

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H02P 23/14 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480017338.2

[45] 授权公告日 2008 年 3 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100373768C

[22] 申请日 2004. 6. 22

[21] 申请号 200480017338.2

[30] 优先权

[32] 2003. 6. 23 [33] US [31] 10/601,726

[86] 国际申请 PCT/US2004/019940 2004. 6. 22

[87] 国际公布 WO2005/002036 英 2005. 1. 6

[85] 进入国家阶段日期 2005. 12. 20

[73] 专利权人 通用汽车公司

地址 美国密执安州

[72] 发明人 S·E·舒尔茨 N·R·帕特尔

J·M·纳加施马 S·K·苏尔

B·-H·贝

[56] 参考文献

US5115418A 1992. 5. 19

US2003/0015987A1 2003. 1. 23

US6163127A 2000. 12. 19

审查员 李希南

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 杨凯 梁永

权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称

用于 AC 电机的位置无传感器控制算法

[57] 摘要

一种用于具有定子和转子的电动机的控制系统，其包括给电动机提供电源的换流器，控制换流器的控制器，使用在控制器中操作的定子电流分量估计转子角度位置的低速控制块，使用在控制器中操作的定子通量位置和定子电流分量估计转子角度位置的高速控制块，在控制器中变换低速控制块和高速控制块之间的操作的转换开关，并且其中换流器由六步骤操作来控制。

- 1、一种用于具有转子和定子的电动机的控制系统，其包括：
换流器，用于给所述电动机提供电源；
控制器，用于控制所述换流器；
低速控制块，其使用在所述控制器中操作的定子电流分量来估计所述转子的角度位置；
高速控制块，其使用在所述控制器中操作的定子通量位置和定子电流分量估计所述转子的角度位置；
转换模块，在所述控制器中变换所述低速控制块和所述高速控制块之间的操作；并且
其中所述换流器由六步骤操作控制。
- 2、如权利要求 1 所述的控制系统，其中所述电动机是感应电动机。
- 3、如权利要求 1 所述的控制系统，其中所述电动机是内部永磁电动机。
- 4、如权利要求 1 所述的控制系统，其中所述电动机是同步磁阻电动机。
- 5、如权利要求 1 所述的控制系统，其中所述电动机是三相电动机。
- 6、如权利要求 1 所述的控制系统，进一步包括 Gopinath 观测器。
- 7、如权利要求 1 所述的控制系统，其中所述转换模块在额定电机速度的百分之十以下操作低速控制块。
- 8、如权利要求 1 所述的控制系统，其中所述的转换模块在额定电机速度的百分之五以上操作高速控制块。
- 9、一种控制电动机的无传感器方法，其包括：
提供在控制器中操作的低速转子角度位置块；

提供在所述控制器中操作的高速转子角度位置块；
提供在所述控制器中操作的初始转子极性检测块；
在所述低速转子角度位置块和所述高速转子角度位置块之间进行转换，以确定所述电动机的速度；以及
用六步骤操作来控制所述电动机的速度。

