

RLC串联电路的暂态特性

姓名：金智勇

年级：大二

学号：2018302020051

一.实验目的

1.观测 RC、RL 电路的暂（瞬）态过程，加深对电容、电感特性的认识和对时间常数 RC , $\frac{L}{R}$, $\frac{2L}{R}$ 的理解。

二.仪器用具

qucs-s中的低频信号发生器（使用其中方波信号）、示波器、电感器、电容器及交流电阻箱。

三.实验原理

电压由一个值跳变到另一个值时称为“阶跃电压”，如图 3-11-1 所示。如果电路中含有电容、电感等元件，则在阶跃电压的作用下，电路状态的变化通常经过一定的时间才能稳定下来。电路在阶跃电压的作用下，从开始发生变化到变为另一种稳定状态的过渡过程称为“暂态过程”。这一过程主要由电容、电感的特性所决定。

1. RC 串联电路的暂态过程

- RC 电路暂态过程可以分为充电过程和放电过程，首先研究充电过程。

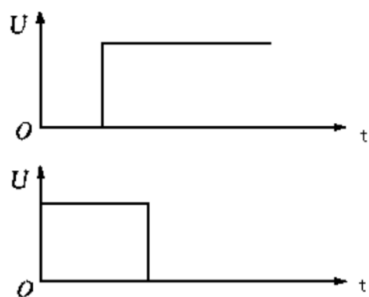


图 3-11-1

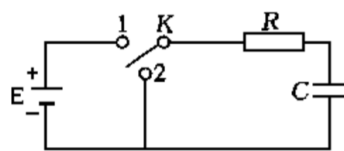


图 3-11-2

-
- 图 3-11-2 为研究 RC 暂态过程的电路。当开关 K 接到“1”点时，电源 E 通过电阻 R 对 C 充电，此充电过程满足如下方程
- $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = E$ (3-11-1)
- 式中，q 是电容 C 上的电荷， $\frac{dq}{dt}$ 是电路中的电流。考虑初始条件 $t = 0, q_0 = 0$ ，便得到它的解为
- $q = CE(1 - e^{-t/RC})$ (3-11-2)
- 因而有
- $u_C = \frac{q}{C} = E(1 - e^{-t/RC})$ (3-11-3)
- $i = \frac{dq}{dt} = \frac{E}{R}e^{-t/RC}$ (3-11-4)
- $u_R = Ri = Ee^{-t/RC}$ (3-11-5)
- 以上四式都是指数形式，我们只需观测电容电压 u_C 随时间的变化规律，就可以了解其余三个量随时间的变化规律。其中 $RC = \tau$ 称为电路的时间常数。充电和放电的快慢由 RC 决定。由 (3-11-3) 式可得，当 $t = \tau$ 时， $u_C = 0.632E$ 。

