[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl[7]
H02P 6/00
H02P 6/16
H02K 29/06

# [12]发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99103666.2

[45]授权公告日 2002 年 9 月 4 日

[11]授权公告号 CN 1090403C

[22]申请日 1999.3.11
[21]申请号 99103666.2
[30]优先权
[32]1998.3.30 [33]JP [31]84685/98
[73]专利权人 三洋电机株式会社
地址 日本大阪
[72]发明人 渡边吉章 礒部知典
审查员 张志杰

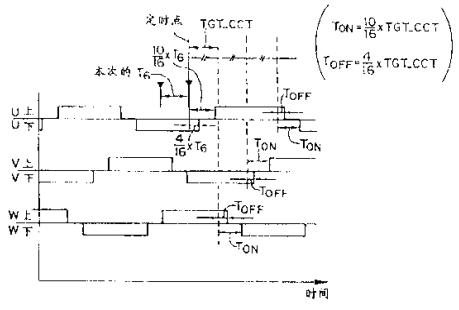
[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所
代理人 王以平

权利要求书 1 页 说明书 10 页 附图页数 10 页

[54]发明名称 直流无电刷电机的控制方法

[57]摘要

在电机稳定工作后，测定 UVW 各相霍尔元件输入，把输入信号的 边缘定时的误差最小的边缘决定为定时点。而且，求出本次定时点与前 次定时点之间的边缘间隔的平均值 TGT－CCT，在本次定时点至下 次定时点之间，认为在 TGT－CCT 的时间间隔内已检测出了边缘，从各边缘检测定时开始，在 $T_{OFF}$后把通电控制信号的波形断开，在 $T_{ON}$后把通断控制信号的波形接通。由此，能够减小向各绕组的通电间 隔的分散性。




ISSN1008-4274

# 权 利 要 求 书

1．一种直流无电刷电机的控制方法，其特征在于：

来自检测转子位置的多个检测器的检测信号，把该转子旋转 1 周期间从通切换到断或者从断切换到通的切换定时的某一个设定为基准定时，

仅以被设定的基准定时作为基准，设定对于多个线圈绕组的通电切换定时。

2．一种直流无电刷电机的控制方法，其特征在于：

来自检测转子位置的多个检测器的检测信号，把该转子旋转 1 周期间从通切换到断或者从断切换到通的切换定时的某一个设定为基准定时，

计算转子的前次 1 次旋转中的基准定时和本次 1 次旋转中的基准定时之间的上述切换定时的间隔的平均值，在本次基准定时至下次基准定时之间，根据上述计算出来的平均值间隔的定时，切换对于上述多个线圈绕组的通电。

3．如权利要求 1 或 2 所述的直流无电刷电机的控制方法，其特征在于：

把对于前后切换定时的相对时间间隔的分散性最小的切换定时设定为基准定时。

4．如权利要求 1 或 2 所述的直流无电刷电机的控制方法，其特征在于：

执行开始定时，是实际转数与目标转数之差小于预定值的状态下，持续预定时间以上直流无电刷电机旋转了的时刻。

5．如权利要求 3 所述的直流无电刷电机的控制方法，其特征在于：

执行开始定时，是实际转数与目标转数之差小于预定值的状态下，持续预定时间以上直流无电刷电机旋转了的时刻。

# 说　明　书

## 直流无电刷电机的控制方法

本发明涉及直流无电刷电机的控制方法，更具体地讲，涉及对于空气调节器（以下简称为空调机）的室内机和室外机上搭载的风扇电机等中采用的直流无电刷电机中的多个线圈绕组的通电切换的直流无电刷电机的控制方法。

当前，直流无电刷电机作为空调机的室内机和室外机中所搭载的风扇电机以及其它各种电气设备的电机被广泛地使用。

在该直流无电刷电机中，用以等间隔配置在转子的旋转轨道附近的多个位置检测器（霍尔元件）检测包含永久磁铁等构成的转子的位置，通过根据该检测信号的通断定时来切换对于多个旋转驱动用线圈绕组的通电，旋转驱动转子。

一般，与上述检测信号的通断同步或者隔开预定的时间间隔切换对于线圈绕组的通电。

然而，由于转子上永久磁铁等的粘贴位置的偏移，该永久磁铁等的磁化的分散性（偏差），位置检测器的配置位置的偏移，以及该位置检测器的动作特性的分散性等，即使转子以恒定转数旋转，有时从位置检测器输出的检测信号的通断定时也不成为等间隔而产生分散（偏差）。

这样，如果检测信号的通断定时不成为等间隔，在间隔方面存在分散性，则对于线圈绕组的通电定时偏离正规的定时，有可能在直流无电刷电机中产生转矩不均匀，发生振动·异常声音等不合适状态。

本发明是为解决上述问题点而作出的，目的在于提供可以减少对于线圈绕组的通电间隔的分散性的直流无电刷电机的控制方法。

为了达到上述目的，方案 1 的直流无电刷电机的控制方法，特征在于来自检测转子位置的多个检测器的检测信号，把该转子旋转 1 周期间从通切换到断或者从断切换到通的切换定时的某一个设定为基准定时，仅以被设定的基准定时作为基准，设定对于多个线圈绕组的通电切换定

时。

另外，方案 2 的直流无电刷电机的控制方法，特征在于来自检测转子位置的多个检测器的检测信号把该转子旋转 1 周期间从通切换到断或者从断切换到通的切换定时的某一个设定为基准定时，计算转子的前次 1 次旋转中的基准定时和本次 1 次旋转中的基准定时之间的上述切换定时的间隔的平均值，在本次基准定时至下次基准定时之间，根据上述计算出来的平均值间隔的定时，切换对于上述多个线圈绕组的通电。

另外，方案 3 的直流无电刷电机的控制方法，特征在于在上述方案 1 或方案 2 的直流无电刷电机的控制方法中，把对于前后切换定时的相对时间间隔的分散性最小的切换定时设定为基准定时。

另外，方案 4 的直流无电刷电机的控制方法，特征在于在上述方案 1 至方案 3 中的任一项的直流无电刷电机的控制方法中，执行开始定时，是实际转数与目标转数之差小于预定值的状态下、持续预定时间以上直流无电刷电机旋转了的时刻。

在上述第 1 方案的直流无电刷电机的控制方法中，来自检测转子位置的多个位置检测器的检测信号把该转子旋转 1 次期间（1 周期期间）从通切换到断或者从断切换到通的切换定时的某一个设定为基准定时。而且，仅以该被设定了的基准定时为基准，设定对于多个线圈绕组的通电切换定时。例如，根据基准定时的间隔求出切换定时的间隔的平均值，把该平均值间隔的定时设定为通电切换定时。

