



南昌大学

2023~2024 学年秋季学期 《大学物理实验》

实验报告

得 分	评阅人

题 目： 实验九 RLC 串联电路的暂态过程研究

学 院： 先进制造学院

专业班级： 智能制造工程 221 班

学生姓名： 朱紫华

学 号： 5908122030

指导老师： 全祖赐老师

二〇二三年九月制

RLC 串联电路的暂态过程

一、 实验目的

- 1、研究当方波电源加于 RC、RL 串联电路时产生的暂态放电曲线及用示波器测量电路半衰期的方法，加深对电容充、放电规律的认识。
- 2、了解当方波电源加于 RLC 串联电路时产生的阻尼衰减振荡的特性及测量方法。

二、 实验仪器

信号发生器、双踪数字存储示波器、电阻、电感、电容、面包板、导线若干。



图 1 示波器

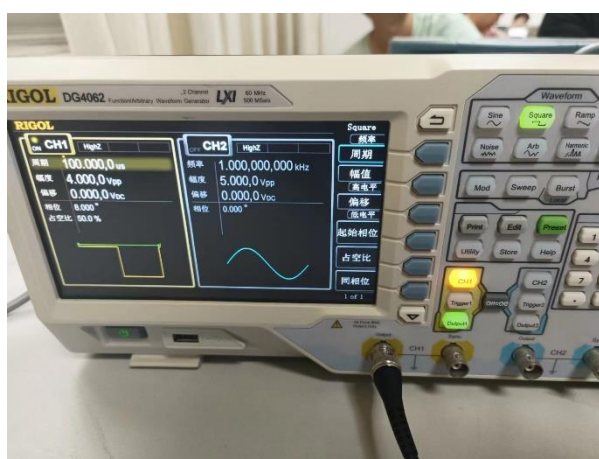


图 2 函数信号发生器

三、实验原理

1、RC 串联电路暂态过程(描述电容两端加电源后，其两个极板上分别聚集起等量异号的电荷，在介质中建立起电场，并储存电场能量的性质)

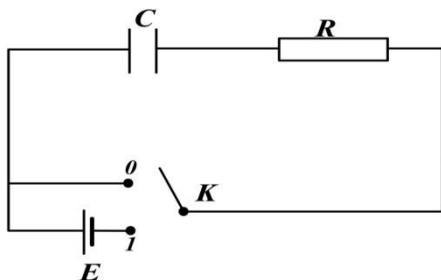


图 3 RC 电路

充电过程：

$$RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = E$$

再根据初始条件 $t = 0$, $U_c = 0$, 解得：

$$\begin{aligned} iR + U_c &= E & i &= \frac{dq}{dt} \\ R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} &= E & U_c &= \frac{q}{C} \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} U_c &= E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \\ U_R &= E e^{-\frac{t}{RC}} \end{aligned} \right.$$

放电过程：

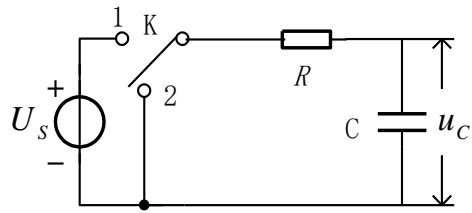


图 4 RC 电路

$$RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0$$

再根据初始条件 $t = 0$, $U_c = E$ 解得

$$\begin{cases} U_c = E e^{-\frac{t}{RC}} \\ U_R = -E e^{-\frac{t}{RC}} \end{cases}$$