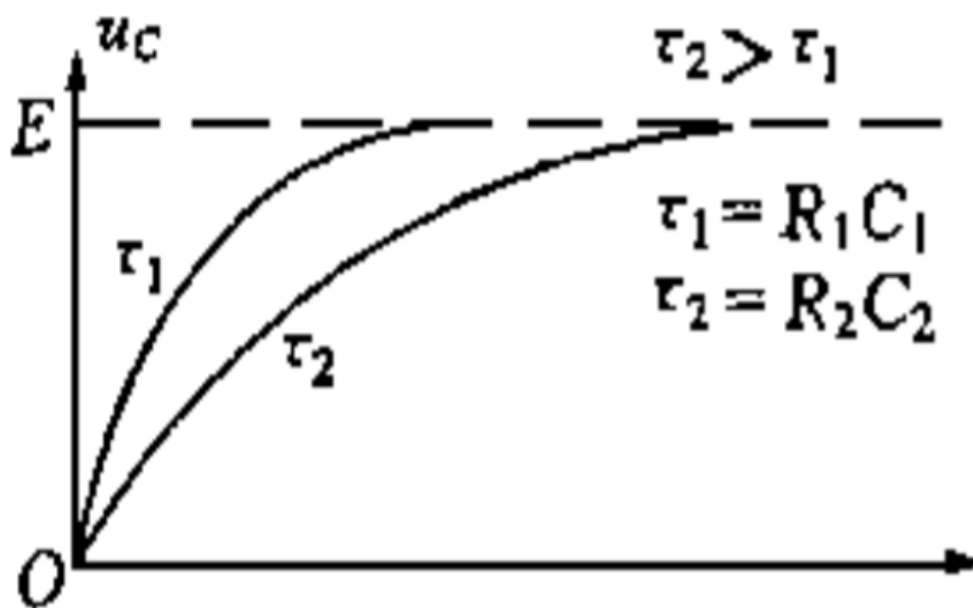


图 3-11-3

- 图 3-11-3 即为 $u_C(t)$ 曲线。由图 3-11-3 可见： τ 越大，充电过程越慢。其原因是不难理解的。
- 当增大到 E 时，电路即达到了稳定状态，此后若将图 3-11-2 中的开关 K 由“1”点迅速转接到“2”点，则电容 C 将通过 R 放电，此放电过程的微分方程为
- $R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$ (3-11-6)
- 考虑初始条件 $t=0$ 时， $q_0 = CE$ ，于是得到它的解
- $q = CEe^{-t/RC}$ (3-11-7)
- $u_C = \frac{q}{C} = Ee^{-t/RC}$ (3-11-8)
- $i = \frac{dq}{dt} = -\frac{E}{R}e^{-t/RC}$ (3-11-9)
- $u_R = Ri = -Ee^{-t/RC}$ (3-11-10)
- 其中 i 与 u_R 两等式右边的负号表示放电电流方向与充电电流方向相反。由公式可知放电过程也是按指数形式变化的。当 $t=\tau$ 时， $u_C = 0.368E$ 。 u_C 随 t 的变化关系如图 3-11-4 所示。

