

# ĆWICZENIE 1

## JEDNOFAZOWE OBWODY RLC

Celem ćwiczenia jest poznanie zasad symulacji prostych obwodów jednofazowych składających się z elementów RLC.

### ZADANIA DO WYKONANIA

I. Zamodelować jednofazowy szeregowy układ RLC (rys.1a) o następujących parametrach:

- $u(t)$  – napięcie sinusoidalnie zmienne o częstotliwości 50 Hz i wartości skutecznej 230V,
- $R = \text{liczba liter imienia} [\Omega]$ ,
- $L = 10 * (\text{liczba liter imienia}) [\text{mH}]$ ,
- $C = 10 * (\text{liczba liter nazwiska}) / 2 [\mu\text{F}]$ .

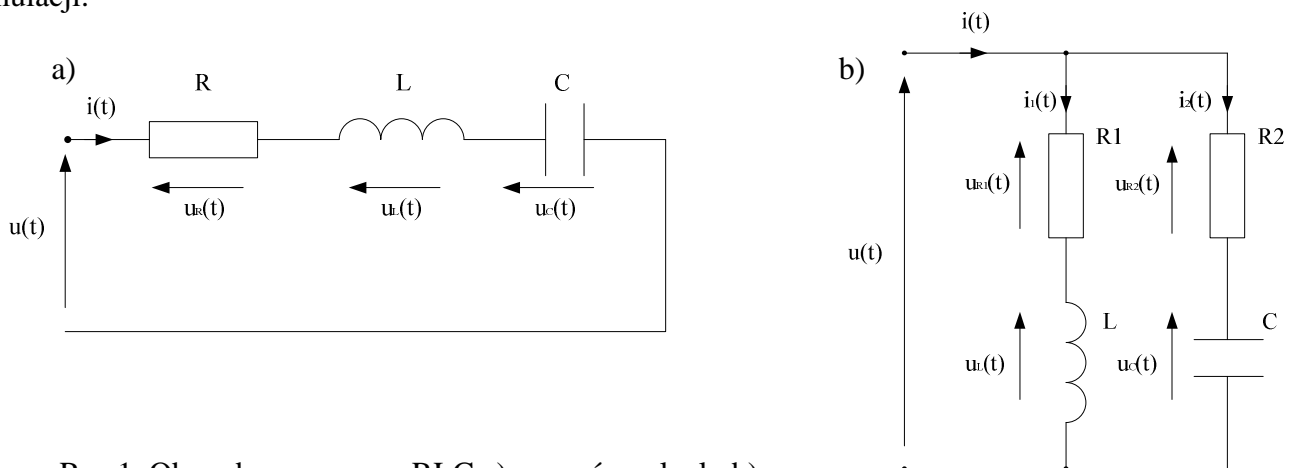
1. Wyznaczyć (analitycznie).

- a) w normalnym stanie pracy (przy częstotliwości 50 Hz),
  - $i(t)$  – prąd płynący w obwodzie,
  - $u_C(t)$  – napięcie na kondensatorze,
  - $u_L(t)$  – napięcie na cewce,
  - $u_R(t)$  – napięcie na rezystorze.

Wykreślić, wykorzystując wyznaczone wcześniej zależności, na jednym wykresie przebiegi spadków napięć na poszczególnych elementach (pamiętając o odpowiednich przesunięciach fazowych) – tego celu należy użyć programu Matlab. Następnie za pomocą programu PLOT XY lub Matlab przedstawić przebiegi uzyskane w wyniku symulacji. Porównać wyniki obliczeń analitycznych i przeprowadzonych symulacji.

- b) w stanie rezonansu,
  - $f_r$  – częstotliwość rezonansową,
  - $i(t)$  – prąd płynący w obwodzie,
  - $u_C(t)$  – napięcie na kondensatorze,
  - $u_L(t)$  – napięcie na cewce,
  - $u_R(t)$  – napięcie na rezystorze,

