



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104641548 A

(43) 申请公布日 2015.05.20

(21) 申请号 201380048222.4

(22) 申请日 2013.09.17

(30) 优先权数据

12185303.0 2012.09.20 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015.03.17

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/069220 2013.09.17

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2014/044657 EN 2014.03.27

(71) 申请人 珀金斯发动机有限公司

地址 英国剑桥郡彼得伯勒

(72) 发明人 T·朗利 S·瓦金斯

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 苏娟

(51) Int. Cl.

H02P 6/18(2006.01)

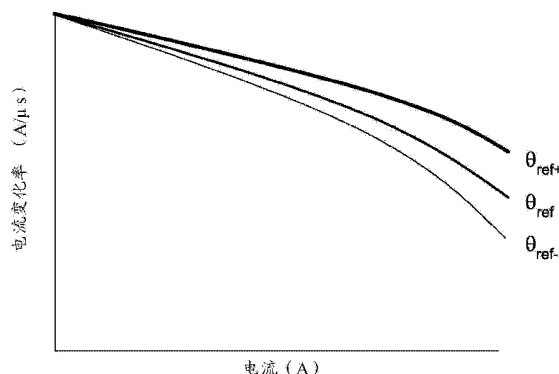
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

控制开关磁阻电机的方法

(57) 摘要

公开了一种控制磁阻电机中转子位置的方法。该方法涉及以下步骤：使相绕组通电，以使转子相对于定子运动；在续流周期内，使续流电流通过相绕组；对相电流变化率和相电流振幅进行取样；使相绕组断电；以及计算转子的角位置。



1. 一种控制磁阻电机中转子位置的方法,所述磁阻电机包括定子(12)、能够相对于所述定子(12)运动的转子(14)和结合到所述定子(12)的至少一个相绕组(W),所述方法包括以下步骤:

使所述相绕组(W)通电,以使所述转子(14)相对于所述定子(12)运动;

使续流电流在续流周期内通过所述相绕组(W);

对相电流变化率和相电流振幅进行取样;

使所述相绕组(W)断电;以及

计算所述转子(14)的角位置。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述周期从所述转子(14)的大于 $4^{\circ}$ 的角运动选择。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,周期从所述转子(14)的 $5^{\circ}$ 至 $20^{\circ}$ 范围内的角运动选择。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,周期从所述转子(14)的 $8^{\circ}$ 至 $15^{\circ}$ 范围内的角运动选择。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,计算所述转子(14)的角位置的步骤包括通过将取样的相电流变化率和相电流振幅与基准相电流变化率和相电流振幅进行比较来确定转子位置中的角误差。

6. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,进一步包括修改定时器以估计所述转子(14)位置的步骤。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述续流周期在对相电流变化率和相电流振幅进行取样的步骤之前开始。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述续流周期在对相电流变化率和相电流振幅进行取样的步骤之后结束。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,包括在所述续流周期结束或接近结束时,对相电流变化率和相电流振幅进行取样。

10. 根据前述权利要求1至7中任一项所述的方法,包括在从所述相绕组的续流状态向所述相绕组的断电状态转换时,对相电流变化率和相电流振幅进行取样。

11. 根据前述权利要求1至7中任一项所述的方法,包括在所述相绕组开始断电或接近开始断电时,对相电流变化率和相电流振幅进行取样。

12. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,取样点基于与通电状态之间的转换对应的转子位置进行选择。

13. 一种控制磁阻电机中转子位置的系统,所述磁阻电机包括定子(12)、能够相对于所述定子(12)运动的转子(14)和结合到所述定子(12)的至少一个相绕组(W),所述系统包括:

开关(S1, S2),其用于使所述相绕组(W)通电,以使所述转子相对于所述定子(12)运动,配置续流电流在续流周期内通过所述相绕组(W),并且使所述相绕组(W)断电;

点火控制器(26),其能够命令对相电流变化率和相电流振幅进行取样;和

微处理器,其用于计算所述转子(14)的角位置。

14. 根据权利要求13所述的系统,其中,所述点火控制器(26)能够从速度控制器(24)

接收速度误差信号。

15. 根据权利要求 13 或 14 所述的系统,进一步包括定时器以估计所述转子(14)的位置。

## 控制开关磁阻电机的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及磁阻电机中转子位置的无传感器监测和控制领域,尤其是开关磁阻电机且更具体地说是高速开关磁阻电机。

### 背景技术

[0002] 在开关磁阻电机中,关于转子位置的相位激励的精确定时可能是获得最佳性能的重要因素。转子位置传感器可以广泛用于开关磁阻电机,用于监测转子位置。此类监测通常可以由安装在定子上的光学传感器或磁性传感器执行。可基于与转子位置相关的数据对磁阻电机中的转子位置进行控制。

