

Ćwiczenie 2

Prawa autorskie zastrzeżone:
Katedra Systemów
Przetwarzania Sygnałów PWr

STANY NIEUSTALONE W OBWODACH RC, RL I RLC

Celem ćwiczenia jest:

- obserwacja stanów nieustalonych w obwodach pierwszego i drugiego rzędu przy pobudzeniu jednostkowym,
- pomiar wielkości charakteryzujących reakcje układów w stanach nieustalonych,
- porównanie wyników pomiarów i obserwacji z wynikami uzyskanymi z analizy teoretycznej.

W ćwiczeniu należy:

- zbadać układ pierwszego rzędu RC,
- zbadać układ pierwszego rzędu RL,
- zbadać układ drugiego rzędu RLC,
- zaprojektować układ dający odpowiedź aperiodyczną, aperiodyczną krytyczną i oscylacyjną,
- pomiar charakterystyki amplitudowej układu szeregowego RLC.

A. Wprowadzenie**1. Wstęp**

Stanem ustalonym nazywa się stan równowagi układu, w którym parametry charakteryzujące reakcję np. wartość maksymalna, częstotliwość, faza początkowa nie zmieniają się w czasie. Wszelkie zmiany w układzie, zwane komutacją np.: włączenie lub odłączenie źródła, zmiany połączeń lub wartości elementów itp., powodują zaburzenie istniejącego stanu ustalonego. Nowy stan ustalony nie może wystąpić natychmiastowo, lecz jest poprzedzony w układach inercyjnych pewnym stanem przejściowym. Stan przejściowy istniejący w układzie, podczas przejścia z jednego stanu ustalonego w drugi, nazywa się stanem nieustalonym.

Występowanie stanu nieustalonego jest spowodowane istnieniem energii zmagazynowanej w cewkach i kondensatorach. W układach fizycznych energia ta podczas przejścia z jednego stanu ustalonego w drugi może zmieniać się tylko w sposób ciągły, gdyż zmiany skokowe powodowałyby występowanie w układzie nieskończenie wielkich prądów lub napięć. Z zasady zachowania energii pola elektrycznego i magnetycznego wynikają, więc w układach fizycznych zasady ciągłości zmian prądów w cewkach i napięć na kondensatorach. Wartości tych wielkości tuż po komutacji pozostają takie same jak przed komutacją, a następnie zmieniają się płynnie. Teoretycznie zakłada się, że komutacja zachodzi natychmiastowo, np. w chwili czasowej $t = 0$. W obwodach z jedną cewką i jednym induktorem zachowana jest tzw. ciągłość warunku początkowego

$$i_L(0^-) = i_L(0^+), \quad u_C(0^-) = u_C(0^+), \quad (1)$$

gdzie $i_L(0^-)$ i $u_C(0^-)$ - wartości prądu w cewce i napięcia na kondensatorze w chwili przed komutacją,

$i_L(0^+)$ i $u_C(0^+)$ - wartości prądu w cewce i napięcia na kondensatorze po komutacji.

Analizę stanów nieustalonych można przeprowadzić metodą klasyczną, tj. rozwiązując równania różniczkowe opisujące układ przy danych warunkach początkowych. Szczegółowe omówienie tej metody i przykłady rozwiązań układów w stanach nieustalonych można znaleźć w literaturze [1].

Szczególnie wygodną metodą analizy stanów nieustalonych jest metoda operatorowa. Wynikiem rozwiązania układu równań operatorowych opisujących układ SLS, e , i_z przy pobudzeniu stałym bądź okresowym, jest całkowita reakcja $r(t)$ w postaci

$$r(t) = r_w(t) + r_s(t), \quad (2)$$

gdzie: $r_w(t)$ - składowa wymuszona wywołana pobudzeniem,
 $r_s(t)$ - składowa swobodna zależna tylko od własności układu.

Równość (2) jest słuszna przy założeniu, że bieguny transmitancji operatorowej układu są różne od biegunów transformat pobudzeń.

Składowa swobodna $r_s(t)$ jest wywołana zaburzeniem stanu równowagi w chwili komutacji $t = 0$ i zależy od warunków początkowych układu. Przebieg $r_s(t)$ jest uwarunkowany biegunami **transmitancji operatorowej** układu

$$H(s) = \frac{R(s)}{P(s)} = \frac{L(s)}{M(s)}, \quad (3)$$

gdzie: $L(s)$, $M(s)$ - wielomiany zmiennej s ,
 $R(s)$ - transformata Laplace'a reakcji $\mathcal{L}\{r(t)\}$ (przy zerowych warunkach początkowych),
 $P(s)$ - transformata Laplace'a pobudzenia $\mathcal{L}\{p(t)\}$.

