

Białystok, 29 maja 2014 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Sikorski
Katedra Energoelektroniki i Napędów Elektrycznych
Wydział Elektryczny Politechniki Białostockiej
ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok

Ocena rozprawy doktorskiej mgr. inż. Aleksandra Skały pt.:

"Falownik ZVS-1S w zastosowaniu do nagrzewania indukcyjnego"

(zlecenie z dnia 25.03.2014 r., na podstawie Uchwały Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej z dnia 20 marca 2014 r.)

1. Ogólna charakterystyka rozprawy, przedmiot i cel rozprawy

Przekształtniki rezonansowe DC/AC z miękkim przełączaniem stanowią podstawową grupę urządzeń wykorzystywaną w nagrzewaniu indukcyjnym. Z uwagi na wymagania dotyczące szybkości i głębokości nagrzewania proponowane rozwiązania idą w kierunku pracy przy wysokich częstotliwościach przebiegów wyjściowych w granicach od setek kHz do dziesiątek MHz. Zagadnienie sprawności przekształtników energoelektronicznych w dobie oszczędzania energii, w tym przekształtników pracujących przy częstotliwościach rzędu kilkuset kHz nabiera szczególnego znaczenia. Straty łączeniowe w elementach półprzewodnikowych mocy (tranzystorach), przy takich częstotliwościach, stanowią zdecydowaną większość strat. Stąd wynika konieczność ich ograniczania poprzez stosowanie miękkiego przełączania łączników (ZVS lub/i ZCS). Cechą charakterystyczną procesu nagrzewania indukcyjnego jest zmienność impedancji odbiornika, a zwłaszcza jego rezystancji w czasie procesu nagrzewania oraz parametrów obwodu rezonansowego na skutek zmiany między innymi temperatury odbiornika (wsadu). Utrzymanie wymaganych właściwości i charakteru rezonansowego obwodu wynika z konieczności utrzymania przełączania tranzystorów przekształtnika przy zerowym napięciu i/lub prądzie. Powoduje to określone ograniczenia na zmienności rezystancji czy też dobroci układu rezonansowego, którego integralnym elementem jest impedancja odbiornika i stanowi problem, który należy rozwiązać na etapie projektowania. Specyfiką układów rezonansowych jest cykliczność procesów dostarczania energii z zasilacza do obwodu rezonansowego i jej rozpraszania na jego elementach, a przede wszystkim na odbiorniku. Procesy te muszą zachodzić w układzie w niezakłóconym trybie, aby zachować optymalne (suboptymalne) warunki przełączania. Sterowanie układem polega na regulacji przepływem energii przy

utrzymaniu założonych (bezpiecznych) parametrów napięciowo-prądowych pracy urządzenia. Praca przy tak wysokich częstotliwościach oraz utrzymanie wysokiej sprawności urządzenia wymaga dokładnej regulacji częstotliwości i wypełnienia (czas załączenia tranzystora w okresie pracy układu). Zwłaszcza pozyskiwanie sygnałów napięcia i prądu do sprzężeń zwrotnych, przy tak krótkich czasach regulacji (wynikających z częstotliwości pracy), jest dość złożonym zadaniem. Problem sterowania wybranymi wielkościami i ich realizacja jest jednym z istotnych osiągnięć Autora pracy.

W niniejszej pracy Autor formułuje cel jakim „jest:

- 1) wybór i analiza wybranej topologii falownika w zastosowaniu do nagrzewania indukcyjnego,
- 2) przeanalizowanie możliwości technicznych dotyczących wykonania modelu falownika,
- 3) analiza pracy optymalnej falownika,
- 4) opracowanie koncepcji sterowania układem,
- 5) weryfikacja pracy i koncepcja sterowania na drodze symulacyjnej,
- 6) projekt układu (dobór parametrów i elementów oraz ocujnikowanie układu sterowania),
- 7) wykonanie i uruchomienie stanowiska laboratoryjnego, układu falownika napięcia ZVS-1S klasy E do zasilania nagrzewnicy indukcyjnej,
- 8) przeprowadzenie badań układu oraz opracowanie wyników i wniosków.”

