

## 常见信号频谱与连续系统模拟的 Multisim 仿真实验

### 一、实验目的

- (1) 学习使用虚拟仪器测量信号频谱的方法，加深信号频谱的概念理解；
- (2) 学习根据给定的连续系统的传输函数，用基本运算单元组成模拟系统。

### 二、实验仪器

科学软件:MATLAB、Labview、Multisim 等

Multisim 仿真软件概述

Multisim 是由美国国家仪器 (NI) 有限公司推出的一款基于 Windows 操作系统的仿真工具，专门用于板级的模拟/数字电路板设计工作。Multisim 具备丰富的仿真分析能力，允许工程师通过交互式的方式搭建电路原理图并进行仿真。

虚拟仪器有功能 (示波器、信号源、频谱仪、波特仪等)。

### 三、实验原理

- (1) 信号频谱

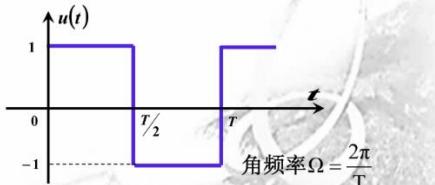


### 3. 实验原理

#### (1) 信号频谱

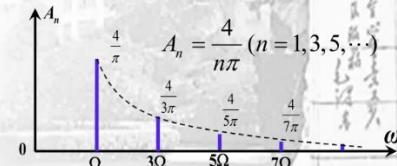
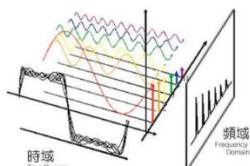
##### 方波信号的频谱

方波傅里叶级数展开:



$$\text{角频率 } \Omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$u(t) = \frac{4}{\pi} \left( \sin \Omega t + \frac{1}{3} \sin 3\Omega t + \frac{1}{5} \sin 5\Omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\Omega t \right) \quad (n=1,3,5,\dots)$$



$$u(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\Omega t + \varphi_n)$$

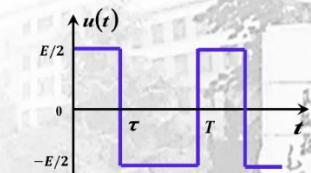
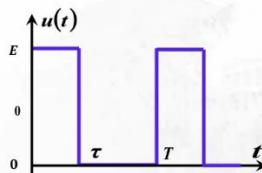
上述方波的直流分量为0，偶次谐波为零，仅有奇次谐波。

电工电子国家级实验教学示范中心 (西安电子科技大学) 电路、信号与系统实验室

#### 不同占空比矩形脉冲波的幅度谱

周期信号的频谱是以基频 $\Omega$ 为间隔的离散谱线，下图所示

脉冲波周期为 $T$ ，峰峰值为 $E$ ，脉宽为 $\tau$

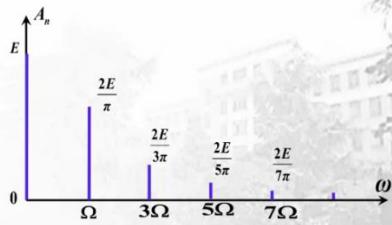


其 $n$ 次谐波的幅度 $A_n$ 表达式为

$$A_n = \frac{2E\tau}{T} \left| \frac{\sin(n\pi\tau/T)}{n\pi\tau/T} \right| \quad \text{占空比} = \frac{\tau}{T} \times 100\%$$

电工电子国家级实验教学示范中心 (西安电子科技大学) 电路、信号与系统实验室

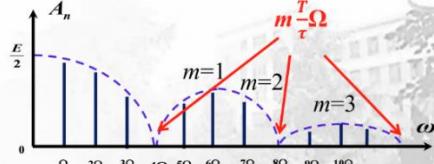
### 占空比50%脉冲波的幅度谱



$$A_n = \frac{2E\tau}{T} \operatorname{Sa}\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right)$$

电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

### 占空比25%脉冲波的幅度谱



$$A_n = \frac{2E\tau}{T} \operatorname{Sa}\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right)$$

电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

## (2) 连续系统模拟

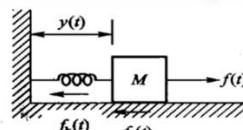
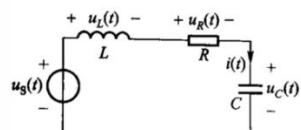
在 Multisim 里采用基本运算模块组成的模拟系统来模拟实际系统，并对该模拟系统进行虚拟仿真。

