

Badanie stabilności liniowych, ciągłych UAR

Instrukcja do wykonania pomiarów

Celem ćwiczenia jest pomiar oraz analiza charakterystyk czasowych i częstotliwościowych podstawowych członów automatycznej regulacji jak również zapoznanie się z kryteriami badania stabilności układów.

Główną część stanowiska stanowi zestaw badany z generatorowym źródłem napięcia i kartą zbierania danych USB-4711 A.

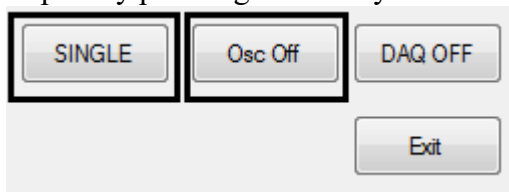
1. Aplikacja do rejestracji sygnałów i analizy charakterystyk częstotliwościowych układów dynamicznych.

Do celów rejestracji charakterystyk częstotliwościowych układów automatycznej regulacji opracowano napisaną w języku C# aplikację współpracującą z kartą zbierania danych USB 4711-A. Aplikacja pełni rolę oscyloskopu udostępniając użytkownikowi tryb **pracy ciąglej-oscyloskopowej** jak również pojedynczą obserwację sygnałów wejściowych i wyjściowych. Sterowanie odbywa się z wykorzystaniem przycisków widocznych w lewym górnym rogu płyty czołowej aplikacji.

Naciśnięcie przycisku opisanego, jako:

SINGLE – uruchamia tryb obserwacji jednokrotnej, zakres podstawy czasu regulowany jest automatycznie. Wykorzystanie tej opcji zalecane jest po użyciu przycisku **Osc Off**.

Osc Off – uruchamia tryb obserwacji ciągłej (oscyloskopowej). Wykorzystanie tej opcji zalecane jest na okoliczność wstępnej analizy obserwowanych przebiegów w trakcie regulacji np. częstotliwości i/lub amplitudy przebiegów badanych.



Rys. 1. Przyciski „Single” i „Osc Off” uruchamiające dwa różne tryby obserwacji.

Poniżej panelu skojarzonego z przyciskami SINGLE oraz Osc Off znajduje się pole dostarczające informacji o obserwowanych przebiegach. Ich znaczenie jest następujące:

F_p – częstotliwość próbkowania w Hz (parametr ten regulowany jest programowo, kryterium regulacji jest odpowiednio dobrana liczba pełnych okresów przebiegu na ekranie – podstawa czasu)

U_{sk} (w_e) – wartość skuteczna napięcia wejściowego w Voltach.

U_{sk} (w_y) – wartość skuteczna napięcia wyjściowego w Voltach.

K – wzmacnienie w V/V, wzmacnienie jest ilorazem wartości skutecznych napięcia wyjściowego i wejściowego.

M – wzmacnienie w decybelach [dB] dane wzorem, gdzie K jest wzmacnieniem w V/V

$$M [dB] = 20 \log_{10} K \left[\frac{V}{V} \right]$$

f_s – częstotliwość przebiegu wejściowego w Hz.

f_i – przesunięcie fazowe między przebiegiem wyjściowym i wejściowym w stopniach [deg]

Każdy pomiar parametrów K, M, f_i musi być skojarzony z częstotliwością f_s. W trakcie pomiarów charakterystyk amplitudowych logarytmicznych i fazowych Student ma za zadanie zapisywanie zmian parametrów M oraz f_i w funkcji częstotliwości.

Większą część ekranu zajmuje wykres przebiegów napięć wejściowego i wyjściowego. Z przebiegiem wejściowym skojarzona jest skala po lewej stronie (bliżej panelu z rys. 2.), z przebiegiem wejściowym skojarzona jest skala po prawej stronie (bliżej prawej krawędzi płyty czołowej).

Wyłączenie aplikacji realizowane jest po naciśnięciu przycisku **Exit**.

```

Fp = 20000 [Hz]
-----
Usr(we) = -0,000845 [V]
Usr(wy) = -0,050323 [V]
-----
Usk(we) = 1,003797 [V]
Usk(wy) = 6,739026 [V]
-----
K = 6,713535
M = 16,539025 [dB]
-----
fs = 100,000 [Hz]
N = 100
fi = -34,13 [deg]
-----
Re = 5,557262
Im = -3,766748
-----

```

Za małe napięcie wejściowe.