以往，由于以每次的切换定时作为基准，设定对于多个线圈绕组的通电切换定时，因此由于上述每次切换定时的分散性，对于线圈绕组的通电间隔也产生分散，而如上述那样仅以基准定时为基准，例如通过设定至 1 个周期之前或者多个周期之前为止的通电切换定时，能够避免上述每次切换定时的分散性对于线圈绕组的通电间隔产生影响，能够减小该通电间隔的分散性。由此，能够防止发生转矩不均匀·振动·异常声音等不合适状况。

其次，在第 2 方案的直流无电刷电机的控制方法中，首先，来自检测转子位置的多个位置检测器的检测信号把从通切换到断或者从断切换

到通的切换定时的某一个设定为基准定时。

而且，计算出转子前次１次旋转中的基准定时与本次１次旋转中的基准定时之间的切换定时的间隔的平均值。

进而，在本次基准定时至下次基准定时之间，根据计算出来的平均值间隔的定时切换对于多个线圈绕组的通电。即，在本次基准定时至下次基准定时之间，在计算出来的平均值间隔内，来自位置检测器的检测信号作为已从通切换到断或者从断切换到通的信号，从该切换定时开始，例如在（平均值×４／１６）后停止对于线圈绕组的通电，在（平均值×１０／１６）后开始对于线圈绕组的通电。

这样，计算出前次基准定时与本次基准定时之间的切换定时的间隔的平均值，在该平均值间隔内位置检测器的检测信号作为从通切换到断或者从断切换到通的信号，根据该切换定时切换对于多个线圈绕组的通电，因此能够减小对于线圈绕组的通电间隔的分散性，能够防止发生转矩不均匀·振动·异常声音等不合适状态。

另外，在上述第１方案或者第２方案的本发明的基准定时的设定中，也可以把任意的一个切换定时设定为基准定时，如第３方案那样，最好把对于前后切换定时的相对时间间隔的分散性最少的切换定时设定为基准定时。

通过这样把相对时间间隔的分散性最少的切换定时设定为基准定时，能够防止在每次计算时计算出的基准定时之间的切换定时的间隔的平均值分散，在把相邻的基准定时期间作为１个周期时，能够减小周期之间的对于线圈绕组的通电间隔的分散性。

另外，从直流无电刷电机开始稳定旋转后，将开始发生仅起因于上述转子上永久磁铁粘贴位置的偏移，该永久磁铁等的磁化的分散，位置检测器的安装位置的偏移以及该位置检测器的检测动作特性的分散等的，该直流无电刷电机中特有的位置检测信号的通断定时间隔的分散。

因此，如第４方案那样，基于上述直流无电刷电机的控制方法的控制的执行开始定时最好取为实际转数与目标转数之差小于预定值的状态下，持续预定时间以上直流无电刷电机旋转了的时刻（直流无电刷电机

开始稳定旋转的时刻）。

另外，作为上述位置检测器，能够采用后述的霍尔元件，光传感器（光电二极管，光电耦合器等），磁阻元件等。

图 1 是本发明实施形式的空调机的概略结构图。

图 2 是示出空调机的制冷循环的概略图。

图 3 是用直流无电刷电机构成的风扇电机的概略结构图。

图 4 示出各霍尔元件的检测信号的波形。

图 5 是示出本发明实施形式的控制流程的流程图。

图 6 是示出定时点的决定处理的处理流程的流程图。

图 7 是示出同步运行的处理流程的流程图。

图 8 用于说明霍尔元件输入中的边缘间隔。

图 9 用于说明定时点决定为U相的霍尔元件输入的通定时情况下的同步运行。

图１０用于说明同步运行中把通电控制信号进行通断的定时。

图１１用于说明通常动作时把通电控制信号进行通断的定时。

以下，说明发明的实施形式。

[空调机的结构]

图 1 以及图 2 中示出了本实施形式中适用的空气调节器（以下称为「空调机１０」）。

如图 1 所示，空调器１０由室内机１２和室外机１４构成。通过无线遥控开关４０的操作而运行／停止。另外，如果空调机１０由无线遥控开关４０设定了运行模式、设定温度等的运行条件并送出操作信号，则室内机１２接受该操作信号进行基于操作信号的运行。另外，空调机１０不限定于无线遥控开关４０，也可以根据有线遥控开关进行操作，还有，还可以通过设置在室内机中的操作板的操作设定运行条件。

图 2 中示出在空调机１０的室内机１２和室外机１４之间构成的制冷循环的概略。在室内机１２和室外机１４之间，成对地设置着使制冷剂循环的粗的制冷剂管１６A和细的制冷剂管１６B,它们各自的一端连

接在安装到室内机１２的换热器１８上。

制冷剂管１６Ａ的另一端连接在室外机１４的阀门２０Ａ上。该阀门２０Ａ经过消音器２２Ａ连接到四通阀２４上。该四通阀２４上分别连接着与压缩机２６相连的蓄热器２８和消音器２２Ｂ。此外，室外机１４上设置着换热器３０。该换热器３０的一端连接在四通阀２４上，另一端经过毛细管３２，过滤器３４，电动膨胀阀３６，调制器３８连接到阀门２０Ｂ上。该阀门２０Ｂ上连接着制冷剂管１６Ｂ的另一端，由此，在室内机１２与室外机１４之间构成形成了制冷循环的制冷剂的被密封了的循环通路。

在空调机１０中，通过四通阀２４的切换，运行模式切换为冷风模式（干燥模式）和暖风模式。另外，图２中，用实线箭头表示冷风模式（冷风运行）中的制冷剂的流动，用虚线箭头表示暖风模式（暖风运行）中的制冷剂的流动。

另外，室外机１４中，设置着冷却换热器３０的冷却风扇５２，该冷却风扇５２由用直流无电刷电机构成的风扇电机５０驱动。该风扇电机５０的驱动控制通过室外机１４的控制单元６０进行。

［风扇电机５０的结构］

如图３所示，风扇电机５０用包含具有永久磁铁而形成的转子６２的３相２极绕组的直流无电刷电机构成。即，在转子６２的旋转轨道附近以机械角１２０度的间隔配置３个霍尔元件６４Ｕ，６４Ｖ，６４Ｗ，各个霍尔元件产生的位置检测信号输入到控制单元６０中。