Wybrany przez Autora układ przekształtnika rezonansowego ZVS-1S z jednym łącznikiem tranzystorowym jest najprostszą możliwą topologią szeroko opisaną w literaturze. W związku z tym trudno sobie wyobrazić, aby zrealizowanie przez Autora celów, zwłaszcza punktów 1, 2, 5, 6, mogłoby zapewnić spełnienie warunku jakiego powinna odpowiadać praca doktorska tzn. stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Punkty 7 i 8 mogą stanowić tylko dopełnienie realizacji celu naukowego (same z natury nie są rozwiązaniem problemu naukowego).

W pracy doktorskiej Autor proponuje budowę urządzenia (przekształtnika rezonansowego) do nagrzewania indukcyjnego, pracującego przy częstotliwości kilkuset kiloherców, przy komutacji ZVS i/lub ZCS w szerokim zakresie zmian rezystancji obciążenia. Opracowanie koncepcji sterowania w zamkniętym układzie regulacji impulsu sterującego tranzystorem, umożliwiającej optymalną komutację łącznika przekształtnika, z uwzględnieniem zmian obciążenia w szerokich granicach, może zapewnić, zdaniem recenzenta, sformułowanie i rozwiązanie problemu naukowego. Można więc stwierdzić, że w recenzowanej rozprawie Doktorant podjął aktualny, niebanalny z poznawczego punktu widzenia, problem badawczy, który potencjalnie ma istotne znaczenie praktyczne i który nie został dotychczas rozwiązany w sposób ostateczny i jednoznaczny.

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandra Skały liczy 145 stron i została zredagowana w 7 rozdziałach. Zdaniem recenzenta, przyjęty przez Autora układ treści rozprawy jest wystarczająco jasny i klarowny, podział rozprawy na rozdziały prawidłowy, a rozdziały: wstępny i końcowy zawierają właściwe treści. Szczegóły dotyczące obliczeń 3 metodami parametrów odbiornika, Autor mógłby zamieścić

w dodatku (na końcu rozprawy), nie zaburzając tym samym podstawowej struktury pracy.

Rozdział 1 recenzowanej rozprawy, oprócz przedstawienia celu i zakresu pracy, zawiera również przegląd tematyki badawczej, w której są umiejscowione problemy podjęte przez Autora i opisane w rozprawie. W tym rozdziale zostały również zaprezentowane zagadnienia związane z nagrzewaniem indukcyjnym i przekształtnikami służącymi do jego realizacji.

Rozdział 2, częściowo oparty na literaturze, prezentuje zasady działania (takty pracy) przekształtnika rezonansowego w różnych stanach pracy (praca optymalna, suboptymalna i nieoptymalna). Ponadto Autor wyznaczył w nim zależności opisujące względny czas przewodzenia tranzystora oraz względną częstotliwość jego przełączania dla pracy optymalnej w zależności od tłumienia (rodzaju wsadu).

Rozdział 3 składa się z dwóch części – w pierwszej (tj. podrozdziały 3.1 - 3.5) Autor przedstawia teoretyczne obliczenia (oparte na literaturze) parametrów obciążenia (wzbudnik – wsad) za pomocą 3 algorytmów. W drugiej części rozdziału Autor rozważa podstawowe zależności opisujące układ rezonansowy z tłumieniem oraz proponuje układ rozruchowy zapewniający bezpieczny start przy zachowaniu znamionowych parametrów elementów składowych układu.

W pierwszej części rozdziału 4 Autor opisał wyniki symulacji komputerowych przekształtnika przy różnych poziomach obciążenia i wpływ tłumienia na parametry sterowania podczas pracy optymalnej (potwierdzając w ten sposób wcześniejsze obliczenia). W drugiej części – przeprowadził dyskusję wyników symulacji dotyczących wpływu tłumienia i parametrów sterowania na sprawność, moc odbiornika i straty mocy na tranzystorze.

