

常用电子仪器与一阶 RC 电路频率特性的研究
实验报告

信息科学技术学院 神 PB22114514
信息科学技术学院 李 毅 PB22051031
教室：电四楼 101 室 座位号：8

2023 年 11 月 1 日

第一部分 实验目的

1. 对实验室的示波器、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的了解，为今后的实验打下基础。
2. 利用示波器观察信号波形，测量振幅和周期（频率）。
3. 测量一阶 RC 低通滤波电路的幅频特性和相频特性。

第二部分 实验原理

实验所用一阶 RC 电路如图 1-1 所示，由电路分析可知输出电压为

$$\dot{U}_o = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \dot{U}_i = \frac{\dot{U}_i}{j\omega RC + 1}$$

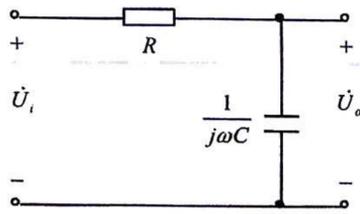


图 1-1 一阶 RC 电路

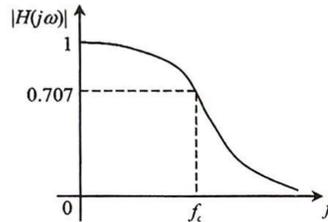


图 1-2(a) 幅频特性

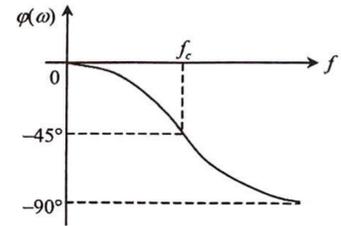


图 1-2(b) 相频特性

其网络传递函数为

$$H(j\omega) = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{1}{j\omega RC + 1} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \angle -\arctan(\omega RC) = |H(j\omega)| \angle \varphi(\omega)$$

其中， $|H(j\omega)| = \frac{|U_o|}{|U_i|} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$ ，表示输出和输入的幅值比，称为增益函数，幅值函数与频率的关系称为幅频特性，实验所用一阶 RC 电路为一低通系统。

$\varphi(\omega) = -\arctan(\omega RC)$ ， $\varphi(\omega)$ 表示的是输出与输入的相位差，称为相位函数，相位函数与频率的关系称为相频特性，实验所用一阶 RC 电路的相频特性为输出滞后于输入 $\arctan(\omega RC)$ 角度。

当 $\omega_c = \frac{1}{RC}$ 时， $|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ， $\varphi(\omega) = -45^\circ$ ，故称 $\omega_c(f_c) \sim \infty$ 为阻带。

一阶 RC 电路的频率特性如图 1-2 所示。

测量相位差角的两种方法：

1. 时域法

根据两个同频率的正弦信号，可以比较相位差，对于图 1-3(a) 所示的两信号，其相位差角为 $\varphi = \frac{\Delta T}{T} \times 360^\circ$ ，其中 ΔT 为两信号之间的时间差， T 为信号的周期。

2. 李萨育图形法

对于图 1-3(b) 所示的两信号的李萨育图形，其相位差角为 $\varphi = \arcsin \frac{B}{A}$ ，其中 A 是图形在水平方向上的投影， B 是图形在水平方向上两交点之间的距离。

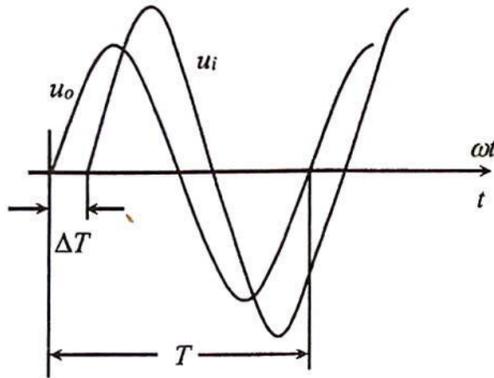


图 1-3(a) 时域法测量相位差角

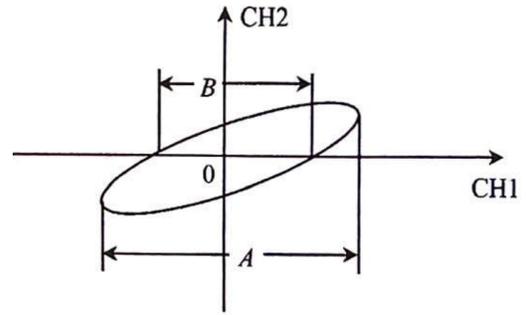


图 1-3(b) 李萨育法测量相位差角

第三部分 实验内容

3.1 方波信号测量

用 CH1 观测示波器本身的校准信号 CAL，测量数据如表 1 所示，同时得到 DC 档和 AC 档的波形图，如图 2-1，图 2-2 所示：

表 1 示波器校准信号理论值与测量值

| 校准信号 | 标称值 | 测量值 |
|----------|--------|--------|
| 幅度 U_p | 0.6V | 0.610V |
| 频率 f | 1000Hz | 1037Hz |