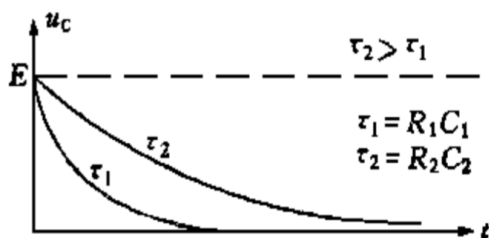


图 3-11-4

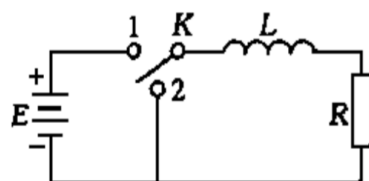


图 3-11-5

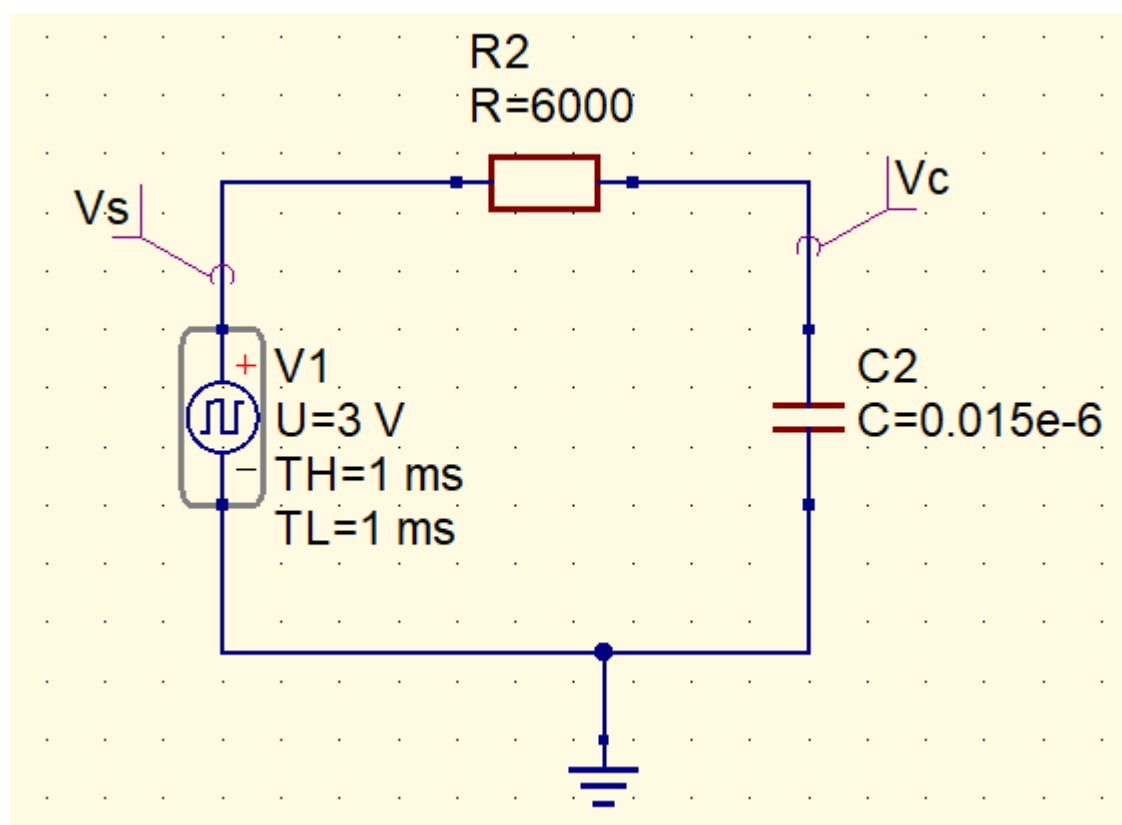
2. RL 电路的暂态过程

- RL 电路的暂态过程分为电流增长和衰减两个过程。图 3-11-5 就是实现这两个过程的电路图。
- 当开关 K 接到“1”时，为电流增长过程。设 t 时刻的电流为 i ，电感 L 上的感应电动势为 $\epsilon = -L \frac{di}{dt}$ ，则有电路方程
- $L \frac{di}{dt} + Ri = E$ (3-11-11)
- 由于 L 的影响，电流不能突变。因此初始条件为 $t=0$ 时， $i=0$ 。方程的解为：
- $i = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$ (3-11-12)
- $u_R = Ri = E(1 - e^{-\frac{R}{L}t})$ (3-11-13)
- $u_L = L \frac{di}{dt} = E e^{-\frac{R}{L}t}$ (3-11-14)
- 式中： $\frac{L}{R} = \tau$ 称为电路时间常数。
- 当电流 i 增长到最大值 $i_m = \frac{E}{R}$ 时，电路进入稳定状态。此时若将开关 K 由“1”迅速接到“2”，则为电流衰减过程，其电路方程为
- $L \frac{di}{dt} + Ri = 0$ (3-11-15)
- 考虑初始条件 $t=0$ 时， $i = \frac{E}{R}$ ，便得到它的解为
- $i = \frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$ (3-11-16)
- $u_R = Ri = E e^{-\frac{R}{L}t}$ (3-11-17)
- $u_L = L \frac{di}{dt} = -E e^{-\frac{R}{L}t}$ (3-11-18)
- (3-11-18) 式右边的负号表示电流衰减时 L 上的自感电动势与电流的方向相反，其时间常数仍为 $\frac{L}{R} = \tau$ 。
- 若将 RL 电路与 RC 电路的解作比较，可以看出：两者的电流、电压都同样按指数规律变化。

