

Laboratorium ZUW			
Temat: Projekt zaliczeniowy			Nr: 5
Grupa: 6.4	Imię i nazwisko: Marek Rowiński	Data wykonania: 21.05.2024	Ocena:
Zespół: 3		Data oddania: 21.05.2024	Dzień tygodnia: pon. 10:15

1. Cel projektu:

Celem projektu jest zaprojektowanie i zbudowanie układu energoelektronicznego w środowisku Matlab Simulink, który będzie składał się z następujących elementów:

- **Model sieci trójfazowej:** Zapewniający zasilanie całego systemu.
- **Prostownik trójfazowy dwupółkowy:** Służący do konwersji napięcia przemiennego na napięcie stałe.
- **Izolowana przetwornica DC/DC:** Zastosowana do utrzymania stałego napięcia na wyjściu, wykorzystująca sterowanie fazowe.
- **Falownik skalarny:** Konwertujący napięcie stałe na napięcie przemiennie o zmiennej częstotliwości.
- **Silnik synchroniczny z magnesami trwałymi:** Zapewniający ruch obrotowy z określonymi parametrami.

Główne zadania ćwiczenia to:

- **Utrzymanie stałego napięcia:** Zapewnienie stabilności napięcia na szynie DC falownika ($V = 290V$).
- **Kontrola prędkości silnika:** Utrzymanie stałej prędkości obrotowej silnika synchronicznego ($W = 1200 \text{ obr/min}$) przy zadanym obciążeniu ($T = 15 \text{ Nm}$).
- **Zabezpieczenie systemu:** Implementacja mechanizmów zabezpieczających system przed:
 - Zbyt dużym poborem prądu z sieci elektroenergetycznej ($> 32 \text{ A}$).
 - Zbyt dużym uchybem regulacji w przetwornicy DC/DC.
 - Zbyt dużą prędkością obrotową silnika.

Dodatkowe cele ćwiczenia obejmują:

- Monitorowanie prądu na wyjściu przetwornicy obniżającej napięcie.
- Monitorowanie prądu pobieranego z sieci elektroenergetycznej.
- Monitorowanie prędkości obrotowej silnika.

Parametry używane w ćwiczeniu:

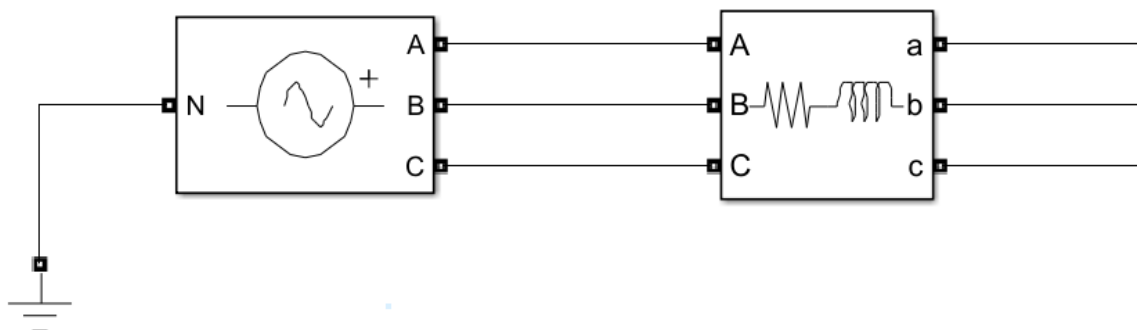
- **Napięcie wyjściowe:** 290V
- **Parametry silnika synchronicznego z magnesami trwałymi:** Moment obrotowy 20 Nm, napięcie zasilania 300 Vdc, prędkość maksymalna 2200 obr/min.
- **Docelowa prędkość obrotowa:** 1200 obr/min
- **Obciążenie:** 15 Nm

Układ ma zapewniać stabilne działanie oraz bezpieczeństwo pracy, z możliwością automatycznego wyłączenia w przypadku przekroczenia dopuszczalnych parametrów.

2. Układ:

a) Linia elektroenergetyczna:

