

成绩	
教师签字	

通 信 工 程 学 院

实 验 报 告

(信 号 与 系 统)

实验题目：线性系统的频率特性

专业：	通信工程	年级：	2022 级
姓名：	苏睿杰	学号：	20220826
实验时间：	2023 年 11 月 3 日	班级：	42

实验十九 线性系统的频率特性

一、实验目的和要求

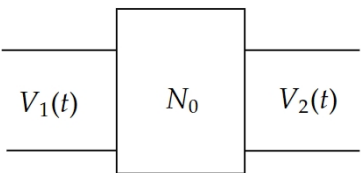
1. 设计高通和低通电路。
2. 应用选频表测量线性系统输入、输出信号的幅度频度，从而求得系统的频率幅度特性。
3. 应用示波器观察信号通过线性系统后波形变化情况，并将其与该系统的频率特性作对照。

二、提供仪器设备

1. JH5014 选频电平表。
2. 数字信号发生器。
3. 数字示波器。

三、实验原理

电路用频域表示时，输入和输出信号的关系可用式



$$V_2(\omega) = V_1(\omega)H(\omega) \tag{1}$$

其中 $H_1(t)$ 称之为该系统的频率特性，它的幅值 $|H(\omega)|$ 称为幅频特性。 $|H(\omega)|$ 只与系统的结构组成有关，而与输入信号无关。本次设计就是要研究简单的 RL 低通网络和 RC 高通网络的幅频特性。由上式得 $H(\omega) = \frac{V_2(\omega)}{V_1(\omega)}$ ，两边取对数再乘以 20，则有

$$20\lg H(\omega) = 20\lg V_2(\omega) - 20\lg V_1(\omega),$$

$$N(\omega) = N_2(\omega) - N_1(\omega) \tag{2}$$

图 1

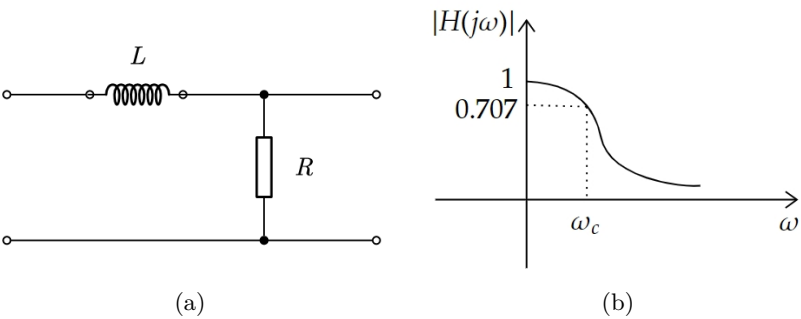


图 2

根据电压电平的定义 $20\lg V_2(\omega)$ 和 $20\lg V_1(\omega)$ 正好分别与输出，输入电压电平的定义相符。故 $|H(\omega)|$ 可由系统的输出信号与输入信号的电平差 $N(\omega)$ 求得。这是测量系统的频率特性的另一种方法。在实际工作

中常常直接用 $N(\omega)$ 来表征 $H(\omega)$ 而不须求出 $H(\omega)$ ，它清楚地表示了如图一线性时不变网络对任一个确定频率的正弦信号具有 $N(\omega)$ dB 的衰减 [$N(\omega)$ 为负值时] 或增益 [$N(\omega)$ 为正值时]。下图 (a) 是一个简单的低通网络，其频率特性：

$$H(\omega) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega L}{R}} \quad (3)$$

经过推导变换，可得

$$|H(\omega)| = \left| \frac{V_2}{V_1} \right| = \left| \frac{1}{1 + j\frac{\omega L}{R}} \right| = \left| \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{2\pi f L}{R})^2}} \right| \quad (4)$$

$H(\omega) \sim \omega$ 幅频特性曲线如下图 (b) 所示，在半功率频率 $f_c = \frac{1}{\tau} = \frac{R}{2\pi L}$ 时， $H(\omega) = 0.707$ 。

下图 (a) 是一个简单的高通网络，其频率特性为：

$$H(\omega) = \frac{V_2}{V_1} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \quad (5)$$

经过推导变换，可得

$$|H(\omega)| = \left| \frac{V_2}{V_1} \right| = \left| \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \right| = \left| \frac{2\pi f RC}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}} \right| \quad (6)$$

