

dr hab. inż. Andrzej Kapłon, prof. PŚk
Wydział Elektrotechniki Automatyki i Informatyki
Politechnika Świętokrzyska
25-314 Kielce, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
akaplon@tu.kielce.pl, tel. 41 3424205

Kielce, 30 kwietnia 2019 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgra inż. Piotra Krupskiego

"Analiza współpracy przekształtnikowego układu zasilającego z miniaturowym generatorem plazmy nietermicznej"

opracowana dla Rady

Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej

1. Tematyka, cel i zakres pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. *Analiza współpracy przekształtnikowego układu zasilającego z miniaturowym generatorem plazmy nietermicznej*. Przedłożona praca ma 112 stron, w tym 94 strony tekstu głównego, wykaz ważniejszych oznaczeń oraz zestawienie bibliograficzne obejmujące 98 pozycji.

Tematyka rozprawy dotyczy konstrukcji i analizy pracy przekształtnikowego układu zasilającego, którego obciążeniem jest reaktor plazmowy ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym. Lokuje się ona zatem w obszarze energoelektroniki z zastosowaniem dla celów technologii plazmowych.

Plazmowe techniki oczyszczania gazów, a w szczególności powietrza budzą coraz szersze zainteresowanie ze względu na skuteczność oraz tańszą eksploatację, w porównaniu do stosowanych obecnie metod filtracyjnych i chemicznych. Konwencjonalne wyładowanie łukowe jako źródło plazmy ma ograniczone zastosowanie w technologii oczyszczania powietrza ze względu na wysoką energochłonność wytwarzania łuku elektrycznego (znaczne wartości prądu, osiągające nawet setki amperów) oraz dodatkowo ograniczoną przestrzeń kolumny łukowej. Tego typu wad pozbawiony jest reaktor plazmowy ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym (GAD). Reaktor taki jest rezystancyjnym, nieliniowym odbiornikiem energii elektrycznej, wymagającym wysokiego napięcia do wstępnej jonizacji i zapłonu wyładowań. Po zapłonie konieczne jest szybkie, skuteczne ograniczenie prądu reaktora, aby utrzymać nietermiczny charakter wyładowania. Reaktor plazmowy GlidArc (GAD) jest obciążeniem charakteryzującym się wysoką zmiennością parametrów, w tym szczególnie impedancji

chwilowej w momencie zapłonu, a następnie podczas rozrywania kolumny łukowej. Reaktor plazmy nietermicznej typu GAD jest więc odbiornikiem energii elektrycznej o szczególnej dynamice zmian parametrów, takich jak rezystancja i napięcie wyjściowe, a przyczyną tej dynamiki jest złożony charakter zjawisk fizykochemicznych zachodzących w przestrzeni wyładowczej reaktora. Stabilną pracę generatora plazmy nietermicznej można uzyskać poprzez odpowiednią regulację prądu i częstotliwości w każdym cyklu pracy reaktora. Brak jest standardowych rozwiązań energoelektronicznych, które mogą zapewnić ciągłą, stabilną pracę reaktora plazmowego GAD. W wielu ośrodkach na świecie prowadzone są badania nad tego typu reaktorami.

Tematyka podjęta przez Autora rozprawy wpisuje się w nurt powyższych badań. Analizowany przez Doktoranta przekształtnik energoelektroniczny przeznaczony do współpracy z reaktorem GAD powstał jako prototyp zbudowany w Instytucie Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Lubelskiej.

Celem, w podjętej przez mgra inż. Piotra Krupskiego rozprawie jest *zaprojektowanie, zbudowanie, przeprowadzenie badań eksperymentalnych i podanie wytycznych do projektowania zasilaczy przekształtnikowych, wykonanych w topologii push-pull dla reaktorów plazmy nietermicznej typu MGAPR (ang. Miniaturised Gliding Arc Plasma Reactor).*

Dla realizacji tak postawionego celu Autor postawił tezę: *Zasilacz przekształtnikowy wykonany w technologii kluczy IGBT zapewni wymagania miniaturowego reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym i jego stabilną pracę w szerokim zakresie parametrów pracy.*

Rozprawa doktorska zawiera sześć rozdziałów, streszczenia w językach polskim i angielskim, wykaz ważniejszych symboli i skrótów oraz bibliografię.