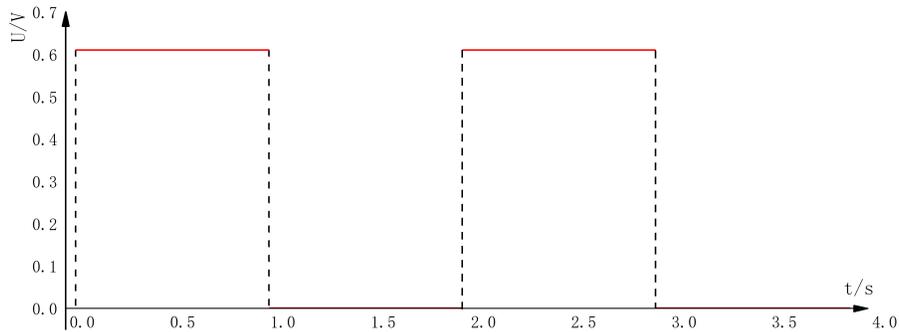


图 2-1 DC 档波形图

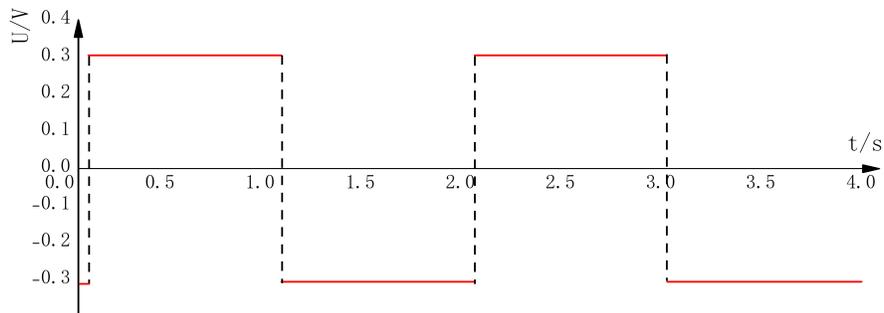


图 2-2 AC 档波形图

3.2 一阶 RC 低通电路

按照原理图接线，测量得电阻实际值 $R = 2.2010k\Omega$ ，电容实际值 $C = 99.1nF$ 。调节至 $V_i = 1V$ (有效值)。当输出电压 $U_o = 0.707V$ 时，信号频率 $f_c = 710.49Hz$ 。

改变输入电压信号频率，采用李沙育法测量相角，得到下表：

表 2 不同频率下的输出电压与相角

| | | | | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $f(Hz)$ | 100 | 300 | 500 | 600 | 650 | 700 | 710 |
| $U_o(V)$ | 0.993 | 0.930 | 0.818 | 0.763 | 0.739 | 0.712 | 0.707 |
| $B(V)$ | 0.605 | 1.210 | 1.715 | 1.925 | 2.015 | 2.050 | 2.060 |
| $A(V)$ | 2.945 | 2.920 | 2.900 | 2.885 | 2.880 | 2.865 | 2.865 |
| ϕ | 11.85484 | 24.4805 | 36.25495 | 41.85474 | 44.39915 | 45.68684 | 45.97385 |
| $f(Hz)$ | 750 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 | 5000 | |
| $U_o(V)$ | 0.688 | 0.667 | 0.580 | 0.427 | 0.334 | 0.140 | |
| $B(V)$ | 2.110 | 2.180 | 2.375 | 2.580 | 2.675 | 2.690 | |
| $A(V)$ | 2.865 | 2.865 | 2.870 | 2.860 | 2.870 | 2.870 | |
| φ | 47.43197 | 49.54427 | 55.84544 | 64.43521 | 68.75757 | 69.60004 | |