$H(\omega) \sim \omega$ 幅频特性曲线如下图 (b) 所示，在半功率频率 $f_c = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2\pi RC}$ 时， $H(\omega) = 0.707$ 。

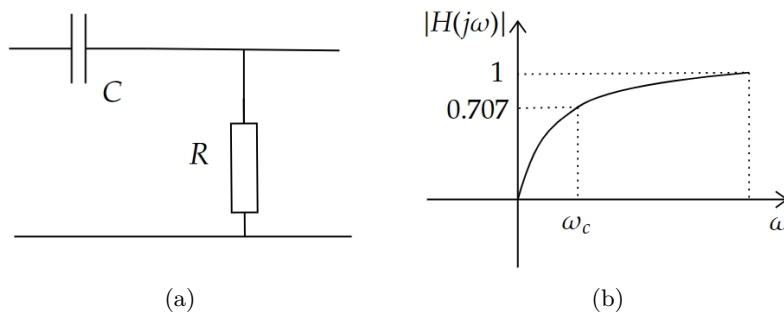


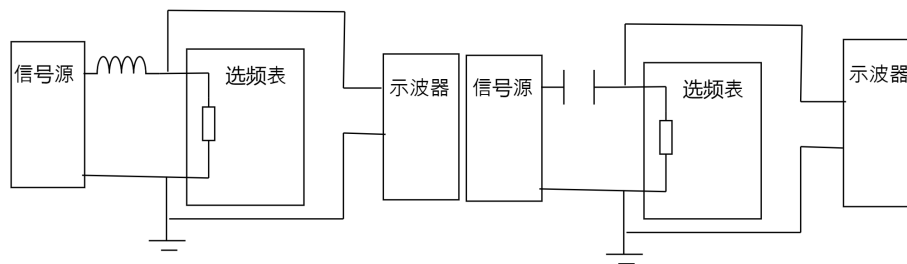
图 3

四、说明

本次实验是利用选频电平表分别测出线性网络的输入和输出电平，根据 $N(\omega)$ 得到该网络的幅频特性。信号源输出阻抗置 50Ω 。选频表输入阻抗置 600Ω 输入阻抗代替。

1. 测量输入信号频谱。

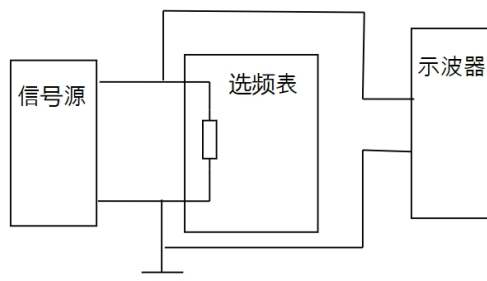
A、 电路图连接。(图 4)



(a)

图 4

- B、用示波器和选频表精确校准信号, 输入信号为: 周期 $T = 200\mu s$, 脉宽 $\tau = 60\mu s$: 幅度 $V = 5V$ 的矩形脉冲并画出波形图。
 - C、按表一第二栏的要求测出信号各次谱波的电平值 N_1 。
 - D、观察示波器的波形并画在坐标纸上。
2. 测量低通网络的输出电平。
 - A、电路如图 5 连接。
 - B、按表一第四栏的要求测出低通网络输出电平值 $N_d(\omega)$ 。
 - C、观察示波器的波形并画在坐标纸上。
 3. 测量高通网络的输出电平。
 - A、将图五电路中的电感 L 改为 $0.01\mu F$ 的电容。
 - B、按表一第七栏的要求测出高通网络输出电平值 $N_d(\omega)$ 。
 - C、观察示波器的波形并画在坐标纸上。
 4. 分别计算高, 低通滤波电路的幅频特性 $N_d(\omega)$ 。画出幅频特性曲线。



(a)

图 5

五、数据处理

注：由于实际实验中测量的是 f ，故接下来部分自变量均用 f 表示。

表 1: 实际值测量

f(KHz)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
输入信号电平 N_1	实 测 值	7.2	2.7	-10.2	-7.6	-4.9	-10.9	-20.5	-9.3	-11.9	-59.5
低通滤波电路 N_d	实 测 值	6.1	0.7	-13.4	-12.1	-10.4	-17.7	-26.7	-17.8	-22.7	-56.2
	$N(f)$	-1.1	-2	-3.2	-4.5	-5.5	-6.8	-6.2	-8.5	-10.8	3.3
	$H(f)$	0.88	0.79	0.69	0.60	0.53	0.46	0.49	0.38	0.29	1.46
低通滤波电路 N_d	实 测 值	-6.2	-5.5	-16	-11.9	-8.3	-13.7	-21.8	-11.5	-13.5	-58.7
	$N(f)$	-13.4	-8.2	-5.8	-4.3	-3.4	-2.8	-1.3	-2.2	-1.6	0.8
	$H(f)$	0.21	0.39	0.51	0.61	0.68	0.72	0.86	0.78	0.83	1.1

