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 串联电路的的连接线路示意图。

1.①RC串联电路暂态过程

充电过程：$\begin{cases} u_C=E(1-e^{-t/RC}) \\ u_R=iR=Ee^{-t/RC} \end{cases}$　放电过程：$\begin{cases} u_C=E\,e^{-t/RC} \\ u_R=iR=-Ee^{-t/RC} \end{cases}$

此时定义时间常数 $\tau=RC$

②RL串联电路暂态过程

电流的增加过程：$\begin{cases} u_R=iR=E(1-e^{-tR/L}) \\ u_L=Ee^{-tR/L} \end{cases}$　电流衰减过程：$\begin{cases} u_R=iR=Ee^{-tR/L} \\ u_L=-Ee^{-tR/L} \end{cases}$

此时定义时间常数 $\tau=L/R$

~~2. ① $R<\frac{4L}{C}$，欠阻尼~~

2、充电过程：欠阻尼状态

$$\begin{cases} u_C=E\left[1-\sqrt{\frac{4L}{4L-R^2C}}\,e^{-t/\tau}\cos(\omega t+\varphi)\right] \\ u_R=R\sqrt{\frac{4L}{4L-R^2C}}\,Ee^{-t/\tau}\sin\omega t \\ u_L=\sqrt{\frac{4L}{4L-R^2C}}\,Ee^{-t/\tau}\cos(\omega t+\varphi) \end{cases}$$

过阻尼状态

$$\begin{cases} u_C=\left(1-\sqrt{\frac{4L}{R^2C-4L}}\,e^{-t/\tau}\right)E\sinh(\beta t+\varphi) \\ u_R=R\sqrt{\frac{4L}{R^2C-4L}}\,Ee^{-t/\tau}\sinh\beta t \\ u_L=\sqrt{\frac{4L}{R^2-4L}}\,Ee^{-t/\tau}\sinh(-\beta t+\varphi) \end{cases}$$

临界阻尼状态

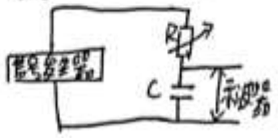
$$\begin{cases} u_C=E\left[1-\left(1+\frac{t}{\tau}\right)e^{-t/\tau}\right] \\ u_R=R\frac{E}{L}te^{-t/\tau} \\ u_L=E\left(1-\frac{t}{\tau}\right)e^{-t/\tau} \end{cases}$$

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

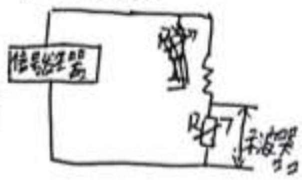
$\tau=\frac{2L}{R}$

放电状态与之类似，各过程均满足 $u_C'=E-u_C$

3、RC串联电路



RL串联电路



RLC串联电路

大学物理实验报告 哈尔滨工业大学(深圳)

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 Ω　方波信号周期 T= ~~555 Hz~~，$\frac{1}{55}$s，$\frac{1}{5.56}$，$\frac{1}{0.5}$s，$\frac{1}{0.1}$s

τ \ C	0.022μF	10μF	100μF	470μF
时间常数τ	~~12.0μF~~ 17.0μs	6.00ms	1不了	280ms

C=100 μF 改用10nF　方波信号周期 T= ~~5H~~ $\frac{1}{5}$

τ \ R	10Ω	50Ω	100Ω	500Ω
时间常数τ	600 Ms	1.20ms	~~0.77ms~~ 1.52ms	6.00ms

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

L=10 mH　方波信号周期 T= $\frac{1}{6}$s

τ \ R	100Ω	500Ω	900Ω
时间常数τ	6.60μs	1.84μs	1.040μs

R=1000 Ω　方波信号周期 T= $\frac{1}{5}$s

τ \ L	10 mH	50 mH	100mH
时间常数τ	~~1.040μs~~ 8.300μs	46.0μs	88.0μs

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
$U_{c(t1+nT)}$	18.6V	16.2V	14.6V	13.2V	12.4V	11.8V	11.4V	11.0V	10.8V

E= 10.0V，t_1= 10.0ms

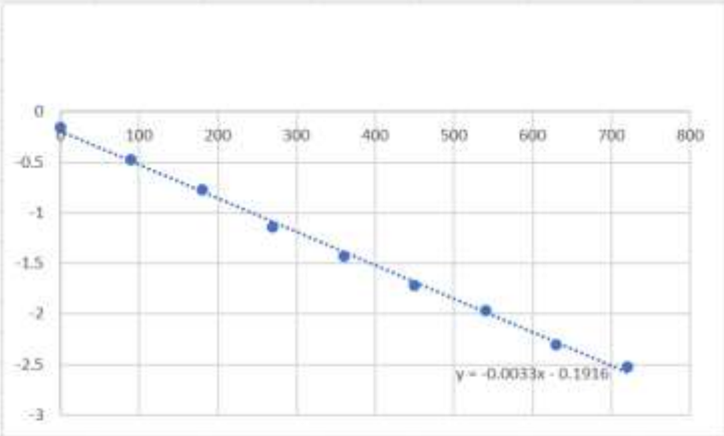
L=10mH　C=0.022 μF

R=0

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

t(us)	0	90	180	270	360	450	540	630	720
U(V)	18.6	16.2	14.6	13.2	12.4	11.8	11.4	11	10.8
ln(U/E-1)	-0.15082	-0.47804	-0.77653	-1.13943	-1.42712	-1.7148	-1.96611	-2.30259	-2.52573



斜率为-3300

时间常数： τ =3300*90*10^-6=0.297

理论时间常数： τ =(200pi*0.022)*2*10/1000=0.276

测量出来的时间常数大于理论值

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减小而减小.故实际上电路中的等效阻值小于 R 与电感阻值之和，故实际测出的时间常数会偏大.

2.数字示波器记录的数据精确度有限

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

6.电源电压不稳定.

四、实验现象分析及结论

在 RC 串联电路的暂态过程中，充电时电流 i 和电压 uc 均按照指数规律增大，放电的时候按照指数规律减小。

RL 串联电路的暂态过程中，电流按照指数方式增长和消失，电阻上的电压和电流同步变化，而电感上的电压在阶跃电压作用时产生一个突变，而后以指数方式趋于 0

在 RLC 回路中，可以观察到欠阻尼状态时有很明显的振荡现象，过阻尼状态时变化平缓，

反应了磁场能与电能的转化

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。

1、 改变 R 阻值即改变时间常数，衰减速度和幅值发生改变。固定 R 改变 f 时，会到得类似的波形，因为时间常数和幅值未变，仅仅频率改变不影响。
2、 因为 RLC 电路中的阻尼振荡很依靠频率，过高过低都不行。若频率过高，则观察不到完整的波形。