

浙江大学实验报告

专业：信息工程

姓名：

学号：

日期：2021.11.17

地点：东 4-216

课程名称：电子电路设计实验 1 指导老师：李锡华、叶险峰、施红军 成绩：

实验名称：一阶 RC 电路的瞬态响应过程实验研究 实验类型：探究型 同组学生姓名：姚星

一、实验目的

二、实验任务与要求

三、实验方案设计与实验参数计算（3.1 实验方案总体设计、3.2 各功能电路设计与计算、3.3 完整的实验电路……）

四、主要仪器设备

五、实验步骤、实验调试过程、实验数据记录

六、实验结果和分析处理

七、讨论、心得

八、思考题

一、实验目的

- 1、熟悉一阶 RC 电路的零状态响应、零输入响应过程。
- 2、研究一阶 RC 电路在零输入、阶跃激励情况下，响应的基本规律和特点。
- 3、学习用示波器观察分析 RC 电路的响应。
- 4、从响应曲线中求 RC 电路的时间常数。

二、实验原理

1. 一阶 RC 电路的零输入响应（放电过程）

电路在无激励情况下，由储能元件的初始状态引起的响应称为零输入响应，即电路初始状态不为零，输入为零所引起的电路响应。实际上是电容器 C 的初始电压经电阻 R 放电过程。在图 9.8.1 中，先让开关 K 合于位置 a，使电容 C 的初始电压值 $u_c(0_-) = U_0$ ，再将开关 K 转到位置 b。电容器开始放电，放电方程为：

$$u_c + RC \frac{du_c}{dt} = 0 \quad (t \geq 0)$$

可以得出电容器上的电压和电流随时间变化的规律：

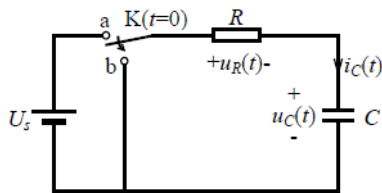


图 9.8.1 一阶电路

$$u_c(t) = u_c(0_-) e^{-\frac{t}{RC}} = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0)$$

$$i_c(t) = -\frac{u_c(0_-) e^{-\frac{t}{RC}}}{R} = -\frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0)$$

式中 $\tau = RC$ ，即为时间常数，其物理意义是 $u_c(t)$ 衰减到 $1/e$ (36.8%) $u_c(0)$ 所需要的时间，反映了电路过渡过程的快慢程度。 τ 越大，暂态响应所持续的时间越长，即过渡过程的时间越长；反之， τ 越小，过

实验名称：_____ 姓名：_____ 学号：_____

渡过程的时间越短。时间常数 τ 可通过相应的衰减曲线，见图 9.8.2

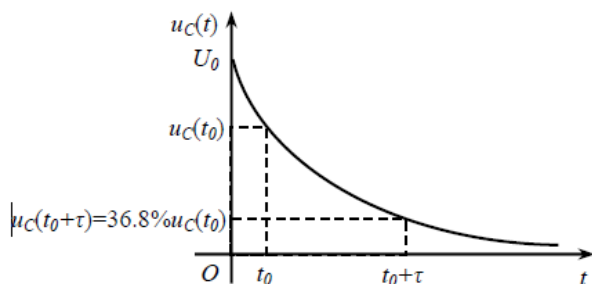


图 9.8.2 由零输入响应曲线测量时间常数

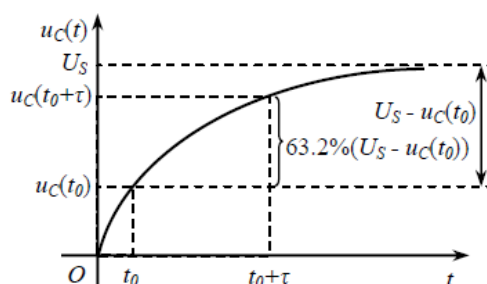


图 9.8.3 一阶 RC 电路的零状态响应曲线

2. 一阶 RC 电路的零状态响应（充电过程）

所谓零状态响应是指初始状态为零，而输入不为零所产生的电路响应。一阶 RC 电路在阶跃信号激励下的零状态响应实际上就是直流电源经电阻 R 向 C 充电的过程。在图 9.8.1 所示的一阶电路中，先让开关 K 合于位置 b，当 $t=0$ 时，将开关 K 转到位置 a。电容器开始充电，充电方程为：

