
实验四 信号通过线性系统的特性分析

学号：2128410206 姓名：龚烨 成绩：

一、实验目的

1. 掌握无失真传输的概念及无失真传输的线性系统满足的条件。
2. 分析无失真传输的线性系统输入、输出频谱特性，给出系统的频谱特性。
3. 掌握系统幅频特性的测试及绘制方法。

二、实验仪器及器材

1. 万用表一只。
2. 直流稳压电源一台。
3. 信号发生器一台。
4. 选频电平表一只。
5. 电阻与电容若干。

三、实验原理

通过频谱分析可以看出，在一般情况下线性系统的响应波形与激励波形是不同的，即信号在通过线性系统传输的过程中产生了失真。

线性系统引起的信号失真由两方面的因素造成的：一是系统对信号中各频率分量的幅度产生不同程度的衰减，使响应各频率分量的相对幅度产生变化，造成幅度失真；二是系统对各频率分量产生的相移与频率不成正比，使响应各频率分量在时间轴上的相对位置产生变化，造成相位失真。

线性系统的幅度失真与相位失真都不产生新的频率分量。对于非线性系统，由于其具有非线性特性，对于传输信号产生非线性失真，非线性失真可能产生新的频率分量。

如果信号在传输过程中不失真，那么响应 $r(t)$ 与激励 $e(t)$ 波形相同，只是幅度大小或出现的时间不同。激励与响应的关系可表示为

$$r(t) = ke(t - t_0)$$

为了实现信号无失真传输，线性系统应该满足的条件可由式给出，即

$$R(j\omega) = kE(j\omega)e^{-j\omega t_0}$$

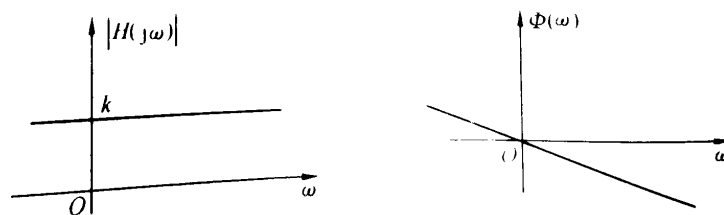
设 $e(t)$ 与 $r(t)$ 的傅立叶变换分别是 $E(j\omega)$ 和 $R(j\omega)$ ，则

比较式 (3.3.2) 与式 (3.3.3)，在信号无失真传输时，系统函数应为

$$H(j\omega) = |H(j\omega)| e^{j\Phi(\omega)} = ke^{-j\omega t_0}$$

因此，为了实现任意信号通过线性系统不产生波形失真，该系统应满足以下两个理想条件：

$$\begin{cases} |H(j\omega)| = k \\ \Phi(\omega) = -\omega t_0 \end{cases}$$



a 幅频特性

b 相频特性

图 1 理想线性传输系统的系统函数的频率特性

很显然，在传输有限频宽的信号时，上述理想条件可以放宽，只要在信号占有频带范围内系统满足上述理想条件即可。

四、实验方法

实验电路如图 2 所示，且有

$$H(j\omega) = \frac{U_1(j\omega)}{U_2(j\omega)} = \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}}{\frac{R_1}{1 + j\omega R_1 C_1} + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}}$$

若 $R_1 C_1 = R_2 C_2$ ，则 $H(j\omega) = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ， $\Phi(\omega) = 0$ ，该系统满足无失真传输的条件。

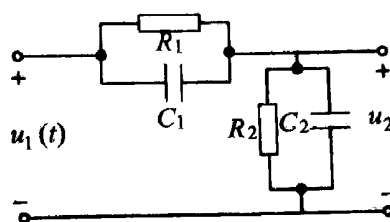


图 2 实验电路

1. 系统传输函数幅频特性的测试。

首先测试系统输入信号的频谱，再测试该信号通过系统后输出的频谱，比较输入、输出的变化。

为能反映出特性的整体形状，测量点的分布应合理。首先找出谐振点，在其两边都要取数据点，越靠近谐振点测量点应取得越密些。这些位置是特性变化大的地方，必须用较多的数据描述。

