

一阶 RC 电路的研究

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 15 日

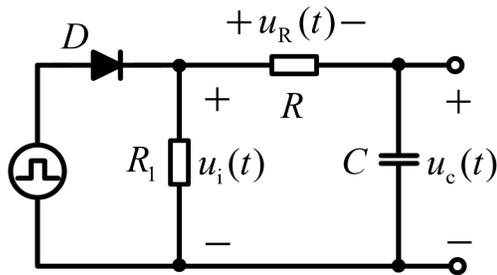
实验目的

1. 研究一阶 RC 电路的零输入响应和阶跃响应。
2. 利用示波器观察一阶 RC 电路在方波激励下的响应和特点，掌握用示波器测量一阶电路的时间常数的方法。
3. 利用 RC 电路实现微分、积分运算以及脉冲分压器等。

实验一 观测 RC 串联电路的零状态响应和零输入响应

实验原理

按图 1.1 接线，取 $R = 1k\Omega$, $R_1 = 200\Omega$, $C = 0.1\mu F$ ，D 为二极管，输入端接 $f = 500Hz$ 的方波信号源，D 可以削去负的矩形波以获得所需的方波，电阻 R_1 两端的波形如图 1.2 所示，使用示波器测量并调节 $U_p = 5V$ ，只要使 $t_p \gg \tau$ ，则在一个周期内能同时观察到零状态响应和零输入响应。



1.1 实验一所用电路图

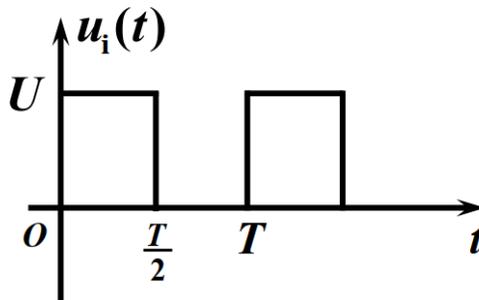


图 1.2 电阻 R_1 两端方波激励波形

由一阶 RC 电路的性质，当电容的初始电压为 0，仅由独立电源作用时为零状态响应，有 $u_c(t) = U_P(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ 当 $t = RC$ 时电容电压 $u_c(t) = 0.632U_P$ ，一阶电路时间常数 $\tau = RC$ 。当换路后无独立电源，仅由储能元件电容初始储能引起响应时为零输入响应，有 $u_c(t) = U_P e^{-\frac{t}{(R_1+R)C}}$ ，当时间 $t = (R_1+R)C$ 时，电容电压 $u_c(t) = 0.368U_P$ ，则电路时间常数 $\tau = (R_1+R)C$ 。

理论计算

根据元件参数 $R = 1k\Omega$, $R_1 = 200\Omega$, $C = 0.1\mu F$ ，可以算出实验电路零状态响应的时间常数 $\tau_1 = RC = 0.1ms$ ，零输入响应的时间常数 $\tau_2 = (R_1+R)C = 0.12ms$ 。

实验数据

根据示波器所示波形在坐标纸上画出观测到的结果如图 1.3 所示。

测得 $\tau_1 = 0.114ms$, $\tau_2 = 0.138ms$, $t = 2ms$ ，相对误差 $\delta_{\tau_1} = \frac{0.114-0.1}{0.1} = 14\%$ ， $\delta_{\tau_2} = \frac{0.138-0.12}{0.12} = 18\%$ 可以看出结果误差较大，可能原因是：

