

高等学校规划教材·电子、通信与自动控制技术

PLANNING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



信号与系统实验

胡君良 编著



西北工业大学出版社

高等学校规划

动控制技术

XINHAO YU XITONG SHIYAN
信号与系统实验

胡君良 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是信号与系统课程的配套实验指导书。实验内容分两大部分。第一部分是硬件实验,第二部分是软件仿真上机实验。实验内容是根据课程章节的理论内容结合实验室实际条件设计,并按照课程进程先后次序编写的,同时也经过了实验室的多年实践验证。硬件实验部分主要以信号频谱分析和电路带宽特性测量为主,软件部分以 MATLAB 在信号与系统实验中的仿真应用为主。应用时,可根据实验室条件自主选择硬件实验和(或)软件实验作为课程的实验内容。本书还有附录部分,主要是帮助学生学习和掌握常用电子仪器的辅导性内容。

本书可作为大学本科、专科电类专业信号与系统课程的实验指导书,同时可供广大电子技术爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验/胡君良编著. —西安:西北工业大学出版社,2016.8
高等学校规划教材. 电子、通信与自动控制技术
ISBN 978-7-5612-4947-5

I. ①信… II. ①胡… III. ①信号系统—实验—高等学校—教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 196823 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpu.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:14.75

字 数:353 千字

版 次:2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价:36.00 元

前 言

“信号与系统实验”是与“信号与系统”这门无线电技术类专业重要的基础理论课程相配套的实验课。根据加强学生能力培养的要求,“信号与系统实验”课形成了自己相对完整的体系。概括起来,本课程的设置目的有三:第一,配合理论基础教学验证、巩固和扩充某些重点理论知识;第二,学习有关电子测量的一些基础知识,学习常用电子测量仪器、设备的使用方法和基本测量技术;第三,通过一系列实验培养学生运用所学知识制定实验方案、选择实验方法、分析误差、编写实验报告等从事专业技术工作的所必须的初步能力和良好作风。

本书讲义初版写于1986年,在多年教学实践中,根据信号系统理论课的内容和实验设备的发展与变更情况,并参考了国内外数所高校同类课程的设置现状,曾于1988年、1990年、1992年、1995年和2012年对本书进行了五次修订。本次改编虽然是在前面工作基础上完成的,但是修改、新编、新设计的内容和范围较大,具体内容与更新情况见下表。

题 目	内 容	更新情况
第一部分 硬件实验	实验一 一、二阶电路的冲激响应	35%新设计
	实验二 RC滤波器的幅频特性	100%新设计
	实验三 常用电子仪器高级使用实验	100%新设计
	实验四 周期信号的谐波分析	80%新设计
	实验五 采样定理	80%新设计
	实验六 连续时间系统模拟	80%新设计
	实验七 电路、信号与系统的匹配研究	100%新设计
	实验八 方波响应法测量电路的带宽	100%新设计
	实验九 RLC二阶电路的瞬态过程和状态轨迹	20%新设计
	实验十 状态方程的模拟求解	80%新设计
第二部分 上机实验	上机实验1 连续时间信号的时域分析 上机实验2 连续LTI系统的时域分析 上机实验3 连续LTI系统的频域分析 上机实验4 非周期信号的频谱分析 上机实验5 连续信号的采样与重构 上机实验6 连续系统的复频域分析 上机实验7 离散时间信号的时域分析 上机实验8 离散系统的Z域分析	100%新设计

续表

题 目	内 容	更新情况
附录	附录一 测量误差与实验数据处理	原设计
	附录二 常用电子仪器	80%新设计

由于水平所限,本次改编中有不足或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2016 年 6 月

实验须知

实验工作在科学发展的过程中起着重大作用,它不仅仅是验证理论的客观标准,还常常是新的发展和发现的线索或依据。如:海王星的发现就是根据对天文方面的观测提出疑问,导致人们思考,为什么天王星的实际位置与用万有引力定律计算的理论位置并不符合?是不是另有一颗未知的行星在起作用?这引起当时才23岁的英国大学生亚当斯和法国青年勒威耶的兴趣。他们利用已掌握的天文资料,经数年努力,先后独立地用数学方法,推算出那颗未知行星的运行轨道。随后又经柏林天文台观测证实。海王星就这样被发现了。实验在科学技术工作中所具有的重要意义是很明显的,要做好实验工作还须注意以下几个方面。

一般来讲,一次完整的实验包括定性与定量两个方面工作。做实验首先强调观察,集中精力于研究对象,观察它的现象,它对某些影响因素的响应,它的变化规律和性质等等,这些属于定性。对研究对象在数量上的测量和分析属于定量。定性是定量的基础,定量是定性的深化,二者互为补充。

