

实验报告一：一阶 RC 电路充放电过程的观察

1. 实验原理

一阶 RC 电路，在电容没有初始储能的条件下，由外加激励所引起的响应就是电路的零状态响应。此时电容两端电压的变化规律为

$$u_{C(t)} = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad t \geq 0$$

其中 $\tau = RC$ 为一阶 RC 电路的时间常数。零状态响应实际上就是电容的充电过程，当 $t = \tau$ 时， $u_{C(t)} = 0.632U_s$ 。

在没有外加激励时，由动态元件的初始储能所引起的响应就是一阶电路的零输入响应。零输入响应时，电容两端电压的变化规律为

$$u_{C(t)} = U_s e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad t \geq 0$$

当 $t = \tau$ 时， $u_{C(t)} = 0.368U_s$ 。时间常数 τ 是衡量一阶电路特性的一个重要参数，可以通过示波器直接进行测量，即找出 $0.632U_s$ 和 $0.368U_s$ ，对应的时间轴坐标就是时间常数 τ 。

在动态电路的过渡过程中，用普通示波器观察过渡过程和测量有关参数，必须使这种单次变化的过程重复出现。因此，在观察一阶电路的过渡过程时，总是利用方波输出作为零状态响应的正阶跃激励信号，利用方波输出作为零输入响应的负阶跃激励信号。只要选择方波的周期远大于电路的时间常数，那么这样反复的阶跃信号激励下，它的响应就和直流电接通与断开的过渡过程基本相同。

2. 实验方案与具体步骤

实验采用信号源输出方波作为激励信号，通过示波器同时观察输入方波信号与电容两端电压信号，分析一阶 RC 电路的充电与放电过程，并测量时间常数 τ 。

具体步骤如下：

1. 按实验电路图连接一阶 RC 电路，取 $R = 10 \text{ k}\Omega$ ， $C = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$ 。
2. 将信号源设置为方波输出，幅值约为 $U_{p-p} = 2 \text{ V}$ ，频率为 $f = 1 \text{ kHz}$ 。
3. 将示波器 CH1 接输入信号 u_i ，CH2 接电容两端电压 u_C 。
4. 调节示波器时基和幅值档位，使输入方波和电容电压波形稳定显示。
5. 观察电容充电过程中的零状态响应曲线，并测量 $u_C = 0.632U_s$ 对应的时间。
6. 观察电容放电过程中的零输入响应曲线，并测量 $u_C = 0.368U_s$ 对应的时间。
7. 将理论时间常数与实测时间常数进行比较，计算相对误差。

3. 实验电路连接与实测数据

3.1 实验电路连接

实验电路由信号源、电阻 R 、电容 C 和示波器组成。输入端接方波信号 u_i ，输出端取电容两端电压 u_C 。示波器 CH1 观察输入方波，CH2 观察电容电压。

3.2 实验参数与实测数据

测量项目	理论判据	实测时间	相对误差
零状态响应	$u_C = 0.632U_s$	96 μs	4%
零输入响应	$u_C = 0.368U_s$	96 μs	4%

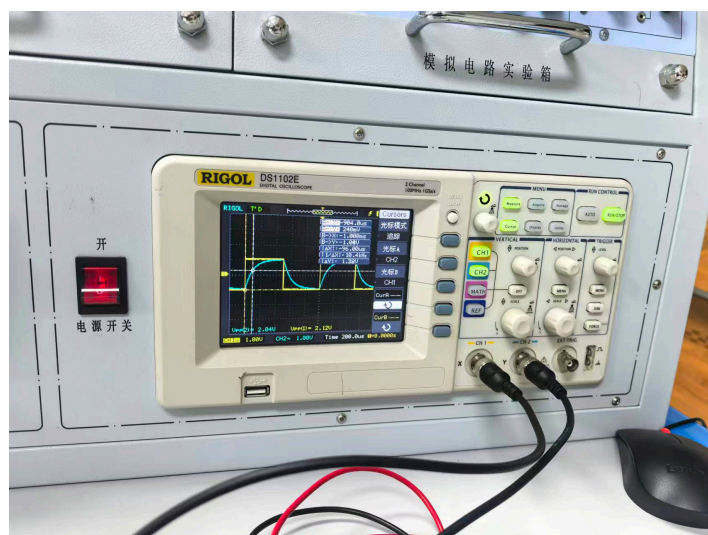


图 1 示波器测得的一阶 RC 电路充放电波形

4. 实验数据与结果

理论时间常数为

$$\tau = RC = 10 \text{ k}\Omega \times 0.01 \text{ }\mu\text{F} = 100 \text{ }\mu\text{s}$$

理论上，零状态响应在 $t = \tau$ 时满足 $u_C = 0.632U_s$ ，零输入响应在 $t = \tau$ 时满足 $u_C = 0.368U_s$ ，对应曲线如图所示。

