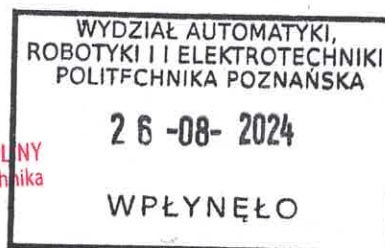


Białystok, 16 sierpnia 2024 r.

Prof. dr hab. inż. Andrzej Sikorski
Zakład Energoelektroniki i Napędu Elektrycznego
Wydział Elektryczny Politechniki Białostockiej
ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok

PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
prof. dr hab. inż. Wojciech Szeraąg



Ocena rozprawy doktorskiej mgr. inż. Przemysława Jana Siwka pt.:

” Analiza i sterowanie napędem PMSM zasilanym z bezpośredniego przekształtnika matrycowego typu Quasi-Z-Source”

(zlecenie z dnia 25.06.2024 r., na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej z dnia 18.06.2024 r.)

1. Ogólna charakterystyka rozprawy, przedmiot i cel rozprawy

Tematem opiniowanej pracy doktorskiej jest system zasilania i sterowania układu napędowego z silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych (PMSM), zasilanego z bezpośredniego przekształtnika częstotliwości - przekształtnika matrycowego (*direct matrix converter* DMC) z pośredniczącym przekształtnikiem typu Quasi-Z-Source (QZS). Takie rozwiązanie ma być między innymi metodą zwiększenia odporności maszyny na zapady napięcia w sieci zasilającej. Zastosowanie przekształtnika matrycowego jako dwukierunkowego zasilacza układu napędowego ma przede wszystkim uprościć strukturę zasilania i podwyższyć jego sprawność (jednostopniowe przetwarzanie energii) w stosunku do powszechnie stosowanych dwustopniowych zasilaczy w postaci przekształtników AC/DC i DC/AC.

Zgodnie z przedstawionymi przez Autora w pracy wynikami zapady napięcia o niewielkiej wartości (do 80-90%) stanowią ok. 80% wszystkich zdarzeń zapadów, w większości trwających od 0,5 s do 2 s. Jeśli urządzenie (napędowy przekształtnik energoelektroniczny) nie jest odporny na takie zdarzenia, to zwykle następuje jego programowe wyłączenie. Powoduje to oczywiście dodatkowe straty ekonomiczne związane z przerwami w produkcji. Stąd też istnieje potrzeba umożliwienia pracy urządzeń przy obniżonym napięciu zasilania.

Przekształtnik matrycowy typu AC/AC pozwala bezpośrednio zamieniać przemienne napięcia sieci zasilającej AC na również przemienne napięcie wyjściowe o regulowanych parametrach amplitudy i częstotliwości bez pośredniczącego obwodu napięcia stałego. Zbudowany jest jako macierz dwukierunkowych łączników energoelektronicznych, zdolnych do kojarzenia każdej fazy obciążenia z dowolną fazą sieci zasilającej. Charakteryzuje się sinusoidalnym prądem wejściowym i

wyjściowym, dwukierunkowym przepływie energii, a także możliwością sterowania współczynnikiem mocy na wejściu. Jego wadą jest obniżone napięcie wyjściowe do 0,866 krotności napięcia zasilania. Tak więc pomimo swoich niezaprzeczalnych walorów przekształtnik MC posiada wadę w postaci obniżenia maksymalnej wartości pierwszej harmonicznej napięcia na wyjściu. Powoduje to, że mnie więcej w tym samym procencie obniżona jest maksymalna prędkość obrotowa silnika zasilanego z przekształtnika MC. O ile obniżenie napięcia zasilającego nie musi stanowić problemu podczas pracy napędu przy niższych prędkościach obrotowych to osiągnięcie maksymalnej wartości staje się niemożliwe. Te dwie przyczyny obniżenia pierwszej harmonicznej napięcia tj. do ok. 87% w przekształtniku MC i dodatkowe jej obniżenie na skutek zapadów napięcia i ich eliminacja stały się głównym celem pracy doktorskiej.

