



1. Tytuł projektu:

Wysokowydajny układ sterowania synchronicznym silnikiem reluktancyjnym bazujący na sprzężeniu od wektora stanu z predykcją ograniczeń dla pojazdu elektrycznego

2. Słowa kluczowe

Napęd z silnikiem synchronicznym reluktancyjnym, regulator stanu z ograniczeniami, obserwator prędkości kątowej, obserwator momentu obciążenia, przekształtnik SiC.

3. Instytucja finansująca (nr umowy)

Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza (04/IDUB/2019/94)

4. Okres realizacji

01.07.2020-31.12.2021

5. Dofinansowanie (w tym w 2021)

200 000,00

6. Partnerzy

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,

7. Kierownik projektu

Prof. dr hab. inż. Lech Grzesiak

8. Zespół projektowy

- *Tomasz Tarczewski, dr hab. inż., profesor UMK, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, dyscyplina - automatyka, elektronika i elektrotechnika*
- *Łukasz Niewiara, dr inż., adiunkt, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, automatyka, elektronika i elektrotechnika dyscyplina -*
- *Michał Gierczyński, dr inż., adiunkt, Politechnika Warszawska, dyscyplina - automatyka, elektronika i elektrotechnika dyscyplina -*

9. Cel projektu (max. 1000 znaków)

Celem projektu jest opracowania, oryginalnej struktury i algorytmu sterowania napędem z silnikiem synchronicznym reluktancyjnym zasilanym z wysokosprawnego przekształtnika. Przygotowane zostaną modele matematyczne i symulacyjne napędu oraz przeprowadzone badania komputerowe i eksperymentalne umożliwiające weryfikację algorytmów sterowania bazujących na sprzężeniu od wektora stanu z predykcją ograniczeń. Ze względu na nieliniowy i niestacjonarny charakter obiektu regulacji planowane jest opracowanie regulatora o zmiennych współczynnikach wzmocnień. Na potrzeby syntezy oraz implementacji regulatora zostaną wykorzystane elementy sztucznej

inteligencji. Algorytm regulacji zostanie rozbudowany o strategię sterowania w strefie osłabionego strumienia oraz możliwość pracy bez czujnika położenia kąтового, ponieważ docelowy obszar zastosowań to napędy pojazdów elektrycznych. Opracowany układ regulacji zostanie zaimplementowany w stanowisku laboratoryjnym z silnikiem synchronicznym reluktancyjnym dołączonym do wysokosprawnego przekształtnika napięcia z tranzystorami z węgla krzemu.

10. Streszczenie (max. 1 strona)

W ostatniej dekadzie obserwowany jest intensywny rozwój elektromobilności, a zwłaszcza bateryjnych pojazdów elektrycznych, które miałyby zastąpić tradycyjne pojazdy z silnikami spalinowymi. W tego typu zastosowaniach istotna jest najwyższa możliwa do uzyskania wydajność układu napędowego przy zachowaniu relatywnie dobrych parametrów pracy napędu, tj. wysokiej dynamiki, niskiego poziomu wibracji i hałasu. Z tego względu coraz częściej zespoły naukowe prowadzą badania w zakresie zastosowania synchronicznych silników reluktancyjnych jako napędów w pojazdach elektrycznych. W porównaniu do tradycyjnych rozwiązań bazujących na silnikach indukcyjnych albo silnikach synchronicznych o magnesach trwałych, maszyny reluktancyjne pozwalają na uzyskanie większej gęstości mocy od tych pierwszych, natomiast z ekonomicznego punktu widzenia są bardziej atrakcyjne od tych drugich. Szczególnie istotne jest to, że silniki reluktancyjne nie wymagają stosowania materiałów wykorzystujących pierwiastki ziem rzadkich, których dostępność jest ograniczona. Ważne jest także to, że straty występujące w wirniku są niewielkie co upraszcza system chłodzenia.

Uzyskanie relatywnie dobrych parametrów energetycznych i użytkowych napędu wymaga zastosowania wysokosprawnych przekształtników wraz z odpowiednimi, zaawansowanymi algorytmami sterowania. Realizowany projekt dotyczy badań napędu z silnikiem reluktancyjnym zasilanym z wysokosprawnego przekształtnika z elementami półprzewodnikowymi na bazie węgla krzemu. Prace badawcze obejmować będą opracowanie i eksperymentalną weryfikację algorytmów sterowania bazujących na sprzężeniu od wektora stanu z predykcją ograniczeń.

