

WPLYNĘŁO
dn. 3.09.2019

Prof. dr hab. inż. Marian Pasko
Politechnika Śląska Wydział Elektryczny
Instytut Elektrotechniki i Informatyki
44-100 Gliwice ul. Akademicka 10

Gliwice, 30.08.2019 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Piotra Szulawskiego
pt. „Zintegrowany układ wytwarzania energii elektrycznej z generatorem synchronicznym”

1. WSTĘP

Podstawę opracowania niniejszej recenzji stanowi zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Lecha Grzesiaka z dnia 26.07.2019 r. wynikające z Uchwały Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej z dnia 26.06.2019 r., na której zostałem powołany na recenzenta.

2. OCENA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

2.1. Ocena tematyki i celów rozprawy

Rozprawa doktorska stanowi wynik kilkuletnich badań analitycznych i symulacyjnych prowadzonych przez mgr inż. Piotra Szulawskiego, dotyczących koncepcji opracowania zintegrowanego układu do generacji mocy czynnej i biernej złożonego m.in. z generatora synchronicznego, który jest w dalszym ciągu podstawowym źródłem energii elektrycznej prądu przemiennego o wysokiej jakości napięcia i przebiegu sinusoidalnym dla dużych i wielkich mocy. Możliwość generacji mocy czynnej i biernej powoduje, że generator synchroniczny jest stosowany zarówno w przypadku pracy autonomicznej, jak i współpracy z siecią elektroenergetyczną, gdzie konieczna jest wysoka stabilność i niezawodność. Oprócz wielu zalet generatora synchronicznego cechują go również wady. Negatywną cechą jest m.in. duża stała czasowa obwodu wzbudzenia w stanach przejściowych powodując obniżanie jakości regulacji napięcia zarówno podczas współpracy z siecią, jak również pracy autonomicznej. W rozprawie doktorskiej realizowanej pod kierunkiem promotora prof. dra hab. inż. Włodzimierza Koczary doktorant podjął próbę opracowania koncepcji zintegrowanego układu do generacji mocy czynnej i biernej złożonego z generatora synchronicznego z równoległym przyłączonym przekształtnikiem energoelektronicznym z magazynem energii oraz wspólnym układem regulacji o roboczym tytule „Synchrogenverter”,

mogący współpracować zarówno z siecią elektroenergetyczną, jak i autonomicznie. Badania z tego zakresu z pozytywnym skutkiem są prowadzone od lat w Instytucie Sterowania i Elektroniki Przemysłowej Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. Pomimo, że główny rdzeń badań stanowią tylko wielowariantowe badania analityczne i symulacyjne „Synchronvertera”, to wg mojej opinii wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny elektrotechniki, które również mieszczą się w aktualnej dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. Zaproponowana topologia integracji i sterowania obwodów silnopiędowych będzie wykorzystana w praktyce. Chociaż większe moce będą wymagały nowych półprzewodników spełniających zadanie przełączania przy wysokich napięciach. Realizacja założonych celów wymagała od doktoranta wykazania się dobrą znajomością praktycznej elektrotechniki, energoelektroniki, napędu elektrycznego, maszyn elektrycznych, elektroniki, metrologii elektrycznej, opanowania metod symulacyjnych.

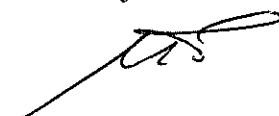
2.2. Ocena strony redakcyjnej

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 101 stron, która została wydana w formie książki z nadrukiem Politechnika Warszawska Wydział Elektryczny, Warszawa 2019 i obejmuje: część zasadniczą podzieloną na 6 rozdziałów głównych, podsumowanie, wnioski. Spis publikacji zawiera 47 pozycji, w tym 2 patenty dotyczące układu wytwarzania energii zaproponowanego „Synchronvertera”, w których doktorant jest współautorem oraz 6 pozycji artykułów i referatów współautorskich doktoranta. Bibliografia zawiera pozycje prezentujące obecny stan wiedzy z dziedziny badanych w pracy układów i zagadnień. Uważam, że są to pozycje reprezentatywne dla tematyki rozprawy. Układ pracy, stronę edycyjną, materiał ilustracyjny należy uznać jako prawidłowy, chociaż jak prawie w każdej pracy Autor nie ustrzegł się pomyłek zarówno w warstwie edycyjnej, jak i merytorycznej. Myślę, że wielu usterek doktorant by uniknął gdyby na początku rozprawy umieścił spis symboli i oznaczeń używanych w rozprawie i ściśle ich przestrzegał. Na końcu rozprawy doktorant zamieścił załączniki dotyczące parametrów podzespołów służące jako dane do przeprowadzanych symulacji komputerowych. Usterki redakcyjne oraz uwagi przekazałem bezpośrednio doktorantowi i nie zamieściłem ich w recenzji. Ocena merytoryczna poszczególnych rozdziałów zostanie szczegółowo omówiona w rozdziale 2.3 niniejszej recenzji.

