



1. Tytuł projektu:

Metody sterowania przekształtników trójfazowych współpracujących z siecią asymetryczną i odkształconą, z wykorzystaniem niekartezjańskich układów współrzędnych

2. Słowa kluczowe

Energoelektronika, przekształtniki sieciowe, integracja źródeł i magazynów z siecią, odkształcenia napięcia, asymetria napięcia, regulacja prądu

3. Instytucja finansująca (nr umowy)

Narodowe Centrum Nauki (UMO-2016/23/B/ST7/03942)

4. Okres realizacji

09.08.2017-08.01.2021

5. Dofinansowanie (w tym w 2021)

695 400,00

6. Partnerzy

-

7. Kierownik projektu

Dr hab. inż. Grzegorz Iwański, prof. uczelni

8. Zespół projektowy

Dr inż. Tomasz Łuszczuk,

Dr inż. Paweł Maciejewski

Mgr inż. Sebastian Wodyk

Dr inż. Piotr Pura,

Dr inż. Gennadiy Dauksha

9. Cel projektu (max. 1000 znaków)

Celem projektu jest opracowanie nowych metod sterowania przekształtników sieciowych pozwalających na bezpieczną pracę oraz osiągnięcie wysokiej jakości energii w przypadku pracy z siecią w wysoką zawartością wyższych harmonicznych i



asymetrią napięcia trójfazowego. Zasadniczym celem Projektu jest opracowanie metod sterowania przekształtników z wykorzystaniem niekartezjańskich układów współrzędnych, w których zmienne wykorzystane w sterowaniu są stałe w czasie niezależnie od występowania harmonicznych czy asymetrii zarówno w napięciu sieci jak i w prądzie przekształtnika.

10. Streszczenie (max. 1 strona)

Przekształtniki sieciowe stosowane są coraz częściej jako interfejsy sieciowe w urządzeniach będących odbiornikami energii elektrycznej (prostowniki aktywne) oraz są kluczowym komponentem wszystkich niekonwencjonalnych układów wytwarzania energii elektrycznej takich jak turbiny wiatrowe, moduły fotowoltaiczne, czy magazyny energii integrowane z siecią elektroenergetyczną (BESS). Klasyczne metody sterowania przekształtnikami trójfazowymi sieciowymi są dość podatne na wystąpienie harmonicznych i wymagają odpowiedniej filtracji zmiennych. Dużo większy niekorzystny wpływ ma wystąpienie asymetrii napięcia, gdyż zakłócenie ma tę samą częstotliwość co składowa podstawowa napięcia. Klasyczne podejście w przypadkach zakłóceń zakłada symetryzację prądów przekształtnika. Osiągnięcie innych celów sterowania tj. np. asymetrycznego prądu przekształtnika, które potencjalnie mogłyby mieć korzystny wpływ na sieć elektroenergetyczną, wymaga zastosowania bardziej wyrafinowanych struktur regulacji, w tym m. in. członów oscylacyjnych jako regulatorów, dla których wprowadzenie ograniczenia sygnału wyjściowego nie jest intuicyjne.

Wykorzystanie transformacji do układu niekartezjańskiego pozwala na uproszczenie struktur regulatorów, natomiast równie istotnym zagadnieniem analizowanym w projekcie jest wyznaczenie wartości prądów w zależności od wystąpienia asymetrii i harmonicznych w napięciu sieci. Intencjonalne wprowadzenie asymetrycznego czy odkształconego harmonicznymi prądu przekształtnika może poprawiać jakość napięcia sieci w przypadku, gdy moc zwarciowa sieci jest stosunkowo nieduża w porównaniu z mocą przekształtnika (sieć o dużej impedancji). Realizacja badań wymagała przede wszystkim podejścia analitycznego, wyznaczenia współczynników transformacji zmiennych do nowych układów współrzędnych, określenia wpływu prądu przekształtnika na napięcie sieci przy danej relacji między impedancją sieci a mocą przekształtnika, wyznaczenia wartości zadanych prądu, a następnie weryfikacji obliczeń w modelu symulacyjnym i na stanowisku laboratoryjnym. Wyniki badań mogą pomóc w osiągnięciu wyższej jakości energii elektrycznej pobieranej przez odbiorniki z trójfazowym interfejsem energoelektronicznym lub wytwarzanej w układach niekonwencjonalnych źródeł energii elektrycznej, zwłaszcza w sieciach rozproszonych z dużym udziałem tych źródeł.



Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

**Politechnika
Warszawska**



11. Dotychczasowe osiągnięcia (max 2000 wyrazów)

1. Wyprowadzenie nowej transformacji do reprezentacji asymetrycznych sygnałów trójfazowych jako sygnałów symetrycznych w stacjonarnym układzie współrzędnych oraz jako sygnałów stałych w wirującym układzie współrzędnych dla asymetrii prądu przekształtnika zgodnej i przeciwnej do asymetrii napięcia sieciowego.
2. Wyprowadzenie nowej transformacji do reprezentacji asymetrycznych sygnałów trójfazowych jako sygnałów symetrycznych w stacjonarnym układzie współrzędnych oraz jako sygnałów stałych w wirującym układzie współrzędnych dla dowolnej asymetrii prądu przekształtnika.
3. Wyprowadzenie nowej transformacji do reprezentacji asymetrycznych i odkształconych harmonicznymi sygnałów trójfazowych jako sygnałów symetrycznych w stacjonarnym układzie współrzędnych oraz jako sygnałów stałych w wirującym układzie współrzędnych dla celu sterowania jakim jest jednostkowy współczynnik mocy.
4. Wyprowadzenie nowej transformacji do reprezentacji asymetrycznych i odkształconych harmonicznymi sygnałów trójfazowych jako sygnałów symetrycznych w stacjonarnym układzie współrzędnych oraz jako sygnałów stałych w wirującym układzie współrzędnych dla celu sterowania jakim jest stała (nieoscylacyjna) składowa mocy chwilowej p (według Akagiego) - minimalizacja tętnień napięcia obwodu pośredniczącego.
5. Opracowanie metod sterowania przekształtnikami realizującymi zadane cele sterowania z wykorzystaniem niekartezjańskich układów współrzędnych.
6. Weryfikacja symulacyjna i eksperymentalna opracowanych metod sterowania z wykorzystaniem niekartezjańskich układów współrzędnych.
7. Opracowanie i weryfikacja innych opracowanych metod sterowania przekształtników sieciowych realizujących wspomniane cele sterowania z wykorzystaniem metod sterowania bezpośredniego (sterowanie mocą oraz sterowanie wirtualnym momentem).
8. Weryfikacja opracowanego sterowania prądnicy dwustronnie zasilanej w warunkach asymetrii i harmonicznymi napięcia sieciowego w celu minimalizacji tętnień momentu elektromagnetycznego.



12. Publikacje

- G. Iwański, P. Maciejewski, T. Łuszczuk, "Non-Cartesian Frame Transformation-Based Control of a Three-Phase Power Converter During Unbalanced Voltage Dip – Part I: Transformation Principles", *Power Electronics and Drives*, vol. 4, no. 39, 2019, pp. 1-15
- G. Iwański, P. Maciejewski, T. Łuszczuk, "Non-Cartesian Frame Transformation-Based Control of a Three-Phase Power Converter During Unbalanced Voltage Dip – Part II: Simulation and Experiment", *Power Electronics and Drives*, vol. 4, no. 39, 2019, pp. 1-15.
3. G. Iwański, P. Maciejewski, T. Łuszczuk, „Nowe transformacje zmiennych w układach sterowania trójfazowym sieciowym przekształtnikiem energoelektronicznym w warunkach asymetrii napięcia sieciowego”, XIV Konferencja Naukowa Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym – SENE'19, Łódź, 20-22 listopada 2019
- G. Iwański, P. Maciejewski, T. Łuszczuk, „New Stationary Frame Transformation for Control of a Three-Phase Power Converter under Unbalanced Grid Voltage Sags”, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, early access, 2021
- S. Wodyk, G. Iwański, „Vibrating coordinates frame transformation based unity power factor control of a three-phase converter at grid voltage imbalance and harmonics”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, early access, 2021
- G. Iwański, "Virtual Torque and Power Control of a Three-Phase Converter Connected to an Unbalanced Grid with Consideration of Converter Current Constraint and Operation Mode" *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 4, pp. 3804-3818, Apr. 2019
- S. Wodyk, G. Iwański, "Three-Phase Converter Power Control Under Grid Imbalance and Harmonics with Consideration of Instantaneous Power Components Limitation", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, vol. 30, no. 6, pp.1-15, 2020
- S. Wodyk, G. Iwański, "Three-Phase Converter Power Control Under Grid Imbalance and Harmonics with Consideration of Instantaneous Power Components Limitation", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56, no. 5, pp. 5257-5268, 2020
- G. Iwanski, T. Łuszczuk and M. Piwek, "Torque Oscillations Cancellation Targets of a Doubly Fed Induction Machine Operating with Unbalanced and Distorted Grid," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 11, no. 3, pp. 1636-1646, 2020

13. Materiały graficzne

-