[0003] 为了避免对传感器的依赖,已经开发出了无传感器监测和控制方法。开关磁阻电机的无传感器监测方法可以包括信号注入法和直接相位测量法。

[0004] 信号注入法可以依赖于诊断通电脉冲,例如非转矩产生的脉冲,所述诊断通电脉冲允许控制器监测诊断电流及因此电感的变化,据此可以计算转子位置。一般来讲,信号注入法可在起始和低运转速度时有用,但是在较高的运转速度时可对电机性能造成不利影响。

[0005] 直接相位测量法可以依赖于监测相电流和电压,以确定转子位置。直接相位测量法可以采用相电流续流的概念。将通过相绕组的电压设置成零一段时间,可以在开关磁阻电机中产生相电流续流。在续流周期内,电流可以围绕绕组循环,并且通量可以不变。

[0006] EP0780966B1 描述了磁阻电机中无传感器转子位置的监测方法。本方法包括确定在特定点处的电流变化率,在该特定点处,绕组中的电流可用来产生续流。所述点可以与转子和定子极的对齐处重合,这样可以预测电流的变化率为零。与预测的变化率的任何差异的大小和极性可以表明转子位置未与实际转子位置对齐以及转子位置是在预测的位置之前还是在预测的位置之后。

[0007] 本发明旨在至少部分地改善或克服现有技术系统的一个或多个方面。

### 发明内容

[0008] 在一个方面,本发明描述了控制磁阻电机中的转子位置的方法,所述磁阻电机包括定子、相对于定子可以运动的转子和耦联到定子的至少一个相绕组。该方法包括以下步骤:使相绕组通电,以使转子相对于定子运动;使续流电流在续流周期内通过相绕组;对相电流变化率和相电流振幅进行取样;使相绕组断电;以及计算转子的角位置。

[0009] 在另一个方面,本发明描述了控制磁阻电机中的转子位置的系统,所述磁阻电机包括定子、相对于定子可以运动的转子和耦联到定子的至少一个相绕组。该系统包括:使相绕组通电以使转子相对于定子运动的开关;配置续流电流在续流周期内通过相绕组并使相绕组断电的开关;配置为命令对相电流变化率和相电流振幅进行取样的点火控制器;和计算转子的角位置的微处理器。

## 附图说明

[0010] 当结合附图阅读时,根据以下对各个实施例的说明,将会更全面地理解本发明的上述及其它特征和优点,其中:

[0011] 图 1 是根据本发明的相位通电模式的非对称半桥的示意图;

[0012] 图 2 是根据本发明的续流模式的非对称半桥的示意图;

[0013] 图 3 是根据本发明的断电模式的非对称半桥的示意图;

[0014] 图 4 是根据本发明显示相电流波形的曲线图;

[0015] 图 5 是根据本发明显示作为相电流函数的电流特性变化率的曲线图;并且

[0016] 图 6 是根据本发明示出控制电路的示意图。

## 具体实施方式

[0017] 本发明总体上涉及监测和控制磁阻电机中转子位置的方法。

[0018] 该方法可以在磁阻电机中实施以控制转子位置,所述磁阻电机包括定子、相对于定子可以运动的转子和耦联到定子的至少一个相绕组。该方法可以包括以下步骤:使相绕组通电,以使转子相对于定子运动;使续流电流在续流周期内通过相绕组;对相电流变化率和相电流振幅进行取样;使相绕组断电;以及计算转子位置的角误差。

[0019] 该方法可以在超高速开关磁阻电机中使用。超高速开关磁阻电机可以具有等于或大于 100,000rpm 的旋转速度。

[0020] 图 1 至图 3 示出了具有定子 12 和转子 14 的开关磁阻电机在三种运转模式下的非对称半桥功率变换器电路 10。相绕组 W 可以连接在与二极管 D1 相关的开关 S1 和与二极管 D2 相关的开关 S2 之间。

[0021] 参考图 1,通过闭合电路 10 中的开关 S1 和 S2,可以从直流电源对相绕组供电,从而电流可以流过相绕组 W,以使转子 14 相对于定子 12 运动。当开关 S1 和 S2 闭合时,相绕组 W 可以处于通电状态。

[0022] 众所周知,开关磁阻电机中有续流电流。将通过开关磁阻电机的相绕组的电压设置成零,可影响通过相绕组的续流电流。在相绕组的端点之间提供短路路径,可以将电压设置成几乎为零,从而使电流围绕相绕组循环。

[0023] 根据本发明的方法,电流在对应于转子 14 的一部分角运动的续流周期内续流通过相绕组 W。参考图 2,当开关 S1 和 S2 中的任何一个打开时,相绕组 W 可以处于续流状态。

[0024] 相电流续流可以在相电感周期的任何部分期间实施。相电感周期可以是开关磁阻电机中电感变化的周期。

[0025] 在一个实施例中,续流周期可以在对相电流变化率和相电流振幅取样的步骤之前开始。在一个实施例中,续流周期可以在对相电流变化率和相电流振幅取样的步骤之后结束。