2. 系统传输函数幅频特性的绘制。

由于幅频特性的频率范围跨度很大，采用对数坐标，能够在有限的空间内反映出全貌。

五、实验内容

1. 用 Multisim 软件实现低通滤波器的输入、输出频

(1) 绘制测量电路（图 3）并做输入，输出信号的参数仿真。

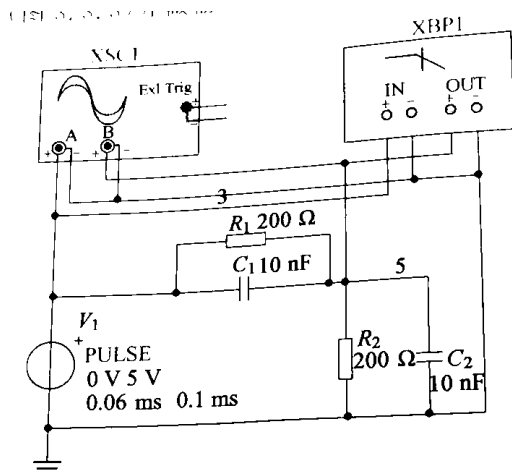


图3 无失真传输线性系统的测量电路

(2) 无失真传输线性系统输入、输出信号幅度频谱的仿真测量。

虚拟电压信号源设置参数为周期矩形波信号，其中周期 $T=100\mu s$ ，脉冲宽度 $\tau=60\mu s$ ，脉冲幅度 $V_2=5V$ 。采用虚拟示波器测量滤波器输入、输出信号的时域波形，采用波特仪测量线性系统传输特性的频谱图，并记录输出波形。

(3) 通过变换 R 、 C 参数，掌握其对滤波器传输特性的影响。

当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=200\Omega$ ， $C_2=10nF$ 时，测试系统传输特性频谱图；
 当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=20\Omega$ ， $C_2=100nF$ 时，测试系统传输特性频谱图；
 当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=5k\Omega$ ， $C_2=10nF$ 时，测试系统传输特性频谱图；
 当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=2k\Omega$ ， $C_2=10nF$ 时，测试系统传输特性频谱图；
 当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=200\Omega$ ， $C_2=100nF$ 时，测试系统传输特性频谱图。

2. 无失真传输线性系统的设计、装配与调试。

(1) 电路的焊接。

按仿真电路给定的元器件参数在万能板上进行焊接，注意板面的布局、器件的分布及极性、走线的合理等问题。

(2) 电路的电气检查。

先对焊接后的电路进行短路检查，无短路现象方可上电调试。(3) 信号的测量。信号发生器的输出信号接至调试电路的输入端，设置参数为周期矩形波信号，其中周期 $T=100\mu s$ ，脉冲宽度 $\tau=60\mu s$ ，脉冲幅度 $V_p=5V$ 。采用示波器测量滤波器输入、输出信号的时域波形，采用选频电平表测量待调试系统的输入、输出信号的频谱，并记录实验数据。

注意：电源开关的顺序是先给待调试的系统上电，然后开启信号发生器电源。

(4) 通过变换 R 、 C 参数，掌握其对滤波器传输特性的影响。

当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=200\Omega$ ， $C_2=10nF$ 时，测试系统传输特性频谱图；
 当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=20\Omega$ ， $C_2=100nF$ 时，测试系统传输特性频谱图；
 当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=5k\Omega$ ， $C_2=10nF$ 时，测试系统传输特性频谱图；
 当 $R_1=200\Omega$ ， $C_1=10nF$ ， $R_2=200\Omega$ ， $C_2=100nF$ 时，测试系统传输特性频谱图。

