



Politechnika Białostocka
Wydział Elektryczny
Katedra Elektrotechniki, Energoelektroniki i Elektroenergetyki

Instrukcja
do pracowni specjalistycznej z przedmiotu

Technologie informacyjne

Kod przedmiotu: **EMS1A1008**

(studia stacjonarne)

MATLAB CZ. 4 ROZWIĄZYWANIE ZAGADNIEŃ ELEKTRYCZNYCH

Numer ćwiczenia

TI_09

Autor:

dr inż. Adam Steckiewicz

Białystok 2025



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Spis treści

1. Opis stanowiska	3
2. Cel ćwiczenia	3
3. Środowisko obliczeniowe	3
3.1. Wprowadzenie.....	3
3.2. Biblioteka bloków.....	4
3.3. Elektryczne bloki funkcjonalne.....	5
4. Przebieg ćwiczenia.....	6
4.1. Analiza prądu akumulatorów zasilania awaryjnego	6
4.2. Zasilacz prądu stałego.....	8
4.3. Linia elektroenergetyczna.....	10
4.4. Falownik napięcia.....	13
5. Literatura.....	19
6. Pytania kontrolne	19
7. Wymagania BHP	20

Materiały przygotowane w ramach projektu „PB 5.0 – dostosowanie oferty dydaktycznej Politechniki Białostockiej do potrzeb nowoczesnej gospodarki oraz zielonej i cyfrowej transformacji” (nr umowy FERS.01.05-IP.08-0327/23-00) w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus.

Publikacja jest udostępniona na licencji Creative Commons - Uznanie autorstwa 4.0 (CC BY 4.0). Pełna treść licencji dostępna na stronie creativecommons.org.

Materiały dydaktyczne przeznaczone dla studentów Wydziału Elektrycznego PB.

© Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka, 2025 (wersja 1.0)

1. Opis stanowiska

Podczas zajęć wykorzystywany jest komputer klasy PC z systemem operacyjnym *Microsoft Windows 10/11*. Na komputerach zainstalowane jest oprogramowanie inżynierskie w postaci środowiska *Matlab R2022b* (lub nowsze) [1], z licencją typu *classroom license*.

2. Cel ćwiczenia

Celem jest zapoznanie się z pakietem obliczeniowym *Simulink*, stanowiącym część oprogramowania inżynierskiego *Matlab*, a przede wszystkim opanowanie umiejętności tworzenia, obliczania i analizy obwodów elektrycznych za pomocą programu symulacyjnego [2].

3. Środowisko obliczeniowe

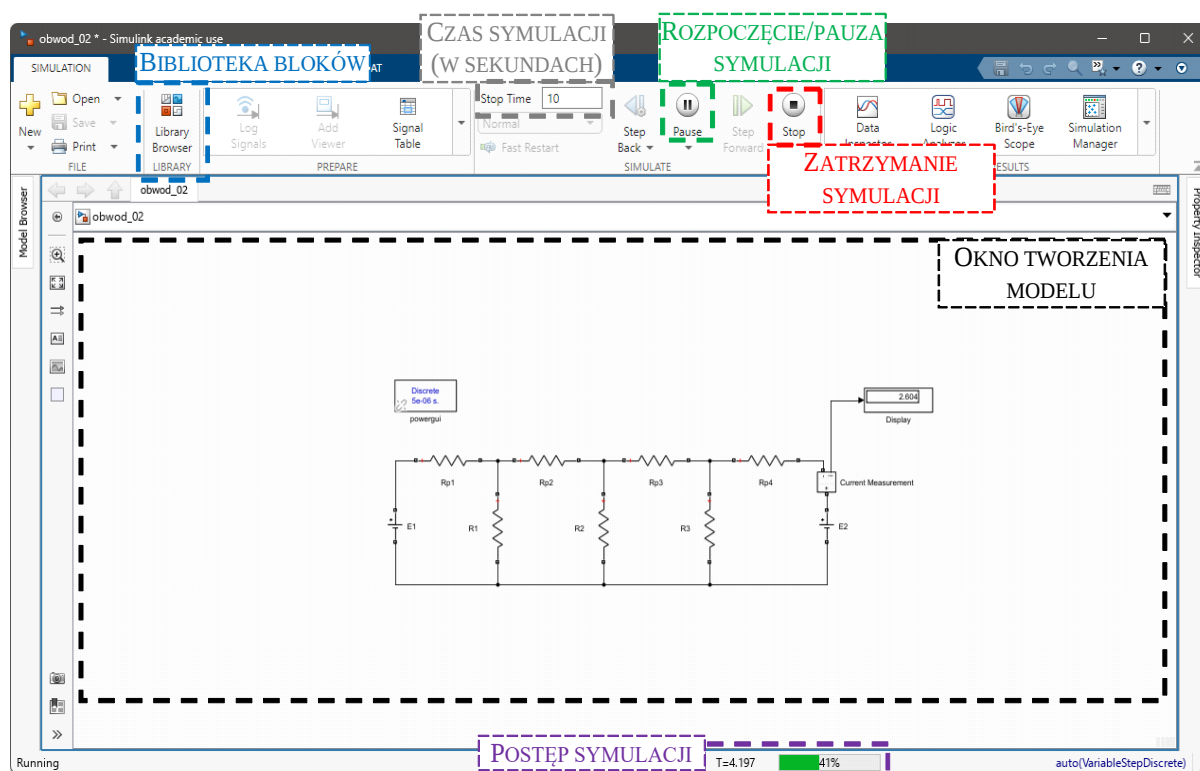
3.1. Wprowadzenie

Moduł obliczeniowy *Simulink* służy do tworzenia oraz analizy schematów blokowych [3], a w tym tworzonych za ich pomocą układów elektrotechnicznych, elektronicznych i elektromechanicznych [4]. Jego działanie przypomina rysowanie obwodów elektrycznych lub grafów, pozwalających w graficzny sposób przedstawiać elementy, ich kolejność i wzajemne powiązania (wpływ). Tym samym możliwe staje się łatwe zorientowanie się w strukturze danego zagadnienia i symulowanie działania złożonych systemów energetycznych [5].

