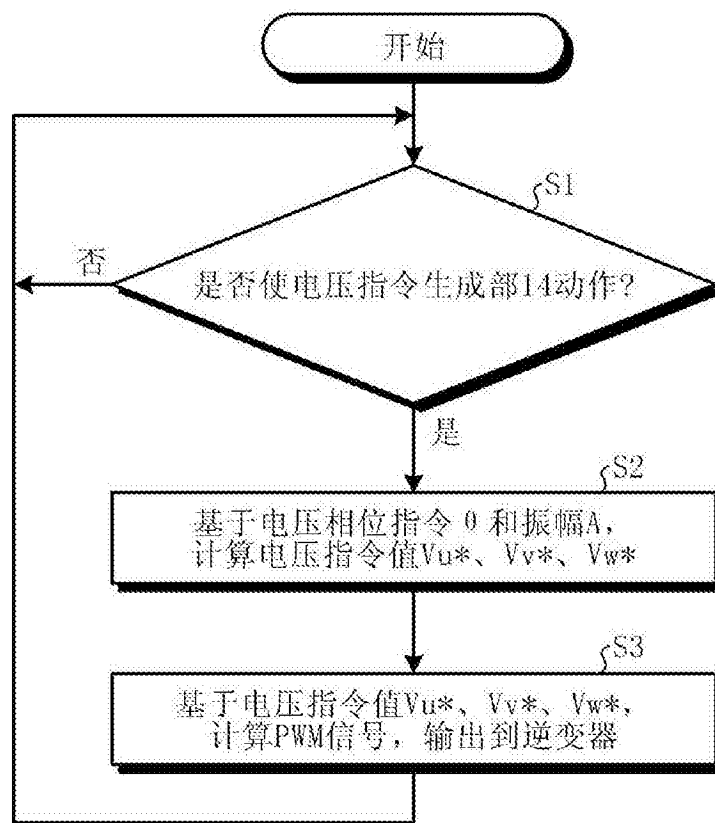


图 4

