

第1章

信号与系统综合实验概述



信号与系统实验是电子信息类专业重要的教学实践环节之一,通过相关实验教学,在巩固深化理论知识理解、拓展理论知识应用方面具有重要作用,对培养学生的理论联系实际、分析问题、解决问题、创新思维能力发挥一定作用。书中所列实验和“信号与系统”课程理论教学内容一致,以 LTE-XH-03A 信号与系统综合实验箱为实验平台。为了便于实验操作,使学生独立完成实验,充分发挥学生的主观能动性,本章对实验系统及模块进行介绍。

1.1 系统总体介绍

LTE-XH-03A 信号与系统综合实验箱是专门为“信号与系统”课程设计的,基于多年的教学实践,不断改进调整,提供了信号的时域、频域分析等实验手段。其主要功能有:利用该实验箱可进行阶跃响应与冲激响应的时域分析;借助于数字信号处理(DSP)技术实现信号频谱的分析与研究、信号的分解和合成的分析与实验;抽样定理和信号恢复的分析与研究;连续时间系统的模拟;一阶、二阶电路的暂态响应;二阶网络状态轨迹显示、各种滤波器设计与实现等内容的学习与实验。

实验箱自带实验所需的电源、信号发生器、扫频信号源、数字电压表、数字频率计,其中数字电压表和数字频率计均采用自行设计电路,让仪表部分与本实验系统充分配合。

实验箱采用 DSP 技术,将模拟电路难以实现或实验结果不理想的“信号分解与合成”“信号卷积”等实验准确地演示,并能生动地验证理论结果;可系统地了解并比较无源、有源、数字滤波器的性能及特性,学会数字滤波器的设计与实现。

实验箱配有 DSP 标准的联合测试工作组(JTAG)接口及 DSP 与个人计算机(PC)的通信接口,方便学生在我们提供软件的基础上进行二次开发(可用仿真器或不用仿真器),完成一些数字信号处理、DSP 应用方面的实验,如各种数字滤波器设计、频谱分析、卷积、模/数(A/D)转换、数/模(D/A)转换、DSP 定时器的使用、DSP 基本输入/输出(I/O)接口使用等。

考虑到实验内容的层次性,在数字信号处理部分直接固化了实验必需的程序代码,通过

拨码开关及单片机主机接口(HPI),可以方便地进行实验内容的选择。

该系统可选的实验模块有:

模块(S1): 电压表和直流信号源模块。

模块(S2): 信号源和频率计模块。

模块(S3): 抽样定理和滤波器模块。

模块(S4): 数字信号处理模块。

模块(S5): 一阶网络模块。

模块(S6): 二阶网络模块。

模块(S7): 系统相平面分析和极点对频率响应特性的影响模块。

模块(S8): 调幅和频分复用模块。

模块(S9): 基本运算单元和连续系统模拟模块。

模块(S10): 数据采集和虚拟仪器模块(选配模块)。

1.2 实验模块介绍

本节分别对实验箱上的实验模块做进一步介绍。

模块(S1): 电压表和直流信号源模块

此模块主要包含电压表和直流信号源两部分。电压表可测量直流信号的幅度及交流信号的峰-峰值,直流信号的测量幅度范围为 $-10\sim 10\text{V}$,交流信号的峰-峰值测量范围为 $0\sim 20\text{V}$ (测量交流信号的频率范围为 $100\text{Hz}\sim 200\text{kHz}$)。直流信号源可输出 $-5\sim +5\text{V}$ 幅度连续可调直流信号。

模块简要说明:

