

T04 – Charakterystyki dynamiczne – częstotliwościowe

Uwaga:

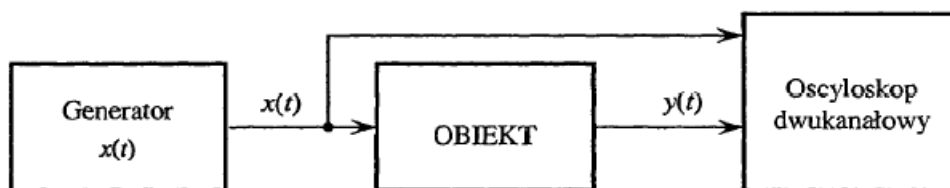
*Ten dokument stanowi jedynie **materiał uzupełniający**, który opisuje przebieg doświadczenia i wykonanie pomiarów na zajęciach laboratoryjnych. **Przed wszystkim na kartkówce obowiązuje Państwa wstęp teoretyczny przedstawiony w skrypcie w rozdziale pod tym samym tytułem.***

1. Cel i przebieg ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych danego obiektu (obwodu elektrycznego) na podstawie wykonanych pomiarów.

Sygnałem wejściowym [wymuszeniem $x(t)$] w badanym przypadku będzie sinusoidalny przebieg napięcia. Sygnałem wyjściowym [odповідzią obiektu $y(t)$] będzie również sinusoidalny przebieg napięcia, ale o innej wartości amplitudy A_2 i ponadto przesunięty w fazie o pewien kąt ϕ wobec sygnału wejściowego. W trakcie pomiarów stopniowo będzie zmniejszana wartość częstotliwości sygnału wejściowego, co spowoduje zmianę wartości powyższych parametrów. Następnie – po wykonaniu obliczeń – zostaną sporządzone wykresy pokazujące przebiegi tych parametrów w zależności od częstotliwości sygnału wejściowego.

Do wytworzenia sygnału wejściowego zostanie wykorzystany generator, a do zarejestrowania przebiegów napięcia i odczytania wartości amplitudy oraz przesunięcia fazowego – oscyloskop dwukanałowy (Rys. 1)



Rys. 1. Schemat stanowiska do wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych [1].

Zgodnie z powyższym dla danej wartości częstotliwości można zapisać:

$$x(t) = U_{WE}(t) = A_1 \sin \omega t = A_1 \sin 2\pi f t$$

$$y(t) = U_{WY}(t) = A_2 \sin(\omega t + \phi) = A_2 \sin(2\pi f t + \phi)$$

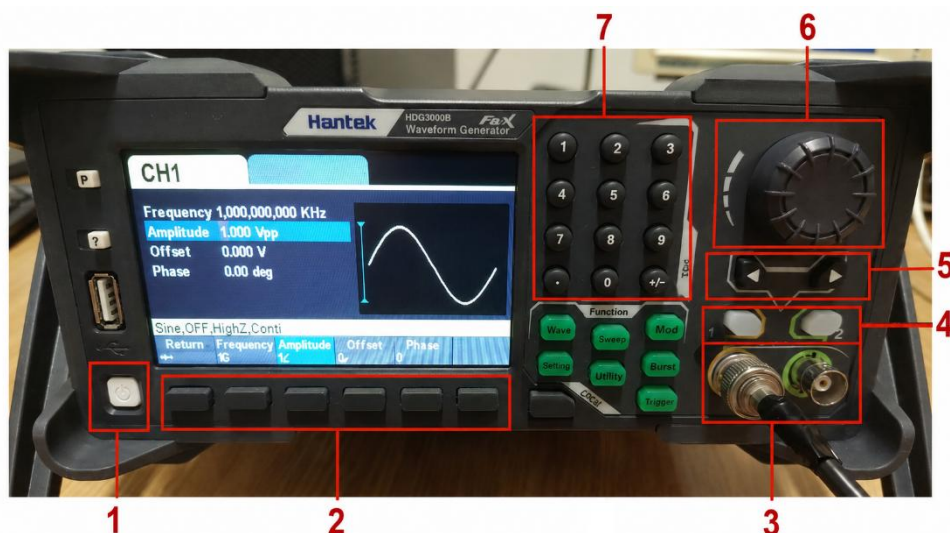
W trakcie całych pomiarów przyjmujemy stałą wartość amplitudy sygnału wejściowego A_1 . Zmieniana będzie jedynie częstotliwość sygnału wejściowego f . Ponieważ obiekt nie powoduje zmiany częstotliwości sygnału, to jej wartość dla sygnału wyjściowego będzie taka sama jak dla sygnału wejściowego. Zatem do wyznaczenia za pomocą oscyloskopu pozostają jedynie parametry A_2 oraz ϕ .