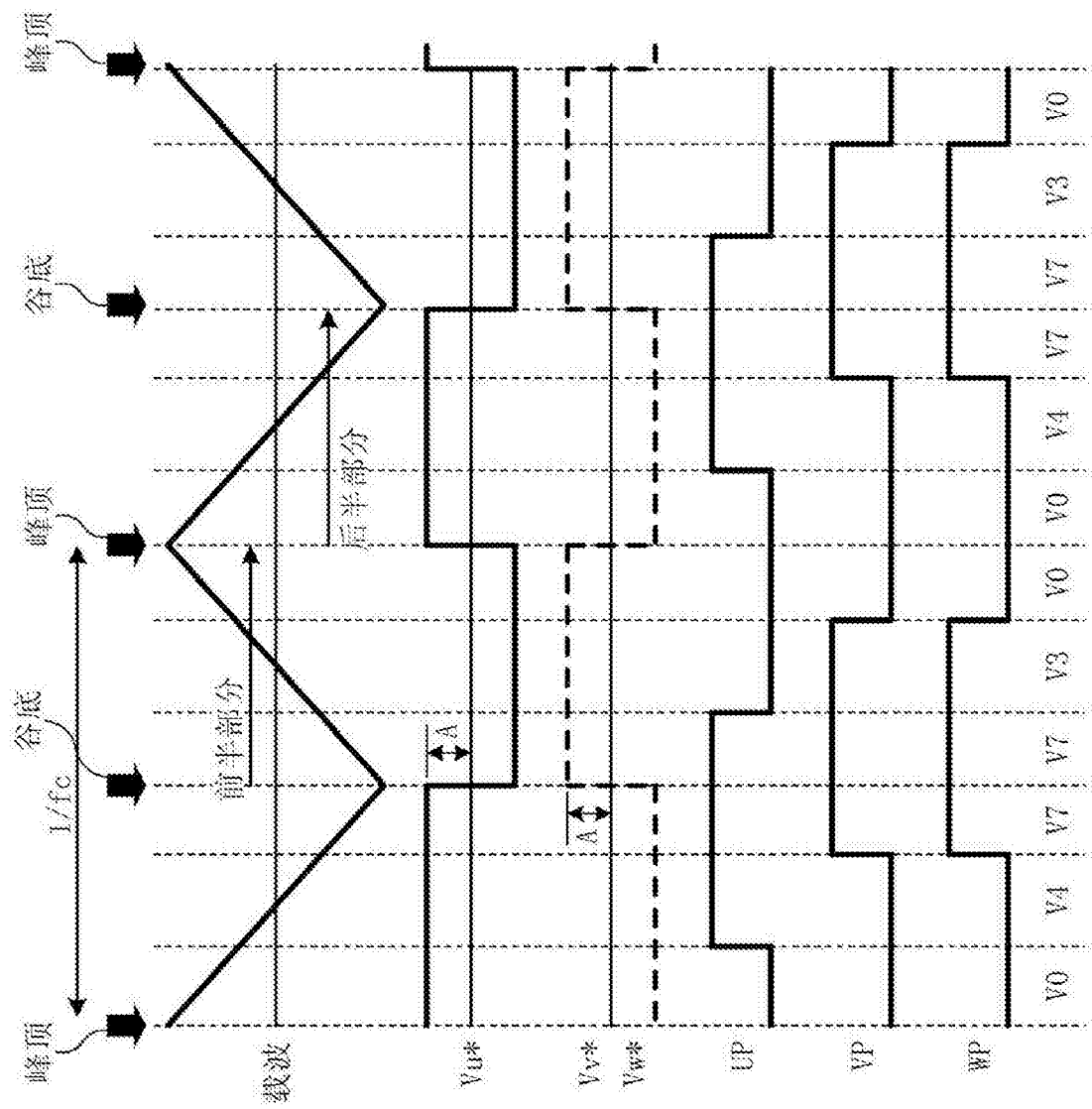


图 5

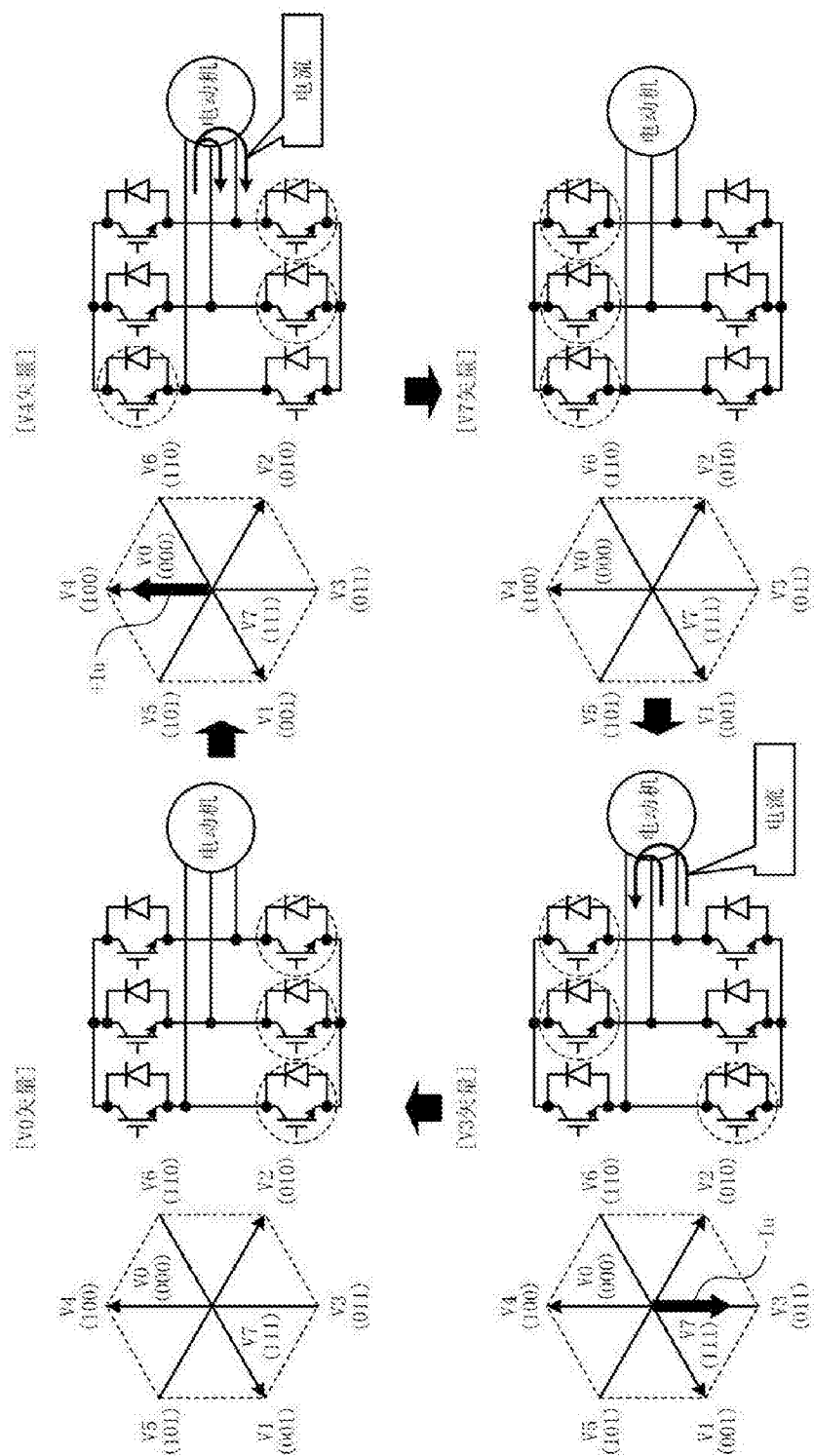


