



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107404269 A

(43)申请公布日 2017.11.28

(21)申请号 201710645783.2

(22)申请日 2017.07.31

(71)申请人 广东威灵电机制造有限公司

地址 528311 广东省佛山市顺德区北滘镇
工业园

申请人 美的威灵电机技术(上海)有限公司

(72)发明人 徐磊 黄亮 付俊永 秦向南

(74)专利代理机构 深圳市世纪恒程知识产权代
理事务所 44287

代理人 胡海国

(51)Int.Cl.

H02P 21/14(2016.01)

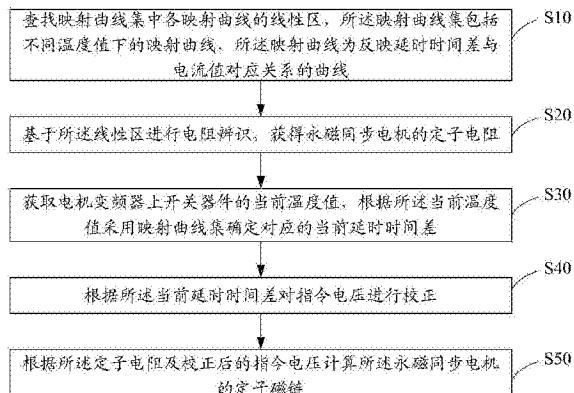
权利要求书2页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

永磁同步电机定子磁链观测方法、磁链观测
器及存储介质

(57)摘要

本发明公开了一种永磁同步电机定子磁链
观测方法、磁链观测器及存储介质。本发明通过
查找映射曲线集中各映射曲线的线性区，基于所述
线性区进行电阻辨识，获得永磁同步电机的定
子电阻，获取电机变频器上开关器件的当前温
度值，根据所述当前温度值采用映射曲线集确定
对应的当前延时时间差，根据所述当前延时时间
差对指令电压进行校正，根据所述定子电阻及校正
后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁
链，使得采用的定子电阻及指令电压更准确，从
而使定子磁链更准确。



1. 一种永磁同步电机定子磁链观测方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,所述映射曲线集包括不同温度值下的映射曲线,所述映射曲线为反映延时时间差与电流值对应关系的曲线;

基于所述线性区进行电阻辨识,获得永磁同步电机的定子电阻;

获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差;

根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正;

根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正,具体包括:

根据所述当前延时时间差计算端电压误差;

将所述端电压误差进行坐标变换,获得 α - β 坐标系下的电压补偿值;

根据所述 α - β 坐标系下的电压补偿值对指令电压进行校正。

3. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,根据所述定子电阻及校正后的指令电压通过下式计算所述永磁同步电机的定子磁链,

$$\begin{bmatrix} \psi_{\alpha_est} \\ \psi_{\beta_est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int (V_\alpha - R_s i_\alpha) dt \\ \int (V_\beta - R_s i_\beta) dt \end{bmatrix}$$

其中, ψ_{α_est} 和 ψ_{β_est} 为所述永磁同步电机的定子磁链, V_α 和 V_β 为校正后的指令电压值, R_s 为定子电阻, i_α 为 α 轴的电流值, i_β 为 β 轴的电流值。

4. 如权利要求1~3中任一项所述的方法,其特征在于,所述获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差,具体包括:

获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差,所述映射关系为延时时间差与温度值的对应关系,所述映射关系基于所述映射曲线集生成。

5. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差之前,所述方法还包括:

在所述映射曲线集中各映射曲线的线性区内确定一个预设电流值,从所述映射曲线集查找各映射曲线对应预设电流值的延时时间差;

根据查找到的延时时间差分别与其所属映射曲线对应的温度值进行关联,以形成所述映射关系。

6. 如权利要求4所述的方法,其特征在于,所述根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差,具体包括:

从所述映射关系中选取两个参考点,获取各参考点的参考温度值及参考延时时间差,根据所述当前温度值、各参考点的参考温度值及参考延时时间差确定所述当前延时时间差。

7. 如权利要求1~3中任一项所述的方法,其特征在于,所述查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,具体包括:

分别获取所述映射曲线集中各映射曲线上每点的切线斜率,根据所述切线斜率确定各映射曲线的线性区。

8. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,所述根据所述切线斜率确定各映射曲线的线性区,具体包括:

对所述映射曲线集中的映射曲线进行遍历,将遍历到的当前映射曲线中切线斜率等于预设斜率的点作为分割点;

将所述当前映射曲线按照所述分割点进行分割,获得至少两个分割区;

判断各分割区是否存在切线斜率大于预设斜率的点,将未存在切线斜率大于预设斜率的点的分割区作为所述当前映射曲线的线性区。

9. 一种磁链观测器,其特征在于,所述磁链观测器包括:存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的永磁同步电机定子磁链观测程序,所述永磁同步电机定子磁链观测程序配置为实现如权利要求1至8中任一项所述的永磁同步电机定子磁链观测方法的步骤。

10. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质上存储有永磁同步电机定子磁链观测程序,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时实现如权利要求1至8中任一项所述的永磁同步电机定子磁链观测方法的步骤。

永磁同步电机定子磁链观测方法、磁链观测器及存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及磁链观测技术领域，尤其涉及一种永磁同步电机定子磁链观测方法、磁链观测器及存储介质。

背景技术

[0002] 永磁同步电机具有效率高、功率密度大、转矩脉动小、调速范围宽等优点，目前在家电、电动汽车、高铁、航空航天等领域得到了广泛的应用。

[0003] 常见的永磁同步电机变频调速系统通常根据速度给定信号与速度反馈信号做速度闭环控制，因此需要速度传感器获取速度信息。然而，安装速度传感器不仅增加了成本，在某些恶劣的工况中速度传感器易发生故障而失效，导致电机调速系统的可靠性降低。基于上述原因，近年来，无速度传感器控制方法成为学术界研究的热点，该方法不需要安装速度传感器，仅根据电机数学模型即可估算出速度信息。具体来说，首先根据定子磁链计算出转子磁链的角度，然后进一步计算出转子的位置信息与速度信息。因此，定子磁链观测的准确度直接决定了电机转子位置与速度信息的准确度，最终影响电机控制的精度。

[0004] 常规的永磁同步电机定子磁链观测方法有两类：一类是根据实测电流与转子位置角度，基于两相同步旋转坐标系（简称d-q坐标系）下的数学模型计算定子磁链，称电流模型；另一类是根据实测的电压、电流，基于两相静止坐标系（简称α-β坐标系）下的数学模型计算定子磁链，称电压模型。由于电流模型需要的转子位置角度信息通常不知道，所以电流模型无法单独使用，工程上，通常采样电压模型估算定子磁链。

