P O L I T E C H N I K A L U B E L S K A
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI
KATEDRA ELEKTROENERGETYKI
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A
tel.(+ 48 81) 53 84 360, fax (+48 81) 538 43 19 http://weii.pollub.pl e-mail: we.ke@pollub.pl

Lublin, 26.07.2022 r.

dr hab. inż. Piotr Miller, prof. uczelni
p.miller@pollub.pl
tel. 502 180 550

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Michała Brodzickiego

„Wielowęzłowe, wysokonapięciowe sieci prądu stałego MT-HVDC”

Promotor pracy: dr hab. inż. Jacek Klucznik, prof. uczelni

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Gdańskiej z dnia 7 czerwca 2022 r. oraz pismo Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Pana Profesora Mirosława Wołoszyna z dnia 8 czerwca 2022 r.

1 Wybór tematu rozprawy

Łącza prądu stałego (ang. high voltage direct current – HVDC) stały się integralną częścią systemów elektroenergetycznych i są od lat stosowane z powodzeniem do przesyłu energii elektrycznej na znaczne odległości. Wielowęzłowe, wysokonapięciowe sieci prądu stałego, zwane inaczej wielostacyjnymi układami HVDC (ang. Multi-Terminal high voltage direct current - MT-HVDC) stanowią naturalną ewolucję łączy prądu stałego, wynikającą ze wzrostu liczby budowanych i eksploatowanych łączy prądu stałego, zmniejszających się odległości pomiędzy nimi oraz zalet, które stwarza rozbudowa i wykonywanie dodatkowych połączeń po stronie napięcia DC. Także w Polsce, gdzie realizowana jest zakrojona na szeroką skalę budowa farm wiatrowych morskich zastosowanie sieci MT-HVDC może okazać się konieczne.

Warto jest więc poznać cechy i możliwości tego typu sieci, poddać analizie w celu określenia ich zalet oraz wad, opracować zasady współpracy z sieciami AC oraz zbadać ich wpływ i możliwości regulacyjne, które będzie można wykorzystać po stronie sieci AC.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję tematykę rozprawy za ważną, aktualną oraz wybraną prawidłowo, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

2 Ogólna ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa zawiera 269 stron, przy czym część główna zawiera 215 stron tekstu wraz z ilustracjami, wzorami, wykazem literatury obejmującym 71 pozycji oraz wykazem oznaczeń i skrótów. Pozostałe strony to strona tytułowa, oświadczenie, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz załączniki, które zajmują 53 strony rozprawy.

Część główna rozprawy podzielona została na pięć rozdziałów, do tego doliczyć trzeba dwa rozdziały: wstęp zawierający tezę oraz cel i zakres rozprawy, i rozdział z wnioskami końcowymi, omawiający również perspektywy prowadzenia dalszych badań.

Teza rozprawy brzmi następująco: „*Wielowęzłowe sieci prądu stałego (wykorzystujące przekształtniki typu VSC) pozwalają na zwiększenie możliwości oddziaływania na właściwości dynamiczne systemu elektroenergetycznego*". Sposób sformułowania tezy uważam za prawidłowy.

W rozdziale pierwszym, wprowadzającym, omówiono krótko rolę jaką w systemach elektroenergetycznych pełnią łącza prądu stałego, które ewoluują w stronę wielowęzłowych, wysokonapięciowych sieci prądu stałego. Ten krótki opis stanowi wstęp do prezentacji tezy rozprawy, jej celu oraz zakresu. Zasadniczym celem pracy jest analiza możliwości wykorzystania przekształtników VSC sprzęgających systemy napięcia przemiennego i stałego w procesach regulacyjnych zachodzących w systemach elektroenergetycznych. Zakres rozprawy został podzielony na część teoretyczną, opracowaną na podstawie dostępnej literatury oraz badawczą zawierającą opis modelu oraz prezentację wyników analiz statycznych i dynamicznych przeprowadzonych na tym modelu.

