Laboratorium Podstaw Pomiarów

Podstawy Elektroniki i Pomiarów 2 – laboratorium

Ćwiczenie T6

Identyfikacja i charakteryzacja dwójników pasywnych

Instrukcja

Opracował:

dr inż. Paweł Gąsior
mgr inż. Jacek Sochoń

Instytut Systemów Elektronicznych
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

Warszawa 2022

v. 1.2
(19.07.2023)

Fundusze Europejskie Wiedza Edukacja Rozwój
Politechnika Warszawska
Unia Europejska Europejski Fundusz Społeczny

Ćwiczenie T6

Identyfikacja i charakteryzacja dwójników pasywnych

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami identyfikacji obiektów na podstawie pomiarów ich parametrów i wyznaczania charakterystyk oraz usystematyzowanie podstawowych pojęć związanych z opisem i wykorzystaniem prostych eksperymentów pomiarowych.

2. Tematyka ćwiczenia

- pomiary parametrów obiektów metodą bezpośrednią i pośrednią,
- wyznaczanie charakterystyk poprzez wykonywanie serii pomiarowych oraz w sposób automatyczny,
- badanie właściwości szeregowego połączenia elementów R, L, C.

3. Umiejętności zdobywane przez studentów

- umiejętność wykonywania pomiarów bezpośrednich i pośrednich oraz wyznaczania wartości parametrów,
- umiejętność wyznaczania charakterystyk na podstawie serii pomiarowych,
- umiejętność wyznaczania charakterystyk z wykorzystaniem aplikacji do pomiarów automatycznych.

4. Teoria

4.1. Obiekt fizyczny

Obiektem fizycznym nazywamy możliwy do wyodrębnienia element rzeczywistości, któremu można przypisać wyrażone ilościowo cechy. W miernictwie elektrycznym najprostsze obiekty to elementy bierne, takie jak rezystory, kondensatory, cewki itp., a bardziej skomplikowane – to układy zawierające ich kombinacje oraz elementy aktywne.

Jeżeli w określonych warunkach ilościowa **cecha obiektu** jest niezmienna, to może być wyrażona w postaci **parametru**. Jego wartość może być znana *a priori* lub na podstawie wykonanych pomiarów. Należy mieć świadomość, że w żadnym z tych przypadków wartość ta nie jest dana z absolutną dokładnością, lecz znajduje się w pewnym przedziale określonym przez niedokładność wykonania lub obliczenia (w przypadku wartości znanych *a priori*) oraz błąd pomiarowy (w przypadku, gdy wartość jest poznawana na drodze pomiaru).

Parametry obiektów najczęściej nie są niezmienne, lecz zależą od warunków, których wartości ilościowe określają tzw. **punkt pracy**. Jest to szczególnie ważne w układach i systemach elektronicznych, w których funkcjonowanie poszczególnych elementów ściśle zależy od punktu pracy najczęściej określanego jako napięcie panujące na wyróżnionych zaciskach elementu i prąd przez niego przepływający.

4.2. Parametry i charakterystyki

W celu poznania właściwości obiektów wykonywane są pomiary. Wynik pojedynczego pomiaru z reguły prowadzi do poznania pojedynczej ilościowej cechy obiektu, czyli parametru. Wynik ten jest dany z pewną niepewnością, czasami trudną do oszacowania. Trudność oszacowania tej niepewności w szczególności dotyczy obiektów, o których przed wykonaniem pomiaru nie posiadamy żadnych informacji (z obiektami tego typu spotkamy się w ćwiczeniu).

W pomiarach elektrycznych wynikiem pomiaru może być prąd, napięcie, częstotliwość itp. Pomiar może być wykorzystany bezpośrednio do opisu obiektu bądź posłużyć do wyznaczenia innych parametrów za pomocą obliczeń. W pierwszym przypadku mówimy o **pomiarze bezpośrednim**, a w drugim o **pomiarze pośrednim**. Podczas ćwiczenia wykonywane będą zarówno pomiary bezpośrednie, jak i pośrednie.

W procesie pomiarowym istotne są jednak nie tylko mierzone wielkości, lecz również warunki, w jakich wykonano pomiary. Wartość parametru może się zmieniać w zależności od wielu zjawisk np. wartości napięcia, częstotliwości, temperatury, wilgotności, naświetlenia itp. Wpływ niektórych z tych czynników może być pożądany (z czym mamy do czynienia w przypadku czujników pomiarowych), lecz również może być niepożądany. W takich przypadkach w celu wiarygodnej charakteryzacji obiektu wpływ ten powinien być znany i najlepiej scharakteryzowany w sposób ilościowy.

Użytecznym sposobem badania wpływu wielkości fizycznych na obiekt jest wyznaczanie **charakterystyk**. W tym celu wykonuje się serie pomiarów w warunkach różniących się przynajmniej jednym parametrem mającym wpływ na mierzoną wielkość. Jest to przypadek najprostszy, którego wynikiem jest pojedyncza charakterystyka możliwa do wykreślenia na płaszczyźnie, np. charakterystyka prądowo-napięciowa lub częstotliwościowa. W przypadku uwzględnienia większej liczby zmiennych tworzy się rodziny charakterystyk (np. dla tranzystorów) oraz trój- lub więcej wymiarowe mapy (w przypadku większości eksperymentów fizycznych).

Na podstawie takich charakterystyk można wyznaczyć kolejne wartości parametrów uzyskanych na drodze pomiarów pośrednich np. rezystancji w przypadku charakterystyk prądowo-napięciowych. Te z kolei mogą służyć wyznaczaniu kolejnych charakterystyk np. rezystancyjno-napięciowych i rezystancyjno-prądowych.

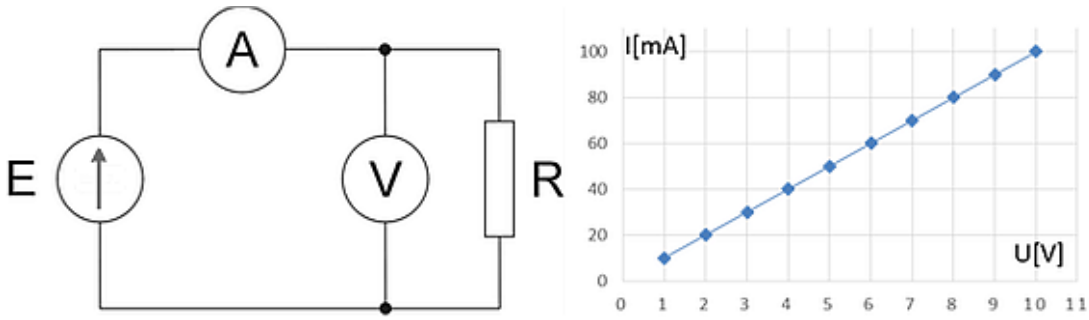
W programie ćwiczenia jest zaplanowane wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowej elementów **X1** i **X3** oraz charakterystyki częstotliwościowej elementu **X2**.