$$u_c + RC \frac{du_c}{dt} = U_s \quad (t \geq 0)$$

$$\text{初始值: } u_c(0_-) = 0$$

可以得出电压和电流随时间变化的规律：

$$u_c(t) = U_s(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (t \geq 0)$$

$$i_c(t) = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0)$$

$\tau = RC$ 为时间常数，其物理意义是由初始值上升至稳态值与初始值差值的 63.2% 处所需的时间。同样可以从响应曲线中求得时间常数 τ ，如图 9.8.3 所示。

3. 方波响应

当方波信号激励加到 RC 两端时，在电路的时间常数远小于方波周期时，可以视为零状态响应和零输入响应的多次过程。方波的前沿相当于给电路一个阶跃输入，其响应就是零状态响应；方波的后沿相当于在电容具有初始值 $u_C(0)$ 时，把电源用短路置换，电路响应转换成零输入响应。

当方波的 1/2 周期小于电路的时间常数时，方波前后沿对应的是瞬态过程的其中一小部分。

由于方波是周期信号，可以用普通示波器显示出稳定的响应图形，便于观察和作定量分析。

三、实验电路设计

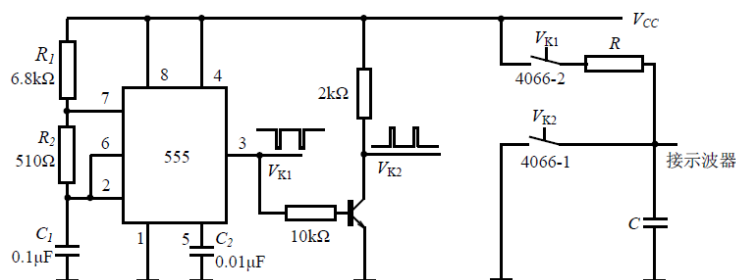


图 9.8.4 重复激励的零状态响应观测实验电路

实验名称：_____ 姓名：_____ 学号：_____

RC 电路的响应是一个十分短暂的单次变化瞬态过程，一次激励引起电路一次响应。要在示波器上显示 RC 电路的响应曲线进而进行观察和测量有关参数，就必须周期性地重复进行激励，使这种单次变化的过程重复出现，而且要保证激励信号与示波器扫描的同步，只有这样，才能在示波器上显示稳定的电路响应曲线。

为此，实验时必须设计一个实验方案，实现对 RC 电路的周期性重复激励和向示波器提供扫描同步信号。图 9.8.4 是观测零状态响应过程的实验电路，选用 555 时基电路作激励脉冲信号发生电路，用 CD4066 电子开关实现电路中开关的切换，脉冲信号的前沿为示波器提供扫描同步触发信号。

四、主要仪器设备

示波器、实验电路板、直流稳压源（提供 12V 电压）

五、实验任务与步骤

- 1、用示波器观察 RC 电路的零输入响应、零状态响应，描绘响应曲线，求出电路的时间常数。
- 2、更换电路中电阻、电容的大小，重新测量电路的各种响应，分别求出每次测量的时间常数。
- 3、理论计算电路的时间常数，并与实验测量值比较。

六、实验数据记录及处理

表 1 实验数据记录及处理

电路状态	电阻 R/ Ω	电容 C/pF	波形图	τ (测量值)/ms	τ (理论值)/ms	相对误差/%
零状态响应 (充电)	9.1K	10×10^4 pF	图 1	0.85	0.91	6.59
	750	10×10^4 pF	图 2	0.072	0.075	4.00
零输入响应 (放电)	4.3K	22×10^4 pF	图 3	0.85	0.946	10.15
	4.3K	10×10^3 pF	图 4	0.046	0.043	6.98

