

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko: Grzegorz Iwański

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania, tytułu rozprawy doktorskiej i nazwisk osób, które pełniły funkcje promotora i recenzentów

Tytuł zawodowy magistra inżyniera uzyskany na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w 2003 roku na kierunku Automatyka i Robotyka

Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie Elektrotechnika nadany uchwałą Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej z dnia 12 października 2005 roku na podstawie rozprawy pt. „Analiza pracy autonomicznego układu wytwarzania energii elektrycznej z prądnicą indukcyjną pierścieniową”.

Promotor:

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Koczara

Recenzenci:

Dr hab. inż. Elżbieta Bogalecka, Prof. PG,

Prof. dr hab. inż. Marian P. Kaźmierkowski

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2006-2008 – Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej, na stanowisku konstruktora w projekcie europejskim o akronimie HOPE (6PR UE)

2009- – Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej, na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny Elektrotechnika zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

a) tytuł osiągnięcia naukowego (zgodnie z wnioskiem)

Sterowanie układów przekształtnikowych w sieciowych i wyspowych systemach wytwarzania i przekształcania energii elektrycznej z uwzględnieniem asymetrii i harmonicznych napięcia sieci oraz asymetrii i harmonicznych prądu obciążenia

b) wykaz prac naukowych (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, nazwa czasopisma, tom, strony), dokumentujących osiągnięcie (osiągnięcia) naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

1. G. Iwanski, T. Łuszczuk, "Load Current Feedforward based Control of Doubly Fed Induction Generator Feeding Nonlinear Load", *9th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies – EVER'14*, Monte Carlo, Monaco, 25-27.03.2014

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu metody sterowania napięciem stojana z uwzględnieniem sprzężenia w przód od mierzonego lub estymowanego prądu obciążenia i przeprowadzeniu weryfikacji symulacyjnej modelu autonomicznej prądnicy dwustronnie zasilanej, oraz laboratoryjnej implementacji metody sterowania. Mój udział procentowy w powstaniu tej pracy szacuję na 80%.

2. G. Iwański, P. Pura, T. Łuszczuk, M. Szypulski, "Stator voltage harmonics and unbalance compensation of the sensorless standalone doubly fed induction generator", *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering – Compel*, vol. 33, No. 5, pp. 1741 - 1760, 2014, (IF2014: 0.44)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu metody regulacji napięcia wyjściowego prądnicy dwustronnie zasilanej dla obciążeń niesymetrycznych i nieliniowych z eliminacją asymetrii i harmonicznych tego napięcia oraz na opracowaniu sterowania dla przekształtnika sieciowego pozwalającego na redukcję asymetrii i harmonicznych prądu stojana a więc i momentu elektromagnetycznego. Ponadto moim wkładem w powstanie pracy było wykonanie części symulacji komputerowych weryfikujących opracowane metody sterowania oraz bezpośrednie kierowanie wykonywanymi testami laboratoryjnymi. Mój udział procentowy w powstaniu tej pracy szacuję na 60%.

3. M. Szypulski and G. Iwanski, "Sensorless State Control of Stand-Alone Doubly Fed Induction Generator Supplying Nonlinear and Unbalanced Loads," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 31, no. 4, pp. 1530-1538, Dec. 2016, (IF2016: 3.808)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyprowadzeniu modeli matematycznych maszyny wyposażonej z kondensatory filtrujące od strony stojana, na podstawie których doktorant zrealizował sterowanie ze sprzężeniem od wektora stanu. Ponadto moim wkładem w powstanie pracy było kierowanie wykonywanymi testami laboratoryjnymi oraz wybór wyników do publikacji. Mój udział procentowy w powstaniu tej pracy szacuję na 20%.

4. G. Iwanski, P. Pura, T. Łuszczuk, "Properties and control of variable speed doubly fed induction generator", *2015 Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, 31.03 -02.04.2015, Monte Carlo, Monaco

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyprowadzeniu modeli matematycznych, na podstawie których zrealizowane zostało sterowanie, wyprowadzenie zadanych zmiennych sterowania dla algorytmów DPC i DTC z regulatorami histerezowymi zapewniających eliminację tętnień momentu elektromagnetycznego przy asymetrii napięcia sieci przy jednoczesnym uzyskaniu sinusoidalnego (aczkolwiek asymetrycznego) prądu stojana, opracowanie sterowania wektorowego

prądem wirnika pozwalającego na uzyskanie tych samych efektów ale przy stałej częstotliwości łączów i ograniczeniu prądowym, oraz opracowanie sterowania przekształtnikiem sieciowym. Mój udział procentowy w powstaniu pracy szacuję na 60%.

5. G. Iwanski, T. Łuszczuk, P. Pura and M. Szypulski, "Indirect Torque and Stator Reactive Power Control of Doubly Fed Induction Machine Connected to Unbalanced Power Network," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 31, no. 3, pp. 1202-1211, Sept. 2016. (IF2016: 3.808)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wyprowadzeniu modeli matematycznych, na podstawie których zrealizowane zostało sterowanie, opracowaniu sterowania we współrzędnych stacjonarnych zapewniającego alternatywnie eliminację tętnień momentu, sinusoidalny symetryczny prąd stojana, lub sinusoidalny prąd wirnika, a także opracowanie metody ograniczenia prądowego we współrzędnych stacjonarnych, Ponadto moim wkładem w powstanie pracy było wykonanie testów laboratoryjnych oraz analiza i wybór wyników do publikacji. Mój udział procentowy w powstaniu tej pracy szacuję na 60%.

6. G. Iwanski; T. Łuszczuk; M. Szypulski, "Virtual Torque Based Control of Three Phase Rectifier Under Grid Imbalance and Harmonics," *IEEE Transactions on Power Electronics* , vol. 32, no.9, pp. 6836-6852, Sept. 2017, (IF2016: 7.151)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu sterowania aktywnym prostownikiem sieciowym pracującym w warunkach asymetrii z wykorzystaniem zmiennej pomocniczej (wirtualnego momentu sieci traktowanej jako maszyna elektryczna), oraz opracowaniu metody ograniczenia prądowego w progresywnym balansowaniu prądów fazowych zapewniającego płynne przejście między strategiami sterowania oraz stany ustalone o pośredniej asymetrii prądów między asymetrią odpowiadającą asymetrii sieci oraz pełną symetrią w zależności od obciążenia prostownika. Ponadto moim wkładem był współudział w realizacji testów laboratoryjnych oraz analiza i wybór wyników do publikacji. Mój udział procentowy w powstaniu tej pracy szacuję na 60%.

7. G. Iwański, "Current progressive balancing of three phase converter operating with unbalanced grid", 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe), Warszawa, Poland, pp.1-10.

Praca dotyczy sterowania przekształtnikiem sieciowym pracującym jako prostownik lub falownik w warunkach asymetrii napięcia sieci z wykorzystaniem dekompozycji zmiennych, oraz metody ograniczenia prądowego z progresywnym balansowaniem prądów fazowych zapewniającego płynne przejście między strategiami sterowania oraz stany ustalone o pośredniej asymetrii prądów między asymetrią odpowiadającą asymetrii sieci oraz pełną symetrią.

8. 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*, (to be published) 2018, (IF2016: 7.151). DOI: 10.1109/TPEL.2018.2850014

Praca dotyczy sterowania przekształtnikiem sieciowym pracującym jako prostownik lub falownik w warunkach asymetrii napięcia sieci z wykorzystaniem składowymi mocy chwilowej, wirtualnego momentu elektromagnetycznego sieci traktowanej jako maszyna elektryczna oraz zmiennej pomocniczej będącej iloczynem skalarnym wektora strumienia wirtualnego sieci i wektora prądu

przekształtnika, oraz metody ograniczenia prądowego z progresywnym balansowaniem prądów fazowych zapewniającego płynne przejście między strategiami sterowania oraz stany ustalone o pośredniej asymetrii prądów między asymetrią odpowiadającą asymetrii sieci oraz pełną symetrią w zależności od trybu pracy i w zależności od obciążenia przekształtnika zarówno dla pracy prostownikowej jak i falownikowej.

9. G. Iwański, Ł. Bigorajski, W. Koczara, „Speed control with incremental algorithm of minimum fuel consumption tracking for variable speed diesel generator, *Energy Conversion and Management*, vol. 161, pp. 182-192, April 2018, (IF2016: 5.589)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu sterowania zespołem prądotwórczym z silnikiem spalinowym o regulowanej prędkości z wykorzystaniem sprzężenia od zakłócenia (moment obciążający) oraz z wykorzystaniem inkrementalnego algorytmu poszukiwania minimum funkcji jednostkowego zużycia paliwa. Ponadto moim wkładem była realizacja części symulacji komputerowych oraz analiza i wybór wyników do publikacji. Udział 60%.

10. G. Iwański, T. Łuszczuk, P. Pura, M. Szypulski, „Energy Management Method for Doubly Fed Induction Generator with Energy Storage, *Przegląd Elektrotechniczny*, 06/2016, pp. 184-189

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu sterowania zapewniającego zarządzanie rozplywem energii elektrycznej w układzie prądnicy typu DFIG pracującej wyspowo wspomaganej superkondensatorowym magazynem energii. Ponadto moim wkładem w powstanie pracy był współudział w realizacji testów laboratoryjnych oraz analiza i wybór wyników do publikacji. Mój udział procentowy w powstaniu tej pracy szacuję na 60%.

- c) omówienie celu naukowego w/w pracy/prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania. Należy wyraźnie wskazać wkład osiągnięć w rozwój dyscypliny naukowej, z zakresu której ma być nadany stopień naukowy doktora habilitowanego.