- 观察 RL 电路中 R 上的电压 u_R 的变化，就像观测 RC 电路的 u_C 变化一样，此时 u_R 反映了 L 所储存的能量状态。

四.实验内容

1. 观察 RC 电路的 u_C 和 τ

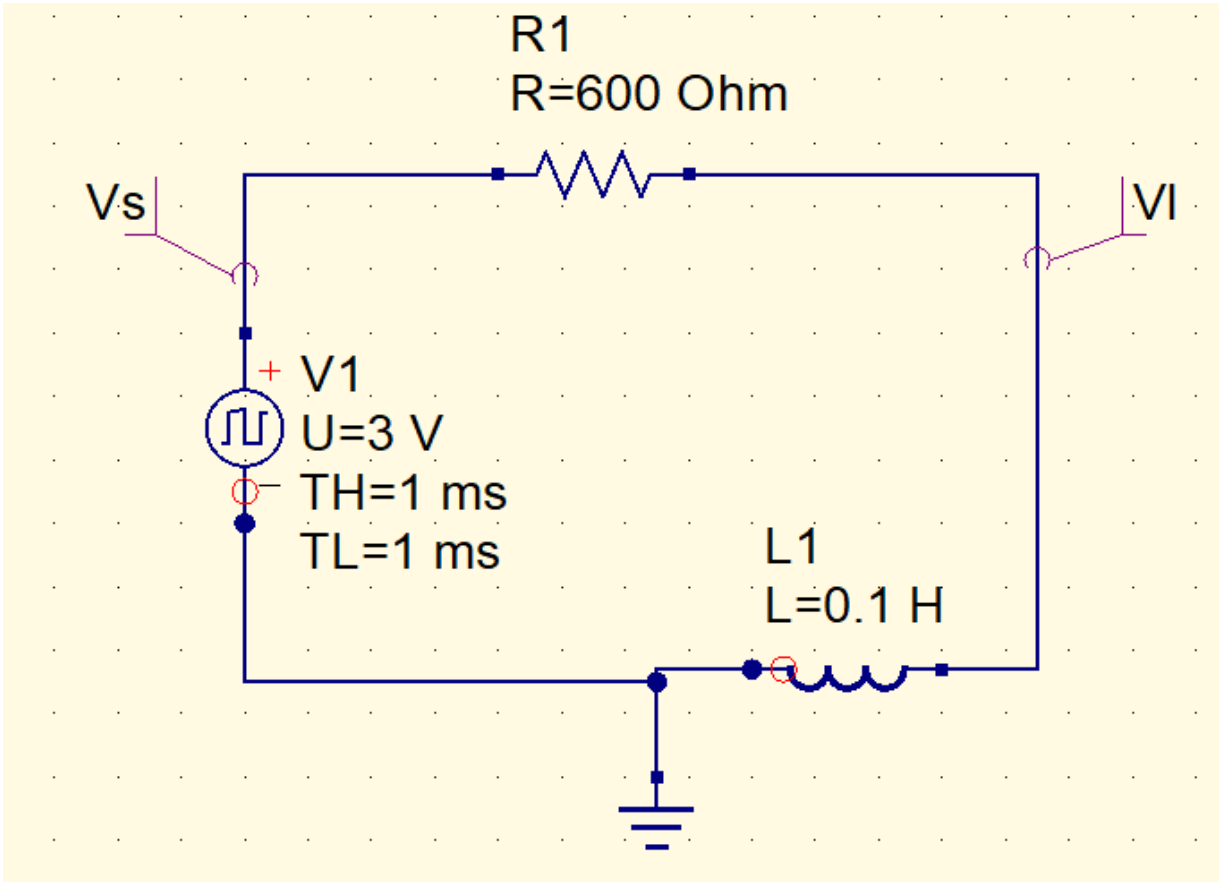


- 如上图所示连接电路， $R = 6000\Omega$, $C = 0.015\mu F$, 电源 $f = 500Hz$, $E = 3V$
- 开始模拟，记录 $u_C - t$ 数据
- 用最小二乘法算出 τ 值，将 R 值及 τ 的理论值和实际值记录与表格之中。
- 改变 R 的值，重复以上步骤。

| R/Ω | τ 理论值 / $\times 10^{-6}\Omega F$ | τ 实际值 / $\times 10^{-6}\Omega F$ |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 6000 | 90.000 | 89.918 |
