



Politechnika Białostocka
Wydział Elektryczny
Katedra Elektrotechniki, Energoelektroniki i Elektroenergetyki

Instrukcja do pracowni specjalistycznej

INFORMATYKA 2
Kod zajęć ES1F2012

ZASTOSOWANIE PAKIETU MATLAB W OBLICZENIACH ZAGADNIEŃ ELEKTRYCZNYCH

Numer ćwiczenia

INF41

Autor:
dr hab. inż. Bogusław Butryło

Białystok 2023

Spis treści

1. Tematyka i zakres ćwiczenia.....	3
2. Przebieg zajęć.....	3
3. Zadania do wykonania	4
3.1. Analiza właściwości układu liniowego przy wymuszeniu sinusoidalnym	4
3.2. Analiza układu liniowego przy wymuszeniu niesinusoidalnym.....	5
3.3. Rezonans w obwodzie elektrycznym	6
4. Przykładowe pytania i zagadnienia	7
5. Literatura.....	8
Dodatek A. Konfiguracje układów reaktancyjnych.....	9
Dodatek B. Szereg Fouriera.....	11
Dodatek C. Wymagania BHP.....	13

Materiały dydaktyczne przeznaczone dla studentów Wydziału Elektrycznego PB.

© Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka, 2023

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej publikacji nie może być kopiowana i odtwarzana w jakiegokolwiek formie i przy użyciu jakichkolwiek środków bez zgody posiadacza praw autorskich.

1. Tematyka i zakres ćwiczenia

W ramach ćwiczenia rozwiązywane są wybrane zagadnienia dotyczące układów elektrycznych. Do opracowania opisu danego problemu oraz jego rozwiązania stosowany jest program Matlab [8]. Jest to podstawowe oprogramowanie stosowane w ćwiczeniu. Zamiennie możliwe jest użycie oprogramowania tworzonego w ramach licencji otwartej SciLab [9] lub Octave [10].

Celem zajęć jest poznanie i nabycie umiejętności:

- tworzenia opisu zagadnień z zakresu elektrotechniki, teorii obwodów, układów elektrycznych, sygnałów elektrycznych z użyciem oprogramowania matematycznego;
- opracowania pliku skryptowego z opisem problemu;
- wykonania obliczeń wybranego zagadnienia i opracowanie wyników obliczeń;
- opracowanie wyników obliczeń numerycznych i interpretacja otrzymanych wyników.

Zagadnienia dotyczące stosowania oprogramowania matematycznego do rozwiązywania problemów technicznych są omówione w dostępnych podręcznikach [4, 5, 6, 7]. W wymienionych podręcznikach znajdują się też przykłady dotyczące układów elektrycznych.

2. Przebieg zajęć

- Szczegółowy zakres zadań do wykonania określa prowadzący.
 - Wykonanie wskazanych zadań sprowadza się do opracowania pliku skryptowego (m-pliku) realizującego opisane funkcje i następnie uruchomieniu opracowanego skryptu.
 - Wyniki prac należy udokumentować w sprawozdaniu, które powinno zawierać:
 - informację o wykonywanym zadaniu (opis problemu, przyjęte dane wejściowe);
 - kod źródłowy opracowanego samodzielnie pliku skryptowego realizującego zadanie, z ewentualnymi komentarzami;
 - przykładowe wyniki działania programu;
 - inne dodatkowe informacje.
- Sprawozdanie należy przygotować na koniec zajęć i przesłać na adres wskazany przez osobę prowadzącą zajęcia.

3. Zadania do wykonania

3.1. Analiza właściwości układu liniowego przy wymuszeniu sinusoidalnym

Dany jest układ elektryczny o znanej konfiguracji połączeń (dodatek A). Układ jest zasilany ze źródła napięciowego o przebiegu sinusoidalnym

$$u_1(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi), \quad (3.1)$$

gdzie A to amplituda sygnału, ω_0 – pulsacja sygnału, φ – przesunięcie fazowe sygnału.

Opracuj model wybranego układu w programie Matlab. Przygotowany plik skryptowy powinien zawierać następujące elementy.

