

## Simulink仿真在信号与系统理论教学中的应用\*

杨宇 倪雪 荣传振 朱莹 陈亮

(陆军工程大学 通信工程学院 江苏南京 210007)

**摘要:**“信号与系统”课程内容抽象,理论性和逻辑性较强,导致学生对相关概念理解困难。本文选取课程中信号的相加运算和线性时不变系统的性质两个知识点,分别利用双音多频信号的生成和RLC串联电路的性质,通过Simulink软件的仿真辅助课程的理论教学;结合实际应用的Simulink仿真,使得信号与系统的分析过程与结果,形象地予以展示,加深了学生对课程理论知识的理解与掌握,激发了学生学习的兴趣,培养了学生的实际应用能力和工程创新意识,从而提高了整体教学效果。

**关键词:**信号与系统 Simulink 线性时不变系统 信号相加运算

**中图分类号:**G642.0 **文献标识码:**A

**DOI:** 10.12218/j.issn.2095-4743.2022.41.152

“信号与系统”是电气电子信息类本科学生学习数字信号处理、通信原理等后续课程的一门重要的专业基础课程。此课程中,相关理论包含大量的数学运算<sup>[1]</sup>和丰富的工程应用,借助MATLAB/Simulink软件仿真可以完成复杂的数值计算与分析,得到可视化的仿真结果,使得许多抽象的理论得以形象模拟,辅助完成教学中知识难点的解释<sup>[2]</sup>,有助于加强对信号与系统理论的理解与应用。

MATLAB (Matrix Laboratory, MATLAB) 是由Math-Works公司推出的一款具有较强功能性和应用性的仿真软件。目前,其已成为信号处理、图像处理、通信原理、自动控制等课程的常用仿真平台。而Simulink是集成在MATLAB中的一种可视化软件,主要采用图形化模块对系统进行模拟与仿真,具有适应面广、结构和流程清晰、仿真精细、显示直观、贴近实际、效率高等优点,可实现动态系统建模、仿真和分析,故而被广泛应用于线性系统、信号处理、自动控制的建模和仿真<sup>[3]</sup>。

本文选取“信号与系统”课程中的信号相加运算和线性时不变系统性质两个知识点,通过MATLAB Simulink 2018b对其进行仿真,直观的仿真结果便于学生理解和掌握抽象的概念,同时也拓展了其知识。

### 一、线性时不变系统性质的仿真

线性时不变 (Linear and time invariant, LTI) 系统具有线性和时不变性。这一特性既是教学过程中的一个重点,也是学习时的一个难点。在讲授这个知识点时,除了理论讲

解,还要通过Simulink对RLC串联电路的LTI性进行仿真,使学生对此性质有了直观印象,更有助于对其进行掌握和理解。

线性时不变系统主要有线性和时不变性,其线性包括齐次性和叠加性。设 $f(t)$ 表示激励, $y(t)$ 表示响应,“ $\rightarrow$ ”表示系统的作用,则齐次性和叠加性可描述为:

齐次性:若 $f(t) \rightarrow y(t)$ ,则 $kf(t) \rightarrow ky(t)$ , $k$ 为实常数。

叠加性:若 $f_1(t) \rightarrow y_1(t)$ , $f_2(t) \rightarrow y_2(t)$ ,则 $f_1(t) + f_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$ 。

综上所述,线性性质又可以表示为:

若 $f_1(t) \rightarrow y_1(t)$ , $f_2(t) \rightarrow y_2(t)$ ,则 $k_1f_1(t) + k_2f_2(t) \rightarrow k_1y_1(t) + k_2y_2(t)$ , $k_1$ 和 $k_2$ 为实常数。

线性时不变系统的时不变性,可描述为:

若 $f(t) \rightarrow y(t)$ ,则 $f(t-t_0) \rightarrow y(t-t_0)$ , $t_0$ 为延时时间。

RLC串联电路是由电容、电感、电阻和独立电压源串联组成的电路,如图1所示,其多应用于电子谐波振荡器、带通或带阻滤波器等电路中。本节通过Simulink仿真零状态条件下RLC串联电路的线性和时不变性。

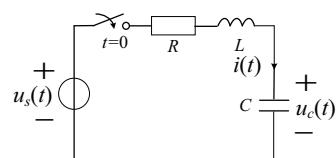


图1 RLC串联电路

假设图1电路中的开关在 $t < 0$  false时一直处于断开状

\*项目名称: 2021年陆军工程大学教育教学研究课题: 虚实融合的电类实践教学体系构建与实践研究 (项目编号: GJ21XZX009)。

态，且电容和电感均无初始储能，其中电阻 $R=5\Omega$ ，电容 $C=0.5F$ ，电感 $L=1H$ 。电压源 $u_s(t)$ 为输入，电流 $i(t)$ 为输出。在 $t=0$ 时开关闭合，则 $t>0$ 时，电路的数学模型为：

$$\frac{d^2i(t)}{dt^2} + 5\frac{di(t)}{dt} + 2i(t) = \frac{du_s(t)}{dt} \quad (1)$$