Zera wielomianu $M(s)$ zwane są częstotliwościami własnymi układu (bieguny funkcji transmitancji), a stopień wielomianu $M(s)$ określa rząd układu. Jeśli wszystkie częstotliwości własne układu leżą w lewej półpłaszczyźnie s , to składowa swobodna reakcji układu jest tłumiona, tj.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} r_s(t) = 0 \quad (4)$$

Jeśli warunek (4) jest spełniony, to reakcję układu w stanie nieustalonym można zapisać w postaci

$$r(t) = r_s(t) + r_w(t) = r_p(t) + r_u(t) \quad (5)$$

gdzie $r_p(t)$ - składowa przejściowa,
 $r_u(t)$ - składowa ustalona.

W stanie ustalonym całkowita reakcja jest równa składowej ustalonej, tzn.

$$r(t) = r_u(t) = \begin{cases} const, & \text{gdy } p(t) = const, \\ r_u(t+T), & \text{gdy } p(t) = p(t+T), \end{cases} \quad (6)$$

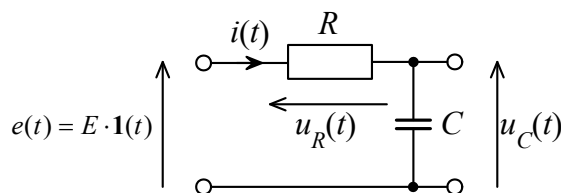
gdzie $p(t)$ – pobudzenie układu.

Teoretycznie układ osiąga stan ustalony po upływie czasu nieskończenie długiego. W praktyce wyznacza się tzw. czas ustalania się, po którego upływie przyjmuje się, że układ jest w stanie ustalonym.

W ćwiczeniu są badane układy pierwszego i drugiego rzędu o zerowych warunkach początkowych. Stosując rachunek operatorowy oparty o jednostronną transformatę Laplace'a, wyznaczono składowe przejściowe i ustalone prądów i napięć występujących na elementach

badanych układów przy pobudzeniu $p(t) = e(t) = E \cdot \mathbf{1}(t)$, gdzie $\mathbf{1}(t)$ oznacza skok jednostkowy (funkcja Heaviside'a).

1. Układ pierwszego rzędu RC



Rys. 1

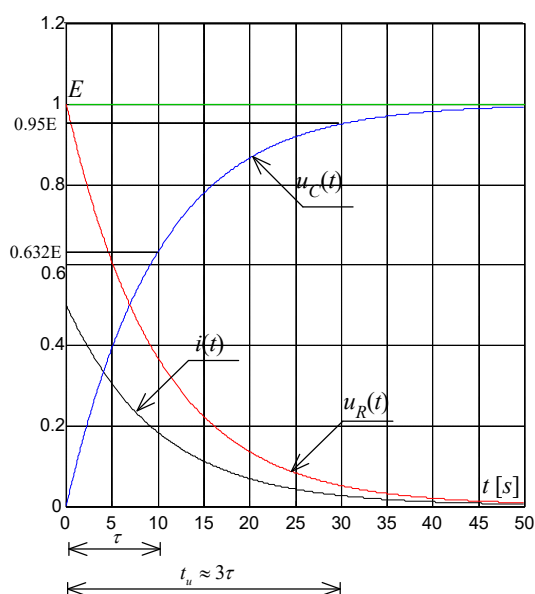
$$i(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{E}{R} \frac{1}{s + \frac{1}{RC}} \right\} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \mathbf{1}(t). \quad (7)$$

$$u_C(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{E}{RC} \frac{1}{s \left(s + \frac{1}{RC} \right)} \right\} = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \mathbf{1}(t) \quad (8)$$

gdzie: $i_u(t) = 0$, $u_{Cu}(t) = E \mathbf{1}(t)$ - składowe ustalone,

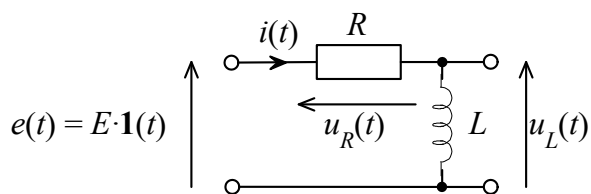
$i_p(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \mathbf{1}(t)$, $u_{Cp}(t) = -E e^{-\frac{t}{RC}} \mathbf{1}(t)$ - składowe przejściowe.

Przebiegi prądu i napięć w obwodzie RC ($R = 2 \Omega$, $C = 5 \text{ F}$, $E = 1 \text{ V}$) w stanie nieustalonym zilustrowane są na rys. 2. Zaznaczony na wykresie czas $\tau = RC$ jest stałą czasu układu. Wielkość ta charakteryzuje szybkość zanikania przebiegu przejściowego. Dla $t_u \approx 3\tau$ (zwanym czasem ustalania) napięcie na kondensatorze osiąga poziom $0,95 E$.