10、如权利要求 9 所述的方法，进一步包括在车辆中操作所述电动机。

11、如权利要求 9 所述的方法，进一步包括确定处于静态的所述电动机的转子磁位置的步骤。

12、一种用于车辆的动力系统，其包括：

电动机，其功能地耦合到所述车辆的轮子；

换流器，用于给所述电动机提供电源；

控制器，用于控制所述换流器；

低速控制块，其使用在所述控制器中操作的定子电流分量估计转子角度位置；

高速控制块，其使用在所述控制器中操作的定子通量位置和定子电流分量估计所述转子角度位置；

转换模块，其在所述控制器中变换所述低速控制块和所述高速控制块之间的操作；以及

其中所述换流器由六步骤操作控制。

13、如权利要求 12 所述的动力系统，其中所述电动机是感应电动机。

14、如权利要求 12 所述的动力系统，其中所述电动机是内部永磁电动机。

15、如权利要求 12 所述的动力系统，其中所述电动机是同步磁阻电动机。

16、如权利要求 12 所述的动力系统，其中所述电动机是三相电动机。

17、如权利要求 12 所述的动力系统，其中所述转换模块基于所述电动机的速度变换所述低速控制块和所述高速控制块之间的操作。

18、如权利要求 12 所述的动力系统，其中所述电动机包括内部永磁转子。

用于 AC 电机的位置无传感器控制算法

技术领域

本发明涉及电动机的控制，更具体地说，本发明涉及一种用于电动机的位置无传感器控制的方法和设备。

背景技术

传统的电动机控制系统通常包括反馈装置或位置传感器（例如解算器或编码器），以将速度和位置信息提供给电动机。反馈装置和与其关联的接口电路增加了电动机控制系统的成本，并且这些成本可能在诸如汽车应用的高容量应用中成为禁止性的。另外，位置传感器和它所关联的线束增加了车辆的电传动系统的复杂性和装配时间。

由燃料电池、电池和包括电动机的混合系统提供动力的电动车辆在汽车市场中变得更加普遍。随着电动车辆生产量的增加，反馈装置和所关联的接口电路的成本将会变得相当大。汽车制造商面临降低成本并减少车辆零件数量的激烈的市场压力。从电动机控制系统中除去反馈装置将会导致电动车辆的成本相当大地减少。

当今的混合电和电动车辆利用多种电动机控制技术，例如电动机的矢量控制。矢量电动机控制方案是计算密集的电动机控制方案，其将三相电动机的相电压/电流映射到两轴的坐标系中。被用于激励使用矢量控制方案的电动机的结构是典型的三相电源换流器，其包括六个使输出电压适合电动机的功率晶体管。矢量控制需要转子位置信息，其通常通过反馈装置或位置传感器获得。位置无传感器控制的目的是利用 AC 电机的电磁特性获得转子的位置信息，消除位置传感器和它所关联的接口电路。

发明内容

本发明是在电和混合电动车辆动力系统应用中所使用的无传感器控制系统的方法和设备。本发明的无传感器电动机控制系统包括：低速角度位置估计方法、初始转子极性检测方法、在低速和高速方法之间转换的算法、修正的 Gopinath 观测器、场削弱方法和/或六步骤的操作。

附图说明

图 1 是本发明的控制系统的方框图；

图 2 是说明用于本发明的控制的可能的定向框架的矢量图；

图 3 是用于本发明的修正的 Gopinath 观测器的方框图；

图 4 是用于本发明中的六步骤操作的控制器的方框图；以及

图 5 是进入和跳出六步骤操作的转换的状态流程图。

具体实施方式

图 1 是本发明的控制系统 10 的优选实施例的简图。该控制系统 10 图示为表示在控制器、微处理器或类似装置中执行的软件以控制电动机 12 的一连串的方框图。在本发明优选实施例中，控制器是控制电动机 12 的车辆动力系统控制器，但是任何其它的电动机控制应用被认为在本发明的范围内。电动机可以包含动力技术，例如 AC 电机、同步磁阻电动机、感应电动机和内部永磁电动机，但并不局限于此。控制系统的输入是由车辆控制器产生的转矩指令 T_e 。该转矩指令 T_e 由最优转矩/电流强度计算块 14 处理，以生成电动机 12 中产生期望的电磁转矩所需要的对应的定子电流指令 I_s 和电流角度指令 β 。在场削弱块 15 中基于测量的 DC 连接电压 V_{dc} 和转子角速度 ω_r 产生场削弱定子通量 λ_{rw} 。如果定子通量指令 λ 超过场削弱定子通量指令 λ_{rw} ，块 16 将会修改指令 λ 和 δ 。

在块 14 产生的定子电流指令 I_s 和电流角度指令 β 被送到定子通量和转矩角度计算块 16。块 16 处理指令的定子电流 I_s 和电流角度指令 β ，并将其分解成定子通量指令 λ 和转矩角度指令 δ ，以将最大的转矩提供给给定的定子电流幅度。