Wprowadzenie

Osiągnięcie naukowe, w postaci wymienionych w punkcie 4b dziesięciu artykułów w czasopismach indeksowanych w bazie JCR lub opublikowanych w materiałach konferencyjnych, dotyczy modelowania oraz sterowania przekształtnikowymi układami wytwarzania i przekształcania energii elektrycznej dla pracy sieciowej i wyspowej przy występowaniu asymetrii i harmonicznych napięcia sieci (praca sieciowa), bądź asymetrii i harmonicznych prądu obciążenia (praca wyspowa) z uwzględnieniem sterowania pracą źródła energii w postaci silnika spalinowego oraz wspomagania układu generacyjnego magazynem energii. Przedstawiona tematyka jest w części bezpośrednim rozszerzeniem moich badań, prowadzonych podczas realizacji pracy doktorskiej, i część osiągnięcia habilitacyjnego jest bezpośrednią kontynuacją rozwiązań opisanych w rozprawie doktorskiej, zatem wymagane jest krótkie odniesienie we wstępie do badań prowadzonych przeze mnie przed uzyskaniem stopnia doktora.

Długi czas nieobecności tematyki maszyny dwustronnie zasilanej w badaniach naukowych prowadzonych w Zakładzie (ostatnie prace pochodziły wtedy z 1987 roku) wraz z jednoczesną zmianą technologii przekształtników stosowanych w tym układzie z tyrystorowej na tranzystorową, oraz fakt, że praca autonomiczna tej prądnicy była w tym czasie w literaturze prawie nieznana spowodował, że rozprawa doktorska obroniona w 2005 roku dotyczyła zagadnień podstawowych i opisu ogólnych właściwości tego typu układu oraz propozycji pewnych rozwiązań układowych i metod sterowania w odniesieniu do pracy wyspowej. Mniejszą uwagę w rozprawie doktorskiej skupiłem na analizie modeli matematycznych, większą na badaniach laboratoryjnych, chcąc potwierdzić w ogóle możliwość pracy takiej maszyny ze sterowaniem bezczujnikowym w autonomicznym układzie wytwarzania energii wyposażonym w kondensatory filtrujące po stronie stojana. W rozprawie doktorskiej przedstawiłem podstawową koncepcję regulacji napięcia wyjściowego prądnicy bez czujnika położenia wału z wykorzystaniem wektorowej pętli synchronizacji fazowej napięcia stojana. W strukturze tej dokonywana jest synchronizacja wektora napięcia mierzonego z arbitralnie zadany wektorem reprezentowanym w wirującym układzie współrzędnych biegunowych. Jako podrzędną pętlę regulacji zastosowałem skalarne sterowanie prądem wirnika w układzie zmiennych trójfazowych z regulatorami proporcjonalnymi o dużym wzmocnieniu. Ponadto w rozprawie doktorskiej zaproponowałem i zweryfikowałem sposoby osiągnięcia samowzbudzenia autonomicznego układu prądotwórczego z prądnicą indukcyjną dwustronnie zasilaną, oraz metody synchronizacji i detekcji zaniku napięcia sieci pozwalające na przejście z pracy sieciowej na wyspową i z powrotem, i bezprzerwowe zasilanie wydzielonej części odbiorników. Rozwazałem również metodę kompensacji asymetrii składowej przeciwnej napięcia wyjściowego przy zasilaniu obciążeń niesymetrycznych. Przedstawiona w rozprawie doktorskiej metoda, w warunkach laboratoryjnych pozwoliła na uzyskanie znaczącej kompensacji asymetrii generowanego napięcia ale wymagała dalszego rozwinięcia.

W czasie realizacji pracy doktorskiej, zagadnieniem autonomicznej prądnicy indukcyjnej dwustronnie zasilanej zajmowało się kilka zespołów, natomiast w późniejszym czasie temat podjęło kilkanaście innych, powołując się w publikacjach również i na moje osiągnięcia z dwóch publikacji w *IEEE Transactions on Industrial Electronics* z 2007 i 2008 roku niebędących częścią osiągnięcia habilitacyjnego, które powstały już po obronie ale dotyczyły osiągnięć z rozprawy, co świadczy o tym, że podjęcie przeze mnie decyzji o kontynuacji badań w tym kierunku po obronie pracy doktorskiej było uzasadnione. Stąd też część osiągnięcia habilitacyjnego jest powiązana z poprawą jakości energii (wytwarzanego napięcia) w układzie autonomicznej prądnicy dwustronnie zasilanej, zwłaszcza dla

obciążeń asymetrycznych, nieliniowych oraz w stanach niedoboru energii ze źródła energii mechanicznej poprzez wspomaganie magazynem energii. Dodatkowo, sterowanie przekształtnikiem sieciowym w tym układzie również nie było analizowane w samej pracy doktorskiej i zostało zrealizowane po doktoracie w odniesieniu do zasilania obciążeń asymetrycznych i nieliniowych. Te zagadnienia nie były omawiane szczegółowo w rozprawie, a jedynie wspominałem o takich możliwościach. Pozostała część osiągnięcia habilitacyjnego odnosi się do pracy sieciowej układów przekształtnikowych (prądnicy dwustronnie zasilanej oraz układów o topologiach szeregowych) ze szczególnym uwzględnieniem pracy na sieć o napięciu asymetrycznym i zawierającym harmoniczne, a także do sterowania samym źródłem energii pierwotnej w postaci silnika spalinowego.

Omówienie osiągnięcia naukowego

Przedstawione jako osiągnięcie naukowe publikacje rozszerzają w znacznym stopniu zagadnienie sterowania autonomiczną prądnicą dwustronnie zasilaną zaprezentowane w rozprawie doktorskiej. Celem prowadzonych po doktoracie prac badawczych, których wyniki zaprezentowano w publikacjach stanowiących osiągnięcie naukowe była kompleksowa analiza całego autonomicznego zespołu prądotwórczego z prądnicą dwustronnie zasilaną i przekształtnikiem dwukierunkowym z uwzględnieniem współpracy z magazynem energii bądź dodatkowym źródłem sprzęgniętym w obwodzie pośredniczącym prądu stałego w celu rozszerzenia zakresu pracy prądnicy. Całościowe ujęcie tematu wiązało się z syntezą układów regulacji poszczególnych przekształtników pozwalających na uzyskanie nowych możliwości tego układu, przybliżających układ do kompleksowego rozwiązania.

W pracy [1] przedstawiono i zweryfikowano sterowanie wykorzystujące sprzężenie typu feedforward od prądu obciążenia w celu poprawy jakości napięcia autonomicznej prądnicy dwustronnie zasilanej bez stosowania kompensacji asymetrii i selektywnej kompensacji wybranych harmonicznych za pomocą dodatkowych członów dynamicznych w regulatorach napięcia w sterowaniu przekształtnikiem wirnikowym. Ostatecznie jednak można stwierdzić że takie sterowanie mimo, że częściowo poprawia jakość napięcia wytwarzanego przez prądnicę ustępuje metodzie sterowania przedstawionej w publikacji [2]. Poza tym wymaga dodatkowych czujników prądu obciążenia, a każdy dodatkowy element pomiarowy zwiększa podatność metody na uszkodzenia.

Kolejna praca [2] dotycząca pracy autonomicznej prądnicy dwustronnie zasilanej stanowi opis kompleksowego podejścia do zagadnienia poprawy jakości generowanego na stojanie napięcia w warunkach zasilania obciążeń asymetrycznych i nieliniowych. Praca powstała jako wynik realizacji grantu badawczego własnego MNiSW, którego byłem pomysłodawcą, oraz kierownikiem. Poprawa jakości napięcia przy zasilaniu obciążeń asymetrycznych i nieliniowych odbywa się przez zastosowanie struktur kompensujących składową przeciwną napięcia oraz wybrane dominujące harmoniczne (5 harmoniczną kolejności przeciwnej oraz 7 harmoniczną kolejności zgodnej) przez zadawanie odpowiedniej zawartości tych składowych w prądzie wirnika. Wartości referencyjne dla składowych prądu wirnika są otrzymywane z nadrzędnych regulatorów napięcia. Chcąc uzyskać pożądany efekt regulacja prądu musi odbywać się w tym samym układzie współrzędnych co regulacja napięcia stojana. Przy braku czujnika położenia wału, należy zsynchronizować układy współrzędnych przez wyliczenie niekompensowanej kondensatorami stojanowymi wartości prądu biernego jaki musi być podany od strony wirnika w celu obliczenia kąta synchronizującego obydwie układy współrzędnych. Podawanie w prądzie wirnika składowej przeciwnej podstawowej harmonicznej oraz składowych odpowiedzialnych za kompensację 5 i 7 harmonicznej napięcia stojana powoduje powstanie znacznych oscylacji momentu elektromagnetycznego. W związku z tym przekształtnik sieciowy, odpowiedzialny przede wszystkim za stabilizację napięcia DC, wyposażono w dodatkowe struktury kompensujące asymetrię oraz 5 i 7 harmoniczną prądu stojana. Dostarczenie tych składowych do obciążenia przez przekształtnik sieciowy powoduje, że obciążenie widziane przez stojan ma charakter liniowy, a więc eliminowane są

oscylacje momentu elektromagnetycznego samej maszyny. W układzie rzeczywistym pełnej mocy, moc układów przekształtnikowych jest znacznie ograniczona względem całkowitej mocy układu DFIG, a więc przekształtnik sieciowy może nie zawsze w pełni kompensować asymetrię i harmoniczne prądu stojana, stąd wymagane są struktury kompensujące nie tylko w sterowaniu przekształtnikiem sieciowym, ale również w przekształtniku wirnikowym. Opracowane sterowanie zostało potwierdzone w warunkach laboratoryjnych. Zasadniczym celem tej pracy było osiągnięcie wysokiej jakości napięcia dla trudnych obciążeń przy niewykorzystywaniu czujnika kąta położenia. Jednakowoż, zaproponowane struktury regulatorów zbudowanych w ten sposób, że kilka członów dynamicznych działa równolegle (każdy w innym paśmie), trudno dostroić analitycznie, stąd też kontynuowano badania nad pracą wyspowa prądnicy dwustronnie zasilanej z wykorzystaniem sprzężenia od wektora stanu.

