

Matlab 数字仿真在自动控制原理 教学中的应用

周 兰, 周少武

(湖南科技大学 信息与电气工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:自动控制原理这门控制理论课程强调方法论,理论性强,如何帮助学生理解和掌握课程中的基本概念、原理和分析方法,并培养学生运用所学知识解决实际问题的能力,是当前课堂教学所要解决的重要问题。通过讨论 Matlab 数字仿真在系统时域分析、根轨迹分析中的应用,提出一种在课堂中引入虚拟实验的新型教学方法,增强教学内容的直观性,激发学生的学习兴趣,从而提高课堂教学质量和效率。

关键词: Matlab 数字仿真; 时域分析; 根轨迹法; 课堂教学

中图分类号: G642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674 - 5884 (2014) 06 - 0068 - 03

自动控制原理是自动化与电气信息类专业的一门重要的专业基础课程,在整个专业知识体系中有承上启下的作用,占据非常重要的地位。该课程内容涉及控制系统的模型建立、系统性能分析、系统设计等基本理论与方法,所讨论的基本问题是在工程实践的基础上提升和抽象出来的内容,具有理论性强、信息量大、概念抽象、数学推导多等特点,学生往往因为缺乏工程实践知识和对实际控制系统的感性认识,感到学习内容抽象,难以理解。通过将自动控制系统 Matlab 数字仿真应用于自动控制原理的多媒体课堂教学当中,在课堂教学中引入控制工程实例,可以增强课堂教学的直观性和生动性,帮助学生理解和掌握抽象的理论知识,从而提高教学效率。本文通过实例探讨 Matlab 仿真技术在时域分析、根轨迹分析和系统设计与校正等教学中的应用。

1 基于 Matlab/Simulink 的时域分析法

自动控制原理讲述了常规的 3 大系统分析方法,包括时域分析、根轨迹分析和频域分析,其中时域分析中的数学模型是微分方程,复数域分析中的数学模型是传递函数,频域分析中的数学模型是频率特性。在时域分析法中,闭环系统稳定性的判定是学习重点,线性系统稳定的充要条件是:特征方程的所有特征根均具有负实部^[1]。判定系统稳定性一般采用劳斯判据,对于高阶系统,计算

过程繁琐而且复杂,但是运用 Matlab 来判断稳定性不仅减少计算量,而且能够准确获得所有特征根^[2]。例如,已知线性系统闭环特征多项式

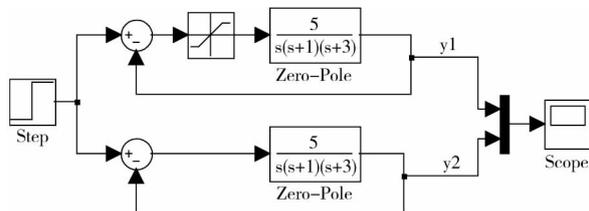


图 1 线性系统和含有饱和器的非线性系统仿真图

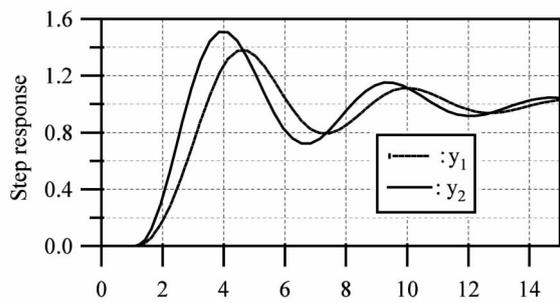


图 2 系统(图 1)的阶跃响应曲线

$$q(s) = 2s^4 + 3s^3 + 4s^2 + 5s + 6, \quad (1)$$

只需编写 Matlab 文本程序语言:

```
>> den = [2 3 4 5 6]; roots(den)
```

便可得到所有特征根

```
>> ans = 0.336 9 + 1.258 7i
        0.336 9 - 1.258 7i
        -1.086 9 + 0.765 3i
        -1.086 9 - 0.765 3i。
```

针对非线性系统,应用 Simulink 仿真一方面可以方便地判断系统的稳定性,另一方面可以分析非线性特性(饱和器、死区、继电器、间隙等)对系统稳定性的影响以及系统参数与稳态性能的关系。Matlab/Simulink