Rys. 2. Panel przeznaczony do prezentacji wyników pomiarów podstawowych parametrów niezbędnych do pomiaru charakterystyk badanych w ćwiczeniu.

2. Przygotowanie stanowiska laboratoryjnego.

a) Sprawdzić czy do wejścia karty USB 4711A są podłączone odpowiednio:

do wejścia AIO końcówka czerwona przewodu generatorowego (sygnał wejściowy)

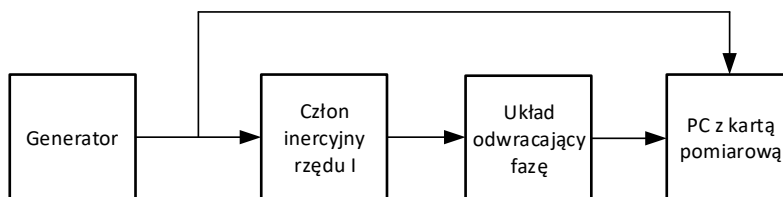
do wejścia AGND końcówka żółta przewodu generatorowego (masa – wejście nr. 5 od prawej strony)

do wejścia A11 przewód koloru czerwonego (sygnał wyjściowy)

do wejścia AGND (masa – wejście nr. 10 od prawej strony)

Przewód ekranowany koloru szarego powinien być z jednej strony przyłączony do karty oraz z drugiej strony do wejścia USB komputera.

3. Pomiar parametrów transmitancji układów inercyjnych rzędu I.



Rys. 3. Schemat funkcjonalny stanowiska do badania układu inercyjnego rzędu I.

a) Podłączyć pierwszy układ inercyjny wskazany przez prowadzącego zgodnie z rys 3.

b) Ustawić na generatorze przebieg sinusoidalny o częstotliwości 10Hz i składowej stałej 0V.

c) Włączyć program pomiarowy w tryb pracy ciągłej (oscylskopowy). Nastąpi automatyczne dobranie podstawy czasu oraz skali dla amplitud sygnałów.

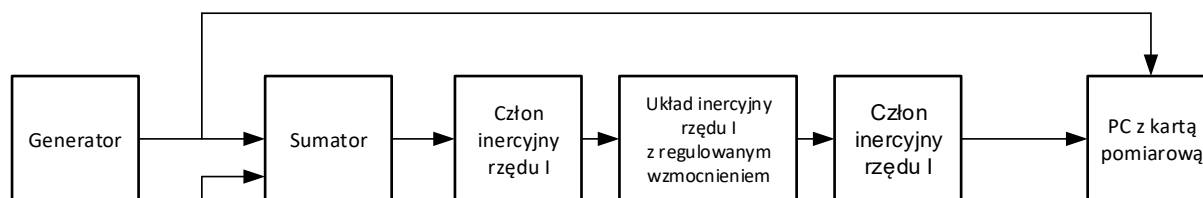
c) Amplitudę przebiegu wejściowego ustawić na maksymalną, przy której przetwornik nie wchodzi w nasycenie. Ponadto maksymalna amplituda przebiegów nie powinna przekraczać 9,5V - zakres napięciowy przetwornika A/C (-10,+10) V_{max}

d) Wyłączyć tryb pracy ciągłej, odczytać odpowiednie wielkości i wpisać do kolumny f_{min} tabeli. W celu weryfikacji wyników można wykonać kilka pojedynczych pomiarów.

e) Włączyć tryb pracy ciągłej. Zwiększając częstotliwość obserwować przesunięcie fazowe. Po osiągnięciu wartości zbliżonej do -45° wyłączyć tryb pracy ciągłej i wykonać kilka pojedynczych pomiarów. Jeżeli w wyniku pomiaru uzyskana zostanie dokładnie wartość -45° , to odpowiednie wyniki należy wpisać w kolumnie f_g tabeli 1. Jeżeli uzyskanie $\varphi=-45^{\circ}$ nie jest możliwe, to należy wykonać pomiary dla wartości $\varphi<-45^{\circ}$ oraz $\varphi>-45^{\circ}$ (możliwie blisko $\varphi=-45^{\circ}$), wyniki wpisać w kolumnach $f_{\varphi<-45}$ i $f_{\varphi>-45}$ tabeli 1. Wartości w kolumnie f_g należy wówczas wyliczyć korzystając z „interpolacji liniowej”.

f) Czynności z punktów a) – e) powtórzyć dla kolejnych 2 członów inercyjnych I rzędu wskazanych przez prowadzącego. Jeden z członów musi być z regulowanym wzmocnieniem. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli.