注： $H(\omega) = 10^{\frac{N(\omega)}{20}}$

表 2: 理论值计算

f(KHz)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
RL 电路	$N(f)$	-0.52	-1.78	-3.31	-4.81	-6.20	-7.45	-8.58	-9.60	-10.5	-11.4
	$H(f)$	0.94	0.81	0.68	0.57	0.49	0.42	0.37	0.33	0.30	0.27
RC 电路	$N(f)$	-14.7	-9.05	-6.16	-4.41	-3.28	-2.51	-1.97	-1.58	-1.30	-1.08
	$H(f)$	0.19	0.35	0.49	0.60	0.69	0.75	0.80	0.83	0.86	0.88

1. 输入信号 $T = 200\mu s, t = 60\mu s, V_{p-p} = 5V$ ，占空比为 30%
2. 分别将电容，电感接入电路中，依次测出不同 f 下输出电平值，数据见表 1，并且计算出理论值，数据见表 2。

3. 对于低通滤波电路，

$$|H(f)| = \left| \frac{V_2}{V_1} \right| = \left| \frac{1}{1 + j\frac{\omega L}{R}} \right| = \left| \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi f L}{R}\right)^2}} \right| \quad (7)$$

当 $f \rightarrow 0$ 时， $|H(f)| \rightarrow 1$ ，当 $f \rightarrow \infty$ 时， $|H(f)| \rightarrow 0$ ，所得图像与数据也大致与理论值相等，不过当 $f = 35$ 时，数据稍有偏差，当 $f = 50$ 时，误差较大，已略去。

半功率点 $\omega_c = \frac{R}{L}$ ， $f_c = \frac{R}{2\pi L}$ ，此时 $|H(f)| = 0.707$ 。

示波器上的波形图见图 6 (a)，幅频曲线见图 7。

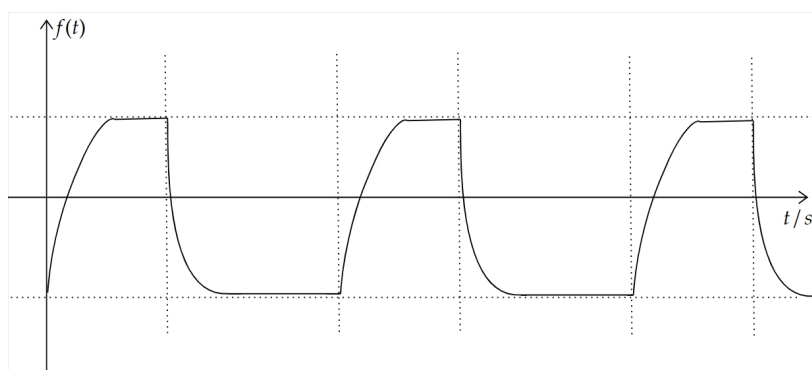
4. 对于高通滤波电路，

$$|H(f)| = \left| \frac{V_2}{V_1} \right| = \left| \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC} \right| = \left| \frac{2\pi f RC}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}} \right| \quad (8)$$

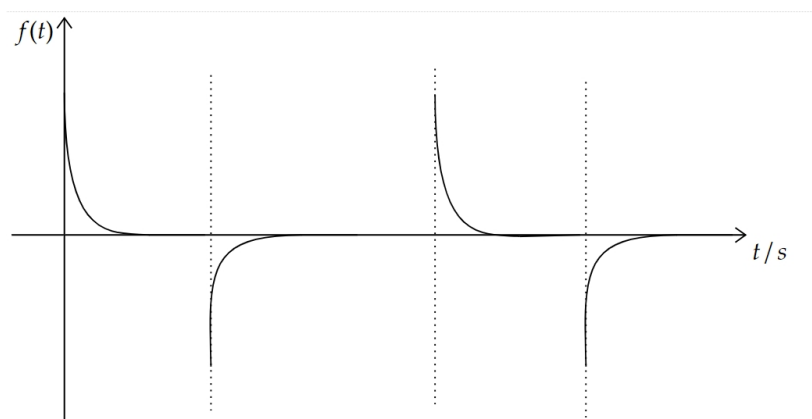
当 $f \rightarrow 0$ 时， $|H(f)| \rightarrow 0$ ，当 $f \rightarrow \infty$ 时， $|H(f)| \rightarrow 1$ ，所得图像与数据也大致与理论值相等，不过当 $f = 35$ 时，数据稍有偏差。

