

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97121500.6

[45] 授权公告日 2001 年 6 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1067501C

[22] 申请日 1997.10.6 [24] 颁证日 2001.2.3

[21] 申请号 97121500.6

[30] 优先权

[32] 1997.2.3 [33] US [31] 794,608

[73] 专利权人 邓斯尔·兰布达株式会社

地址 日本东京

共同专利权人 先进移动控制公司

[72] 发明人 G·赫林 M·耶克 M·施米特

[56] 参考文献

US 5028852 1991. 7. 1 _

US 5040774 1991. 8. 1 _

审查员 张志杰

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

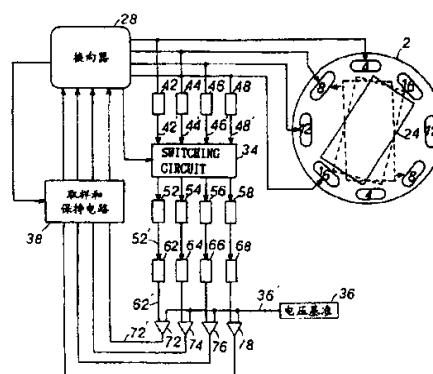
代理人 王忠忠 傅康

权利要求书 5 页 说明书 16 页 附图页数 10 页

[54] 发明名称 改进的换向位置检测系统和方法

[57] 摘要

本发明涉及一种改进的换向位置检测系统,用于精确地决定多相无刷电动机内的换向位置,而不使用传统的传感器或检测器。本发明通过求出定子线圈内流通的电流的微分并把微分电流相互进行比较(绝对换向位置检测)或把微分电流与一个预定阈值进行比较(累进的换向位置检测)来决定换向位置,以获得换向位置的实时估价。



权 利 要 求 书

1. 一种起动一个多相无刷电动机的方法, 所述无刷电动机具有多个设置在一个转子周围的定子线圈, 包括下列步骤:

5 (a) 在所述转子保持在所述电动机中的一个固定位置上时同时用一个驱动信号给每个所述定子线圈通电;

(b) 在所述同时通电的步骤期间连续监视每个所述定子线圈的电流波形;

10 (c) 连续地求每个所述定子线圈的所述电流波形的微分以确定每个所述定子线圈的电流波形的变化率;

(d) 把每个所述定子线圈的所述电流波形的变化率与一个预定的电压阈值进行比较以从所述多个定子线圈中决定工作定子线圈; 以及

(e) 给所述工作定子线圈施加一个驱动信号以在所述电动机中起动所述转子旋转。

15 2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (b) 进一步包括下列步骤:

(i) 设置与每个所述定子线圈相关的电流检测装置; 和

(ii) 在步骤 (a) 期间检测每个所述多个定子线圈的电流波形。

20 3. 根据权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (c) 进一步包括下列步骤:

(i) 设置与所述电流检测装置相关的微分装置; 和

(ii) 求出每个所述定子线圈的所述电流波形的微分以确定每个所述定子线圈的电流波形的变化率。

25 4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (d) 进一步包括下列步骤:

(i) 设置用于可调节地设定与所述微分装置相关的所述预定电压阈值的装置;

30 (ii) 对用于可调节地设定与所述微分装置相关的所述预定电压阈值的所述装置进行这样的设定: 提供一个与每个所述定子线圈的所述电流波形的变化率进行比较的基准; 和

(iii) 把每个所述定子线圈的电流波形的变化率进行比较以决定所述的工作定子线圈。

5. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于, 所述步骤(e)进一步包括下列步骤:

5 (i) 设置用于发生所述驱动信号的换向装置; 和

(ii) 把所述驱动信号施加给所述工作定子线圈以在所述电动机中起动所述转子进入运动。

6. 一种起动具有一个转子和多个定子线圈的多相无刷电动机的方法, 包括下列步骤:

10 (a) 当所述转子静止时给每个所述定子线圈提供一个驱动信号;

(b) 在步骤(a)期间连续地求每个所述定子线圈的电流波形的微分;

(c) 连续地把来自步骤(b)的微分电流波形与一个预定的电压阈值进行比较; 以及

15 (d) 根据来自步骤(c)的比较有选择地对至少一个所述定子线圈通电以驱动所述转子进入正确的旋转运动。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其特征在于, 所述步骤(b)进一步包括下列步骤:

(i) 设置用于检测每个所述定子线圈中所述电流的电流检测装置;

(ii) 设置与所述电流检测装置相关的微分装置; 和

20 (iii) 通过所述微分装置求出每个所述定子线圈中的所述电流波形的微分。

8. 根据权利要求7所述的方法, 其特征在于, 步骤(c)进一步包括下列步骤:

(i) 设置用于可调节地设定所述预定电压阈值的装置;

25 (ii) 设置用于把每个所述微分电流波形与所述预定电压阈值进行比较的比较装置;

(iii) 把来自步骤(b)的所述微分电流波形与所述预定电压阈值进行比较以决定每个所述定子线圈对所述转子的相对位置。

9. 根据权利要求8所述的方法, 其特征在于, 步骤(d)进一步包括下列步骤:

30

(i) 决定所述多个定子线圈中哪一个以最接近位置与所述转子对准, 以确定一个工作定子线圈; 和

(ii) 给所述工作定子线圈施加所述驱动信号。

10. 一种用于检测多相无刷电动机中转于相对于多个定子线圈的位置的方法, 包括下列步骤:

(a) 连续地给每个所述定子线圈冲入至少一个预定的额定励磁电流;

(b) 在所述连续注入的步骤期间连续监视每个所述定子线圈的电流波形;

(c) 连续地求每个所述定子线圈的电流波形的微分以确定每个所述定子线圈的电流波形的变化率; 以及

(d) 把至少两个所述电流波形的变化率的值相互进行比较以产生一个代表所述电动机中的所述转子的位置的绝对基准。

11. 根据权利要求 10 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (b) 进一步包括下列步骤:

(i) 设置与每个所述定子线圈相关的电流检测装置; 和

(ii) 在步骤 (a) 期间检测每个所述多个定子线圈的电流波形。

12. 根据权利要求 11 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (c) 进一步包括下列步骤:

(i) 设置与每个所述电流检测装置相关的微分装置;

(ii) 求出每个所述定子线圈的所述电流波形的微分以确定每个所述定子线圈的电流波形的变化率。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (d) 进一步包括下列步骤:

(i) 设置与至少两个所述微分装置相关的比较装置;

(ii) 一起比较所述至少两个所述微分装置中的每个的所述电流波形的变化率的幅值。

14. 根据权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (d) (i) 进一步包括下列步骤:

设置多个与至少两个所述微分装置相关的比较装置。

15. 根据权利要求 13 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 (d) (i) 进一步

包括下列步骤:

(a) 设置至少两个具有多个与每个所述微分装置相连的输入端和一个与一个比较器相连的输出端的多路调制器; 和

5 (b) 控制所述至少两个多路调制器以有选择地使两个所述电流波形的变化率输入所述比较器。

16. 一种用于决定具有多个设置在转子周围的定子线圈的多相无刷电动机中的换向位置的方法, 包括下列步骤:

(a) 把至少一个预定额定电流施加给每个所述定子线圈;

10 (b) 在步骤(a)期间连续地求每个所述定子线圈中流过的电流的微分以产生每个定子线圈的电流波形的变化率; 以及

(c) 连续地一起比较至少两个所述电流波形的变化率以决定一个代表电动机中的转子的位置的绝对基准。

17. 根据权利要求16所述的方法, 其特征在于, 所述步骤(b)进一步包括下列步骤:

15 (i) 设置用于检测每个所述定子线圈中所述电流的电流检测装置;

(ii) 设置与所述电流检测装置相关的微分装置; 和

(iii) 通过所述微分装置求出每个所述定子线圈中的所述电流波形的微分。

20 18. 根据权利要求17所述的方法, 其特征在于, 所述步骤(c)进一步包括下列步骤:

(i) 设置与所述微分装置相关的比较装置;

(ii) 比较至少两个所述电流波形的变化率的幅值。

19. 根据权利要求18所述的方法, 其特征在于, 所述步骤(c)(i)进一步包括下列步骤:

25 设置多个与所述微分装置相关的比较器。

20. 根据权利要求18所述的方法, 其特征在于, 所述步骤(c)(i)进一步包括下列步骤: 设置一个比较器、一个用于有选择地把至少一个所述电流波形的变化率输入给所述比较器的第一多路调制器和一个用于有选择地把至少一个所述电流波形的变化率输入给所述比较器的第二多路调制器,

30 所述步骤(c)(ii)包括下列步骤: 控制所述第一和第二多路调制器以

便于有选择地把至少两个所述电流波形的变化率输入给所述比较器。

21. 一种用于控制具有一个转子和多个定子线圈的多相无刷电动机的运转的装置, 包括:

(a) 换向位置检测装置, 用于检测所述转子相对于所述多个定子线圈的位置,

所述换向位置检测装置包括:

(i) 电流检测装置, 用于检测在每个所述定子线圈中流过的电流的量;

(ii) 微分装置, 用于求出每个所述定子线圈中流过的电流的量的微分;

和

(iii) 比较装置, 用于一起比较至少两个所述定子线圈的所述微分电流以决定一个代表所述电动机中的所述转子的位置的绝对基准; 以及

(b) 换向装置, 用于根据所述绝对基准有选择地给每个所述定子线圈施加至少一个预定的额定电流并且有选择地给一个或多个所述定子线圈施加一个驱动信号。

22. 根据权利要求 21 所述的的装置, 其特征在于, 所述比较装置包括至少两个连接在所述微分装置和所述换向装置之间的比较器。

23. 根据权利要求 21 所述的的装置, 其特征在于, 所述比较装置包括多路调制装置和一个比较器, 所述多路调制装置用于有选择地使至少两个所述定子线圈的所述微分电流通过而到达所述比较器。

说明书

改进的换向位置检测系统和方法

5 本申请是 1995 年 9 月 11 日提交的, 题目为“用于无刷电动机的无传感器换向位置检测”, 申请顺序号为 08/526, 525 的美国专利申请的后续申请, 在此可以参照其说明。

本发明一般地涉及检测多相无刷电动机内的转子位置的领域。特别是, 本发明是针对用于根据工作和/或不工作定子线圈内流通的电流的变化率 (dI/dT) 来
10 检测多相无刷电动机内的转子的位置的装置和方法。

一般的说, 无刷电动机包括一个转子和一个具有许多绕线定子线圈的定子。在很大程度上, 由于无刷电动机是电子换向的原因, 而使无刷电动机变得普遍和具有工业应用的广泛配置, 其中固态开关代替了传统永磁体直流电动机的电刷和换向片叠成的换向器。电刷的取消由于不需要对电刷进行维护和更换而简化了电
15 动机的维护, 由于没有电刷而有效地降低了噪声, 没有了会产生电磁干扰的电弧。电弧的消除也大大减小了在有易燃易爆混合物的情况下的爆炸危险性。这样, 无刷电动机可以理想地用于任何具有敏感电路或危险条件的装置中。

