

<b>Wydział:</b> EAlIB	<b>Imię i nazwisko:</b> 1. Aleksandra Stachniak 2. Julita Wójcik 3. Martyna Wolny 4. Tomisław Tarnawski 5. Piotr Stosik 6. Jakub Szczypek	<b>Grupa:</b> 4b	<b>Rok:</b> 2021/22
<b>Laboratorium:</b> Napędy Elektryczne	<b>Ćwiczenie EA11:</b> Bezsztotkowy silnik prądu stałego		

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z własnościami ruchowymi bezszczotkowego silnika prądu stałego oraz całego napędu elektrycznego wyposażonego w taki silnik.

## 2. Wstęp

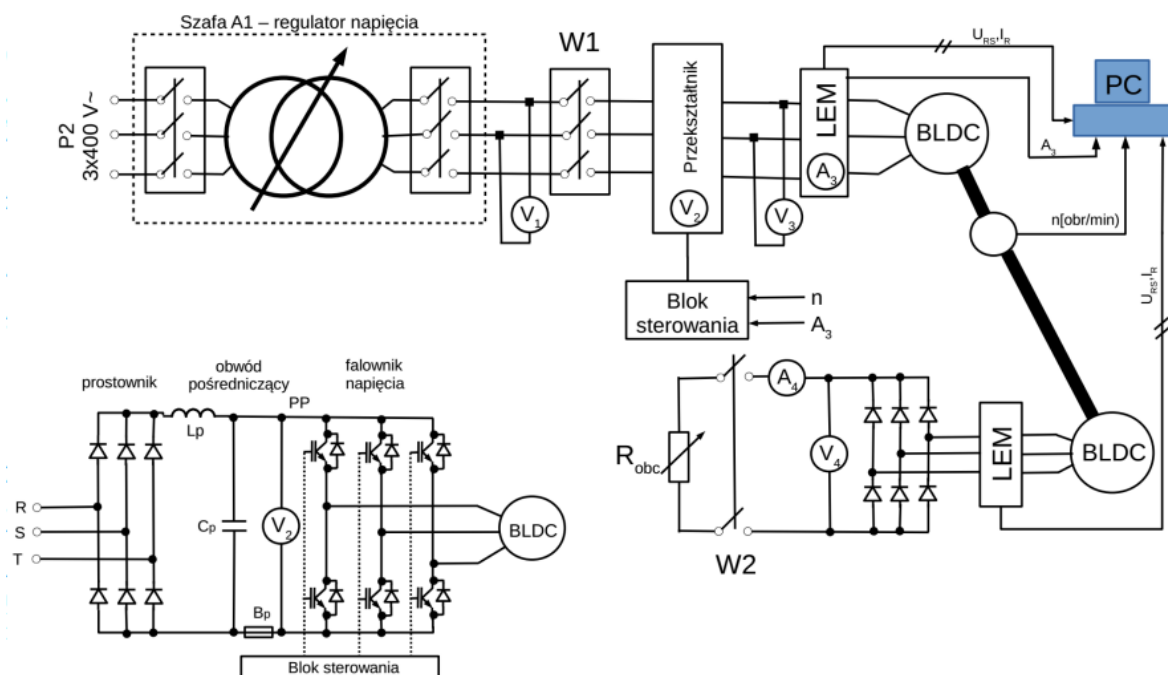
### 2.1. Dane znamionowe silnika

Typ: ME0907 (prod. Motenergy Inc., USA)

$P_N = 4470 \text{ W}$ ,  $U_{DC} = 48 \text{ V}$ ,  $I_{DC} = 97,7 \text{ A}$ ,  $n_N = 3360 \text{ obr/min}$ ,  $T_N = 12,7 \text{ Nm}$ , masa  $10 \text{ kg}$

### 2.2. Schemat układu ćwiczeniowego

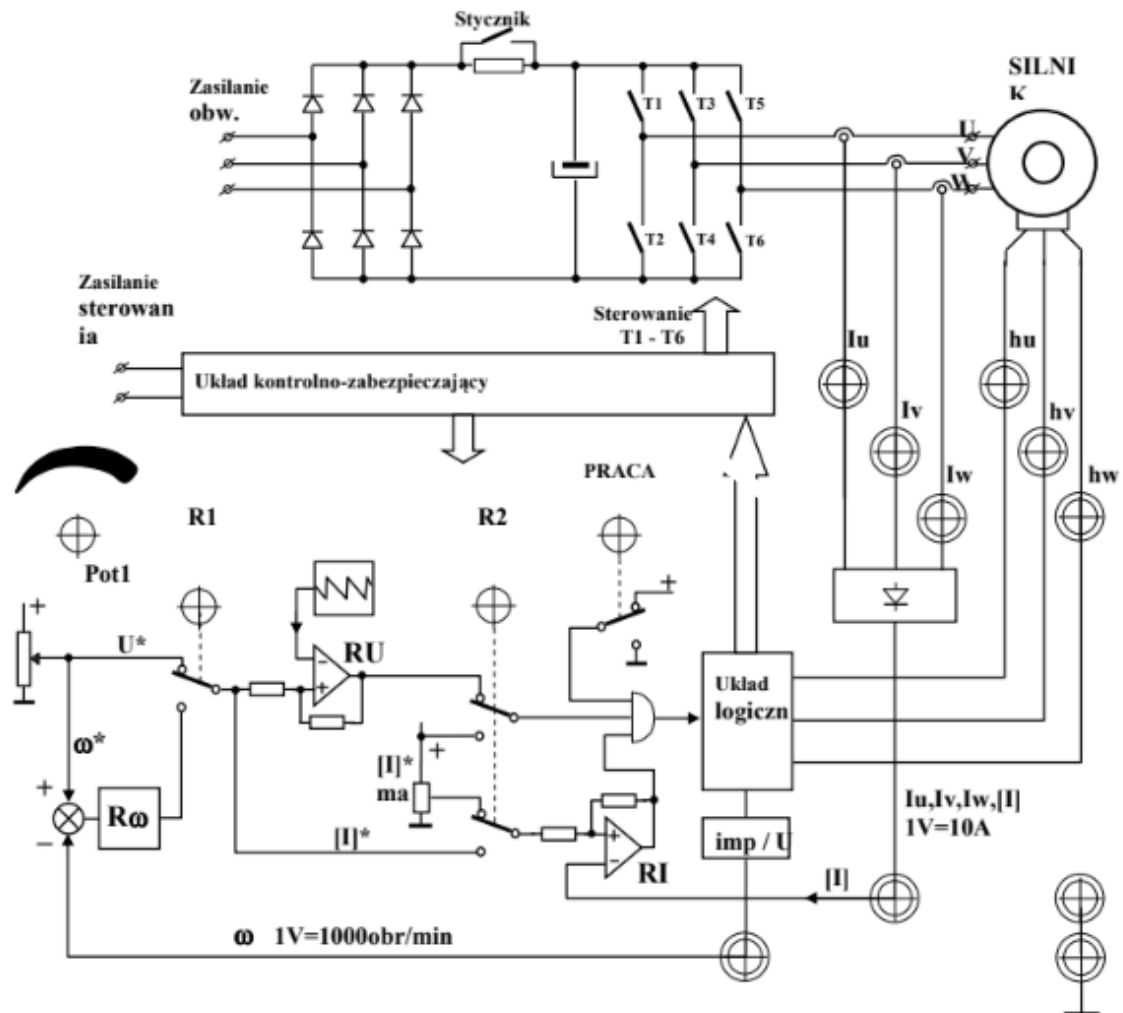
Schemat układu ćwiczeniowego został przedstawiony na rysunku 1.



Rysunek 1: Schemat układu ćwiczeniowego

### 2.3. Schemat sterowania silnika

Schemat układu sterowania silnikiem został przedstawiony na rysunku 2.



Rysunek 2: Schemat sterowania silnika

## 2.4. Opis pierwszego układu sterowania silnika (napięciem)

Przy górnym położeniu przełączników R1 i R2 na rysunku 2 regulator prądu jest nieczynny. Układ sterowania składa się tylko z zadajnika wartości napięć fazowych silnika. Od napięcia liniowo zależy prędkość obrotowa silnika. Napięcie zasilające fazy silnika regulowane jest poprzez modulację PWM tranzystorami mostka komutacyjnego. Przy takim sterowaniu wraz ze wzrostem obciążenia spada prędkość silnika.

## 2.5. Opis drugiego układu sterowania silnika (prędkością)

Przy dolnym położeniu przełączników R1 i R2 na rysunku 2, układ składa się z nadrzędnego regulatora PI prędkości i podrzędnego regulatora PI prądu.

Sygnały zwrotne z regulowanego napędu – sygnał prędkości i sygnał wyprostowanych prądów fazowych silnika – pochodzą, odpowiednio, z czujników hallotronowych. Ze względu na sprzężenie zwrotne od prędkości, prędkość silnika nie spada ze wzrostem obciążenia. Napęd nie jest również narażony na udary prądów z uwagi na sprzężenie zwrotne od prądu.

# 3. Przebieg ćwiczenia

## 3.1. Przygotowanie do pomiarów

Przed rozpoczęciem pomiarów załączyliśmy zasilanie stanowiska ćwiczeniowego. Następnie postępując zgodnie z instrukcją obniżyliśmy wartość napięcia regulatora na ok. 30 V. Przed uruchomieniem napędu ustawiliśmy oba przełączniki R1 i R2 w położenie górne. Uruchomiliśmy komputer PC oraz pakiet REGIS, który wykorzystaliśmy później do rejestracji przebiegów.

Dla tak ustawionego stanowiska przystąpiliśmy do wykonywania pomiarów.

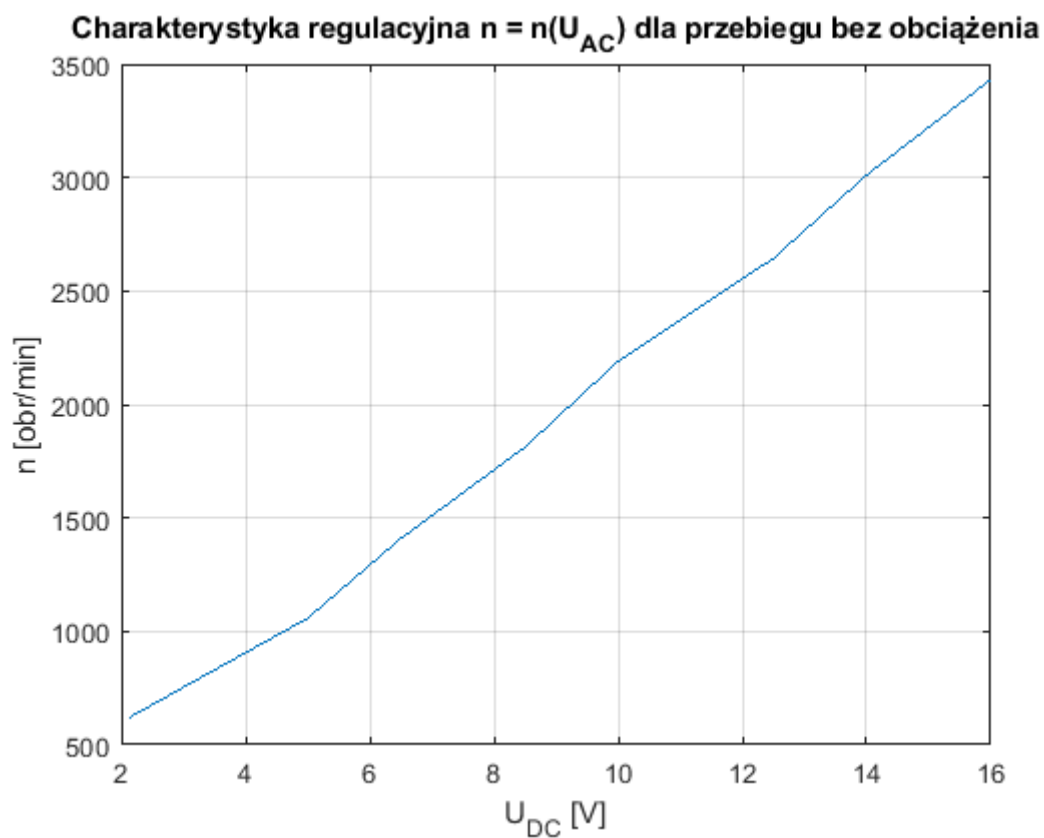
## 3.2. Wyznaczanie charakterystyki zewnętrznej napędu oraz charakterystyki regulacyjnej dla biegu jałowego

Przy stałej wartości napięcia stałego zasilającego komutator elektroniczny silnika, zmienialiśmy wartość napięcia zadanego. Z odpowiedniego sprzętu odczytywaliśmy kolejno wartość skuteczną napięcia, prędkość obrotową silnika oraz wyprostowany prąd faz silnika. Pomiary zostały przedstawione w tabeli 1.

