



Ćwiczenie 1

Pomiar przemieszczeń liniowych na przykładzie przetwornika LVDT

1. Cel ćwiczenia

Poznanie właściwości indukcyjnościowych sensorów przemieszczeń liniowych. Realizacja typowych układów pracy, oraz sprawdzenie wpływu parametrów zasilania na pracę sensora LVDT (ang. *Linear Variable Differential Transformer*). Analiza charakterystyk amplitudowych i fazowych sensora przemieszczeń liniowych w warunkach normalnej pracy.

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczenia student zobowiązany jest do przyswojenia wiedzy teoretycznej znajdującej się w literaturze przedmiotu ze szczególnym uwzględnieniem dwóch pozycji: „Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych” autorstwa A. Michalski, S. Tumański, B. Żyła. oraz „Przetworniki i Sensory” autorstwa A. Michalskiego.

2. Przebieg ćwiczenia

Zadaniem studentów jest samodzielne zestawienie układów pomiarowych oraz wykonanie pomiarów i zebranie charakterystyk zgodnie z programem ćwiczenia, jak również opracowanie sprawozdania końcowego z przygotowaniem odpowiedzi na pytania postawione w poniższej instrukcji.

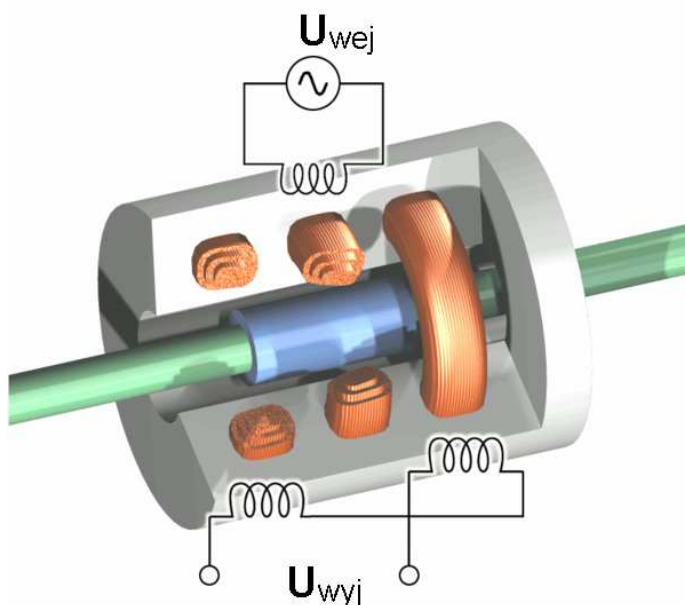
Uwaga: Po zestawieniu układu pomiarowego, przed przystąpieniem do dalszej pracy konieczne jest sprawdzenie i akceptacja układu pomiarowego przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne.

2.1 Stanowisko pracy

Do realizacji ćwiczenia przeznaczone jest stanowisko wyposażone w:

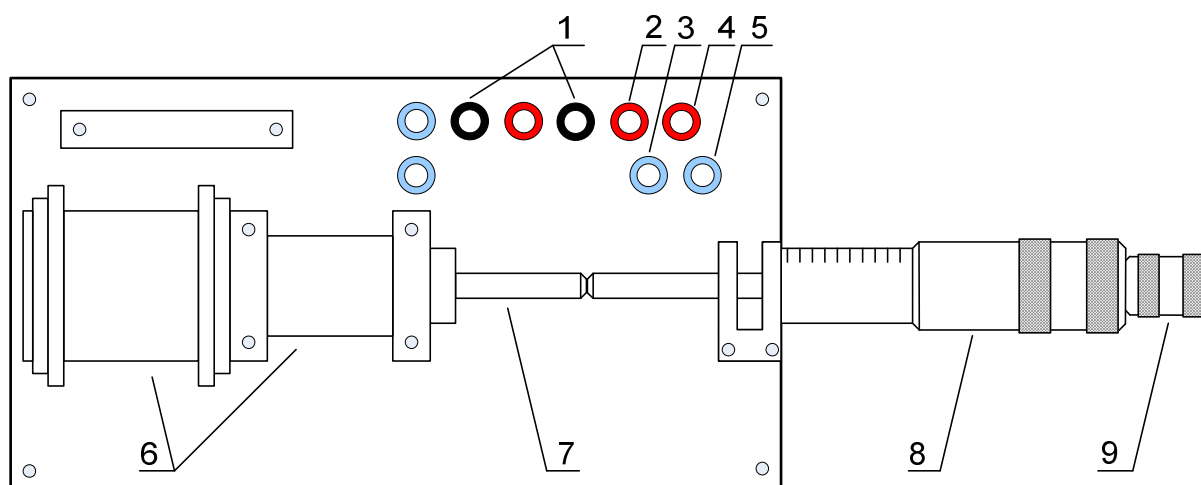
- Czujnik LVDT
- Generator mocy
- Multimetr laboratoryjny – 3 szt.
- Analizator transmitancji
- Komputer PC z oprogramowaniem pozwalającym na przedstawienie wyników pomiarów w sposób graficzny oraz wspomagającym wykonanie sprawozdania końcowego.
- Instrukcje wykonania ćwiczenia

Kluczowym elementem dla przebiegu ćwiczenia jest transformatorowy czujnik przemieszczeń liniowych pracujący w układzie różnicowym. Budowa czujnika została przedstawiona na rysunku nr 1.



Rys. 1. Przekrój czujnika indukcyjnościowego LVDT

W ćwiczeniu czujnik ten został zamontowany na stelażu zintegrowanym z śrubą mikrometryczną w celu łatwego wyskalowania, oraz z zaciskami transformatora wyprowadzonymi na płytę podstawy. Poglądowy schemat czujnika funkcjonującego w ćwiczeniu przedstawia rysunek 2.