W kluczowym, ze względu na zawartość merytoryczną i istotne osiągnięcia Autora, rozdziale 5 przedstawiono założenia projektowe części silnopiękowej i zaproponowane algorytmy sterowania umożliwiające realizację sprzężeń zwrotnych niezbędnych do pełnego sterowania startem, długością impulsu i wyłączeniem tranzystora. Zaproponowano też rozwiązania układowe wybranych bloków sterowania, a poprawność ich działania - potwierdzono) wynikami symulacji.

W rozdziale 6 Autor przedstawił wszechstronne badania laboratoryjne zaprojektowanego i wykonanego przekształtnika (z różnymi pojemnościami kondensatora rezonansowego) współpracującego z zestawem różnych wsadów. Wyniki potwierdzają przeprowadzone analizy teoretyczne i symulacje komputerowe.

Pracę (rozdział 7) kończą podsumowanie i wnioski dokumentujące realizację celów i najważniejsze osiągnięcia Autora.

2. Ocena merytoryczna i wykaz najważniejszych osiągnięć Autora

Rozprawa stanowi oryginalne, w realizacji części sterującej, i kompletne rozwiązanie zagadnień badawczych, projektowych i konstrukcyjnych przekształtnika rezonansowego do nagrzewania indukcyjnego. Należy podkreślić, że praca została wykonana w pełnym cyklu badawczym, tj. od rozważań teoretycznych, poprzez

analizę i testy symulacyjne do zbudowania stanowiska laboratoryjnego i weryfikację doświadczalną. Cenne i oryginalne wyniki rozprawy to:

- opracowanie czterech wariantów sterowania tranzystorem układu rezonansowego umożliwiającego realizację sprzężeń zwrotnych niezbędnych do pełnego sterowania startem, długością impulsu i wyłączeniem tranzystora,
- realizacja eksperymentalna oraz propozycja rozwiązań układowych poszczególnych bloków funkcyjnych wybranej koncepcji układu sterowania,
- budowa przekształtnika wraz z układem sterowania zapewniającym pracę układu w warunkach pracy optymalnej (ZVS) dla różnych obciążeń (nagrzewanych wsadów) i bardzo dobrej dynamice zmienności parametrów sterowania w zależności od zmian parametrów obciążenia przy częstotliwościach pracy do ok. 750 kHz,
- symulacje komputerowe przekształtnika przy różnych poziomach obciążenia i tłumienia podczas pracy optymalnej oraz symulacje dotyczące wpływu tłumienia i parametrów sterowania na sprawność, moc odbiornika i straty mocy na tranzystorze,
- badania laboratoryjne układu:
 - przebiegi prądu obciążenia oraz prądu i napięcia tranzystora przy różnych odbiornikach i pojemnościach obwodu rezonansowego,
 - wyznaczanie przebiegów strat mocy na tranzystorze dla różnych przypadków obciążeń układu (różnych wsadów) i różnych pojemności kondensatora,
 - badania tłumienia dla przypadków jak wyżej,
 - stany przejściowe podczas zmian obciążenia oraz załączania i wyłączania sterowania.

Należy podkreślić, że Autor samodzielnie zaprojektował, zbudował i uruchomił układ przekształtnika rezonansowego do nagrzewania indukcyjnego pracujący z wysoką częstotliwością przełączania do 750 kHz. Uruchomienie takiego układu, przeprowadzenie badań symulacyjnych i doświadczalnych, a także opracowanie teoretyczne badanych zagadnień dowodzi, że Autor posiadał ogólną wiedzę teoretyczną i praktyczną w dyscyplinie naukowej „elektrotechnika”. Autor, w części dotyczącej realizacji sterowania ze sprzężeniami zwrotnymi w układzie pracującym z wysoką częstotliwością, rozwiązał samodzielnie dość trudne zagadnienie naukowe, odpowiednio sformułował założenia, wybrał i zastosował właściwe metody teoretyczne i doświadczalne oraz udokumentował to wynikami zamieszczonymi w rozprawie.