实际系统：可以是物理（电的或非电的），也可以是非物理系统（社会，经济类的）。

模拟系统：在仿真软件中采用积分器、加法器和乘法器等运算模块为描述实际系统而构成的虚拟电路系统。



## 3. 实验原理



$$u_c''(t) + \frac{R}{L}u_c'(t) + \frac{1}{LC}u_c(t) = \frac{1}{LC}u_s(t)$$

$$y''(t) + \frac{\alpha}{M}y'(t) + \frac{K}{M}y(t) = \frac{1}{M}f(t)$$

数学模型

微分方程  
系统框图  
传输函数

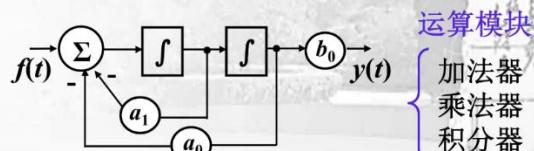
模拟仿真的前提：建立实际系统的数学模型。

电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

微分方程  $y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 f(t)$

传输函数  $H(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$

系统框图

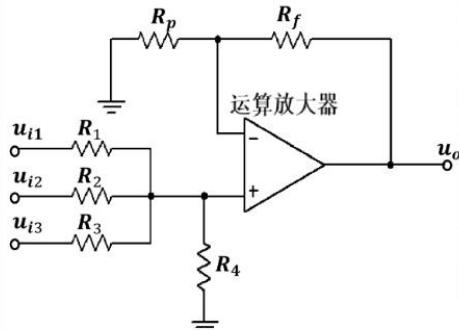


运算模块  
加法器  
乘法器  
积分器

电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

### (3) 运算模块

#### ① 加法器



当  $R_f = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$

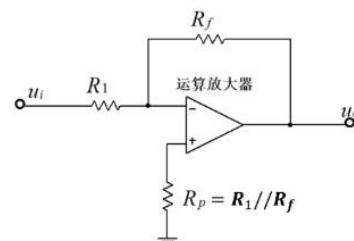
$R_p = R_1 // R_2 // R_3 = R/3$

此时

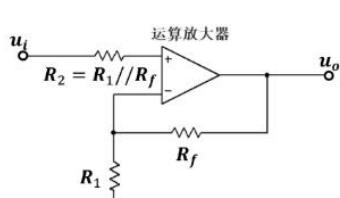
$$u_o = u_{i1} + u_{i2} + u_{i3}$$

电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

#### ② 乘法器



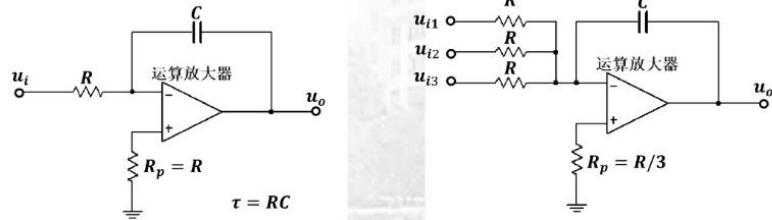
$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot u_i$$



$$u_o = (1 + \frac{R_f}{R_1}) \cdot u_i$$

电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

## ① 积分器



$$u_o = -\frac{1}{\tau} \int u_i dt$$

$$u_o = -\frac{1}{\tau} \int (u_{i1} + u_{i2} + u_{i3}) dt$$

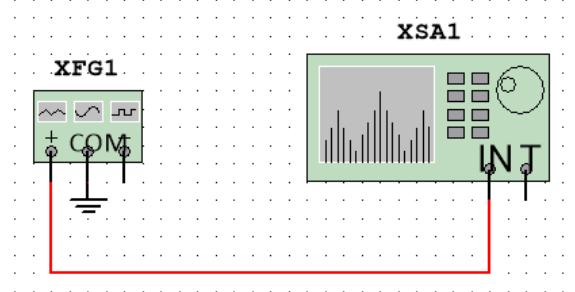
★ 电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学）★ 电路、信号与系统实验室