在完成定性观察和定量测量取得实验数据之后工作并未结束,实验的重要一环是对数据资料进行认真整理和分析。去粗取精,去伪存真,由此及彼,由表及里,以求对实验的现象和结果得出正确的理解和认识。

设置实验课的目的,是为了使学生较为系统地获得有关实验的理论和重点地培养学生有关实验的基本技能,不是要学生完成多少个实验,而是希望学生在完成实验的过程中,在知识的增长和能力的培养上有较多的受益。

但知识的增长和能力的培养并非朝夕之功,需要长期学习和实验的积累。

要求学生在完成学校规定教学时间内实验外,能根据个人条件和兴趣选做一些实验内容(不一定是理论课中讲过的)。因而可以使实验者从查阅资料、掌握知识开始,经过确定方案(选择仪器、制定实验步骤),观察实验现象,测量和分析数据,排除可能出现的故障,直到得出正确的实验结果,并写出完整的实验报告为止,在实验研究的全过程上得到较为系统的训练。

学生实验守则

为了实验室的文明、卫生、优雅、有序,做实验的学生应遵守如下守则。

(1)学生可以带水杯进实验室,可在实验室喝水杯中的水或饮料,但不准带袋装或瓶装的饮料进实验室或在实验室喝袋装或瓶装的饮料,更不准把喝过饮料的塑料袋、纸袋、各种饮料瓶或包装物留在实验室里,影响实验室卫生。

(2)学生不准在实验室吃食品,不准在实验室酗酒,不准带食品进实验室,更不准把吃过东西的塑料袋、纸袋或包装物留在实验室里,影响实验室卫生。

(3)学生不准带坐垫、丁字尺、篮球、球拍、拖鞋、球鞋、玩具等其他物品进实验室。

(4)在实验室做实验,学生应关掉手机,不准在实验室接听手机,更不准在实验室玩手机或玩其他游戏。

(5)学生在做实验期间产生的垃圾,如手纸、纸屑、废弃物等,不能乱扔,如扔在实验台上、实验台下、抽屉里等,应该自觉地放到垃圾桶里。

(6)学生在做实验期间不能玩弄随身带的物品及实验室的仪器、实验板、电缆、线头或其他物品。

(7)学生在做实验期间不准做实验以外的其他活动,如听音乐、玩电脑、做功课、做作业、学英语、写实验报告、写信等。

(8)学生在做实验期间不准唱歌、大声说话、大声喧哗等。

(9)学生在做实验期间如果发现仪器设备不正常,首先试试自我排除故障,如果排除不了,再请实验老师来处理,不准乱拉仪器。

(10)学生做完实验应先切断仪器设备的电源,再拆线,最后将移动的仪器或设备归位。不能既不拆线,又不关电源,更谈不上仪器归位,匆忙离开实验室。

(11)学生在做实验期间不能私自对实验仪器、设备、器具进行拆卸;一旦发现,严惩不贷。

(12)做实验的学生不准穿拖鞋进实验室。

(13)做实验的学生不准带墨镜进实验室。

(14)做实验的学生不准用油性笔在实验室内的实验台上、实验箱上、实验板上、黑板上、座椅上、仪器设备上乱写乱画。

(15)男生不准光背进实验室。

(16)做实验的学生不准吃口香糖,更不准把吃完的口香糖随意扔在地上,难于打扫,影响实验室卫生。

特别强调:

(1)在做实验期间,如有上述事件发生,带课老师有权对学生进行批评教育,令其整改。

(2)如果发现一个班做完实验后,有多个实验组实验不拆线、仪器不归位、遗留卫生环境恶劣,带课老师有权强行招回做实验的学生班长、课代表或班干部重回实验室,整理、理顺实验室,为下一个班级的实验做好准备。

目 录

第一部分 硬件实验

实验一	一、二阶电路的冲激响应	3
实验二	RC 滤波器的幅频特性	7
实验三	常用电子仪器高级使用实验	15
实验四	周期信号的谐波分析	18
实验五	采样定理	23
实验六	连续时间系统模拟	29
实验七	电路、信号与系统的匹配研究	36
实验八	方波响应法测量电路的带宽	47
实验九	RLC 二阶电路的瞬态过程和状态轨迹	55
实验十	状态方程的模拟求解	60

第二部分 上机实验

(MATLAB 在信号与系统实验中的仿真应用)