求和点 18 从定子通量指令 λ 中减去反馈定子通量 λ_{fb} 以产生修正量 (error)。求和点 20 从转矩角度指令 δ_{fb} 中减去反馈转矩角度 δ_{fb} 以产生修正量。求和点 18 所产生的修正量由比例积分 (PI) 控制块 22 处理以产生控制输出。求和点 20 所产生的修正量由乘法块 24 处理, 其中其与反馈定子通量 λ_{fb} 相乘。在比例控制块 26 中处理块 24 的输出。

PI 控制块 22 的输出在求和点 28 与定子阻抗电压降退耦项 $R_s I_f$ 相加, 以产生 f 轴的电压指令 V_f 。比例控制块 26 的输出在求和点 30 与 τ 轴退耦项 (定子阻抗电压降加上速度电压) $\omega_r \lambda_{fb} + R_s i_\tau$ 相加, 以产生 τ 轴的电压指令 V_τ 。 V_f 和 V_τ 在旋转到静止框架转换块 32 中使用估计的定子通量角度位置 θ_f 进行处理, 以将定子通量基准框架电压指令 V_f 和 V_τ 转换为静止框架电压指令 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$ 。高频注入信号 $V_{\alpha-inj}$ 和 $V_{\beta-inj}$ 在求和点 34 和 36 被加到静止框架电压指令 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$, 以产生最终的电压指令 V_α 和 V_β , 电压指令 V_α 和 V_β 产生施加到电动机 12 的实际相位电压指令。电压源换流器 38 使用两相至三相转换来处理最终的电压指令 V_α 和 V_β , 以产生施加到电动机 12 的实际的三相电压。

由三相至两相转换块 40 测量和处理相位电流。该块 40 的输出是静止框架电流 I_α 和 I_β 。静止到旋转框架转换块 42 使用静止框架电流 I_α 和 I_β 以及估计的转子角度位置 θ_f , 以产生定子通量基准框架反馈电流 I_f 和 I_τ 。

本发明进一步包括所述电机的位置无传感器控制, 其包括: 在块 44 的低速转子角度位置估计方法/观测器; 在块 46 的初始转子极性检测方法; 在块 48 的高速转子角度位置估计方法/观测器; 修正的 Gopinath 观测器块 50; 以及无缝结合低速和高速估计方法的转换开关 54。

图 1 的块 44 表示本发明的低速估计方法。低速方法 44 使用静止基准框架定子电流分量 I_α 和 I_β 以估计转子角度位置 θ_{r-low} 。类似地, 高速方法 48 使用静止基准框架定子电流分量 I_α 和 I_β 以及估计的定子

通量位置 θ_f 以估计转子角度位置 θ_{r_high} 。开关 54 基于估计的转子速度来选择合适的转子角度位置 θ_r 。

修正的 Gopinath 观测器 50 处理 θ_r 、静止框架电压 V_α 和 V_β 以及静止基准框架电流 I_α 和 I_β 。修正的 Gopinath 观测器 50 计算估计的定子通量角度 θ_f 、反馈定子通量 λ_{fb} 和反馈转矩角度通量 δ_{fb} 。

在本发明的优选实施例中，d 轴的感应系数比 q 轴的感应系数高，并且所述电机的磁北极定向在 (-) q 轴方向。但是，如果所述电机的 q 轴的感应系数比 d 轴的感应系数高，那么提出的控制方案将仍然有效。图 2 是表示用于控制的可能的定向框架的矢量图。 α 轴和 β 轴用作静止基准框架控制。在静止基准框架中，控制变量是 AC 时间变化信号。优选的是，使用旋转基准框架以供控制，其中控制变量是 DC 量。同步基准框架（转子定向的基准框架，或 d-q 框架）和定子通量基准框架（f- τ 基准框架）两者都是在稳定状态中的具有 DC 控制变量的旋转基准框架。