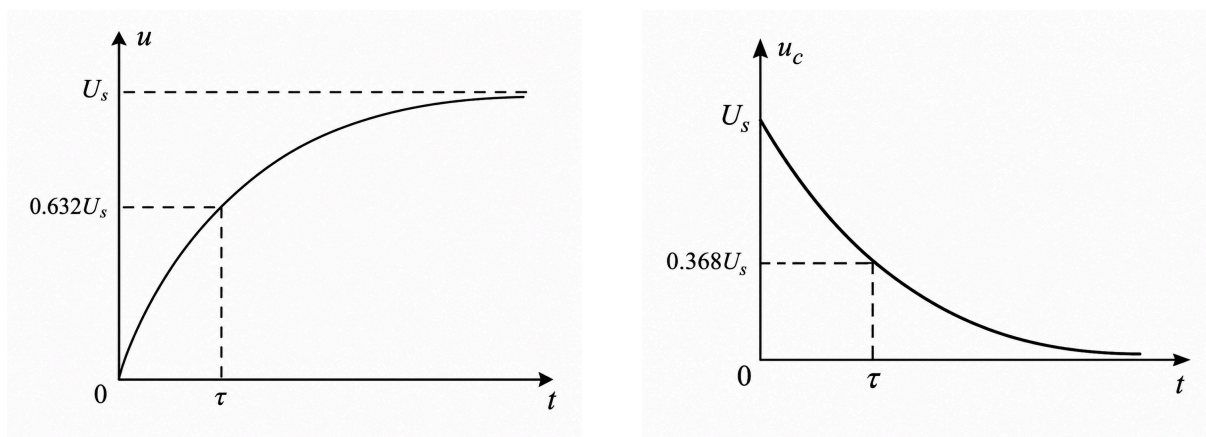


图 2 零状态响应与零输入响应曲线

根据示波器截图中的光标读数，时间差约为 $\Delta X = 96 \mu\text{s}$ 。据此估计，零状态响应对应的实测时间常数约为 $\tau_1 = 96 \mu\text{s}$ ，零输入响应对应的实测时间常数约为 $\tau_2 = 96 \mu\text{s}$ 。

相对误差计算公式为

$$\delta = \left| \frac{\tau_{\text{测}} - \tau_{\text{理}}}{\tau_{\text{理}}} \right| \times 100\%$$

项目	测量结果
充电过程	$\tau_1 = 96 \mu\text{s}$
放电过程	$\tau_2 = 96 \mu\text{s}$

5. 分析和结论

通过实验可以观察到，一阶 RC 电路在方波激励下，电容两端电压呈指数规律变化。方波上升沿相当于对电路施加正阶跃激励，电容进入充电过程，表现为零状态响应；方波下降沿相当于负阶跃激励，电容进入放电过程，表现为零输入响应。

从示波器截图读取的结果看，实测时间常数约为 $96 \mu\text{s}$ ，与理论值 $\tau = 100 \mu\text{s}$ 相比误差约为 4%，说明实验测量结果与理论分析基本一致。剩余误差可能来自元件参数偏差、信号源内阻、示波器光标读数位置以及人工读数误差等因素。

实验报告二：RC 微分电路与积分电路

1. 实验原理

积分电路与微分电路是有着广泛应用的两种电路，它们不仅可以实现基本的积分运算和微分运算，还可以实现波形的变换。

当输入为周期性脉冲信号（方波）时，输出信号 u_o 为输入信号 u_i 的积分，因此称该电路为积分电路。该电路中，时间常数 $\tau = RC$ 应远大于输入信号的周期，通常满足

$$\tau = RC \gg \frac{T}{2}$$

当输入为周期性脉冲信号（方波）时，输出信号 u_o 为输入信号 u_i 的微分，因此称该电路为微分电路。该电路中，时间常数 $\tau = RC$ 应远小于输入信号的周期，通常满足

$$\tau = RC \ll \frac{T}{2}$$

利用示波器观察微分电路和积分电路的输入、输出波形，可以分析电路参数 R 、 C 和输入信号频率对输出波形的影响。

2. 实验方案与具体步骤

实验采用 RC 积分电路和 RC 微分电路对方波信号进行波形变换，观察输出波形与理论规律是否一致。

具体步骤如下：

1. 连接 RC 积分电路，使输出端取电容两端电压 u_o 。
2. 设置函数信号发生器输出方波信号，幅值约为 2 V，频率初设为 1 kHz。
3. 用示波器 CH1 观察输入信号 u_i ，CH2 观察输出信号 u_o 。
4. 调节 R 或 C 的值，使电路时间常数满足 $RC \gg \frac{T}{2}$ ，观察积分输出波形。
5. 连接 RC 微分电路，使输出端取电阻两端电压 u_o 。
6. 调节 R 或 C 的值，使电路时间常数满足 $RC \ll \frac{T}{2}$ ，观察微分输出波形。
7. 改变输入方波频率，比较不同频率下积分和微分波形的变化。
8. 记录输入、输出波形及主要测量数据。