无刷电动机可以是可变磁阻、永磁体或混合型的。可变磁阻无刷电动机的特征在于具有一个顺序移动定子线圈的磁场的铁心转子槽以吸引转子进入旋转运
20 动。永磁体无刷电动机的特征在于具有顺序通电的定子线圈以吸引或推斥一个永磁体转子进入旋转运动。混合型无刷电动机例如步进电动机通过一系列的脉冲而工作, 以使其转子移动或者当其每次接收到一个输入步进脉冲时使其转子转过一转的可精细控制的角度。这使得转子的运动能够以可以转换成精确转动或直线运动的高精度来进行控制。

25 为了保证可变磁阻和永磁体无刷电动机中的适当转动和直线运动, 主要的是决定转子相对于通电的或工作的定子线圈的位置。通过检测到该位置 (称为换向位置), 定子线圈就能以合适的顺序通电以在电动机中产生旋转磁场, 而在转子上获得所需的旋转或直线转矩。通常, 在特定无刷电动机中使用一个或多个传感器来检测换向位置以检测转子相对于工作定子线圈或线圈的位置。

30 但是, 使用传感器来决定换向位置具有一些缺点。首先, 这些传感器因需要

复杂的位置调整和增加的布线而提高了生产成本。而且，换向位置传感器所需要的空间也是一个重要的缺点，其中需要在电动机外壳内花费宝贵的空间。随着对空间和成本率的重视，已经尝试开发“无传感器”换向位置反馈系统来取代无刷电动机中换向位置传感器的需要。

- 5 Mann 等的美国专利 5, 327, 053 就使用了一种这样的“无传感器”技术，其中使用未通电的定子线圈中的反电动势电压来决定电动机起动期间的换向位置。该方法是以正比关系为基础的，其中在电动机工作期间，在定子线圈中产生的反电动势电压是电动机速度、旋转方向和换向位置的函数。但是，在该技术中产生的一个很大的缺点是在起动运转期间在转子的低转速情况下难于可靠地测量反电动势电压。结果表明，尤其是在例如计算机盘驱动电动机的应用中是麻烦的，其中在起动时需要合适的旋转方向以避免损坏盘的内容。

- 10 转让给 McCormack 的美国专利 5, 191, 270 提出了一种克服反电动势方法缺点的尝试。在该技术中，在起动期间由工作的相位来进行“无传感器”换向检测。在转子保持静止期间，通过给每个定子线圈施加一个已知电压，在每个定子线圈内的电流上升时间形成一个初始测量。然后给几乎与转子的磁场对准的定子线圈施加一个驱动电流以便于使转子稍微移动。以同样方法产生一个第二电流上升时间测量，并且与初始电流上升时间测量进行比较。对每个定子线圈分析初始和第二电流上升时间的测量来指示出应该首先通电的定子线圈以在起动期间提供合适的旋转方向。

- 20 但是，在该方法中的一个主要缺点是仅仅限于起动运转。特别是，该方法是针对起动期间决定计算机盘驱动器的旋转方向，以便于避免因错误的旋转方向而损坏盘的内容。为了实现该目的，以两个分离的间隔来测量每个定子线圈内的电流上升时间，而仅仅决定开始应给定子线圈通电以便于以正确的旋转方向来起动转子。但是，该方法不能在电动机的正常的全速运转中连续地表示转子相对于定子线圈的换向位置。

- 25 而且，该方法不能提供换向位置的精确估价。如上述那样，该方法仅仅在两个分离的点上按时测量全部定子线圈中的电流上升时间，把这些数值进行比较，而相应地起动旋转。通过以两个分离测量为基础的换向位置检测，该方法必须假设在电流上升时间测量之间的间隔期间不能估计的确实的位置特性。这些假设使
30 该方法仅在一个换向中是精确的，与整个工作周期相反。由于不能正确和连续地

决定换向位置而使得不能以有效的方式连续地驱动定子线圈，这就大大妨碍了正确确定电动机运行。

该方法的另一个缺点是根据在电动机中流过的电流的绝对值来决定换向位置。通过以固定的时间间隔来测量每个定子线圈内的电流上升时间，该方法对电动机速度、电动机负载、PWM 频率和母线电压中的变化或波动高度敏感。例如，当电动机负载上升时，将需要延长驱动信号的脉冲宽度以增加提供给电动机的能量，来补偿上升的负载。在脉冲宽度上的这样的变化使得电流上升时间测量在幅值上随所受到的负载而变化，由此，而不利地影响换向位置检测的精度和可靠性。

因此，需要一种换向位置检测系统，能够在整个换向过程中精确和连续地估计换向位置，而不是仅仅在起动期间。也需要提供一种与电动机中流过的电流的绝对值无关的换向位置检测系统。

本发明的一个主要目的是提供一种用于“无传感器”换向位置检测的改进的方法和装置，能够在整个电动机工作期间可靠地、精确地和连续地进行换向位置检测。

本发明的另一个目的是提供一种用于“无传感器”换向位置检测的改进的方法和装置，与电动机中流过的电流的绝对值无关地工作，以可靠和精确地决定换向位置而不管电动机速度和负载、PWM 频率、和/或母线电压中的变化。

本发明的另一个目的是提供一种用于“无传感器”换向位置检测的改进的方法和装置，能够检测电动机中的故障情况。

根据本发明的一个主要方案，提供一个起动具有多个设置在转子周围的定子线圈的多相无刷电动机的方法，包括下列步骤：（a）在转子保持在所述电动机中的一个固定位置上时同时用一个驱动信号给每个定子线圈通电；（b）在同时通电的步骤期间连续监视每个定子线圈的电流波形；（c）连续地求每个定子线圈的电流波形的微分以确定每个定子线圈的电流波形的变化率；（d）把每个定子线圈的电流波形的变化率与一个预定的电压阈值进行比较以从多个定子线圈中决定工作定子线圈；以及（e）给工作定子线圈施加一个驱动信号以在电动机中起动转子旋转。

根据本发明的另一个主要方案，提供一个起动具有一个转子和多个定子线圈的多相无刷电动机的方法，包括下列步骤：（a）当转子静止时给每个定子线圈提供一个驱动信号；（b）在步骤（a）期间连续地求每个定子线圈的电流波形的微

分; (c) 连续地把来自步骤 (b) 的微分电流波形与一个预定的电压阈值进行比较; 以及 (d) 根据来自步骤 (c) 的比较有选择地对至少一个定子线圈通电以驱动转子进入正确的旋转运动。

5 根据本发明的另一个主要方案, 提供一个检测多相无刷电动机中转子相对于多个定子线圈的位置的方法, 包括下列步骤: (a) 连续地给每个定子线圈注入至少一个预定的额定励磁电流; (b) 在连续注入的步骤期间连续监视每个定子线圈的电流波形; (c) 连续地求每个定子线圈的电流波形的微分以确定每个定子线圈的电流波形的变化率; 以及 (d) 把至少两个电流波形的变化率的值相互进行比较以产生一个代表电动机中的转子的位置的绝对基准。

10 根据本发明的另一个主要方案, 提供一个决定具有多个设置在转子周围的定子线圈的无刷电动机中的换向位置的方法, 包括下列步骤: (a) 把至少一个预定的额定电流施加给每个定子线圈; (b) 在步骤 (a) 期间连续地求每个定子线圈中流过的电流的微分以产生每个定子线圈的电流波形的变化率; 以及 (c) 连续地一起比较至少两个电流波形的变化率以决定一个代表电动机中的转子的位置的绝对基准。

15 根据本发明的另一个主要方案, 提供一个用于控制具有一个转子和多个定子线圈的多相无刷电动机的运转的装置。该装置包括换向位置检测装置, 用于检测转子相对于多个定子线圈的位置。该换向位置检测装置包括: 电流检测装置, 用于检测在每个定子线圈中流过的电流的量; 微分装置, 用于求出每个定子线圈中流过的电流的量的微分; 和比较装置, 用于一起比较至少两个定子线圈的微分电
20 流以决定一个代表电动机中的转子的位置的绝对基准。该装置还包括换向装置, 用于根据绝对基准有选择地给每个定子线圈施加至少一个预定的额定电流并且有选择地给一个或多个定子线圈施加一个驱动信号。

25 根据本发明的另一个主要方案, 提供一个用于决定具有一个转子和多个定子线圈的无刷电动机中的换向位置的装置。该装置包括电流检测装置, 用于检测在每个定子线圈中流过的电流的量。该装置进一步包括: 微分装置, 用于求出每个定子线圈中流过的电流的量的微分; 和比较装置, 用于一起比较至少两个定子线圈的微分电流, 以决定一个代表电动机中的转子的位置的绝对基准。

30 本发明的这些和其他的目的、优点及特征将通过结合附图对本发明的实施例的描述而得到进一步说明。在这些附图中:

图1是表示在正常运转期间本发明的累进的换向位置检测方法中的基本步骤的流程图;

图2是表示图1的累进的换向位置检测方法的一个典型应用的方框图;

图1A 代表在一个换向周期内施加给图2的工作定子线圈的PWM信号;

5 图3B 是在换向期间图2的工作定子线圈内的电流波形;

图3C 是在换向期间图2的工作定子线圈内的标准电流波形;

图3D 代表图2的工作定子线圈的电流波形的变化率同一个预定电压阈值的比较;

图3E 是图3D 所示的的比较的比较器输出信号;

10 图2A-4E 代表图2所示的实施例的换向位置检测波形, 其中通过在每个PWM OFF 脉冲期间而不是在如图3A-3E 所示的每个PWM ON 脉冲期间分析电流波形的变化率来检测换向位置;

图1是表示通过本发明的累进的换向位置检测方法而起动多相无刷电动机的算法的流程图;

15 图2是表示图1的累进的换向位置检测方法的另一个应用的方框图, 即, 用于检测一个步进电动机中故障状态的系统;

图1A 代表在一个换向周期内施加给图6的工作定子线圈的PWM信号;

图7B 是在换向期间图6的工作定子线圈内的电流波形;

图7C 是在换向期间图6的工作定子线圈内的标准电流波形;

20 图7D 代表图6的工作定子线圈的电流波形的变化率同一个预定电压阈值的比较;

图7E 是图7D 所示的的比较的比较器输出信号;

图1是表示本发明的绝对换向位置检测方法的基本步骤的流程图;

25 图2是具有一个并联编码装置的图8的绝对换向位置检测方法的一个典型应用; 和

图3是具有一个多路调制的编码装置的图8的绝对换向位置检测方法的另一个典型应用。

本发明提供了一种累进的换向位置检测系统和一种绝对换向位置检测系统, 能够精确地决定多相无刷和/或步进电动机中的换向位置而不使用接近传感器或
30 检测器。如在其中所使用的那样, 术语“换向位置”代表多相无刷电动机内转子

相对于各个定子线圈的物理位置。通过辨认该位置信息，能够以最佳方式依次给定子线圈通电，以在电动机内产生一个给转子施加最大旋转和/或直线转矩的旋转磁场。也可以使用该位置信息来检测多相无刷电动机内的故障状态。

