

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
Instytut Radioelektroniki  
Zakład Radiokomunikacji

WIECZOROWE STUDIA ZAWODOWE

LABORATORIUM OBWODÓW I SYGNAŁÓW

Ćwiczenie 2

Temat: **OBWODY PRĄDU SINUSOIDALNIE ZMIENNEGO**

Opracował: mgr inż. Henryk Chaciński

Warszawa 2000

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości oporu dla prądu sinusoidalnie zmiennego. Poznanie właściwości indukcyjności oraz poznanie właściwości pojemności dla prądu sinusoidalnie zmiennego. Poznanie właściwości połączeń szeregowych i równoległych tych elementów.

## 2. Wymagane wiadomości

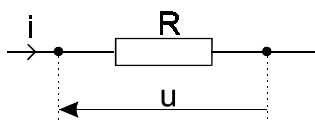
Znajomości wykresu wskazowego napięcia i prądu oporu, indukcyjności i pojemności. Przebieg modułu i kąta fazowego impedancji elementów połączonych szeregowo i połączonych równolegle. Wykresy wskazowe dla połączeń szeregowych i równoległych tych elementów.

## 3. Podstawy teoretyczne

**Opornik idealny.** Wartości chwilowe napięcia  $u$  i prądu  $i$  opornika idealnego o rezystancji  $R$  związane są zależnością

$$u = i R$$

Na rys. 3.1 przedstawiono schemat opornika idealnego.



Rys. 3.1. Schemat opornika idealnego

Niech  $i = I \sin(\omega t + \varphi_i)$  i  $u = U \sin(\omega t + \varphi_u)$  wówczas możemy powyższą zależność napisać dla napięć zespolonych

$$\mathbf{U} = \mathbf{I} R$$

Przedstawiając wartości zespolone napięcia  $\mathbf{U}$  i prądu  $\mathbf{I}$  w postaci wykładniczej otrzymujemy

$$U e^{j\varphi_u} = R I e^{j\varphi_i}$$

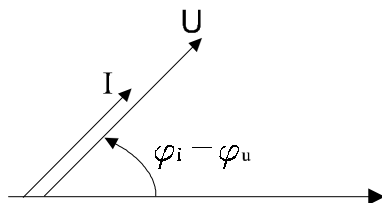
Powyższa równość jest prawdziwa jeśli lewa i prawa strona równania są sobie równe, tzn. równe są sobie moduły i argumenty. Porównując moduły otrzymujemy

$$U = R I$$

natomiast porównując argumenty otrzymujemy

$$\varphi_u = \varphi_i$$

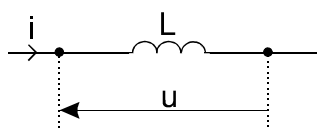
Na rys. 3.2 przedstawiono wykres wskazowy napięcia i prądu dla opornika idealnego



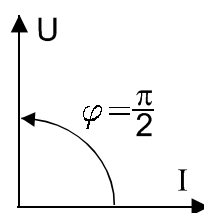
Rys. 3.2. Wykres wskazowy napięcia i prądu opornika idealnego

**Cewka idealna.** Na rys. 3.3a przedstawiono schemat cewki idealnej.

a)



b)



Rys. 3.3. Cewka idealna

a) schemat cewki idealnej,

b) wykres wskazowy.

Napięcie na zaciskach cewki idealnej wyraża się wzorem

$$u = L \frac{di}{dt}$$

Można również powyższą zależność zapisać dla napięć i prądów zespolonych

$$U = L \frac{dI}{dt}$$

Przedstawiając wartości zespolone w postaci wykładniczej

$$U e^{j(\omega t + \varphi_u)} = L \frac{d I e^{j(\omega t + \varphi_i)}}{dt}$$

Obliczając pochodną i dzieląc obie strony równania przez  $e^{j\omega t}$  otrzymujemy

$$U e^{j\varphi_u} = j\omega L I e^{j\varphi_i}$$

Podstawiając

$$j = e^{j\frac{\pi}{2}}$$

otrzymujemy

$$U e^{j\varphi_u} = \omega L I e^{j(\varphi_i + \frac{\pi}{2})}$$

Porównując moduły otrzymujemy

$$U = \omega L I$$

natomiast porównując argumenty otrzymujemy

$$\varphi_u = \varphi_i + \frac{\pi}{2}$$

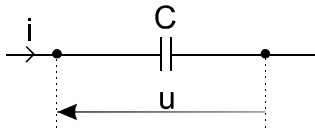
czyli różnica faz pomiędzy napięciem a prądem w idealnej cewce równa się

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = \frac{\pi}{2}$$

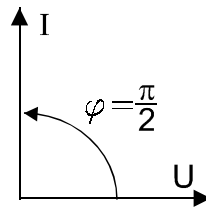
Z porównania argumentów wynika, że prąd jest opóźniony o  $90^\circ$  w odniesieniu do napięcia na cewce. Wykres wskazowy napięcia i prądu w cewce idealnej przedstawiono na rys. 3.3b.

**Kondensator idealny.** Na rys. 3.4a przedstawiono schemat kondensatora idealnego.

a)



b)



Rys. 3.4. Kondensator idealny

a) schemat kondensatora idealnego,

b) wykres wskazowy.