A. Wariant podstawowy

- A.1. Deklaracja wartości sinusoidalnie zmiennego sygnału zasilającego (jego wartości skutecznej, częstotliwości, fazy początkowej).
- A.2. Deklaracja wartości poszczególnych elementów występujących w układzie.
- A.3. Obliczenia prądów gałęziowych i napięć w układzie dla wybranej (zadanej) częstotliwości sygnału zasilającego [1, 3].
- A.4. Obliczenia, jakie wskazania miałyby amperomierze włączone w gałęziach układu oraz woltomierze mierzące wybrane napięcia (np. oznaczone na rysunku) [1, 3].
- A.5. Określenie charakteru układu dla zadanej częstotliwości [1, 2, 3]. Wypisanie informacji o charakterze układu.
- A.6. Obliczenie mocy czynnej, biernej, pozornej na zaciskach wejściowych układu. Wyświetlenie wyników obliczeń wraz z podaniem jednostek [1, 2, 3].

B. Wariant rozszerzony

- B.1. Dla każdego elementu pasywnego w rozpatrywanym układzie określ wartość mocy czynnej i biernej. Obliczone wartości należy stabilizować. Wykonaj bilans mocy na podstawie stabilizowanych wartości. Porównaj moc czynną i bierną obliczoną na zaciskach wejściowych (punkt A.6) z wykonanym bilansem mocy.
- B.2. Wykonaj wykres wektorowy prądów w układzie.
- B.3. Wykonaj wykres wektorowy napięć w wybranym oczku w układzie.

3.2. Analiza układu liniowego przy wymuszeniu niesinusoidalnym

Dany jest układ elektryczny o wybranej, znanej konfiguracji połączeń (dodatek A). Układ jest zasilany ze źródła napięciowego o przebiegu niesinusoidalnym $u_1(t)$. Funkcja opisująca zmiany napięcia może być szeregiem Fouriera [1, 3]

$$u_1(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(\omega_n t + \varphi_n), \quad (3.2)$$

przy czym $A_0/2$ to składowa stała, A_n – amplituda n -tej harmonicznej, ω_n – pulsacja n -tej harmonicznej, φ_n – przesunięcie fazowe n -tej harmonicznej. W dodatku B przedstawiono szeregi Fouriera wybranych, typowych sygnałów okresowych.

Opracuj model wybranego układu w programie Matlab. W obliczeniach uwzględnij jeden z szeregów Fouriera podany w dodatku B. Przygotowany plik skryptowy powinien zawierać następujące elementy.

- A. Wariant podstawowy
- A.1. Deklaracja wartości amplitudy A i częstotliwości f_0 sygnału niesinusoidalnego.
 - A.2. Deklaracja wartości poszczególnych elementów występujących w układzie.
 - A.3. Deklaracja liczby harmonicznych (n_{max}), dla których będą wykonywane obliczenia.
 - A.4. Obliczenie i stabilizowanie wartości harmonicznych napięcia zasilającego (amplitudy, częstotliwości, fazy kolejnych harmonicznych).
 - A.5. Obliczenie kolejnych harmonicznych prądu na zaciskach wejściowych układu [1, 3].
 - A.6. Wykonanie rysunku widma amplitudowego napięcia zasilającego i widma amplitudowego prądu na zaciskach wejściowych.
 - A.7. Obliczenie wartości skutecznej napięcia zasilającego i prądu wejściowego [1, 2, 3].
- B. Wariant rozszerzony
- B.1. Obliczenie mocy czynnej na zaciskach wejściowych układu. Wyświetlenie wyniku wraz z podaniem jednostki [1, 3].
 - B.2. Obliczenie mocy biernej na zaciskach wejściowych układu. Wyświetlenie wyniku wraz z podaniem jednostki [1, 3].
 - B.3. Obliczenie mocy pozornej i mocy deformacji na zaciskach wejściowych układu. Wyświetlenie wyników wraz z podaniem jednostek [1, 3].

- B.4. Określenie charakteru układu dla kolejnych harmonicznych [1, 2, 3]. Wypisanie informacji o charakterze układu.

3.3. Rezonans w obwodzie elektrycznym

Dany jest układ reaktancyjny o zadanym schemacie połączeń (dodatek A). Układ jest zasilany ze źródła o napięciu sinusoidalnie zmiennym

$$u_1(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi) \quad (3.3)$$

oraz zmiennej częstotliwości

$$f = \text{var}. \quad (3.4)$$

Opracuj model wybranego układu w programie Matlab. Przygotowany plik skryptowy powinien zawierać następujące elementy.