控制单元６０根据来自霍尔元件６４Ｕ的位置检测信号将晶体管６８Ｕ进行通断控制。当晶体管６８Ｕ导通时，进行向Ｕ相绕组６６Ｕ的通电。同样，控制单元６０根据来自霍尔元件６４Ｖ的位置检测信号将晶体管６８Ｖ进行通断控制。当晶体管６８Ｖ导通时，进行向Ｖ相绕组６６Ｖ的通电。另外，控制单元６０根据来自霍尔元件６４Ｗ的位置检测信号将晶体管６８Ｗ进行通断控制。当晶体管６８Ｗ导通时，进行向Ｗ相绕组６６Ｗ的通电。

图４的时序图分别用ＨＵ表示来自Ｕ相霍尔元件６４Ｕ的位置检测

信号，用ＨＶ表示来自Ｖ相霍尔元件６４Ｖ的位置检测信号，用ＨＷ表示来自Ｗ相霍尔元件６４Ｗ的位置检测信号。如该图４所示，ＨＵ，ＨＶ，ＨＷ的各相位相互错开１２０度，风扇电机５０恒速旋转时在理想状态下这些上升沿以及下降沿的间隔（Ｔ１，Ｔ２，Ｔ３……Ｔ１２）成为等间隔。

然而，在风扇电机５０中，由于转子６２上永久磁铁的粘贴位置的偏移，该永久磁铁的磁化的分散性，霍尔元件６４Ｕ，６４Ｖ，６４Ｗ的安装位置的偏移，各个霍尔元件的动作特性的分散性等，来自图４的各霍尔元件的检测信号的上升沿以及下降沿的间隔（Ｔ１，Ｔ２，Ｔ３，……Ｔ１２）不成为等间隔，在该间隔中产生分散。

详细的情况在后面叙述，控制单元６０如上述那样即使在霍尔元件的位置检测信号的上升沿以及下降沿的间隔之间存在分散性，也能够控制该通电定时使得对于３相绕组６６Ｕ，６６Ｖ，６６Ｗ的通电间隔的分散为最小。

另外，控制单元６０还具有根据霍尔元件的位置检测信号检测转子６２的实际转数，计算该实际转数与预先确定的目标转数的差的功能。

［本实施形式的作用］

其次，作为本实施形式的作用，说明由控制单元６０执行的向各绕组的通电定时控制处理。

当空调机１０开始运行，使用风扇电机５０开始驱动冷却风扇５２来冷却室外机１４的换热器３０时，由控制单元６０开始执行图５的控制流程。

在图５的步骤１０２中开始驱动风扇电机５０以后，直到风扇电机５０稳定工作为止在步骤１０６中进行以下的通常运行。另外，风扇电机５０的目标转数与实际转数之差成为３０ｒｐｍ以下的状态持续了５秒钟，就认为风扇电机５０已稳定地工作。

这样，如图１１所示，至风扇电机５０稳定工作为止，检测前次霍尔元件的波形变化了的定时（以下称为前次边缘）开始至本次霍尔元件的波形变化了的定时（以下称为本次边缘）为止的边缘间隔ＣＣＴ，反

复进行从本次边缘开始在（ＣＣＴ×４／１６）后断开通电控制信号的波形，从本次边缘开始在（ＣＣＴ×１０／１６）后接通通电控制信号的波形的通常运行（步骤１０６）。

图１１中，例如在向U相绕组６６U进行通电，边缘间隔ＣＣＴ是$T_6$的情况下，从本次边缘$E_6$开始在（$T_6$×４／１６）后把向U相绕组６６U的通断控制信号的波形断开，从本次边缘开始在（$T_6$×１０／１６）后把向U相绕组６６U的通电控制信号的波形接通。

然后，在边缘间隔ＣＣＴ是$T_9$的情况下，从本次边缘$E_9$开始在（$T_9$×４／１６）后把向U相绕组６６U的通电控制信号的波形断开，从本次边缘开始在（$T_9$×１０／１６）后把向U相绕组６６U的通电控制信号的波形接通。对于V相绕组６６V和W相绕组６６W的通电也同样进行。

而且，由于在风扇电机５０的目标转数与实际转数之差小于３０ｒｐｍ的状态持续了５秒的情况认为风扇电机５０已稳定工作，因此进入到步骤１０８，如以下那样决定定时点。

首先，在（３６０＋４５）度期间测定U相，V相，W相的各霍尔元件输入（图６的步骤１５２）。接着，对于各相根据以下的公式（１），（２）计算上升沿，下降沿各自的误差之和（步骤１５４）。另外，在以下的公式（１），（２）中的ＣＣＴ０～ＣＣＴ７意指图８所示的霍尔元件输入中的边缘间隔ＣＣＴ０，ＣＣＴ１，ＣＣＴ２……。

U相的上升沿中的误差和ｔＨ＿Ｕ

＝｜｛１／４Σ（ＣＣＴ０～ＣＣＴ７）｝－｛Σ（ＣＣＴ０～ＣＣＴ１）｝｜

＋｜｛２／４Σ（ＣＣＴ０～ＣＣＴ７）｝－｛Σ（ＣＣＴ０～ＣＣＴ３）｝｜

＋｜｛３／４Σ（ＣＣＴ０～ＣＣＴ７）｝－｛Σ（ＣＣＴ０～ＣＣＴ５）｝｜　　（１）

U相的下降沿中的误差和ｔＬ＿Ｕ

＝｜｛１／４Σ（ＣＣＴ１～ＣＣＴ８）｝－｛Σ（ＣＣＴ１～Ｃ

CT2)}|

+|{2/4Σ(CCT1~CCT8)}-{Σ(CCT1~CCT4)}|

+|{3/4Σ(CCT1~CCT8)}-{Σ(CCT1~CCT6)}| (2)

另外，根据与上述公式（1）相同的公式计算V相的上升沿中的误差和tH_V以及W相的上升沿中的误差和tH_W，根据与上述公式（2）相同的公式计算V相的下降沿中的误差和tL_V以及W相的下降沿中的误差和tL_W。

而且，把与各相的上升沿，下降沿中的误差和tH_U，tL_U，tH_V，tL_V，tH_W，tL_W中最小的值相对应的边缘决定为定时点（步骤156）。

图5中，在随后的步骤110中，如以下所示进行基于图7的控制流程的同步运行。

当检测出了定时点时，计算该定时点与前一个边缘的边缘间隔CCT以及该定时点与前次定时点之间的边缘间隔的平均值TGT_CCT（图7的步骤164），如图10所示从定时点开始在（CCT×4/16）后把通电控制信号的波形断开，从定时点开始在（CCT×10/16）后把通电控制信号的波形接通（步骤166）。即，在定时点进行通常动作。