Podstawowy model matematyczny autonomicznej prądnicy dwustronnie zasilanej wyposażonej w kondensatory filtrujące od strony stojana w wirującym układzie współrzędnych wyprowadzony jako jeden z wielu i przedstawiony w monografii książkowej niebędącej przedmiotem osiągnięcia habilitacyjnego, został w [3] sprowadzony do układu stacjonarnego przez przyjęcie zerowej prędkości wirowania układu współrzędnych i rozszerzony o człony oscylacyjne służące do kompensacji składowej przeciwnej, oraz 5 i 7 harmonicznej napięcia stojana. Modele matematyczne prądnicy wyposażonej w kondensatory filtrujące posłużyły do stworzenia komputerowego modelu obiektu, na bazie którego stworzone zostało sterowanie ze sprzężeniem od wektora stanu rozszerzonego o człony rezonansowe. Wykorzystując metodę strojenia LQR można wyznaczyć wzmocnienia regulatora. Opracowanie sterowania z rozszerzonym o człony rezonansowe modelem stanu było przedmiotem rozprawy doktorskiej dr inż. Mateusza Szypulskiego obronionej w 2017 roku z wyróżnieniem, realizowanej pod moim kierunkiem jako promotorem pomocniczym. Pracę tę [3] uważam za znaczny wkład w rozwój metod sterowania dla prądnicy typu DFIG. Jest to jedno z niewielu jak dotąd opracowań z wykorzystaniem tego typu sterowania z oryginalnymi unikalnymi rozwiązaniami dla autonomicznej prądnicy typu DFIG, mimo, że mój udział w realizacji pracy był stosunkowo niewielki i dotyczył tylko opracowania koncepcji sterowania, wyprowadzenia modeli obiektu, konsultowania rozwiązań i wyników prac, oraz udziału w testach laboratoryjnych.

Przedstawione prace dotyczące pracy autonomicznej prądnicy dwustronnie zasilanej przedstawiają oryginalne koncepcje i konkretne oryginalne rozwiązania. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że układy wyspowe mają duże węższe zastosowanie niż układy sieciowe, w pracach badawczych po obronie rozprawy doktorskiej zacząłem się również interesować szerszymi zagadnieniami pracy sieciowej. W szczególności w odniesieniu do prądnicy dwustronnie zasilanej najbardziej interesującym zagadnieniem jest praca z asymetrycznym napięciem sieci, ponieważ nawet niewielki udział składowej przeciwnej powoduje duże problemy oraz znaczące oscylacje momentu elektromagnetycznego maszyny. Badania przeprowadzone w związku z realizowanym Projektem NCN w którym byłem kierownikiem zostały opublikowane w kilku pracach, z czego za najważniejsze i takie, w których mój wkład był dominujący uznałem prace [4] i [5].

Wyniki z pracy [4] miałem przyjemność zaprezentować w ramach Plenary Lecture na Międzynarodowej Konferencji EVER'15. Publikacja dotyczyła pracy prądnicy dwustronnie zasilanej na sieć asymetryczną. W pracy w odniesieniu do przekształtnika wirnikowego przedstawiono nowe warianty sterowania bezpośredniego mocą (DPC), momentem (DTC) z regulatorami histerezowymi, oraz sterowania wektorowego z regulatorami prądu. Sterowania bezpośrednie w przypadku zapadów symetrycznych czy asymetrycznych sprawiają problemy z ograniczeniem prądowym, które trzeba intencjonalnie wprowadzać na poziomie wartości referencyjnych momentu i mocy, co jest jednakowoż znacznie bardziej obliczeniochłonne w przypadku pracy z siecią asymetryczną, gdyż do uzyskania zadanego celu sterowania należy wyznaczać poziom tętnień sygnałów zadawanych (mocy lub momentu w zależności od metody), które zależą od poziomu asymetrii napięcia, ale również od wartości średniej,

którą w przypadku konieczności uzyskania ograniczenia prądowego należy on-line modyfikować. W przypadku zadawania mocy znamionowej w stanach zapadów prądu zarówno stojana jak i wirnika przekraczają wartości znamionowe a brak regulatorów prądu uniemożliwia implementację ograniczeń wartości zadanej prądu bo takiego sygnału nie ma. Rozwiązanie ograniczenia prądowego w tej publikacji jest przedstawione teoretycznie dla sterowania bezpośredniego. W pracy tej [4] skupiono się na sterowaniu przekształtnikiem wirnikowym zapewniającym eliminację tętnień momentu elektromagnetycznego powodowanego przez występowanie składowej przeciwnej w napięciu stojana (a więc i w strumieniu) przy zapadzie asymetrycznym. Jest to jeden z możliwych celów sterowania, ale nie jedyny. Zaproponowano metodę sterowania wektorowego prądem wirnika bez dekompozycji składowych symetrycznych przy zadawanych zewnątrz momencie elektromagnetycznym i składowej q mocy chwilowej. Ponadto przedstawiono sterowanie prądem przekształtnika sieciowego eliminujące tętnienia składowej p mocy chwilowej całkowitej układu generacyjnego przy zachowaniu sinusoidalnego (aczkolwiek asymetrycznego) prądu całkowitego układu. Taki cel sterowania powoduje, że układ generacyjny zasila energią sieć w ten sposób, że w fazie o wyższym napięciu jest niższy prąd, a w fazie o niższym napięciu jest wyższy prąd (asymetria prądu odwrotna do asymetrii sieci). Przy takim celu sterowania wykorzystano nową zmienną będącą iloczynem skalarnym strumienia wirtualnego sieci oraz prądu całkowitego oddawanego przez cały układ wytwarzania energii. Przy założonym celu sterowania składowa ta jest stała w czasie i jest z dobrym przybliżeniem dla małych asymetrii równa średniej wartości składowej q mocy chwilowej skalowanej pulsacją napięcia sieci. Dzięki takiemu podejściu nie ma potrzeby wyliczania tętnień składowej q mocy chwilowej jeśli chcielibyśmy tę zmienną wykorzystać do sterowania, lub wyliczania wymaganych tętnień dla składowych dq wektora prądu, jeśli byśmy chcieli składowe wektora prądu wykorzystać jako zmienne zadawane.

Cele sterowania dla prądnicy dwustronnie zasilanej mogą być rozdzielnie inne. Zagadnienie sterowania przekształtnikiem wirnikowym prądnicy dwustronnie zasilanej zostało znacznie rozszerzone dla innych celów sterowania (symetryczny prąd stojana lub symetryczny sinusoidalny prąd wirnika) w publikacji [5]. Cele te osiągnięto również bez dekompozycji zmiennych sterowania na składowe symetryczne. W pracy poza trzema typowymi celami sterowania przedstawiono progresywne balansowanie prądów pozwalające na płynną zmianę celu sterowania w przypadku wystąpienia przekroczenia prądu znamionowego w przynajmniej jednej fazie stojana. Zaprezentowano dwie metody sterowania – regulacją prądu stojana oraz z regulacją prądu wirnika w układzie współrzędnych stacjonarnych. Sterowanie nie wymaga stosowania pętli synchronizacji fazowej, ponieważ zadawane arbitralnie zewnętrzne zmienne sterowania takie jak moment i składowa q mocy chwilowej są niezależne od układu współrzędnych. Zdecydowanie oryginalnym osiągnięciem jest opracowanie sterowania pozwalającego na płynną zmianę strategii, a więc i otrzymanie strategii pośrednich tj. osiągnięcie prądu stojana o wskaźniku asymetrii pomiędzy asymetrią napięcia stojana a pełną symetrią w stanie ustalonym. Na uwagę zasługuje fakt, że zagadnienie ograniczenia prądowego w układach przekształtnikowych sieciowych z występowaniem asymetrii zadawanego prądu jest dość rzadko poruszane w literaturze.

Biorąc pod uwagę, że w układach przekształcania energii struktura z prądnicą typu DFIG jest powoli wypierana przez topologie układów szeregowych podjąłem w ostatnim czasie również szersze badania nad trójfazowym przekształtnikiem sieciowym. Szczególną uwagę zwróciłem na zapewnienie wysokiej jakości prądu pobieranego/oddawanego do sieci w warunkach asymetrii napięć sieciowych. W pracy [6] rozważano sterowanie prostownika sieciowego, który w stanach niskich obciążeń pobiera prąd o asymetrii sieci co jest korzystne dla sieci. Z drugiej strony przy rosnącym obciążeniu należy zrezygnować ze strategii najbardziej korzystnej dla sieci aby dostarczyć odpowiednią ilość energii do obciążenia podłączonego do strony DC. Sterowanie wykorzystuje koncepcję sieci traktowanej jako maszyna elektryczna. Taka koncepcja jest znana z metody orientacji Virtual Flux Oriented Control, ale

wprowadzenie sterowania wirtualnym momentem nie było w literaturze rozpatrywane. Dla asymetrycznej sieci, a więc dla maszyny wirtualnej o asymetrycznym strumieniu założona strategia podstawowa dla prostownika (większy prąd pobierany z fazy o wyższym napięciu) daje stały wirtualny moment elektromagnetyczny. Takie podejście eliminuje konieczność dekompozycji składowych symetrycznych oraz konieczność stosowania pętli synchronizacji fazowej, gdyż moment elektromagnetyczny jest niezależny od układu współrzędnych. W pracy przedstawiono różne koncepcje klasycznych ograniczeń prądowych i wskazano na ich istotne wady w tym niezapewnianie sinusoidalnych prądów fazowych przy ograniczeniu chwilowej wartości długości wektora prądu, oraz przy ograniczeniu wartości chwilowych prądów fazowych. Zaproponowane ograniczenie prądowe zapewnia sinusoidalne prądy fazowe i zaczyna działać dopiero wtedy gdy przynajmniej jeden z prądów fazowych uzyskuje wartość skuteczną znamionową, a więc wtedy gdy hodograf eliptyczny asymetrycznego prądu opiera się o heksagon. W pracy przedstawiono dość znaczną ilość wyników eksperymentalnych i symulacyjnych. Praca ta przedstawia tylko analizę pracy prostownikowej.