[0005] 电压模型有三个输入量，分别是相电压、相电流、定子电阻，只有三个输入量都准确，输出的定子磁链才准确。在实际应用中，电机的相电流通常可以很容易的检测到，而相电压与定子电阻通常难以检测。由于增加相电压检测电路会增加成本并降低可靠性，工程上通常不检测相电压，而使用相电压的指令值近似等效。定子电阻在电机运行过程中随温度变化而变化，通常需要实时的在线辨识或周期性的离线辨识，由于在线辨识方法通常比较复杂，工程上通常采用离线辨识方法。

[0006] 然而，在实际应用中，逆变器的输出电压会受到开关非线性因素影响而存在一定的偏差。由于现有技术没有考虑开关非线性因素影响，相电压的指令值与实际值存在偏差，电阻辨识结果也存在偏差。因此，现有技术计算出来的定子磁链并不精确。

[0007] 上述内容仅用于辅助理解本发明的技术方案，并不代表承认上述内容是现有技术。

发明内容

[0008] 本发明的主要目的在于提供一种永磁同步电机定子磁链观测方法、磁链观测器及存储介质，旨在解决现有技术中定子磁链不精确的技术问题。

[0009] 为实现上述目的，本发明提供一种永磁同步电机定子磁链观测方法，所述方法包括以下步骤：

- [0010] 查找映射曲线集中各映射曲线的线性区，所述映射曲线集包括不同温度值下的映射曲线，所述映射曲线为反映延时时间差与电流值对应关系的曲线；
- [0011] 基于所述线性区进行电阻辨识，获得永磁同步电机的定子电阻；
- [0012] 获取电机变频器上开关器件的当前温度值，根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差；
- [0013] 根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正；
- [0014] 根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链。
- [0015] 优选地，所述根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正，具体包括：
- [0016] 根据所述当前延时时间差计算端电压误差；
- [0017] 将所述端电压误差进行坐标变换，获得 α - β 坐标系下的电压补偿值；
- [0018] 根据所述 α - β 坐标系下的电压补偿值对指令电压进行校正。
- [0019] 优选地，根据所述定子电阻及校正后的指令电压通过下式计算所述永磁同步电机的定子磁链，

$$[0020] \begin{bmatrix} \psi_{\alpha_est} \\ \psi_{\beta_est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int (V_{\alpha} - R_s i_{\alpha}) dt \\ \int (V_{\beta} - R_s i_{\beta}) dt \end{bmatrix}$$

[0021] 其中， ψ_{α_est} 和 ψ_{β_est} 为所述永磁同步电机的定子磁链， V_{α} 和 V_{β} 为校正后的指令电压值， R_s 为定子电阻， i_{α} 为 α 轴的电流值， i_{β} 为 β 轴的电流值。

- [0022] 优选地，所述获取电机变频器上开关器件的当前温度值，根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差，具体包括：
- [0023] 获取电机变频器上开关器件的当前温度值，根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差，所述映射关系为延时时间差与温度值的对应关系，所述映射关系基于所述映射曲线集生成。

[0024] 优选地，所述获取电机变频器上开关器件的当前温度值，根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差之前，所述方法还包括：

[0025] 在所述映射曲线集中各映射曲线的线性区内确定一个预设电流值，从所述映射曲线集查找各映射曲线对应预设电流值的延时时间差；

[0026] 根据查找到的延时时间差分别与其所属映射曲线对应的温度值进行关联，以形成所述映射关系。

[0027] 优选地，所述根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差，具体包括：

[0028] 从所述映射关系中选取两个参考点，获取各参考点的参考温度值及参考延时时间差，根据所述当前温度值、各参考点的参考温度值及参考延时时间差确定所述当前延时时间差。

[0029] 优选地，所述查找映射曲线集中各映射曲线的线性区，具体包括：

[0030] 分别获取所述映射曲线集中各映射曲线上每点的切线斜率，根据所述切线斜率确定各映射曲线的线性区。

[0031] 优选地，所述根据所述切线斜率确定各映射曲线的线性区，具体包括：

[0032] 对所述映射曲线集中的映射曲线进行遍历，将遍历到的当前映射曲线中切线斜率

等于预设斜率的点作为分割点；

[0033] 将所述当前映射曲线按照所述分割点进行分割，获得至少两个分割区；

[0034] 判断各分割区是否存在切线斜率大于预设斜率的点，将未存在切线斜率大于预设斜率的点的分割区作为所述当前映射曲线的线性区。

[0035] 此外，为实现上述目的，本发明还提供一种磁链观测器，所述磁链观测器包括：存储器、处理器及存储在所述存储器上并可在所述处理器上运行的永磁同步电机定子磁链观测程序，所述永磁同步电机定子磁链观测程序配置为实现所述的永磁同步电机定子磁链观测方法的步骤。

[0036] 此外，为实现上述目的，本发明还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质上存储有永磁同步电机定子磁链观测程序，所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时实现所述的永磁同步电机定子磁链观测方法的步骤。

[0037] 本发明通过查找映射曲线集中各映射曲线的线性区，基于所述线性区进行电阻辨识，获得永磁同步电机的定子电阻，获取电机变频器上开关器件的当前温度值，根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差，根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正，根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链，使得采用的定子电阻及指令电压更准确，从而使定子磁链更准确。

附图说明

[0038] 图1是本发明实施例方案涉及的硬件运行环境的磁链观测器结构示意图；

[0039] 图2为本发明永磁同步电机定子磁链观测方法第一实施例的流程示意图；

[0040] 图3为本发明实施例中电阻辨识时的电流及电压的波形图；

[0041] 图4为本发明永磁同步电机定子磁链观测方法第二实施例的流程示意图；

[0042] 图5为本发明永磁同步电机定子磁链观测方法第三实施例的流程示意图；

[0043] 图6为本发明实施例中延时时间差随电流、温度变化的规律示意图。

[0044] 本发明目的的实现、功能特点及优点将结合实施例，参照附图做进一步说明。

具体实施方式

[0045] 应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0046] 参照图1，图1为本发明实施例方案涉及的硬件运行环境的磁链观测器结构示意图。

[0047] 如图1所示，该磁链观测器可以包括：处理器1001，例如CPU，通信总线1002、用户接口1003，存储器1004。其中，通信总线1002用于实现这些组件之间的连接通信。用户接口1003可以包括显示屏(Display)、输入单元比如键盘(Keyboard)，可选用户接口1003还可以包括标准的有线接口、无线接口。存储器1004可以是高速RAM存储器，也可以是稳定的存储器(non-volatile memory)，例如磁盘存储器。存储器1004可选的还可以是独立于前述处理器1001的存储装置。

[0048] 本领域技术人员可以理解，图1中示出的磁链观测器结构并不构成对磁链观测器的限定，可以包括比图示更多或更少的部件，或者组合某些部件，或者不同的部件布置。