仿真分析的主要步骤为^[3]: (1) 建立控制系统方块图模型; (2) 设置仿真参数; (3) 动态仿真; (4) 对系统输出结果进行分析和比较。

例 1, 假设包含理想线性系统和包含饱和器的非线性系统阶跃响应仿真图如图 1 所示, 其中饱和器的上限为 0.5, 下限为 -0.5, 其中 y_1 为非线性系统的单位阶跃响应, y_2 为线性系统的单位阶跃响应。阶跃响应仿真结果如图 2 所示, 通过比较 y_1 和 y_2 , 可以让学生分析出非线性饱和器对系统稳定性和稳态跟踪性能的影响。同时, 改变前向通路线性环节的放大系数, 引导学生观察稳态误差的变化, 也可以直观地分析出前向通路放大系数对系统稳态性能的影响。同理, 应用 Simulink 仿真, 可以让学生学会分析死区、继电器、间隙等其他非线性特性对系统稳定性的影响。

对于离散系统, 应用 Simulink 仿真(框图如图 3 所示), 选取不同的采样周期和不同的放大系数 K , 通过观察仿真结果图, 直观地分析出采样周期以及放大系数 K 和系统稳定性的关系, 图 4 给出了放大系数分别为 $k = 5$ 和 $k = 10$ 的阶跃响应曲线, 学生通过比较曲线(a)和(b), 可以自己归纳系统动态性能的变化。

2 基于 Matlab 的根轨迹法

根轨迹法是分析和设计线性定常控制系统的图解方法, 在多回路系统分析时比其他方法更方便, 在工程实践中获得了广泛应用。学习根轨迹法的目的是利用根轨迹曲线定性分析系统性能, 定量计算系统稳定时的开环增益。应用常规的 8 条根轨迹绘制法则, 只能概略地绘制系统的根轨迹, 进行定量计算相当困难, 利用 Matlab 辅助教学, 可以准确绘制系统根轨迹曲线, 还可以定量求取系统性能指标。

例 2, 已知系统的开环传递函数为

$$G(s) = \frac{k}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}, \quad (2)$$

在 Matlab 命令窗口键入命令^[4]:

```
>> num = k; den = [a_0 a_1 a_2 a_3 ... a_n];
```

```
>> rlocus(num, den)
```

便可得到闭环系统的根轨迹仿真曲线, 用鼠标点击轨迹曲线可以迅速确定系统在某一开环增益下的闭环增益 K 的取值范围。在根轨迹绘制的课堂教学中, 可以应用 Matlab 数字仿真验证手工制图的正确性。考虑如何在保证系统稳定的前提下, 提高开环增益 K , 以减小系统稳态误差; 引入开环零点, 通过仿真分析说明开环零点除了可改善系统稳定性外, 还可以使系统的动态性能得到改善。例如, 图 5 (a) 是开环传递函数为 $G(s) = \frac{K}{s^3 + 2s^2 + 3s}$ 的闭环系统根轨迹曲线图, 增加一个开环零点 -1, 得到开环传递函数为 $G(s) = \frac{K(s+1)}{s^3 + 2s^2 + 3s}$ 的根轨迹曲线图(b)。显然, 系统的稳定性得到加强, 并且左半平面的闭环极点离虚轴距离也更远, 从而可以较大地改善系统的动态响应速度和稳态跟踪能力, 适时地引导学生观察零点的位置与性能的关系, 即如何恰当选取附加零点的位置, 同时改善系统的稳态和动态性能。

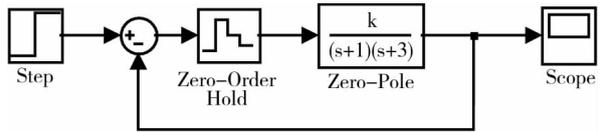
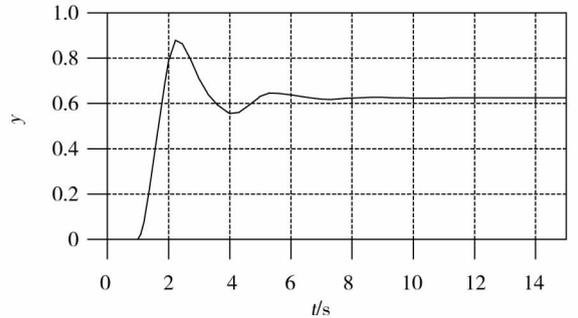
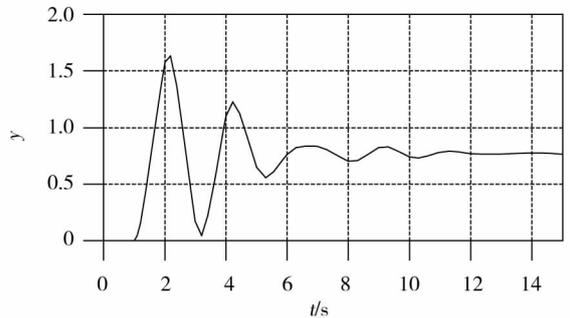


