

Bydgoszcz, dn. 28 kwietnia 2019 r.

Dr hab. inż. Jan Mućko, prof. nadzw. UTP
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki
ul. Prof. S. Kaliskiego 7; 85-796 Bydgoszcz

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Krupskiego

pt. **“Analiza współpracy przekształtnikowego układu zasilającego z
miniaturowym generatorem plazmy nietermicznej”**

opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Informatyki
Politechniki Lubelskiej, prof. dra hab. inż. Henryki D. Stryczewskiej
(pismo nr: E/Dr-167-2016/92/2019 z dnia 18 marca 2019 r.)

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. “Analiza współpracy przekształtnikowego układu zasilającego z miniaturowym generatorem plazmy nietermicznej”, której autorem jest mgr inż. Piotr Krupski. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Henryka D. Stryczewska, prof. PL, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Grzegorz Komarzyniec. W momencie wszczęcia w/w przewodu doktorskiego pan Grzegorz Komarzyniec nie był jeszcze doktorem habilitowanym.

Rozprawa liczy 112 stron tekstu zawartego w 6 rozdziałach, bibliografii oraz wykazie ważniejszych oznaczeń i skrótów.

Rozprawa zawiera streszczenia i słowa kluczowe w języku polskim oraz angielskim. Bibliografia obejmuje 98 pozycji umieszczonych zgodnie z kolejnością cytowań. Zamieszczona literatura jest reprezentatywna dla analizowanych w pracy zagadnień. Podczas pracy nad rozprawą, uwzględniając także okres przed wszczęciem przewodu doktorskiego, mgr inż. Piotr Krupski opublikował między innymi 8 artykułów współautorskich i jest współautorem 3 zgłoszeń patentowych. W bibliografii do rozprawy doktorskiej, doktorant zamieścił tylko jeden współautorski artykuł z konferencji międzynarodowej z bazy WoS.

Recenzentowi nie jest znane inne opracowanie takie, jakie stanowi niniejsza rozprawa.

W **rozdziale 1 Wstęp**, w podrozdziale **Tematyka pracy**, Autor określa obszar tematyczny pracy, który obejmuje przekształtnikowe zasilacze przeznaczone do pracy z obciążeniami w postaci reaktorów plazmowych ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym (GAD) i wykazuje, że zagadnienia którymi będzie się w pracy zajmował są aktualne.

Doktorant podejmuje problematykę wykorzystania wewnętrznych przepięć komutacyjnych do zainicjowania wyładowań w reaktorze plazmy GAD, których źródłem są elektromagnetyczne procesy przetwarzania energii w przekształtniku typu push-pull z transformatorem wysokiej częstotliwości podwyższającym napięcie. Reaktor plazmy



nietermicznej typu GAD jest odbiornikiem energii elektrycznej o szczególnej dynamice zmian parametrów.

W podrozdziale **Zakres pracy** Autor wyszczególnia, że rozprawa składać się będzie z trzech części: 1) teoretycznej, zawierającej uzasadnienie podjętej problematyki oraz analizę piśmiennictwa i obecnego stanu wiedzy; 2) projektowej, obejmującej symulację komputerową oraz projekt obwodu mocy i układu sterowania przekształtnika; 3) eksperymentalnej, przedstawiającej budowę modelu laboratoryjnego, jego badania oraz podsumowanie i wnioski.

Następnie Autor opisuje co motywowało go do podjęcia tej tematyki i w kolejnym podrozdziale przedstawia tezę i cel pracy.

Teza pracy: *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.*

Cel pracy: *Celem pracy 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).*

Zarówno teza rozprawy jak i określone w jej ramach zadania szczegółowe są ważne ze względów poznawczych oraz aplikacyjnych. Działania podjęte przez Autora są aktualne i wpływają pozytywnie na rozwój elektrotechniki.

Rozdział 2. Plazma nietermiczna – źródła odnosi się do technologii plazmowych, właściwości i zastosowań plazmy nietermicznej oraz podstawowych typów reaktorów plazmowych. W szczególności w rozdziale tym Doktorant dość szczegółowo omawia reaktory ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym (GAD), przedstawia charakterystyki takiego wyładowania oraz podaje wzory opisujące to wyładowanie. Podane wzory nie zostały niestety wykorzystane przez Doktoranta ani przy projekcie urządzenia, ani podczas weryfikacji wyników badań. Dyskusyjnym jest więc przytaczanie przez Autora równań, które potem nie będą przez niego wykorzystane.