S1: 模块的供电开关。

S2: 选择测量的外部信号为交流信号或直流信号。

P1、P2: 直流信号1和2的输出端口。

P3: 电压表的输入端口(外部信号输入)。

W1、W2: 直流信号电压的控制旋钮。

模块(S2): 信号源和频率计模块

该模块用于模拟信号源、扫频信号源、频率计以及时钟信号源功能。模块(S2)可调旋钮、指示灯、按键、开关以及测试端口的的位置标识如图1-1所示。

1. 模块端口及测试点简要说明

P1 为频率计输入端口。

P2 为模拟信号输出端口。

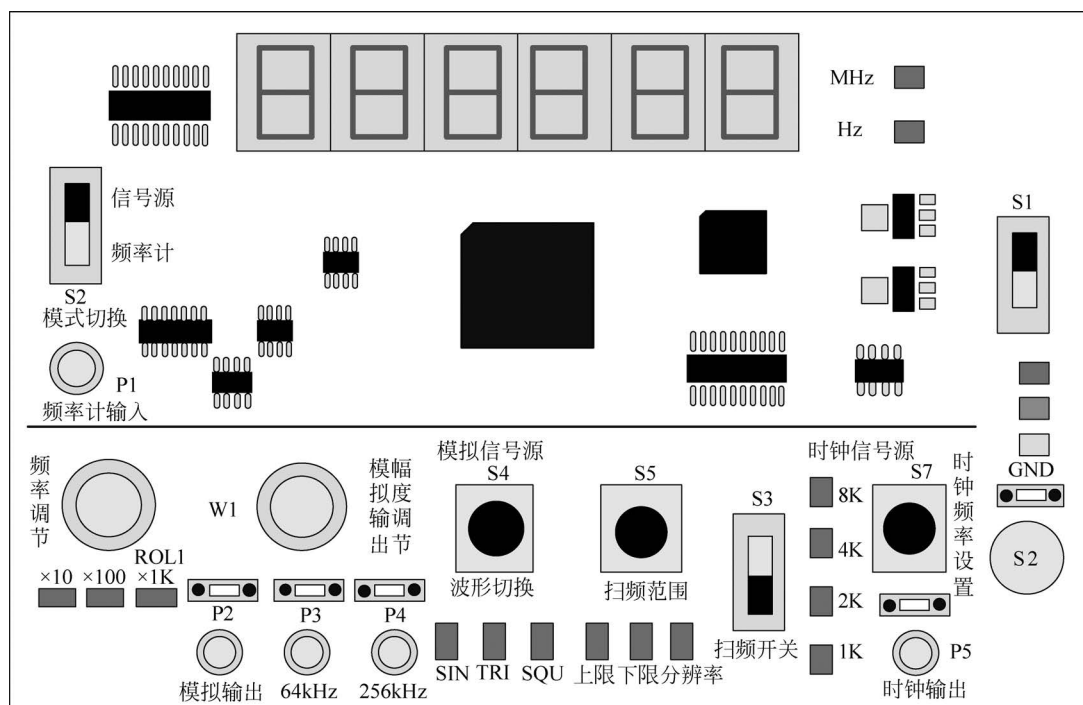


图 1-1 模块(S2)可调旋钮、指示灯、按键、开关以及测试端口的位位置标识

P3 为 64kHz 载波输出端口。

P4 为 256kHz 载波输出端口。

P5 为时钟信号源输出端口。

S1 为模块的供电开关。

S2 为模式切换开关,开关向上拨选择“信号源”模式,开关向下拨选择“频率计”模式。

S3 为扫频开关,开关向上拨开始扫频,开关向下拨停止扫频。

S4 为波形切换旋钮。

S5 为扫频设置旋钮。

S7 为时钟频率设置旋钮。

W1 为模拟信号输出幅度调节旋钮。

ROL1 为模拟信号频率调节旋钮。轻按旋转编码器可选择信号源频率步进。顺时针旋转增大频率,逆时针旋转减小频率。频率旋钮下有三个标有 $\times 10$ 、 $\times 100$ 、 $\times 1K$ 的指示灯指示频率步进。亮的 LED 与频率步进关系见表 1-1。

表 1-1 亮的 LED 与频率步进关系

亮的 LED	频率步进	亮的 LED	频率步进
$\times 10$	10Hz	$\times 10 \times 1K$	10kHz
$\times 100$	100Hz	$\times 100 \times 1K$	100kHz
$\times 1K$	1kHz	$\times 10 \times 100 \times 1K$	1MHz

2. 模拟信号源功能说明

模拟信号源主要有 P2、P3 和 P4 三个输出端口。其中：P3 端口输出固定幅度和固定频

率为 64kHz 的正弦波信号。

P4 端口输出固定幅度和固定频率 128kHz 的正弦波信号。

P2 端口输出的波形为正弦波、三角波、方波。P2 端口输出信号通过 S4 进行切换波形。其频率可以通过 ROL1 来调节,正弦波频率的可调范围为 10Hz~2MHz,三角波和方波频率的可调范围为 10Hz~100kHz。其输出幅度可由 W1 控制,可调范围为 0~5V。(注意:使用 P2 端口输出信号时,需将 S3 拨至 OFF。)

可进行如下操作,以便于熟悉信号源功能的使用:

- (1) 实验系统加电,将 S3 拨至 OFF,按下 S4,如选择输出正弦波,则 SIN 指示灯亮。
- (2) 用示波器观测 TP2 测试点或 P2 端口,可观测到正弦波。
- (3) 调节 W1,可在示波器上观测信号幅度的变化;按下 ROL1 可选择频率步进挡位,再旋转 ROL1 可改变频率值,在示波器上观测信号频率的变化。
- (4) 再按下 S4 选择三角波,TRI 指示灯亮,用示波器在 TP2 测试是可以观测三角波。
- (5) 按下 S4 选择方波,SQU 指示灯亮,用示波器在 P2 端口观测方波。
- (6) 在 P2 端口输出方波情况下可设置方波的占空比:长按 ROL1 2s,数码管会显示“50”,表示已切换到占空比设置功能,且当前占空比为 50%;然后通过 ROL1 来调节方波的占空比,其可调范围为 6%~93%;若再次快速按下 ROL1,则切换回频率调节功能。

3. 扫频信号源功能说明

只有当 S3 拨至 ON 时,才能开启扫频信号源功能。开启扫频信号源功能后,扫频信号输出端口为 P2,幅度为 3.8V,可用示波器观测,如图 1-2 所示。

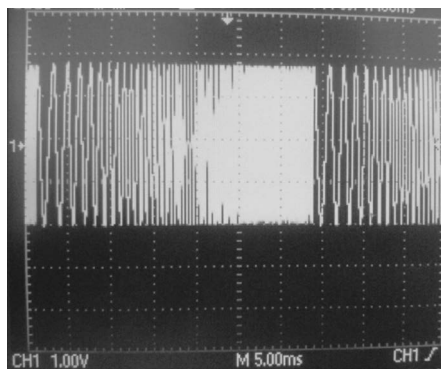


图 1-2 扫频信号源信号实测图

注:频率上限设置为 10000Hz,频率下限设置为 500Hz,分辨率设置为 100。

扫频信号源主要通过 S5、ROL1 以及 W1 进行调节。具体方法是:模块开电,将 S3 拨至 ON,即开启扫频功能;“上限”指示灯亮时,可通过 ROL1 改变扫描频率的终止点(最高频率),调节的频率值在数码管上显示。再按下 S5,“下限”指示灯亮时,可通过 ROL1 改变扫描频率的起始点(最低频率),调节的频率值在数码管上显示;再按下 S5,“分辨率”指示灯亮时,可通过 ROL1 改变扫描频率的

起始点(最低频率),数码管无显示,调节 ROL1 设置“下限频率”和“上限频率”之间的频点数。一般而言,频点数越少,扫频速度越快;频点数越多,扫频速度越慢。

4. 频率计功能说明

频率计具有内测模式和外测模式,可通过 S2 来选择。当 S2 拨至“信号源”时,数码管显示当前 P2 端口的输出频率;当 S2 拨至“频率计”时,频率计可测量外部引入信号的频率值,其输入端口为 P1 端口。

频率计的测量范围为 1Hz~2MHz,精确度为 98.6%。

5. 时钟信号源功能说明

时钟信号源由 P5 端口输出时钟信号。可通过 S7 切换输出 1kHz、2kHz、4kHz、8kHz

四种频率,选择其中一种频率时,相应指示灯会亮。

模块(S3): 抽样定理和滤波器模块

模拟滤波器部分提供了多种有源无源滤波器,包括无源低通滤波器、有源低通滤波器、无源带通滤波器、有源带通滤波器、无源高通滤波器、有源高通滤波器、无源带阻滤波器和有源带阻滤波器,学生可以根据自己的需要进行实验。模块提供了8个信号输入点。