Ponadto istnieje możliwość prostego i niewymagającego programowania (pisanie kodu) wykonywania obliczeń, symulacji, czy ogólnie - modelowania procesów fizycznych [6]. Najważniejsze elementy wskazano na Rys. 1:

- **OKNO TWORZENIA MODELU** pozwala na wprowadzanie poszczególnych bloków, które odpowiadają za odwzorowanie różnorodnych działań/urządzeń;
- **BIBLIOTEKA BLOKÓW** zawiera elementy (bloczki) wstawiane do modelu;

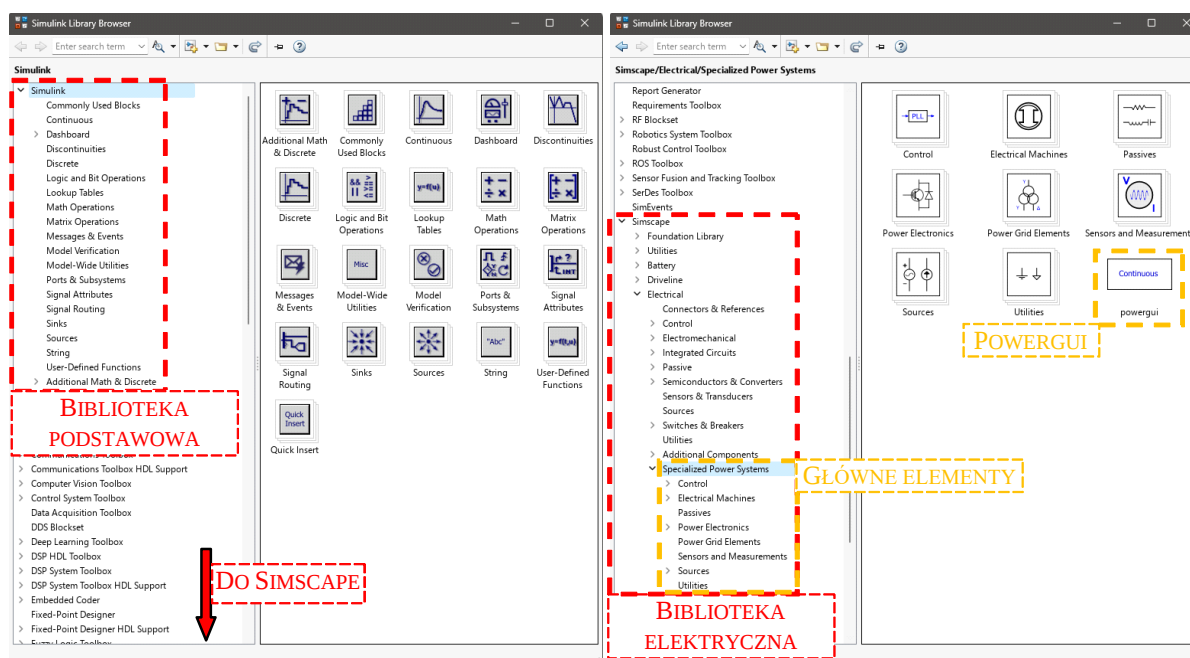
- CZAS SYMULACJI warto nastawić na kilkadziesiąt okresów napięcia lub kilka sekund – za krótki czas powoduje zatrzymanie się w stanie nieustalonym, a zbyt długi niepotrzebnie zwiększa ilość danych i wydłuża symulację;
- aby rozpocząć obliczenia wystarczy kliknąć na ROZPOCZĘCIE/PAUZA SYMULACJI, a w celu ich zakończenia na ZATRZYMANIE SYMULACJI;
- POSTĘP SYMULACJI widoczny jest na samym dole okna.



Rys. 1. Widok na główne okno pakietu Simulink

3.2. Biblioteka bloków

Z punktu widzenia inżyniera elektryka, podstawą wykorzystania pakietu *Simulink* są obliczenia obwodów elektrycznych [4, 6]. Aby je wykonać należy skorzystać z dwóch działów w **BIBLIOTECE BLOKÓW**: 'Simulink', zawierającego elementarne bloki do operacji na liczbach i sygnałach oraz 'Simscape', z dedykowanymi obwodom elektrycznym blokami funkcjonalnymi (Rys. 2).



Rys. 2. Struktura biblioteki bloków

Elementów elektrycznych należy szukać w 'Simscape' → 'Electrical' → 'Specialized Power Systems'. Z tej zakładki, na początku tworzenia modelu, należy zawsze wybrać i dodać do OKNA TWORZENIA MODELU blok 'Powergui'. Odpowiada on za bazowe ustawienia i parametry całego modelu elektrycznego.