- (1) 实验数据均采用示波器光标读数得到，很难做到光标与波形完全重合，造成读数误差较大。
- (2) 电路元件实际参数可能与标称值有较大出入。

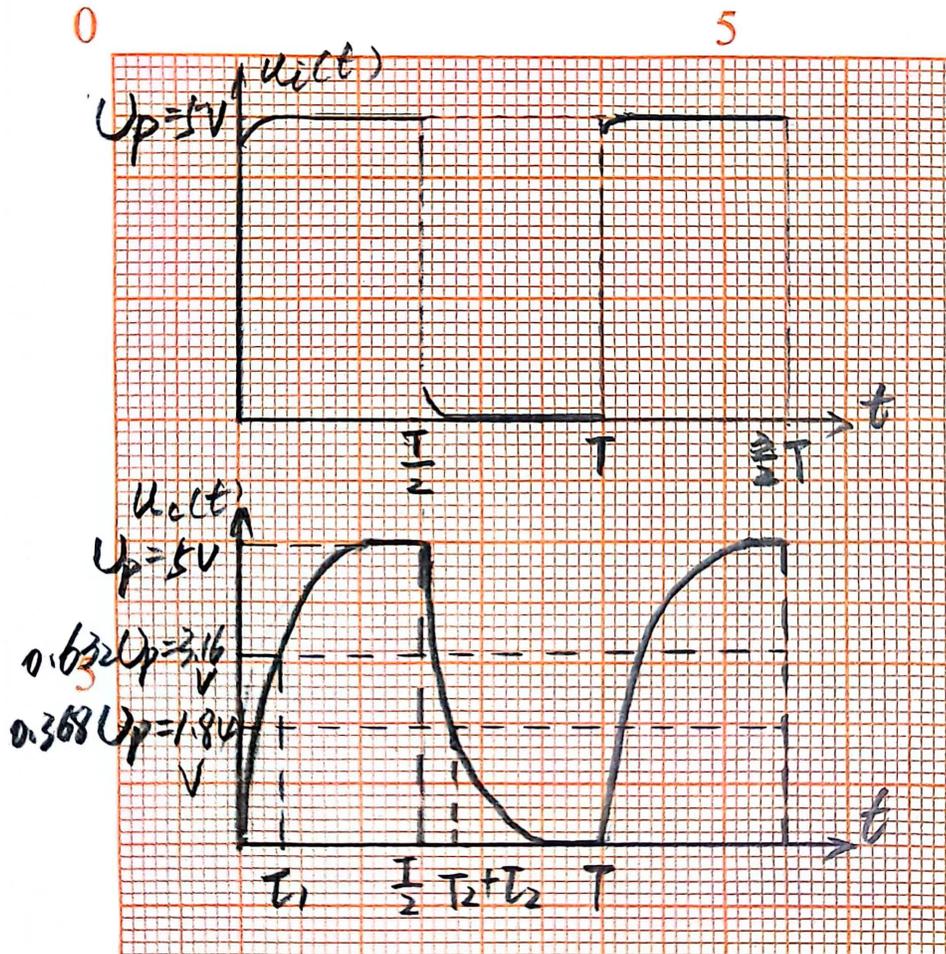


图 1.3 u_i 和 u_c 波形观测结果

实验二 观测由 RC 组成的积分电路

实验原理

对于图 2.1 所示电路，设输入 $u_i(t)$ 为一脉冲波形 $P(t)$ ，当输入脉冲宽度 $t_p = \frac{T}{2} \gg \tau = RC$ 时，有 $u_R(t) \approx P(t)$ ， $u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_c dt \approx \frac{1}{RC} \int_0^t P(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^t P(t) dt$

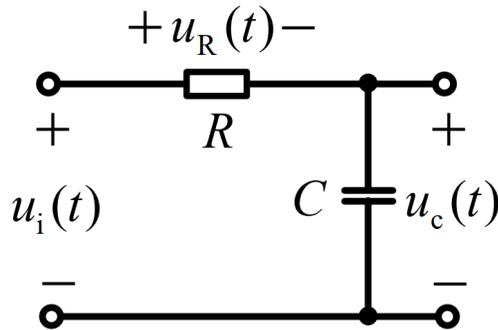


图 2.1 RC 积分电路电路图

理论计算

仍按图 1.1 接线，信号源为 $f = 1kHz$ 的方波输出，取 $R = 5k\Omega, C = 1\mu F$ ，则有

$$U_1 = U_P \frac{e^{-\frac{T}{2\tau}}}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} = 2.375V$$

$$U_2 = \frac{U_P}{1 + e^{-\frac{T}{2\tau}}} = 2.625V$$

实验数据

用示波器观测并画出波形图如图 2.2 所示。测得 $U_1 = 2.40V, U_2 = 2.72V$ ，相对误差 $\delta_{U_2} = 3.6\%$ ， $\delta_{U_1} = 1.1\%$ ，实验结果与理论计算值比较吻合。