2. Aparatura pomiarowa

W laboratorium dostępny jest jeden typ generatora i dwa typy oscyloskopów. O tym, który z nich będzie dostępny decyduje prowadzący. Oscyloskopy mają dwa kanały:

- 1) Channel 1 (CH1), do którego podłączony jest sygnał wejściowy doprowadzany na obiekt $x(t)$
- 2) Channel 2 (CH2), do którego podłączony jest sygnał wyjściowy z obiektu $y(t)$

2.1 Generator Hantek HDG3000B



Rys. 2. Panel sterujący generatorem.

Funkcje, które będą wykorzystywane na zajęciach:

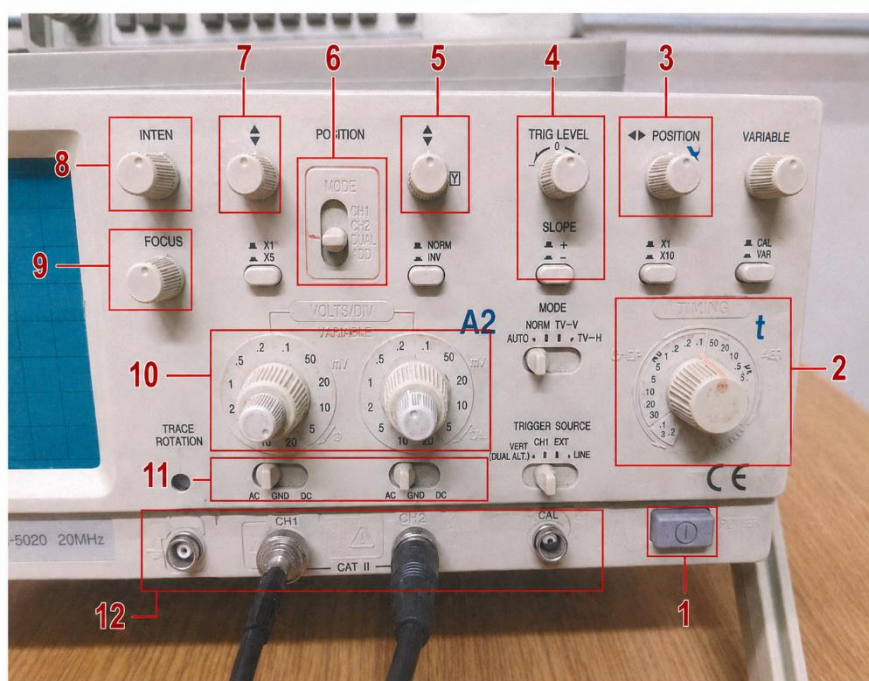
- 1 Zasilanie
- 2 Klawisze funkcyjne
- 3 Wyjścia generowanych sygnałów. Urządzenie może jednocześnie generować dwa różne sygnały. Uwaga – kanał pierwszy (CH1 - żółty) i kanał drugi (CH2 - zielony) to nie są te same kanały, co na oscyloskopie.
- 4 Przełączniki kanałów.
- 5 Klawisze kierunkowe służące do wyboru kolejnych parametrów
- 6 Pokrętko
- 7 Klawiatura numeryczna

