

RLC 串联电路的暂态过程

杨轶

May 2024

1. 电路的暂态过程是指在阶跃电压作用下，RLC 串联电路由一个平衡态跳变到另一个平衡态的转变过程。
2. 在 RC 串联电路的暂态过程中，电容电压 u_C 和电流 i 均按指数规律变化，充电时 u_C 逐渐加大，放电时则逐渐减小。在阶跃电压作用下，电阻电压 u_R 可以发生跃变，因为 $u_R = iR$ ，且在 RC 电路中电流是可以跃变的，故电阻电压 u_R 可以跃变。而由于电容 C 为储能元件，在暂态过程中能量不发生改变，所以在阶跃电压作用下， u_C 不是跃变，而是渐变接近于新的平衡数值。
3. RC 串联电路的时间常数 $\tau = RC$ ，在实验中可以测量在放电过程中 u_C 从 E 衰减到 $e^{-1}E$ (即 $0.368E$) 所用时间，这个时间即为 τ 值。
4. 在 RL 串联电路的暂态过程中，电流 i 按照指数规律变化，电阻分压 $u_R = iR$ 与电流同步变化，充电时电感上分压 u_L 逐渐指数衰减到 0，放电时也是逐渐衰减到 0。在阶跃电压作用下，由于电感作用，电流 i 不能发生跃变，故电阻电压 u_R 不会发生跃变，但电流一阶导数可以突变，所以电感分压 u_L 会发生跃变。RL 串联电路的时间常数为 $\tau = \frac{L}{R}$ 。
5. (a) 弱阻尼情况， $R^2 < \frac{4L}{C}$,

$$u_C = \sqrt{\frac{4L}{4L - R^2C}} E e^{-t/\tau} \cos \omega t + \phi \quad (1)$$

其中时间常量为

$$\tau = \frac{2L}{R} \quad (2)$$

衰减振动角频率为

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2C}{4L}} \quad (3)$$

在阻尼很小时，即 $R^2 \ll \frac{4L}{C}$ ，有 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2C}{4L}} \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ，衰减振动周期为 $T = 2\pi\sqrt{LC}$ 。为测量振动周期，可以直接测量电压各个峰值对应的时间，便可得到周期。为了得到衰减常数，可以利用各个峰值的高度和其对应的时间，对 $-\ln u_C \sim t$ 进行最小二乘法拟合，得到的斜率即为衰减常数，时间常数 τ 为衰减常数的倒数。

- (b) 过阻尼情况， $R^2 > \frac{4L}{C}$,

$$u_C = \sqrt{\frac{4L}{R^2C - 4L}} E e^{-\frac{Rt}{2L}} \sinh \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{R^2C}{4L} - 1} t + \phi \quad (4)$$

(c) 临界阻尼情况, $R^2 = \frac{4L}{C}$,

$$u_C = E(1 + \frac{t}{\tau})e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5)$$

其中, $\tau = \frac{2L}{R}$ 。临界阻尼是从过阻尼到弱阻尼的分界点, 也是振幅最快衰减到 0 的。所以可以在 u_C 曲线中找到非振动衰减中最快衰减项, 即为临界阻尼。

6. 实验电路图如图1所示, 图中 A、B 分别是信号源接地点和 CH_1 CH_2 两通道共地点。不能在不改变电路其他部分的情况下让 CH_2 去测量 X_1 部分电路, 因为这样不能保证示波器两通道共地。

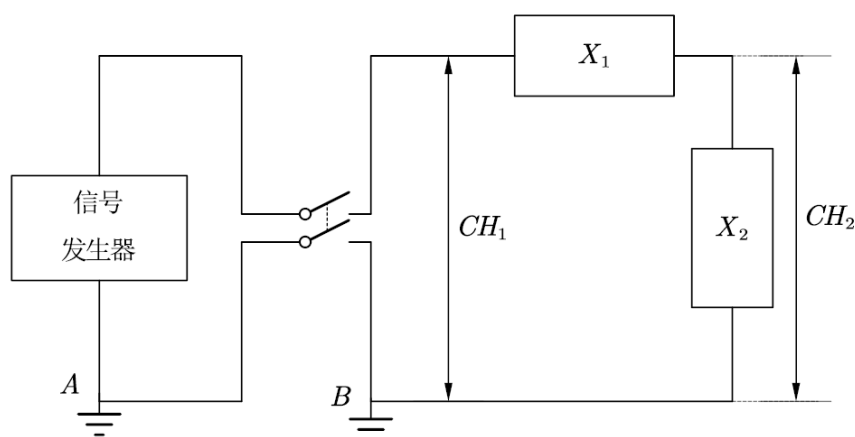


图 1: RLC 串联电路实验电路图

7. 数字存储示波器是对输入信号先进行取样和数模转换, 将输入的模拟信号转换为数字量并存储在存储器内, 示波器内的微处理器将存储器内的数字信号转换成可视波形, 由于数字示波器的存储功能, 它可以俘获和显示单脉冲信号。而普通的模拟示波器没有存储功能, 只能实时的将输入信号放大, 所以不能显示单脉冲信号。在图 28-14 中, 脉冲持续时间大约为 1s, 高低电平差为 1V。750mV 为触发电平。