Autor w swojej pracy doktorskiej zaproponował dodanie do napędu z przekształtnikiem DMC odpowiednio sterowanego modułu Quasi-Z-Source, który umożliwił podniesienie napięcia i w ten sposób stanowi rozwiązanie obu problemów. Zrealizował sterowanie napięciem QZS na dwa sposoby: w pętli otwartej oraz w pętli zamkniętej. Sterowanie w pętli zamkniętej z możliwością pracy układu w oknach czasowych zbliżonych do stałych czasowych obiektu jest istotnym osiągnięciem naukowym Autora. Układ regulacji automatycznej wymaga informacji o zmiennych stanu związanych z sterowaniem w tym napięć wyjściowych QZS. Zrealizowano ich pomiar poprzez odpowiednią synchronizację chwili pomiaru w czasie okresu zmiany silnie odkształconych napięć trójfazowych i transformację ich do wirującego układu odniesienia dq .

Przeprowadzono symulacje pracy napędu w różnych warunkach: bez i ze zwiększeniem napięcia, a także bez i z obciążenia w stanach: statycznym i dynamicznych (rozruch, nawrót, hamowanie). W badaniach sprawdzono reakcję przekształtnika na skokowe zmiany napięcia zadanego przekształtnika QZS. Wyniki symulacji potwierdziły, że układ jest nieliniowy i jego odpowiedź zależy od wartości wzrostu napięcia. W celu weryfikacji możliwości sterowania napięciem QZS w czasie krótszym niż pojedynczy okres sinusoidy napięcia sieci, zastosowano regulator typu PI. Przeprowadzone badania potwierdziły zdolność systemu do szybkiego działania i skutecznego sterowania napięciem QZS w celu reakcji napędu na zapady napięcia sieci. Zgromadzone w trakcie symulacji doświadczenia umożliwiły wykonanie projektu stanowiska laboratoryjnego, a następnie jego realizację. Zaimplementowano również algorytmy sterowania przekształtnikiem oraz zaproponowane metody regulacji napięcia przekształtnika QZS. Na stanowisku laboratoryjnym przeprowadzono testy pracy napędu w stanach statycznych i dynamicznych, podobnie jak w symulacjach. Przygotowano dane testowe w postaci skoków jednostkowych, które po odpowiedniej normalizacji wykorzystano w narzędziu Ident w środowisku MATLAB do identyfikacji transmitancji modelujących obiekt. Proces ten pozwolił na znalezienie modeli transmitancyjnych i dalszą analizę danych. Badania eksperymentalne potwierdziły nieliniowy charakter obiektu, zależny od współczynnika wzmocnienia napięciowego przekształtnika QZS. W związku ze zmiennością parametrów obiektu zdecydowano się na zastosowanie przestrajalnego regulatora

typu PI z zapisanymi w tablicy wartościami wzmocnień. Przeprowadzono test, w którym napęd miał utrzymywać prędkość zadaną bliską prędkości maksymalnej, jaka była możliwa dla danego napięcia zasilania. Test został dostosowany do ograniczeń wynikających z konstrukcji układu. Napęd został również sprawdzony w warunkach ciągłego zapadu napięcia i zgodnie z przewidywaniami, poprawnie utrzymywał prędkość znamionową.

Pewien niedosyt budzi brak badań symulacyjnych i laboratoryjnych przedstawiający pracę napędu podczas zapadów napięcia, jakie występują w realnych warunkach tj. przy wymuszeniu stałej wartości napięcia na wyjściu przekształtnika QZS i skokowych zmianach napięcia zasilania poniżej wartości nominalnej. W tych warunkach należało by przeprowadzić testy wskazujące na poprawne działanie przekształtnika QZS w stanach statycznych i dynamicznych (potwierdzenie poprawnej identyfikacji obiektu) oraz podczas stanów przejściowych napędu (rozruch, napęd, hamowanie).

