

Recenzja rozprawy doktorskiej

Dipl.-Ing. Franka Mieske

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej, Pana prof. dr hab. inż. Andrzeja Dziedzica z dnia 1 czerwca 2023 r.

Tytuł rozprawy

„Improved Turn-to-Turn Fault Protection for Power Transformers with Power System with Inverter - Based Resources”

Autor niniejszej rozprawy napisanej w języku angielskim, jest obywatelem Niemiec, posiadany przez niego tytuł zawodowy Dyplom – Ingenieur (skrót Dipl.-Ing.) uznawany jest w Polsce jako potwierdzenie ukończenia studiów drugiego stopnia i upoważnia do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora).

1. Wybór tematu rozprawy

Zakres tematyczny rozprawy jest precyzyjnie sformułowany i jasno przedstawiony przez Autora. Co więcej czytelnik jest stopniowo do niego wprowadzany – począwszy od ogólnej problematyki zabezpieczeń transformatorów dużej mocy, poprzez tematykę zwarć zwojowych (w rozprawie jednoznacznie używany jest skrót TTF – turn to turn fault) aż do istoty problemu, czyli zwarć TTF w transformatorach umiejscowionych pomiędzy systemem AC a przekształtnikiem MMC (Modular Multilevel Converter) wyprowadzającym moc z układu prądu stałego będącego źródłem określanym jako IBR (Inverter Based Resource). Przyjmując, że układy zabezpieczeń transformatorów są tematem dobrze rozeznany oraz że zabezpieczenia od

zwarć TTF także doczekały się szeregu rozwiązań (których współautorem jest także Doktorant), to tematyka ich współdziałania z przekształtnikami jest zagadnieniem nowym, mającym istotne znaczenie teoretyczne i praktyczne.

2. Zawartość rozprawy oraz jej ogólna ocena

Opiniowana rozprawa napisana w języku angielskim zawiera 167 stron tekstu (6 rozdziałów) wraz z ilustracjami i wzorami (od strony 119 do 144 załączniki A, B, C, D) oraz z wykazem literatury obejmującym 221 pozycji (od strony 145 do 167).

Pozycje bardzo obszernego wykazu literatury zostały zestawione prawidłowo, co więcej są one Autorowi znane, ponieważ cytuje je obszernie i w odpowiednich miejscach rozprawy. Literatura zawiera zarówno pozycje fundamentalne (np. z 1925 r.) jak też całkowicie współczesne i związane ściśle z tematyką rozprawy.

Praca jest napisana w sposób staranny, prostym technicznym językiem, stosunkowo łatwym do zrozumienia, o ile ma się pod ręką wcześniej wydrukowany wykaz symboli, akronimów i fachowych skrótów, których Doktorant często i obficie używa. Powyższa opinia bierze pod uwagę fakt, że język angielski dla recenzenta (jak też dla Doktoranta) nie jest językiem ojczystym i ewentualne trudności i nieścisłości byłyby tu usprawiedliwione.

Podsumowując, ogólna ocena ambitnej w sensie naukowym i potrzebnej (w sensie potrzeb sektora elektroenergetycznego, zarówno polskiego jak i niemieckiego) rozprawy doktorskiej inżyniera dyplomowanego Franka Mieske, jest bardzo pozytywna.

Sformułowaną na stronie drugiej tezę (wydaje się, że powinna być ona postawiona w dalszym miejscu rozprawy) recenzent uznaje za „zbyt miękką”. Zawiera ona stwierdzenie, że dzięki pewnym zabiegom można osiągnąć

stabilizację pracy zabezpieczenia TTF (opracowanego przy udziale Doktoranta, w oparciu o analizę składowej przeciwnej prądu) także w warunkach jego współpracy z przekształtnikiem MMC. Miękki charakter tezy polega na tym, że przecież wiele urządzeń można „jakoś” udoskonalić, więc stwierdzeni tego typu nosi cechy oczywistości. Wydaje się, że teza powinna być postawiona po wykazaniu, że oddziaływanie przekształtnika potencjalnie zagraża poprawnej pracy zabezpieczenia TTF, ale temu można zaradzić, przez zastosowanie oryginalnego pomysłu Doktoranta i propozycję zabezpieczenia określonego akronimem ZSINSD. Powyższa uwaga dotyczy nie tyle treści pracy, ale raczej pewnego mankamentu jej prezentowania.

Zasadniczym osiągnięciem rozprawy jest bowiem opis algorytmu działania zabezpieczenia ZSINSD, które może odgrywać istotną rolę w zabezpieczeniu transformatorów współpracujących z przekształtnikami wyprowadzającymi moc ze źródeł odnawialnych, które Doktorant określił terminem IBR (Inverter Base Resources). Jego koncepcję, analizę i zalety Doktorant omówił w rozdziale 5.