3.3. Elektryczne bloki funkcjonalne

Najważniejsze zakładki w 'Specialized Power Systems' to [3]:

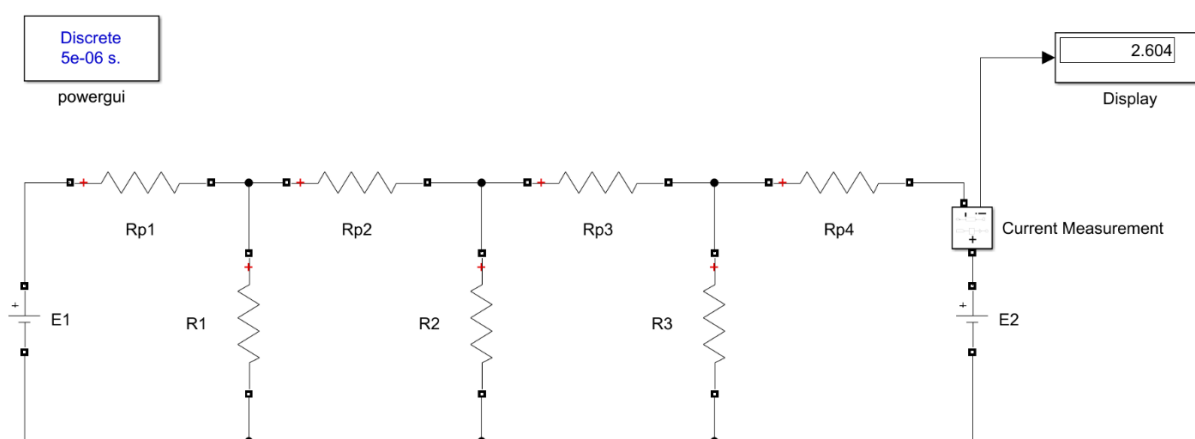
- 'Passives' z elementami pasywnymi (np. rezystory, cewki, kondensatory w bločku 'Series RLC branch' i obciążenia stałe, regulowane, trójfazowe);
- 'Power electronics' z półprzewodnikami (np. diody, tranzystory, mostki);
- 'Sensors and measurements' z elementami pomiarowymi i obliczeniowymi (np. woltomierz, amperomierz, multimetr, bloki do obliczeń wartości skutecznych i średnich, transformaty, pomiary wielkości trójfazowych, itp.);
- 'Sources' ze źródłami zasilania (np. napięcia i prądu stałego, regulowanego, przemiennego, trójfazowego, itd.);
- 'Utilities' z uziemieniem i węzłem bilansującym.

4. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenia koncentrują się na utworzeniu modeli blokowych w programie, a następnie przeprowadzeniu za ich pomocą analizy parametrycznej, w celu rozwiązania postawionego problemu. Pierwsze zadanie zostanie wykonane wspólnie z prowadzącym, w celu przedstawienia metodyki tworzenia i obliczania schematów. Kolejne zadania wykonywane będą samodzielnie w małych zespołach.

4.1. Analiza prądu akumulatorów zasilania awaryjnego

Dany jest obwód odwzorowujący instalację elektryczną w domku działkowym (Rys. 3). Trzy odbiorniki (R_1 , R_2 , R_3) połączono czterema przewodami ($R_{p1} \div R_{p4}$) do źródeł zasilania – gniazdka sieciowego (E_1) oraz akumulatorów zasilania awaryjnego (E_2). W utworzonym obwodzie **wyznacz prąd akumulatorów**.



Rys. 3. Schemat obwodu instalacji elektrycznej domku

Aby wykonać ćwiczenie należy:

- wstawić elementy typu 'DC Voltage Source' oraz 'Series RLC Branch' do modelu, odpowiednio nazwać i połączyć;
- wstawić amperomierz 'Current Measurement' i podłączyć do 'Display';
- zadać parametry dla każdego z elementów (Tabela 1);
- przeprowadzić symulację i sprawdzić wynik.

Tabela 1. Zadane parametry instalacji

Oznaczenie	Nazwa	Parametry	Wartość
E1	Napięcie gniazdka	Amplitude (V):	230
E2	Napięcie akumulatorów	Amplitude (V):	220
R1 ÷ R3	Rezystancje obciążeń	Branch type:	R
		Resistance (Ohms):	100
Rp1 ÷ Rp4	Rezystancje przewodów	Branch type:	R
		Resistance (Ohms):	5

Przeprowadź też analizę wydajności prądowej akumulatorów, w zależności od wartości napięć na zaciskach. Wykonaj symulacje dla przypadków z Tabeli 2.

Tabela 2. Napięcie akumulatorów i ich prąd

E_2, V	100	120	140	160	180	200	220	240
I_2, A								

Na podstawie symulacji odpowiedz na pytania:

- Czy w tym układzie są wykorzystywane do zasilania urządzeń, czy też same są ładowane?
- Jak napięcie E_2 wpływa na wartość prądu I_2 ?

Wnioski:

.....