$$E \rightarrow E e^{-1} \quad \text{时间常数} \quad \tau = RC$$

$$E \rightarrow E/2 \quad \text{半衰期} \quad T_{1/2} = \tau \ln 2$$

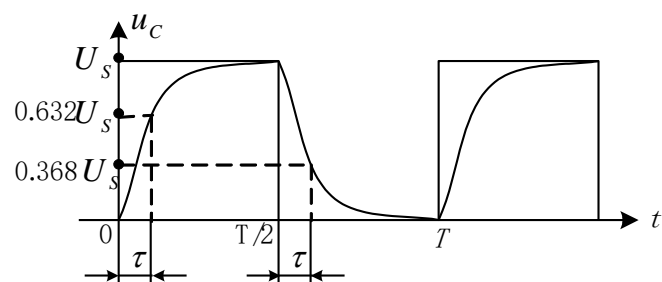
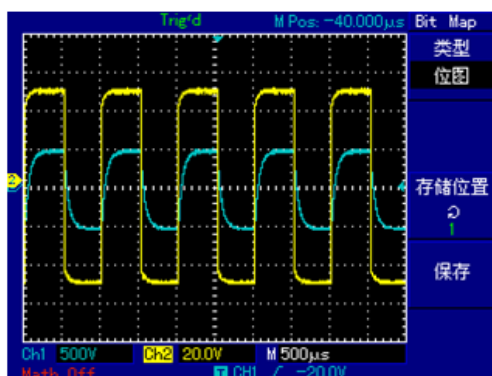
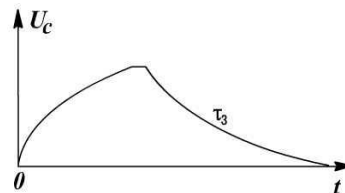
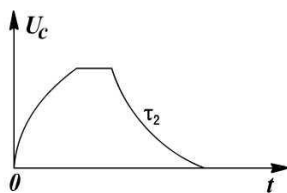
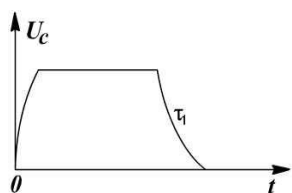
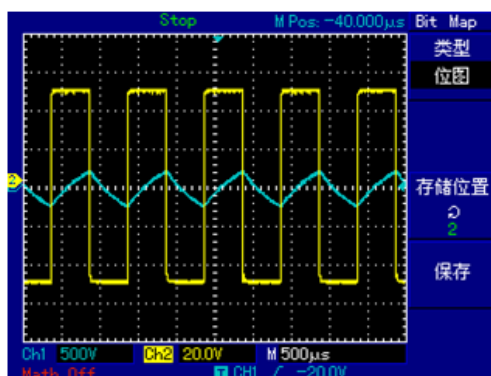