一般地说，本发明是能够根据公知的原理来决定换向位置，该公知的原理是：

- 5 多相无刷电动机中的每个定子线圈的电感与其相对于转子的位置直接相关。虽然定子线圈电感是一个良好的指示器或换向位置，但是却难于通过直接测量来精确估价。本发明通过使用下列公式而克服了该问题：

$$dI/dT = \frac{(V - I \cdot R - d\phi/d\alpha)}{L}$$

其中：dI/dT=每个定子线圈中的电流变化率；

10 V=加给每个定子线圈的电压；

I=每个定子线圈中的流过的电流；

R=每个定子线圈的电阻；

L=每个定子线圈的电感；

15 $d\phi/d\alpha$ =相对于每个定子线圈与转子之间的角度上的变化的每个定子线圈的磁通的变化。

由于电流变化率(dI/dT)与线圈电感(L)成正比，因而可以通过分析每个定子线圈的电流变化率(dI/dT)波形来以间接的方式估价换向位置。在很多应用中，“I*R”项和“dφ/dα”项实际上可以忽略不计和/或是恒定的以使其在不会大大影响换向位置的决定的情况下可以忽略它们。但是，对于高精度的应用或在这两项遭受宽广的波动中的应用，可以采用标准步骤来消除这些无关的因素以便于电流变化率(dI/dT)能够由电感(L)高精度地代表，因而高精度地代表换向位置。

I. 累进的换向位置检测

首先参照图1，图1表示出了在正常运转期间本发明的累进的换向位置检测方法中的基本步骤的流程图。第一步骤10要求(连续或脉宽调制地)给一个工作定子线圈施加一个驱动信号。由于工作定子线圈与转子的相对位置，工作定子线圈随驱动信号而通电来给转子施加一个最大旋转和/或直线转矩。下一个步骤20需要监视工作定子线圈的电流波形以当转子接近工作定子线圈时估价该工作定子线圈中流过的电流的量。在一个优选实施例中，该电流波形在步骤30中被进行标准

30 化以消除各种会对工作定子线圈中流过的电流量产生很大影响的无关因素，例

如,电动机速度和母线电压中的波动。通过消除这些影响因素,电流波形的DC分量被去掉以提供一个仅包括电流的AC分量的电流波形。该电流的AC分量包括了本发明所针对的所需要的换向位置信息。

然后在步骤40中求出该标准化的电流波形以产生一个由工作定子线圈中的电
5 感(L)量所代表的电流波形的变化率。在后续的步骤50中,该电流波形的变化率与一个预定电压阈值进行比较以决定换向位置。在一个优选实施例中,在步骤60中把该换向位置信号输入一个取样保持电路,以阻塞或保持该换向位置信号的瞬态装载部分,以使在步骤70中一个换向模件可以给下一个工作定子线圈施加一个驱动信号,而不需要滤除掉该瞬态量。如下述那样,可以使用取样保持步骤60
10 来克服在PWM脉冲串中每次状态变化中以及当驱动信号切换到另一个定子线圈上时所产生的切换瞬态量。除了在这些保持周期期间,换向模件将分析换向位置信号以检测一个换向点,该换向点代表需要把驱动信号对准下一个工作定子线圈以维持转子处于最佳旋转和/或直线运动。

通过在图1中表示的是累进的换向位置检测方法,本发明能够在各种无刷电
15 动机中连续和精确地决定转子相对于工作定子线圈的位置。通过上述方法提供这样的实时换向位置信息,本发明可以适用于许多不同的应用。下面通过例举但不限制地描述两个这样的应用。如图2所示的那样,第一个应用包括一个用于在正常运转和起动期间控制一个可变磁阻电动机2中的定子线圈的依次换向的系统。如图7所示的那样,第二个应用包括一个用于检测步进电动机中的故障状态的
20 的系统。虽然图2和图7分别使用可变磁阻型和步进型的无刷电动机,但是完全可以认为这仅仅是例举,当然可以适用于其他的无刷电动机而不背离本发明的范围。

参照图2,可变磁阻电动机2具有四个定子线圈4、8、12、16,这四个定子
线圈4、8、12、16以相等关系围绕设在内部的转子24进行布置。设置一个换向
25 器28用于引导驱动信号给电动机2内的相应定子线圈通电。在换向器28与电动机2之间设置多个电流传感器42、44、46、48,以分别监测在定子线圈4、8、12、16中流过的电流。由电流传感器42、44、46、48所检测的电流波形被加给开关电路34。该开关电路34进一步同换向器28和多个标准化电路52、54、56、58
相连,该标准化电路52、54、56、58分别依次同多个微分电路62、64、66、68
30 相连。进一步设置多个比较器72、74、76、78,每个都具有一个同各个微分电路

62、64、66、68 相连的第一输入端、一个同一个可变电电压基准 36 相连的第二输入端、和一个同一个取样保持模件 38 相连的输出端。该取样保持模件 38 进一步同换向器 28 相连。

5 电流传感器 42、44、46、48 可以是几种公知的电流传感装置中的一种，包括一个电流传感电阻器、一个电流变换器、一个霍耳效应器件，或一个场效应晶体管的“导通”阻抗，但并不仅限于此。开关电路 34 可以包括多个可商业利用的开关元件，例如，由 Siliconix 生产的 DG211 模拟开关。如下面更详细描述的那样，开关电路 34 能够根据来自换向器 28 的输入而有选择地引导多个电流波形给其各个标准化电路 52、54、56、58。设置标准化电路 52、54、56、58 以去掉或消除
10 各种会对定子线圈中流过的电流量产生很大影响的无关因素，例如，电动机负载和母线电压上的变化。在一个典型的实施例中，每个标准化电路 52、54、56、58 都包括一个具有构成负反馈布置以去掉换向期间在定子线圈内流过的电流的 DC 分量的自动增益控制 (AGC)。也就是说，这样产生的标准化的电流波形仅包括定子线圈内流过的电流的 AC 分量，而不会因母线电压或电动机负载上的变化而产生
15 较大的波动。象所看到的那样，以该方法提取的电流的 AC 分量中的换向位置信息便于把预定电压阈值设定在一个足以提供换向位置的精确估价的电平上，由此而使电动机能够以很大效率进行换向。

微分电路 62、64、66、68 对每个标准化的电流波形进行微分以提供一个电流波形的变化率。微分电路 62、64、66、68 可以包括各种可商业利用的微分元件，
20 例如由 Texas Instruments 生产的 TL082 运算放大器。设置比较器 72、74、76、78 以把每个电流波形的变化率与由可变电电压基准 36 所设定的预定电压阈值进行比较。每个比较器 72、74、76、78 的输出在通过而到达换向器 28 之前由取样保持模件 38 进行监测。取样保持模件 38 可以包括各种可商业利用的取样保持电路或门锁电路。

25 在本发明的一个重要方案中，设置取样保持模件 38 以克服开关瞬态量的不利影响和在来自比较器 72、74、76、78 的输入信号中的相应噪声而不需要会给使这些信号中的换向位置信息变坏的滤除和相应信号处理技术。取样保持模件 38 通过在一个保持周期内有选择地阻塞比较器输出信号（当这些信号随着开关而包括有与瞬态相关的噪声时）和在一个取样周期内有选择地对这些比较器输出信号进行
30 取样（当这些信号不包括这样的瞬态量时）。瞬态量的最突出的原因包括当一个

PWM 驱动信号的每个脉冲改变状态时以及当驱动信号从一个定子线圈切换或换向到下一个时。这样，在一个优选实施例中，在每个 PWM 脉冲变化之后和在每个换向循环之后，由换向器 28 引导取样保持模件 38 来阻塞瞬态量一个预定周期，以使仅有最纯的和无噪声的信号被传递给换向器 28。借助取样保持模件 38 的帮助，

5 换向器 28 就可以检测到一个换向点，该换向点代表需要把 PWM 驱动信号施加给下一个定子线圈。在该方法中，PWM 驱动信号能够以适当的顺序和定时被施加给定子线圈 4、8、12、16，以使在电动机 2 中产生一个旋转磁场，该旋转磁场给转子 24 施加一个最佳量的旋转和/或直线转矩。

图 3A-3E 表示出了在正常运转期间如设在图 2 所示的系统中的本发明的累进的换向位置检测方法的特性波形。定子线圈 4 在图 2 所示的布置中是工作定子线圈，在此电动机 2 中的转子 24 的旋转位置是这样的位置：使定子线圈 4 的通电将产生一个给转子 24 施加最大转矩的磁场。在上述的优选实施例中，换向器 28 将引导图 3A 所示的 PWM 驱动信号到定子线圈 4，直到由本发明的累进的换向位置检测方法决定了换向位置为止，然后换向器 28 应依次由此引导 PWM 驱动信号给下一个定子线圈 8。该 PWM 驱动信号包括连续的 ON 和 OFF 脉冲的电压脉冲串，更清楚地说是 ON1-ON5 和 OFF1-OFF5。虽然被描述为一个 PWM 驱动信号，完全可以知道：对于一定的应用，该驱动信号也可以包括一个连续或固定的励磁信号而不会背离本发明的范围。

10 15

图 3B 表示出了如在 PWM 驱动信号的整个使用由电流传感器 42 中所测量的工作定子线圈 4 的中的电流波形 42'。电流波形 42' 的斜率在时间上随着 PWM 驱动信号的每个连续的 ON 和 OFF 脉冲而不断降低。通过参照上述公式，该斜率上的降低源于工作定子线圈 4 中的电感 (L) 大大升高，并且当转子 24 接近工作定子线圈 4 时，依次使 dI/dT 率不断降低。但是，虽然电流波形 42' 为清楚起见被描述为一个理想的波形，而在实际上在 PWM 脉冲串中的每次状态变化时电流波形 42' 会包括很大的瞬态量。为了克服该缺陷，取样保持模件 38 从信号到达换向器 28 之后随着每个 PWM 脉冲变化而把该信号保持一个预定时期 (H)，例如，在 OFF1 和 ON2 处对于脉冲变化被表示为每对垂直虚线之间的时期。虽然没有表示出来，完全能够理解，取样保持模件 38 将在 PWM 脉冲串中的每个状态变化时提供一个类似的保持时期 (H)。当使用其以阻塞导致把驱动信号换接到另一个定子线圈上的瞬态量时，

20 25 30

取样保持模件 38 可以提供实际上更长的保持时期 (H)，例如，跨过几个连

续的 PWM 脉冲, 以给瞬态量提供足够量的时间使之通过而使该信号在到达换向器 28 之前稳定下来。

在正常运转期间, 开关电路 34 同换向器 28 相配合而仅把工作定子线圈的电流波形引导给适当的标准化电路 52、54、56、58。在此情况下, 仅定子线圈 4 作为工作定子线圈, 开关电路 34 使电流波形 42' 通过而到达标准化电路 52。然后标准化电路 52 去掉换向期间对在工作定子线圈 4 中流过的电流产生很大程度影响的各种因素, 例如母线电压和电动机速度上的波动。该作用可以参照图 3C 看到, 其中标准化电流波形 52' 的幅值通常会因去掉了这样的影响因素而小于电流波形 42' 的幅值。标准化电流波形 52' 通过微分电路 62 而被进行微分以产生图 3D 所示的电流波形的变化率 62'。应当特别注意: 波形 62' 的电压电平对于每个连续的 PWM ON 脉冲不断减小而对于每个连续的 PWM OFF 脉冲不断增加。这再次是由于工作定子线圈 4 内的电流变化率 (dI/dT) 在转子 24 接近工作定子线圈 4 时降低了的因素。