上机实验 1	连续时间信号的时域分析	67
上机实验 2	连续 LTI 系统的时域分析	75
上机实验 3	连续 LTI 系统的频域分析	80
上机实验 4	非周期信号的频谱分析	87
上机实验 5	连续信号的采样与重构	93
上机实验 6	连续系统的复频域分析	102
上机实验 7	离散时间信号的时域分析	107
上机实验 8	离散系统的 Z 域分析	110

附 录

附录一	测量误差与实验数据处理	121
1.1	测量误差	121
1.2	实验数据的处理	124
1.3	实验结果的图示处理	127

附录二 常用电子仪器.....	130
2.1 数字合成函数信号发生器	130
2.2 示波器	138
参考文献.....	164

第一部分 硬件实验

实验一 一、二阶电路的冲激响应

一、实验目的

- (1) 研究一、二阶电路冲激响应。
- (2) 描绘冲激响应在欠阻尼、临界阻尼、过阻尼三种情况下示波器上的显示波形。

二、实验原理

(1) 冲激函数是一种特殊的函数，它的值在 $t \neq 0$ 处均为零，且有 $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$ ，因此，以冲激函数作为输入，可以看成电路在 $t=0^-$ 到 $t=0^+$ 的时间区间内受到了激励，从而使储能元件得到能量。在 $t=0^+$ 以后， $\delta(t)$ 为零，此时电路中的电压、电流相当于零输入响应。电路对于单位冲激 $\delta(t)$ 的零状态响应称为冲激响应。实质上冲激响应可以视为起始于 $t=0^+$ 的零输入响应。

(2) 对于图 1.1-1 所示的 RC 串联电路，施加单位冲激电压的结果，使得电容电压在 $t=0$ 的瞬间发生跳变，跳变后的数值为

$$u_C(0^+) = \frac{1}{C} \int_{0^-}^{0^+} i_C(t) dt = \frac{1}{C} \int_{0^-}^{0^+} \frac{\delta(t)}{R} dt = \frac{1}{RC} \quad (1.1-1)$$

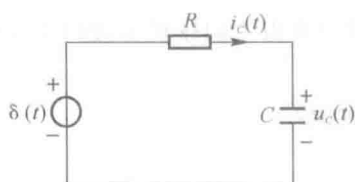


图 1.1-1 RC 串联冲激响应电路

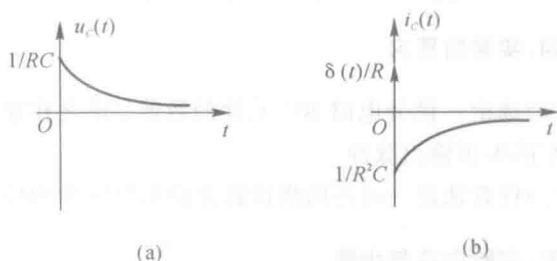


图 1.1-2 RC 串联电路冲激响应波形

在 $t=0^+$ 以后， $u_C(0^-)$ 通过电阻 R 放电，因此有

$$u_C(t) = \left(\frac{1}{RC} e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \cdot U(t) \quad (1.1-2)$$

$$i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} = \frac{\delta(t)}{R} - \frac{1}{R^2 C} e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot U(t) \quad (1.1-3)$$

式中， $U(t)$ 表示单位阶跃函数，其 $u_C(t)$ 和 $i_C(t)$ 的波形如图 1.1-2(a) 和 (b) 所示。

(3) 对于图 1.1-3 所示的 RLC 串联电路施加单位冲激电压源的结果，使得流过电感的

电流在 $t=0$ 的瞬间发生跳变。判断流过电感的电流在 $t=0$ 瞬间是否发生跳变, 可根据 $t=0$ 时刻电感两端的电压是否包含 $\delta(t)$ 而定, 若电感端电压中不包含 $\delta(t)$, 则电感电流不发生跳变, 这时 $i_L(0^-) = i_L(0^+) = 0$, 若电感端电压中包含 $\delta(t)$, 则电感电流将发生跳变。对于该电路而言, 跳变后的数值为

$$i_L(0^+) = i_L(0^-) + \frac{1}{L} \int_{0^-}^{0^+} u_L(t) dt = 0 + \frac{1}{L} \int_{0^-}^{0^+} \delta(t) dt = \frac{1}{L} \quad (1.1-4)$$

即: $t=0$ 时刻, 电感中储存了一定的磁场能量, 而冲激响应就是由于此磁场能量引起的变化过程。

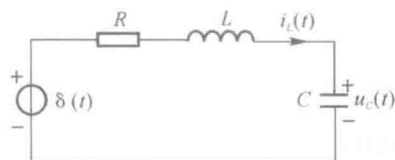


图 1.1-3 RLC 串联冲激响应电路

三、实验设备(见表 1.1-1)