图 5 放电曲线

$R=1\text{ k}\Omega$



$R=10\text{ k}\Omega$



$$\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$$

不同 τ 值的 RC 电路电容充放电示意图如上所示。

2. RL 串联电路暂态过程 (描述线圈通有电流时产生磁场、储存磁场能量的性质。)

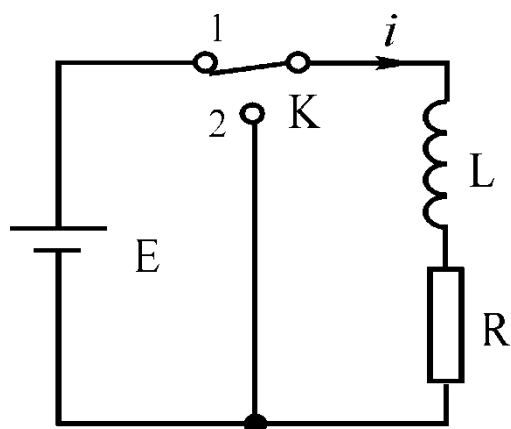


图 6 RL 电路

充电过程 $iR + L \frac{di}{dt} = E$ 放电过程 $iR + L \frac{di}{dt} = 0$

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$

时间常数 $\tau = L / R$ 半衰期 $T_{1/2} = \tau \ln 2$

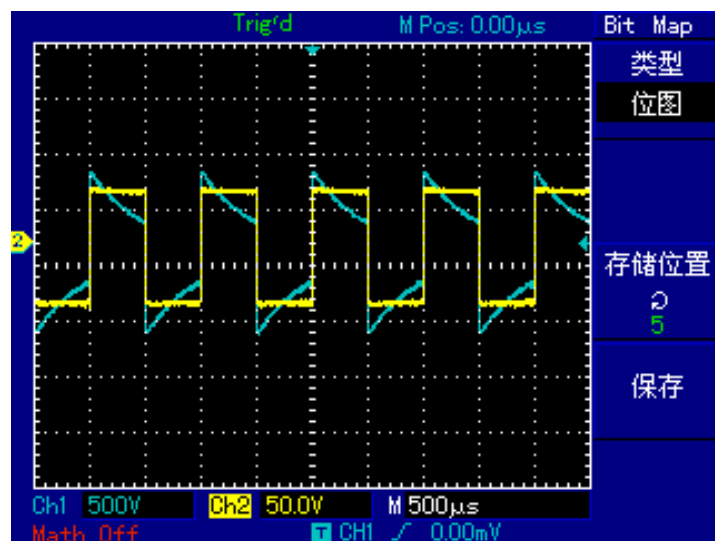


图 7 示波器示意图

3. RLC 串联电路暂态过程

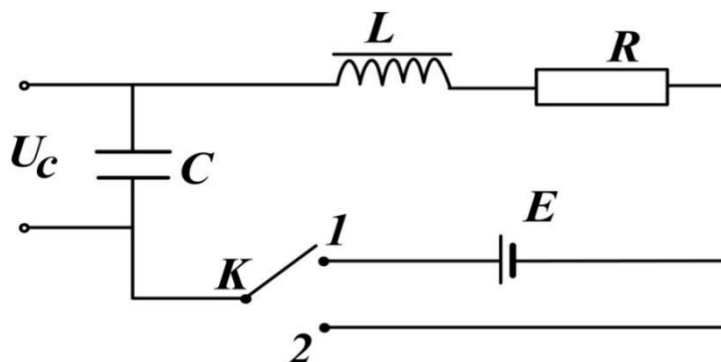


图 8 RLC 串联电路

$$iR + L \frac{di}{dt} + U_C = 0 \quad i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_C}{dt}$$

$$LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + RC \frac{dU_C}{dt} + U_C = E$$

令 $\beta = R / 2L$, $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$, 则有

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + 2\beta \frac{dU_C}{dt} + \omega_0^2 U_C = E$$

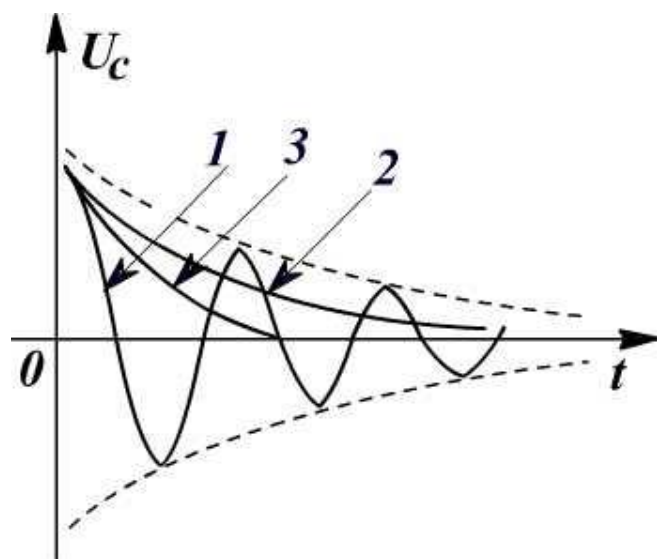
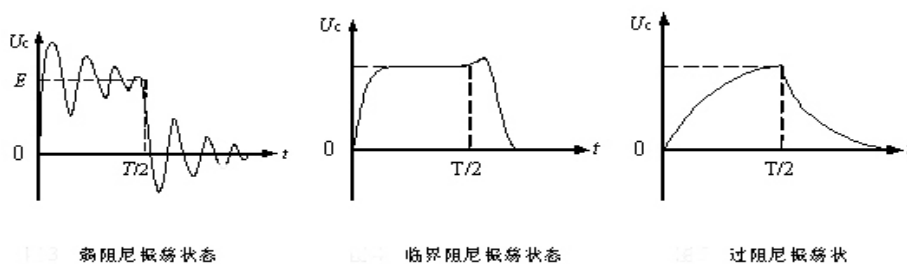


图 9 解的情况

解分为三种情况，即图中 1、2、3 分别对应欠阻尼、过阻尼和临界阻尼状态。



1-3 欠阻尼振荡状态

2-2 临界阻尼振荡状态

3-2 过阻尼振荡状态

当 $R < 2\sqrt{L/C}$ 时，为欠阻尼状态；当 $R = 2\sqrt{L/C}$ 时，为临界状态；当 $R > 2\sqrt{L/C}$ 时，为过阻尼状态。

$$U_C = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{C}{4L} \cdot R^2}} \cdot E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$U_C = \frac{1}{\sqrt{\frac{C}{4L} \cdot R^2 - 1}} \cdot E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \cosh(\omega t + \varphi)$$

$$U_C = \left(1 + \frac{t}{\tau}\right) E \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \tau = \frac{L}{R}$$