| 7000 | 105.00 | 104.93 |

| R/Ω | τ 理论值 / $\times 10^{-6} \Omega F$ | τ 实际值 / $\times 10^{-6} \Omega F$ |
|------------|--|--|
| 8000 | 120.00 | 119.94 |
| 9000 | 135.00 | 134.94 |
| 10000 | 150.00 | 149.95 |

2. 观察 RL 电路的 u_C 并测 τ



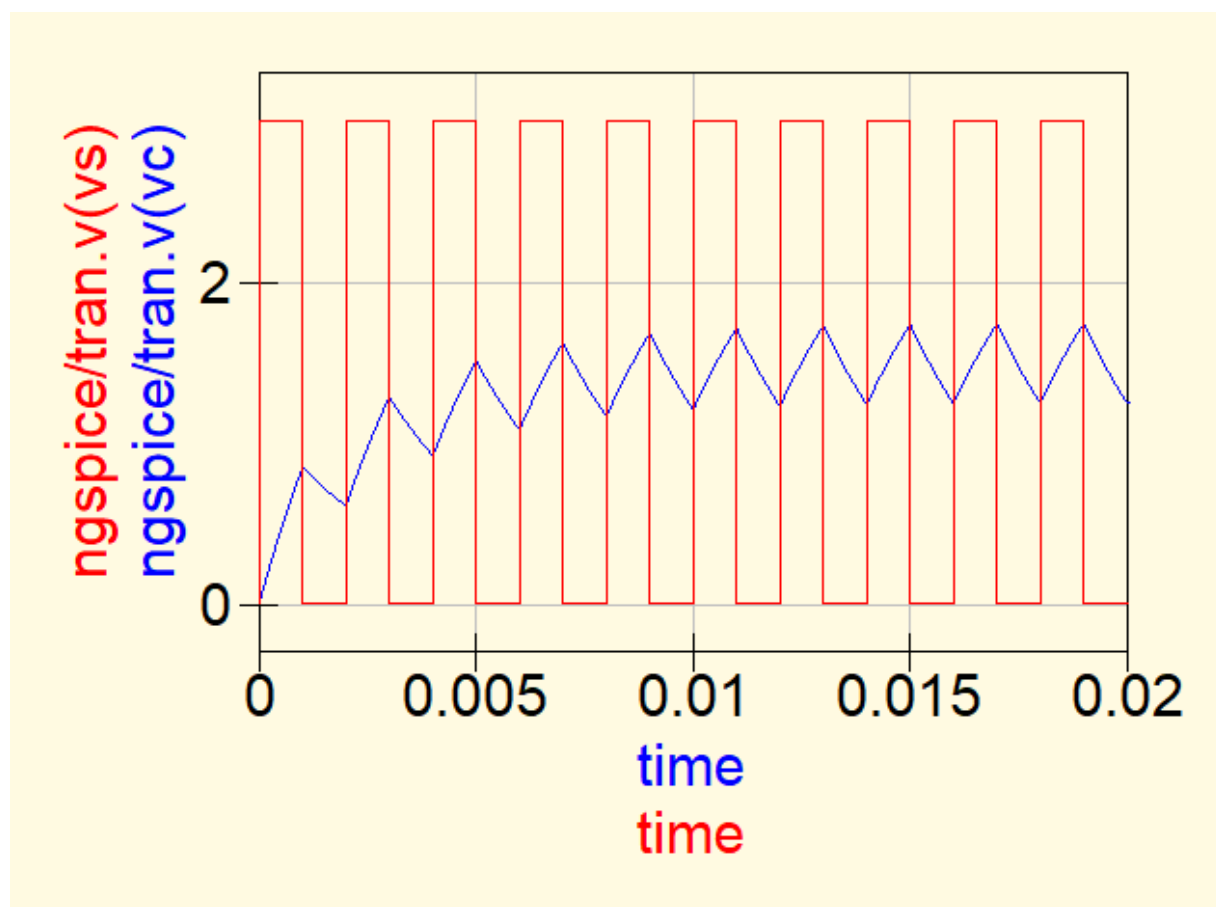
- 如上图所示连接电路， $R = 600\Omega$, $L = 0.1H$, 电源 $f = 500Hz$, $E = 3V$
- 开始模拟，记录 $u_L - t$ 数据
- 用最小二乘法算出 τ 值，将 R 值及 τ 的理论值和实际值记录与表格之中。
- 改变 R 的值，重复以上步骤。