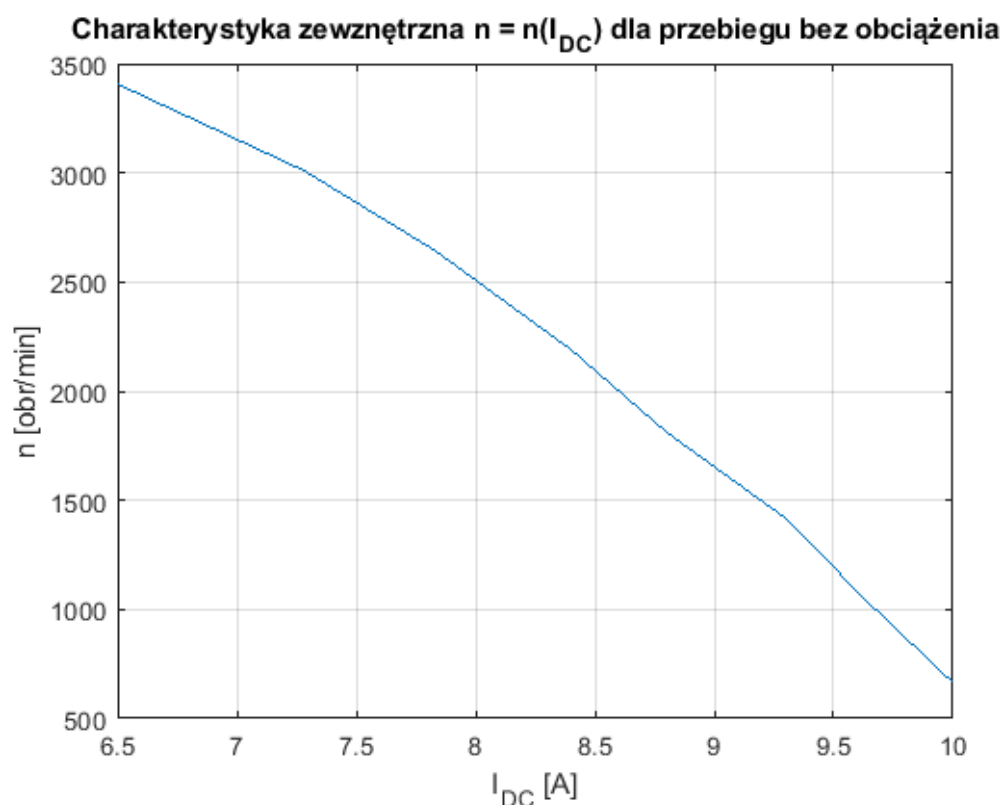
Tabela 1: Pomiary dla zadania 1

n [obr/min]	U <sub>3</sub> [V]	I <sub>3</sub> [A]
623	2,14285714	10,04
1058	5	9,62
1409	6,5	9,31
1812	8,5	8,8
2190	10	8,4
2644	12,5	7,83
3011	14	7,28
3432	16	6,45

Na bazie uzyskanych danych, przedstawionych w tabeli 1, wyznaczyliśmy charakterystykę zewnętrzną  $n = n(I_{DC})$  oraz charakterystykę regulacyjną  $n = n(U_{AC})$ .



Rysunek 3: Charakterystyka regulacyjna  $n=n(U_{AC})$



Rysunek 4: Charakterystyka zewnętrzna  $n=n(I_{DC})$

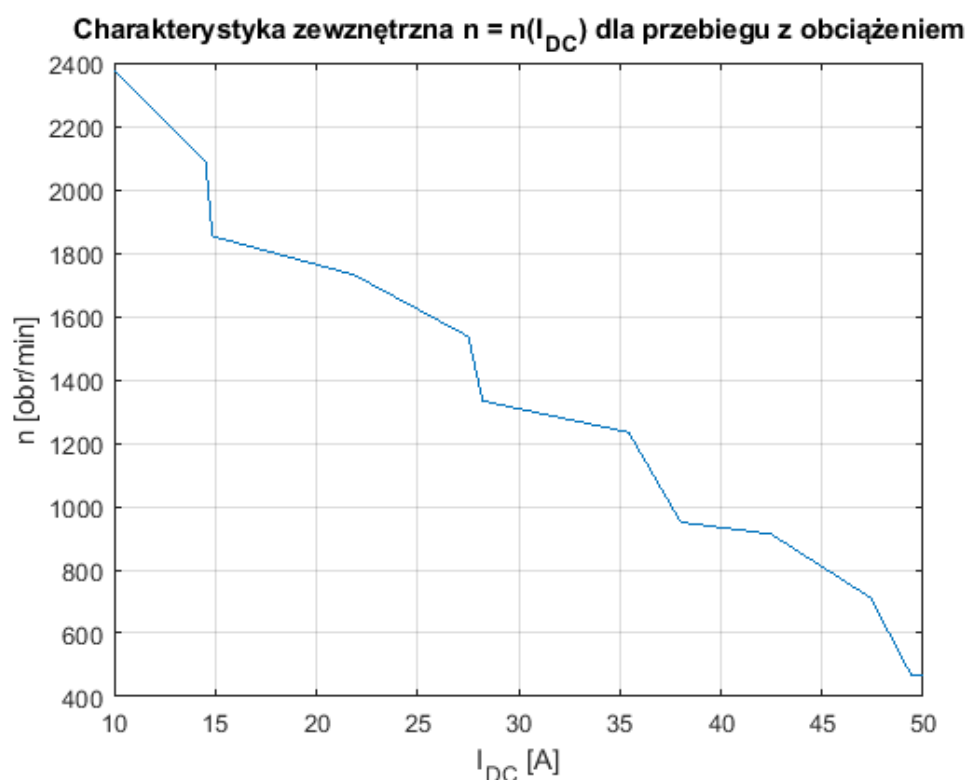
### 3.3. Wyznaczanie charakterystyki zewnętrznej napędu dla biegu z obciążeniem

Dla tak samo ustawionego układu, jak w poprzednim zadaniu, ustawiliśmy obciążenie na wartość maksymalną i ponownie przystąpiliśmy do pomiarów. Tym razem odczytywaliśmy wartość prędkości obrotowej silnika oraz wyprostowany prąd faz silnika. Uzyskane pomiary zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2: Pomiary dla zadania 2

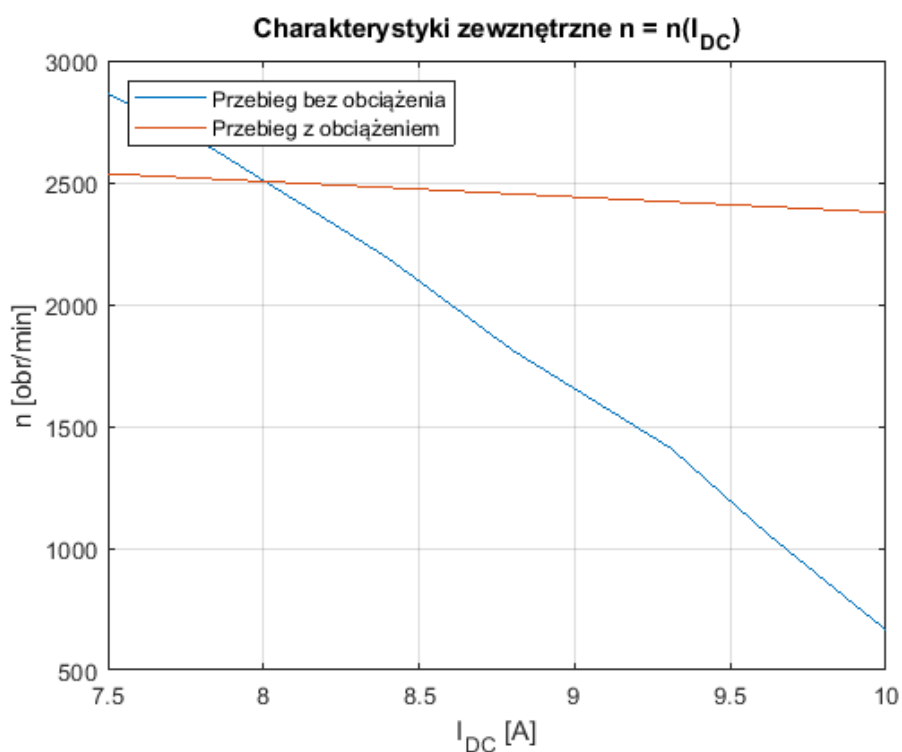
$n$ [obr/min]	$I_3$ [A]
470	63,8
913	54,8
1333	49,39
1731	47,4
2089	42,48
2554	38,02
196	35,44
456	28,22
712	27,52
950	21,86
1234	14,86
1536	14,52
1853	7,22

Następnie wyznaczyliśmy charakterystykę zewnętrzną  $n = n(I_{DC})$  dla przebiegu z obciążeniem.



Rysunek 5: Charakterystyka zewnętrzna  $n = n(I_{DC})$

Uzyskane charakterystyki zewnętrzne dla biegu bez obciążenia i dla biegu z obciążeniem umieściliśmy również na jednym wykresie.