图 6

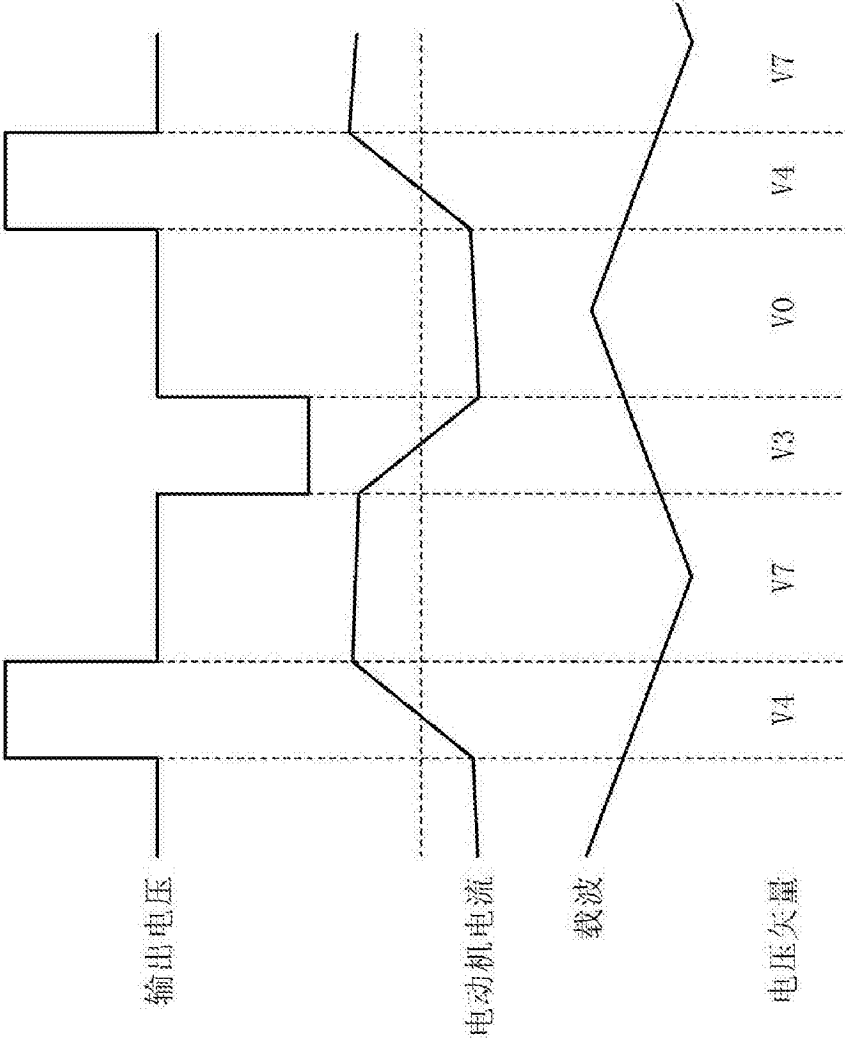