- A. Wariant podstawowy
- A.1. Deklaracja wartości sygnału zasilającego (jego wartości skutecznej, częstotliwości i ewentualnie fazy).
 - A.2. Bezpośrednia deklaracja wartości poszczególnych elementów występujących w układzie.
 - A.3. Obliczenie impedancji zastępczej widzianej od strony źródła zasilającego Z_{wejt} , dla zadanej częstotliwości sygnału zasilającego [1, 3].
 - A.4. Obliczenie wybranych wielkości elektrycznych (napięcia, prądu, impedancji lub admitancji) w układzie dla zadanej częstotliwości sygnału zasilającego [1, 3].
 - A.5. Obliczenia impedancji zastępczej układu (punkt A.3) oraz wybranej wielkości elektrycznej (punkt A.4) przy uwzględnieniu zmian częstotliwości źródła zasilającego [1, 3]. Zmiany częstotliwości powinny być zadane przez określenie:
 - częstotliwości minimalnej f_{min} ,
 - częstotliwości maksymalnej f_{max} ,
 - kroku, z jakim ma następować zmiana częstotliwości df .
 Wyniki obliczeń powinny być stabilizowane.
 - A.6. Wykreślenie charakterystyki amplitudowej stabilizowanych wielkości.
 - A.7. Sklasyfikowanie układu ze względu na przebieg charakterystyki amplitudowej impedancji Z_{wejt} lub prądu wejściowego I_1 [1, 2, 3].
 - A.8. Określenie pasma przepustowego układu (o ile to możliwe) [1, 3].

B. Wariant rozszerzony

- B.1. Wybierz i wykonaj obliczenia wielkości elektrycznych w układzie (prąd, napięcie, impedancja wybranych elementów lub admitancja wybranych elementów), które pozwolą wykryć występowanie w układzie co najmniej jednego rezonansu.
- B.2. Wybierz przynajmniej dwa elementy układu, dla których zbadasz warunki ich pracy. Ustal, jakie krytyczne parametry będziesz obserwował dla tych elementów i wykonaj obliczenia tych parametrów w zakładanym zakresie częstotliwości (od f_{min} do f_{max}) [1, 3]. Wykonaj charakterystyki tego parametru i określ warunki doboru elementu.
- B.3. Obliczenia opisane w punkcie A.5 wykonaj tak, aby w zadanym przedziale częstotliwości (od f_{min} do f_{max}) krok zmian częstotliwości był zmienny [2]. Krok będzie skalowany w zależności od dekady. Na przykład:
- przy obliczeniach w zakresie od 10 Hz do 100 Hz krok będzie wynosił $d=4$ Hz,
 - przy obliczeniach w zakresie od 100 Hz do 1000 Hz krok będzie wynosił $d=40$ Hz, itd.

4. Przykładowe pytania i zagadnienia

1. Tworzenie i przetwarzanie wektorów i macierzy w pakiecie matematycznym.
2. Operacje macierzowe i tablicowe w pakiecie matematycznym. Metody odwołania się do wybranych elementów macierzy.
3. Deklarowanie i przetwarzanie liczb zespolonych (wyznaczanie modułu, fazy w radianach, fazy w stopniach) w pakiecie matematycznym.
4. Charakterystyka operacji na liczbach zespolonych w pakiecie matematycznym.
5. Instrukcje iteracyjne w programie Matlab: konstrukcja i sposób wykorzystania.
6. Instrukcje warunkowe w programie Matlab: konstrukcja i sposób wykorzystania.
7. Sposoby rozwiązania równania macierzowego w ramach programu Matlab.
8. Zasady konstrukcji i metody wykorzystania pliku skryptowego w ramach pakietu matematycznego.