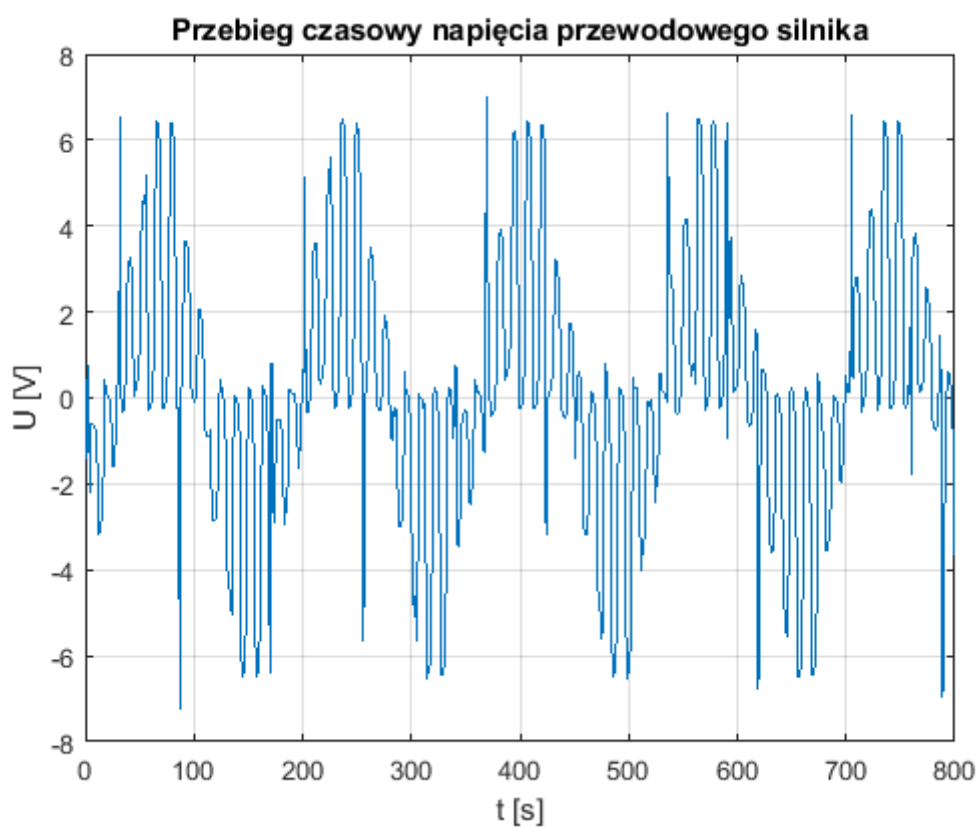
Rysunek 6: Porównanie charakterystyk zewnętrznych

Jak można zaobserwować wraz ze wzrostem prądu  $I_{DC}$  maleje prędkość obrotowa silnika. Dla silnika z brakiem modulacji PWM spadek ten jest wolniejszy.

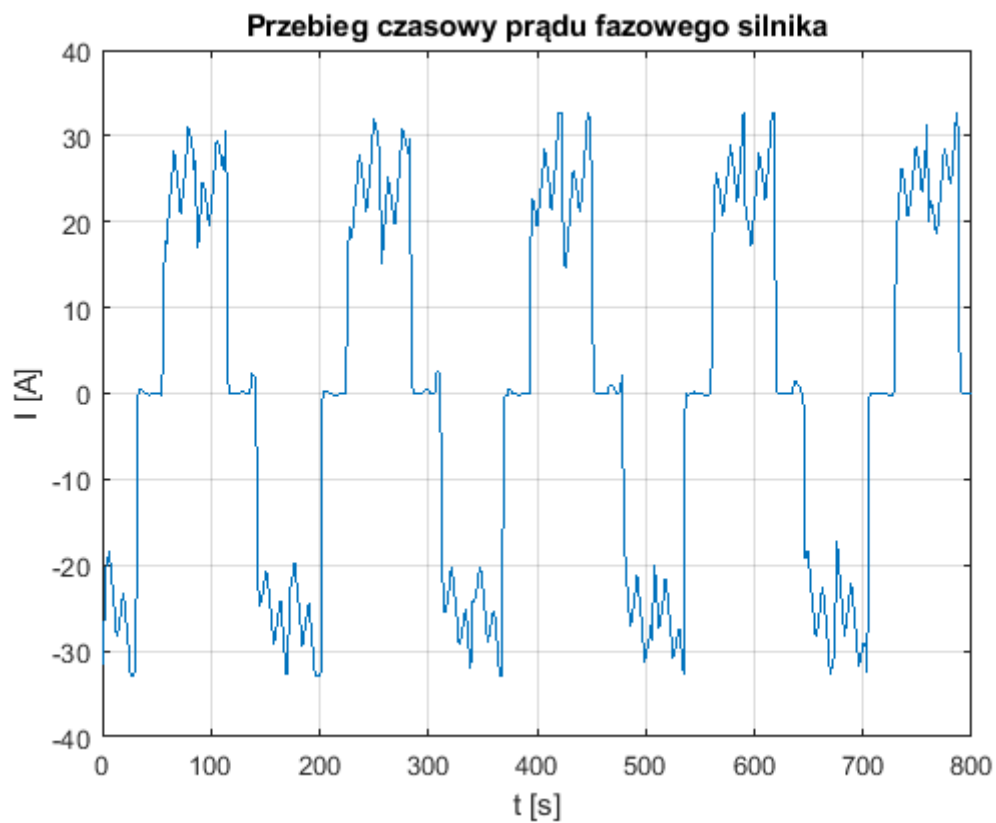
Uzyskane przez nas charakterystyki zewnętrzne  $n = n(I_{DC})$  oraz charakterystyka regulacyjna  $n = n(U_{AC})$  dla biegu jałowego zgadzają się kształtem z teoretycznymi charakterystykami.

### 3.4. Przebiegi w stanie ustalonym

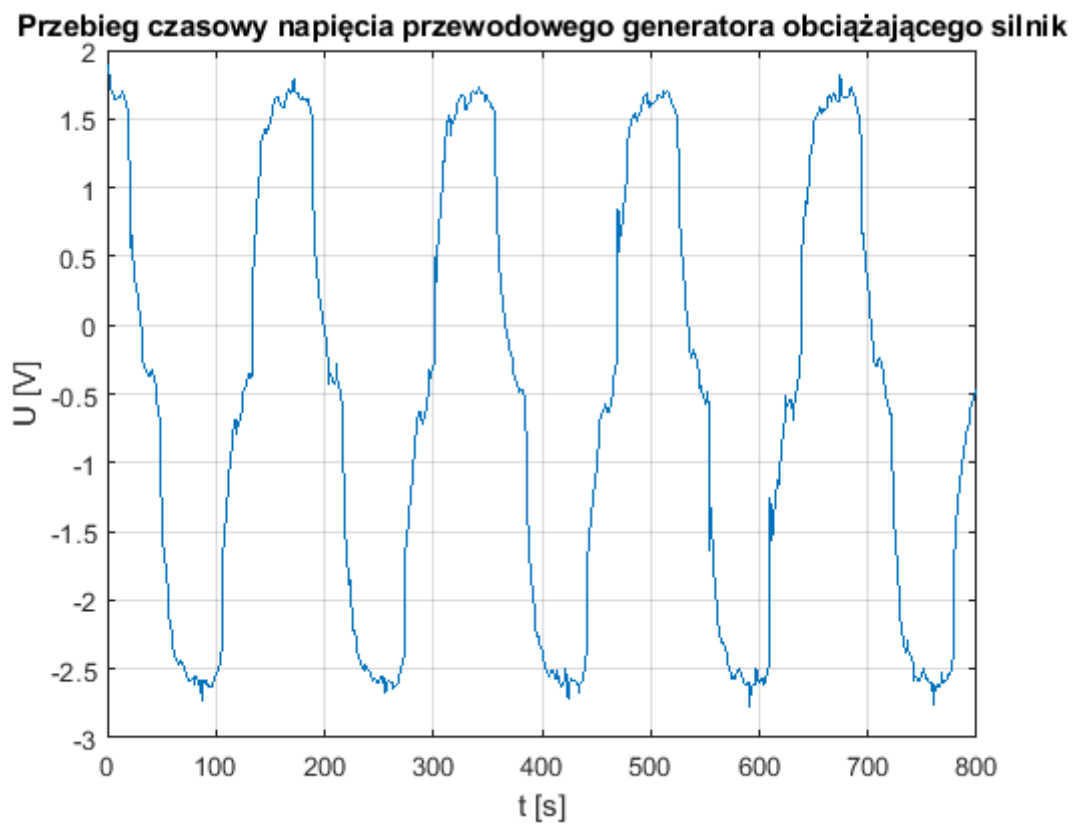
Dla układu sterowania napięciem fazowym silnika w stanie ustalonym z obciążeniem wykonaliśmy pomiary przebiegów silnika oraz generatora obciążającego. Rejestracje wykonywaliśmy we wcześniej skonfigurowanym programie REGIS. Uzyskane przebiegi zostały przedstawione na rysunkach 6 – 9.



Rysunek 7: Przebieg czasowy napięcia silnika w stanie ustalonym z obciążenia

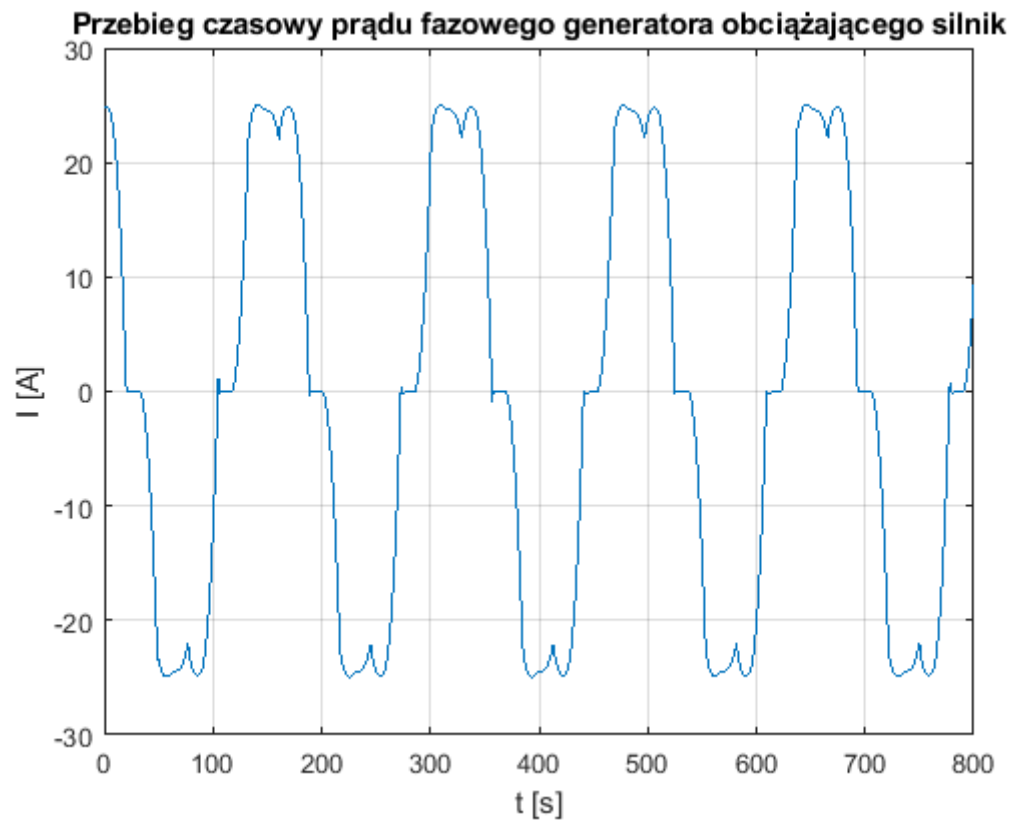


Rysunek 8: Przebieg czasowy prądu fazowego silnika w stanie ustalonym z obciążenia



Rysunek 9: Przebieg czasowy napięcia generatora obciążającego silnik w stanie ustalonym z obciążeniem





Rysunek 8: Przebieg czasowy prądu fazowego generatora obciążającego silnik w stanie ustalonym z obciążeniem