Przegląd literatury, obejmujący zagadnienia związane z modelowaniem systemów elektroenergetycznych, układów HVDC, analizą stabilności i regulacją napięcia oraz poświęcone energoelektronice i układom przekształtnikowym został przeprowadzony rzetelnie. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1984, najnowsza pochodzi z roku 2021. Jedna pozycja literaturowa powstała przy udziale Autora rozprawy.

Na podstawie przeglądu literatury opracowano treści rozdziałów 2,3 oraz 4. Ta część rozprawy zmierza do wyboru rozwiązania (typu przekształtnika oraz układu sieci MT-HVDC), które będzie przedmiotem badań i analiz w drugiej, badawczej części rozprawy. I tak w rozdziale drugim Autor rozprawy omówił cechy i właściwości przekształtników typu LLC, przy czym nie ograniczył się tylko do oceny możliwości wykorzystania przekształtników typu LCC w przedmiotowym zagadnieniu. Omówiona została praca prostownikowa i falownikowa przekształtników LLC, sposoby ich sterowania, a także ich oddziaływanie na sieć zasilającą co pozwoliło określić zalety i wady przekształtników tego typu.

Rozdział trzeci rozprawy poświęcony został przekształtnikom typu VSC. Struktura tego rozdziału jest podobna do struktury rozdziału poprzedniego. Omówiono w nim cechy i właściwości przekształtników typu VSC, pracę prostownikową i falownikową tych przekształtników, sposoby ich sterowania oraz poruszona została problematyka oddziaływania układów pracujących z wykorzystaniem tego typu przekształtników na sieć elektroenergetyczną. Rozdział kończy tabela porównująca cechy i właściwości obydwu typy przekształtników, które to porównanie było podstawą do zakwalifikowania przekształtników typu VSC do badań prowadzonych w dalszej części rozprawy.

W rozdziale czwartym zaprezentowano różne układy wielowęzłowych, wysokonapięciowych sieci prądu stałego, MT-HVDC. W rozdziale znaleźć można porównanie różnych topologii sieci, prezentację różnych metod ich sterowania oraz sposobów regulacji mocy czynnej. Rozdział kończy wstępna analiza zmierzająca do porównania trzech topologii sieci MT-HVDC: szeregowej, promieniowej oraz pierścieniowej oraz wyłonienia topologii (sieć pierścieniowa), która będzie wykorzystana w badania prowadzonych w dalszej części rozprawy.

Rozdział piąty to dokładna charakterystyka modelu wykorzystywanego w dalszych badaniach, opis opracowanych przez Autora struktur układów regulacji a także skryptów sterujących analizami statycznymi modelu. Rozdział kończy definicja wskaźników służących ocenie skuteczności pracy układów regulacji w stanach dynamicznych. W rozdziale tym Autor zwraca uwagę na wkład własny w postaci opracowania różnych struktur modelu dynamicznego oraz syntezy funkcjonalnych układów regulacji i ich koordynacji z układami regulacji pozostałych elementów w modelu.

Prawdopodobnie najbardziej pracochłonne i czasochłonne było opracowanie rozdziału szóstego, w którym zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w ramach pracy nad rozprawą. Rozdział został podzielony na dwie części. Część pierwsza dotyczy analiz statycznych, natomiast część druga analiz dynamicznych. Analizy statyczne miały za zadanie sprawdzić, na ile możliwa oraz efektywna będzie regulacja napięcia w systemie AC z wykorzystaniem różnych trybów pracy przekształtnika. Analizy dynamiczne polegały z kolei na ocenie wszystkich opracowanych w ramach rozprawy struktur układów regulacji w czterech stanach zakłóceniowych: zmianie zadanej mocy biernej lub napięcia strony AC przekształtnika, zmianie zadanego napięcia strony DC, zmianie obciążenia w systemie AC oraz zwarcia w systemie AC. Rozdział kończy graficzna prezentacja wartości wskaźników jakości regulacji dla różnych nastaw parametrów układów regulacji oraz próba wyłonienia najbardziej optymalnych wartości parametrów układów regulacji.