9 – sprzęgło mikrometru

Rys. 2. Schemat poglądowy układu czujnika indukcyjnościowego używanego w ćwiczeniu (1 – zaciski uzwojenia pierwotnego transformatora, 2 – początek pierwszego uzwojenia wtórnego, 3 – koniec pierwszego uzwojenia wtórnego, 4 – początek drugiego uzwojenia wtórnego, 5 – koniec drugiego uzwojenia wtórnego, 6 – transformator LVDT, 7 – element ruchomy połączony z rdzeniem transformatora LVDT, 8 – mikrometr)

2.2 Wyznaczenie charakterystyki przetwarzania czujnika transformatorowego

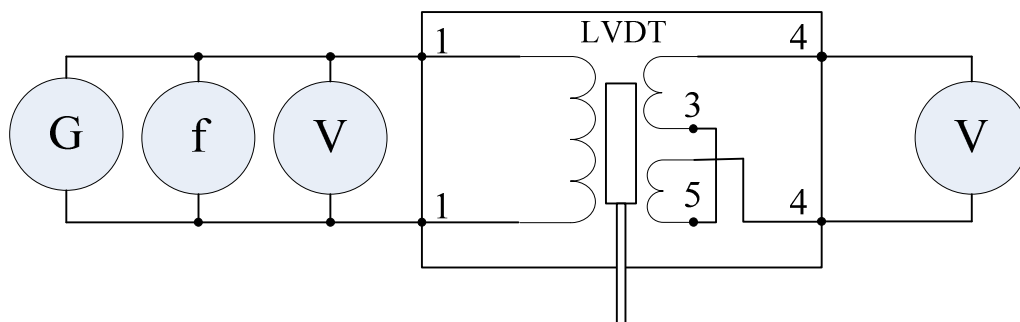
Podstawowa charakterystyka przetwarzania czujnika transformatorowego przedstawia zależność wartości napięcia wyjściowego w funkcji zmiany położenia rdzenia ferromagnetycznego. W celu wyznaczenie charakterystyki należy zestawić przyrządy pomiarowe oraz czujnik zgodnie z schematem przedstawionym na rysunku 3. W ćwiczeniu czujnik transformatorowy będzie pracował

w układzie różnicowy, w związku z czym należy zewrzeć końce (lub początki) uzwojeń wtórnych transformatora tak jak jest to przedstawione na schemacie.

O ile prowadzący nie zaleci inaczej sygnał wejściowy czujnika ma mieć następujące parametry

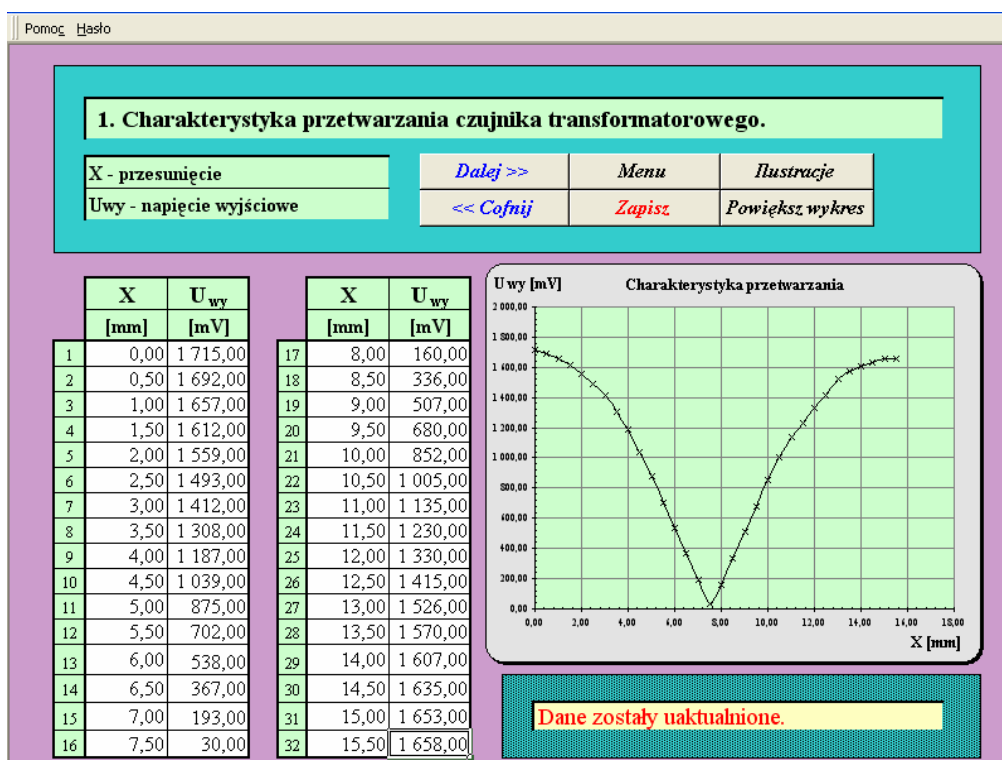
- kształt sinusoidalny,
- wartość skuteczna napięcia $U_G = 12V$,
- częstotliwość sygnału 300 Hz.