对于高度饱和的电机而言，d-q 框架电压方程有双向的交叉耦合项，其能限制同步电流控制器的带宽。下面的方程 (1) 表示说明交叉耦合效应的 d-q 基准框架中的定子电压方程。

$$\begin{aligned} v_{ds}^e &= r_s i_{ds}^e + L_d' \frac{di_{ds}^e}{dt} + i_{qs}^e \frac{\partial L_d}{\partial i_{qs}^e} \frac{di_{qs}^e}{dt} - \omega_r \lambda_{qs}^e \\ v_{qs}^e &= r_s i_{qs}^e + L_q \frac{di_{qs}^e}{dt} + i_{ds}^e \frac{\partial L_q}{\partial i_{ds}^e} \frac{di_{ds}^e}{dt} + \omega_r \lambda_{ds}^e \end{aligned} \quad (1)$$

在方程 (1) 中，每个电压方程的最后两项是交叉耦合项。因为 d 轴的感应系数比 q 轴的感应系数大得多，所以 d 轴的时间常数比 q 轴的长得多。由于交叉耦合项而引入到 d 轴电压方程中的任何干扰，将由于长的时间常数而对 d 轴电流调整有极小的影响。然而，由于交叉耦合项引入到 q 轴电压方程中的干扰将对 q 轴电流调整有相当大影响。因此，试图增加电流调整器带宽将会导致不稳定的操作。为了克服这些限制，期望的是，将控制器基准框架改变为定子通量

基准框架 (f - τ 基准框架)。在定子通量基准框架中的该电机的方程能如下面的方程 (2) 和 (3) 所示的来描述:

$$\frac{d\lambda}{dt} = v_f - r_s i_f \quad (2)$$

$$\lambda \frac{d\delta}{dt} = v_\tau - r_s i_\tau - \omega_r \lambda \quad (3)$$

从方程 (2) 中可以看出, 从 τ 轴到 f 轴没有交叉耦合。然而, 从 f 轴到 τ 轴有单向耦合。该单向交叉耦合在控制中容易退耦。由于上述的原因, 可以看出, 定子通量定向控制比转子通量定向控制更适合该类型的电机。

图 3 所示的修正的 Gopinath 观测器 50 用于估计定子通量角度 θ_f 、反馈定子通量 λ_{fb} 和反馈转矩角度 δ_{fb} 。静止框架电流 I_α 和 I_β 被输入到观测器。静止到同步基准框架转换模块 60 使用转子角度位置 θ_r , 将静止框架电流转换为同步基准框架。电机电流模块 62 计算同步基准框架中的电机的定子通量。同步到静止基准框架转换模块 64 使用转子角度位置 θ_r , 将同步框架定子通量转换为静止基准框架。

定子阻抗增益模块 66 和加法器 68 与静止基准框架电压 V_α 和 V_β 以及电流 I_α 和 I_β 一起使用, 以计算静止框架反 EMF。积分器 70 用于对反 EMF 积分, 以基于电压模块计算定子通量。

电流模块在较低速度时更为精确, 而基于计算的电压模块在较高速度时更为精确。因此, 块 72、74 和 76 被用来基于转子速度将定子通量计算从电流模块平滑地转换到电压模块。方程 (4) 描述块 72、74 和 76 是如何在作为电频率 ω_e 的函数的电压模块通量估计 $\lambda_{\alpha\beta-VM}$ 与电流模块通量估计 $\lambda_{\alpha\beta-CM}$ 之间导致平滑转换的。在方程 (4) 中还示出了观测器特性函数 $F(s)$ 。模块 72 PI 增益的设置如方程 (5) 中所示。块 76 保证在定子通量矢量所估计的电压模块和电流模块之间的最佳转换轨迹。模块 80 使用反正切函数来计算定子通量角度位置 θ_f 。

$$\lambda_{\alpha\beta} = F(s) \cdot \lambda_{\alpha\beta-VM} + [1 - F(s)] \cdot \lambda_{\alpha\beta-CM}$$

$$F(s) = \frac{s^2}{s^2 + K_p s + K_i} \cdot e^{-j\alpha} \quad (4)$$

$$\alpha = \pi - \tan^{-1} \left(\frac{K_p \omega_c}{K_i - \omega_c^2} \right)$$

其中

$$K_p = \sqrt{2} \cdot \omega_c$$

$$K_i = \omega_c^2$$

$$\omega_c = \text{转换频率}$$
(5)