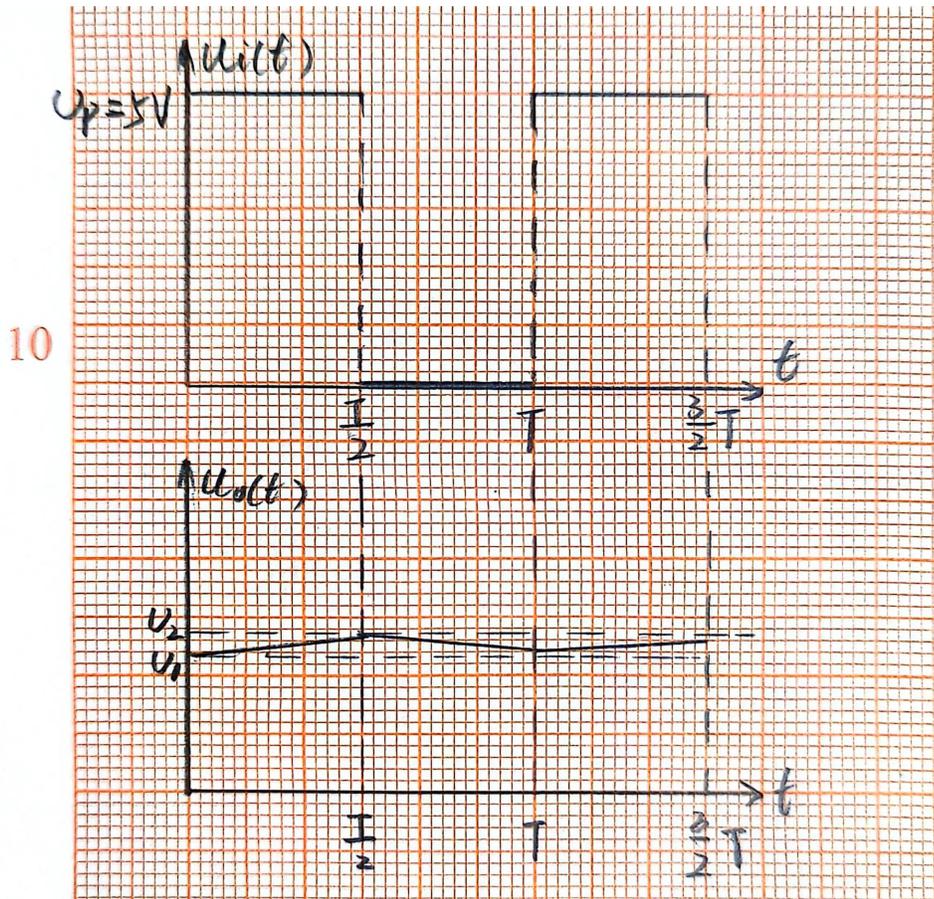


图 2.2 RC 积分电路波形观测结果

实验三 观测由 RC 组成的微分电路

实验原理

对于图 3.1 所示电路，设输入 $u_i(t)$ 为一脉冲波形 $P(t)$ ，当输入脉冲宽度 $t_p = \frac{T}{2} \gg \tau = RC$ 时，有 $u_c(t) \approx P(t)$ ， $u_R(t) = Ri_c \approx RC \frac{du_c(t)}{dt} = RC \frac{dP(t)}{dt} = \tau \frac{dP(t)}{dt}$