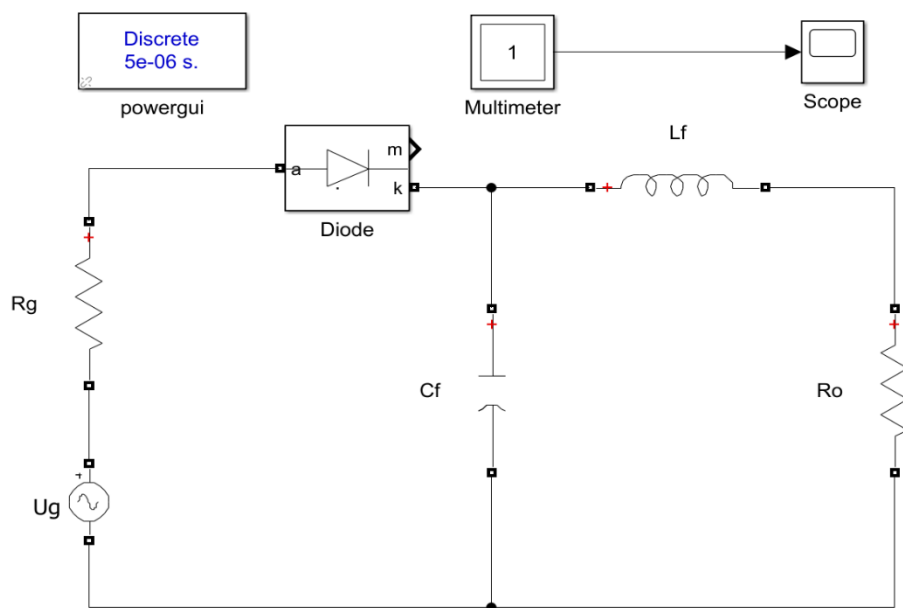
.....

4.2. Zasilacz prądu stałego

Przygotuj model zasilacza prądu stałego (Rys. 4). Urządzenie podłączone jest do sieci niczym typowy zasilacz wtykowy i ma za zadanie generować napięcie stałe dla obciążenia (np. lampy oświetleniowej). Do modelu wstaw bloki 'Multimeter' i 'Scope', które pozwolą wyświetlić przebieg napięcia obciążenia.

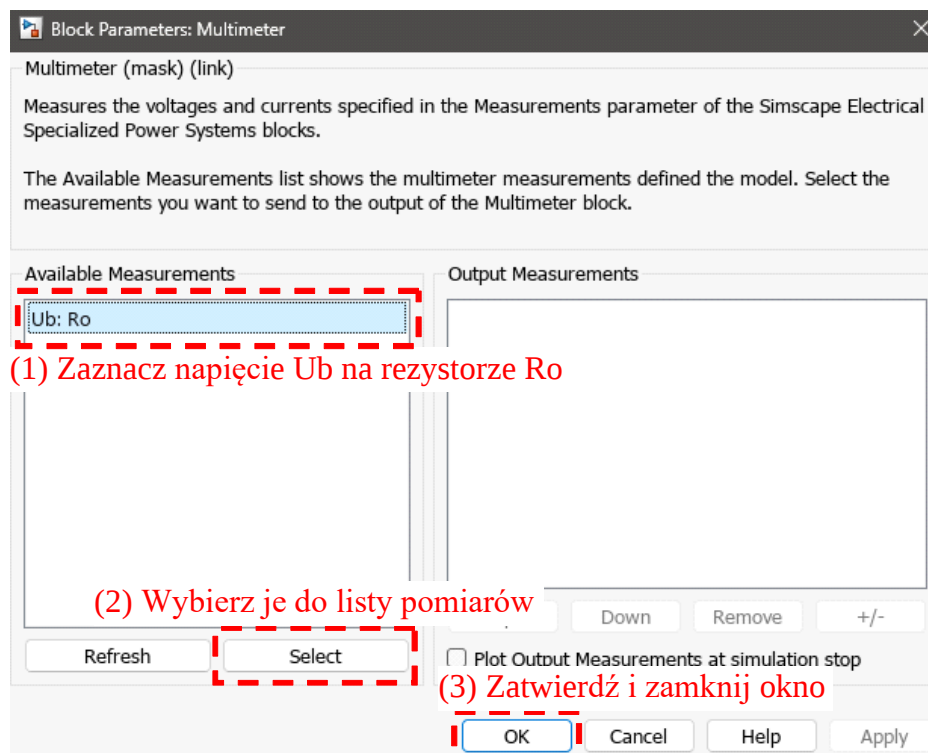
Tabela 3. Zadane parametry zasilacza, gdzie **N** to liczba liter w nazwisku

Oznaczenie	Opis	Parametry	Wartość
Ug	Napięcie sieci	Peak amplitude:	325
		Frequency (Hz):	50
Rg	Rezystancja sieci	Branch type:	R
		Resistance (Ohms):	4
Ro	Rezystancja obciążenia	Branch type:	R
		Resistance (Ohms):	N ·30
		Measurements:	Branch voltage
Diode	Dioda prostownicza	Forward voltage Vf (V):	1.5
		Snubber resistance Rs (Ohms):	inf
Cf	Kondensator filtrujący	Branch type:	C
		Capacitance (F):	1e-4
Lf	Dławik filtrujący	Branch type:	L
		Inductance (H):	5e-3



Rys. 4. Schemat zasilacza

Blok 'Multimeter' działa jak multimetr cyfrowy, w którym należy wskazać co ma zostać zmierzone (Rys. 5). By dostępne napięcia i prądy pojawiły się w oknie 'Available Measurements', należy wcześniej wybrać opcję pomiaru w parametrach poszczególnych elementów (patrz Tabela 1 i parametry R_o).