Rys. 2

2. Układ pierwszego rzędu RL



Rys. 3

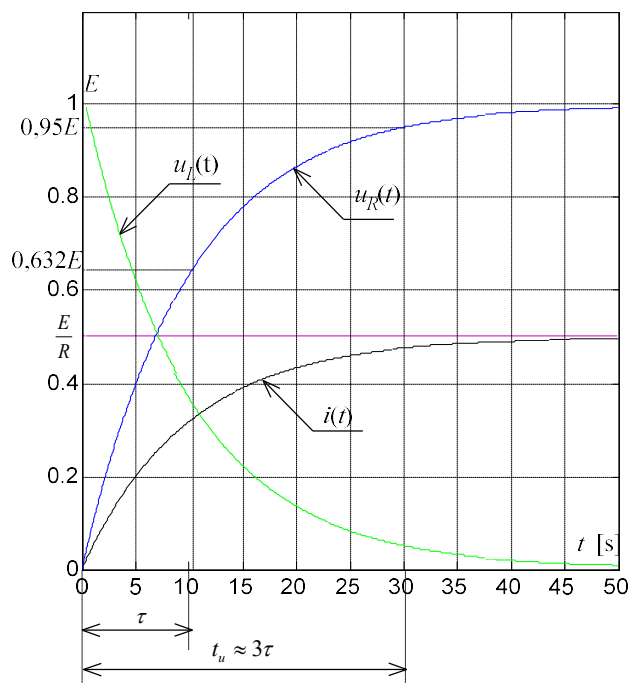
$$i(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{\frac{E}{s}}{R + sL} = \frac{E}{L} \frac{1}{s \left(s + \frac{R}{L} \right)} \right\} = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) \mathbf{1}(t), \quad (9)$$

$$u_L(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{E}{\left(s + \frac{R}{L} \right)} \right\} = E \cdot e^{-\frac{R}{L}t} \mathbf{1}(t), \quad (10)$$

gdzie: $i_u(t) = \frac{E}{R} \mathbf{1}(t)$, $u_{Lu}(t) = 0$ - składowe ustalone,

$i_p(t) = -\frac{E}{R} e^{-\frac{R}{L}t} \mathbf{1}(t)$, $u_p(t) = E e^{-\frac{R}{L}t} \mathbf{1}(t)$ - składowe przejściowe.

Przebiegi prądu i napięć w obwodzie RL ze stałą czasową $\tau = L/R$ ($R = 2 \Omega$, $L = 20 \text{ H}$, $E = 1 \text{ V}$) w stanie nieustalonym zilustrowane są na rys. 4.



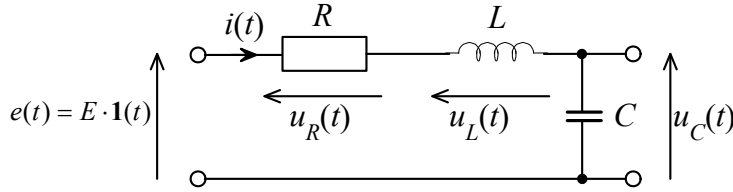
Rys. 4

Czas ustalania się t_u jest zdefiniowany jako czas, po którego upływie wartość odpowiedzi jednostkowej układu różni się od wartości ustalonej co najwyżej o 5%, lub równoważnie jako czas,

po którego upływie wartość odpowiedzi przejściowej wynosi tylko 5% wartości początkowej. Dla układów pierwszego rzędu

$$t_u = 3\tau. \quad (11)$$

3. Układ drugiego rzędu RLC



Rys. 5

$$i(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{E}{L} \frac{1}{s^2 + s \frac{R}{L} + \frac{1}{LC}} \right\}, \quad (12)$$

$$u_C(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{E}{sLC} \frac{1}{s^2 + s \frac{R}{L} + \frac{1}{LC}} \right\}, \quad (13)$$

$$u_L(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ E \frac{s}{s^2 + s \frac{R}{L} + \frac{1}{LC}} \right\}. \quad (14)$$

Częstotliwości własne układu wynoszą:

$$s_1 = -A + B, \quad s_2 = -A - B, \quad (15)$$

gdzie:

$$A = \frac{R}{2L}, \quad B = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 - \frac{4}{LC}}.$$

3. 1. Przypadek aperiodyczny

Jeśli B jest rzeczywiste, co odpowiada warunkowi

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (16)$$

przebiegi mają charakter aperiodyczny i wyrażają się następującymi wzorami:

$$i(t) = \left(\frac{E}{LB} e^{-At} \sinh(Bt) \right) \mathbf{1}(t), \quad (17)$$