根据式(1)，可建立此RLC电路的Simulink仿真模型，进而建立验证RLC串联电路线性时不变性的仿真模型，如图2所示。在此模型中，通过step模块生成单位阶跃信号 $u(t)$ 与 $u(t-6)$ 分别作为两个子系统的输入，再利用Gain模块和Add模块生成 $2u(t)+4u(t-6)$ 输入到第三个子系统中，最后调用Scope模块显示三个子系统的输入和输出波形。

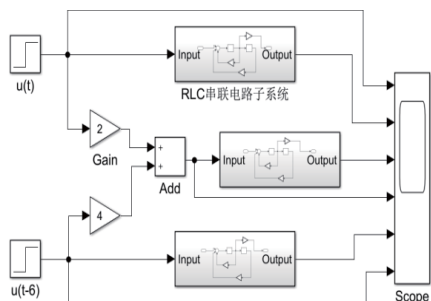


图2 RLC串联回路LTI性仿真模型

运行此模型后，仿真结果如图3所示。

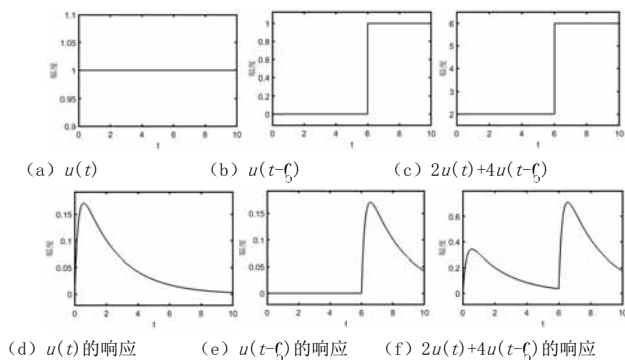


图3 RLC串联电路LTI性仿真结果

图3(a)和(b)是信号 $u(t)$ 和 $u(t-6)$ 的波形，图3(d)和(e)是它们分别通过系统所产生的响应，可以看出 $u(t-6)$ 的响应是将 $u(t)$ 的响应右移了6个单位，此仿真结果显示了图1电路具有时不变性。图3(c)和(f)分别是信号 $2u(t)+4u(t-6)$ 及其通过系统响应的波形，可以看出响应波形是将 $u(t)$ 响应的幅度放大2倍，再与 $u(t-6)$ 响应的幅度放大4倍后相加，故该电路具有线性。

## 二、信号相加运算的仿真

信号的正相加运算是信号基本运算之一。本节利用信号的正相加，通过Simulink仿真双音多频信号的编码，拓展学生对

基本运算的理解和认识。

信号的相加是指两信号在相同时刻的值相加，进而得到一个新的信号。设两个信号分别为 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ ，它们相加的结果为 $y(t)$ ，则相加可表示为：

$$y(t) = f_1(t) + f_2(t)$$

双音多频(Dual-tone multifrequency, DTMF)是由贝尔实验室开发的一种用高低两个频率的信号合成电话拨号音的信令表示方法。DTMF是从高频组(1209Hz、1336Hz、1447Hz)和低频组(697Hz、770Hz、852Hz、941Hz)各选取一个频率，可生成12种组合，表示12个电话按键信号。比如按键1的电话拨号音是由频率为1209Hz与697Hz的两个信号合成，而按键9的电话拨号音是由频率为1447Hz与852Hz的两个信号合成。

根据国际电报电话咨询委员会的建议，DTMF的编码定义式为： $f(t) = K_1 \sin(2\pi f_1 t) + K_2 \sin(2\pi f_2 t)$  (2)

其中， $f_1$ 和 $f_2$ 分别表示低频和高频， $K_1$ 和 $K_2$ 分别表示低频信号幅度和高频信号幅度，且 $0.7 < \frac{K_1}{K_2} < 0.9$ ，频率 $f_1$ 和 $f_2$ 的误差要小于1.5%。根据式(2)选择高频正弦信号与低频正弦信号相加，即可生成DTMF信号。本文利用Simulink生成DTMF信号的仿真模型时，通过正弦信号发生器产生低频组信号和高频组信号，从高频组与低频组中各选取一个信号，再利用加法器将两者相加即可生成DTMF信号，最后利用Scope和spectrum analyzer分别显示信号时域波形和振幅谱。图4给出了产生“#”键DTMF信号的仿真模型，即选择低频组941Hz与高频组1447Hz的正弦信号输入加法器叠加，并根据式(2)在正弦信号发生器模块中设置941Hz信号的幅度 $K_1=4$ ，1447Hz信号的幅度 $K_2=5$ 。