[0026] 续流周期可以很长。续流周期可以是基于在给定速度和转矩操作点下的最佳效率性能选择的值。续流周期可以从转子 14 的大于  $4^\circ$  的角运动选择。续流周期可以从转子 14 的  $5^\circ$  至  $20^\circ$  范围内的角运动选择。在一个实施例中,续流周期可以从转子 14 的  $8^\circ$  至  $15^\circ$  范围内的角运动选择。在一个实施例中,续流周期可以从转子 14 的  $10^\circ$  至  $12^\circ$  范围内的角运动选择。

[0027] 在超高速应用中,长续流周期可以减少电机低效率的情况并从磁阻电机获得最大功率。长续流周期可以通过最小化铁损耗来提供低电机损耗。

[0028] 参考图 3,通过断开电路 10 中的两个开关 S1 和 S2,可以使相绕组 W 断电,这样没有电流可流过相绕组 W。当开关 S1 和 S2 断开时,相绕组 W 可以处于断电状态。在断电状态模式下,电流将通过 D1 和 D2 流过相绕组 W,直到电机中的通量降为零为止。

[0029] 图 4 示出了关于转子 14 的角位置的相电流波形。在一个实施例中, $\theta_{ref}$ 是在相绕组 W 的续流阶段和相绕组 W 的断电阶段之间转换时的基准角。

[0030] 根据该方法,对于给定的速度,可以对两个开关 S1 和 S2 闭合时转子 14 的角度和一个开关 S1, S2 闭合时转子 14 的角度进行特征描述。通过将两个开关 S1 和 S2 打开时的角度提前,并增加电机中通量积聚的时间,可以增加轴功率。在给定的速度下,可以对相绕组 W 的通电情况进行调整,直到相电流变化率和相电流振幅可以匹配在该速度下所需的关闭角度(两个开关 S1 和 S2 关闭时转子 14 的角度或者一个开关 S1, S2 关闭时转子 14 的角度)为止。

[0031] 可以对开关磁阻电机进行特征描述,以在开始运转之前基于闭合点建立转子 14 的基准角位置。基准转子角位置可以用于比较取样的相电流变化率和相电流振幅的角位置。基准转子角位置可以实现对开关磁阻电机的最佳控制。

[0032] 可以以瞬时间隔对相电流变化率和相电流振幅进行取样。取样间隔可以为大约一微秒。取样间隔可以由在控制电路中使用的模拟数字转换器确定。模拟数字转换器可以是微控制器(例如 TIPicollo32 位微控制器)中的外围设备。可以在从相绕组 W 的续流状态到断电状态转换时进行相电流变化率和相电流振幅的取样。当两个开关 S1 和 S2 打开时,可以在取样点进行相电流变化率和相电流振幅的取样。

[0033] 在一个实施例中,可以在续流周期结束时或将要结束时进行相电流变化率和相电流振幅的取样。在开始对相绕组 W 断电之前,可以进行取样。取样可以由栅极信号转换触发。通过栅极驱动电路中的传播延迟,可以降低样本的噪声。在两个开关 S1 和 S2 打开之前,可以在取样点进行相电流变化率和相电流振幅的取样。

[0034] 在一个实施例中,可以在相绕组 W 开始断电时或即将开始断电时进行相电流变化率和相电流振幅的取样。在相绕组 W 开始断电之后,可以立即进行取样。当两个开关 S1 和 S2 打开时,可以在取样点进行相电流变化率和相电流振幅的取样。

[0035] 可以对相电流变化率和相电流振幅进行取样,以计算转子 14 的角位置。可以将取样的相电流变化率和相电流振幅与基准相电流变化率和相电流振幅进行比较,以确定转子位置是否存在角误差。

[0036] 可以基于对应于能态之间转换(即通电状态与续流状态之间的转换和续流状态与断电状态之间的转换)的转子位置选择取样点。

[0037] 可以在优化的开关磁阻电机运行的基础上选择取样点。

[0038] 图 5 示出了作为相电流函数的电流变化率。三条曲线  $\theta_{ref}$ ,  $\theta_{ref}^+$ ,  $\theta_{ref}^-$  可以指示与预定的相电流基准变化率和相电流基准振幅相关的转子 14 的角位置。曲线  $\theta_{ref}$ ,  $\theta_{ref}^+$ ,  $\theta_{ref}^-$  仅显示可能已绘制的转子 14 所有可能角位置的曲线图。当转子 14 与定子 12 完全对齐时,续流电流斜率可以随着转子 14 的角位置接近完全对齐位置减小。

[0039] 曲线  $\theta_{ref}$  可以指示具体的角位置。曲线  $\theta_{ref}$  可以指示在相绕组 W 的续流阶段

和相绕组 W 的断电阶段之间转换时的基准角。

[0040] 曲线  $\theta_{ref}^+$  可以指示大于曲线  $\theta_{ref}$  角位置的角位置。在一个实施例中, 曲线  $\theta_{ref}^+$  可以指示大于曲线  $\theta_{ref}$  角位置  $2^\circ$  的角位置。