图 7

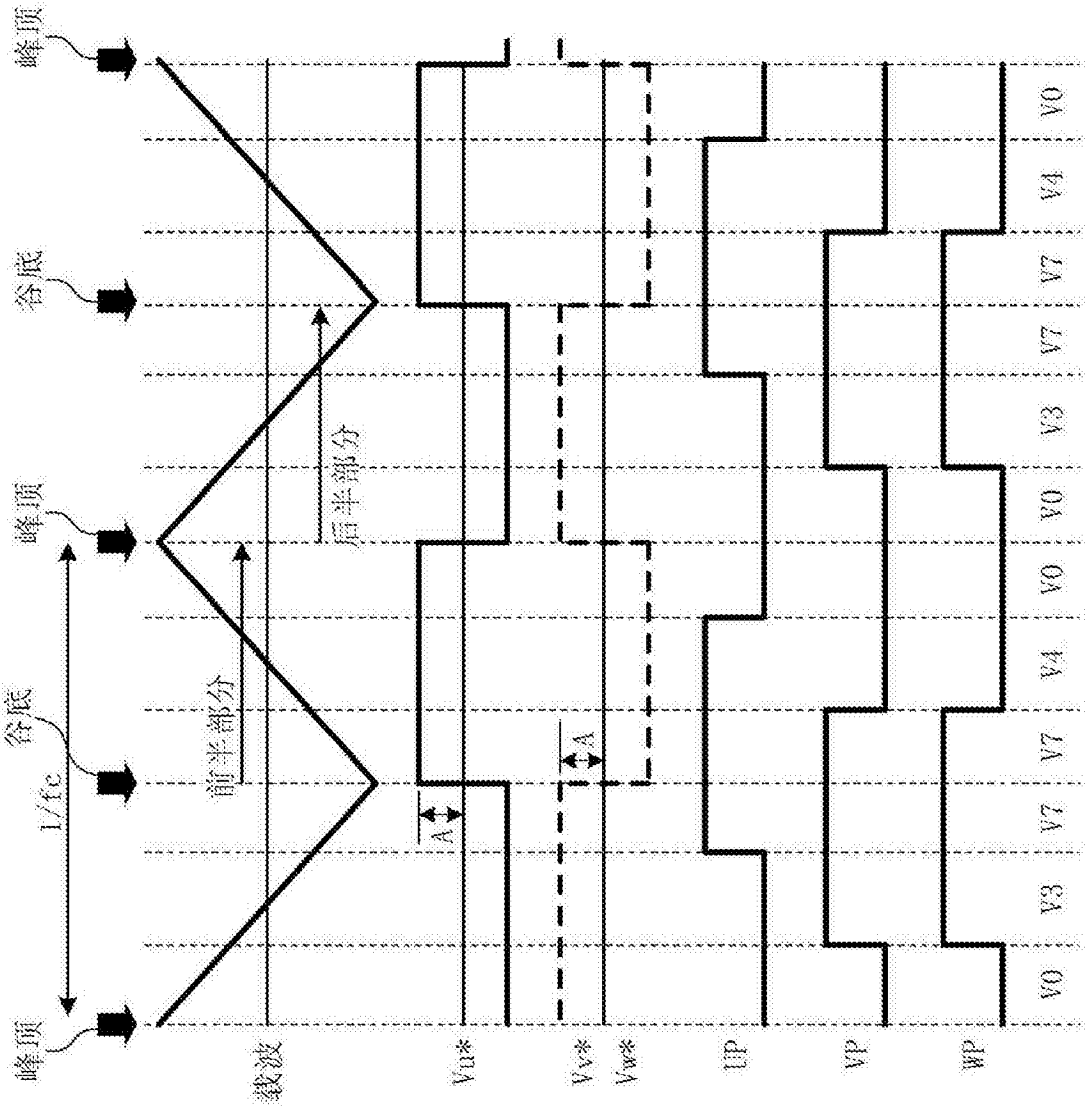


图 8