Po uruchomieniu generatora odpowiednim klawiszem funkcyjnym należy wybierać sygnał sinusoidalny (Sine) – chyba, że będzie już ustawiony jako ostatnio używany. Podświetlona będzie linia dla częstotliwości (Frequency). Wpisać na klawiaturze numerycznej wartość z badanego przedziału i następnie wybrać klawiszem funkcyjnym rząd wielkości – mHz, Hz,

PODSTAWY AUTOMATYKI – LABORATORIUM
WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

kHz albo MHz. Następnie klawiszem funkcyjnym wybrać amplitudę (Amplitude), która będzie stała podczas pomiarów. Jednakże na klawiaturze należy wpisać wartość międzyszczytową, która będzie dwa razy większa od przyjętej amplitudy sygnału wejściowego. Zatwierdzić wybierając V_{pp} . Po wciśnięciu przełącznika dla CH1 (nr 4 po lewej) urządzenie generuje sygnał zgodnie z wprowadzanymi parametrami, a sam przełącznik po uruchomieniu zaczyna świecić. W trakcie pomiarów wartość częstotliwości można zmienić albo za pomocą klawiatury albo za pomocą pokrętła i nie trzeba za każdym razem włączać i wyłączać przełącznika dla CH1.

2.2 Oscyloskop analogowy – EZ OS-5020 20MHz



Rys. 3. Panel sterujący oscyloskopu analogowego.

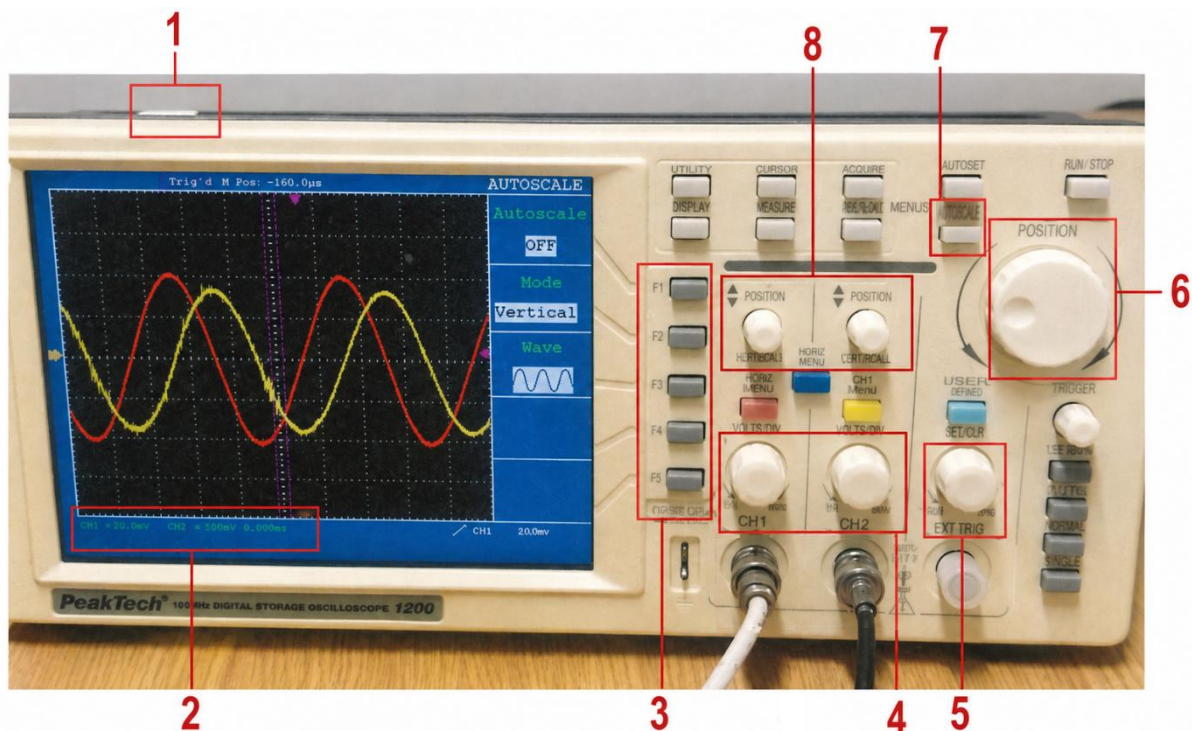
- 1 Zasilanie
- 2 Pokrętło wyboru zakresu pomiarowego dla okresów sygnału (dotyczy obu sygnałów jednocześnie – tj. wejściowego na obiekt i wyjściowego z obiektu). Dostępne zakresy to sekundy (s), milisekundy (ms) oraz mikrosekundy (μ s).
- 3 Pokrętło do ustawienia położenia sygnałów względem osi poziomej
- 4 Trigger level, czyli poziom wyzwania
- 5 Pokrętło do ustawienia położenia sygnału z CH2 względem osi pionowej
- 6 Wybór trybu pracy oscyloskopu:
 - 1) **CH1** – pokazuje tylko sygnał z pierwszego kanału (sygnał wejściowy $x(t)$)
 - 2) **CH2** – pokazuje tylko sygnał z drugiego kanału (sygnał wyjściowy $y(t)$)
 - 3) **DUAL** – pokazuje oba sygnały jednocześnie
 - 4) **ADD** – pokazuje sumę obu sygnałów
- 7 Pokrętło do ustawienia położenia sygnału z CH1 względem osi pionowej

