

三相异步电机矢量控制系统的仿真

Simulation of Vector Vontrol System of Three Phase Asynchronous Motor

李娅芸, 张开如, 孙其东, 顾华利 (山东科技大学 电气与自动化工程学院, 山东 青岛 266590)

Li Ya-yun, Zhang Kai-ru, Sun Qi-dong, Gu Hua-li (College of Electrical and Automation Engineering, Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590)

摘要: 根据按转子磁链定向的异步电机矢量控制系统的原理, 采用模块化思想, 运用 MATLAB 里的电力电子仿真工具, 建立仿真模型, 仿真结果表明该矢量控制系统可以使转子磁链不受转矩变化的影响, 实现了转子磁链解耦控制, 验证了该矢量控制算法的可行性。

关键词: 异步电机; 矢量控制; 转子磁链定向; MATLAB

中图分类号: TM343

文献标识码: A

文章编号: 1003-0107(2016)06-0020-04

Abstract: According to the principle of rotor flux oriented vector control system of induction motor, with using of the modular thinking and MATLAB power electronic simulation tools, we build the simulation model. The simulation results show that the vector control system can make the rotor flux is not affected by torque changes, realize the control of rotor flux decoupled, and verify the feasibility of the vector control algorithm.

Key words: asynchronous motor; vector control; flux orientation; MATLAB

CLC number: TM343

Document code: A

Article ID: 1003-0107(2016)06-0020-04

0 引言

异步电动机因其结构简单、可靠性高、价格低廉等优点得到了广泛的应用。早期的电压恒定控制和频率恒定控制研究异步电机的控制特性都是在电机稳态时数学方程基础上开始的, 所以对电机动态时的控制特性的研究并不太全面。20 世纪德国学者提出了矢量控制理论, 异步电机的动态特性的研究有了很大的提高, 异步电机的矢量控制理论为交流传动的高性能控制奠定了理论基础^[1-3]。矢量控制是一种具有新颖性和实用性的先进的控制策略, 分为按转子磁链定向控制策略和按定子磁链定向的控制策略^[4]。本文以异步电机按转子磁链定向控制策略作为理论基础, 运用 Matlab/simulink 电力系统建模工具, 建立矢量控制仿真模型, 通过对异步电机的动态性能进行仿真研究, 验证了异步电机按转子磁链定向的矢量控制方法是切实有效的。

1 三相异步电机的数学模型

三相异步电机的数学模型是一个多变量系统^[5]。在

作者简介: 李娅芸(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动;

张开如(1957-), 男, 教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为电力电子与电力传动、电力系统及其自动化和检测技术与自动化装置;

孙其东(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统自动化;

顾华利(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统自动化。

研究异步电机的数学模型时, 假设: 1) 设三相绕组对称, 磁动势沿气隙周围按正弦规律分布, 忽略空间谐波; 2) 忽略磁路的饱和现象, 设定各绕组的自感和互感都是线性的; 3) 忽略铁芯损耗; 4) 不考虑温度和频率的改变对绕组的影响。

在此种假设下, 异步电机的转子可等效成三相绕线转子, 各参数可折算到定子侧。图 1 所示为三相异步电机的数学模型。

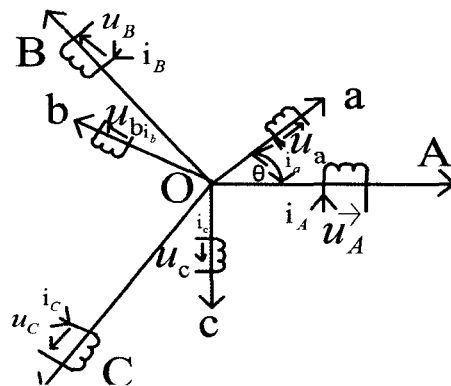


图 1 三相异步电动机数学模型

1.1 磁链方程

异步电动机六个绕组的磁链可表示为:

$$\begin{bmatrix} \Psi_A \\ \Psi_B \\ \Psi_C \\ \Psi_a \\ \Psi_b \\ \Psi_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AC} & L_{Aa} & L_{Ab} & L_{Ac} \\ L_{BA} & L_{BB} & L_{BC} & L_{Ba} & L_{Bb} & L_{Bc} \\ L_{CA} & L_{CB} & L_{CC} & L_{Ca} & L_{Cb} & L_{Cc} \\ L_{aA} & L_{aB} & L_{aC} & L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{bA} & L_{bB} & L_{bC} & L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{cA} & L_{cB} & L_{cC} & L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 $i_A, i_B, i_C, i_a, i_b, i_c$ 为定子相电流和转子相电流的瞬时值; $\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C, \Psi_a, \Psi_b, \Psi_c$ 为各相绕组的全磁链。

1.2 电压方程

三相定子绕组的电压平衡方程为:

$$\begin{aligned} u_A &= i_A R_s + \frac{d\Psi_A}{dt} \\ u_B &= i_B R_s + \frac{d\Psi_B}{dt} \\ u_C &= i_C R_s + \frac{d\Psi_C}{dt} \end{aligned} \quad (2)$$

将三相转子绕组折算到定子侧, 三相定子绕组的电压方程为:

$$\begin{aligned} u_a &= i_a R_r + \frac{d\Psi_a}{dt} \\ u_b &= i_b R_r + \frac{d\Psi_b}{dt} \\ u_c &= i_c R_r + \frac{d\Psi_c}{dt} \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $u_A, u_B, u_C, u_a, u_b, u_c$ 为定子相电压和转子相电压的瞬时值; R_s, R_r 为定子绕组电阻和转子的绕组电阻。

1.3 运动方程

异步电机的运动控制系统的运动方程式为:

$$\frac{J}{n_p} \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_L \quad (4)$$

式中 J 为机组的转动惯量; T_L 为包括摩擦阻转矩的负载转矩。

转角方程为:

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (5)$$

2 矢量控制原理

异步电机按转子磁链定向矢量控制的基本原理是通过坐标变换^[6], 在按转子磁链定向的同步旋转正交坐标系中, 将交流异步电机等效成直流电动机模型, 按照直流电动机的控制方式来控制电磁转矩与磁链, 最后再将这些控制量反变换到三相坐标系的对应量, 达到实施

控制的目的。本文采用按转子磁链定向矢量控制系统, 运用电流闭环控制方式, 给定电流调节器的输出为定子电压值分别为 u_{sm}^* 和 u_{st}^* , 经过反变换可以间接地得到静止两相坐标系的定子电压给定值 $u_{s\alpha}^*$ 和 $u_{s\beta}^*$ 。

3 坐标变换

从数学角度来看, 坐标变换就是将另一组新的变量等价代替原来的一组变量^[7]。坐标变换原理中, 三相静止 - 两相静止变换, 即在三相静止坐标系 abc 和两相静止坐标系 $\alpha\beta$ 之间的变换, 也称为 clarke 变换。静止两相 - 旋转两相变换, 即从两相静止坐标系 $\alpha\beta$ 到两相旋转坐标系 dq 的变换, 也称 park 变换。旋转两相 - 静止两相变换原理与 park 变换的原理相反, 称为 park 反变换。本文研究异步电机的矢量控制采用两相 - 两相变换。如图 2 所示静止两相正交坐标系和旋转两相正交坐标系中的磁动势矢量变化。

