



Politechnika  
Wrocławska

## Laboratorium Układy napędowe pojazdów elektrycznych

### Układ napędowy z silnikiem BLDC

Skład grupy:  
Kacper Borucki  
Robert Leśniak

Data oddania  
sprawozdania:  
14.06.2022

Ocena:  
Podpis:

#### 1. Cel i zakres ćwiczenia

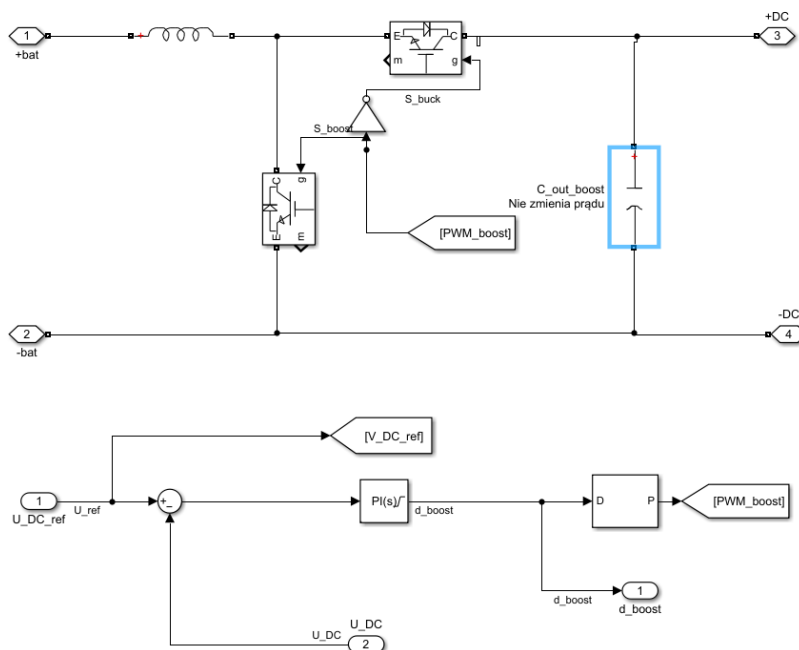
Celem laboratorium było zaprojektowanie elektrycznego układu napędowego z silnikiem BLDC.

Zakres laboratorium obejmował:

- zbudowanie modelu baterii i przekształtnika DC-DC;
- zbudowanie modelu silnika BLDC i przekształtnika DC-AC zasilającego silnik;
- zbudowanie modelu układu sterowania silnikiem BLDC z komutatorem elektronicznym;
- wykonanie symulacji.

#### 2. Przekształtnik DC-DC podwyższający napięcie

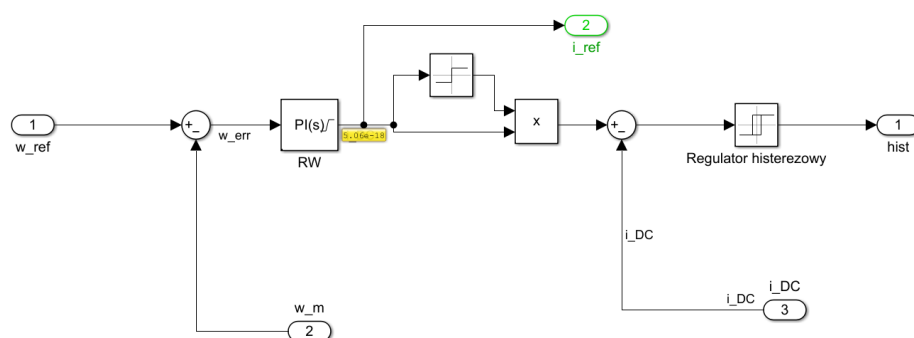
W pierwszej części ćwiczenia zrealizowano układ dwukierunkowego przekształtnika DC-DC podwyższającego napięcie. Układ przedstawiono na Rys. 1. Przekształtnik tego typu ma za zadanie stabilizować napięcie na zaciskach przekształtnika DC-AC zasilającego silnik BLDC. Pod układem przekształtnika w górnej części rysunku przedstawiono schematu układu sterującego. Układ ten opiera się o pojedynczą pętlę sprzężenia zwrotnego. Informacją zwrotną jest tu napięcie na zaciskach wyjściowych.