频率为 f_c 时，输入输出电压波形图 (手绘图) 如图 3 所示。

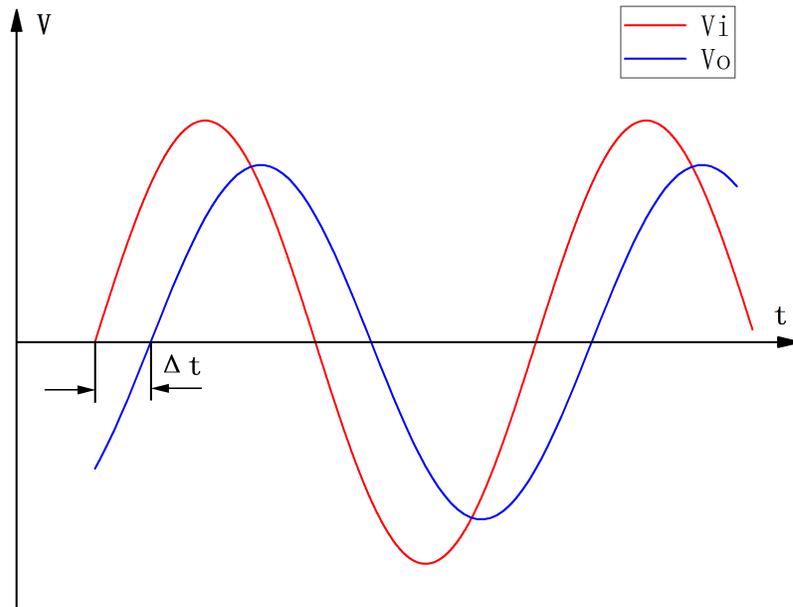


图 3 频率为 f_c 时的输入输出电压波形图

其中 V_o 滞后于 V_i 。测量得 $\Delta t = 0.178ms$ ， $T = \frac{1}{f} = 1.40845ms$ ， $\theta = \frac{\Delta t}{T} \times 360^\circ = 45.49^\circ$ ，可以看出使用时域法测得的相位差角与使用李沙育法测得的结果基本一致。

3.3 误差分析

将实验值与理论值的 V_i ， φ 与 f 的关系绘制在一张图中，如图 4，图 5 所示：

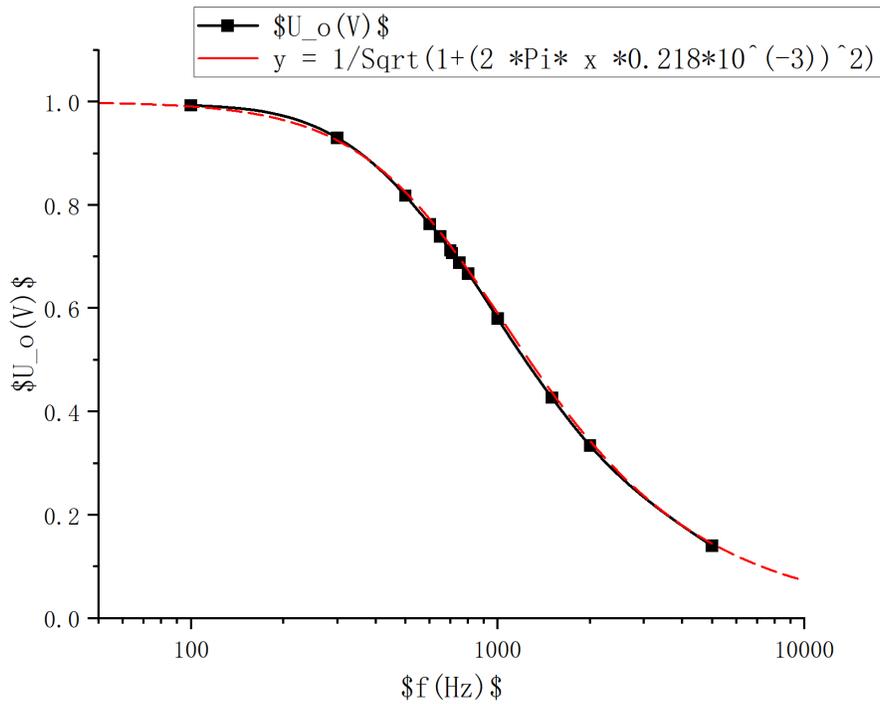


图 4 V_i 与 f 的关系 (实线为实验值, 虚线为理论值)