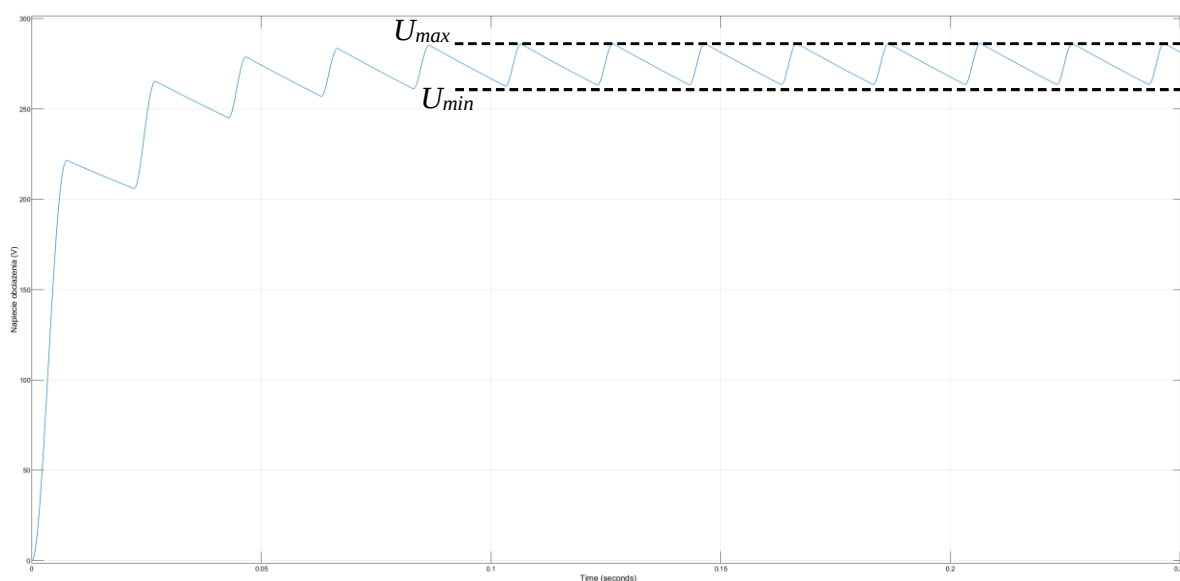


Rys. 5. Wykorzystanie bloku 'Multimeter'

Następnie dobierz, np. metodą prób i błędów, pojemność kondensatora (C_f) i indukcyjność dławika (L_f) tak, aby:

- średnie napięcie ($U_{sr} = U_{max}/2 + U_{min}/2$) było nie mniejsze niż 270 V;
- współczynnik tętnień ($k_t = U_{max} / U_{min}$) był nie większy niż 1,08.

Sposób odczytywania wartości max i min. napięcia pokazano na Rys. 6.



Rys. 6. Sposób odczytywania wartości U_{max} i U_{min} z przebiegu napięcia obciążenia

Wnioski:

.....

.....

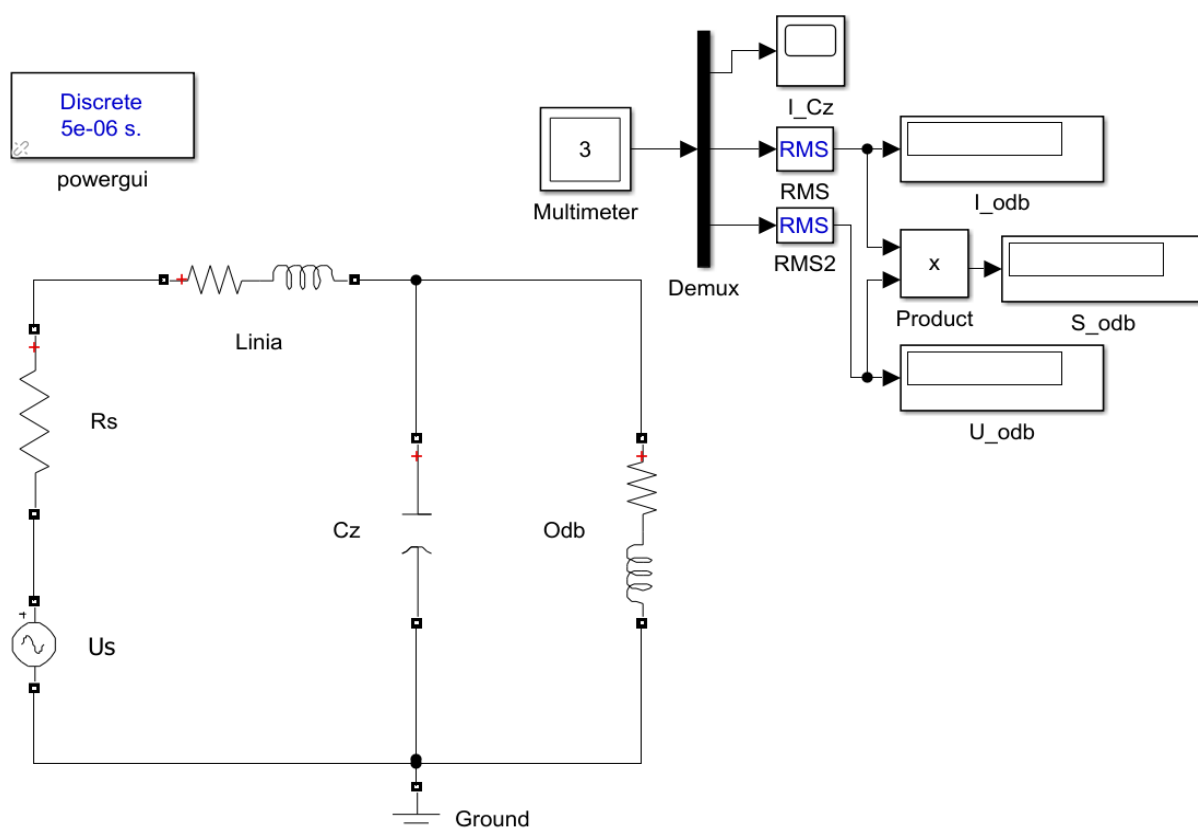
4.3. Linia elektroenergetyczna

Analizowany jest fragment sieci elektroenergetycznej średniego napięcia. Zakład przemysłowy (Odb) zasilany jest napięciem U_s z sieci o impedancji wewnętrznej R_s . Linia napowietrzna modelowana jest jako dwójnik RL (odwzorowuje rzeczywiste przewody elektryczne) i kondensatora doziemnego C_z (fizycznie jest to pojemność elektryczna między przewodami a ziemią). Na końcu dołączony jest odbiorca, również modelowany jako dwójnik RL (Rys. 7).