[0049] 如图1所示，作为一种计算机存储介质的存储器1004中可以包括操作系统、用户接

口模块以及永磁同步电机定子磁链观测程序。

[0050] 在图1所示的磁链观测器中,所述磁链观测器通过处理器1001调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,并执行以下操作:

[0051] 查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,所述映射曲线集包括不同温度值下的映射曲线,所述映射曲线为反映延时时间差与电流值对应关系的曲线;

[0052] 基于所述线性区进行电阻辨识,获得永磁同步电机的定子电阻;

[0053] 获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差;

[0054] 根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正;

[0055] 根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链。

[0056] 进一步地,处理器1001可以调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,还执行以下操作:

[0057] 根据所述当前延时时间差计算端电压误差;

[0058] 将所述端电压误差进行坐标变换,获得 α - β 坐标系下的电压补偿值;

[0059] 根据所述 α - β 坐标系下的电压补偿值对指令电压进行校正。

[0060] 进一步地,处理器1001可以调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,还执行以下操作:

[0061] 根据所述定子电阻及校正后的指令电压通过下式计算所述永磁同步电机的定子磁链,

$$[0062] \begin{bmatrix} \psi_{\alpha_est} \\ \psi_{\beta_est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int (V_{\alpha} - R_s i_{\alpha}) dt \\ \int (V_{\beta} - R_s i_{\beta}) dt \end{bmatrix}$$

[0063] 其中, ψ_{α_est} 和 ψ_{β_est} 为所述永磁同步电机的定子磁链, V_{α} 和 V_{β} 为校正后的指令电压值, R_s 为定子电阻, i_{α} 为 α 轴的电流值, i_{β} 为 β 轴的电流值。

[0064] 进一步地,处理器1001可以调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,还执行以下操作:

[0065] 获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差,所述映射关系为延时时间差与温度值的对应关系,所述映射关系基于所述映射曲线集生成。

[0066] 进一步地,处理器1001可以调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,还执行以下操作:

[0067] 在所述映射曲线集中各映射曲线的线性区内确定一个预设电流值,从所述映射曲线集查找各映射曲线对应预设电流值的延时时间差;

[0068] 根据查找到的延时时间差分别与其所属映射曲线对应的温度值进行关联,以形成所述映射关系。

[0069] 进一步地,处理器1001可以调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,还执行以下操作:

[0070] 从所述映射关系中选取两个参考点,获取各参考点的参考温度值及参考延时时间差,根据所述当前温度值、各参考点的参考温度值及参考延时时间差确定所述当前延时时

间差。

[0071] 进一步地,处理器1001可以调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,还执行以下操作:

[0072] 分别获取所述映射曲线集中各映射曲线上每点的切线斜率,根据所述切线斜率确定各映射曲线的线性区。

[0073] 进一步地,处理器1001可以调用存储器1004中存储的永磁同步电机定子磁链观测程序,还执行以下操作:

[0074] 对所述映射曲线集中的映射曲线进行遍历,将遍历到的当前映射曲线中切线斜率等于预设斜率的点作为分割点;

[0075] 将所述当前映射曲线按照所述分割点进行分割,获得至少两个分割区;

[0076] 判断各分割区是否存在切线斜率大于预设斜率的点,将未存在切线斜率大于预设斜率的点的分割区作为所述当前映射曲线的线性区。

[0077] 本实施例通过上述方案,通过查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,基于所述线性区进行电阻辨识,获得永磁同步电机的定子电阻,获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差,根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正,根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链,使得采用的定子电阻及指令电压更准确,从而使定子磁链更准确。

[0078] 基于上述硬件结构,提出本发明永磁同步电机定子磁链观测方法实施例。

[0079] 参照图2,图2为本发明永磁同步电机定子磁链观测方法第一实施例的流程示意图。

[0080] 在第一实施例中,所述永磁同步电机定子磁链观测方法包括以下步骤:

[0081] S10:查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,所述映射曲线集包括不同温度值下的映射曲线,所述映射曲线为反映延时时间差与电流值对应关系的曲线;

[0082] 在具体实现中,可进行多次试验测试,从而获得映射曲线集,所述映射曲线集包括不同温度值下的映射曲线,所述映射曲线为反映延时时间差与电流值对应关系的曲线,但由于各映射曲线中可能存在变化幅度较快的非线性区,若选取的电流值处于非线性区中,由于延时时间差差距过大,会使辨识的电阻误差过大,故而,本实施例中可查找各映射曲线中变化幅度较小的线性区。

[0083] 需要说明的是,延时时间差即为关断延时时间与开通延时时间的差值,计算公式可采用 $\Delta t_{delay} = t_{turn_off_delay} - t_{turn_on_delay}$,其中, Δt_{delay} 为延时时间差, $t_{turn_off_delay}$ 为关断延时时间, $t_{turn_on_delay}$ 为开通延时时间。

[0084] 需要说明的是,由于所述线性区的变化幅度通常较慢,故而,其切线斜率通常较小,为便于查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,本实施例中,可分别获取所述映射曲线集中各映射曲线上每点的切线斜率,根据所述切线斜率确定各映射曲线的线性区。

[0085] 为对所述线性区实现快速查找,本实施例中,可对所述映射曲线集中的映射曲线进行遍历,将遍历到的当前映射曲线中切线斜率等于预设斜率的点作为分割点;将所述当前映射曲线按照所述分割点进行分割,获得至少两个分割区;判断各分割区是否存在切线斜率大于预设斜率的点,将未存在切线斜率大于预设斜率的点的分割区作为所述当前映射曲线的线性区。

[0086] 需要说明的是,步骤S10中确定的线性区中可能存在较大的电流值,如果选取到过大的电流值可能会损坏永磁同步电机,又或是损坏与永磁同步电机电机连接的部件,为防止出现该问题,本实施例中,可设置一个预设电流阈值,删除所述线性区中超过预设电流阈值的区域。

[0087] 可理解的是,对于所述预设电流阈值而言,可通过经验进行设置,也可根据多次试验进行设置,但考虑到不同永磁同步电机可能具有不同的耐电流特性,因此,本实施例中,可将所述预设电流阈值设置为所述永磁同步电机允许的电流最大值和所述永磁同步电机所连接变频器允许的电流最大值中的较小值。

[0088] S20:基于所述线性区进行电阻辨识,获得永磁同步电机的定子电阻;

[0089] 为便于实现电阻辨识,本实施例中,可在所述线性区中选取电流值;将选取的电流值作为注入永磁同步电机的直轴电流值,检测与所述直轴电流值对应的直轴电压值;根据所述直轴电流值及对应的直轴电压值计算所述永磁同步电机的定子电阻。