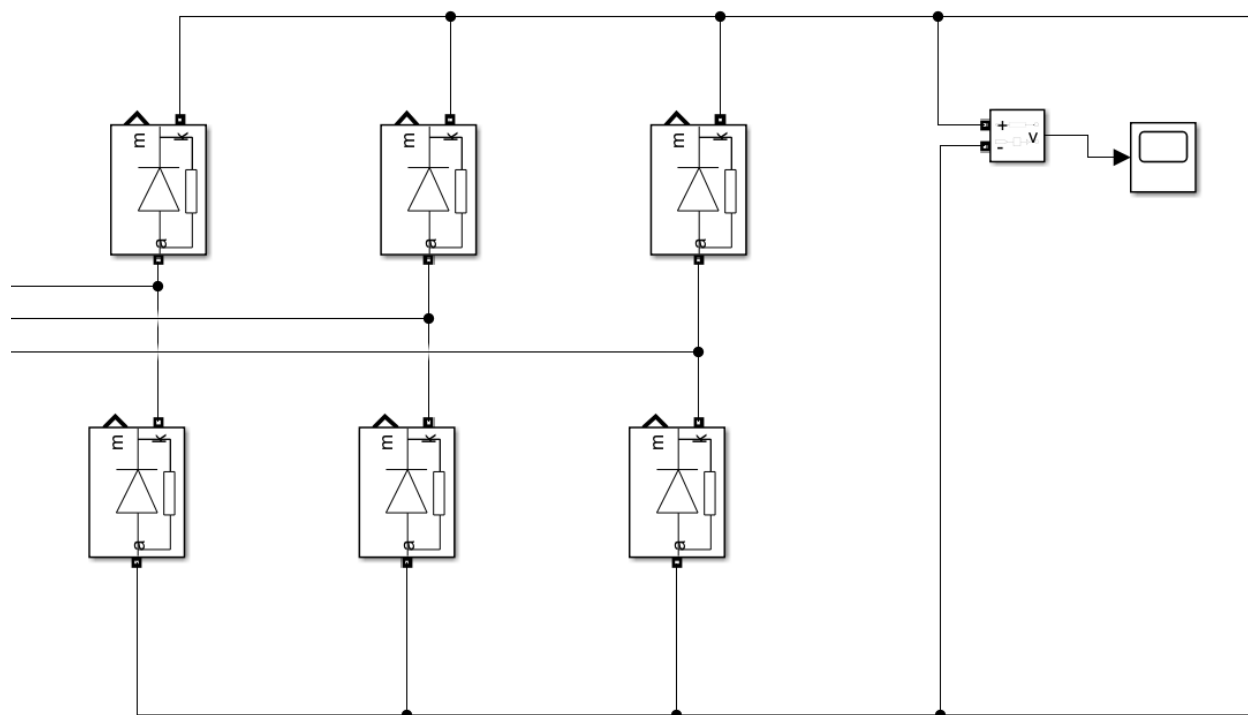
Linia energetyczna została zamodelowana jako trójfazowe źródło z napięciem międzyfazowym efektywnym wynoszącym 400 V i częstotliwością 50 Hz. Przyjęto, że linia ta posiada rezystancję wynoszącą $0,01 \Omega$ oraz indukcyjność równą 1 mH, co zostało zamodelowane jako szeregowa gałąź trójfazowa. W ramach układu dokonuje się pomiaru napięć poszczególnych faz oraz wartości chwilowych prądów w każdej z nich.



Sch. 1. Model linii energetycznej

b) Prostownik trójfazowy dwupołkowy:

Zaciski końcowe linii energetycznej zostały podłączone do prostownika trójfazowego dwupołkowego, co wynika z potrzeby dostarczenia napięcia stałego do przetwornika częstotliwości zasilającego silnik. Do każdej fazy podłączono układ z parą diod. Dodatnia połowka sinusoidy przechodzi przez prostownik bez zmian, natomiast ujemna połowka napięcia fazowego zmienia swój znak. Następnie wartości napięć sumują się, dając w efekcie wyprostowane napięcie pulsujące o wartości maksymalnej. Zamodelowany układ dodatkowo zawiera pomiar napięcia i prądu wyjściowego mostka, przy czym prąd i napięcie wejściowe do mostka są mierzone na linii elektroenergetycznej.



Sch. 2. Model prostownika trójfazowego dwupołkowego

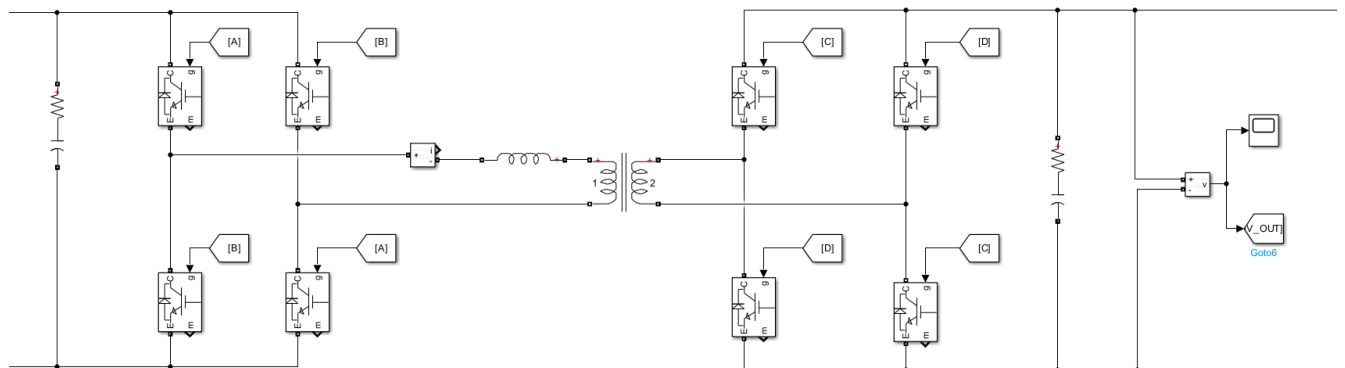
c) Przetwornica DC/DC:

Linia energetyczna została podłączona do prostownika trójfazowego dwupołkowego, co umożliwia przekształcenie napięcia zmiennego na napięcie stałe, niezbędne dla dalszego zasilania przetwornicy częstotliwości, która napędza silnik. W procesie prostowania, dodatnia część sinusoidy przechodzi przez prostownik bez zmian, natomiast ujemna część napięcia fazowego zostaje odwrócona. Następnie te wartości są sumowane, tworząc wyprostowane, pulsujące napięcie o maksymalnej wartości.