半功率点 $\omega_c = \frac{1}{RC}$ ， $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ ，此时 $|H(f)| = 0.707$ 。

示波器上的波形图见图 6 (b)，幅频曲线见图 8。

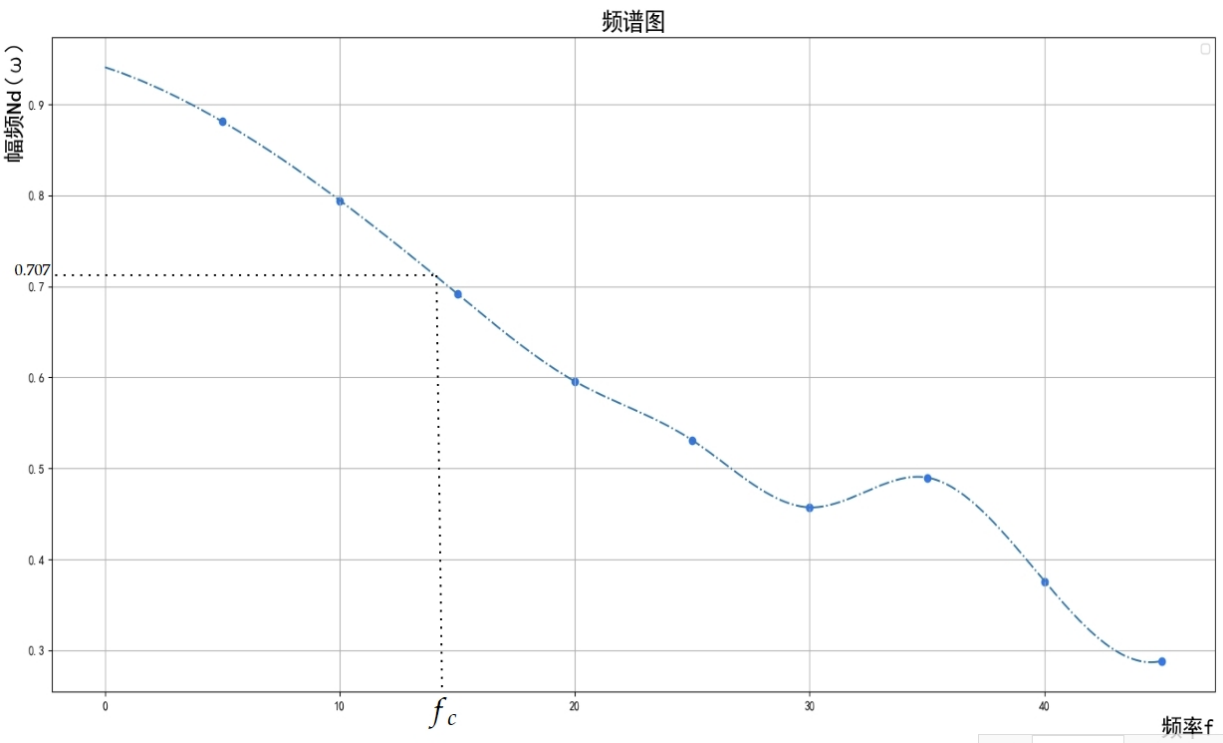


(a)