[0090] 需要说明的是,由于线性区通常变化幅度较小,因此,在所述线性区中选取电流值能够防止辨识的电阻误差过大。

[0091] 可理解的是,在所述线性区中选取电流值时可采用随机选取的方式,本实施例对此不加以限制。

[0092] 需要说明的是,对于永磁同步电机而言,交轴也叫q轴,直轴也叫d轴,交轴和直轴从本质上而言是坐标轴,而并非实际的转轴,在永磁同步电机控制中,为了能够得到类似直流电机的控制特性,因此在电机转子上建立了一个坐标系,此坐标系与转子同步转动,取转子磁场方向为d轴,垂直于转子磁场方向为q轴,将电机的数学模型转换到此坐标系下,可实现d轴和q轴的解耦,从而得到良好控制特性。

[0093] 可理解的是,为了抵消延时时间差的影响,故而,需要进行两次电流值的注入,因此,本实施例中在所述线性区中选取两个不同的电流值,为便于对选取的电流值进行区分,可将选取的电流值分为第一电流值及第二电流值。

[0094] 相应地,所述将选取的电流值作为注入永磁同步电机的直轴电流值,检测与所述直轴电流值对应的直轴电压值,可具体包括:

[0095] 将预设角度设置为给定电角度(为便于进行后续计算,本实施例中,所述预设角度可为0度,当然,也可设置为其他角度,本实施例对此不加以限制),将选取的第一电流值作为第一直轴电流值,对所述第一直轴电流值进行闭环控制,当闭环控制的反馈直轴电流值与第一直轴电流值一致时,获取直流电压值,并将获取的直流电压值作为与所述第一直轴电流值对应的第一直轴电压值;

[0096] 将预设角度设置为给定电角度,将选取的第二电流值作为第二直轴电流值,对所述第二直轴电流值进行闭环控制,当闭环控制的反馈直轴电流值与第二直轴电流值一致时,获取直流电压值,并将获取的直流电压值作为与所述第二直轴电流值对应的第二直轴电压值。

[0097] 可理解的是,由于闭环控制通常是采用反馈比较的方式实现,故而,通常需要一定的时间才能使设定值(即第一直轴电流值或第二直轴电流值)与反馈值(即反馈直轴电流值)一致,但假设在设定值与反馈值还未一致时,即采集直流电压值,会导致辨识的电阻误差过大,因此,本实施例中,在设定值与反馈值一致时,才获取直流电压值。

[0098] 在具体实现中,为便于提高计算效率,本实施例中可根据所述直轴电流值及对应的直轴电压值通过下式计算所述永磁同步电机的定子电阻,

$$[0099] R_s = \frac{\Delta V_d}{\Delta i_d} = \frac{V_{d1} - V_{d2}}{i_{d1} - i_{d2}}$$

[0100] 其中, R_s 为所述永磁同步电机的定子电阻, V_{d1} 为第一直轴电压值, V_{d2} 为第二直轴电压值, i_{d1} 为第一直轴电流值, i_{d2} 为第二直轴电流值。

[0101] 具体地,在进行电阻辨识时,电流及电压的波形图可参照图3,其中, i_1 对应的点即可理解为上述分割点, i_{max} 为即为上述的预设电流阈值。

[0102] S30:获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差;

[0103] 需要说明的是,所述当前温度值即为当前时刻所述电机变频器中桥臂上开关管的温度值。

[0104] 可理解的是,可采用多种方式来获取所述当前温度值,例如:可采用温度传感器来获取所述电流值,也可采用红外测温仪来获取所述当前温度值,本实施例对此不加以限制。

[0105] S40:根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正;

[0106] S50:根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链。

[0107] 本实施例通过查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,基于所述线性区进行电阻辨识,获得永磁同步电机的定子电阻,获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差,根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正,根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链,使得采用的定子电阻及指令电压更准确,从而使定子磁链更准确。

[0108] 进一步地,如图4所示,基于第一实施例提出本发明永磁同步电机定子磁链观测方法第二实施例。

[0109] 本实施例中,步骤S40具体包括:

[0110] S41:根据所述当前延时时间差计算端电压误差;

[0111] 可理解的是,由于本实施例中的电机为三相变频电机,而三相变频电机的变频器每一相均会具有桥臂,各桥臂分别具有上开关管和下开关管,故而,对于各相上的桥臂而言,分别具有当前电流值,而各相的当前电流值之间相互独立,互不干扰,因此,各相的当前电流值可根据各相的当前电流值分别采用上述公式计算对应的当前延时时间差,故而,根据一个开关周期内伏秒积相等原则,可将延时时间误差折算成端电压误差,具体参照如下公式:

$$[0112] \left\{ \begin{array}{l} \Delta V_{AN_delay}(i_a) = \frac{\Delta t_{delay}(i_a)}{t_s} \cdot V_{dc} \cdot sign(i_a) \\ \Delta V_{BN_delay}(i_b) = \frac{\Delta t_{delay}(i_b)}{t_s} \cdot V_{dc} \cdot sign(i_b) \\ \Delta V_{CN_delay}(i_c) = \frac{\Delta t_{delay}(i_c)}{t_s} \cdot V_{dc} \cdot sign(i_c) \end{array} \right.$$

$$[0113] \text{ 其中, } sign(i_a) = \begin{cases} 1, & i_a > 0 \\ 0, & i_a = 0 \\ -1, & i_a < 0 \end{cases}, \quad sign(i_b) = \begin{cases} 1, & i_b > 0 \\ 0, & i_b = 0 \\ -1, & i_b < 0 \end{cases}, \quad sign(i_c) = \begin{cases} 1, & i_c > 0 \\ 0, & i_c = 0 \\ -1, & i_c < 0 \end{cases}$$

为a相的当前电流值, i_b 为b相的当前电流值, i_c 为c相的当前电流值, $\Delta t_{delay}(i_a)$ 为 i_a 对应的当前延时时间差, $\Delta t_{delay}(i_b)$ 为 i_b 对应的当前延时时间差, $\Delta t_{delay}(i_c)$ 为 i_c 对应的当前延时时间差, t_s 为所述三相变频电机的开关周期, V_{dc} 为直流母线电压, $\Delta v_{AN_delay}(i_a)$ 为a相的端电压误差, $\Delta v_{BN_delay}(i_b)$ 为b相的端电压误差, $\Delta v_{CN_delay}(i_c)$ 为c相的端电压误差。

[0114] S42: 将所述端电压误差进行坐标变换, 获得 $\alpha-\beta$ 坐标系下的电压补偿值;

[0115] 在具体实现中, 可通过下式进行坐标变换,

$$[0116] \begin{bmatrix} v_{\alpha_comp} \\ v_{\beta_comp} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_{AN_delay}(i_a) \\ \Delta v_{BN_delay}(i_b) \\ \Delta v_{CN_delay}(i_c) \end{bmatrix}$$

