

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.03.013

基于 Matlab 和 LabVIEW 的永磁同步 电机控制系统设计*

杨 娜,袁庆庆*,宋 斌

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院,上海 200093)

摘要:针对永磁同步电机控制系统设计时,单独采用 Matlab 建模仿真方式多参数整定繁琐的问题,提出了一种基于 Matlab 与 LabVIEW 相结合的混合仿真方法。首先,理论分析了永磁同步电机在多坐标系中的数学模型,利用该数学模型在 Matlab/Simulink 环境中搭建了底层电机控制模型,并基于 LabVIEW 设计了电机系统测试界面。然后,利用仿真实接口工具包—SIT 使 Matlab 和 LabVIEW 保持同步通讯,在 LabVIEW 上层测试界面上对电机系统仿真参数进行整定。最后,为验证该混合仿真方法的可靠性,分别建立传统 Matlab 仿真模型与混合仿真模型,对电机进行了仿真实验。研究表明,该混合仿真模型与 Matlab 单独仿真模型的结果具有较高的吻合性,并符合理论计算结果。这种混合仿真方法在保证实验结果的正确性下,简化了永磁同步电机控制系统的参数整定;同时能从 LabVIEW 界面上直接查看仿真波形,进一步缩短了调试时间,提高了系统仿真效率。

关键词:永磁同步电机;参数整定;Matlab;LabVIEW

中图分类号:TH39;TM351

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)03-0278-05

Control system design for the permanent magnet synchronous motor based on the Matlab and LabVIEW

YANG Na, YUAN Qing-qing, SONG Bin

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology,
Shanghai 200093, China)

Abstract: Aiming at dealing with multi-parameters setting problem when simulate control system for permanent magnet synchronous motors (PMSM) on Matlab platform, this paper proposed a novel hybrid-simulation method, which based on Matlab and LabVIEW platforms. First of all, theoretical analysis of mathematic model on multi-dimension system was provided, with which simulation prototype was built on Matlab/Simulink and testing interface was designed on LabVIEW. After that, SIT kit was used to keep synchronous communication between Matlab and LabVIEW, and parameters could be adjusted to control the prototype on LabVIEW. Moreover, simulation prototypes both based on Matlab and hybrid-simulation method were built to verify the reliability of this method. The results indicate that hybrid-simulation method coincide with Matlab simulation method, and also meet the calculation result. Furthermore, this hybrid-simulation method owns merits like reliable simulation results, simplify parameters setting, real-time waveform available on LabVIEW, shorter simulation period and higher simulation efficiency.

Key words: permanent magnet synchronous motor; parameters setting; Matlab; LabVIEW

0 引 言

永磁同步电机具有体积小、效率高、功率因数高、

起动力矩大、温升低等特点,被广泛应用于各个领域,如:电动汽车、轨道交通、电梯等领域。在推行节能减排的背景下,其应用前景显得尤为广阔^[1-2]。

收稿日期:2016-10-19

基金项目:安徽省高节能电机及控制技术国家地方联合工程实验室基金资助项目(KFKT201509)

作者简介:杨 娜(1992-),女,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事电力电子与电机方面的研究。E-mail: yn_usst12@126.com

通信联系人:袁庆庆,女,讲师,硕士生导师。E-mail:510902442@qq.com

目前,永磁同步电机的控制设计仿真主要运用的是 Matlab。在模型搭建中,需要进行复杂的数据计算及分析,较为复杂的矩阵运算和图形处理,Matlab 本身具备完备的工具,成为电机控制设计中非常重要的辅助工具。但仅采用 Matlab 进行控制仿真,也有很多不足之处^[3],多个参数整定会极其繁琐,需要打开多个模块进行参数值的调试,然后运行去观察示波器波形,这样降低了仿真效率。

本研究将提出一种新的仿真设计方式进行永磁同步电机的控制系统设计。笔者通过理论分析永磁同步电机的数学模型,分别设计基于 Matlab 底层电机控制模型和基于 LabVIEW 上层测试界面,并利用仿真接口工具包—SIT 实现 Matlab 和 LabVIEW 同步通讯。

1 永磁同步电机的数学模型

数学模型是模块中复杂逻辑运算的展现,是 Matlab 仿真的理论支持。永磁同步电机在不同的坐标系中数学模型也是不同的,下面是在不同坐标系下永磁同步电机的数学模型^[4]。

