

本文全文线上首发由
上海电器科学研究所
(集团) 有限公司
支持

刘占军.
一种改进定子磁链观测的三相感应
电机控制系统.
电机与控制应用, 2021, 48(10): 41.




数据监测
多维数据采集, 全面运行分析
全景可视窗口, 丰富报表类型


预测运维
海量行业数据, 精准趋势预测
生命周期管理, 性能尽在掌握


故障诊断
专业机理模型, 自动故障告警
在线智能诊断, 高效便捷派单


绿色节能
环保绿色先行, 助力低碳生产
节能降耗减排, 合理降本增效


聚汇商机
供需多方互联, 协同合作共赢
有效整合资源, 共享生态未来

SEARI
上电科

上海电器科学研究所(集团)有限公司
上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司

云平台技术支持: 18918675776
固定电话: 021- 52669993

业务垂询: 18801608667
地址: 上海市普陀区武宁路505号9号楼



微信扫码关注
关注我们

一种改进定子磁链观测的三相感应电机控制系统

刘占军

(上海儒竞智控技术有限公司, 上海 200438)

摘要: 定子磁链大多采用反电动势积分而得, 反电动势的初值和偏置会导致积分结果存在严重偏差。通过分析三相感应电机定子电压、反电动势、定子磁链的幅值和相位关系, 提出了一种新的定子磁链计算方法, 该方法原理简单, 易于实现, 计算量小。通过仿真验证了该方法的可行性与有效性。

关键词: 感应电机; 定子磁链; 无速度传感器; 电压模型

中图分类号: TM 301.2 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2021)10-0041-04

doi: 10.12177/emca.2021.100

Modified Stator-Flux Observer for Three-Phase Induction Motor Control System

LIU Zhanjun

(Shanghai Ruking Intelligent Control Technologies Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

Abstract: Mostly stator flux linkage is obtained by integration of back electromotive force (back-EMF). The initial value and DC bias of the back-EMF can make the integral result deviation seriously. The amplitude and phase relationships of stator voltage, back-EMF and stator flux linkage in three-phase induction motor are analyzed, and a new method is proposed for the calculation of stator flux. This method is simple in theory, easy to be implemented and has small amount of calculation. The MATLAB simulation prove the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Key words: induction motor; stator flux; speed sensorless; voltage model

0 引言

磁链计算是感应电机控制的重要环节, 磁链计算不准确会导致控制电压出现偏差, 并导致感应电机转矩、转速、电流的控制出现问题, 严重情况下会导致系统失控。电压模型是定子磁链计算的一种基本方法, 其对电机参数依赖性较小, 且原理简单, 运算量小。采用纯积分器计算磁链, 直流偏移会导致积分环节出现饱和; 积分运算结果随输入正弦信号的初值不同而不同, 会使得结果出现偏差。

为了解决上述问题, 出现了采用低通滤波器代替理想积分器的方法, 但是低通滤波器会导致幅值和相位误差问题, 需要对运算结果进行幅值

和相位补偿。文献[1-2]提出将磁链参考值的低通滤波信号用以补偿低通滤波环节引入的相位滞后, 并发展为自适应反馈的积分器可以较好地解决纯积分环节造成的结果偏差。文献[3]提出电流和电压的混合模型以解决上述问题。文献[4]提出了采用观测器以解决磁链观测问题。文献[5]在低通滤波器后增加了幅值和相位补偿环节, 提高了全速度范围下低通滤波器的准确性。文献[6-8]在文献[5]基础上提出改进, 调换低通滤波器与补偿环节的顺序, 提高了算法在转速突变时的稳定性。上述各种改进方案存在原理计算复杂、计算时间长和时间开销大的问题。