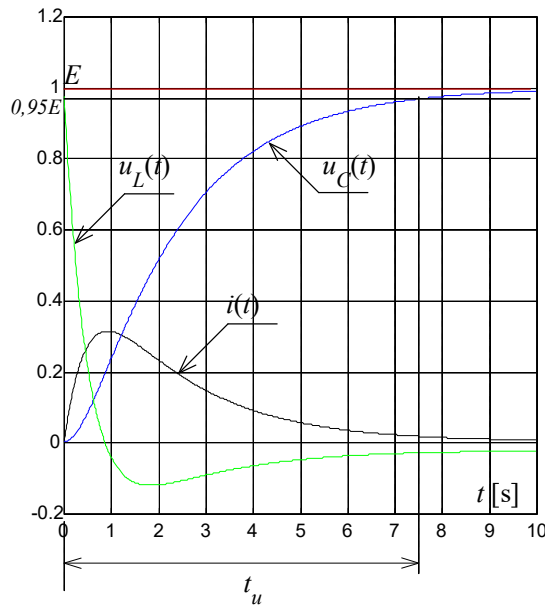
$$u_C(t) = E \left[1 - e^{-At} \left(\cosh(Bt) + \frac{A}{B} \sinh(Bt) \right) \right] \mathbf{1}(t), \quad (18)$$

$$u_L(t) = E \left[e^{-At} \left(\cosh(Bt) - \frac{A}{B} \sinh(Bt) \right) \right] \mathbf{1}(t), \quad (19)$$

gdzie składowe ustalone i przejściowe:

$$\begin{aligned} i_u(t) &= 0, & u_{Cu}(t) &= E \cdot \mathbf{1}(t), & u_{Lu}(t) &= 0, \\ u_{Cp}(t) &= -E e^{-At} \left(\cosh(Bt) + \frac{A}{B} \sinh(Bt) \right) \mathbf{1}(t), \\ u_{Lp}(t) &= u_L(t). \end{aligned}$$

Przebiegi aperiodyczne prądu i napięć ($E = 1$, $R = 2.5 \Omega$, $L = 1$ H, $C = 1$ F) przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6

3. 2. Przypadek aperiodyczny krytyczny

W przypadku, gdy $B = 0$

$$R = 2\sqrt{\frac{L}{C}} = R_{kr}, \quad (20)$$

otrzymuje się:

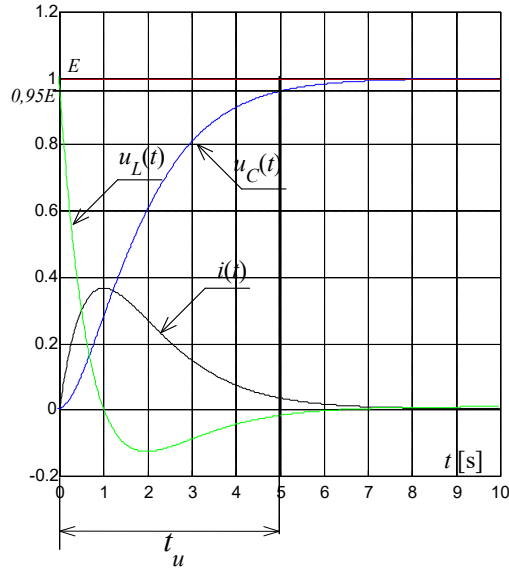
$$i(t) = \frac{E}{L} t e^{-At} \mathbf{1}(t), \quad (21)$$

$$u_C(t) = E \left(1 - e^{-At} - A t e^{-At} \right) \mathbf{1}(t), \quad (22)$$

$$u_L(t) = E (1 - At) e^{-At} \mathbf{1}(t). \quad (23)$$

Rezystancję R_{kr} nazywa się krytyczną rezystancją obwodu. Przebiegi prądu i napięć dla przypadku aperiodycznego krytycznego ($E = 1$ V, $R = 2 \Omega$, $L = 1$ H, $C = 1$ F) przedstawiono na rys.7.

W przypadkach aperiodycznych czas ustalania jest określony podobnie jak dla układów pierwszego rzędu. Przypadek krytyczny jest przypadkiem, w którym przebiegi prądu i napięć osiągają wartości ustalone w najkrótszym czasie.



Rys. 7

3. 3. Przypadek oscylacyjny

Jeśli B jest urojone, tj. $B = j\beta$, co odpowiada warunkowi

$$R < R_{kr} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (24)$$

przebiegi prądu i napięć można wyrazić wzorami:

$$i(t) = \left(\frac{E}{\beta L} e^{-At} \sin(\beta t) \right) \mathbf{1}(t), \quad (25)$$

$$u_C(t) = E \left[1 - \frac{e^{-At}}{\sin \theta} \sin(\beta t + \theta) \right] \mathbf{1}(t), \quad (26)$$

$$u_L(t) = -E \frac{e^{-At}}{\sin \theta} \sin(\beta t - \theta) \mathbf{1}(t), \quad (27)$$