Równolegle prowadziłem prace ujmujące kompleksowo zagadnienie współpracy przekształtnika trójfazowego z siecią, tj. zarówno dla pracy prostownikowej jak i falownikowej z uwzględnieniem mocy biernej indukcyjnej bądź pojemnościowej w stanach asymetrii. Praca [7] przedstawia sposób zarządzania składowymi zgodną i przeciwną i metodę sterowania realizującą ten sposób. Zadaniem przekształtnika jest dopasowanie się do asymetrii sieci w ten sposób, aby dla pracy prostownikowej największy prąd fazowy płynął w fazie o największym napięciu aż do osiągnięcia ograniczenia prądowego, a następnie w celu zwiększenia wartości mocy czynnej (średniej wartości składowej p mocy chwilowej według Akagi'ego) dostarczanej do odbiorników po stronie DC, następowała symetryzacja prądów. Dla pracy falownikowej, przy asymetrii napięcia sieci prąd oddawany do sieci przy niskich wartościach mocy ma asymetrię odwrotną do asymetrii napięcia sieci, tj. prąd jest największy w fazie o najniższym napięciu, a po osiągnięciu ograniczenia prądowego następuje symetryzacja prądów. W pracy wprowadzono priorytet dla składowej p mocy chwilowej przez zmniejszanie wartości składowej q mocy chwilowej po całkowitym wejściu układu w ograniczenie prądowe (we wszystkich fazach płynie prąd maksymalny). Jest to szczególnie istotne dla pracy prostownikowej, gdzie po wejściu w ograniczenie prądowe należy zmniejszać wartość mocy składowej q mocy chwilowej, aby móc zwiększyć wartość mocy czynnej (średnią wartość składowej p mocy chwilowej), a więc ilość energii dostarczanej do obciążeń po stronie DC. W przeciwnym przypadku może dojść do obniżania się napięcia DC, a w dalszej konsekwencji do konieczności wyłączenia przekształtnika. Należy jednak mieć na uwadze, że dla niektórych zastosowań przekształtników sieciowych taki priorytet może być założony na moc bierną. Przykładem może być interfejs integrujący baterijny magazyn energii z siecią. Wprowadzanie i zarządzanie składową q mocy chwilowej może mieć lepszy wpływ na odbudowę sieci (wszystko zależy od charakteru impedancji sieci) niż wprowadzanie mocy czynnej. W pracy uwzględniono również sytuację, w której wpływ składowej p mocy chwilowej na sieć jest kompensowany wpływem składowej q mocy chwilowej i w takiej sytuacji podawanie prądu asymetrycznego ma dokładnie taki sam efekt (rozpatrywany jako zmiana współczynnika asymetrii napięcia sieci pod wpływem płynącego prądu) jak podawanie prądu asymetrycznego. Stąd też wprowadzono funkcję (współczynnik wagowy dla składowej przeciwnej) zależną od kąta zadawanego wektora prądu odniesionego do wektora napięcia sieci.

Metoda sterowania zaprezentowana w [7] opiera się na wyznaczaniu składowych zgodnej i przeciwnej wektora napięcia i w oparciu o współczynnik asymetrii napięcia sieci zadawane są składowe wektora prądu w układzie stacjonarnym. Wymaga to sporej ilości obliczeń przy wyznaczaniu zmiennych oraz kilku transformacji nieliniowych (trygonometrycznych). Samo w sobie wykorzystanie tych transformacji jest znane i stosowane w większości metod sterowania wektorowego, stosowane jednak w większej ilości w układach cyfrowych stanowią spore wyzwanie dla mikroprocesora z punktu

widzenia potrzebnego na wykonanie obliczeń czasu. W przypadku zwiększania się częstotliwości łążeń przekształtników należy poszukiwać metod które są mniej obliczeniochłonne jeśli chcemy, aby częstotliwość próbkowania sygnałów i wykonywania obliczeń była nie niższa niż częstotliwość przełączeń łączników. Należy pamiętać o tym, że technologia przyrządów półprzewodnikowych się rozwija i dla przekształtników wyposażonych w filtry będą w przyszłości stosowane przyrządy typu SiC, czy GaN umożliwiające zredukowanie gabarytów i ciężaru elementów biernych. Ograniczenie prądowe realizowane w pracy [7], oparte jest o długość wektora prądu. Ograniczenie maksymalnej długości wektora prądu o hodografie eliptycznym nie jest tożsame (choć zbliżone) do ograniczenia wartości prądów fazowych. Tylko w przypadku pokrywania się osi długiej hodografu z jedną z osi fazowych mamy idealne ograniczenie prądu fazowego, ale nie we wszystkich typach asymetrii mamy do czynienia z taką sytuacją. Docelowo po pełnej symetryzacji i tak otrzymujemy maksymalną do uzyskania wartość prądu we wszystkich fazach, ale symetryzacja rozpoczyna się zbyt wcześnie (kiedy jeszcze żaden z prądów fazowych nie osiągnął maksimum), a mogłaby później.

Obydwa te zagadnienia (wykorzystanie dużej ilości transformacji nieliniowych, oraz niepełne ograniczenie prądowe w stanach asymetrii prądu) ukierunkowały moje badania na rozwinięcie metody przedstawionej dla prostownika w [6] w kierunku umożliwienia pełnego zakresu pracy przekształtnika sieciowego z jednoczesnym uzyskaniem prawdziwego ograniczenia prądu fazowego. Praca [8] przedstawia metodę sterowania przekształtnika sieciowego z wykorzystaniem zmiennych sterowania takich jak składowe p i q mocy chwilowej, wirtualny moment elektromagnetyczny T_v oraz zmienną x_v liczona jako iloczyn skalarny wirtualnego strumienia sieci oraz prądu przekształtnika. Dla prostownikowego celu sterowania (największy prąd w fazie o najwyższym napięciu) stałe są wirtualny moment oraz składowa q mocy chwilowej, natomiast dla falownikowego celu sterowania (największy prąd w fazie o najniższym napięciu) stałe są składowa p mocy chwilowej oraz zmienna x_v . Dla obydwu celów niezależnie wyznaczane są prądy asymetryczne, a następnie dla poszczególnych punktów pracy wyznaczana jest średnia ważona z tych prądów. Wagi dobierane są w zależności od osiągnięcia ograniczenia prądowego oraz od kąta zadanej mocy. Dzięki temu można uzyskać zwiększenie wartości mocy przez progresywne balansowanie prądów fazowych bez przekraczania maksymalnego prądu w żadnej fazie oraz symetryczny prąd poniżej wartości maksymalnych w sytuacji gdy z punktu widzenia sieci nie ma znaczenia czy prąd jest symetryczny czy asymetryczny (czyli gdy wpływ składowej p mocy chwilowej na symetryzację napięcia sieci jest kompensowany wpływem składowej q mocy chwilowej, a więc nieistotne jest jaki prąd będzie pobierany/podawany, natomiast podawanie symetrycznego prądu fazowego wywołuje nieco mniejsze straty na elementach czynnych i biernych przekształtnika). Zaproponowane ograniczenie prądowe jest znacznie prostsze niż w innych publikacjach. W szczególności do ograniczenia prądowego nie jest potrzebne wyliczanie kąta położenia osi długiej hodografu w oparciu o wyznaczone wartości i położenia wektorów reprezentujących składowe symetryczne.

Zagadnienie jakości energii jest rozpatrywane razem z zagadnieniem energooszczędności zarówno przy przetwarzaniu i konsumowaniu energii jak i przy wytwarzaniu. Układy wytwarzania energii coraz częściej wykorzystują zmienną prędkość generatora. W odniesieniu do turbin wiatrowych w chwili obecnej stało się to standardem. Znanie jest to również z układów elektrowni wodnych szczytowo-pompowych (choć tu oszczędność leży głównie po stronie pracy pompowej, gdzie przepływ, a więc i ilość gromadzonej w zbiorniku górnym energii potencjalnej jest regulowana przez zmianę prędkości pompoturbiny, a nie przez dławienie jak w klasycznych układach). Zmienna prędkość jest również wykorzystywana w niektórych rozwiązaniach układów wytwarzania z turbinami gazowymi i silnikami spalinowymi, natomiast dotychczas nie była rozpatrywana w kontekście turbin parowych, chociaż potencjalnie mogłoby to uprościć samą konstrukcję turbin i lepiej wykorzystać energię pierwotną. W odniesieniu do układów wytwarzania energii z silnikami spalinowymi w Zakładzie było