[0041] 曲线  $\theta_{ref}^-$  可以指示小于曲线  $\theta_{ref}$  角位置的角位置。在一个实施例中, 曲线  $\theta_{ref}^-$  可以指示小于曲线  $\theta_{ref}$  角位置  $2^\circ$  的角位置。

[0042] 通过确定与取样的相电流变化率和相电流振幅重合的曲线, 可以获得转子 14 的角位置。如果与取样的相电流变化率和相电流振幅重合的曲线表明角位置和在取样周期内描述的角位置不同, 则可能存在角误差。角误差可用于修改定时器, 以估计转子 14 的位置。

[0043] 图 6 是实施监测磁阻电机中转子位置的方法的控制电路 20 的示意图。控制电路 20 可以包含在磁阻电机中以控制转子位置, 所述磁阻电机包括定子、相对于定子可以运动的转子和耦联到定子的至少一个相绕组。控制电路 20 可以控制开关 S1, S2, 开关 S1, S2 可致动以用于使相绕组 W 通电, 以使转子 14 相对于定子 14 运动, 使续流电流在续流周期内通过相绕组 W, 并且使相绕组 W 断电。

[0044] 控制电路 20 可以具有速度控制器 24。速度控制器 24 可以接收速度需求信号 22。可以将速度需求信号 22 和从线路 23 获得的反馈信号进行比较。速度控制器 24 的输出可以是作为输入发送到点火控制器 26 的速度误差信号。点火控制器 26 可能不会引入监测周期。点火控制器 26 可以命令对相电流变化率和相电流振幅进行取样。在从相绕组 W 的续流状态到断电状态转换时, 点火控制器 26 可以命令对相电流变化率和相电流振幅进行取样。

[0045] 在一个实施例中, 在续流周期结束时或将要结束时, 点火控制器 26 可以命令对相电流变化率和相电流振幅进行取样。

[0046] 在一个实施例中, 在相绕组 W 开始断电时或即将开始断电时, 点火控制器 26 可以命令对相电流变化率和相电流振幅进行取样。

[0047] 点火控制器 26 的输出信号可以用于控制功率变换器 28 的致动。

[0048] 可以由电流传感器 32 进行相电流感测。电流传感器 32 的输出信号可以指示相电流的振幅。相电流的振幅可以用于计算在取样点处相电流的变化率。可以计算相电流的变化率并作为输出信号 36 发出, 并且可以计算相电流的振幅并作为输出信号 34 发出。输出信号 34, 36 可以形成指示转子 14 相对于定子 12 的位置的依据。输出信号 34, 36 可以分别与基准的相电流变化率和相电流振幅比较。

[0049] 当取样周期取决于对开关 S1 和 S2 的定时时, 点火控制器 26 可以命令电流传感器 32 进行取样。电流传感器 32 在点火控制器 26 确定的时间进行取样。

[0050] 电流传感器 32 可以是物理电流传感器, 例如具有差分运算放大器的霍尔效应装置或电阻器。可能需要额外的微分器来确定相电流的变化率。额外的微分器可以是运算放大器电路。可以通过最初在微处理器中进行两次取样且然后计算相电流的变化率确定相电流的变化率。

[0051] 可以在相绕组 W 处或开关 S1 和 S2 附近进行相电流变化率和相电流振幅的取样。可以沿包括相绕组 W 和开关 S1 和 S2 的电路进行相电流变化率和相电流振幅的取样。

[0052] 如果在给定电流振幅的情况下相电流变化率和基准值之间的误差为零, 则转子位置的误差  $\theta_{ref}$  可以是零。如果转子位置中存在误差, 则可以响应于位置误差的大小和极性将位置误差应用于速度控制器 24 和点火控制器 26。

[0053] 在一个实施例中,通过线路 23 发送到速度控制器 24 的误差信号反馈可以处理成位置误差信号。根据点火控制器 26 预测的速度,可以使用位置误差信号重新计算速度。速度控制器 24 可以将基于位置误差反馈重新计算的速度和速度需求之间的误差发送到点火控制器 26。点火控制器 26 可以确定减小取样的速度和需求的速度之间误差所需的控制动作。

[0054] 在一个实施例中,通过线路 23 发送到速度控制器 24 的误差信号反馈和位置误差反馈可以通过线路 25 发送到点火控制器 26。

[0055] 速度控制器 24 可以基于转子位置误差调整估计的速度。如果转子位置误差指示转子可在预期的位置之前,则转子 14 可比之前估计更快地旋转。如果转子位置误差指示转子会在预期的位置之后,则转子 14 可比之前估计更慢地旋转。