PODSTAWY AUTOMATYKI – LABORATORIUM
WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

- 8 Jasność sygnałów na ekranie oscyloskopu
- 9 Ostrość
- 10 Pokrętło wyboru zakresu pomiarowego dla napięcia. Po lewej dla sygnału z CH1, po prawej dla sygnału z CH2. Dostępne zakresy to volty (V) i milivolty (mV).
- 11 Przełącznik rodzaju sprzężenia. Po lewej dla sygnału z CH1, po prawej dla sygnału z CH2. Dostępne są 3 tryby:
 - 1) **GND** – oscyloskop pokazuje zerowe napięcie. Tryb ten służy do symetrycznego ustawienia sygnału względem osi poziomej
 - 2) **AC** – na ekranie widoczny będzie sygnał utworzony ze składowej zmiennej
 - 3) **DC** – na ekranie widoczny będzie sygnał utworzony ze składowej zmiennej + składowej stałej (*nie dotyczy tych zajęć laboratoryjnych*)
- 12 Podłączenie kabli

Pozostałe funkcje oscyloskopu nie będą wykorzystywane w trakcie zajęć. **Proszę zwracać uwagę w trakcie pomiarów, aby poziom wyzwalania (Trigger level) był ustawiony na 0.**

2.3 Oscyloskop cyfrowy – PeakTech 1200



Rys. 4. Panel sterujący oscyloskopu cyfrowego.

- 1 Zasilanie
- 2 Aktualne zakresy pomiarowe
- 3 Klawisze funkcyjne
- 4 Pokrętło wyboru zakresu pomiarowego dla napięcia. Po lewej dla sygnału z CH1, po prawej dla sygnału z CH2.

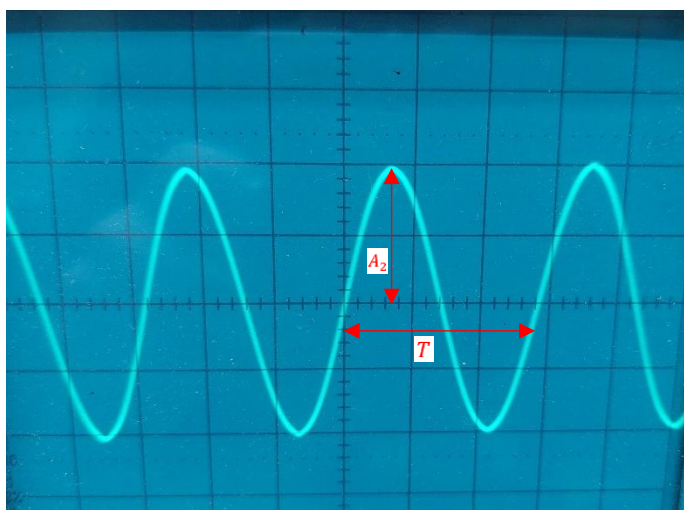
- 5 Pokrętło wyboru zakresu pomiarowego dla okresów sygnału (dotyczy obu sygnałów jednocześnie – tj. wejściowego na obiekt i wyjściowego z obiektu)
- 6 Pokrętło do ustawienia położenia sygnałów względem osi poziomej
- 7 Skalowanie automatyczne
- 8 Pokrętła do ustawienia położenia sygnału względem osi pionowej. Po lewej dla sygnału z CH1, po prawej dla sygnału z CH2.