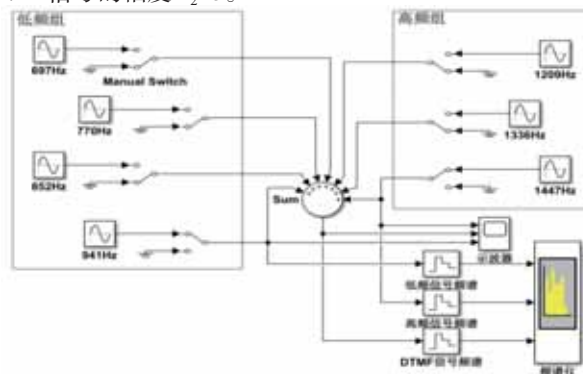


图4 Simulink合成DTMF信号仿真模型

运行Simulink仿真模型后，仿真结果如图5和图6所示。仿真结果显示，生成的DTMF信号时域波形和频谱分别为输入高频和低频信号的时域波形叠加和频谱叠加，分别如图5第3幅图和图6第3幅图所示。

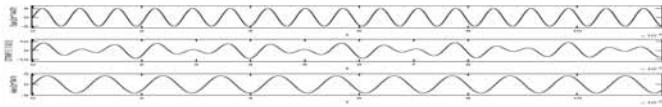


图5 Simulink生成“#”DTMF信号波形

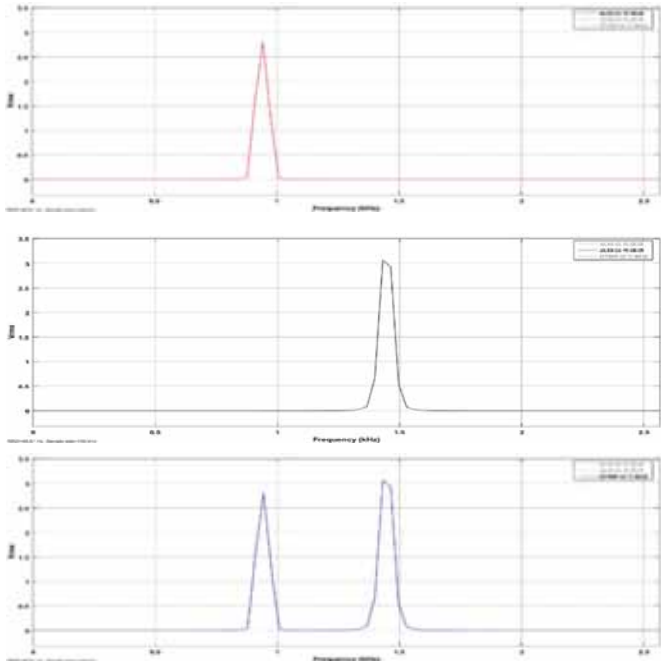


图6 Simulink生成“#”DTMF信号频谱

通过切换图4中高频组与低频组的开关,选取不同的高低频率组合,即可获得其他按键的信号波形和频谱。此仿真

直观地从时域和频域展示了信号相加运算的应用。

### 结语

本文通过Simulink利用信号相加运算仿真了DTMF信号的生成,利用RLC串联电路的s域模型验证了其线性和时不变性。Simulink仿真的引入,将晦涩的理论知识具体化、形象化,在提高学生的学习积极性的同时,加深了学生对知识的理解与掌握,更提高了学生的动手能力和独立解决问题的能力,达到了提高教学效果和学生学习效率的目的。

### 参考文献

- [1]王华华.MATLAB/Simulink仿真在“信号与系统”教学中的应用[J].南宁师范大学学报(自然科学版),2020,37(3):156-160.
- [2]赵庆平.基于软件仿真的电子信息类课程建——以通信原理课程为例[J].曲阜师范大学学报(自然科学版),2020,46(2):125-128.
- [3]贾永兴,朱莹,王渊,等.信号与系统[M].北京:清华大学出版社,2021.

### 作者简介

杨宇(1984—),男,河北望都人,硕士,陆军工程大学通信工程学院讲师,研究方向:图像处理、目标识别等。