六、实验结果及数据分析

$R1=200\ \Omega$, $C1=10\text{nF}$, $R2=200\ \Omega$, $C2=10\text{nF}$

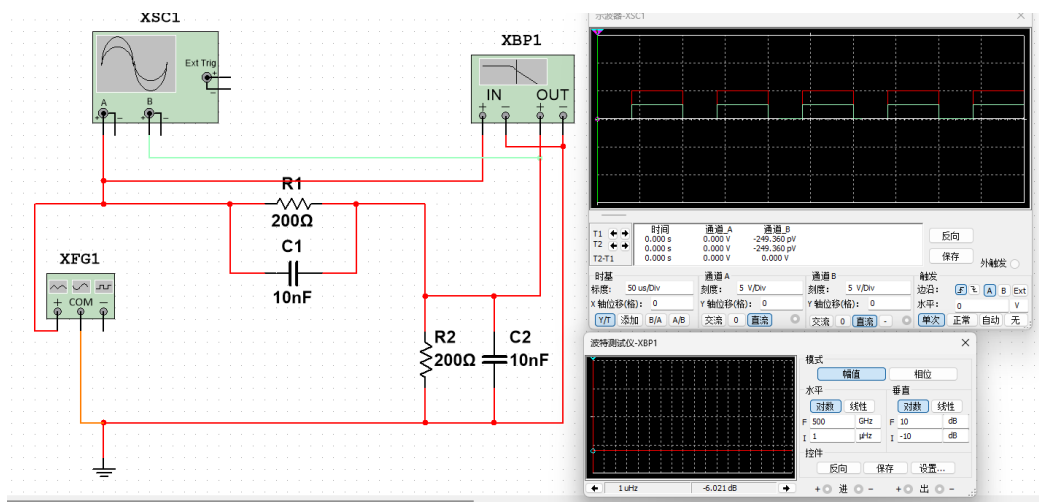


图 4

$R1=200\ \Omega$, $C1=10\text{nF}$, $R2=20\ \Omega$, $C2=100\text{nF}$

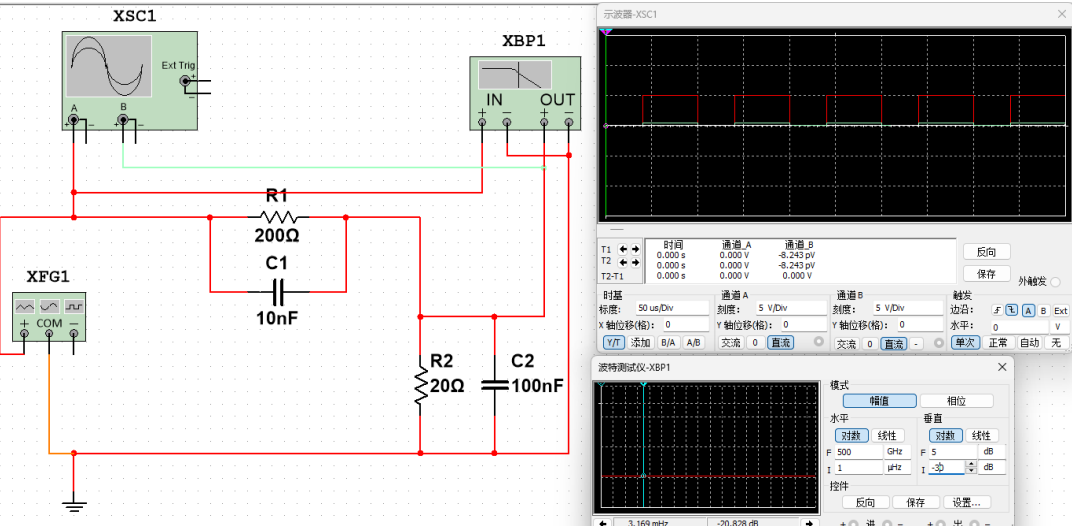


图 5

$R1=200\ \Omega$, $C1=10\text{nF}$, $R2=5\text{k}\ \Omega$, $C2=10\text{nF}$

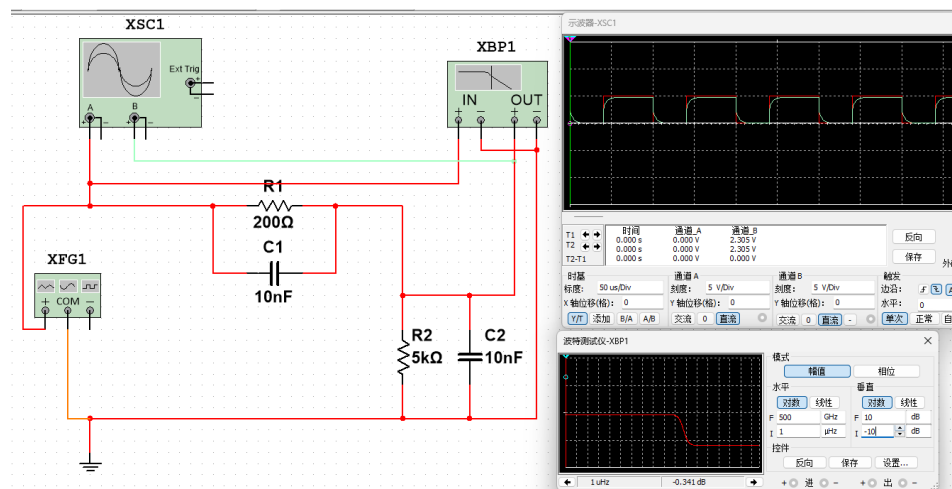


图 6