Rozdział 3. Przekształtniki energoelektroniczne opisuje w sposób ogólny przekształtniki oraz wybrane topologie przekształtników przeznaczonych do zasilania reaktorów plazmowych. Refleksja nasuwająca się po przeczytaniu początku tego rozdziału to: po co charakteryzować wszystkie typy przekształtników i to w sposób elementarny? Rozprawa byłaby bardziej interesująca, gdyby pominąć ogólniki. Dopiero podrozdział 3.2 *Przegląd przekształtnikowych zasilaczy urządzeń plazmowych* ma bezpośredni związek z tematem rozprawy i stanowi kompendium wiedzy na temat tych urządzeń.

Rozdział 4. Zasilacz przekształtnikowy reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym obejmuje opis możliwych do zastosowania w tym celu przekształtników oraz czynniki decydujące o wyborze konkretnego typu przekształtnika. Na wstępie przedstawiona została charakterystyka prądowo-napięciowa reaktora GAD i na jej podstawie określono podstawowe własności przekształtnika służącego do zasilania takiego reaktora. Porównane zostały różne topologie przekształtników, które spełniać mogą postawione w celu i zakresie pracy doktorskiej zadania. Wykazano, że niedoskonałość układu push-pull w postaci przebiegów komutacyjnych można kontrolować, kształtując ich przebieg

i przenosić na stronę wtórną. Tak powstające impulsy wysokonapięciowe nie pogorszą znacząco parametrów sprawnościowych zasilacza, a mogą skutecznie poprawić zapłon wyładowania w reaktorze typu GlidArc.

Rozdział ten zawiera także wyniki symulacji komputerowych i prac projektowych. Elementy dobierane były głównie na podstawie wyników uzyskanych podczas symulacji. Jest to poprawne podejście do prac projektowych, choć dziwi mnie dlaczego doktorant przedstawił tylko elementarny wzór dotyczący doboru jednego z kondensatorów oraz wzory do obliczeń parametrów transformatora, skoro dobierał także dziesiątki innych elementów.

Podczas prac projektowych Autor użył następujących programów: Spice_9.1 - do symulacji; EAGLE – do projektowania płytek drukowanych; FERROXCUBE SFDT – do obliczeń parametrów transformatora.

Uważam, że Doktorant prawidłowo wybrał topologię przekształtnika spośród porównywanych rozwiązań oraz stwierdzam, że tematyka przedstawiona przez Doktoranta nie była w Polsce dotąd przedmiotem szczegółowych badań, co stanowiło ważny bodziec motywujący podjęcie prac badawczych.

W rozdziale 5. *Badania laboratoryjne zasilacza impulsowego reaktora plazmowego* zawarto wyniki przeprowadzonych prac badawczych, opisy stanowiska badawczego i użytej aparatury pomiarowej.

Na podstawie badań poddano ocenie właściwość wspomaganie zapłonu wyładowań w reaktorze, wykorzystującą przepięcia łączeniowe powstające w przekształtniku o topologii przeciwsoonej. Zobrazowano rozwój wyładowania z zastosowaniem szybkiej kamery Fastcam SA-Z (Photron Limited), synchronizując wyniki obserwacji z czasem rejestracji przebiegów elektrycznych, pobranych z toru zasilania reaktora plazmowego. Reaktor plazmowy z regulowanym odstępem międzyelektrodowym został zbudowany przez Autora i jest szczegółowo opisany we patencie PL407070, którego jest współautorem.

Wyniki badań ilustrowane są wieloma oscylogramami przedstawiającymi przebiegi napięć i prądów w układzie opracowanego i wykonanego przez doktoranta przekształtnika i reaktora, a liczne zdjęcia pokazują budowę tego urządzenia oraz ilustrują rozwój wyładowania. Liczne charakterystyki, np. dynamiczne charakterystyki wyładowania $i(t) = f[u(t)]$ dla wybranych wartości odległości międzyelektrodowej, przebiegi napięcia i prądu odpowiadające tzw. cyklowi plazmowemu reaktora, zależności mocy wyjściowej przekształtnika od parametrów reaktora i zastosowanej metody sterowania oraz prędkości i rodzaju gazu procesowego mają bardzo dużą wartość poznawczą.