Rys. 1. Przekształtnik dwukierunkowy typu boost

### 3. Struktura regulacji prędkości obrotowej silnika

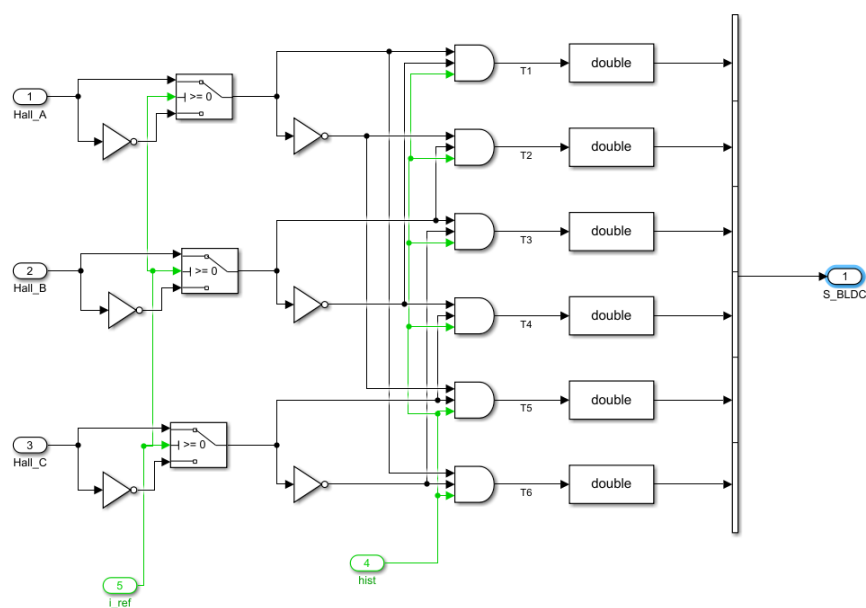
Strukturę układu regulacji prędkości obrotowej silnika BLDC przedstawiono na Rys. 2. Układ zrealizowano jako kaskadowy, w którym nadrzędnym regulatorem jest regulator PI prędkości obrotowej z ograniczeniem prądu, natomiast regulatorem podrzędnym jest regulator histerezy kształtujący prąd. Jako wielkość sterowaną wybrano prąd baterii i to od tej wielkości w układzie pojawia się sprzężenie zwrotne. Zastosowanie funkcji *signum* na wartości zadanej prądu ma na celu umożliwienie układowi pracy dwukierunkowej.



Rys. 2. Struktura regulacji prędkości obrotowej silnika BLDC

### 4. Komutator elektroniczny

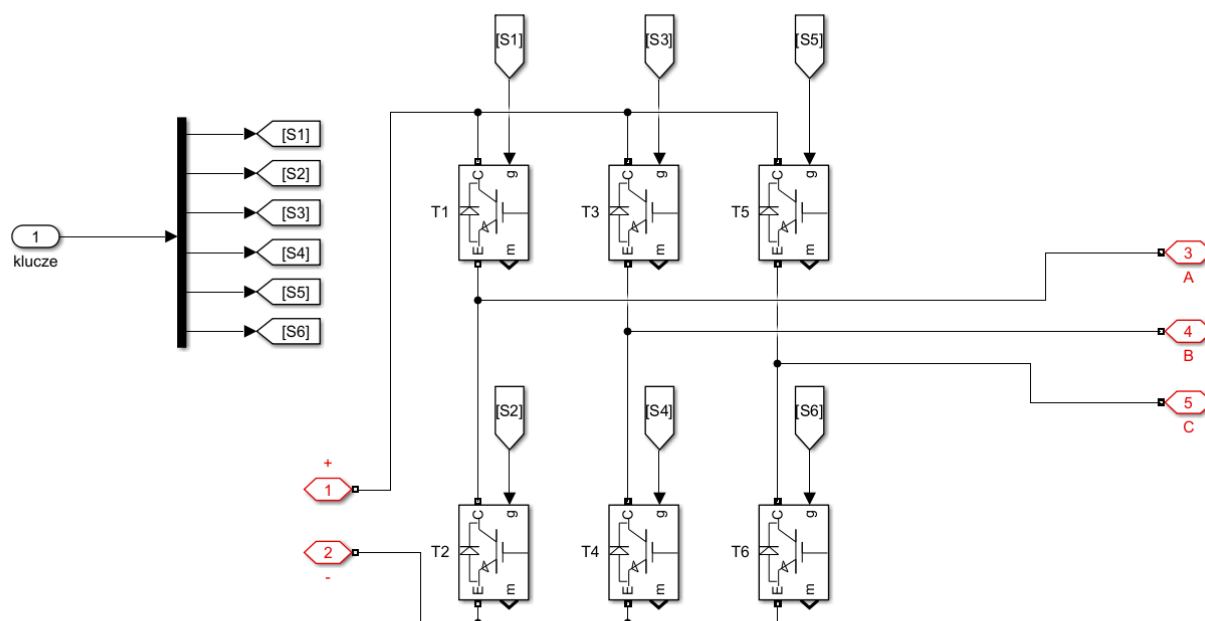
Na Rys. 3 przedstawiono układ komutatora elektronicznego. Układ ten na podstawie sygnałów czujników położenia wirnika oraz sygnału z regulatora histerezy załącza odpowiednie tranzystory na odpowiednie chwile czasu, wymuszając tym samym odpowiednią wartość prądu płynącego z baterii do silnika.