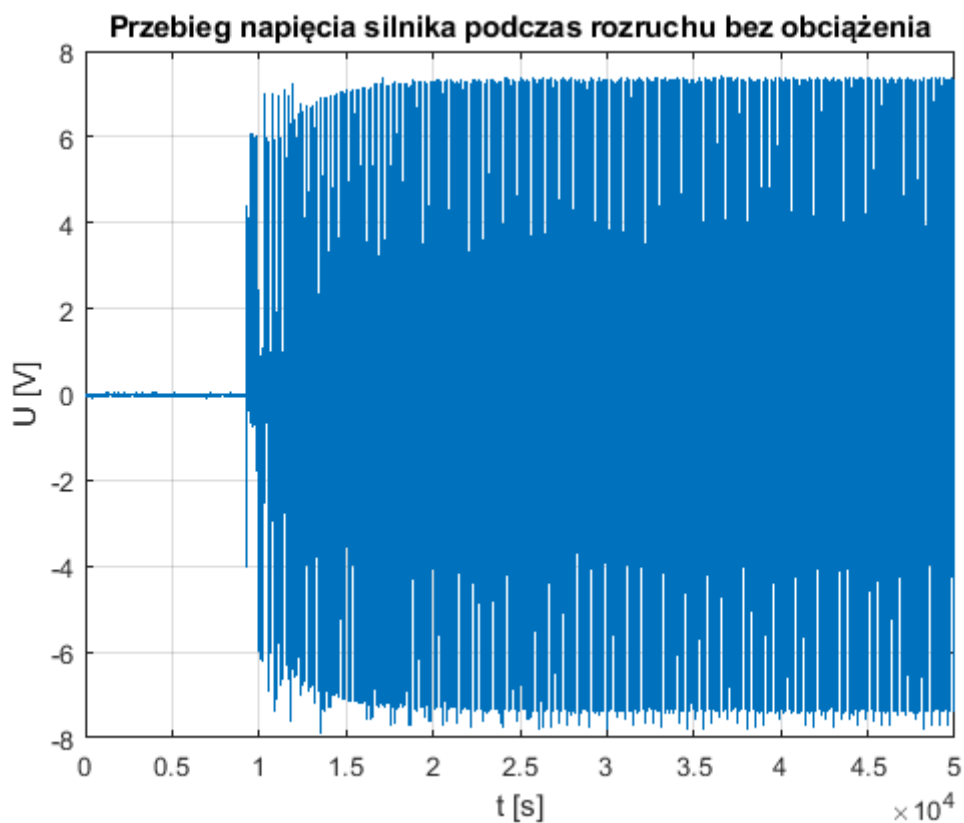
Przy zapisywaniu rejestrów przebiegów dla stanu ustalonego bez obciążenia nastąpił błąd, z tego powodu dane są niemożliwe do odczytania. Nie zostały, więc one przedstawione.

### 3.5. Przebiegi silnika w stanach dynamicznych

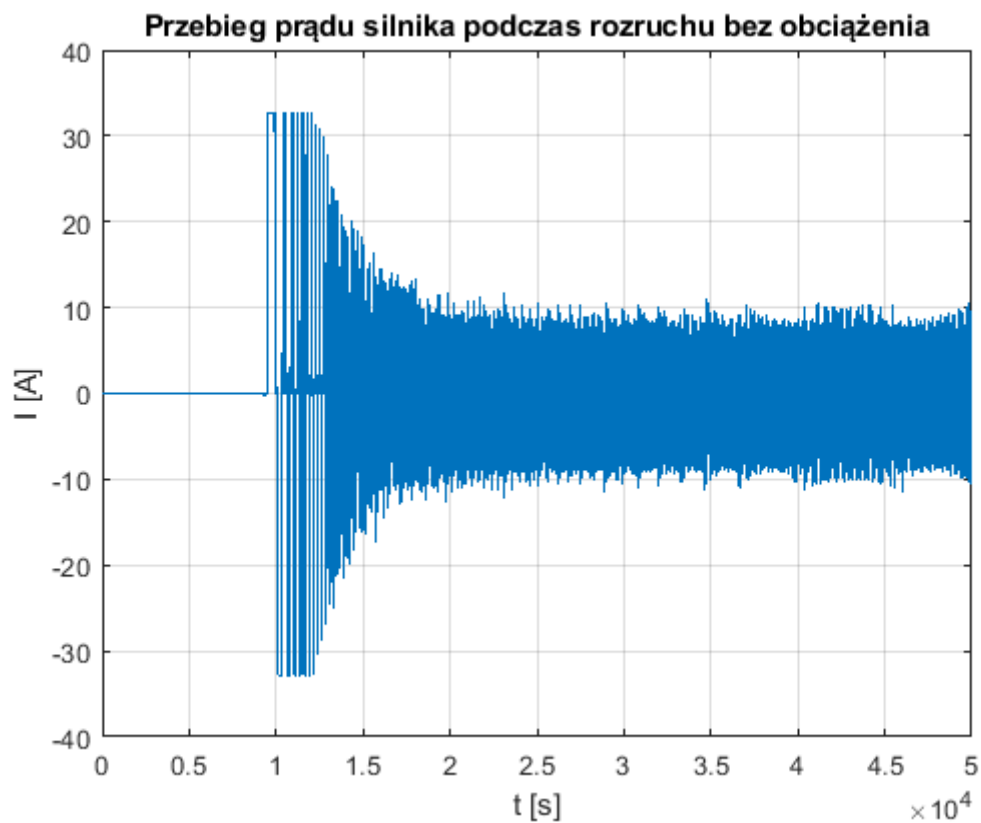
#### Pierwszy układ sterowania

Nie zmieniając wcześniejszego układu sterowania przeprowadziliśmy obserwację oraz rejestrację przebiegów dla różnych stanów dynamicznych silnika. Zarejestrowaliśmy przebiegi rozruchu silnika bez obciążenia, rozruchu z obciążeniem oraz skoku obciążenia dla włączonego silnika.

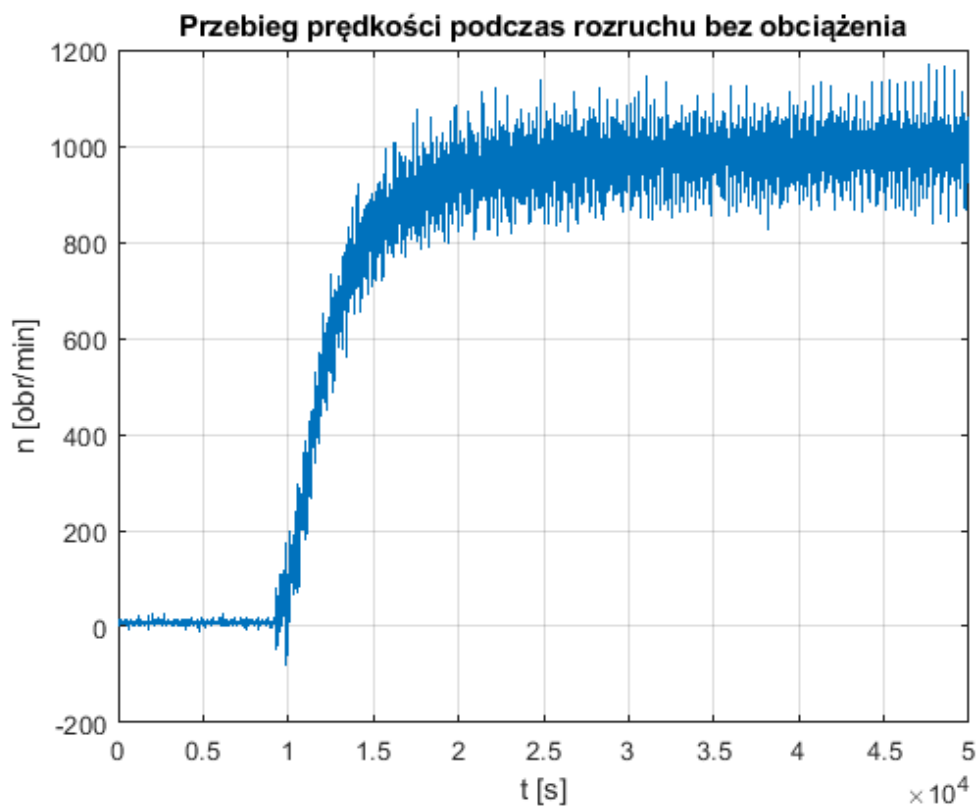
Przebiegi prądów, napięcia oraz prędkości dla rozruchu bez obciążenia zostały przedstawione na rysunkach 11 – 14.



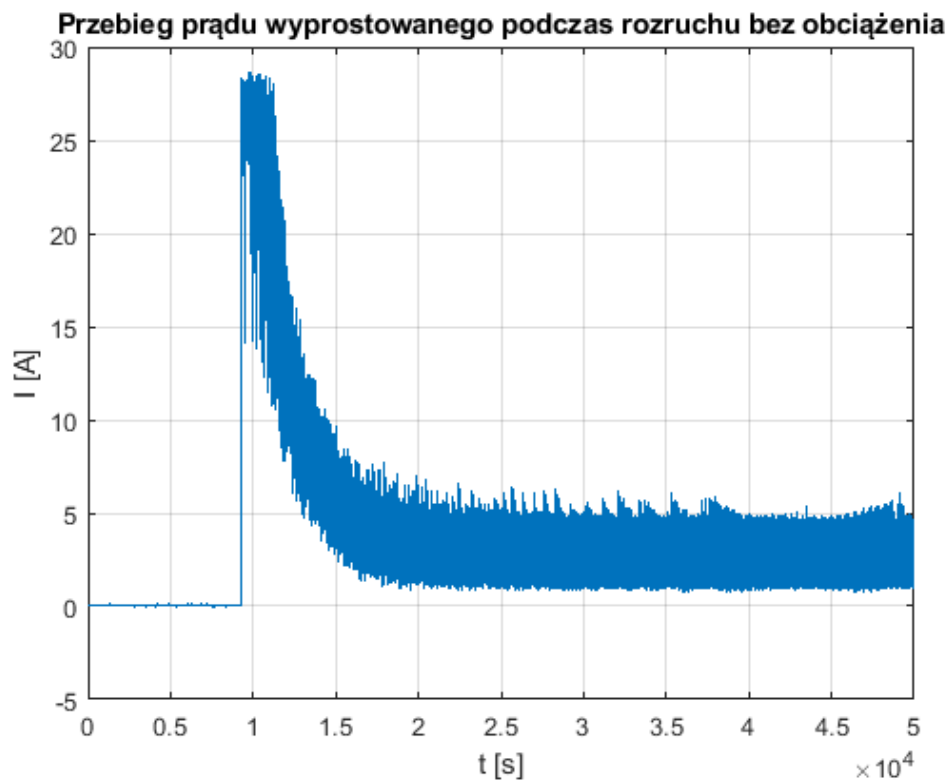
Rysunek 9: Przebieg napięcia silnika podczas rozruchu bez obciążenia