Uważam ten rozdział rozprawy jako najbardziej istotny w osiągnięciach własnych doktoranta. W rozdziale tym doktorant potwierdził prawdziwość tezy postawionej na wstępie i udowodnił, że cele pracy zostały zrealizowane.

Rozdział 6. *Podsumowanie i wnioski* stanowi komentarz Autora do przeprowadzonych prac badawczych, projektowych i pomiarowych. Opisuje on oryginalne, najważniejsze osiągnięcia Autora rozprawy, a także przedstawia podsumowanie i wnioski. W rozdziale tym doktorant stwierdza, że cel pracy został zrealizowany, a teza rozprawy została udowodniona.

2. Ocena wyboru tematyki rozprawy

Podjęta w rozprawie problematyka odnosi się do coraz szybciej rozwijających się energoelektronicznych urządzeń zasilających, których zastosowania wkraczają w technologie plazmowe. Zasilacze reaktorów plazmowych GAD służą do przekształcania energii prądu elektrycznego, na energię plazmochemiczną, dopasowaną do potrzeb prowadzonego w reaktorze procesu.

Pomimo rozlicznych zastosowań reaktorów GAD, a także powszechnego istnienia zaawansowanej techniki impulsowej, można odnieść wrażenie, że brakuje typowych rozwiązań zasilaczy impulsowych wysokiej częstotliwości, które mogłyby zapewniać stabilną pracę generatorów plazmy nietermicznej GAD, cykliczny ich zapłon – bez konieczności implementacji dodatkowych, zewnętrznych systemów inicjujących wyładowanie.

Plazmowe techniki oczyszczania gazów pod ciśnieniem atmosferycznym ocenia się jako innowacyjne, skuteczne i tanie w implementacji oraz eksploatacji, w porównaniu do znanych z ubiegłego wieku metod filtracyjnych i chemicznych. Ograniczenie emisji do atmosfery zanieczyszczeń gazowych, ciekłych i stałych jest elementem strategii ochrony środowiska, a zanieczyszczenie powietrza można uznać za jeden z istotniejszych problemów współczesnego świata.

Biorąc pod uwagę znaczenie i potrzebę dynamicznego rozwoju tych urządzeń uważam, że wybór tematyki badań jest zasadny i właściwy, zarówno z powodów poznawczych, jak i aplikacyjnych. Wybrany temat rozprawy wychodzi naprzeciw zaspokojeniu potrzeb gospodarki, a wyniki dotychczasowych badań Autora rozprawy pokazują możliwości zastosowań praktycznych podnosząc rangę badań. Problematyka związana z realizowanym tematem jest aktualna. Znalazła ona odzwierciedlenie w tytule, który zrozumiale i komunikatywnie określa zawartość rozprawy. Zarówno analiza teoretyczna jak i wyniki zaprezentowane w rozprawie mogą być pomocne w projektowaniu nowoczesnych urządzeń zasilających reaktory plazmowe ze ślizgającym się wyładowaniem.

3. Uwagi do dyskusji

- Strona 25 i 26 równania od (2.2) do (2.9). Autor podaje wiele równań, które potem w rozprawie nie są wykorzystane ani w celach projektowych, ani w celu weryfikacji wyników symulacji lub badań eksperymentalnych. Proszę Autora o wyjaśnienie, w jakim celu podaje Autor te równania, skoro z nich potem nie korzysta.
- Strona 56, 2 linia od góry.

Jest: „...zastosowano szybkie tranzystory IGBT (IRG4PH40KPBF)”.

Na schemacie z rysunku 4.4 oraz 4.23 występują diody dołączone odwrotnie równoległe do tranzystorów IGBT. Tranzystor o wymienionym przez doktoranta typie nie ma wewnętrznych (zintegrowanych) diod odwrotnie równoległych. Doktorant nie wspomina o dołączeniu równoległe do tranzystorów innych, zewnętrznych diod. Czyżby tych diod nie było w zbudowanym przez Autora przekształtniku? Poza tym, dlaczego doktorant zastosował tranzystory serii „K”? Tranzystory serii „UD” (IRG4PH40UDPBF) mają zarówno niższe napięcie przewodzenia jak i mniejsze straty komutacyjne w analogicznych warunkach pracy. Proszę o wyjaśnienia.