W rozprawie Autor zaprojektował strukturę i algorytmy regulacji umożliwiające sterowanie napięciem wyjściowym z bezpośredniego przekształtnika matrycowego typu Quasi-Z-Source, zasilającego napęd PMSM, w celu poprawy jakości regulacji prędkości napędu podczas zapadów napięcia zasilania. Struktura ta powinna umożliwiać sterowanie napięciem przekształtnika QZS w czasie krótszym niż jeden okres sinusoidalnego napięcia sieciowego, co stanowi czas trwania najkrótszych zapadów napięcia wymienianych w literaturze.

W związku z powyższym Autor zaproponował udowodnienie tezy, że: „odpowiednie sterowanie modułem Quasi-Z-Source umożliwia poprawę jakości regulacji prędkości podczas zapadów napięcia zasilania w napędzie z PMSM zasilanym za pomocą bezpośredniego przekształtnika matrycowego z modułem Quasi-Z-Source”. Udowodnienie jej prowadziło poprzez realizację postawionego przez Autora celu rozprawy cyt. „opracowanie struktury, algorytmów sterowania i budowa układu napędowego PMSM zasilanego z bezpośredniego przekształtnika matrycowego typu Quasi-Z-Source o zwiększonej odporności na zapady napięcia zasilania”. Cel został osiągnięty poprzez realizację celów częściowych sformułowanych przez Autora tj.:

- przegląd literatury dotyczący metod zabezpieczania napędów elektrycznych przed zapadami napięcia, analiza metod stabilizacji napięcia wyjściowego z QZSDMC i ich krytyczna ocena,
- opracowanie struktury układu automatycznej regulacji napięcia wyjściowego z QZSDMC,
- weryfikacja opracowanej struktury i algorytmów sterowania na modelu symulacyjnym,
- zaprojektowanie, budowa i uruchomienie modelu przekształtnika QZSDMC,
- weryfikacja eksperymentalna struktury i algorytmów sterowania modelu laboratoryjnego.

Można więc stwierdzić, że w recenzowanej rozprawie Autor podjął aktualny, niebanalny z poznawczego punktu widzenia problem badawczy, który ma istotne znaczenie praktyczne i który nie został dotychczas rozwiązany w sposób ostateczny

i jednoznaczny.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Przemysława Jana Siwka zawiera 131 stron i została zredagowana w 5 rozdziałach, spisie literatury oraz dwóch załącznikach. Zdaniem recenzenta przyjęty przez Autora układ treści rozprawy jest wystarczająco jasny i klarowny, podział rozprawy na rozdziały - prawidłowy, a rozdział wstępny i końcowy zawierają właściwe treści.

Rozdział 1 recenzowanej rozprawy (Wstęp, 38 stron), oprócz opisu motywacji do podjęcia badań zawiera również przegląd tematyki badawczej, w której są umiejscowione problemy podjęte przez Autora i opisane w rozprawie, przegląd literatury oraz tezę, cel i zakres pracy. W 7 podrozdziałach Autor przedstawił zagadnieniami automatyki i sterowania PMSM, napędy z PMSM, przekształtniki AC/DC/AC, przekształtniki AC/AC, uszkodzenia elektryczne sieci, zapady napięcia w napędach elektrycznych, sterowanie napięciem silnika zasilanego przez bezpośredni przekształtnik matrycowy zasilany z układu quasi Z-source (QZSDMC).

W rozdziale 2 Autor zaproponował układ sterowania napędem PMSM z QZSDMC. Przedstawił dobór regulatorów prądu i prędkości oraz kluczową dla układu regulacji metodę pomiaru napięcia pomiędzy przekształtnikami QZS a DMC. Przedstawił wyniki symulacji układu napędowego w stanach ustalonych i dynamicznych podczas rozruchu, nawrotu i hamowania napędu w różnych układach regulacji napięcia wyjściowego przekształtnika QZS (bez zwiększania napięcia, ze zwiększaniem w układzie otwartym i zamkniętym). Ponadto przedstawiono pracę napędu z QZSDMC w trakcie występowania zapadów napięcia sieciowego.

Kluczowym dla potwierdzenia rozważań teoretycznych jest rozdział 3, w którym Autor zaprezentował zbudowany model laboratoryjny układu napędowego PMSM zasilanego z bezpośredniego przekształtnika matrycowym typu Quasi-Z-Source.