Tabela 4. Zadane parametry sieci, gdzie **N** to liczba liter w nazwisku

Oznaczenie	Nazwa	Parametry	Wartość
Us	Napięcie sieci	Peak amplitude (V):	12000
		Frequency (Hz):	50
Rs	Impedancja sieci	Branch type:	R
		Resistance (Ohms):	2
Cz	Pojemność doziemna	Branch type:	C
		Capacitance (F):	N ·1e-7
		Measurements:	Branch current
Linia	Linia napowietrzna	Branch type:	RL
		Resistance (Ohms):	N ·0.3
		Inductance (H):	N ·0.5e-3
Odb	Odbiorca	Branch type:	RL
		Resistance (Ohms):	N*5
		Inductance (H):	1E-02
		Measurements:	Branch voltage and current
RMS RMS2	Obliczenie wartości skutecznej	Fundamental frequency (Hz):	50
		Initial RMS value:	0

Model linii składa się też z części pomiarowej po prawej stronie (Rys. 7). 'Multimeter' mierzy prądy kondensatora (I_{Cz}) oraz prąd (I_{odb}) i napięcie (U_{odb}) odbiorcy. Potem I_{Cz} wyświetlany jest na oscyloskopie, a I_{odb} oraz U_{odb} podawane są na bloki 'RMS' obliczające ich wartości skuteczne. Na koniec wartości te są mnożone blokiem 'Product', aby obliczyć moc pozorną S_{odb} .



Rys. 7. Schemat linii dołączonej do odbiorcy przemysłowego

Teraz sprawdź, jak zmiana indukcyjności zastępczej odbiornika (parametr 'Inductance' w elemencie Odb) wpływa właśnie na moc pozorną pobieraną przez odbiorcę. Uzupełnij Tabelę 5.

Tabela 5. Indukcyjność Odb i pobierana przez odbiorcę moc pozorna S_{odb}

Inductance, H	1e-3	5e-3	1e-2	5e-2	1e-1	5e-1	1	5	10
S_{odb} , VA									

Na podstawie symulacji odpowiedz na pytania:

- Jaki jest kształt i wartość skuteczna prąd płynący do ziemi (prądu Cz)?
- Na podstawie sposobu wyznaczania mocy pozornej odbiornika zastanów się: Jak obliczyć w *Simulinku* moc pozorną źródła?

4.4. Falownik napięcia

Magazyn energii (akumulator) działa na napięcie stałe (DC). Zaś większość urządzeń odbiorczych zasilanych z niego wymaga napięcia sinusoidalnego (AC). Zaprojektuj przekształtnik zamieniający napięcie DC na AC. W tym celu:

- wylicz parametry obwodu przekształtnika za pomocą równań (1) ÷ (7);
- utwórz obwód falownika z Rys. 8;
- wpisz parametry do obwodu i przeprowadź symulację;
- nastaw taki współczynnik wypełnienia (blok 'Constant'), aby na odbiorniku (blok 'Ro') uzyskać napięcie sinusoidalne o wartości skutecznej 230 V;
- sprawdź jak rezystancja odbiornika (blok 'Ro') wpływa na sprawność i napięcie wyjściowe falownika – wykonaj symulacje i wypełnij Tabelę 7;
- znajdź w internecie elementy, z których można zbudować ten falownik.

a) Projektowanie falownika

Przed utworzeniem przekształtnika wylicz parametry elementów, z których jest zbudowany. Przyjmij częstotliwość $f = 50 \text{ Hz}$ i **N** jako liczbę liter w nazwisku:

- Założ oczekiwane napięcie skuteczne na wyjściu falownika

$$U_{sk} = 230 \text{ V} \quad (1)$$

- Określ moc znamionową zasilanego odbiornika

$$P_n = \mathbf{N} \cdot 200 \text{ W} \quad (2)$$

- Oblicz rezystancję zastępczą odbiornika

$$R_o = \frac{U_{sk}^2}{P_n} \quad (3)$$

- Wylicz indukcyjność L1

$$L1 = 70 \cdot \frac{R_o}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (4)$$

- Wylicz indukcyjność L2

$$L2 = 3.5 \cdot \frac{Ro}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (5)$$