realizowanych wiele projektów zarówno naukowych jak i przemysłowych. Praca [9] dotycząca sterowania układem wytwarzania energii o regulowanej prędkości generatora z silnikiem spalinowym powiązana była z Projektem „Teoria układów wytwarzania energii elektrycznej z generatorami o regulowanej prędkości” kierowanym przez Prof. dr hab. inż. Włodzimierza Koczarę. W pracy tej przedstawiono model symulacyjny silnika z zaimplementowaną aproksymowaną członem piątego rzędu charakterystyką trójwymiarową jednostkowego zużycia paliwa zależną od momentu i prędkości, w oparciu o którą zrealizowano algorytm przyrostowy wyszukiwania minimum zużycia paliwa dla danej wartości obciążenia. Algorytm przyrostowy poszukiwania mocy maksymalnej znany jest z układów turbin wiatrowych lub układów fotowoltaicznych. W przedstawionej pracy algorytm został zmodyfikowany do poszukiwania prędkości dla której występuje minimum funkcji zużycia paliwa dla danej mocy obciążenia generatora, jako algorytm pomocniczy skojarzony ze zgrubnym wyznaczaniem pożądanej prędkości na podstawie mocy obciążenia. Algorytm został znacznie zmodyfikowany przez zadawanie w sposób odcinkowo liniowy a nie skokowy zmiany wartości zadanej prędkości silnika spalinowego w kolejnym cyklu. Eliminowane są przez to uderzenia momentu napędowego przy każdej zmianie prędkości zadanej. Zaproponowana modyfikacja mogłaby być również zastosowana w układach turbin wiatrowych w których algorytm MPPT zadaje prędkość obrotową dla regulatora prędkości i występuje podrzędny regulator prądu, lub w układach fotowoltaicznych, w których algorytm MPPT zadaje napięcie dla regulatora napięcia sekcji modułów PV i występuje podrzędny regulator prądu. W przedstawionej pracy [9] zmodyfikowano również pętlę regulacji prędkości silnika spalinowego przez wprowadzenie kompensacji zakłócenia, tj. przez uwzględnienie zmian momentu obciążenia w sygnale zadanym kąta otwarcia przepustnicy (w układach o wtrysku pośrednim) lub zadanej ilości paliwa (w układach o wtrysku bezpośrednim). Silnik spalinowy osiąga prędkość docelową szybciej. Takie podejście zwiększa odporność układu na skokowe zmiany momentu obciążenia, wywołane skokowymi zmianami mocy odbiorników zasilanych przez układ przekształtnikowy, a w związku z tym zmniejsza się czas i zakres niedoboru energii w obwodzie DC wywołany zbyt niską prędkością silnika spalinowego, co będzie mieć wpływ na zmniejszenie zapadów napięcia AC wytwarzanego przez falownik do zasilania obciążeń a więc na jakość napięcia wytwarzanego przez przekształtnik DC/AC.

Niezależnie od topologii układu generacyjnego, w układach elektromechanicznych o zmiennej/regulowanej prędkości generatora możliwe jest wystąpienie stanów, w których następuje niedobór energii pierwotnej i pożądane jest wspomaganie układu zasobnikiem energii (albo w trybie długoterminowym – źródła odnawialne, albo w trybie krótkoterminowym – źródła sterowane jak np. silnik spalinowy). W przypadku zasobnika elektrochemicznego bądź superkondensatorowego najłatwiej jest sprzęgnąć magazyn z układem generacyjnym po stronie obwodu DC przekształtnika głównego. W przypadku topologii szeregowej zadanie jest dość trywialne z punktu widzenia podstawowego sterowania, ponieważ wskaźnikiem niedoboru energii jest opadające napięcie DC. W przypadku autonomicznej prądnicy typu DFIG niedobór energii może skutkować zarówno obniżaniem się napięcia DC jak i napięcia na zaciskach AC stojana prądnicy (albo obydwu jednocześnie). Pełną analizę możliwych skutków niedoboru energii w układzie prądnicy dwustronnie zasilanej pracującej wyspowo przedstawiono w [10]. Na bazie możliwych wariantów zaproponowano metodę zarządzania rozpięciem energii pozwalającą na wspomaganie magazynem układu przy niedoborach oraz ładowanie magazynu przy nadwyżkach oraz zweryfikowano metodę w warunkach laboratoryjnych. Przedstawiono wszystkie możliwe warianty pracy w stanach niedoboru i nadwyżki energii oraz przedstawiono możliwą stabilną oraz niestabilną (black-out) pracę układu przy całkowitym rozładowaniu magazynu energii. Uwzględniono również zabezpieczenia przed głębokim rozładowaniem oraz przeładowaniem superkondensatorowego magazynu energii. Mój wkład w powstanie tej pracy był dominujący. Przedstawione rozwiązanie wykorzystuje regulatory PI napięcia DC i amplitudy napięcia AC pracujące

głównie w górnym lub dolnym nasyceniu a w wybranej sytuacji w liniowej części charakterystyki bloków nasycenia. Wypracowane zasady zarządzania rozplywem energii w łatwy sposób mogą być zaadoptowane do stworzenia regulacji opartej o struktury logiki rozmytej.

Podsumowanie

Zbiór 10 publikacji przedstawiony jako osiągnięcie naukowe przedstawia zagadnienia sterowania prądnicą autonomiczną dwustronnie zasilaną, pracę prądnicy dwustronnie zasilanej pracującej na sieć asymetryczną, pracę przekształtnika sieciowego w trybie prostownika i/lub falownika na sieć asymetryczną, oraz sterowanie źródłem energii w postaci silnika spalinowego i wspomaganie układu generacyjnego magazynem energii w celu poprawy stanów przejściowych wywołanych zmianą obciążenia oraz efektywnego zużycia energii pierwotnej. Wspólnym pierwiastkiem tych publikacji jest otrzymanie wysokiej jakości wytwarzanej/przekształcanej energii elektrycznej.

W środowisku krajowym zagadnienia pracy prądnicy dwustronnie zasilanej w warunkach pracy wyspowej bądź w warunkach pracy na sieć asymetryczną nie były analizowane, mimo, że w literaturze światowej jest to tematyka mocno eksploatowana.

Zagadnieniem pracy przekształtnika sieciowego w warunkach asymetrii zajmuje się w kraju również niewiele osób, natomiast nie są mi znane analizy i publikacje zespołów krajowych dotyczące innego celu sterowania niż sinusoidalny i symetryczny prąd przekształtnika, mimo, że w literaturze światowej inne cele sterowania są szeroko opisywane. Również w tym przypadku zaproponowałem kilka oryginalnych rozwiązań podchodząc do zagadnienia od nowa, a nie rozwijając czyjeś pomysły. To oczywiście nie świadczy o tym, że zaproponowane metody sterowania są w jakiś sposób lepsze, bo takich głębszych analiz nie prowadziłem (to przede wszystkim nie jest trywialne zadanie, bo implementacja cudzych metod bez znajomości np. parametrów strojenia niczego nie wniesie w analizie porównawczej). W publikacjach wskazywałem jednak na pewne ograniczenia metod znanych z innych publikacji a nawet na poważne błędy wynikające z nieprawidłowych założeń słusznych dla sieci symetrycznej, ale nieprawdziwych dla sieci asymetrycznej.

Zagadnienie regulacji prędkości silnika spalinowego pracującego w układzie o regulowanej prędkości w oparciu o wspomaganie jakimkolwiek algorytmem pozwalających na precyzyjne wyszukiwanie optymalnego punktu pracy (minimum zużycia paliwa) nie jest znane w literaturze.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych wnioskodawcy, świadczących o istotnej aktywności naukowej habilitanta

Działalność naukowa realizowana po doktoracie w pierwszej fazie skupiała się na publikowaniu wyników badań związanych z rozprawą doktorską. Wspólnie z promotorem pracy doszliśmy do wniosku, że przedstawione w rozprawie rozwiązania są na tyle oryginalne, że warto przedstawić je szerzej. Stąd trzy publikacje w czasopismach z listy JCR

G. Iwanski, W. Koczara, „Sensorless direct voltage control of the stand-alone slip-ring induction generator”, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 54, no. 2, pp. 1234-1236, Apr. 2007

G. Iwanski, W. Koczara, „DFIG based Power Generation System with UPS Function for Variable Speed Applications” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 8, pp. 3047 – 3054, Aug. 2008

G. Iwanski, W. Koczara: „Autonomous Power System for Island or Grid Connected Wind Turbines in Distributed Generation”, *European Trans. on Electrical Power – ETEP*, vol. 18, no. 7, pp. 658-673, Oct. 2008

rozdział w monografii (CRC Press) i artykuł w czasopiśmie spoza listy JCR

J.D. Irwin, B.M. Wilamowski (red.) *The Industrial Electronics Handbook, Vol.4. „Power Electronics and Motor Drives”*, Chapter 23 – G. Iwanski, W. Koczara, *Standalone Double Fed Induction Generator*, 14pp., CRC Press, Boca Raton, USA, 04 March 2011, pp. 15.

G. Iwanski, W. Koczara: „Metoda synchronizowanego dołączenia i kontrolowanego odłączenia od sieci prądnicy indukcyjnej pierścieniowej” *Przegląd Elektrotechniczny*, 9/2008, p. 125-130.

i publikacje kilku konferencji międzynarodowych.

G. Iwanski, W. Koczara, „Extended Direct Voltage Control of the Stand-Alone Double Fed Induction Generator”, *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives - POWERENG'07*, 12-14 April, 2007, pp 754-759, Setubal, Portugal.

G. Iwanski, W. Koczara, „PLL Grid Synchronization of Standalone DFIG based Wind Turbine or Rotary UPS” *The IEEE International Conference on Computer as a Tool – EUROCON'07*, 9-12 Sept. 2007, pp. 2550 – 2555, Warszawa.

G. Iwanski, W. Koczara, „Synchronization and Mains Outage Detection for Controlled Grid Connection Processes of the Wind Driven Variable Speed Power Generation System”, *International Conference on Clean Electrical Power - ICCEP'07*, 21-23 May, 2007, pp. 585 – 590, Capri, Italy.