Ostatni rozdział rozprawy to podsumowanie i wnioski. Wnioski rzeczywiście stanowią podsumowanie tego, co jest najbardziej istotne w treści rozprawy. Nie zabrakło tutaj stwierdzenia, że w pracy osiągnięto założone cele i tym samym teza została udowodniona, oraz dyskusji na temat

możliwości prowadzenia dalszych badań. Interesujący w tym zakresie wydaje się być pomysł implementacji dynamicznego dostosowywania struktury układu regulacji do występującego zakłócenia.

Integralną częścią pracy są załączniki, w których można znaleźć schemat modelu wykorzystywanego w badaniach symulacyjnych, modele elementów systemów AC oraz DC, kartę katalogową tranzystora, parametry modelu przekształtnika oraz opisy bloków opracowanych przez Autora rozprawy a także kod skryptów opracowanych przez Autora, wykorzystywanych w analizach statycznych.

Moja ogólna ocena rozprawy, jej struktury oraz merytorycznej zawartości jest pozytywna.

3 Uwagi szczegółowe i krytyczne

Autor rozprawy nie ustrzegł się niestety błędów redakcyjnych. Poniżej kilka przykładów:

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
3	Akapit 3 od dołu	"…zostały one **przyjęty** jako rozwiązanie, które zostanie…" – powinno być "przyjęte".
5	Akapit 2 od góry	"… possible VSC-based MT-HVDC grids in control processes **occuring** within the power supply systems." – powinno być "occurring".
5	Akapit 2 od góry	"… direct current grids (using VSC converters) increase the **possibilites** of influencing the power …" – powinno być "possibilities"
5	Akapit 3 od góry	"…defining their pros and cons. The end of the chapter contains a **syntetic** description of possible…" – powinno być "synthetic".
5	Akapit 4 od góry	"Chapter three takes up the literature inspection **concering** VSC converters." – powinno być "concerning".
5	Akapit 2 od dołu	"… analysis. The assumptions and **simplifactions** of the model…" – powinno być "simplifications".
6	Akapit 1 od góry	"…system and fault **occurence** in AC system." – powinno być "occurrence".
6	Akapit 2 od góry	"The seventh and last chapter consists of summary and set of conclusions **derrived** from overall…" – powinno być "derived".
12	Akapit 1 od góry	Brakuje kropki na końcu akapitu.
12	Akapit 2 od dołu	Brakuje kropki na końcu akapitu.
20	Podpis pod Rys.2.6	„LCC [3]" przeskoczyło pod opis pod Rys.2.5.
21	Akapit 1 od góry	„…odbiornika przekształtnik jest zatem również **widziano** jako przekształtnik 12-pulsowy." – powinno być „widziany".
22	Akapit nad 2.2.4	„całkowitej mocy czynnej, jaka **może wprowadzona** przez układ na stronę napięcia stałego [4,6]." – brakuje „być", „zostać" itp.
23	Podpis pod Rys.2.7	Dlaczego „Przekształtnik" dużą literą?
25	Akapit 1 od góry	„Wynika to z faktu przybierania **przez przebiegu zbliżonego** do przebiegu trapezoidalnego." – powinno być „przez przebieg prądu kształtu zbliżonego …":
32	Akapit 2 w 2.4	„Największymi niedogodnościami **związanymi przekształtnikami** typu LCC są:…" – brakuje „z".