Na wyjściu prostownika umieszczono przetwornicę DC/DC typu DAB. Jej głównym zadaniem jest obniżenie napięcia z około 510 V do 290 V, potrzebnego do zasilania falownika i dalej silnika. W przetwornicy typu DAB wykorzystano transformator, który zapewnia izolację galwaniczną między stroną zasilania a stroną silnika. Proces przesyłania mocy odbywa się za pomocą tranzystorów po stronie pierwotnej transformatora. Początkowo otwarte są tranzystory sterowane sygnałem A, podczas gdy te

sterowane sygnałem B są zamknięte, a następnie sytuacja odwraca się. Indukcyjność cewki po stronie pierwotnej transformatora zapobiega gwałtownym zmianom prądu.

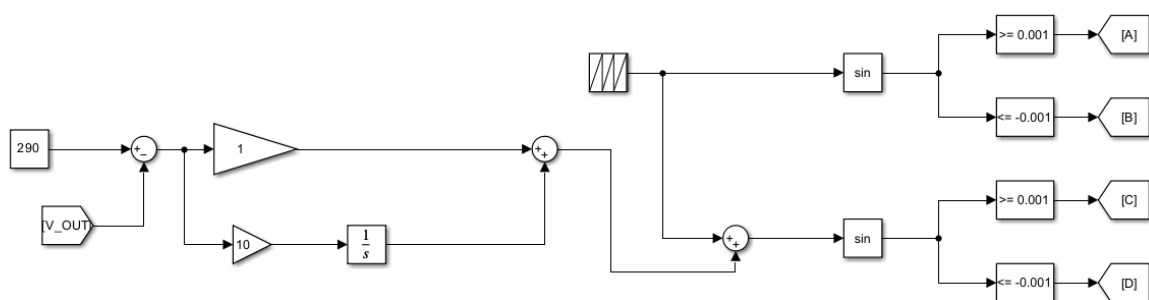
Dodatkowo, na wejściu i wyjściu przetwornicy zamontowano kondensatory, które mają za zadanie stabilizować napięcie. Na wejściu kondensator ma pojemność 0 mF, natomiast na wyjściu 50 mF. Kondensator na wyjściu pomaga w wyprostowaniu przebiegu napięcia wyjściowego przetwornicy.



Sch. 3. Model przetwornicy DC/DC

d) Układ sterowania przetwornicą:

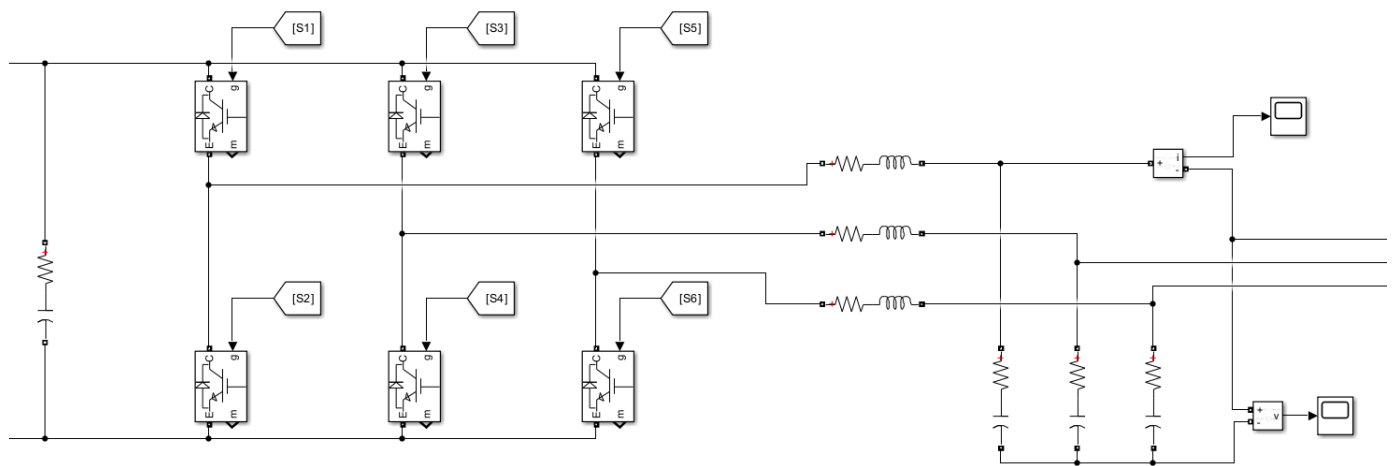
Układ sterowania odczytuje napięcie na zaciskach strony wtórnej i przekształca różnicę napięć na przesunięcie fazowe sygnałów za pomocą układu PI. Sygnały sterujące są generowane jako sygnały prostokątne o wartościach 0 i 1 o częstotliwości 20 kHz. Sygnał B jest negacją sygnału A, natomiast sygnał C jest sygnałem A przesuniętym w fazie o kąt wyliczony przez regulator. Sygnał D jest negacją sygnału C. Dodatkowo, układ monitoruje napięcie zadane oraz uchyb dla działania urządzeń zabezpieczających.