Aby dokładność pomiarów była wystarczająca do otrzymania miarodajnych wyników zarówno wartość napięcia jak i częstotliwość sygnału powinny być utrzymywane na stałym uprzednio ustalonym poziomie. Przed dokonaniem odczytu należy sprawdzić wartości parametrów napięcia zasilającego (amplituda i częstotliwość). W razie konieczności należy ponownie ustawić żądane wartości.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia charakterystyki przetwarzania czujnika transformatorowego, różnicowego LVDT (numeracja zacisków zgodna z rys.2)

Oprogramowanie wspomagające prace przy badaniu parametrów czujnika indukcyjnościowego ma postać arkusza kalkulacyjnego z odpowiednim interfejsem graficznym. Uruchomienie następuje za pośrednictwem ikony umieszczonej na pulpicie. Po wprowadzeniu danych osobowych oraz przejściu testu początkowego, uzyskiwany jest dostęp do panelu (rys. 4) umożliwiającego wprowadzenie wyników pomiarów związanych z wyznaczeniem charakterystyki $U_{wy}=f(X)$.



Rys. 4. Panel wspomagający wyznaczenie charakterystyki przetwarzania czujnika

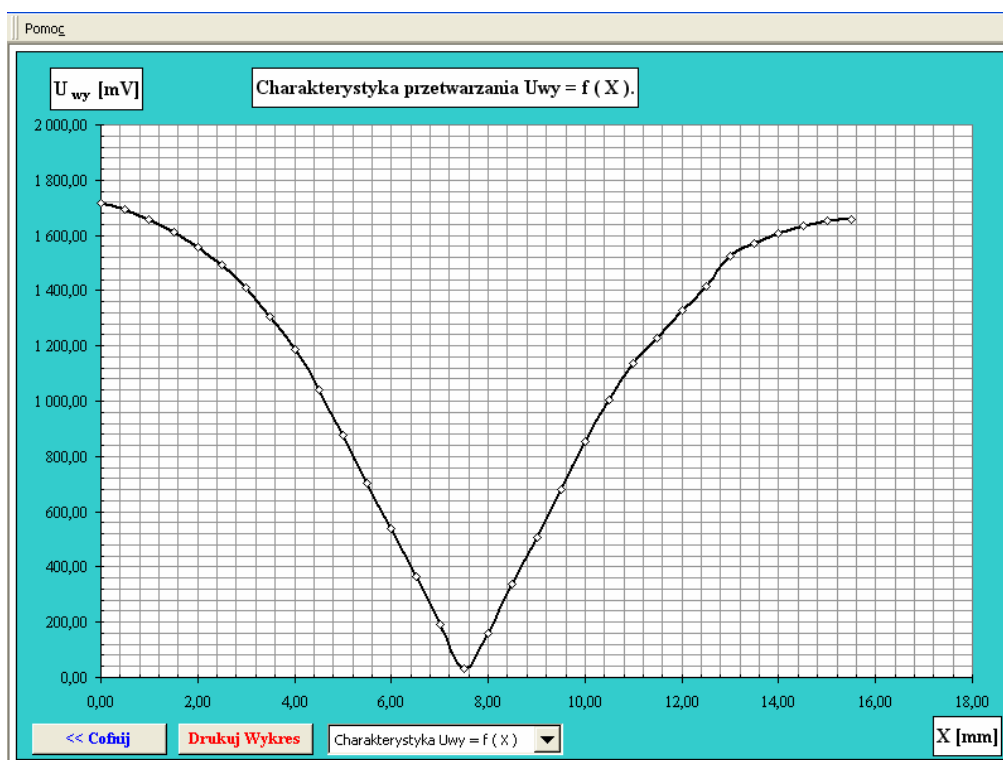
W celu wyznaczenia charakterystyki należy:

- Ustawić trzpień śruby mikrometrycznej połączony z rdzeniem ferromagnetycznym transformatora w jedno ze skrajnych położzeń;
- Wyznaczyć charakterystykę metodą punkt po punkcie. Wartości przesunięcia mogą być podawane w formacie bezwzględny jako odczyt wielkości z mikrometru lub jako przesunięcie względne (jak ma to miejsce na rysunku 4);
- Jednorazowy skok przesunięcia rdzenia powinien znajdować się w przedziale od 0,5 do 1 mm. Przesunięcie rdzenia transformatora dokonywane jest w sposób pośredni przez zmianę położenia śruby mikrometru, której przesunięcia należy dokonywać za pomocą sprzęgła mikrometru;



- Punkty pomiarowe winny być rozłożone równomiernie, obligatoryjnie powinien być dokonany pomiar w punkcie X_0 odpowiadającym napięciu U_0 (przesunięcie, przy którym wartość U_{wy} jest minimalna). Wartość tą należy wyznaczyć z możliwie największą dokładnością;
- Charakterystyka przetwarzania $U_{wy}=f(X)$ ma się składać obligatoryjnie z 32 punktów.

Po wykonaniu pomiarów i wpisaniu ich do formularza, istnieje możliwość wydrukowania charakterystyki naciskając klawisz **Powiększ wykres** (rys. 5). Druk rozpoczynamy przyciskiem **Drukuj wykres**. Charakterystyka przedstawiona na rys. 5 jest typową rzeczywistą charakterystyką przetwarzania badanego czujnika.