- Strona 103, przedostatni akapit.
Jest: „Dla opisywanego zasilacza nie byłoby możliwym obniżenie częstotliwości do 9 kHz, w pełnym zakresie regulacji PWM, ponieważ nie pozwalają na to, zarówno zastosowany materiał rdzenia, jak i uzwojenia. Podobne ograniczenia napotyka układ przy częstotliwościach powyżej 26 kHz.”
Autor nie wyjaśnia przyczyn ograniczenia zakresu częstotliwości oraz w jaki sposób materiał rdzenia lub uzwojenia mają wpływ na ten zakres. Proszę o wyjaśnienia.
- Strona 103, przedostatni akapit.
Jest: „Zmiana uzwojenia pierwotnego transformatora wymaga precyzyjnego strojenia dwójników antyprzebiegowych RC, tak aby eliminowały tylko przebiegi niebezpieczne dla zaworów IGBT, a jednocześnie pozwalały na powstawanie przebiegów zapłonowych.”
Zdaniem recenzenta nie jest to prawdą. Można osiągnąć ten zamierzony cel znacznie prościej, bez „precyzyjnego strojenia dwójników antyprzebiegowych RC”. Proszę Doktoranta o wyjaśnienia, w jaki prostszy sposób można to osiągnąć.

4. Uwagi szczegółowe

- Strona 14 teza pracy.
Jest: „... kluczy IGBT ...” Nazwanie łącznika np. tranzystora słowem „klucz” używane jest w języku potocznym. Zdecydowanie korzystniej byłoby użyć sformułowania: tranzystorów IGBT zamiast „kluczy IGBT”.
Słowo „klucz” powtarza się wielokrotnie w treści całej rozprawy.
- Strona 28.
Autor przedstawia ogólnie znane właściwości różnych przekształtników. Po co charakteryzować wszystkie typy przekształtników i to w sposób elementarny, podany w każdym podręczniku z energoelektroniki? Po co pisać o komutacji sieciowej skoro projektowany i analizowany jest układ push-pull zasilany napięciem DC? Rozprawa byłaby bardziej interesująca, gdyby pominąć ogólniki.
- Strona 28, przedostatni akapit.
Jest: „Przetwarzanie energii w urządzeniu energoelektronicznym odbywa się przeważnie z udziałem procesów łączeniowych ...”. Wątpię w prawdziwość tego sformułowania. Słowo „przeważnie” nie powinno wystąpić w tym zdaniu.
- Strona 29, 4 linia od góry. Zła jest kolejność cytowań.
- Strona 29, 13 i 14 linia od góry.
Jest: „... na półprzewodnikowym elemencie ... wydziela się ciepło.”. Ciepło powstaje w elemencie a nie na elemencie. Błąd językowy.
- Strona 30, 9 linia od góry i 6 linia od dołu.
Jest: „przekształtników i przetwornic”. Są to (jak również wynika z treści pracy) określenia tych samych urządzeń. Nie ma więc sensu pisać „przekształtników i przetwornic”.
- Strona 33, od 7 do 10 linii od góry.
Jest: „System opisany w publikacji [84], testowano jako zasilacz trzech typów reaktorów: reaktora barierowego DBD, reaktora z wyładowaniem koronowym oraz

J. Mućko

reaktora z wyładowaniem ślizgającym się.”

W artykule jest napisane, że uzyskane wyniki porównano z wynikami uzyskanymi podczas innych procesów (w innych urządzeniach), a nie że robiono testy tego urządzenia z wyładowaniem DBD! Czy w układzie z napięciem stałym może być wyładowanie barierowe?

- Strona 33, ostatnie zdanie pierwszego akapitu.

Jest: „... mogące pracować przy wysokich napięciach, jednak brak elementów indukcyjnych, nadaje powielaczowi pewne charakterystyczne cechy techniczne ...”. Autor wprowadza w błąd. Jeśli urządzenie ma generować wysokie napięcie, to na wejściu powielacza znajduje się transformator, a więc element indukcyjny.