本文结合感应电机的数学模型对磁链观测进行改进, 基于理想磁链为反电动势的微分、磁链与

收稿日期: 2021-05-25; 收到修改稿日期: 2021-09-07

作者简介: 刘占军(1975—), 男, 助理工程师, 研究方向为电力电子与电力传动。

反电动势正交、磁链转速与反电动势转速一致思想直接计算定子磁链,经过仿真验证,该方法能够计算出理想磁链,且动态性较好。

1 定子磁链估算模型

1.1 传统估算方法及问题

三相感应电机基于电压模型的定子磁链反电动势积分表达式如下:

$$\Psi_s = \int (u_s - R_s i_s) dt \quad (1)$$

式中: Ψ_s 、 u_s 、 R_s 、 i_s 分别为定子磁链、定子电压、定子电阻和定子电流。

该方法仅与电机定子电阻参数 R_s 相关,对电机参数的依赖性较小,鲁棒性好。式(1)仅采用了积分运算,结构简单,运算量小,但是当输入信号存在直流偏置时,会不断累积造成结果误差,且计算结果与输入信号的相位不同,也会造成磁链观测误差。

1.2 改进定子磁链计算方法

在正弦稳态情况下或定子磁链幅值变化较小时,式(1)可进一步推导:

$$u_s - R_s i_s = E_s = p \Psi_s \approx j \omega_e \Psi_s \quad (2)$$

式中: E_s 为定子反电动势; p 为微分算子; ω_e 为定子磁链角速度。

将式(2)进一步进行推导得到式(3):

$$\Psi_s = \frac{u_s - R_s i_s}{j \omega_e} = \frac{E_s}{j \omega_e} = \frac{|E_s|}{\omega_e} e^{j(\theta_{E_s} - \pi/2)} \quad (3)$$

式中: $|E_s|$ 、 θ_{E_s} 分别为感应电机定子反电动势的幅值及其相角。

将式(3)的幅值和相角进行进一步分解得到式(4)和式(5):

$$|\Psi_s| = \frac{|E_s|}{\omega_e} \quad (4)$$

$$\theta_{\Psi_s} = \theta_{E_s} - \pi/2 \quad (5)$$

式中: $|\Psi_s|$ 、 θ_{Ψ_s} 分别为感应电机定子磁链幅值及其相角。

从式(4)和式(5)可以看到,得到电机定子反电动势的幅值、电频率和相角就可以得到定子磁链的幅值和相角。

1.3 定子磁链计算实现方法

式(2)在静止两相坐标系下的表达方式如下:

$$u_\alpha - R_s i_\alpha = e_{s\alpha} \quad (6)$$

$$u_\beta - R_s i_\beta = e_{s\beta} \quad (7)$$

式中: $e_{s\alpha}$ 、 $e_{s\beta}$ 分别为感应电机定子反电动势在 $\alpha\beta$ 坐标系下瞬时值。

通过对反电动势 $e_{s\alpha}$ 和 $e_{s\beta}$ 进行锁相环(PLL)处理可以获得定子反电动势的角频率和角度。

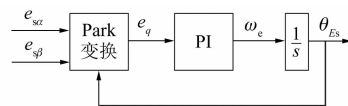


图1 PLL原理图

其中 PLL 的计算式如下:

$$\begin{bmatrix} e_d \\ e_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{E_s}) & \sin(\theta_{E_s}) \\ -\sin(\theta_{E_s}) & \cos(\theta_{E_s}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{s\alpha} \\ e_{s\beta} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: e_d 、 e_q 为两相旋转 dq 轴坐标系下的反电动势。

当 $e_q = 0$ 时,图1中的 ω_e 将实时跟踪定子电角频率, θ_{E_s} 将实时跟踪定子反电动势的相角。

定子反电动势模 $|E_s|$ 计算式为

$$|E_s| = \sqrt{e_{s\alpha}^2 + e_{s\beta}^2} \quad (9)$$

通过图1 PLL得到定子反电动势的角频率和角度,结合式(9),应用式(4)和式(5)可以解算出感应电机的定子磁链。

1.4 改进磁链计算方法仿真

为了评价改进磁链计算方法的有效性,在理想情况下对传统方法与改进方法的计算结果进行了仿真对比。

图2对比了输入信号存在偏置时,2种算法的计算结果。其中反电动势的幅值为100 V,频率为20 Hz, $e_{s\alpha}$ 和 $e_{s\beta}$ 的偏置值均为5 V。从仿真结果上可以看到,当反电动势存在直流偏置,采用