W rozdziale 4 Autor przedstawił i omówił wyniki badań laboratoryjnych wykonanych na rzeczywistym stanowisku napędu z PMSM zasilanym z QZSDMC w trakcie typowego dla takich układów cyklu pracy napędu (zbliżonych do warunków symulacji). Znaczną część rozdziału poświęcono poszukiwaniu modeli matematycznych regulacji tego napięcia i opracowaniu jego regulatora. Przedstawiono efekty działania tradycyjnego regulatora PI (ze stałymi nastawami) oraz zaproponowanego regulatora przestrajanego. W ostatniej części rozdziału przeanalizowano pracę napędu QZSDMC w trakcie występowania zapadów napięcia sieciowego.

Wnioski i podsumowanie tej pracy znajdują się w rozdziale 5. Autor przedstawił analizę wyników i swoich osiągnięć podczas realizacji pracy. Zamieścił konkluzję o zrealizowaniu celu i potwierdzeniu tezy, zaproponował dalsze kierunki badań i możliwe zastosowania praktyczne opracowanych struktur sterowania.

2. Ocena merytoryczna i wykaz najważniejszych osiągnięć Autora

Rozprawa stanowi oryginalne i kompletne rozwiązanie zagadnień badawczych, projektowych i konstrukcyjnych związanych z realizacją układu napędowego z silnikiem PMSM zasilanego z przekształtnika matrycowego z pośredniczącym

przekształtnikiem QZS. Należy podkreślić, że praca została wykonana w pełnym cyklu badawczym, tj. od opracowania teoretycznego, poprzez analizę i testy symulacyjne, do zbudowania stanowiska laboratoryjnego i jego badania.

Za oryginalne i cenne własne osiągnięcia o charakterze naukowym uważam następujące wyniki rozprawy:

- 1) opracowanie modelu symulacyjnego przekształtnika QZSDMC i jego badania umożliwiające obserwację nieliniowego charakteru pracy układu podwyższającego napięcia na wyjściu przekształtnika QZS,
- 2) opracowanie metody pomiaru i transformacji napięcia wyjściowego z przekształtnika QZS umożliwiającej uzyskanie pojedynczej zmiennej stanu będącej sumą informacji ze wszystkich trzech faz przekształtnika,
- 3) zaprojektowanie, budowa i oprogramowanie sterownika stanowiska laboratoryjnego do badania napędu z PMSM zasilanym z bezpośredniego przekształtnika matrycowego typu Quasi-Z-Source,
- 4) identyfikacja występowania nieliniowości w układzie sterowania napięciem QZS i potwierdzenie na zbudowanym stanowisku laboratoryjnym,
- 5) opracowanie przestrajalnego regulatora PI do sterowania napięciem QZS i weryfikacja jakości jego pracy na zbudowanym stanowisku laboratoryjnym,
- 6) analiza działania układu sterowania napięciem QZS w oknie czasowym o długości zbliżonej do stałych czasowych obiektu.

Należy podkreślić, że Autor zaproponował nowe rozwiązania dotyczące pomiaru i sterowania napięcia wyjściowego przekształtnika QZS w stosunku do innych znanych rozwiązań układów, a także zidentyfikował nieliniowości w jego regulacji i zaproponował skuteczne sterowanie przestrajalnym regulatorem PI. Problem regulacji napięcia wyjściowego przekształtnika QZS wynika z zmienności jego napięcia związanej z wykorzystywaną modulacją PWM i rezonansowym charakterem obwodu przekształtnika QZS. Zastosowanie filtracji w tej sytuacji wprowadziłoby przesunięcie fazowe i amplitudowe, które uniemożliwiają zastosowanie takiego sposobu uzyskania i wykorzystania podstawowej harmonicznej napięcia w zamkniętym układzie regulacji. Stąd zaproponowany przez Autora sposób pomiaru stanowi kluczowe znaczenie dla skutecznej regulacji napięcia wyjściowego przekształtnika QZS. Kolejnym istotnym elementem układu regulacji jest dobór regulatora. Na szczególną uwagę zasługuje zaproponowana przez Autora metoda identyfikacji obiektu nieliniowego jakim jest regulacja napięcia przekształtnika QZS oraz doboru przestrajalnego regulatora PI. Autor udowodnił skuteczność jego działania na rzeczywistym obiekcie.

