

Dr hab. inż. Piotr Drozdowski, prof. nadzw. PK
Politechnika Krakowska
Instytut Elektromechanicznych Przemian Energii
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Kraków, 25.11.2013

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Tomasza Sieńki
pt. *"Strategie sterowania przekształtnikiem macierzowym do*
wysokosprawnych siłowni gazowych"

1. Ocena zastosowanych metod badawczych i strony formalnej rozprawy

Autor rozprawy doktorskiej postawił sobie cel badawczy dowodzący tezy: „wykazanie bardzo korzystnych właściwości przekształtnika macierzowego sterowanego jednookresowo jako elementu dopasowującego w torze wytwarzania energii elektrycznej w małych siłowniach z turbinami gazowymi”. Proces badawczy podzielił na etapy, które zostały opisane w kolejnych rozdziałach rozprawy. Przyjął metodykę badań teoretycznych, opartych na symulacjach komputerowych, w środowisku Matlab-Simulink.

Ułożony program badań i zastosowane metody można uznać za właściwe. Na początku Autor przybliżył sposób jednookresowego sterowania przekształtnika macierzowego, który został wcześniej opracowany i opatentowany wspólnie z prof. dr hab. inż. Tadeuszem Sobczykiem – pozycja literatury [20] – rozdz. 1. Sposób ten zastosował do badań współdziałania przekształtnika macierzowego z generatorem synchronicznym napędzanym przez turbinę gazową, których wyniki przedstawiono w rozdz. 4. Badał przede wszystkim różne konfiguracje przekształtników macierzowych współdziałających bezpośrednio z generatorem synchronicznym o liczbie faz 3 i 12 lub współdziałającym z pośrednictwem transformatorów wielouzwojeniowych. Ostatecznie dokonał wyboru przekształtnika zmieniającego dwunastofazowy układ napięć, wytwarzanych bezpośrednio przez generator synchroniczny, w inny układ dwunastofazowy, który jest zamieniany w układ trójfazowy za pomocą transformatora wielouzwojeniowego. Celem uwiarygodnienia zastosowanej metodyki badawczej

Autor przedstawił, w rozdz. 3, zastosowane modele symulacyjne poszczególnych podzespołów badanego układu, które wykorzystał w pakiecie „Sim Power Systems” Simulinka. Badania praktycznego działania układu na odbiory autonomiczne oraz na sieć elektroenergetyczną przedstawiono w rozdz. 5. Wyniki badań podsumowano w rozdz. 6.

Całość pracy została przedstawiona klarownie na 131 stronach. Przedstawione schematy i wykresy zostały dobrane właściwie. Przedstawiony spis literatury i odnośniki do niej w tekście wskazują na zapoznanie się Autora z osiągnięciami innych badaczy, przy czym dziwna jest numeracja pozycji pogrupowanych głównie tematycznie. Niestety w tekście jest bardzo dużo błędów językowych i zdań nonsensownych, szczególnie w rozdziałach 2 i 3, wskazujących na małą staranność językową albo brak właściwej korekty. Na przykład:

- str. 4, wiersz 17 od góry

„Przewidywane zastosowanie nie wymaga amplitudy”,

- str. 7, wiersz 5 od dołu

„Stanowi przewodzenia klucza na pozycji (n, m) przypisano wartość funkcji ...”,

- str. 10, wzory (2.6), (2.8)

powinny być prąd i_{mM} a nie i_{nM} ,

- str. 14, wiersz 3 od góry

„Stan przekształtnika macierzowego zależy od faz biegnących po obu jego stronach ...” – zdanie nonsensowne,

- str. 15, rys. 2.7

w opisie wartości na osiach zastosowano słowo „pi” zamiast litery greckiej π ,

- str. 16, wiersz 1 od góry

pierwsze zdanie ma złą składnię

- str. 17, wiersz 3 od góry

„Fragmenty napięcia pochodzące z części obszaru leżącej ...”