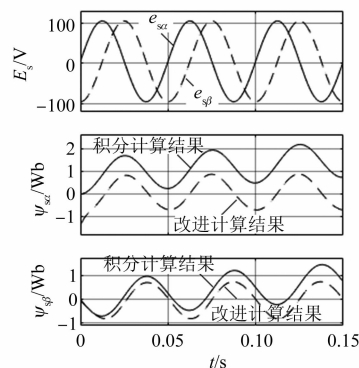


图2 输入存在直流偏置计算结果对比

传统积分方法,其磁链计算结果误差逐渐变大,而本文中提到的改进计算方法不会对直流偏置产生累积,输入直流偏置对结果影响较小。

图 3 对比了不同输入信号相位时,2 种算法的计算结果。其中反电动势的幅值为 100 V,频率为 20 Hz, $e_{s\alpha}$ 和 $e_{s\beta}$ 的初始相位分别为 0° 和 -90° 。 β 轴磁链计算图形中 2 条曲线初始不重合

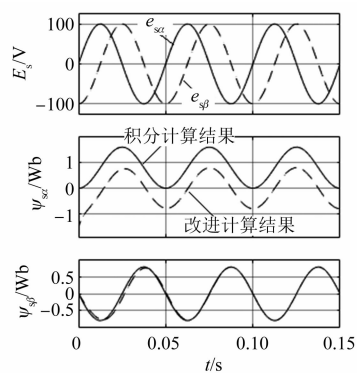


图 3 输入不同相位计算结果对比

的部分为 PLL 自动调节过程,当调节过程完毕,2 条曲线重合。由此可以看到改进磁链算法不受反电动势相位的影响,可以较好地计算出反电动势数据。

2 系统仿真实验

为了验证新方法的有效性,建立了电机驱动系统的仿真模型,其原理框图如图 4 所示。其中转子磁链、 i_q 电路和转速计算方法在文献[3]和文献[9]中均有详细介绍,此处不再赘述。

图 4 中 ω_r^* 和 ω_r 分别为转速给定和转速反馈; ψ_{ref} 和 $|\psi_r|$ 分别为转子磁链给定和转子磁链模反馈值; i_q 和 θ_{ψ_r} 为转子磁链定向 q 轴电流反馈和转子磁场位置; $|\psi_s|$ 和 θ_{ψ_s} 分别为定子磁场模和定子磁场角度; u_d 和 u_q 分别为旋转 dq 轴坐标系下的输出电压; u_α 和 u_β 分别为静止 $\alpha\beta$ 轴坐标系下的输出电压。

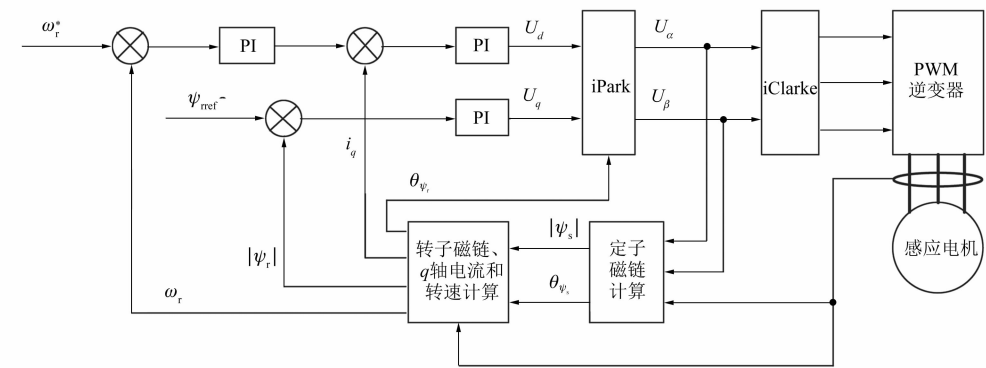


图 4 改进磁链观测系统仿真框图

仿真时, PWM 逆变器的载波频率为 6 500 Hz,控制和磁链控制计算频率也均为 6 500 Hz,仿真三相感应电机参数为 MATLAB 内调用的默认参数,如表 1 所示。

