

Warszawa 17.05.2018

Prof. dr hab. Włodzimierz Koczara
00-7911 Warszawa
Ul .Chocimska 11 m10

Recenzja Rozprawy Doktorskiej

Mgr inż. Piotra Gajewskiego nt.

**ANALIZA PRZEKSZTAŁTNIKOWYCH UKŁADÓW
STEROWANIA ELEKTROWNI WIATROWEJ Z
GENERATOREM SYNCHRONICZNYM O MAGNESACH
TRWAŁYCH**

Niniejsza recenzja została opracowana zgodnie z Umową NR 0005/04/W5/2018 na zamówienie Politechniki Wrocławskiej reprezentowanej przez dziekana Wydziału Elektrycznego Prof. dr hab. Waldemara Rebizanta.

Przedstawiona do zaopiniowania rozprawa doktorska liczy 207 stron oraz 175 pozycji literatury, załącznik A zawierający opis stanowiska badawczego wraz z modelem komputerowym oraz załącznik B podający stosowane transformacje.

Ocena aktualności dziedziny i tematu pracy.

Generatory o magnesach trwałych (Permanent Magnet Synchronous Generator PMSG) umieszczonych na wirniku należą do najnowocześniejszych maszyn elektrycznych. Cechuje je trwałe wzbudzenie własne i bezszczotkowa konstrukcja.

Budowane są jako maszyny o polu promieniowym oraz osiowym. Ponadto ich budowa jest bardzo prosta. PMSG nie wymagają konserwacji i mają znacznie mniejszą masę w porównaniu do innych konstrukcji maszyn elektrycznych.

W chwili obecnej można uznać, że topologie układów silnoprądowych elektrowni wiatrowych są ustalone a badania naukowe w tej dziedzinie koncentrują się wokół układów sterowania w zakresie pozyskania jak największych ilości energii oraz odporności na zakłócenia przychodzące z sieci elektroenergetycznej. Wyłączanie elektrowni, o mocy rzędu kilkunastu megawatów, na skutek niekontrolowanych przebiegów napięcia sieci lub na skutek awarii, doprowadza do chwilowej utraty stabilności systemu a ponadto usuwanie awarii, w elektrowni znajdującej się na otwartym morzu, jest kłopotliwe i bardzo kosztowne. Jednym z najczęściej pojawiającym zakłóceniem jest zapad napięcia. Falownik elektrowni jest prowadzony napięciem sieci i z tego powodu znaczne obniżenie lub zanik tego napięcia, wymaga odłączenia elektrowni. Zatem biorąc pod uwagę cel i zakres rozprawy dotyczący pozyskiwania dostępnych ilości energii przy zachowaniu odporności na zakłócenia w prowadzącym napięciu, należy uznać, że podjęta tematyka jest aktualna i zgodna z zakresem prac badawczych na świecie.

Zakres i charakterystyka pracy

We wstępnej części rozprawy, liczącej ponad 30 stron dokonano przeglądu i oceny najczęściej spotykanych układów generacji pod względem konstrukcji maszyny jak i

przekształtników energoelektronicznych. W efekcie tych prac doktorant wybrał układy z PMSG oraz z przekształtnikami tranzystorowymi o pośrednim obwodzie napięcia stałego. Obwód napięcia stałego łączy przekształtnik przyłączony do generatora jest nazwany przez autora przekształtnikiem maszynowym (MSC) a przekształtnik przyłączony do sieci nazwano przekształtnikiem sieciowym GSC. Główne badania przeprowadzone w rozprawie to realizacja sterowania dla uzyskania punktu pracy zapewniającego, w danych warunkach wytwarzania mocy maksymalnej (Maximum Power Point Tracking – MPPT) przez przekształtnik maszynowy (MSC) oraz rozwój metod i układów pozwalających na przetrwanie zakłócenia, wynikającego z zapadów napięcia w sieci, do której jest przyłączona elektrownia wiatrowa, dotyczą zagadnień związanych z przekształtnikiem sieciowym (GSC). Opanowanie zapadów napięcia sieci, odbierającej energię z elektrowni wiatrowej, jest podstawowym zadaniem zapewniającym pracę bezawaryjną systemu elektroenergetycznego.

Metodologicznie pracę można podzielić na dwie zasadnicze części. W pierwszej podano podstawowe właściwości istniejących układów elektrowni oraz opracowano narzędzia w postaci metod i układów sterowania. Druga część aplikacyjna, dotyczy badań komputerowych wytypowanych układów, które następnie przechodzą badania laboratoryjne. Problemy śledzenia mocy maksymalnej rozwiązywano stosując metodę sterowania polowo-zorientowanego RFOC-SVM oraz metody bezpośredniego sterowania momentem i strumieniem DTC z wykorzystaniem

tablicy przełączeń DTC-ST oraz modulacji wektorowej DTC-SVM. W odniesieniu do sterowania przekształtnika sieciowego przedstawiono metody sterowania przekształtnika sieciowego z orientacją względem wektora napięcia sieci VOC. Przedstawiono metody bezpośredniego sterowania chwilową mocą czynną i bierną z wykorzystaniem tablicy przełączeń DPC-ST oraz modulacji wektorowej DPC-SVM. Układy sterowania, opracowane w rozdziale 5, są istotnym i wartościowym kompendium metod sterowania w elektrotechnice. Poszczególne rozwiązania, omawiane w rozdziale 5, znalazły swoje uzupełnienie w wynikach badań komputerowych zaprezentowanych w rozdziale 6. Ponadto w rozdziale 6 rozwinięto zagadnienia pracy autonomicznej elektrowni wiatrowej zawierającej magazyn energii elektrycznej.