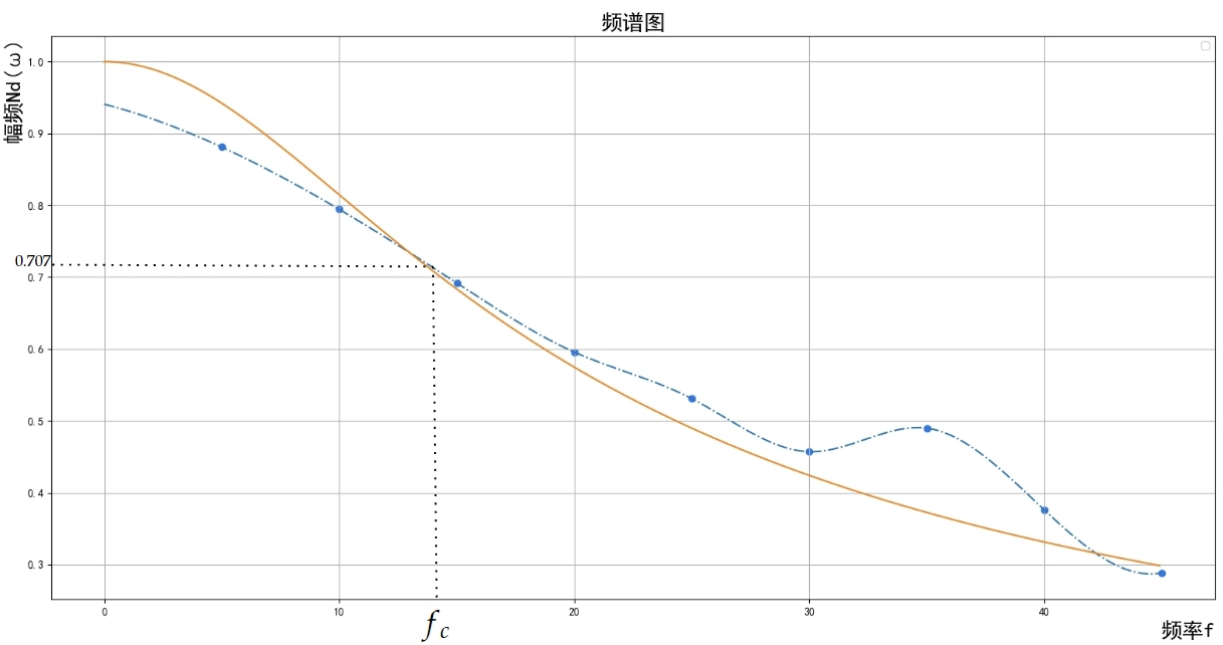


(b)

图 6: 低通电路中示波器的波形 (a) 以及高通电路中示波器的波形 (b)

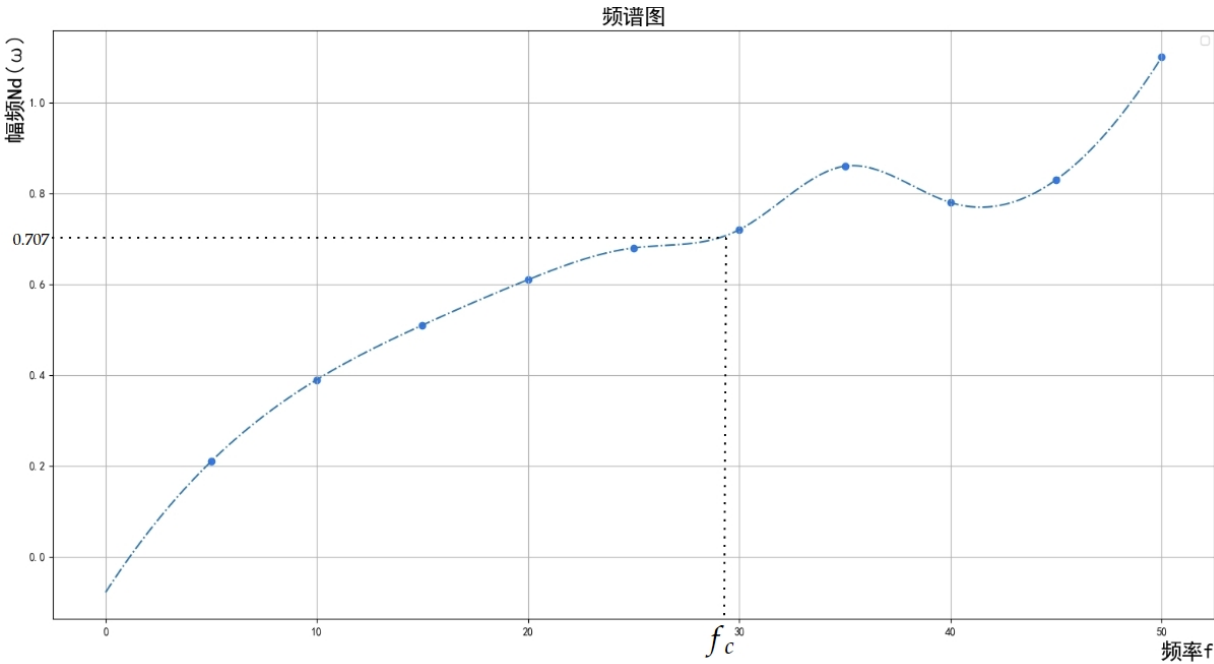


(a)