Pozostałe funkcje oscyloskopu nie będą wykorzystywane w trakcie zajęć.

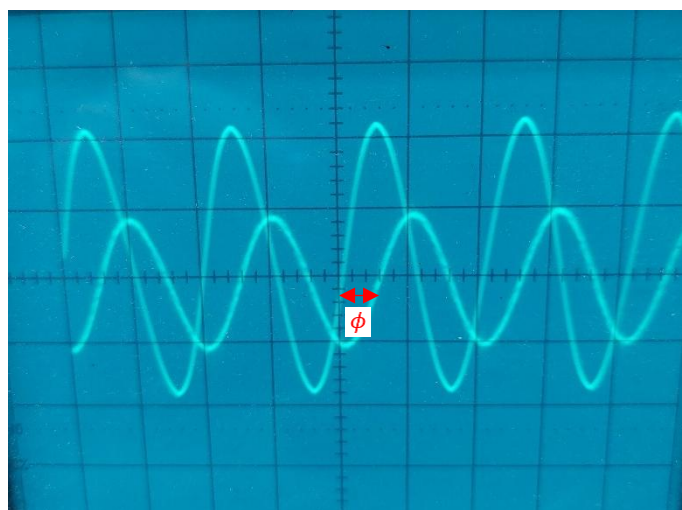
2.4 Odczyt wartości z oscyloskopu

Niezależnie od typu oscyloskopu odczyt mierzonych wartości odbywa się w podobny sposób. Na ekranie naniesiona jest siatka podobna do układu współrzędnych i podzielona na małe kwadraty. Jedna pełna jednostka (długość boku jednego kwadratu) odpowiada wartości **jednej działki (1,0 dz)**. Proszę zwrócić uwagę, że oprócz tego na liniach odłożone są jednostki pomocnicze (kreski na bokach kwadratów) odpowiadające wartości **0,2 dz**. Zatem wartości wyznaczanych parametrów odczytywane są z oscyloskopu w działkach. Przeliczenie na jednostki układu SI następuje poprzez przemnożenie odczytanej wartości przez zakres pomiarowy, który był ustawiony w momencie odczytu. Na oscyloskopie analogowym jest on podany przy pokrętkach (numery 2 i 10 na rysunku), natomiast na cyfrowym pojawia się na wyświetlaczu (nr 2).

Przykład – Na podstawie poniższych obrazów uzyskanych na ekranie oscyloskopu analogowego wyznaczyć amplitudę sygnału wyjściowego A_2 okres sygnału wejściowego T oraz przesunięcie fazowe między sygnałami ϕ jako część okresu.