Sch. 4. Model układu sterowania przetwornicą

e) Falownik z filtrem rezonansowym LC:

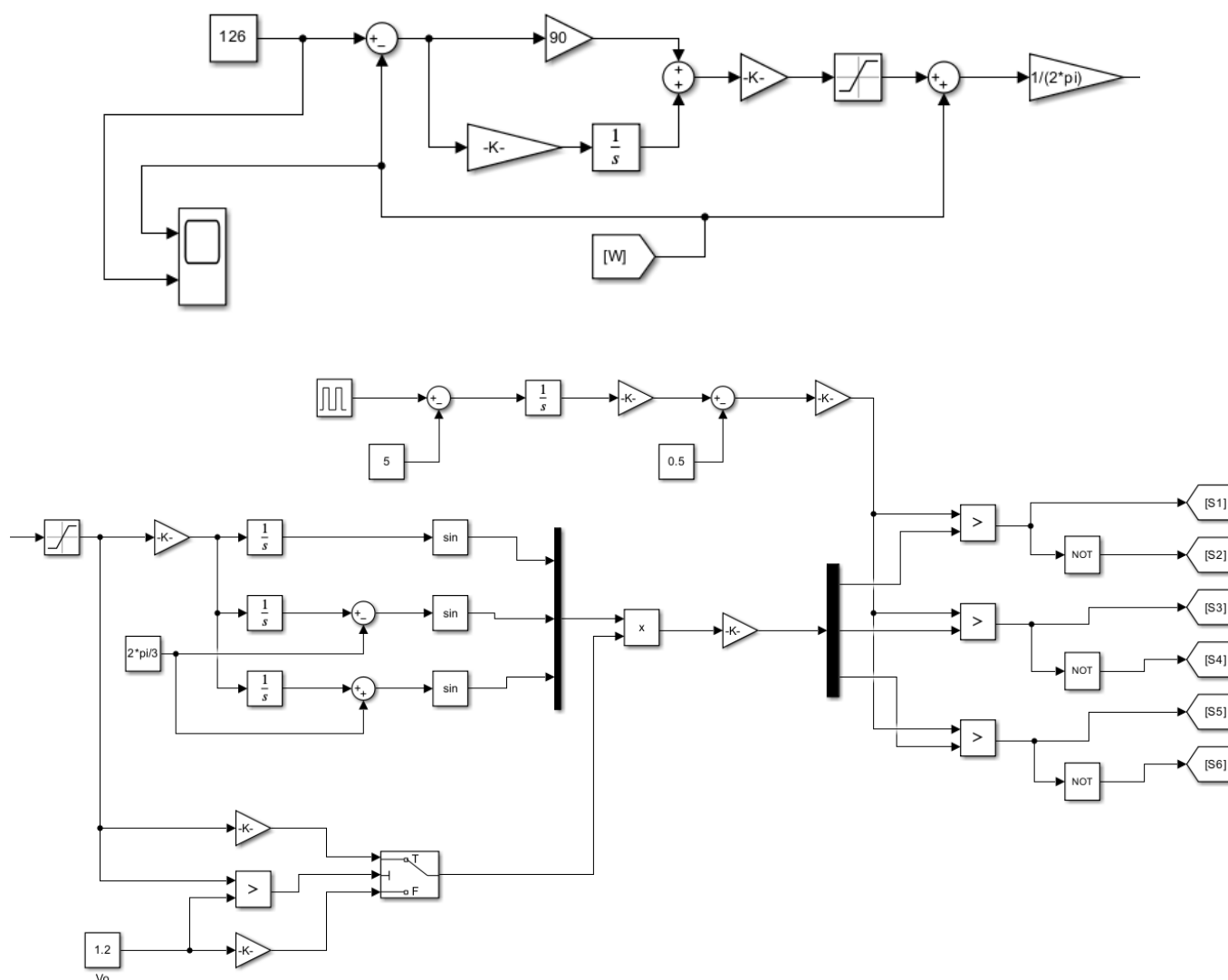
Na wyjściu przetwornicy DC/DC umieszczono falownik wraz z filtrem LC, który ma za zadanie generować sygnały sterujące dla silnika PMSM pod stałym napięciem. Przed falownikiem umieszczono kondensator o parametrach: $R = 0,01 \Omega$, $C = 1 \text{ mF}$. Ponieważ sterowanie silnikiem oparte jest na średnich wartościach sygnałów prądowych, zastosowano modulację szerokości impulsów (PWM), co pozwala na przesyłanie na zaciski silnika sygnałów PWM równoważnych z odpowiednimi sygnałami sinusoidalnymi. Na filtrze LC zamontowano cewki o parametrach: $R = 1 \Omega$, $L = 2,2 \text{ mH}$. Dodatkowo, na filtrze zamontowano kondensatory o parametrach: $R = 1 \text{ m}\Omega$, $C = 10 \mu\text{F}$. Przepływem prądu można sterować poprzez kluczkowanie tranzystorami na poszczególnych fazach.



Sch. 5. Model falownika wraz z filtrem

f) Układ sterowania falownikiem:

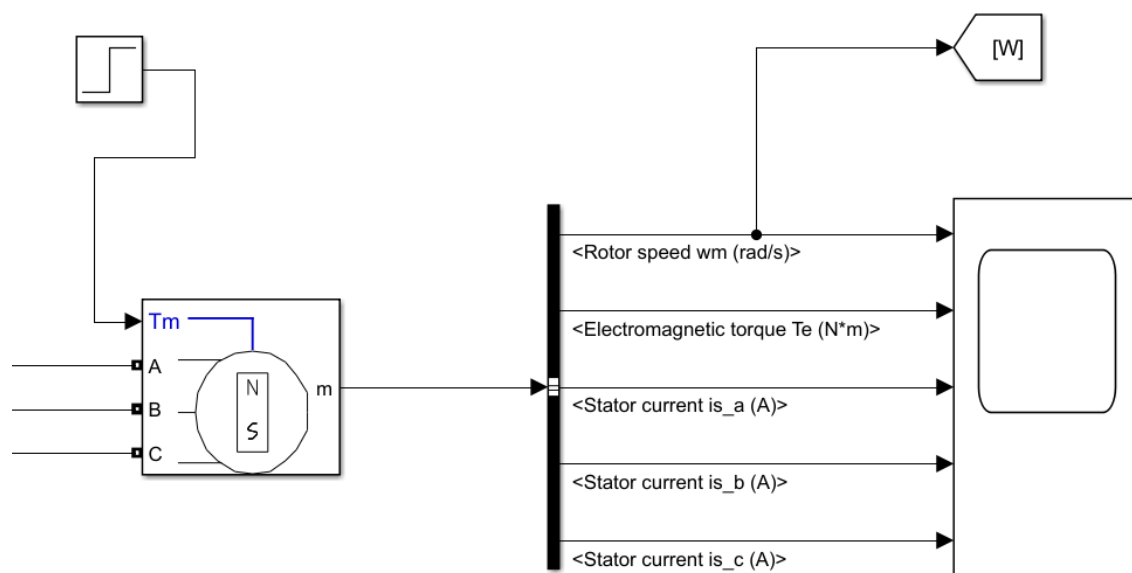
Układ sterowania silnikiem został stworzony do przekształcenia uchybu prędkości w sygnały sterujące dla tranzystorów S1-S6. Proces regulacji prędkości obejmuje przekształcenie uchybu prędkości w aktualny kąt dla funkcji sinusoidalnej generującej sygnały fazowe. Dodatkowo, sygnał fazy drugiej jest przyspieszany, a sygnał fazy trzeciej jest opóźniany. Następnie wszystkie przetworzone sygnały są zamieniane na sygnały PWM, które sterują tranzystorami. Tranzystory te odpowiadają za przesyłanie prądu do poszczególnych faz silnika. Na fazie L1 działają tranzystory S11 i S12, na fazie L2 - S13 i S14, a na fazie L3 - S15 i S16. każdy z nich otrzymuje odpowiednie sygnały PWM w celu kontroli prądowej.



Sch. 6. Model układu sterowania falownikiem

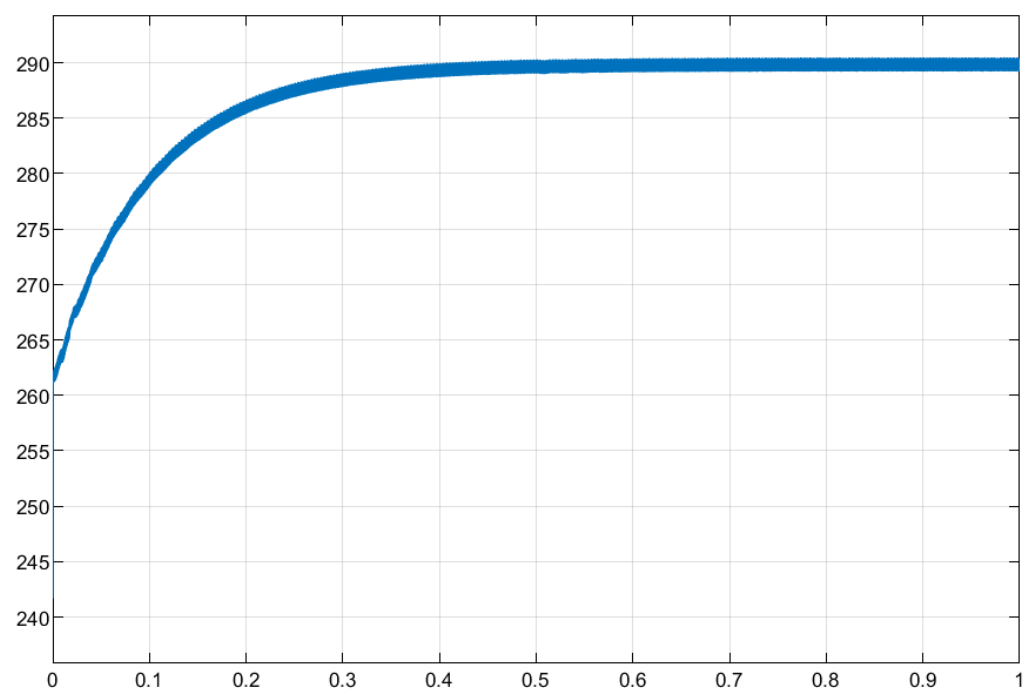
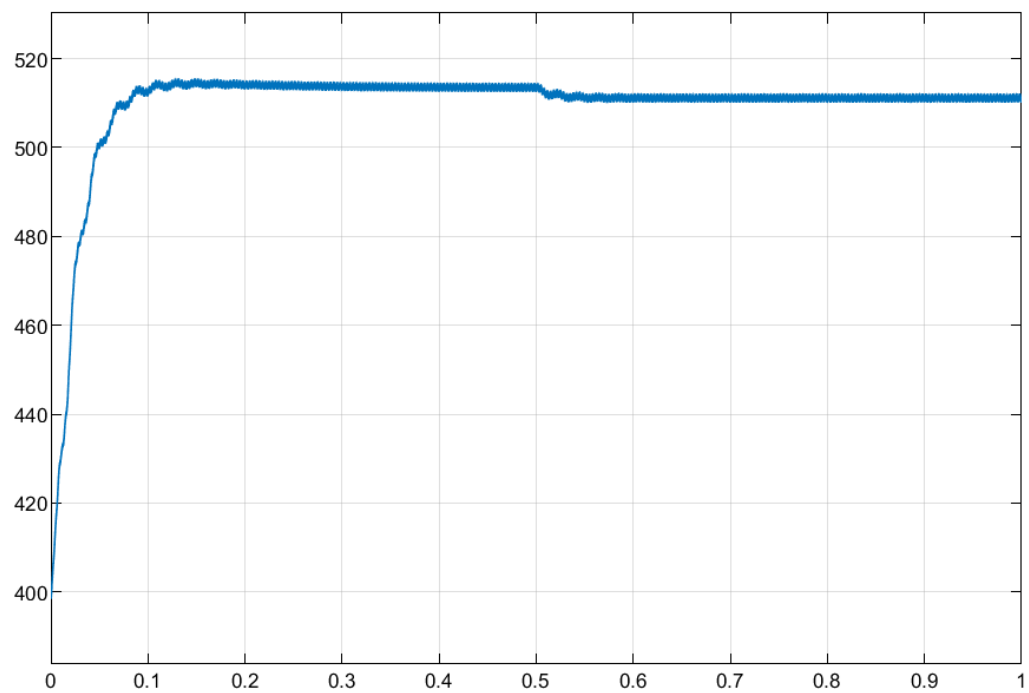
g) Silnik PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor):