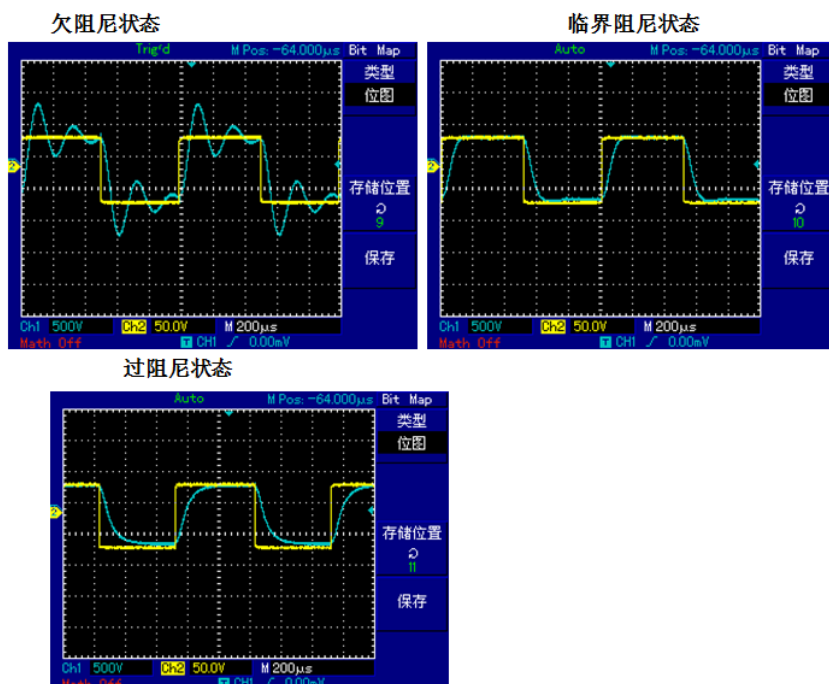


图 10 实验结果

四、实验内容

1. RC 电路暂态过程的观测

(1) 选择合适的 R 和 C 值，根据时间常数 τ ，选择合适的方波频率，一般要求方波的周期 $T > 10\tau$ ，这样能较完整地反映暂态过程，并且选用合适的示波器扫描速度，以完整地显示暂态过程。

