

西安电子科技大学

电路、信号与系统实验（II）课程实验报告

实验名称 _____

_____ 学院 _____ 班
姓 名 _____
学 号 _____
座 位 号 _____ 日期 _____

成 绩

指导教师评语：

(1) 书写工整, 格式规范

很好 较好 一般 基本符合要求 不符合要求

(2) 实验内容完整, 记录数据正确

很好 较好 一般 基本符合要求 不符合要求

(3) 数据计算正确, 曲线绘制正确

很好 较好 一般 基本符合要求 不符合要求

(4) 误差分析, 实验结论

很好 较好 一般 基本符合要求 不符合要求

(5) 回答问题正确

很好 较好 一般 基本符合要求 不符合要求

指导教师：

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

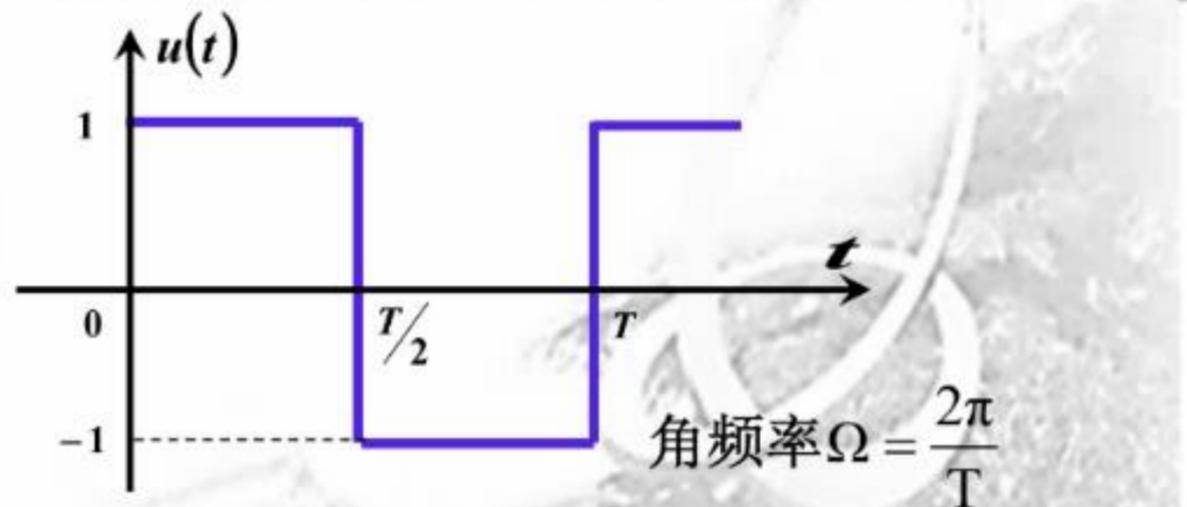


3. 实验原理

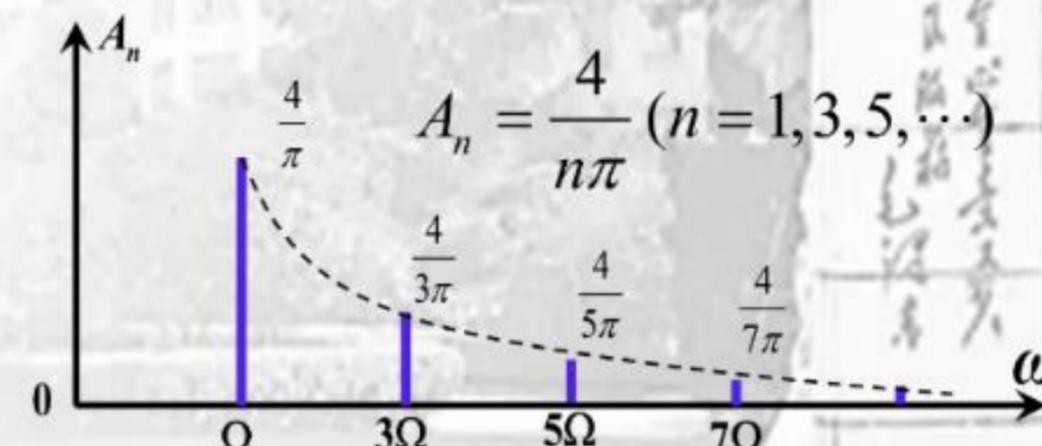
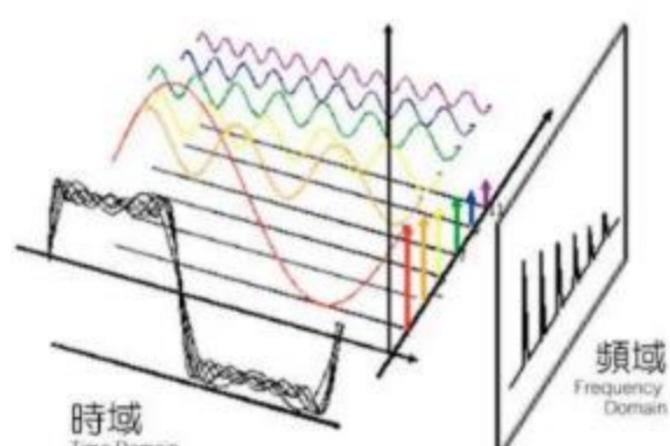
(1) 信号频谱

方波信号的频谱

方波傅里叶级数展开:



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



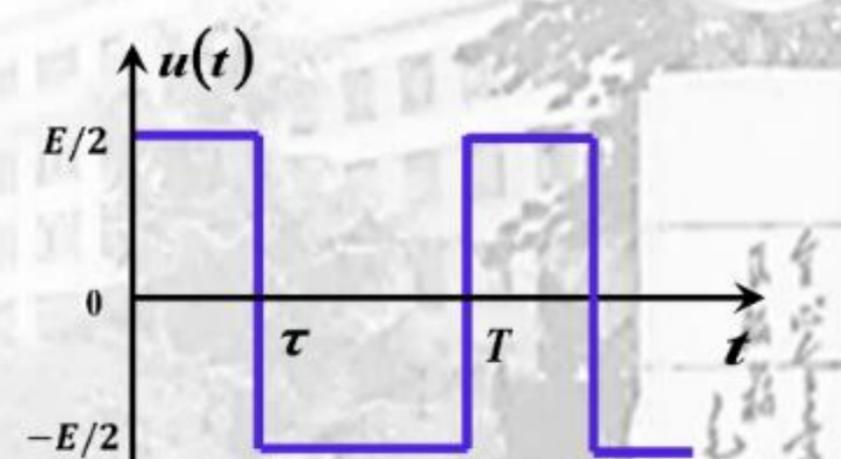
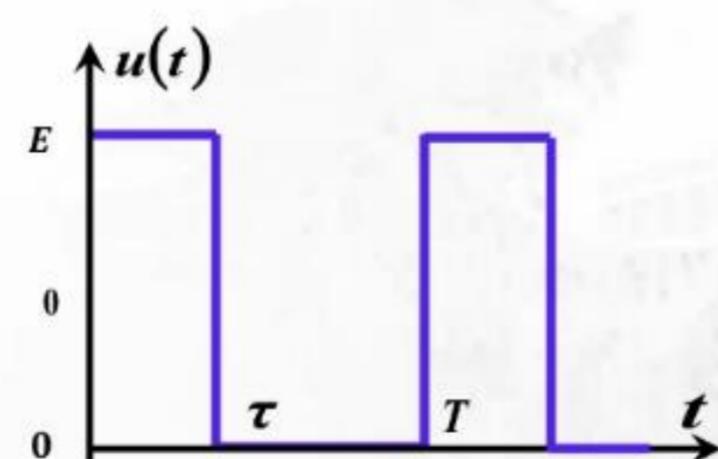
$$u(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\Omega t + \varphi_n)$$

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 Ω 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 τ