W projekcie wykorzystano silnik PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Silnik ten charakteryzuje się wysoką sprawnością oraz precyzyjną kontrolą prędkości obrotowej, co czyni go idealnym rozwiązaniem dla aplikacji wymagających stabilnego i efektywnego napędu elektrycznego. Dzięki wykorzystaniu magnesów trwałych na wirniku, silnik PMSM zapewnia również wysoką gęstość mocy przy stosunkowo niskich stratach energii, co pozwala na osiągnięcie optymalnej wydajności w działaniu układu.

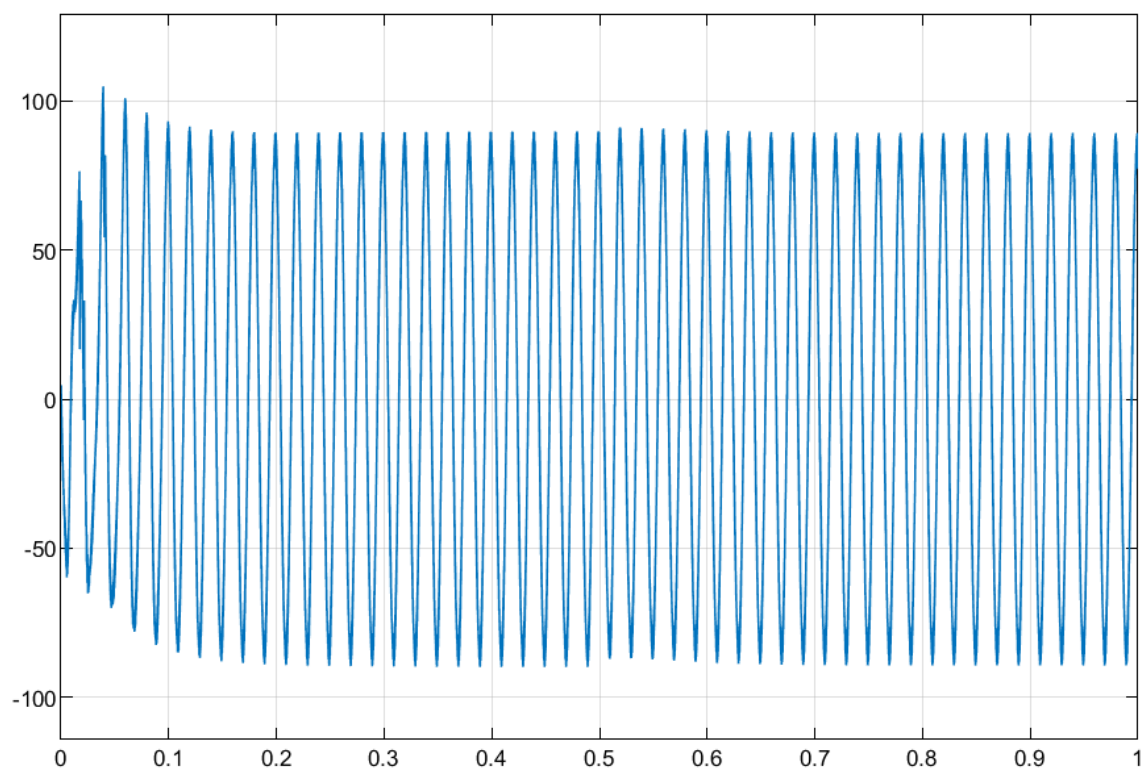
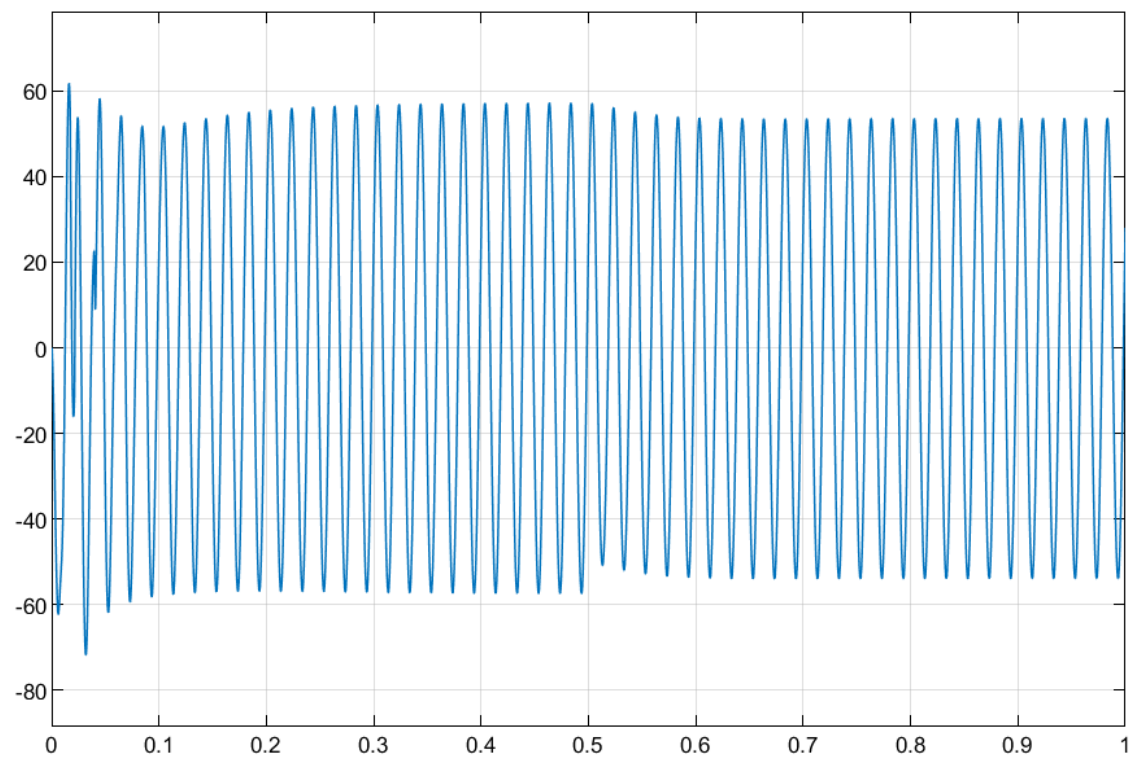