G. Iwanski, W. Koczara: “Standalone DFIG based Energy Conversion System under Grid Permanent Fault Conditions”, *2nd EPE Wind Energy Chapter Seminar*, 10-11 March 2009, Stockholm, Sweden.

Jednocześnie biorąc udział w dwóch międzynarodowych projektach (6PR UE) (łącznie w latach 2006-2009) byłem zbyt mocno zaangażowany w sprawy organizacyjne i realizację zadań Projektu aby zając się nową tematyką badań, a realizowane projekty były bardziej ukierunkowane na badania rozwojowe i koordynację badań, a nie badania poznawcze, stąd w wyniku realizacji projektów międzynarodowych nie pojawiły się znaczące publikacje. Zadanie związane z realizacją Projektu o akronimie HOPE związane było z zaprojektowaniem czujnika prądu o zmniejszonych stratach własnych dla energoelektroniki o podwyższonej temperaturze pracy. Pomysły na modyfikację rdzenia do kompensacji przepływu magnetycznego w układzie pomiaru prądu typu „closed loop” opatentowano w Urzędzie Patentowym RP.

J. Łastowiecki, G. Iwański, F. Grecki, W. Koczara, 13.09.2011, „Obwód magnetyczny do kompensacji przepływu magnetycznego wytworzonego przez prąd mierzony”, Polska, UPRP, 210781
J. Łastowiecki, G. Iwański, F. Grecki, W. Koczara, 18.12.2012, „Obwód magnetyczny do kompensacji przepływu magnetycznego wytworzonego przez prąd mierzony”, Polska, UPRP, 214343

Wybrane wyniki realizacji projektu zostały przedstawione w kilku publikacjach

F. Grecki, G. Iwanski, W. Koczara, J. Łastowiecki, „Technologies of current sensors suitable for hot high density power electronics”, 13th Power Electronics and Motion Control Conference – EPE-PEMC'08. 1-3 Sept. 2008 pp. 1440 – 1445, Poznań.

G. Iwanski, F. Grecki, W. Koczara, J. Łastowiecki, „Current Sensor Dedicated for High Temperature Automotive Power Electronics”, International Conference on Automotive Power Electronics – APE'07, 26-27 Sept. 2007, Paris, France.

F. Grecki, G. Iwanski, W. Koczara, J. Łastowiecki, „Current Sensor Dedicated for High Temperature Integrated Power Electronics”, Conference on Integrated Power Electronics Systems– CIPS'08, 11-13 March, 2008, Nuremberg, Germany.

W prowadzonym na zakładkę w latach 2008-2009 projekcie europejskim CRISTAL typu Coordination Action, który nie był typowym Projektem badawczym, a raczej działaniem ukierunkowanym na wymianę wiedzy, dotyczącej modelowania i sterowania układów wytwarzania energii, analizowano koncepcyjnie struktury hybrydowych układów wytwarzania energii i mikrosieci. W ramach realizacji Projektu zaproponowano kilka rozwiązań dotyczących układów hybrydowych typu wind-diesel.

G. Iwański, „Adjustable speed hybrid wind-diesel generation system”, *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering - Compel*, Vol. 30, No.1, Jan. 2011, p.186-200.

G. Iwanski, W. Koczara, B. Kaminski, M. Cirstea, N. Brown, „Power Distribution in RES-Diesel Autonomous Power System with Doubly Fed Induction Generator for Reduction of Fuel Consumption”, 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment - OPTIM'08, 22-24 May, 2008, pp. 339 – 344, Brasov, Romania

W. Koczara, G. Iwanski, Z. Chłodnicki: „Performances of the adjustable speed decoupled generation systems” International Conference on Compatibility in Power Electronics- CPE'09, 20-22 May 2009, pp. 174-179, Badajoz, Spain.

W. Koczara, G. Iwanski, Z. Chłodnicki: „Adjustable Speed Generation System for Wind Turbine Power Quality Improvement”, IEEE Industrial Electronics Conference – IECON'09, 3-5 Nov. 2009, pp. 4318-4322, Porto, Portugal.

Podczas dwumiesięcznego wyjazdu zagranicznego w 2009 roku do Mondragon University (Hiszpania) w ramach stypendium z Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej realizowałem prace badawcze w zakresie modelowania bezszczotkowej prądnicy indukcyjnej dwustronnie zasilanej oraz implementacji sterowania w modelu symulacyjnym oraz na stanowisku laboratoryjnym w 2009 roku. W publikacji:

G. Iwański, G. Abad, “Modeling and Laboratory Research of Brushless DFIG”, *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering – Compel*, vol.31, No.1. 2012, pp. 248-260 (IF2012:0.281)

przedstawiono model w postaci równań stanu bezszczotkowej prądnicy indukcyjnej dwustronnie zasilanej wyposażonej w kondensatory filtrujące po stronie stojana mocy. Dzięki tym równaniom po

zaimplementowaniu w języku C możliwe było stworzenie modelu symulacyjnego obiektu oraz sprawdzenie opracowanego sterowania w modelu komputerowym. Badania eksperymentalne zrealizowano z wykorzystaniem modelu prototypowego. Przedstawiony artykuł przedstawia pierwsze na świecie próby sterowania tego typu prądnicy w warunkach pracy wyspowej. Podstawowe sterowanie opracowane w ramach rozprawy doktorskiej zostało rozwinięte przez zastosowanie regulacji składowymi wektora prądu stojana sterującego we współrzędnych związanych z tym prądem za pomocą regulatorów PI zamiast regulacji skalarnej we współrzędnych trójfazowych za pomocą regulatorów proporcjonalnych. Taki zabieg umożliwił skuteczniejsze ograniczenie prądowe. Wyniki laboratoryjne wskazują możliwość stabilizacji amplitudy i częstotliwości napięcia generowanego na głównym stojanie (power stator) bez użycia pomiaru kąta położenia wirnika maszyny. Niewątpliwie sterowanie tego typu prądnicą może być w dalszej części rozwinięte i te próby są podejmowane w laboratorium Politechniki Warszawskiej, ale jest to przedmiotem przyszłej rozprawy doktorskiej innej osoby. Niemniej jednak uważam, że zapoczątkowane przeze mnie prace w tym kierunku stanowią istotny wkład w badania bezszczotkowej prądnicy dwustronnie zasilanej w warunkach pracy wyspowej.

W związku ze współpracą z zespołem z Mondragon University powstała monografia opublikowana w wydawnictwie Wiley oraz China Machine Press (reprint w jęz. chińskim) dotycząca modelowania i sterowania prądnicy dwustronnie zasilanej pracującej w turbinie wiatrowej. Przedstawiono modele statyczne i dynamiczne maszyny, sterowania bezpośrednie mocą i momentem z uwzględnieniem zapadów napięcia sieci, sterowanie wektorowe, pracę autonomiczną oraz rozwiązania zabezpieczeń strony wirnika wymaganych przy głębokich symetrycznych i asymetrycznych zapadach napięcia sieci.

G. Abad, J. Lopez, M.A. Rodriguez, L. Marroyo, G. Iwanski, „Doubly Fed Induction Machine: Modeling and Control for Wind Energy Generation”, IEEE Press Series on Power Engineering, Wiley – IEEE Press, Hoboken, NJ, USA, December 2011, pp. 640, China Machine Press, 2015.

Powstała również publikacja nt. sterowania bezpośredniego DPC prądnicy dwustronnie zasilanej na sieć asymetryczną opublikowana w czasopiśmie z listy JCR.

G. Abad, M.A. Rodriguez, G. Iwanski, J. Poza „Direct Power Control of Doubly Fed Induction Generator based Wind Turbines under Unbalanced Grid Voltage,” IEEE Trans. Pow. Electron., vol 25, no. 2, pp. 442-452, Feb. 2010.

Analizy przeprowadzane były podczas pobytu głównego autora na Politechnice Warszawskiej (dr Gonzalo Abad) w 2009 roku. W wyniku dyskusji i konsultacji powstało sterowanie pozwalające na eliminację tętnień momentu elektromagnetycznego z wykorzystaniem algorytmu DPC z regulatorami histerezowymi. Prace prowadzone wspólnie z dr Gonzalo Abad były powiązane z kontynuacją jego doktoratu, natomiast mnie również zainspirowały do tego, aby przestudiować literaturę i w późniejszym czasie złożyć wniosek do Narodowego Centrum Nauki o Projekt dotyczący pracy prądnicy typu DFIG na sieć asymetryczną, gdyż po przestudiowaniu literatury uważałem, że szereg prac poświęconych tej tematyce zawiera istotne niedociągnięcia. We współpracy z dr Gonzalo Abad opublikowano również w późniejszym czasie rozdział w monografii poświęcony prądnicy DFIG pracującej w turbinie wiatrowej w szerszej monografii poświęconej układom energoelektronicznym w zastosowaniach przemysłowych.

K. Al-Hadad, H. Abu-Rub, M. Malinowski (red), Power Electronics for Renewable Energy Systems, Transportation and Industrial Applications, Chapter 10 – G. Abad, G. Iwanski, “Properties and Control of a Doubly Fed Induction Machine”, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK

Po powrocie z pobytu w Uniwersytecie Mondragon realizowałem grant badawczy własny MNiSW, w którym poza mną wzięło udział trzech doktorantów. Projekt dotyczył pracy autonomicznej prądnicy dwustronnie zasilanej zasilającej obciążenia asymetryczne i nieliniowe wspomaganą magazynem energii integrowanym po stronie DC. Realizacja Projektu stanowiła bezpośrednią kontynuację badań z mojego doktoratu. Poza wskazanymi celami porównano również układ autonomiczny wyposażony w kondensatory filtrujące z układem bez kondensatorów zwracając uwagę na niską jakość napięcia generowanego w układzie bez kondensatorów.