We *Wstępie* (rozdział 1) zawarto podstawowe informacje dotyczące tematyki, a także przedstawiono zakres, cel i motywację podjętych badań. W rozdziale 2 skrótowo opisano technologie plazmowe z uwypukleniem właściwości i zastosowań plazmy nietermicznej oraz pokazano podstawowe typy reaktorów plazmowych. W rozdziale tym bardziej szczegółowo scharakteryzowano wyładowanie ślizgające się jako przykład nieliniowego odbiornika energii elektrycznej. W rozdziale 3 opisano typowe przekształtniki energoelektroniczne, ich topologie i właściwości pod kątem zastosowania dla zasilania reaktorów plazmowych. Rozdział 4 poświęcono opisowi wybranej topologii przekształtnika wraz z uzasadnieniem jej wyboru. Scharakteryzowano w nim także podzespoły wchodzące w skład zasilacza oraz przedstawiono projektowe i wybrane badania symulacyjne. W rozdziale 5 zawarto wyniki przeprowadzonych prac badawczych, opisy stanowiska badawczego i użytej aparatury pomiarowej. Rozdział 6

stanowi komentarz autora do przeprowadzonych prac badawczych, projektowych i pomiarowych. Opisuje oryginalne osiągnięcia autora rozprawy a także podsumowanie i wnioski.

Sposób podejścia do przedstawionego problemu w zakresie konstrukcji i wykonania prototypu zasilacza należy uznać za poprawny. Przedstawione badania symulacyjne prototypu zostały potwierdzone laboratoryjnie. Badania na stanowisku laboratoryjnym należy uznać za nowoczesne i wykorzystujące współczesne możliwości pomiarowe, a tematykę rozprawy za zagadnienie dalej aktualne.

2. Istotne osiągnięcia i wyniki oraz krytyczne uwagi merytoryczne i dyskusyjne.

Najistotniejszymi z punktu widzenia tematu pracy są rozdziały 4 i 5, które Autor poświęcił konstrukcji, budowaniu i badaniom zasilacza dla współpracy z reaktorem GAD.

Zaproponowane przez mgra Piotra Krupskiego rozwiązanie konstrukcyjne przekształtnika z wykorzystaniem topologii przeciwsobnej *push-pull* do zasilania reaktora plazmy GAD uważam za jedno z bardziej istotnych osiągnięć Autora.

Dobór parametrów i optymalizację konstrukcji zasilacza Autor przeprowadził głównie w oparciu o badania symulacyjne. Na szczególną uwagę zasługują badania przy bezpośredniej współpracy zasilacza z reaktorem GAD.

Szkoda, że Autor nie odnosi wyników badań do aspektów sterowania częstotliwością i wypełnieniem fali PWM (uwaga A).

To samo odnosi się do modułu sterującego pracą zasilacza, który Autor uważa za jedno ze swoich osiągnięć, a w rozprawie nie znalazłem opisu tego modułu, nie mówiąc o algorytmach sterowania. Moim zdaniem to właśnie ten moduł stanowi istotę całego rozwiązania, gdyż topologia samego zasilacza jest rozwiązaniem znanym i stosowanym. (uwaga B)

Za ciekawe rozwiązanie techniczne mgra Piotra Krupskiego uważam wykorzystanie przebiegów komutacyjnych w zasilaczu do generowania odpowiedniej wartości napięć zapłonowych reaktora. Niestety Autor nie opisał tej metody w miarę precyzyjnie. (uwaga C)

Powyższe wiąże się z realizacją charakterystyki napięciowo-prądowej zapłonu reaktora, której teoretyczny kształt został przedstawiony w rozdziale 4, ale Autor nie odniósł się do porównania jej z charakterystyką rzeczywistą otrzymaną pomiarowo (uwaga D). Można o niej częściowo wnioskować z przedstawionych wybiórczo oscylogramów dla różnych cykli plazmowych i różnych gazów roboczych.

Wyniki badań laboratoryjnych wykazują zalety zbudowanego zasilacza, a mianowicie: zapewnienie wstępnej jonizacji i zapłon wyładowania między elektrodami reaktora plazmowego, polepszenie zapłonu poprzez wykorzystanie przebiegów łączeniowych, skuteczne podtrzymanie

wyładowania elektrycznego między elektrodami roboczymi w pracy cyklicznej reaktora.

Na uwagę zasługują przedstawione wyniki badań laboratoryjnych. Wykorzystano unikalną aparaturę dla prezentacji wyładowań w komorze reaktora. Dyskusję otrzymanych rezultatów Autor przedstawił w rozdziale 5. Odczuwa się pewien niedosyt zebranych wniosków z przedstawionych badań dających wyraźniejsze sugestie co do projektowania zasilaczy dla reaktorów GAD, również pod kątem stosowanego gazu roboczego (*uwaga E*).