- str. 19, wiersz 1 od góry

„Algorytm sterowania przekształtnika macierzowego można również określić, próbując odwzorować inne urządzenia pełniące podobną funkcję, takie jak cyklokonwertory i maszynowe przetwornice częstotliwości.” Chodzi zapewne o przetwornice częstotliwości współpracujące z maszynami elektrycznymi.

- str. 19, wiersz 2 od dołu

„... w wyniku czego sterowanie uzależnia się od faz biegnących układów wielofazowych po obu stronach.”

- str. 31, wiersz 1 od dołu i str. 32 wiersz 1 od góry

„W miarę wzrostu ilości faz zwiększa się transfer napięcia, zmniejsza *THD* oraz rosną rzędy harmoniczných. Największe zyski są widoczne w zakresie niewielkich *N*.”. Oba zdania sobie przeczą.

- str. 33, wiersz 7 od góry

„... test przeprowadzono dla kwadratowego *PM*...”. Wprowadzono własny żargon określający przekształtnik macierzowy o takiej samej liczbie faz na wejściu i wyjściu.

- str. 34, wiersz 3 od góry

„... skoki wartości prądu na granicy fragmentów...”. Chyba chodziło o granicę obszarów.

- str. 43, wiersz 8 od góry

„... *PM* o małym rozmiarze 3×3^{10} , transformator niezmiennący liczby faz.” Trzy błędy w jednym zdaniu:

- numer 10 odnośnika nie powinien występować jako potęga liczby 3, lecz wcześniej po słowie „rozmiarze”,
- powinno być „nie zmieniający” (ten błąd występuje w wielu miejscach tekstu),
- powinno być „liczbę”, a nie „liczby”.

Dalej jest znacznie lepiej pod tym względem, ale np. występuje prędkość obrotowa wyrażona w *kRPM* (dlaczego duże litery, pochylone?), a nie w obr/min, do czego zobowiązuje polska norma, jeśli tekst jest napisany po polsku.

2. Ocena strony merytorycznej

W symulacjach komputerowych Autor zastosował uproszczone modelowanie kluczy, z których tworzy model symulacyjny przekształtnika macierzowego. Klucz jest idealnym przełącznikiem o rezystancji przewodzenia i rezystancji zaporowej. W stosunku do układów rzeczywistych, przedstawionych rys. 3.11, model taki reaguje natychmiastowo na sygnał sterujący. Model generatora synchronicznego wzbudzanego magnesami trwałymi przybliża generator rzeczywisty o tzw. sinusoidalnych uzwojeniach stojana. Modele transformatorów, zbudowane w oparciu o bibliotekę Simulinka, są najbardziej zbliżone do rzeczywistości. Przeprowadzone w efekcie badania symulacyjne nie budzą wątpliwości i wyciągnięte na ich podstawie wnioski są poprawne. Powstaje jednak pytanie, czy te wnioski można wprost

przenieść na układ rzeczywisty pracujący według przedstawionej koncepcji. Koncepcja ta ma mieć zastosowanie techniczne, ale w pracy brak jest jakiegokolwiek weryfikacji pomiarowej. W związku z tym warto by było, aby Autor wyraził swój stosunek do wpływu różnic, wywołanych uproszczonym modelowaniem, jakich można byłoby się spodziewać w pracy układu rzeczywistego w porównaniu z pracą modelu symulacyjnego. Poniżej naświetlono trzy konkretne zagadnienia, do których Autor nie odniósł się w rozprawie, a które powinno się wziąć pod uwagę.