另一方面，当检测出定时点以外的边缘时，认为从定时点开始已经在平均值TGT_CCT间隔内检测出了边缘，在经过了TGT_CCT的时刻开始，在$T_{OFF}$（=TGT_CCT×4/16）后把通断控制信号的波形断开，在$T_{ON}$（=TGT_CCT×10/16）后把通断控制信号的波形接通（步骤170）。

例如，在图9中所示的各相的霍尔元件输入的合成波形中定时点决定为接通U相霍尔元件输入的定时的情况下，在该定时点进行通常动作，而在其它的边缘定时进行以定时点为基点的同步运行特有的动作。

这样，认为在前次定时点与本次定时点之间的边缘间隔的平均值T

ＴＧＴ＿ＣＣＴ的间隔中，检测出了边缘，从各边缘检测定时开始在（ＴＧＴ＿ＣＣＴ×４／１６）后把通电控制信号的波形断开，在（ＴＧＴ＿ＣＣＧ×１０／１６）后把通电控制信号的波形接通，因此能够减小对各绕组的通电间隔的分散性，能够防止发生转矩不均匀·振动·异常声音等不合适状态。

另外，本实施形式中，由于在步骤１０８把对于前后边缘的相对时间间隔的分散性最少的边缘决定为定时点，因此在每次计算时能够防止定时点之间的边缘间隔的平均值ＴＧＴ＿ＣＣＴ分散，在把相邻的定时点之间作为１个周期的情况下，能够减小各个周期中向各绕组的通电间隔的分散性。

以后，在风扇电机５０仅旋转了预定次数的时刻（图７的步骤１７２中判为肯定的时刻），进入到图５的步骤１１２中，检查风扇电机５０的目标转数与实际转数之差是否超过３０ｒｐｍ，在接着的步骤１１４中检查平均值ＴＧＴ＿ＣＣＴ间隔的定时（＝作为同步运行中的边缘检测的定时）与实际的边缘检测定时是否偏离（平均值ＴＧＴ＿ＣＣＴ×１／４）以上。

在这些步骤１１２，１１４中，直到判断为风扇电机５０的目标转数与实际转数之差超过３０ｒｐｍ或者平均值ＴＧＴ＿ＣＣＴ间隔的定时与实际的边缘检测定时偏离（平均值ＴＧＴ＿ＣＣＴ×１／４）以上为止，持续进行步骤１１０的同步运行。

即，在风扇电机５０的目标转数与实际转数之差超过了３０ｒｐｍ的情况下（步骤１１２中判断为肯定的情况）以及检测到风扇电机５０的旋转变动大的情况下（步骤１１４中判断为肯定的情况）进入到步骤１１６中，返回到与上述的步骤１０６相同的通常运行。

以后，直到风扇电机５０稳定工作为止，持续进行步骤１０６的通常运行，一旦风扇电机５０稳定工作，则再次进行步骤１０８～１１４的处理。

另外，当根据运行停止指令等空调机停止运行时，也结束图５的控制流程的执行。

如果依据以上的控制流程，则认为在前次定时点与本次定时点之间的边缘间隔的平均值ＴＧＴ＿ＣＣＴ的间隔内，检测出了边缘，从各边缘检测定时开始，在（ＴＧＴ＿ＣＣＴ×４／１６）后把通电控制信号的波形断开，在（ＴＧＴ＿ＣＣＴ×１０／１６）后把通断控制信号的波形接通，因此能够减小对各绕组的通电间隔的分散性，能够防止发生转矩不均匀·振动·异常声音等不合适状态。

还有，从风扇电机５０开始稳定地旋转后，由于转子６２的永久磁铁等的粘贴位置的偏移，该永久磁铁等的磁化的分散性，霍尔元件６４Ｕ，６４Ｖ，６４Ｗ的安装位置的偏移，各霍尔元件的动作特性的分散性等，在该风扇电机５０中开始产生特有的位置检测信号的通断定时间隔的分散，因此通过如上述实施形式那样，在风扇电机５０开始稳定地旋转后开始进行同步运行，能够根据电机的状况在恰当的时候进行同步运行。

在上述实施形式中，示出了在空调机的室外机内的风扇电机中适用了本发明的例子，然而本发明也能够适用于上述以外的设置在空调机中的直流无电刷电机以及设置在空调机以外的各种电气设备内的直流无电刷电机中。

如以上所说明的那样，如果依据本发明，则由于仅以基准定时作为基准设定向线圈绕组的通电切换定时，因此能够避免每次切换定时的分散性对于通电间隔的影响，能够减小该通电间隔的分散性，能够防止发生转矩不均匀·振动·异常声音等不合适状态。

