

班级 自动化7班 学号

姓名 彭尚品

教师签字

彭尚品

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 $\tau = RC$

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 $\tau = \frac{L}{R}$

2. RLC 串联电路

① 充电时

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

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

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

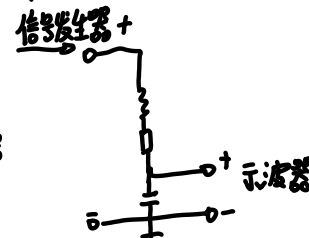
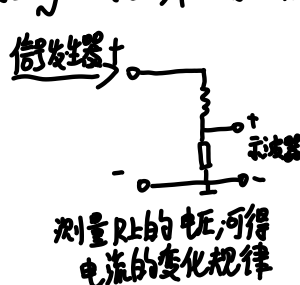
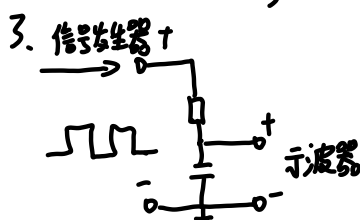
② 放电时

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

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

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

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



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 μF | 10 μF | 100 μF | 470 μF |
|--------------|---------------|------------|-------------|-------------|
| 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 $V_{pp}=10V$) $L=10\ mH$

| 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 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。