### (4) 连续系统模拟仿真步骤

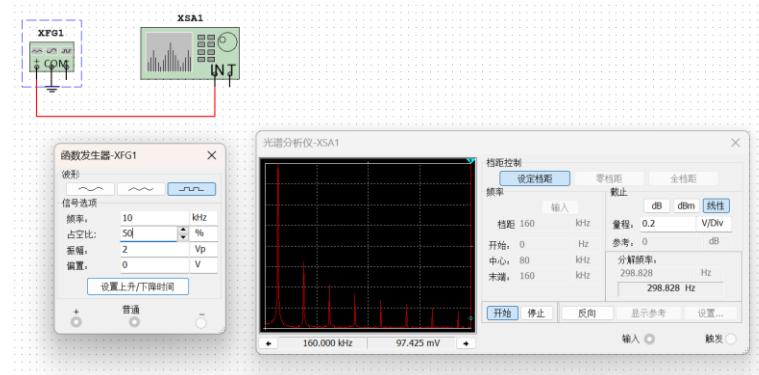
- <1>对实际系统建模，采用系统框图来描述；
- <2>搭建实际系统的模拟电路图，一般由积分器、加法器、乘法器等组成；
- <3>接入虚拟仪器并合理设置观测参数，观察并记录。

## 四、实验内容

- (1) 练习利用虚拟频谱仪 (spectrum analyzer) 观察信号频谱。



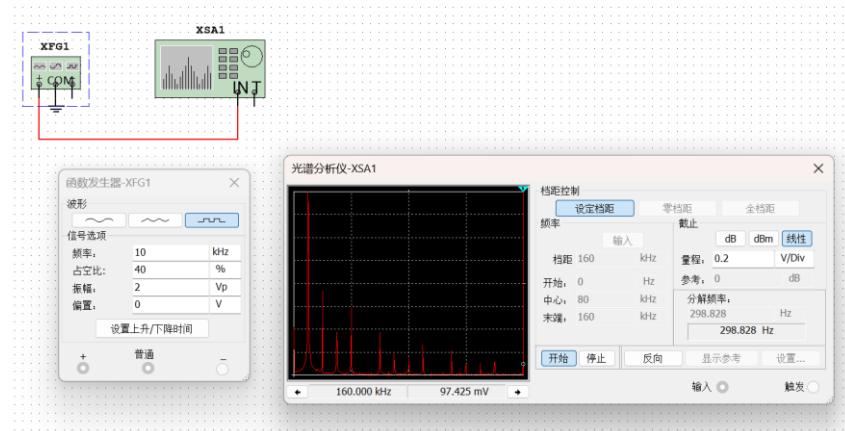
<1>信号源输出方波，峰峰值  $U_{pp}=4.0V$ ，频率  $f=10.0KHz$ :



方波 ( $T=50\%$ ) 频谱的测量 (8 个分量)

谐波次数	1	3	5	7	9	11	13	15
A (V)	2.546	0.849	0.509	0.363	0.282	0.231	0.195	0.169

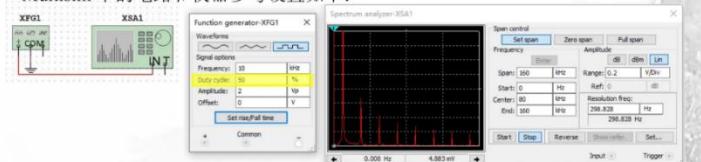
<2>信号源输出矩形脉冲波，峰峰值  $U_{pp}=4.0V$ ，频率  $f=10.0KHz$ ，占空比为 40%:



脉冲波 ( $T=40\%$ ) 频谱的测量 (15 个分量)

谐波次数	1	2	3	4	5	6	7	8
A (V)	0.419	1.645	0.732	0.372	0.591	0.007	0.377	0.197
谐波次数	9	10	11	12	13	14	15	
A (V)	0.154	0.262	0.004	0.214	0.095	0.104	0.113	

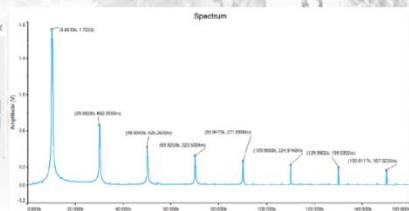
Multisim 中的电路和仪器参考设置如下:



FFT 参考设置如下:

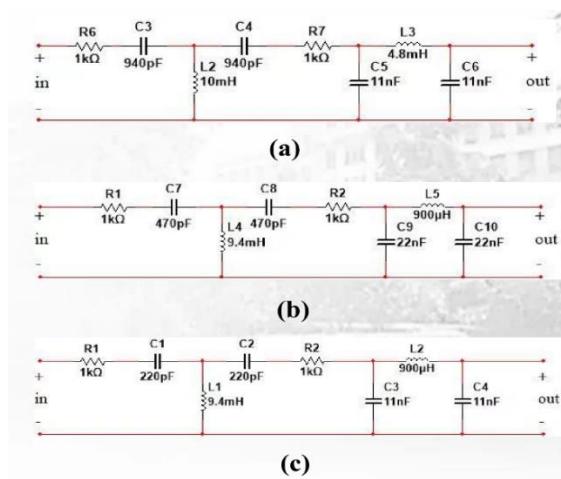


View 菜单下 Grapher 工具也可观察频谱。

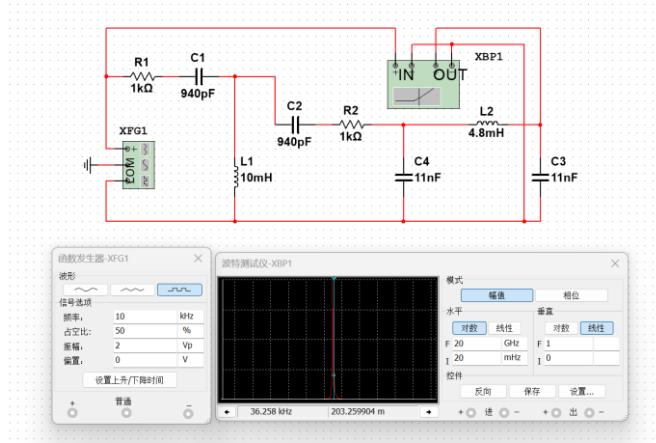


电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

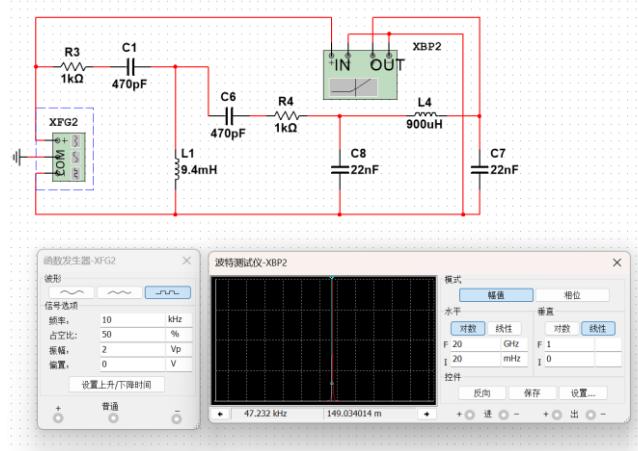
(2) 以下为三个不同的窄带滤波器，利用 Multisim 的虚拟仪器观察其传输特性，分析并给出结论。



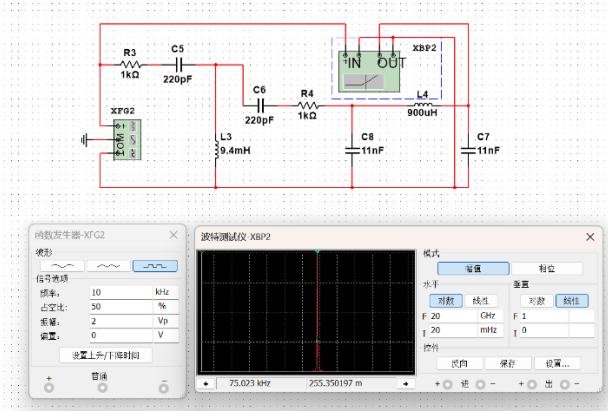
<1> a 电路实验图像



<2>b 电路实验图像



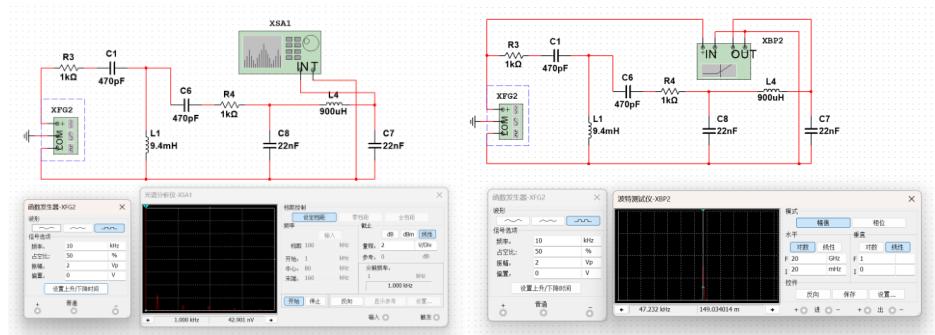
<3>c 电路实验图像



经分析，a, b, c 电路都是带通滤波器，但区别是，三种滤波器的中心频率不一。从表现上来看，a 电路更像是低频带通滤波器，c 电路更像是高频带通滤波器，而 b 电路的频率介于 a, c 电路之间。