Rysunek 12: Przebieg prądu silnika podczas rozruchu bez obciążenia

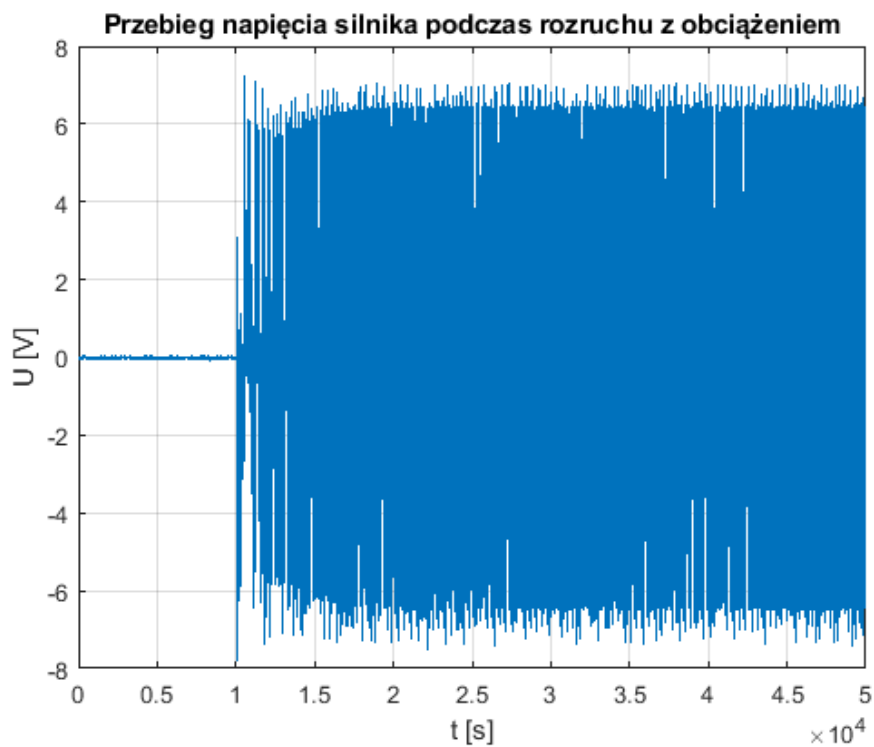


Rysunek 13: Przebieg prędkości podczas rozruchu bez obciążenia

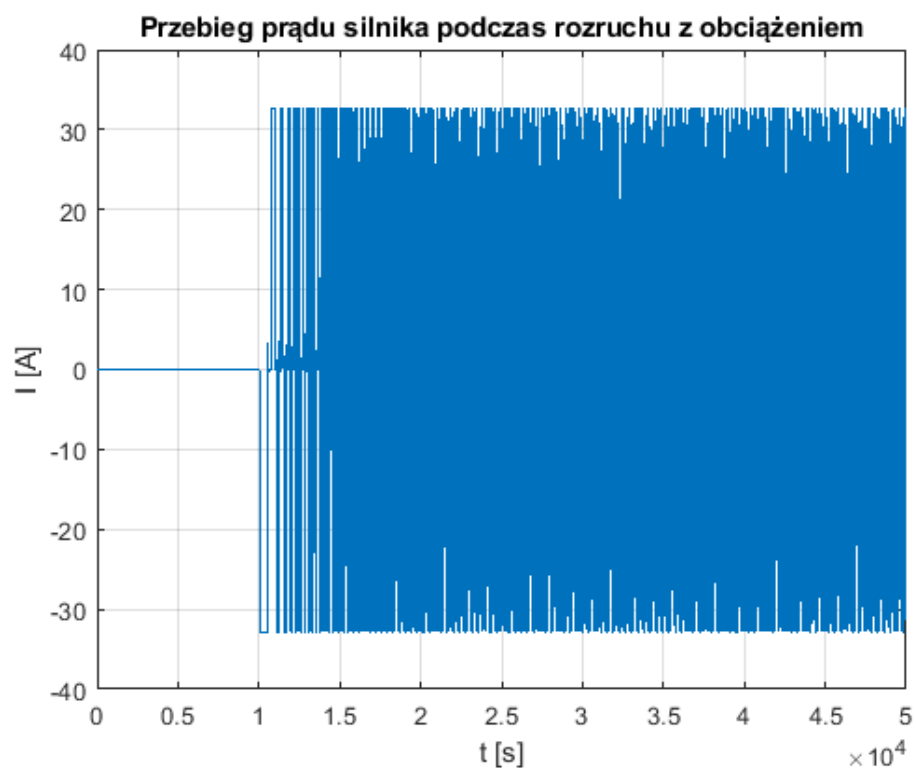


Rysunek 10: Przebieg prądu wyprostowanego podczas rozruchu bez obciążenia

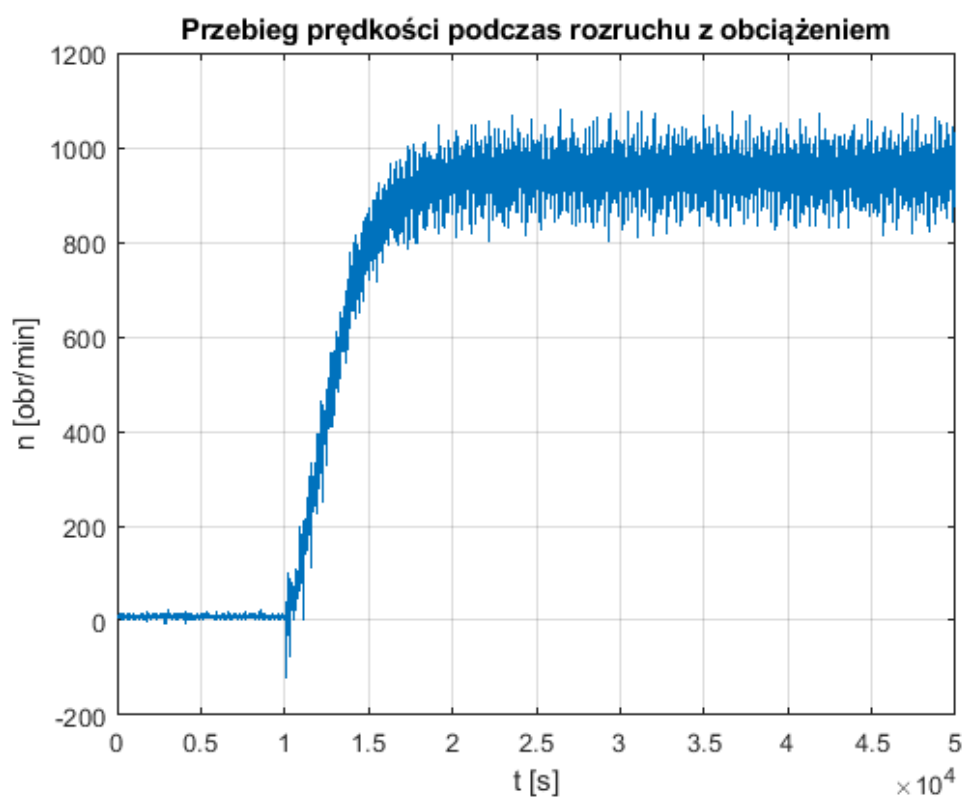
Przebiegi prądów, napięcia oraz prędkości dla rozruchu z obciążeniem zostały przedstawione na rysunkach 15 – 18.



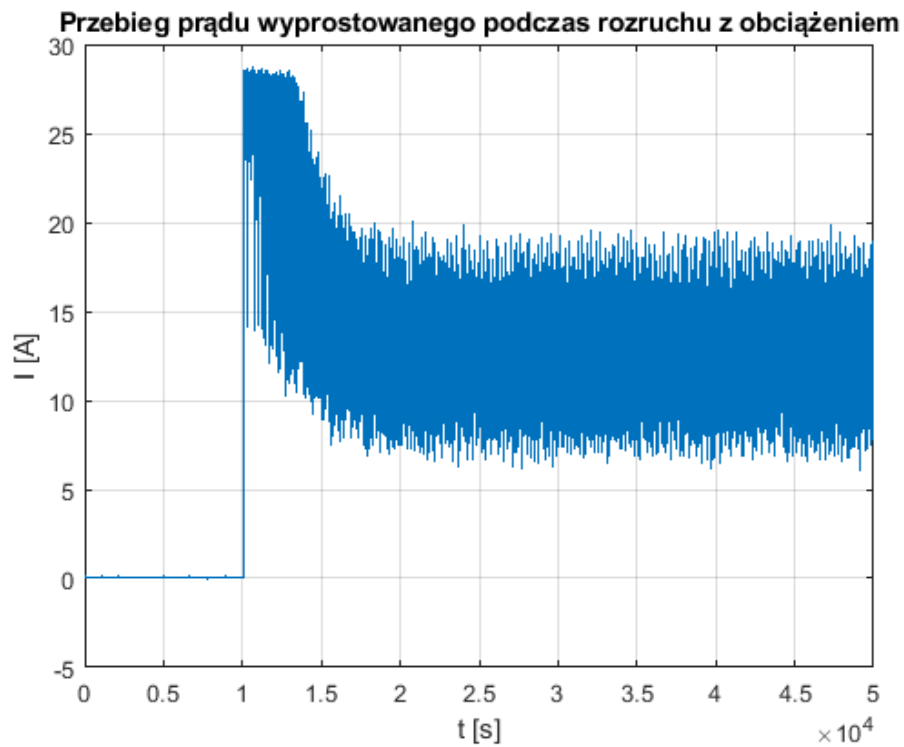
Rysunek 11: Przebieg napięcia silnika podczas rozruchu z obciążeniem