Rys 5 Panel edycji i wydruk charakterystyk (z rzeczywistą charakterystyką przetwarzania $U_{wy} = f(X)$ badanego czujnika)

Problemy:

1. Czy uzyskana charakterystyka jest poprawna – jeśli nie, pomiary należy powtórzyć?

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

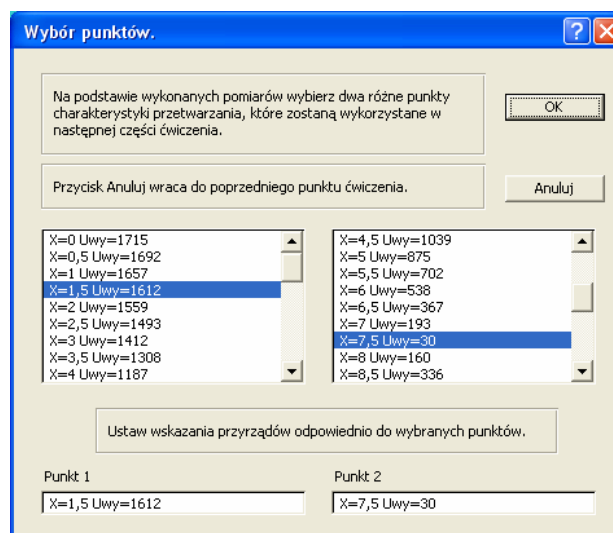


2. Dlaczego uzyskana charakterystyka odbiega od charakterystyki idealnej przetwornika LVDT, co można zrobić aby zbliżyć charakterystykę do idealnej?
3. Jakie informacje niesie powyższa charakterystyka, co dzięki niej można określić?

Po wydrukowaniu charakterystyki należy naciskając przycisk **Cofnij** przejść do poprzedniego panelu a następnie naciskając przycisk **Dalej** przejść do kolejnej części ćwiczenia.

2.3 Wpływ częstotliwości napięcia zasilającego na pracę czujnika

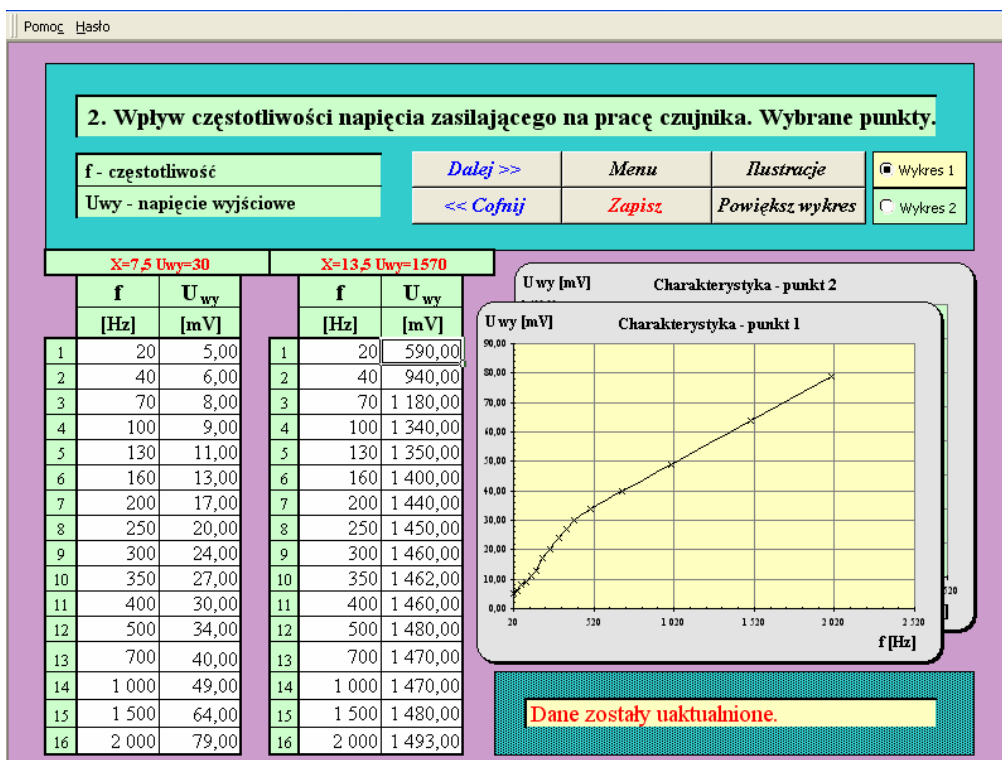
Następnym punktem realizowanym w ćwiczeniu jest zbadanie wpływu częstotliwości napięcia zasilania na pracę czujnika indukcyjnościowego. W tym celu należy wyznaczyć dwie charakterystyki $U_{wy} = f(f_{zas})$ dla $X = constans$. Przy dwóch charakterystycznych położeniach rdzenia. Jednym z położeni musi być położenie X_0 drugi punkt X_1 powinien znajdować się na części roboczej charakterystyki (zakres liniowy) mniej więcej pod koniec zakresu pomiarowego. Powyższe punkty wybiera się za pomocą panelu przedstawionego na rysunku 6.



Rys. 6. Panel wyboru punktów

Po wyborze i akceptacji punktów następuje, przejście naciskając przycisk **OK** do panelu

wyznaczenia wpływu częstotliwości sygnału zasilającego na parametry pracy czujnika (rys. 7).



Rys. 7. Panel wspomagający wyznaczenie wpływu częstotliwości zasilania na pracę czujnika

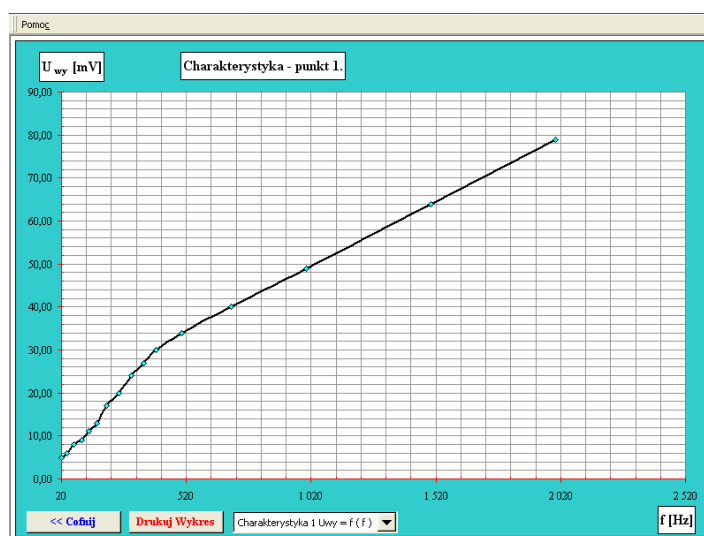
O ile prowadzący nie zaleci inaczej, aby wyznaczyć charakterystykę $U_{wy} = f(f_{zas}) / X = constans$ należy:

- Zestawić układ pomiarowy zgodnie z schematem przedstawionym na rysunku nr 3;
- Za pomocą mikrometru ustawić wcześniej wybrane położenie „X” rdzenia;
- Ustawić wartość skuteczną sygnału wyjściowego generatora zasilającego $U_G = 12V$;
- Zmieniać zakres częstotliwości sygnału z generatora w zakresie 20 – 2000 Hz;
- Po każdorazowej zmianie częstotliwości, sprawdzić czy napięcie wyjściowe generatora $U_G=12V$, jeśli nie wyregulować napięcie do żądanej wartości;
- Charakterystyka ma się składać z 16 punktów, wskazane jest zagęszczenie pomiarów w przedziale 0 – 1000 Hz.

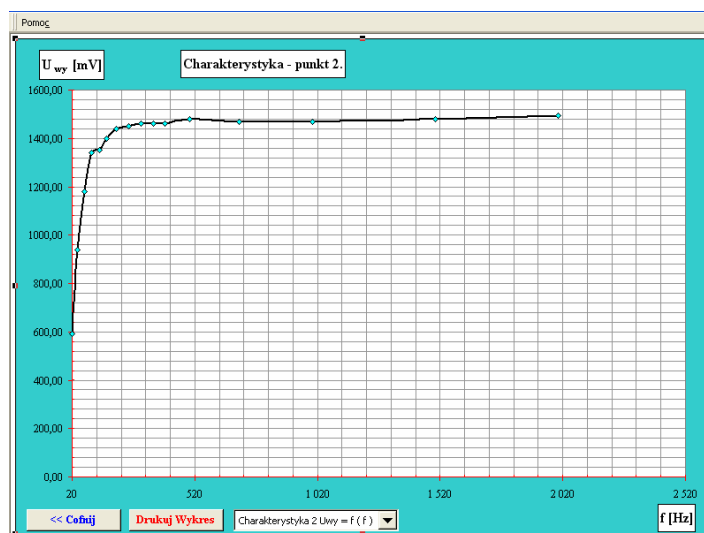


Oczekiwane przebiegi wyznaczonych charakterystyk przedstawiono na Rys. 8. Rysunek 8a przedstawia przebieg charakterystyki dla punktu $X = 7.5$ mm (punkt X_0), zaś Rys. 8b dla punktu $X_1 = 13.5$ mm.

a)



b)



Rys. 8. Rzeczywiste charakterystyki $U_{wy} = f(f_{zas})/ X = constans$ (wybranych punktów)

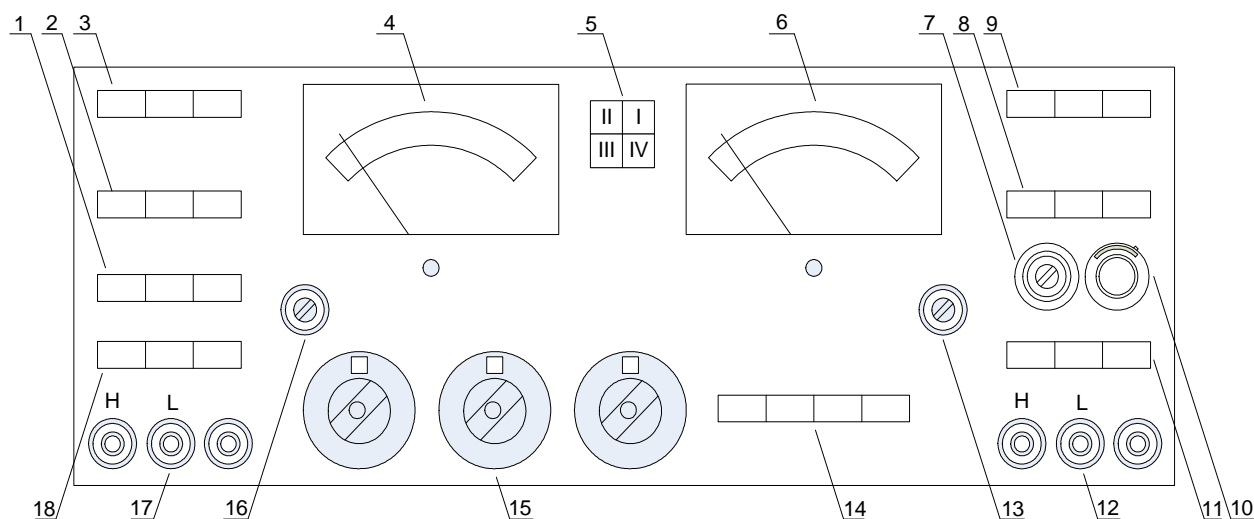
Problemy

1. W oparciu o uzyskane charakterystyki należy wybrać optymalną częstotliwość napięcia zasilającego. Słowo optymalną należy rozumieć jako taką, przy której czujnik ma minimalną wartość napięcia U_0 (położenie rdzenia w punkcie U_0) i jednocześnie spadek czułości jest minimalny.