Ze względu na nieliniowy i niestacjonarny charakter obiektu regulacji planowane jest opracowanie regulatora o zmiennych współczynnikach wzmocnień. Na potrzeby syntezy oraz implementacji regulatora zostaną wykorzystane elementy sztucznej inteligencji (inspirowane przyrodą algorytmy optymalizacyjne, sztuczne sieci neuronowe). Ze względu na badania napędu elektrycznego związane z elektromobilnością, algorytm regulacji zostanie rozbudowany o strategię sterowania w strefie osłabionego strumienia oraz możliwość pracy bez czujnika położenia kąтового.

Opracowany układ regulacji zostanie zaimplementowany w prototypowym, wysokosprawnym falowniku napięcia z modułem mocy na bazie elementów półprzewodnikowych z węgla krzemu. Podczas syntezy układu regulacji jednym z istotnych aspektów będzie maksymalizacja efektywności napędu przy zachowaniu bardzo dobrych parametrów jego pracy - niski poziom tętnień momentu połączony z redukcją hałasu i wibracji.



W ramach prac eksperymentalnych przewiduje się również badania porównawcze opracowanego napędu z napędem komercyjnym. Analizie poddane zostaną poziomy: tętnień momentu elektromagnetycznego, generowanych wibracji oraz hałasu, a także zdolność kompensacji zewnętrznego momentu obciążenia. Ponadto porównywana zostanie efektywność energetyczna opracowanego napędu z napędem komercyjnym wyposażonym w silnik indukcyjny asynchroniczny przy zastosowaniu zharmonizowanej procedury badań pojazdów lekkich WLTP.

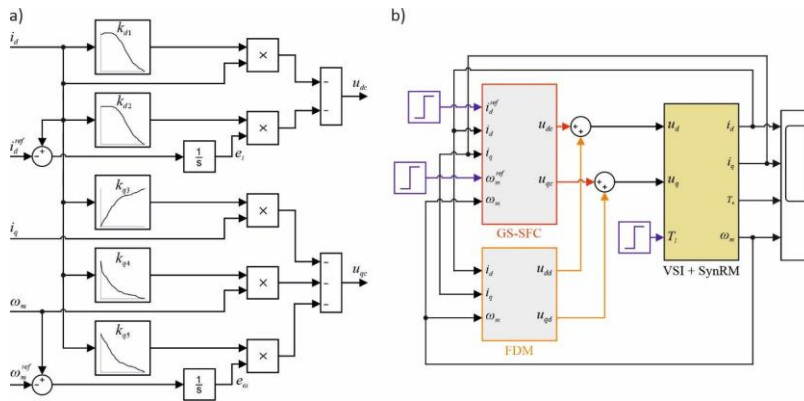
11. Dotychczasowe osiągnięcia (max 2000 wyrazów)

Opracowano autorski algorytm bazujący na sprzężeniu od wektora stanu z przestrajanymi współczynnikami wzmocnień regulatora. Zaproponowano metodę predykcji ograniczeń gwarantującą utrzymywanie składowej q prądu w żądanym zakresie. Przeprowadzono analizę odporności algorytmu regulacji na zmiany indukcyjności silnika SynRM. Badania symulacyjne potwierdziły poprawne działanie napędu zarówno w zakresie regulacji prędkości kątowej i prądu id silnika SynRM jak i skuteczne ograniczanie prądu iq . Synteza regulatora z przestrajanymi współczynnikami wzmocnień została omówiona w publikacji zaakceptowanej na konferencję IEEE PEMC'20. Planowane jest zaimplementowanie opracowanego rozwiązania w prototypowym napędzie z silnikiem SynRM. Opracowano także algorytm sterowania bezczujnikowego napędem z silnikiem reluktancyjnym – SynRM wykorzystującym obserwator pełnego rzędu. Współczynniki wzmocnień obserwatora wyznaczono korzystając z algorytmu optymalizacyjnego sztucznej kolonii pszczół. Opracowany algorytm sterowania bezczujnikowego został zaimplementowany w środowisku Matlab/Simulink. Wyniki badań komputerowych wykazały poprawną pracę napędu z zaimplementowanymi estymatorami prędkości kątowej i momentu obciążenia