$R_1=200\ \Omega$, $C_1=10\text{nF}$, $R_2=200\ \Omega$, $C_2=100\text{nF}$

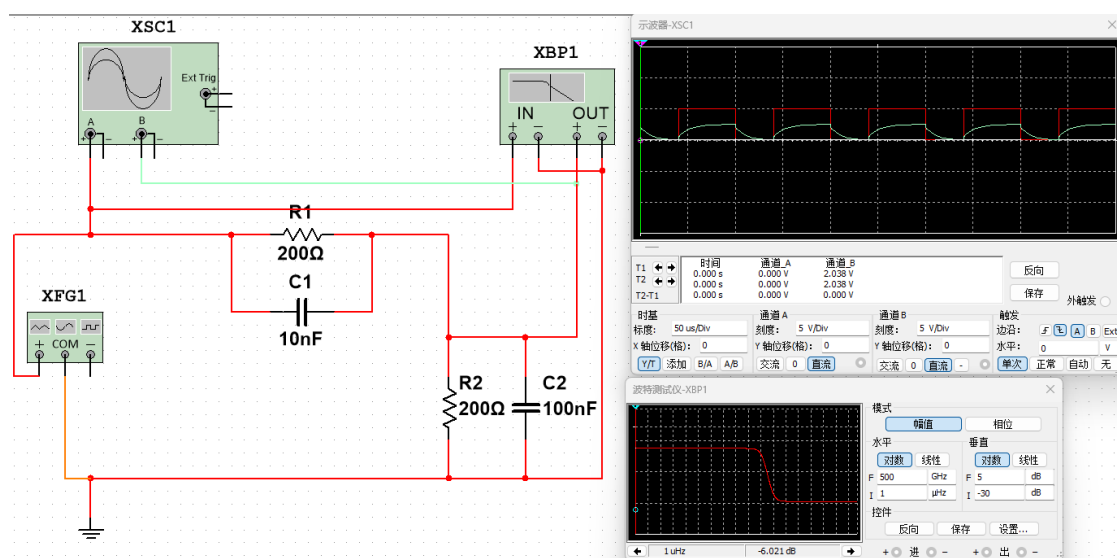


图 7

频谱值/mV			频率/kHz									
			f	2f	3f	4f	5f	6f	...	13f	14f	15f
参数	R1=200	U_i	1.900	0.540	0.360	0.440	0.000	0.310		0.100	0.152	0.000
	C1=10n	U_0	0.880	0.270	0.180	0.230	0.000	0.160		0.043	0.064	0.000
	R2=200	A_v	0.463	0.500	0.500	0.523	—	0.516		0.430	0.421	—
	C2=10n	U_i	2.100	0.580	0.380	0.480	0.000	0.320		0.102	0.156	0.000