Po wyznaczeniu charakterystyki dla obu wybranych punktów należy przejść do ekranu umożliwiającego druk (naciskając przycisk **Powiększ wykres**) uprzednio zaznaczając żądany wykres. Druk zaczynamy naciskając przycisk **Drukuj wykres** i następnie przechodzimy do następnego punktu, przycisk **Dalej**

2.4 Wyznaczenie zależności kąta przesunięcia fazowego między U_{we} a U_{wy}

Do wyznaczenia zależności kąta przesunięcia fazowego w ćwiczeniu został użyty Analizator Transmitancji typu 272. Przyrząd ten jest wyposażony w generator oraz układ woltomierzy fazoczułych pozwalających na analizę transmitancji poprzez rozdzielenie sygnału wejściowego na układ woltomierzy toru R (dziedzina liczb rzeczywistych) i toru Q (dziedzina liczb urojonych). Płyta przednia przyrząd z opisem najważniejszych elementów została przedstawiona na rysunku 9.



Rys. 9. Płyta czołowa analizatora transmitancji typu 272



Opis elementów regulacyjnych znajdujących się na płycie czołowej

1. 10mV, 1V, 100V – przełącznik zakresów czułości odpowiadający pełnemu wychyleniu mierników 4 i 6.
2. D.C., A.C., GENER OUTPUT MEASURE – przełączniku rodzaju wejścia oraz pomiar napięcia wyjściowego generatora:
 - a. Gdy klawisze D.C. i A.C. znajdują się w położeniu spoczynkowym, sygnał wejściowy jest przekazywany na wejście przedwzmacniacza przez kondensator o pojemności 0,1 μ F. Ten przypadek sprzężenia dla sygnałów przemiennych może być wykorzystany dla częstotliwości większych niż 10Hz.
 - b. Wciśnięcie klawisza D.C. zapewnia odpowiednie sprzężenie dla sygnałów nie zawierających składowej stałej.
 - c. Wciśnięcie klawisza A.C. zapewnia odpowiednie sprzężenia dla sygnałów w zakresie od 0,01Hz do 100Hz w przypadku istnienia składowej stałej w sygnale.
 - d. Wciśnięcie klawisza GENER. OUTPUT MEASURE umożliwia pomiar napięcia wyjściowego generatora bez konieczności dokonywania przełączeń w zewnętrznym układzie pomiarowym.
3. MAINS, R, Q, EXPANDER;
 - a. MAINS – włącznik i wyłącznik zasilania sieci.
 - b. R, Q, EXPANDER – wciśnięcie jednego z wymienionych klawiszy powoduje dziesięciokrotne zwiększenie czułości toru R lub Q
4. Miernik toru R.
5. Wskaźnik ćwiartki – wskaźnik żarówkowy, określający ćwiartkę, w której znajduje się wektor mierzonego sygnału w układzie współrzędnych prostokątnych.
6. Miernik toru Q.
7. AMPLITUDE/PEAK/ regulacja amplitudy sygnałów wyskalowana orientacyjnie w wartościach szczytowych.



8. Przełącznik rodzaju sygnału wyjściowego, gdy wszystkie klawisze są w położeniu spoczynkowym wyjściowy sygnał przemienny jest równy zero.
9. 0,8Hz; 8mHz; x0,1 – SELECTIVITY – przełącznik selektywności obu torów R i Q.
- 10. Przed włączeniem zasilania przyrządu należy sprawdzić czy klawisz 0,8Hz jest wciśnięty.**
11. D.C.COMP. – regulacja składowej stałej.
12. 0dB, -20dB, -40dB – przełączniki tłumika sygnału wyjściowego generatora dla składowej zmiennej i stałej. Gdy wszystkie klawisze są w położeniu spoczynkowym tłumienie sygnału wynosi - 60dB.
13. Zaciski wyjściowe sygnału z generatora.
14. Zerowanie toru Q.
15. 10 kHz, 1 kHz, 100 Hz, 10 Hz – przełącznik podzakresów częstotliwości.
16. Obrotowe nastawy częstotliwości.
17. Zerowanie toru R.
18. Zaciski wejściowe układu pomiarowego.
19. 10mV, 1V, 100V – przełącznik zakresów czułości odpowiadający pełnemu wychyleniu wskazówek mierników.

Przed przystąpieniem do pracy analizator transmitancji musi zostać odpowiedni skalibrowany.

Przygotowanie przyrządu do pracy należy przeprowadzić zgodnie poniższym opisem

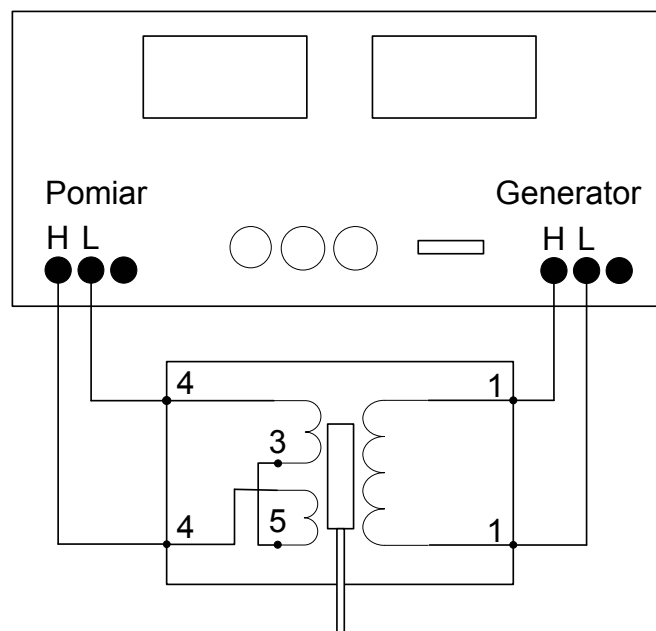
1. Sprawdzić czy ustalenie przełącznika zasilania odpowiada napięciu lokalnej sieci.
2. Sprawdzić czy jest wciśnięty klawisz 0,8Hz przełącznika SELECTIVITY.
3. Włączyć zasilanie klawiszem MAINS. Żarówki wskaźnika ćwiartki i pokręteł nastaw częstotłościomierza powinny się świecić.
4. Ustalić żadaną częstotliwość za pomocą pokręteł dekadowych i cztero-klawiszowego przełącznika zakresów częstotliwości.
5. Odczekać kilka minut na ustabilizowanie się warunków pracy przyrządu.