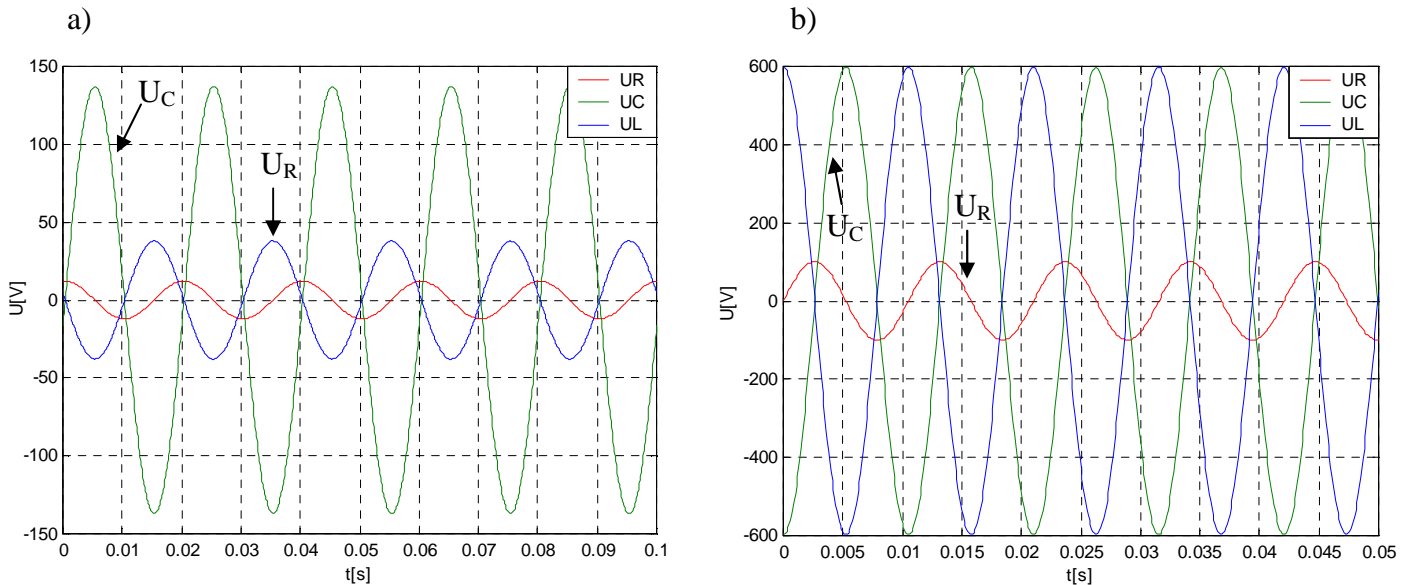
Wykreślić, wykorzystując wyznaczone wcześniej zależności, na jednym wykresie przebiegi spadków napięć na poszczególnych elementach (pamiętając o odpowiednich przesunięciach fazowych) – do tego celu należy użyć programu Matlab. Następnie za pomocą programu PLOT XY lub Matlab przedstawić przebiegi uzyskane w wyniku symulacji. Porównać wyniki obliczeń analitycznych i przeprowadzonych symulacji.



Rys.1. Obwody szeregowy RLC a) oraz równoległy b).

2. Przykład dla następujących parametrów:

$$u(t) = 100\sin(\omega t), \quad R = 8 \, \Omega, \quad L = 80 \, \text{mH}, \quad C = 35 \, \mu\text{F}, \quad f_r = 95,1 \, \text{Hz}.$$



Rys.2. Napięcia na elementach analizowanego szeregowego obwodu RLC przy częstotliwości 50 Hz a) oraz przy częstotliwości rezonansowej 95,1 Hz b).

II. Zamodelować jednofazowy równoległy układ RLC (rys.1b) o następujących parametrach:

- $u(t)$  – napięcie sinusoidalnie zmienne o częstotliwości 50 Hz i wartości skutecznej 230V,
- $R1 = \text{liczba liter imienia} \, [\Omega]$ ,
- $R2 = (\text{liczba liter nazwiska})/2 \, [\Omega]$ ,
- $L = 10 * (\text{liczba liter imienia}) \, [\text{mH}]$ ,
- $C = 10 * (\text{liczba liter nazwiska})/2 \, [\mu\text{F}]$ .

1. Wyznaczyć (analitycznie).

- a) w normalnym stanie pracy (przy częstotliwości 50 Hz),
- $i(t)$  – prąd płynący w obwodzie,
  - $u_C(t)$  – napięcie na kondensatorze,
  - $u_L(t)$  – napięcie na cewce,
  - $u_{R1}(t)$  – napięcie na rezystorze R1,
  - $u_{R2}(t)$  – napięcie na rezystorze R2.