Rys. 5. Przykładowy obraz na ekranie oscyloskopu analogowego w trybie CH2



Rys. 6. Przykładowy obraz na ekranie oscyloskopu analogowego w trybie DUAL

Z Rys. 5 odczytujemy – $A_2 = 2,0 \text{ dz}$ oraz $T = 2,8 \text{ dz}$. (W tym przypadku sygnał wejściowy to sinusoida o większej amplitudzie, a sygnał wyjściowy to sinusoida o mniejszej amplitudzie). Jeżeli wiadomo, że ustawione zakresy pomiarowe wynosiły odpowiednio $20 \frac{\text{mV}}{\text{dz}}$ oraz $0,5 \frac{\text{ms}}{\text{dz}}$, to otrzymujemy

$$A_2 = 2,0 \text{ dz} \cdot 20 \frac{\text{mV}}{\text{dz}} = 40 \text{ mV}$$

$$T = 2,8 \text{ dz} \cdot 0,5 \frac{\text{ms}}{\text{dz}} = 1,4 \text{ ms}$$

Z Rys. 6 odczytujemy $\phi = 0,6 \text{ dz}$. Jeżeli wiadomo, że ustawiony zakres pomiarowy wynosił $50 \frac{\mu\text{s}}{\text{dz}}$, to otrzymujemy

$$\phi = 0,6 \text{ dz} \cdot 50 \frac{\mu\text{s}}{\text{dz}} = 30 \mu\text{s}$$

3. Przebieg pomiarów

Pomiary zaczynamy od uruchomienia urządzeń. Na generatorze ustawić maksymalną wartość częstotliwości z badanego zakresu i wartość amplitudy sygnału wejściowego na 4 V (czyli jako wartość międzyszczytową wprowadzić $V_{PP} = 8 \text{ V}$). W trakcie pomiarów zmniejszana będzie częstotliwość na kolejne wartości z badanego zakresu przy nieziennej amplitudzie.

W trakcie pomiarów wyznaczyć dla każdej częstotliwości **wartość amplitudy sygnału wyjściowego A_2 oraz przesunięcia fazowego między sygnałami jako część okresu ϕ , a także okres T sygnału wejściowego $x(t)$.**

Przebieg pomiarów zależy w kolejnych krokach od modelu oscyloskopu.

3.1 Oscyloskop analogowy – EZ OS-5020 20MHz

Przed rozpoczęciem pomiarów należy ustawić jeszcze sygnały symetrycznie względem osi poziomej za pomocą przełącznika rodzaju sprzężenia (nr 11). Po ustawieniu w pozycję **GND** pojawi się na ekranie pozioma linia, którą należy ustawić za pomocą pokrętki (nr 5 i 7) tak, aby pokrywała się z linią, na której naniesiona jest podziałka. W tym przypadku najłatwiej będzie skorzystać z trybów CH1 i CH2 (nr 6), aby osobno ustawić sygnał wejściowy i wyjściowy. Potem przełączyć z powrotem w pozycję **AC**. W trakcie pomiarów w razie konieczności powtórzyć ten zabieg. Podczas pierwszego pomiaru należy również ustawić pokrętką (nr 10) zakres dla napięcia sygnału wejściowego, aby był on czytelny (korzystając z trybu **Dual lub CH1**).

Przebieg procedury pomiarowej wygląda następująco:

- a) nastawić częstotliwość na generatorze
- b) ustawić pokrętkiem (nr 2) zakres dla okresu T , aby obraz na ekranie oscyloskopu był czytelny i można będzie zaobserwować co najmniej jeden pełny cykl (**tryb Dual**)
- c) ustawić położenie sygnałów pokrętkiem (nr 3) względem osi poziomej tak, żeby początek układu współrzędnych (przecięcie obu linii z podziałką) pokrywał się z początkiem cyklu sinusoidy sygnału wejściowego $x(t)$ – tak samo jak na Rys. 5 (**tryb Dual lub CH1**)
- d) ustawić pokrętkiem (nr 10) zakres dla napięcia sygnału wyjściowego, aby był on czytelny (**tryb Dual lub CH2**)
- e) dla sygnału wejściowego odczytać wartość w działkach dla okresu sygnału T i zapisać też ustawiony zakres pomiarowy (**tryb CH1**)
- f) dla sygnału wyjściowego odczytać wartość w działkach dla amplitudy A_2 i też zapisać ustawiony zakres pomiarowy (**tryb CH2**)
- g) odczytać przesunięcie fazowe ϕ jako część okresu w działkach i zapisać też ustawiony zakres pomiarowy (**tryb Dual**)
- h) wrócić do pkt (a) z kolejną wartością częstotliwości

3.2 Oscyloskop cyfrowy – PeakTech 1200

Przed rozpoczęciem pomiarów należy ustawić jeszcze sygnały symetrycznie względem osi poziomej – w tym przypadku na ekranie oscyloskopu po lewej stronie obok linii reprezentującej sygnał pojawia się jego znacznik, który za pomocą pokrętła (nr 8) należy ustawić na poziomej linii z podziałką.