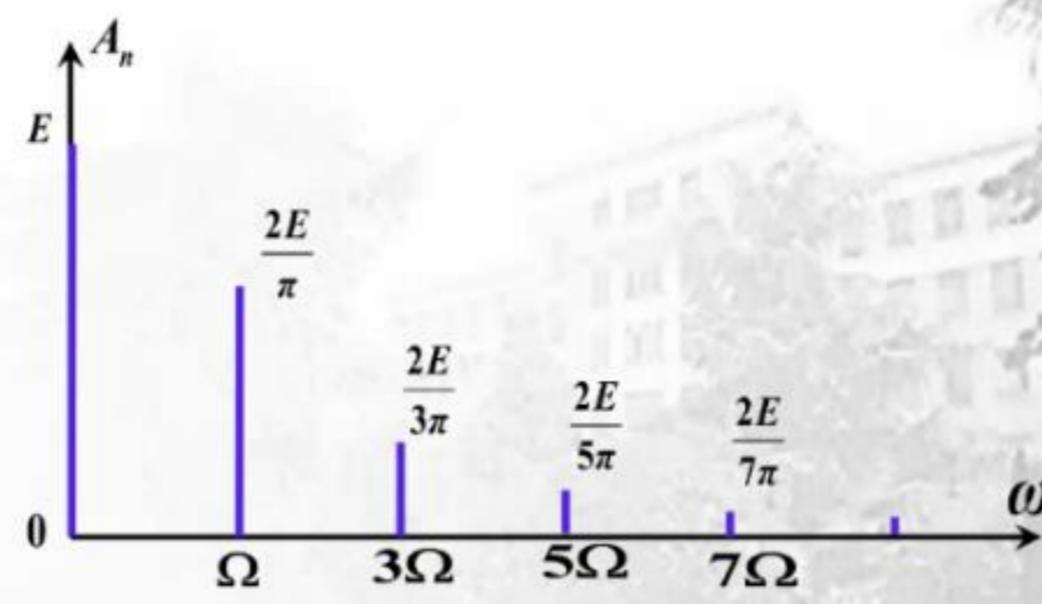


其 n 次谐波的幅度 A_n 表达式为

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

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

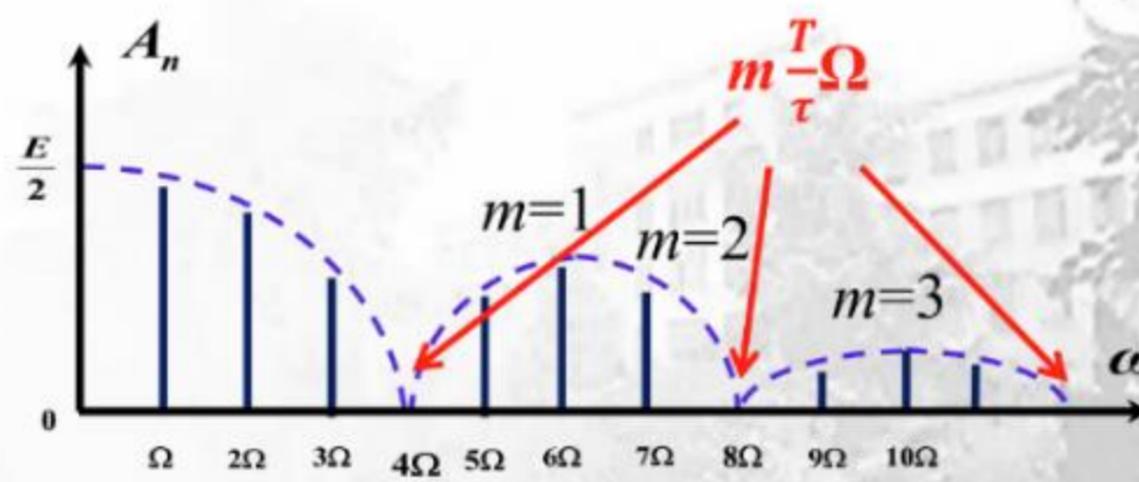
占空比50%脉冲波的幅度谱



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

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



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

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

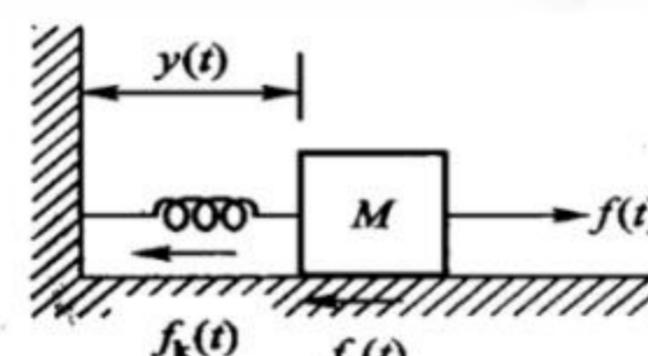
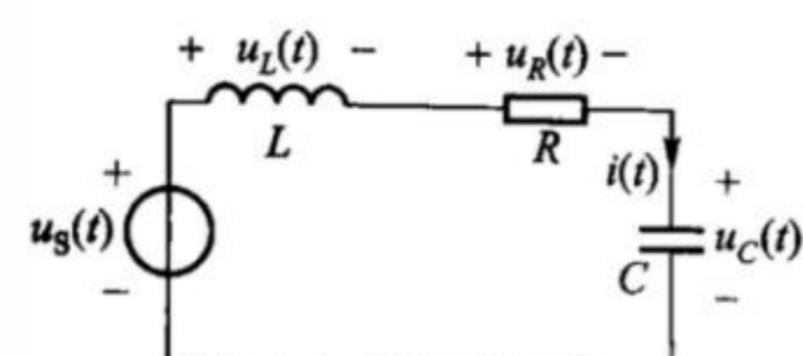
在 Multisim 里采用基本运算模块组成的模拟系统来模拟实际系统，并对该模拟系统进行虚拟仿真。

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

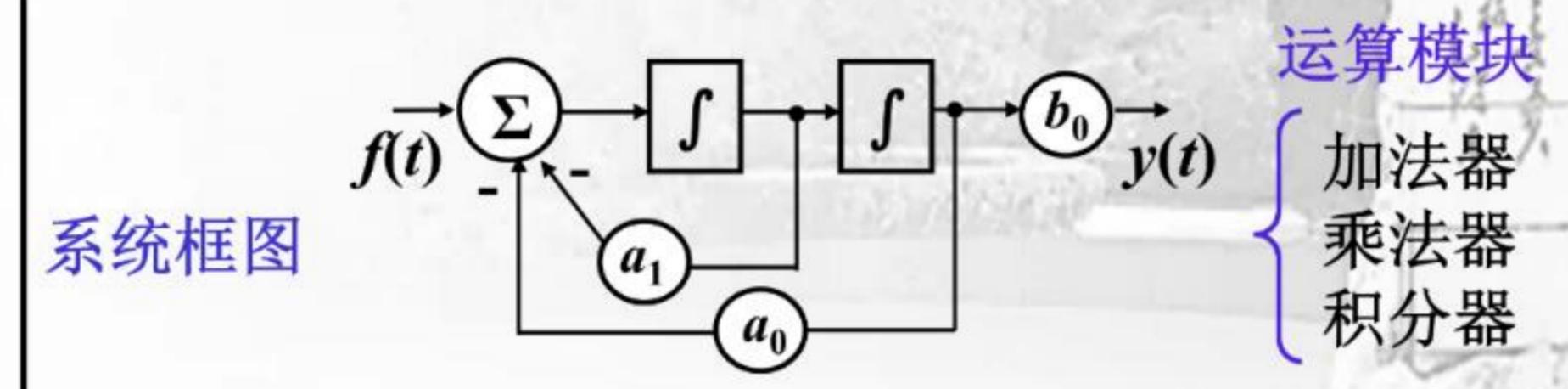
微分方程
系统框图
传输函数

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

$$\text{微分方程 } y''(t) + a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 f(t)$$

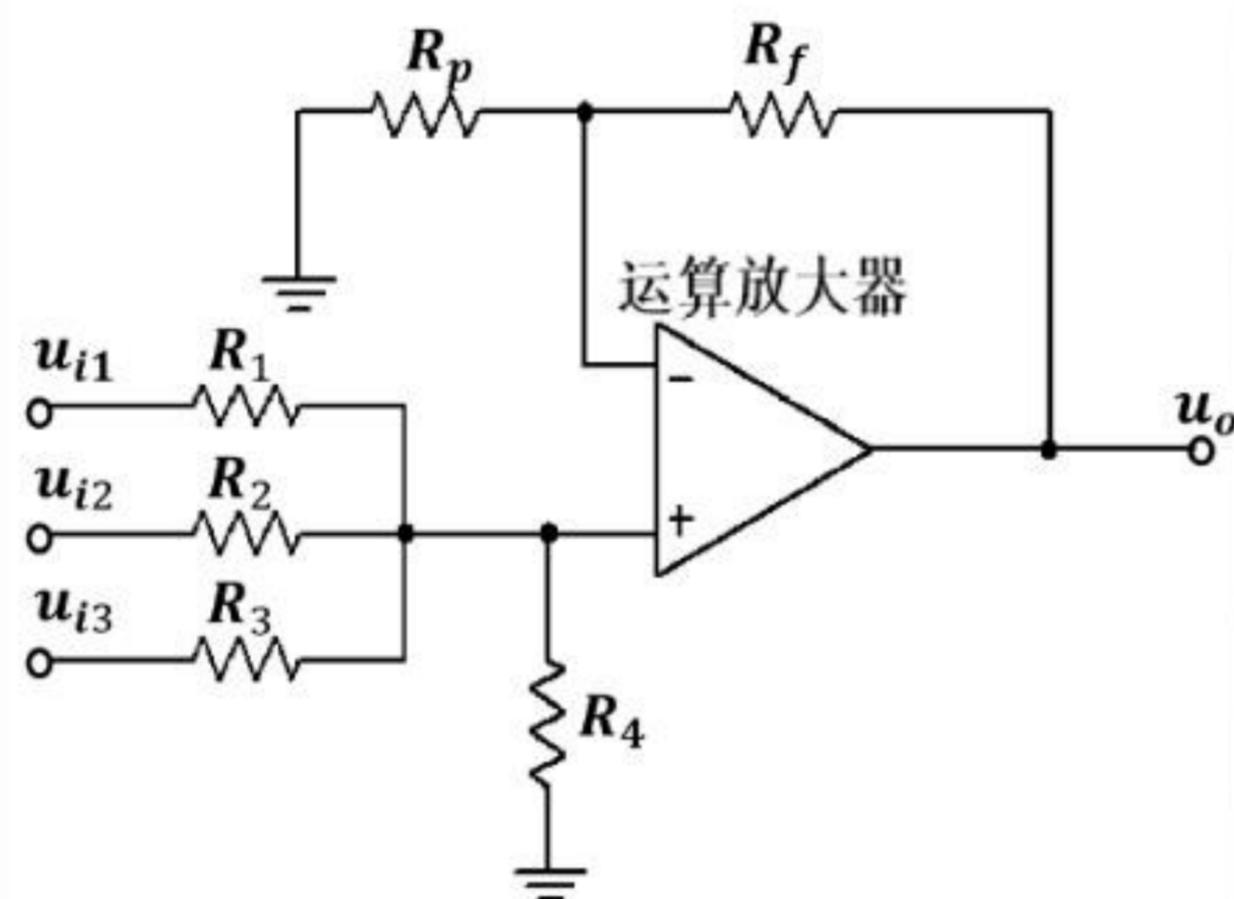
$$\text{传输函数 } H(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}$$