P1: 无源低通滤波器信号输入点。

P5: 有源低通滤波器信号输入点。

P9: 无源带通滤波器信号输入点。

P13: 有源带通滤波器信号输入点。

P3: 无源高通滤波器信号输入点。

P7: 有源高通滤波器信号输入点。

P11: 无源带阻滤波器信号输入点。

P15: 有源带阻滤波器信号输入点。

提供了8个信号输出点(相应的测试点)。

P2: 无源低通滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP2)。

P6: 有源低通滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP6)。

P10: 无源带通滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP10)。

P14: 有源带通滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP14)。

P4: 无源高通滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP4)。

P8: 有源高通滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP8)。

P12: 无源带阻滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP12)。

P16: 有源带阻滤波器信号输出点(相应的测试点为 TP16)。

在该模块上还设置了抽样定理实验。通过本实验可观测到抽样过程中的各个阶段的信号波形。在模块上共有3个输入点、2个输出点及2个信号测试点。

P17: 连续信号输入点(相应的测试点为 TP17)。

P18: 外部开关信号输入点。

P19: 抽样信号输入点。

P20: 连续信号经抽样后的输出点(相应的测试点为 TP20)。

P22: 抽样信号经滤波器恢复后信号的输出点。

TP21: 开关信号测试点。

TP22: 抽样信号经滤波器恢复后的信号波形测试点。

模块上的调节点:

S1: 模块的供电开关。

S2: 选择同步抽样和异步抽样的开关。当开关拨向左边时选择同步抽样,当开关拨向右边时选择异步抽样。

W1: 调节异步抽样频率旋钮。

模块④：数字信号处理模块

1. 数字信号处理模块功能说明

数字信号处理模块采用多种可编程器件,具有多种实验功能。该模块主要通过拨码开关 SW1 的拨码值选择所需要的功能。SW1 的拨码值可参考表 1-2 说明设置,或者根据具体实验项目的操作步骤要求设置。

表 1-2 SW1 拨码值设置与对应的实验内容

SW1 设置	实 验 内 容
00000001	常规信号观测
00000010	矩形信号自卷积
00000011	矩形信号与锯齿波卷积
00000100	1kHz 或 2kHz 方波信号分解与合成
00000101	400Hz、500Hz 或 600Hz 方波信号分解与合成
00000110	相位对 400Hz、500Hz 或 600Hz 信号合成的影响
00001000	数字频率合成
00001011	相位对 1kHz 或 2kHz 信号合成的影响
00001100	用于抽样恢复的数字滤波器(S3 对应 1kHz、2kHz、3kHz、4kHz、5kHz、6kHz、7kHz、8kHz 滤波器)
00001101	抽样功能(S3 对应 1kHz、2kHz、4kHz、8kHz、16kHz、32kHz、64kHz、128kHz 抽样频率)
00001110	频谱分析

注: SW1 的某个码位拨至 ON 时,表示拨码值为 1。例如,拨码开关状态为 ,则该拨码值为 00001101。

2. 模块上印制电路板(PCB)丝印标识及端口简要说明

P9: 模拟信号输入。

TP9: 从 P9 输入的信号经幅度调整的测试点。

P1、P2、P3: 基波、二次谐波、三次谐波的输出点(相应的测试点为 TP1、TP2、TP3)。

TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8: 这些测试点的输出波形与模块设置的具体功能相关。当模块用于信号分解与合成功能时,TP1、TP2、TP3、TP4、TP5、TP6、TP7、TP8 八个测试点分别是方波分解信号的一次谐波、二次谐波、三次谐波、四次谐波、五次谐波、六次谐波、七次谐波、八次及以上谐波。当模块用于方波信号自卷积功能时,TP1 为方波自卷积的输出测试点。当模块用于方波与锯齿波的卷积功能时,TP1 为卷积信号输出测试点,TP2 为锯齿波信号测试点(锯齿波信号由模块自身产生,无须外接)。

S2: 复位开关。

SW1: 8 位拨码开关。通过此开关的设置,可以选择不同的实验内容,如表 1-2 所示。

S3: 8 位拨码开关。

(1) 当该模块用于信号分解与合成功能时,S3 分别为各次谐波的叠加开关,当所有的开关都闭合时,合成波形从 TP8 输出。TP1~TP8 为各次谐波的波形的测试点。

(2) 当该模块用于抽样恢复的数字滤波器功能时,可以设置 S3 对应改变滤波器 1~8kHz。比如,当用于抽样恢复的滤波器功能时(SW1 置为 00001100),若 S3 置为 01000000,则表示此时模块为 2kHz 低通滤波器。

(3) 当该模块用于抽样功能时,可以设置 S3 对应改变抽样频率,S3 对应 1kHz、2kHz、4kHz、8kHz、16kHz、32kHz、64kHz、128kHz 抽样频率。比如,当模块为抽样功能时(SW1 置为 00001101),若 S3 置为 00100000,则表示此时抽样频率为 4kHz。

(4) 当该模块用于常规信号观测时,S3 设置对应的常规信号类型如表 1-3 所示。

表 1-3 S3 设置对应的常规信号类型

开关 S3 设置	模块用于常规信号观测功能时 TP1 输出波形
10000000	指数增长信号
01000000	指数衰减信号
00100000	指数增长正弦信号
00010000	指数衰减正弦信号
00001000	抽样信号
00000100	钟形信号

J1: 串口转 USB 通信接口,主要用于计算机上位机软件与模块之间的通信连接功能。

模块 S5: 一阶网络模块

1. 一阶电路暂态响应部分模块

用户可以根据自己的需要在此模块上搭建一阶电路,并观测实验波形。测试点:

TP1、TP4: 输入信号波形测量端口。

TP6、TP7: 一阶 RC 电路输出信号波形测试端口。

TP8、TP9: 一阶 RL 电路输出信号波形测试点。

信号插孔:

P1、P4: 信号输入插孔。

P2、P3、P5、P6、P7、P8、P9: 电路连接插孔。

2. 阶跃响应、冲激响应部分模块

在此部分,用户接入适当的输入信号,可观测到输入信号的阶跃响应和冲激响应。测试点:

P10: 冲激响应时,输入信号波形的测试端口(相应的测试点为 TP10)。

P11: 电路连接插孔(冲激信号测试点为 TP11)。

P12: 阶跃响应时,输入信号波形的测试端口(相应的测试点为 TP12)。

TP14: 冲激响应、阶跃响应信号输出测试点。

3. 信号无失真传输部分模块

P15: 信号输入点。

TP16: 信号经电阻衰减测试点。

TP17: 信号输出测试点。

W2: 阻抗调节电位器。

模块 S6: 二阶网络模块

1. 二阶电路传输特性部分模块

采用 LM741 搭建的两种二阶电路,可观测分析信号经过不同二阶电路的响应及二阶

电路特性。

信号插孔和测试点：

P1、P2：信号输入插孔。

TP3：二阶 RC 电路传输特性测试点。

TP4：二阶 RL 电路传输特性测试点。

2. 二阶网络状态轨迹部分模块

此部分除完成二阶网络状态轨迹观测的实验,还可完成二阶电路暂态响应观测的实验。

信号插孔和测试点：

P5：信号输入插孔。

TP5：输入信号波形测试点。

TP6、TP7、TP8：输出信号波形测试点。

3. 二阶网络函数模拟部分模块

通过电系统来模拟非电系统的二阶微分方程,P9 为阶跃信号的输入点(相应的测试点为 TP9)。

Vh：反映的是有两个零点的二阶系统,可以观测其阶跃响应的时域解(相应的测试点为 TP10)。

Vt：反映的是有一个零点的二阶系统,可以观测其阶跃响应的时域解(相应的测试点为 TP11)。

Vb：反映的是没有零点的二阶系统,可以观测其阶跃响应的时域解(相应的测试点为 TP12)。

W3、W4：对尺度变换的系数进行调节。

模块(S7)：系统相平面分析和极点对频率响应特性的影响模块

1. 系统相平面分析部分模块

P1：固定系统的信号输入端口。

P2：固定系统的信号输出端口。

P3：系统特性可变系统信号输入端口。

P4：系统特性可变系统信号输出端口。

W1：可调节系统相位特性旋钮。

2. 极点对频率响应特性的影响部分模块

P5：系统反馈接入点。

P6：系统信号输入点(通过该端口的不同接线方式,可改变系统极点的不同位置)。

P7：信号输出端口。

W2：可调节系统截止频率旋钮。

模块(S8)：调幅和频分复用模块

此模块可以完成幅度调制及解调、频分复用及解复用的实验,并且可以通过相应的观测点来观测信号的变化情况。

信号插孔及测试点：

P1、P3: 载波输入(从模块(S2)的 P3、P4 端口引入),相应的信号测试点为 TP1、TP3。

P2、P4: 模拟信号输入(一路由模块(S2)的 P2 端口提供,另一路由数字信号处理模块(S4)提供,相应的测试点为 TP2、TP4)。

P5: 幅度调制输出 1(相应的测试点为 TP5)。

P6: 幅度调制输出 2(相应的测试点为 TP6)。

P7: 复用输入信号 1。

P8: 复用输入信号 2。

P9: 两路信号经过时分复用之后的输出端口(相应的测试点为 TP9)。

P10: 复用信号输入端口。

解复用及解调功能模块部分还包含的测试点。

TP12: 信号解复用输出测试点之一。

TP13: 信号解复用输出测试点之二。

TP14: 解复用信号经解调后信号输出测试点之一。

TP15: 解复用信号经解调后信号输出测试点之二。

TP16: 解调信号输出 1。

TP17: 解调信号输出 2。

模块(S9): 基本运算单元和连续系统模拟模块

此模块提供了很多开放的电路电容,可根据需要搭建不同的电路,进行各种测试,如可实现加法器、比例放大器、积分器及一阶系统的模拟。

信号插孔和测试点:

P1、P2: 运算放大器 U1 的输入信号插孔,分别对应运算放大器的 DIP3 和 DIP2。

P3: 运算放大器 U1 的输出信号插孔。

P4、P5: 运算放大器 U2 的输入信号插孔,分别对应运算放大器的 DIP3 和 DIP2。

P6: 运算放大器 U2 的输出信号插孔。

P7~P42: 元器件选择插孔。

TP3: 运算放大器 U1 的输出。

TP6: 运算放大器 U2 的输出。

模块(S10): 数据采集和虚拟仪器模块(选配模块)

此模块通过高速 USB 接口与 PC 相连,将采集到的数据通过 USB 接口实时传输到 PC,以供 PC 做信号处理。PC 处理后的数据信号同时通过 USB 接口实时回传到模块,以供后期信号处理或观测。其主要功能需要通过 PC 软件来实现。目前,PC 端信号处理软件主要能完成以下功能:

- (1) 实时信号采集和存储。
- (2) 实时信号快速傅里叶变换(FFT)频谱分析。
- (3) 实时信号带阻滤波处理。
- (4) 读取输出指定采集文件数据。

- (5) 有限冲激响应(FIR)滤波器设计与滤波器效果验证。
- (6) 多种信号卷积展示。
- (7) 函数信号发生器。

模块的参数指标如下:

- (1) 采用高精度模数转换器/数模转换器(ADC/DAC)来采集和输出数据。ADC/DAC速率可调,支持范围为 8000~48000Hz。
- (2) 支持一路 ADC 抽样输入,两路 DAC 输出。
- (3) ADC 抽样输入信号幅度范围为 0~1V。
- (4) DAC 输出信号幅度范围为 0~1V。
- (5) 两种信号接口:一种是普通台阶座输入孔,可从其他模块引入信号;另一种是 3.5mm 标准传声器和耳机接口,可采集环境模拟音频信号进行处理。

模块目前能完成以下实验项目:

- (1) 音频采集及观测实验。
- (2) 音频信号采集及 FFT 频谱分析实验。
- (3) 语音信号采集及尺度变换实验。
- (4) FIR 滤波器设计及验证实验。
- (5) 信号卷积及过程展示实验。

模块功能实现主要是依靠 PC 端应用程序,扩展功能强大,进行功能扩展后可增加实验项目及内容。

1.3 实验注意事项

实验注意事项如下:

- (1) 实验前检查实验平台上芯片是否有缺失现象,各电源指示灯工作是否正常。
- (2) 在实验指导书中如无其他说明,所有输入信号占空比默认为 50%。
- (3) 实验中输入信号的幅度和频率均为毫伏表和频率表上的数值。
- (4) 注意 IC 芯片的保护,请勿带电插拔芯片,实验中良导体不可放置在实验平台上,以免引起短路。
- (5) 正确使用折叠式插头,进行旋转式插拔,勿直接拽线。
- (6) 保持实验箱内干燥洁净,以保证器件的可使用性,延长器件使用寿命。

第2章

信号与系统基础实验项目



信号与系统基础实验项目旨在通过实验手段帮助学生深入理解信号与系统的基本概念和知识,掌握相关的实验技能和方法,培养学生的实验能力和科学素质。本章包括 20 个实验项目,每个实验项目都配备有实验器材清单、实验原理、实验步骤和实验报告撰写要求等详细信息,能够引导学生完成实验、分析实验数据,帮助学生全面掌握信号与系统基础实验的相关知识和技能,提高实验能力和实践操作技能,同时为后续相关课程的学习打下基础。

实验一 常用信号分类与观测



视频

一、实验目的

1. 观测常用信号的波形,了解其特点及产生方法。
2. 学会用示波器测量常用波形的基本参数,了解信号及信号的特性。

二、实验原理

对于一个系统特性的研究,一个重要的方面是研究它的输入与输出关系,即在一特定的输入信号下,系统对应的输出信号。因而对信号的研究是对系统研究的出发点,是对系统特性观测的基本手段和方法。在本实验中将对常用信号和特性进行分析、研究。

信号可以表示为一个或多个变量的函数,在这里仅对一维信号进行研究,自变量为时间。常用信号有指数信号、指数衰减正弦信号、抽样信号、钟形信号、脉冲信号等。

1. 指数信号

指数信号表达式为

$$f(t) = K e^{at} \quad (2-1-1)$$

对于不同的 a 取值,其波形表现为不同的形式,如图 2-1-1 所示。

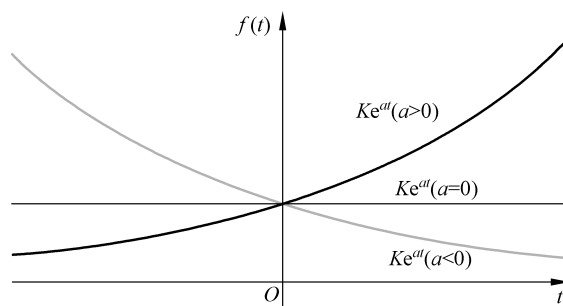


图 2-1-1 指数信号

2. 指数衰减正弦信号

指数衰减信号表达式为

$$f(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ K e^{-at} \sin(\omega t) & (t > 0) \end{cases} \quad (2-1-2)$$

其波形如图 2-1-2 所示。

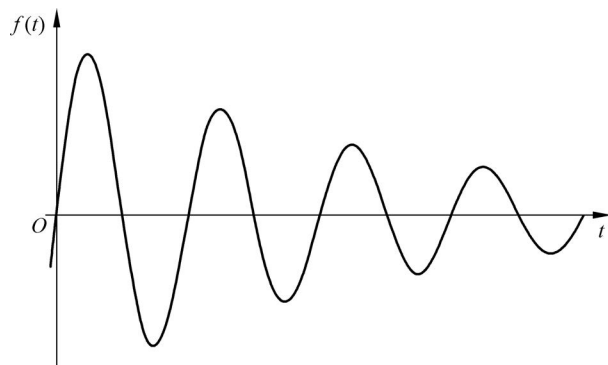


图 2-1-2 指数衰减正弦信号

3. 抽样信号

抽样信号表达式为

$$\text{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t}$$

$\text{Sa}(t)$ 是偶函数, $t = \pm\pi, \pm2\pi, \dots, \pm n\pi$ 时, 函数值为零。该函数在很多应用场合具有独特的运用, 其波形如图 2-1-3 所示。

4. 钟形信号(高斯函数)

钟形信号表达式为

$$f(t) = E e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}$$

其波形如图 2-1-4 所示。

5. 脉冲信号

脉冲信号表达式为

$$f(t) = u(t) - u(t - T)$$

式中, $u(t)$ 为单位阶跃函数。

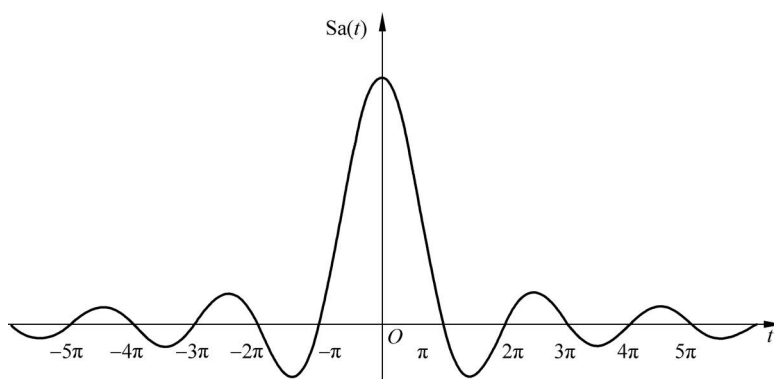


图 2-1-3 抽样信号

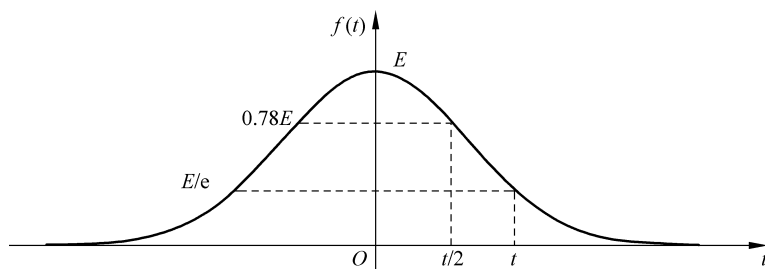


图 2-1-4 钟形信号

6. 方波信号

信号周期为 T , 前 $T/2$ 周期信号为正电平信号, 后 $T/2$ 周期信号为负电平信号。

实验系统中在模块④的 TP1 测试点可观测的常见信号主要有指数信号(增长)、指数信号(衰减)、指数正弦信号(增长)、指数正弦信号(衰减)、抽样信号和钟形信号。观测前首先将 SW1 置为 0000000, 即将该模块④设置为常规信号观测功能; 然后通过设置 S3 对应选择常规信号类型, 如表 2-1-1 所示。