Procedura pomiarowa wygląda podobnie:

- a) nastawić częstotliwość na generatorze
- b) ustawić pokrętkiem (nr 5) zakres dla okresu T , aby obraz na ekranie oscyloskopu był czytelny i można będzie zaobserwować co najmniej jeden pełny cykl
- c) ustawić położenie sygnałów pokrętkiem (nr 6) względem osi poziomej tak, żeby początek układu współrzędnych (przecięcie obu linii z podziałką) pokrywał się z początkiem cyklu sinusoidy sygnału wejściowego $x(t)$ – tak samo jak na Rys. 5
- d) ustawić pokrętkiem (nr 4) zakres dla napięcia sygnału wyjściowego, aby był on czytelny
- e) dla sygnału wejściowego odczytać wartość w działkach dla okresu sygnału T
- f) dla sygnału wyjściowego odczytać wartość w działkach dla amplitudy A_2
- g) odczytać przesunięcie fazowe ϕ jako część okresu w działkach
- h) zapisać ustawione zakresy pomiarowe, które wyświetlą się na ekranie (nr 2)
- i) wrócić do pkt (a) z kolejną wartością częstotliwości

PODSTAWY AUTOMATYKI – LABORATORIUM
WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

3.3 Badane przedziały częstotliwości

Analizowany przedział częstotliwości zależy od badanej makiety obiektu – A, B lub C.

a) Obiekt A

f [Hz]	T [dz]	Zakres pomiarowy dla T	A_2 [dz]	Zakres pomiarowy dla A_2	ϕ [dz]	Zakres pomiarowy dla ϕ
60 000						
48 000						
36 000						
24 000						
12 000						
6 000						
3 000						
1 600						
800						
400						
200						
100						
50						
40						

b) Obiekt B

f [Hz]	T [dz]	Zakres pomiarowy dla T	A_2 [dz]	Zakres pomiarowy dla A_2	ϕ [dz]	Zakres pomiarowy dla ϕ
3 000						
1 500						
1 000						
800						
600						
400						
200						
100						
50						
40						
30						
20						
10						
5						
1						

PODSTAWY AUTOMATYKI – LABORATORIUM
WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

c) Obiekt C

f [Hz]	T [dz]	Zakres pomiarowy dla T	A_2 [dz]	Zakres pomiarowy dla A_2	ϕ [dz]	Zakres pomiarowy dla ϕ
60 000						
48 000						
36 000						
24 000						
12 000						
6 000						
3 000						
1 600						
800						
400						
200						
100						
50						
40						

4. Przygotowanie sprawozdania

Sprawozdanie z zajęć ma zawierać:

- 1) Wyniki pomiarów podsumowane w tabeli
- 2) Sporządzone wykresy charakterystyk częstotliwościowych
- 3) Wnioski

5. Opracowanie wyników pomiarowych

1. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarowych obliczyć wartości podanych parametrów, korzystając z poniższych zależności:
 - a) Amplitudę napięcia sygnałów wyjściowego A_2 oraz okres sygnału wejściowego T , a także kąt fazowy ϕ wyrażony w jednostkach okresu.

$$A_{2Y} = Y_{U[dz]} \cdot C_{Y\left[\frac{V}{dz}, \frac{mV}{dz}\right]} \quad T_X = X_{T[dz]} \cdot C_{X\left[\frac{\mu s}{dz}, \frac{ms}{dz}, \frac{s}{dz}\right]} \quad \phi_X = X_{T[dz]} \cdot C_{X\left[\frac{\mu s}{dz}, \frac{ms}{dz}, \frac{s}{dz}\right]}$$