Ogólna ocena sposobu i jakości rozwiązania sformułowanych zadań badawczych jest pozytywna. Na uwagę zasługuje również fakt, że analizy teoretyczne i proponowane algorytmy sterowania zostały poparte dobrze udokumentowanymi w rozprawie, badaniami symulacyjnymi i testami laboratoryjnymi. Jednakże niektóre problemy i wątki nie zostały w rozprawie opisane w sposób dostatecznie dogłębny, przejrzysty i wyczerpujący. Bardziej szczegółowa lista elementów, które budzą pewne wątpliwości i komentarze recenzenta, została przedstawiona w kolejnym rozdziale recenzji.

3. Uwagi dyskusyjne i komentarze do rozprawy

Lektura rozprawy nasunęła szereg uwag i wątpliwości, przedstawionych poniżej i wymagających ustosunkowania się do nich Autora.

1. Swego rodzaju niedogodnością jest brak zwyczajowo zamieszczanych w monografiach spisów oznaczeń i skrótów.
2. Niezrozumiały brak numeracji wzorów w znacznej części pracy.
3. Autor nie podał w pracy parametrów oscyloskopu i sond pomiarowych, co nie pozwala ocenić wiarygodności pomiarów, zwłaszcza o charakterze ilościowym, a więc i obliczeń np. strat mocy i sprawności, które dokonano na podstawie oscylogramów.
4. W zdaniu na str. 16 Autor stwierdza „Załączenie tranzystora następuje podczas przewodzenia diody zwrotnej” co jest nieprawdą, prawdą jest natomiast, że tranzystor jest sterowany w tym czasie (ale nie załącza się!).
5. W zdaniu na str. 20 Autor pisze: „Widoczny jest znaczny wzrost odkształcenia prądu odbiornika przy zwiększeniu tłumienia obwodu” – na czym polega to odkształcenie i co jest jego miarą?
6. W jakim programie wykonano symulacje, których wyniki przedstawiono na rys 2.6 i 2.7 i czym się różnią (które są dokładniejsze i dlaczego?) od wyników wykonanych w IsSpice (rys. 2.8 i 2.9), dlaczego wykonano i zaprezentowano podwójne symulacje?
7. W rozdziale 3, w podrozdziałach 3.1 do 3.6 na 18 stronach (ok. 13% pracy doktorskiej) przedstawiono obliczenia parametrów schematu zastępczego układu wzбудnik - wsad za pomocą 3 metod. Autor, na podstawie literatury, stwierdza, że każdy z algorytmów jest dedykowany do określonych układów wsad – wzбудnik, przy czym żaden z nich nie pasuje dokładnie do rozważanego układu. Uznaje więc, że uśredni wyniki – dlaczego? Zaskakuje fakt, że w części merytorycznej pracy Autor poświęca tak dużo miejsca podstawieniom do zaczerpniętych z literatury wzorów, których wyników na tym etapie nie jest w stanie zinterpretować. Należałoby najpierw stwierdzić, który algorytm jest najlepszy (najbliższy rzeczywistości) i ewentualnie ten zamieścić w pracy – i to tylko w dodatku, jako że wkład Autora w algorytmy jest zerowy.
8. Wywód przeprowadzony w rozdziale 3.7 jest niezrozumiały.
 - O jakie doładowanie kondensatora na początku I taktu pracy chodzi (?), czy podczas pracy nieoptymalnej?
 - Skąd schemat zastępczy przedstawiony na rys. 3.10 (gdyby prąd tranzystora płynął przez kondensator w I etapie, to napięcie na nim zmieniałoby się!)?
 - Z czego wynika zależność na i_T (str. 49) ? Stała czasowa zmian prądu zależy od parametrów RL (2.1) a nie RC). W związku z powyższym poprawność dalszego wywodu stoi pod znakiem zapytania.
 - W zdaniu na str. 49 stwierdzono: „Ponieważ ilość energii.... można na tej podstawie oszacować ilość ciepła wydzielonej w jego strukturze i temperaturę jaką osiągnie...”). O jaką strukturę chodzi (o tranzystor)? Przedstawiony na

rys. 3.11 spadek napięcia dotyczy obwodu RLC, a więc energii rozpraszanej w rezystancji obciążenia, a nie w tranzystorze. Tak więc dalsze rozważania są niepoprawne.