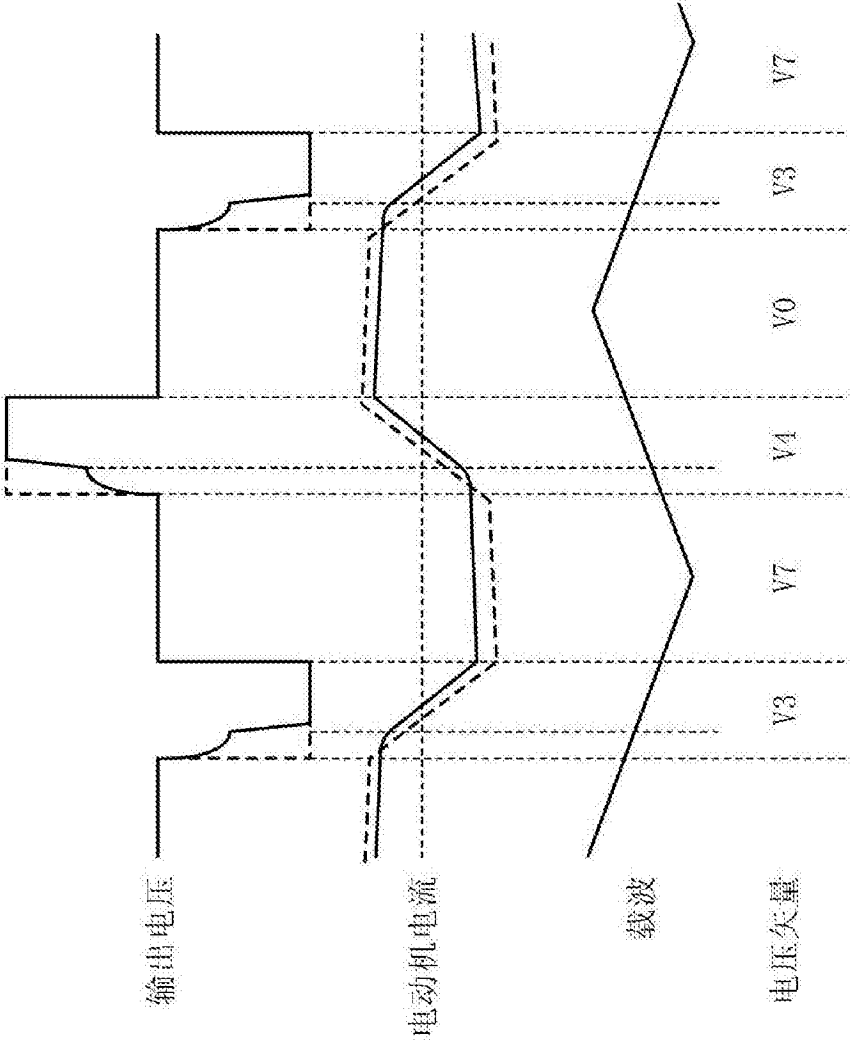


图 9

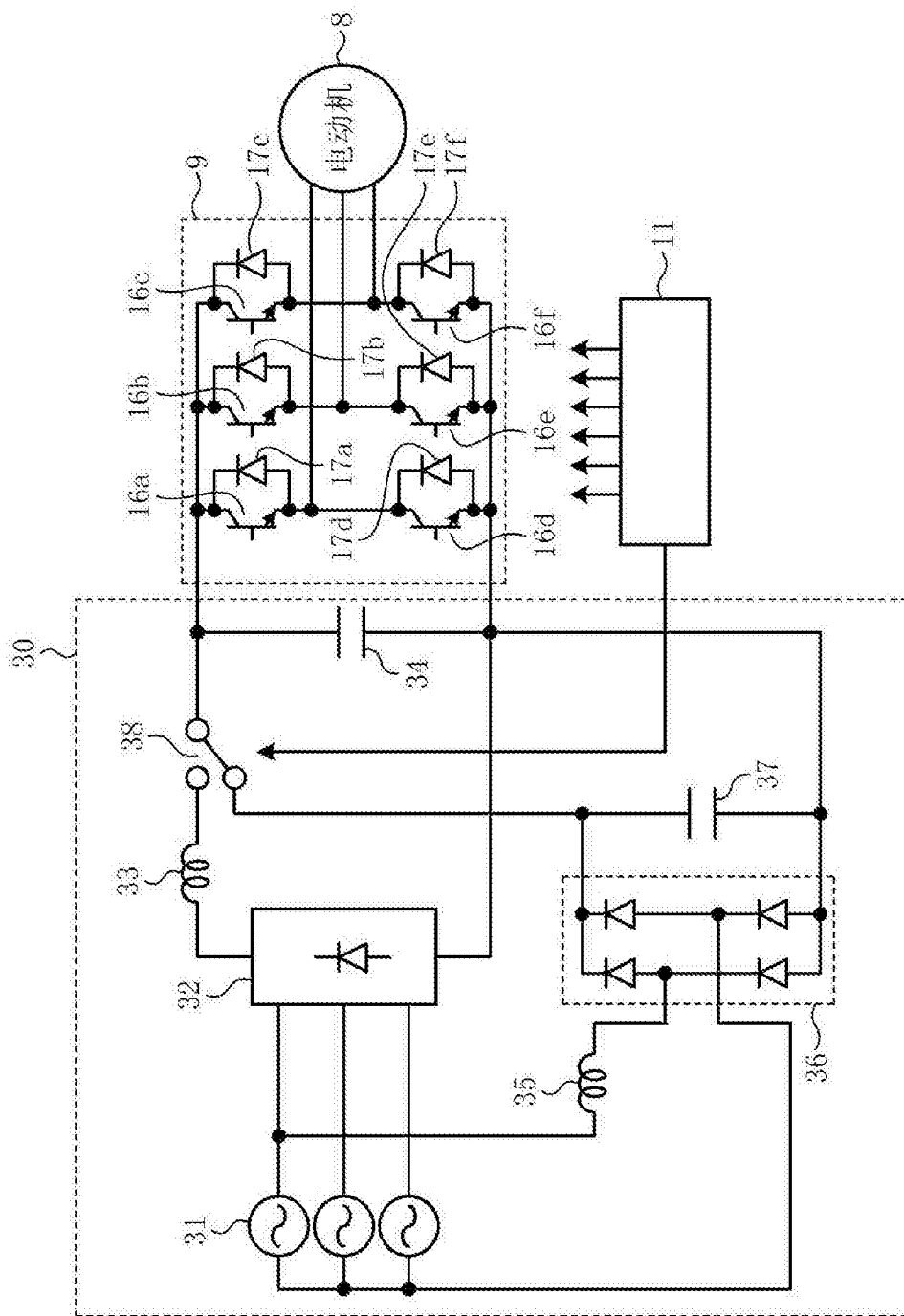