表 2-1-1 开关 S3 设置对应的信号类型

开关 S3 设置	模块用于常规信号观测功能时 TP1 输出波形	波形函数
10000000	指数增长信号	$f(t) = 0.65e^{(t/370)}$
01000000	指数衰减信号	$f(t) = 0.65e^{-(t/370)}$
00100000	指数增长正弦信号	$f(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 0.07e^{\frac{t}{440}} \sin\left(\frac{2\pi t}{40}\right) + 2.7 & (t > 0) \end{cases}$
00010000	指数衰减正弦信号	$f(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 3.3e^{\frac{-t}{440}} \sin\left(\frac{2\pi t}{40}\right) + 3 & (t > 0) \end{cases}$
00001000	抽样信号	$Sa(t) = \frac{7 \sin\left(\frac{2\pi t}{120}\right)}{\frac{2\pi t}{120}} + 1.5$
00000100	钟形信号	$f(t) = 4.8e^{-\left(\frac{t}{280}\right)^2}$

三、实验仪器

数字信号处理模块(S4)	1 块
双踪示波器	1 台

四、实验步骤

预备工作：将拨码开关 SW1 置为 00000001(开关拨上为 1,开关拨下为 0)，打开实验箱和模块电源,按下复位键 S2 加载常用信号观测功能。将 S3 拨为 00000000。

1. 用示波器观测指数信号波形,并分析其所对应的 a 、 K 参数

(1) 拨码开关 S3 第 1 位拨为“1”,其他开关拨为“0”。用示波器在 TP1 处观测输出的指数增长信号,并分析其对应的频率和 a 、 K 参数。

(2) 拨码开关 S3 第 2 位拨为“1”,其他开关拨为“0”。观测指数衰减信号波形的变化,分析原因。

2. 指数正弦信号观测

(1) 拨码开关 S3 第 3 位拨为“1”,其他开关拨为“0”。用示波器在 TP1 处观测输出的指数增长正弦信号。

(2) 拨码开关 S3 第 4 位拨为“1”,其他开关拨为“0”。观测指数衰减信号波形变化情况,分析原因。

3. 抽样信号观测

拨码开关 S3 第 5 位拨为“1”,其他开关拨为“0”。用示波器在 TP1 处观测输出的抽样信号。

4. 钟形信号观测

拨码开关 S3 第 6 位拨为“1”,其他开关拨为“0”。用示波器在 TP1 处观测输出的钟形信号。

注意：该实验不要将拨码开关 S3 的第 7 位和第 8 位拨为“1”。

五、实验报告

用坐标纸画出各波形。



视频

实验二 阶跃响应与冲激响应

一、实验目的

1. 观测 RLC 串联电路的阶跃响应与冲激响应的波形和有关参数,并研究其电路元件参数变化对响应状态的影响。
2. 掌握有关信号时域的测量分析方法。

二、实验原理

以单位冲激信号 $\delta(t)$ 作为激励, LTI 连续系统产生的零状态响应称为单位冲激响应, 简称冲激响应, 记为 $h(t)$ 。冲激响应示意图如图 2-2-1 所示。

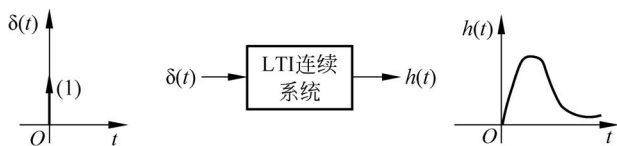


图 2-2-1 冲激响应示意图

以单位阶跃信号 $u(t)$ 作为激励, LTI 连续系统产生的零状态响应称为单位阶跃响应, 简称阶跃响应, 记为 $g(t)$ 。阶跃响应示意图如图 2-2-2 所示。

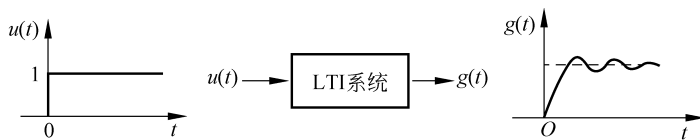


图 2-2-2 阶跃响应示意图

阶跃激励与阶跃响应的关系可表示为

$$g(t) = H[u(t)] \quad \text{或} \quad u(t) \rightarrow g(t) \quad (2-2-1)$$

RLC 串联电路的阶跃响应电路与冲激响应实验电路连接示意图如图 2-2-3 所示。其响应有以下三种状态:

- (1) 当电阻 $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 称为过阻尼状态;
- (2) 当电阻 $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 称为临界状态;
- (3) 当电阻 $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 时, 称为欠阻尼状态。

响应的动态指标(图 2-2-4)如下:

上升时间 t_r : $y(t)$ 从 0 到第一次达到稳态值 $y(\infty)$ 所需的时间。

峰值时间 t_p : $y(t)$ 从 0 上升到 $y_{\max}$ 所需的时间。

调节时间 t_s : $y(t)$ 的振荡包络线进入稳态值的 $\pm 5\%$ 误差范围所需的时间。

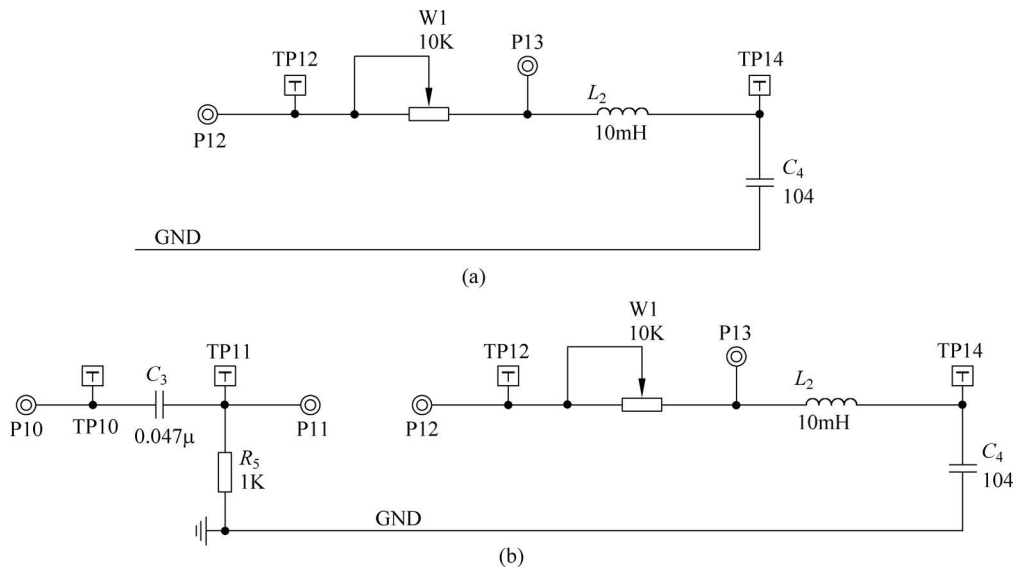


图 2-2-3 阶跃响应电路和冲激响应电路连接示意图

最大超调量 δ_p : $\delta_p = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$ (2-2-2)

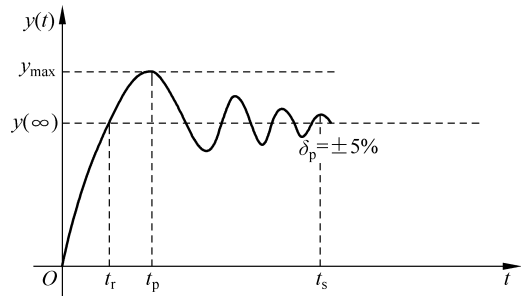


图 2-2-4 响应指标示意图

冲激信号是阶跃信号的导数,即

$$g(t) = \int_{0^-}^t h(\tau) d\tau$$

所以对线性时不变电路冲激响应也是阶跃响应的导数。

为便于用示波器观测响应波形,实验中用周期方波代替阶跃信号,用周期方波通过微分电路后得到的尖顶脉冲代替冲激信号。

三、实验仪器

信号源和频率计模块(S2)	1 块
一阶网络模块	1 块
数字万用表	1 台
双踪示波器	1 台

四、实验步骤

1. 阶跃响应的波形观测量

设激励信号为方波,频率为 500Hz。阶跃响应电路连接如图 2-2-3(a)所示。

(1) 调整激励信号源为方波(从模块 S2 的 P2 引出方波信号),调节 ROL1,使频率计示数 $f=500\text{Hz}$ 。

(2) 连接模块 S2 的方波信号输出端 P2 至模块 S5 中的 P12。

(3) 示波器的 CH1 接于 TP14,调整 W1,使电路分别工作于欠阻尼、临界和过阻尼三种状态,观测各种状态下的激励信号与响应信号波形,用万用表测量与波形对应的电阻值(测量时应断开电源),并将实验数据填入表 2-2-1。

(4) TP12 为输入信号波形的测量点,可把示波器的 CH2 接于 TP12,便于波形比较。

表 2-2-1 阶跃响应电路工作于三种状态下的实验数据

参数测量和波形	欠阻尼状态 $\left(R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$	临界状态 $\left(R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$	过阻尼状态 $\left(R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$
参数测量	$R =$	$R =$	$R =$
TP12 激励波形			
TP14 响应波形			

注:描绘波形要使三种状态的 X 轴坐标(扫描时间)一致。

2. 冲激响应的波形观测

冲激信号是由阶跃信号经过微分电路得到 P10。冲激响应电路连接如图 2-2-3(b)所示。

(1) 将方波输入信号输入接于 P10(输入信号频率与幅度不变)。

(2) 连接 P11 与 P12。

(3) 将示波器的 CH1 接于 TP11,观测经微分后 TP14 输出的响应波形(等效为冲激激励信号)。

(4) 将示波器的 CH2 接于 TP14,调整 W1,使电路分别工作于欠阻尼、临界和过阻尼三种状态。

(5) 观测电路处于以上三种状态下的激励信号与响应信号的波形,并填入表 2-2-2。

表 2-2-2 冲激响应电路工作于三种状态下的实验数据

参数测量和波形	欠阻尼状态 $\left(R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$	临界状态 $\left(R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$	过阻尼状态 $\left(R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}\right)$
参数测量	$R =$	$R =$	$R =$
TP11 激励波形			
TP14 响应波形			

五、实验报告

1. 描绘同样时间轴阶跃响应与冲激响应的输入、输出电压波形时,要标明信号幅度 A 、周期 T 、方波脉宽 T_1 以及微分电路的 τ 值。

2. 分析实验结果,说明电路参数变化对状态的影响。



视频

实验三 连续时间系统的模拟

一、实验目的

1. 了解基本运算器——比例放大器、加法器和积分器的电路结构和运算功能。
2. 掌握用基本运算单元模拟连续时间一阶系统原理与测试方法。

二、实验原理

1. 线性系统的模拟

系统的模拟就是用由基本运算单元组成的模拟装置来模拟实际的系统。这些实际系统可以是电或非电的物理量系统,也可以是社会、经济和军事等非物理量系统。模拟装置可以与实际系统的内容完全不同,但是两者的微分方程完全相同,输入、输出关系即传输函数也完全相同。模拟装置的激励和响应是电物理量,而实际系统的激励和响应不一定是电物理量,但它们之间的关系是一一对应的。所以,可以通过对模拟装置的研究来分析实际系统,最终达到一定条件下确定最佳参数的目的。

本实验系统的模拟就是由基本的运算单元(放大器、加法器、积分器等)组成的模拟装置模拟实际系统传输特性。

2. 基本运算电路

比例放大器(图 2-3-1):

$$u_o = \frac{R_2}{R_1} u_i \quad (2-3-1)$$

加法器(图 2-3-2):

$$u_o = -\frac{R_2}{R_1}(u_{i1} + u_{i2}) = -(u_{i1} + u_{i2}), \quad R_1 = R_2 \quad (2-3-2)$$

积分器(图 2-3-3):

