

文章编号 :1009 - 038X(2001)01 - 0092 - 03

# MATLAB 在电力电子学仿真中的应用

沈艳霞, 周平, 纪志成

(无锡轻工大学信息与控制工程学院, 江苏无锡 214036)

**摘要:** MATLAB 软件是当今控制系统的设计与仿真中重要的工具软件. 作者将其用于电力电子学中, 对各整流电路进行了仿真, 并设计出了一个友好的图形用户界面. 该软件仿真方便, 结果直观、准确.

**关键词:** MATLAB; 电力电子; 整流; 图形用户界面

中图分类号: TP 15

文献标识码: A

## The Application of Matlab in the Simulation of Power Electronics

SHEN Yan-xia, ZHOU Ping, JI Zhi-cheng

(School of Information and Control Engineering, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036, China)

**Abstract:** The software MATLAB is an important tool in the design and simulation of control system. In this paper, Matlab is used in power electronics to simulate all kinds of rectification circuits. A friendly graphic user interface is developed to manage all the simulating waves. The simulation is convenient to be carried out, and also the wave can be simulated directly and correctly.

**Key words:** MATLAB; power electronics; rectification; graphic user interface

电力电子学就是应用在电力技术领域中的电子学,它是电气工程三大主要领域(电力、电子和控制)之间的边缘学科,主要包括整流、逆变、斩波、交流调压、周波变流等技术.然而在工业应用中,由于开关器件的频率等原因,导致谐波的产生,严重影响了系统的效率,电力系统中的谐波成为电力公害之一.因此提高开关器件的频率,降低谐波和转矩脉动成为电力电子变流技术发展的基本要求.为实现这一基本要求,在设计前需要对整流、逆变等波形及其谐波进行必要的分析.对此, MATLAB 软件提供了有利的工具.

MATLAB 是一种用于科学工程的高级语言,也

是当今控制系统设计与仿真中重要的工具软件.很多控制界的名家在他们擅长的领域里编写了一些具有特殊意义的 MATLAB 工具箱,如 MATLAB 提供的仿真工具箱 SIMULINK 就是一个功能十分强大的仿真软件,可以根据用户的需要方便地为系统建立模型,并且十分直观,它的仿真精度很高,仿真结果准确.另外 MATLAB 还提供了丰富的图形界面设计方法,用户可以方便地设计出自己希望的图形用户界面 GUI.作者利用 SIMULINK 对电力电子学中的各种整流波形进行了仿真,同时设计了一个 GUI,实现对各种波形的统一管理和谐波分析的功能.

收稿日期 2000 - 05 - 22, 修订日期 2000 - 12 - 02.

基金项目 高等学校骨干教师资助计划课题.

作者简介 沈艳霞(1973 - ),女,山东淄博人,工学硕士,助教.

### 1 晶闸管的仿真模型

晶闸管是一种大功率的电力半导体器件,具有可控性,它是整流控制技术的核心元器件.因此,在应用 SIMULINK 软件对整流电路进行仿真之前,首先应该建立晶闸管的仿真模型.

以晶闸管的阳极电压为正弦波电压为例进行分析,若晶闸管的阳极电压为正,且门极电压亦为正时,晶闸管的输出为正弦波电压(忽略管压降),否则,其输出为零,即晶闸管关断.由此输入输出关系,可用 SIMULINK 中的 Switch 模块和脉冲发生器的组合来等效晶闸管.其仿真模型如图 1 所示.

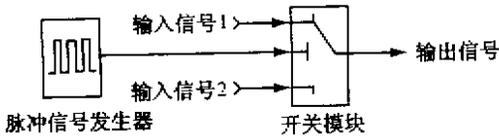


图 1 晶闸管的仿真模型

Fig.1 Simulation model of thyristor

Switch 模块有两个输入信号和一个控制信号,通过控制信号正负选择可以控制 Switch 模块的输出状态.若控制信号大于或等于零,输出信号等于输入信号 1,否则,输出信号等于输入信号 2.因此用脉冲发生器的输出作为控制信号,通过控制脉冲的宽度及起始时间即可控制 Switch 模块的输出,相当于控制晶闸管的通断,从而达到控制要求.

将此模型封装为 KP 模块,这一模块可以作为晶闸管的简化仿真模型,就其特性可以进行更加深入的研究,在以后的仿真中可以直接应用此模块来表示晶闸管.

### 2 仿真举例

以三相半波可控整流为例说明利用 SIMULINK 对整流电路的仿真.根据控制原理,可建立其仿真模型如图 2 所示.