Pewną wadą opracowanego rozwiązania jest sposób sterowania przekształtnika matrycowego, który dopuszcza możliwość sterowania przy jednostkowym współczynniku mocy na wejściu, a czego nie wykorzystano (brak dowodów) w jego sterowaniu. Swego rodzaju niedosyt budzi również brak badań, co najmniej symulacyjnych, dotyczących realnych warunków pracy, dla których realizowano układ tj. stabilizacji napięcia niezbędnego do osiągnięcia maksymalnej prędkości obrotowej napędu przy zapadach napięcia sieci (skokowych jego zmianach o różnej

założonej amplitudzie). Udowodniłoby to ponad wszelką wątpliwość skuteczność działania regulatora i stabilność układu regulacji w realnych warunkach pracy.

Ogólna ocena sposobu i jakości rozwiązania sformułowanych zadań badawczych jest niewątpliwie pozytywna. Na uwagę zasługuje również fakt, że analizy teoretyczne i zaproponowany algorytm zostały poparte wszechstronnymi, dobrze udokumentowanymi w rozprawie, testami laboratoryjnymi. Jednakże, jak w każdej pracy naukowej, niektóre problemy i wątki nie zostały w rozprawie opisane w sposób dostatecznie dogłębny, przejrzysty i wyczerpujący. Szczegółowa lista fragmentów, które budzą pewne wątpliwości i komentarze recenzenta, została przedstawiona w kolejnym rozdziale recenzji.

3. Uwagi dyskusyjne i komentarze do rozprawy

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

1. W dysertacji Autor jako jeden z podstawowych problemów, które stara się rozwiązać, zdefiniował odporność układu napędowego na zapady napięcia sieci powodujące spadek prędkości obrotowej silnika. Problem ten należy rozwiązać poprzez stabilizację napięcia zasilającego przekształtnik matrycowy, a więc poprzez utrzymanie tego napięcia na znamionowym poziomie podczas zapadów napięcia zasilającego sieci zasilającej (skokowych spadków i wzrostów napięcia sieci poniżej napięcia znamionowego). Należałoby więc prowadzić badania nad regulacją napięcia wyjściowego przekształtnika QZS przy stałym napięciu referencyjnym na wyjściu i obniżającym się napięciu zasilającym w określonym zakresie i przy skokowych zmianach. W pracy Autor analizował i badał (symulacyjnie i doświadczalnie) sytuację odwrotną, a więc skokowo zmieniał wartość zadaną napięcia, przy stałym napięciu zasilającym, do wartości ok. 200 V w symulacjach (rys. 2.14, 2.15, 2.16) i ok. 45 V w badaniach laboratoryjnych (rys. 4.10, 4.17) w sytuacji gdy znamionowa wartość napięcia zasilającego przekształtnik DMC wynosiła 24 V (tab. 3.3). Dlaczego nie wykonano badań układu przy stałym wyjściowym napięciu zadanym przekształtnika QZS i zmiennym napięciu sieci?
2. Z wyżej opisanym problemem wiąże się pytanie, czy wobec identyfikacji parametrów układu napędowego podczas skoków napięcia w innym zakresie napięć wyjściowych niż praca nominalna, jego parametry zostały określone poprawnie, a regulator dobrany na ich podstawie będzie skuteczny i stabilny podczas pracy przekształtnika w rzeczywistych warunkach tj. podczas stabilizacji napięcia na wyjściu przekształtnika QZS i zapadach napięcia zasilającego?
3. Z lektury rozdziału 1.4.1 wynika, że sterowanie przekształtnika powinno zapewnić jednostkowy współczynnik mocy (zależność 1.25 i dalsze) na wejściu. Autor nie zamieścił ani oscylogramów z badań ani wyników symulacji, które świadczyłyby o spełnieniu tego warunku ($\cos Q = 1$). Proszę przedstawić co najmniej wynik symulacji jednego prądu (i_A) i odpowiadającego mu napięcia (u_A) jak na rys. 2.8, 2.12, w oknach czasowych umożliwiającym sprawdzenie współfazowości prądu i napięcia lub jej braku przed i podczas rozruchu, w ustalony stanie pracy,

