

实验报告

课程名称: 物理实验BII 实验名称: RLC串联电路的暂态过程 实验日期: 2024 年 11 月 13 日 下午

班级: 蔡金芳班

教学班级:

页数: 1/7

座号: 27

一、实验目的

- (1) 研究 RC、RL、RLC 电路的暂态过程。
- (2) 理解时间常数的物理意义,学会其测量方法。

二、实验仪器

THMJ-1型交流物理实验仪,数字式示波器,导线等。

三、实验原理

利用 R、L、C 元件进行组合,可以构成 RC、RL、LC 和 RLC 四种不同的电路。这些电路在接通或断开直流电源的瞬间,存在一个从一种平衡态转变到另一种平衡态的过程。这个过程即为暂态过程。

1. RC 电路

在由电阻 R 及电容 C 组成的直流串联电路中,暂态过程即是电容器的充放电过程。(见图 7-1),当开关 K 打向位置 1 时,电源对电容器 C 开始一个充电过程,这时回路方程和初始条件可表示为:

$$\begin{cases} \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{RC} u_c = \frac{E}{RC} \\ u_c(t)/t=0 = 0 \end{cases} \quad (7-1)$$

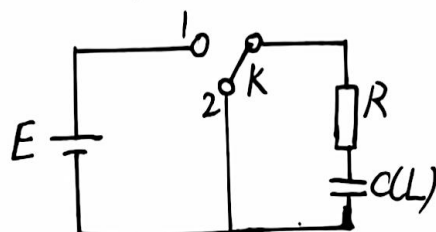


图 7-1 RC(RL) Circuit

可解得:

$$u_c = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (7-2)$$

该式表明电容器两端的充电电压是一条按指数规律增长的曲线,如图 7-2 的实线所示。当 u_c 上升至 $0.63E$ 时,所对应的时间 $\tau = RC$ 定义为电路的时间常数,是表征暂态过程进行快慢的一个重要物理量。

当开关 K 打向位置 2 时,电容器 C 通过电阻放电,回路方程和初始条件为

$$\begin{cases} \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{RC} u_c = 0 \\ u_c(t)/t=0 = E \end{cases} \quad (7-3)$$

联系方式:

指导教师签字:

实验报告

课程名称: 物理实验BII 实验名称: RLC串联电路的暂态过程 实验日期: 2024 年 11 月 13 日 下午

班级: 蔡金芳班 教学班级:

页数: 2/7

座号: 27

可解得:

$$u_c = E e^{-t/RC} \quad (7-4)$$

式(7-4)表明电容器两端的放电电压按指数规律衰减,如图7-2虚线所示。

时间常数 τ 也可由此曲线衰减到 $0.37E$ 所对应的时间来确定。

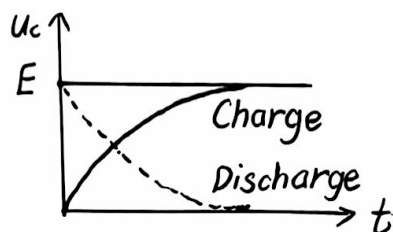


图7-2 Charge and Discharge of a Capacitor

2. RL电路

把图7-1中的C换为电感L则构成RL电路。当开关置于1时,由于电感L的自感作用,回路中的电流不能瞬间突变,只能是逐渐增大到最大值 E/R 。同理,当开关K置于2时,电流 i 从 $i=E/R$ 逐渐衰减到0。同RC电路的分析,可有:

电流增长过程:

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/\tau}) \quad (7-5)$$

电流衰减过程:

$$i = \frac{E}{R} e^{-t/\tau} \quad (7-6)$$

其中,时间常数 $\tau = L/R$,它决定了 i 增长的快慢。

3. RLC电路:

以上讨论的都是理想化的情况,实际上,电容和电感本身都有电阻,而电阻性元件电能转化为热能,因电阻的主要作用就是把阻尼项引入到回路方程的解中。

对于图7-3所示的RLC电路,定义电路的阻尼系数 $\lambda = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$,则:

(1) 阻尼较小时, $\lambda < 1$, 即 $R^2 < 4\frac{L}{C}$, 有

充电过程:

$$u_c = E \left[1 - \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 C}} e^{-\lambda t} \right] \cos(\omega t + \varphi)$$

放电过程:

$$u_c = \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 C}} E e^{-\lambda t} \cos(\omega t + \varphi) \quad (7-8)$$

式中, $\tau = \frac{2L}{R}$ 为时间常数, $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}$ 为衰减振荡的角频率。

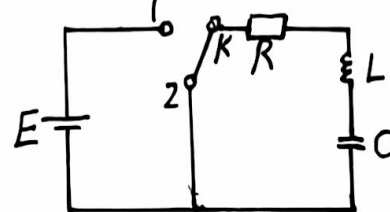


图7-3 RLC Circuit (7-7)

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验BII 实验名称: RLC串联电路的暂态过程 实验日期: 2024 年 11 月 13 日 下午

班级: 蔡金芳班

教学班级:

页数: 3/7

座号: 27

U_C 随时间 t 以衰减振荡的方式逐渐衰减至零, 如图 7-4 中曲线所示。这种过程也叫欠阻尼状态。

(2) 临界阻尼状态, 即 $R^2 = 4L/C$, 回路电阻增大到刚刚不出现振荡时的状态。此时 U_C 的变化过程不再具有周期性, 如图 7-4 中曲线所示。这时的电阻值称为临界阻尼电阻。

(3) 过阻尼状态, 即 $R^2 > 4L/C$, 此时已不再出现振荡, 而是缓慢衰减至零。 U_C 随时间变化的规律如图 7-4 中曲线所示。

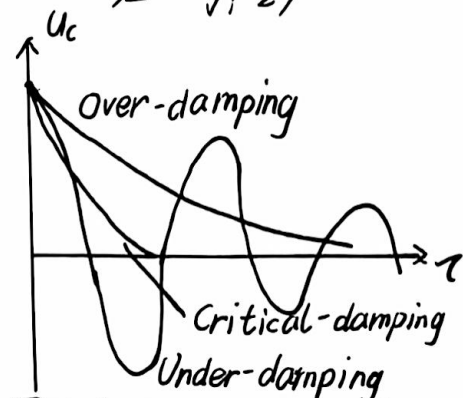


图 7-4 RLC Circuit Response to Step Voltage (Discharge)

四. 实验内容及数据处理

1. RC 电路的暂态过程

(1) 观测电容器上电压随时间的变化关系

令信号发生器输出频率 $f = 500\text{Hz}$ 的方波, 并接入示波器 Y_1 输入端, 观察记录方波的波形, 再将 U_C 接到示波器 Y_2 输入端, 电容 C 取 $0.47\mu\text{F}$ 。改变 R 的阻值, 使 τ 分别为 $\tau = RC = T/2$, $\tau \ll T/2$, $\tau \gg T/2$, T 是输入方波信号的周期, 观察记录这三种情况下 U_C 的波形, 并解释 U_C 的变化规律。

(2) 测量时间常数 τ 。

2. RL 电路的暂态过程

将电容用 10mH 电感 L 代替, 参照 1 中步骤, 观察三种不同 τ 下, U_R 和 U_L 的波形, 并任意改变 R 值, 作出 $R-\tau$ 关系曲线, 并与理论公式进行比较。

3. RLC 电路的暂态过程

(1) 按图 7-6 接线, 取电感 L 为 10mH , 电容 C 为 $0.047\mu\text{F}$, 计算三种不同阻尼状态所对应的电阻值范围。

(2) 选择合适的 R 值, 使示波器上出现完整的阻尼振荡波形。

(3) 逐渐增大 R 值, 观察临界阻尼状态。

(4) 继续增大 R 值, 观察过阻尼状态。

联系方式:

指导教师签字:

实验报告

梅金芳

课程名称: 物理实验III 实验名称: RLC串联电路的暂态过程 实验日期: 2024 年 11 月 13 日 下午

班级: 紫金芳班

教学班级:

页数: 4/7

座号: 27

五、原始数据

1.	τ	1.080ms	40.00 μ s	2.880ms
	R	2130 Ω	20 Ω	6000 Ω

2、临界电阻 $R = 730\Omega$

3、当电阻 $R = 20\Omega$ 时:

$$T = 138.0\mu s, \quad A_1 = 6.08V, \quad A_2 = 2.56V$$

联系方式:

指导教师签字:

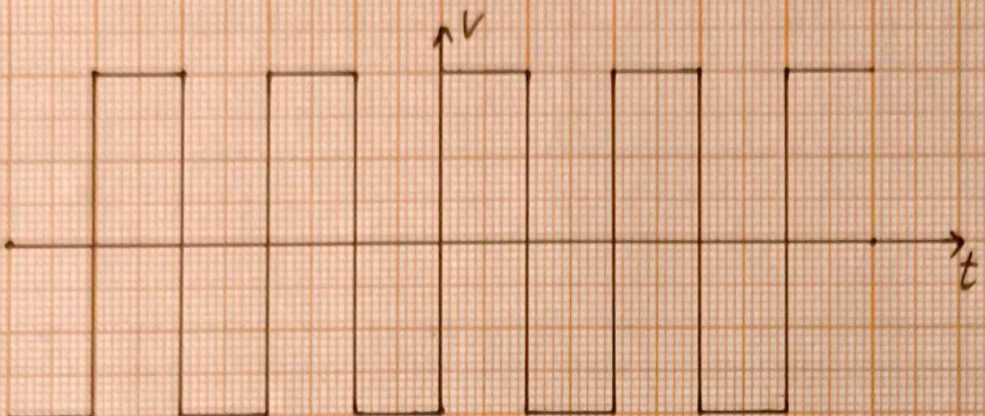


图1