# 说 明 书 附 图

图 1

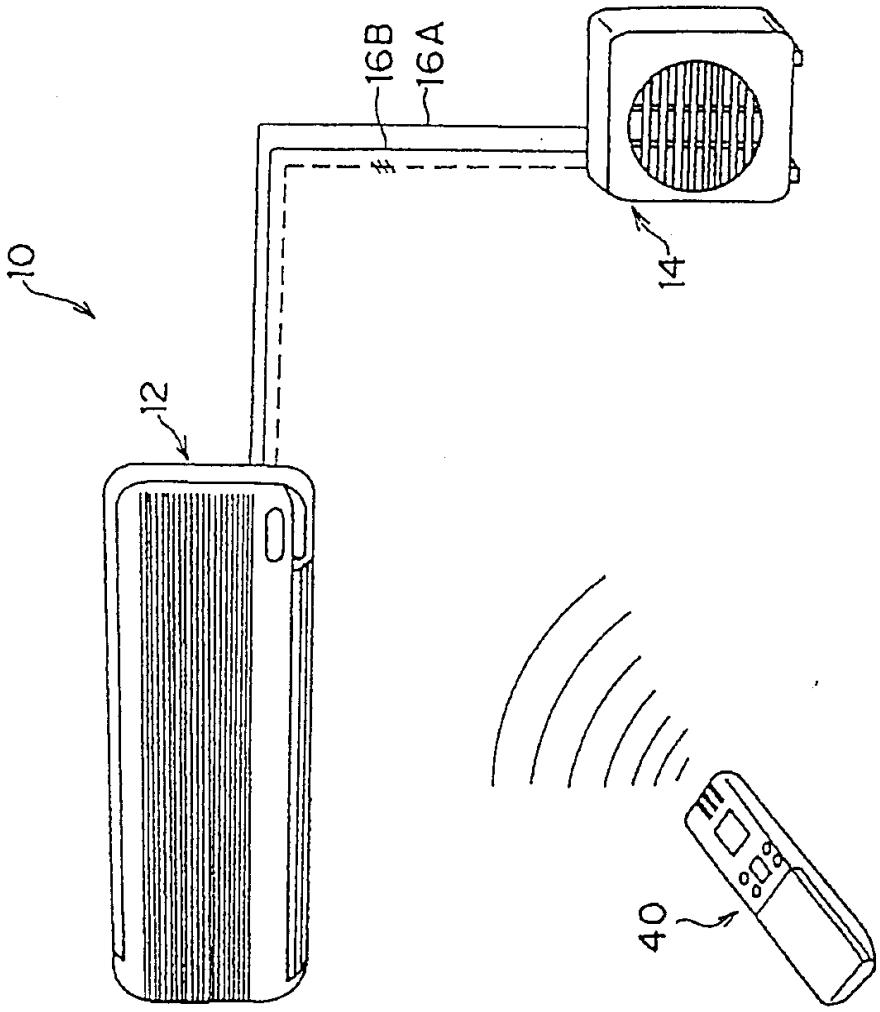


图 2

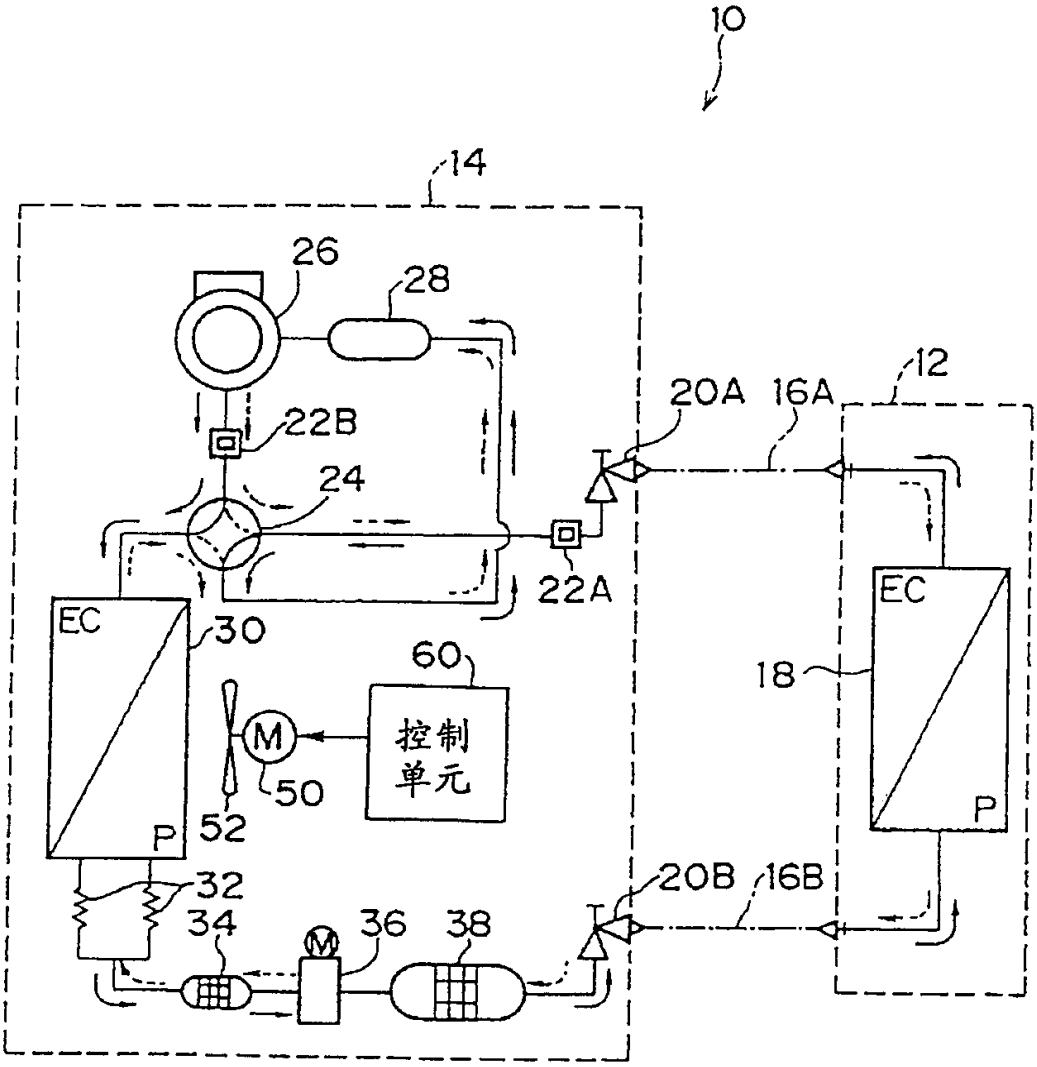

10
14
26
28
22B
24
20A
16A
12
22A
EC
30
60
控制
单元
M
50
52
18
EC
P
P
32
34
36
38
20B
16B