- Strona 33, 7 linia 2 akapitu.

Jest: „częstotliwością kluczowania”. Autor używa mowy potocznej.

- Strona 34, podpis pod rysunkiem 3.5.

Jest: „... z transformatorem i szeregowego obwodem rezonansowym ...”. W zdaniu występują dwa błędy językowe.

- Strona 36, linia 4 i 5 podrozdziału 3.3.

Jest: „...procesów łączeniowych, które występują na półprzewodnikowych przyrządach przełączających.”

Procesy łączeniowe nie występują na, lecz w przyrządach przełączających. Błąd językowy.

- Strona 38, podrozdział 4.1.

Jest: „energii sieciowej”, „wysokiej technologii”, „pętli sterowniczej”. Autor używa niepoprawnych, potocznych zwrotów.

- Strona 39, 3 linia od dołu.

Jest: „Jednotakty symetryczne”. Autor używa niepoprawnych określeń.

- Strona 40, 1 zdanie 3 akapitu.

Jest: „W topologii przeciwsoonej napięcie wyjściowe falownika U_s jest równe napięciu zasilania U_{in} .”

W takiej topologii występuje transformator i stwierdzenie Autora nie ma sensu, bo napięcie wyjściowe zależy wówczas od przekładni transformatora.

- Strona 40, 4 akapit.

Jest: „ W półmostku zasilanym przez napięcie U_{in} , napięcia: ... łącznika sterowanego U_r , ... stanowią połowę napięcia zasilania U_{in} .”

Nie jest to prawdą. Napięcie łącznika sterowanego U_r równe jest całemu napięciu zasilania, a nie jego połowie.

- Strona 40, od 6 do 9 linii od dołu.

Jest: „Topologia półmostkowa ma też kilka zasadniczych zalet: Napięcie na tranzystorach jest niskie ...”.

Stwierdzenie takie nie ma sensu. Komentarz jest taki sam jak do poprzedniej uwagi, ze strony 40 z 4 akapitu. Doktorant drugi raz popełnia ten sam błąd dotyczący zjawisk w omawianym układzie.

- Strona 41, linia od 1 do 5 od góry.

Jest: „Układy przeciwsoobne Są natomiast nieczęsto stosowane do zasilania

elektroniki cyfrowej, ponieważ powstające w nich przebiegi komutacyjne wymagają ograniczania i stanowią realne zagrożenie dla wrażliwej techniki mikroprocesorowej.”

Stwierdzenie doktoranta jest bezpodstawne. Czy jakiegokolwiek przebiegi będą występować po stronie wyjściowej przekształtnika (w tym przypadku mowa jest o przekształtniku DC/DC) zależy głównie od strony wyjściowej tego przekształtnika.

- Strona 41, pierwszy akapit podrozdziału 4.3.

Jest: „...napięć wstępujących do prostownika ...”. Doktorant używa dziwnych sformułowań nie spotykanych w literaturze z dyscypliny elektrotechnika.

- Strona 42, pierwszy akapit pod rysunkiem 4.3.

Jest: „... (Rys. 4.3) ...”. Autor rozpoczyna pisownię skrótu wyrazu rysunek dużą literą, pomimo że znajduje się on wewnątrz zdania. Uwaga ta dotyczy całego tekstu pracy.

- Strona 42, pierwszy akapit pod rysunkiem 4.3.

Jest: „ Numer 1 stanowi szyna AC/DC, w której znajdują się dwa główne człony układowe. Jest to prostownik ... oraz filtr ... oraz układ kontroli poziomu napięcia stałego.”

Nigdzie w literaturze fachowej nie spotkałem takiego określenia jak „szyna AC/DC”. Ponadto Autor pisze o dwóch członach, a wymienia trzy.

- Strona 42, 5 linia od dołu.

Jest: „ogniwa toru siłowego”. Ogniwo w elektrotechnice oznacza coś innego niż to, co opisuje Autor.

- Strona 43, 11 linia od dołu.

Jest: „W modelu wprowadzono sprzężenie magnetyczne, między stronami pierwotną i wtórną.”

Jest to prawdą, ale Autor powinien także napisać, że sprzężenie występuje również między sekcjami uzwojenia pierwotnego.