4.3. Charakterystyki prądowo-napięciowe

Przykładem procedury użytecznej przy tworzeniu charakterystyk jest wyznaczanie charakterystyki prądowo-napięciowej – jednej z najbardziej podstawowych w miernictwie elektrycznym. Przykładowy układ do wyznaczania takiej charakterystyki przedstawiono na Rys. 6.1.

Obiektem badanym jest rezystor **R**. Zasilacz stabilizowany zapewnia możliwość regulacji napięcia zasilającego układ. Prąd płynący przez rezystor jest mierzony za pomocą amperomierza **A** (amperomierz włącza się zawsze szeregowo z elementem, przez który płynie mierzony prąd), a napięcie na nim panujące mierzymy za pomocą woltomierza **V** (woltomierz włączamy zawsze równolegle do elementu, na którym chcemy mierzyć napięcie). Pomiary są wykonywane w ten sposób, że dla każdej ustalonej wartości napięcia dokonujemy jego pomiaru za pomocą woltomierza **V** oraz pomiaru prądu za pomocą amperomierza **A**. W ten sposób zmieniając napięcie w założonym zakresie z wybranym krokiem (różnicą napięć ustawianych na zasilaczu między kolejnymi pomiarami) można wyznaczyć **charakterystykę prądowo-napięciową** $I = f(U)$ badanego rezystora. Zazwyczaj przedstawia się ją w formie graficznej (Rys. 6.1).

Uwaga: *Wyniki pomiarów napięcia i prądu należy zapisywać w tabeli pomiarowej i dopiero na jej podstawie sporządzać wykres.*



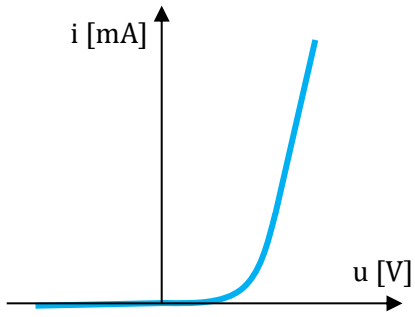
Rys. 6.1. Układ pomiarowy oraz przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa rezystora

Na podstawie uzyskanej charakterystyki można wyznaczyć parametry obiektu. W omawianym przypadku jest to rezystancja R, którą obliczamy z prawa Ohma

$$R = \frac{U}{I} \tag{6-1}$$

Ze względu na fakt, że uzyskana charakterystyka prądowo-napięciowa jest linią prostą, do wyznaczenia rezystancji można wykorzystać dowolną parę zmierzonych wartości napięcia i prądu W praktyce pomiarowej często korzysta się z dwóch par zmierzonych wartości w celu upewnienia się, że nie popełniono pomyłki (błędu nadmiernego).

W przypadku elementu nieliniowego (o nieliniowej charakterystyce prądowo-napięciowej) wartość rezystancji zależy od tzw. punktu pracy, czyli w tym przypadku wartości napięcia, dla której jest ona wyznaczana. Przykładowym elementem o nieliniowej charakterystyce jest dioda (Rys. 6.2). O ile charakterystyka rezystora może być z dobrym przybliżeniem wyznaczona na podstawie nawet jednego pomiaru (aczkolwiek tego się nie zaleca), o tyle w celu scharakteryzowania diody należy wykonać pomiary w kilku punktach (dla różnych wartości napięcia).



Rys. 6.2. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody

4.4. Charakterystyki częstotliwościowe

Dotychczasowe rozważania były poświęcone zależnościom wiążącym przepływ prądu ze spadkiem napięcia na elemencie badanym (np. rezystorze), w szczególności dla prądu stałego. W praktyce najczęściej spotykamy się jednak z napięciami zmiennymi oraz elementami o charakterze nie tylko rezystancyjnym, lecz również pojemnościowym lub indukcyjnym. Należą do nich kondensatory i cewki indukcyjne.

W przypadku kondensatorów i cewek zjawiska związane z przepływem prądu sinusoidalnie zmiennego zależą nie tylko od amplitudy napięcia, lecz również od jego częstotliwości. Dla obiektów zawierających te elementy zdefiniowany jest parametr będący odpowiednikiem rezystancji dla prądu stałego nazywany **impedancją**. Impedancja jest liczbą zespoloną, którą w ogólnym przypadku oznacza się literą Z.

Impedancja kondensatora bezstratnego oznaczona jest przez Z_C i wyrażona wzorem

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi f C} \tag{6-2}$$

a impedancja cewki bezstratnej oznaczona jest przez Z_L i wyrażona wzorem

$$Z_L = j\omega L = j2\pi f L \tag{6-3}$$

gdzie L i C oznaczają indukcyjność cewki i pojemność kondensatora, f – częstotliwość, ω – pulsację, a j – jednostkę urojoną.

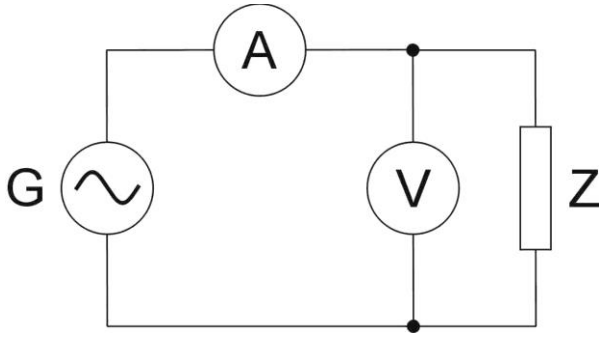
Jednym ze sposobów pomiaru impedancji jest sposób analogiczny do pomiarów rezystancji dla prądu stałego. Polega on na pomiarze prądu płynącego przez element

i napięcia na nim panującego. W efekcie można wyznaczyć wartość modułu impedancji wyrażoną wzorem

$$|Z| = \frac{U}{I} \tag{6-4}$$

gdzie U jest wskazaniem woltomierza napięcia zmiennego, a I – wskazaniem amperomierza prądu zmiennego.

Wyznaczona w ten sposób wartość modułu impedancji zależy od częstotliwości sygnału. Aby zbadać charakter tej zależności należy wyznaczać kolejne wartości modułu impedancji przy różnych częstotliwościach sygnału pomiarowego. Uzyskana w ten sposób zależność $|Z| = \varphi(f)$, w której na osi rzędnych jest moduł impedancji, a na osi odciętych częstotliwość, nazywana jest **charakterystyką częstotliwościową**. Stosowny układ pomiarowy został przedstawiony na Rys. 6.3.