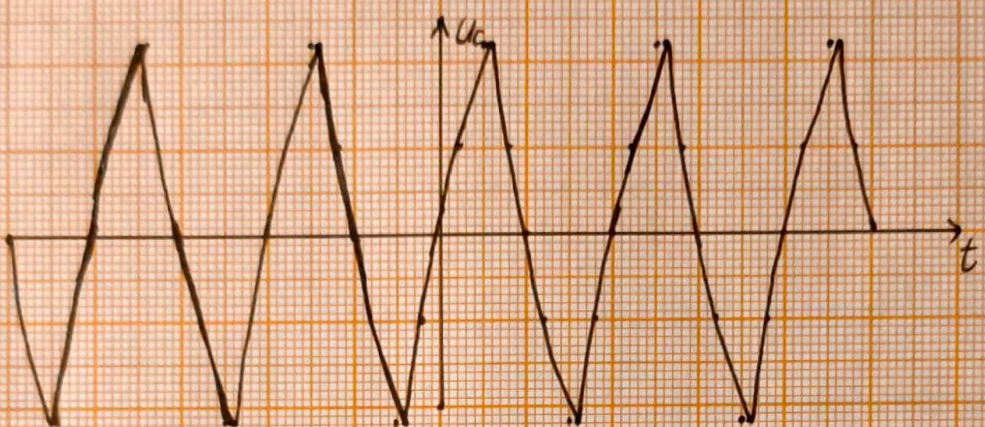


图2, $R=2130\Omega$

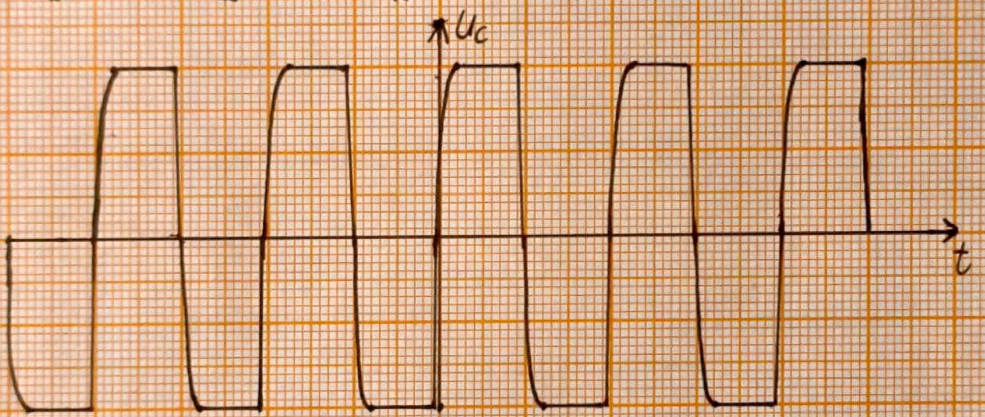


图3, $R=20\Omega$

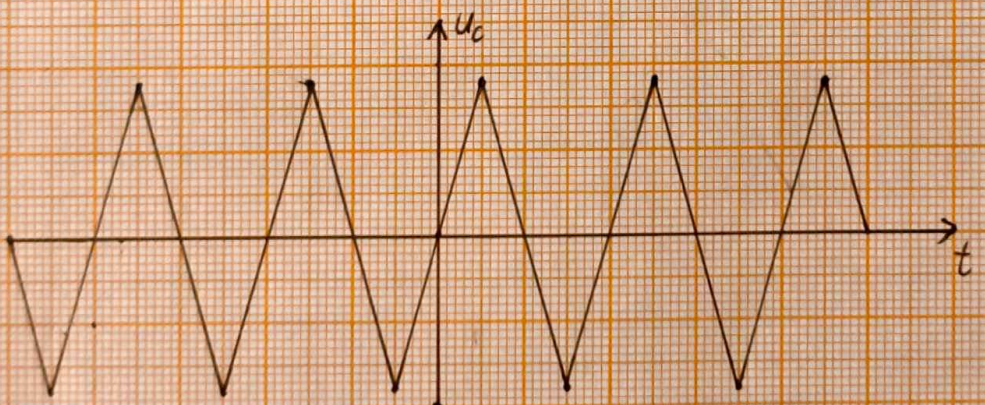


图4, $R=6000\Omega$

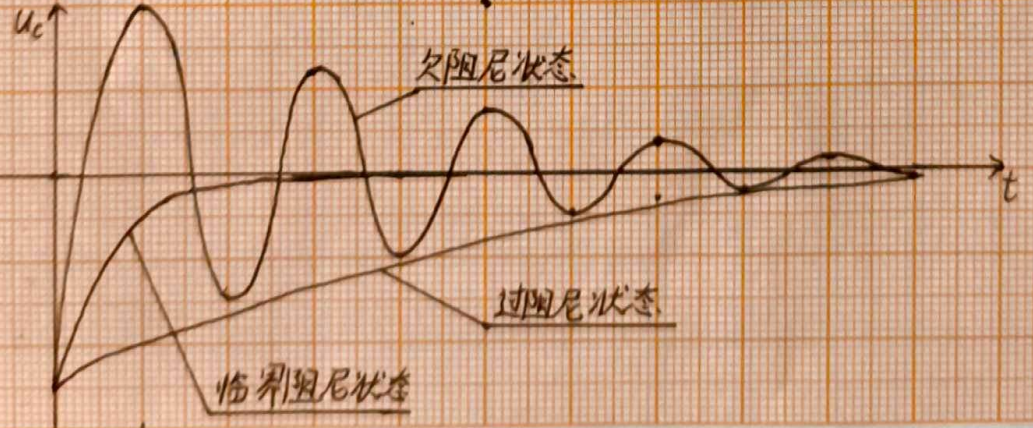


图5

RLC串联电路的暂态过程

2024年11月13日下午

页数: 5/17

座号: 27

实验报告

课程名称: 物理实验II 实验名称: RLC串联电路的暂态过程 实验日期: 2024 年 11 月 13 日 下午
 班级: 董金芳班 教学班级:

页数: 6/7

座号: 27

六. 数据处理:

(1) RC电路的暂态过程, 测量三种电阻三种大小下的 τ 值:

τ	1.080ms	40.00 μ s	2.880ms
R	2130 Ω	20 Ω	6000 Ω

计算各电阻下的理论 τ 值:

$$\tau_1 = R_1 C = 1.001\text{ms} < 1.080\text{ms},$$

$$\tau_2 = R_2 C = 9.4\mu\text{s} < 40.00\mu\text{s},$$

$$\tau_3 = R_3 C = 2.820\text{ms} < 2.880\text{ms}$$

可以看出测量值均大于理论值, 且当 $R=20\Omega$ 时误差较大,

推测原因是电路中各部分(导线元件等)均有电阻, 于是 $R_{\text{实}} > R_{\text{理}}$, $\tau = RC$, 则 $\tau_{\text{实}} > \tau_{\text{理}}$,

而 $\frac{\tau_{\text{实}}}{\tau_{\text{理}}} = \frac{R_{\text{实}}}{R_{\text{理}}} = 1 + \frac{R_{\text{线}}}{R_{\text{理}}}$, 当 $R_{\text{理}}$ 较小(20 Ω)时, $\frac{\tau_{\text{实}}}{\tau_{\text{理}}}$ 较大, 此时误差也较大。

(2) RLC电路的暂态过程:

①: 经观测, 临界电阻 $R_{\text{临}} = 730\Omega$, 与理论值 $R = 923\Omega$ 偏差较大, 且 $R_{\text{临}} < R$

推测电路其余部分也有电阻, 且有 $R = R_{\text{临}} + R_{\text{线}}$, 故有 $R_{\text{临}} < R$ 。

②: 选取电阻 $R=20\Omega$, 观测结果,

1. 振荡周期 $T = 138.0\mu\text{s}$,

2. 峰值电压 $A_1 = 6.08\text{V}$, $A_2 = 2.56\text{V}$

由欠阻尼状态下暂态方程: $u_C = U \cdot (1 - \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2 C}} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \varphi))$

得: $A_1 = A \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}}$, $A_2 = A \cdot e^{-\frac{t_2}{\tau}}$

$$\text{于是 } \tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{A_1}{A_2}} = \frac{T}{\ln \frac{A_1}{A_2}} = 159.54\mu\text{s}$$

联系方式: _____

指导教师签字: _____

实验报告

课程名称: 物理实验13II 实验名称: RLC串联电路的暂态过程 实验日期: 2024 年 11 月 13 日 下午

班级: 蔡金芳班

教学班级: _____

页数: 10/7

座号: 27

七、思考题:

(1) 在RC电路中,当方波频率 f 一定而电阻 R 的数值改变时,为什么会有各种不同的波形?
如果电阻 R 一定而方波频率 f 改变,那么会得到类似的波形吗?为什么?

答:① 当 f 一定而 R 改变时,时间常数 $\tau=RC$ 随之变化,进而使得响应速度与衰减速度发生改变,斜率与幅度均会发生变化,从而产生不同的波形。

②: ~~可以~~可以得到类似的波形。因为 $\tau=RC$,与频率 f 无关,于是 τ 不变进而可以证明波形不发生改变。 f 改变仅会影响~~波与~~波之间的时间间隔。

(2) 在RLC电路中,方波发生器的频率很高或很低,那么我们能观察到阻尼振荡的波形吗?
振荡周期 T 与角频率 ω 的关系会因方波频率的变化而发生变化吗?

答:① 可以观察到波形,但当频率很高时,一个暂态还未结束就会进入下一个暂态,导致波形不完整;频率很低时可以观察到完整的阻尼振荡波形,但两波时间间隔相对较长。

②: 由 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{4L}}$ 可知, ω 与 f 无关,因此 T 与 ω 的关系不会因方波频率的变化而改变。

联系方式: _____

指导教师签字: _____