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



$$\text{当 } R_f = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$$

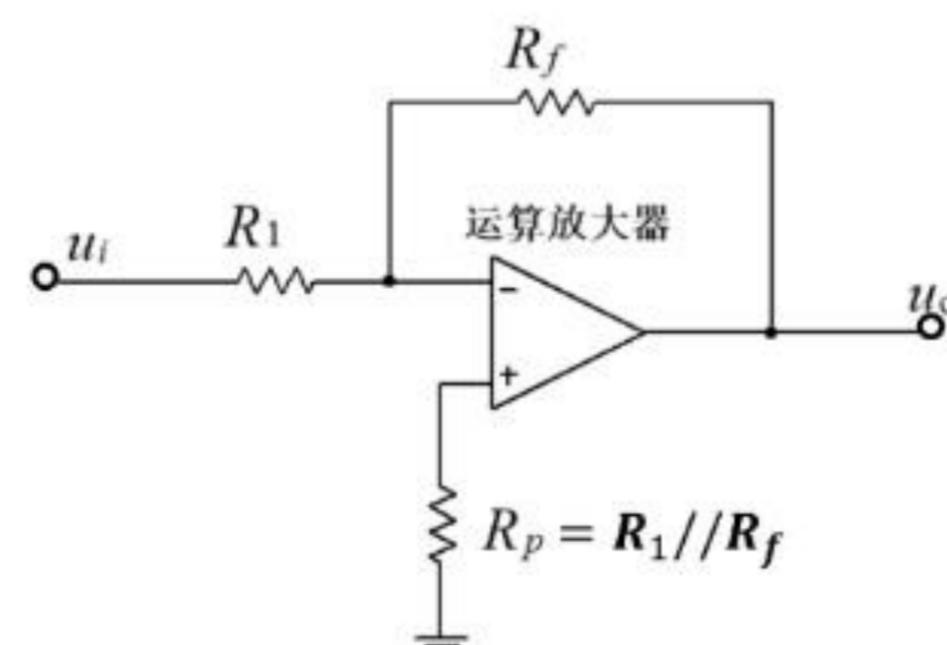
$$R_p = R_1 // R_2 // R_3 = R/3$$

此时

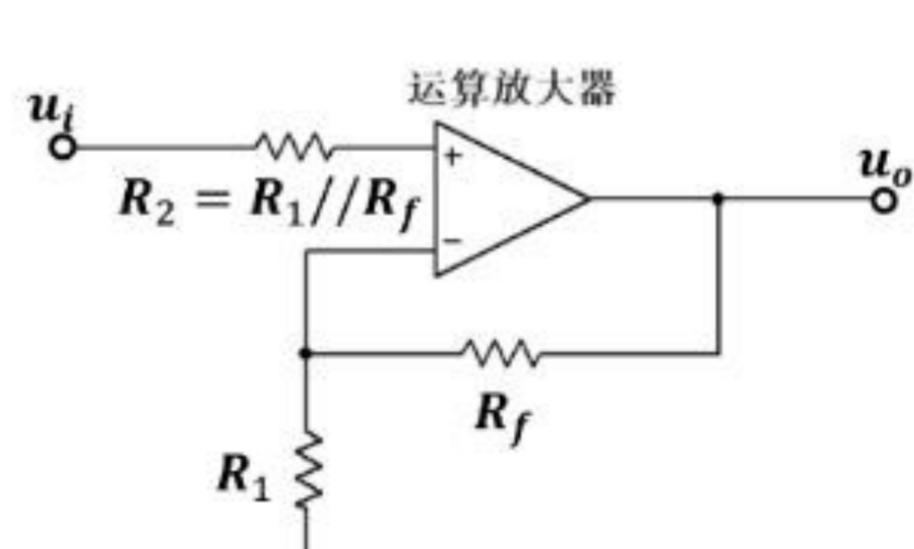
$$u_o = u_{i1} + u_{i2} + u_{i3}$$

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



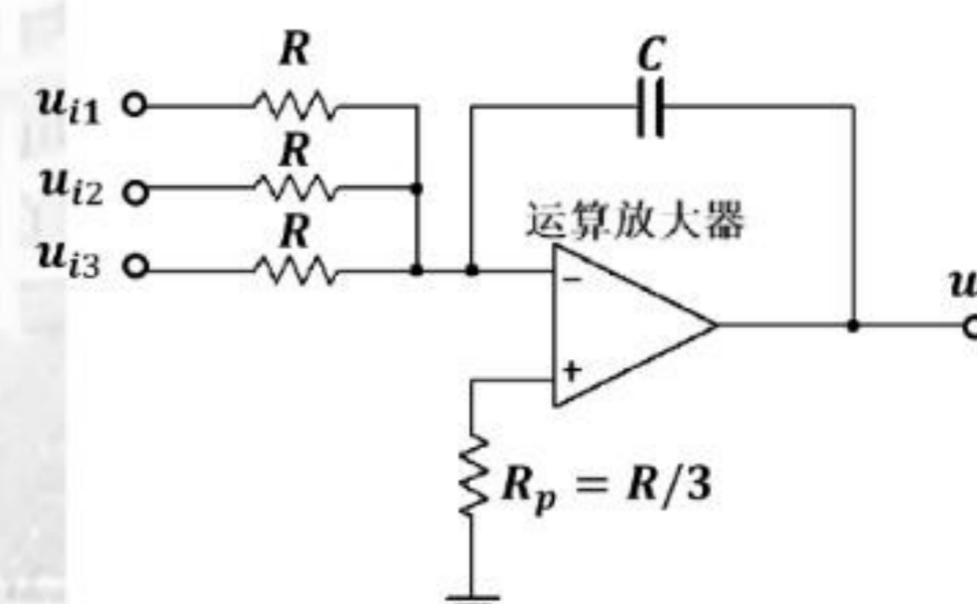
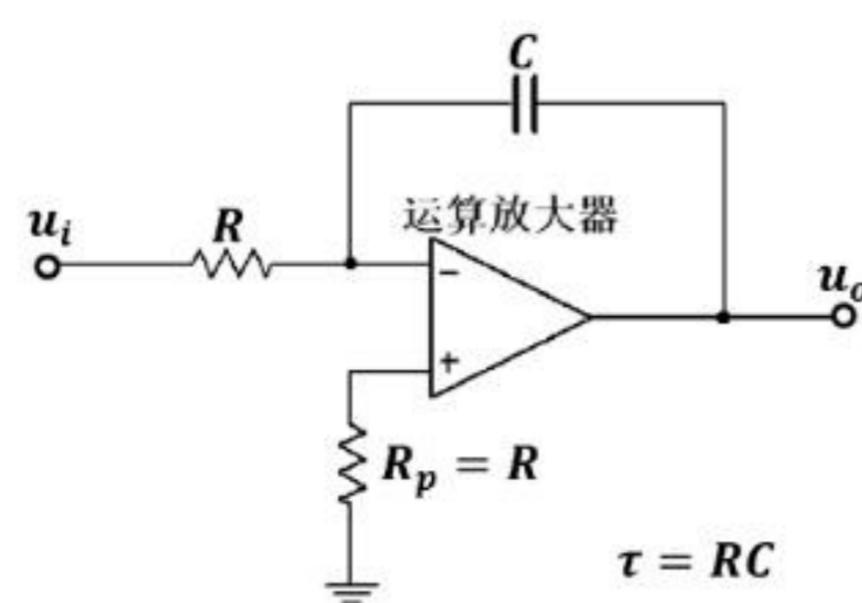
$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot u_i$$