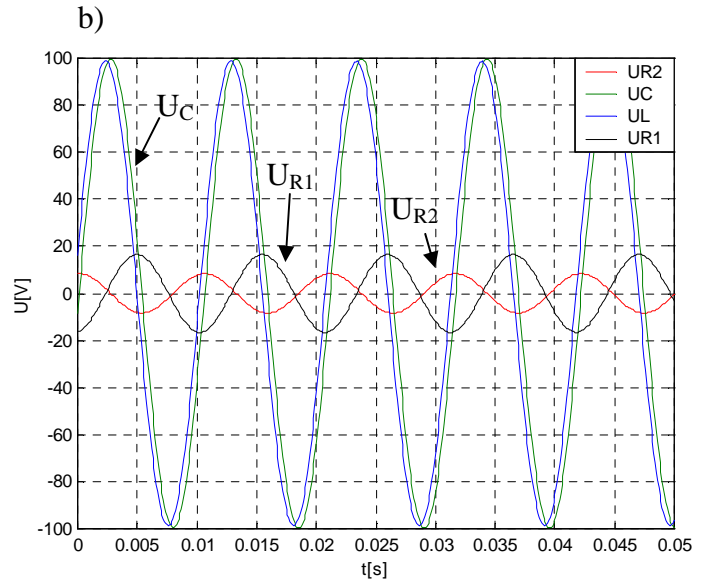
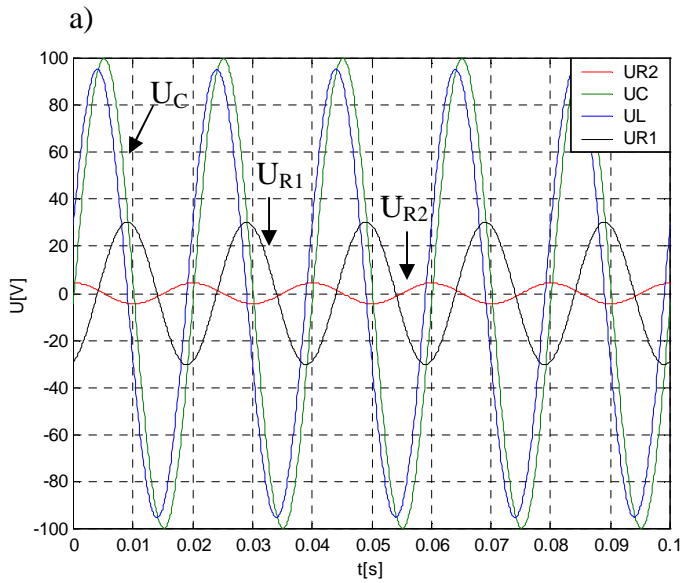
Wykreślić, wykorzystując wyznaczone wcześniej zależności, prądy gałęziowe na jednym wykresie oraz na jednym wykresie przebiegi spadków napięć na poszczególnych elementach (pamiętając o odpowiednich przesunięciach fazowych) – do tego celu należy użyć programu Matlab. Następnie za pomocą programu PLOT XY lub Matlab przedstawić przebiegi uzyskane w wyniku symulacji. Porównać wyniki obliczeń analitycznych i przeprowadzonych symulacji.

- b) w stanie rezonansu,
- $f_r$  – częstotliwość rezonansową,
  - $i(t)$  – prąd płynący w obwodzie,
  - $u_C(t)$  – napięcie na kondensatorze,
  - $u_L(t)$  – napięcie na cewce,
  - $u_{R1}(t)$  – napięcie na rezystorze R1,
  - $u_{R2}(t)$  – napięcie na rezystorze R2.

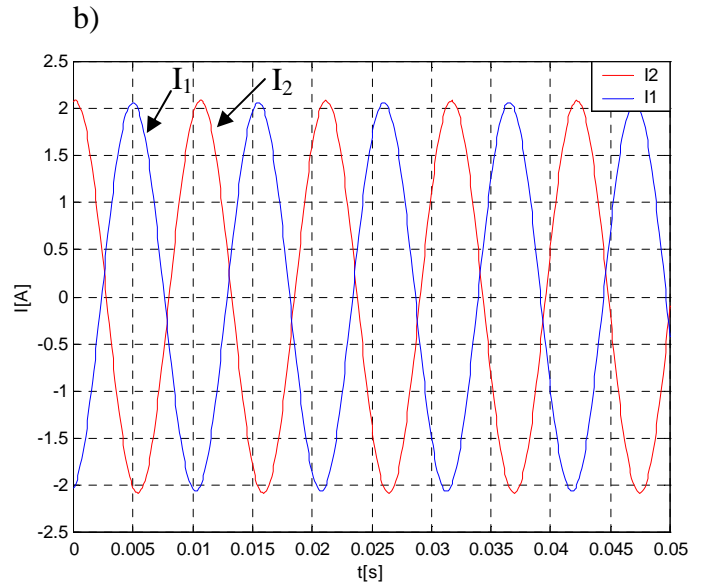
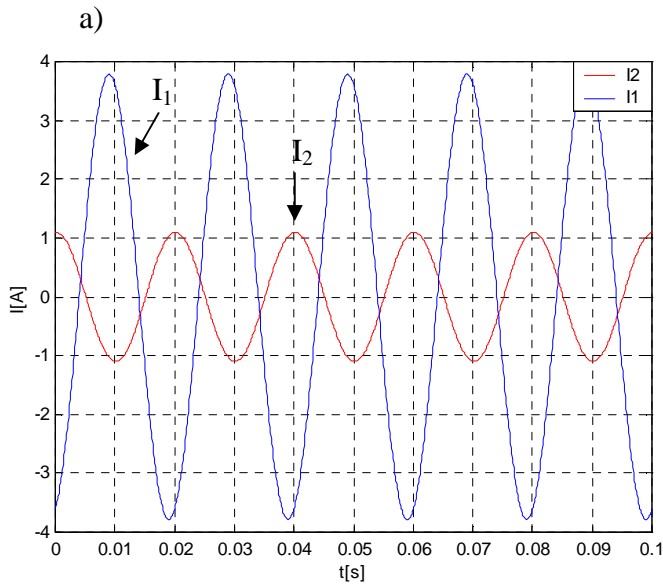
Wykreślić, wykorzystując wyznaczone wcześniej zależności, prądy gałęziowe na jednym wykresie oraz na jednym wykresie przebiegi spadków napięć na poszczególnych elementach (pamiętając o odpowiednich przesunięciach fazowych) – do tego celu należy użyć programu Matlab. Następnie za pomocą programu PLOT XY lub Matlab przedstawić przebiegi uzyskane w wyniku symulacji. Porównać wyniki obliczeń analitycznych i przeprowadzonych symulacji.