图 3D 表示出了象由可变电压基准 36 所建立的那样的带有预定电压阈值 36' 的电流波形的变化率 62'。在所示的实施例, 可变电压基准 36 被构成为: 在 PWM ON 脉冲期间预定电压阈值 36' 根据定子线圈 4 中流过的电流量来检测换向位置。为了实现该目的, 预定电压阈值 36' 被设定在一个略高于对应于 PWM 驱动信号的 ON5 脉冲的电流波形的变化率 62' 的电平上, 以指示转子 24 处于于工作定子线圈 4 相对应的位置上, 以使 PWM 驱动被进到下一个工作定子线圈上, 即定子线圈 8。可变电压基准 36 可以包括各种可商业利用的可变电压基准, 可以包括由供手动调节用的可手动调节电位计所构成的放大器, 具有供动态调节用的自动增益控制 (AGC) 的放大器, 例如由 Analog Devices, Inc 生产的 AD7524 数模转换器, 但并不仅限于此。例如可以在每个换向周期内通过连续跟踪电流波形的变化率的最低 ON 脉冲电压平稳状态来获得这样的动态电压调节。

图 3E 表示在定子线圈 4 的换向期间比较器 72 的输出信号 72'。在一个优选实施例中, 比较器 72 构成为: 仅当电流波形的变化率 62' 降到预定电压阈值 36' 以下时进入高或导通状态。只要电流波形的变化率 62' 保持相交的预定电压阈值 36', 比较器输出信号 72' 就会产生一个脉冲串。然后, 参照脉冲 ON5, 比较器输出信号 72' 维持在高状态下。当比较器输出信号 72' 维持高状态时的时间上的该点被称之为换向点, 如图 3E 的标号 26 所示的那样。在一个优选实施例中, 预定电压阈值 36' 最好被设定为这样: 换向点 26 出现在当转子 24 与工作定子线圈

4 在位置上相对准的时候, 以使 PWM 驱动信号能够在时间上进到下一个工作定子线圈 8 而给转子 24 施加大量的旋转转矩。

仅当定子线圈 4 被设定为工作定子线圈时, 换向器 28 监视取样保持模件 38 的取样期间中的比较器 72 的输出, 以检测换向点 26 的出现。这可以通过几种公
5 知技术中的一个来实现。例如, 可以使用数字逻辑来把 PWM 驱动信号与比较器输出信号 72' 进行比较以检测两个波形同时处于高状态下的点。参照图 3A、3D 和 3E, 其出现在脉冲 ON5 的前沿上, 其中, 电流波形的变化率 62' 不能与预定电压
10 阈值 36' 相交, 在此, 使输出波形 72' 在换向点 26 上处于高状态下。当检测到换向点 26 时, 换向器 28 就引导 PWM 驱动信号给电动机 2 中的下一个工作定子线圈 8, 以重新启动累进的换向位置检测程序, 而把定子线圈 8 作为工作定子线圈。

在上述布置中, 本发明连续地决定换向位置, 以依次给定子线圈 4、8、12、16 通电, 来维持转子 24 处于连续和最佳旋转中。概括地说, 这是这样实现的:

(1) 把一个 PWM 驱动信号施加给工作定子线圈; (2) 监视工作定子线圈的电流
15 波形; (3) 把工作定子线圈的电流波形进行标准化; (4) 求出标准化电流波形的微分以识别工作定子线圈中的电流变化率 (dI/dT); 和 (5) 把工作定子线圈内的电流变化率 (dI/dT) 与预定电压阈值进行比较, 以决定 PWM 驱动信号何时应从当前工作定子线圈进到下一个工作定子线圈。该累进的换向位置检测方法可以
20 进一步包括下列步骤: 有选择地对换向位置信号进行取样和保持, 以仅仅允许没有开关瞬态量和相关噪声的部分通过而到达一个用于在各个定子线圈之间进行换向的换向器。该累进的换向位置检测方法与工作定子线圈内流过的电流值无关, 以使其可以适用于各种无刷电动机, 而不管特殊的电流特性, 例如从计算机盘驱动器到大型的工业无刷电动机。

参照图 4A-4E, 应当知道, 在后续的 PWM OFF 脉冲期间可以使用上述累进的换
25 向检测方法, 而不背离本发明的范围。在此情况下, 通过在 PWM 驱动信号的后续 OFF 脉冲期间分析工作定子线圈 4 内的电流变化率 (dI/dT) 来决定换向位置。如图 4D 和 4E 所示的那样, 这可以这样实现: 通过设定预定电压阈值 36' 以根据电
30 流波形的变化率 62' 的 OFF 脉冲电压平稳状态来触发比较器 72。在一个优选实施例中, 预定电压阈值 36' 在对应于脉冲 OFF5 的一个点上应被设定为略低于电
流波形的变化率 62', 这是因为在该期间转子 24 最接近于与工作定子线圈 4 相对

准的位置。比较器 72 将产生一个电压脉冲串，直到波形 72' 不会与预定电压阈值 36' 相交为止。电流波形的变化率 62' 不会与预定电压阈值 36' 相交将使比较器 72 的输出波形 72' 在换向点 26 上维持在低状态下。如上述那样，换向器 28 构成为检测取样保持模件 38 的取样周期内的换向点 26 的出现，以把 PWM 驱动信号施加给下一个工作定子线圈，即定子线圈 8。

图 5 是表示用于把多相无刷电动机升速到参照图 1 所述的正常工作次序的启动算法的基本步骤。第一步 100 包括把一个驱动信号施加给每个定子线圈以使转子处于电动机中的一个固定和静止的位置上。下一个步骤 110 包括监测每个定子线圈内的电流波形以测量其中流过的电流量。然后在步骤 120 中把每个电流波形进行标准化以分离出在电流波形的 AC 波纹电流中发现的位置信息。下续的步骤 130 包括求出每个定子线圈的每个标准化的电流波形的微分。然后在步骤 140 中同时把这些电流波形的变化率与一个预定电压阈值进行比较，以确定每个定子线圈其电感是否高于或低于预定电压阈值。通过该信息，能够识别定子线圈应接收 PWM 驱动信号而作为第一工作定子线圈。下一个步骤 150 包括有选择地对该换向位置信号进行取样和保持，仅使没有随开关瞬态量失真的那些部分可以到达一个换向模件。最后的步骤 160 包括把 PWM 驱动信号施加给有效定子线圈，以使在电动机中驱动转子进入适当的旋转运动中。对于图 2 所示的系统，在启动时的换向位置是未知的。为了克服该缺陷，换向器 28 同时把驱动信号通给每个定子线圈 4、8、12、16，从而上述每个定子线圈把转子 24 保持在电动机 2 中的一个静止位置上。在该期间，换向器 28 也控制开关电路 34 以使每个定子线圈 4、8、12、16 的电流波形通过而分别到达标准化电路 52、54、56、58，由此来进行标准化。然后有各个微分电路 62、64、66、68 来求出标准化的电流波形的微分，以产生分别代表定子线圈 4、8、12、16 中的电流变化率 (dI/dT) 的波形。然后把每个微分波形与由可变电压基准 36 所建立的预定电压基准进行比较。换向器 28 在取样保持模件 38 的取样期间内对来自比较器 72、74、76、78 的信息进行解码，以辨认换向位置，然后决定哪个定子线圈通电，该通电的定子线圈将在电动机 2 内产生一个足以驱动转子 24 进入适当的旋转运动的磁场。接着，换向器 28 给工作定子线圈施加 PWM 驱动信号以使转子 24 进入正常运转。

图 6 表示本发明的累进的换向位置检测方法的另一个主要应用的方框图，即，一个用于无刷电动机的故障检测器。在该实施例中，电动机 2 是一个具有多个定

子线圈 4、8、12、16 的步进电动机，这些定子线圈 4、8、12、16 以相等的关系围绕着设在内部的转子 24 而布置。设置一个故障指示器 32 以在取样保持模件 38 的取样期间接收比较器 72 的输出信号 72'。除此之外，该实施例的所有功能块都类似于图 2 所示的那些，因此，对此不再重复说明。但是，应当知道，本实施例的工作是参照图 7A-7E 的，其中，为了清楚起见而省略了来自取样保持模件 38 的预定保持周期 (H)。

图 7A 表示出在一个换向周期内被施加给工作定子线圈的驱动信号。虽然在使用步进电动机时该驱动信号总是一个 PWM 信号，但是，应当再次重申，一定的应用可以允许换向器 28 的驱动信号是连续或固定的而不是一个脉冲的 PWM 信号。也应当知道，如果驱动信号与 PWM 信号相反是连续的，则可以在每个换向周期的开始仅仅使用取样保持模件 38 来阻塞瞬态量，在此，不存在与使用 PWM 驱动信号相关的瞬态量。图 7B 表示在换向期间内在工作定子线圈 4 中流过的电流波形 42'。如容易看到的那样，电流波形 42' 的斜率 (dI/dT) 在脉冲 OFF2 之后保持不变，如虚线所示的那样。在正常运转条件下，由于转子 24 接近工作定子线圈 4，则该 dI/dT 比率通常会随着时间而降低。但是，在此情况下，电流波形 42' 的恒定斜率 (dI/dT) 代表在脉冲 OFF2 之后的一个故障状态，该脉冲 OFF2 依次转换成出现在图 7C 的虚线所示的标准化电流波形 52' 上的故障状态。当标准化电流波形 52' 被进行微分时，其会在后续的脉冲 OFF2 之后的电流波形的变化率 62' 上产生一个恒定的幅值，如在图 7D 中的水平虚线所示的那样。

象图 2 所示的的实施例那样以相同的方法来设定预定电压阈值 36'，以便于根据电流波形的变化率 62' 的 ON 脉冲电压平稳状态来触发比较器 72。但是，如图 7E 所示的那样，比较器 72 的输出信号 72' 会由于工作定子线圈 4 的换向周期中的转子 24 的故障状态而不停止与预定电压阈值 36' 相交。故障指示器 32 能够检测到电流波形的变化率 62' 的故障以停止与预定电压阈值 36' 相交，并且向故障状态的使用者报警这样一个检测。故障指示器 32 可以包括各种公知的电路来执行这些功能。例如，可以与共同数字逻辑结合而使用一个发光二极管 (LED)，以便于当决定了电流波形的变化率 62' 在工作定子线圈 4 的部分或整个换向周期中保持与预定电压阈值 36' 相交时，使该 LED 发光。如上述实施例那样，取样保持模件 38 通过随着每次 PWM 脉冲变化和换向变化而在该信号到达换向器 28 之后被保持一个预定时期 (H)，而克服了开关瞬态量。