Rys. 3. Układ komutatora elektronicznego

## 5. Przekształtnik DC-AC zasilający silnik

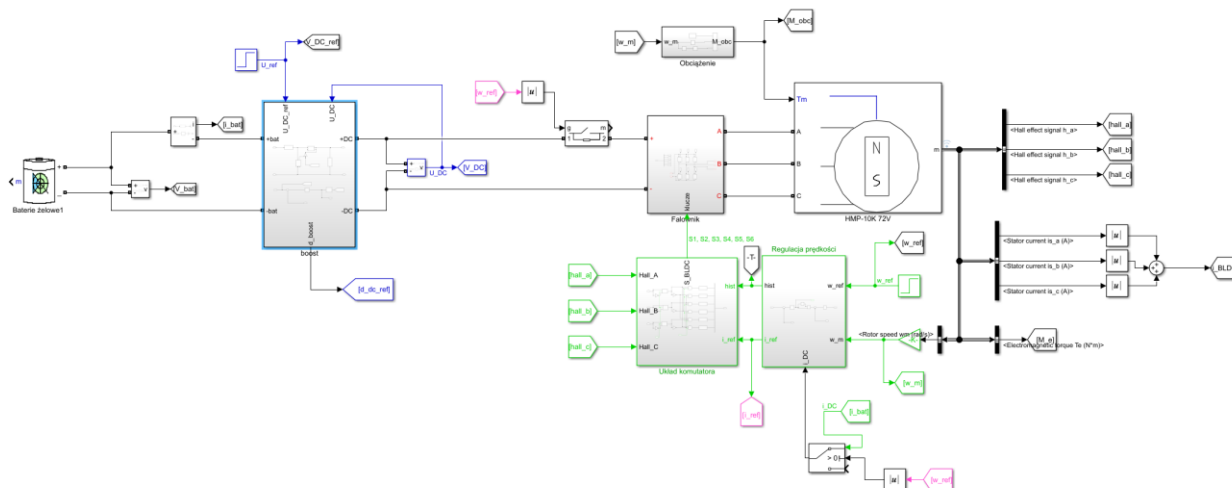
Przekształtnik DC-AC zasilający silnik wykonano w standardowej strukturze z sześcioma tranzystorami IGBT oraz diodami zwrotnymi. Układ przedstawiono na Rys. 4. Sygnały sterujące tranzystorami pochodzą z komutatora elektronicznego.



Rys. 4. Przekształtnik DC-AC zasilający silnik BLDC

## 6. Model symulacyjny

Oprócz opisanych elementów, w modelu symulacyjnym zbudowano również bloki baterii oraz silnika BLDC (model referencyjny: HPM-10K o napięciu znamionowym 72 V), a także obciążenia o charakterze wentylatorowym. Pełny model symulacyjny, składający się z opisanych elementów, przedstawiono na Rys. 5.