- W zdaniu na str. 50 „Rozpatrując ...” Autor sugeruje, że podczas załączenia tranzystora energia dostarczana jest do kondensatora, co oznacza, że w tym czasie napięcie na kondensatorze zwiększałoby się. Nie potwierdzają tego wyniki symulacji przedstawione na rys. 2.6 – 2.9. Dlaczego energię wydzielaną w rezystancji obciążenia ($17,62 \mu\text{J}$ – wzór na W_c , czy $176,18 \mu\text{J}$ – wzór na Δt ?) Autor wykorzystuje do wyznaczania zmiany temperatury tranzystora? Z zależności na Δt na str. 50 wynika, że w czasie 1 sekundy temperatura wzrasta o ...?, w ciągu minuty o 195°C , a w ciągu 5 minut o blisko 1000°C ? Takie założenia to zbyt duże i niedopuszczalne przybliżenie.
 - Co to jest E w zależnościach na str. 51? Czy Autor wykorzystuje wyprowadzoną zależność na W_L (jaką wartość D wówczas przyjęto i dlaczego?) czy też korzysta z oszacowania z rys. 3.12 (gdzie ubytek energii dotyczy strat mocy w rezystancji obciążenia a nie w tranzystorze!)? Uwagi krytyczne dotyczące obliczenia przyrostu temperatury, wyznaczonej na podstawie zależności na str. 51, są podobne do tych, przedstawionych wyżej, dotyczących wyników przedstawionych na str. 50.
 - Z czego wynikają moce $P=40, \dots, 70\text{ W}$ przyjęte do wyznaczania temperatury tranzystora oraz jak uzyskano wykresy przedstawione na rys. 3.13? W jaki sposób Autor oszacował moc rozproszoną na poziome 45 W ?
Podsumowując rozważania w rozdziale 3.7, wobec licznych błędów, niezrozumiałych założeń i nieprawidłowości, należy stwierdzić, że nie przedstawia on większej merytorycznej wartości.
9. Ile wynoszą wartości parametrów R_o , L_o , C w symulacjach układu z rys. 3.14 i które parametry obwodu powodują drgania przedstawione na rys. 3.15?
10. W rozdziale 3.8 Autor analizuje sposób rozruchu układu rozważając zastosowanie dodatkowych elementów R i L w różnych konfiguracjach. W efekcie tych rozważań Autor decyduje się na szeregowo połączenie L, R, zapewniające spełnienie stawianych wymagań dotyczących czasu rozruchu oraz maksymalnych napięć i prądów. Następnie na rys. 3.25 przedstawiono kompletny układ rozruchowy (ze sterowaniem) gdzie dołożono dodatkową, niezbędną z uwagi na poprawną pracę, diodę zwrotną, która zmienia charakter przebiegów w stanie przejściowym. Szkoda, że Autor nie zamieścił ostatecznych przebiegów zmodyfikowanego obwodu rozruchowego. Ponadto na str. 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, na rysunkach 3.15, 3.16, 3.18, 3.20, 3.21, 3.23, 3.24 – o ile liczbowa skala prądu i napięcia kondensatora jest poprawna, o tyle do napięcia sterującego u_{GS} nie pasuje na pewno. Na rys. 3.24 błędnie oznaczono prąd obciążenia symbolem i_c zamiast i_o .
11. W rozdziale 4.3 Autor przedstawia szereg wyników symulacji dotyczących: sprawności (strat), tłumienia, mocy wyjściowej, współczynnika wypełnienia, okresu sterowania, w różnych konfiguracjach. Mankamentem tych symulacji jest brak informacji, które elementy są stałe, co sprawia problem w ocenie wniosków