- Wylicz pojemność C1

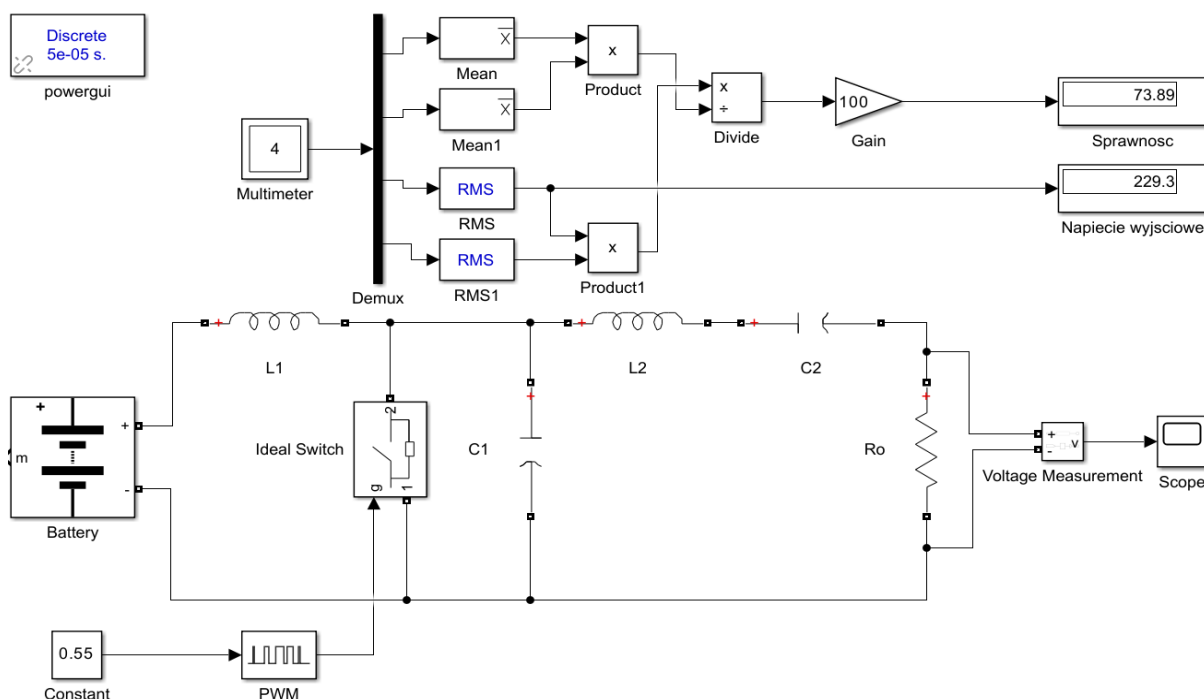
$$C1 = \frac{1}{3.26 \cdot Ro \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \quad (6)$$

- Wylicz pojemność C2

$$C2 = \frac{1}{3.74 \cdot Ro \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \quad (7)$$

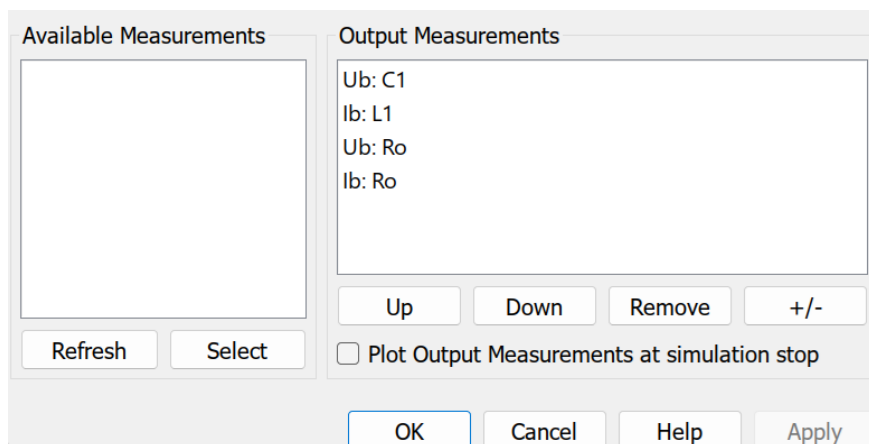
b) Schemat obwodu

Utwórz model przekształtnika (Rys. 8). Składa się on z pakietu akumulatorów 'Battery' z szeregowo dołączonym dławikiem 'L1'. Następnie równolegle wpięto tranzystor 'Ideal switch', a do niego kondensator 'C1'. Potem szeregowo łączy się cewkę 'L2' z kondensatorem 'C2' i odbiornikiem 'Ro'. Do tranzystora dodano generator 'PWM' naprzemiennie załączający i wyłączający tranzystor. PWM sterowany jest współczynnikiem wypełnienia, zadawanym w bloku 'Constant'.



Rys. 8. Przekształtnik DC/AC generujący napięcie sinusoidalne na odbiorniku Ro

W modelu uzupełnij też blok pomiarowy, czyli 'Multimeter', tak jak na Rys. 9.



Rys. 9. Nastawy w bloku 'Multimeter'

Gdy wszystko będzie połączone, to zrób zrzut ekranu utworzonego modelu i dodaj do sprawozdania, wraz z obliczeniami parametrów z podpunktu a).

c) Zadanie parametrów

Wprowadź do wymienionych bloków odpowiednie nastawy (Tabela 6). W miejsce **czzerwonych** zmiennych wstaw wartości wyliczone w podpunkcie a).