图 10

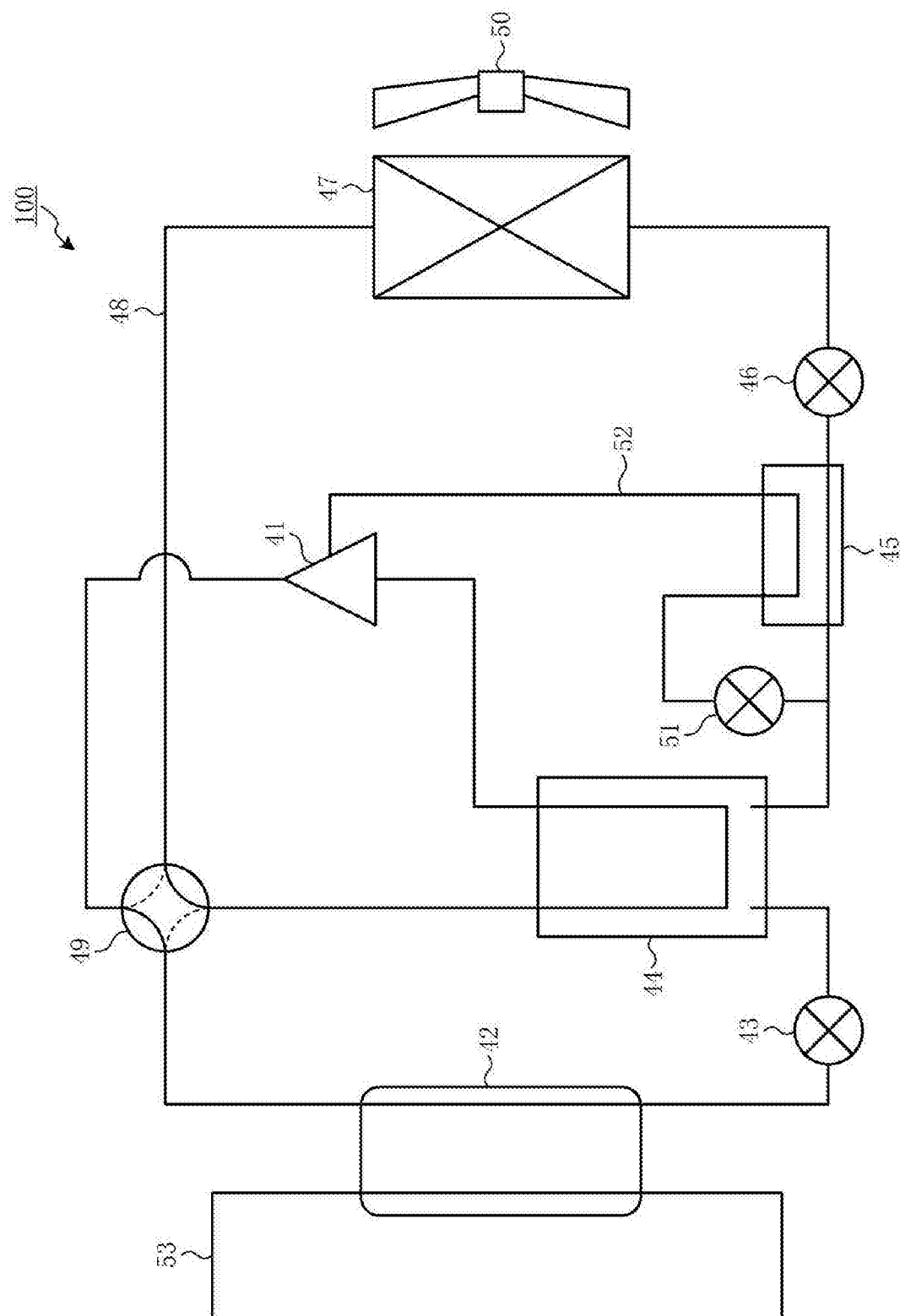