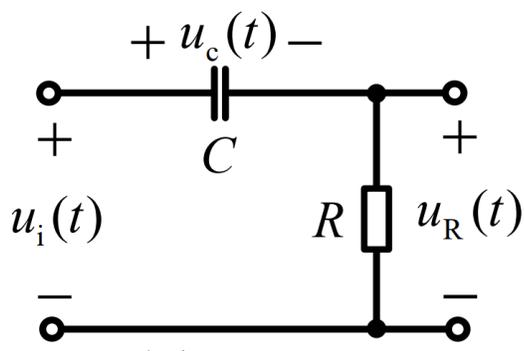


图 3.1 RC 微分电路电路图

实验数据

用示波器观测并画出波形图如图 3.2 所示。测得 $U_1 = -4.18V, U_2 = 4.56V$ ，相对误差分别为 $\delta_{U_1} = 16.4\%, \delta_{U_2} = 8.8\%$ 。受制于示波器显示精度，无法准确显示尖峰处的波形，因而 U_1, U_2 测量值并不准确。

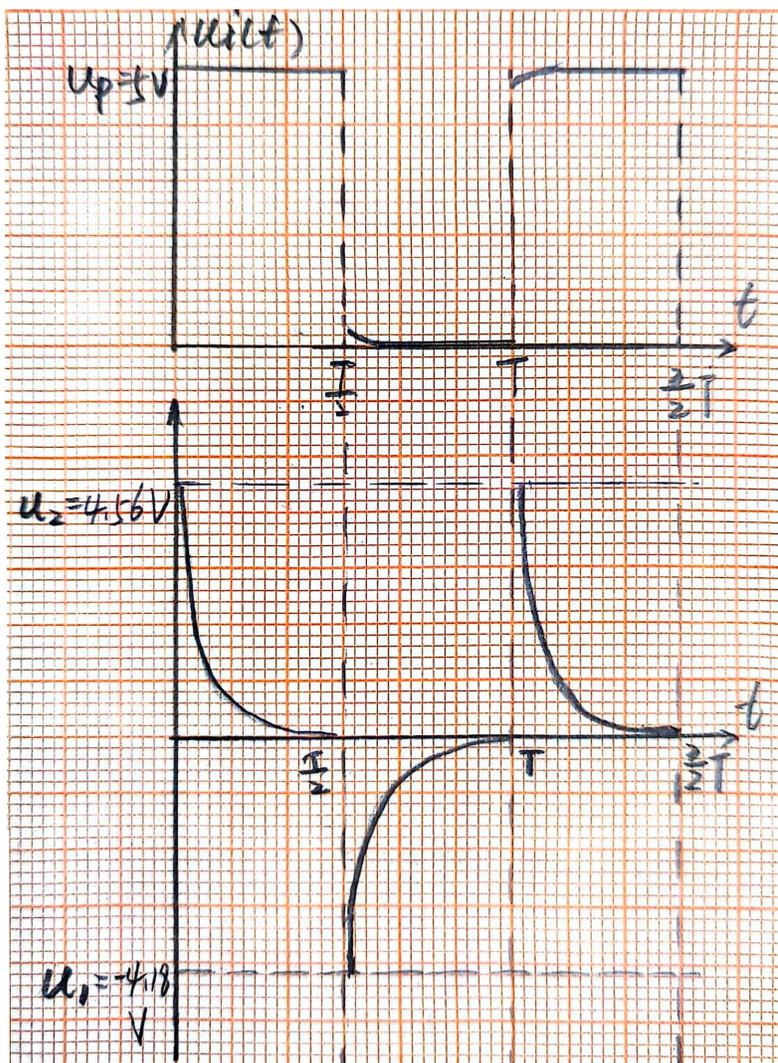


图 3.2 RC 微分电路波形观测结果

实验四 脉冲分压电路

实验原理

对于一个阶跃信号，如果加到容性负载上，要求输出电压在 $t=0$ 时也为阶跃电压，则需要采用图 4.1 所示脉冲分压电路，当 $C_1 = \frac{R_2}{R_1}C_2$ 时，由于 C_1 的补偿作用，电路可视为纯电阻分压器，则有