	R1=200	U_0	1.960	0.520	0.320	0.380	0.000	0.220		0.065	0.099	0.000
	C1=10n	A_v	0.933	0.897	0.842	0.792	—	0.688		0.637	0.635	—

通过 Multisim 仿真及实际电路实验，成功验证了在 $R_1C_1 = R_2C_2$ ，的条件下，系统对于不同频率的 A_v 基本相同，此时该系统满足无失真传输的条件。

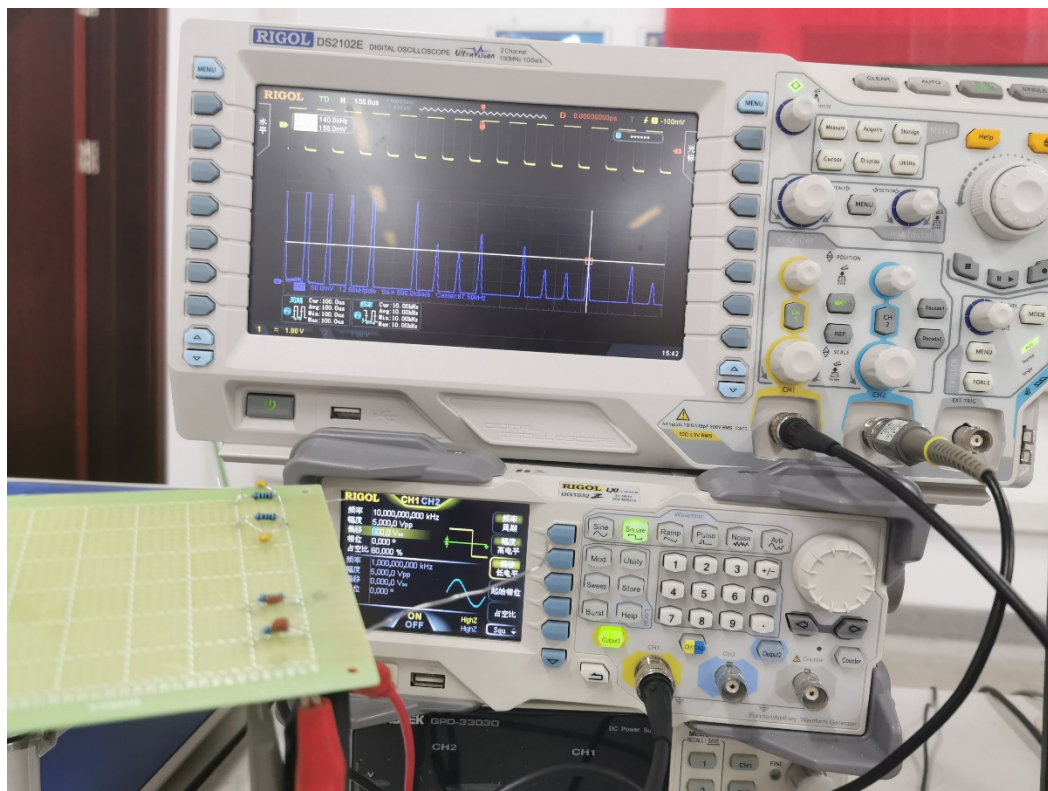


图 8

七、结论与分析

本实验，通过 Multisim 仿真软件和实验板的实际测量，研究了信号通过线性系统的特性。在这次实验中，我对无失真传输的线性系统输入、输出频谱特性有了更熟练的掌握。我还掌握系统幅频特性的测试及绘制方法。