5. Literatura

- [1] S. Bolkowski: *Teoria obwodów elektrycznych*. Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa, 2013.
- [2] J. Frąckowiak, R. Nawrowski, M. Zielińska: *Podstawy elektrotechniki: laboratorium*. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2011.
- [3] J. Osiowski, J. Szabat: *Podstawy teorii obwodów*. Tom 3. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
- [4] J. Brzózka, L. Dorobczyński: *Matlab - środowisko obliczeń naukowo-technicznych*. Mikom: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
- [5] B. Mrozek, Z. Mrozek: *Matlab i Simulink: poradnik użytkownika*. Helion, 2010.
- [6] S. Osowski, A. Cichocki, K. Siwek: *Matlab w zastosowaniu do obliczeń obwodowych i przetwarzania sygnałów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006.
- [7] E. Dyka, P. Markiewicz, R. Sikora: *Modelowanie w elektrotechnice z wykorzystaniem środowiska Matlab*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2006.
- [8] Strona internetowa programu Matlab (data dostępu 24.04.2016): <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
- [9] Strona internetowa programu Scilab (data dostępu 24.04.2016): <http://www.scilab.org/>
- [10] Strona internetowa programu Octave (data dostępu 24.04.2016): <http://www.gnu.org/software/octave/>

Dodatek A. Konfiguracje układów reaktancyjnych

Lp.	Schemat układu i przykładowe (wstępne) wartości elementów	
1		$R_1 = 100 \ \Omega$ $C_1 = 400 \ \text{nF}$ $R_2 = 40 \ \Omega$ $L_2 = 10 \ \text{mH}$
2		$R_2 = 100 \ \Omega$ $C_2 = 100 \ \text{nF}$ $L_3 = 30 \ \text{mH}$ $C_3 = 10 \ \text{nF}$
3		$R_2 = 100 \ \Omega$ $C_2 = 100 \ \text{nF}$ $R_3 = 150 \ \Omega$ $L_3 = 30 \ \text{mH}$
4		$R_1 = 10 \ \Omega$ $C_1 = 1 \ \mu\text{F}$ $L_2 = 1 \ \text{mH}$ $C_3 = 10 \ \mu\text{F}$
5		$R_1 = 10 \ \Omega$ $L_1 = 500 \ \mu\text{H}$ $L_2 = 1 \ \text{mH}$ $C_3 = 10 \ \mu\text{F}$
6		$C_2 = 10 \ \text{nF}$ $R_3 = 100 \ \Omega$ $L_3 = 30 \ \text{mH}$ $C_3 = 100 \ \text{nF}$

7		$R_2 = 40 \ \Omega$ $C_2 = 40 \ \text{nF}$ $R_3 = 50 \ \Omega$ $L_3 = 100 \ \text{mH}$ $C_3 = 40 \ \text{nF}$
8		$R_2 = 10 \ \Omega$ $L_2 = 10 \ \text{mH}$ $R_3 = 40 \ \Omega$ $L_3 = 30 \ \text{mH}$ $C_3 = 100 \ \text{nF}$
9		$C_1 = 40 \ \text{nF}$ $C_2 = 100 \ \text{nF}$ $R_3 = 10 \ \Omega$ $L_3 = 10 \ \text{mH}$
10		$L_2 = 10 \ \text{mH}$ $C_3 = 100 \ \text{nF}$ $R_4 = 50 \ \Omega$ $C_5 = 400 \ \text{nF}$
11		$L_1 = 10 \ \text{mH}$ $C_2 = 800 \ \text{nF}$ $L_3 = 30 \ \text{mH}$ $R_0 = 100 \ \Omega$
12		$C_2 = 100 \ \text{nF}$ $L_3 = 10 \ \text{mH}$ $C_4 = 10 \ \mu\text{F}$ $R_0 = 100 \ \Omega$
13		$R_1 = 10 \ \Omega$ $L_2 = 10 \ \text{mH}$ $C_2 = 60 \ \text{nF}$ $C_3 = 800 \ \text{nF}$ $R_0 = 100 \ \Omega$