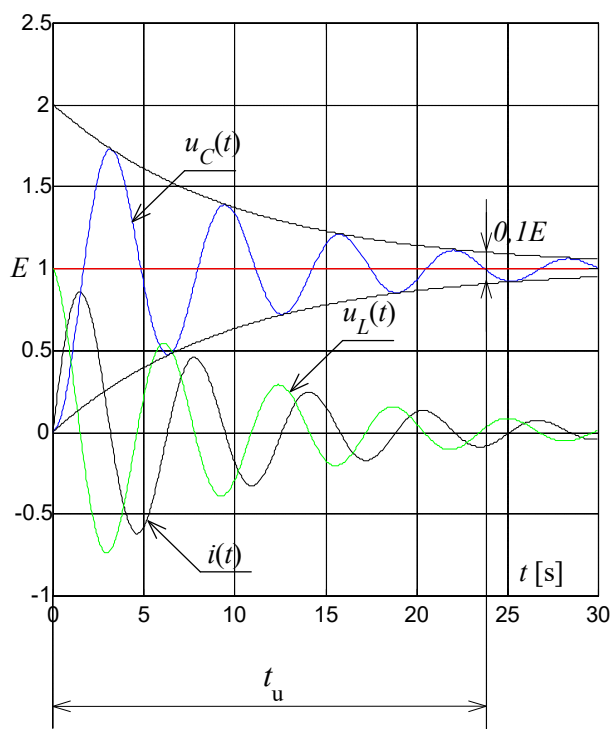
gdzie $\theta = \arctg\left(\frac{\beta}{A}\right)$.

Jak widać z powyższych wzorów, przebiegi prądu i napięć (rys. 8, $E = 1$ V, $R = 0.2$ Ω , $L = 1$ H, $C = 1$ F) mają charakter oscylacyjny tłumiony, przy czym pulsacja drgań swobodnych

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - A^2} = \sqrt{\omega_0^2 - A^2}, \quad (28)$$

gdzie $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

W przypadku oscylacyjnym czas ustalania t_u definiuje się jako czas, po upływie którego wartość obwiedni przebiegu oscylacyjnego różni się od wartości ustalonej nie więcej niż o 5%.



Rys. 8

4. Charakterystyka amplitudowa układu

Charakterystyka amplitudowa $A(f)$ jest to stosunek wartości skutecznej napięcia sygnału wyjściowego U_{wy} do wartości skutecznej napięcia sygnału wejściowego U_{we} (wzmocnienie układu) w funkcji częstotliwości f

$$A(f) = \frac{U_{wy}(f)}{U_{we}(f)}. \quad (29)$$

Dla układu stabilnego w sensie BIBO zachodzi zależność

$$H(j\omega) = H(s)|_{s=j\omega} = |H(j\omega)|e^{j\theta(\omega)} = A(2\pi f)e^{j\theta(2\pi f)},$$

gdzie $H(s)$ - funkcja transmitancji,

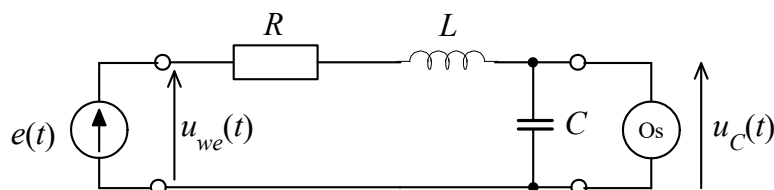
$H(j\omega)$ - charakterystyka widmowa,

$A(2\pi f) = |H(j\omega)|$ - częstotliwościowa charakterystyka amplitudowa,

$\theta(2\pi f) = \theta(\omega) = \arg\{H(j\omega)\}$ - częstotliwościowa charakterystyka fazowa.

B. Część laboratoryjna

Badany układ RLC (rys.9) wykonany jest w postaci szeregowego połączenia trzech dekad: rezystancyjnej, pojemnościowej i indukcyjnej z możliwością zestawienia układów RC , RL i RLC o różnych wartościach elementów.