1.1 在三相静止坐标系下的数学模型

定子磁链方程为:

$$\begin{bmatrix} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{AA}(\theta) & L_{AB}(\theta) & L_{AC}(\theta) \\ L_{BA}(\theta) & L_{BB}(\theta) & L_{BC}(\theta) \\ L_{CA}(\theta) & L_{CB}(\theta) & L_{CC}(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \quad (1)$$

定子电压方程为:

$$\begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + L_3 \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} + wL'_3 \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} - w\psi_f \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin(\theta - 2\pi/3) \\ \sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \quad (2)$$

电磁转矩方程为:

$$T_e = n_p \left\{ \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}^* L' \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} - \psi_f \begin{bmatrix} \sin(\theta) \\ \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} \right\} \quad (3)$$

式中: *—矩阵的转置; L_{AA}, L_{BB}, L_{CC} —三相绕组的自感; L_{AB}, L_{BC}, L_{AC} —三相绕组的互感; L_3 —三相坐标系下的电感矩阵; L'_3 — L_3 对 θ 的导数; ψ_f —转子永磁体的磁链; n_p —电机的极对数; θ —转子电角度; R_s —电枢绕组电阻。

1.2 在两相旋转坐标系下的数学模型

两相静止坐标系 $\alpha\beta 0$ 下的磁链方程、电压方程、电磁转矩方程作 Park 变换,可得两相旋转坐标系 $dq 0$ 下的磁链方程、电压方程、电磁转矩方程。

定子磁链方程:

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_d & 0 \\ 0 & L_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \psi_f \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

定子电压方程:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_d & L_q \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_d & L_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -wi_q \\ wi_d \end{bmatrix} \quad (5)$$

电磁转矩方程:

$$T_e = \frac{3}{2} n_p (\psi_d i_q - \psi_q i_d) = \frac{3}{2} n_p [\psi_f i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \quad (6)$$

电机转子的机械运动方程:

$$J \frac{dw}{dt} = n_p (T_e - T_L - B \frac{w}{n_p}) \quad (7)$$

式中: L_d, L_q — d, q 线圈的自感; T_L —负载转矩; J —转子转动惯量; B —阻尼系数。

2 基于 Matlab 底层模型的搭建

本研究采用矢量控制 $i_d = 0$ 的控制方法进行 Matlab 仿真模型建设^[5-6]。其中永磁同步电机 PMSM 本体是利用了电机的电压方程、磁链方程、转矩方程、运动方程搭建出的仿真模型,根据 dq 坐标系的电压与负载转矩求解出电机的三相电流、转速、转矩等。

本系统采用的是空间矢量脉冲宽度调制 (space vector PWM, SVPWM) 技术^[7]。该控制系统是双闭环控制系统,包括两部分:电流内环、转速外环。首先,将给定转速 speed_ref 与实测转速 ω_r 相比较,通过速度 PI 控制器得到给定的 i_q 。其次,给定值 $i_d = 0$ 和给定的 i_q 分别与实际电流分量 i_d 和 i_q 构成两个闭环控制,分别输出电压 u_d, u_q 再讲 $d-q$ 坐标系变换为两相静止 $\alpha\beta$ 坐标系,得到 U_{α} 和 U_{β} 。最后,采用 SVPWM 控制技术来产生 PWM 信号,来实现电机定子磁链的圆形运动轨迹。