- Strona 46, 1 linia od góry, 3 linia od dołu, a także wielokrotnie w tekście całej rozprawy.

Jest: „częstotliwości sieciowej”, „częstotliwości głównej falownika”.

Są to niepoprawne sformułowania. Zamiast „częstotliwości sieciowej” powinno być – częstotliwości napięcia sieci. Nie wiadomo także co Autor miał na myśli pisząc „częstotliwości głównej falownika”? Czy falownik ma częstotliwość, czy raczej jego napięcie wyjściowe? Co oznacza słowo „głównej” w tym kontekście? Autor sugeruje, że mogą być także inne, np. pomocnicze „częstotliwości falownika”.

- Strona 48, podpis pod rysunkiem 4.9 oraz kilkakrotnie w tekście pracy.

Jest: „Skuteczność filtracji napięć na wyjściu szyny DC...”

W zdaniu brak jest sensu. Słowo „wyjściu” jest zbędne. Autor pisząc o „wyjściu szyny” sugeruje, że jest także „wejście szyny” z inną „skutecznością filtracji”.

- Strona 56, 1 i 2 linia od dołu.

Jest: „Emitery stopnia wyjściowego w tym układzie zostały wykorzystane do przeładowywania pojemności bramkowej tranzystora IGBT.”. Jest to stwierdzenie

nieprawdziwe i dziwne. Dlaczego Doktorant twierdzi, że emitery, skoro w tym procesie biorą udział całe tranzystory...

- Strona 57, 3 i 4 linia od góry.
Jest: „Dioda D4 – transil, dwukierunkowa, stanowi zabezpieczenie antyprzepięciowe bramki tranzystora przed skutkami przepięć w indukcyjności ścieżek obwodu PCB.” Autor zapomina o indukcyjnościach rozproszenia transformatora, które są w tym przypadku głównym źródłem energii wywołującej przepięcia. W szczególności dotyczy to przypadku, jak w modelu laboratoryjnym Autora, w którym uzwojenia pierwotne i wtórne znajdują się na różnych kolumnach transformatora.
- Strona 65, 3 linia od góry i 1 linia pod wzorem (4.4).
Podana wartość współczynnika wypełnienia z linii nr 3 nie odpowiada definicji zawartej pod wzorem (4.4). W pierwszym przypadku odniesiona jest ona do okresu, a w drugim do półokresu.
- Strona 66, cały akapit dotyczący wzoru (4.6).
Akapit ten oraz wzór (4.6) nie ma związku z treścią zawartą w pierwszym zdaniu tego akapitu, we wcześniejszych oraz następujących akapitach, które dotyczą rdzenia transformatora, a nie jego uzwojeń. Akapit ten oraz wzór (4.6) powinien znaleźć się w innym miejscu.
- Strona 68, podpis pod rysunkiem 4.39.
Jest: „transformatora na rdzeniu”. Jest to błąd językowy. Powinno być: transformatora z rdzeniem.
- Strona 75, 1 linia od dołu.
Jest: „zakłócenia pochodzące od reaktora”. Jest to niepoprawne sformułowanie. Zgodnie z normami dotyczącymi kompatybilności elektromagnetycznej powinno być: zaburzenia pochodzące od reaktora.
- Strona 76, 6, 7 i 15 linia od dołu.
Jest: „generacji polaryzacji”, „o kształcie rezonansu”. Są to sformułowania niepoprawne.
- Strona 94, podpis pod rysunkiem 5.24.
Jest: „Przebiegi chwilowych wartości napięcia prądu i mocy...”. Na rysunku nie pokazano przebiegu mocy. W podpisie pod rysunkiem jest także błąd interpunkcyjny.
- Strona 99, 2 i 3 linia od dołu, 4 linia pierwszego akapitu, podpis pod rysunkiem oraz tekst na rysunku.
Jest: „straty na elementach”. Błąd językowy. Doktorant powinien wiedzieć kiedy pisać „na” a kiedy „w”.
Jest: „straty pełnego otwarcia”, „mocy strat głównych”, „przekształtnika głównego”. Doktorant używa mowy potocznej, nie spotykanej w literaturze naukowej, choć występującej w popularno-naukowej. Zamiast „otwarcia” lub „zamknięcia” powinno się używać określeń: załączenia lub wyłączenia. Doktorant pisząc "moc strat głównych" lub „przekształtnika głównego” sugerował, że są jeszcze straty pomocnicze lub przekształtnik pomocniczy.
- Strona 100, 3 linia od góry.
Jest: „Do badań głównych ..”. Komentarz – jak powyżej.