2.3. Układ pracy i ocena merytoryczna

Treści zawarte w rozprawie można podzielić zasadniczo na trzy główne części:

- Część pierwszą stanowią rozdziały od 1 do 3. W których zamieszczono model matematyczny i model do przeprowadzenia symulacji komputerowych generatora synchronicznego, jako podstawowego elementu realizowanej koncepcji „Synchronvertera”. Przedstawiono również model matematyczny silnika Diesla jako maszynę napędzającą do agregatów prądowców dla pracy autonomicznej.



- Część drugą stanowią rozdziały 4,5,6 poświęcone, zintegrowanemu układowi wytwarzania energii pod roboczą nazwą „Synchrogenvertera” i jego praca w układzie autonomicznym oraz przy współpracy z siecią elektroenergetyczną
- Część trzecią stanowi podsumowanie, wnioski oraz osiągnięcia naukowe w ramach realizowanego doktoratu według oceny doktoranta.

Poszczególne rozdziały rozprawy zawierają następujące treści, i tak:

Rozdział 1 zatytułowany: „*Wstęp*”, w którym doktorant przedstawił właściwości generatora synchronicznego podkreślając jego zalety oraz wady. Doktorant zwrócił uwagę, że wobec braku znaczącego postępu w redukcji niekorzystnych cech generatora synchronicznego oraz zwiększone zapotrzebowanie odbiorców na napięcie sinusoidalne o stabilnej częstotliwości i amplitudzie została podjęta próba modyfikacji układu wytwarzania energii z generatorem synchronicznym i równolegle przyłączonym przekształtnikiem energoelektronicznym z magazynem energii oraz wspólnym układem regulacji o roboczym tytule „Synchrogenverter”, co stało się głównym celem niniejszej rozprawy doktorskiej.

W rozdziale drugim zatytułowanym „*Budowa i zasada działania generatora synchronicznego*” doktorant przedstawił modele matematyczne generatora synchronicznego oraz silnika Diesla, jako maszyny napędzającej generator synchroniczny. Zdefiniowano układy współrzędnych naturalnych a,b,c oraz w układzie wirującym dq. Szczegółowo opisano wyznaczanie napięcia indukowanego w generatorze synchronicznym.

W rozdziale trzecim zatytułowanym „*Wybrane metody regulacji generatora synchronicznego*” doktorant przedstawił metodę regulacji mocy czynnej i biernej generatora synchronicznego współpracującego z siecią elektroenergetyczną. Przedstawił również metodę regulacji generatora synchronicznego pracującego autonomicznie.

Treści zawarte w rozdziale czwartym zatytułowanym „*Układ wytwarzania energii elektrycznej - Synchrogenverter*” są skoncentrowane na podaniu teorii i modelu „Synchrogenvertera”. Przedstawiono schemat ogólny, zasadę działania, podstawowe założenia układu regulacji. Zaproponowano układ współrzędnych zastosowany podczas analizy, jak również w układzie regulacji układu. Przedstawiono wyznaczenie mocy znamionowej układu „Synchrogenvertera” dla różnych wariantów pracy. Przedstawiono również wyliczenia zmniejszenia strat w rdzeniu wirnika oraz stojanie generatora synchronicznego pracującego w układzie zintegrowanego źródła energii elektrycznej. Treści zawarte w tym rozdziale przedstawione przez doktoranta świadczą o Jego wiedzy teoretycznej, jak również praktycznej z szeroko rozumianej elektrotechniki, pozwalającej na realizację celu i zakresu pracy i wnoszą wiele oryginalnych rozwiązań.

W rozdziale piątym zatytułowanym „*Praca autonomiczna układu Synchrogenvertera*” przedstawiono i opisano układ regulacji generatora, przekształtnika i magazynu energii w układzie „Synchrogenvertera” podczas pracy autonomicznej. Przedstawiono możliwe stany pracy w zależności od generowanej mocy czynnej i biernej, podrozdziały 5.2.1, 5.2., 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5, W podrozdziałach 5.3-5.4 doktorant zamieścił badania komputerowe, które potwierdzają poprawność działania układu „Synchrogenvertera” dla zasilania odbiorów o mocy przekraczające moc znamionową generatora synchronicznego. Przedstawiono

porównanie właściwości generatora synchronicznego klasycznego oraz pracującego w układzie „Synchrogenvertera”. Przedstawiono badania komputerowe pracy układu „Synchrogenvertera” zasilające odbiory symetryczne, niesymetryczne, jak również nieliniowe.

W rozdziale szóstym zatytułowanym „*Współpraca układu Synchrogenvertera z siecią elektroenergetyczną*” przedstawiono pracę układu „Synchrogenvertera” podczas współpracy z siecią elektroenergetyczną. Przedstawiono układ regulacji. Przeprowadzono symulacje komputerowe, które zamieszczono w formie wykresów. Otrzymane wyniki potwierdzają poprawność układu regulacji oraz prawidłowe działanie „Synchrogenvertera” dla tego rodzaju współpracy.