Autora. Ponadto Autor szczególną uwagę przykładła do strat mocy załączania, podczas gdy straty wyłączenia, na podstawie wyników symulacji (rys. 4.2 – 4.5), są istotniejsze i większe (niezerowy prąd i napięcie tranzystora podczas wyłączenia). Na początku rozdziału 4.3 Autor przyjmuje założenie, że moc strat jest równa mocy dostarczonej do układu, pomniejszonej o wartość średniej mocy czynnej odbiornika, co sugeruje, że Autor wykorzystuje to założenie do wyznaczenia sprawności. Szkoda, że Autor nie wykorzystuje możliwości symulacyjnych do wyznaczenia strat w elementach (przez wymnożenie chwilowego napięcia i prądu i uśrednienie za okres), co z drugiej strony mogło by też stanowić weryfikację przyjętego założenia. Autor szczegółowo omawia poszczególne wykresy przy czym wnioski mają charakter cząstkowy. Przedstawione wyniki symulacje powinny kończyć się wnioskami dotyczącymi sposobu sterowania układu rzeczywistego, czego zabrakło w konkluzji rozdziału.

12. Na jakiej podstawie ocenia Autor dokładność regulacji z „dokładnością do pojedynczych miliwoltów” (str. 78 w16g), a więc z dokładnością do setnych procenta (jak się to ma do dokładności pomiaru napięć u_c i U_d)?
13. Co oznacza sformułowanie „stopień kompensacji mocy rozproszenia w układzie ustala regulator napięcia na tranzystorze, wydłużając lub skracając czas przewodzenia łącznika” (str. 79 w1g)?
14. W rozdziale 6.2.1 Autor prezentuje szereg wyników (24 oscylogramy) przy różnych zmiennych parametrach w tym: różnych napięciach zasilających (zasada doboru poziomu tych napięć nie została podana), różnych pojemnościach „dla 4 dobranych pojemności” (str. 96 w2d) nie wiadomo na jakich zasadach? Wsady są różne (co zrozumiałe), jednakże jakie jest kryterium regulacji częstotliwości – nie podano, skale przebiegów – nieznanne. Po tak dużej ilości oscylogramów można by się spodziewać wniosków dotyczących zasad doboru parametrów obwodu (napięcia zasilania, pojemności kondensatora). Kolejny rozdział 6.2.2 to następne 12 stron oscylogramów (72 oscylogramy), drgań swobodnych obwodu rezonansowego z różnymi wsadami, dokumentujących elementarny sposób wyznaczania zastępczych parametrów L_o , R_o . Wydaje się, że końcowa tabela wyników, ewentualnie zilustrowana jednym przykładowym kompletem oscylogramów, byłaby wystarczająca. Wniosek o zgodności wyników pomiarów L_o , R_o z wynikami obliczeń metodą oporów wniesionych (tab. 3.6) stawia w zaskakującym świetle decyzję Autora, że w pierwszej części pracy „do dalszych rozważań i symulacji przyjętouśrednione wartości ..” (str. 43 w4d) z 3 algorytmów w tym z jednego zdecydowanie odbiegającego od 2 pozostałych. Cztery tabele wyników (str. 116-117) i znowu brak wniosków w jaki sposób dalej je wykorzystać.

Ponadto tekst rozprawy zawiera szereg niżej przedstawionych drobnych błędów (przede wszystkim redakcyjnych) i uchybień.

- Pisanie liczb z dokładnością np. 5 cyfr nie ma uzasadnienia technicznego i metrologicznego, a już zapis „ok. 2,6085” (str. 20, w5g) jest kuriozalny.