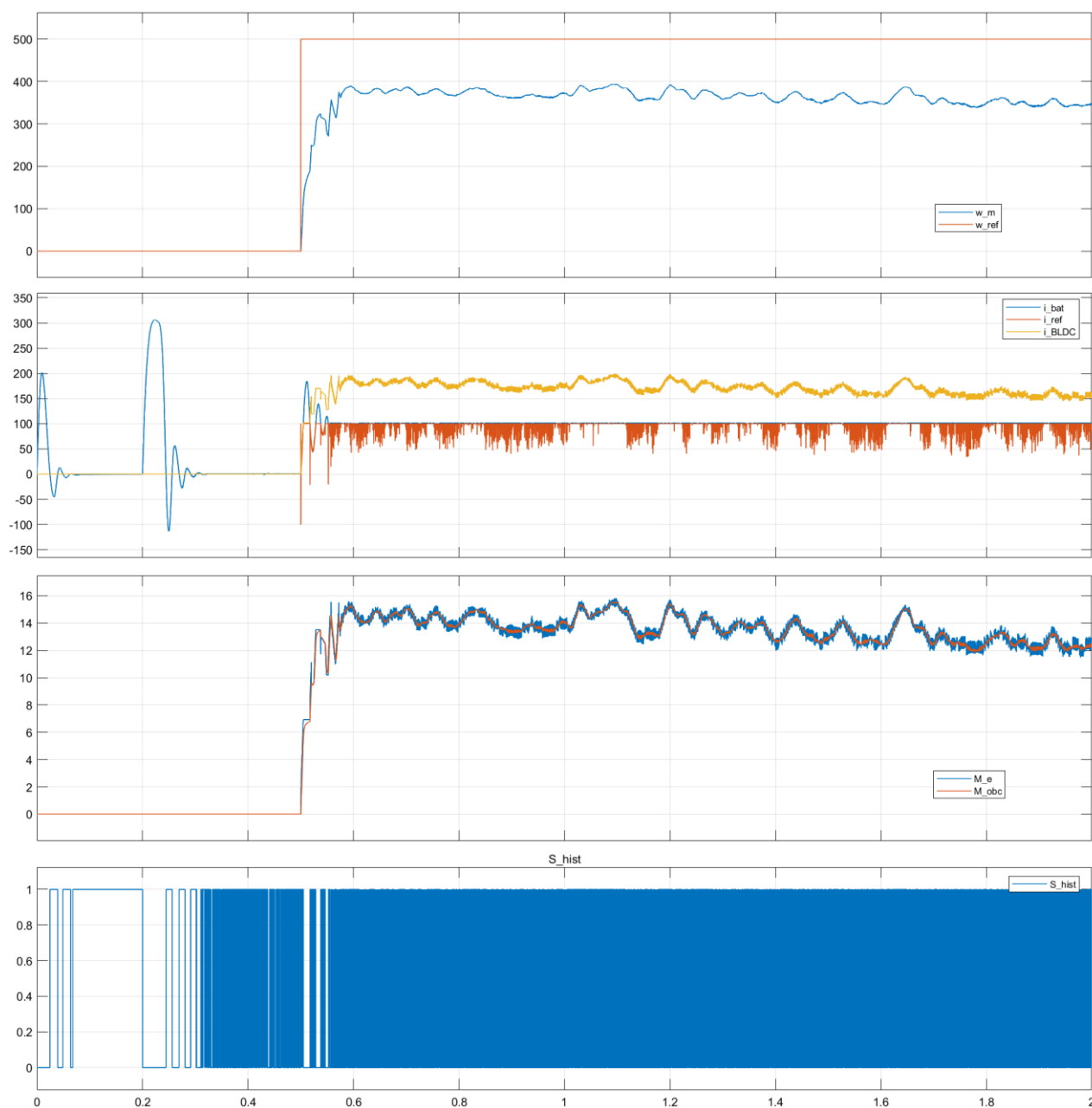


Rys. 5. Pełny model symulacyjny

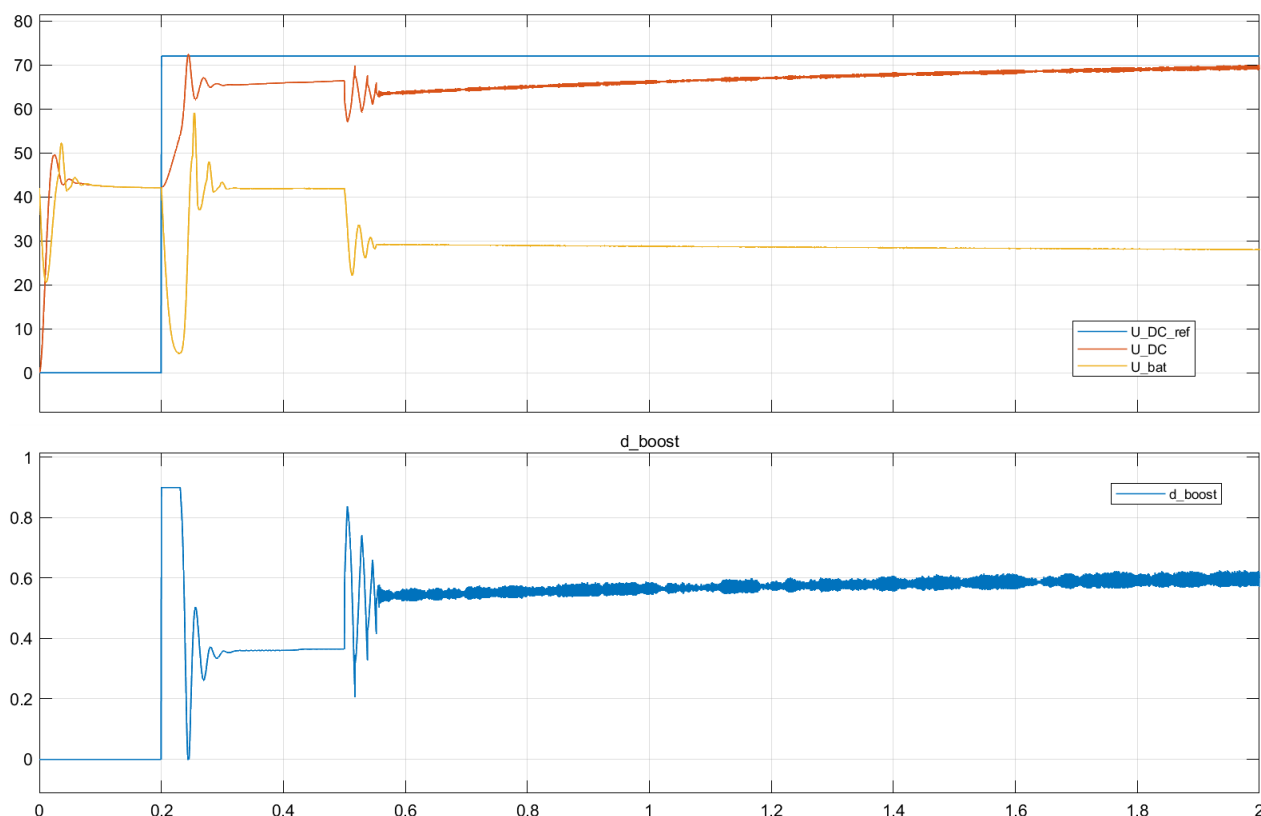
## 7. Wyniki badań

Ze względu na specyfikę układu napędowego oraz pojawiające się w nim nieciągłości przebiegów (komutator elektroniczny sterowany regulatorem histerezyowym) symulację wykonano z ustawieniem dyskretnych przebiegów.

Wypadkowe przebiegi przedstawiono na Rys. 6 oraz Rys. 7. Na przebiegach widać kolejno: wartości prędkości obrotowej referencyjnej i rzeczywistej, wartości prądów zadanego, baterii oraz silnika (suma wartości bezwzględnych prądów fazowych), moment elektromagnetyczny oraz obciążenia, a także sygnały podawane przez regulator histerezyowy na układ komutatora. Na kolejnych dwóch przebiegach widać napięcie baterii, referencyjne oraz na wyjściu przekształtnika DC-DC, a także współczynnik wypełnienia przekształtnika *boost*.



Rys. 6. Przebiegi - silnik i bateria



Rys. 7. Przebiegi - przekształtnik DC-DC

## 8. Wnioski

Pierwszym wnioskiem jest fakt, że ze względu na wiele współdziałających ze sobą symulowanych układów, proces symulacji modelu był bardzo utrudniony i niestabilny przy niektórych ustawieniach. Można zatem sądzić, że środowisko Simulink jest lepiej przystosowane do wykonywania symulacji mało złożonych układów, natomiast symulacje rozbudowanych napędów lepiej jest realizować korzystając z bloków dostępnych w bibliotekach zainstalowanych wraz z pakietem oprogramowania.