- b) Częstość kołową sygnału wejściowego (pulsację) ustawioną na generatorze

$$\omega = 2\pi f_{GENERATOR}$$

PODSTAWY AUTOMATYKI – LABORATORIUM
WYDZIAŁ MECHANICZNY
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

- c) Przeliczyć obliczoną wartość okresu sygnału wejściowego T na częstotliwość f i porównać ją z wartością ustawioną na generatorze $f_{GENERATOR}$

$$f = \frac{1}{T}$$

- d) Moduł transmitancji widmowej przy danej częstotliwości/pulsacji:

$$M(\omega) = \frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)} = \frac{A_2}{A_1} \quad \text{dla } \omega = \text{const}$$

- e) Kąt fazowy transmitancji widmowej przy danej częstotliwości/pulsacji. Z oscyloskopu otrzymuje się kąt jako część okresu wyrażoną w jednostkach czasu. W kolejnym kroku należy przeliczyć go na stopnie z poniższej proporcji wiedząc, że pełny cykl (360°) odpowiada całemu okresowi

$$\begin{cases} 360^\circ - T_{GENERATOR[s]} = \frac{1}{f_{GENERATOR[Hz]}} \\ \phi(\omega)_{[^\circ]} - \phi_{X[s]} \end{cases} \Rightarrow$$
$$\phi(\omega)_{[^\circ]} = \frac{360^\circ \phi_{X[s]}}{T_{GENERATOR[s]}} = 360^\circ \phi_{X[s]} f_{GENERATOR[Hz]}$$

- f) Część rzeczywistą oraz część urojoną transmitancji widmowej przy danej częstotliwości/pulsacji, jeżeli wiadomo, że:

$$G(j\omega) = M(\omega)e^{j\phi(\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega)$$

$$P(\omega) = \text{Re}\{G(j\omega)\} = M(\omega) \cos \phi(\omega)$$

$$Q(\omega) = \text{Im}\{G(j\omega)\} = M(\omega) \sin \phi(\omega)$$

2. Na podstawie wykonanych obliczeń sporządzić poniższe wykresy, będące charakterystykami częstotliwościowymi:

- a) Wykres zależności modułu i kąta fazowego transmitancji widmowej od częstotliwości wyrażonej w Hz. Wartości kąta fazowego odłożyć na osi pomocniczej. Oś poziomą – gdzie odłożona jest częstotliwość – przedstawić na skali logarytmicznej. Otrzymany wykres to charakterystyka amplitudowo-fazowa. Wykres ten nazywany jest też „Wykresem Bodego” (czyt. (/’boudiego/).

- b) Wykres zależności części urojonej transmitancji widmowej od części rzeczywistej – pamiętaj, aby obie osie były jednakowo wyskalowane (tzn. obie osie muszą mieć jednakowe wartości maksymalne i minimalne). Otrzymany wykres nazywamy „Wykresem Nyquista” (czyt. /'naikwista/). Na wykresie zaznaczyć kierunek wzrostu wartości częstotliwości.
- c) Wykres zależności modułu od częstotliwości wyrażonej w Hz. Moduł przedstawić jako $L(f)_{[dB]} = 20 \cdot \log[M(f)]$. Następnie oś poziomą przedstawić na skali logarytmicznej. Otrzymany wykres nazywamy logarytmiczną charakterystyką amplitudową.

6. Literatura

- [1] Praca zbiorowa pod red. T. Mikulczyńskiego „Laboratorium podstaw automatyki i automatyzacji” OWPWr, Wrocław 2005
- [2] HDG3000B User Manual
- [3] EZ Oscilloscope OS-5020 User Manual
- [4] PeakTech Digital Storage Oscilloscope 1200 User Manual
- [5] Notatki z wykładów

Opracowanie:

mgr inż. Wojciech Wyrwa