Rysunek 12: Przebieg prądu silnika podczas rozruchu z obciążeniem

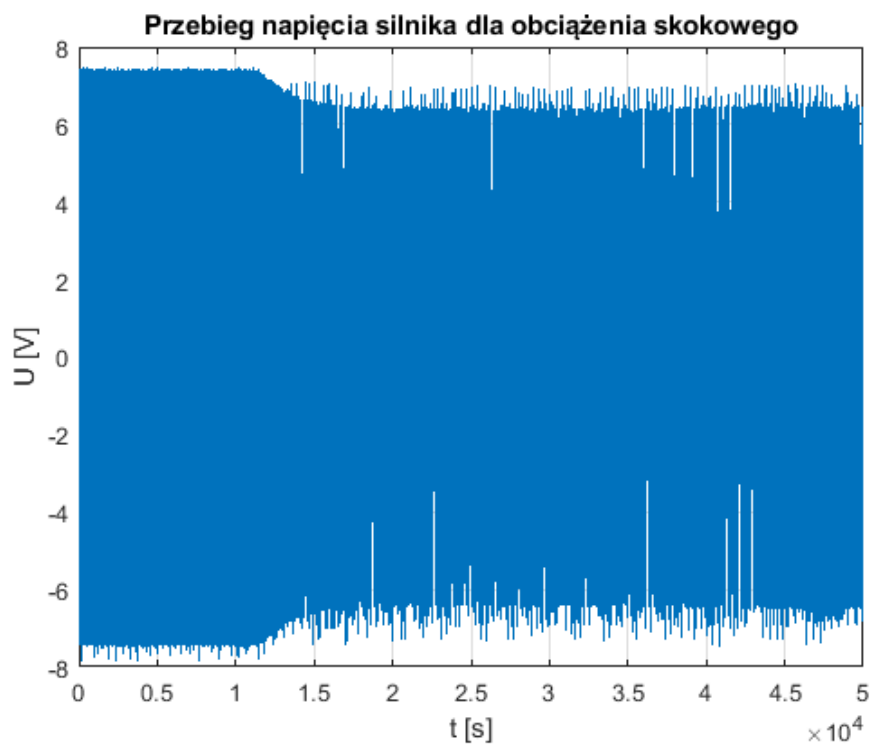


Rysunek 13: Przebieg prędkości podczas rozruchu z obciążeniem

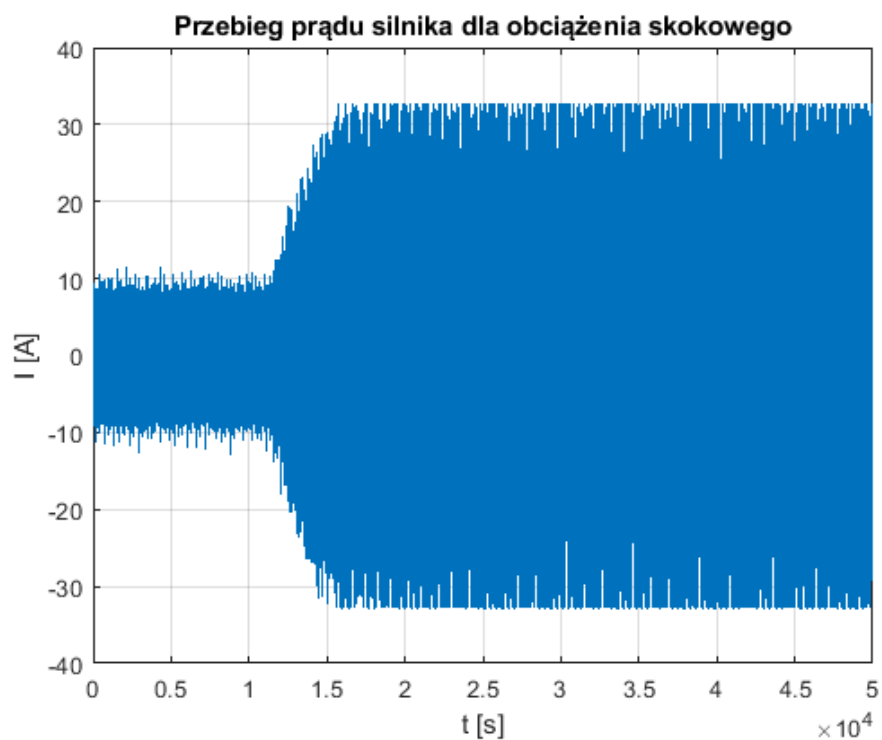


Rysunek 14: Przebieg prądu wyprostowanego podczas rozruchu z obciążeniem

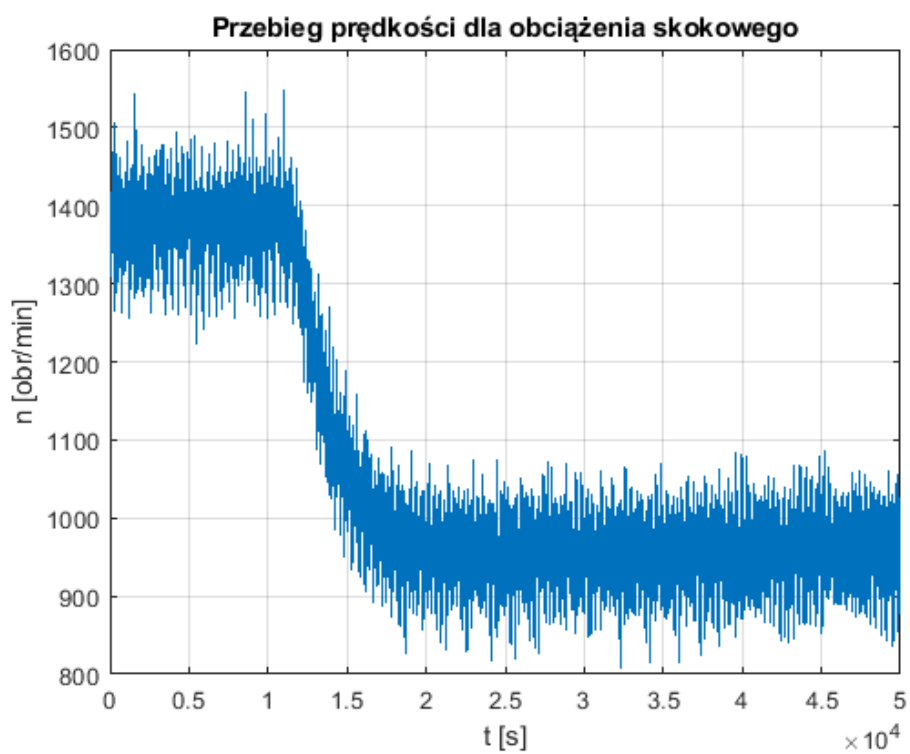
Przebiegi prądów, napięcia oraz prędkości obciążenia skokowego zostały przedstawione na rysunkach 19 – 22.



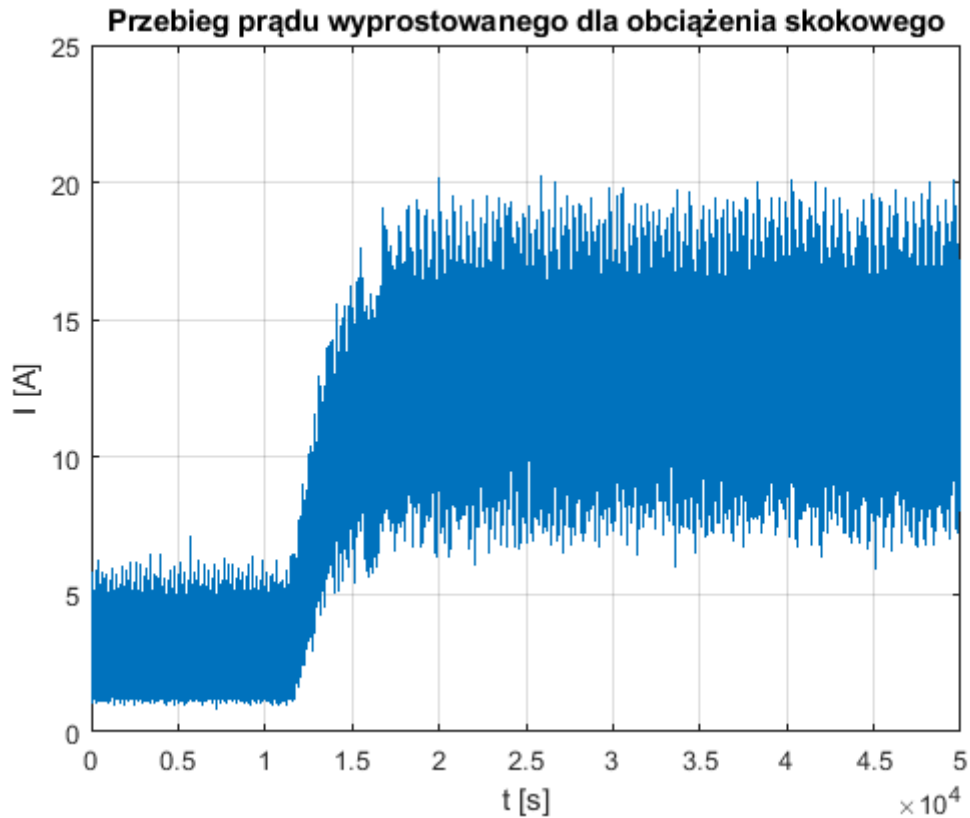
Rysunek 15: Przebieg napięcia silnika dla obciążenia skokowego



Rysunek 20: Przebieg prądu silnika dla obciążenia skokowego



Rysunek 21: Przebieg prędkości dla obciążenia skokowego



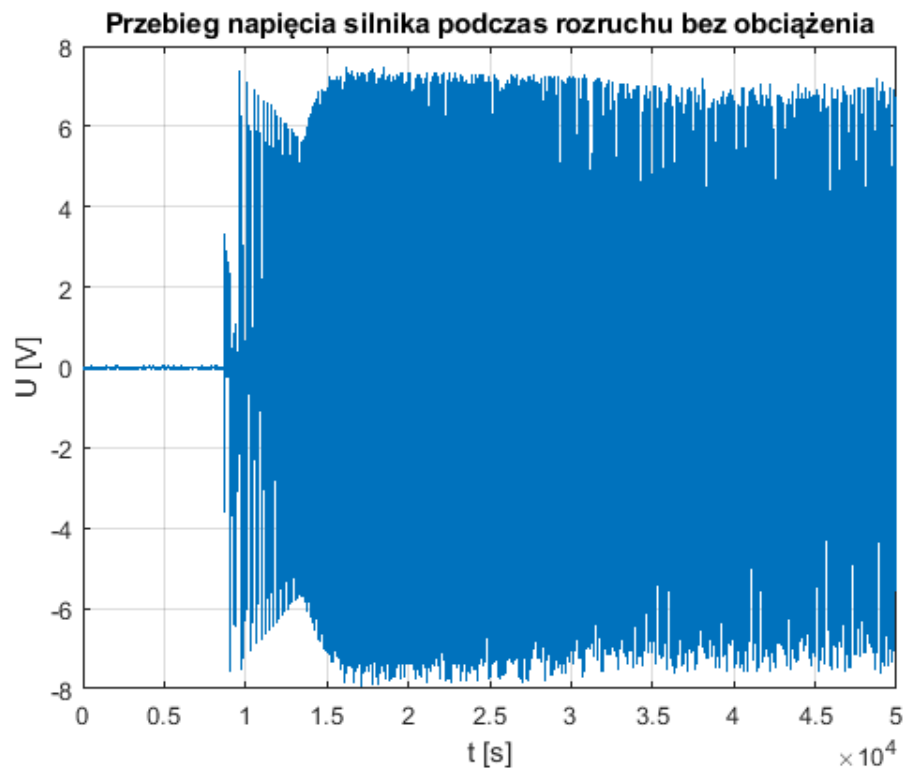
*Rysunek 16: Przebieg prądu wyprostowanego dla obciążenia skokowego*

#### Drugi układ sterowania

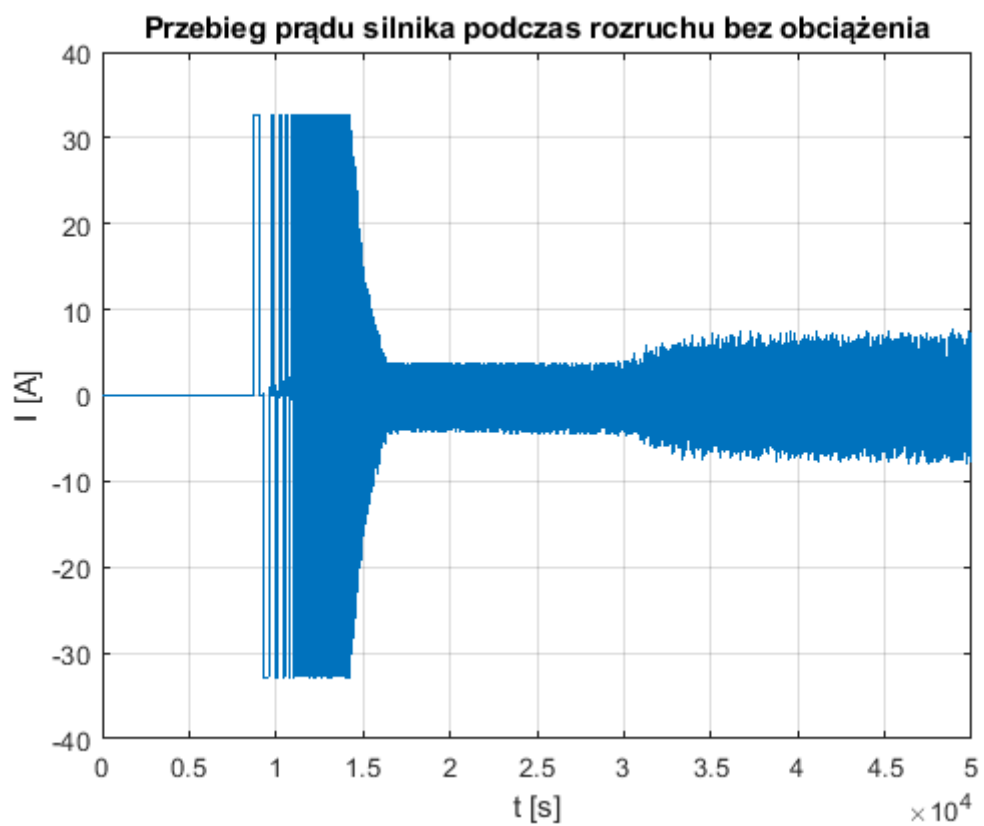
Po wykonaniu rejestracji przebiegów silnika w stanach dynamicznych, wyłączyliśmy napęd i przełączyliśmy przełączniki R1 i R2 w położenie dolne. Tym samym aktywowaliśmy drugi układ sterowania poprzez prędkość. Jak dla poprzedniego układu wykonaliśmy rejestrację przebiegów dla rozruchu silnika bez obciążenia, z obciążeniem oraz dla obciążenia skokowego przy uruchomionych silniku.