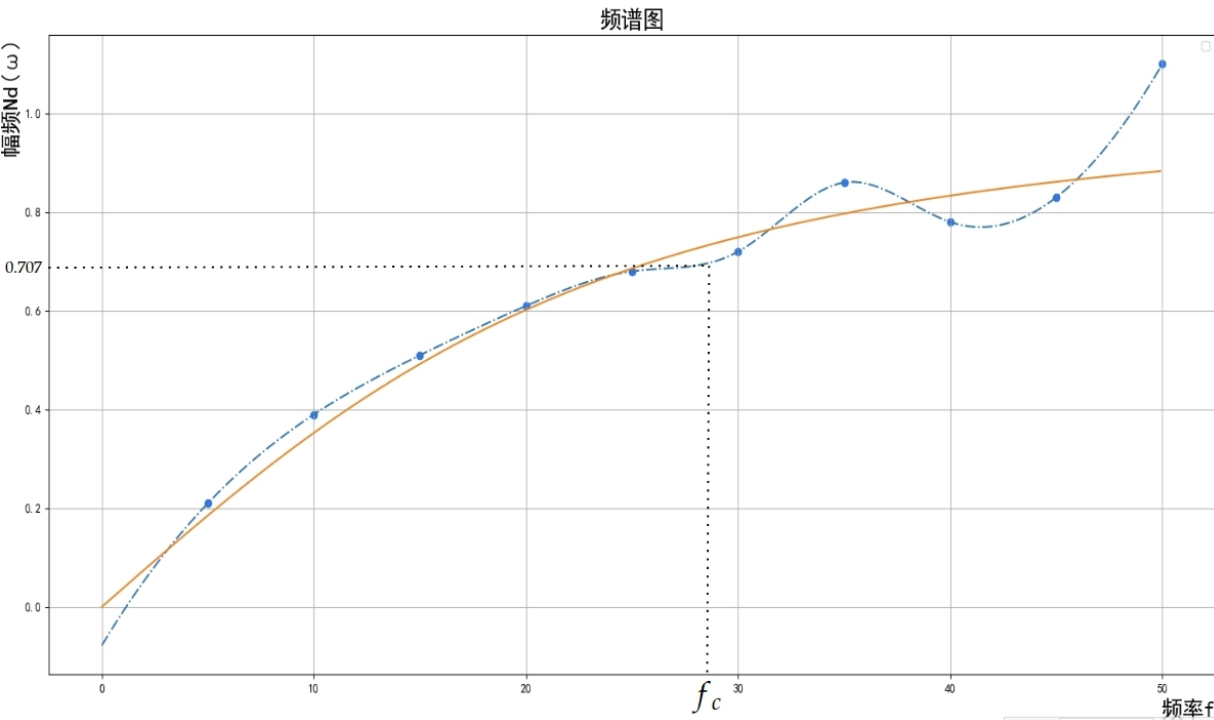


(b)

图 7: 低通滤波幅频曲线实际与理论对比图



(a)



(b)

图 8: 高通滤波幅频曲线实际与理论对比图

六、实验结论

1. 对于低通滤波电路, $|H(f)|$ 随 f 的增大而减小, 并且 $f \rightarrow 0$, $|H(f)| \rightarrow 1$, $f \rightarrow \infty$, $|H(f)| \rightarrow 0$ 。
2. 对于高通滤波电路, $|H(f)|$ 随 f 的增大而增大, 并且 $f \rightarrow 0$, $|H(f)| \rightarrow 0$, $f \rightarrow \infty$, $|H(f)| \rightarrow 1$ 。
3. 高通滤波电路和低通滤波电路上示波器的波形并不相同, 且从波形上可以大致看出, 高通滤波电路基本实现了通高频阻低频, 低通滤波电路基本实现了通低频阻高频。总体与预计实验结果一致。