- podczas nawrotu przy dodatniej i ujemnej prędkości oraz podczas hamowania. Czy można podobne wyniki badania pokazać w odniesieniu do rys. 4.9?
4. Proszę podać parametry znamionowe silnika, współczynnik k_F , f_0 podczas symulacji, których brak w tab. 2.1 - 2.3.
 5. Na rys. 2.3 błędnie opisano drugi od góry wynik symulacji jako $U_{A'B'C'}$ podczas gdy jest na nim jedno napięcie i sygnał po jego spróbkowaniu i ekstrapolacji zerowego rzędu (jak się wydaje). Na trzecim wyniku symulacji przedstawiono trzy napięcia $U_{A'B'C'}$, a jedno z nich powinno odpowiadać temu powyżej, które z nich?
 6. Str.43 w3d. Co oznacza sformułowanie „dane po synchronizacji”?
 7. Analizując wyniki symulacji na rys. 2.5 i 2.6 można zauważyć, że podczas nawrotu amplituda prądu sieci ciągle rośnie. Jak to się ma do faktu, że przez blisko połowę czasu nawrotu występuje hamowanie i energia powinna być wracana do źródła, a przy prędkości równej zero, moc jest równa zero?
 8. Co powoduje, że rośnie prąd pobierany ze źródła, gdy wzrośnie cyt. „podbicie napięciowe B_{Qzs} ” (wniosek na stronie 54), przy niezmiennych warunkach pracy silnika?
 9. Stwierdzenie, że prąd silnika przedstawiony na rys. 4.3 cyt. „posiada kształt sinusoidalny” jest mocno przesadzone. Czy można zobaczyć okno czasowe przebiegu prądu i napięcia tej samej fazy, wskazujące przesunięcie fazowe pomiędzy nimi w czasie nawrotu?
 10. Na rys. 4.2 i kolejnych przedstawiono przebieg napięcia u_{Sdq} . Wektor napięcia w układzie wirującym dq posiada dwie składowe. Czy więc jest to napięcie jednej z nich? Jeśli jest to wektor po transformacji napięć sinusoidalnych przedstawionych na rys. 4.1, to powinien mieć stałą wartość, skąd więc takie tętnienia?
 11. Zdaniem recenzenta, kluczowy dla udowodnienia tezy pracy rozdział 4.4, przedstawiający pracę napędu podczas zapadów napięcia, powinien zawierać przebiegi podczas dynamicznych skoków napięcia (zapadów) sieci wskazujące na poprawne działanie przekształtnika QZS w stanach statycznych i dynamicznych (potwierdzenie poprawnej identyfikacji obiektu) oraz podczas stanów przejściowych napędu (rozruch napęd hamowanie). Zdaniem recenzenta, w pracy znalazły się wyniki badań pośrednio wskazujące na poprawność działania przekształtników podczas zapadów napięcia, ale wymienione wyżej wyniki znacząco poprawiły by ocenę dysertacji.
 12. W jaki sposób Autor uwzględnił parametry pasożytnicze i straty opisane we frazie cyt. „... oraz zawierającym parametry pasożytnicze i straty...”, str. 103 w9g?
 13. Str. 23 – wzory 1.43 i 1.44 nie odpowiadają rys. 1.22 i opisowi stanów ST i NST.

Ponadto tekst rozprawy zawiera niżej przedstawione drobne uchybienia.