Przebiegi prądów, napięcia oraz prędkości dla rozruchu bez obciążenia zostały przedstawione na rysunkach 23 – 26.

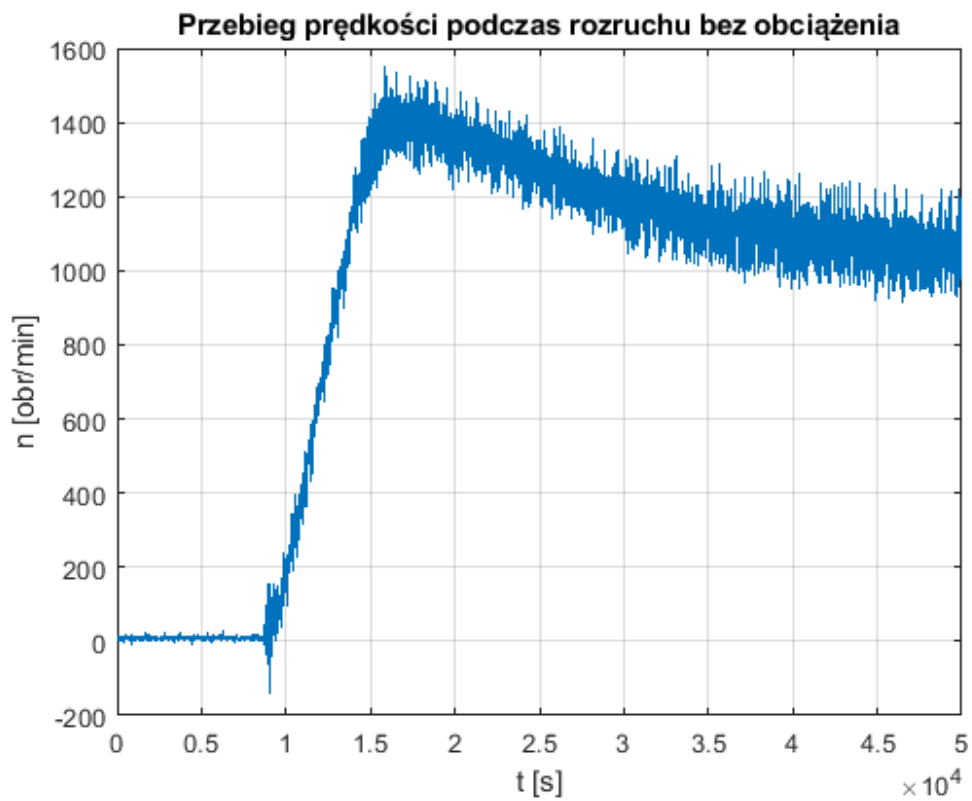




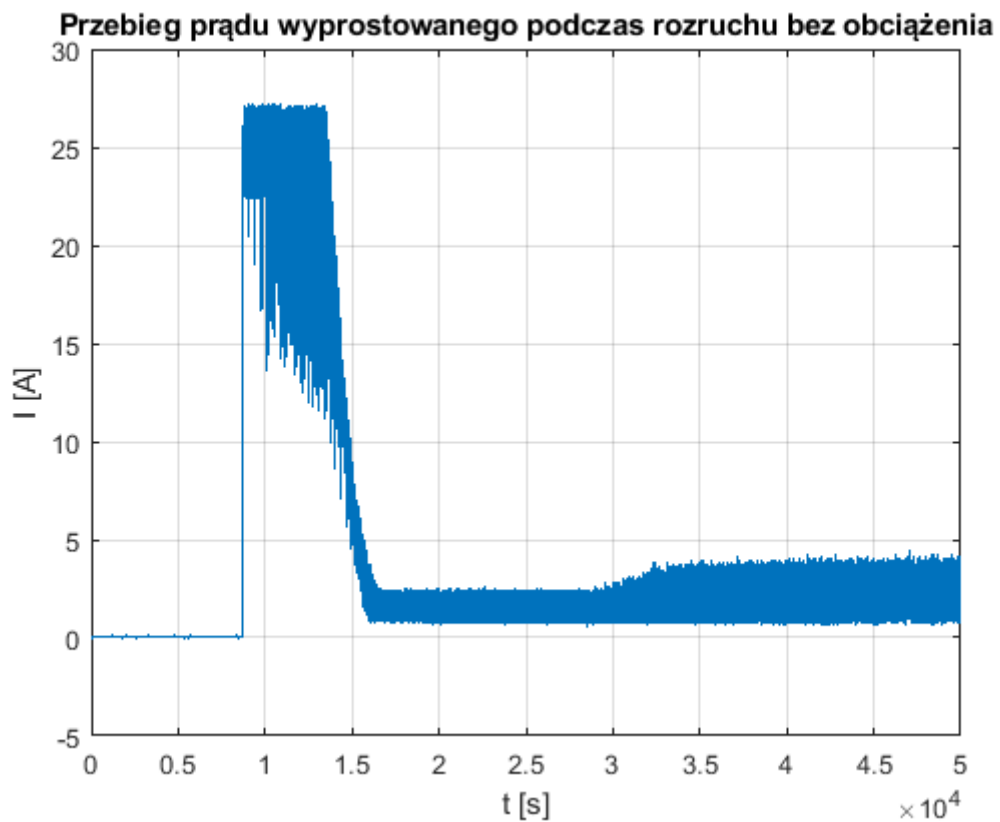
Rysunek 17: Przebieg napięcia silnika podczas rozruchu bez obciążenia



Rysunek 18: Przebieg prądu silnika podczas rozruchu bez obciążenia



Rysunek 19: Przebieg prędkości podczas rozruchu bez obciążenia



Rysunek 20: Przebieg prądu wyprostowanego podczas rozruchu bez obciążenia

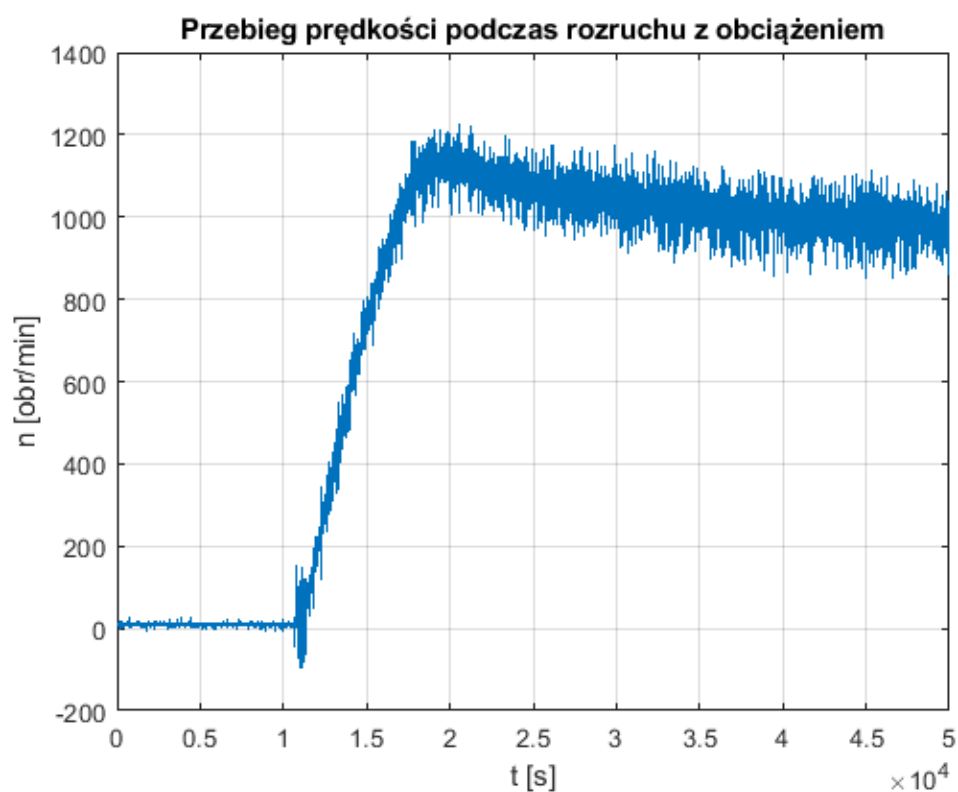
Przebiegi prądów, napięcia oraz prędkości dla rozruchu z obciążeniem zostały przedstawione na rysunkach 27 – 30.



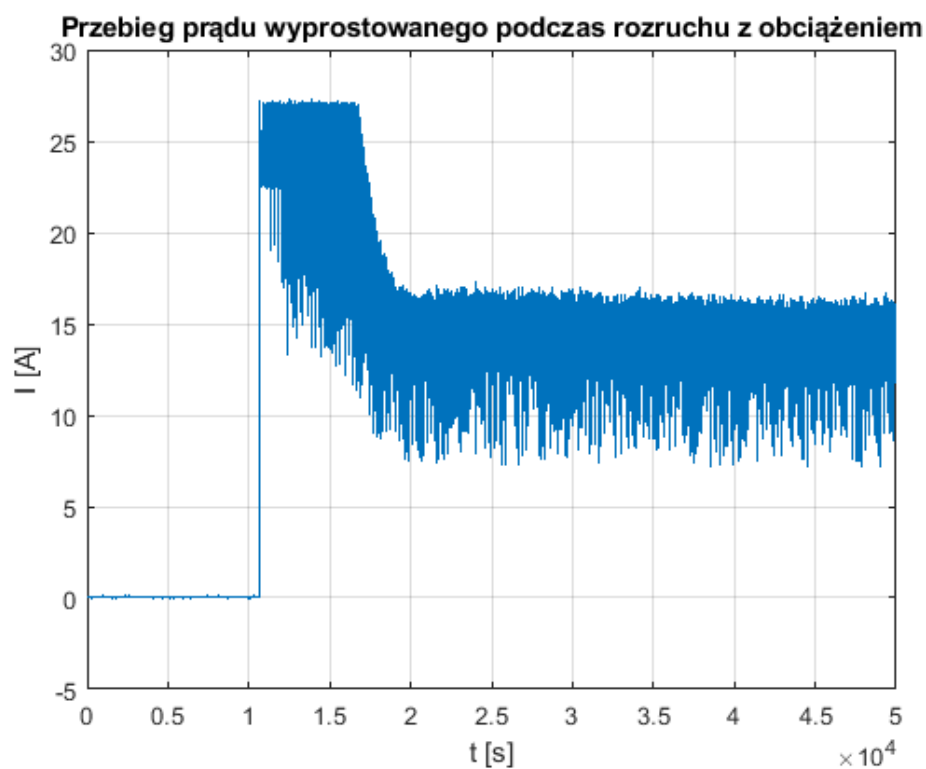
Rysunek 21: Przebieg napięcia silnika podczas rozruchu z obciążeniem