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

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



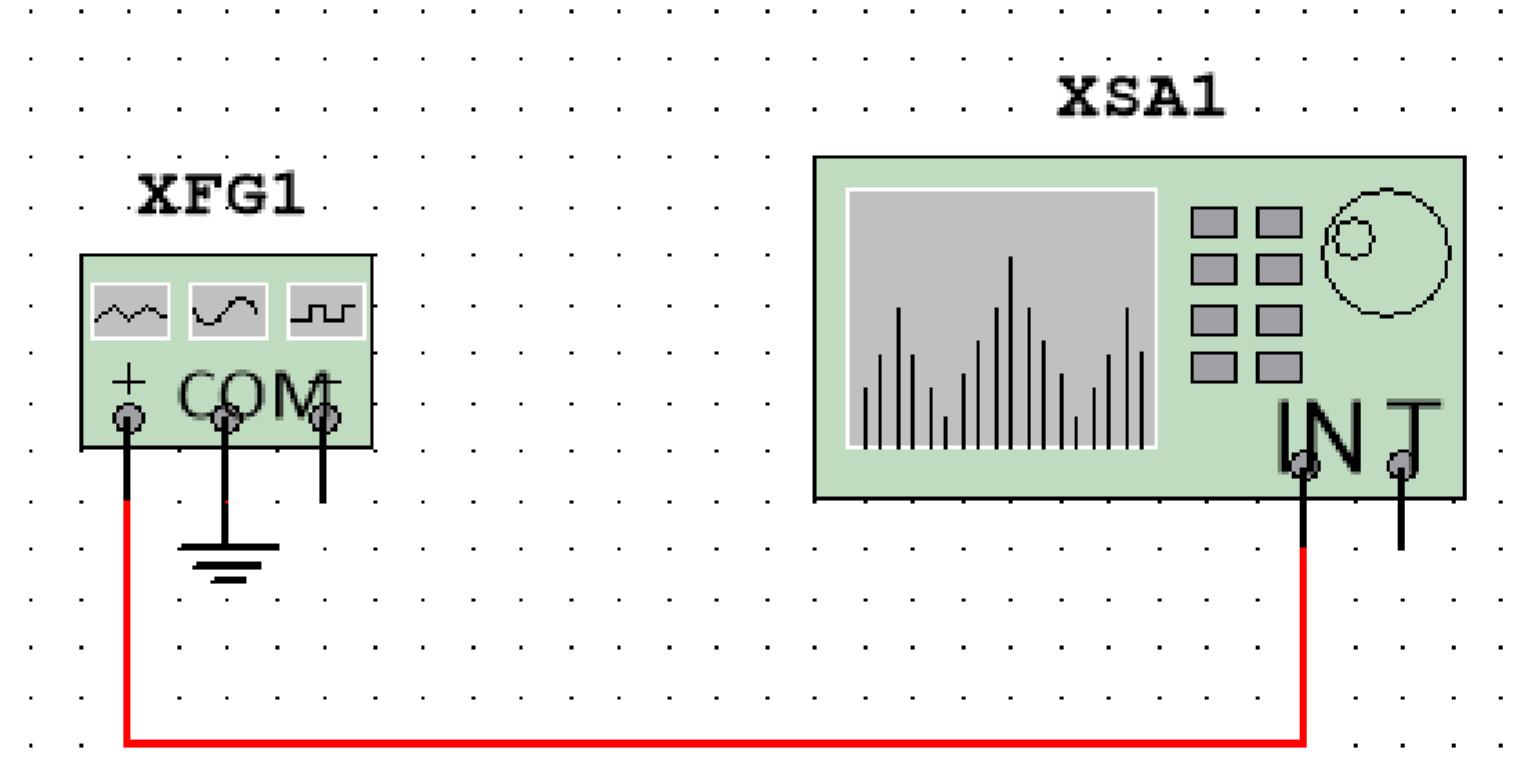
电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学） 电路、信号与系统实验室

(4) 连续系统模拟仿真步骤

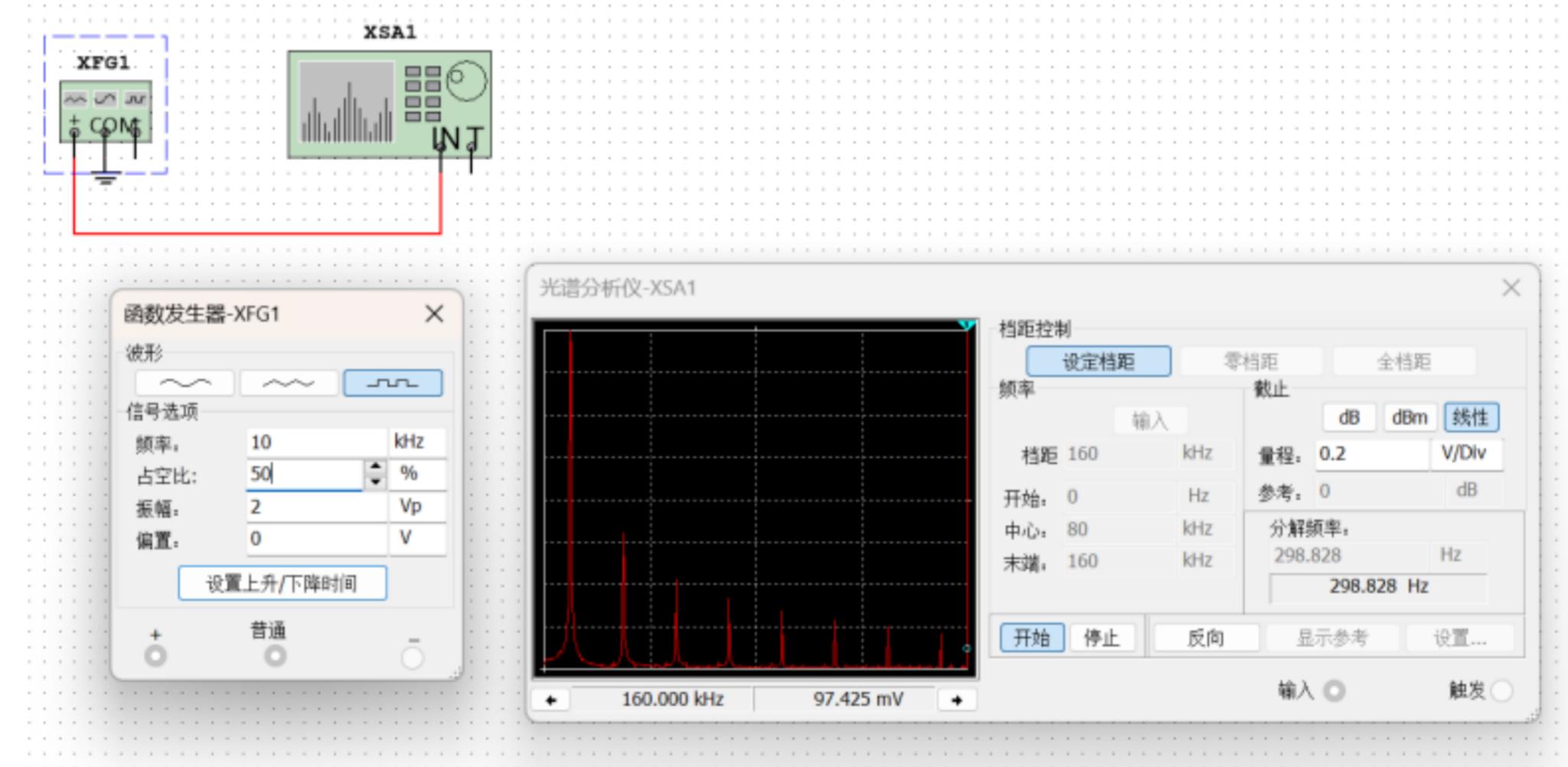
- <1>对实际系统建模，采用系统框图来描述；
- <2>搭建实际系统的模拟电路图，一般由积分器、加法器、乘法器等组成；
- <3>接入虚拟仪器并合理设置观测参数，观察并记录。

四、实验内容

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



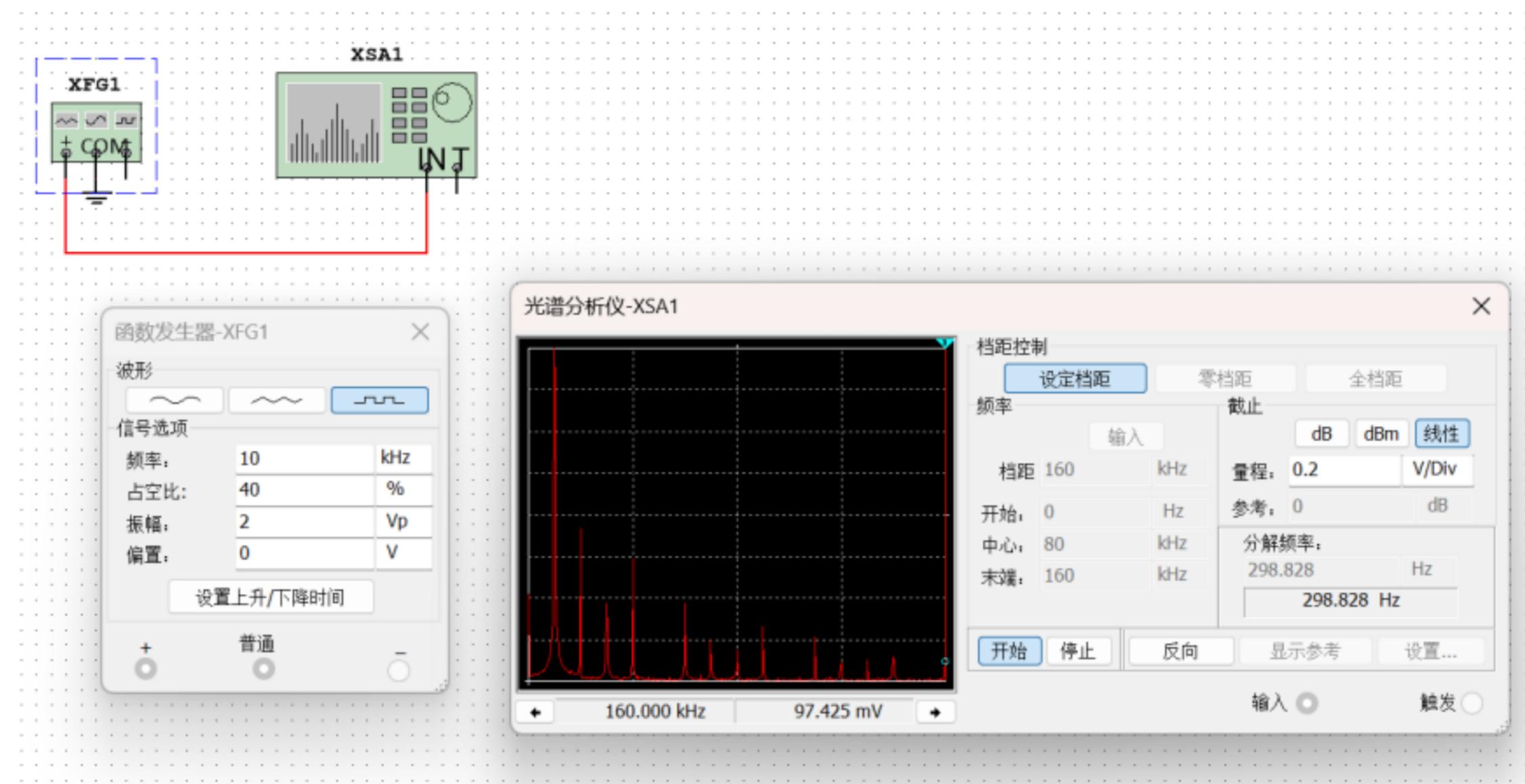
<1>信号源输出方波，峰峰值 $U_{pp}=4.0V$ ，频率 $f=10.0KHz$:



方波 ($T=50\%$) 频谱的测量 (8 个分量)

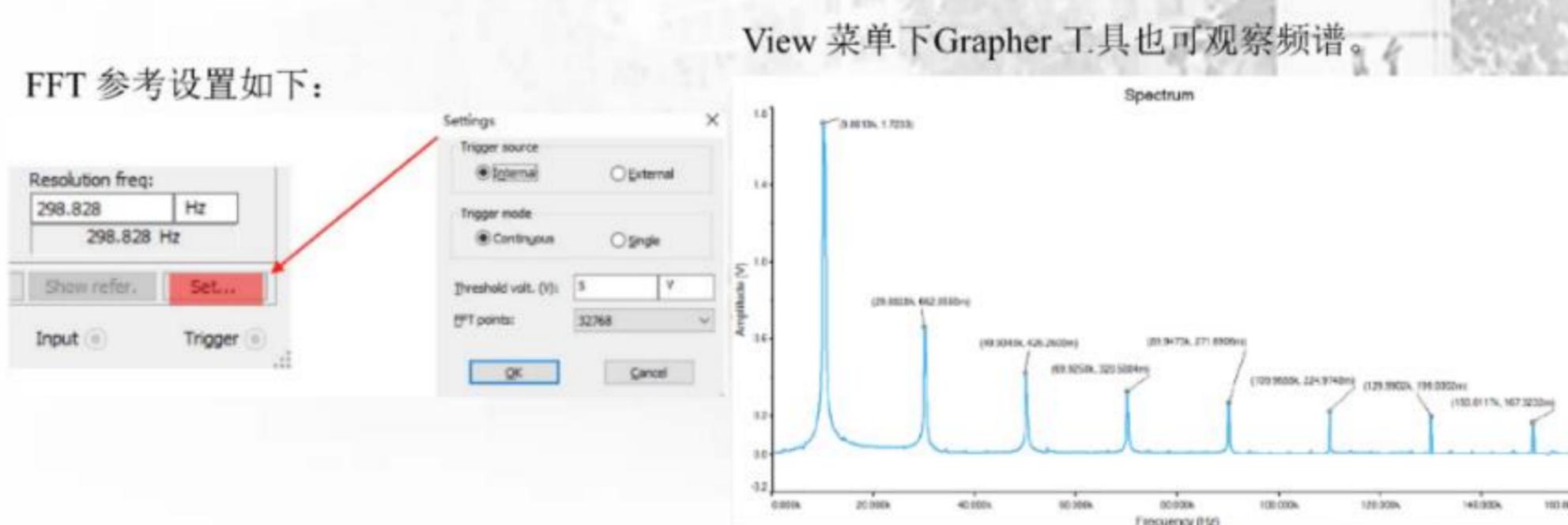
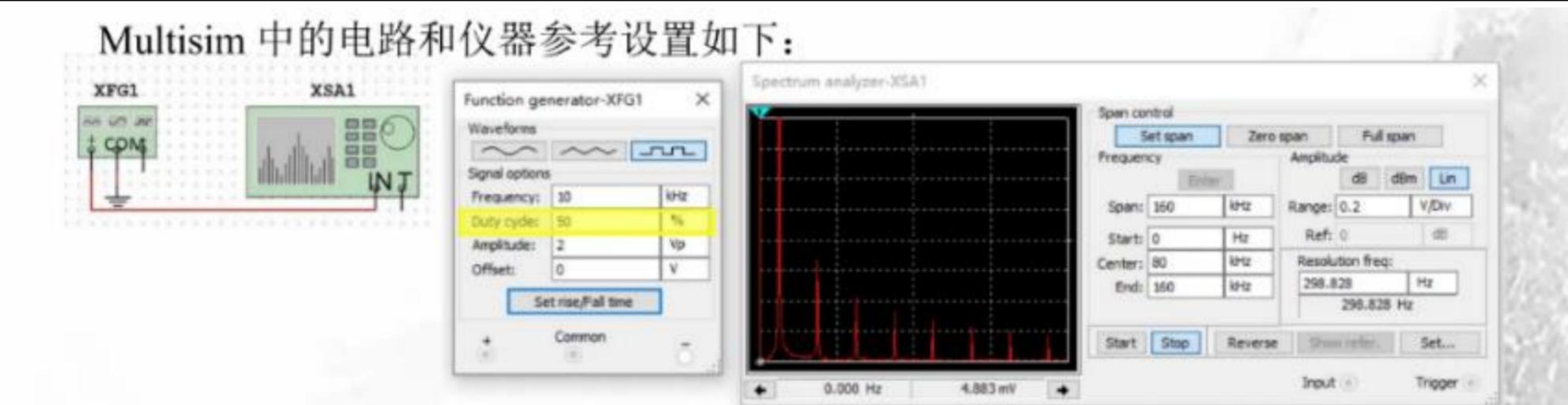
谐波次数	1	3	5	7	9	11	13	15
A (V)	2.546	0.849	0.509	0.363	0.282	0.231	0.195	0.169

<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%:



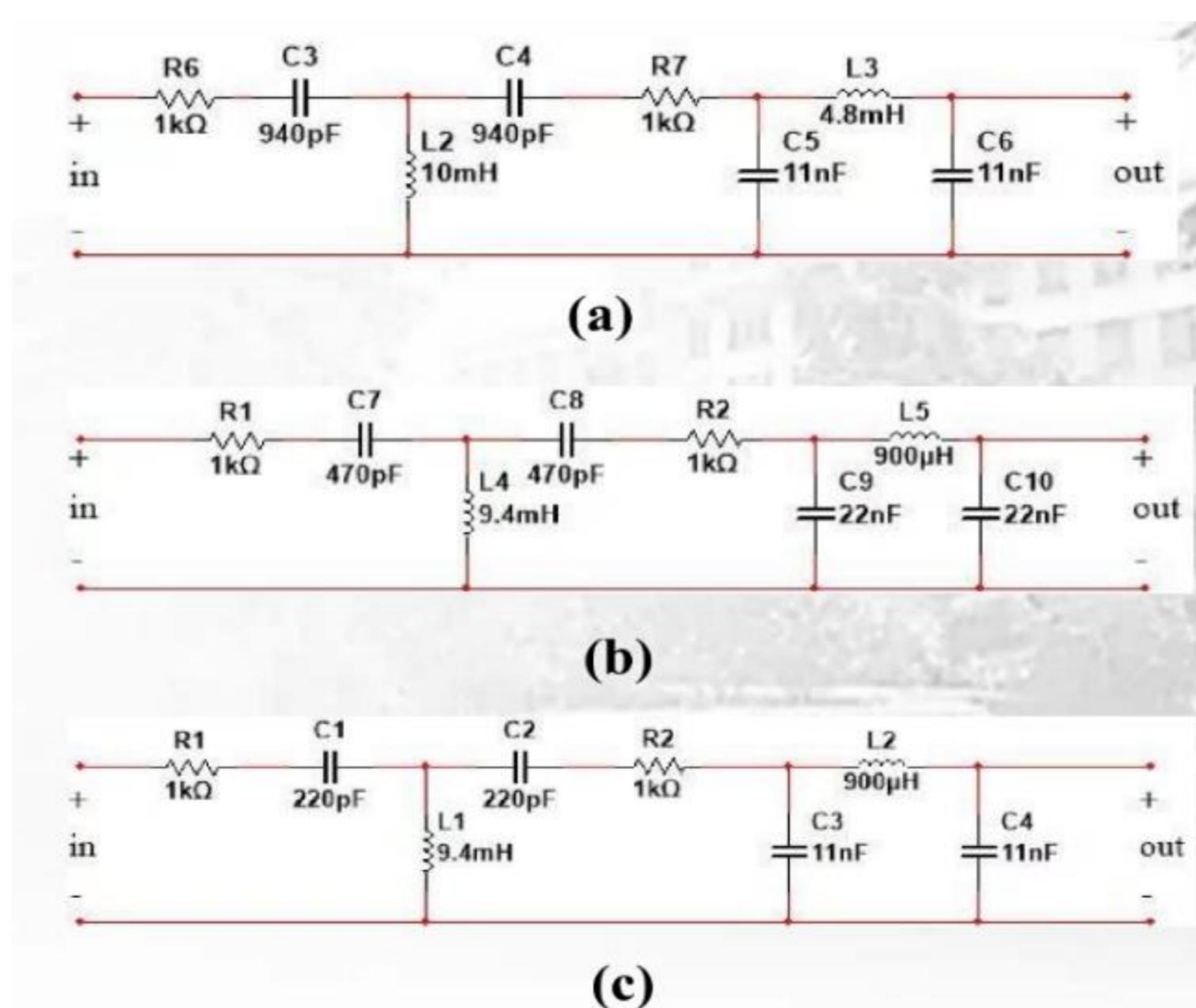
脉冲波 ($T=40\%$) 频谱的测量 (15 个分量)