| R/Ω | τ 理论值 / ($\times 10^{-6} H/\Omega$) | τ 实际值 / ($\times 10^{-6} H/\Omega$) |
|------------|--|--|
|------------|--|--|

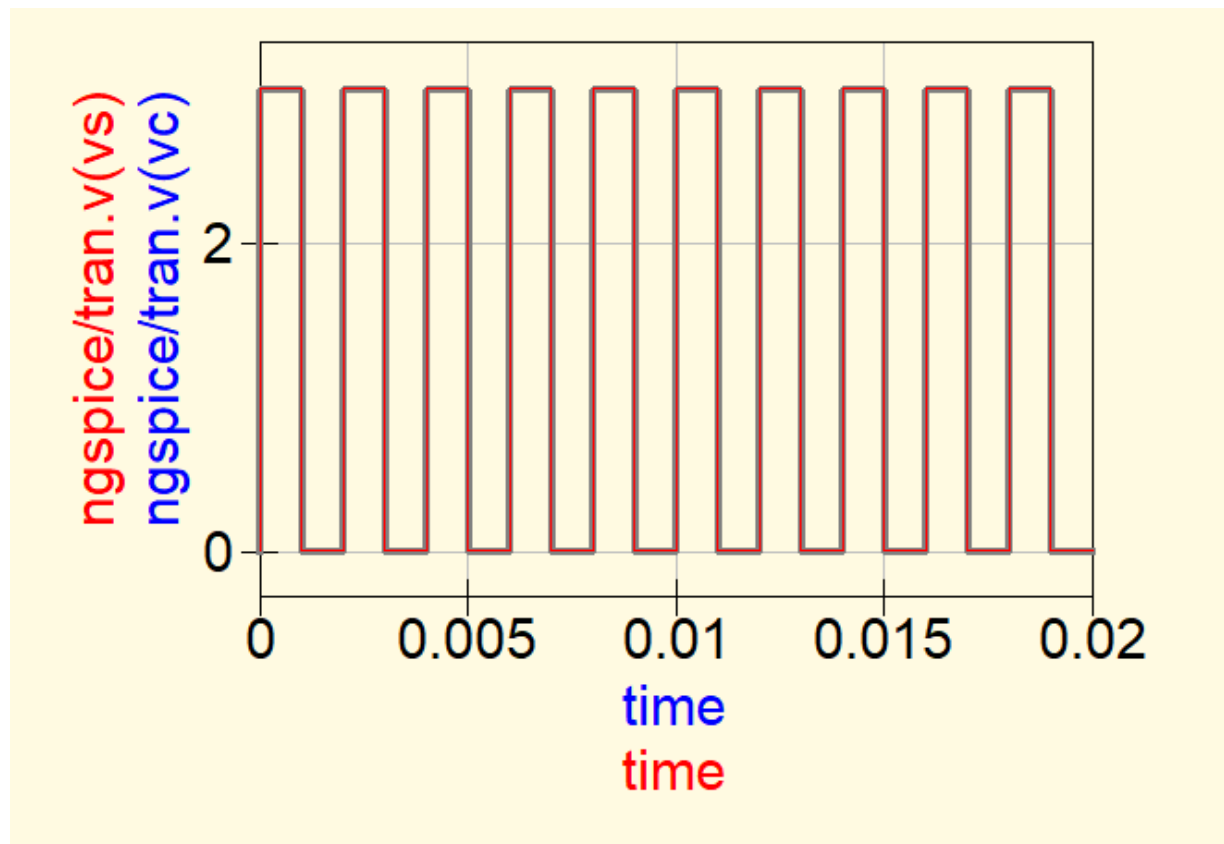
| R/Ω | τ 理论值 / ($\times 10^{-6} H/\Omega$) | τ 实际值 / ($\times 10^{-6} H/\Omega$) |
|------------|--|--|
| 600.0 | 166.67 | 166.62 |
| 700.0 | 142.86 | 142.80 |
| 800.0 | 125.00 | 124.94 |
| 900.0 | 111.11 | 111.04 |