II. 绝对换向位置检测

参照图 8, 表示出了本发明的绝对换向位置检测方法中的基本步骤的流程图。该方法特别适用于具有磁阻路径的多相无刷电动机, 例如步进电动机、可变开关磁阻 (VSR) 电动机和 PM 无刷电动机。磁阻电动机的转矩输出正比于励磁电流的平方, 以使小量的电流可以插入每个定子线圈, 而不会明显影响电动机的性能和效率。如下述的那样, 本发明的绝对换向位置检测方法利用磁阻电动机的上述特性, 以便于在起动和正常运转期间都精确决定换向。

10 第一步骤 105 包括把至少正常量的电流插入所有的定子线圈。在正常运转期间, 在把驱动信号 (固定或脉冲) 施加给工作定子线圈时, 将需要给不工作定子线圈插入一个额定量的电流。在起动时, 将需要把驱动信号施加给所有的定子线圈, 以使转子被维持在电动机中的一个固定和静止的位置上。在步骤 115 中监测每个定子线圈的电流波形以检测在每个定子线圈中流过的电流量。然后, 在步骤 125 中求出每个电流波形的微分以产生一个电流波形的变化率。如上述那样, 电流变化率 (dI/dT) 是每个定子线圈的电感 (L) 的函数, 而电感 (L) 则是换向位置 15 的函数。因而可以通过有效地分析每个定子线圈的电流变化率 (dI/dT) 就能检测到换向位置。在本发明的一个重要方案中, 该分析处于步骤 135 中, 其中, 至少两个电流变化率 (dI/dT) 被进行比较以便于决定电动机中的转子的绝对位置。在以该方法决定换向位置之后, 在步骤 145 中使用一个取样保持电路, 以有选择地对换向位置信号进行取样和保持, 以使在步骤 155 中在开关瞬态量和相应的噪声到达一个换向模块之后仅该部分是自由的, 以决定哪个定子线圈应被换向到驱动信号并执行。

在本发明的一个重要方案中, 上述处理消除了执行附加标准化步骤的需要, 在这样的附加标准化步骤中, 与所有定子线圈共同的误差在步骤 135 中删除。这就是说, 有效地删除了无关因素, 会大大影响电流变化率 (dI/dT) 的该无关因素 25 包括在温度、电动机速度、母线电压和气隙上的波动。但是, 通过有选择地选择适当的比较点, 由于磁通和转子角度的变化 ($d\phi/d\alpha$) 而产生的变化能够被有效地被删除, 再次消除了标准化的各个步。当使用开关磁阻电动机时, 该方案具有特别的优点, 其中, 这些电动机会根据上述公式增加能够对电流变化率 (dI/dT) 产生不利损害的有效 $d\phi/d\alpha$ 值。当然, 在不能适当地选择比较点以删除该 $d\phi/d\alpha$ 30 值的情况下, 可以进一步与标准化步骤相接合。

本发明还具有这样的优点：其提供了一种用于决定换向位置的绝对基准，而不是象由上述累进的换向位置检测方法所产生的一个累进的基准。再次通过一起比较至少两个定子线圈的电流变化率（ dI/dT ）而获得该绝对基准，以便于仅仅从电流波形中提取出最精确的位置信息。另一方面，该累进的方法根据一个预定电压阈值来估价工作定子线圈的电流变化率（ dI/dT ），以辨别一个代表需要使 PWM 驱动信号转换或进到下一个工作定子线圈的换向点。如果在与该预定电压阈值进行比较期间引入了噪声干扰，该噪声干扰就会对上述布置的累进的换向位置检测布置产生不利的影响。相反，绝对换向位置检测方法获得了主要的位置信息，而与每个定子线圈的状态无关，即，与工作或不工作无关，这样就不会受到噪声干扰。

图 9 和 10 表示上述绝对换向位置检测方法的两个主要应用。在这两个实施例中，电动机 2 是一个具有多个以相等关系设置在内转子周围的定子线圈 4、8、12、16 的可变开关磁阻电动机。如图 2 和 6 所示的实施例那样，在换向器 28 和电动机 2 之间设有多个电流传感器 42、44、46、48，以便于分别监视定子线圈 4、8、12、16 中流过的电流量。上述电流传感器 42、44、46、48 进一步分别同多个微分电路 62、64、66、68 相连，以确定在每个定子线圈 4、8、12、16 中流过的电流变化率（ dI/dT ）。在图 9 和图 10 中所示的实施例之间的重要区别在于下述的方法：在被换向到取样保持模件 38 和换向器 28 之前来处理微分的电流波形（ dI/dT ）。

图 9 使用一种并行处理装置，该装置具有多个比较器 69、71、73、75、77、79，这些比较器集中比较各个电流变化率（ dI/dT ）的每个可能的组合。如由本领域技术人员所公知的那样，这些比较提供了每个定子线圈 4、8、12、16 中的相关电感（L）水平的表示，如上述那样，上述电感（L）转换成了每个定子线圈与转子之间的相对距离的代表。当在取样保持模件 38 的取样期间接收到该信息时，换向器 28 就计算出这样的处理：应给各个定子线圈 4、8、12、16 通电而在起动过程中以适当的旋转起动转子 24 或者在正常运转期间给转子 24 施加最大转矩。虽然在该实施例中表示出的是使用六个独立的比较器 69、71、73、75、77、79，但是，完全应当知道：在一定的应用中，仅使用一个比较器而根据输出就能检测换向位置。这是因为：仅进行一个比较以消除所有定子线圈的共同误差，而且，还由于来自每个比较的位置信息的量会随换向位置而变化。如上述那样，能够忽略

一定的比较而不会对电动机 2 的运行产生很大的影响。

图 10 表示出该现象的一个例子，其中，使用一个多路调制处理装置以有选择地比较两个电流变化率 (dI/dT)，来决定换向位置。这是通过把每个微分电路 62、64、66、68 的输出连接到一个第一多路调制器 82 和一个第二多路调制器 84 上来实现的。有选择地开关第一多路调制器 82 和第二多路调制器 84，以仅把各个电流变化率 (dI/dT) 中的两个提供给一个比较器 86。该比较器 86 进行所需要的比较，然后把最终的位置信息提供给取样保持模件 38，如上述那样，该取样保持模件 38 在一个所选择的取样期间使这些信号前进到换向器 28。根据该信息，换向器 28 把 PWM 驱动信号引导给适当的定子线圈 4、8、12、16，以开始旋转（即启动）或持续旋转（即正常运转）。

上面详细描述了本发明，以给本领域技术人员提供需要应用的新的原理以及构成和使用实施例的信息。但是，应当知道，本领域的技术人员可以在不背离本发明的精神的条件下进行变化和变型。

例如，虽然图 1 和图 5 表示了标准化步骤处于微分步骤之前，但是，很容易知道，这些步骤可以交换，而不脱离本发明的范围，以便于可以在进行标准化之前来求微分。而且，很容易知道，对于一定的应用，完全可以从上述的累进的换向位置检测方法中省略标准化步骤。设计该标准化步骤是为了消除各个无关因素，例如电动机速度和母线电压上的波动，这些无关因素会对在工作定子线圈内流动的电流变化率 (dI/dT) 产生很大影响。通过把母线电压和电动机速度维持在一个恒定值上，就能消除一般是由母线电压和电动机速度导致的电流变化率上的很大变化。这样，本发明的累进的换向位置检测方法就能决定换向位置，而不必执行上述标准化。

应当注意到，虽然本发明的绝对换向位置检测方法不需要标准化步骤，但是如果需要的话，也可以在微分步骤之前或之后执行该附加步骤。

应当知道，电动机 2 可以具有多于或少于图中所示的定子线圈的数量而不脱离本发明的范围。而且，本发明可以适用于任何类型的无刷电动机，并不仅限于可变磁阻电动机、永磁电动机和步进电动机。