2. Przykład dla następujących parametrów:

$$u(t) = 100\sin(\omega t), \quad R1 = 8 \Omega, \quad R2 = 4 \Omega, \quad L = 80 \text{ mH}, \quad C = 35 \mu\text{F}, \quad f_r = 95,1 \text{ Hz}.$$



Rys.4. Napięcia na elementach analizowanego równoległego obwodu RLC przy częstotliwości 50 Hz a) oraz przy częstotliwości rezonansowej 95,1 Hz b).



Rys.5. Prądy gałęziowe analizowanego równoległego obwodu RLC przy częstotliwości 50 Hz a) oraz przy częstotliwości rezonansowej 95,1 Hz b).

## ĆWICZENIE 2

### PROSTOWNIK DWUPOŁÓWKOWY

Celem ćwiczenia jest poznanie zasad symulacji złożonych obwodów jednofazowych zawierających elementy nieliniowe.

#### ZADANIA DO WYKONANIA

I. Zamodelować dwupołkowy prostownik oparty na mostku Graetz'a (rys.1) o parametrach:

- $u(t)$  – napięcie sinusoidalnie zmienne o częstotliwości 50 Hz i wartości skutecznej 50V,
- $R_{d1} = 1 \Omega$ ,
- $R_l = 0.01 \Omega$ ,
- należy przyjąć że diody mają charakterystykę idealną.

1. Zadania do wykonania

a) dobrać krok próbkowania oraz czas symulacji – uzasadnić wybór,

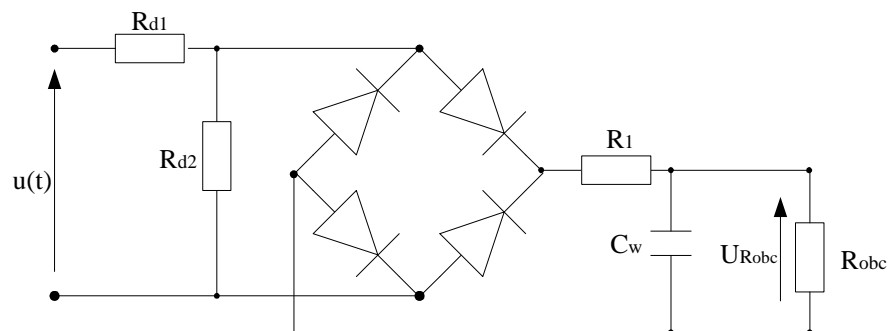
b) dobrać rezystancje  $R_{d2}$  i  $R_{obc}$  tak aby  $U_{Robc} = (\text{liczba liter imienia i nazwiska})$  [V] oraz aby prąd pobierany przez obciążenie  $I_{Robc} = 0.1A$ . Zbadać właściwości takiego układu przedstawiając przebieg napięcia zasilania, przebiegi napięcia i prądu na odbiorniku oraz prądy płynące przez diody.

c) dobrać filtr kondensatorowy ( $C_w$ ) tak aby  $\Delta u < (\text{liczba liter imienia} + 6)/10$  %, gdzie  $\Delta u$  jest międzyszczytowym napięciem tętnień,

Dobierając  $C_w$  przeanalizować proces wyładowanie kondensatora przez rezystor w obwodzie bez źródła napięcia i na tej podstawie wyprowadzić zależność na  $C_w$ . W obliczeniach przyjąć, że czas przewodzenia diody można pominąć oraz, że kondensator ładuje się do pełnego napięcia  $U_{Robc}$ .