修正的 Gopinath 观测器 50 用于估计在所有速度下的定子通量角度 θ_f 。转换开关 54 根据转子速度自动选择合适的输入 θ_r 。

利用模块 15 获得场削弱操作。方程 (6) 是用于计算基于 DC 连接电压和转子速度的场削弱的定子通量指令。

$$\lambda_{fw} = \frac{V_{DC} \cdot K_{fw}}{\sqrt{3} \omega_r} \quad (6)$$

在所有的操作条件下，将 λ_{fw} 与 λ 比较。较低的通量指令由控制器用作最终的通量基准。如果选择了场削弱定子通量指令 λ_{fw} ，那么指令计算模块 16 基于新的通量指令 λ_{fw} 和转矩指令 T_e 重新计算最优的转矩角度指令 δ 。

在图 4 中所示的图说明所提出的在六步骤操作期间允许转矩调整的控制。在六步骤操作期间，固定施加到定子的电压。因此，控制器中只有一个自由度。通过调整转矩角度 δ 来控制转矩，其又控制关于同步基准框架的 d 轴的电压角度 α 。图 5 示出描述进入和跳出六步骤操作的转换的状态流程图。

参考图 4，开关 100 在正常操作和六步骤操作之间转换。在正常操作期间，图 1 中的图产生静止框架电压指令 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$ 。当变量 Flag-six 变为真时，由六步骤控制模块 102 提供电压指令 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$ 。

六步骤控制模块 102 调整转矩角度 δ ，其又控制施加到电机的电压角度。使用求和点 104 对转矩角度指令 δ 与转矩角度反馈 δ_{fb} 进行比较，其输出被馈送到 PI 调整器 106。PI 调整器的初始状态被设置成提供进入和跳出六步骤操作的无缝转换。前馈电压角度计算模块 108 计算更快动态性能的前馈电压角度 α_{ff} 。加法器 110 将 PI 调整器输出和前馈电压角度 α_{ff} 相加以产生最终的电压角度 α 。使用求和点 112 将电压角度 α 加到转子角度位置 θ_r 以产生静止框架电压角度。块 114 利用求和点 112 的输出和最大可用电压（六步骤的电压）以产生指令电压 $V_{\alpha 1}$ 和 $V_{\beta 1}$ 。

图 5 详述描述图 4 中的转换标志 Flag-six 的设置的状态流程图。整个流程图在每个抽样期间执行。决策块 120 将实际的转子速度 ω_r 与预定的最小阈值速度 ω_{rth} 相比较。如果转子速度比预定的最小阈值速度小，那么在块 122 中 Flag-six 被设置为 0（在图 1 中描述的控制定向的正常定子通量）。否则，决策块 124 被用于将施加的定子电压 V_m 和预定的最大阈值电压 V_{th} 相比较。如果施加的定子电压比 V_{th} 小，那么在块 122 中 Flag-six 被设置为 0。否则，在块 126 中 Flag-six 被设置为 1（六步骤的操作）。该控制保持在该操作模式直到决策块 130 的条件定为真。块 130 检测估计的定子通量超过指令的定子通量的情况。如果为 TRUE，则有足够的可用的电压以退出六步骤操作，并返回正常定子通量定向控制。