Prąd płynący przez kondensator idealny wyraża się wzorem

$$i = C \frac{du}{dt}$$

Wyrażenie powyższe możemy również zapisać dla napięć i prądów zespolonych

$$\mathbf{I} = C \frac{d\mathbf{U}}{dt}$$

Przedstawiając wartości zespolone w postaci wykładniczej

$$\mathbf{I} e^{j(\omega t + \varphi_i)} = C \frac{d \mathbf{U} e^{j(\omega t + \varphi_u)}}{dt}$$

Obliczając pochodną i dzieląc obie strony równania przez  $e^{j\omega t}$  otrzymujemy

$$\mathbf{I} e^{j\varphi_i} = j\omega C \mathbf{U} e^{j\varphi_u}$$

Podstawiając

$$j = e^{j\frac{\pi}{2}}$$

otrzymujemy

$$\mathbf{I} e^{j\varphi_i} = \omega C \mathbf{U} e^{j(\varphi_u + \frac{\pi}{2})}$$

Porównując moduły otrzymujemy

$$I = \omega C U$$

natomiast porównując argumenty otrzymujemy

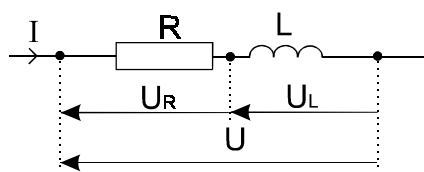
$$\varphi_i = \varphi_u + \frac{\pi}{2}$$

czyli różnica faz pomiędzy napięciem a prądem w idealnej cewce równa się

$$\varphi = \varphi_i - \varphi_u = \frac{\pi}{2}$$

Z porównania argumentów wynika, że napięcie na idealnym kondensatorze jest opóźnione o  $90^\circ$  w odniesieniu do prądu płynącego przez ten kondensator. Wykres wskazowy napięcia i prądu dla idealnego kondensatora przedstawiono na rys. 3.4b.

**Dwójnik RL.** Na rys. 3.5 przedstawiono dwójnik złożony z rezystora R połączonego szeregowo z indukcyjnością L.



Rys. 3.5. Schemat dwójnika RL połączonego szeregowo

Analiza obwodu dla prądu sinusoidalnie zmiennego staje się znacznie prostsza jeśli do niej zastosujemy rachunek liczb zespolonych. Impedancję zespoloną obwodu szeregowego możemy przedstawić w postaci

$$Z = R + jX$$

gdzie:  $Z$  – impedancja zespolona,  
 $R$  – rezystancja (wartość rzeczywista),  
 $X$  – reaktancja (wartość urojona)

Moduł impedancji wyraża się wzorem

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

natomiast argument impedancji równy kątowi  $\varphi$  przesunięcia fazowego można obliczyć ze wzoru

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}$$

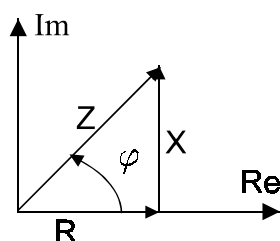
Dla dwójnika przedstawionego na rys. 3.5 impedancja zespolona wyraża się wzorem

$$Z = R + j\omega L$$

gdzie:  $\omega$  – pulsacja  
 $\omega = 2\pi f$

gdzie:  $f$  – częstotliwość prądu (napięcia) płynącego przez dwójnik

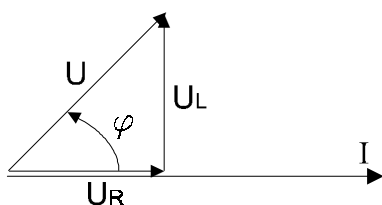
Na rys. 3.6 przedstawiono wykres wskazowy impedancji zespolonej na płaszczyźnie zmiennej zespolonej dwójnika z rys. 3.5.



Rys. 3.6. Wykres wskazowy impedancji zespolonej dwójnika RL

gdzie:  $Im$  – oś wartości urojonych,  
 $Re$  – oś wartości rzeczywistych.

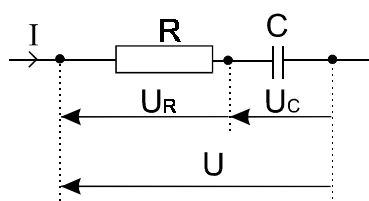
Na rys. 3.7 przedstawiono wykres wskazowy napięć i prądu dwójnika o połączeniu szeregowym elementów RL.



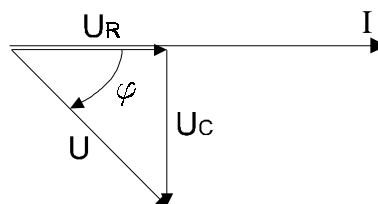
Rys. 3.7. Wykres wskazowy napięć i prądu dwójnika RL

**Szeregowe połączenie elementów RC.** Na rys. 3.8a przedstawiono dwójnik złożony z rezystora R połączonego szeregowo z kondensatorem C.

a)



b)



Rys. 3.8. Połączenie szeregowe elementów RC

a) schemat ideowy,

b) wykres wskazowy napięć i prądu.