图 3

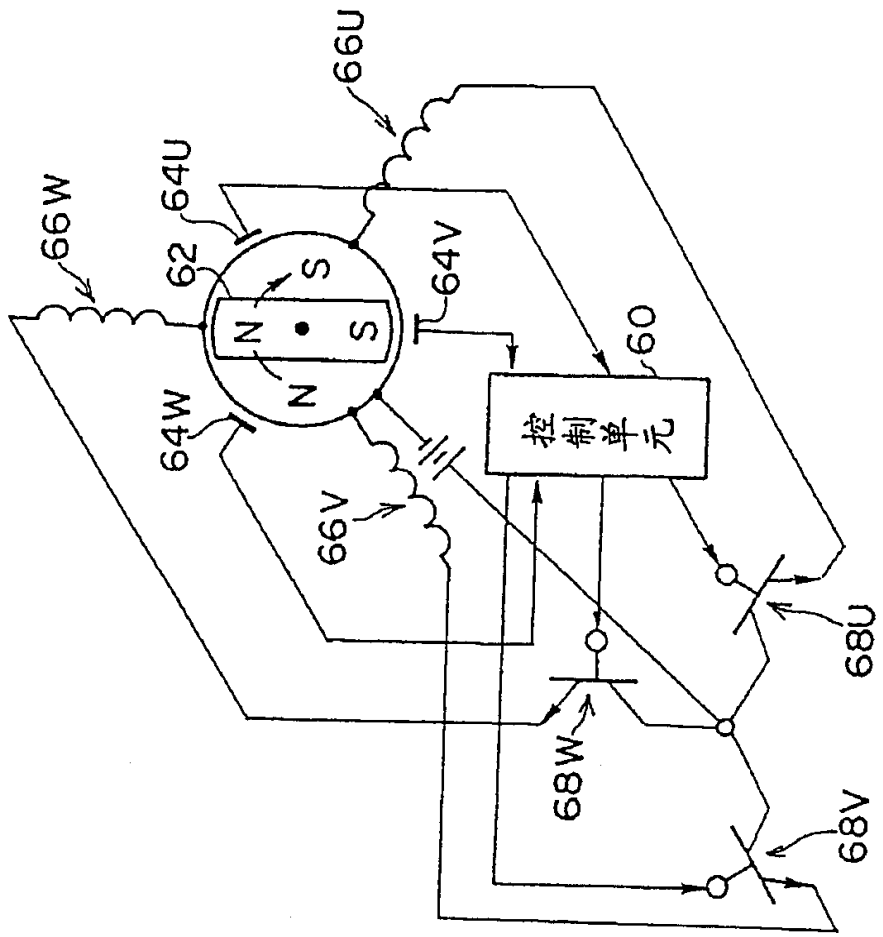


图 4

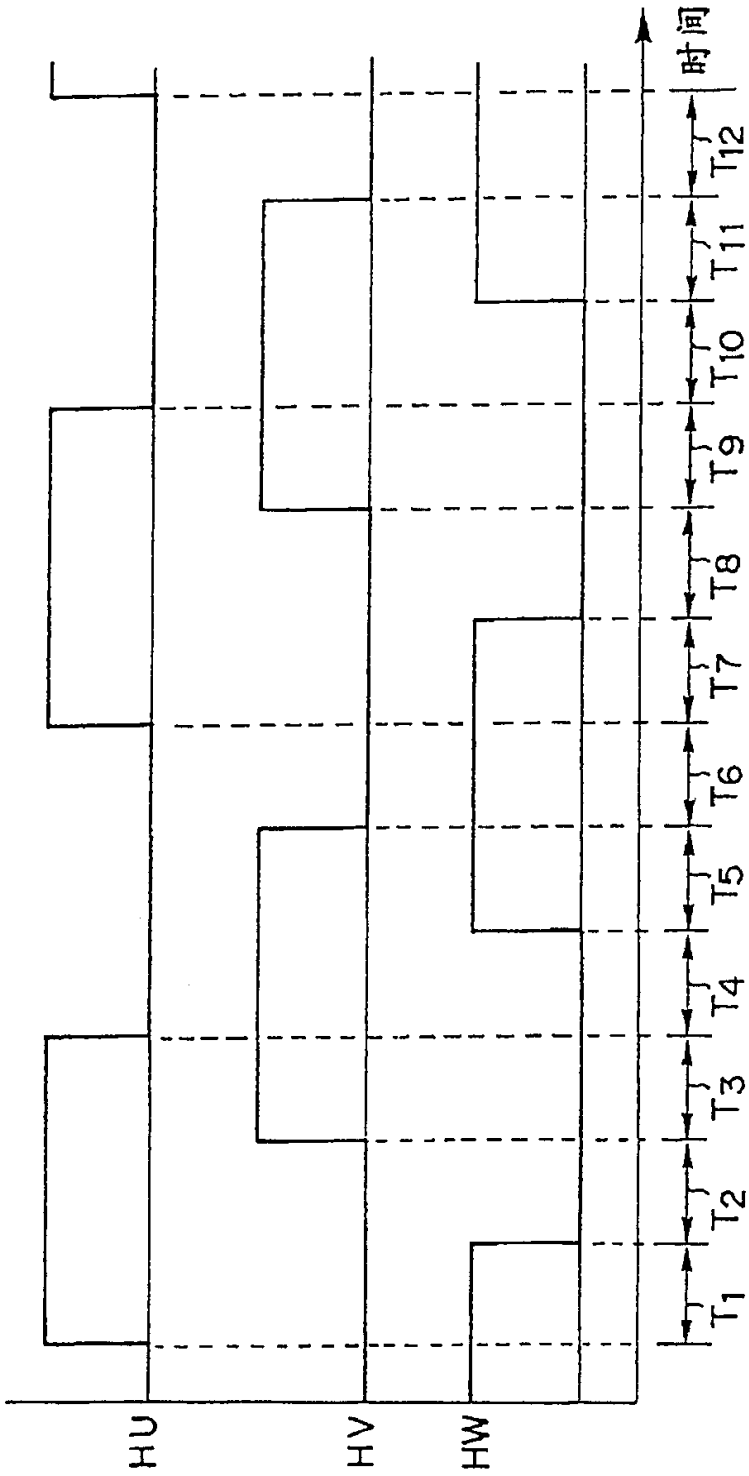


图 5

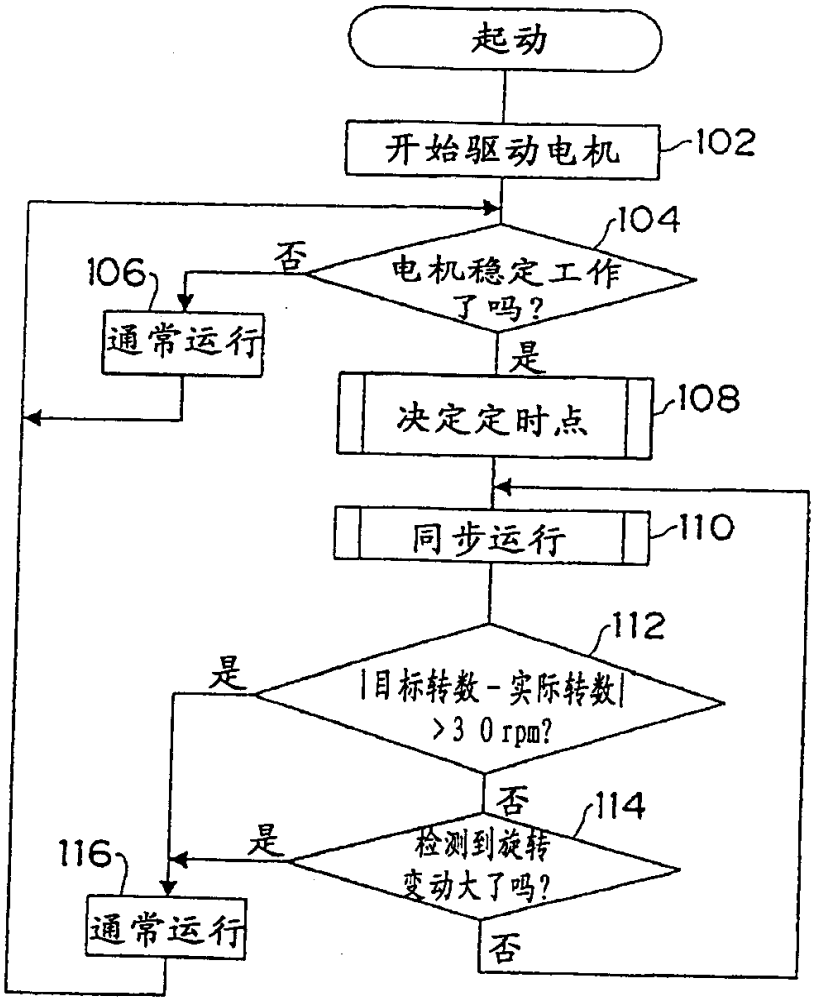

起动
开始驱动电机
102
104
电机稳定工作了吗?
否
106
通常运行
是
决定定时点
108
同步运行
110
112
|目标转数-实际转数|>30rpm?
是
否
114
检测到旋转变动大了吗?
是
116
通常运行
否