Rys. 6.3. Układ pomiarowy do wyznaczania modułu impedancji i charakterystyki częstotliwościowej

Znając wartość modułu impedancji przy częstotliwości f można wyznaczyć pojemność bądź indukcyjność badanego elementu – przy założeniu, że jest nim kondensator lub cewka. Moduł impedancji dla elementu pojemnościowego wyraża się wzorem

$$|Z| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \tag{6-5}$$

a dla elementu indukcyjnego – wzorem

$$|Z| = \omega L = 2\pi f L \tag{6-6}$$

Stąd można obliczyć wartość pojemności kondensatora

$$C = \frac{1}{2\pi f |Z|} \tag{6-7}$$

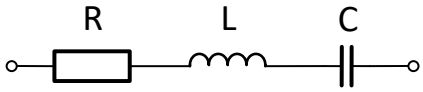
lub indukcyjności cewki

$$L = \frac{|Z|}{2\pi f} \tag{6-8}$$

4.5. Elementy rezonansowe

Dwójniki, których moduł impedancji $|Z|$, rozpatrywany jako funkcja częstotliwości, posiada ekstremum, nazywamy **elementami rezonansowymi**. Częstotliwość, przy której występuje ekstremum modułu impedancji nazywamy **częstotliwością rezonansową**. W ogólnym przypadku dwójnik może mieć wiele częstotliwości rezonansowych.

Przykładem elementu rezonansowego może być szeregowe połączenie rezystora, cewki indukcyjnej i kondensatora (Rys. 6.4).



Rys. 6.4. Szeregowe połączenie rezystora, cewki indukcyjnej i kondensatora – przykład elementu rezonansowego

Impedancja takiego dwójnika wyraża się wzorem

$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \tag{6-9}$$

Moduł impedancji

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \tag{6-10}$$

przyjmuje minimum dla pulsacji

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \tag{6-11}$$

Pulsacji tej odpowiada częstotliwość

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{6-12}$$

będąca częstotliwością rezonansową tego dwójnika.

Dla częstotliwości mniejszych od f_0 dwójnik przedstawiony na Rys. 6.4 ma charakter pojemnościowy (moduł impedancji maleje przy wzroście częstotliwości), natomiast dla częstotliwości większych od f_0 – charakter indukcyjny (moduł impedancji rośnie przy wzroście częstotliwości). O tym, jak „ostre” jest ekstremum modułu impedancji decyduje **dobroć**, którą dla rozważanego dwójnika można wyrazić wzorem

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \tag{6-13}$$

4.6. Charakteryzacja przykładowych elementów biernych na podstawie pojedynczych pomiarów

Bezpośrednio za pomocą multimetru lub metodą pośrednią w układzie przedstawionym na Rys. 6.1 można podjąć próbę pomiaru rezystancji badanego elementu. Zamieniając końcówki można ponadto zbadać wpływ polaryzacji na wynik pomiaru. Dla elementu rezystancyjnego (opornika) wyniki pomiaru nie będą zależały od sposobu dołączenia. Jednak sam fakt niezależności rezystancji od polaryzacji nie uprawnia jeszcze do postawienia hipotezy, że badanym elementem jest opornik. Równie dobrze może to być np. cewka indukcyjna, zwłaszcza jeżeli wartość rezystancji jest niewielka.

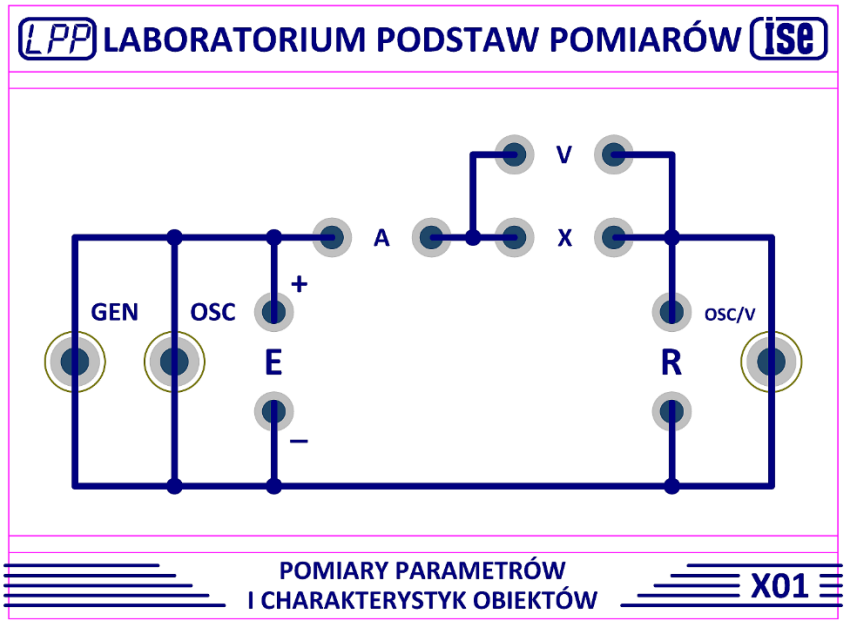
W podjęciu decyzji może pomóc pomiar przy napięciu zmiennym. Impedancja opornika nie zawiera składowej reaktancyjnej, dlatego jej moduł (wynik pomiaru przy napięciu zmiennym) będzie bardzo zbliżony do wartości rezystancji przy napięciu stałym. Natomiast w przypadku cewki indukcyjnej płynący przez nią prąd zmienny będzie indukował pole magnetyczne, przez co moduł impedancji będzie większy niż rezystancja zmierzona przy napięciu stałym.

Jeżeli badanym elementem jest kondensator, to prawdopodobnie nie uda się zmierzyć rezystancji przy napięciu stałym (wystąpi przekroczenie zakresu multimetru) lub otrzymamy wartość bardzo dużą, odpowiadającą rezystancji dielektryka oddzielającego okładki kondensatora. Ale podobne wyniki otrzymamy np. w przypadku rozwarcia lub opornika o bardzo dużej rezystancji. W identyfikacji może pomóc pomiar przy napięciu zmiennym. W przypadku kondensatora moduł impedancji będzie znacznie mniejszy od rezystancji zmierzonej przy napięciu stałym (różnica będzie zależeć od pojemności kondensatora oraz częstotliwości). W przypadku opornika taka różnica nie wystąpi.

Osobną kategorią są elementy, których charakterystyka prądowo-napięciowa jest nieliniowa (elementy nieliniowe) – np. dioda o charakterystyce przedstawionej na Rys. 6.2. Do stwierdzenia nieliniowości charakterystyki potrzebne są co najmniej trzy punkty pomiarowe. W praktyce dla elementów biernych wystarczą dwa – trzecim jest początek układu współrzędnych (0, 0). Jeżeli np. wartość rezystancji – odpowiadająca nachyleniu charakterystyki względem punktu (0, 0) – przy napięciu ujemnym jest różna od wartości rezystancji przy napięciu dodatnim, to możemy stwierdzić, że element jest nieliniowy.

5. Opis modułu pomiarowego X01

Moduł **X01** (Rys. 6.5) umożliwia badania elementu przy zasilaniu prądem stałym (przy dołączeniu zasilacza stabilizowanego), jak i zmiennym (przy dołączeniu generatora funkcyjnego). Zaciski oznaczone **X** służą do dołączenia elementu badanego. Pomiar bezpośredni prądu można zrealizować poprzez włączenie amperomierza między zaciski oznaczone **A**.