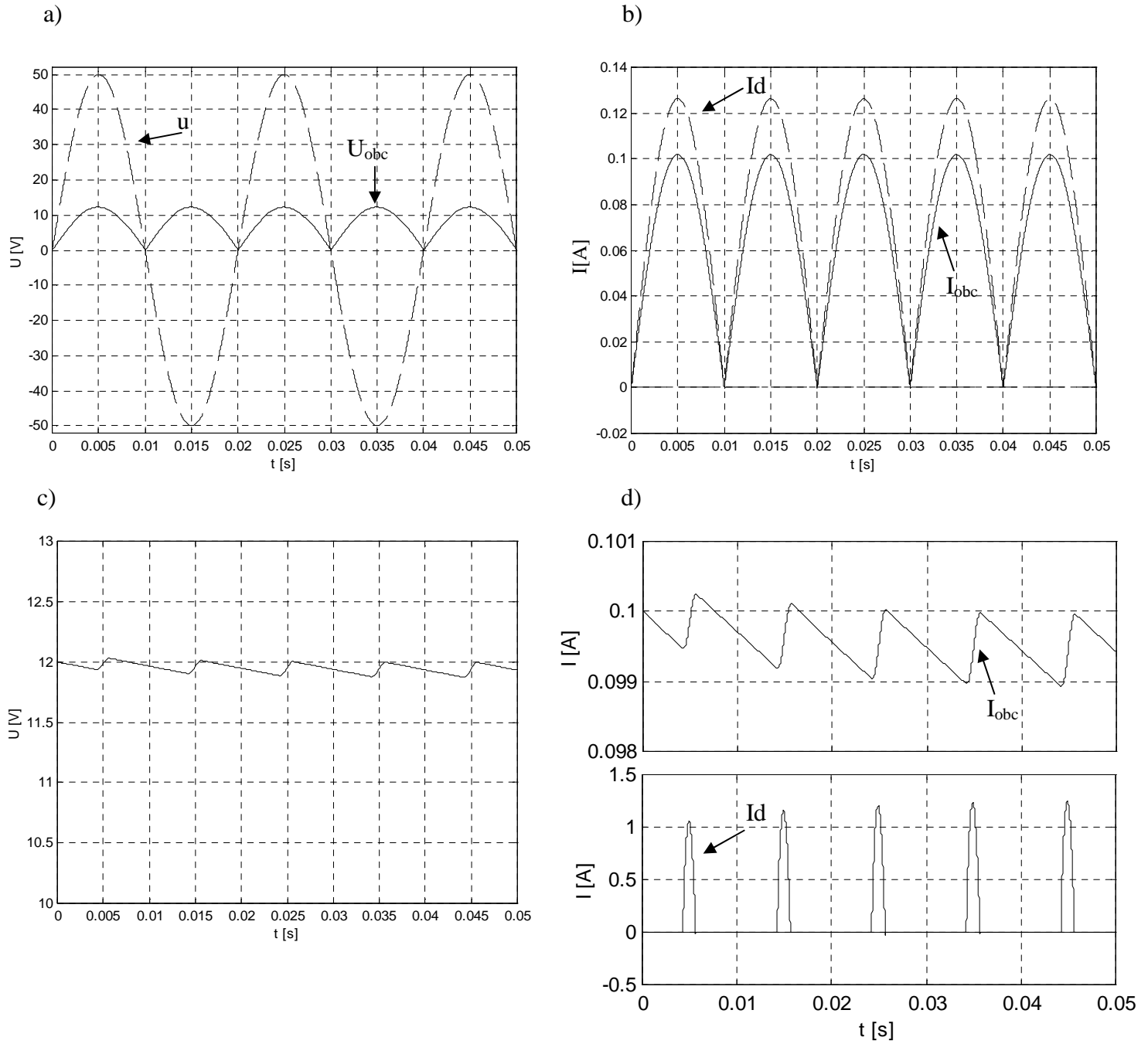
Wyniki obliczeń analitycznych przedstawić w formie graficznej wykorzystując program EMTP.

Po dobraniu kondensatora wygładzającego przeprowadzić podobną analizę jak w punkcie b).



Rys.1. Schemat badanego układu.

2. Przykład dla  $U_{Robc} = 12\text{ V}$ :



Rys.2. Działanie badanego prostownika:

- a) napięcia w układzie bez kondensatora wygładzającego,
- b) prądy w układzie bez kondensatora wygładzającego,
- c) napięcie w układzie z kondensatorem wygładzającym,
- d) prądy w układzie z kondensatorem wygładzającym.

## ĆWICZENIE 3

### STANY NIEUSTALONE W OBWODZIE RLC –dobór parametrów symulacji

Celem ćwiczenia jest określenie wartości wielkości charakteryzujących stan przejściowy w układzie RLC oraz zbadanie wpływu przyjętych parametrów symulacji na uzyskiwane wyniki.

#### ZADANIA DO WYKONANIA

I. Zamodelować jednofazowy układ RLC (rys.1) o następujących parametrach:

- $E = 10 \cdot (\text{liczba liter imienia i nazwiska}) \text{ V}$ ,
- $R1 = \text{liczba liter nazwiska} [\Omega]$ ,
- $R2 = (\text{liczba liter imienia})/10 [\Omega]$ ,
- $L = 10 \cdot (\text{liczba liter imienia}) [\text{mH}]$ ,
- $C = \text{liczba liter nazwiska} [\mu\text{F}]$ ,
- wyłącznik zamykany jest w chwili  $t_0 = 0$ ,
- warunki początkowe:  $i_L(0) = 0$ ,  $u_C(0) = 0$ .

1. Wyznaczyć analitycznie:

- przebieg prądu  $i_x(t)$  po załączeniu badanego układu na zadane napięcie (stwierdzić jaki charakter będzie miał ten przebieg) – x jest wartością podaną przez prowadzącego,
- częstotliwość drgań własnych układu,
- stałą czasową stanu przejściowego,

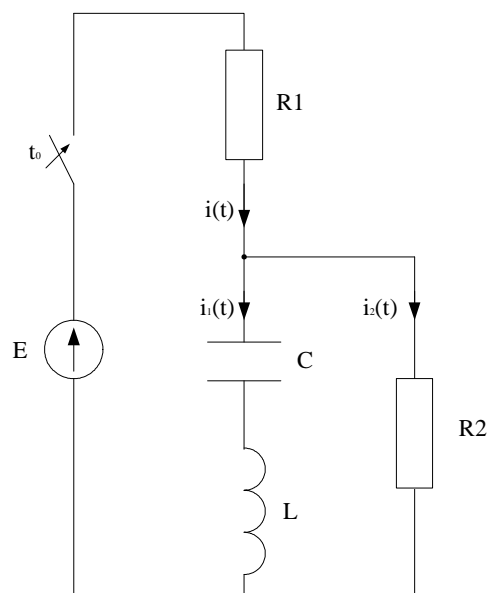
2. Dobrać i uzasadnić wybór:

- czas trwania symulacji,
- krok całkowania,
- częstotliwość próbkowania.

