

1 目的

RLC 回路の過渡現象を観測し，回路の動作を理解する．

2 理論

図 1 に示す回路で，最初，スイッチ S は A の側に倒してあり，十分長い時間が経過しているものとする．キャパシタが直流電圧 $-V$ で充電されている状態で，時刻 $t = 0$ において，スイッチ S を B の側へ切り替えて直流電圧 V を印加する．印加される電圧の時間変化は，図 2 の階段状の関数で表される．

この場合の回路方程式は，回路に流れる電流を $i(t)$ として， $t > 0$ で

$$L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt = V \quad (1)$$

となり，これよりキャパシタの電荷 $q(t)$ に関する微分方程式

$$L \frac{d^2 q(t)}{dt^2} + R \frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{C} q(t) = V \quad (2)$$

が得られる．

(2) 式の 2 階線形微分方程式は，特性方程式 $Lp^2 + Rp + 1/C = 0$ の解の判別条件に応じて次の解をもつ．ただし， C_1, C_2 は初期条件で決まる定数である．

1. $R^2 > 4L/C$ のとき

$$q(t) = C_1 \exp\{(-\alpha + \beta)t\} + C_2 \exp\{(-\alpha - \beta)t\} + CV \quad (3)$$

$$\text{ただし } \alpha = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

2. $R^2 = 4L/C$ のとき

$$q(t) = (C_1 + C_2 t) \exp(-\alpha t) + CV \quad (4)$$

3. $R^2 < 4L/C$ のとき

$$q(t) = C_1 \exp(-\alpha t) \sin(\beta t + C_2) + CV \quad (\text{減衰振動解}) \quad (5)$$

$$\text{ただし } \alpha = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$$

(5) 式は $q(t) = C'_1 \exp(-\alpha t) \sin \beta t + C'_2 \exp(-\alpha t) \cos \beta t + CV$ と表すこともできる．

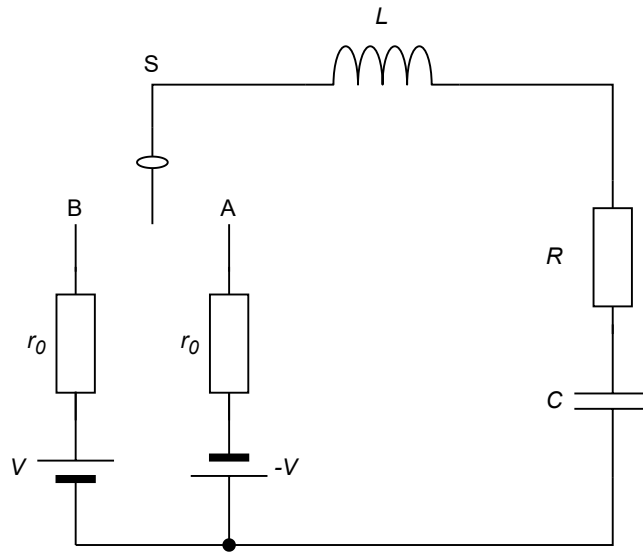


図 1 RLC 直列回路

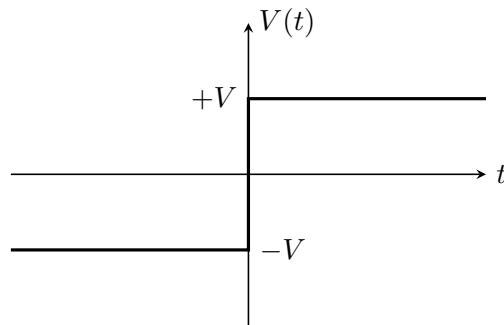


図 2 ステップ関数

3 実験

3.1 概要

本実験では図 2 の階段状の関数の代わりに、図 3 の回路を用いて、図 4 に示すような矩形波 (4 V peak-to-peak, duty 比 1 : 1) を入力するものとする．時刻 $t = 0$ で図 2 に示す $-V \rightarrow +V$ の (昇りの) 階段状の電圧を回路に印加し，次に，十分長い時間がたったあとの時刻 $t = T/2$ で，図 2 と逆の $+V \rightarrow -V$ の (下りの) 階段状の電圧を印加する．このあと更に，時刻 $t = T$ で再び $-V \rightarrow +V$ の (昇りの) 階段状の電圧を回路に印加する．つまり，周期的な過渡現象を起こさせるわけである．ただし，(3)~(5) 式の指数関数中の定数 $\alpha - \beta$ あるいは α が適当に大きいこと，いいかえれば減衰に要する時間の目安である $1/(\alpha - \beta)$ あるいは $1/\alpha$ が矩形波の半周期 $T/2$ より小さいことが必要である．