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
38	Akapit 2 w 3.1.3	„Przebiegi pulsów sterujących przekształtnika pracującego **prostownikowego** przedstawia…" – powinno być „prostownikowo".
40	Podpisy pod Rys.3.7 i Rys.3.8	Mankamentem jest formatowanie podpisów, myślę, że słowo „zastosowaniu" przeskoczyło do podpisu Rys.3.7, podczas gdy powinno być w podpisie Rys.3.8.
42	Akapit 2 w 3.2.6	„Rozwiązaniem klasycznym wpisującym się w ideę sterowania bazującego na **napięcu** jest…" – powinno być „napięciu".
42	Akapit 2 w 3.2.6	„Sygnały sterujące łączników w poszczególnych fazach prostownika są **wyznaczana** …" – powinno być „wyznaczane".
43	Akapit nad 3.2.6	„…obecnie są już **w** opanowane i powszechnie stosowane." – „w" jest zbędne.
46	Akapit 1 od dołu	„…pracy prostownikowej przekształtnika typu VSC, którą ilustruje **to** rysunek 3.16." – „to" jest zbędne.
52	Akapit 2 od góry	„Intensyfikacja rozwoju sieci MT-HVDC **przypadła drugą** dekadę XXI wieku, a jednym z najambitniejszych projektów jest układ Atlantic Wind **Connecion**, którego…" – brakuje „na" po „przypadła" oraz powinno być „Connection".
55	Akapit 2 od góry	„W obrębie sieci równoległej wyróżnia się sieć **równoległa** promieniową oraz…" – powinno być „równoległą". „Struktury tych topologii przedstawia rysunek…" – brak odwołania do rys.4.4;
56	Tabela 4.1	„Czas odwrócenia **przepływy** mocy" – powinno być " przepływu".
57	Akapit 1 od góry	„…szeregu zmiennych, takich jak miejsce jego **wystąpienie** czy aktualny stan pracy sieci." – powinno być „wystąpienia".
60	Akapit 1 od dołu	„Według jej założeń, dla każdego przekształtnika w sieci **ustalana pewna** wartość napięcia…" – brakuje „jest".
61	Akapit 1 pod 4.3.6	„**Przedstawione z powodzeniem** sprawdzają się w sterowaniu sieciami MT-HVDC." – brakuje „metody"?
61	Akapit 2 pod 4.3.6	„Metoda **ta pozwala ta** w **prostu** sposób sterować…" – drugie „ta" jest zbędne i powinno być „prosty".
62	Akapit 2 od góry	„Metoda **ta jednak** unikalną możliwość kształtowania sterowania w sposób niejako symulujący wszystkie pozostałe." – brakuje „ma", „posiada" itp. „Co równie istotne, według tej metody napięcie w sieci może być kontrolowane tylko przez **jedną stację jednocześnie**" – czy jedna stacja może coś robić jednocześnie?
63	Akapit 2 od góry	„Sterowanie to może odbywać się na kilka sposobów, wymienionych w punkcie **5.3.**" – o sposobach sterowania była mowa w punkcie 4.3.
67	Akapit 1 w 4.5.3	„Schemat analizowanego modelu sieci **szeregowej** przedstawia rysunek 4.12,…" – podrozdział i rys.4.12 dotyczy sieci promieniowej.
68	Akapit 1 w 4.5.4	„Schemat analizowanego modelu sieci **szeregowej** przedstawia rysunek 4.15,…" - podrozdział i rys.4.15 dotyczy sieci pierścieniowej.
69	Akapit pod tabelą 4.4	„Wskazują one na znaczące zmniejszenie **zmienność** napięć w sieci względem poprzednio…" – powinno być „zmienności".
70	Akapit 1 od góry	„…wystąpiły w ciągach łączących obszary sieci **pracujący** prostownikowo i falownikowo." – powinno być „pracujących".
74	Akapit pod 5.3.2	„Na podstawie danych przedstawionych w tabeli **5.6**…" – tabeli 5.6 nie ma w rozprawie, prawdopodobnie odwołanie dotyczy tabeli 5.1.