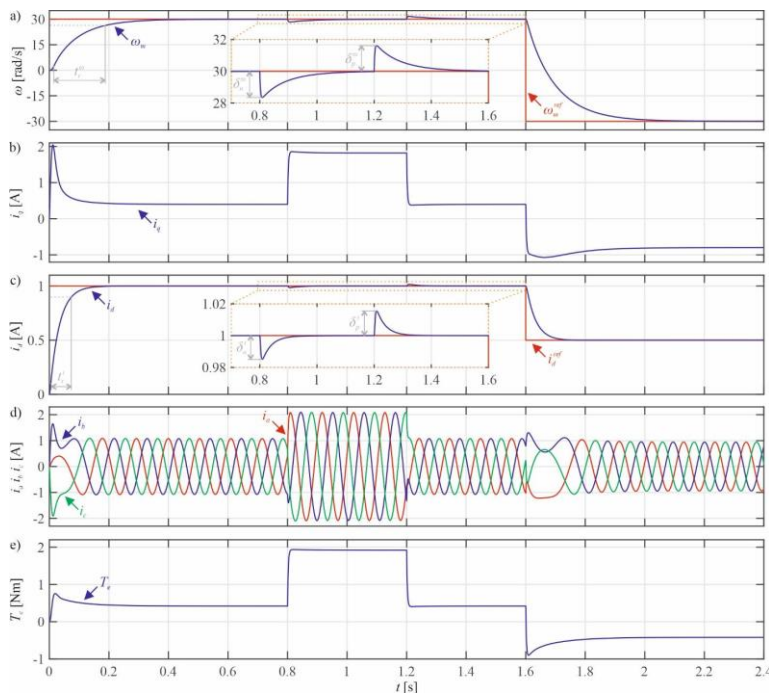
12. Publikacje

Gain-Scheduled State Feedback Speed Control of Synchronous Reluctance Motor ; Tarczewski T., Niewiara L. J., Grzesiak L. M.; *19th Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)*; 4/25/2021 - 4/29/2021, Gliwice, Poland

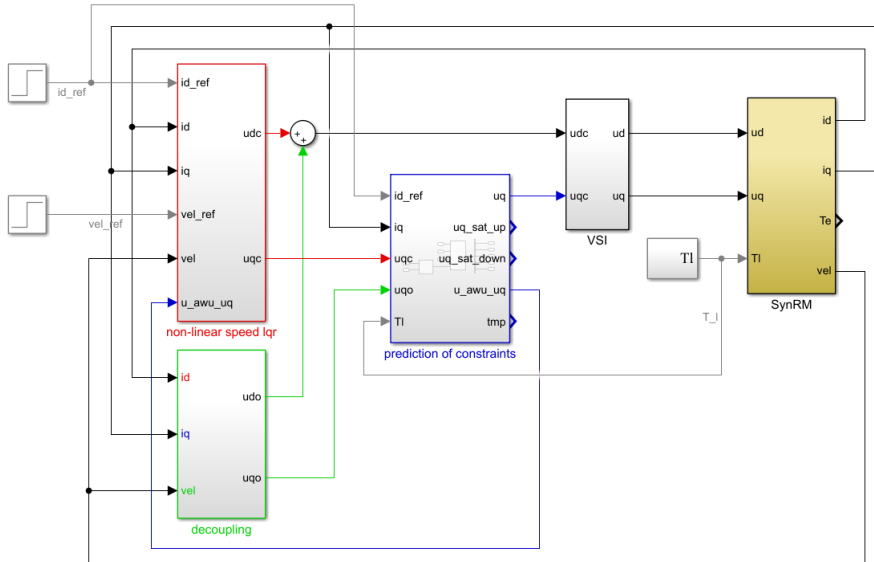
13. Materiały graficzne



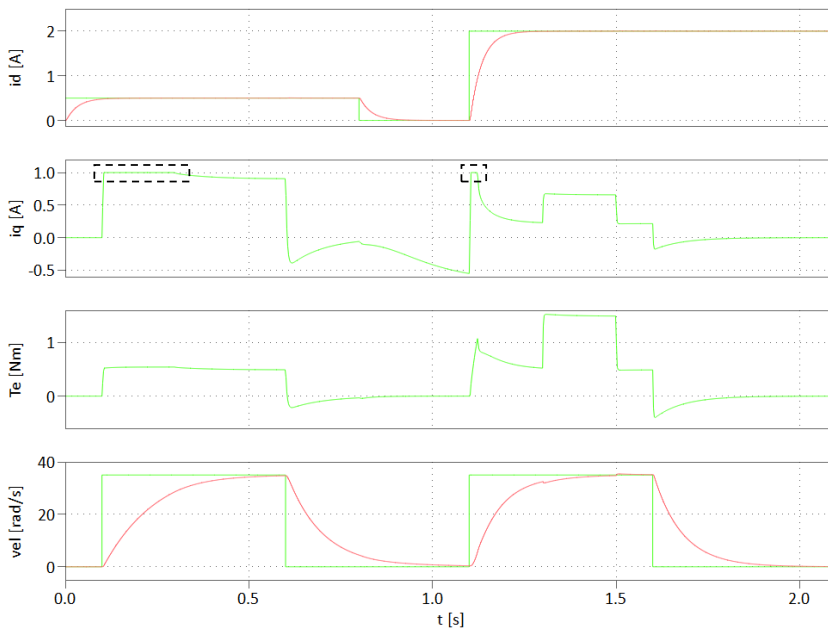
Rys. 1. Schemat blokowy: a) regulatora ze sprzężeniem od wektora stanu, b) układu regulacji prędkości kątowej silnika SynRM