5. Podsumowanie

Po zapoznaniu się z zakresem badań naukowych i wnioskami zawartymi w recenzowanej rozprawie uważam, że **wnosi ona istotny wpływ do problematyki energoelektronicznego przekształcania energii elektrycznej w zastosowaniach do generowania plazmy nietermicznej** – w reaktorach ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym. Uważam, że **dostrzeżone usterki nie mają dużego wpływu na ogólną, pozytywną ocenę pracy**. Dotyczą one przede wszystkim błędów redakcyjnych lub błędów spowodowanych niejednoznacznościami redagowanego tekstu pracy.

Zawarte w recenzowanej rozprawie rozważania teoretyczne i badania symulacyjne, potwierdzone wynikami badań eksperymentalnych, wskazują na szerokie możliwości ich praktycznego zastosowania. Autor wykazał się dużym zasobem wiedzy teoretycznej, szczegółową znajomością zagadnień objętych tematyką pracy oraz dobrą znajomością literatury specjalistycznej. Jego przygotowanie badawcze zaowocowało umiejętności wykorzystania specjalistycznego oprogramowania i aparatury pomiarowej. Wszystko to świadczy o zdolności Autora do prowadzenia badań naukowych pozwalających rozszerzyć wiedzę dotyczącą uprawianej dyscypliny naukowej.

Treść rozprawy jest zrozumiała, zawiera niezbędne sformułowania, zastosowana terminologia jest na ogół prawidłowa, a przyjęty spis oznaczeń, skrótów i symboli jest czytelny. Liczne rysunki ilustrują omawiane zagadnienia. Podsumowując należy stwierdzić, że badania przeprowadzone przez mgr inż. Piotra Krupskiego są celowe i przydatne zarówno w sensie poznawczym jak i dla gospodarki narodowej. **Stwierdzam, że postawiony w pracy cel, dzięki zastosowanym metodom badawczym i opracowaniu nowych rozwiązań technicznych został osiągnięty, a prawdziwość tezy udowodniona.**

Za oryginalne i najistotniejsze osiągnięcia Autora, które stanowią uzupełnienie współczesnej wiedzy z zakresu elektrotechniki uważam:

- wybór topologii przekształtnika i wykorzystanie jej fizycznych cech jako wartościowych w eksploatacji zasilaczy urządzeń plazmowych,
- sposób wykorzystania przebiegów komutacyjnych, celem poprawy właściwości zasilacza, które przekładają się na poprawny zapłon wyładowanie w reaktorze,
- dobór elementów obwodów zasilacza na podstawie symulacji i obliczeń,
- zaprojektowanie i wykonanie układu sterowania i obwodu mocy przekształtnika zasilającego reaktor,
- projekt i wykonanie reaktora na potrzeby badań,
- zaplanowanie i przeprowadzenie badań laboratoryjnych na zbudowanym stanowisku badawczym,
- dyskusję i ocenę otrzymanych wyników badań.

6. Wniosek

Przedstawione w rozprawie doktorskiej pt. *„Analiza współpracy przekształtnikowego układu zasilającego z miniaturowym generatorem plazmy nietermicznej”* zagadnienia



związane z analizą, badaniami i zastosowaniem tego typu urządzeń należy uznać za istotne pod względem naukowym, jak i w procesie ich projektowania.

Pan mgr inż. Piotr Krupski wykazał się dobrą znajomością badanych zagadnień oraz umiejętnością formułowania i rozwiązywania problemów naukowych.

Według mojej oceny, przedstawiona rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dn. 14 marca 2003 r. *o stopniach naukowych i tytule naukowym ...* (z późniejszymi zmianami) w odniesieniu do dyscypliny elektrotechnika. Wnioskuje o **dopuszczenie mgr inż. Piotra Krupskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej** przed Radą Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej.

Jan Mućko