图 6

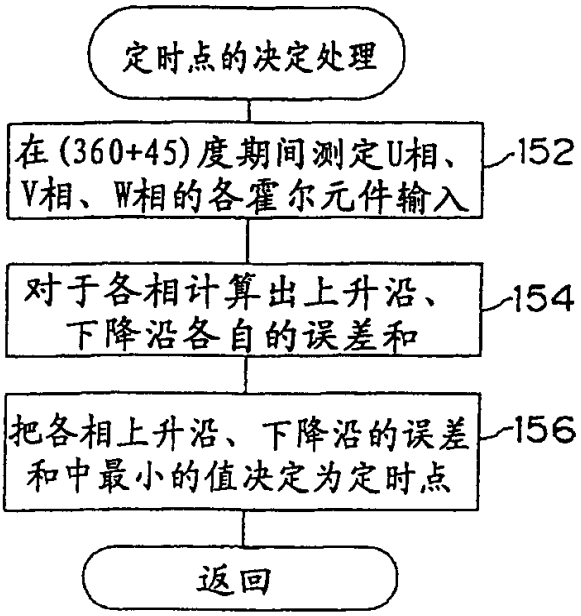

定时点的决定处理
在(360+45)度期间测定U相、V相、W相的各霍尔元件输入
152
对于各相计算出上升沿、下降沿各自的误差和
154
把各相上升沿、下降沿的误差和中最小的值决定为定时点
156
返回

图 7

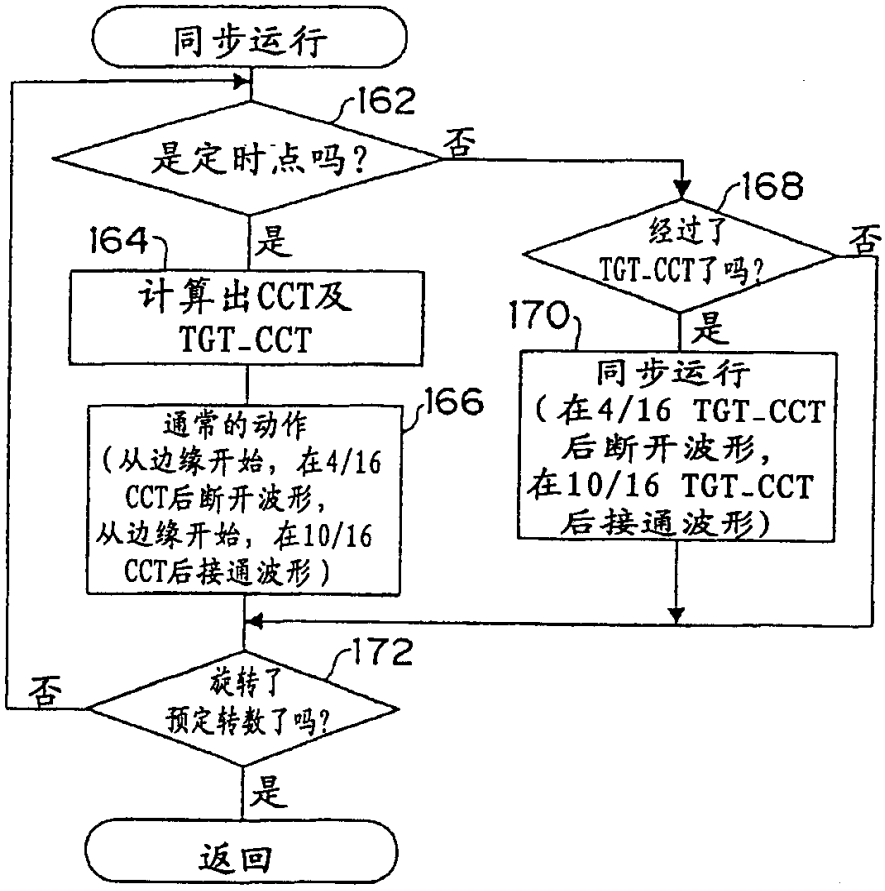

同步运行
162
是定时点吗?
否
是
164
计算出CCT及TGT_CCT
166
通常的动作(从边缘开始，在4/16 CCT后断开波形，从边缘开始，在10/16 CCT后接通波形)
168
经过了TGT_CCT了吗?
否
是
170
同步运行(在4/16 TGT_CCT后断开波形，在10/16 TGT_CCT后接通波形)
172
旋转了预定转数了吗?
否
是
返回