3. 实验电路连接与实测数据

3.1 RC 积分电路

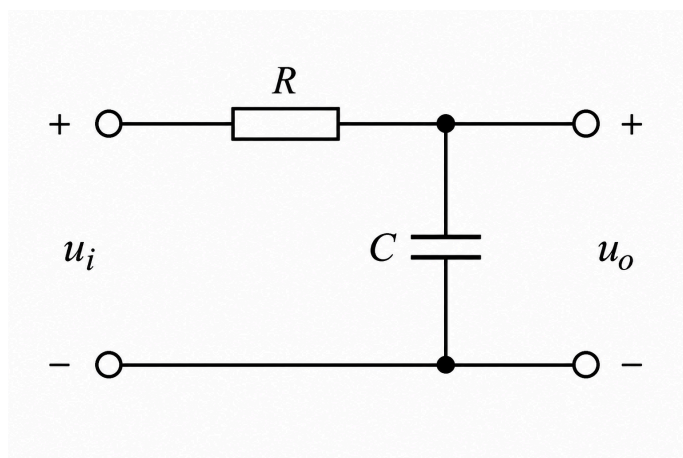


图 3 RC 积分电路连接图

积分电路中，电阻 R 与电容 C 串联，输出端取电容两端电压。当电路时间常数 RC 远大于输入信号半周期时，电容充放电较慢，输出波形接近三角波。

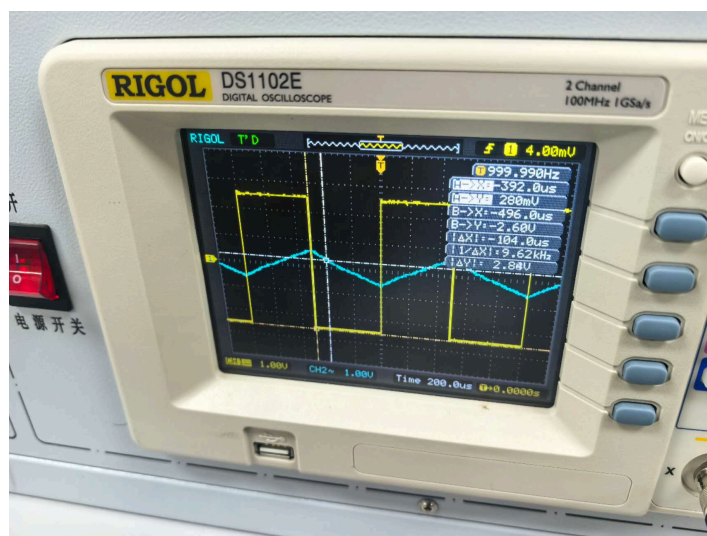


图 4 积分电路输入 u_i 与输出 u_o 波形

3.2 RC 微分电路

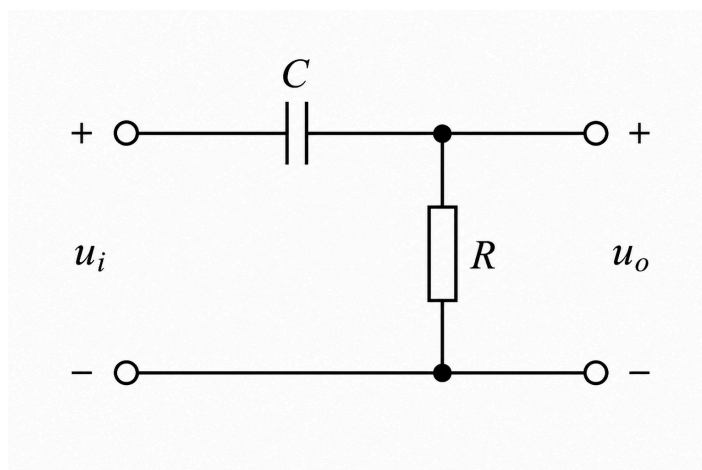


图 5 RC 微分电路连接图

微分电路中，电容 C 与电阻 R 串联，输出端取电阻两端电压。当电路时间常数 RC 远小于输入信号半周期时，在方波跳变沿处输出尖脉冲波形。

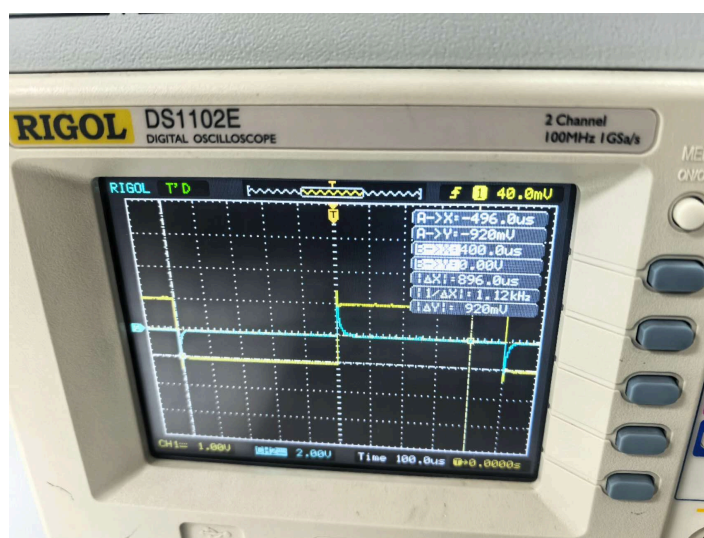


图 6 微分电路输入 u_i 与输出 u_o 波形

4. 实验数据与结果

4.1 积分电路结果

当 $RC > \frac{T}{2}$ 时，实验观察到积分电路的输出波形由方波变为近似三角波。由示波器截图可见，输入信号频率约为 1 kHz，即半周期约为 0.5 ms；输出波形在每个半周期内近似线性升降，基本符合积分电路特性。

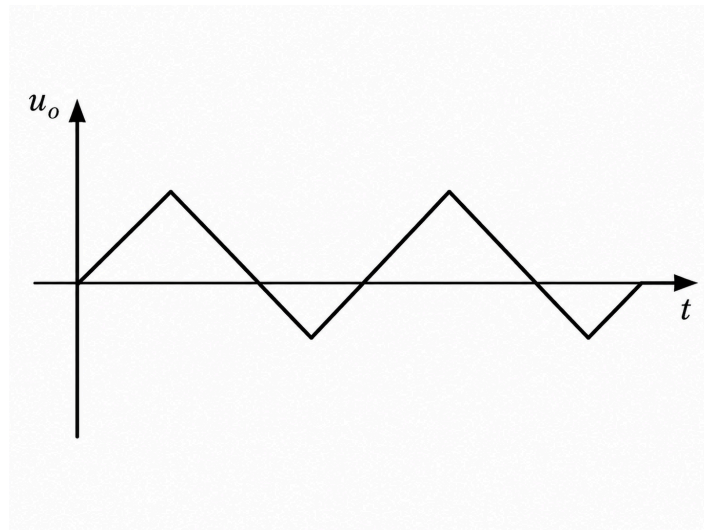


图 7 积分电路形

4.2 微分电路结果

