

实验报告

姓名 李霄奕&赵百豪 日期 2022 年 11 月 8 日 No PB21511897&PB21061263 实验台. 9 评分:

实验题目：常用电子仪器+RC 电路频率特性

实验目的：

1. 对本实验室的示波器稳压电源、函数信号发生器、毫伏表、万用表等仪器的使用方法有基本了解，为今后的实验打下基础。
2. 利用示波器观察信号波形，测量振幅与周期（频率）。
3. 测量一阶 RC 低通滤波电路的幅频特性和相频特性。

实验原理：

RC 低通电路、低通电路的幅频、相频特性如图：

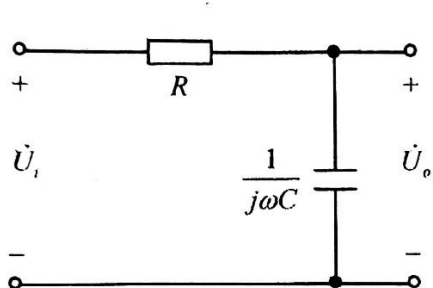
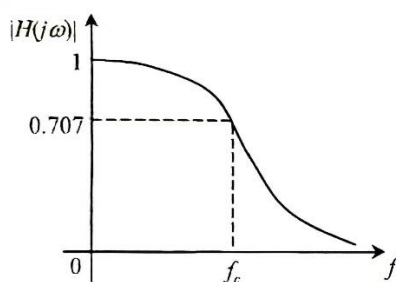
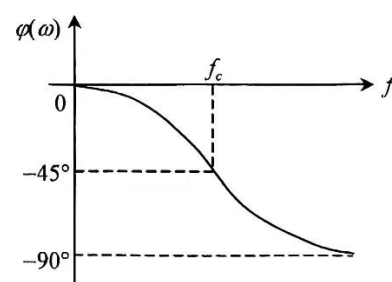


图 1-1 RC 低通电路



(a) 幅频特性



(b) 相频特性

图 1-2 低通电路的频率特性

网络传递函数：

$$H(j\omega) = |H(j\omega)|\angle\varphi(\omega)$$

其中：

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

$$\angle\varphi(\omega) = -\text{tg}^{-1}(\omega RC)$$

测量相位差角的两种方法：

1. 时域法（如图 1）： $\varphi = \frac{\Delta T}{T} \times 360^\circ$

2. 李沙育图形法（如图 2）： $\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A}$

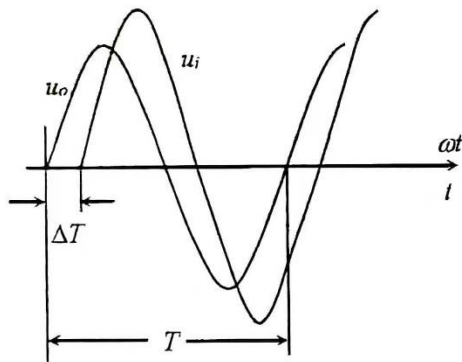


图 1

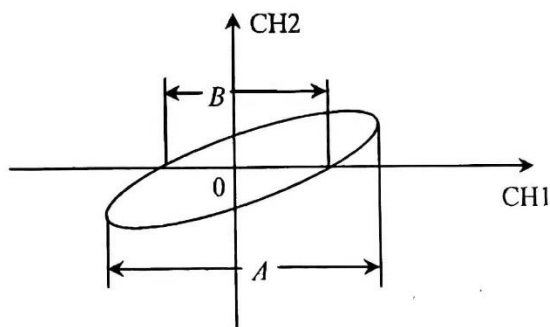


图 2

实验仪器：

1. 双踪示波器
2. 直流稳压稳流电源
3. 函数信号发生器
4. 毫伏表。
5. 电阻、电容、导线

实验步骤：

1. 观测示波器本身的校准信号，并用 DC 和 AC 档分别画出波形图，利用示波器自动测量、标注电压 U_p 和周期 T 。
2. 按图 1-1 接线，保持输入电压为 1V，测量输出电压，并读取输出电压 $U_0 = 0.707V$ 时的信号频率 f_c ，用李沙育法测量相位差角，画出 U_0 、 A 、 B 、 φ 随 f 变化关系。
3. 画出频率为 f_c 时的输入、输出电压波形图。并表明其超前、滞后的相位关系。