其中 SVPWM 控制技术,它因具有宜于数字控制器的实现、输出电流波形好、直流环节电压利用率高等优点,现在不仅在交流电动机的控制,而且在三相电力

系统等领域中也得到了广泛的应用^[8]。

Matlab 电机控制模型如图 1 所示。

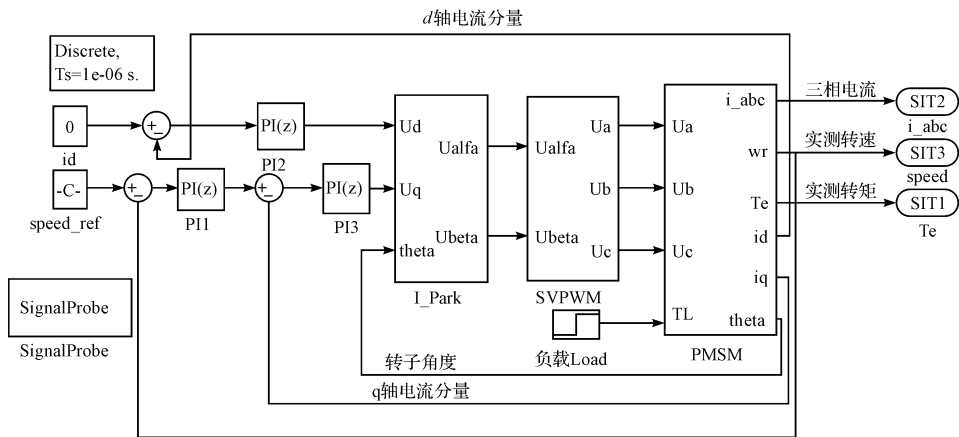


图 1 Matlab 电机控制模型

本研究选用的是两电平电压型逆变器,它输出的基本电压矢量图如图 2 所示。

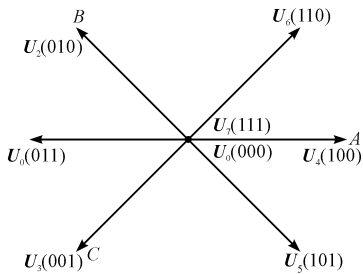


图 2 基本电压矢量图

若用 S_A 、 S_B 、 S_C 分别表示开关管 V_1 、 V_3 、 V_5 的开关状态(1 表示导通,0 表示关断),那么 V_2 、 V_4 、 V_6 的状态则和 S_A 、 S_B 、 S_C 相反。故逆变器共有 8 个电压矢量,分别为 $U_0(000)$ 、 $U_1(001)$ 、 $U_2(010)$ 、 $U_3(011)$ 、 $U_4(100)$ 、 $U_5(101)$ 、 $U_6(110)$ 和 $U_7(111)$ 。

3 LabVIEW 上层测试界面设计

界面的 3 大设计原则:第一,用户易操作控制;第二,让用户尽可能的减少记忆量;第三,保持界面的一致性。设计一个好的人机界面,应该把软件自身的优点全面展现出来,让用户应用起来简单易行。本研究根据这三大原则,进行设计了 LabVIEW 上层测试界面。

启动 LabVIEW 后,创建一个新文件,并进入 LabVIEW 的工作界面。对应底层仿真模型的设计,从工具菜单中选择 3 个示波器,分别用来观察三相电流、转速、转矩的系统输出响应曲线图。选中多个输入框分别作为 i_d 给定值、参考速度给定值、负载 load 以及 3 个 PI 控制参数的输入选择和显示。在前面板上的 modle 运行的控制按钮,用来控制模型的起始和停止。

最后本研究利用 LabVIEW 界面修饰工具对各输入和显示控件进行规划,使界面显得更加友好。

4 LabVIEW 与 Matlab 同步通讯

通过仿真接口工具包—SIT, LabVIEW 可调用 Matlab。当正确安装完成 SIT 后,打开 Matlab,默认情况下,在命令窗口上会显示以下消息:

```
> Starting the SIT Server on Port 6011
> SIT Server started
```

在新建的 LabVIEW 文件中将仿真中用到的输入、显示控件规划完成后,打开 SIT 连接管理器,选择 Model and Host 选项卡,在该选项卡中,可以指定 SIT 服务器的运行位置以及搭建的 Matlab 底层仿真模型文件的路径。然后打开 Mappings 选项卡,定义设计好的用户界面输入、显示控件与底层模型的参数一一对应。这样就实现了 LabVIEW 上层测试界面和 Matlab 底层模型的同步通讯,通过用户界面就可控制底层仿真模型的运行。

LabVIEW 上层测试界面如图 3 所示。

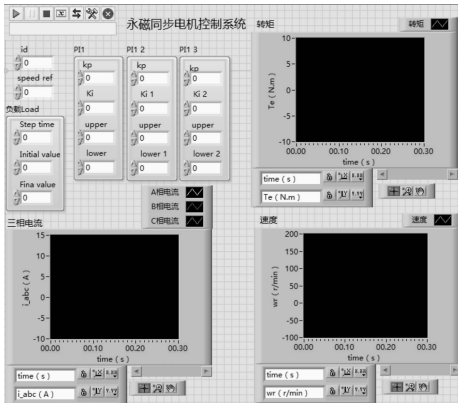


图 3 LabVIEW 上层测试界面

各组件协同工作流程图如图 4 所示^[9]。

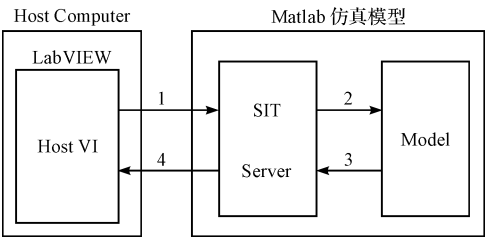


图 4 各组件的协同工作流程图

其中,Host Computer 是指运行 Host VI 的计算机;Host VI 是使用 LabVIEW 编写的程序,主要有两部分组成:前面板和程序框图;SIT Server 是一个使用协议负责 Host VI 和 Model 之间的数据传输的服务器。