应该理解的是，本发明并不限于如上图示和描述的确切的构造，但不背离下列的权利要求所定义的本发明的精神和范围，可以对本发明进行各种不同的改变和修改。

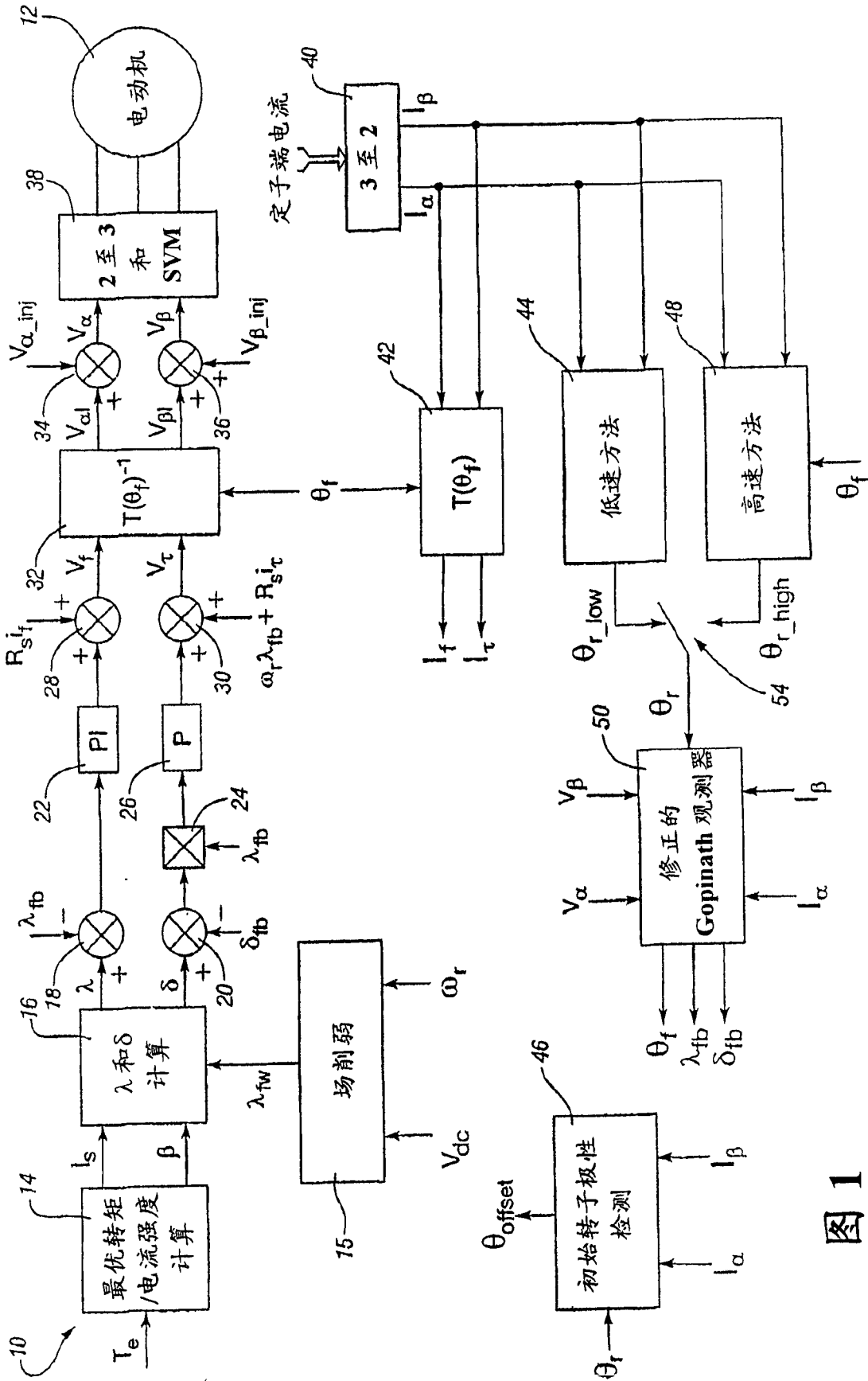