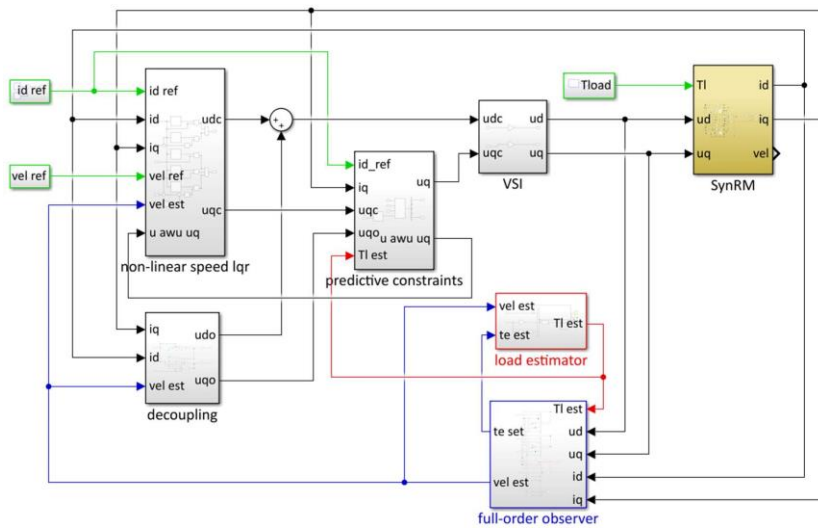
Rys. 2. Wyniki badań symulacyjnych napędu z silnikiem SynRM: a) prędkość kątowa, b) składowa q wektora przestrzennego prądu, c) składowa d wektora przestrzennego prądu, d) prądy fazowe, e) moment elektromagnetyczny



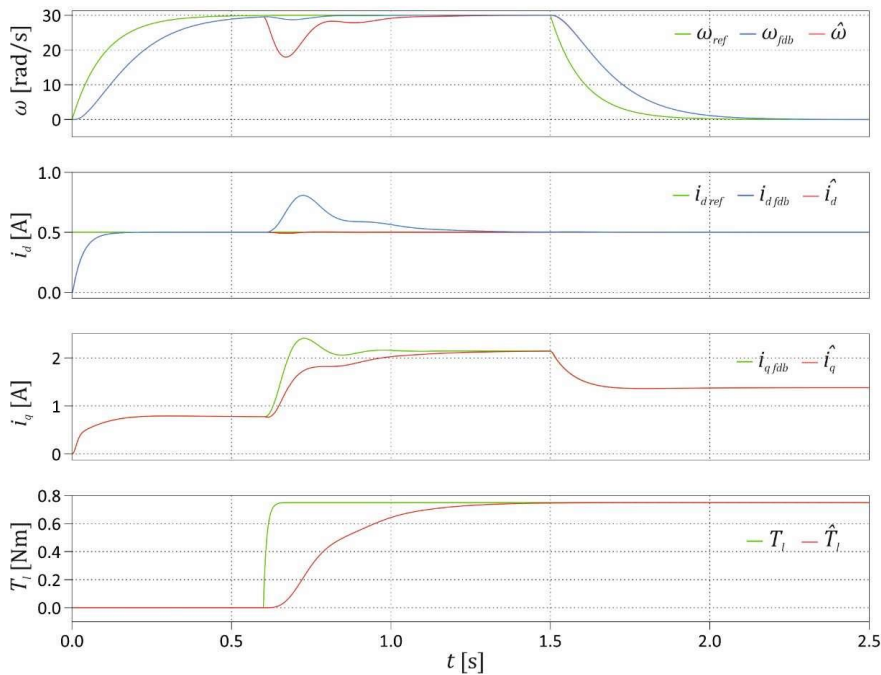
Rys. 3. Schemat blokowy układu regulacji prędkości silnika SynRM z predykcją ograniczeń



Rys. 4. Wyniki badań symulacyjnych: regulacja prędkości kątowej i składowej d wektora prądu oraz predykcyjne ograniczanie składowej q wektora prądu



Rys. 5. Schemat blokowy opracowanego algorytmu sterowania bezczujnikowego



Rys. 6. Odpowiedzi napędu SynRM z algorytmem sterowania bezczujnikowego na pobudzenie skokowe