Widoczne na przebiegach oscylacje są skutkiem ograniczeń numerycznych układu (całkowanie dyskretnie), a także empirycznego sposobu doboru nastaw regulatorów PI w układzie. Można przyjąć, że bardziej dopasowane do specyfiki układu napędowego nastawy regulatorów znacznie poprawiłyby dynamikę całego napędu. Zwłaszcza w przypadku przekształtnika DC-DC, stabilizacja napięcia mogłaby wyglądać dużo lepiej.

Istotnym wnioskiem płynącym ze zbudowania napędu w ramach laboratorium jest fakt, że regulator histerezyowy znacznie upraszcza kwestie projektowe, ze względu na brak konieczności doboru nastaw regulatora PI. Uzasadnia to jego stosowanie w układach napędowych zwłaszcza tam, gdzie straty łączeniowe lub zmienna częstotliwość przełączeń nie są istotnymi kwestiami.

Wnioskiem ogólnym jest fakt, że projektowanie i modelowanie układu napędowego jest procesem złożonym, wymagającym doprowadzenia do współpracy wielu współdziałających elementów. Odpowiedni dobór polega między innymi na określeniu parametrów komponentów elektrycznych, wyborze regulatorów i doborze ich nastaw, a także zapewnieniu niezawodności. Układ działający przy jednym typie obciążenia, może zupełnie nie sprawdzać się w innym środowisku pracy.