[0056] 点火控制器 26 可以包括自由运行定时器,所述自由运行定时器用于设置切换触发事件的角位置。根据相电流变化率和相电流振幅得到转子位置,可以针对每相重置定时器。然后,对于给定的速度,点火控制器 26 可以采用一个相中转子位置的修正评估和点火控制策略的预定数据,以确定  $\theta_{ref}$ ,从续流状态到下一个机器周期的断电状态转换的点。

[0057] 对于给定的速度,点火控制器 26 可以根据点火控制策略确定续流应结束 ( $\theta_{ref}$ ) 的时间。在该时间处,点火控制器 26 可启动对电流振幅和变化率的测量。

[0058] 当计算相电流变化率和确定相电流的振幅时,处理器可以处理与相电流信号 36 的变化率对应的信号和确定相电流信号 34 的振幅。可以用公式或查找表对处理器进行编程,以确定转子角位置。方程或查找表可以对应于图 5 的曲线图。处理器可以确定接着将与经过特征描述的电流振幅和变化率数据进行比较的角位置。

[0059] 一旦转子 14 完成旋转就可以重新通电,或者在具有多于一个个相的电机中,一旦转子位于足够接近定子的范围内,则定子的电磁效应可以影响转子。

[0060] 一种控制磁阻电机中的转子位置的系统,所述磁阻电机包括定子、相对于定子可以运动的转子和耦联到定子的至少一个相绕组。系统包括:使相绕组通电以使转子相对于定子运动的开关 S1, S2;使续流电流在续流周期内通过相绕组并使相绕组断电的开关 S1, S2;配置为命令对相电流变化率和相电流振幅进行取样的点火控制器 26;和计算转子的角位置的微处理器。

[0061] 点火控制器 26 可配置为从速度控制器 24 接收速度误差信号。系统可以包括定时器,以估计转子 14 的位置。

[0062] 技术人员将认识到,上述实施例可以被修改或组合,以获得本发明的方法。

[0063] 工业实用性

[0064] 本发明描述了监测磁阻电机中转子位置的方法。监测转子位置的方法可以在高速开关磁阻电机(例如超过 100,000rpm 的磁阻电机)中使用。所述方法涉及较长的续流周期以及获得相电流振幅和变化率的瞬时取样。所述方法涉及基于取样点处相电流的振幅和变化率计算转子位置。

[0065] 所述方法采用高续流持续时间来最小化高运转速度下的铁损耗。在将相位从续流模式切换到完全断电模式的瞬时间隔处观测到续流相电流振幅和电流变化率。然后,可以参考磁阻电机的预定特征,以计算转子的角位置。

[0066] 所述方法避免了对机电式转子位置传感器的需求,对机电式转子位置传感器的需



求可以引入额外的运动部件,导致在高速、紧凑或恶劣环境应用中面临显著挑战。可以通过控制软件和电力电子电路中的简单且稳健的电子式电流传感器实现无传感器控制,以便排除运动部件。

[0067] 当相电流振幅和变化率与预定模式的非线性电磁特性的磁阻电机一起使用时,所述方法可以提高转子位置计算的精度。通过使用相电流续流,无需磁链。优点是,计算转子的角位置不需要连续计算等于一段时间的直流母线电压积分的磁链。所述方法的优点是,直流母线电压测量复杂性降低,并且计算需求减少。使用相电流变化率和振幅测量转子位置可以避免使用直流母线电压测量的需要。

[0068] 所述方法可以在具有开关磁阻电机的机器中使用。所述方法可以在工业机器或由工业重型柴油发动机提供动力并配备电子涡轮辅助系统或真空吸尘器的非公路用车中实现。

[0069] 续流周期值可以基于在给定速度和转矩操作点条件下的最佳效率性能选择。无需具体参考转子 14 的位置就可以选择续流周期。

[0070] 相应地,本发明包括适用法律允许的所附权利要求中所述主题的所有修改和等效物。此外,除非本文中另外指明,否则本发明涵盖上述元件以其所有可能变型的任何组合。

[0071] 虽然在所有权利要求中提到的技术特征后均标有参考标记,但所包含的参考标记仅出于增加对权利要求的可理解性的目的,因此,有无参考标记对上述的技术特征和任何权利要求元素的范围都没有任何限制作用。

[0072] 所属领域的技术人员将认识到,可以以其它具体形式来实施本发明,而不脱离本发明或其本质特征。因此,上述实施例在各个方面均被视为是说明性的,而并不限制本文描述的发明。本发明的范围因此由所附权利要求来指示,而不是由前述描述来指示,并且因此属于权利要求的等价内容的意义和范围的所有改变意欲包括在其中。本专利申请主张的欧洲专利申请 No. 12185303.0 中的发明的优先权以引用方式并入本文中。