当 $RC \ll \frac{T}{2}$ 时，实验观察到微分电路在输入方波的上升沿输出正尖脉冲，在下降沿输出负尖脉冲。其余时间输出电压迅速衰减接近零，说明电路对输入信号的突变部分敏感。

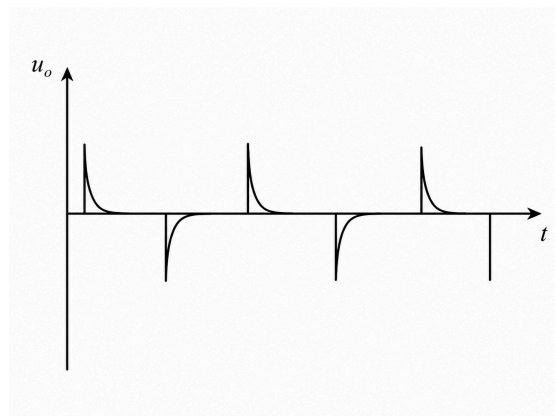


图 8 微分电路理论输出波形

5. 分析和结论

RC 积分电路和微分电路本质上都是由一阶 RC 暂态过程形成的波形变换电路。积分电路要求时间常数远大于输入信号半周期，使电容电压变化缓慢，输出波形表现为对输入方波的积分效果；微分电路要求时间常数远小于输入信号半周期，使输出只在输入信号突变瞬间产生明显变化，表现为尖脉冲波形。

实验结果表明，改变 R 、 C 或输入频率都会改变 RC 与 $\frac{T}{2}$ 的相对关系，从而影响输出波形。本实验中积分电路取 $R = 10 \text{ k}\Omega$ 、 $C = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$ ，故 $RC = 1 \text{ ms}$ ，大

于输入信号半周期 0.5 ms ，输出波形接近三角波，表现出较明显的积分特性；微分电路取 $R = 1\text{ k}\Omega$ 、 $C = 0.01\text{ }\mu\text{F}$ ，故 $RC = 10\text{ }\mu\text{s}$ ，远小于输入信号半周期，输出波形为正、负尖脉冲。实验误差主要来源于元件参数误差、示波器读数误差、信号源输出内阻以及导线连接接触不良等因素。