G. Iwański „Poprawa jakości napięcia autonomicznej prądnicy indukcyjnej dwustronnie zasilanej przy pracy z niewielkim obciążeniem”, *Przegląd Elektrotechniczny*, (86) 2/2010, p. 190-195

G. Iwanski „DFIG based standalone power system operating at low load conditions”, *Proc. of European Conference on Power Electronics and Applications – EPE'09*, 8-10. Sept. 2009, pp. 1607-1613, Barcelona, Spain.

G. Iwanski „DFIG based Power System Supplying Nonlinear Load”, *20th IEEE International Symposium on Industrial Electronics – ISIE'11*, 27-30 June 2011, pp. 1447-1452, Gdańsk.

W ramach projektu realizowano również metody estymacji prędkości i położenia wirnika typu MRAS. Jednakowoż w pracy autonomicznej wykorzystano ostatecznie metodę z pętlą synchronizacji fazowej ze względu na pewne ograniczenia metody typu MRAS w warunkach silnego skompensowania mocy biernej przez kondensatory filtrujące na stojanie (przy braku obciążenia prąd wirnika może być znikomy i może być trudno wykorzystać ten sygnał jako sygnał modelu odniesienia).

G. Iwanski, M. Szypulski, T. Luszczek, P. Pura, “Cross and Dot Product Based MRAS Observer of the Rotor Position of Doubly Fed Induction Machine”, *9th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies – EVER'14*, Monte Carlo, Monaco, 25-27.03.2014

Część osiągnięć realizowanego projektu opublikowano w rozdziale książkowym poświęconym układom wytwarzania energii o regulowanej prędkości generatora. Przedstawiono topologie struktur szeregowych z maszyną z magnesami trwałymi i metody sterowania przekształtników, oraz metody sterowania prądnicy dwustronnie zasilanej pracującej na sieć i autonomicznie.

S. Chakraborty, M.G. Simoes, W.E. Kramer (red), “Power Electronics for Renewable and Distributed Energy Systems: A Sourcebook of Topologies, Control and Integration, Chapter 7 – W. Koczara, G. Iwanski, “Variable Speed Power Generation”, pp.59, Springer, 2013

Od 2009 roku byłem częściowo zaangażowany w Projekcie hybrydowego – przekształtnikowo-kondensatorowego) kompensatora mocy biernej dla maszyn indukcyjnych. Byłem odpowiedzialny za projekt stanowiska zespołu prądotwórczego 55kW, organizację i przygotowanie badań laboratoryjnych w laboratorium przemysłowym. Byłem też współautorem niektórych metod sterowania przekształtnika sieciowego (kompensatora aktywnego).

W. Koczara, D. Górski, G. Iwański, J. Tępiński, J. Wiśniewski „Kompensacja mocy biernej generatorów indukcyjnych w małych elektrowniach wodnych”, *Napędy i Sterowanie*, Nr 9, str. 144 - 149, Sept. 2011

Udział w Projekcie został przerwany wyjazdem do Barcelona Tech (Barcelona, Terrassa, Hiszpania) w ramach uzyskanego stypendium wyjazdowego w Programie MNiSW „Mobilność Plus”. W czasie pobytu w Barcelona Tech. zajmowałem się integracją magazynu energii z systemem fotowoltaicznym obsługiwany przez strukturę przekształtnika znaną z literatury pod nazwą FB10, lub

DCM-232, charakteryzującym się znikomą generacją zakłóceń składowej wspólnej. Założone badania zostały zrealizowane, jednakże nie zostały opublikowane. Dużo czasu poświęciłem na analizę układu DC-232 i wykazałem fundamentalny błąd tej struktury polegający na tym, że układ musi ulec uszkodzeniu przy przesunięciu wektora prądu przekształtnika większym niż ± 30 stopni. Przed przyjazdem badania były prowadzone w warunkach pracy wyspowej przy prawie jednostkowym współczynniku mocy obciążenia RL i dlatego nie zauważono tej poważnej wady układu. Zaproponowałem modyfikację struktury, jak również sposób integracji magazynów energii w nowym układzie, ze sterowaniem mocą czynną i bierną. Niestety prace laboratoryjne zostały wykonane częściowo ze względu na ograniczony czas wyjazdu i czas spędzony na integrację magazynu w błędnej strukturze przekształtnika oraz na znalezieniu błędów. Zespół zobowiązał się do wykonania pozostałych testów laboratoryjnych po moim wyjeździe do czego jednak nie doszło.

Po powrocie z Barcelona Tech wziąłem udział w końcowej fazie Projektu Rozwojowego NCBiR realizowanego w Instytucie Transportu Samochodowego w Warszawie. Jednym z zadań projektu było wykonanie demonstratora (w skali) systemu ładowania elektrochemicznych baterii trakcyjnych dla pojazdów elektrycznych, zasilanego z sieci wspomaganego modułami fotowoltaicznymi. Integracja źródeł typu PV i wind oraz baterii elektrochemicznych na wspólnej szynie DC była przedmiotem analiz. W ramach projektu zrealizowano m.in. układ wykorzystujący strukturę kaskadowego przekształtnika DC/DC do obsługi paneli fotowoltaicznych, który wyraźnie wskazywał na zalety tego rozwiązania, a który był w literaturze słabo opisany i rzadko proponowany, co trochę dziwi, bo na temat kaskadowej struktury DC/AC napisano wiele artykułów. Wyniki analizy opublikowano w krajowym czasopiśmie spoza listy JCR i artykule konferencji krajowej.

P. Staniak, G. Iwański, W. Moćko: "Koncepcja modułowego elektronicznego systemu przekształcania energii paneli fotowoltaicznych dla stacji wymiany akumulatorów trakcyjnych", Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 7/2012, pp. 99-101

P. Staniak, G. Iwański, J. Wiśniewski, W. Moćko, M. Ornowski, "Zarządzanie rozpiętością energii w systemie przekształtnikowym stacji ładowania baterii elektrochemicznych współpracującej ze źródłami fotowoltaicznymi", Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 8/2014, pp. 47-50

P. Staniak, G. Iwański, W. Moćko, M. Ornowski, "Porównanie i analiza możliwości wykorzystania algorytmów MPPT dla paneli fotowoltaicznych z wykorzystaniem różnych profili nasłonecznienia", Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania, 9/2014, pp. 142-146

Opracowany układ demonstratora posiadał następujące funkcje: przyrostowe algorytmy poszukiwania mocy maksymalnej dla sekcji paneli PV dla każdej sekcji przekształtnika kaskadowego DC/DC, ładowanie baterii elektrochemicznych z trybem priorytetu dla baterii o najwyższym stopniu naładowania (chodziło o to, żeby w systemie znajdowała się jak największa liczba baterii gotowych do wymiany, tj. w pełni naładowanych), sterowanie przekształtnika sieciowego z jednostkowym współczynnikiem mocy, układ zdalnego sterowania nadrzędnego i monitorowania stanu systemu oparty o sterownik PLC z komunikacją LAN.

W latach 2012-2014 byłem kierownikiem Projektu badawczego OPUS-NCN, w ramach którego analizowany był układ prądnicy dwustronnie zasilanej pracującej na sieć asymetryczną. W ramach pracy poza sterowaniem wektorowym (z regulatorami prądu stojana bądź wirnika) opracowanym przeze mnie i przedstawionym w publikacjach przedstawionych w osiągnięciu naukowym, realizowane były prace dotyczące sterowania bezpośredniego mocą (DPC) lub momentem (DTC). Metody sterowania z regulatorami histerezowymi opublikowano w czasopiśmie krajowym i materiałach konferencji międzynarodowej i krajowej.

Pura, G. Iwanski „Direct Power Control of DFIG Connected to Unbalanced Power Grid”, 8th International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies, 27-30 March 2013, Monte Carlo, Monaco.

Piotr Pura, Grzegorz Iwanski, „Direct Power Control with Referenced Torque and Reactive Power of Doubly Fed Induction Machine Connected to Unbalanced Grid”, 9th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies – EVER'14, Monte Carlo, Monaco, 25-27.03.2014

P. Pura, G. Iwański, "Direct Power Control of a Doubly Fed Induction Generator Connected to the Unbalanced Grid with Stator Power and Current Limitations", *Przegląd Elektrotechniczny*, 06/2014, pp. 121-126

P. Pura, G. Iwanski: Direct Power Control based Torque Oscillations Cancellation in Doubly Fed Induction Generator Operating with Unbalanced Grid, 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, 29 June-1 July 2016, Bydgoszcz, Poland, pp.1-6

P. Pura, G. Iwański, "Direct Torque Control of a Doubly-Fed Induction Generator Connected to Unbalanced Grid", *Przegląd Elektrotechniczny*, 05/2016, pp. 40-44

W ramach Projektu rozważano również sterowanie ze sprzężeniem od wektora stanu dla prądnicy pracującej w warunkach asymetrycznych, co było przedmiotem analiz dr inż. Mateusza Szypulskiego w rozprawie doktorskiej realizowanej pod moją opieką jako promotora pomocniczego, oraz sterowanie w układzie współrzędnych wirujących.

M. Szypulski, G. Iwanski, "Linear-quadratic regulator of torque and reactive power of a doubly fed induction generator operating in an unbalanced grid," 2015 Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 31.03 -02.04.2015, Monte Carlo, Monaco

Kolejna praca z wynikami eksperymentalnymi układu sterowania bezpośredniego momentem z regulatorami liniowymi jest w trakcie drugiej recenzji w czasopiśmie JCR.