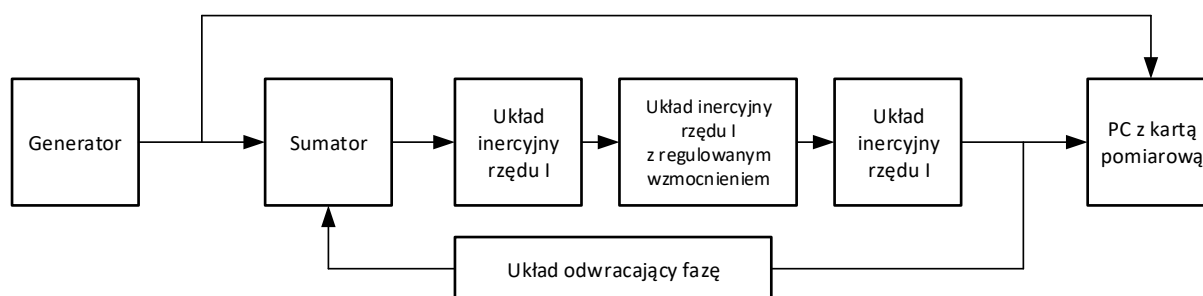
4. Pomiar charakterystyk częstotliwościowych układu inercyjnego rzędu III.



Rys. 4. Schemat funkcjonalny stanowiska do badania układu inercyjnego rzędu III.

- Połączyć układy inercyjne zgodnie ze schematem zamieszczonym na rysunku 4. W efekcie powinien powstać układ inercyjny rzędu III.
- Ustawić na generatorze przebieg sinusoidalny o częstotliwości około 10Hz.
- Włączyć program pomiarowy w tryb pracy ciągłej (oscyloskopowy).
- Amplitudę przebiegu wejściowego ustawić na maksymalną, przy której przebiegi nie wchodzą w nasycenie. Ponadto maksymalna amplituda przebiegów nie powinna przekraczać 9,5V.
- Wyłączyć tryb pracy ciągłej, odczytać odpowiednie wielkości i wpisać do odpowiedniego wiersza tabeli 2. W celu weryfikacji wyników można wykonać kilka pojedynczych pomiarów.
- Zmienić częstotliwość generatora na zbliżoną do wymienionej w kolejnym wierszu tabeli 2. Powtórzyć czynności z punktów b) – d) aż do 5000Hz. W przypadku trudności z uzyskaniem poprawnych wyników pomiarów i po akceptacji prowadzącego zakończenie pomiarów jest możliwe przy niższej częstotliwości, ale $\geq 3000\text{Hz}$.

5. Pomiar charakterystyk skokowych układu III rzędu ze sprzężeniem zwrotnym.



Rys. 5. Schemat funkcjonalny stanowiska do badania układu inercyjnego rzędu III. Układ inercyjny nr. 2 jest układem o regulowanym wzmocnieniu.

- Połączyć układ zgodnie z rysunkiem 5.
- Ustawić na generatorze falę prostokątną.
- Dobrać częstotliwość w sposób umożliwiający obserwację szczegółów przebiegu z punktu widzenia określenia stałej czasowej.
- Dobrać amplitudę fali prostokątnej tak, by przebiegi osiągały maksymalne dopuszczalne wartości i nie następowało przekroczenie zakresu przetwornika A/C $(-10,+10) V_{max}$
- Zaobserwować przebiegi. Ocenić stabilność układu zamkniętego.
- Zmieniając wzmocnienie układu o regulowanym wzmocnieniu doprowadzić układ zamknięty do stanu na granicy stabilności.
- Nie zmieniając położenia potencjometru, rozłączyć pętlę sprzężenia zwrotnego i przejść do układu otwartego, połączonego zgodnie z rys.4.
- Pomierzyć wzmocnienie układu otwartego dla częstotliwości około 10Hz analogicznie jak w punkcie 3. Wyniki zapisać w tabeli 3 protokołu. Uzyskana wartość będzie w przybliżeniu wzmocnieniem granicznym statycznym badanego układu.