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
79	Akapit 2 od góry	„…sygnałami współczynnika **modulacji osiach dq** m_d i m_q.” – brakuje „w” (modulacji w osiach) oraz przecinka po dq.
81	Akapit 2 od góry	„…poprzez opracowany blok DGR_parallel (ang. dynamic gain reduction – **paralel**), który wiąże ten…” – powinno być „parallel”.
87	Objaśnienia do wzoru (5.3)	*PO(h)* – moc czynna odbioru w aktualnej iteracji, *PO(h-1)* – moc czynna odbioru **w aktualnej iteracji**, - tutaj chyba chodzi o iterację w poprzednim kroku.
86	Akapit 1 od dołu	„…nastawionej, następuje ograniczenie generacji mocy biernej (lub intensyfikacja **jest** poboru) – powinno być „jej”, można również zostawić „lub intensyfikacja poboru”.
90	Akapit 2 od góry	„…założenia analizy, jakim jest utrzymywanie przez **przekształtnika** zadanej wartości…” – powinno być „przekształtnik”.
90	Objaśnienia do wzorów (5.7) i (5.7)	gdzie: tg*φzadi* – skorygowana wartość zadana współczynnika tg*φ* (w aktualnej iteracji), tg*φzad(i-1)* –wartość zadana współczynnika tg*φ* **przez** korektą (w poprzedniej iteracji) – powinno być „przed”, poza tym brakuje znaków interpunkcyjnych (przecinka i kropki na końcu).
93	Akapit 1 od dołu	„W ostatnim etapie **następuje skrypt przystępuje** do sprawdzenia i eliminacji…” – słowo „następuje” jest zbędne.
96	Akapit pod wzorem (5.15)	„…współczynnik zanikania, wyrażany jako stosunek **drugiego** różnicy amplitud **drugiego**…” – pierwsze wystąpienie słowa „drugiego” jest zbędne.
97	Rys. 5.19	Brakuje nagłówka nad czwartym z rysunków, który prawdopodobnie jest interpretacją wskaźnika RI
98	Akapit 1 od góry	„Opracowany model, przedstawiony w rozdziale **szóstym**,…” – model przedstawiono w rozdziale „piątym”.
99	Rys. 6.1	W oznaczeniu osi pionowej wykresu mamy u, [.w.], powinno być u, [j.w.]. Podobna sytuacja ma miejsce na rys. 6.4, str. 101, rys. 6.7, str. 102, 6.10, str. 104., 6.13, str. 106, rys. 6.16, str. 107.
103	Akapit 1 od góry	„Konieczność zmiany napięcia zadanego na szynach węzła wytwórczego **wystąpiło** przy obciążeniu około 660 MW.” – powinno być „wystąpiła”.
106	Akapit 1 od dołu	„Udział przekształtnika w regulacji napięcia, w połączeniu ze znaczną **generacji** mocy…” – powinno być „generacją”.
107	Akapit 1 od góry	„…generację mocy biernej w **turbozespołach** w wymaganym stopniu.” – powinno być „turbozespołach”.
113	Akapit 2 od dołu	„Doprowadziło to **wystąpienia do** stanu nieustalonego,…” – powinno być „do wystąpienia”.
120	Rysunki	Po Rys. 6.28 następnym rysunkiem jest 6.30. W związku z tym odwołanie do Rys.6.29 na str. 119 wskazuje na nieistniejący rysunek.
126	Akapit 2 od dołu	„…zrealizował zmianę **punku** pracy, odpowiadając zwiększeniem mocy czynnej wyprowadzanej do…” – powinno być „punktu”.
139	Akapit 2 od dołu	„…przekształtnika jest reprezentowany przez liniowy przebieg wykresu między **dwoma** wartościami…” – powinno być „dwiema”.
142	Akapit 1 od dołu	„…wprowadzenie inercji poskutkowało pewnymi **wartymi odnotowanymi** zmianami w uzyskanych wykresach.” – powinno być „odnotowania”.