Rys. 6.5. Moduł X01

Zaciski oznaczone **R** mogą służyć do dołączenia rezystora wzorcowego o małej wartości w celu uzyskania napięcia proporcjonalnego do prądu płynącego przez badany element przy wyznaczaniu charakterystyk prądowo-napięciowych w trybie pracy **X-Y** oscyloskopu. W zadaniu 4 można do nich dołączyć opornik dekadowy wchodzący w skład szeregowego połączenia elementów **R**, **L**, **C**.

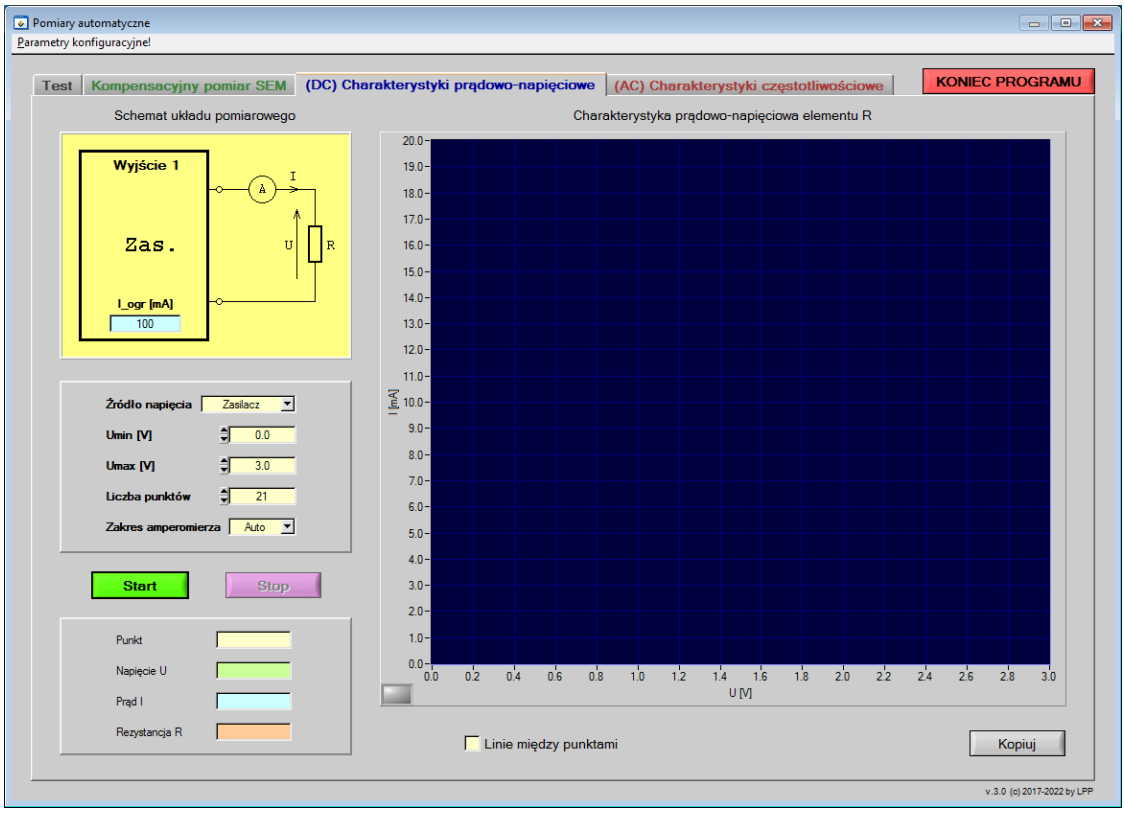
6. Opis programu komputerowego do automatycznego wyznaczania charakterystyk elementów

Program komputerowy do automatycznego wyznaczania charakterystyk elementów dostępny jest w zakładkach: ***(DC) Charakterystyki prądowo-napięciowe*** i ***(AC) Charakterystyki częstotliwościowe*** aplikacji **Pomiary automatyczne**, dostępnej na pulpicie komputera.

6.1. Charakterystyki prądowo-napięciowe

Panel programu do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych przedstawiono na Rys. 6.6.

Przed rozpoczęciem pomiarów należy połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem widocznym w panelu programu (Rys. 6.6). Podczas pomiarów wykorzystywane jest **Wyjście 1** zasilacza. Do pomiaru napięcia wykorzystana jest wewnętrzna funkcja zasilacza, dlatego w układzie nie ma woltomierza. Prąd mierzony jest za pomocą multimetru **34450A** pracującego jako amperomierz (należy zwrócić uwagę na wykorzystanie odpowiednich gniazd i pamiętać o regule, że zacisk „**+**” przyrządu pomiarowego powinien być połączony z zaciskiem „**+**” zasilacza).



Rys. 6.6. Panel programu do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych

Pomiary rozpoczynamy korzystając z domyślnych wartości parametrów widocznych w polach panelu. W razie potrzeby można zmodyfikować zakres wartości napięcia (tylko wartości nieujemne) oraz liczbę punktów wykresu.

Standardowo korzystamy z automatycznego wyboru zakresu amperomierza (opcja ***Auto*** w polu ***Zakres amperomierza***). Może się jednak zdarzyć, że w punktach zmiany zakresu pojawi się – na skutek zmiany rezystancji amperomierza – pewna „nieciągłość" wykresu. W takim przypadku należy odczytać maksymalną wartość prądu i powtórzyć pomiary, wybierając w polu ***Zakres amperomierza*** odpowiednią wartość (10 mA lub 100 mA).

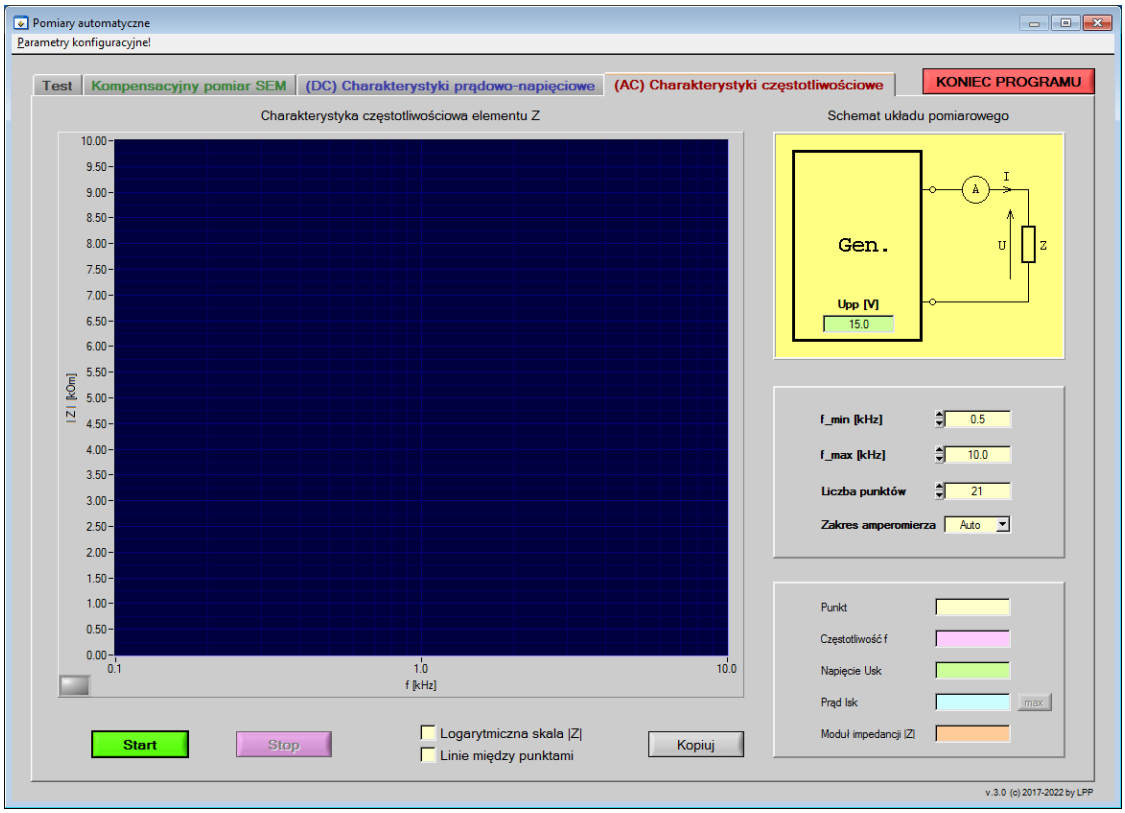
Domyślnie tworzony jest wykres punktowy. Zaznaczenie pola ***Linie między punktami*** powoduje dodanie linii łączącej punkty wykresu.