6. Wykonanie sprawozdania.

Sprawozdanie wykonują studenci podczas zajęć bezpośrednio po zakończeniu pomiarów. Polega na opracowaniu odpowiednich obliczeń i charakterystyk na podstawie wykonanych pomiarów z wykorzystaniem programu Excel.

Szczegółowe zadania każdorazowo studenci otrzymają od prowadzącego.

Przykładowe zadania to:

1. Utworzyć tabele z obliczeniami do wykreślenia charakterystyk częstotliwościowych (logarytmicznych amplitudowych, logarytmicznych fazowych oraz amplitudowo-fazowych) **na podstawie pomiarów** dla badanego układu inercyjnego rzędu III (otwarty UAR). Obliczyć nachylenie charakterystyk amplitudowych na dekadę dla najmniejszych i największych częstotliwości.
2. Na podstawie pomiarów ustalić wzmocnienie statyczne i stałą czasową trzech członów inercyjnych rzędu I.
3. Utworzyć tabelę z obliczeniami do wykreślenia charakterystyk częstotliwościowych: logarytmicznej amplitudowej, logarytmicznej fazowej oraz amplitudowo-fazowej **z wykorzystaniem symulacji cyfrowej** dla ustalonej transmitancji badanego układu inercyjnego rzędu III (otwarty UAR). Obliczyć nachylenie charakterystyki amplitudowej na dekadę dla najmniejszych i największych częstotliwości.
4. Utworzyć jeden wspólny wykres z przebiegami **2** logarytmicznych charakterystyk amplitudowych dla badanego układu:
 - a. Inercyjnego rzędu III (otwarty UAR) na podstawie pomiarów;
 - b. Inercyjnego rzędu III (otwarty UAR) z wykorzystaniem symulacji cyfrowej;
5. Analogicznie jak w punkcie 4 utworzyć wykres logarytmicznych charakterystyk fazowych.
6. Analogicznie jak w punkcie 4 utworzyć wykres charakterystyk amplitudowo-fazowych.
7. Utworzyć tabelę Routha dla układu zamkniętego. Ocenić stabilność układu zamkniętego.
8. Utworzyć kopię tabeli Routha dla układu zamkniętego tak, by zmieniając wzmocnienie układu otwartego tabela automatycznie się przeliczała. Zmieniając wzmocnienie układu otwartego metodą kolejnych przybliżeń ustalić wzmocnienie graniczne statyczne, czyli wzmocnienie układu otwartego, przy którym układ zamknięty będzie na granicy stabilności.
9. Napisać wnioski (odręcznie) uwzględniające analizę charakterystyk częstotliwościowych oraz czasowych. Przedstawić transmitancje członów inercyjnych rzędu I, transmitancję układu otwartego inercyjnego rzędu III oraz układu zamkniętego. Przedstawić analizę stabilności układu, w szczególności porównać wzmocnienie graniczne statyczne otrzymane z pomiarów oraz uzyskane na podstawie symulacji cyfrowej tabeli Routha.

7. Przykładowe pytania kontrolne.

- a) Wymienić definicje i kryteria stabilności.
- b) Definicja stabilności odnosząca się do odpowiedzi czasowych.
- c) Kryterium stabilności odnosząca się do rozkładu pierwiastków równania charakterystycznego.
- d) Kryterium Nyguista (dla układu otwartego stabilnego lub niestabilnego).
- e) Kryterium Nyguista dla charakterystyk logarytmicznych.
- f) Definicja wzmocnienia granicznego statycznego.
- g) Narysować charakterystykę amplitudowo-fazową układu otwartego dla stabilnego/niestabilnego układu zamkniętego.
- h) Kryterium Routha.
- i) Obliczyć tabelę Routha i określić stabilność dla zadanej transmitancji operatorowej
- j) Opisać optymalną metodę badania stabilności zamkniętego UAR o nieznannej transmitancji przy braku możliwości badania układu otwartego.
- k) Opisać optymalną metodę oceny stabilności zamkniętego UAR na podstawie badania jego układu otwartego o nieznannej transmitancji.