Tabela 6. Zadane parametry falownika

Oznaczenie	Opis	Parametry	Wartość
Battery	4 akumulatory o napięciu 48 V	Nominal voltage (V):	4*48
		Rated capacity (Ah):	420
L1	Dławik filtrujący	Branch type:	L
		Inductance (H):	L1
		Measurements:	Branch current
C1	Kondensator filtrujący	Branch type:	C
		Capacitance (F):	C1
		Measurements:	Branch voltage

L2	Dławik	Branch type:	L
		Inductance (H):	L2
C2	Kondensator	Branch type:	C
		Capacitance (F):	C2
Ro	Odbiorniki o łącznej mocy P_n	Branch type:	R
		Resistance (Ohms):	Ro
		Measurements:	Branch voltage and current
Mean Mean1	Obliczenie wartości średniej	Fundamental frequency (Hz):	50
		Initial input (DC component):	0
RMS RMS1	Obliczenie wartości skutecznej	True RMS value	☒
		Fundamental frequency (Hz):	50
		Initial RMS value:	0

Po wprowadzeniu parametrów nastaw 'Stop Time' na 5 sekund i przeprowadź symulacje. W bloku 'Scope' sprawdź, czy napięcie ma kształt sinusoidalny i określ jego wartość skuteczną. Jeżeli coś się nie zgadza, to sprawdź/popraw obliczenia parametrów i/lub układ połączeń. Gdy wszystko będzie działać poprawnie, to zrób zrzut przebiegu napięcia na odbiorniku (blok 'Scope') i dołącz do sprawozdania.

d) Współczynnik wypełnienia

Tranzystor, sterowany sygnałem PWM, naprzemiennie załącza się i wyłącza, wywołując „falowanie” napięcia. O tym jak ono „faluje” decyduje współczynnik wypełnienia (blok 'Constant'), który może przyjmować wartości od 0 do 1.

Dobierz wartość współczynnika, przy której na odbiorniku (blok 'Ro') powstaje napięcie o wartości skutecznej 230 V (blok 'Napięcie wyjściowe'). Gdy uzyskasz to napięcie (z dokładnością ± 1 V), wówczas zanotuj jego wartość oraz wartość współczynnika, przy którym udało się to osiągnąć.

e) Sprawność i napięcie falownika

Moc pobierana przez odbiornik rzutuje niestety na sprawność konwersji i napięcie wyjściowe. Zbadaj jak znaczący jest to wpływ, zmieniając rezystancję odbiornika (blok 'Ro') wedle Tabeli 7. Dla każdej przesymuluj obwód i zapisz wartości sprawności (blok 'Sprawnosć') i napięcia (blok 'Napiecie wyjsciowe').

Tabela 7. Rezystancja odbiornika, sprawność, wartość napięcia i moc odbiornika

R, Ω (Rezystancja Ro)	$\eta, \%$ (Sprawnosć)	U, V (Napiecie wyjsciowe)	P, W (Moc odbiornika)
1			
3			
5			
7			
10			
30			
50			
70			
100			
300			
500			
700			
1000			
3000			
5000			
7000			
10000			

Na podstawie wyników:

- dla każdej rezystancji oblicz moc odbiornika ze wzoru

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (8)$$

- sporządź charakterystyki sprawności, napięcia i mocy w funkcji rezystancji, tj. $\eta = f(R)$, $U = f(R)$ i $P = f(R)$ – pamiętaj, aby na osi poziomej włączyć skalę logarytmiczną!

f) Kosztorys elementów

Znajdź w sklepach internetowych 5 głównych elementów niezbędnych do budowy falownika: tranzystor, dławiki o indukcyjnościach L1 i L2, kondensatory o pojemnościach C1 i C2. W sprawozdaniu zamieść ich listę – wypisz nazwy, najważniejsze parametry, ceny, linki do stron i do każdego dodaj zdjęcie.

Wnioski:

.....
.....

5. Literatura

- [1] J. Brzóska, L. Dorobczyński, Matlab: środowisko obliczeń naukowo-technicznych, Mikom, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
- [2] M. Stachurski, W. Treichel, Matlab dla studentów. Ćwiczenia, zadania, rozwiązania., Witkom, Warszawa, 2009.
- [3] B. Mrozek, Z. Mrozek, MATLAB i Simulink. Poradnik użytkownika. Wydanie IV, Helion, Gliwice, 2017.
- [4] E. Dyka, P. Markiewicz, R. Sikora, Modelowanie w elektrotechnice z wykorzystaniem środowiska MATLAB, Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2006.
- [5] A. Gilat, V. Subramaniam, Numerical methods for engineers and scientists: an introduction with applications using Matlab, John Wiley & Sons, Hoboken, 2011.
- [6] M. Sobierajski, M. Łabuzek, Programowanie w Matlabie dla elektryków, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2005.

6. Pytania kontrolne

1. Krótko wyjaśnij elementy widoczne w głównym oknie pakietu *Simulink*.
2. Czy program oblicza obwody z użyciem liczb zespolonych, czy rozwiązuje postać czasową?
3. W jaki sposób obliczyć moc pozorną, bierną i czynną z użyciem bloków funkcjonalnych?

7. Wymagania BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciw pożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad:

- Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- Jeżeli istnieje taka możliwość, należy dostosować warunki stanowiska do własnych potrzeb, ze względu na ergonomię. Monitor ustawić w sposób zapewniający stałą i wygodną obserwację dla wszystkich członków zespołu.
- Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- Włączenie komputera może nastąpić po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- W trakcie pracy z komputerem zabronione jest spożywanie posiłków i napojów.
- W przypadku zakończenia pracy należy zakończyć sesję przez wydanie polecenia wylogowania. Zamknięcie systemu operacyjnego może się odbywać tylko na wyraźne polecenie prowadzącego.
- Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska.
- Zabroniona jest zmiana konfiguracji komputera, w tym systemu operacyjnego i programów użytkowych, która nie wynika z programu zajęć i nie jest wykonywana w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.