Wykres można skopiować za pomocą przycisku ***Kopiuj***, a następnie wkleić bezpośrednio do protokołu.

Program **Pomiary automatyczne** umożliwia także wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych za pomocą generatora przy wykorzystaniu sygnału stałego na jego wyjściu. W tym celu trzeba do wejścia modułu **X01** dołączyć generator zamiast zasilacza, a następnie wybrać opcję ***Generator*** w polu ***Źródło sygnału***. W tym trybie możliwe jest zadawanie wartości dodatnich i ujemnych napięcia wejściowego.

6.2. Charakterystyki częstotliwościowe

Panel programu do wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych przedstawiono na Rys. 6.7.



Rys. 6.7. Panel programu do wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych

Przed rozpoczęciem pomiarów należy połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem widocznym w panelu programu (Rys. 6.7). Wartości skuteczne napięcia określane są na podstawie ustawień generatora, dlatego w układzie nie ma woltomierza. Prąd mierzony jest za pomocą multimetru **34450A** pracującego jako amperomierz (należy zwrócić uwagę na wykorzystanie odpowiednich gniazd).

Pomiary rozpoczynamy korzystając z domyślnych wartości parametrów widocznych w polach panelu. W razie potrzeby można zmodyfikować wartość międzyszczytową U_{pp} napięcia, zakres częstotliwości oraz liczbę punktów wykresu.

Standardowo korzystamy z automatycznego wyboru zakresu amperomierza (opcja ***Auto*** w polu ***Zakres amperomierza***). Może się jednak zdarzyć, że w punktach zmiany zakresu pojawi się – na skutek zmiany rezystancji amperomierza – pewna „nieciągłość" wykresu. W takim przypadku należy odczytać maksymalną wartość prądu (przycisk ***max***) i powtórzyć pomiary, wybierając w polu ***Zakres amperomierza*** odpowiednią wartość (10 mA lub 100 mA).

Na wykresie częstotliwość wyrażona jest w skali logarytmicznej, natomiast moduł impedancji – w skali liniowej lub logarytmicznej, w zależności od zaznaczenia pola ***Logarytmiczna skala |Z|***.

Domyślnie tworzony jest wykres punktowy. Zaznaczenie pola ***Linie między punktami*** powoduje dodanie linii łączącej punkty wykresu.

Wykres można skopiować za pomocą przycisku ***Kopiuj***, a następnie wkleić bezpośrednio do protokołu.

7. Badania i pomiary

☞ Przed przystąpieniem do pomiarów należy:

– ustawić w zasilaczu ograniczenie prądowe I_{ogr} **= 100 mA**

– ustawić parametr ***Output Load*** generatora:

→ ***Channel*** → ***Output Load*** → ***Set To High Z***

Zadanie 1. Wyznaczanie wartości parametrów na podstawie pojedynczych pomiarów.

☞ **Zad. 1.1.** Podjąć próbę pomiaru rezystancji elementów: **X1**, **X2**, **X3** za pomocą multimetru cyfrowego. Dla każdego z elementów sprawdzić wpływ kierunku dołączenia elementu na wyniki pomiaru. Wyniki zamieścić w tabeli.

☞ **Zad. 1.2.** Wykorzystując moduł **X01** zmierzyć rezystancję elementów: **X1**, **X2**, **X3** metodą pośrednią dla wartości napięcia stałego wybranej z zakresu od 5 V do 10 V (dla dwóch polaryzacji napięcia – zmianę polaryzacji napięcia można uzyskać, zamieniając wtyki przewodów na wyjściu zasilacza). Należy pamiętać o ustawieniu ograniczenia prądowego I_{ogr} = 100 mA w zasilaczu. Zaciski **R** na module należy zewrzeć. Wyniki zamieścić w tabeli.

! ***Podjąć próbę scharakteryzowania każdego z badanych elementów na podstawie wyników uzyskanych w Zad. 1.1 i Zad. 1.2. Czy można stwierdzić, który z elementów ma charakter rezystancyjny, a który pojemnościowy lub indukcyjny? Odpowiedź uzasadnić.***

! ***Który z badanych elementów ma nieliniową charakterystykę prądowo-napięciową? Co o tym świadczy?***

Zad. 1.3. Wykorzystując moduł **X01** wyznaczyć moduł impedancji elementów: **X1**, **X2**, **X3** dla napięcia zmiennego o wartości międzyszczytowej U_{pp} wybranej z zakresu od 10 V do 15 V i częstotliwości $f = 1$ kHz. Zaciski **R** na module należy zewrzeć. Wyniki zamieścić w tabeli.

Na postawie wyników uzyskanych w Zad. 1.1, Zad. 1.2 i Zad. 1.3 ocenić, który z elementów ma charakter rezystancyjny, a który pojemnościowy lub indukcyjny. Odpowiedź uzasadnić.

Zadanie 2. Wyznaczanie charakterystyk elementów na podstawie serii pomiarów.

Wyznaczyć charakterystyki prądowo-napięciowe elementów: **X1** i **X3** dla prądu stałego, zmieniając napięcie zasilające w zakresie od +5 V do –5 V z krokiem 1 V (zmianę polaryzacji napięcia można uzyskać, zamieniając wtyki przewodów na wyjściu zasilacza). Wyniki zamieścić w tabeli. Narysować wykresy $I = f(U)$ i zamieścić je w protokole.

Jaki charakter mają elementy X1 i X3?