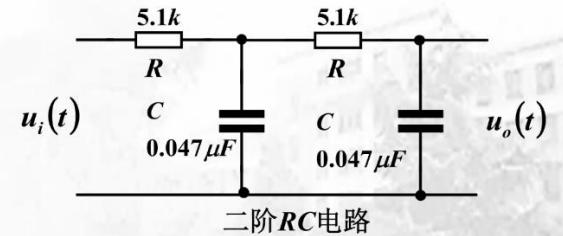
(3) 设置方波信号 ( $f=10\text{kHz}$ ,  $U_{pp}=4\text{V}$ )，从上述滤波器中选择合适的分别滤取出方波的三次、五次、七次谐波分量。分别使用虚拟示波器和频谱仪观测时域波形和信号频谱，分析并给出结论。

<1>图像如图所示：

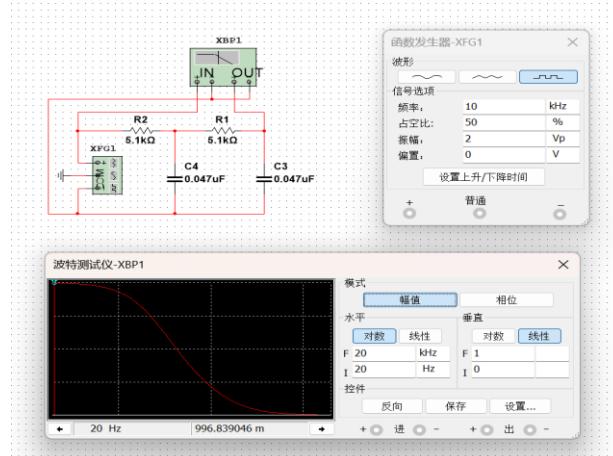


经分析，选取了 b 电路进行验证带通滤波器。通过验证，基本可以证明，b 电路是带通滤波器。

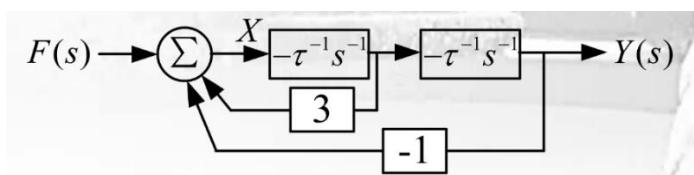
(4) 完成如图实际二阶 RC 低通电路的模拟，观察其频率特性，分析并给出结论。



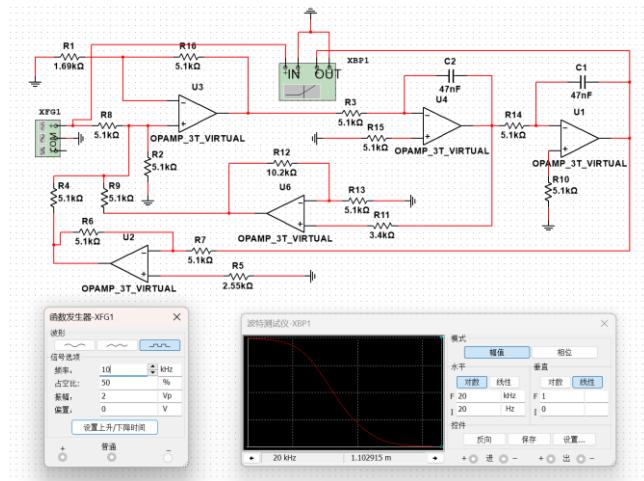
<1>它是一个低通滤波器电路，仅仅允许低频信号通过，高频信号不通过。实验如下图：



(5) 理论分析上题电路与下图框图的关系，利用 Multisim 实现框图，观察其频率特性，分析并给出结论。



<1>实验结果如下图：



<2>通过对比，发现两电路最终图像及各项数值基本吻合，说明仿真效果好，电路一致。

## 五、实验要求

电子报告须对仿真过程中的模型截图和曲线截图进行整理、编辑和说明。