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
152	Akapit 2 od góry	„Po **wyłączeniu farmy** powróciły do stanu równowagi, ich …” – czy chodzi o eliminację zwarcia czy wyłączenie przekształtnika?
158	Akapit 1 od dołu	„…przeprowadzanej dla przekształtnika pracującego w trybie kontroli U_{AC}-U_{DC}.” – rozdział 6.5 dotyczy trybu kontroli U_{AC}-U_{DC}, jeżeli ma to być nawiązanie do poprzedniego rozdziału, to tam omawiano tryb kontroli Q-U_{DC}. Podobne odwołanie ma miejsce na następnej stronie, oraz na str. 164, akapit pod 6.5.2.
168	Akapit 1 w 6.5.3	„Z uwagi na zbliżony przebieg stanów **dynamiczny** w stosunku do poprzedniego…” – powinno być „dynamicznych”.
168	Akapit 1 od dołu	„Świadczy **to istotnym** wpływie udziału przekształtnika w regulacji …” – brakuje „o”.
178	Akapit 2 od dołu	„…punktu oddziaływania na **układ z regulacji**.” – „z” jest zbędne.
185	Akapit pod Rys.6.103	„…wskaźnik jako gwarantujące najefektywniejszą pracę różnią się **od jednak od** wyników…” – jedno z „od” jest zbędne.
186	Akapit pod Rys.6.105	„…**natomiast w przypadku, natomiast w przypadku** zmiany zadanego napięcia…” – powtórzenie.
187	Akapit 1 od góry	„Najmniejsze różnice ponownie **wystąpiło** w przypadku symulacji zwarcia…” – powinno być „wystąpiły”.
192	Akapit 1 od góry	„W pozostałych **przypadków** zmiana nastaw nie powodowała różnic w obliczonych wartościach wskaźnika.” – powinno być „przypadkach”.
194	Akapit pod Rys.6.121	„…wartości wskaźnika w stosunku do **struktur** równoległej ze sztuczną inercją.” – powinno być „struktury”.
195	Akapit pod Rys.6.123	„Wykresy zmienności wskaźnika OI potwierdzają **rezultatu** przedstawione poprzednio.” – powinno być „rezultaty”.
235	Wyjaśnienia komend	„voltage_deviation = du0>0 ! zmienna **sygalizująca** obniżenie napięcia” – powinno być „sygnalizująca”.
236	Akapit 1 od góry	„Kody obu bloków wraz z **objaśnienami** przedstawiono poniżej:” – powinno być „objaśnieniami”.

Zaprezentowana powyżej tabela mogłaby sugerować, że błędów redakcyjnych jest stosunkowo dużo. Biorąc jednak pod uwagę liczbę stron rozprawy (w sumie to 269 stron) stwierdzam, że liczba błędów jest akceptowalna tym bardziej, że nie są to jakieś rażące błędy.

Uwagi redakcyjne o charakterze ogólnym:

- struktura rozprawy jest ogólnie prawidłowa, moją wątpliwość budzi jednak podział wstępu na trzy podrozdziały, z których pierwszy (t.j. 1.1.) to praktycznie prezentacja tezy rozprawy, natomiast drugi to tylko dwa zdania. Biorąc pod uwagę fakt, że wstęp jest generalnie mało rozbudowany (to tylko 2 strony), można było zrezygnować z podziału na podrozdziały.
- podstawowy mankament pracy, to jakość skanowanych rysunków w części przeglądowej rozprawy (szczególnie w rozdziale 3); skany są różnej jakości, czasami widoczne są jakieś przebicia w tle rysunku, np. rys.3.5, gdzie w tle widać ślady tabeli, rys.3.10, gdzie w tle widać ślady jakiegoś schematu, itd.,
- interpunkcja, to typowy mankament współczesnych prac doktorskich; brakuje kropek na końcu zdania, przecinki wstawiane w niekiedy dziwnych miejscach; uwaga dotyczy całej pracy, np. str. 111 na końcu strony,