Na rys. 3.8b przedstawiono wykres wskazowy napięć i prądu dwójnika RC zamieszczonego na rys. 3.8a. Impedancję zespoloną dwójnika RC zamieszczonego na rys. 3.8a można opisać wzorem

$$Z = R - j \frac{1}{\omega C}$$

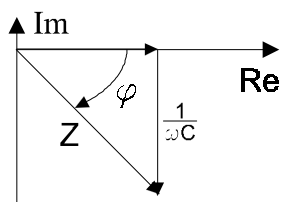
natomiast moduł impedancji wyraża się wzorem

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}$$

Argument impedancji zespolonej jest równy kątowi  $\varphi$  przesunięcia fazowego i można obliczyć ze wzoru

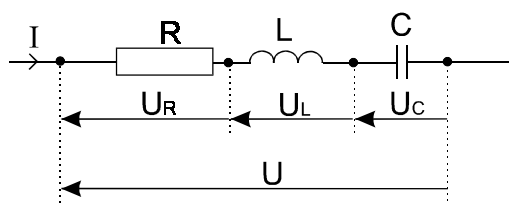
$$\varphi = \arctg \frac{1}{\omega RC}$$

Na rys. 3.9. przedstawiono wykres wskazowy impedancji zespolonej na płaszczyźnie zmiennej zespolonej.



Rys. 3.9. Wykres wskazowe impedancji zespolonej dwójnika RC

**Szeregowe połączenie elementów RLC.** Na rys. 3.10 przedstawiono dwójnik złożony z szeregowo połączonych elementów RLC.



Rys. 3.10. Połączenie szeregowe elementów RLC

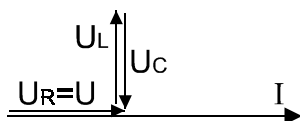
Impedancja zespolona dwójnika przedstawionego na rys. 3.10 wyraża się wzorem

$$Z = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

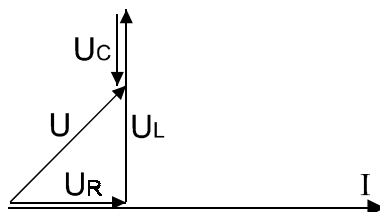
Impedancja dwójnika przedstawionego na rys. 3.10 może mieć charakter:

- a) rzeczywisty, jeśli  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$       b) indukcyjny, jeśli  $\omega L > \frac{1}{\omega C}$
- c) pojemnościowy, jeśli  $\omega L < \frac{1}{\omega C}$

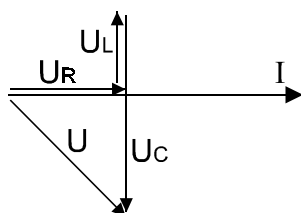
a)



b)



c)



Rys. 3.11. Wykres wskazowe napięć dla dwójnika RLC zamieszczonego na rys. 3.10

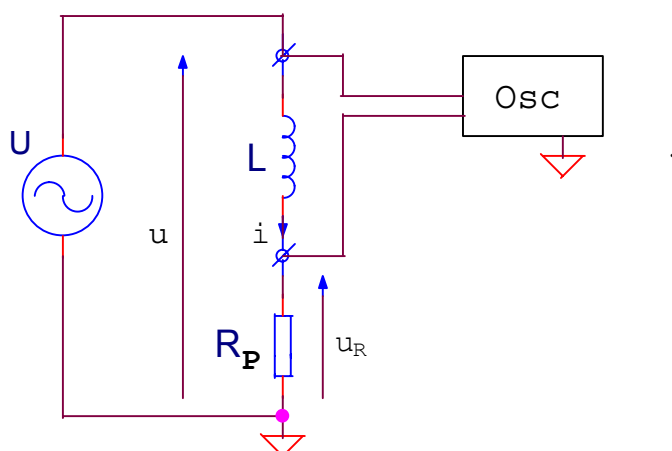
- a) impedancja o charakterze rzeczywistym (dwójnik w rezonansie),  
 b) impedancja o charakterze indukcyjnym,  
 c) impedancja o charakterze pojemnościowym.

Na rys. 3.11 przedstawiono wykresy wskazowe napięć i prądów dla dwójnika zamieszczonego na rys. 3.10 dla powyższych przypadków.

## 4. Badanie elementów RLC dla prądu sinusoidalnie zmiennego

### 4.1. Badanie dwójnika RL

Wykonać badanie dwójnika złożonego z rezystora  $R$  i indukcyjności  $L$  połączonych szeregowo. Schemat ideowy układu pomiarowego do badania indukcyjności przedstawiono na rys. 4.1.

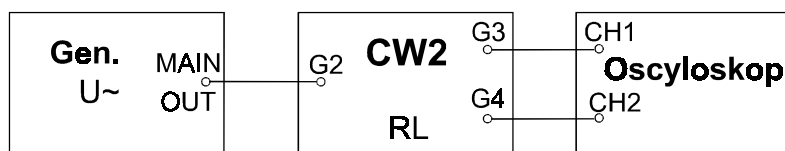


Rys 4.1. Schemat układu pomiarowego badanego dwójnika RL

Układ pomiarowy przedstawiony na rys. 4.1 składa się z :

- regulowanego źródła napięcia zmiennego  $U$ ;
- dwukanałowego oscyloskopu Osc, za pomocą którego są mierzone napięcia  $U$  i  $U_R$ ;
- badanej dwójnika RL znajdującego się na płytce laboratoryjnej CW2.

Schemat połączeń układu pomiarowego przedstawiono na rys. 4.2.



Rys. 4.2. Schemat połączeń układu pomiarowego

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 4.2 zastosowano następujące przyrządy:

- generator napięcia zmiennego typu TG230;
- oscyloskop laboratoryjny typu OX803;
- badany układ laboratoryjny typu CW2.