3. Przedstawić za pomocą programu PLOT XY wykresy spadków napięć i prądów wybranych przez prowadzącego.

4. Wykreślić w Matlab'ie przebieg prądu  $i_x(t)$  wyznaczony analitycznie, a następnie wprowadzić do Matlab'a przebiegi wygenerowane przez program ATP-EMTP i przedstawić na wykresie tę samą wielkość. Porównać otrzymane wyniki zaznaczając na wykresach okres sygnału oraz stałą czasową.

5. Z badać wpływ zmian kroku całkowania na uzyskiwane wyniki oraz ocenić w jaki sposób wpływa dobór częstotliwości próbkowania na użyteczność sygnału w dalszej obróbce.



Rys.1. Schemat badanego układu

## ĆWICZENIE 4

### JEDNOFAZOWE OBWODY RLC Z WARYSTOREM

Celem ćwiczenia jest symulacja prostych obwodów jednofazowych z warystorem.

#### ZADANIA DO WYKONANIA

I. Zamodelować jednofazowy układ przedstawiony na rys.1, gdzie:

- $E = 10 \cdot (\text{liczba liter imienia i nazwiska}) \text{ V}$ ,
- $R_{obc} = \text{liczba liter nazwiska} [\Omega]$ ,
- $L_{obc} = 10 \cdot (\text{liczba liter imienia}) \text{ [mH]}$ ,

1. Dobrać:

- napięcie odniesienia warystora  $U_{ref}$ ,
- charakterystyką warystora  $i_w = f(u)$ , jeśli:

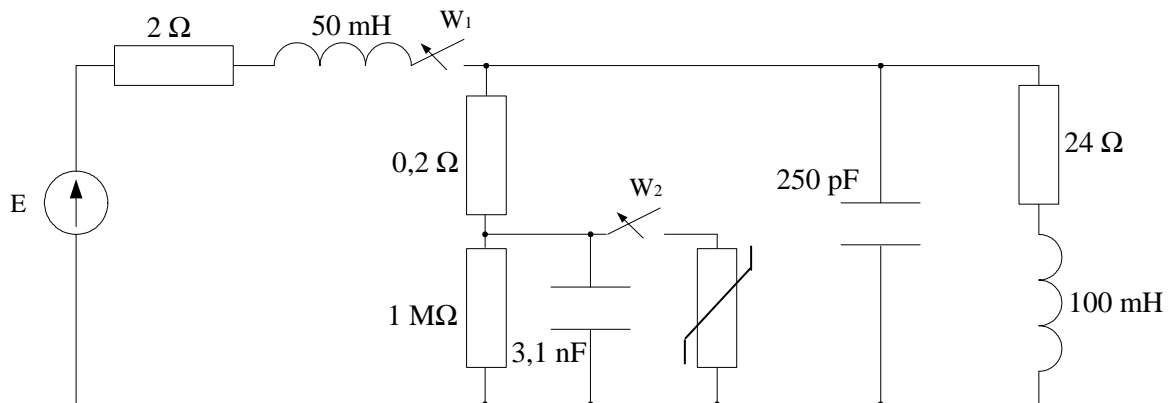
$$i_w = k(u/U_{ref})^\alpha; \quad \text{gdzie: } k = 1 \text{ mA}; \alpha = 50.$$

2. Z badać przebieg napięcia na odbiorniku po otwarciu wyłącznika  $W_1$  gdy:

- a) wyłącznik  $W_2$  jest otwarty przez cały czas trwania symulacji,
- b) wyłącznik  $W_2$  jest zamknięty przez cały czas trwania symulacji,

3. Z badać przebieg napięcia na odbiorniku (wyłącznik  $W_1$  zamknięty jest przez cały czas trwania symulacji) gdy w obwodzie wystąpi przepięcie zewnętrzne o amplitudzie 100 większej od napięcia znamionowego i stromości narostu czoła fali równej  $100 \cdot E \text{ V/ms}$ .