Rys. 9

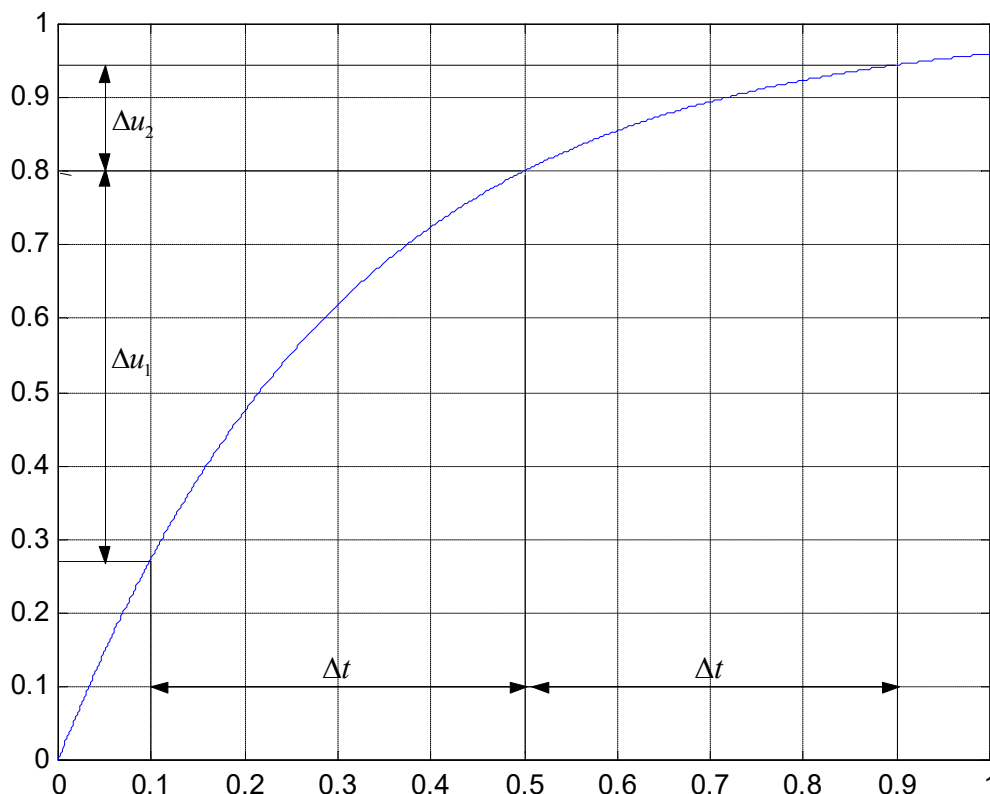
W celu umożliwienia obserwacji na oscyloskopie „Os” reakcji układu na pobudzenie skokiem jednostkowym stosuje się pobudzenie przebiegiem prostokątnym. Częstotliwość powtarzania impulsów prostokątnych należy tak dobrać, aby podczas trwania impulsu reakcja układu osiągała praktycznie wartość ustaloną. Obserwowane wówczas na ekranie oscyloskopu przebiegi napięć w czasie trwania impulsu prostokątnego można traktować jako reakcje całkowite układu na pobudzenie jednostkowe. W przypadku źle dobranej częstotliwości powtarzania impulsów w obserwowanym przebiegu nie można wyróżnić reakcji na pobudzenie jednostkowe.

Wykaz przyrządów:

- generator fali prostokątnej,
- dekada rezystancyjna, indukcyjna i pojemnościowa,
- oscyloskop,
- komputer wraz z drukarką.

1. Badanie układu pierwszego rzędu RC przy pobudzeniu $e(t) = E \cdot 1(t)$

- 1.1. Wydrukować oscylogramy napięcia $u_c(t)$ dla trzech różnych wartości rezystancji R_1, R_2, R_3 ($1\text{k}\Omega \leq R_1 < R_2 < R_3 \leq 10\text{k}\Omega$) przy wybranej wartości pojemności C z przedziału 50nF do 500nF.
- 1.2. Wydrukować oscylogramy napięcia $u_c(t)$ dla trzech różnych wartości pojemności C przy wybranej wartości R (najlepiej R_3).
- 1.3. Zaznaczyć na oscylogramach czasy ustalania t_u .
- 1.4. Zmierzyć stałe czasu τ metodą trzypunktową jak pokazano na rysunku poniżej (wykorzystując kursory na ekranie monitora).



Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli.

$R_3=$	$R_2=$	$R_1=$	$C_1=$	$C_2=$	$C_3=$	
	Δt	Δu_1	Δu_2	τ	3τ	t_u
R_3C_1						
R_3C_2						
R_3C_3						
R_2C_3						
R_1C_3						

Stałą czasową τ wyznaczyć z zależności

$$\tau = \frac{\Delta t}{\ln \left(\frac{\Delta u_1}{\Delta u_2} \right)}. \quad (30)$$

Nastawy oscyloskopu należy dobrać tak, aby $2 \leq \Delta u_1 / \Delta u_2 \leq 5$. Czas ustalania odpowiedzi t_u odczytać z wydrukowanego oscylogramu. Pojemność kondensatora wyznaczyć ze wzoru

$$C = \frac{\tau}{R_3 + R_g},$$

gdzie R_g jest rezystancją wewnętrzną generatora.

2. Badanie układu pierwszego rzędu RL przy pobudzeniu $e(t) = E \cdot l(t)$

- 2.1. Wydrukować oscylogramy napięcia $u_L(t)$ dla trzech różnych wartości rezystancji R ($0,2k\Omega \leq R_1 < R_2 < R_3 \leq 2k\Omega$) przy wybranej wartości indukcyjności L z przedziału 100mH - 1H.
- 2.2. Wydrukować oscylogramy napięcia $u_L(t)$ dla trzech różnych wartości L przy wybranej wartości R (najlepiej R_1). Dla jednej z wartości L wydrukować oscylogram napięcia $u_R(t)$.
- 2.3. Zaznaczyć na oscylogramach czasy ustalania t_u .
- 2.4. Zmierzyć stałe czasu τ metodą trzypunktową i wyniki zamieścić w tabeli (jak punkcie 1.4)
- 2.5. Obliczyć wartości indukcyjności L_1, L_2, L_3 na podstawie zmierzonych wartości τ (uwzględnić rezystancję wewnętrzną generatora R_g i ewentualnie rezystancje własne cewek R_L zmierzone omomierzem)