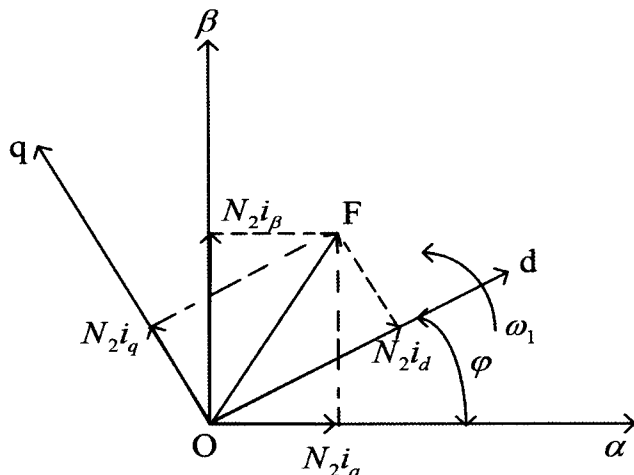


图 2 静止两相正交坐标系和旋转正交坐标系中的磁动势矢量

由图 2 可知, i_α, i_β 和 i_d, i_q 之间关系为:

$$i_d = i_\alpha \cos\varphi + i_\beta \sin\varphi \quad (6)$$

$$i_q = -i_\alpha \sin\varphi + i_\beta \cos\varphi \quad (7)$$

写成矩阵形式, 得:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = C_{2s/2r} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (8)$$

静止两相 - 旋转两相正交坐标系的变换阵可写为:

$$C_{2r/2s} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (9)$$

同理, 旋转两相 - 静止两相正交坐标系的变换阵可写为:

$$C_{2s/2r} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (10)$$

矩阵形式为:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi \\ \sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad (11)$$

4 矢量控制系统的建模

MATLAB 是一款功能很强大的软件。其中, Simulink 是 Matlab 里面比较重要的模块, 是 MATLAB 软件中的可视化仿真软件包, 它基于框图设计环境, 提供了一

个对动态系统实行建模、仿真以及分析的平台。基于 Matlab/Simulink 的仿真, 实际上是根据系统的数学模型进行的计算^[8]。根据异步电机矢量控制原理, 建立模块化的模型, 在 Matlab/Simulink 中搭建电机控制系统的仿真模块, 主要包括, 异步电机模块, 坐标变换模块, 各调节器模块, SVPWM 惯性环节等。系统的仿真模型如图 3 所示。