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	

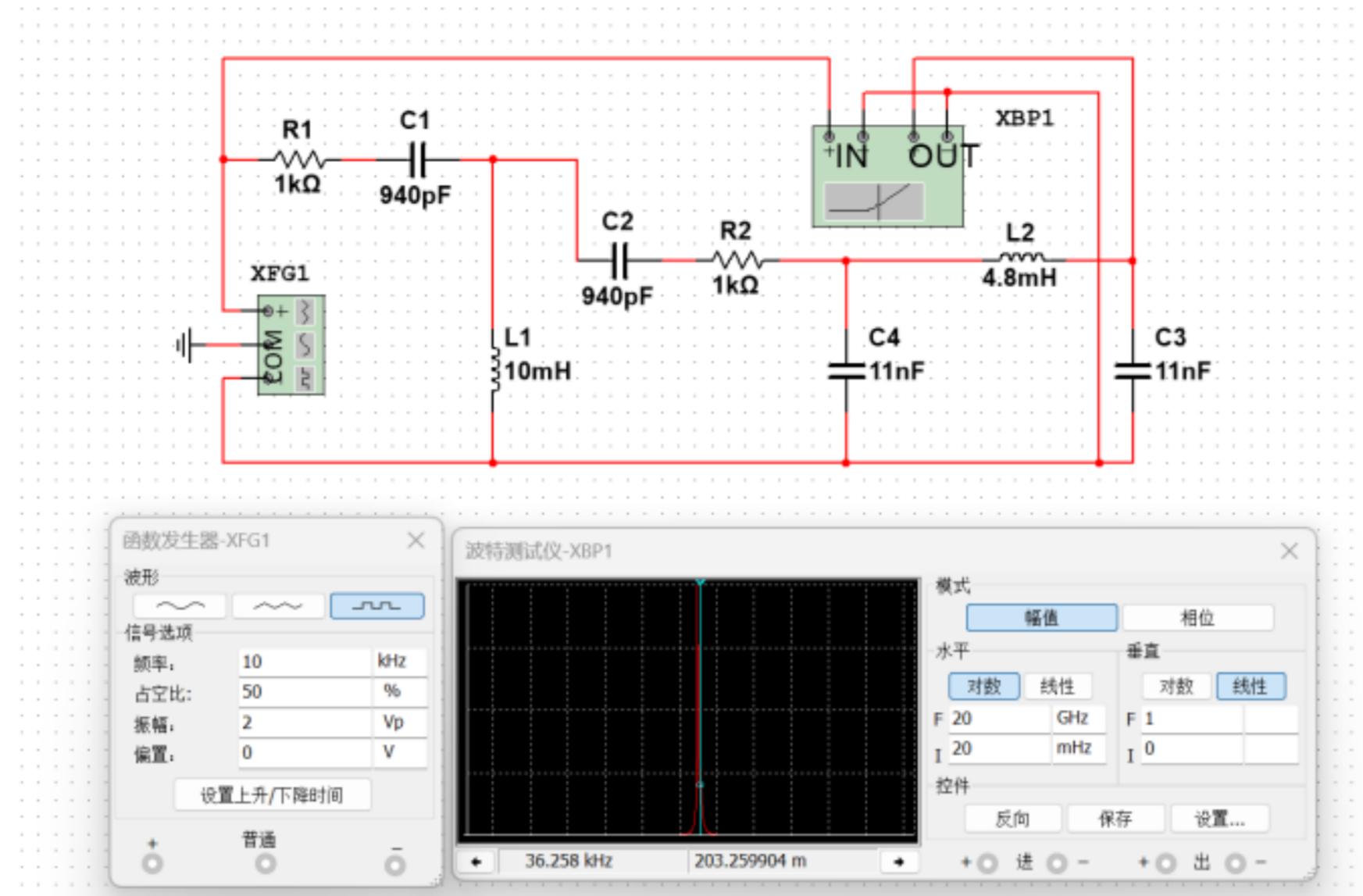


电工电子国家级实验教学示范中心（西安电子科技大学）电路、信号与系统实验室

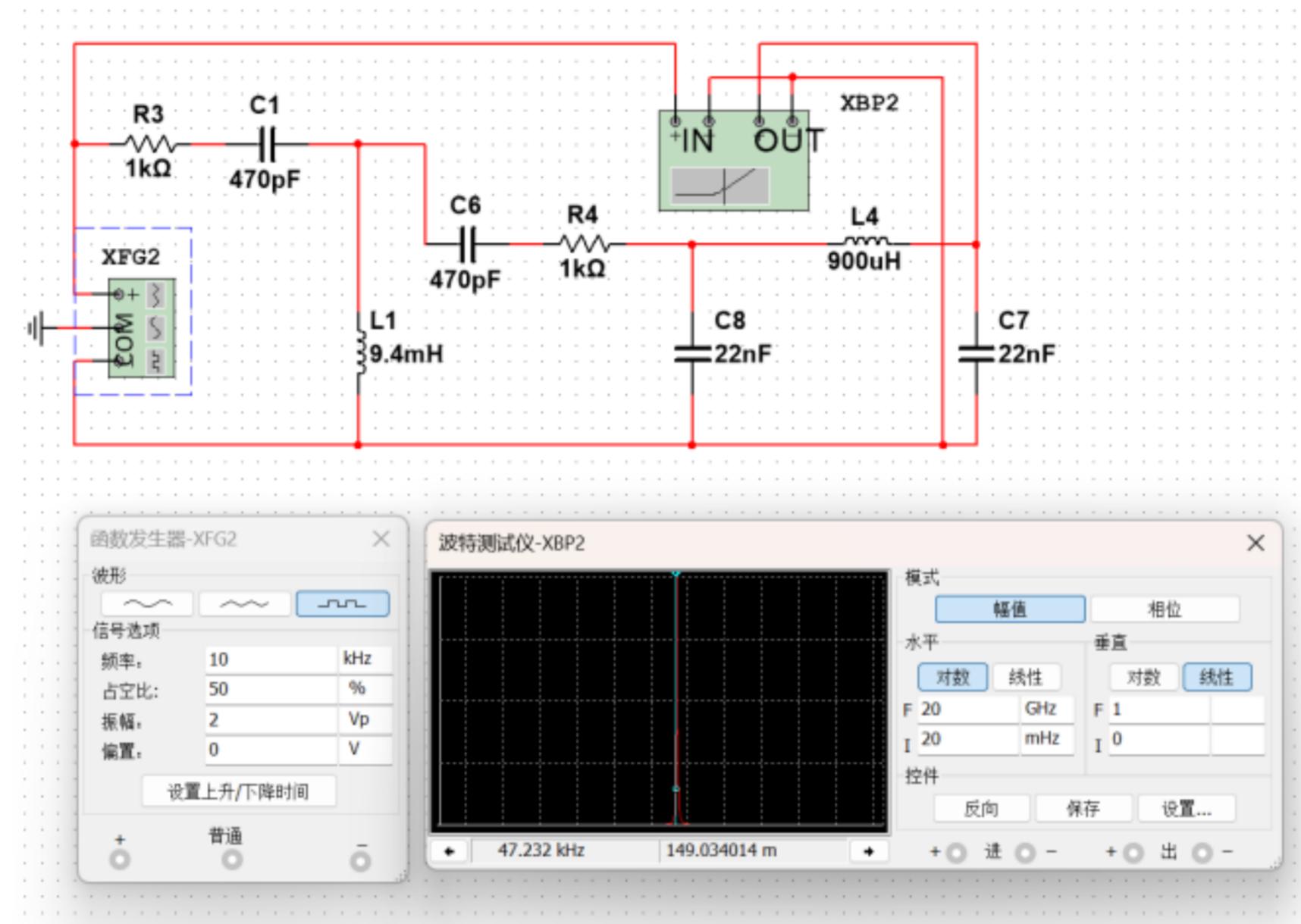
(2) 以下为三个不同的窄带滤波器，利用 Multisim 的虚拟仪器观察其传输特性，分析并给出结论。