$$L = \tau(R_1 + R_g + R_L).$$

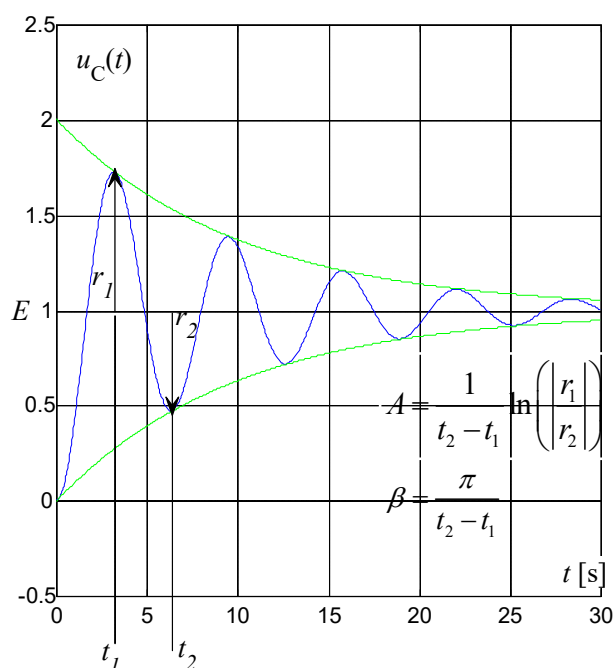
Wyniki pomiarów zamieścić w tabeli.

$R_3=$	$R_2=$	$R_1=$	$L_1=$	$L_2=$	$L_3=$	
	Δt	Δu_1	Δu_2	τ	3τ	t_u
R_3L_1						
R_3L_2						
R_3L_3						
R_2L_3						
R_1L_3						

Stałą czasową τ wyznaczyć również z zależności (3).

3. Badanie układu drugiego rzędu RLC przy pobudzeniu $e(t) = E \cdot l(t)$

- 3.1 Dla ustalonych L i C dobrać tak rezystancję R , aby uzyskać odpowiedzi o charakterze aperiodycznym, aperiodycznym krytycznym i oscylacyjnym. Dla wszystkich przypadków wydrukować oscylogramy napięć $u_C(t)$.
- 3.2 Dla indukcyjności L_2 i każdej pojemności C dobrać R tak, aby podczas zmiany C uzyskiwać zawsze przypadek oscylacyjny. Wyznaczyć z każdego z oscylogramów stałe A i β (sposób wyznaczania zilustrowano na rys. 10). Czy zależą one od wartości pojemności C ? Ten punkt ćwiczenia zrobić wówczas jak pozwala na to czas.



Rys. 10

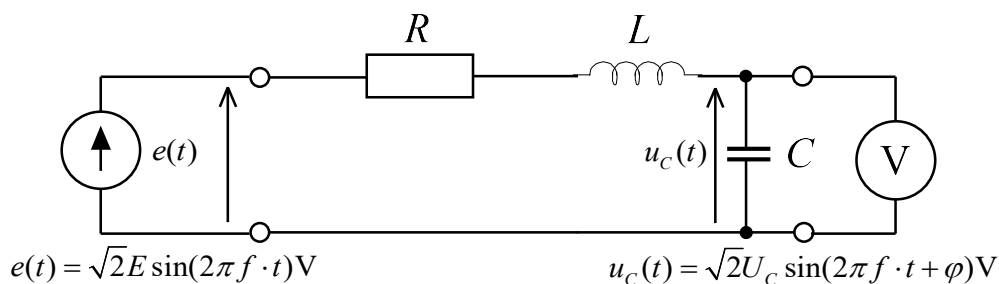
4. Pomiar charakterystyki amplitudowej obwodu RLC

Dla obwodu szeregowego RLC można zdefiniować funkcję transmitancji

$$H(s) = \frac{U_C(s)}{E(s)} = \frac{\frac{1}{sC}}{R + sL + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{s^2 LC + sRC + 1}.$$

Wyznaczanie charakterystyki amplitudowej $A(f)$ (29) badanego układu polega na pomiarze wartości skutecznych napięć U_C i E w zadanym zakresie częstotliwości f oraz obliczeniu

$$A(f) = \frac{U_C}{E} \Big|_f.$$



Rys. 11

Do wykonania wykresu można posłużyć się skrypcem napisanym w języku Matlab (m-plik - „char_amp.m” - [2]).