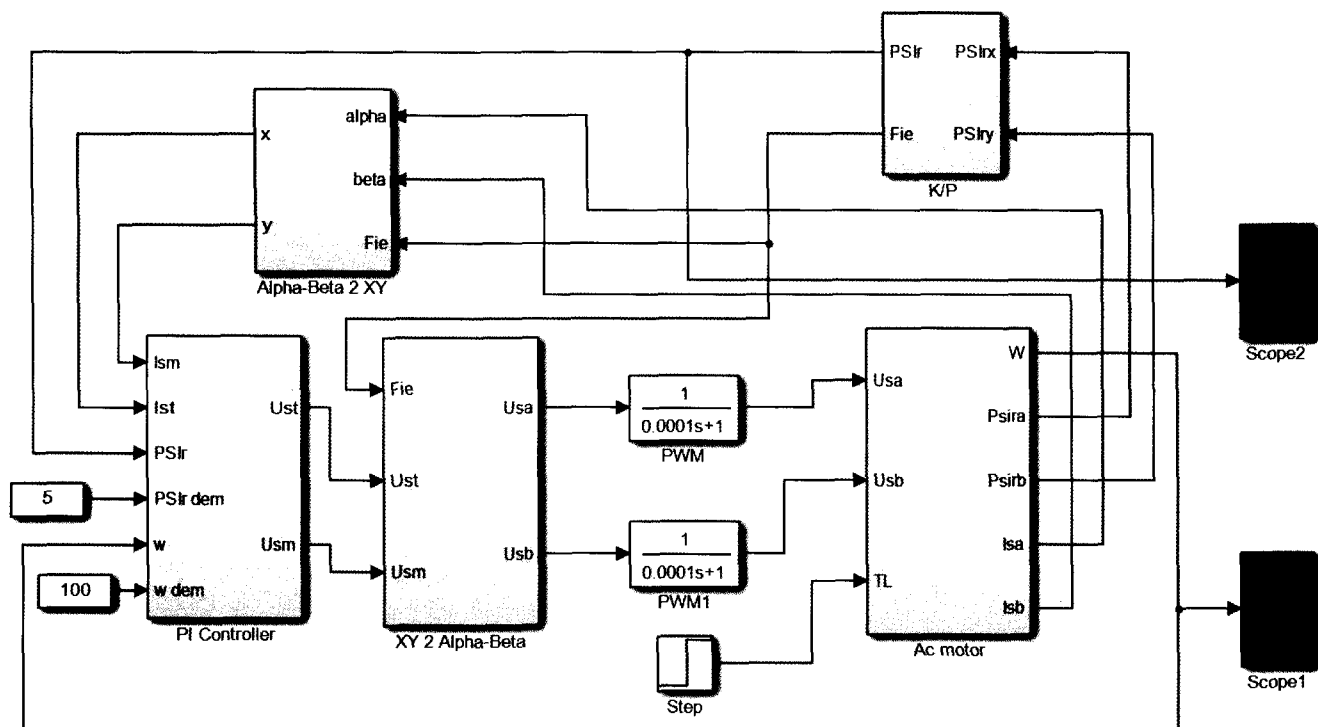
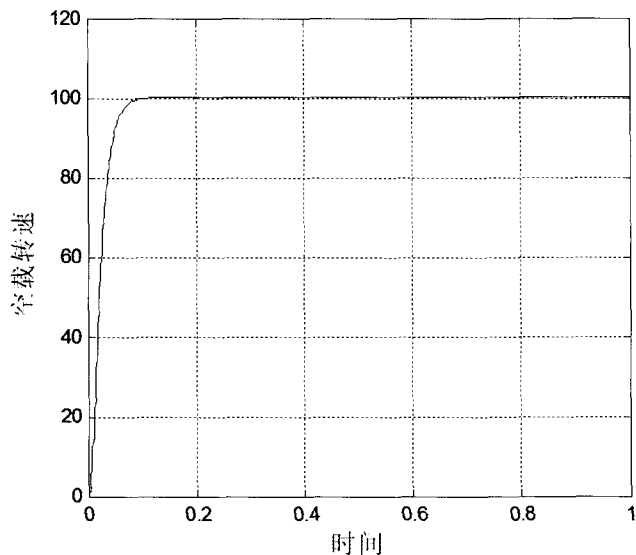