图 1

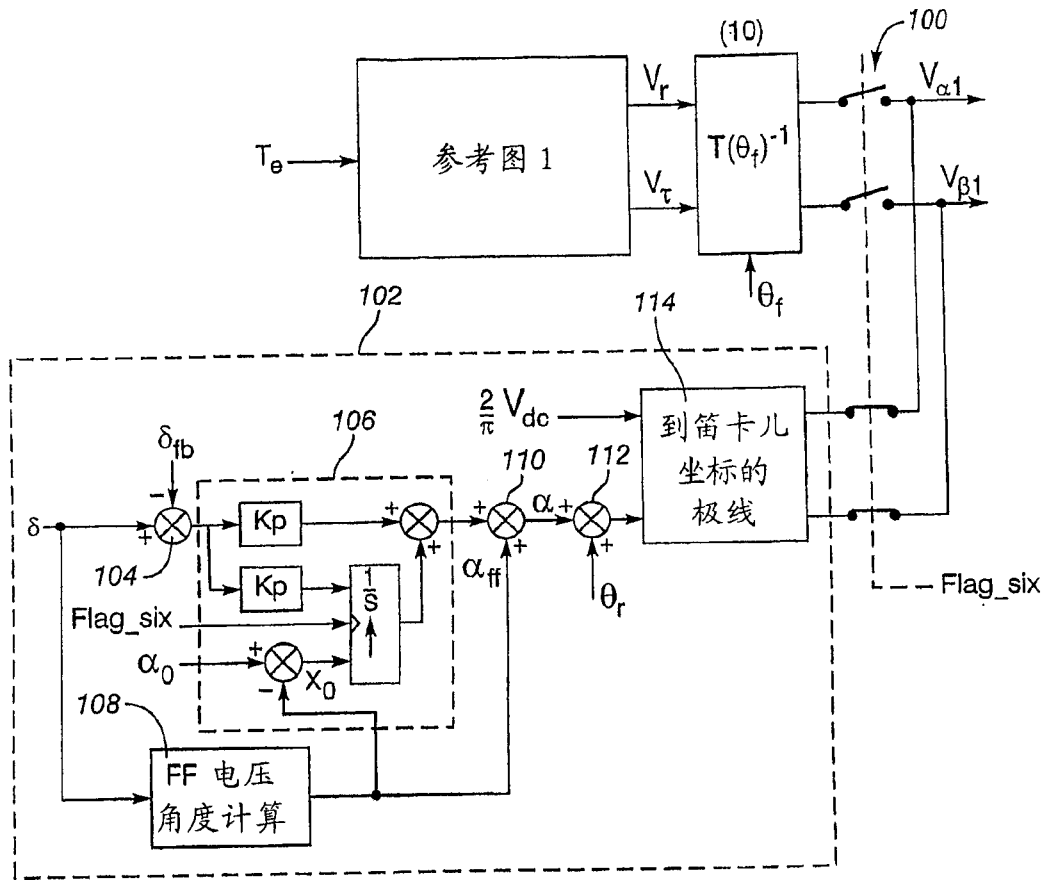


图 4

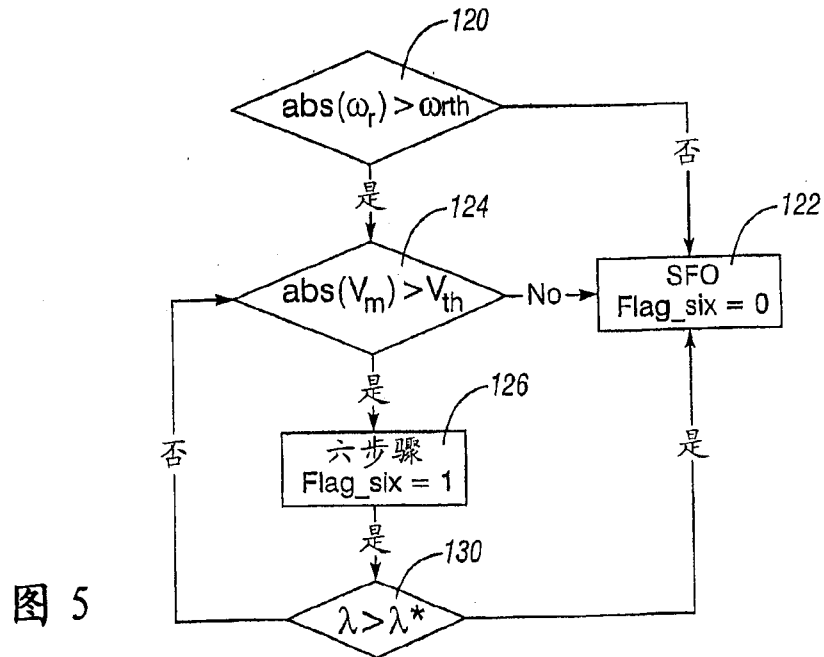


图 5