Zadanie 3. Automatyczne wyznaczanie charakterystyk elementów.

Zad. 3.1. Połączyć układ zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys. 6.8. Korzystając z programu komputerowego **Pomiary automatyczne** do automatycznego wyznaczania charakterystyk elementów – zakładka ***(DC) Charakterystyki prądowo-napięciowe*** – wyznaczyć charakterystykę prądowo-napięciową $I = f(U)$ elementu **X3**. W razie potrzeby zmienić wartości parametrów i/lub polaryzację elementu i powtórzyć pomiary. Wyznaczoną charakterystykę zamieścić w protokole.

Uwaga: *W przypadku pojawienia się komunikatu o błędzie należy do wejścia modułu **X01** dołączyć generator zamiast zasilacza, a następnie wybrać opcję **Generator** w polu **Źródło sygnału** i w tym trybie wykonać pomiary.*

Scharakteryzować element X3.

Zad. 3.2. Połączyć układ zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys. 6.9. Korzystając z programu komputerowego **Pomiary automatyczne** do automatycznego wyznaczania charakterystyk elementów – zakładka ***(AC) Charakterystyki częstotliwościowe*** – wyznaczyć charakterystykę modułu impedancji elementu **X2** w funkcji częstotliwości. W razie potrzeby zmienić wartości parametrów i powtórzyć pomiary. Wyznaczoną charakterystykę zamieścić w protokole.

Jaki charakter ma element X2? Obliczyć wartość jego charakterystycznego parametru (pojemności lub indukcyjności). Jeżeli to możliwe, zmierzyć ten parametr za pomocą multimetru i porównać z obliczoną wartością.

Zadanie 4. Badanie szeregowego połączenia elementów R, L, C.

☞ **Zad. 4.1.** Na podstawie wzoru wyprowadzonego w ramach zadania domowego obliczyć częstotliwość rezonansową f_0 szeregowego połączenia elementów **R**, **L**, **C** o wartościach podanych przez Prowadzącego.

☞ Połączyć układ zgodnie ze schematem przedstawionym na Rys. 6.10. Korzystając z programu komputerowego **Pomiary automatyczne** do automatycznego wyznaczania charakterystyk elementów – zakładka ***(AC) Charakterystyki częstotliwościowe*** – wyznaczyć charakterystykę modułu impedancji szeregowego połączenia elementów **R**, **L**, **C** w funkcji częstotliwości w otoczeniu obliczonej częstotliwości f_0. W razie potrzeby zmienić wartości parametrów i powtórzyć pomiary. Wyznaczoną charakterystykę zamieścić w protokole.

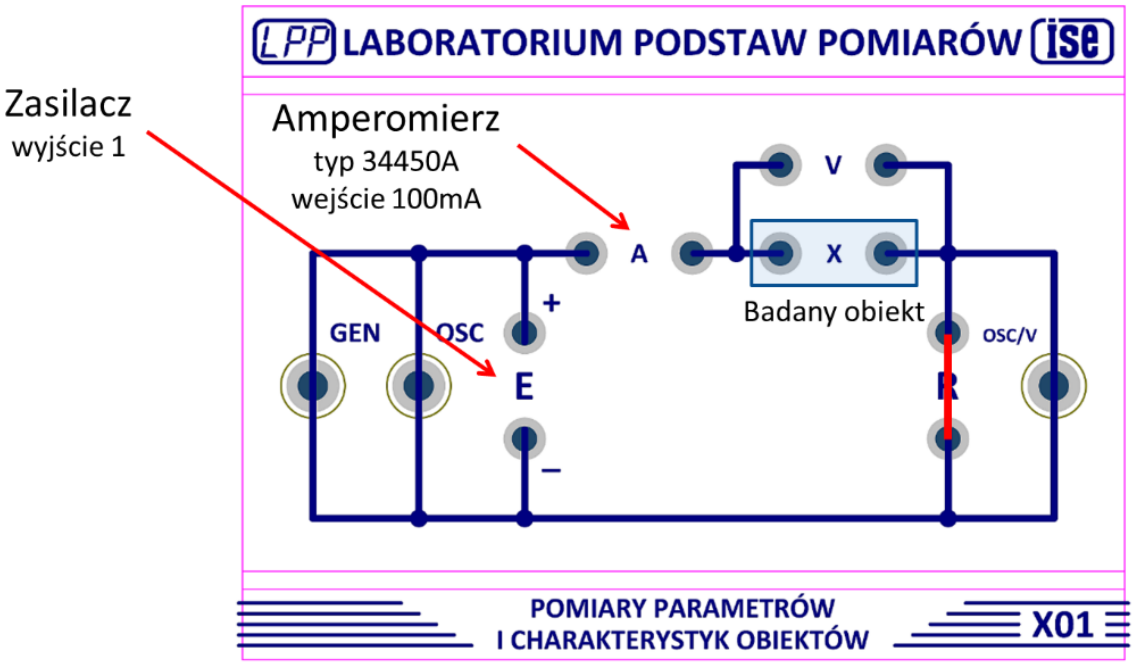
! ***Porównać częstotliwość, przy której występuje minimum wyznaczonej charakterystyki, z obliczoną wartością f_0.***

☞ **Zad. 4.2.** W generatorze ustawić sygnał sinusoidalny o częstotliwości bliskiej f_0 i wartości międzyszczytowej U_{pp} podanej przez Prowadzącego (pamiętać o wstępnym ustawieniu parametru ***High Z***).

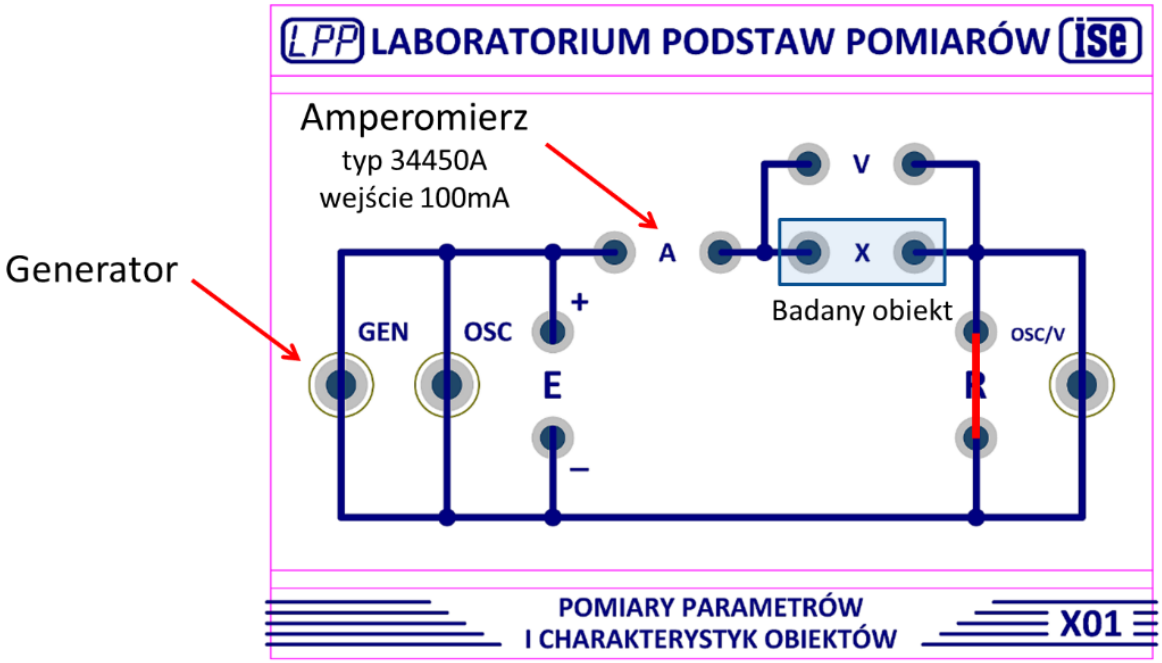
☞ Za pomocą multimetru **34450A** zmierzyć wartość skuteczną napięcia U_{RLC} na szeregowym połączeniu elementów **R**, **L**, **C**, a następnie na każdym z elementów składowych (U_R, U_L i U_C). Wyniki zamieścić w tabeli. Obliczyć sumę wartości skutecznych napięcia na poszczególnych elementach i porównać ją z wartością U_{RLC}.