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem połączeń zamieszczonym na rys.4.2. Połączenie układu pomiarowego wykonać przy wyłączonym napięciu zasilania przyrządów laboratoryjnych. Na płytce układu laboratoryjnego CW2 ustawić przełączniki W1 i W2 umożliwiające badanie indukcyjności  $L$  połączonej szeregowo z rezystancją  $R$ , tzn. przełącznik W1 ustawić w położenie 2 a przełącznik W2 – w położenie 1. Widok płytki badanego układu laboratoryjnego jest zamieszczony w dodatku na rys. 1D.

Po sprawdzeniu poprawności połączeń układu pomiarowego ustawić pokrętkę regulatora „AMPLITUDE” generatora sygnału TG230 ustawić w lewe skrajne położenie – patrz w dodatku rys. 2D (rysunek płyty czołowej generator typu TG230). Włączyć napięcie zasilania generatora TG230 za pomocą przełącznika znajdującego się na tylnej ścianie przyrządu. Włączyć napięcie zasilania oscyloskopu laboratoryjnego przyciskiem „POWER” znajdującym

się na płycie czołowej przyrządu – patrz w dodatku rys. 3D (rysunek płyty czołowej oscyloskopu laboratoryjnego ).

Napięcie zmienne z generatora jest doprowadzone do układu laboratoryjnego CW2 do gniazda G2. Sygnały z badanego układu laboratoryjnego CW2 są doprowadzone do wejść oscyloskopu laboratoryjnego po przez sondy pomiarowe. Do wejścia CH1 oscyloskopu laboratoryjnego jest doprowadzony sygnał z gniazda G3 – napięcie  $U$ . Do wejścia CH2 oscyloskopu laboratoryjnego jest doprowadzony sygnał z gniazda G4 – napięcie  $U_R$  występujące na rezystorze pomiarowym  $R_L$ . Ustawić następujące początkowe warunki pracy oscyloskopu laboratoryjnego:

- współczynnik tłumienia sond pomiarowych 1:1;
- rodzaj pomiaru typu „ALT” mierzonych napięć przedstawianych na ekranie oscyloskopu;
- pokrętła do płynnej regulacji wzmocnienia w obu kanałach pomiarowych ustawić w położenie wzmocnienia kalibrowanego;
- pokrętła do skokowej regulacji wzmocnienia w obu kanałach pomiarowych ustawić tak aby zobrazowanie zajmowało większą część ekranu oscyloskopu, np. na początku ustawić wzmocnienie równe 1V/dz;
- rodzaj sprzężenia dla mierzonych napięć dla obu wejść pomiarowych ustawić typu „AC”;
- rodzaj synchronizacji oscyloskopu laboratoryjnego ustawić typu „TRIG” i „AUTO”;
- pokrętło regulacji częstotliwości podstawy czasu ustawić w położeniu, np. 20 $\mu$ s/dz;
- mierzone przebiegi synchronizować sygnałem kanału „CH1”;
- rodzaj sprzężenia dla sygnału synchronizacji przyjąć typu „AC”.

Wyżej proponowane warunki pracy oscyloskopu laboratoryjnego należy korygować w zależności od potrzeb w czasie wykonywanych pomiarów.

Ustawić następujące wstępne warunki pracy generatora napięcia zmiennego typu TG230:

- pokrętła „STOP” i „RATE” ustalające warunki pracy dla stanu zmieniającej się częstotliwości (rodzaj pracy „SWEEP”) ustawić w skrajne lewe położenie – położenie „PULL”;
- przycisk „SYM” w stanie wyłączonym;
- przyciski z grupy „AMPLITUDE MODULATION” w stanie wyłączonym („OFF”);
- pokrętło regulacji „DC OFFSET” ustawić w położenie „0”;
- przycisk tłumienia „ATTENUATOR” w stanie wyłączonym – tłumienie 0dB;
- wybrać sinusoidalny kształt generowanego napięcia przyciskiem „~” z grupy „FUNCTION”;
- rodzaj mierzonych parametrów wyświetlanych na wskaźniku jest zmieniany przyciskiem „Display select”;
- częstotliwość napięcia wyjściowego generator jest regulowana za pomocą przycisków z grupy „FREQUENCY RANGER Hz” i pokrętła płynnej regulacji „FREQUENCY (START)”;
- poziom amplitudy napięcia wyjściowego jest regulowany pokrętłem „AMPLITUDE”.

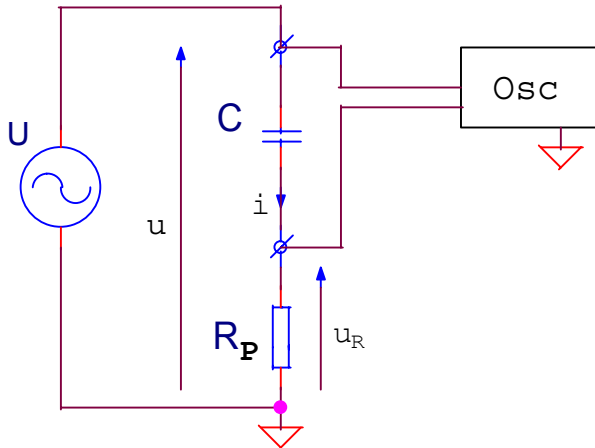
Wykonać następujące pomiary dla wartości napięcia z generatora  $U=5V$  w zakresie częstotliwości  $F$  równej od 10kHz do 500kHz:

- zmierzyć  $U=f(F)$ ;
- zmierzyć  $I=f(F)$  (przyjmując wartość rezystora  $R = 2k\Omega$  );
- zmierzyć za pomocą oscyloskopu dwukanałowego przesunięcie fazy w funkcji częstotliwości  $\varphi=f(F)$  pomiędzy napięciem  $U$  na badanym dwójniku  $RL$  a prądem płynącym przez ten dwójnik,
- obliczyć wartość impedancji i reaktancji badanego dwójnika dla częstotliwości sygnału  $F=100kHz$ ;
- obliczyć wartość napięcia występującego na reaktancji dwójnika oraz wartość prądu płynącego przez badany dwójnik dla częstotliwości sygnału  $F=100kHz$ ;

- wykreślić przebieg modułu impedancji i fazy w funkcji częstotliwości badanego dwójnika RL;
- wykreślić wykres wskazowy obliczonych napięć i prądu badanego dwójnika.

#### 4.2. Badanie dwójnika RC

Wykonać badanie dwójnika złożonego z rezystora  $R$  i pojemności  $C$  połączonych szeregowo. Schemat ideowy układ pomiarowy do badania indukcyjności przedstawiono na rys. 4.3.

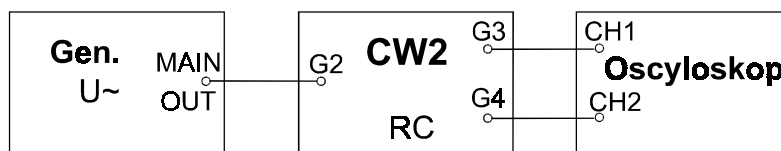


Rys 4.3. Schemat układu pomiarowego badanego dwójnika RC

Układ pomiarowy przedstawiony na rys. 4.3 składa się z :

- regulowanego źródła napięcia zmiennego  $U_{\sim}$ ;
- dwukanałowego oscyloskopu Osc, za pomocą którego są mierzone napięcia  $U$  i  $U_R$ ;
- badanej dwójnika RC znajdującego się na płytce laboratoryjnej CW2.

Schemat połączeń układu pomiarowego przedstawiono na rys. 4.4.



Rys. 4.4. Schemat połączeń układu pomiarowego

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 4.4 zastosowano następujące przyrządy:

- generator napięcia zmiennego typu TG230;
- oscyloskop laboratoryjny typu OX803;
- badany układ laboratoryjny typu CW2.

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem połączeń zamieszczonym na rys. 4.4. Połączenie układu pomiarowego wykonać przy wyłączonym napięciu zasilania przyrządów laboratoryjnych. Na płytce układu laboratoryjnego CW2 ustawić przełączniki  $W1$  i  $W2$  umożliwiające badanie pojemności  $C$  połączonej szeregowo z rezystancją  $R_C$ , tzn. przełącznik  $W1$  ustawić w położenie 1 a przełącznik  $W2$  – w położenie 1. Widok badanego układu laboratoryjnego jest zamieszczony w dodatku na rys. 1D.

Po sprawdzeniu poprawności połączeń układu pomiarowego ustawić pokrętko regulatora „AMPLITUDE” generatora sygnału TG230 ustawić w lewe skrajne położenie – patrz w dodatku rys. 2D (rysunek płyty czołowej generator typu TG230). Włączyć napięcie zasilania

generatora TG230 za pomocą przełącznika znajdującego się na tylnej ścianie przyrządu. Włączyć napięcie zasilania oscyloskopu laboratoryjnego przyciskiem „POWER” znajdującym się na płycie czołowej przyrządu – patrz w dodatku rys. 3D (rysunek płyty czołowej oscyloskopu laboratoryjnego ).

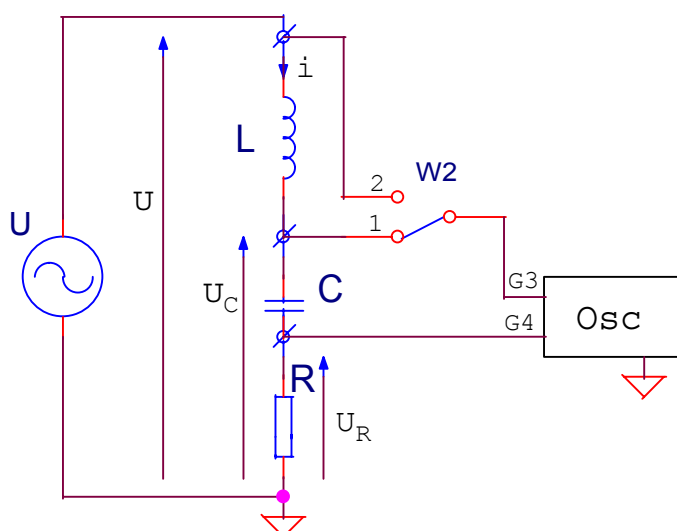
Napięcie zmienne z generatora jest doprowadzone do układu laboratoryjnego CW2 do gniazda G2. Sygnały z badanego układu laboratoryjnego CW2 są doprowadzone do wejść oscyloskopu laboratoryjnego po przez sondy pomiarowe. Do wejścia CH1 oscyloskopu laboratoryjnego jest doprowadzony sygnał z gniazda G3 – napięcie  $U$ . Do wejścia CH2 oscyloskopu laboratoryjnego jest doprowadzony sygnał z gniazda G4 – napięcie  $U_R$  występujące na rezystorze  $R$ . Ustawić początkowe warunki pracy oscyloskopu laboratoryjnego i generatora w sposób analogiczny jak w punkcie 4.1.