Treści zawarte w rozdziałach piątym i szóstym stanowią istotne osiągnięcia doktoranta, które pokazują, że zaproponowane zintegrowane źródło energii elektrycznej o roboczej nazwie „Synchrogenverter” charakteryzuje się wieloma różnymi stanami pracy w zależności od dostarczanej mocy czynnej, biernej przez generator lub przekształtnik dla przyjętego kryterium. W pracy można wyodrębnić 10 stanów opisanych i przebadanych symulacyjnie, które w istotny pozytywny wpływają na funkcjonowanie generatora synchronicznego m. in.

1. zmniejszenie prądu magnesowania,
2. zmniejszenie strat energii w wirniku,
3. zmniejszenie strat mocy układu napędzającego (silnika),
4. dostarczenie energii z magazynu w warunkach przeciążenia,
5. wykazano, że możliwa jest praca ze współczynnikiem mocy większym od współczynnika znamionowego, co skutkuje powiększeniem mocy czynnej wyjściowej generatora, przy $\cos\phi=1$ o 25% , w porównaniu do klasycznego generatora.

Podsumowanie doktorant kończy przedstawieniem wg Jego opinii istotnych osiągnięć naukowych, które wg mojej opinii zostały przedstawione w wyważony sposób.

Do istotnych osiągnięć mgra inż. Piotra Szulawskiego zaliczam:

- opracowanie koncepcji zintegrowanego układu wytwarzania energii elektrycznej złożonego z generatora synchronicznego, przekształtnika energoelektronicznego, magazynu energii oraz wspólnego układu regulacji o roboczym tytule „Synchrogenverter”,
- opracowanie układu regulacji „Synchrogenvertera”, tak aby generator synchroniczny w stanie ustalonym nie generował mocy biernej,
- stabilność generatora synchronicznego zależna jest od zmian obciążenia, zmian momentu elektromagnetycznego, zmian napięcia wyjściowego. W przypadku zaproponowanego układu „Synchrogenvertera” zmiany prądu obciążenia, pokrywane są poprzez dostarczenie mocy czynnej i biernej z przekształtnika i magazynu energii,
- analiza znamionowej mocy generowanej do obciążenia w układzie „Synchrogenvertera” z uwzględnieniem mocy magazynu energii i wyjściowej mocy



biernej,

- opracowanie układu regulacji do współpracy układu „Synchronvertera” dla obciążenia asymetrycznego i nieliniowego, posiłkując się tzw. teorią mocy chwilowej wprowadzonej przez Akagię H., Kazanawę Y., Nabae A. w 1983 r.,
- wszystkie przedstawione osiągnięcia zostały zweryfikowane na drodze komputerowych symulacji.

3. PYTANIA, UWAGI DYSKUSYJNE, KOMENTARZE

1. Czy na podstawie prowadzonych przez Pana dla szerokiego spektrum symulacji komputerowych mógłby Pan zaproponować jakie należałoby poczynić rozwiązania konstrukcyjne w generatorze synchronicznym, umożliwiającą pracę w stanie ustalonym dla $\cos\phi = 1$ przy zachowaniu znamionowej wartości skutecznej prądu generatora, jak to ma miejsce dla pracy w zaproponowanym zintegrowanym źródle energii o roboczej nazwie „Synchronverter”
2. Proszę o obszerniejsze omówienie zmian prądu czynnego i biernego generatora w układzie „Synchronvertera”, dla skokowej zmiany obciążenia?
3. Jakie są różnice w przebiegach prądu odwzbudzenia dla klasycznego generatora synchronicznego i dla Synchronvertera?
4. W pracy np. na rys. 5.3.7. zostały przedstawione porównania odpowiedzi układu „Synchronvertera” i klasycznego generatora synchronicznego dla $k_{bes} = 0,5$. Proszę pokazać i zinterpretować jakie będą odpowiedzi dla $k_{bes} = 1$ i dla $k_{bes} = 0,1$?

4. WNIOSEK KOŃCOWY

Podsumowując uważam, że recenzowana rozprawa doktorska w obecnej postaci nie wymaga poprawek ani uzupełnień. Zawiera bogaty dorobek merytoryczny autora do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika. Mgr inż. Piotr Szulawski przedstawił rozważania analityczne, które następnie udokumentował badaniami symulacyjnymi potwierdzające poprawność działania układu „Synchronvertera” charakteryzujący się wieloma różnymi stanami pracy w zależności od dostarczanej mocy czynnej, biernej przez generator lub przekształtnik wg przyjętych kryteriów. Doktorant wg mojej opinii wykazał się dużą umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam zatem, że recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Szulawskiego pod tytułem „**Zintegrowany układ wytwarzania energii elektrycznej z generatorem synchronicznym**” spełnia warunki określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi uzupełnieniami i zmianami i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