! ***Wyjaśnić zaobserwowaną różnicę. Można skorzystać z aplikacji Demo_10 (zakładka „Dwójniki RLC”).***

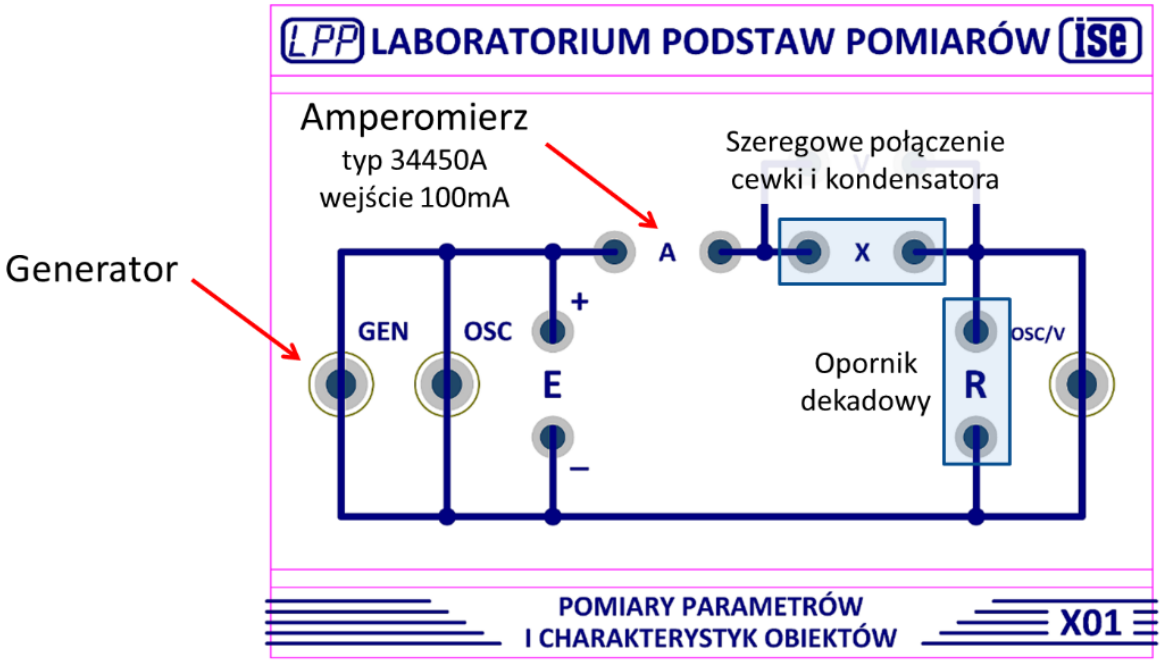
☞ Powtórzyć pomiary przy innej częstotliwości (np. $f = 2f_0$) i skomentować wyniki.



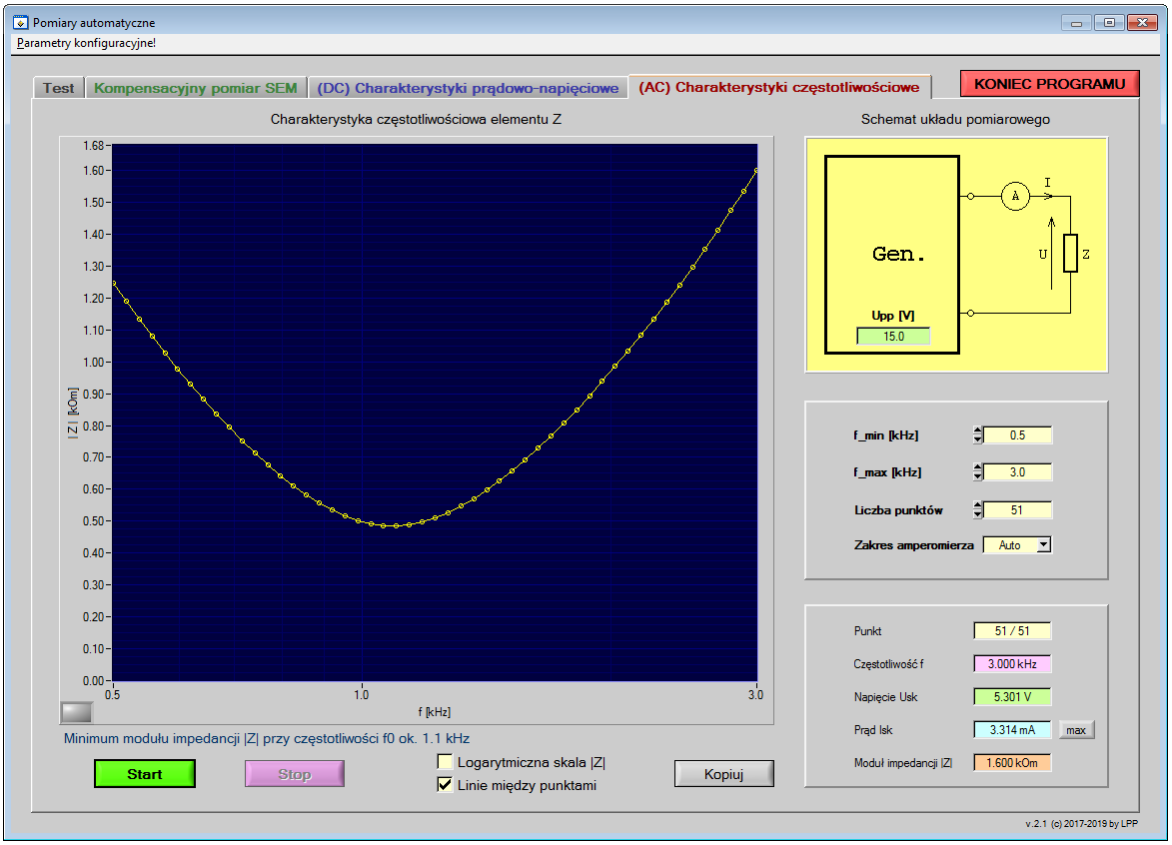
Rys. 6.8. Schemat połączeń przy automatycznym wyznaczaniu charakterystyk prądowo-napięciowych