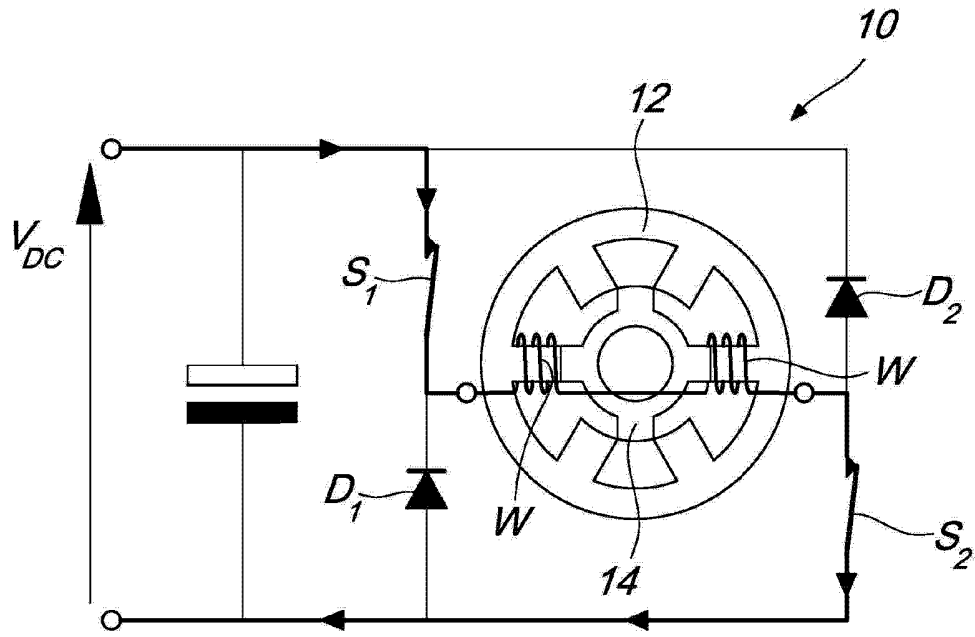


图 1

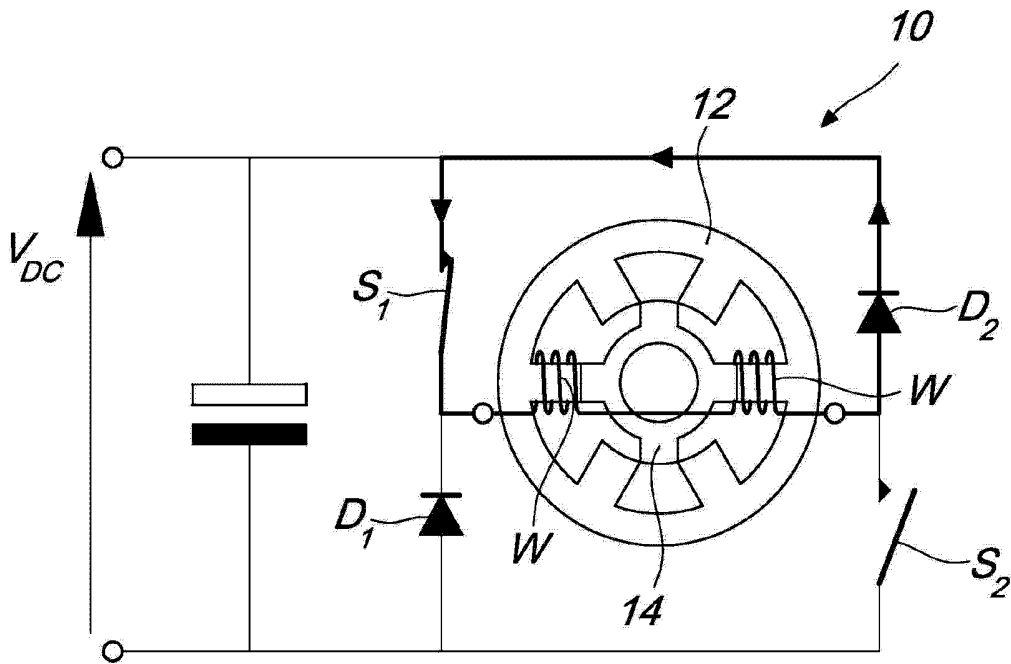


图 2