图 8

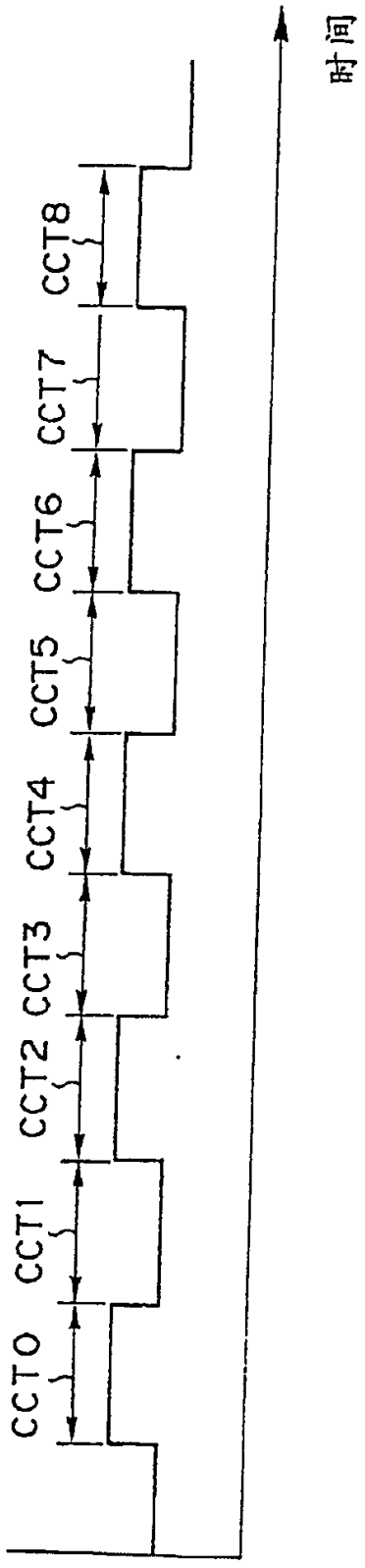


图 9

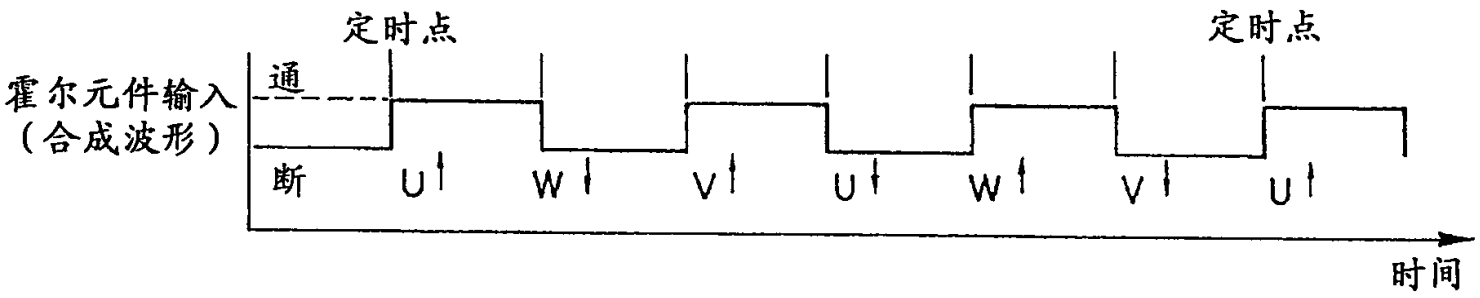


图10

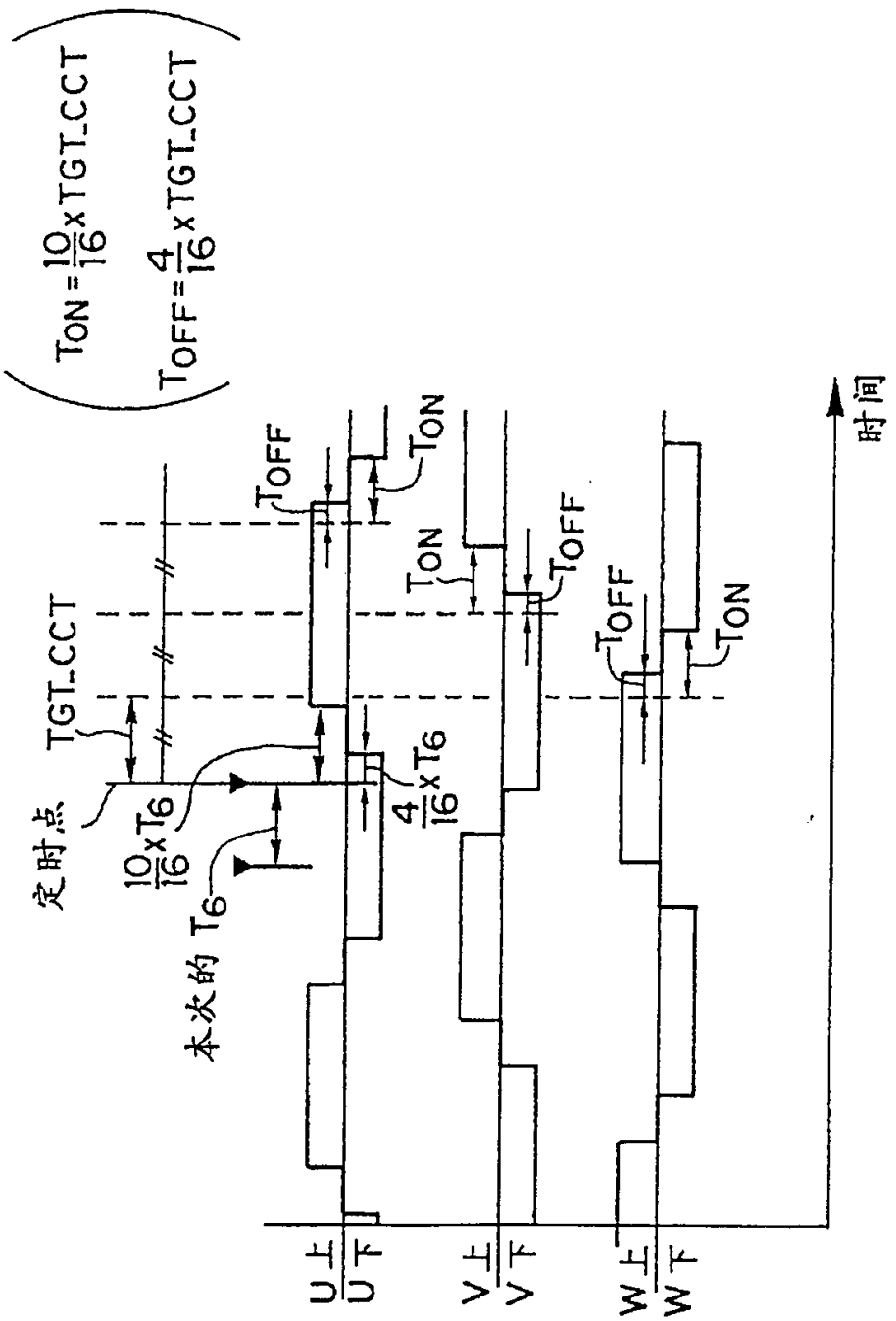

$T_{ON}=\frac{10}{16}\times TGT_CCT$
$T_{OFF}=\frac{4}{16}\times TGT_CCT$
定时点
TGT_CCT
$\frac{10}{16}\times T_6$
本次的 $T_6$
$\frac{4}{16}\times T_6$
$T_{OFF}$
$T_{ON}$
$T_{ON}$
$T_{OFF}$
$T_{OFF}$
$T_{ON}$
U上
U下
V上
V下
W上
W下
时间

图11