Rys. 6.9. Schemat połączeń przy automatycznym wyznaczaniu charakterystyk częstotliwościowych



Rys. 6.10. Schemat połączeń przy automatycznym wyznaczaniu charakterystyki częstotliwościowej szeregowego połączenia cewki indukcyjnej, kondensatora i rezystora



Rys. 6.11. Przykładowa charakterystyka częstotliwościowa elementu rezonansowego

Pytania kontrolne

1. Co nazywamy obiektem pomiarowym? Podaj kilka przykładów.
2. W jakim celu wyznaczamy charakterystyki obiektów?
3. Czy pomiary tego samego parametru obiektu zawsze dają takie same wyniki? Odpowiedź uzasadnij.
4. Na czym polega pomiar bezpośredni, a na czym pośredni? Podaj kilka przykładów pomiarów bezpośrednich i pośrednich.
5. Wymień dwa proste obiekty (elementy) elektryczne i napisz, jakie ich parametry możemy zmierzyć.
6. Co nazywamy impedancją obiektu i w jaki sposób wyznaczamy jej moduł?
7. Opisz procedurę wyznaczania charakterystyki prądowo-napięciowej obiektu.
8. Opisz procedurę wyznaczania charakterystyki częstotliwościowej $|Z| = \varphi(f)$ obiektu.
9. Jak zachowuje się moduł impedancji cewek, a jak kondensatorów przy wzroście częstotliwości?
10. Jak zachowuje się moduł impedancji cewek, a jak kondensatorów przy spadku częstotliwości?
11. Dla jakich częstotliwości można uznać, że kondensator stanowi rozwarcie w obwodzie? Odpowiedź uzasadnij.
12. Dla jakich częstotliwości można uznać, że kondensator stanowi zwarcie w obwodzie? Odpowiedź uzasadnij.
13. Dla jakich częstotliwości można uznać, że cewka stanowi rozwarcie w obwodzie? Odpowiedź uzasadnij.
14. Dla jakich częstotliwości można uznać, że cewka stanowi zwarcie w obwodzie? Odpowiedź uzasadnij.
15. Ile co najmniej pomiarów należy wykonać, by ustalić, czy charakterystyka elementu jest nieliniowa? Odpowiedź uzasadnij.
16. Narysuj charakterystykę prądowo-napięciową dla rezystora o rezystancji 1 kΩ w zakresie napięć 1 – 10 V.

17. W układzie zrealizowanym z wykorzystaniem modułu **X01** na badanym elemencie zmierzono napięcie 10,000 V, natomiast na połączonym z nim rezystorze wzorcowym o rezystancji 100 Ω napięcie równe 900,0 mV. Jaka jest rezystancja badanego elementu? Jakie byłyby wyniki pomiarów, gdyby użyto wzorcowego rezystora 1 kΩ? (Zakładamy, że badanym elementem jest rezystor).

18. W układzie z Rys. 6.3 dla częstotliwości 1,000 kHz i wartości skutecznej napięcia 5,000 V zmierzono prąd o wartości skutecznej 20,00 mA. Jaki jest moduł impedancji badanego elementu?

19. Czy za pomocą omomierza można odróżnić cewkę od kondensatora? Odpowiedź uzasadnij.

20. Czy za pomocą omomierza można odróżnić cewkę od rezystora:
    a) o małej wartości?
    b) o dużej wartości?

    Odpowiedź uzasadnij.

21. Czy na podstawie pojedynczego pomiaru modułu impedancji nieznanego elementu, który może być kondensatorem lub cewką, można stwierdzić co to za element? Odpowiedź uzasadnij.

22. W układzie z Rys. 6.3 dla częstotliwości 1,000 kHz i wartości skutecznej napięcia 5,000 V zmierzono prąd 20,00 mA, a dla częstotliwości 2,000 kHz – prąd 40,00 mA. Jaka jest wartość modułu impedancji badanego elementu dla tych częstotliwości? Co to za element? Wyznacz jego pojemność lub indukcyjność.

23. W układzie z Rys. 6.3 dla częstotliwości 1,000 kHz i wartości skutecznej napięcia 5,000 V zmierzono prąd 20,00 mA, a dla częstotliwości 2,000 kHz – prąd 10,00 mA. Jaka jest wartość modułu impedancji badanego elementu dla tych częstotliwości? Co to za element? Wyznacz jego pojemność lub indukcyjność.

24. W układzie z Rys. 6.3 dla częstotliwości 1,000 kHz i wartości skutecznej napięcia 5,000 V zmierzono prąd 20,00 mA, a dla napięcia stałego o tej samej wartości – prąd 10,00 mA. Jaka jest wartość modułu impedancji badanego obiektu? Co to za obiekt, jeżeli stanowi on połączenie dwóch elementów, z których jeden jest rezystorem? Czy jego określenie jest jednoznaczne? Odpowiedź uzasadnij.

25. Jaką indukcyjność musi mieć cewka, aby jej moduł impedancji był równy modułowi impedancji kondensatora o pojemności 1 μF dla częstotliwości:

    a) 100 Hz
    b) 1 kHz
    c) 10 kHz

26. Jaką pojemność musi mieć kondensator, aby jego moduł impedancji był równy modułowi impedancji cewki o indukcyjności 1 mH dla częstotliwości:
    a) 100 Hz
    b) 1 kHz
    c) 10 kHz
27. Jak zmienia się moduł impedancji elementu rezonansowego w funkcji częstotliwości?
28. Co to jest częstotliwość rezonansowa?

Zadania domowe

Zadanie 1

Wyprowadź wzór na częstotliwość f_0, przy której moduł impedancji szeregowego połączenia rezystora, cewki indukcyjnej i kondensatora (dwójnika RLC) przyjmuje najmniejszą wartość.

Zadanie 2

Wyprowadź wzory na wartości zespolone napięć na elementach R, L i C przy pulsacji ω_0, odpowiadającej częstotliwości f_0, jeżeli do szeregowego połączenia tych elementów doprowadzono sygnał sinusoidalny o amplitudzie U_m: $u_{RLC}(t) = U_m \cos \omega_0 t$.

Oblicz częstotliwość f_0 oraz wartości napięć U_{RLC}, U_R, U_L i U_C wskazane przez woltomierz wartości skutecznych przy częstotliwości f_0 dla następujących danych:

$U_m = 5$ V
$R = (500 + a)\ \Omega$
$L = 100$ mH
$C = 100$ nF

gdzie a oznacza liczbę odpowiadającą dwóm ostatnim cyfrom numeru albumu.