W międzyczasie realizowane były inne prace badawcze powiązane z pracami statutowymi Zakładu Napędu Elektrycznego. Jednym z tematów była analiza układu przekształtnika sieciowego pracującego w warunkach sieci asymetrycznej. Praca dotycząca tej tematyki była pracą wstępną, jednakże wyniki tej pracy (a konkretnie możliwość wyliczenia i zadawania pożądanych prądów bez konieczności dekompozycji składowych symetrycznych) popchnęły mnie w późniejszym czasie w kierunku rozważań nt. sterowania przekształtników pracujących z asymetrią napięcia sieci.

L. Drązikowski, G. Iwański: "Control of VSC Connected to Unbalanced Grid" - *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering – Compel*, vol.31, No.1. 2012, pp. 313-323, (IF2012:0.281)

Innym tematem była integracja magazynów energii w mikrosieci DC oraz metoda sterowania rozpięciem energii w stanach niedoboru u nadwyżki z uwzględnieniem zabezpieczenia magazynu przed przeładowaniem i głębokim rozładowaniem opublikowana na konferencji międzynarodowej. Zaproponowane sterowanie było wykorzystane w innej publikacji autorów z mojego Instytutu z zupełnie inną topologią przekształtnika i zostało pozytywnie zweryfikowane.

G. Iwanski, P. Staniak, W. Koczara „Power Management in a DC Microgrid Supported by Energy Storage”, 20th IEEE International Symposium on Industrial Electronics – ISIE'11, 27-30 June 2011, pp. 347-352, Gdańsk.

Kolejnym tematem analizowanym w ramach prac statutowych jest koncepcja rozwiązania układowego oraz sterowanie prądnicą dwustronnie zasilaną pracującą jako generator napięcia prądu stałego. Układ składa się z prądnicy dwustronnie zasilanej, do której zacisków stojana dołączony jest prostownik diodowy, a w pełni sterowany przekształtnik wirnikowy jest zasilany ze wspólnego z prostownikiem diodowym obwodu napięcia stałego. Koncepcja ta pojawiła się w literaturze dość niedawno, natomiast analiza literaturowa wskazuje, że niewiele osób analizujących tę strukturę zajmuje się zagadnieniem redukcji tętnień momentu elektromagnetycznego powodowanych przez prostownik diodowy, a także zagadnieniem stabilnej pracy przy niskim lub też przy braku obciążenia. Prace badawcze są związane z pracą doktorską doktoranta 5 roku, którego jestem promotorem pomocniczym. W ramach prac powstały nowe metody sterowania bezpośredniego momentem elektromagnetycznym, w tym metody niewykorzystujące czujników wielkości mechanicznych.

P. Maciejewski, G. Iwanski, "Modeling of six-phase Double Fed Induction Machine for autonomous DC voltage generation," 2015 Tenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 31.03 -02.04.2015, Monte Carlo, Monaco

P. Maciejewski, G. Iwański, "Direct Torque Control for Autonomous Doubly Fed Induction Machine based DC Generator", Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER'17), Monte Carlo, Monaco, 11-13 Apr 2017, pp. 1-6

Redukcję tętnień momentu można uzyskać przez zastosowanie sześciofazowego stojana przy pozostawieniu trójfazowego wirnika ze względu na minimalizację ilości pierścieni ślizgowych. Koncepcję maszyny o wielofazowym stojanie oraz trójfazowym wirniku oraz układów wykorzystujących te maszyny zostały opatentowane.

P. Maciejewski, G. Iwański, 30.06.2017, „Wielofazowa prądnica indukcyjna, z trójfazowymi sekcjami uzwojeń stojana, z dostępnymi zaciskami wirnika”, Polska, UPRP, 225985

P. Maciejewski, G. Iwański, 31.10.2017, „Układ przekształtnikowo-elektromaszynowy do wytwarzania energii, Polska, UPRP, 227123

P. Maciejewski, G. Iwański, 01.01.2018, „Układ przekształtnikowo-elektromaszynowy do wytwarzania energii, Polska, UPRP, 228467

W chwili obecnej jestem kierownikiem zespołu w Projekcie NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych. Tematem Projektu jest napęd hybrydowy lekkiego statku powietrznego zasilany z ogniw paliwowych i baterii elektrochemicznych. Projekt nie jest nastawiony na publikacje chociaż zapewne po zakończeniu Projektu takie się pojawiają, ale głównie na opracowanie konstrukcji przekształtników energoelektronicznych chłodzonych powietrzem do maszyny napędowej i ogniwa paliwowego. Falownik trójfazowy o strukturze dwupoziomowej oparty na tranzystorach IGBT o prądzie szczytowym 400A i napięciu DC 350V został pozytywnie zweryfikowany w warunkach stacjonarnych. W chwili obecnej trwają prace projektowe nad przekształtnikiem DC/DC typu interleaved dla ogniwa. Przekształtnik będzie budowany w oparciu o przyrządy wykonane z węgla krzemu. Całość wymaga integracji nie tylko mechanicznej, która jest po stronie projektantów platformy latającej, ale również komunikacji i monitoringu. Planowany oblot platformy latającej to drugi kwartał 2019 roku.

Projektem nastawionym na badania podstawowe i publikacje naukowe jest kolejny Projekt OPUS NCN w trakcie realizacji, którym kieruję. Projekt dotyczy wykorzystania niekartezjańskich układów współrzędnych do sterowania przekształtnikiem sieciowym. Wstępne badania wskazują na to, że niezależnie od celu sterowania prądem (czyli niezależnie od założonej intencjonalnie asymetrii prądu) można wybrać taki układ współrzędnych, aby zmienne sterowania były stałe w czasie. To powoduje, że zamiast stosować człony oscylacyjne w układzie współrzędnych stacjonarnych lub w

układzie współrzędnych wirujących synchronicznie można w znalezionym układzie współrzędnych zastosować regulatory proporcjonalno-całkujące, dla których problem ograniczenia wyjścia regulatora jest znacznie prostszy do rozwiązania niż dla członu oscylacyjnego. Projekt jest obecnie w początkowej fazie realizacji.

W ramach działalności naukowej wygłosiłem kilka referatów na w zagranicznych jednostkach naukowych oraz współautorski 8-godzinny Tutorial na konferencji EPE'09 w Barcelonie. Ponadto wygłosiłem kilka referatów konferencyjnych na konferencjach przemysłowych bez publikacji. Jestem członkiem komitetu Programowego Konferencji EVER (od 2010 roku). Brałem udział w organizacji konferencji międzynarodowych (ISIE'11, EPE,17) oraz w organizacji sesji specjalnej na konferencji EVER'10. Przewodniczyłem sesjom konferencyjnym na konferencjach międzynarodowych. Jako Guest Editor brałem udział w organizacji *Special Section* w czasopiśmie *IEEE Transactions on Energy Conversion*. Otrzymałem dwie nagrody *Best Paper Award*, cztery nagrody zespołowe i jedną indywidualną JM Rektora Politechniki Warszawskiej za działalność naukową, oraz Stypendium Konferencyjne FNP na udział w konferencji EPE'09 w Barcelonie.

Byłem również zaproszony do wygłoszenia referatów plenarnych na konferencjach międzynarodowych:

X Międzynarodowej Konferencji Ecologic Vehicles and Renewable Energies – EVER'15 w Monako.

XVI Międzynarodowej Konferencji Optimization of Electrical and Electronic Equipment – OPTIM-ACEMP'17, Moeciu, Brasov, Romania

Byłem recenzentem rozprawy doktorskiej na Universitat Politecnica de Catalunya (Barcelona Tech.), recenzentem propozycji podręcznika, oraz monografii dla wydawnictwa Wiley, recenzentem kilkudziesięciu publikacji naukowych w czasopismach (w zdecydowanej większości z listy JCR), recenzentem kilkudziesięciu publikacji konferencji naukowych, w tym konferencji indeksowanych w bazie WoS, oraz konferencji krajowych, redaktorem bądź redaktorem pomocniczym wielu wniosków o projekty badawcze i rozwojowe, w tym projekty którym przyznano finansowanie i były realizowane w Jednostce bez mojego udziału ze względu na inne obowiązki.

Byłem promotorem pomocniczym dwóch rozpraw obronionych w 2017 roku, oraz jestem promotorem pomocniczym dwóch kolejnych rozpraw w trakcie redagowania (planowane złożenie rozpraw – wrzesień 2018). Dwóch kolejnych doktorantów przed wszczęciem przewodów, bierze udział w realizacji projektów lub zadań badawczych pod moim kierownictwem.

W zakresie obowiązków organizacyjnych jestem przewodniczącym Wydziałowej Komisji ds. Kształcenia na kierunku Elektrotechnika od 2012 roku, oraz jestem odpowiedzialny za plany zajęć oraz zlecenia dydaktyczne nauczycieli akademickich w Zakładzie Napędu Elektrycznego. Byłem autorem wniosku o dofinansowanie budowy nowego laboratorium (inwestycja zakończona w 2014 roku, otwarcie w 2015 roku), oraz częściowo konsultowałem plany techniczne inwestycji. Laboratorium wyposażono w salę prób spalinowych zespołów prądowórczych o mocy do 50kW.

W trakcie zatrudnienia na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego prowadziłem 16 prac magisterskich i 35 inżynierskich z obszaru energoelektroniki, automatyki, napędu elektrycznego, i przekształtnikowych źródeł energii elektrycznej obronionych na Politechnice Warszawskiej. Prowadziłem również prace dyplomowe 4 studentów z Włoch i Hiszpanii z wymiany w ramach Programu Erasmus, obronionych w jednostkach macierzystych studentów.



Podpis wnioskodawcy