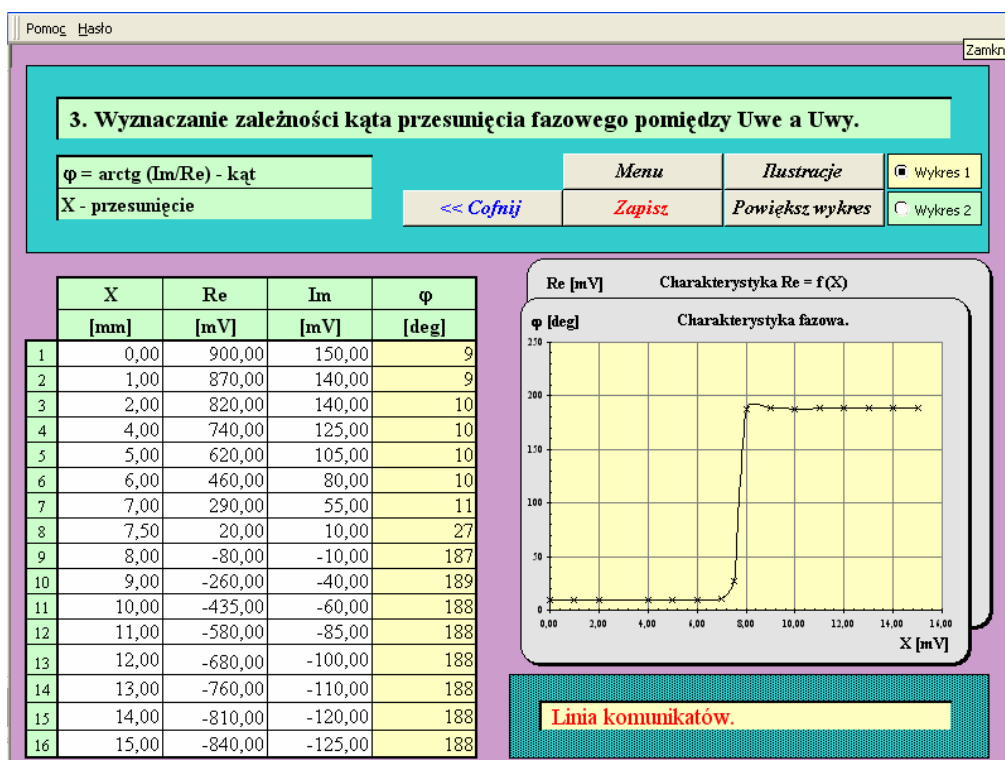
6. Sprawdzić zerowanie mierników wychyłowych przy wciśniętym klawiszu GENER.OUTPUT MEASURE. Klawisze przełącznika rodzaju sygnału powinny znajdować się w położeniu spoczynkowym. Po poprawnym wyzerowaniu mierników żarówki wskaźnika ćwiartki powinny migotać lub świecić się równocześnie.
7. Nacisnąć klawisz odpowiadający za kształt fali sinusoidalnej i za pomocą regulacji AMPLITUDE i przełącznika tłumika wyjściowego ustalić żądane napięcie wejściowe
8. Sprawdzić czy pokrętko D.C.COMP. znajduje się w położeniu zerowym lub ustawić żadaną wartość składowej stałej. Obrót tego pokrętła w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara powoduje pojawienie się dodatniej składowej stałej na zacisku H w stosunku do zacisku L.
9. Połączyć wyjście generatora z badanym układem i doprowadzić sygnał z wyjścia układu do wejścia przyrządu. Wskazania wskaźnika ćwiartki będą poprawne tylko wówczas gdy sygnał z zacisku H zostanie doprowadzony po przejściu przez badany układ do zacisku wejściowego H . To samo dotyczy zacisków L. W przypadku skrzyżowania połączeń do wskazań wskaźnika ćwiartki należy dodać lub odjąć 180° w celu poprawnego ustalenia w badanym układzie przesunięcia fazy.
10. Dobrać właściwy zakres czułości i zwolnić klawisz GENER. OUTPUT MEASURE. Ponownie wyzerować miernik zwalniając klawisz odpowiadający za kształt fali sinusoidalnej.
11. Obwód wejściowy miliwoltomierzy oraz mierniki wychyłowe są zabezpieczone elektronicznie przed przeciążeniem. Obwód wejściowy jest zabezpieczony bezpiecznikiem topikowym, który może ulec przepaleniu w przypadku przyłożenia do zacisków wejściowych napięcia większego niż 15V ze źródła o małej rezystancji przy czułości 10 lub 30 mV. Mierniki wychyłowe zabezpieczone są za pomocą układów elektronicznych ograniczających przeciążenie na poziomie 115% pełnego wychylenia.