1. W całej pracy używane jest określenie „podbijać napięcia”, jak domyślam się jest to tłumaczenie angielskiego wyrażenia „to boost voltage”. Jest to w moim odczuciu niefortunne tłumaczenie i zdecydowanie lepsze byłoby określenie „podwyższać/zwiększać napięcie”, tak jak nikt nie tłumaczy zwrotu „boost converter” jako „przekształtnik podbijający” lecz używamy określenia „przekształtnik podwyższający”

2. Mankamentem redagowania pracy, utrudniającym jej czytanie, jest umieszczanie rysunków i wzorów nawet kilka stron dalej niż miejsce ich opisu/odwołania się np.:
 - odwołanie się do rysunku 1.11 na str. 13, a rys. jest na str.15,
 - odwołanie się do rysunku 1.14 na str. 14, a rys. jest na str.17,
 - odwołanie się do rysunku 1.16 na str. 16, a rys. jest na str.18,
 - odwołanie się do rysunku 4.22 na str. 97, a rys. jest na str. 99 w kolejnym rozdziale.
3. Str. 3 w10d cyt. „Następnie praca przechodzi do opisu optymalizacji...” – chyba Autor w pracy przechodzi do.....
4. Str. 7 w5g cyt. „...prądzie silnika kręcącej się maszyny...” maszyna raczej stoi w miejscu.
5. Str. 11 w6g cyt. „Dwustronne klucze energoelektroniczne...” – rozumiem, że chodzi o łączniki dwukierunkowe, w których prąd może płynąć w obu kierunkach.
6. W języku polskim skrót „rys.” piszemy małą literą (Autor pisze dużą, podobnie jak w języku angielskim) – strona 12 i dalej.
7. Str.19 w15g – kolory w opisie nie odpowiadają kolorom na rys. 1.17.
8. Str. 23 w4g – cyt. „...klucze ... są w stanie nasycenia..” lub w „... stanie zatkania”, - raczej „klucz załączony/zwarty”, „klucz wyłączony/rozłączony”.
9. Str. 41 w6g cyt. „...zmiennych stanu na maszynie...” - niepoprawne sformułowanie.
10. Str. 41 w13g – cyt. „...PMSM był sterowany za pomocą DMC..” – raczej „zasilany z DMC”.
11. Jak uczono mnie w Poznaniu zamiast słowa „klucz” należy używać - „łącznik” (wg. prof. L. Frąckowiaka) i zgadzam się z tym.
12. Warto również stosować poprawne zasady „wyliczania” po dwukropku pamiętając o zasadzie, że każda kropka kończy zdanie i tym samym wyliczanie.

4. Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej

Doktorant podjął problem o niewątpliwie istotnym znaczeniu praktycznym i wnosi oryginalny wkład intelektualny w postaci sterowania przekształtnika QZS, który jest częścią struktury silnopiętrowej przekształtnika matrycowego zasilającego silnik PMSM. Szczególne znaczenie praktyczne posiada sposób identyfikacji parametrów układu QZS umożliwiający dobór regulatora jego napięcia wyjściowego. Na uwagę zasługuje sposób odtwarzania pierwszej harmonicznej silnie odkształconego, przez elementy LC, napięcia wyjściowego przekształtnika QZS, które stanowi kluczowy element zamkniętego układu regulacji napięcia wyjściowego QZS. Możliwość regulacji amplitudy tego napięcia pozwala wyeliminować wady przekształtnika matrycowego, tj. obniżenie wartości pierwszej harmonicznej napięcia wyjściowego do 86,6% wartości nominalnej napięcia zasilającego, i jednocześnie zapewnić odporność na zapady napięcia w stanach statycznych i dynamicznych

Zdaniem recenzenta, Autor z dużą starannością przeprowadził proces analizy i syntezy przekształtnika QZSDMC i jego sterowania. Opiniowana rozprawa mgr. inż. Przemysława Jana Siwka pt.:” Analiza i sterowanie napędem PMSM zasilanym z

bezpośredniego przekształtnika matrycowego typu Quasi-Z-Source” stanowi oryginalne rozwiązanie technicznie nietrywialnego problemu badawczego. Świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Autora w zakresie energoelektroniki, automatyki napędu i sterowania.

Stwierdzam, że opiniowana praca spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w artykule 13 ust. 1 Ustawy w zakresie dyscypliny *automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne*.

Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Przemysława Jana Siwka do publicznej obrony przed Komisją Doktorską powołaną przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej.

Andrzej Sikorski