なお，キャパシタの電荷の時間変化を観測するには，キャパシタ C の両端の電圧変化をみればよく，電流の時間変化を観測するには，抵抗 R の両端の電圧変化をみればよい．また，電源の内部インピーダンス

も考慮に入れて考察を行うこと。回路図では純抵抗と仮定し、 r_0 と表しており、実験に使用する発振器においては $r_0 = 600\ \Omega$ とする。

3.2 実験手順

1. 必要器具の点検後、ブレッドボード上の回路作成と機器の結線を行う。ブレッドボード内の線の接続、および機器のグラウンドレベルが正しく共通にとれていることを確認する。また、オシロスコープの掃引トリガのタイミングとして、印加電圧の立ち上がりを取るようにオシロスコープを調整する。
2. 発振器の微調整つまみを調整して、出力電圧を 4 V peak-to-peak にする。また、発振器の周波数を微調整して、横軸 10 目盛りでほぼ 1 周期分が表示されるように設定する。
3. キャパシタ C の両端の電圧が予測した過渡特性と一致することがオシロスコープの画面上で読めたら、指導教員または TA の確認を受ける。もし、予測との間に顕著な差異が現れたら、その原因について考えること。
4. 教員または TA の確認が済んだら、波形をプリントアウトする。
5. R および L の両端電圧についてはどうか。測定波形と予測波形とを比較・確認した上で、プリントアウトする。
6. 指定された L, C, R の組み合わせについて、上記の手順を繰り返す。

3.3 実験条件

使用する素子の条件は $L = 1 \text{ mH}$, $C = 4700 \text{ pF}$, 100 pF , $R = 1 \text{ k}\Omega$ である.