(2) 把方波信号发生器、电阻 R 、电容 C ，示波器按图 1 接线。

(3) 选取不同的电阻 R ，观察 U_C 的波形。并记录二组电阻和电容取不同值时 U_C 的波形（可拍照反映其差别）。

(4) 测量相应的二组半衰期 $T_{1/2}$ ，求出 τ 和 R 的实验值，并与理论值 R 进行比较。

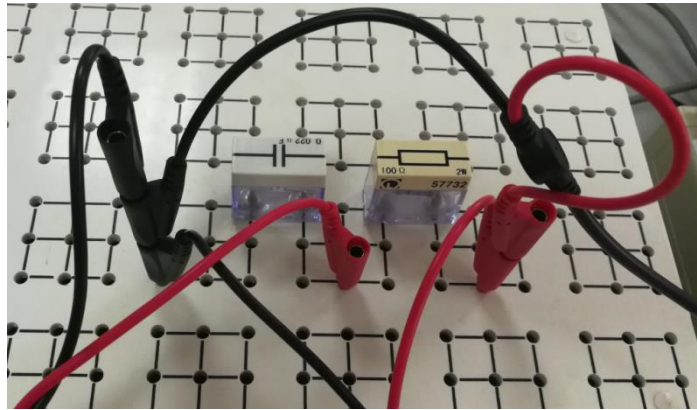


图 11 实验接线图

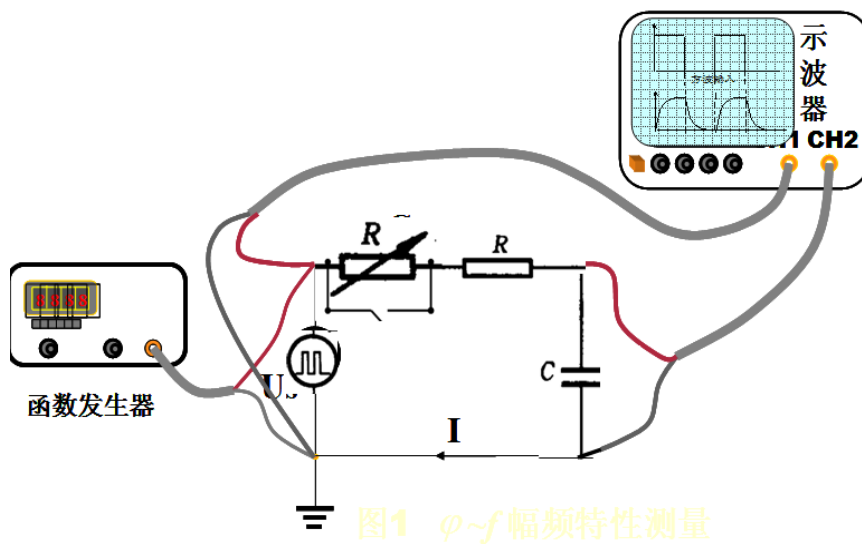


图 12 实验接线图

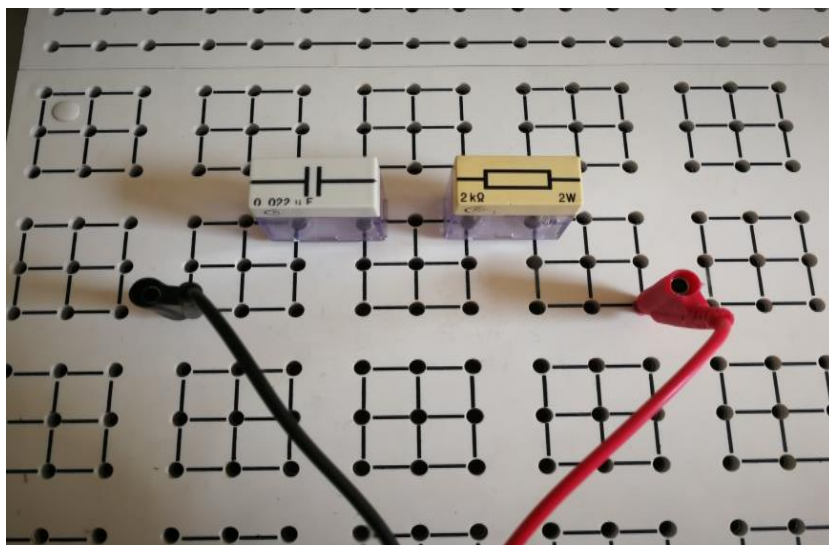


图 13 实验接线图

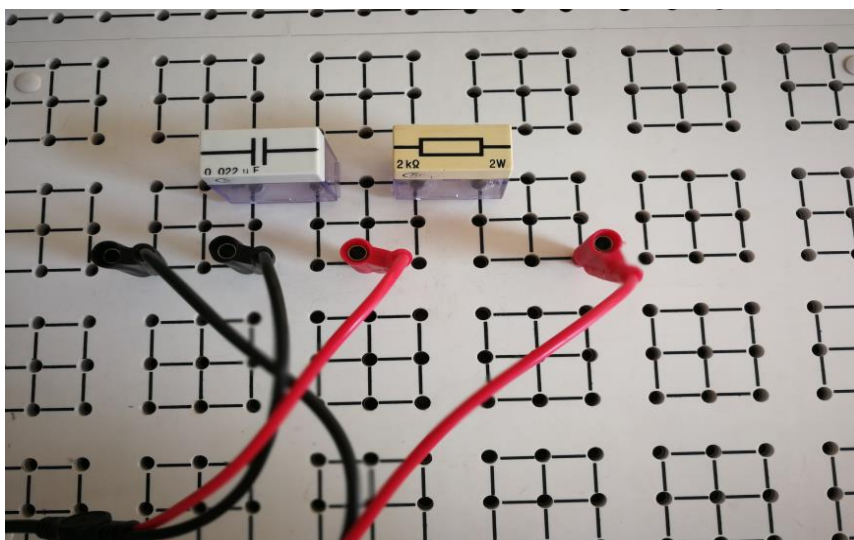


图 14 实验接线图

2. RL 电路暂态过程的观测（选做）

- （1）把方波信号发生器（选取恰当频率使得波形合适）、电阻 R、电感 L，示波器按图接线。
- （2）选取不同的电阻 R，观察 U_L 的波形。
- （3）记录一组电阻和电感的 U_L 的波形（拍照）。
- （4）测量相应的一组半衰期 $T_{1/2}$ ，求出 τ 和 R 的实验值，并与理论值 R 进行比较。