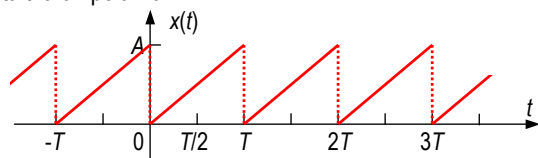
Dodatek B. Szereg Fouriera

Zakłada się, że rozpatrywany sygnał $x(t)$ spełnia warunki Dirichleta [1, 3] oraz jest całkowalny z kwadratem i okresowy. Okres sygnału wynosi T_0 , zatem kolejne harmoniczne w szeregu Fouriera mają częstotliwości, które są całkowitą wielokrotnością częstotliwość sygnału

$$f_0 = \frac{1}{T_0}. \quad (\text{B.1})$$

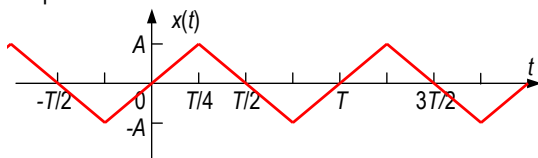
Dla wybranych, typowych sygnałów okresowych, szeregi Fouriera są opisane wzorami:

- fala piłokształtna unipolarna



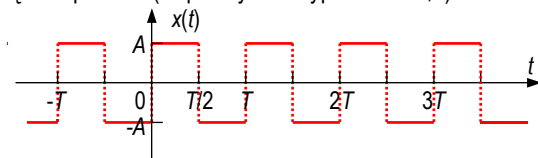
$$x(t) = \frac{A}{2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \sin(n\omega_0 t); \quad (\text{B.2})$$

- fala trójkątna bipolarna



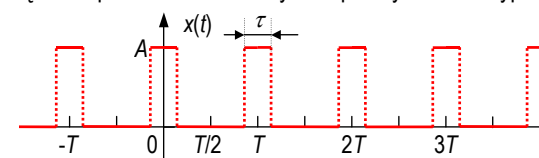
$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{8A}{(2n-1)^2 \pi^2} \sin[(2n-1)\omega_0 t]; \quad (\text{B.3})$$

- fala prostokątna bipolarna (współczynnik wypełnienia 0,5)



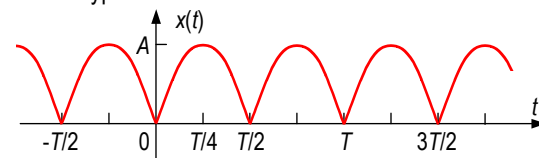
$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4A}{(2n-1)\pi} \sin[(2n-1)\omega_0 t]; \quad (\text{B.4})$$

- fala prostokątna unipolarna z dobowym współczynnikiem wypełnienia



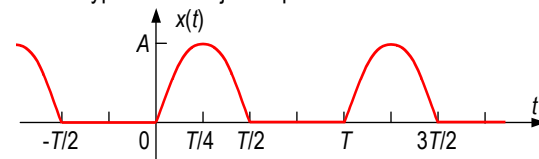
$$x(t) = A \frac{\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2A}{n\pi} \sin\left(n\pi \frac{\tau}{T}\right) \cdot \cos(n\omega_0 t); \quad (\text{B.5})$$

- fala sinusoidalna wyprostowana cało-falowo



$$x(t) = \frac{2A}{\pi} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4A}{(4n^2-1)\pi} \cos(2n\omega_0 t); \quad (\text{B.6})$$

- fala sinusoidalna wyprostowana jedno-połówkowo



$$x(t) = \frac{A}{\pi} + \frac{A}{2} \sin(\omega_0 t) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2A}{(4n^2-1)\pi} \cos(2n\omega_0 t). \quad (\text{B.7})$$

Dodatek C. Wymagania BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie. Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń peryferyjnych.
- Jeżeli istnieje taka możliwość, należy dostosować warunki stanowiska do własnych potrzeb, ze względu na ergonomię. Monitor komputera ustawić w sposób zapewniający stałą i wygodną obserwację dla wszystkich członków zespołu.
- Załączenie komputera może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń w urządzeniach oraz wymiana elementów składowych pod napięciem.
- Konfiguracja sprzętu (np. konfiguracja systemu operacyjnego, ustawienie parametrów monitora) może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- W trakcie pracy z komputerem zabronione jest spożywanie posiłków i picie napojów.
- W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć komputer i monitor z sieci elektrycznej.
- Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- W przypadku zakończenia pracy należy zakończyć sesję przez wydanie polecenia wylogowania. Zamknięcie systemu operacyjnego może się odbywać tylko na wyraźne polecenie prowadzącego.