说明书附图

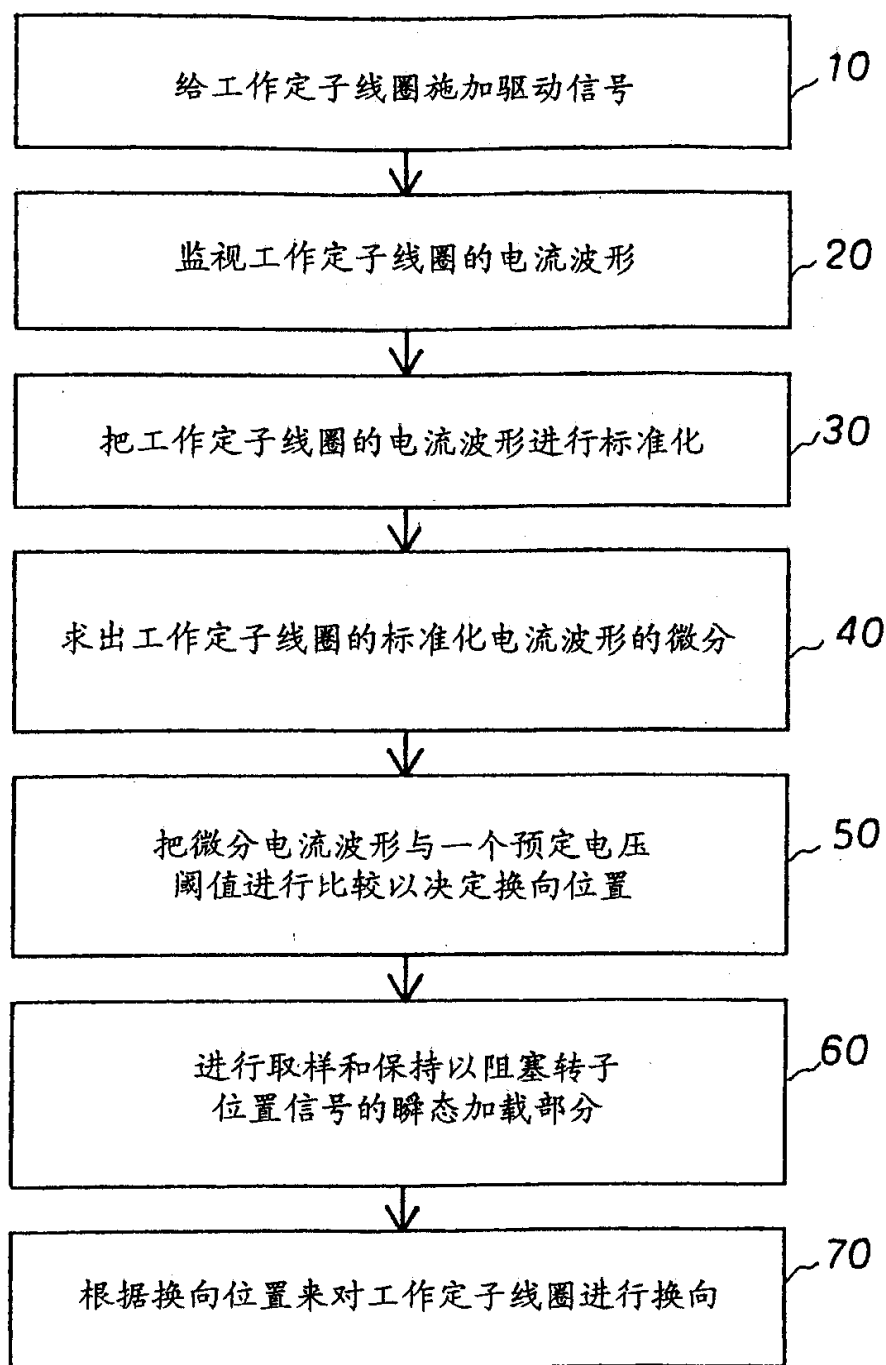


图 1

图 2

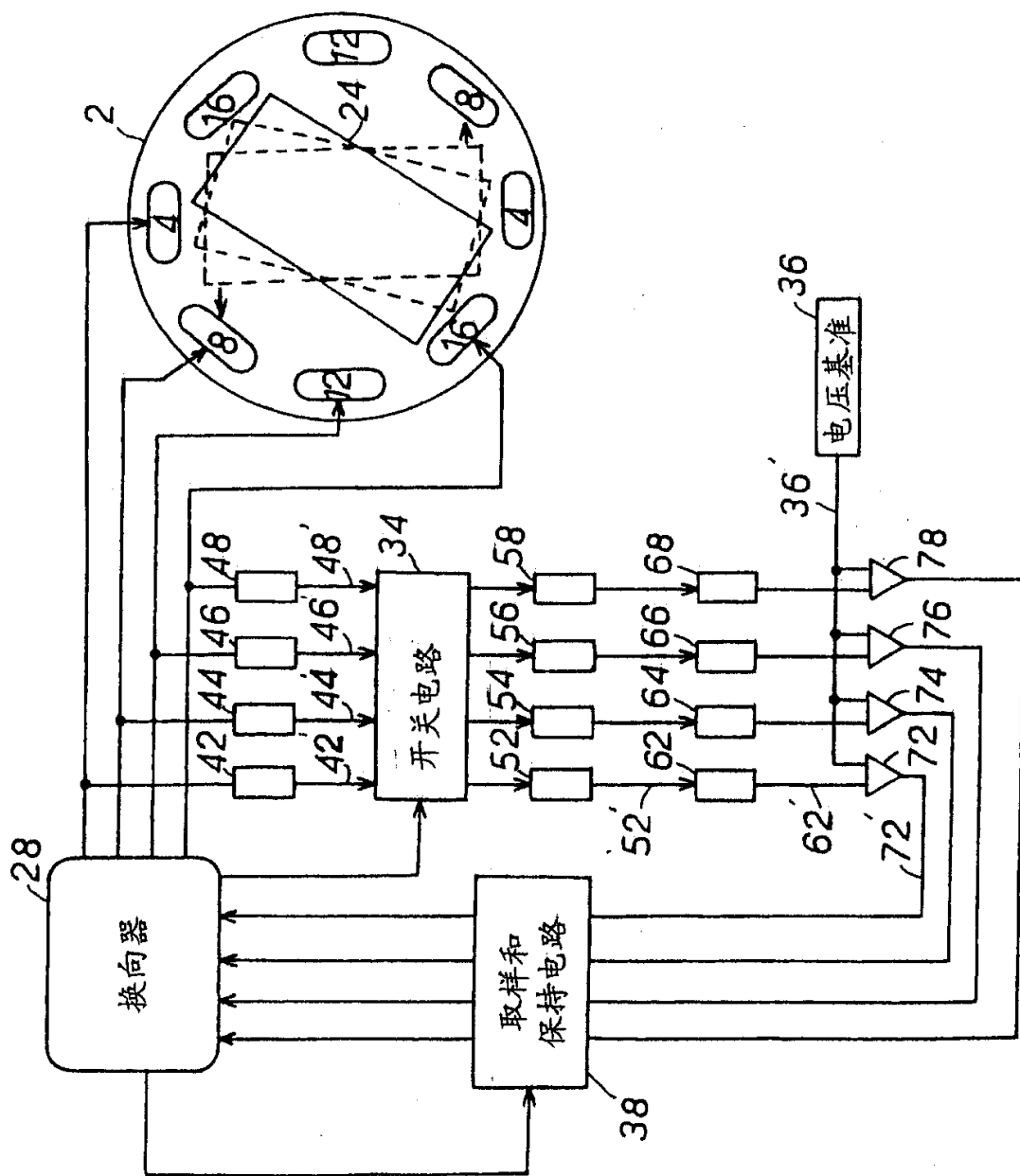


图 2

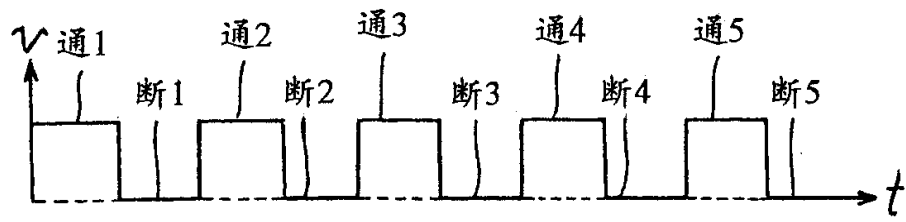


图 3A

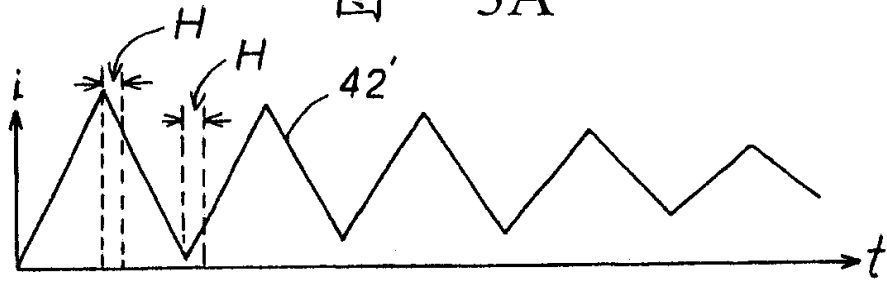


图 3B

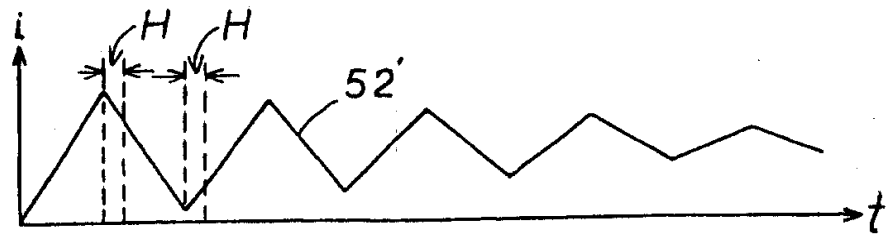


图 3C

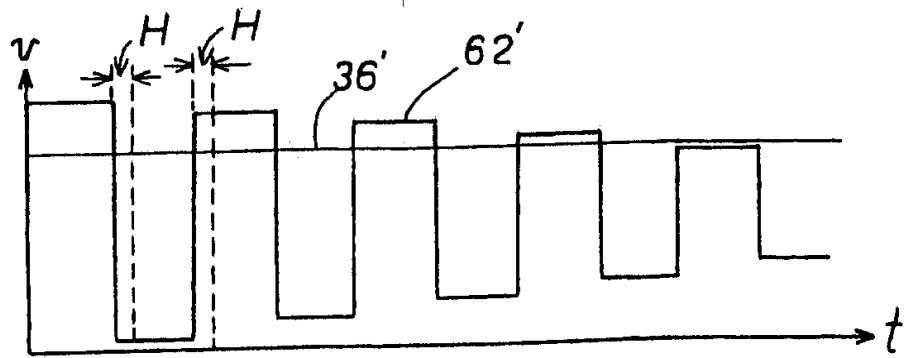


图 3D

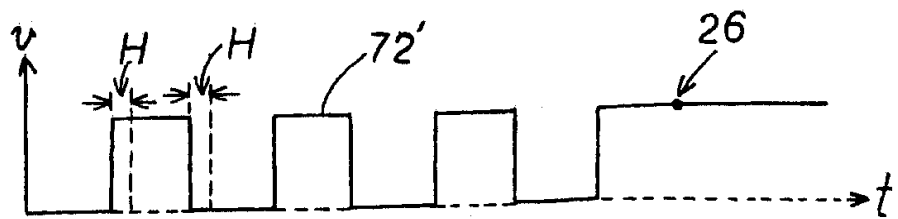