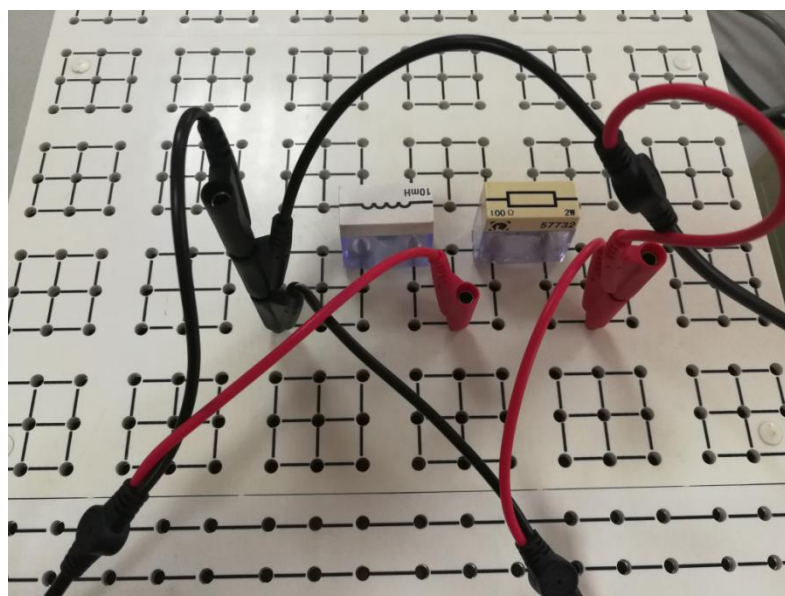


图 15 实验接线图

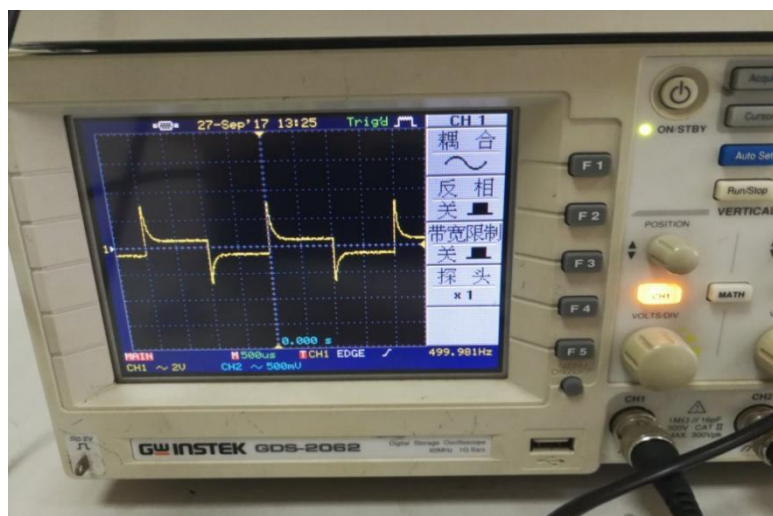


图 16 实验接线图

3. RLC 电路暂态过程的观测

(1) 根据实验选用的电容和电感的值，算出临界电阻的阻值 R_0 。

(2) 按图 3 接线, 电阻取小于和大于 R_0 ，观测欠阻尼状态和过阻尼状态下电容上 U_C 的波形。(拍照)

