

基于 S-Function 的 PWM 控制系统仿真

郝继飞,邢青青,张琳

(中国矿业大学 信电学院,江苏 徐州 221008)

摘要: 脉宽调制(PWM)控制方法用于过程控制领域时,由于通过三角波构造 PWM 控制器不够准确,且三角波参数设置较为复杂,因此提出了利用 S 函数描述 PWM 控制算法,通过 M 文件编写的 S 函数完全是算法的再现,且生成的 S 函数模块如 Simulink 标准模块。结合 Matlab 中的 Simulink 工具箱对 PWM 控制系统进行建模,并针对一个一阶系统进行仿真。通过比较说明,用 S 函数实现的 PWM 控制器有着准确性高、建模简单等优点。

关键词: S-Function; PWM 控制; 仿真

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)01-0050-03

0 引言^[1]

脉宽调制技术 PWM(Pulse Width Modulation)控制方法用于过程控制领域,有其固有的优越性:

a. 实现的简单性,控制变量的取值一般只有 2 或 3 个(即 M 和 0 或 $+M$ 、 $-M$ 和 0),因此控制作用通过一个开关的操作就能实现,这样就不需要线性的执行器,减小了执行器的体积,大幅提高了系统的可靠性,也降低了系统的复杂性^[2-3];

b. 它对被控对象数学模型准确程度的依赖性很小,适用于纯滞后系统对象模型精确参数不易取得或参数易变的场合,对带滞后系统、常见非线性系统可能具有很好的控制性能;

c. PWM 技术实现了对大功率、低敏感性的大信号噪声的处理。

但其开关特性也带来了连续控制所没有的缺点,如执行机构动作频繁和输出带有纹波。由于 PWM 控制本身固有的特点,它们的适用性受到了很大的限制,因此在过程控制领域始终没有得到象在电力电子中那样成熟的应用和发展,即使在温控、液压等方面得到应用,对它的应用技术也还很不完善。

本文研究了将 PWM 技术应用在非线性、纯滞后这些特殊的场合,这种控制方法与连续系统、Smith 预估系统相比表现出的优越性和应用的范围^[4-5]。

1 PWM 控制系统

1.1 PWM 控制算法

PWM 控制系统框图如图 1 所示。



图 1 PWM 控制系统框图

Fig.1 The block diagram of PWM control system

PWM 控制器的输出 $u(t)$ 的表达式如下^[6]:

$$u(t) = m(e(t)) = \begin{cases} M \cdot \text{sgn}(e(kT)), & t \in [kT, kT + T_k] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

式中 M 为 PWM 波的幅值; T 为 PWM 的脉冲周期; T_k 为 PWM 波的占空比; $k=0, 1, 2, \dots$ 。

$$T_k = \begin{cases} \beta |e(kT)| & |e(kT)| \leq T/\beta \\ T & |e(kT)| > T/\beta \end{cases} \quad (2)$$

式中 β 为常数,且 $\beta > 0$ 。

$$\text{sgn}(\sigma) = \begin{cases} 1 & \sigma > 0 \\ 0 & \sigma = 0 \\ -1 & \sigma < 0 \end{cases} \quad (3)$$

图 2 为 PWM 波的波形。

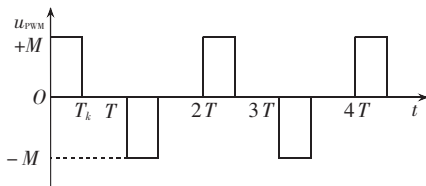


图 2 PWM 波的波形

Fig.2 The PWM waveform

1.2 用比较器构造的仿真模型

笔者曾在 PWM 控制方法研究中,通过 Simulink 实现 PWM 控制器,如图 3 所示,将误差 $e(t)$ 通过零阶保持器保持成 $e(kT)$ 后与一个三角波比较,进而得到 PWM 波的波形。这个三角波有 2 个参数:三角波的周期 T_0 与三角波的幅值 M_0 。很明显,三角波在模型中起到式(2)中 T/β 的作用,因此零阶保持器和三角波的周期必须相同,即是 PWM 控制器的采样周期 T 。