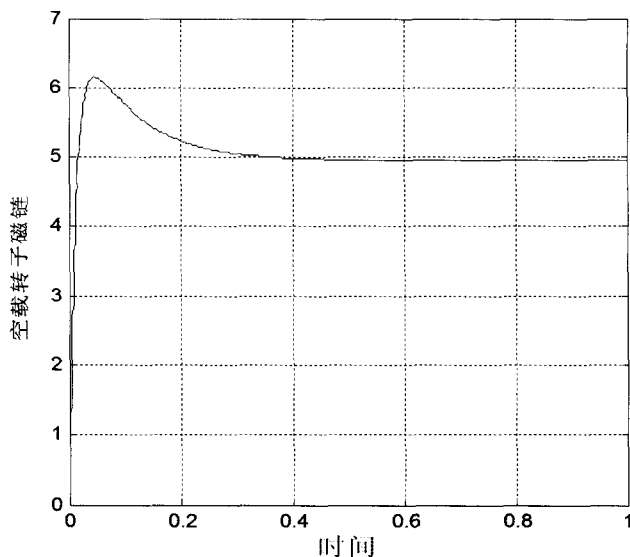
图 3 系统仿真模型

5 仿真结果分析

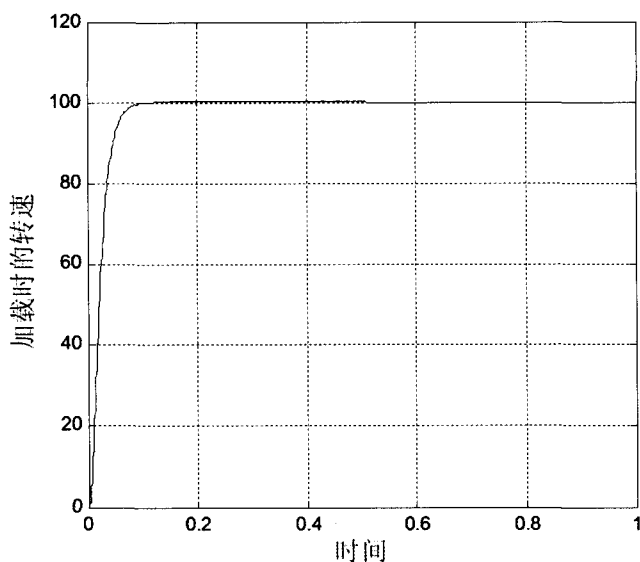
利用图 3 的仿真模型, 对三相异步电机按转子磁链定向矢量控制系统进行仿真研究, 仿真结果如图 4 所示。



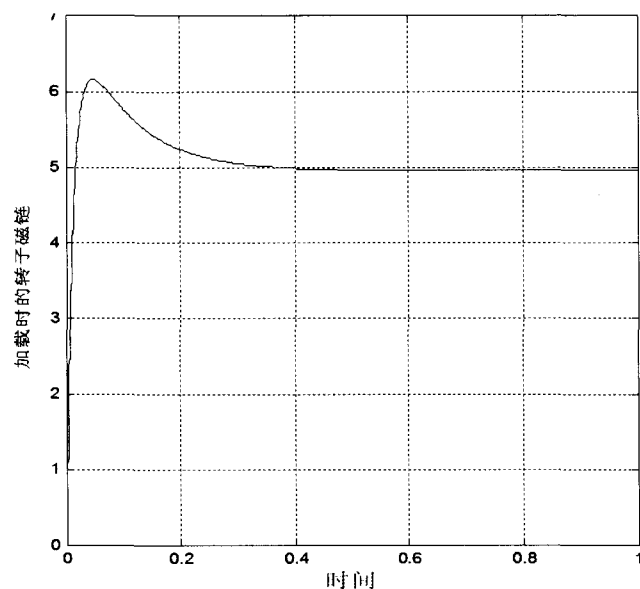
(a)空载启动时转速输出



(b)空载启动时转子磁链波形



(c) 加载时的转速波形



(d) 加载时的转子磁链波形

图 4 按转子磁链定向矢量控制系统仿真结果

仿真结果表明，电机的转速在启动后很快达到稳

定，转子磁链也随即建立。当 $t=0.5\text{s}$ 时，加负载，由图可见，转速在扰动后迅速恢复到稳定值，而转子磁链建立后，保持恒定，不受转矩变化的影响，实现了对转子磁链的解耦控制。

6 结语

本文根据矢量控制的基本原理，用 MATLAB 对异步电机按转子磁链定向的矢量控制系统进行仿真，实现了对转子磁链的解耦控制。仿真结果可知该系统，输出转速响应快，具有良好的动态性能，验证了异步电机按转子磁链定向矢量控制的有效性和可行性。

参考文献：

- [1] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] 贾瑞, 康锦萍. 基于 MATLAB/Simulink 的异步电机矢量控制系统仿真[J]. 华北电力技术, 2011, (9): 18-25.
- [3] 李文静, 熊光煜. 基于 MATLAB 的异步电动机矢量控制变频调速系统的仿真[J]. 电力学报, 2006, 21(2): 146-148, 153.
- [4] 孟庆春, 叶锦骄, 郭凤仪. 异步电动机直接转矩控制系统的改进方案[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(13): 118-122.
- [5] 王春生, 张学成, 王善忠, 等. 基于定子磁场定向的异步电机矢量控制仿真研究[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(5): 32-35.
- [6] 洪乃刚. 电力电子和电力拖动控制系统的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [7] 赵金, 万淑芸. 基于 TMS320F240 的直接转矩控制系统研究[J]. 电力电子技术, 2000, 34(5): 52-54.
- [8] 林飞, 杜欣. 电力电子应用技术的 MATLAB 仿真[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.