3. Uwagi szczegółowe i krytyczne

Oceniając bardzo pozytywnie przedmiot rozprawy i uzyskane wyniki, pragnę także zwrócić uwagę na pewne kwestie dyskusyjne. Istota tych uwag dotyczy głównie kwestii organizacji i układu pracy oraz rozłożenia akcentów, który mógłby być nieco inny.

Zasadnicze znaczenie dla zrozumienia osiągnięć pracy ma rozdział 3. Obejmuje on problematykę modelowania zabezpieczanego transformatora, modelowanie zakłócenia TTF, modelowanie przekładników prądowych (CT), modelowanie przekształtnika HVDC MMC, jego układu sterowania, modelowanie strony AC oraz automatyki LVRT. Tym samym tytuł tego rozdziału (Development and Validation of the Converter Transformer Model for Protection Studies) istotnie ogranicza jego rzeczywistą zawartość. Zasadnicze znaczenie dla

zrozumienia istoty pracy mają rysunki 3.28 i 3.31. Jako niezręczność edycyjną recenzent uważa brak zdecydowania Doktoranta czy system AC jest po prawej stronie a MMC po lewej, czy też jak było na rysunkach 3.16, 3.17 i 3.21 odwrotnie. Poza tym warto byłoby uzupełnić rys. 3.28 o symbole łączników dla źródła konwencjonalnego i przekształtnika VSC.

W sensie merytorycznym moje wątpliwości (i prośbę o komentarz Autora) budzą wymienione niżej elementy pracy (przedstawiono je częściowo także w formie pytań).

Zasadniczy problem recenzent ma problem ze zrozumieniem sensu technicznego zastosowanego układu MMC HVDC. Doktorant stwierdza, że przekształtnik MMC współpracuje z linią prądu stałego (str.2), a następnie doprecyzowuje (str.3), że chodzi o linię łączącą morską farmę wiatrową (WPP) z systemem AC na lądzie za pośrednictwem przekształtnika MMC no i transformatora dużej mocy, którego zabezpieczenie od zwarć TTF jest istotą pracy. Zdaniem recenzenta, właściwe byłoby uzasadnienie przyjęcia takiego właśnie rozwiązania. Połączenie morskich farm wiatrowych z systemem AC na lądzie nie musi odbywać się za pomocą linii HVDC, mogą to być linie na napięcie przemiennie, współpracujące ze zlokalizowanymi na platformach stacjami transformatorowymi wysokiego napięcia (projekty na Bałtyku przy polskim wybrzeżu mówią o napięciu 220 kV). Wejście z napięciem przemiennym na morze, może zapewnić większą stabilność pracy generatorów turbin wiatrowych. Przez użyty w rozprawie IBR recenzent rozumiał bardziej farmy fotowoltaiczne zawierające setki przekształtników (np. o mocy 100-300 kW), współpracujących z transformatorami o mocach 1-2 MVA (które prawdopodobnie zabezpieczeń od TTF nie mają) i które dopiero transformują moc z napięcia średniego na napięcie wysokie, za pośrednictwem jednostek transformatorowych dużej mocy, które zabezpieczenia takie mają. Powstaje pytanie, czy model pojedynczego przekształtnika MMC można przystosować w

prosty sposób do modelowania źródeł, które zawierają takich przekształtników kilkadziesiąt czy kilkaset, ale także realizują funkcję LVRT, bo wymaga tego dokument NC RfG.

Zasadnicze osiągnięcie pracy przedstawiono w rozdziale 5. Doktorant wyraźnie podkreśla, że zakłócenia TTF widziane z zacisków transformatora jako prądy składowej przeciwnej mają bardzo małe wartości. Trudność w stworzeniu algorytmu prawidłowo działającego zabezpieczenia od TTF polega na wyeliminowaniu zdarzeń błędnych związanych zarówno z ustalonym stanem pracy jak i zwarciami zewnętrznymi. Doktorant zamieszcza bardzo precyzyjny opis matematyczny zależności pomiędzy wielkością kryterialną a wielkościami mogącymi doprowadzić do zakłóconego działania przełącznika. Opis ten następnie poddaje badaniom na wypracowanym w rozdziale 3 modelu. Badania te uwzględniają odporność zabezpieczenia na nieznaczne zakłócenia wywołane działaniem przełącznika OLTC, nasyceniem przekładników prawych oraz co wynika z istoty rozprawy, prądem indukcyjnym generowanym przez przekształtnik w czasie działania w reżimie LVRT. W podrozdziałach 5.7, 5.8 i 5.9. Doktorant wykazuje uzasadnienie dla zastosowania stabilizacji zabezpieczenia TTF prądem składowej zerowej, przedstawiając stosowne wzory oraz wyniki obliczeń na modelu. Można jednak mieć wątpliwość co do poprawności rysunków 5.12 oraz rys. 5.13. Fizyka podpowiada bowiem zasadę równości amperozwojów na każdej kolumnie transformatora, tymczasem czerwone strzałki w fazach L2 i L3 w uzwojeniu trójkątowym temu przeczą. Kluczowy dla koncepcji ZSINSD rysunek 5.25 wykazuje mankamenty polegające na braku bloku wejściowego (z czym algorytm startuje), a na blokach logicznych (w kształcie rombów) brak wskazań TAK/NIE. Pomimo to rysunek jest zasadniczo zrozumiały.