“三相半波整流电路”模块是根据整流电路的原理图设计的子模块,可通过设置其对话框参数:controlling angle(可控角)与 resistance angle(逆变角)实现对电路的控制及其在电阻、电感性负载之间转换.

### 3 波形的谐波仿真

整流电路的脉动直流电压都是周期性的非正弦函数,它可以利用傅里叶级数的形式分解成各次正

弦函数.一般负载电路是线性的,可应用叠加原理.

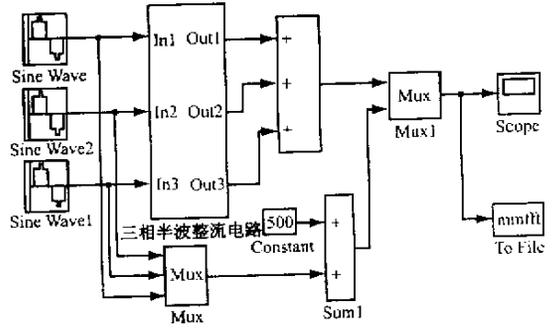


图 2 三相半波可控整流电路仿真模型

Fig.2 Simulation model of three-phase half-wave controlled rectifier

MATLAB 中实现的快速傅里叶变换,即:

$$F(k) = \text{FFT}\{f(n)\}$$
$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j2\pi nk/N}$$
$$k = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$$

FFT(快速傅里叶变换)算法在数字信号处理中扮演着重要的角色,广泛应用于离散卷积、频谱相应计算和幂谱估计中.

因为 MATLAB 中不允许零下标,所以移动一个下标值.

$$f(n) = \sum_{k=1}^N f(n) e^{-2j\pi(n-1)(k-1)/N}$$
$$k = 1, 2, 3, 4, \dots, N$$

MATLAB 提供了 fft, ifft, fft2, ifft2 和 fftshift 等函数,以使用户完成许多信号处理任务.其中函数 fft(x)可实现对向量 x 的 FFT 计算.如果 x 是一个矩阵,fft(x)则是每一列向量的 FFT.函数 fft(x, n)是 n 点 FFT 计算.如果 x 的长度小于 n,则 x 将用零扩充成长度为 n 的向量;如果 x 的长度大于 n,则 x 将截断为 n 点的向量,再作 FFT 计算.如果 x 是一个矩阵,则该矩阵的每一列按上述法则调整.仿真波形的 FFT 分析利用 MATLAB 函数编程来实现.

### 4 GUI 的设计及波形分析

作者设计了一个友好的图形用户界面,可以由 SIMULINK 仿真的框图、波形图以及 FFT 分析波形图

软件设计流程图、仿真波形、FFT 波形如图 3 ~ 5 所示.

三相半波可控整流电路的波形  $u_d$  函数表达式按谐波分析可表示为:

$$u_d = U_d + \sum_{n=3k}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

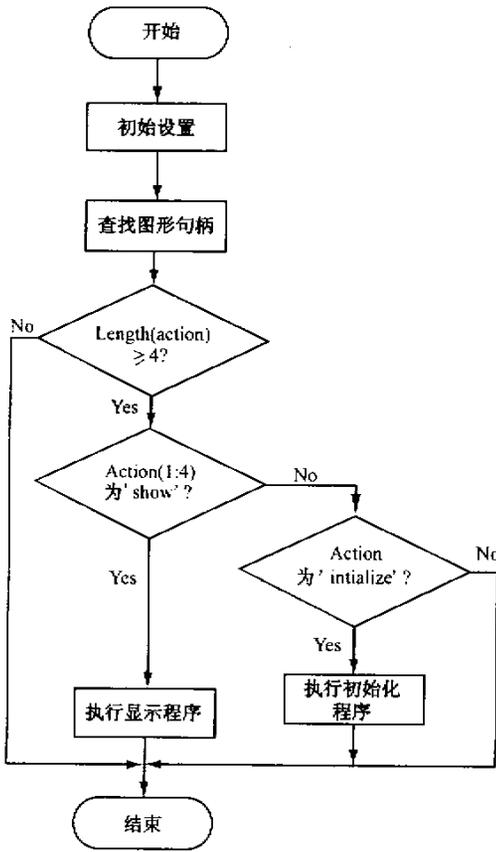


图 3 软件流程图  
Fig.3 Flowchart

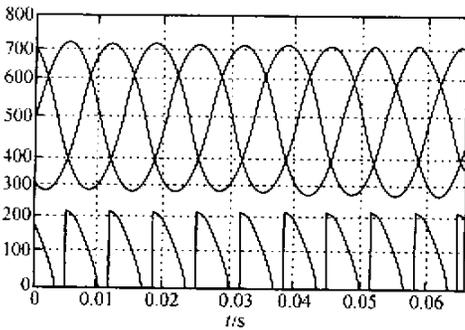


图 4 三相半波整流仿真波形图

Fig.4 Wave of three-phase half-wave controlled rectifier

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

其中,  $U_d$  为整流电压的平均值, 其值为

$$U_d = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{2} U_2}{2\pi} \times \left[ 1 + \cos\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right]$$