Wykonać następujące pomiary dla wartości napięcia z generatora  $U=5V$  w zakresie częstotliwości  $F$  równej od 10kHz do 500kHz:

- zmierzyć  $U=f(F)$ ;
- zmierzyć  $I=f(F)$  (przyjmując wartość rezystora  $R = 56\Omega$  );
- zmierzyć za pomocą oscyloskopu dwukanałowego przesunięcie fazy w funkcji częstotliwości,  $\varphi=f(F)$ , pomiędzy napięciem  $U$  na badanym dwójniku RC a prądem płynącym przez ten dwójnik,
- obliczyć wartość impedancji i reaktancji badanego dwójnika dla częstotliwości sygnału  $F=100kHz$ ;
- obliczyć wartość napięcia występującego na reaktancji dwójnika oraz wartość prądu płynącego przez badany dwójnik dla częstotliwości sygnału  $F=100kHz$ ;
- wykreślić przebieg modułu impedancji i fazy w funkcji częstotliwości badanego dwójnika RC;
- wykreślić wykres wskazowy obliczonych napięć i prądu badanego dwójnika.

#### 4.3. Badanie dwójnika RLC

Wykonać badanie dwójnika złożonego z rezystora  $R$ , indukcyjności  $L$  i pojemności  $C$  połączonych szeregowo. Schemat ideowy układ pomiarowego do badania indukcyjności przedstawiono na rys. 4.5.

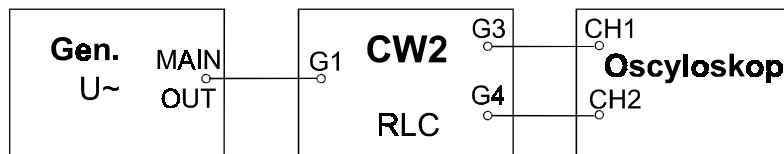


Rys 4.5. Schemat układu pomiarowego badanego dwójnika RLC

Układ pomiarowy przedstawiony na rys. 4.5 składa się z :

- regulowanego źródła napięcia zmiennego  $U\sim$ ;
- dwukanałowego oscyloskopu Osc, za pomocą którego są mierzone napięcia  $U$ ,  $U_C$  i  $U_R$ ;

- badanej dwójnika RLC znajdującego się na płytce laboratoryjnej CW2.
- Schemat połączeń układu pomiarowego przedstawiono na rys. 4.6.



Rys. 4.6. Schemat połączeń układu pomiarowego

W układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 4.6 zastosowano następujące przyrządy:

- generator napięcia zmiennego typu TG230;
- oscyloskop laboratoryjny typu OX803;
- badany układ laboratoryjny typu CW2.

Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem połączeń zamieszczonym na rys. 4.6. Połączenie układu pomiarowego wykonać przy wyłączonym napięciu zasilania przyrządów laboratoryjnych. Na płytce układu laboratoryjnego CW2 ustawić przełącznik W1 ustawić w położenie 1 natomiast przełącznik W2 jeśli jest w położeniu 1 to mierzone jest napięcie  $U_C$ , natomiast gdy jest w położeniu 2 to mierzone jest napięcie  $U$ . Widok badanego układu laboratoryjnego jest zamieszczony w dodatku na rys. 1D.

Po sprawdzeniu poprawności połączeń układu pomiarowego ustawić pokrętło regulatora „AMPLITUDE” generatora sygnału TG230 ustawić w lewe skrajne położenie – patrz w dodatku rys. 2D (rysunek płyty czołowej generator typu TG230). Włączyć napięcie zasilania generatora TG230 za pomocą przełącznika znajdującego się na tylnej ścianie przyrządu. Włączyć napięcie zasilania oscyloskopu laboratoryjnego przyciskiem „POWER” znajdującym się na płycie czołowej przyrządu – patrz w dodatku rys. 3D (rysunek płyty czołowej oscyloskopu laboratoryjnego).

Napięcie zmienne z generatora jest doprowadzone do układu laboratoryjnego CW2 do gniazda G1. Sygnały z badanego układu laboratoryjnego CW2 są doprowadzone do wejść oscyloskopu laboratoryjnego po przez sondy pomiarowe. Do wejścia CH1 oscyloskopu laboratoryjnego jest doprowadzony sygnał z gniazda G3 – napięcie  $U$ . Do wejścia CH2 oscyloskopu laboratoryjnego jest doprowadzony sygnał z gniazda G4 – napięcie  $U_R$  występujące na rezystorze R.

Ustawić początkowe warunki pracy oscyloskopu laboratoryjnego i generatora w sposób analogiczny jak w punkcie 4.1.