- a) wyłącznik  $W_2$  jest otwarty przez cały czas trwania symulacji,
- b) wyłącznik  $W_2$  jest zamknięty przez cały czas trwania symulacji,



Rys.1. Schemat badanego układu

## ĆWICZENIE 5

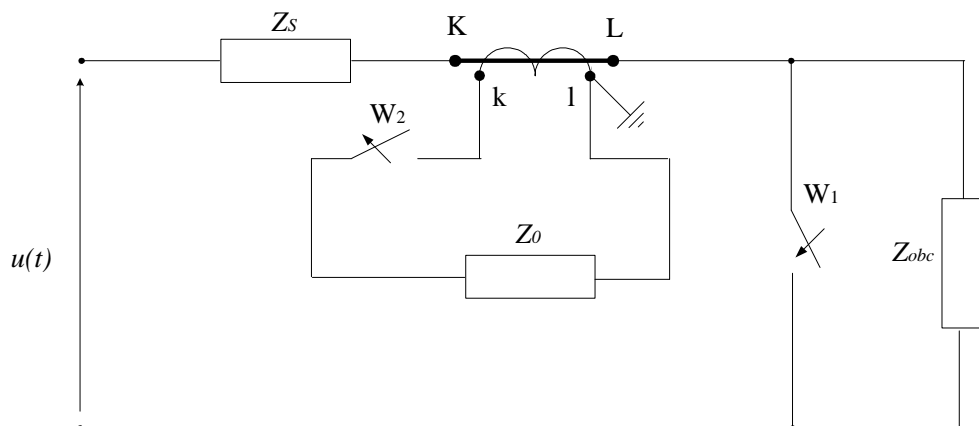
### PRZEKŁADNIK PRĄDOWY

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami modelowania układów nieliniowych zawierających elektroenergetyczne przekładniki prądowe o nieliniowej charakterystyce magnesowania.

#### ZADANIA DO WYKONANIA

1. Zamodelować układ przedstawiony na rys.1, gdzie:

- $u(t)$  - napięcie sinusoidalnie zmienne o częstotliwości 50 Hz i wartości skutecznej  $20/\sqrt{3}$ ,  $110/\sqrt{3}$  lub  $220/\sqrt{3}$  kV;
- $R_S/X_S = 0,012$ ;
- $\cos\varphi_0 = \cos\varphi_{obc} = 1 - (\text{liczba liter imienia i nazwiska})/200$ ;
- modelując przekładnik należy przyjąć, że:
  - 1<sup>0</sup> Reaktancja i rezystancja obwodu strony pierwotnej są bardzo małe, na poziomie  $\mu\Omega$ ,
  - 2<sup>0</sup> Reaktancja obwodu strony wtórnej można całkowicie pominąć,
  - 3<sup>0</sup> Rezystancja obwodu strony wtórnej wynosi  $0,0024 \Omega/\text{zwój}$ ,
  - 4<sup>0</sup> Przedstawione na rysunku 2 charakterystyki magnesowania odnoszą się do strony wtórnej przekładnika (Uwaga: w ATPDRAW model przekładnika ma charakterystykę magnesowania po stronie pierwotnej „P”),
  - 5<sup>0</sup> Napięcie w punkcie kolanowym charakterystyki magnesowania wynosi  $1,785\text{V}/\text{zwój}$ ,
  - 6<sup>0</sup> Przekładnię przekładnika ( $I_1/5$ ) podaje prowadzący laboratorium,
  - 7<sup>0</sup> Moc znamionowa przekładnika wynosi 50VA.