表 1.1-1

名 称	规格或型号	数 量
示波器	DS1022CD	1 台
电阻箱	ZX21 型	1 只
电容箱	RX7-1 型	1 只
电感箱	0~100mH	1 只
函数信号发生器	FO5 型	1 台

四、实验前预习

(1) 选定一微分电路 RC 元件的数值, 使之在输入重复频率为 1 kHz 的方波时能获得宽度极窄的尖顶输出脉冲。

(2) 任意选定一动态网络计算并绘出其阶跃响应和冲激响应。

五、实验内容与步骤

(1) 从数字函数信号发生器上调出重复频率为 1 kHz, 幅度为 10 V_{pp} 的近似 $\delta_T(t)$ 序列。

(2) 观察 RC 一阶电路的冲激响应, 电路如图 1.1-1 所示。

1) 观察 $R=1\text{ k}\Omega$, $C=0.01\sim 0.1\text{ }\mu\text{F}$ 的波形 $u_C(t)$ 。

2) 记录 $R=1\text{ k}\Omega$, $C=0.01\text{ }\mu\text{F}$ 的波形 $u_C(t)$, 记为 $u_{C1}(t)$ 。

3) 记录 $R=1\text{ k}\Omega$, $C=0.1\text{ }\mu\text{F}$ 的波形 $u_C(t)$, 记为 $u_{C12}(t)$ 。

(3) 观察 RLC 二阶电路的冲激响应, 电路如图 1.1-3 所示。

1) 观察 $R=0\sim 10\text{ k}\Omega$, $L=50\text{ mH}$, $C=0.01\sim 0.1\text{ }\mu\text{F}$ 的波形 $u_C(t)$ 。

2) 记录下列条件下的波形(见表 1.1-2)。

电路在过阻尼条件下的波形 $u_{C21}(t)$ 和所选元件值；

电路在临界阻尼条件下的波形 $u_{C22}(t)$ 和所选元件值；

电路在欠阻尼条件下的波形 $u_{C23}(t)$ 和所选元件值。

表 1.1-2 波形记录表格

六、注意事项

(1) 本实验采用单位冲激电压源是近似的, 为判断响应发生跳变与否, 对响应波形要作仔细的观察和分析。

(2) 用示波器观察响应的一次过程(一阶、二阶)时, 首先根据附录中的指导先调好 $\delta_T(t)$ 序列, 然后做实验。

(3) 使用双踪示波器两个通道作信号波形观察时, 应注意示波器电缆的共地问题。

(4) 本实验记录的波形属于周期性交流信号, 记录时最少记录一个周期以上的波形。

七、实验报告内容

(1) 在坐标纸上描绘出一阶电路冲激响应波形 $u_{C1}(t)$ 和 $u_{C2}(t)$ 。

(2) 在坐标纸上描绘出二阶电路冲激响应波形 $u_{C21}(t)$, $u_{C22}(t)$ 和 $u_{C23}(t)$ 。

(3) 分析 $u_{C21}(t)$ 和 $u_{C22}(t)$ 波形产生和变化的原因。

(4) 分析 $u_{C23}(t)$ 波形变化的原因。

(5) 在坐标纸上描绘出 $\delta_T(t)$ 序列的频谱图。

(6) 判断图 1.1-4(a) 和 (b) 电容电压 $u_C(0^+)$ 或电感电流 $i_L(0^+)$ 是否会发生跳变, 计算跳变后的数值。

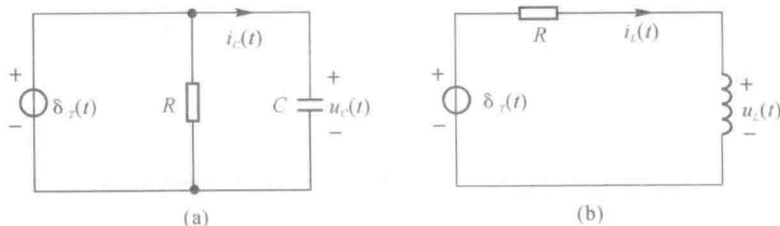


图 1.1-4 判断题图

实验二 RC 滤波器的幅频特性

一、实验目的

- (1) 研究 RC 滤波器的幅频特性。
- (2) 学习 RC 滤波器幅频特性的测试方法。

二、实验原理

当一个信号通过某电路时,电路对不同频率的信号具有选择性的通过,这样的电路称为滤波器。它只允许一些频率范围的信号通过,同时又衰减或抑制另一些频率范围的信号。

1. RC 低通滤波器

图 1.2-1 所示为二阶 RC 无源低通滤波器。它允许低频信号通过,衰减或抑制高频信号。其电压传输函数为

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1}{1 - \omega^2 R^2 C^2 + j3\omega RC} \quad (1.2-1)$$

