

# 基于 SIMULINK 对非线性系统 饱和特性的仿真分析

杨国来, 郑海, 白桂香

(兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 以非线性系统的饱和环节为研究对象, 借助于 SIMULINK 非线性模块, 通过对三阶系统和四阶系统的仿真解析过程, 得出饱和特性对控制系统的影响规律, 实现了非线性控制的系统优化。

**关键词:** 非线性; 饱和特性; 仿真; 控制系统

**中图分类号:** TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0366(2011)04-0090-03

## Emulation of Saturation of Non-linear System Based on SIMULINK

YANG Guo-lai, ZHENG Hai, BAI Gui-xiang

(College of Energy and Power, Lanzhou University of Science and Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Taking the saturation of non-linear system as our target, and based on non-linear module of SIMULINK, we obtained the law that the characteristics of saturation could influence the control system and achieved the optimization of the nonlinear system.

**Key words:** non-linear; saturation; emulation; control system

在实际应用中, 几乎所有的控制系统都具有非线性的特点。由于非线性系统千差万别, 当前还没有一个统一而普遍适用的处理方法, 对非线性系统的分析和设计主要有 3 种方法: 相平面法、描述函数法和逆系统法<sup>[1]</sup>。通过分析发现, 描述函数法和相平面法都具有一定的缺点, 除本身就是一种近似解外, 当所要分析的高阶系统和非线性部分不具有奇对称时, 这两种方法不能分析研究二阶以上的系统<sup>[2]</sup>; 而逆系统法虽可利用数学工具进行处理, 但是其主要用于设计当中。MATLAB 软件包中的 SIMULINK 工具自身带有非线性模块, 可以克服上述 3 种方法的不足, 能够方便的对高级阶系统任何非线性系统进行分析研究<sup>[3-5]</sup>。下述主要针对非线性系统中的饱和特性利用 SIMULINK 非线性模块进行系统的仿

真和分析。

## 1 SIMULINK 非线性模块仿真

SIMULINK 是一个进行动态系统建模、仿真和综合分析的集成软件包。它可以处理多种形式的系统<sup>[6,7]</sup>: 线性、非线性系统; 离散、连续及混合系统; 单任务、多任务离散事件系统等。最突出的特点是实现了可视化建模, 有着丰富的模型库, 一般在控制系统的分析与设计中遇到的模块几乎都可以从模型库中找到。在 SIMULINK7.0 模块库中, 打开 Discontinuities 模块可以看到, 它包含了常用的控制系统中的非线性模块<sup>[8]</sup>。另外, 也可以根据需要, 进行新模块的创建和封装。在仿真进行的同时就可直接在界面显示仿真结果, 对模型和参数的修改也都很

收稿日期: 2011-05-18

基金项目: 甘肃省自然科学基金(1014RJZA023)

方便<sup>[9,10]</sup>.

## 2 控制系统中的饱和特性

典型的非线性环节主要有:死区特性、饱和特性、继电特性、间隙特性和摩擦特性,其等效增益结构形式如图 1 所示<sup>[11]</sup>.

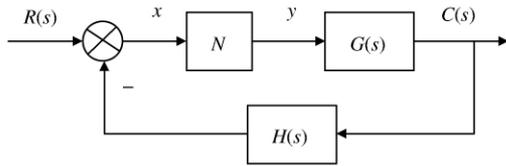


图 1 典型非线性系统等效增益

对线性部分的开环传递函数分别选为三阶单位反馈和四阶单位反馈,其表达式为

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s+a)(T_2s+b)(T_3s+c)}, \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{K_1}{(T_1s+a)(T_2s+b)(T_3s+c)(T_4s+d)}, \quad (2)$$

其中  $K, K_1$  为比例系数。

非线性系统中的饱和特性曲线如图 2 所示。由图 2 可知,当输入  $|x| \leq a$  时,输出  $y$  随输入  $x$  线性变化,等效增益为  $K$ ;当  $|x| > a$  时,输出量保持常值  $M$ ,此时,  $K$  为  $|x|$  的减函数,且随  $|x|$  趋于无穷而趋于 0,从而可得等增益曲线如图 3 所示。

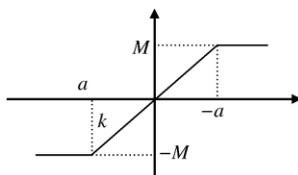


图 2 饱和特性

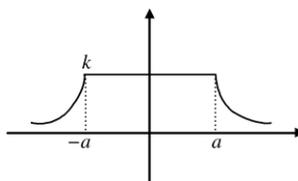


图 3 饱和等效增益曲线

从以上分析可得静态饱和特性的数学表达式<sup>[12]</sup>为

$$y = \begin{cases} M, & x > a \\ kx, & |x| \leq a \\ -M, & x < -a \end{cases} \quad (3)$$

其中  $a$  为宽度,  $k$  为线性区斜率。

根据图 2、图 3 和式 (3) 可知饱和特性的特点

是:输入信号超过一定范围后,输出不再随输入的变化而变化,而是保持在某一常数值  $M$  上;当输入信号较小,而工作在线性区时,可视为线性元件;当输入信号较大而工作在饱和区时,就必须作为非线性元件来处理。