3.4 使用機器

1. RC 発信機 (ケンウッド AG-203A)
2. DSO (Tektronix TBS1022)
3. ブレッドボード
4. Qucs 0.0.16

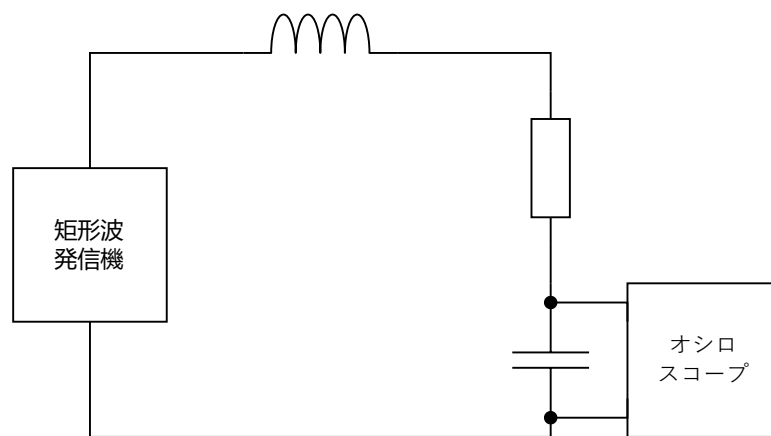


図 3 測定回路

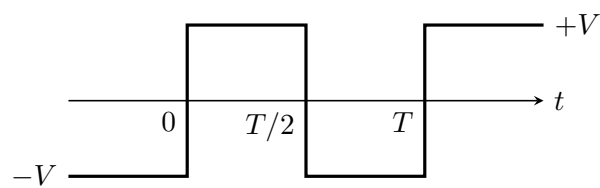
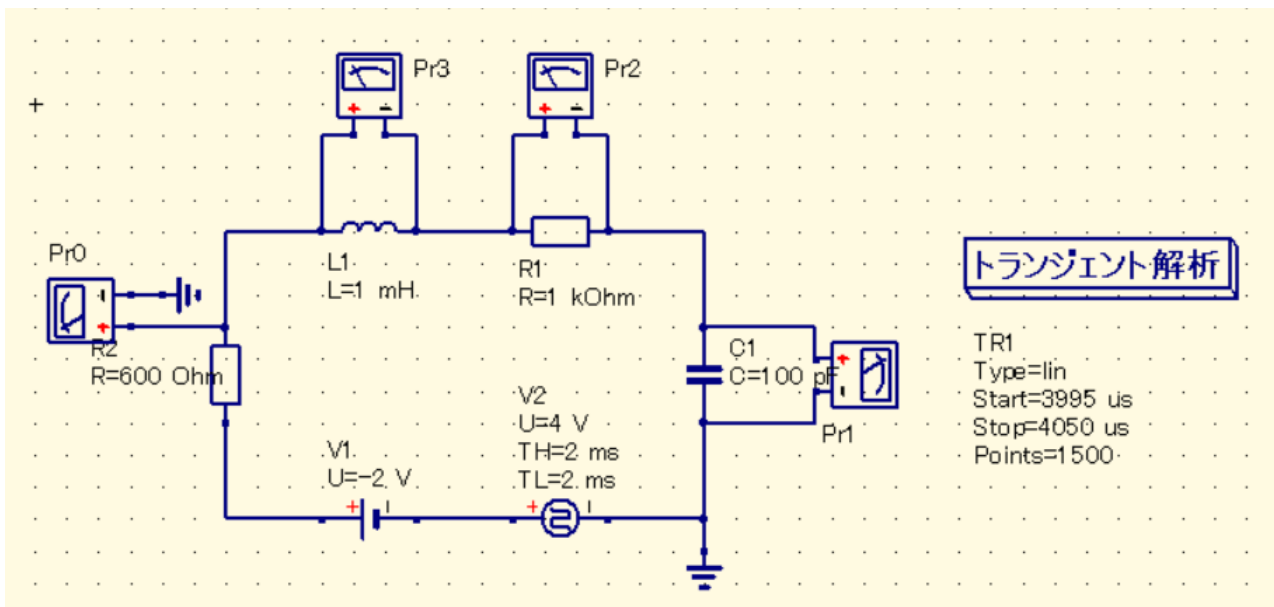
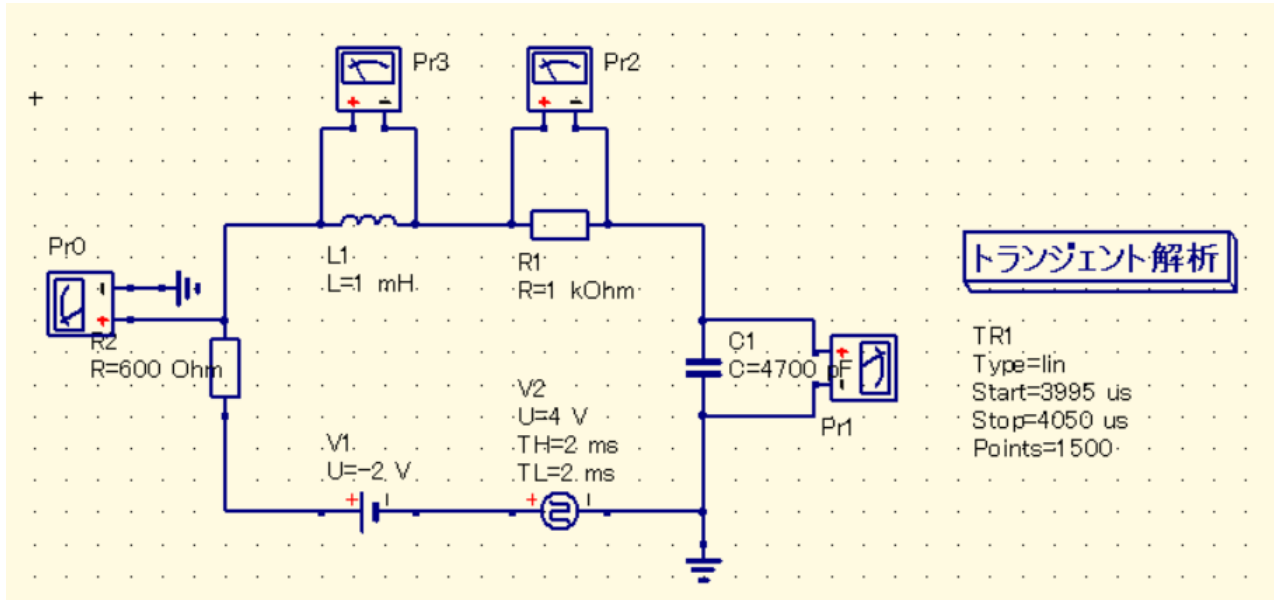