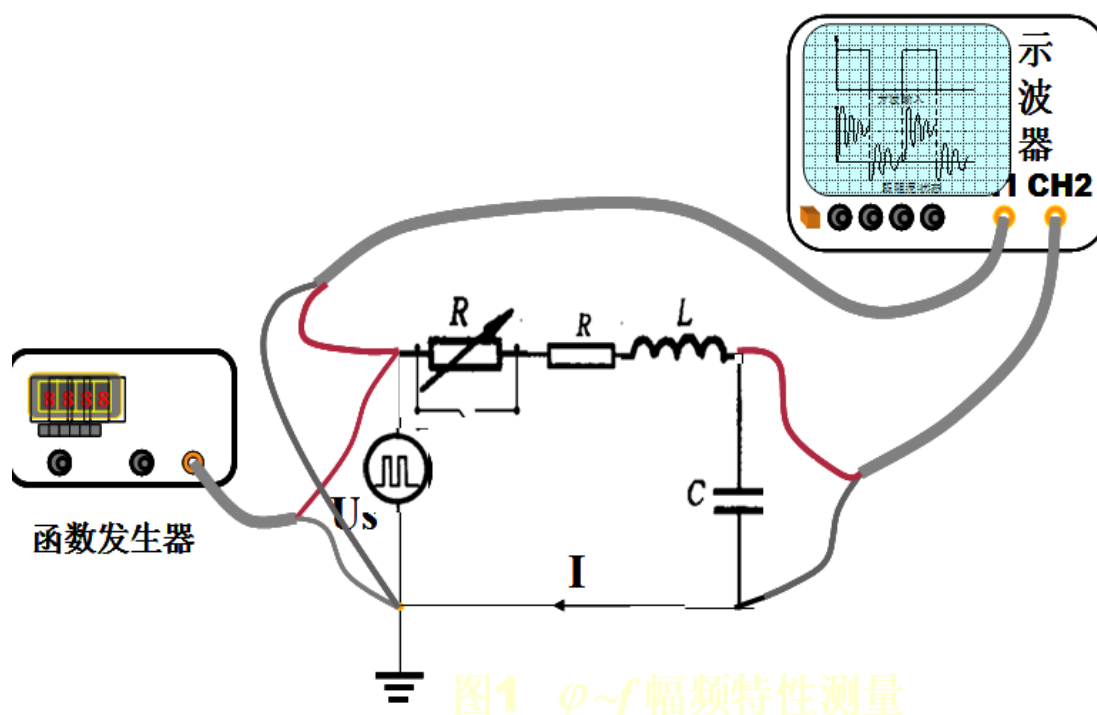


图 17 实验接线图

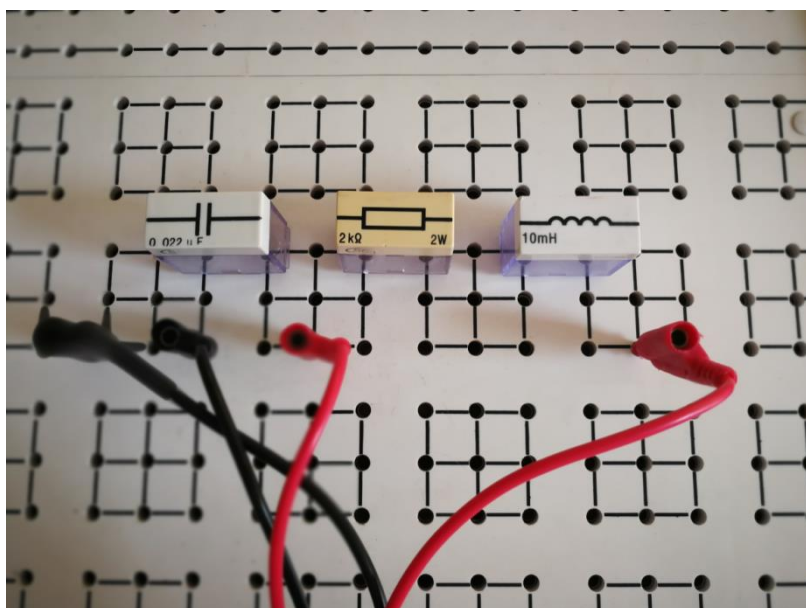


图 18 实验接线图

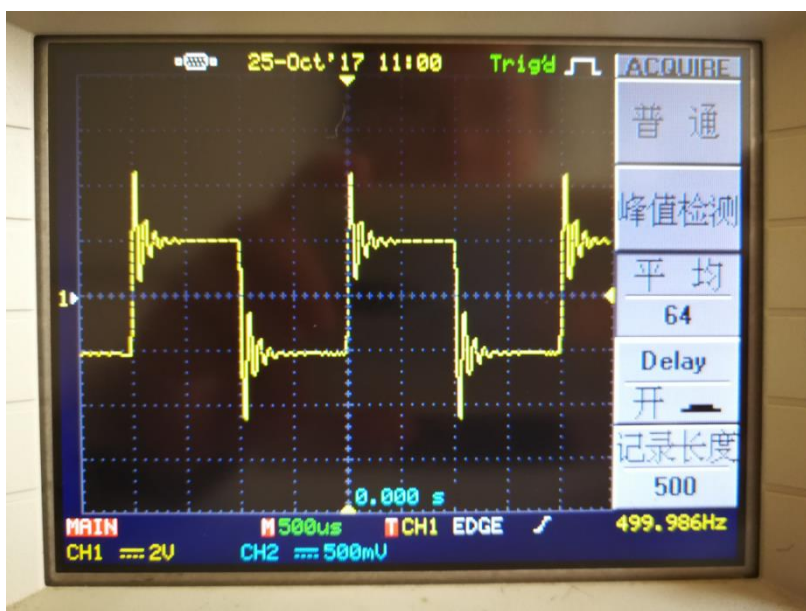
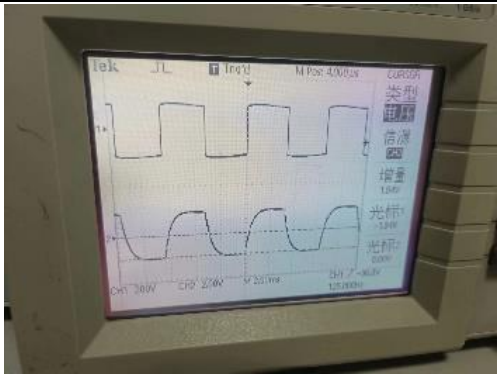
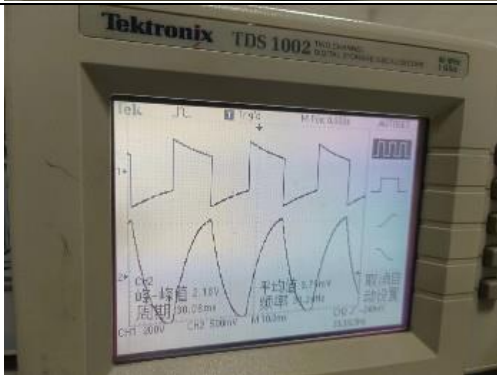