[0117] 其中, v_{α_comp} 为 α 轴的电压补偿值, v_{β_comp} 为 β 轴的电压补偿值。

[0118] S43: 根据所述 $\alpha-\beta$ 坐标系下的电压补偿值对指令电压进行校正。

[0119] 可理解的是, 获得电压补偿值后, 即可根据所述电压补偿值对指令电压进行校正, 在此不再赘述。

[0120] 为便于计算所述定子磁链, 步骤S50中, 可根据所述定子电阻及校正后的指令电压通过下式计算所述永磁同步电机的定子磁链,

$$[0121] \begin{bmatrix} \psi_{\alpha_est} \\ \psi_{\beta_est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int (V_{\alpha} - R_s i_{\alpha}) dt \\ \int (V_{\beta} - R_s i_{\beta}) dt \end{bmatrix}$$

[0122] 其中, ψ_{α_est} 和 ψ_{β_est} 为所述永磁同步电机的定子磁链, V_{α} 和 V_{β} 为校正后的指令电压值, R_s 为定子电阻, i_{α} 为 α 轴的电流值, i_{β} 为 β 轴的电流值。

[0123] 进一步地, 如图5所示, 基于第一实施例或第二实施例提出本发明永磁同步电机定子磁链观测方法第三实施例, 图5以基于图2所示的实施例为例。

[0124] 本实施例中, 步骤S30具体包括:

[0125] S30': 获取电机变频器上开关器件的当前温度值, 根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差, 所述映射关系为延时时间差与温度值的对应关系, 所述映射关系基于所述映射曲线集生成。

[0126] 需要说明的是, 为便于确定对应的当前延时时间差, 本实施例中, 可预先建立映射关系, 所述映射关系为延时时间差与温度值的对应关系, 因此, 本实施例可根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差。

[0127] 为获取所述映射关系, 本实施例中, 可进行多次试验测试, 从而获得映射关系集, 所述映射曲线集包括不同温度值下的映射曲线, 所述映射曲线为反映延时时间差与电流值对应关系的曲线, 由于映射曲线中具有变化幅度较快的非线性区, 若采用非线性区来确定所述映射关系, 会导致获取的当前延时时间差无法保证精度, 故而, 本实施例中, 可在所述映射曲线集中各映射曲线的线性区内确定一个预设电流值(可理解的是, 所述预设电流值

可根据需要进行设置,当然,也可采用随机选取的方式,本实施例对此不加以限制),从所述映射曲线集查找各映射曲线对应预设电流值的延时时间差;根据查找到的延时时间差分别与其所属映射曲线对应的温度值进行关联,以形成所述映射关系。

[0128] 当然,在具体实现中,可以在所述映射关系中查找与当前温度值对应的当前延时时间差,但考虑到所述映射关系中的温度值有限,可能存在映射关系中查找不到与当前温度值对应的当前延时时间差的情况,因此,本实施例中,可从所述映射关系中选取两个参考点,获取各参考点的参考温度值及参考延时时间差,根据所述当前温度值、各参考点的参考温度值及参考延时时间差确定所述当前延时时间差。

[0129] 根据实验测试结果可计算延时时间差,根据计算结果可知,延时时间差随电流、温度变化的规律如图6中实线所示,图中的横坐标为电流值,纵坐标为延时时间差。根据图6中规律,为了简化计算,可以忽略电流变化的影响,只考虑温度变化的影响。图6中的方框部分即为所述映射曲线的线性区,因此,可在所述线性区中选取一个预设电流值 i_0 ,从而建立所述映射关系。

[0130] 相应地,本实施例中,可根据所述当前温度值、各参考点的参考温度值及参考延时时间差通过下式确定所述当前延时时间差,

$$[0131] \Delta t_{delay}(T) = t(i_0, T_2) - \frac{[t(i_0, T_1) - t(i_0, T_2)]}{(T_1 - T_2)^2} \cdot (T - T_2)^2$$

[0132] 其中,T为当前温度值, $\Delta t_{delay}(T)$ 为当前延时时间差, (i_0, T_1) 为参考温度值 T_1 对应的参考延时时间差, $t(i_0, T_2)$ 为参考温度值 T_2 对应的参考延时时间差, i_0 为预设电流值。

[0133] 需要说明的是,图6中的虚线即为根据上述公式对方框中各温度值分别计算获得的延时时间差,可理解的是,所述当前温度值需要也需要处于所述线性区中才可采用上述公式准确计算当前延时时间差,若当前温度值不处于线性区中,则需要采用其他方式来确定当前延时时间差,例如:通过直接从所述映射曲线中进行对应查找等方式来确定,当然,还可采用其他方式,本实施例对此不加以限制。

[0134] 此外,本发明实施例还提出一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有永磁同步电机定子磁链观测程序,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时实现如下操作:

[0135] 查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,所述映射曲线集包括不同温度值下的映射曲线,所述映射曲线为反映延时时间差与电流值对应关系的曲线;

[0136] 基于所述线性区进行电阻辨识,获得永磁同步电机的定子电阻;

[0137] 获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差;

[0138] 根据所述当前延时时间差对指令电压进行校正;

[0139] 根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链。

[0140] 进一步地,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时还实现如下操作:

[0141] 根据所述当前延时时间差计算端电压误差;

[0142] 将所述端电压误差进行坐标变换,获得 $\alpha-\beta$ 坐标系下的电压补偿值;

[0143] 根据所述 $\alpha-\beta$ 坐标系下的电压补偿值对指令电压进行校正。

[0144] 进一步地,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时还实现如下操作:

[0145] 根据所述定子电阻及校正后的指令电压通过下式计算所述永磁同步电机的定子磁链,

$$[0146] \begin{bmatrix} \psi_{\alpha_est} \\ \psi_{\beta_est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int (V_{\alpha} - R_s i_{\alpha}) dt \\ \int (V_{\beta} - R_s i_{\beta}) dt \end{bmatrix}$$

[0147] 其中, ψ_{α_est} 和 ψ_{β_est} 为所述永磁同步电机的定子磁链, V_{α} 和 V_{β} 为校正后的指令电压值, R_s 为定子电阻, i_{α} 为 α 轴的电流值, i_{β} 为 β 轴的电流值。

[0148] 进一步地,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时还实现如下操作:

[0149] 获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射关系确定对应的当前延时时间差,所述映射关系为延时时间差与温度值的对应关系,所述映射关系基于所述映射曲线集生成。

[0150] 进一步地,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时还实现如下操作:

[0151] 在所述映射曲线集中各映射曲线的线性区内确定一个预设电流值,从所述映射曲线集查找各映射曲线对应预设电流值的延时时间差;

[0152] 根据查找到的延时时间差分别与其所属映射曲线对应的温度值进行关联,以形成所述映射关系。

[0153] 进一步地,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时还实现如下操作:

[0154] 从所述映射关系中选取两个参考点,获取各参考点的参考温度值及参考延时时间差,根据所述当前温度值、各参考点的参考温度值及参考延时时间差确定所述当前延时时间差。

[0155] 进一步地,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时还实现如下操作:

[0156] 分别获取所述映射曲线集中各映射曲线上每点的切线斜率,根据所述切线斜率确定各映射曲线的线性区。

[0157] 进一步地,所述永磁同步电机定子磁链观测程序被处理器执行时还实现如下操作:

[0158] 对所述映射曲线集中的映射曲线进行遍历,将遍历到的当前映射曲线中切线斜率等于预设斜率的点作为分割点;

[0159] 将所述当前映射曲线按照所述分割点进行分割,获得至少两个分割区;

[0160] 判断各分割区是否存在切线斜率大于预设斜率的点,将未存在切线斜率大于预设斜率的点的分割区作为所述当前映射曲线的线性区。

[0161] 本实施例通过上述方案,通过查找映射曲线集中各映射曲线的线性区,基于所述线性区进行电阻辨识,获得永磁同步电机的定子电阻,获取电机变频器上开关器件的当前温度值,根据所述当前温度值采用映射曲线集确定对应的当前延时时间差,根据所述当前

延时时间差对指令电压进行校正,根据所述定子电阻及校正后的指令电压计算所述永磁同步电机的定子磁链,使得采用的定子电阻及指令电压更准确,从而使定子磁链更准确。

[0162] 需要说明的是,在本文中,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者系统不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者系统所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括该要素的过程、方法、物品或者系统中还存在另外的相同要素。

[0163] 上述本发明实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。

[0164] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员可以清楚地了解到上述实施例方法可借助软件加必需的通用硬件平台的方式来实现,当然也可以通过硬件,但很多情况下前者是更佳的实施方式。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在如上所述的一个存储介质(如ROM/RAM、磁碟、光盘)中,包括若干指令用以使得一台终端设备(可以是手机,计算机,服务器,空调器,或者网络设备等)执行本发明各个实施例所述的方法。