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int u_i dt \quad (2-3-3)$$

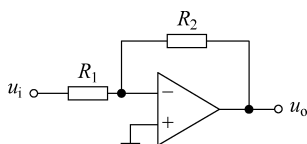


图 2-3-1 比例放大电路连接示意图

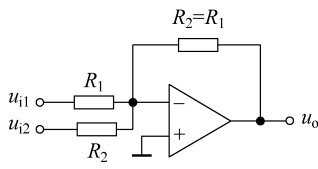


图 2-3-2 加法器电路连接示意图

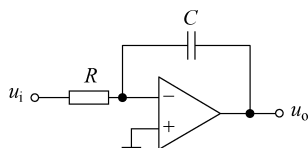


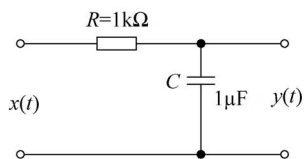
图 2-3-3 积分器电路连接示意图

3. 一阶系统的模拟

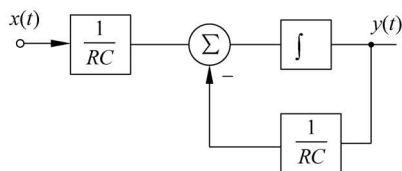
一阶 RC 电路如图 2-3-4(a)所示,可用以下方程描述:

$$\frac{dy(t)}{dt} + \frac{1}{RC}y(t) = \frac{1}{RC}x(t) \quad (2-3-4)$$

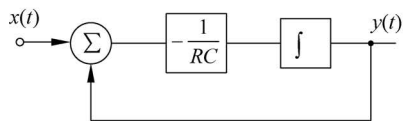
其模拟框图如图 2-3-4(b)和(c)所示,它们在数学关系上是等效的。其一阶系统模拟实验电路如图 2-3-4(d)所示。



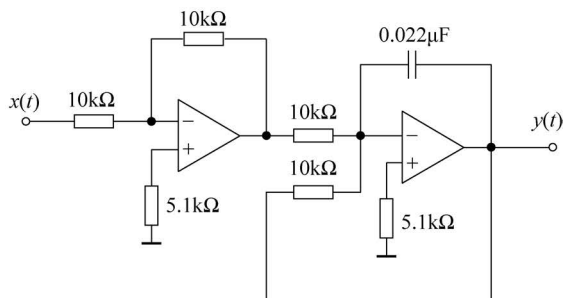
(a) 一阶 RC 电路图



(b) 一阶系统模拟框图(一)



(c) 一阶系统模拟框图(二)



(d) 一阶系统模拟实验电路图

图 2-3-4 一阶系统的模拟

三、实验仪器

双踪示波器	1 台
数字万用表	1 块
电压表和直流信号源模块 ①	1 块
信号源和频率计模块 ②	1 块
基本运算单元和连续系统模拟模块 ⑨	1 块

四、实验步骤

在实验模块 ⑨ 上, U1 和 U2 为运算放大器。P1、P2 为 U1 的输入端口, P3 为 U1 的输出端口; P4、P5 为 U2 的输入端口, P6 为 U2 的输出端口。根据需要可将可供选择的电阻、电容及电感进行连接。U1 与 U2 的电路图如图 2-3-5 所示。

1. 加法器的观测

(1) 按图 2-3-6 连接实验电路。

(2) 将模块 ① 的直流输出 1(P₁)和直流输出 2(P₂)分别接至加法器的 u_{i1} 和 u_{i2} 。适当调节 ① 模块中的 W_1 、 W_2 , 并记录 P₁ 和 P₂ 的电压值。

(3) 用万用表测量输出 u_o 端电压。验证在反相加法器中输出电压是否为两路输入电压之和取反相, 完成表 2-3-1。

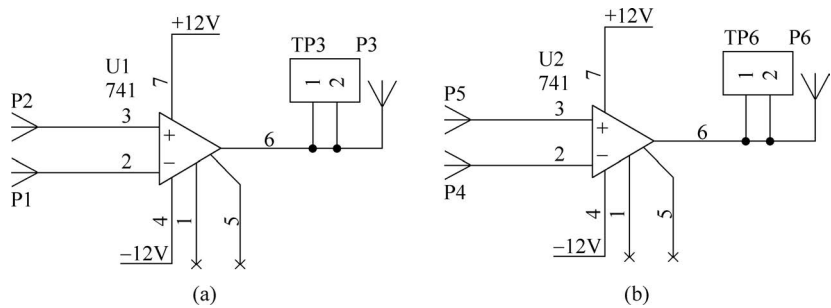


图 2-3-5 U1、U2 的电路图

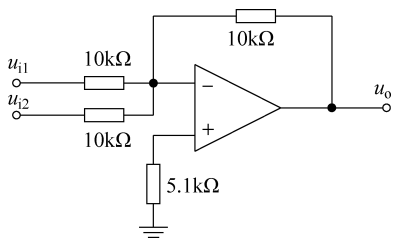


图 2-3-6 加法器实验电路图

表 2-3-1 实验结果

输 入 一		输 入 二		输 出	
电压/V	波形	电压/V	波形	电压/V	波形

注：有兴趣的学生，可以将输入信号改为幅度 2V、频率 500Hz 的方波，再观测输入及输出波形。还可以自行改变反馈接法，得到同相加法器，然后进行实验。

2. 比例放大器的观测

(1) 按图 2-3-7 连接实验电路。 R_1 、 R_2 可选择两组不同的电阻值以改变放大比例。

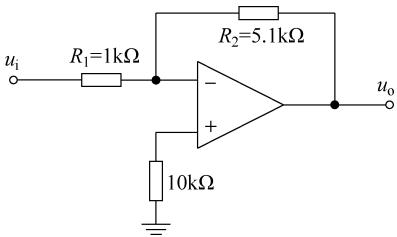


图 2-3-7 比例放大器实验电路图

(2) 信号发生器产生幅度 1V、频率 1kHz 的正弦波送入输入端，用示波器同时观测输入、输出波形并比较，完成表 2-3-2。

表 2-3-2 实验结果

电 阻		输 入		输 出	
		电压/V	波形	电压/V	波形
①	$R_1=1\text{k}\Omega$				
	$R_2=5.1\text{k}\Omega$				