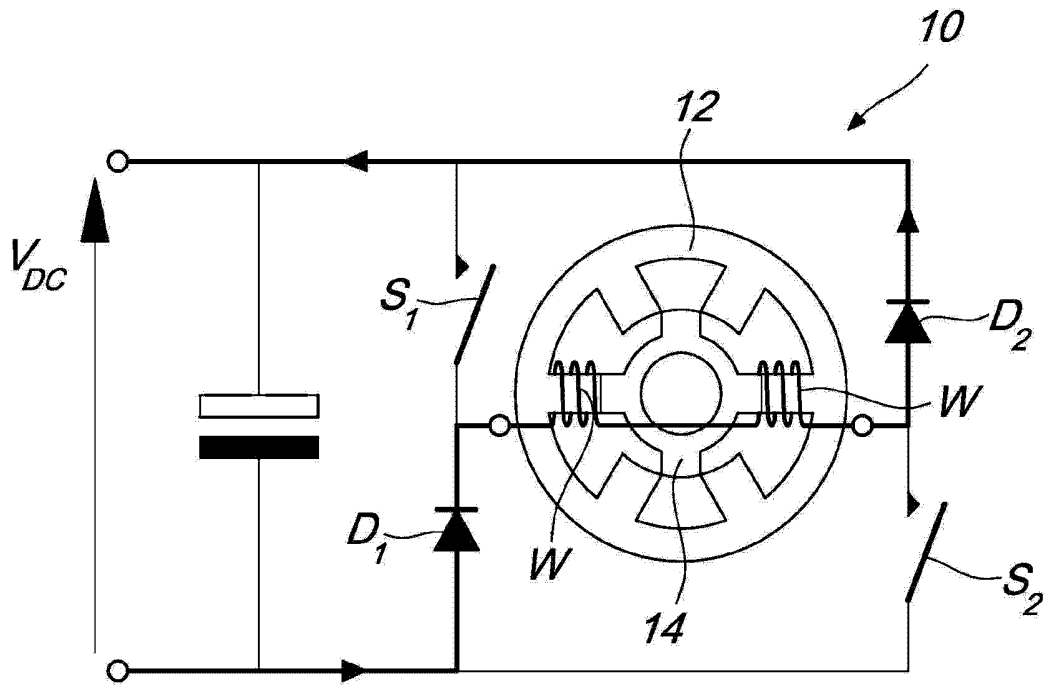


图 3

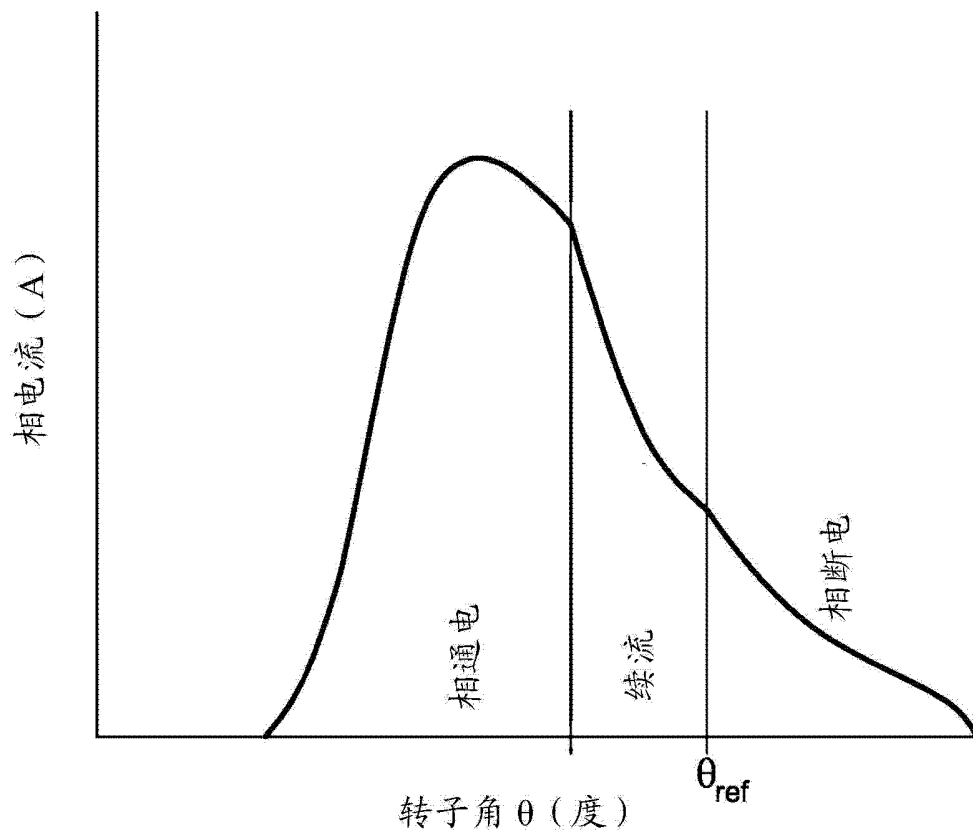


图 4