图 3E

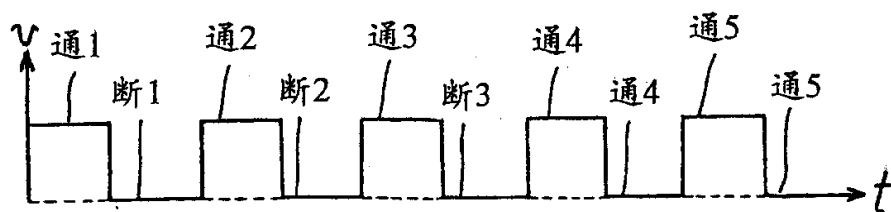


图 4A

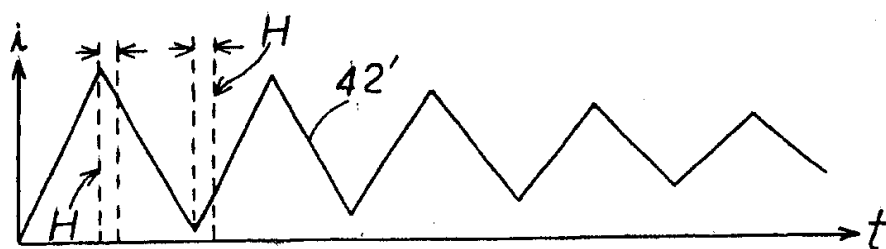


图 4B

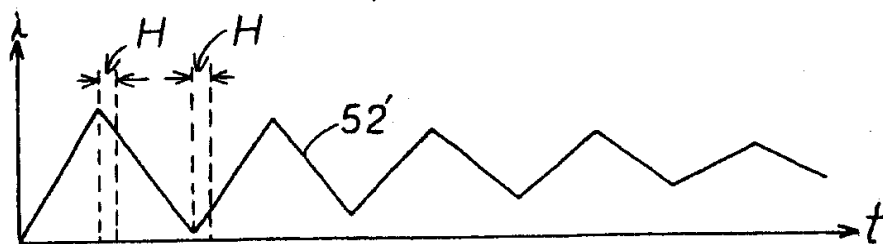


图 4C

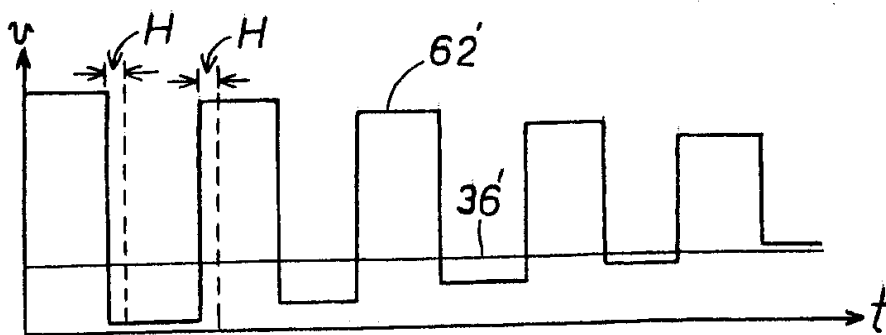


图 4D

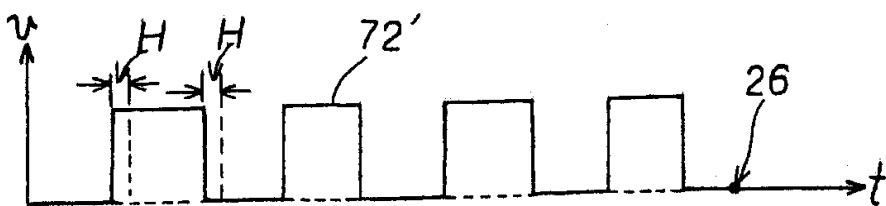


图 4E

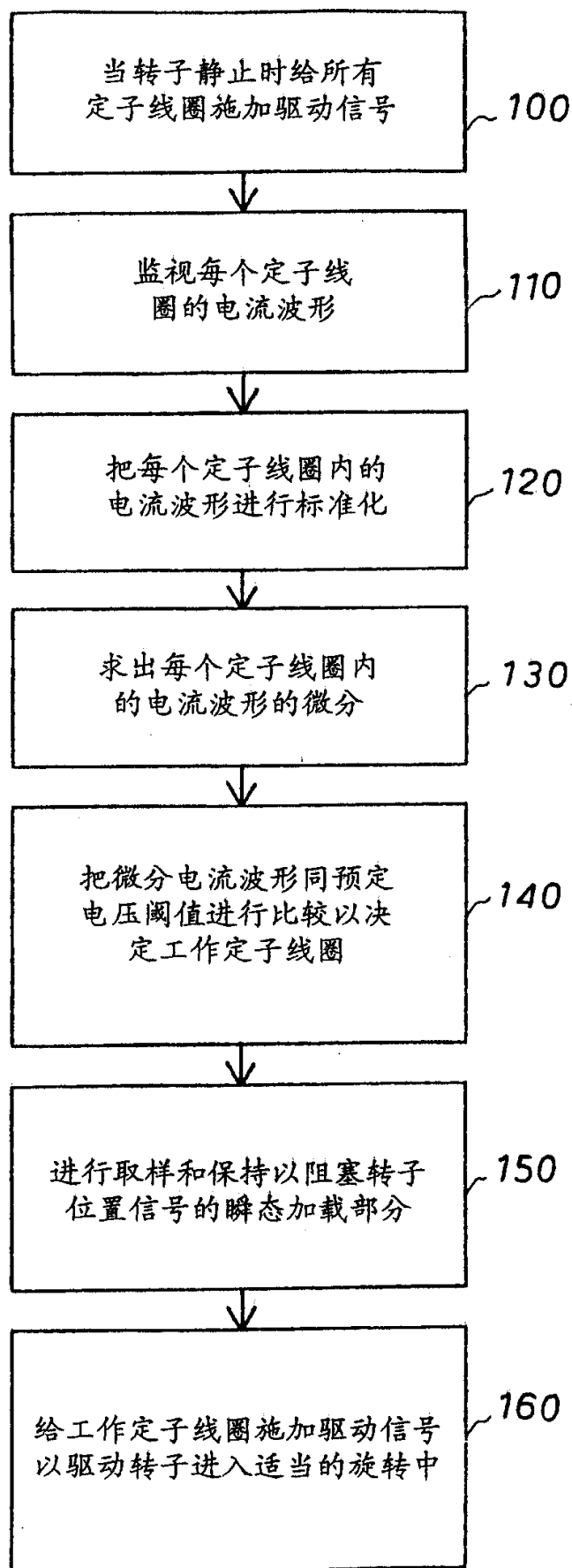


图 5

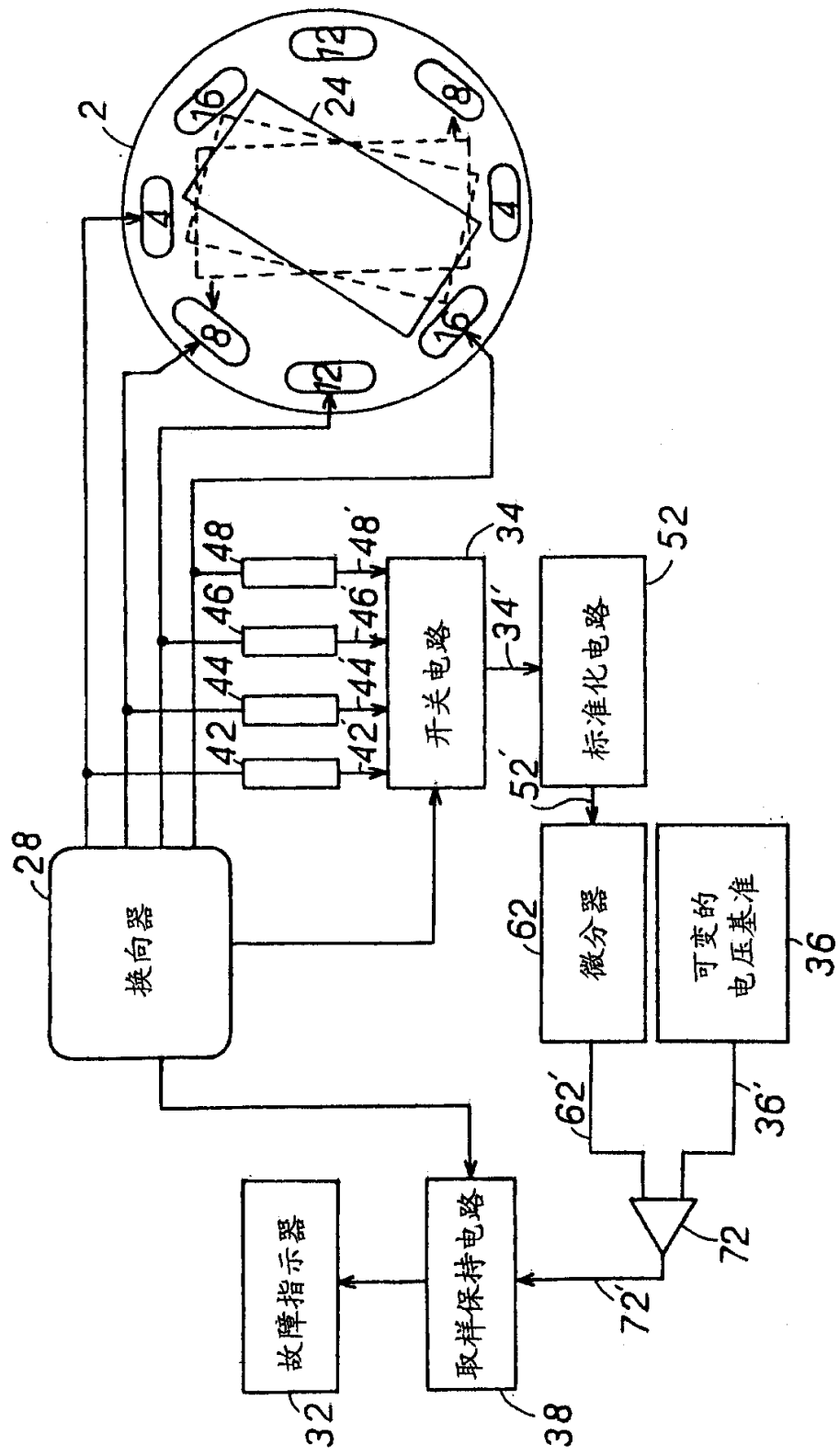


图 6