[0165] 以上仅为本发明的优选实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

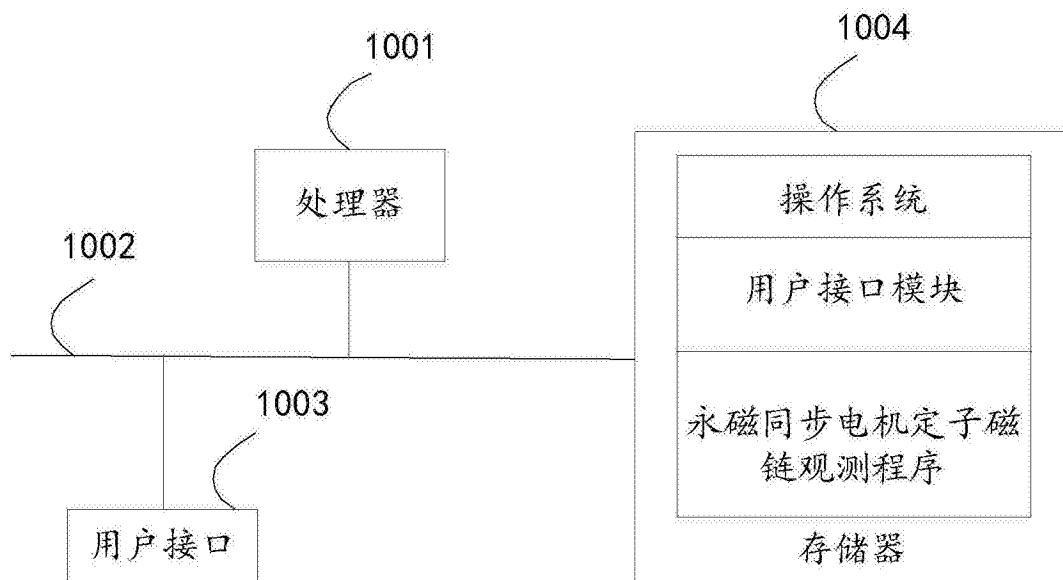


图1

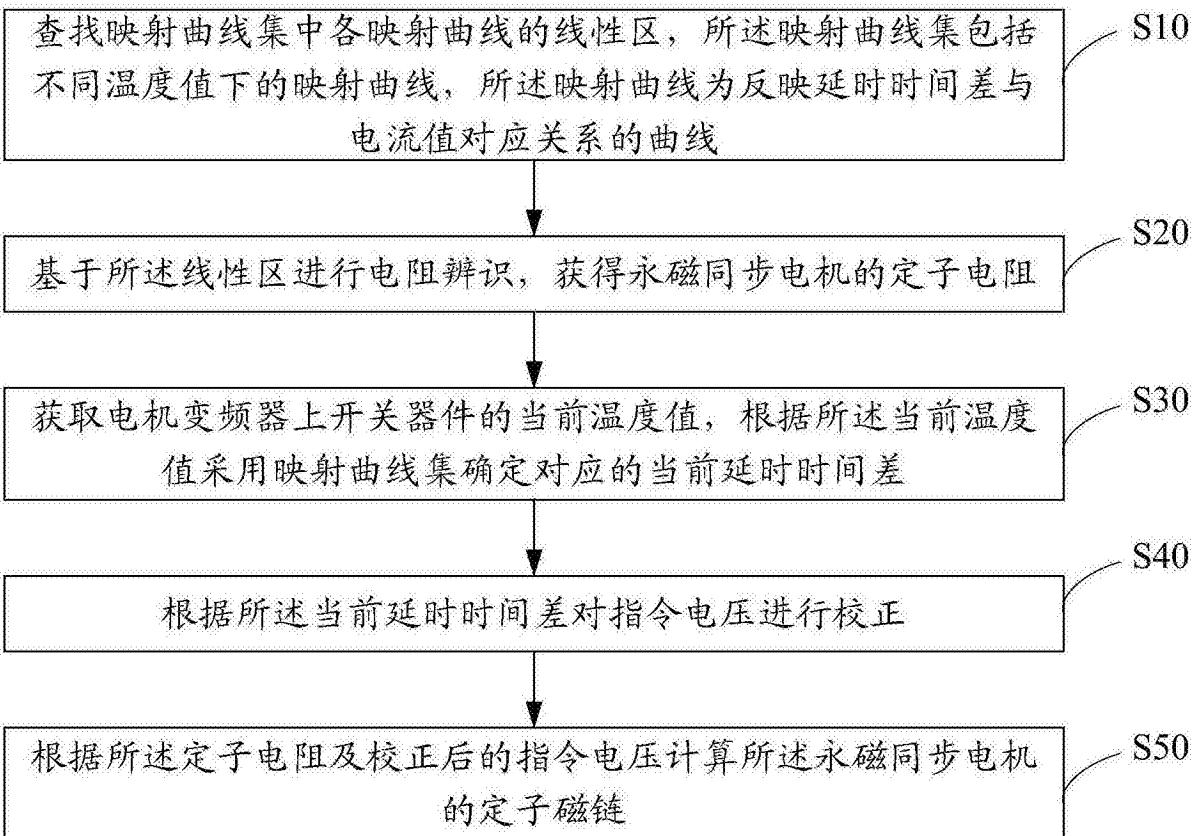


图2