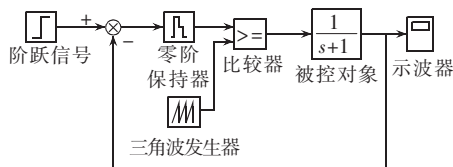


图 3 比较器构造的 PWM 控制系统

Fig.3 The PWM control system with comparator

但是,三角波并不能很准确地表达出 T/β 的作用,在 T_0 稍小时,生成的三角波甚至是不规则的,如图 4 所示。而且,假如三角波的幅值 M_0 选得不恰当,小于 $\min|e(kT)|$ 时,会造成 PWM 控制器始终输出为 1。因此,用这种方法构造的 PWM 控制器不准确。

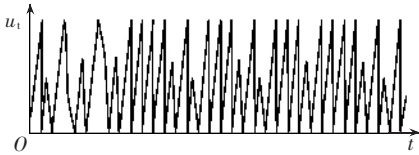


图 4 三角波
Fig.4 The triangular wave

1.3 用 M 文件描述的 S-Function

针对这种情况,本文介绍利用 Matlab 中的系统函数(System Function,简称 S-Function,S 函数)描述 PWM 算法的方法,再结合 Simulink 工具箱构造 PWM 控制系统的仿真模型。S 函数构造的 PWM 控制器结构简单、操作灵活,完全是 PWM 算法的再现。

S 函数是用户借以自建 Simulink 模块所必需的、具有特殊调用格式的函数文件。S 函数可以直接用 M 函数文件编制,也可以由 C、C++、Ada、Fortran 等源码文件经编译而生成的 MEX 文件构成。S 函数一旦被正确地嵌入位于 Simulink 标准模块库中的 S-Function 框架模块中,它就可以象其他 Simulink 标准模块一样,与 Simulink 的方程解算器 Solver 交互,实现其功能。这种生成的 S 函数模块可以被“重用”于各种场合;在每种场合,该 S 函数模块又可通过不同的参数设置,体现出不同的个性^[7-9]。

在 PWM 控制系统中,用一个 S-Function 实现 PWM 控制器,根据 PWM 波的数学表达式(1)~(3)编写 S 函数如下:

```
function[sys,x0,str,ts]=pwm(t,x,u,flag,T)
switch flag,
case 0,
    [sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes(T);
case 3,
    sys=mdlOutputs(t,x,u,T);
case 4,
    sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u,T);
case{1,2,9},
    sys=[];
otherwise
    error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
end
function[sys,x0,str,ts]=mdlInitializeSizes(T)
sizes=simsizes;
sizes.NumContStates =0;
sizes.NumDiscStates =0;
sizes.NumOutputs =1;
sizes.NumInputs =1;
sizes.DirFeedthrough=1;
sizes.NumSampleTimes=1; % at least one sample
time is needed
```

```
sys=simsizes(sizes);
x0=[];
str=[];
ts=[-2 0];
function sys=mdlOutputs(t,x,u,T)
if t-fix(t/T)*T==0
    sys=sign(u);
else
    sys=0;
end
function sys=mdlGetTimeOfNextVarHit(t,x,u,T)
if mod(t,T)==0&abs(u)>0
    H=abs(u)*T;disp('b');
else
    H=T-mod(t,T);disp('c');
end
disp([H,u,t]);
sys=t+H;
```

1.4 用 S-Function 构造的仿真模型

PWM 控制系统仿真模型如图 5 所示。

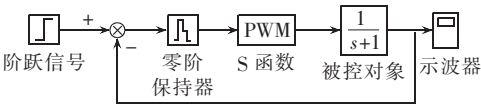


图 5 PWM 控制系统仿真模型

Fig.5 The simulation model of PWM control system

创建一个 S-Function 后,双击 S-Function 框架模块,在“S-function name”栏中填写函数名 pwm,在“S-function parameters”栏中填写函数 pwm 的第 4 个函数名 T。为了保证 PWM 控制系统模型的运行,应保证 pwm.m 在 Matlab 搜索路径上,还要对模型运行所需的参数 T 进行设置。如在 Matlab 指令窗中运行以下指令^[10]:

```
Clear
T=1;
```