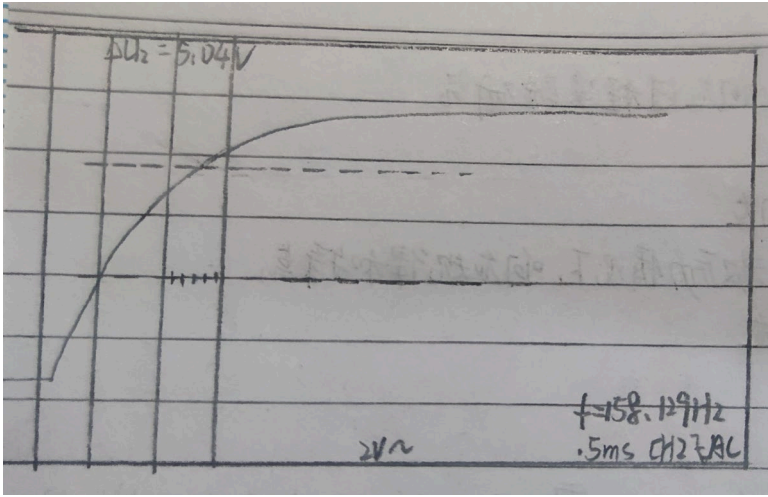


图 1

实验名称: _____ 姓名: _____ 学号: _____

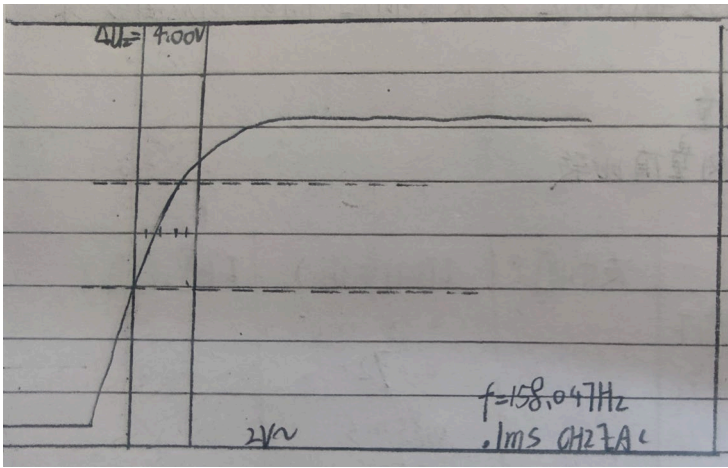


图 2

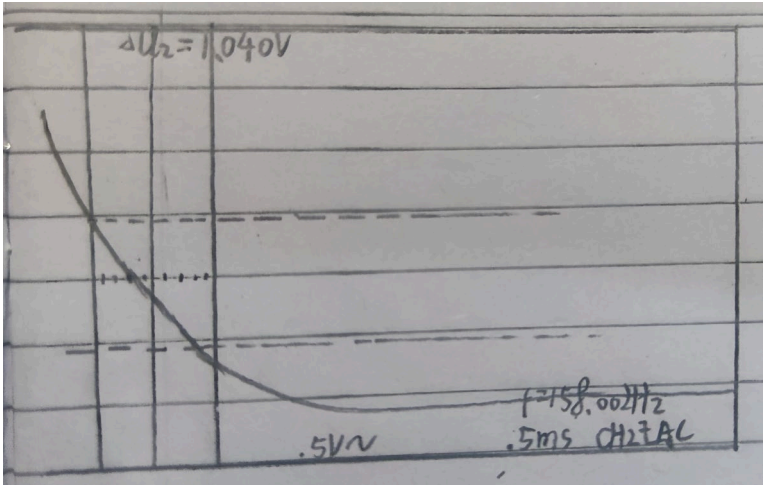


图 3

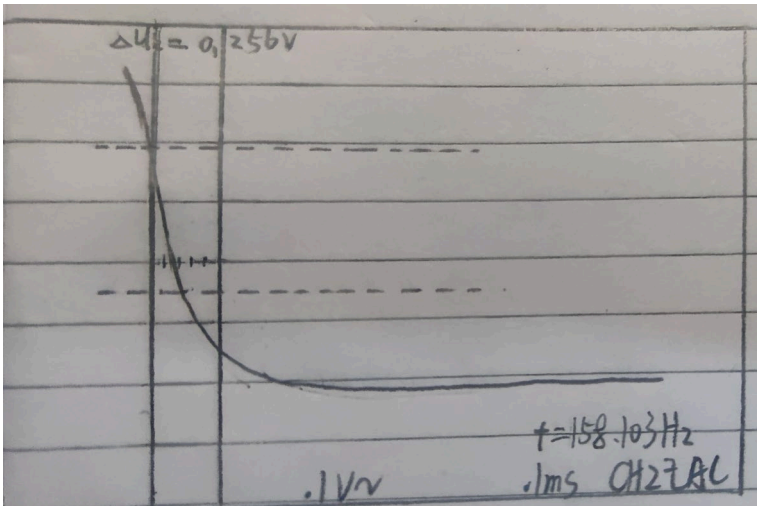


图 4

实验名称：_____ 姓名：_____ 学号：_____

七、思考题

1、什么是零输入响应、零状态响应？

答：零输入响应是指电路在无激励情况下，由储能元件的初始状态引起的响应，即电路初始状态不为零，输入为零所引起的响应（放电过程）。零状态响应是指初始状态为零，而输入不为零所产生的的电路响应（充电过程）。

2、在用示波器观察 RC 电路响应时如何才能使示波器的扫描与电路激励同步？

答：将触头与测试点勾住，架子夹住接地点，转动示波器上的 TIME/DIV 旋钮，使得示波器上的图像从杂乱无章到稳定不变，即扫描与激励同步。

3、什么是时间常数？它在电路中起什么作用？