应用展开成傅里叶级数形式的公式计算  $a_n, b_n$  为

$$a_n = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi} U_d \sin \omega t d(\omega t),$$

$$b_n = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi} U_d \cos \omega t d(\omega t)$$

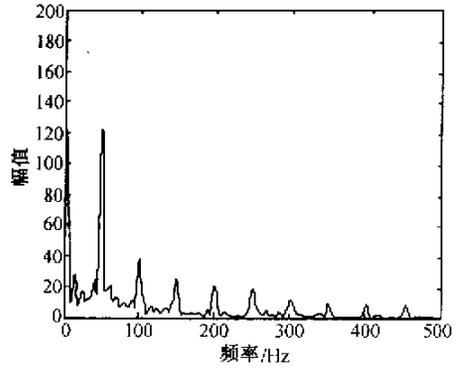


图 5 FFT 分析图

Fig.5 Analysis of FFT

进一步计算, 得

$$a_n = U_{d0} \cos k\pi \left[ \frac{\sin(3k+1)\alpha}{3k+1} - \frac{\sin(3k-1)\alpha}{3k-1} \right],$$

$$b_n = U_{d0} \cos k\pi \left[ \frac{\cos(3k+1)\alpha}{3k+1} - \frac{\cos(3k-1)\alpha}{3k-1} \right],$$

其中,  $U_{d0}$  是傅氏级数中的常数项, 其值为  $\alpha = 0$  时三相半波整流的平均电压:

$$U_{d0} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\pi} \sqrt{2} U_2 \cos \omega t d(\omega t) = \frac{3\sqrt{2}\sqrt{3}}{2\pi} U_2$$

令  $U_2 = 220, \alpha = \frac{\pi}{3}$  可计算  $a_n, b_n, A_n$ , 见表 1.

表 1 三相半波整流电压的各次谐波参数表

Tab.1 Harmonic parameters for voltage of three-phase half-wave rectifier

参数	参数值	参数	参数值
$a_1$	80.52	$a_6$	13.266
$b_1$	80.52	$b_6$	20.284
$A_1$	113.872	$A_6$	24.244
$a_2$	40.898	$a_7$	11.308
$b_2$	51.282	$b_7$	17.622
$A_2$	65.582	$A_7$	29.944
$a_3$	27.038	$a_8$	9.878
$b_3$	37.202	$b_8$	15.554
$A_3$	46.002	$A_8$	18.436
$a_4$	20.108	$a_9$	8.756
$b_4$	29.128	$b_9$	13.926
$A_4$	35.398	$A_9$	16.456
$a_5$	15.994	$a_{10}$	12.298
$b_5$	23.936	$b_{10}$	$1.5266 \times 10^{-14}$
$A_5$	28.776	$A_{10}$	12.298

(下转第 101 页)

比较其支流分量  $U_d$ 、谐波  $A_1$  和高次谐波  $A_2$ ,  $A_3$ , ……等等,可以看出两者稍有误差,但 FFT 分析的波形图基本上反映了其谐波的分布状况。

## 5 结 语

电力电子变流技术的理论计算比较繁琐且很

难得到准确的计算结果,作者利用仿真环境 SIMULINK 进行仿真,波形准确、直观;同时,对波形进行的傅立叶分析也很方便,对电力电子线路及谐波分析与抑制提供了有利的工具。利用 MATLAB 的 GUI 开发工具,设计的图形用户界面美观而又易于控制,能较好地管理仿真及其谐波分析的成果。

## 参考文献:

- [1] 黄俊,王兆安编. 电力电子变流技术[M]. 北京:机械工业出版社,1993.
- [2] 陈怀深. 控制系统 CAD 及 MATLAB 语言[M]. 北京:电子工业出版社,1993.
- [3] 薛定宇著. 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,1996.
- [4] DUANE Hanselman, BRUCE Littfield. 精通 MATLAB——综合辅导与指南[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.