図 4 矩形波

4 結果

4.1 予測波形

シミュレーションを行った回路を図 5, 図 6 に示す。



また、シミュレーション結果を図 7, 図 8 に示す。

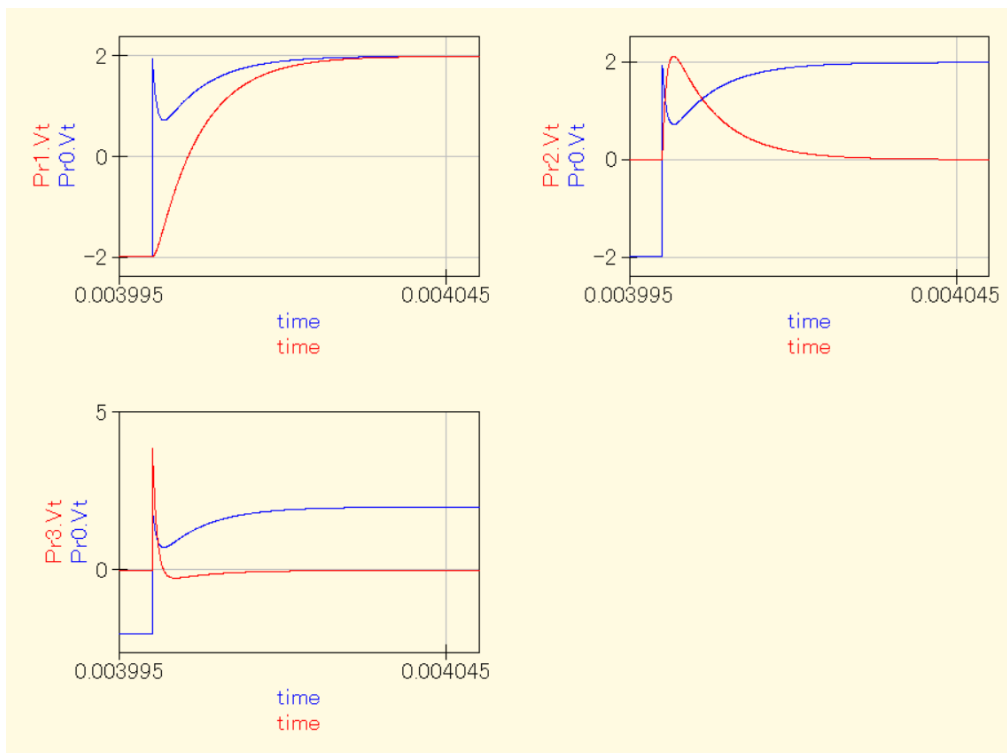


図 7 測定回路 1 のシミュレーション結果

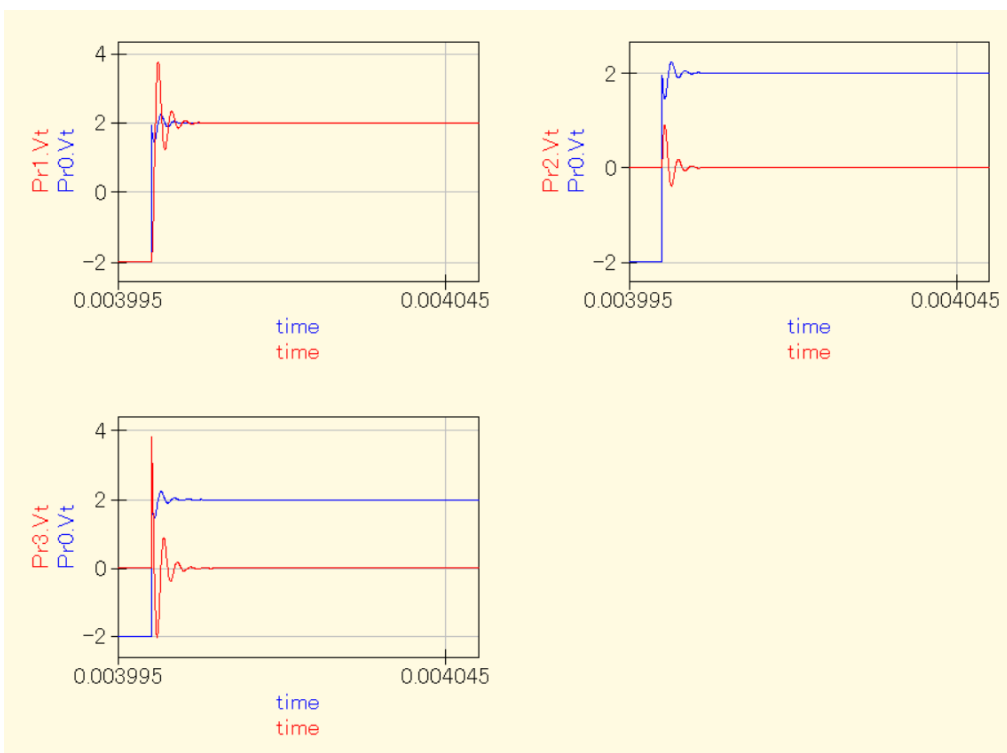


図 8 測定回路 2 のシミュレーション結果

4.2 測定波形

4.2.1 測定回路 1

測定回路 1 の測定測定波形を図 9, 図 10, 図 11 に示す.

4.2.2 測定回路 2

測定回路 1 の測定測定波形を図 12, 図 13, 図 14 に示す.

参考文献

- [1] 電子システム工学基礎実験テキスト