其模为

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 R^2 C^2)^2 + 9\omega^2 R^2 C^2}} \quad (1.2-2)$$

当 $\omega_c = \frac{1}{RC}$ 时,则 $|H(j\omega)| = \frac{1}{3}$, ω_c 称为一阶 RC 无源低通滤波器的截止频率。图 1.2-2 所示为二阶 RC 低通滤波器的模频特性, ω'_c 为二阶 RC 低通滤波器的截止频率,而且 $\omega'_c < \omega_c$ 。

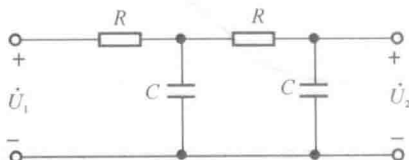


图 1.2-1 二阶 RC 无源低通滤波器

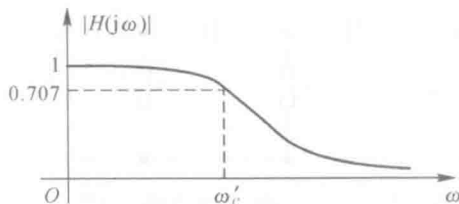


图 1.2-2 二阶 RC 低通滤波器的模频特性

图 1.2-3 所示为二阶 RC 有源低通滤波器。它是用运算放大器和 RC 元件组成的电路,由图 1.2-3 可列出方程

$$\frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_a}{R} = \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_2}{1/j\omega C} + \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_b}{R} \quad (1.2-3)$$

$$\frac{\dot{U}_a - \dot{U}_b}{R} = \frac{\dot{U}_b}{1/j\omega C} \quad (1.2-4)$$

有

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_b$$

由此解得电压传输函数为

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1}{1 - \omega^2 R^2 C^2 + j2\omega RC} \quad (1.2-5)$$

其模为

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 R^2 C^2)^2 + 4\omega^2 R^2 C^2}} \quad (1.2-6)$$

当 $\omega = 0$ 时, $|H(j\omega)| = 1$; 当 $\omega = \frac{1}{RC}$ 时, $|H(j\omega)| = \frac{1}{2}$; 当 $\omega \rightarrow \infty$ 时, $|H(j\omega)| = 0$ 。

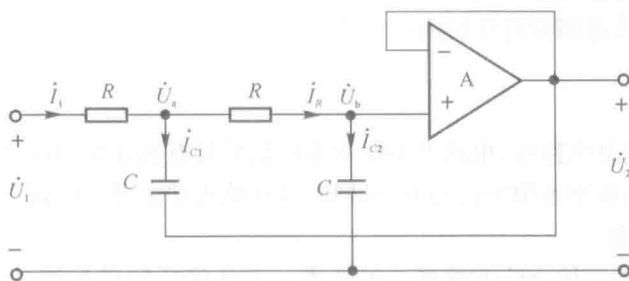


图 1.2-3 二阶 RC 有源低通滤波器

不管是无源低通还是有源低通,是一阶低通还是多阶低通,当 $|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 时所对应的 ω'_c 才是所研究低通滤波器的截止频率。

2. RC 高通滤波器

高通滤波器只允许高频信号通过,衰减或抑制低频信号。图 1.2-4 所示为二阶 RC 无源高通滤波器,图 1.2-5 所示为高通滤波器的模频特性。

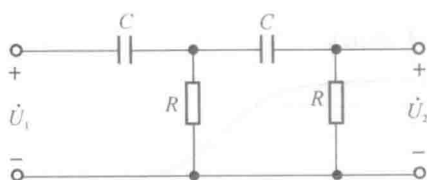


图 1.2-4 二阶 RC 无源高通滤波器

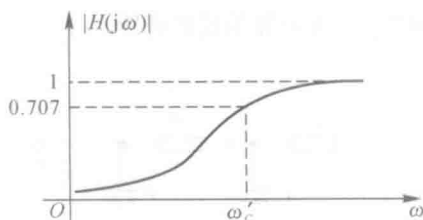


图 1.2-5 二阶 RC 高通滤波器的模频特性

图 1.2-4 所示电路的电压传输函数为

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\omega^2 R^2 C^2} - j\frac{3}{\omega RC}} \quad (1.2-7)$$

其模为