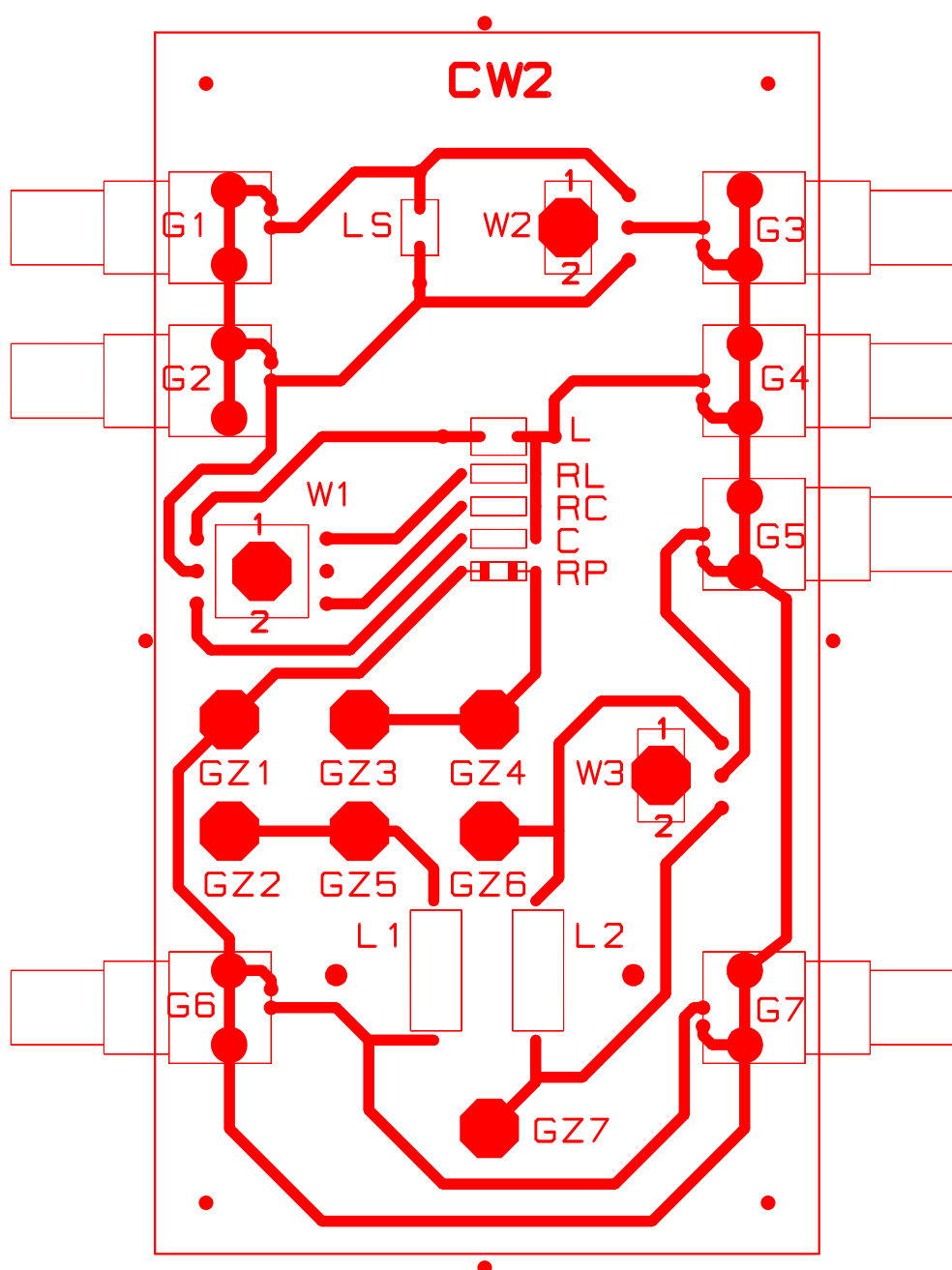
Wykonać następujące pomiary dla wartości napięcia z generatora  $U=5V$  w zakresie częstotliwości  $F$  równej od 5kHz do 20kHz:

- zmierzyć i wykreślić  $U=f(F)$ ;
- zmierzyć i wykreślić  $U_C=f(F)$ ;
- zmierzyć i wykreślić  $I=f(F)$  (przyjmując wartość rezystora  $R = 56\Omega$ ),
- zmierzyć za pomocą oscyloskopu dwukanałowego przesunięcie fazy w funkcji częstotliwości,  $\phi=f(F)$ , pomiędzy napięciem  $U$  na badanym dwójniku RLC a prądem płynącym przez ten dwójnik,
- wyznaczyć i wykreślić przebieg napięcia na indukcyjności  $L$  w funkcji częstotliwości  $F$ ,
- wykreślić przebieg modułu impedancji i fazy w funkcji częstotliwości badanego dwójnika RLC,
- na wykreślonych charakterystykach zaznaczyć częstotliwość rezonansową dwójnika RLC.