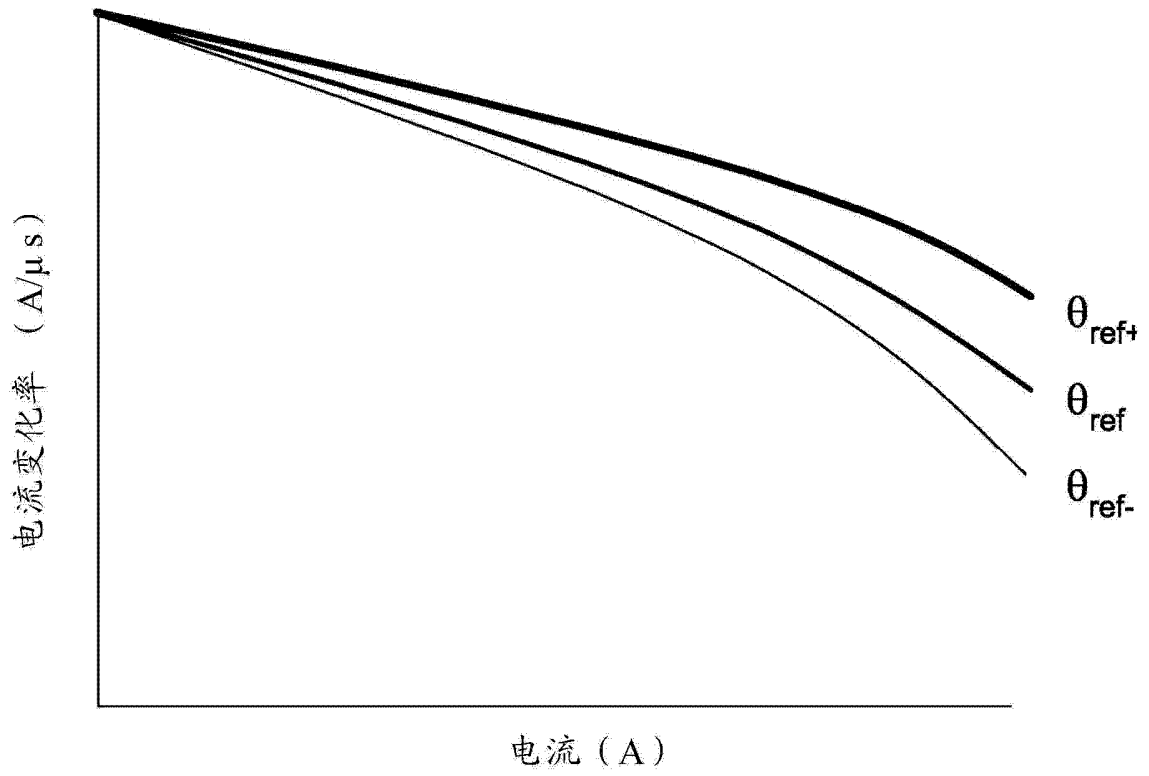


图 5

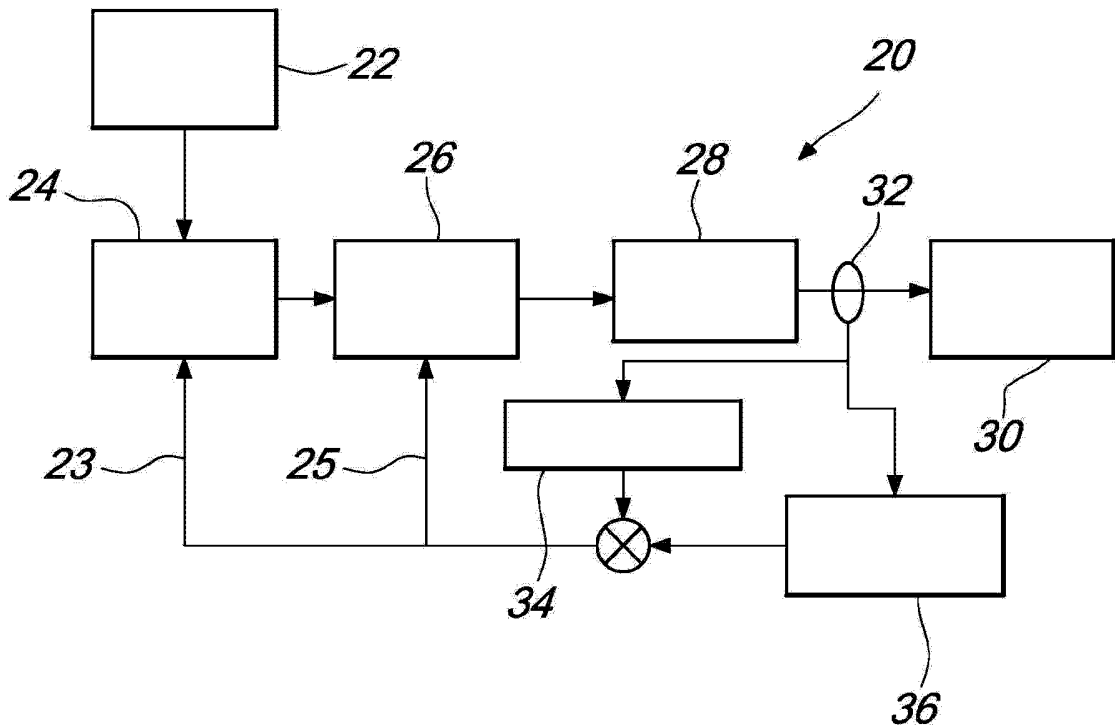


图 6