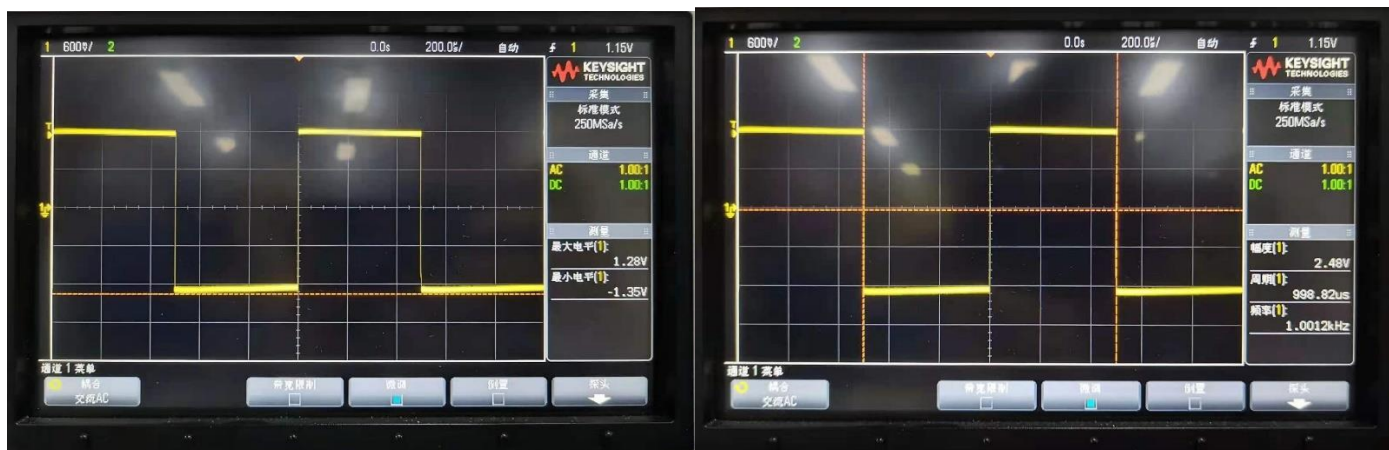
实验数据与分析： =

1. 方波信号测量

DC:



AC:



由图得：

校准信号	标称值	测量值	
	DC&AC	DC	AC
幅度(U_p)	2.5V	2.47V	2.48V
频率 f	1kHz	1.0012kHz	1.0012kHz
周期 T	1000 μ s	998.82 μ s	998.82 μ s