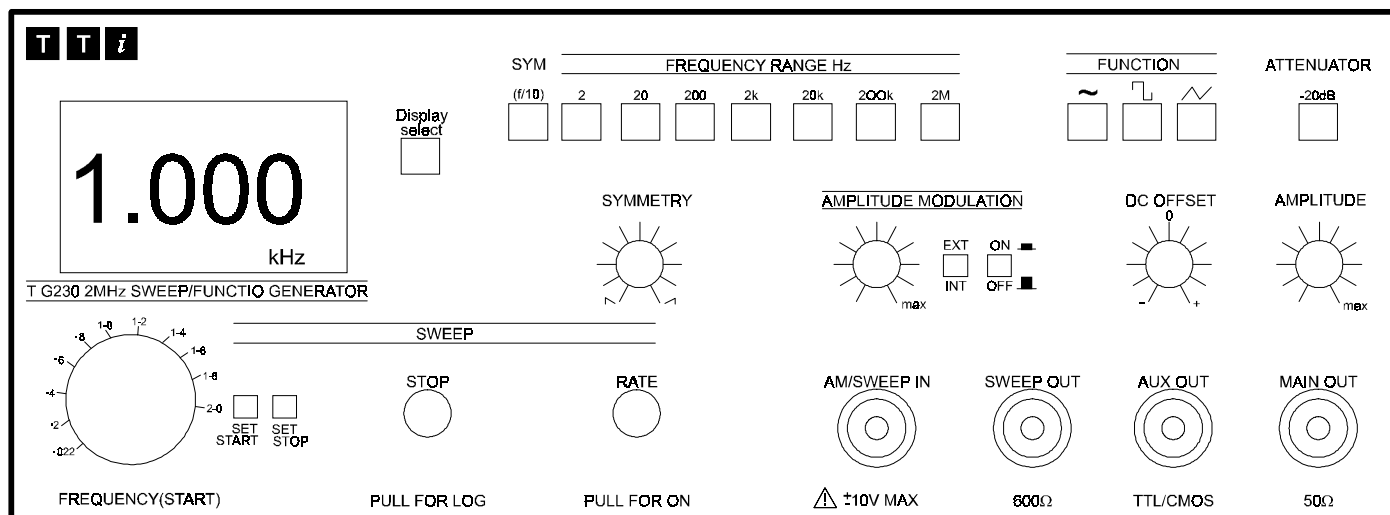
## 5. Wykaz literatury

1. T. Cholewicki – Elektrotechnika teoretyczna t.1. – WNT Warszawa 1970
2. M. Krakowski – Elektrotechnika teoretyczna t.1. – WNT Warszawa 1980
3. J. Osiowski – Teoria obwodów t.2 – WNT Warszawa 1970
4. J. Osiowski, J. Szabatin – Podstawy teorii obwodów – WNT Warszawa 1995

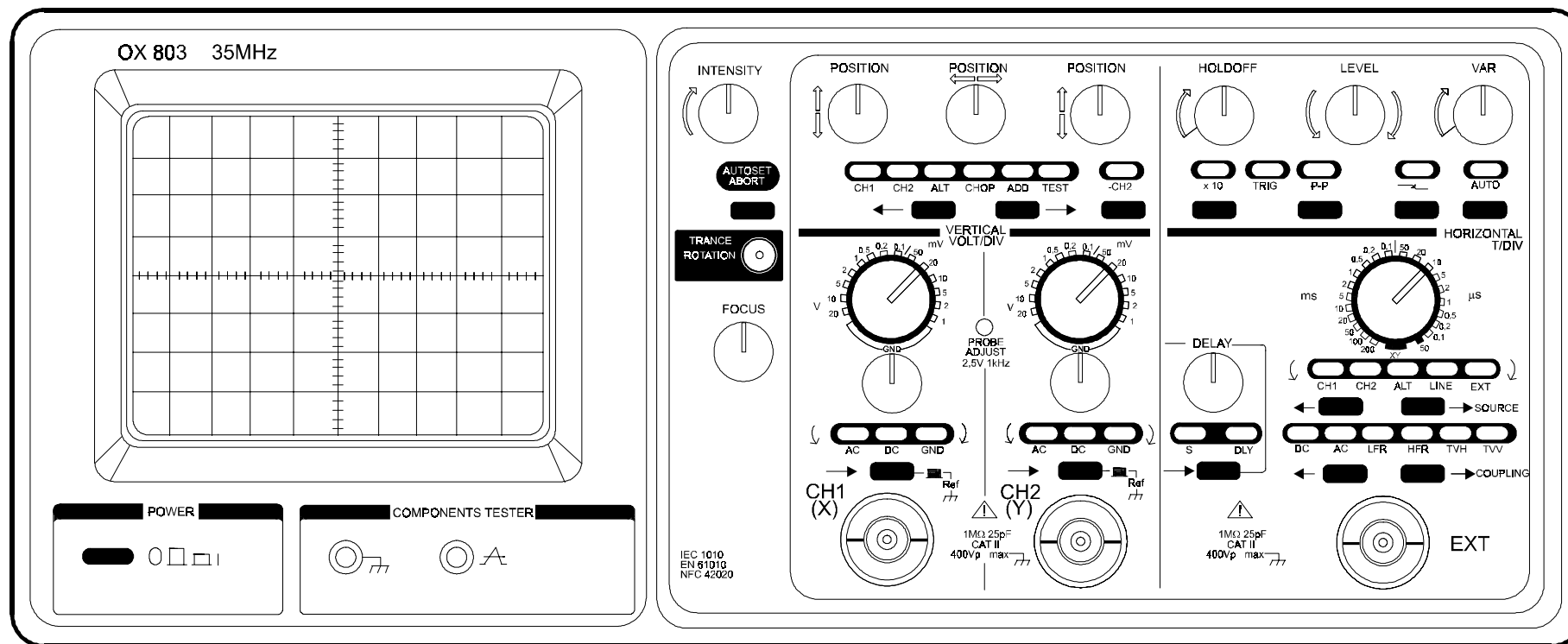
## 6. Dodatek



Rys. 1D. Widok płytki układu laboratoryjnego CW2



Rys. 2D. Widok płyty czołowej generator typu TG230



Rys. 3D. Widok płyty czołowej oscyloskopu laboratoryjnego