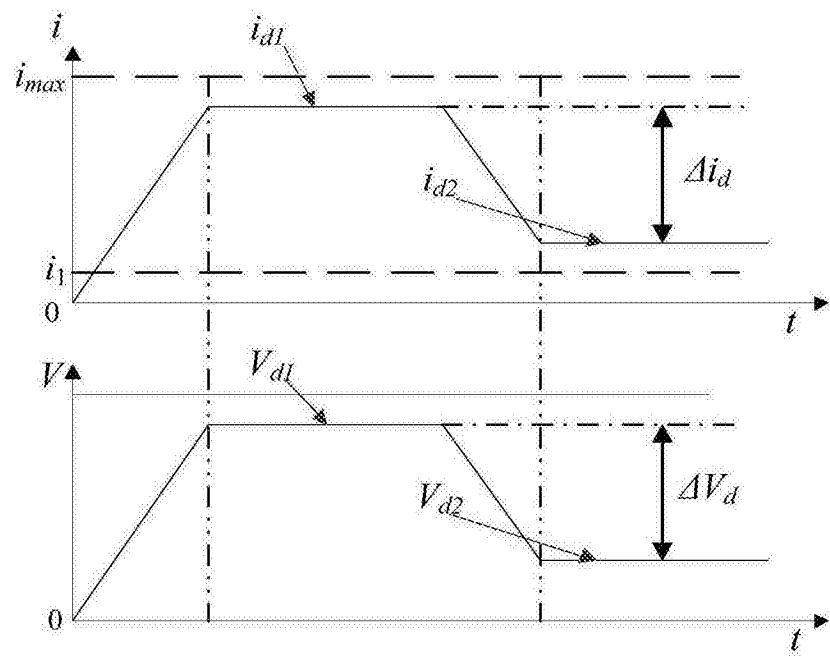


图3

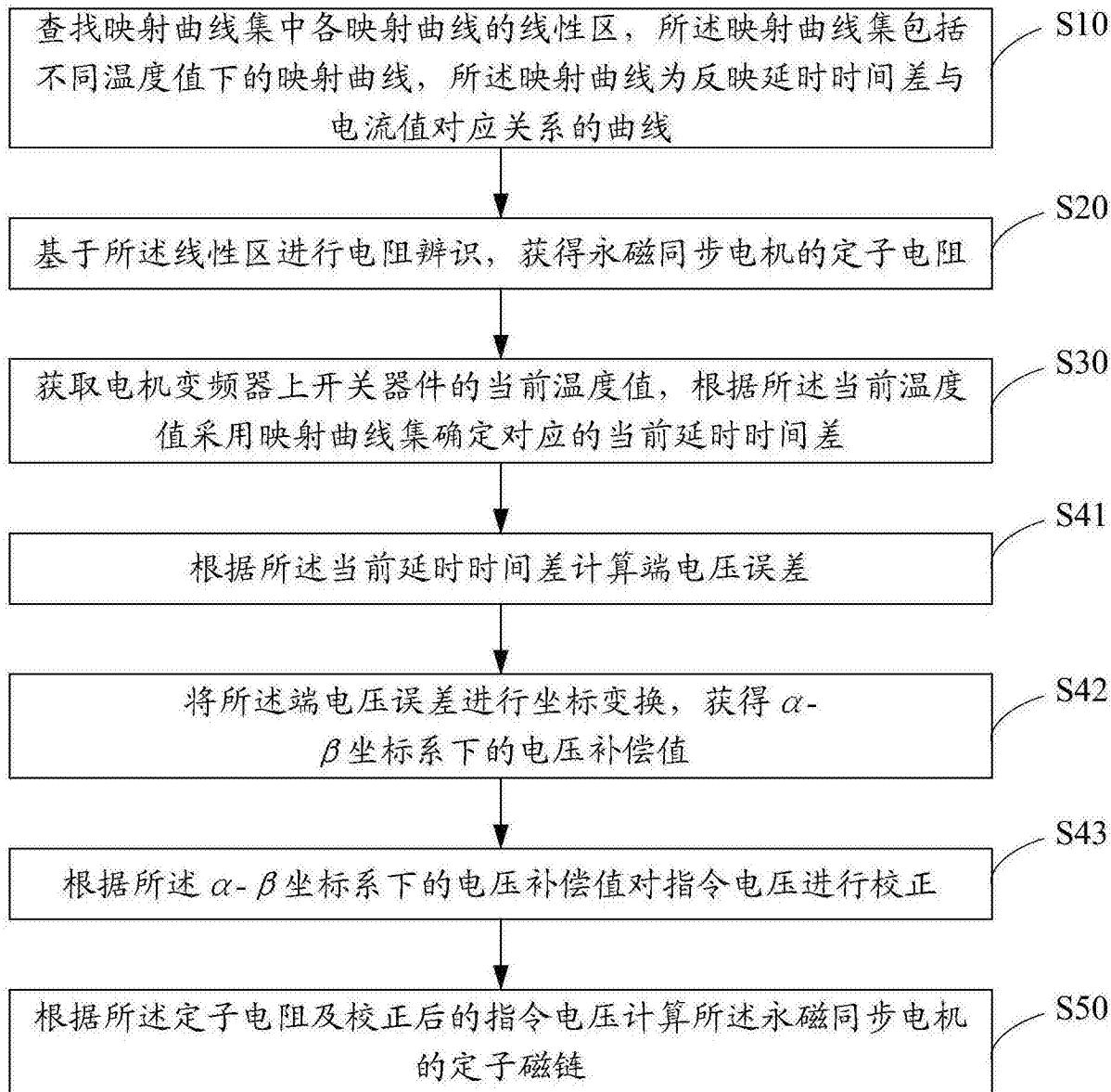


图4

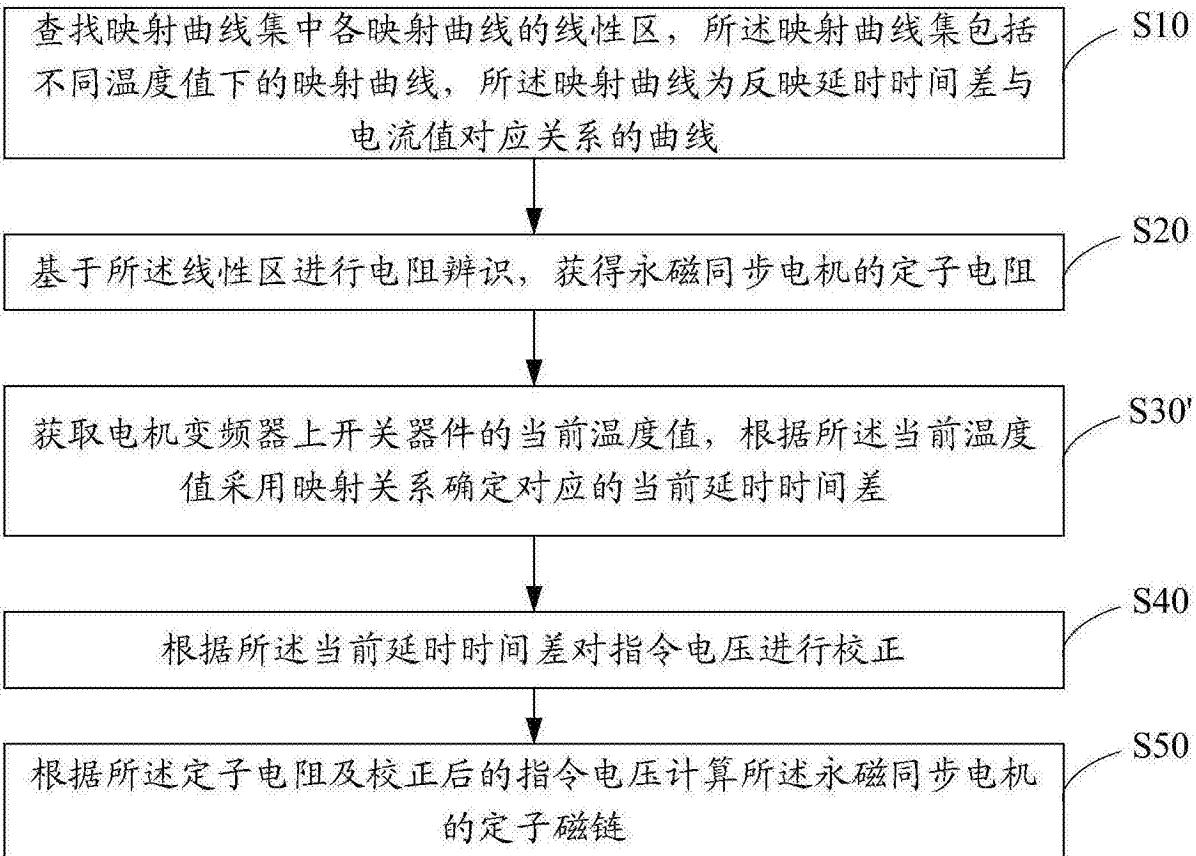


图5

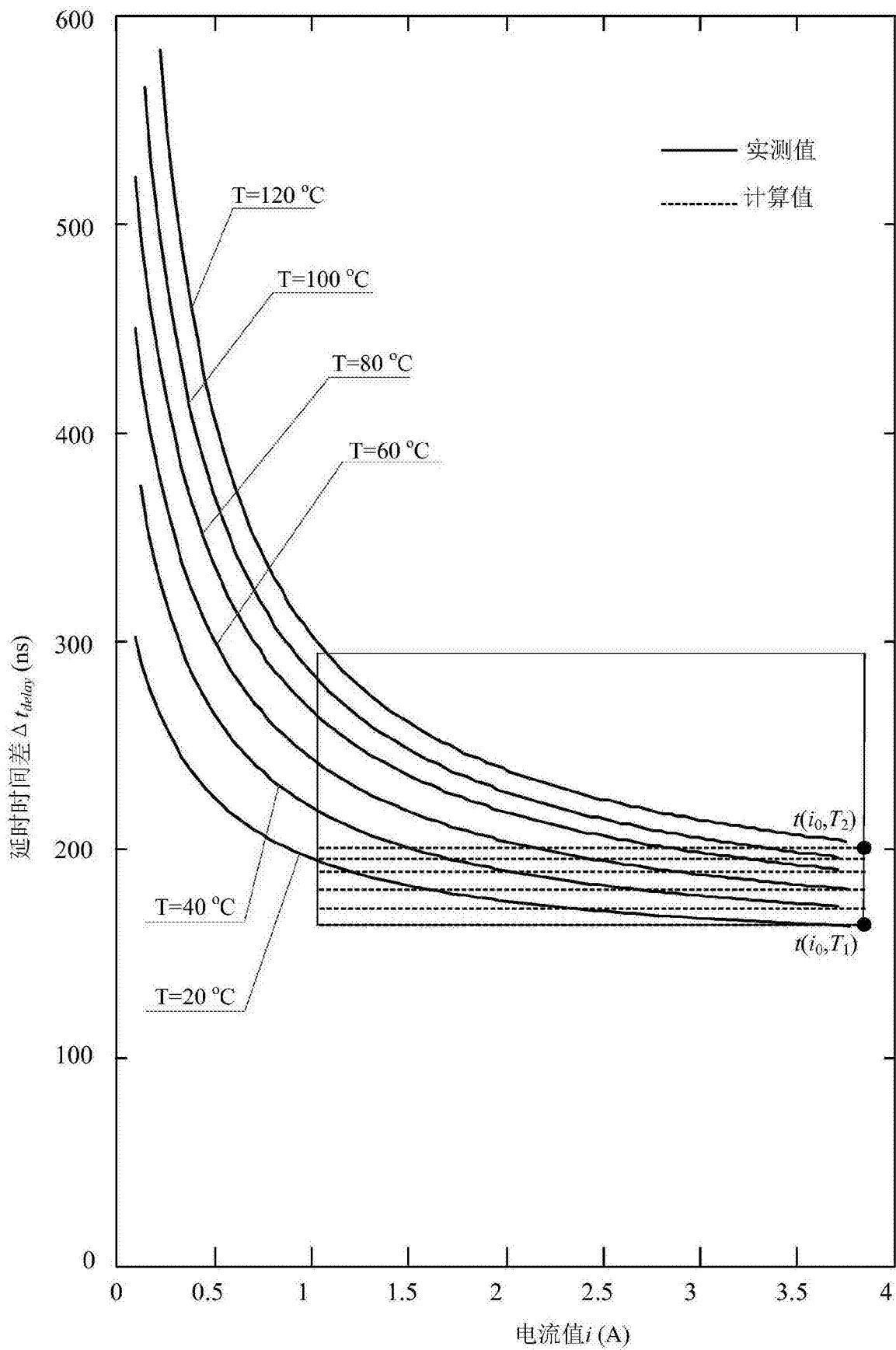


图6