5 仿真结果

当给定转速 $n = 100 \text{ r/min}$,在 0.1 s 时,负载转矩由 0 变为 5 时各仿真测试波形如图 5 所示。

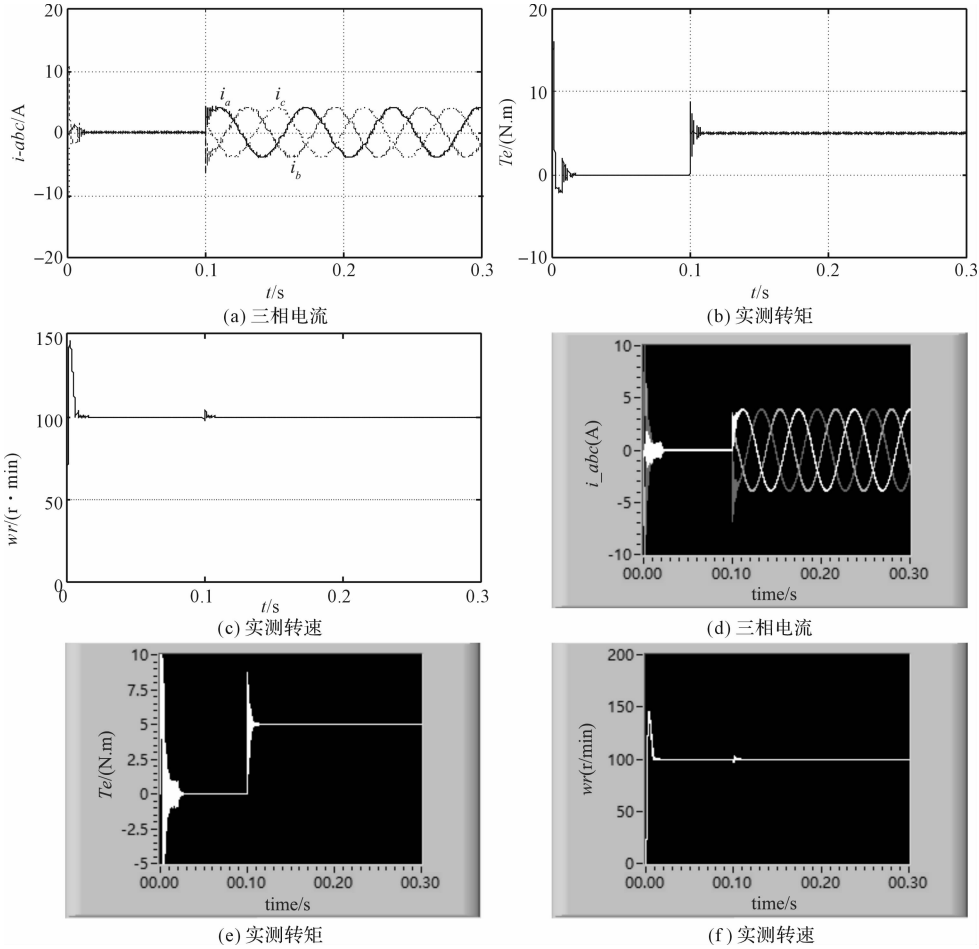


图 5 三相电流、转矩和转速波形图

Matlab 单独仿真时的三相电流波形图、转矩波形图和转速波形图分别如图 5(a~c)所示。由仿真图形可以看出:电流波形在刚开始启动时会有很大的变化,但会在很短时间内稳定在给定值,在 0.1 s 时,在给定 $5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 负载条件下能达到相位相差 120° 的三相对称电流,而此时电机的转速和转矩虽有一些小的波动,但

会很快响应并稳定在给定值。采用混合仿真模型时的三相电流波形图、转矩波形图和转速波形图分别如图 5(d~f)所示。对比上述图形可知,混合仿真模型与 Matlab 单独仿真模型的结果吻合性较高。

(下转第 303 页)

本文引用格式:

杨娜,袁庆庆,宋斌. 基于 Matlab 和 LabVIEW 的永磁同步电机控制系统设计[J]. 机电工程,2017,34(3):281-278,303.

YANG Na, YUAN Qing-qing, SONG Bin. Control system design for the permanent magnet synchronous motor based on the Matlab and LabVIEW[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017,34(3):278-281,303.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>