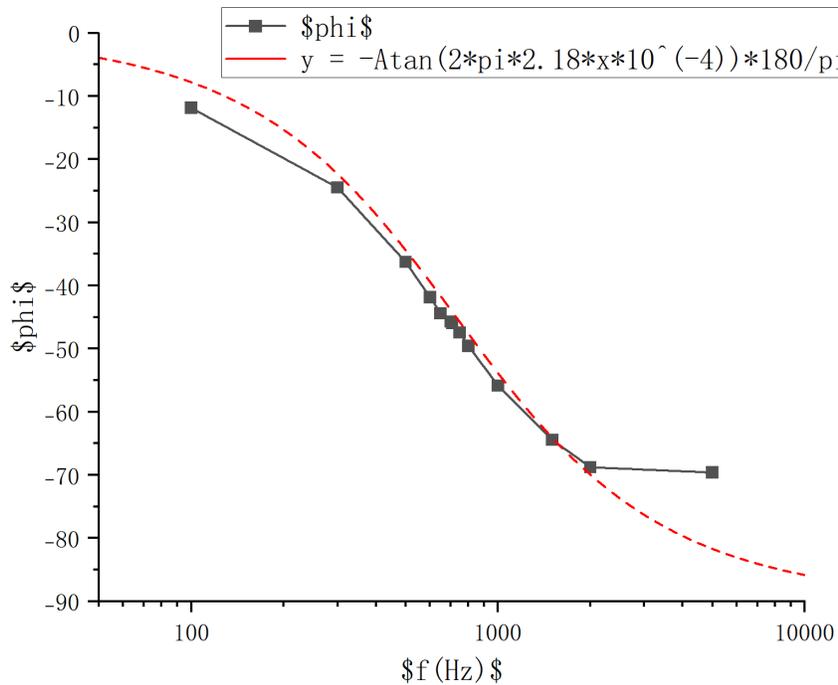


图 5 V_i 与 ϕ 的关系 (实线为实验值, 虚线为理论值)

可以看出, 实验值的 V_i 与 f 的关系与理论值符合的很好, 实验值的 V_i 与 ϕ 的关系在中频时与理论值符合的很好, 在 f 很大或者很小的时候与理论值相差较大。猜测是因为示波器最小分度值的原因导致。

第四部分 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？

答：两个不同频率的正弦信号不能直接测量其相位差。原因在于，不同频率的波的相位差是随时间变化的，不具有稳定值。换句话说，它们的相位差不是固定值，而是时间的函数。因此，我们只能得到它们之间的瞬时相位差，而无法得知一个固定的初始相位差。

2. 使用函数信号源时，是接入电路调节输入电压大小还是调好电压大小再接入电路？两者有什么区别？

答：应该接入电路后再调节电压大小，原因如下：

信号发生器的输出阻抗因不同型号而异，一般有低阻输出和高阻输出，大多数函数信号源的默认低阻输出为 50Ω ，因此一般信号发生器可以等效为一个理想电压源串联一个 50Ω 电阻，当负载输入阻抗远大于信号源输出阻抗时，负载所分得的电压很接近信号源电压。当负载输入阻抗与信号源输出阻抗处于同一量级时，负载所分得的电压与信号源电压差距较大。

因此，应当接入电路后再调节电压大小，这样才能保证输出电压满足要求。

3. 总结各种实验仪器的使用方法和注意事项

I. 双踪示波器：

(1) 连接信号源：将要测量的两个信号源分别连接到示波器的通道一和通道二。确保信号源的输出与示波器的输入匹配。选择正确的公共地。

(2) 调整垂直和水平控制：根据信号的幅度范围，调整示波器的垂直和水平控制，使得波形能够完整显示在屏幕上，且不超出范围。选择合适的 Y 轴耦合方式，即 AC 挡和 DC 挡。

(3) 调整时间基准：根据需要调整时间基准，以便在屏幕上显示适当的时间范围。

(4) 选择双踪显示：在示波器控制面板上选择双踪显示模式，使得两个信号可以同时显示在屏幕上。

(5) 分析信号：观察屏幕上显示的两个信号波形，并分析它们之间的相关性、相位差和幅度差等，X-Y 模式可用于观察李萨育图形。

II. 函数信号发生器：

按照所需要的信号类型，选择信号波形，设置频率和振幅。将信号发生器通过导线连接到被测对象。调整信号源以输出所需信号，并根据结果调整设置。

III. 交流毫伏表：

选择测量通道，连接电路，根据待测电压的估计值，选择合适的量程档位，观察仪表上的刻度或数字显示。记录测量值，通常以毫伏 (mV) 为单位。测量完成后，断开直流毫伏表的测试引线。

使用手动 (Manual) 量程时，当输入信号大于当前量程时，显示 OVLD 表示过量程，应加大量程；当输入信号小于当前量程的 8% 时，显示 LOWER 必须减小量程。手动量程的测量速度比自动量程快。

IV. 数字万用表:

万用表测量电阻是利用表内的电源加在被测电阻上换算得出的, 当有外接电源存在时, 不仅测量不准确, 也有可能毁坏电表。如果被测电阻在电路中并联了其它电阻或器件, 测量结果显然不准确。不能在电路中带电测量某一电阻的阻值或电容的容量, 测量电容容量前必须先放电完毕。

V. 直流稳压电源:

打开直流稳压电源, 将需要供电的电路或设备连接到稳压电源的输出端口。使用电源面板上的控制按钮或旋钮来调整输出电压设置, 确保将电压设置在负载设备所需的工作电压范围内。可以打开电源输出, 使电源开始提供稳定的电压给负载设备。在完成实验或测试后, 务必关闭电源输出, 以防止电源继续供电。

致 谢

感谢中国科学技术大学信息与计算机实验教学中心