Rozdział 6 zawiera zestawienie wniosków i podsumowania. Na uwagę zasługuje fakt, że Doktorant nie tylko wskazuje na udowodnienie tezy (co jest standardem

w rozprawach doktorskich) ale także omawia wykryte niedoskonałości zaproponowanego rozwiązania i przyznaje, że doskonalenie zabezpieczenia 87Q FRIC wymaga zastosowania wypracowanych w rozprawie propozycji.

Tak jak wspomniano na początku recenzji rozprawa zawiera także trzy solidnie przygotowane załączniki ułatwiające zrozumienie jej treści i systematyzujące między innymi kwestie konwencji znakowania kierunków prądów i napięć w modelach VSC. Dlatego też, dla porządku, recenzent zgłasza wątpliwość co do rysunku A.2 – w ćwiartce II moc bierna jest bowiem generowana (?).

4. Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Stosowne przepisy (wyspecyfikowane szczegółowo poniżej) wymagają, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. To wymaganie opiniowana rozprawa bez wątplenia spełnia, a sposób rozwiązania problemu przedstawiony w pracy jest obiecujący i dający możliwość praktycznego wykorzystania. Ustawa formułuje pod adresem doktoranta oczekiwanie, aby wykazał się on wiedzą w danej dyscyplinie, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością przedstawienia jej wyników. Te wszystkie cechy i umiejętności Pan Frank Mieske niewątpliwie posiada, co udowodnił w rozprawie i w wykonanych w ramach tej rozprawy obliczeniach symulacyjnych. Jego wiedza teoretyczna w dyscyplinie elektrotechnika (nazwa pełna dyscypliny wg obowiązującego obecnie nazewnictwa - automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne) została przekonująco udowodniona, a przedstawione przez recenzenta uwagi mają charakter dyskusji naukowej i nie obniżają wysokiej oceny rozprawy. Rozprawa wyraźnie wykracza poza poziom przeciętny, a ustawowe wymagania spełnia z nadmiarem. Jej zakres tematyczny związany jest z problematyką integracji odnawialnych źródeł energii z systemem elektroenergetycznym, co ma kluczowe znaczenie dla powodzenia transformacji energetycznej.

Recenzent pragnie podkreślić, że Doktorant od początku do końca pracy konsekwentnie realizuje jej cel, „panuje” nad jej tekstem, pomimo drobnych potknięć w jasny i zrozumiały sposób pokazuje wszystkie istotne elementy pracy: genezę, tezę, zakres, przegląd wiedzy istniejącej, sformułowania problemu, rozwiązanie problemu, testy, podsumowanie i literaturę.

Biorąc przedstawioną wyżej ocenę pod uwagę, recenzent stwierdza, że opiniowana rozprawa Pana Franka Mieske odpowiada w pełni wymaganiom ustawowym stawianym przed rozprawami doktorskimi (art. 13 ust 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki w związku z art. 179 ust.1 i ust 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki)) i wnosi o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Równocześnie biorąc pod uwagę szereg okoliczności recenzent wnioskuje o wyróżnienie rozprawy. Wniosek ten recenzent uzasadnia jej niezwykle dojrzałością badawczą, bardzo dokładnym przedstawieniem wszelkich aspektów algorytmu działania przekaźnika od zakłóceń TTF, obiektywizmem i powściągliwością w ocenie rezultatów rozprawy oraz powiązanie jej tematyki z dotychczasowym udokumentowanym dorobkiem naukowym i zawodowym Doktoranta. Na wyróżnienie zasługuje także poziom edycyjny rozprawy oraz fakt, że Doktorant realizował ją jako obcokrajowiec, przyczyniając się do rozwoju współpracy międzynarodowej.

Noti Kanyko