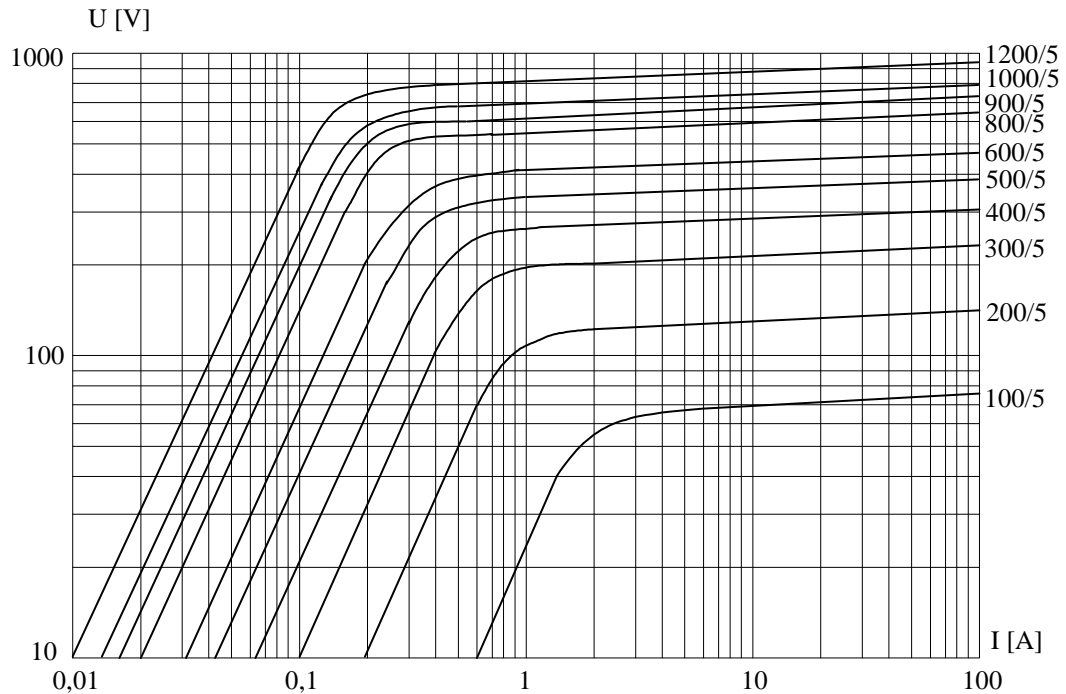


Rys.1. Schemat badanego układu

2. Wyznaczyć na podstawie rysunku 2 charakterystykę magnesowania modelowanego przekładnika (określić współrzędne 10 punktów).
3. Dobrać:
  - impedancję  $Z_s$ , tak aby prąd w obwodzie z zamkniętym wyłącznikiem  $W_1$  wynosił  $10 \cdot I_1$ ,
  - impedancję  $Z_{obc}$ , tak aby prąd w obwodzie z otwartym wyłącznikiem  $W_1$  wynosił  $0,8 \cdot I_1$ ,
  - impedancję  $Z_0$ , tak aby przekładnik obciążony był mocą znamionową.
4. Z badać przebiegi prądów pierwotnego i wtórny dla czterech różnych czasów załączenia wyłącznika  $W_1$ , czasy załączenia należy dobrać w taki sposób aby w momencie załączenia napięcie zasilania miało odpowiednio kąt  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ . Dla wszystkich przypadków wyznaczyć przebieg wartości chwilowego błędu pomiaru prądu w funkcji czasu  $\delta = f(t)$ , jeśli  $\delta = 100 \cdot (n \cdot I_2 - I_1) / I_1 \%$ .



5. Dla wybranego kąta załączenia wyłącznika  $W_1$  zbadać wpływ obciążenia przekładnika prądowego na przebieg prądu strony wtórnej. Obciążenie zmieniać w zakresie  $0,7 \cdot Z_0$  do  $5 \cdot Z_0$ .
6. Przeanalizować przebieg napięcia na zaciskach strony wtórnej przekładnika po otwarciu wyłącznika  $W_2$ .
7. Przeanalizować jak wpływa charakter obciążenia przekładnika na kształt przebiegu prądu strony wtórnej podczas nasycenia przekładnika. Rozpatrzeć zmiany  $\cos \varphi$  w zakresie  $0,8 \div 1$ .



Rys.2. Charakterystyki magnesowania przekładników prądowych.

## ĆWICZENIE 6

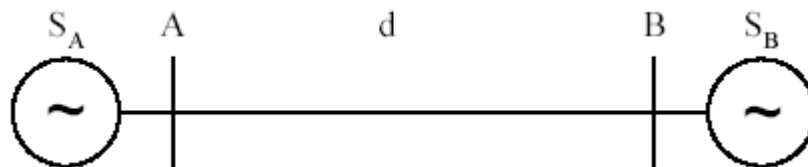
### PRZEKŁADNIK PRĄDOWY

Celem ćwiczenia jest poznanie zasad symulacji układów 3-fazowych składających się z elementów systemu elektroenergetycznego tj. linia przesyłowa 400kV zasilana dwustronnie oraz, opracowanie w bloku MODELS układu pomiarowego składowych symetrycznych (012).

#### ZADANIA DO WYKONANIA

Opracować model fragmentu systemu przesyłowego 400 kV, linia (model Clarke) o parametrach rozłożonych.

1. Zbudować model linii zasilanej z dwóch symetrycznych źródeł 3 fazowych (typ AC 3ph)
2. Na podstawie parametrów jednostkowych obliczyć parametry linii o długość  $l=185$  km, zwarcia modelować w odległości 100 km od stacji A.
3. Przeprowadzić analizę pracy linii dla zwarć: **jednofazowego, dwufazowego AB.**
4. Opracować model do pomiaru składowych symetrycznych systemu trójfazowego w postaci bloku MODELS. Wykorzystać go do pomiaru składowych symetrycznych napięcia w miejscu zwarcia oraz prądu zwarciovego, a także napięcia i prądu w stacji B.
5. Narysować wykresy wskazowe wspomnianych napięć i prądów składowych symetrycznych (012) dla czasów  $t_1=0.05s$  oraz  $t_2=0.16s$ .



Rysunek 1 Schemat modelu systemu elektroenergetycznego

Rezystancja zwarcia  $R_f=5\Omega$ .

Parametry systemów:  $Z_{0SA}=2,3+j 26,4\Omega$ ,  $Z_{1SA}=1,3+j15,0\Omega$ ,  $\underline{E}_{SA}= 415e^{j20}$  kV oraz  $Z_{0SB}=2,65+j 32,8\Omega$ ,  $Z_{1SB}=1,81+j20,5 \Omega$ ,  $\underline{E}_{SB} =415e^{-j30}$  kV.

Parametry jednostkowe linii:  $r_1'=0.0276 \Omega/\text{km}$ ,  $r_0'=0.275 \Omega/\text{km}$ ,  $l_1'=1.0031 \text{ mH}/\text{km}$ ,  $l_0'=3.2675\text{mH}/\text{km}$ ,  $c_1'=0.013 \mu\text{F}/\text{km}$ ,  $c_0'=0.0085 \mu\text{F}/\text{km}$ .

Przyjąć częstotliwość próbkowania  $f_s= 1,0$  kHz, czas symulacji dobrać do charakteru obserwowanego zjawiska.