Sch. 7. Silnik PMSM użyty w projekcie

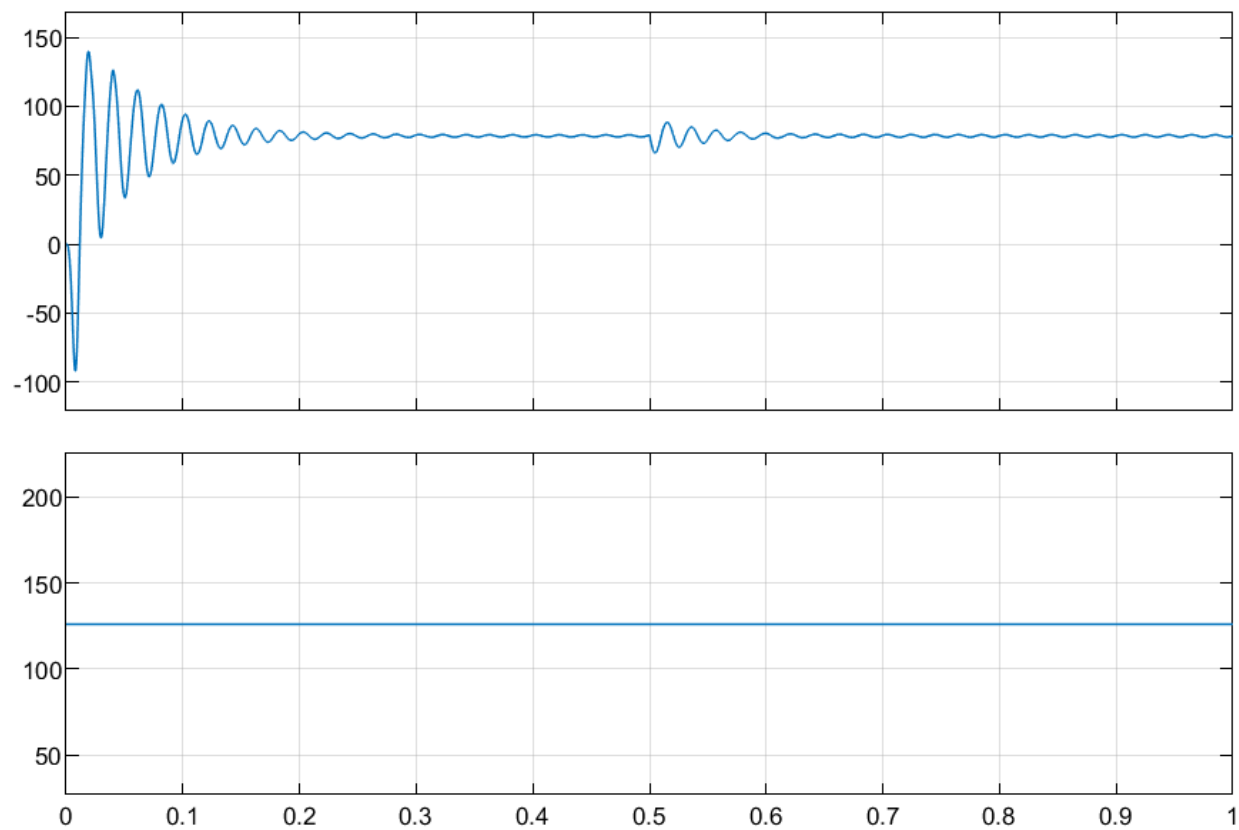
3. Dokonane pomiary:



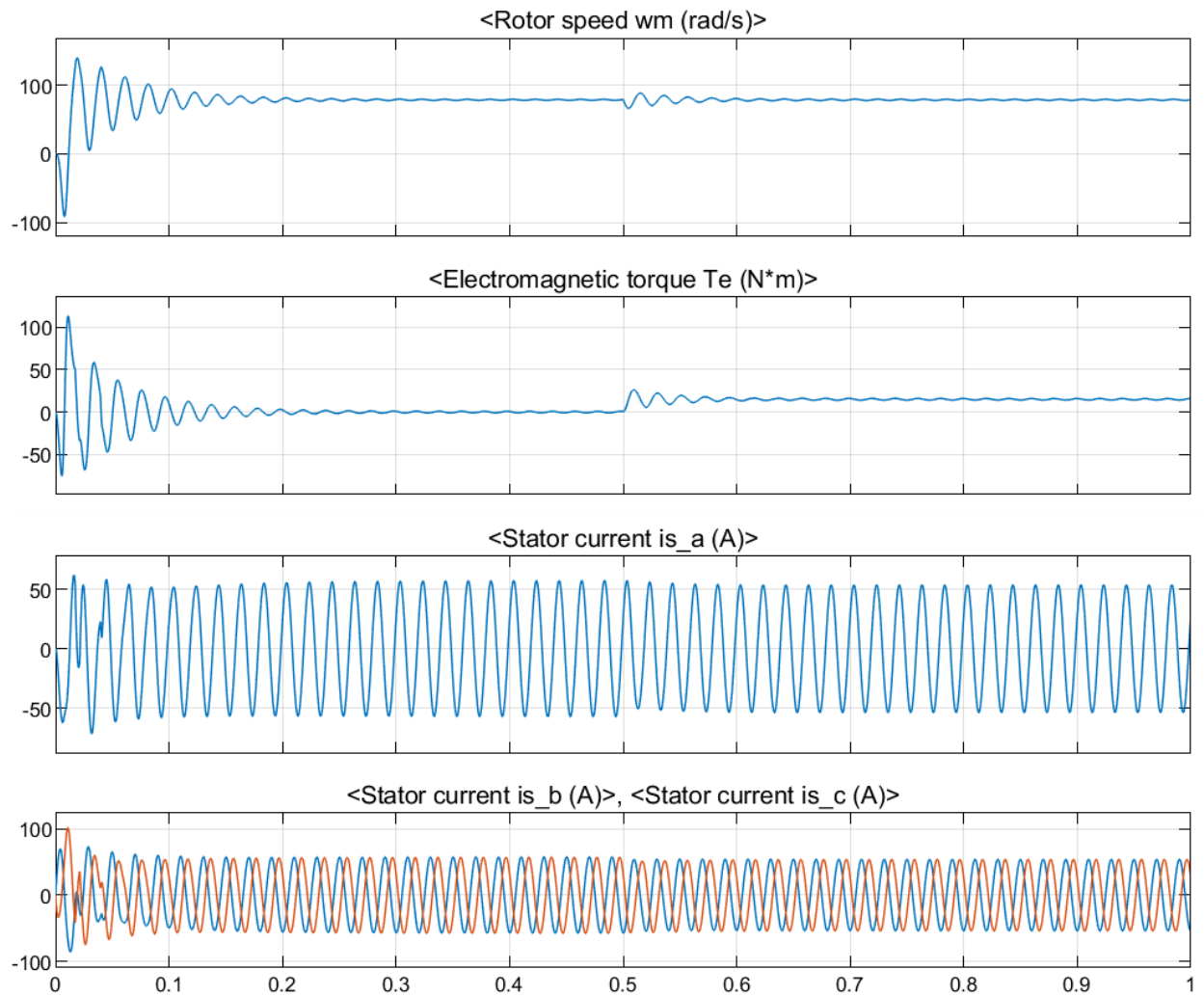
Wyk. 1. Pomiar napięć na wejściu i wyjściu przetwornicy



Wyk. 2. Pomiar odpowiednio natężenia i napięcia na falowniku



Wyk. 3. Wysterowane prędkości na sterowniku



Wyk. 4. Wyniki pracy silnika

4. Wnioski:

Układ zasilania silnika działa w większości poprawnie w zadanych warunkach. Zauważamy odpowiednio niski pobór prądu z sieci oraz stabilność napięcia w stanie ustalonym pracy. Chociaż występują pewne wahania napięcia w stanie nieustalonym, są one akceptowalnie krótkie w kontekście pracy silnika.

Jednakże, istnieją obszary, które mogłyby być poddane dalszej optymalizacji. Obserwujemy niewielkie wahania prędkości i momentu silnika podczas rozruchu, chociaż są one krótkotrwałe. Podobne wahania występują również podczas zmiany momentu obciążeniowego i prędkości zadanej.

Możliwe byłoby dalsze doskonalenie układu regulacji prędkości w celu minimalizacji tych wahań. Dodatkowo, widać, że prędkość jest utrzymywana do momentu załączenia obciążenia, a następnie po załączeniu momentu oporowego silnik przyspiesza do drugiej prędkości zadanej, co świadczy o poprawnym działaniu układu regulacji prędkości. Moment załączenia dodatkowego momentu oporowego jest także widoczny na wszystkich trzech przebiegach.