在参数设定后,如图 3 所示启动仿真,可得系统输出波形如图 6、7 所示。

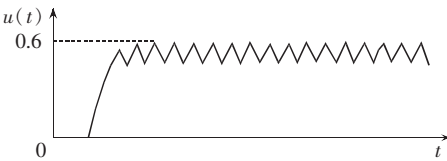


图 6 系统输出波形

Fig.6 The waveform of system output

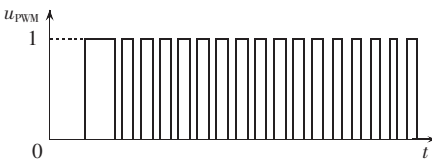


图 7 PWM 波的波形

Fig.7 The PWM waveform

2 结语

以上介绍了运用 S-Function 构造一个 PWM 控

制器,再结合 Simulink 工具箱进行 PWM 控制系统的仿真。用 M 文件编制 S 函数构造的控制器比较准确,笔者在 Windows 2000、Matlab 6.5 环境中用这种方法对非线性、纯滞后系统成功的进行了仿真,证明了这种方法的可行性和优越性。

参考文献:

- [1] 黄成玉,王成员. 基于 Matlab 的 PWM 控制系统仿真[J]. 防灾技术高等专科学校学报,2005,7(1):104-106.
HUANG Cheng-yu,WANG Cheng-yuan. The simulation of the PWM control system based on Matlab[J]. Journal of College of Disaster Prevention Techniques,2005,7(1):104-106.
- [2] YE H,MICHEL A N,HOU L. Stability theory for hybrid dynamical systems[J]. IEEE Trans Automatic Control,1998(43):461-474.
- [3] HAVA A M,KERKMAN R J,LIPO T A. A high-performance generalized discontinuous PWM algorithm[J]. Industry IEEE Transactions on Applications,1998(34):1059-1071.
- [4] 郝继飞,邢青青,张琳. PWM 用于控制非线性系统的研究[J]. 自动化与信息工程,2005,26(4):4-6.
HAO Ji-fei,XING Qing-qing,ZHANG Lin. On the application of PWM to the control of nonlinear system[J]. Automation & Information Engineering,2005,26(4):4-6.
- [5] 邢青青,郝继飞. 纯滞后对象 PWM 控制的 Matlab 仿真[J]. 组合机床与自动化加工技术,2005(6):72-74.
XING Qing-qing,HAO Ji-fei. PWM control of a system with time delay based on simulation of Matlab[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique,2005(6):72-74.
- [6] HOU Ling,MICHEL A N. Stability analysis of pulse-width-modulated feedback system[J]. Automatic,2001,37(9):4846-4851.
- [7] 董玮,秦亿. 用 C 语言和 Matlab 构造 PWM 控制仿真模型的一种方法[J]. 电气传动,2001(1):60-62.
DONG Wei,QIN Yi. A simulation method to PWM control with C and Matlab[J]. Electric Drive,2001(1):60-62.
- [8] 魏克新. Matlab 语言与自动控制系统设计[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [9] 黄文梅. 系统分析与仿真[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1999.
- [10] 张志涌. 精通 Matlab 6.5 版[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

郝继飞(1955-),男,吉林舒兰人,教授,从事控制理论与智能仪器研究(E-mail:jfhao@cumt.edu.cn);

邢青青(1983-),女,江苏射阳人,硕士研究生,从事控制理论与智能仪器方面的研究(E-mail:qingqing921559@163.com)。

Simulation of PWM control system based on S-Function

HAO Ji-fei,XING Qing-qing,ZHANG Lin

(China University of Mining and Technology,Xuzhou 221008,China)

Abstract: When PWM(Pulse-Width-Modulation) control is used in process control field,the PWM controller constructed with triangular wave is not very precise and the setting of triangular wave parameters is very complicated. S-Function is proposed to describe the control algorithm of PWM and its M file clearly represents the algorithm. The generated S-Function module is as the standard Simulink modules. With Simulink toolbox of Matlab,the PWM control system is modeled and a first-order lag process is simulated. Results show that the PWM controller of S-Function has higher accuracy while its modeling is simple.

Key words: S-Function; pulse-width-modulation control; simulation