

班级 自动化7班 学号 220320726 姓名 彭尚品 教师签字 陈旭
 实验日期 2024/4/3 预习成绩 2 总成绩

实验名称 RLC 电路暂态特性的研究

一、预习

1. RC、RL 串联电路暂态过程电压表达式，以及时间常数 τ 的表达式是什么？
2. RLC 串联电路的暂态过程（三种阻尼过程）电压表达式、时间常数 τ 表达式是什么？
3. 请绘制数字示波器、信号发生器观测 RC、RL 和 RLC 串联电路的连接线路示意图。

答：1. ① RC 串联电路

充电： $u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$ 放电： $u_C(t) = Ee^{-\frac{t}{RC}}$ 时间常数 $T = RC$

② RL 串联电路

充电： $u_L(t) = E e^{-\frac{t}{L/R}}$ 放电： $u_L(t) = -E e^{-\frac{t}{L/R}}$ 时间常数 $T = \frac{L}{R}$

2. RLC 串联电路

① 充电时

欠阻尼 $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$ 时，有 $u_C(t) = E [1 - \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2C}} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \varphi)]$

过阻尼 $R > \sqrt{\frac{4L}{C}}$ 时，有 $u_C(t) = E [1 - \sqrt{\frac{4L}{R^2C - 4L}} e^{-\frac{t}{\tau}} \sin(\beta t + \varphi)]$

临界阻尼 $R = \sqrt{\frac{4L}{C}}$ 时，有 $u_C(t) = E [1 - t \frac{1}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}]$

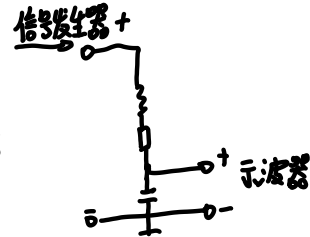
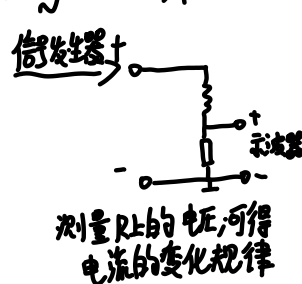
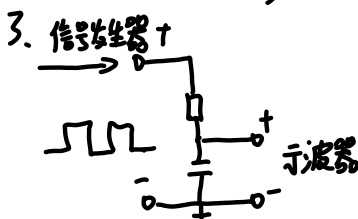
② 放电时

欠阻尼 $R < \sqrt{\frac{4L}{C}}$ 时，有 $u_C(t) = E \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2C}} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \varphi)$

过阻尼 $R > \sqrt{\frac{4L}{C}}$ 时，有 $u_C(t) = E \sqrt{\frac{4L}{R^2C - 4L}} e^{-\frac{t}{\tau}} \sinh(\beta t + \varphi)$

临界阻尼 $R = \sqrt{\frac{4L}{C}}$ 时，有 $u_C(t) = E (1 + \frac{t}{\tau}) e^{-\frac{t}{\tau}}$

其中 $\tau = \frac{2L}{R}$, $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2C}{4L}}$, $\beta = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{R^2C}{4L} - 1}$



二、原始数据记录

1. RC 串联电路的暂态特性(使用方波信号进行实验, 可取 $V_{pp}=10V$)

$R=500\ \Omega$

τ \ / \ C	0.022 μ F	10 μ F	100 μ F	470 μ F
方波信号周期 T	300us	100ms	1s	4s
时间常数 τ	12us	5.60ms	60.00ms	264ms

$C=100\ \mu$ F

τ \ / \ R	10 Ω	50 Ω	100 Ω	500 Ω
方波信号周期 T	100ms	500ms	1s	2s
时间常数 τ	6.00ms	10.6ms	16.2ms	64.00ms

2. RL 串联电路的暂态过程(使用方波信号进行实验, 可取 $V_{pp}=10V$)

$L=10\ \text{mH}$

τ \ / \ R	100 Ω	500 Ω	900 Ω
方波信号周期 T	2ms	0.4ms	0.2ms
时间常数 τ	60us	17.2us	9.80us

$R=1000\ \Omega$


τ \ / \ L	10 mH	50 mH	100mH
方波信号周期 T	0.15ms	0.7ms	1.4ms
时间常数 τ	9.40us	44.8us	87.6us

3. RLC 串联电路的暂态特性(使用方波信号进行实验, 可取 $V_{pp}=10V$)

测量欠阻尼情况下 U_C 充电时振荡波形的任一 t_1 时峰值 U_{ct_1} 和 t_1+nT 时峰值 $U_{c(t_1+nT)}$

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_{c(t_1+nT)}/V$	8.4	5.92	4.48	3.20	2.16	1.52	0.720	0.560	0.400