图 11

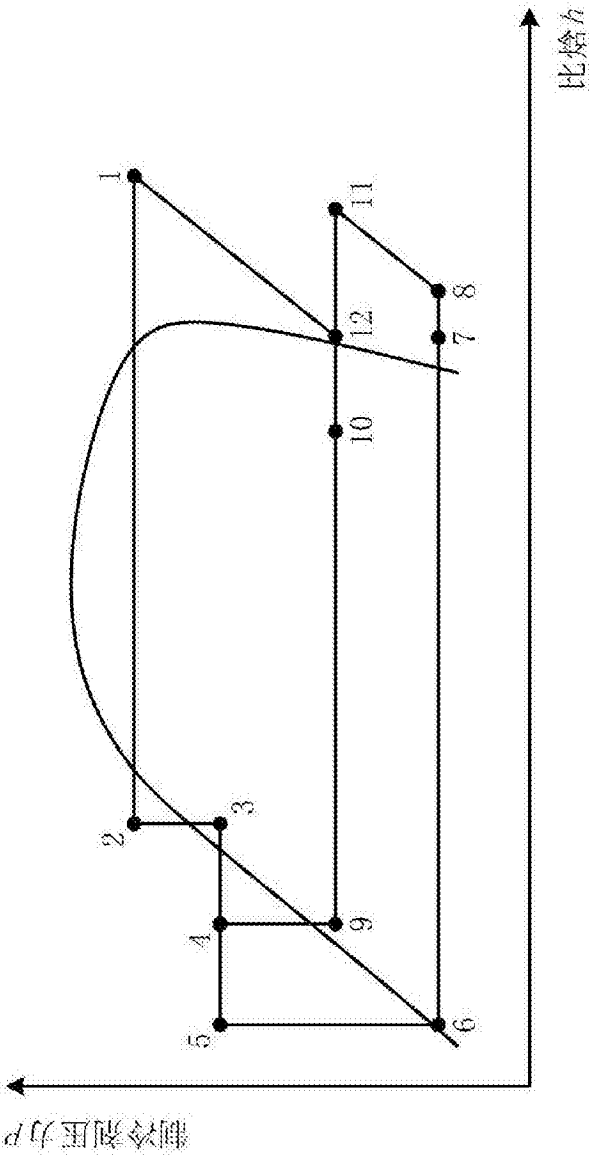


图 12