

Simulation Research of AC Speed Control System Based on MATLAB/SIMULINK

Sen Wang

GD Power Daduhe Zhentou Dam Power Generation Co., Ltd., Leshan, Sichuan, 614700, China

Abstract

Starting from the mathematical model of asynchronous motor, this paper introduces a simulation model of asynchronous motor based on MATLAB/ SIMULINK, which only needs to input different motor parameters when used. On this basis, a typical vector control system is designed, and then MATLAB/SIMULINK simulation software is used to simulate the control system.

Keywords

MATLAB/SIMULINK; asynchronous motor; vector control; simulation

基于 MATLAB/SIMULINK 交流调速系统的仿真研究

王森

国电大渡河枕头坝发电有限公司, 中国 · 四川 乐山 614700

摘要

从异步电动机的数学模型着手, 论文介绍一种基于 MATLAB/ SIMULINK 的异步电动机仿真模型, 使用时只需要输入不同的电动机参数即可。在此基础上设计一个典型的矢量控制系统, 然后利用 MATLAB/SIMULINK 仿真软件对该控制系统进行仿真研究。

关键词

MATLAB/SIMULINK; 异步电动机; 矢量控制; 仿真

1 引言

随着电力电子变流技术和交流电机控制理论的发展, 出现了许多新型变流装置和交流电机的调速控制方法。众所周知, 异步电动机是一个高阶、非线性、强耦合的多变量系统, 再加上在变流装置的非正弦供电条件下运行, 使经典的交流电机理论和传统的控制系统分析方法不能完全适用现代交流调速系统。采用计算机仿真的方法来分析研究交流电机及其调速是解决这类工程问题的一种有效工具。利用目前国际上最流行的仿真软件之一 MATLAB/ SIMULINK, 建立一个通用的仿真模型, 然后用到直接矢量控制系统中去, 对该系统进行仿真研究。

2 异步电动机的仿真模型

为了使仿真模型结果尽可能接近异步电动机的实际运行情况, 仿真模型应尽可能接近物理对象。由于异步电动机的

具有非线性、多变量、强耦合的性质, 其模型的建立是否接近实际的物理对象, 是整个系统仿真结果是否接近实际情况的关键。为此建立了基于静止两相坐标系的异步电动机的模型^[1]。根据交流电机理论, 列出鼠笼式异步电动机在静止两相坐标系的方程。

电机转子磁链与电流的关系:

$$\Psi_{\alpha-2} = L_{\alpha-2} i_{\alpha-2} + L_m i_{\alpha-1} \quad (1)$$

$$\Psi_{\beta-2} = L_{\beta-2} i_{\beta-2} + L_m i_{\beta-1} \quad (2)$$

由式 (1) (2) 可推出:

$$(+L\sigma) i_{\alpha-1} = U_{\alpha-1} + A \Psi_{\alpha-2} + B \omega \Psi_{\beta-2} \quad (3)$$

$$(R + pL\sigma) i_{\beta-1} = U_{\beta-1} + A \Psi_{\beta-2} - B \omega \Psi_{\alpha-2} \quad (4)$$

$$(\sigma, R-2, /, L-2+p) \Psi_{\alpha-2} = \dots, \dots, -\omega \Psi_{\beta-2} + L_m /, L-2, *, R-2. i_{\alpha-1} \quad (5)$$

$$(\sigma, R-2, /, L-2+p) \Psi_{\beta-2} = -\omega \Psi_{\alpha-2} + L_m /, L-2, *, R-2. i_{\beta-1} \quad (6)$$

电机的电磁转矩方程:

$$T_e = \frac{N-p}{2} \cdot \frac{L_{m1}}{L_{21}} (i_{\alpha 1} \Psi_{\alpha 2} - i_{\beta 1} \Psi_{\beta 2}) \quad (7)$$