$$u_c(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_i(t)$$

当 $R_1 C_1 > R_2 C_2$ 时为过补偿状态，当 $R_1 C_1 < R_2 C_2$ 时为欠补偿状态。

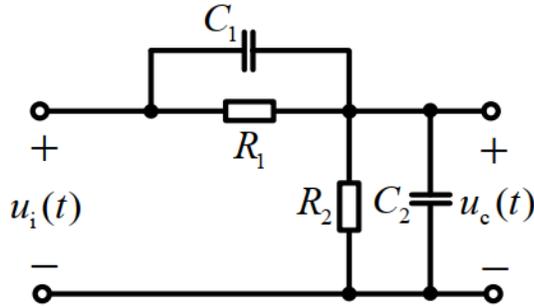


图 4.1 脉冲分压电路图

实验数据

按图 4.1 接线，输入方波信号幅度 $U_{P-P} = 6V$ ，频率 $f = 1kHz$ ， $R_1 = 20k\Omega$ ， $C_1 = 0.005\mu F$ ， $R_2 = 10k\Omega$ ， $C_2 = 0.01\mu F$ 。用示波器观测并画出波形图如图 4.2 所示（见下页）。测得恰好补偿时的 $u_c = 0.98V$ ，理论上 $u_c(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_i(t) = 1V$ ，相对误差 $\delta_{u_c} = 2\%$ ，理论与实际测量结果吻合较好。