答：时间常数是指一个物理量从最大值衰减到最大值的 $1/e$ 所需要的时间。在 RC 电路零输入响应中，电容电压总是从初始值 $u_c(0)$ 按指数衰减到 0，则电容电压从 $u_c(0)$ 衰减到 $1/e u_c(0)$ 的时间即为时间常数。在 RC 电路零状态响应中，电容电压从初始值上升至与初始值差值的 63.2% 处所需时间为时间常数。

八、讨论与心得

本次实验用示波器测量 RC 电路的时间常数。示波器可以反映零输入和零状态响应的波形，但若仅仅在直流电路中用开关的断开与闭合进行输出，只能得到一段波形，反映在示波器上就是响应的波形一闪而过，无法测量。这次实验的设计让我从实验的角度去思考如何解决问题，本实验就用了一个矩形波用作电路的输入，从而实现反复输出零输入和零状态响应的输出结果。矩形波的关键在与半周期要大于 τ ，这样才能较完整的输出响应结果。

测量方法为固定一段光标，计算对应一个时间常数的电压差值去固定另一光标，用目测法得出时间光标与波形交点间的水平距离，从而测出时间常数。实验技巧在于调整波形位置，最好使其交点位于网格点上便于目测估计。但因为是目测估计，所以会出现较大的随机误差。这此实验的第三组数据我们的误差就相对比较大，这个误差特别在时间常数本身较小的时候比较难避免。因为时间常数本身比较小，波形反映往往水平距离在一个网格以内，这时需要估读的部分比较多，且本身估读不当对结果测量影响也很大。

本次实验最大的收获还是用示波器观测到了 RC 电路的零输入和零状态响应，非常直观，加深了我对一阶电路响应的认识。