Opracowany model elektrowni wg. rys. 7.18 został rozwinięty do postaci wg rys. 8.11 przedstawiającej układ eksperymentalny do badań zapadów napięcia a dalsza modyfikacja, zrealizowana wg. rys. 8.23, zapewnia wywoływanie zapadów symetrycznych i asymetrycznych oraz przeprowadzenie elektrowni przez stan przejściowy bez odłączania.

Podsumowanie

Celem rozprawy był rozwój metod sterowania przekształtnikami elektrowni wiatrowej z generatorem PMSG zapewniających odporność na zakłócenia występujące w prowadzącej sieci elektroenergetycznej. w postaci symetrycznego i niesymetrycznego zapadu napięcia sieci. W

rozwoju tym wykorzystano metody zapewniające sterowanie napięciem i mocą elektrowni, do których należy:

1. Sterowanie wektorowe polowo-zorientowane RFOC-SVM z wykorzystaniem orientacji względem wektora strumienia magnetycznego od magnesów trwałych;
2. Bezpośrednie sterowanie momentem i strumieniem DTC-SVM generatora PMSG;
3. Sterowanie z wykorzystaniem metody orientacji względem wektora napięcia sieci VOC;
4. Bezpośrednie sterowanie chwilową mocą czynną i bierną DPC-SVM
5. Zastosowanie synchronizacji fazowej PLL przekształtnika sieciowego GSC w celu identyfikacji wartości kąta θ_g położenia wektora napięcia sieci podczas niesymetrycznych zapadów napięcia sieci.
6. Zastosowanie filtra środkowoprzepustowego w pętli sterowania napięcia podczas zapadu napięcia sieci dla ograniczenia oscylacji w przebiegu składowej wektora prądu i_{sq} i przebiegu momentu elektromagnetycznego T_e .
7. Ograniczenie mocy czynnej p_g oddawanej do sieci AC
8. Wymuszenie zasilania mocą bierną miejsca zapadu dla powiększenia mocy zwarcia systemu elektroenergetycznego

Badania komputerowe oraz eksperymentalne w pełni potwierdziły przydatność w.w. metod dla poprawy jakości energii dostarczanej przez elektrownie wiatrowe.

Uwagi i pytania

1. W tezie pracy podano "Zastosowanie przekształtnikowych układów sterowania elektrowni wiatrowej z generatorem synchronicznym o magnesach trwałych (PMSG) zapewnia dużą dokładność sterowania mocą generatora, sterowania przepływem mocy elektrycznej do sieci AC lub do odbiorników autonomicznych." Proszę o sprecyzowanie pojęcia "odbiornik autonomiczny"
2. Proszę o podanie schematu ideowego układu "przekształtnik autonomiczny DC/AC" podanego blokowo na rys. 6.20 oraz przebieg napięcia wyjściowego zasilającego odbiorniki
3. Rys. 5.11 i 5.12 Jakie ograniczenia powinny być wprowadzone dla bezpiecznej pracy przekształtnika maszynowego?
4. Opracowanie programów (schematów) symulacyjnych jest przedsięwzięciem wymagającym wiedzy, wielu umiejętności i wysiłku. Schemat wg. rys. A.4 jest praktycznie nieczytelny, co nie oddaje rzeczywistych wysiłków autora.

Uwagi redakcyjne

W Tab. 2.2, Tab. 4.1., Tab. 6.1. Autor podaje właściwościach elementów i układów dzieląc je na dwie grupy, w pierwszej grupie wyszczególnia "zalety " w drugiej "wady". Należy wyjaśnić, co to znaczy "wady". Zdaniem recenzenta określenie "wady" dotyczy właściwości prowadzące do szybkiego uszkodzenia i konieczności odłączenia danego obiektu. Bardziej adekwatne będzie to określenie np. niekorzystne cechy, co np.

będzie bardziej trafne w odniesieniu do pierścieni maszyny indukcyjnej.

Ocena pracy i konkluzja

Rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Gajewskiego nt. **Analiza przekształtnikowych układów sterowania elektrowni wiatrowej z generatorem synchronicznym o magnesach trwałych** jest wykonana przy wykorzystaniu zaawansowanych teorii sterowania nowoczesnych pracujących generatorowo maszyn z magnesami trwałymi. Założony cel rozprawy, dotyczący opracowania elektrowni wytwarzającej, w danych warunkach maksymalną moc (metodą MPPT) przy jednoczesnym zapewnieniu odporności na zakłócenia przychodzące z sieci, został w pełni zrealizowany.

Opracowanie sterowania zostało oparte na pełnym cyklu badawczym: modelowania, symulacji i badań laboratoryjnych. Stanowiąc bardzo obszerne wykazanie właściwości metod uczynił je bardzo przydatne dla praktyki.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Piotra Gajewskiego nt. **Analiza przekształtnikowych układów sterowania elektrowni wiatrowej z generatorem synchronicznym o magnesach trwałych**” spełnia wymagania art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65) oraz rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z 15 stycznia 2004 r. w sprawie szczegółowego trybu

przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim i habilitacyjnym. Stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Dobrosze', is written in a cursive style.