Uwagi dla studentów

1. W ćwiczeniu wykorzystywany jest generator fali prostokątnej jako źródło skokowo zmieniającego się napięcia. Umożliwia to obserwację powtarzających się cykli ustalania się napięć na elementach badanego obwodu. Warunkiem jest dostatecznie długi czas trwania impulsu o polaryzacji dodatniej i ujemnej, aby badane napięcie osiągnęło poziom ustalony przed zakończeniem tego impulsu.
2. Warto ustawić tak poziom sygnału z generatora, aby wykres był kreślony na możliwie jak największej powierzchni ekranu. Należy jednocześnie ustalić położenie kreślonych krzywych na ekranie względem rastra, aby punkt początkowy znajdował się na przecięciu linii poziomej i pionowej w lewym dolnym lub górnym rogu ekranu, oraz by wartość ustalona napięcia wypadła na pewnej „okrągłej” wartości, np. wynoszącej np. 2V, lub 5V. Oscyloskop powinien być przełączony na pomiar ze składową stałą (DC) oraz włączone wyzwalanie zewnętrzne (EXT).
3. Na jednym oscylogramie należy zamieścić trzy przebiegi (REFERENCE I i II oraz aktualny – musi być włączony tylko jeden kanał). Zachować te same nastawy (czas/dz i V/dz).
4. Przy badaniu układów RL i RLC warto zwrócić uwagę na to, że właściwości cewek użytych w układzie różnią się od ich idealizowanych odpowiedników - induktorów.

Pytania kontrolne

1. Narysować przebiegi napięć i prądu w szeregowym obwodzie RC (RL) pobudzonym skokiem jednostkowym $E \cdot \mathbf{1}(t)$.
2. Podać sposoby wyznaczania stałej czasu w szeregowym obwodzie RC (RL) na podstawie odpowiedzi na skok jednostkowy.
3. Dane są wartości elementów $R = 1 \Omega$, $C = 1 \text{ F}$, $L = 2 \text{ H}$. Wyznaczyć prąd $i(t)$ płynący w szeregowym obwodzie RLC w przypadku, kiedy pobudzeniem jest napięcie $u(t) = 10 \cdot \mathbf{1}(t)$.
4. W jaki sposób wpływa rezystancja wewnętrzna źródła zasilającego na przebiegi napięć i prądów w szeregowym obwodzie RC (RL).
5. W jaki sposób można rozpoznać, że w szeregowym obwodzie RLC (zestaw laboratoryjny) pobudzonym SEM $E \cdot \mathbf{1}(t)$ napięcie $u_c(t)$ ma przebieg aperiodyczny krytyczny.

6. Pokazać, że w szeregowym obwodzie RLC , w którym występują przebiegi oscylacyjne czas t_u ustalania napięcia prawie nie zależy od wartości pojemności C .

Literatura

- [1] WOLSKI W., Teoretyczne podstawy techniki analogowej, skrypt PWr., Wrocław 2007.
[2] Materiały dydaktyczne na stronie www.zto.ita.pwr.wroc.pl.

Dodatek (m-plik - „char_amp.m)

```
%Wykreśla teoretyczną charakterystykę amplitudową obwodu szeregowego RLC
% w zakresie częstotliwości od 0 do fmax i punkty tej
% charakterystyki w punktach fi, uzyskane na podstawie pomiarów
% Wywołanie: ch_amp
% oznaczenia R = Rp+Rl+Rg, Rp - rezystancja ustawiona na dekadzie, Rl - zmierzona
% za pomocą omomierza rezystancja użytej cewki, Rg - rezystancja generatora
% (wartości elementów w jednostkach podstawowych),
% fi - wektor częstotliwości pomiarowych (w Hz),
% Uwe - napięcie sem. generatora,
% Uwy - wektor wartości skutecznych napięcia wyjściowego.
close all,clear all
E=7; %Napięcie generatora bez obciążenia
R=1070;L=100e-3;C=100e-9;%Podać swoje dane
% dt – wektor poniższy, który należy zbudować podając kolejno punkty pomiarowe f, Uwy
dt=[ 20 7
    100 7.1
    200 7.12
    400 7.3
    600 7.5
    800 7.3
    1100 7.6
    1500 7.1
    2000 4.8
    3000 2.1
    4000 1.35
    5000 0.75];
H0=1/L/C;M=[1 R/L 1/L/C];
fmax=max(dt(:,1));f=linspace(0,fmax,300);
H=freqs(H0,M,2*pi*f);fi=dt(:,1);Uwy=dt(:,2);
A=Uwy/E;set(gcf,'Color',[1 1 1])
plot(f/1000,abs(H),'Color',[0 0.3 0],'LineWidth',2),grid,
title('Charakterystyka amplitudowa A(f)'),xlabel('f [kHz]'),ylabel('A(f)')
hold on
plot(fi/1000,A,'LineStyle','none','Marker','.', 'MarkerSize',10, ...
'MarkerFaceColor',[0.5 0 0],'MarkerEdgeColor',[0.5 0 0]);hold off
```