图 5 是基于改进定子磁链观测的无传感器矢量控制转速突变时的仿真结果,在 5.1 s 时,将转速由 10 r/s 提升为 20 r/s。

图 6 是基于改进定子磁链观测的无传感器矢量控制在负载转矩突变时的仿真结果,从上到下的波形依次为,定子磁链幅值误差、定子磁链角度误差、给定/实际转速、负载转矩和 dq 坐标系下电流。在 $t = 10$ s 时,将负载转矩由 $1.5 \text{ N}\cdot\text{m}$ 提升

表1 仿真感应电动机参数

参数名称	参数值
额定功率/kW	1.845
额定电压有效值/V	400
额定频率/Hz	50
极对数	1
定子漏感/mH	0.3
转子漏感/mH	5.0
定子电阻/ Ω	0.5
定转子互感/mH	30
转子电阻/ Ω	07

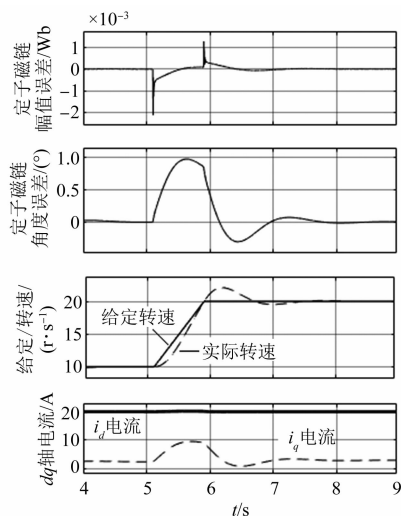


图5 改进磁链观测系统转速突变仿真图

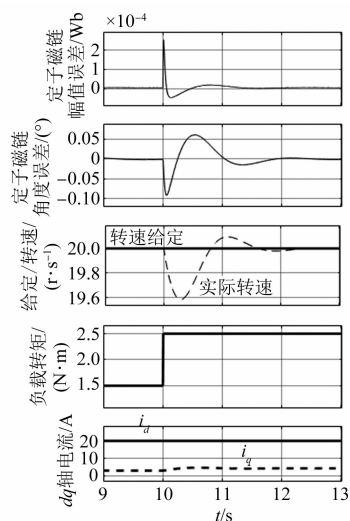


图6 改进磁链观测系统负载突变仿真图

为 $2.5 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。从图6中可以看到该算法具有较好的动静态性能,定子磁链幅值误差、相角误差、速度稳定误差和波动均非常小。

3 结 语

在交流感应电机磁链计算工程中,传统磁链电压模型计算方法由于积分,磁链数据计算结果存在饱和与偏置。为了解决上述问题,本文提出了一种新的磁链计算方法,通过对电机定子反电动势直接进行锁相得到定子磁链的转速和角度,并结合根据定子反电动势的模直接计算电机定子磁链的幅值和角度,该方法结构简单,计算量小,非常适合于电机驱动的工程应用。

【参考文献】

- [1] 朝泽云. 无速度传感器矢量控制系统的若干问题研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [2] HU J, WU B. New integration algorithms for estimating motor flux over a wide speed range[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1998, 13(5): 969.
- [3] Texas Instruments Incorporated. Digital Motor Control Software Library V13. 1 [R]. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2013.
- [4] 王斯然. 异步电动机高性能变频器若干关键技术的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [5] 沈艳霞, 刘永钦. 基于改进型模型参考自适应的PMSM参数辨识[J]. 电气传动, 2009, 39(5): 47.
- [6] 施铃丽, 谢源, 何志明. 基于改进低通滤波的无传感器永磁同步电机矢量控制技术研究[J]. 电机与控制应用, 2018, 45(12): 31.
- [7] 卢亨宇, 刘彦呈, 郭昊昊, 等. 基于零漂修正和偏置补偿的定子磁链观测算法[J]. 微特电机, 2017, 45(12): 49.
- [8] 郭鸿浩, 李文, 吕鹏程, 等. 死区效应对定子磁链观测的影响与抑制研究[J]. 微特电机, 2019, 47(7): 56.
- [9] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2012: 233-263.

扫码关注
《电机与控制应用》
微信公众号