- w rozdziale 2 pojawiły się błędy w numeracji rysunków i odwoływania się do nich; błędy wynikają z tego, że rys.2.5 występuje w rozprawie dwukrotnie: raz jest to „charakterystyka regulacyjna przekształtnika typu LLC", drugi raz jest to „struktura przekształtnika typu LLC"; podobnie zdublowane są rys. 2.7: „prądy tyrystorów przy wystąpieniu przewrotu komutacyjnego" i „idealizowane przebiegi prądu zasilającego przekształtnik typu LLC"; podobnie brakuje rysunku 6.29,
- brakuje konsekwencji w zdaniach wprowadzających do zależności; najczęściej zdania te, oraz zależność prezentowana poniżej, także objaśnienia wielkości występujących we wzorze, które mogą pojawić się poniżej, traktowane są jako jedno zdanie; w zdaniu wprowadzającym wprowadzamy więc dwukropek na końcu (najczęściej spotykany), albo nie stawiamy nic; kropka w tym miejscu jest już problematyczna (zwłaszcza, gdy pod zależnością znajdują się objaśnienia poprzedzone „gdzie" pisanym z małej litery); w rozprawie brakuje konsekwencji w tym zakresie; np. w przypadku zależności (2.1), (2,4), (2.5), (2.19), (2.20) na końcu zdania wprowadzającego jest kropka; w przypadku zależności (2.2), (2.3), (2.8) na końcu zdania jest dwukropek; w przypadku zależności (2.13), (2.23), (2.25), (2.27) nie ma żadnego znaku interpunkcyjnego,
- Autor często pisze o „**ilości**" w stosunku do zbiorów, które są wyraźnie policzalne; np. na str.23, akapit 1 w rozdziale 2.3: „Stale rosnąca **ilość** pracujących przekształtników dużych mocy…"; na str.51, akapit 1 od dołu: „Wciąż rosnąca **ilość** uruchamianych łączy prądu stałego,…"; na str.53, akapit 2 pod rys.4.1: „W przypadku większej **ilości** przekształtników zagadnienie sterowania całością układu wymaga nieco zmodyfikowanego podejścia."; kolejny akapit na str.53: „Większa **ilość** przekształtników w obrębie układu poszerza zakres możliwych…"; na str.55, akapit 1 od dołu: „W literaturze znaleźć można także informacje o rozpatrywaniu koncepcji sieci o większej **ilości** dodatkowych połączeń,…"; itd. – w każdym z tych przykładów, jak również w innych, nie wyszczególnionych tutaj częściach rozprawy, bardziej odpowiednią formą byłoby słowo „**liczba**".

Pomimo powyższych uwag stwierdzam jednak, że Autor potrafi redagować teksty techniczne i odbiór całości rozprawy jest pod względem redakcyjnym jak najbardziej pozytywny.

Uwagi o charakterze ogólnym i dyskusyjnym:

- W rozdziale 4.5 zaprezentowano wyniki wstępnej analizy różnych konfiguracji sieci MT-HVDC. Analiza dotyczyła stosunkowo prostego układu sieci i zmierzała do porównania trzech różnych topologii sieci MT-HVDC: sieci szeregowej, promieniowej i pierścieniowej. Część graficzna prezentacji wyników w przypadku każdej z topologii składała się z trzech rysunków: prezentacji schematu modelu sieci, prezentacji poziomów napięć w poszczególnych węzłach sieci oraz prezentacji poziomu jednostkowych strat przesyłowych w poszczególnych liniach sieci. Moja uwaga dotyczy prezentacji poziomów strat, czyli rys.4.11, rys.4.14 oraz rys.4.17. Wydaje mi się, że rozumiem intencję Autora, by prezentacja wyników dla wszystkich analizowanych topologii sieci wyglądała jednakowo. Intencja ta nie została jednak zasygnalizowana w sposób jawny, tymczasem już w przypadku rys.4.11 powstaje konsternacja. Możemy tam zaobserwować wykres zależności jednostkowych strat przesyłowych w linii L14 w funkcji mocy przesyłanej w układzie, tymczasem linii L14 nie ma na schemacie badanej konfiguracji sieci, czyli na rys.4.9. Nie ma i być nie może, gdyż w topologii szeregowej nie przewidziano połączenia węzłów DC1 oraz DC4. Podobna sytuacja występuje w przypadku sieci promieniowej (rys.4.14). Straty w linii L14 w obydwu przypadkach osiągają poziom zerowy niezależnie od stopnia obciążenia linii (skoro nie ma linii, nie może ona generować strat), ale mam wątpliwość, jaki jest sens prezentowania tego wykresu. Szczególnie, że Autor nie uprzedził, że celowo umieścił ten wykres, pomimo tego, że linia L14 nie występuje w

analizowanej topologii sieci. Autor uprzedza o pojawieniu się linii L14 dopiero w przypadku prezentacji wyników analizy dla sieci pierścieniowej.