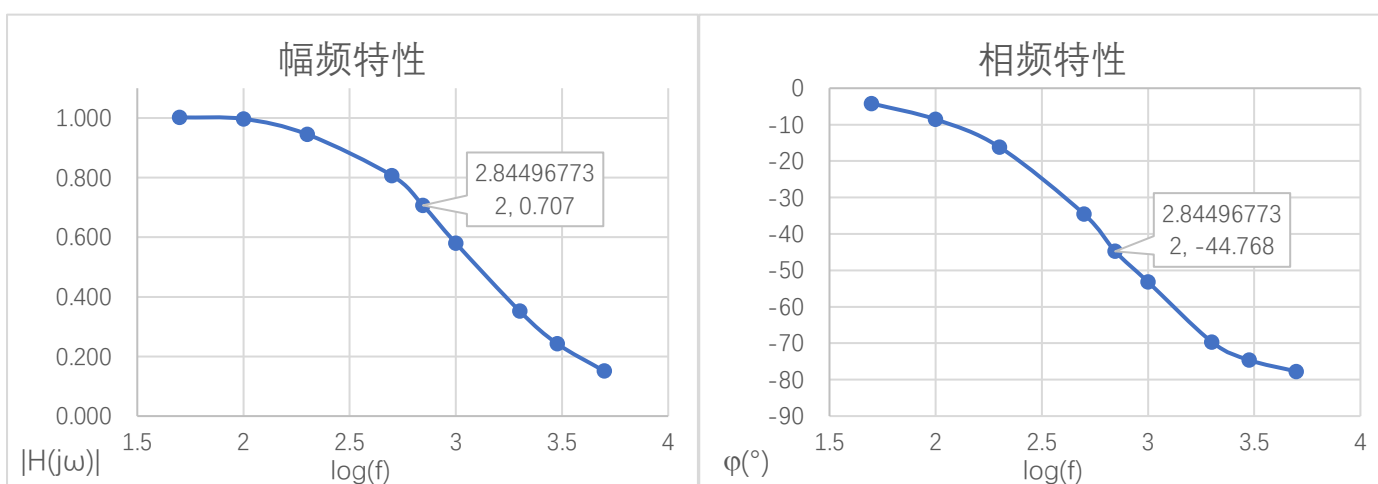
2. U_0 、 A 、 B 、 φ 随 f 变化关系

测量参数：电阻 $R=2.2125k\Omega$ ，电容 $C=103.1nF$

$f(\text{Hz})$	50	100	200	500	699.79	1000	2000	3000	5000
$U_0(\text{V})$	1.002	0.997	0.945	0.807	0.707	0.580	0.352	0.243	0.151
$B(\text{V})$	0.20625	0.41925	0.78500	1.59900	1.98400	2.24750	2.64225	2.71700	2.74725
$A(\text{V})$	2.81875	2.81800	2.81770	2.81770	2.81725	2.80800	2.81775	2.81776	2.81125
B/A	0.073	0.149	0.279	0.567	0.704	0.800	0.938	0.964	0.977
$\varphi(^{\circ})$	-4.196	-8.556	-16.176	-34.575	-44.768	-53.168	-69.672	-74.631	-77.751

其中， $f_c=699.79\text{Hz}$

幅频特性、相频特性曲线如下：



3. 频率为 f_c 时的输入、输出电压波形图

李沙育图形和波形图如下：



由时域法 $\varphi = \frac{\Delta T}{T} \times 360^\circ$ 得 $\varphi = -43'54''$

由李沙育法 $\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A}$ 得 $\varphi = -44'46''$

可以看出 U_i 超前 U_o 约 $45'$

思考题：

1. 两个不同频率的正弦信号能否测量其相位差？为什么？

不能。根据正弦信号的相位公式 $\varphi = \omega t + \varphi_0$ ，设两个信号的相位、角速度、初相位分别为 φ_1 、 φ_2 、 ω_1 、 ω_2 、 φ_{01} 、 φ_{02} ，则 $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = (\omega_1 - \omega_2)t + \varphi_{01} - \varphi_{02}$ ，因为频率不同，所以 $\omega_1 \neq \omega_2$ ， $\Delta\varphi$ 随 t 发生变化，因此无法测量

2. 理论证明公式 $\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A}$ 成立

CH1、CH2 的信号分别有：

$$x(t) = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$y(t) = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$$

则容易得出：

$$A = 2A_1$$

当 $y(t) = 0$ 时，求得此时的 t ：

$$t = \frac{k\pi - \varphi_2}{\omega} \quad k \in \mathbb{Z}$$

带入得此时的 $x(t)$ ：

$$x(t) = A_1 \sin(k\pi + (\varphi_1 - \varphi_2)) \quad k \in \mathbb{Z}$$

$$x(t) = \pm A_1 \sin \Delta \varphi$$

$$B = 2A_1 \sin \Delta \varphi$$

$$\frac{B}{A} = \frac{2A_1 \sin \Delta \varphi}{2A_1} = \sin \Delta \varphi$$

所以, $\Delta \varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A}$, 证毕。

3. 总结示波器、信号源的使用方法及注意事项

示波器：需要注意所在采集频道，先用标准信号测试仪器是否损坏，然后将其连接待测两级，调整波形时先用自动调整，然后再手动调整，以波形占到屏幕 $2/3$ 以上为佳，若要定量测量开启光标进行精密测量。

信号源：调整频率时注意单位，注意电压值为有效值还是最大值，可以用按键调整参数，也可以用滚轮快速调节相对连续变化的参数。