1. Podczas pracy przekształtnika macierzowego zawsze zachodzą stany komutacyjne, w których przewodzący zawór z danej kolumny (wiersza) jest blokowany impulsem sterującym i w tej samej chwili jest podawany impuls załączający inny zawór. Gdy to się dzieje po stronie napięciowego źródła zasilającego, to wskutek inercji blokowania struktury półprzewodnikowej może wystąpić chwilowe zwarcie międzyfazowe, które może zniszczyć przetężeniowo oba zawory. W badanym przekształtniku Autor zastosował tzw. filtry komutacyjne (rys. 3.20, 3.21, 3.22), które stanowią o napięciowym wejściu przekształtnika po stronie zasilania. Przy braku filtra droga prądu zwarciovego będzie wiodła przez obwód międzyfazowy generatora lub transformatora.

Zapytanie.

Jaką Autor ma propozycję zabezpieczenia przekształtnika macierzowego przed wspomnianymi skutkami zwarcia międzyfazowego?

2. W układzie zastosowano generator synchroniczny wirujący z prędkością 96000 obr/min. Generator o uzwojeniach sinusoidalnych może być trójfazowy lub dwunastofazowy. W tym drugim przypadku, przyjmując liczbę żłobków na biegun i fazę $q = 2$, liczbę par biegunów $p = 2$ otrzymuje się, że liczba żłobków stojana wynosi $Z_s = 48$. Generator taki nie będzie jednak miał sinusoidalnych uzwojeń fazowych. Przy podwojeniu liczby żłobków można zbudować uzwojenie dwunastofazowe zbliżone do sinusoidalnego. Jednakże generator taki będzie miał znaczącą średnicę otworu stojana przy mocy ok. 250 kVA wynikającej z rozdz. 5.

Zapytanie.

Czy Autorowi znane są konstrukcje generatorów synchronicznych wzbudzanych magnesami trwałymi o wspomnianej mocy pracujące z prędkością 96000 obr/min? Czy istnieją konstrukcje turbin gazowych osiągających takie prędkości?

3. Autor proponuje regulację amplitudy napięcia poprzez regulację prędkości turbiny. Celem sprawdzenia skuteczności tej metody przeprowadził w rozdz. 5.1 badania symulacyjne skuteczności takiej regulacji m. in. przy dynamicznych i ustalonych zmianach obciążenia. Regulacja okazała się skuteczna. Wyniki podobnych badań, ale przy obciążeniu statycznym Autor przedstawił w formie tabel rozdz. 5.2 dla przypadku współpracy urządzenia z systemem elektroenergetycznym. Nie ma tam natomiast wyników symulacji zakłóceń dynamicznych.

Zapytanie.

Jak skokowa zmiana zakłócenia (np. obciążenia) po stronie systemu elektroenergetycznego lub po stronie generatora (turbiny) wpłynie na skuteczność regulacji napięcia za pomocą zmiany prędkości turbiny i czy powstała chwilowa różnica napięć może spowodować przepływ nadmiernych prądów pomiędzy siecią a urządzeniem, przy znacznie mniejszej stałej czasowej elektromagnetycznej od stałej czasowej elektromechanicznej przynajmniej rzędu wielkości? Dlaczego Autor nie zdecydował się regulować napięcia za pomocą przekształtnika macierzowego?

3. Konkluzja oceny

Podjęte przez Autora wyzwania badawcze było trudne, lecz wybiegające w przyszłość nowoczesnych układów służących do wytwarzania energii elektrycznej, w szczególności układów szybko reagujących na zmiany obciążeń i zapotrzebowania na moc systemu elektroenergetycznego. W dobie przebudowywania systemów elektroenergetycznych na tzw. rozproszone lub wydzielone (autonomiczne) przedstawione rozważania są ze wszech miar godne uwzględnienia. Niezależnie od wymagań praktycznych, przedstawione wyniki badań pozwalają na sformułowanie konkretnych wniosków, które należy wziąć pod uwagę przed przystąpieniem do budowania urządzeń rzeczywistych. W mojej opinii tezę rozprawy Autor udowodnił.

Stwierdzam ostatecznie, że wszelkie wymagania prawne zostały spełnione i stawiam wniosek o dopuszczenie recenzowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Sieńki do publicznej obrony.