五.预习思考

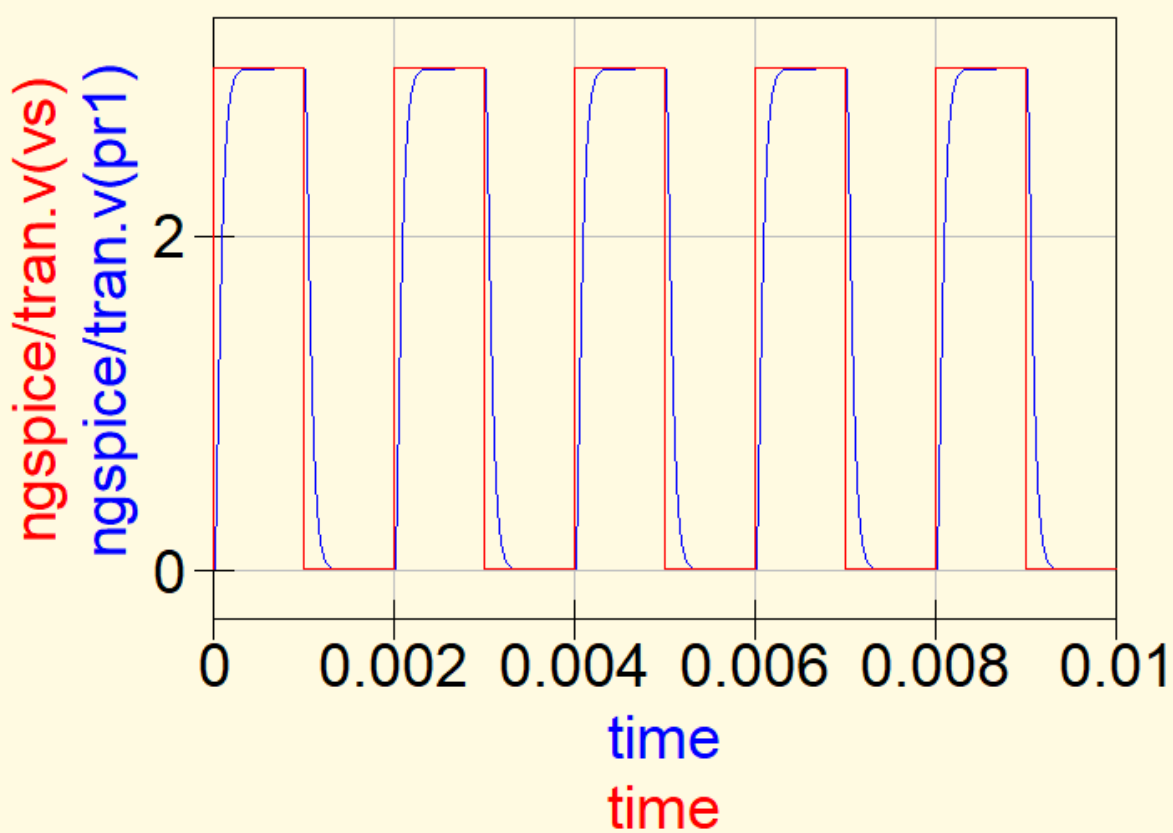
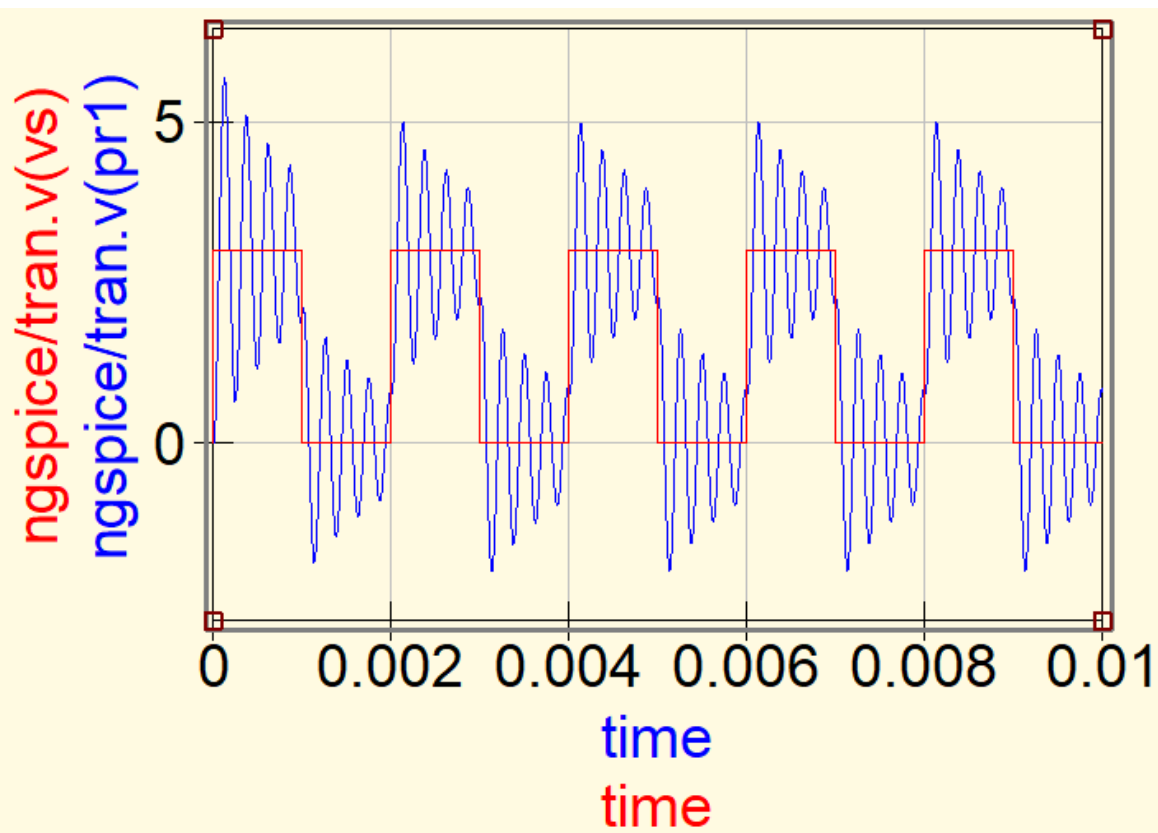
1. 在 RC 电路中，当 τ 比方波的半个周期大得很多或小得很多时候（相差几十倍以上）各有什么现象？