## 3 仿真与分析

为了研究系统的稳定性和饱和所带来的影响,根据式(1),在 SIMULINK 下建立仿真框图如图 4 所示,按照图 4,给定单位阶跃信号,仿真结果如图 5 所示。

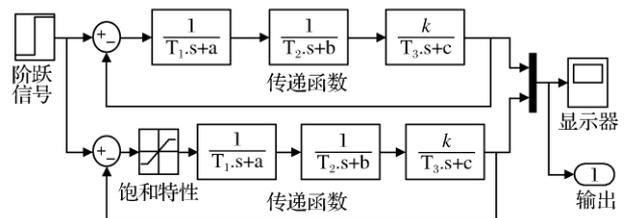


图 4 饱和特性仿真

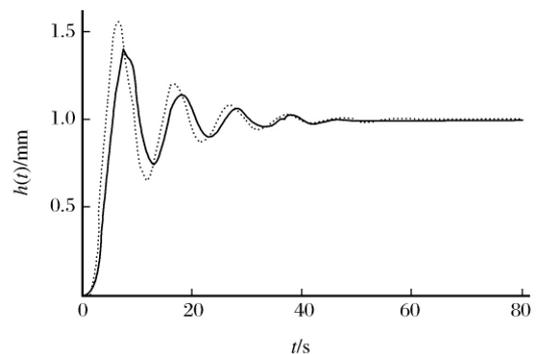


图 5 加入饱和后与原系统比较(三阶系统)

..... 原始系统    —— 加入饱和后系统

同理,按式(2)建立四阶系统仿真框图,给定单位阶跃信号,仿真结果如图 6 所示。

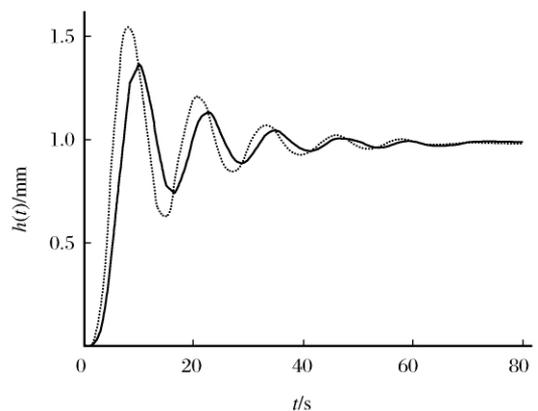


图 6 加入饱和后与原系统比较(四阶系统)

..... 原始系统    —— 加入饱和后系统

在四阶单位反馈系统下,将输入信号改为正弦信号后得到跟踪信号与输出信号图像对比,如图7所示.

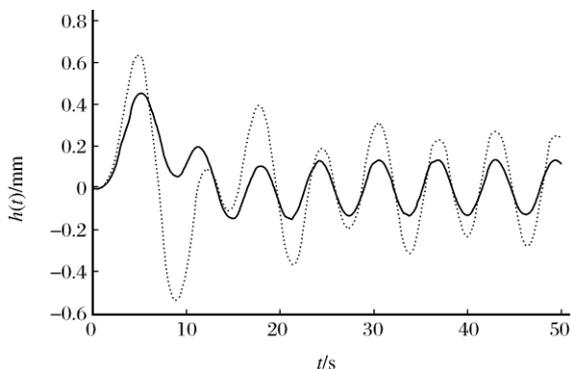


图7 正弦信号下系统比较(四阶系统)  
..... 原始系统 —— 加入饱和后系统

通过对图5和图6的仿真曲线分析可发现,加入饱和后系统的稳定性有所提高,超调量减小,调节时间有所增加,且上升时间比原系统有一定的滞后,即影响了系统的快速性.同时,对比图5、图6和图7,进一步发现,由于饱和特性的存在,在初始状态下,相位上存在较大的差距,系统的响应幅度受到限制,图像也产生了一定的畸变.

## 4 结论

基于以上仿真分析发现,在系统中加入饱和环节会对系统造成一定影响:

- (1) 饱和带给系统最直接的影响是造成延迟时间增加,但是降低了超调量;
- (2) 由于饱和的存在,能滤去再输入端做小幅震

荡的干扰作用,提高了系统的抗干扰能力和稳定性;

- (3) 饱和会造成系统输出量在时间上的滞后,快速性降低.

同时,基于以上特点,可对系统的控制信号进行限幅,以保证系统或元件工作在额定状态或安全情况下.另外,利用SIMULINK建立进行高阶系统仿真,不用编程、易于使用,对于研究分析高阶系统提供了一种实用方法.

### 参考文献:

- [1] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [2] 郁建中. 自动控制技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2008.
- [3] 白月飞,陈翔. 基于 Simulink 的液压半主动悬架模糊控制系统仿真[J]. 甘肃科学学报,2007,19(3):145-149.
- [4] 张辉,刘江,关广丰,等. 伺服比例阀非线性校正方法研究[J]. 机床与液压,2010,38(11):1-3.
- [5] 吕宏庆,苏毅,杨建勇,等. 电液伺服系统中的非线性及其影响分析[J]. 机床与液压,2002,30(1):116-118.
- [6] 薛定宇,陈阳泉. 基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [7] 黄忠霖. 控制系统 MATLAB 计算及仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [8] 张葛祥,李娜. MATLAB 仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [9] 李颖,朱伯立,张威. Simulink 动态系统建模与仿真基础[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [10] 何衍庆,姜捷,江艳君,等. 控制系统分析、设计和应用——MATLAB 语言的应用[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [11] 李洪人. 液压控制系统[M]. 北京:国防工业出版社,1981.
- [12] 肖英奎,尚涛,陈殿生. 伺服系统实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

### 作者简介:

杨国来(1963-),男,辽宁省沈阳人,兰州理工大学能源与动力工程学院教授,主要从事液压元件及自动控制方面的教学与科研工作.