- W rozdziale 6.4 zaprezentowano wyniki analiz statycznych. W rozdziale 5 opisano model, na którym prowadzone były badania. Z opisu tego wynika, że dla przekształtników opracowano cztery struktury układów regulacji: szeregową i równoległą, w wariantach ze sztuczną inercją i bez sztucznej inercji. Ponadto, każda ze struktur umożliwiała pracę przekształtnika w trybie kontroli mocy biernej lub napięcia po stronie AC. Wyniki analiz statycznych zaprezentowane zostały dla różnych trybów pracy przekształtnika (kontrola mocy biernej, współczynnika tgφ, kontrola napięcia), Autor nie określił jednak struktury układu regulacji wykorzystywanej w analizach statycznych. Czy struktura układu regulacji (szeregowa, równoległa w wariancie z inercją lub bez) nie ma wpływu na wyniki analiz statycznych? Czy rolę układów regulacji w analizach statycznych pełniły skrypty opracowane przez Autora?
- Rozprawa została napisana w języku polskim. Czytelnik oczekuje więc, że w rozprawie, w każdym jej elemencie obecny będzie tylko język polski (z wyjątkiem streszczenia w języku angielskim). Tymczasem wykresy prezentujące wyniki analiz dynamicznych opisane są w języku angielskim. Analizy dynamiczne zostały przeprowadzone w środowisku DIgSILENT PowerFactory, w którym dominuje język angielski, stąd nie dziwi, że wykresy pochodzące bezpośrednio z tego środowiska opisane są w języku angielskim. Opracowanie ich w języku polskim wymagałoby dodatkowej pracy, wydaje się jednak, że warto by było wykonać tą pracę.
- W rozdziałach 6.4.4, 6.5.4 zaprezentowano wyniki analiz dynamicznych w przypadku wystąpienia zwarcia w sieci AC. Założono stały czas trwania zakłócenia, czyli eliminacja zwarcia następowała po czasie 100 ms. Wydaje mi się, że interesujące byłoby zbadanie wpływu czasu trwania zwarcia na pracę analizowanych układów regulacji a także zbadanie wpływu układu regulacji na, np. krytyczny czas trwania zwarcia w sieci AC?

Powyższe uwagi traktuję jako dyskusyjne i pozostające bez wpływu na moją, pozytywną ocenę rozprawy.

4 Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Opiniowana rozprawa według mnie spełnia to wymaganie. Zgodnie z wymogami Ustawy Doktorant, mgr inż. Michał Brodzicki, wykazał się wiedzą, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.

Lista istotnych osiągnięć rozprawy, które powinny być uznane za oryginalny dorobek Doktoranta zawiera następujące, najistotniejsze elementy:

- opracowanie modelu przekształtnika typu VSC oraz metody wyznaczania parametrów tego modelu,
- opracowanie różnych struktur układów regulacji (w tym układów ze sztuczną inercją) współpracujących z dynamicznymi modelami przekształtników oraz z modelami dynamicznymi pozostałych elementów układu,

- opracowanie autorskich rozwiązań bloków układów regulacji, np. *PQ Limiter, Q Limiter, DGR_parallel* itp.,
- opracowanie skryptów sterujących analizami statycznymi modelu, umożliwiających zmiany zadanych wartości parametrów i kontrolę dopuszczalnego obszaru pracy przekształtnika,
- zdefiniowanie wskaźników skuteczności pracy przekształtnika w stanach dynamicznych.

Doktorant w rozprawie zmierza konsekwentnie do realizacji jej celu i udowodnienia postawionej we wstępie tezy. Pomimo drobnych mankamentów wykład jest jasny i czytelny, zawiera także wszystkie istotne elementy: genezę, tezę, krytyczny przegląd aktualnego stanu wiedzy, sformułowanie problemu, jego rozwiązanie, prezentację wyników, podsumowanie ze wskazaniem wkładu własnego w rozwój dyscypliny naukowej i perspektyw prowadzenia dalszych badań oraz wykaz literatury.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Michała Brodzickiego stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika oraz spełnia warunki i wymagana ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. nr 65, poz. 595 z dnia 16 kwietnia 2003 r. z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Piot. Mill

Elektronicznie podpisany przez Piotr Miller
Data: 2022.07.26 09:01:50 +02'00'