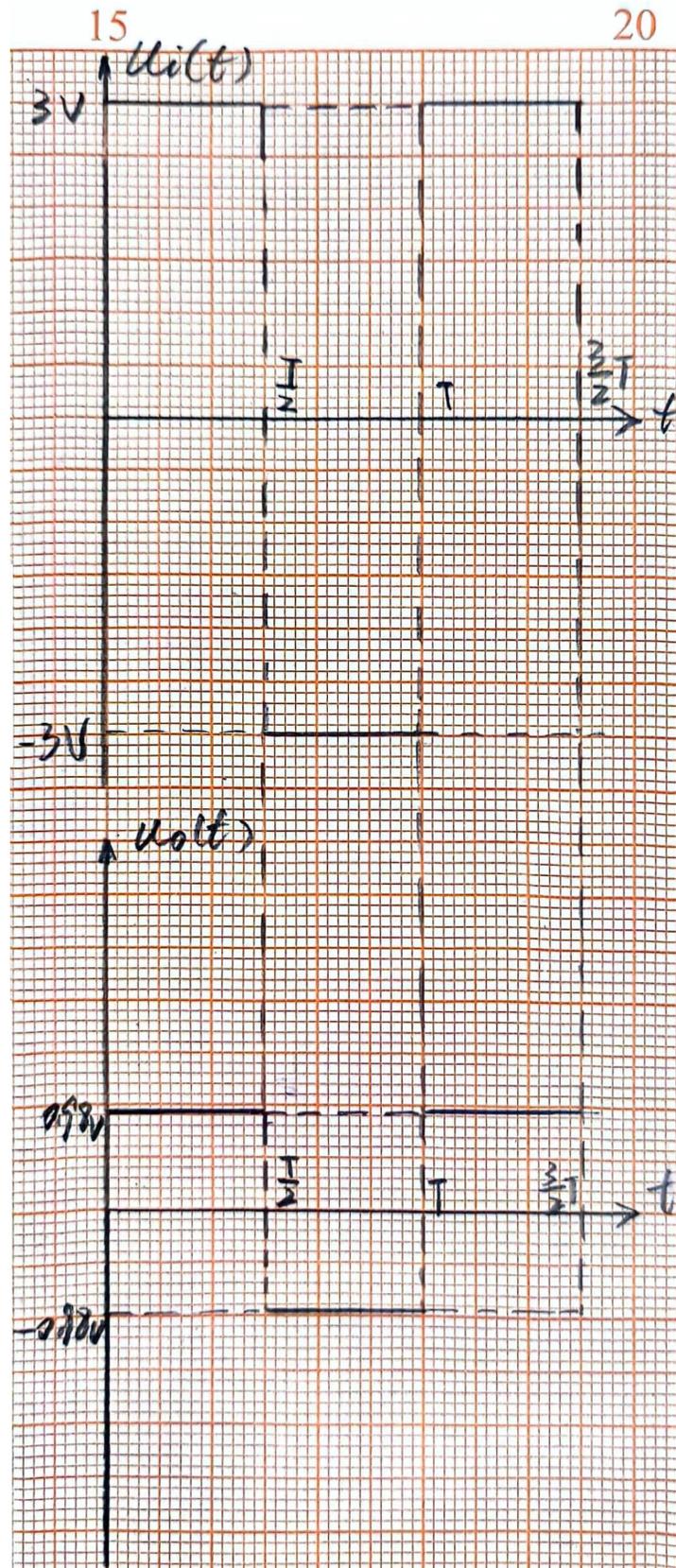


图 4.2 脉冲分压电路观测结果

思考题

I. 在实验电路图 1.1 中, 电阻 R_1 在电路中起何作用?

零状态响应时, 起到分压作用。

零输入响应时, 提供放电回路, 电容可以通过 R_1 放电。

II. 脉冲分压器电路图 4.1, 有两个贮能元件 C_1 和 C_2 , 为何是一阶电路?

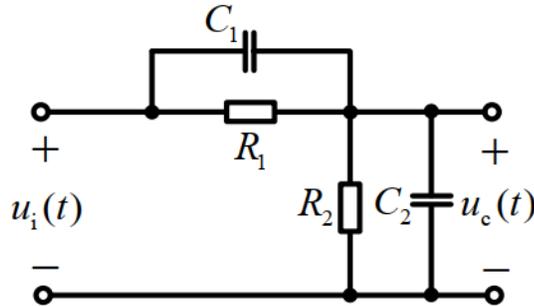


图 4.1 脉冲分压电路图

如图, 设 R_1 流过电流为 i_1 , 电容 C_1 两端电流为 i_{C_1} , R_1 两端电压为 U_1 。则有 $i_1 = \frac{U_1}{R_1}$, $i_{C_1} = C_1 \frac{dU_1}{dt}$ 。同理, 设 R_2 流过电流为 i_2 , 电容 C_2 两端电流为 i_{C_2} , R_2 两端电压为 U_2 。则有 $i_2 = \frac{U_2}{R_2}$, $i_{C_2} = C_2 \frac{dU_2}{dt}$ 。

由于干路上的电流相等, 即:

$$C_1 \frac{dU_1}{dt} + \frac{U_1}{R_1} = C_2 \frac{dU_2}{dt} + \frac{U_2}{R_2}$$

由 KVL 知:

$$U_S = U_1 + U_2$$

两边对 t 求导有:

$$\frac{dU_1}{dt} + \frac{dU_2}{dt} = 0$$

联立消去 U_1 并整理得到:

$$\frac{C_1 + C_2}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \frac{dU_2}{dt} + U_2 = \frac{U_S R_2}{R_1 + R_2}$$

。

若令 $C = C_1 // C_2 = C_1 + C_2$, $R = R_1 // R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$, $U_s' = \frac{U_S R_2}{R_1 + R_2}$, 原式化为:

$$RC \frac{dU_2}{dt} + U_2 = U_s'$$

与标准一阶 RC 电路形式相同, 故为一阶电路。

III. 本次实验中, 能用毫伏表测量电阻 R_1 两端的电压吗, 为什么?

不能。实验室配备的 SM2030A 数字交流毫伏表只能测量正弦波有效值电压, 无法用于测量方波。

IV. 根据本次实验说明 RC 电路分别作积分电路和微分电路必须具备的条件。

本次实验中, $f = 1kHz, T = 1ms, \frac{t_p}{2} = 0.5ms$ 。积分电路使用的 $\tau = RC = 5ms$, 微分电路使用的 $\tau = RC = 0.05ms$ 。故必须满足的积分电路必须满足的调节为 $\tau \gg \frac{t_p}{2}$, 微分电路必须满足的条件为 $\frac{t_p}{2} \gg \tau$ 。

同时观察图 2.1, 图 3.1, 得出, 微分电路输出电压为 RC 电路电阻两端的电压, 积分电路输出电压为 RC 电路电容两端的电压。

致 谢

感谢中国科学技术大学信息与计算机实验教学中心