Po skalibrowaniu analizatora można przejść do dalszych badań. W celu wyznaczenia zmian kąta przesunięcia fazowego (między U_{we} a U_{wy}) w funkcji przesunięcia rdzenia czujnika należy:

- Zestawić układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 10;
- Wybrać falę sinusoidalną jako kształt sygnału wyjściowego z generatora;
- Ustawić amplitudę sygnału wyjściowego na 12V;
- Sprawdzić wyzerowanie analizatora wciskając przycisk GENER. OUTPT MEASURE;
- Ustawić trzpień połączony z rdzeniem czujnika LVDT w skrajne położenie;
- Zebrać charakterystykę metodą punkt po punkcie – przyjmując rozdzielczość przesunięcia 1mm;
- Wykonać pomiar dla przesunięcia X_0 ;
- Poprawnie wyznaczona charakterystyka powinna składać się z 16 punktów.
- Wyniki pomiarów notować i wpisywać do panelu wspomagającego wyznaczenie charakterystyk przedstawionego na rysunku 11.



Rys. 10. Schemat układu pomiarowego do analizy transmitancji czujnika LVDT

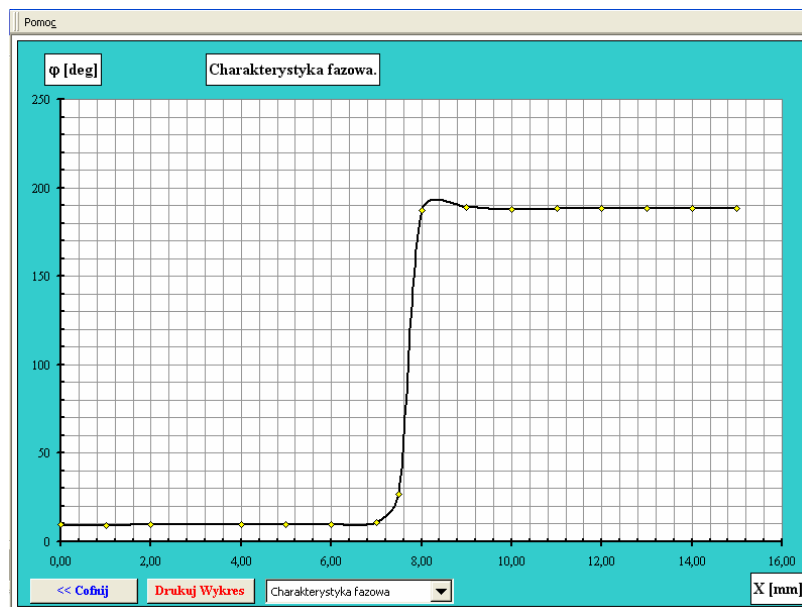


Rys. 11. Panel wspomagający wyznaczenie zależności kąta przesunięcia fazowego w funkcji przesunięcia rdzenia czujnika LVDT

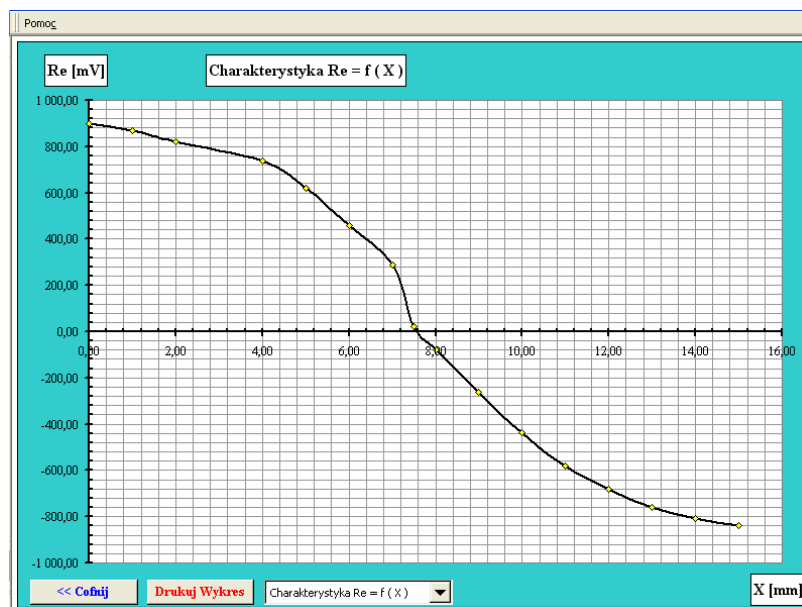
- Po wykonaniu pomiarów i weryfikacji poprawności, wydrukować charakterystyki
 - $\phi=f(X)$;
 - $Re=f(X)$;

Przykładowe rzeczywiste charakterystyki $\phi=f(X)$ oraz $Re=f(X)$ badanego czujnika znajdują się na się na rysunku 12.

a) charakterystyka fazowa $\phi=f(X)$



b) charakterystyka $Re=f(X)$



Rys 12. Rzeczywiste charakterystyki $\phi=f(X)$ oraz $Re=f(X)$ badanego czujnika

Problemy, które winny być skomentowane w sprawozdaniu końcowym:

1. Uzasadnić kształt uzyskanych charakterystyk.
2. Jaką informację niosą wyznaczone charakterystyki?
3. Czy znane ci są inne „urządzenia , układy” pozwalające wyznaczyć zależność między fazą napięcia wejściowego a wyjściowego.
4. Jakie elementy powinny wchodzić w skład kompletnego przyrządu do pomiaru przemieszczeń liniowych opartego na przetworniku LVDT? Zaproponuj schemat blokowy.

3. Sprawozdanie

W sprawozdaniu powinny znaleźć się:

- Schematy układów pomiarowych;
- Wyniki pomiarów;
- Wydrukowane charakterystyki;
- Odpowiedzi na pytania zawarte w instrukcji;
- Wnioski własne i spostrzeżenia.

Po wykonaniu sprawozdania należy wyłączyć przyrządy pomiarowe i komputer, oraz rozłączyć układ pomiarowy. Sprawozdanie przekazać prowadzącemu zajęcia laboratoryjne.