Za oryginalny dorobek mgr inż. Piotra Krupskiego należy niewątpliwie uznać:

- wybór topologii przekształtnika pod kątem realizacji wymaganej charakterystyki prądowo-napięciowej zapłonu reaktora i podtrzymania plazmy;
- wykorzystanie przebiegów komutacyjnych, dla realizacji poprawnego zapłonu reaktora;
- zaprojektowanie modułu AC/DC ze wstępnym ładowaniem pojemności i systemem kontroli poziomu napięcia stałego;
- dobór parametrów elementów obwodów zasilacza na podstawie symulacji i obliczeń;
- zaprojektowanie modułu sterującego pracą zasilacza;
- zaprojektowanie i wykonanie transformatora wysokiej częstotliwości z dzielonym uzwojeniem pierwotnym i pięciosekowym uzwojeniem wtórnym;
- projekt i wykonanie reaktora MGAPR na potrzeby badań;
- badania laboratoryjne na zbudowanym stanowisku badawczym.

W bibliografii znalazłem tylko jedną publikację i jeden patent współautorstwa Autora, chociaż w *Podsumowaniu* Autor pisze, że w tematyce rozprawy jako współautor opublikował 7 publikacji, ma 1 patent i 2 zgłoszenia patentowe oraz 12 referatów konferencyjnych.

Autor nie odnosi wyników rozprawy do swoich wcześniejszych opublikowanych prac. Takie porównanie stworzyłoby możliwość pełniejszej oceny osiągniętych przez Autora wyników rozprawy na tle wyników innych prac, w tym własnych (*uwaga F*).

3. Uwagi dodatkowe

Praca napisana jest poprawnie i zredagowana bardzo starannie. Autor używa precyzyjnie pojęć z obszaru energoelektroniki, jak i technologii plazmowej.

Poniżej uwagi związane bezpośrednio z wydrukowaną rozprawą lub te, które nie znalazły się w części 2 (*Istotne osiągnięcia i wyniki oraz krytyczne uwagi merytoryczne i dyskusyjne*) Recenzji związanej z dyskusją.

Uwagi redakcyjne

1. Zwykle stosuje się zasadę, że skrót napotkany w tekście po raz pierwszy ma swoje pełne wyjaśnienie pomimo, że znajduje się ono w *Wykazie ważniejszych oznaczeń*.

Przykładowo:

- str. 11, 3-ci wiersz od góry: GAD (Gliding Arc Discharge)

2. Zauważone błędy gramatyczne:

- str. 12, 8-my wiersz od góry: jest *przekształtnik jest w stanie zachować dopuszczalnych stromości*, powinno być *przekształtnik jest w stanie zachować dopuszczalne stromości*

- str. 64, akapit nad rysunkiem 4.35: jest *segmencie 4 transformator zalewany do montażu przewlekanego*

3. Zauważone błędy stylistyczne:

- str. 17, 3-ci wiersz od góry: jest *w warunkach ziemskich plazmy, mają współcześnie technologiczne źródła plazmy oraz procesy generujące plazmę* – mało czytelne

- str. 41, 2-gi wiersz od góry: jest *znakomite właściwości przy wysokich częstotliwościach – porównywalne od pełnomostkowych* – mało czytelne

- str. 57, akapit nad rysunkiem 4.24: jest *Mozaikę ścieżek obwodu drukowanego bloku 2* – ładne artystycznie

Przedstawione wyżej uwagi dyskusyjne i dodatkowe mają w głównej mierze charakter porządkujący oraz dyskusyjny i nie umniejszają głównych wyników rozprawy.

4. Wniosek końcowy

Mgr inż. Piotr Krupski w przedłożonej pracy pt. *Analiza współpracy przekształtnikowego układu zasilającego z miniaturowym generatorem plazmy nietermicznej* wykazał, że umie postawić i samodzielnie rozwiązać oryginalny problem konstrukcyjny i naukowy.

Rezultaty pracy, będące wynikiem obszernego i kompleksowego programu badań symulacyjnych i laboratoryjnych zostały wykorzystane dla celów projektowych. Osiągnięcie tych rezultatów wymagało pogłębionej wiedzy Doktoranta z zakresu energoelektroniki, maszyn elektrycznych (w odniesieniu do projektowania transformatorów wysokonapięciowych), technologii plazmy, jak też doświadczenia w projektowaniu i wykonaniu przekształtników energoelektronicznych. Tym samym potwierdził, że posiada kwalifikacje do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Cel rozprawy, który Autor sobie postawił został osiągnięty. Uwagi krytyczne związane z Rozprawą doktorską nie zmniejszają jej wartości, a tym samym nie wpływają na końcową pozytywną moją ocenę w kontekście art. 13, pkt. 3 Ustawy.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona praca spełnia w pełni wymagania stawiane rozprawom doktorskim w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r., a w szczególności art. 13, pkt. 3 oraz w artykule 187 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. 2018 poz. 1668), i przedstawiam Wysokiej Radzie Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej wniosek o dopuszczenie mgra inż. Piotra Krupskiego do publicznej obrony pracy doktorskiej.