Rysunek 22: Przebieg prądu silnika podczas rozruchu z obciążeniem

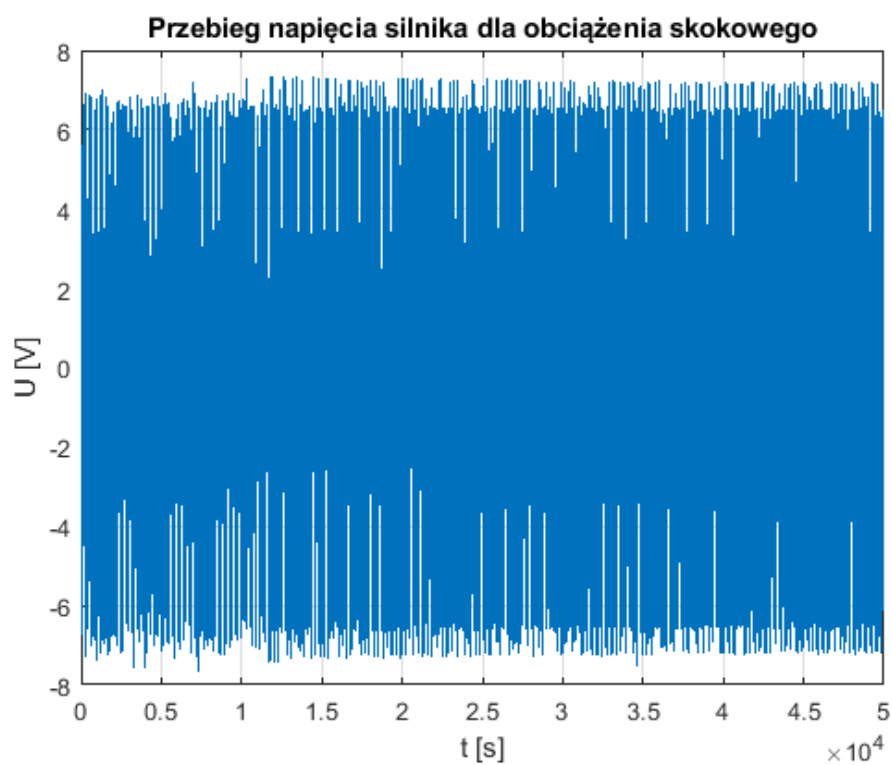


Rysunek 23: Przebieg prędkości podczas rozruchu z obciążeniem

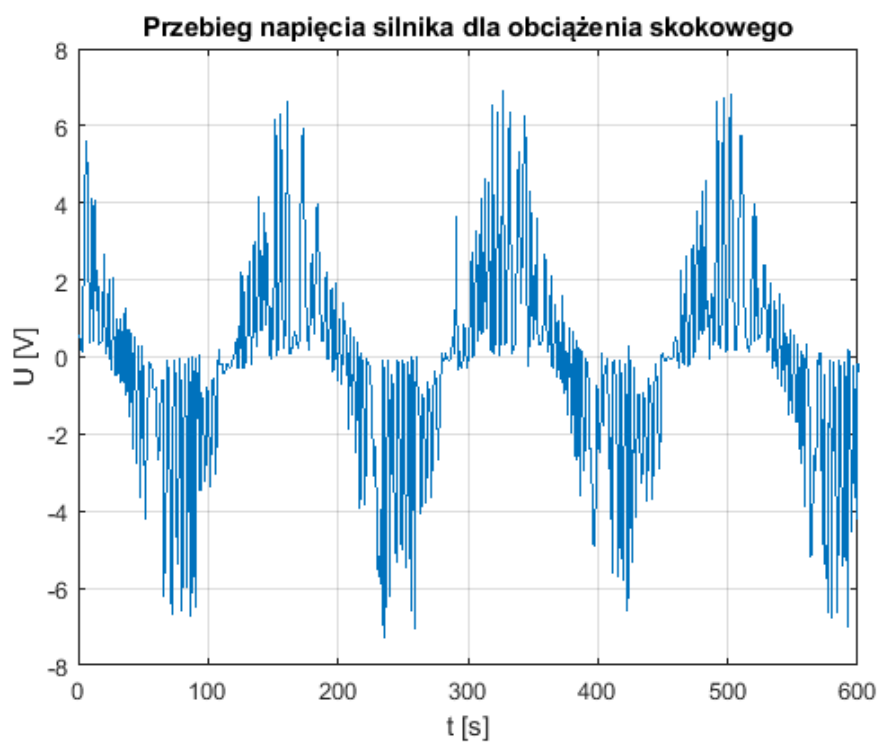


Rysunek 24: Przebieg prądu wyprostowanego podczas rozruchu z obciążeniem

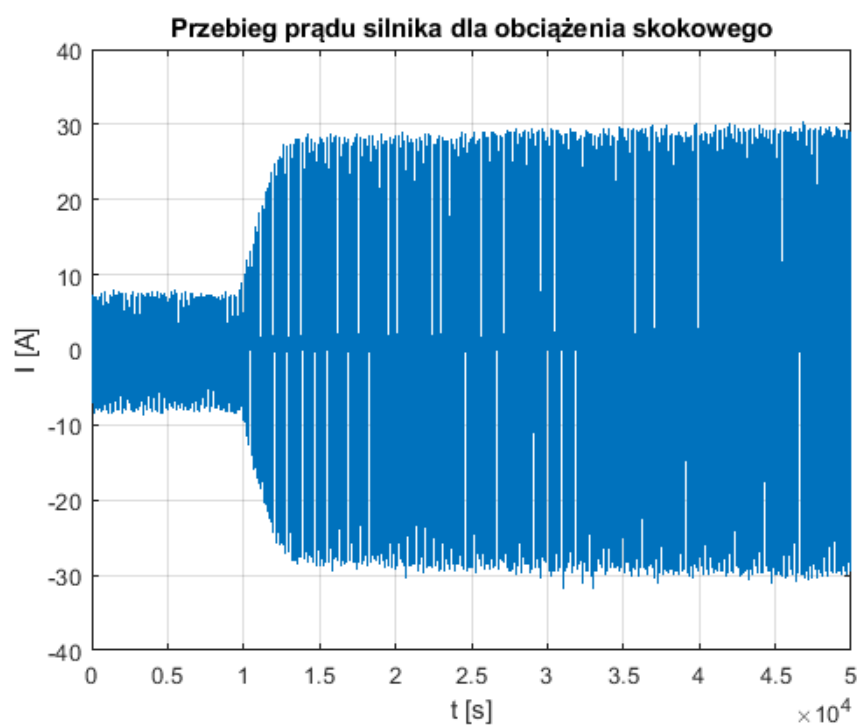
Przebiegi prądów, napięcia oraz prędkości obciążenia skokowego zostały przedstawione na rysunkach 31 – 35.



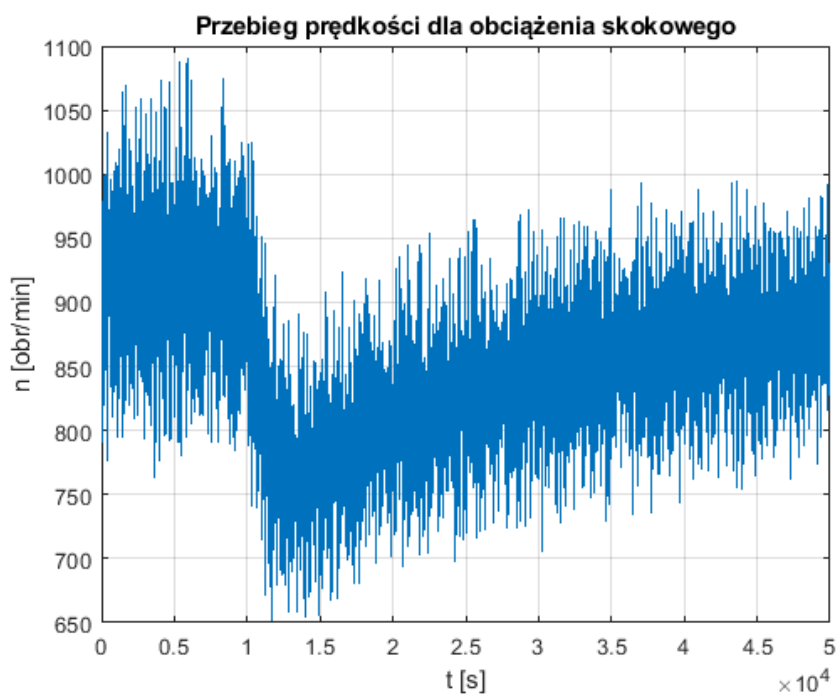
Rysunek 31: Przebieg napięcia silnika dla obciążenia skokowego



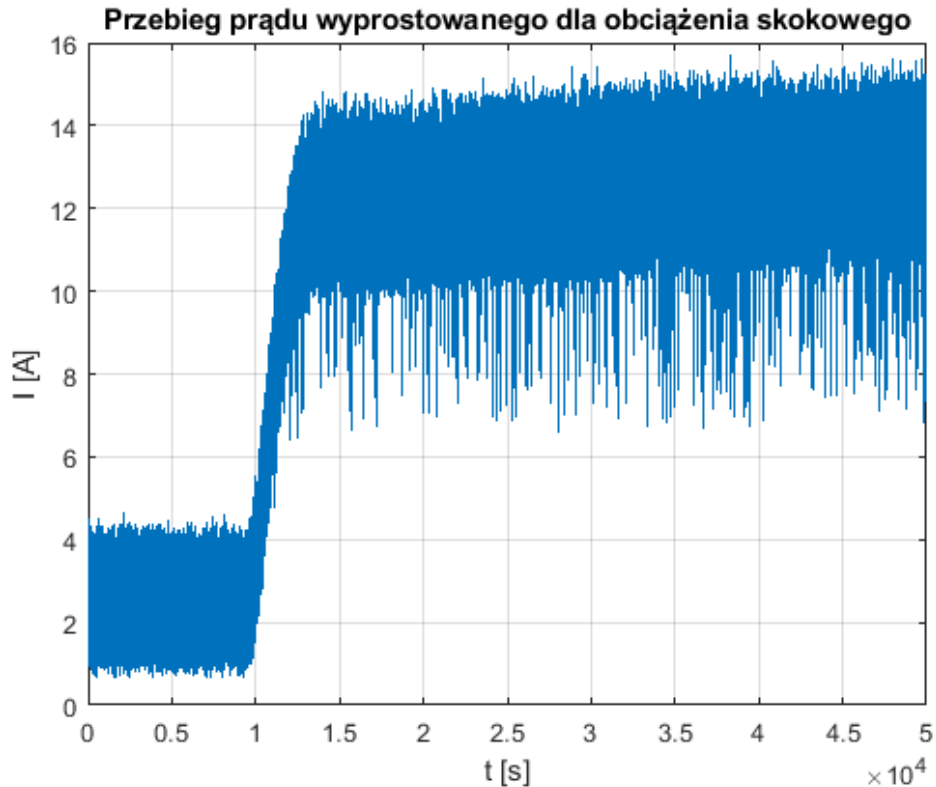
Rysunek 32: Fragment przebiegu napięcia silnika dla obciążenia skokowego



Rysunek 25: Przebieg prądu silnika dla obciążenia skokowego



Rysunek 26: Przebieg prędkości dla obciążenia skokowego



Rysunek 27: Przebieg prądu wyprostowanego dla obciążenia skokowego

#### 4. Wnioski

Dla układu sterowania napięciem prędkość obrotowa silnika zależy liniowo od napięcia zadanego. Dla takiego sterowania prędkość silnika spada wraz ze wzrostem obciążenia. Zaobserwować to można na uzyskanych wykresach. Dla układu sterowania prędkością w momencie pojawienia się obciążenia prędkość chwilowo spada, a następnie powraca do swojej wartości początkowej, co również jest widoczne na uzyskanych wykresach.

Dla przebiegów w stanie ustalonym zauważyć można, że przebiegi napięcia i prądu dla silnika oraz generatora obciążającego silnik są okresowe. Uzyskane przez nas wykresy zgadzają się teorią. Wartości na wykresach pokrywają się również z wartościami, które były obserwowane na aparaturze.

Uzyskane przez charakterystyki zewnętrzne i charakterystyka regulacyjna dla biegu jałowego pokrywają się z teorią. Widoczne rozbieżności na rysunku 5 w poszczególnych punktach mogą wynikać z błędów pomiarowych i błędów popełnionych przy odczytywaniu wartości z amperomierza.