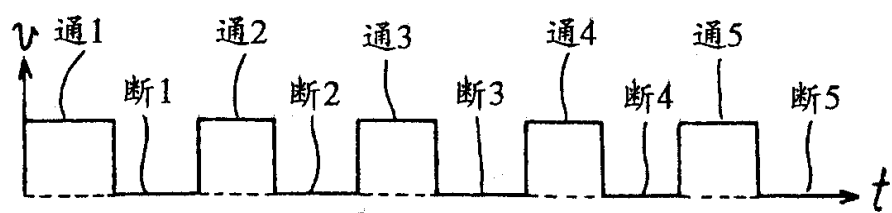


图 7A

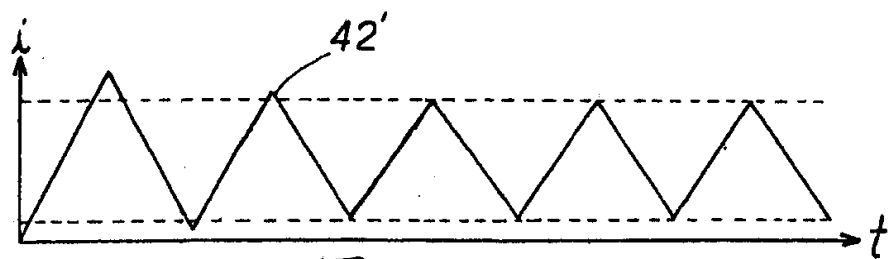


图 7B

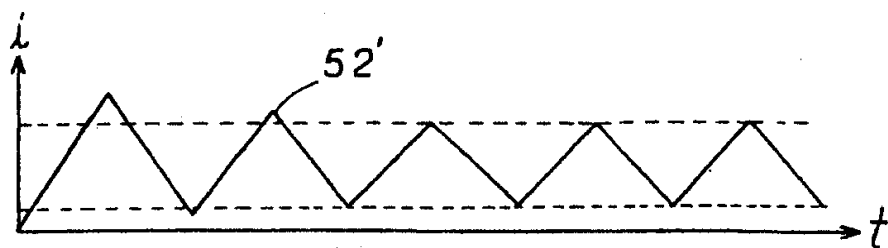


图 7C

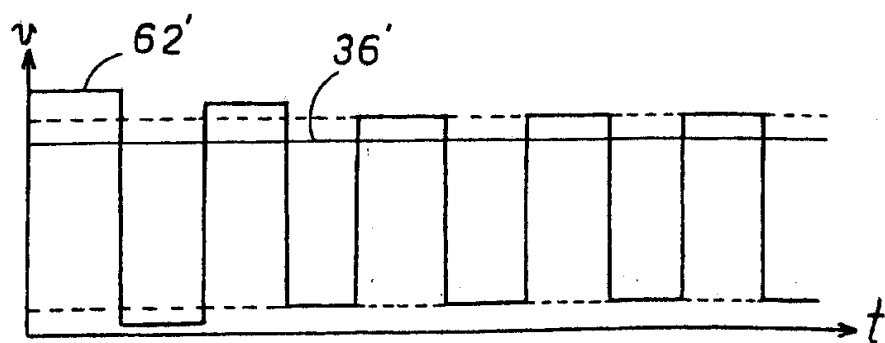


图 7D



图 7E

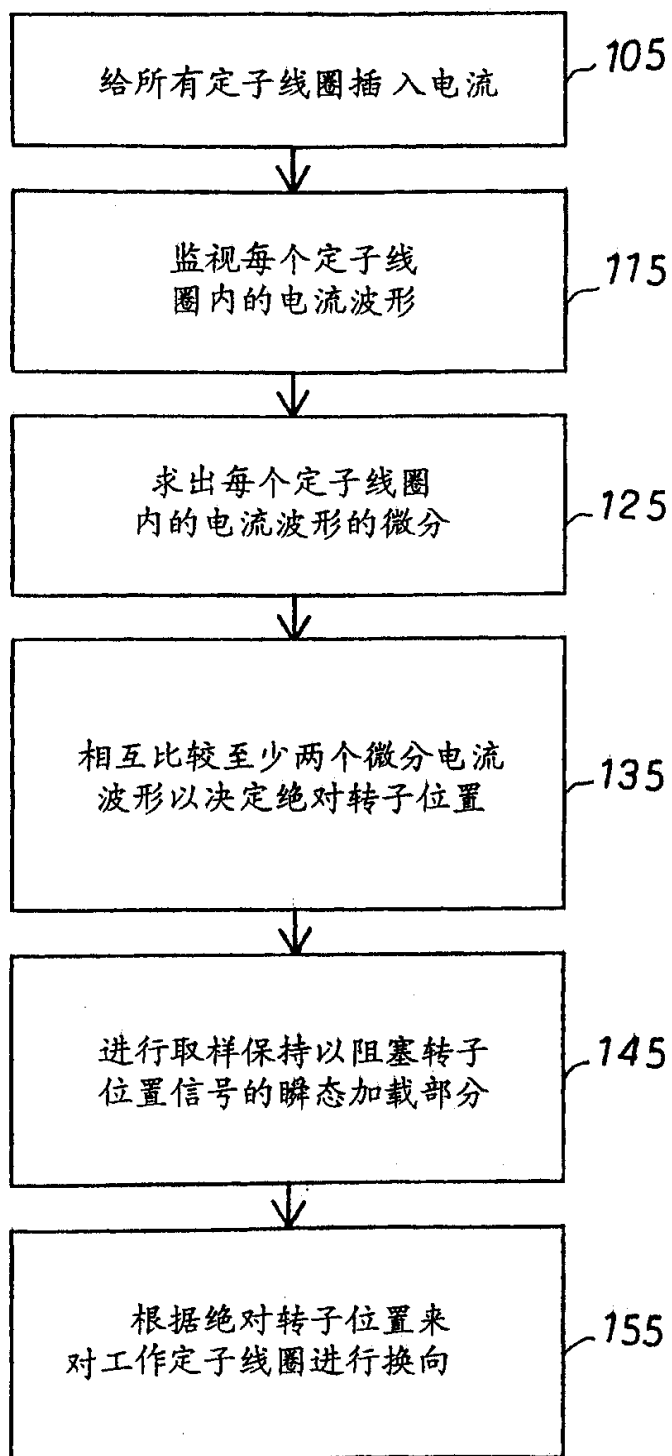


图 8

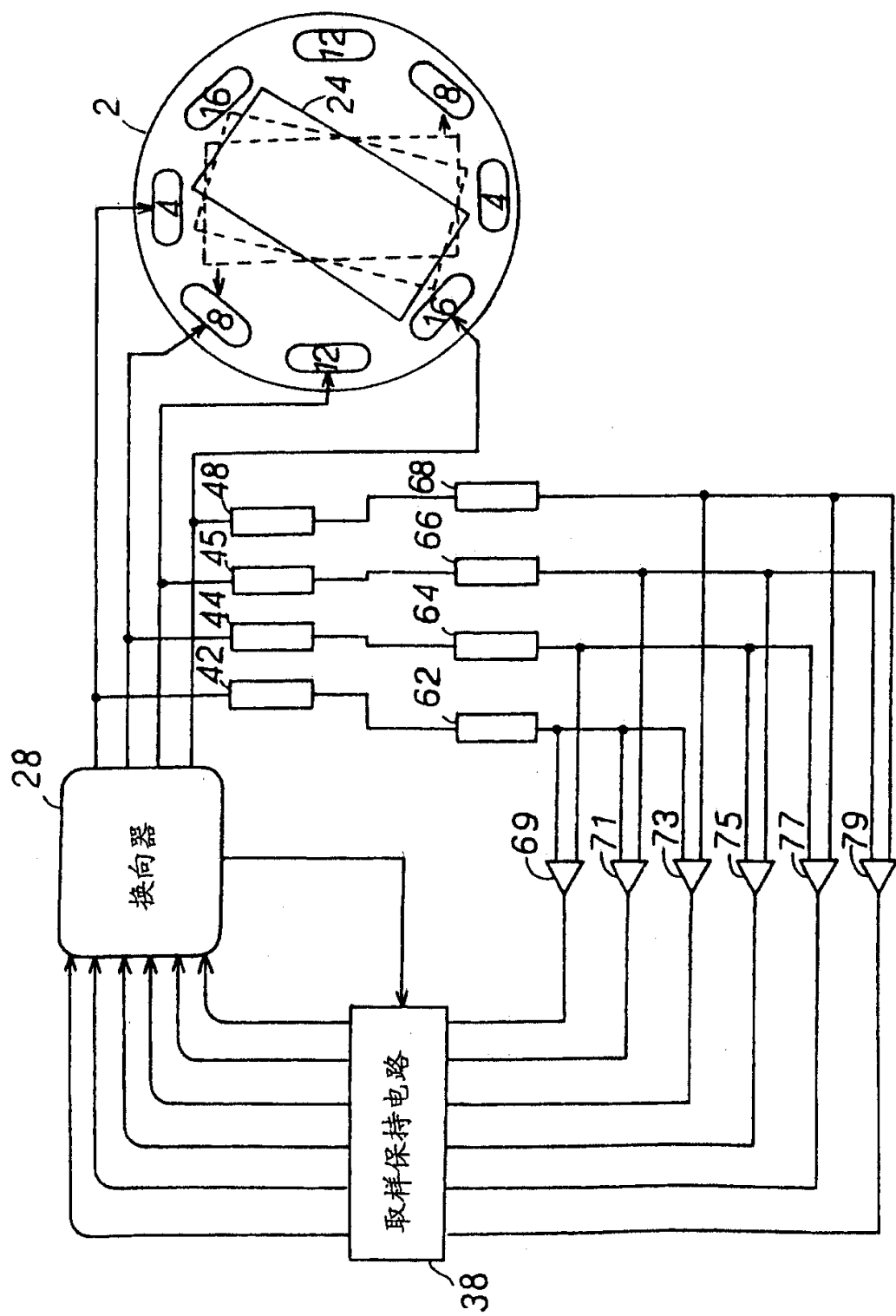
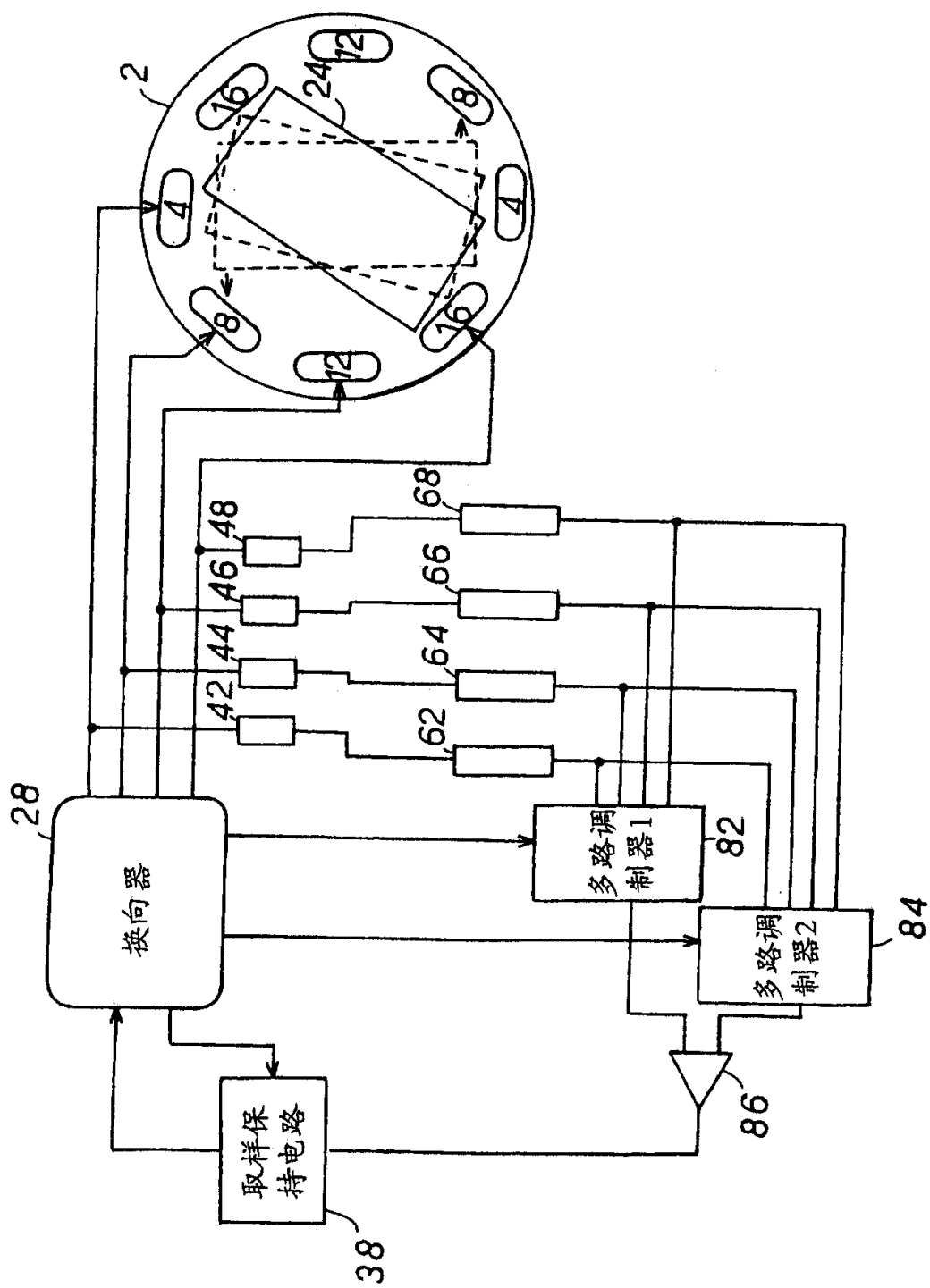


图 9



10