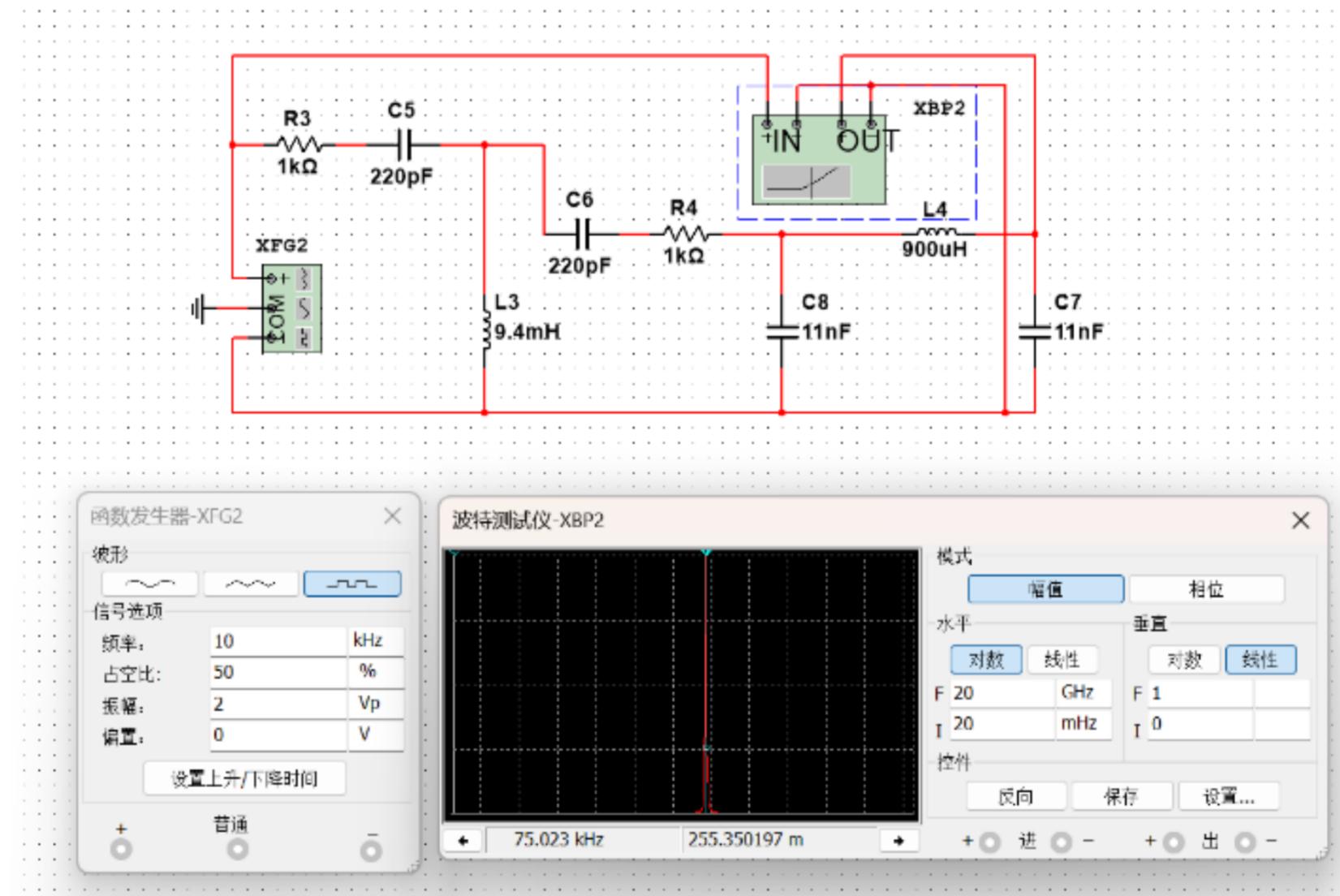
<1> a 电路实验图像



<2>b 电路实验图像



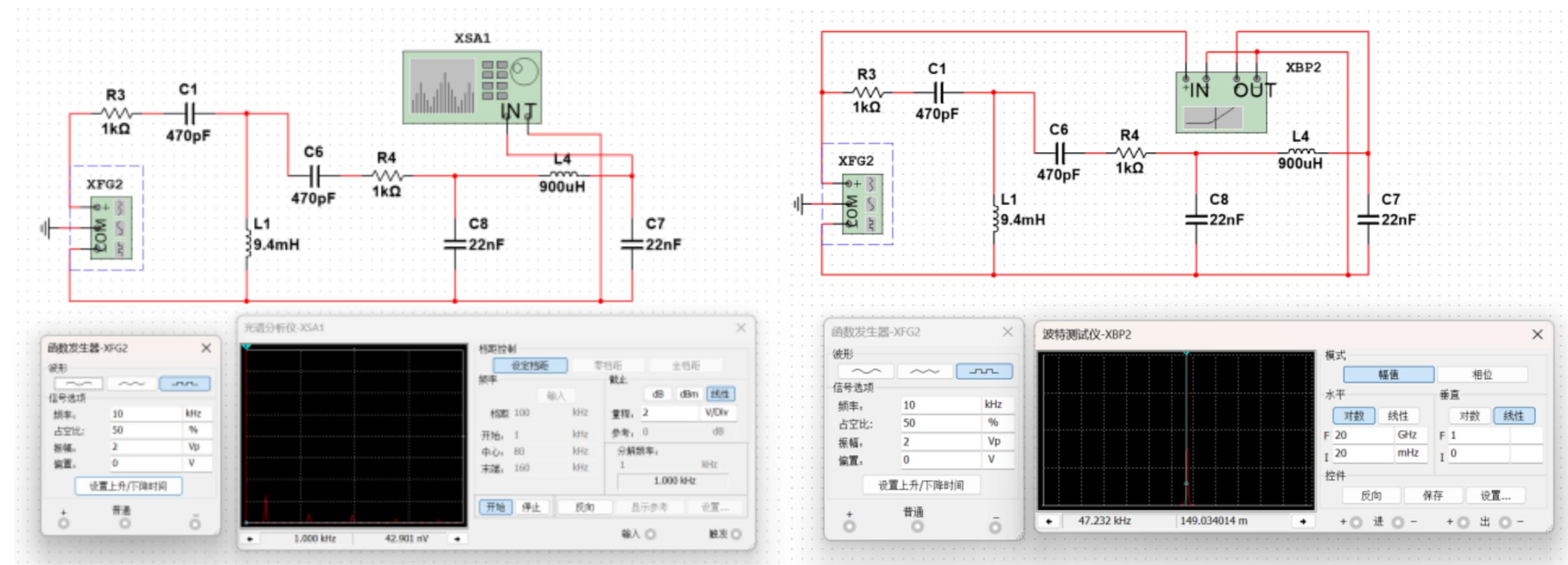
<3>c 电路实验图像



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。

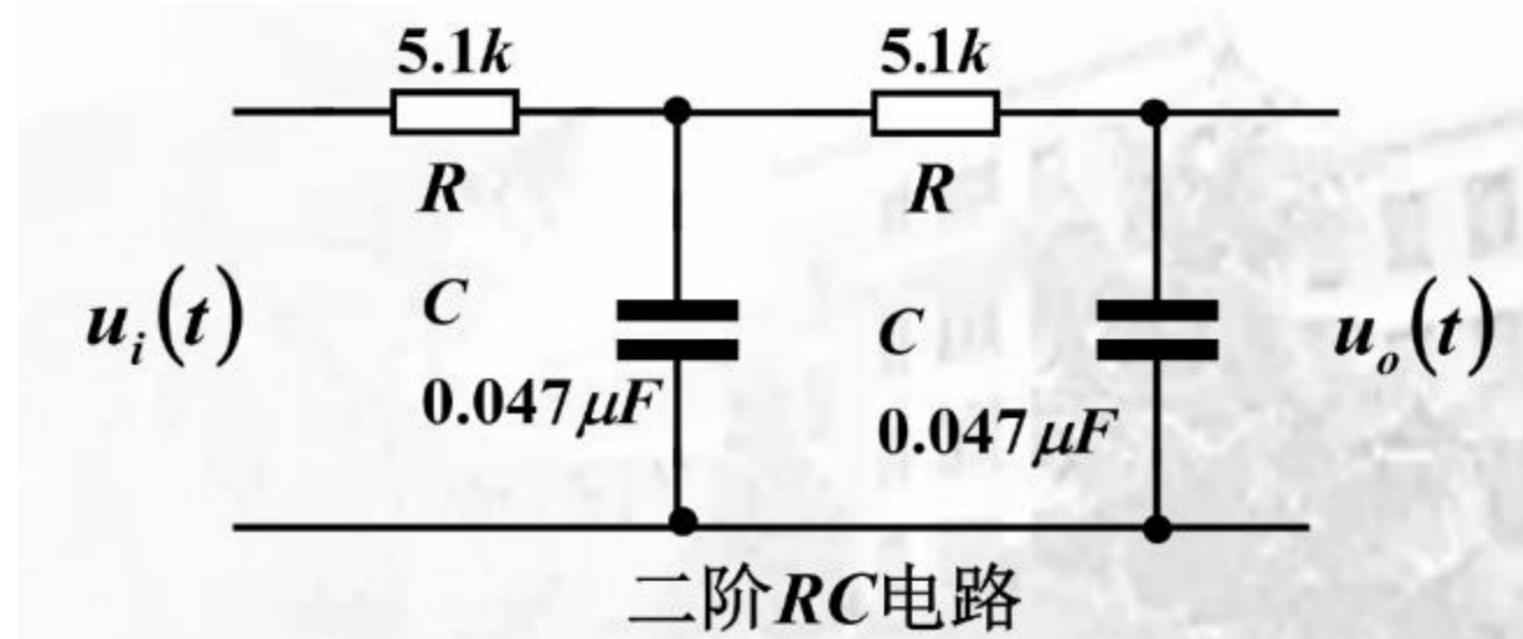
(3) 设置方波信号 ($f=10\text{kHz}$, $U_{pp}=4\text{V}$), 从上述滤波器中选择合适的分别滤取出方波的三次、五次、七次谐波分量。分别使用虚拟示波器和频谱仪观测时域波形和信号频谱, 分析并给出结论。

<1>图像如图所示:

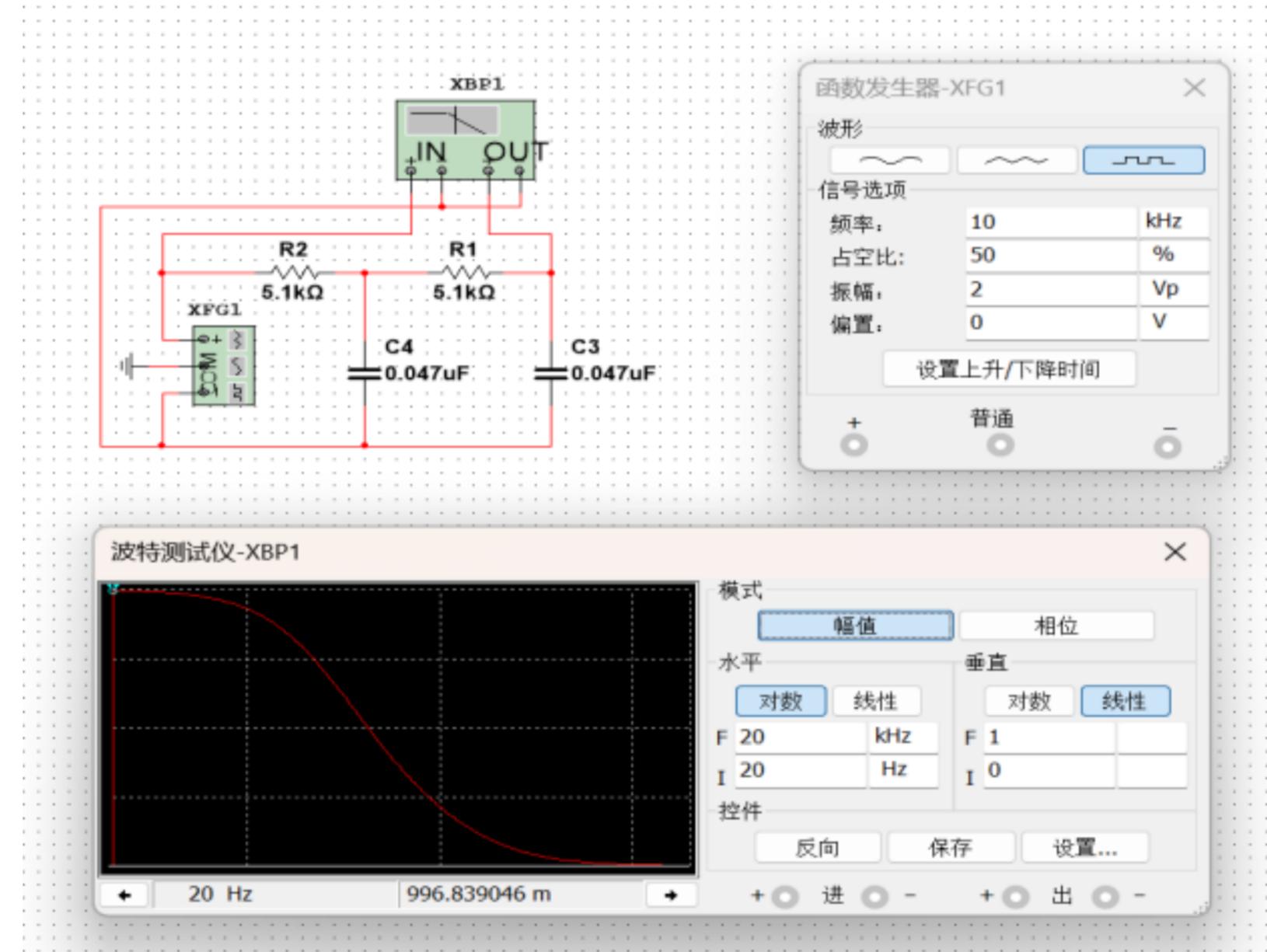


经分析，选取了 b 电路进行验证带通滤波器。通过验证，基本可以证明，b 电路是带通滤波器。

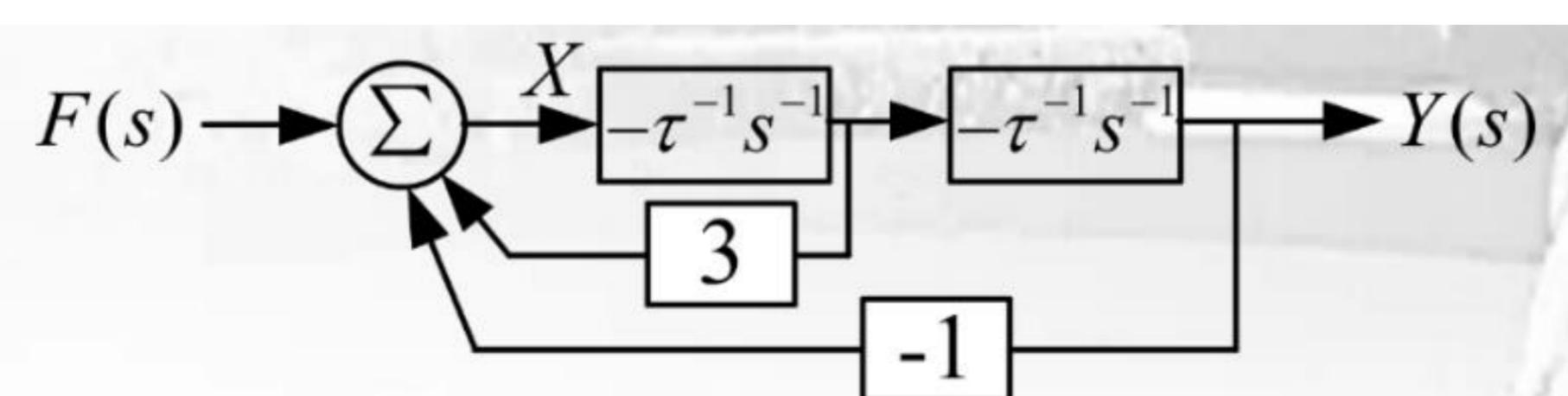
(4) 完成如图实际二阶 RC 低通电路的模拟，观察其频率特性，分析并给出结论。



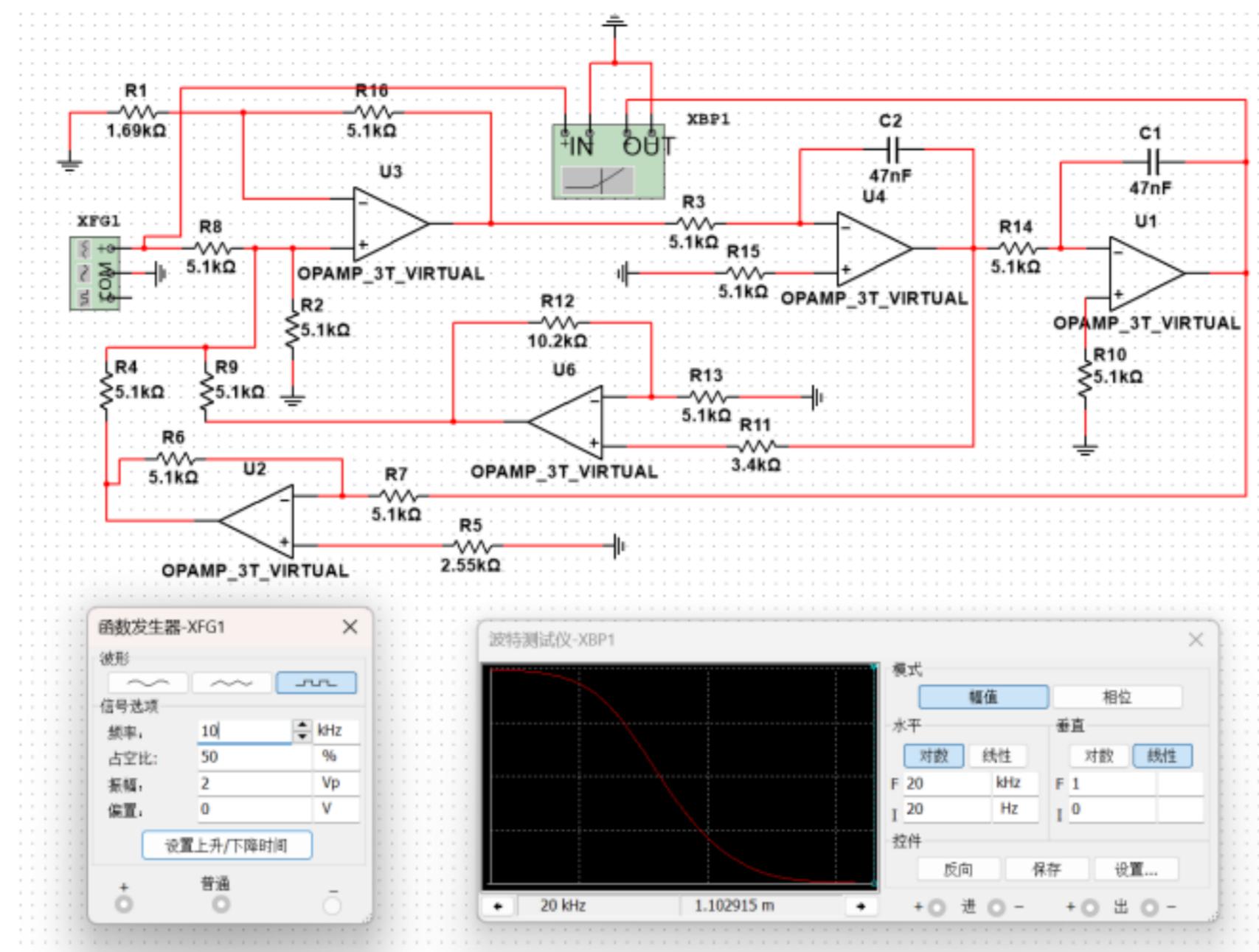
<1>它是一个低通滤波器电路，仅仅允许低频信号通过，高频信号不通过。实验如下图：



(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。