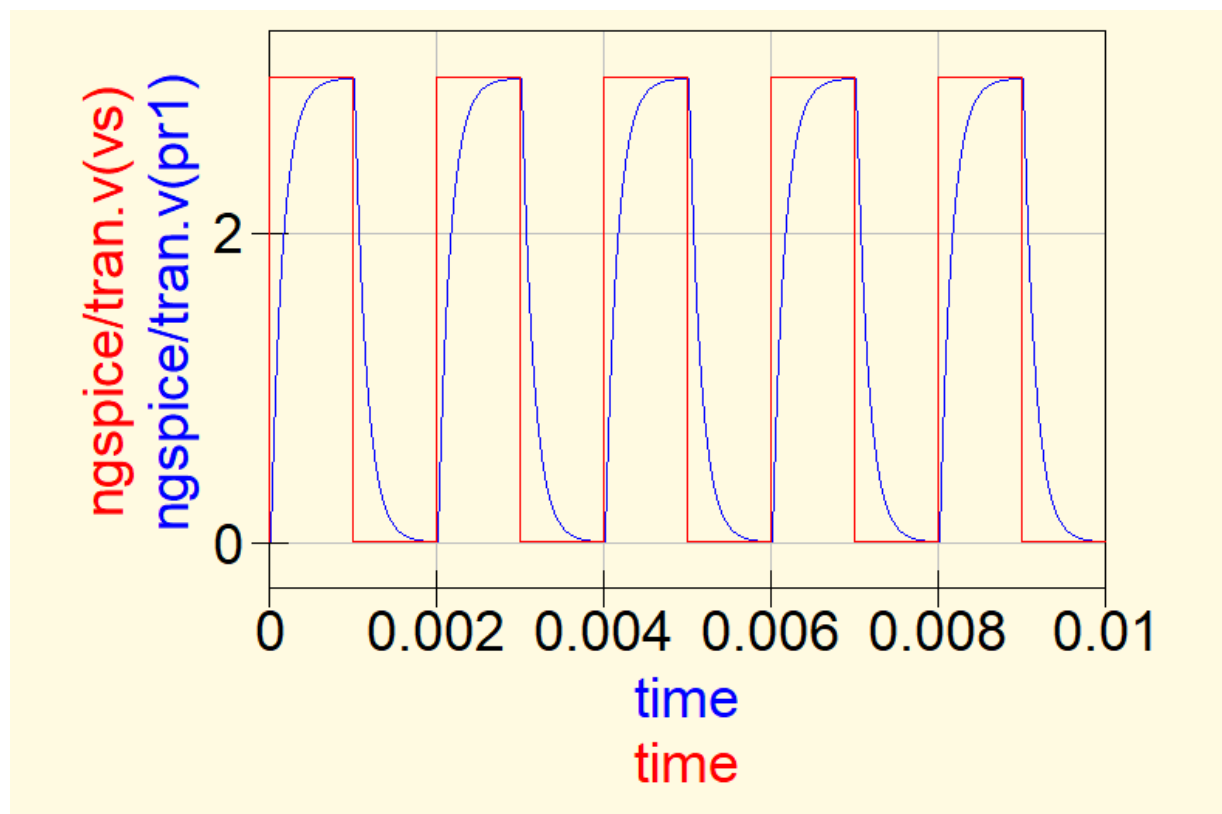


- τ 比方波的半个周期大得很多倍时，由上图知，在各半周期中 u_C 随时间几乎呈线性增加或减少，最终平均值稳定在 $E/2$ 处



- - τ 比方波的半个周期小得很多倍时，由上图知，电容器迅速完成充电放电过程， u_C 几乎与 u 重合。
2. 在 RLC 的实验电路中，在仅把 R 由 200Ω 逐步加至 $1.02 \times 10^4\Omega$ 的过程中， u_C 暂态过程按顺序如何变换？相应的波形是怎样的？
- 欠阻尼 \rightarrow 临界阻尼 \rightarrow 过阻尼
 - 相应的波形如下：





3. u_C 的临界阻尼暂态过程的波形，与欠阻尼、过阻尼有何差异？我们采用什么方法可使 u_C 逼近临界阻尼暂态过程？

- 与欠阻尼相比，临界阻尼没有振荡；
- 与过阻尼相比，临界阻尼时最快达到稳态；
- 从一个很小的电阻开始，逐渐增大电阻至恰好无振荡为止。

4. 分别变化 R 、 C 值，它对 RLC 电路的欠阻尼振荡的 ω 和 τ 各产生什么影响？

- 增大 R 值时， ω 逐渐减小至 0， τ 逐渐减小；
- 增大 C 值时， ω 逐渐减小， τ 不变。

六.习题

1. (填空) 在一个直流电源供电，只有 R, L, C 三元件任意组合的电路中，如果电流的暂态出现低频震荡，则电路中必然存在着 L, C ，该 L 与 C 共同产生欠阻尼振荡，该振荡持续时间较长，其 R 的值一定很小。

2. 在图 3-11-11 所示的方波电路中，若负载电路先后为四种情况，其对应的波形为 i_a, i_b, i_c, i_d ，试分析这四种负载各对应是 R,L,C 中的哪一个或者哪两个，三个串联？

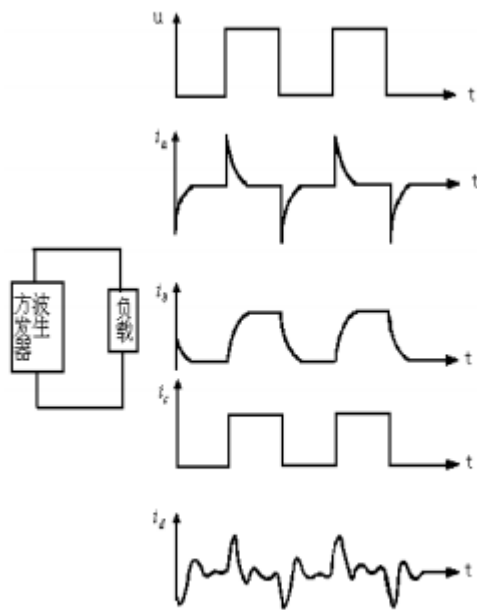


图 3-11-11

-
- C; L; R; RLC.

七.实验照片

1. 最小二乘法算 τ

RLC_transient.md

least_squares_tau.py

RLC_transient.md Preview

```
1
2 import csv
3 import sys
4 import numpy as np
5 from scipy.optimize import least_squares
6
7 ts = []
8 us = []
9 with open(sys.argv[1], 'r') as f:
10     csv_data = csv.reader(f)
11     for i, row in enumerate(csv_data):
12         if i == 0:
13             continue
14         if i == 12:
15             break
16         ts.append(float(row[0]))
17         us.append(float(row[1]))
18
19 npts = np.asarray(ts)
20 npus = np.asarray(us)
21
22 def f(t, tau):
23     return 3 * np.exp(-t/tau)
24
25 popt, pcov = curve_fit(f, npts, npus)
26 print(popt)
27 print(pcov)
28
```

$\tau L = 1 \text{ ms}$

L1
L=0.1 H

$\tau = 0.1 H$, 电源

τ 的理论值和实际值记

| τ 实际值 / $(\times 10^{-6} H/\Omega)$ | | |
|--|--------|--------|
| 36.62 | | |
| 42.80 | | |
| 800.0 | 125.00 | 124.94 |
| 900.0 | 111.11 | 111.04 |