图 19 实验接线图


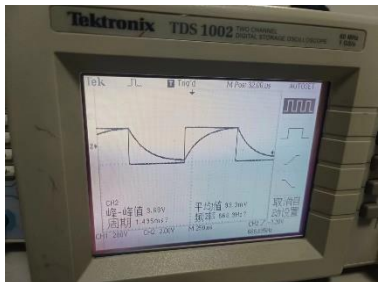
五、实验数据及数据分析处理

一、RC 串联电路的暂态过程

R (理论值)	C (理论值)	τ (理论值)	$T_{\frac{1}{2}}$	
$1\text{ K}\Omega$	$1\text{ }\mu\text{F}$	1.0×10^{-3}	0.65ms	
$10\text{ K}\Omega$	$1\text{ }\mu\text{F}$	1.0×10^{-2}	6.7ms	

$\tau(\text{实际值}) = T_{\frac{1}{2}} \times \ln \frac{1}{2}$	$R(\text{实际值}) = \frac{\tau}{C}$
9.4×10^{-4}	$940\text{ }\Omega$
9.7×10^{-3}	$9700\text{ }\Omega$

二、RLC 串联电路的暂态过程

	C	L	R_0	R	
欠阻 尼	$0.022\mu F$	10mH	1348Ω	100Ω	
过阻 尼	$0.022\mu F$	10mH	1348Ω	5000Ω	

六、误差分析

1. 欠阻尼振荡状态下的电感和电容存在着附加损耗电阻，并且其阻值随着振荡频率的升高而增大. 故实际上电路中的等效阻值大于 R 与用万用表测出的电感阻值之和, 故实际测出的时间常数会偏小.
2. 数字示波器记录的数据精确度有限，且有时无法显示细微的区别，可能会出现多个时间对应同一个电压值的情况
3. 数字示波器系统存在内部系统误差.
4. 外界扰动信号会对示波器产生影响.
5. 电器元件使用时间过长，可能造成相应的参数有误差，例如定值电阻阻值可能变大.
6. 电源电压不稳定

七、附上原始数据



南昌大学物理实验报告

学生姓名: _____ 学号: _____ 专业班级: _____ 班级编号: _____

实验时间: _____ 时 _____ 分 第 _____ 周 星期 _____ 座位号: _____ 教师编号: _____ 成绩: _____

一、RC串联电路的暂态过程

R (理论值)	C (理论值)	τ (理论值)	$T_{\frac{1}{2}}$	τ (实际值)	R (实际值)	周期
1k Ω	1 μF	1.0×10^{-3}	0.65ms	9.4×10^{-4}	940	20ms
10k Ω	1 μF	1.0×10^{-2}	6.7ms	9.7×10^{-3}	9700	30ms

二、RLC串联电路的暂态过程

	C	L	$R_{0.0}$ (临界电阻)	R
欠阻尼	0.022 μF	10mH	1348 Ω	100 Ω
过阻尼	0.022 μF	10mH	1348 Ω	5000 Ω

朱紫华 5908122030
吴锦瑞 5908122011
彭锋 5908122013
刘小天 5908122029

金祖赐
2023年9月20日

八、实验心得与体会

这次实验可以说是做的非常坎坷吧,最开始函数信号发生器没按 output,导致一直收到的是杂波,而我当时一直以为是电路问题,一直在调,直到一小时后才注意到没按 output,然后由于没搞懂半衰期的公式,浪费了很多时间,现在想起来,怎么那么傻,如果是按我那种读法,半衰期会比周期还大。不过在第二次实验中我们成功做出来了,并且调出了不错的波形。在这里需要强调的是,这个实验难的不是电路,而是对周期的把控,要想调出上面欠阻尼的波形,需要周期很小很小,不然不会是那种波形。