- W znaczącej części pracy Autor popełnia błąd składni polegający na wyliczaniu po dwukropku w formie podpunktów rozpoczynających się wielką literą (czasami w podpunktach jest kilka zdań) np. str. 16, 21, 26, 92, 135.
- W zdaniu na str. 20 Autor pisze: „Widoczny jest znaczny wzrost odkształcenia prądu odbiornika przy zwiększeniu tłumienia obwodu” – na czym polega to odkształcenie i co jest jego miarą?
- Brak numeracji wzorów w rozdziale 3 za wyjątkiem 4 zależności na str. 32.
- Str. 29, w15g – nie podano numeru tabeli.
- Str. 29, w6d – o co chodzi z numeracją tabel (Tab. T1 – Tab. T5) i gdzie je umieszczono?
- Str. 43 w7g – w tekście są oznaczenia R_0 , L_0 , a na rys. 3.6 i dalszej części podrozdziału 3.6.1 używane są oznaczenia R , L .
- Str. 44 w6g raczej powinno być „stąd” zamiast „Stąd”.
- Str. 44 w10d powinno być „otrzymano” zamiast „Otrzymano”.
- Str. 44 w8d powinno być „czyli” zamiast „Czyli”.
- Str. 44 w2d powinno być „w której” zamiast „W której”.
- Str. 45 w6g powinno być „a” zamiast „A”.
- Str. 45 w8g powinno być „ostatecznie” zamiast „Ostatecznie”.
- Str. 45 w12g powinno być „rys. 3.7” zamiast „Rys.3.7”
- Str. 46 w2g we wzorze powinno być „>” zamiast „<”.
- Str. 46 w1d tym razem w tekście występują oznaczenia R , L , a na rys. 3.8 występują R_0 , L_0 i dalej we wzorach R , L .
- Str. 65 w1d – zbędne „oraz”.
- Str. 68 w10g – powinno być „pokazano”.
- Str. 74 w7g – zbędne „oraz”.
- Str. 74 w13g – powinno być „ $\text{tg}\delta$ ”
- Str. 75 w5g – powinno być „rys. 5.2”.
- Str. 78 w11d – niepoprawna składnia zdania „W opisanych tutaj układachrezonansowym”.
- Str. 91. Najdłuższe zdania: 8 linijek, rekord !!!
- Str. 93 rys. 6.2 a i b – brak opisu wszystkich oznaczeń oraz skali przebiegów na oscylogramach.
- Str. 97 – 100, 104 – 115, 119 - 124 – brak skali przebiegów na wszystkich oscylogramach.
- Str. 118 w13d - Autor stwierdza, że „Moc strat elektrycznych.... wyznaczono na podstawie rejestracji przebiegów prądu i napięcia na tranzystorze, a następnie ich scałkowaniu...” – chyba należy najpierw wymnożyć prąd przez napięcie, a potem ... uśrednić za okres całość mocy chwilowej”?
- Str. 125 rys. 6.71 – czego dotyczy granatowy wykres „ η rdz1”?

- Podpisy pod rysunkami raz z kropką na końcu lub bez niej.
- W pracy jest mnóstwo błędów interpunkcyjnych.
- Autor rzadko używa przecinków wydzielających zdania podrzędne.
- Jednostki powinny być jednolicie pisane tj. ze spacją po liczbie np. 10 A.

Wobec tak dużej ilości błędów należy uznać, że redakcja pracy jest niestaranna.

4. Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej

Doktorant podejmuje problem o niewątpliwie istotnym znaczeniu praktycznym. Wnosi oryginalny wkład intelektualny w postaci sterowania w zamkniętym układzie regulacji przekształtnika rezonansowego do nagrzewania indukcyjnego. Tak zrealizowane sterowanie rozszerza zakres dopuszczalnych zmian rezystancji obciążenia (wsadu) przy zachowaniu miękkiego przełączania i dopuszczalnych wartości prądu i napięcia elementów składowych przekształtnika. Przeprowadza również symulacje działania zaproponowanych algorytmów sterowania i działania przekształtnika oraz praktycznie weryfikuje swoje propozycje. Zdaniem recenzenta Autor zrealizował sformułowane cele.

Opiniowana rozprawa mgr. inż. Aleksandra Skały pt.: **"Falownik ZVS-1S w zastosowaniu do nagrzewania indukcyjnego"** stanowi oryginalne i samodzielne rozwiązanie ważnego technicznie i nie trywialnego teoretycznie problemu badawczego. Świadczy to o dobrym przygotowaniu Autora, w zakresie energoelektroniki i elektroniki.

Stwierdzam, że opiniowana praca spełnia w dostatecznym stopniu warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 13 pkt.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595 z późn. zm.) oraz stosownych rozporządzeniach i przepisach wykonawczych.

Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Aleksandra Skały do publicznej obrony przed Radą Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej.