运动方程为:

$$T_e - T_L = J \frac{d\omega}{dt} \quad (8)$$

式中, R_{-1} 、 R_{-2} 为定、转子电阻; L_{-1} 、 L_{-2} 为定、转子自感; L_{-m} 为定、转子间互感; ω 为电机转子的电气角速度; $u_{\alpha 1}$ 、 $u_{\beta 1}$ 为 α 、 β 轴定子电压; $u_{\alpha 2}$ 、 $u_{\beta 2}$ 为 α 、 β 轴转子电压; $i_{\alpha 1}$ 、 $i_{\beta 1}$ 为 α 、 β 轴定子电流; $i_{\alpha 2}$ 、 $i_{\beta 2}$ 为 α 、 β 轴转子电流; $\Psi_{\alpha 2}$ 、 $\Psi_{\beta 2}$ 为 α 、 β 轴转子磁链; T_e 为电磁转矩; T_L 为负载转矩; N_p 为电极对数; J 为机组的转动惯量; $R = R_{-1} + L_{-m}^2 / L_{-2}^2$; $L\sigma = L_{-1} - L_{-2} m^2 / L_{-2}$; $A = L_{-m} / L_{-2}^2 R$; $B = L_{-m} / L_{-2}$ 。由式 (3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8) 建立电动机的仿真模型。其中输入为 $u_{\alpha 1}$ 、 $u_{\beta 1}$, 负载为 T_L 。为实现电流滞环 SPWM 逆变器, 图中增加了静止二相坐标到静止三相坐标系的电流转换, 输出为电流 i_a 、 i_b 、 i_c , 电磁转矩 (T_e), 电机的转速 (ω), 通过 $n = 60 / (2 \pi N_p)$ 转化为 n 。

3 交流调速矢量控制系统

3.1 交流调速矢量控制系统的结构图

本系统结构的, 逆变器采用电流滞环型 PWM 逆变器。系统的给定量有参考转速 ω^* 和参考磁链 Ψ_2^* , 该系统采用磁链、转速闭环控制, 同时为了提高转速、磁链闭环控制解耦性能, 增加了一个转矩控制内环。这时, 磁链对转矩的影响相当于对转矩内环的一种扰动作用, 因而受到转矩内环的抑制, 从而改善了转速, 使它少受磁链变化的影响^[2]。在每个反馈环中, 采用 PI 调节器作为系统的调节器。总的控制思路是: ω^* 与电机反馈转速 ω 相比较后, 通过 PI 调节器, 输出转矩信号 T^* ; 再进一步与电机的反馈 T_e 相比较, 经由 PI 调节器, 输出电流在 M 、 T 坐标系下的电流分量 i^*_{t1} 。而 Ψ_2^* 与磁链观测器测得转子磁链幅值 Ψ_2 相比较, 通过一个 PI 调节器, 输出电流 i^*_{m1} 。由磁链观测器观测的转子磁链相位角, 经过坐标变换, 可以得到参考电流 i_a^* 、 i_b^* 、 i_c^* , 与电动机的反馈定子电流 i_a 、 i_b 、 i_c 相比较, 通过一电流滞环 SPWM 比较器, 输出电压送入异步电动机。

3.2 转子磁链观测器

转子磁链观测器的原理: 反馈回的定子电流经过三相 / 两相变换成坐标系 α 、 β 轴系上的两相电流 $i_{\alpha 1}$ 、 $i_{\beta 1}$, 再经过 M 、 T 坐标系变换成定子电路在 M 、 T 轴系的两相电流

i_{m1} 、 i_{t1} , 由以下式子可得到转子磁链 Ψ_2 : $i_{m1} = (T_2 p + 1) \psi_2 / R_2$ 。

由上式可得到: $\psi_2 = L_{m1} i_{m1} / (T_2 p + 1)$, 式中 $T_2 = L_r / R_2$ ——转子励磁时间常数。

又因为 $i_{t2} = -L_{m1} i_{m1} / L_r \omega s = -R_2 i_{t2} / \psi_2$ 。

所以 $\omega s = L_{m1} i_{m1} / T_2 \psi_2$ 而 $\omega = \omega_1 + \omega_s$ 。

转子磁链的相位角是定子角频率的积分, 即:

$$\phi = \int \omega dt$$

实践证明这种磁链观测器更适合微机实时仿真运算, 容易收敛, 也易于实现^[3]。

3.3 电流控制型 SPWM 逆变器仿真模型

假定电流滞环控制器逆变器由稳定的直流电源供电, 考虑逆变器所带来的滞后, 则由文献中可得知, 电流滞环控制 SPWM 逆变器的控制原理是, 当 $i_a - I_a > 1$, 输出为 1; 若 $i_a - I_a < -1$, 输出为 -1, 否则输出保持不变。同样对 $i_b - i_c$ 和 $i_c - i_c$ 都适用。功率放大环节为带有限幅的放大器, 正负限值为 300。

当 $C = 0.00001$ 以防止被除数 (ψ_2) 为 0 造成仿真停止。

3.4 控制器的调节器的取值

ASR、ACR 及 ATR 均采用 PI 调节器, 参数如下:

速度调节器 (ASR): $(k_{p1} + k_{11}/s)k_{p1} = 5$, $K_{11} = 15$, 正负限幅为 10V。

磁链调节器 ($A \psi R$): $(K_{p2} + K_{12}/s)K_{p2} = 5$, $K_{12} = 15$, 正负限幅为 10V。

转矩调节器 (ATR): $(K_{p3} + K_{13}/s)K_{p3} = 5$, $K_{13} = 10$ 。

3.5 交流调速矢量控制系统的 SIMULINK 仿真模型

在 MATLAB/SIMULINK 里, 把异步电动机、坐标系的转换、电流滞环 SPWM 逆变器封装成子系统。根据矢量控制系统的结构原理, 在 SIMULINK 连接起来^[4]。

4 仿真研究和结果

系统仿真采用 MATLAB 面向结构的 SIMULINK 仿真软件。选用的异步电动机仿真电机数为:

$p = 1.7 \text{ kW}$

$L_{\text{nom}} = 3.86 \text{ A}$

$T_{\text{cnom}} = 11.35 \text{ N} \cdot \text{m}$

$n_{\text{nom}} = 1430 \text{ r/min}$

$\cos \phi = 0.82$

$R_1=4.1\ \Omega$

$R_2=2.5\ \Omega$

$L_1=0.545\text{H}$

$L_2=0.553\text{H}$

$L_m=0.510\text{H}$

$N_p=2$

$J=0.02\text{kg}\cdot\text{m}^2$

仿真实验:

输入设定转速 320rad/s , 磁通输入为 0.95Wb , 3S 后额定负载 $T_L=11.35\text{N}\cdot\text{m}$, 经过 SIMULINK 仿真模型后得到相应的转速、磁通。

5 结语

(1) 从仿真结果表明: 该控制系统具有良好的静态性能和动态性能, 而且对负载具有快速的响应能力。

(2) 采用 MATLAB/SIMULINK 对异步电动机模型和矢

量控制系统进行仿真。各种接收模块便于灵活高效地对各种状态量进行观测和分析。模型有转速、磁通两个给定输入给定量, 如果用 SIMULINK 建立励磁函数发生器, 使磁通在电机基频以下保持恒定, 基频以上磁通与频率成反比的降低, 这时只需转速一个给定是就可以使异步电动机恒磁通或恒功率运行。可见模型为进一步研究变频调速系统提供基础模型。只要在仿真模型中改变参数就可以实现不同的调速系统。

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, 2009.
- [2] 黎英, 邵宗凯. 基于 MATLAB/SIMULINK 的异步电动机建模与仿真 [J]. 电气传动自动化, 1999(03):5-8.
- [3] 贾建强, 韩如成, 左龙. 基于 MATLAB/SIMULINK 的交流电机调速系统建模与仿真 [J]. 电机与控制学报, 2000(02):91-93.
- [4] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计——MATLAB 语言及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.