$E=$ 10V $t_1=$ 44.0us 周期 T=92.0us

教师	姓名
签字	

三、数据处理

1. 记录各项实验任务过程中的 R 、 C 和 L 各参数值, 示波器观察到的波形, 以及时间常数 τ 。

2. 测量欠阻尼情况下 U_C 充电时振荡波形的任一 t_1 时峰值 U_{ct_1} 和 t_1+nT 时峰值 $U_{c(t_1+nT)}$,

采用最小二乘法或作图法求出 $\ln\left(1-\frac{U_C}{E}\right) \sim t$ 的斜率, 计算时间常数 τ , 并与理论

值 $\tau = \frac{2L}{R}$ ($R=R_{\text{电阻}}+R_S+R_L$) 进行比较, 分析误差产生的原因。

答: 1、

RC 串联电路暂态特性 ($V_{pp}=10V$)		时间常数 τ		相对误差
R (Ω)	C (μF)	观测值	理论值	
500	0.022	12us	12.1us	-0.826%
	10	5.60ms	5.5ms	1.818%
	100	60.00ms	55ms	9.090%
	470	264ms	258.5ms	2.128%
10	100	6.00ms	6ms	0
50		10.6ms	10ms	6.0%
100		16.2ms	15ms	8.0%
500		64.00ms	55ms	16.364%

RL 串联电路暂态特性 ($V_{pp}=10V$)		时间常数 τ		相对误差
R (Ω)	L (mH)	观测值	理论值	
100	10	60us	63.9us	-6.103%
500		17.2us	17.97us	-4.285%
900		9.80us	10.45us	-6.220%
1000	10	9.40us	9.47us	-0.739%
	50	44.8us	46.1us	-2.820%
	100	87.6us	89.0us	-1.573%

2、欠阻尼状态下, 有 $U_c(t) = E(1 - \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2C}} e^{-\frac{t}{\tau}} \cos(\omega t + \theta))$,

其峰值为 $U_c = E(1 - \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2C}} e^{-\frac{t}{\tau}})$,

两边取对数, 得 $\ln(1 - \frac{U_c}{E}) = \ln \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2C}} - \frac{t}{\tau}$,

求得斜率 k 后, 得到时间常数 $\tau = -\frac{1}{k}$

计算得斜率 $k = -19112.15$, 因此时间常数 $\tau = 52.32 \mu s$

四、实验现象分析及结论

答: 对于 RC 或 RL 串联电路, 换路后电容电压或电感电流不会发生跃变, 随后电容电压或电感电流按照指数规律变化, 其中指数项 $e^{-\frac{t}{\tau}}$ 中的 τ 表征了电感或电容的状态变化快慢, 称为时间常数。对于 RL 电路, $\tau = \frac{L}{R}$; 对于 RC 电路, $\tau = RC$ 。

对于 RLC 串联电路, 当电路中电阻取值和 $2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 大小关系不同时, 可能出现欠阻尼、临界阻尼和过阻尼三种情况。

五、讨论题

1. 在 RC 和 RL 电路中, 固定方波频率 f 而改变 R 的阻值, 为什么会有各种不同的波形? 若固定 R 而改变方波频率 f , 会得到类似的波形吗? 为什么?
2. 在 RLC 电路中, 为什么要适当调节方波频率才能观测到阻尼振荡的波形? 如果频率很高, 将会发生什么样的情况? 试观察。

答: 1、

(1) 会。由于对于 RL 电路, $\tau = \frac{L}{R}$; 对于 RC 电路, $\tau = RC$, 改变电阻 R 的阻值将改变时间常数, 时间常数不同, 储能元件状态改变的快慢也不同, 电路中各处电压和电流的变化速率也就不同, 所以会观察到不同的波形。

(2) 不会。只要设定的方波周期 T 比电路达到稳态所需要的时间长得多，所观察到的充放电波形就都是极为相近的，只是维持稳态的时间的长短不同。但若方波的周期很短，电路来不及达到稳态就到了另一个阶段，那么这时候改变 f 就会使得波形发生较大变化。

2. 适当调节方波频率，才能使电路在方波在电平转化前已经很接近稳态。这样在换路后，才能观察到电路从一个稳态开始改变的过程。方波频率很高时，高低电平的改变很频繁，导致系统尚未达到稳态时就要经历下一个阶段，则波形无法达到稳态。