图 3 离散系统稳定性仿真框图



(a)



(b)

(a): $k = 5$; (b): $k = 10$

图 4 离散系统(图 3)阶跃响应曲线

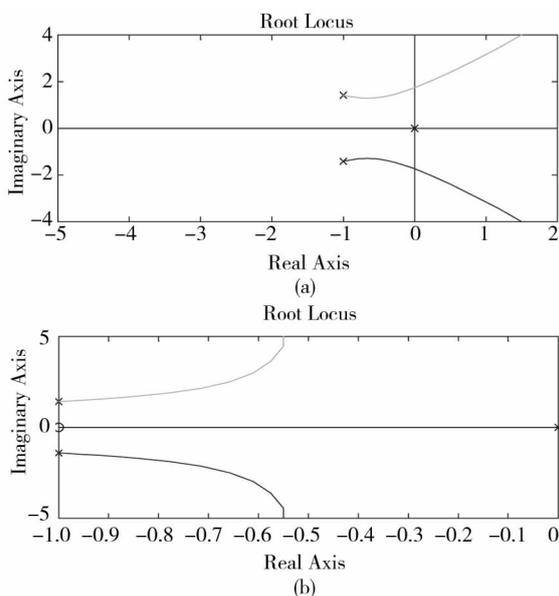


图5 开环传递函数分别为:(a) $G(s) = \frac{K}{s^3 + 2s^2 + 3s}$,
(b) $G(s) = \frac{K(s+1)}{s^3 + 2s^2 + 3s}$ 的闭环根轨迹曲线图

3 基于 Matlab 的自动控制原理教学改革问题

Matlab 为自动控制原理这门控制理论课程的教学提供了一个辅助分析与设计的平台,如何借助这个平台进行课程教学改革,增强教学内容的直观性,提高教学质量,并培养学生运用所学知识解决实际问题的能力,需要解决以下几个关键问题:

(1) 大部分高校的自动化专业同时开设了自动控制原理和 Matlab 仿真技术基础等课程,这些课程之间联系紧密,但是当前的教学中存在课程定位模糊、内容重叠等问题,怎样在课堂教学中融入 Matlab,以及如何定位课程教学内容,是课堂教学改革必须首要解决的关键问题。

(2) 如何在课堂中将 Matlab 数字仿真和多媒体课件有机地结合。在不增加课程学时的前提下,既用黑板给

出数学公式的推导和习题的演算,又要用多媒体课件给出控制系统结构图形,还引入 Matlab 数字仿真,如何做到这些教学方式的有机结合,也是课堂教学改革的关键问题之一。

(3) 目前主要是针对自动控制原理和现代控制理论这两门课程讨论如何应用 Matlab 辅助设计,如何尝试着在自动化专业的一些专业课程中增加 Matlab 的教学与实践环节,如电力拖动自动控制系统等,不增加总学时数和学生的学习任务,让学生从课堂中掌握 Matlab 的应用技能,培养学生应用理论知识解决实际问题的能力,这也是深入课堂教学改革的重要问题。

4 结语

在自动控制原理的课堂教学中,把理论推导和虚拟实验相结合,通过 Matlab 数字仿真直观地演示系统时域分析和根轨迹分析的过程,增强课堂教学的直观性和生动性,帮助学生理解和掌握抽象的控制理论知识,从而提高教学效率,又能将控制理论与控制工程实际系统联系起来,实现理论与实践的有机结合,并及时反映自动控制领域的新技术、新成果,使学生开阔思路 and 眼界,跟上现代科学技术发展的步伐。

参考文献:

- [1] 胡寿松. 自动控制原理(第五版)[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [2] 曹海红. Matlab 仿真在自动控制原理教学中的应用[J]. 价值工程,2012(17):149-150.
- [3] 顾建雄,雷正红. Matlab/Simulink 在自动控制原理教学中的应用[J]. 河西学院学报,2006,22(5):32-33.
- [4] 薛定宇. 控制系统仿真与计算机辅助设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000.

(责任校对 王小飞)