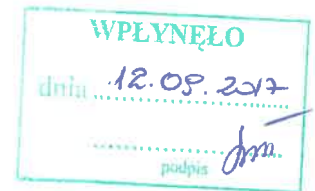


Warszawa, 05.09.2017r.

Prof. dr hab. inż. Jacek Wańkowicz
Instytut Energetyki w Warszawie



RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Oramusa pt:
Researches on limitation of electric arc in low voltage switches.

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo- Hutniczej z dnia 02.06.2017r. dotyczące zrecenzowania rozprawy doktorskiej (zgodnie z uchwałą Rady Wydziału z dnia 01.06.2017).

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska liczy łącznie 184 strony tekstu i składa się z 14 rozdziałów obejmujących również spis literatury, w którym ujęto 152 pozycje bibliograficzne. Na początku opatrzone rozprawę spisem - stosowanych później w tekście – skrótów i symboli.

Rozprawa została napisana w języku angielskim co stanowi coraz szerzej wprowadzaną dobrą praktykę pisania rozpraw na stopień naukowy w Polsce, a co jest już powszechną praktyką na przykład w krajach skandynawskich czy w mniejszym stopniu w Niemczech.

Tematyka rozprawy dotyczy prac badawczo- rozwojowych w zakresie łączników elektrycznych niskiego napięcia, a zwłaszcza ich elementów wykonawczych (układów styków) narażanych na oddziaływanie łuku elektrycznego podczas czynności łączeniowych. Rozprawa ma charakter wybitnie eksperymentalny i jest ukierunkowana na zbadanie zjawisk fizycznych, które warunkują możliwości ograniczenia energii łuku elektrycznego podczas pracy styków.

Należy tutaj zaznaczyć, że grupę łączników elektrycznych o bardzo zróżnicowanych konstrukcjach zalicza się do podstawowych elementów z których są budowane obwody elektryczne, niezależnie od poziomu napięcia i mocy na które te obwody zostały zaprojektowane. O ile w przypadku wysokich i średnich napięć (i zwykle dużych mocy) opracowanie konstrukcji łącznika jest związane z poznaniem zjawisk fizycznych występujących podczas zapłonu, propagacji i gaszenia łuku elektrycznego tak, aby łącznik był w stanie spełnić wymagania funkcjonalne w obwodzie elektrycznym, o tyle w przypadku łączników niskiego napięcia zasadnicze znaczenie

ma ukierunkowanie badań na podniesienie trwałości i niezawodności działania łącznika podczas wielotysięcznych cykli włącz- wyłącz.

Położenie nacisku na trwałość i niezawodność w przypadku łączników niskiego napięcia wynika z innych uwarunkowań eksploatacyjnych w stosunku do łączników wyższych napięć.

W sieciach elektroenergetycznych wysokiego napięcia czynności łączeniowe są stosunkowo rzadkie, a producenci aparatury łączeniowej wymagają dokonywania okresowej diagnostyki jej stanu technicznego.

W przypadku łączników niskiego napięcia skala ich zastosowania oraz stosunkowo niska cena wyznaczają bezobsługowy model eksploatacji od zamontowania do zużycia. Szeroka skala zastosowań, w większości przypadków we współpracy z obwodami elektrycznymi o charakterze indukcyjnym (co również odróżnia je od łączników wysokonapięciowych) wymaga ciągłego rozwoju ich konstrukcji, a przede wszystkim możliwości łączeniowych tak aby mogły one sprostać różnorodnym warunkom eksploatacji.

W rozprawie mając na uwadze zagadnienia trwałości i niezawodności eksploatacyjnej podjęto badania nad możliwością ograniczenia energii elektrycznej łuku w układach styków łączników wykorzystując w tym celu ograniczniki (snubbery) o różnej konstrukcji (dołączane równolegle do układów styków) oraz łącznik o konstrukcji hybrydowej.

Z podjętej tematyki badań wynika zakres rozprawy, który obejmuje poza badaniami rozwoju i gaszenia łuku w warunkach synchronizowanych wyłączeń prądu, wpływu ograniczników na komutację prądu (pasywny układ RC, warystor, ograniczniki diodowe) także badania materiałowe z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego, spektroskopii EDS i szybkiej kamery fotograficznej.

Taki zakres tematyczny rozprawy sprawia, że można ją zaliczyć do prac badawczych, których wyniki są zawsze oczekiwane zarówno przez wytwórców aparatury łączeniowej jak i jej użytkowników. Dlatego należy uznać, że temat rozprawy jest aktualny, a jego wybór dobrze uzasadniony.

Program badań przedstawiony w rozprawie został poprzedzony obszernym omówieniem zjawisk fizycznych i zagadnień związanych z pracą łączników, a także praktycznych metod ograniczania energii elektrycznej łuku i jej skutków w postaci erozji materiałów stykowych. Ta część rozprawy wskazuje na bardzo dobre rozeznanie Autora w piśmiennictwie dotyczącym podjętej tematyki badawczej, a jej zakres jest adekwatny do programu badań zaproponowanego i zrealizowanego w rozprawie w celu udowodnienia jej tezy.

Teza pracy wynikająca z omówionego wcześniej w rozprawie stanu zagadnienia ma charakter użytkowy, a jej wartości naukowej upatruję w całościowym, to jest ilościowym i jakościowym podejściu do metod ograniczania energii łuku elektrycznego. Tezę pracy oceniam pozytywnie. Zrealizowany w rozprawie program badawczy miał na celu uzyskanie odpowiedzi na dwa pytania:

1. Czy na podstawie wykonanych pomiarów napięć i prądów oraz obliczeń energii łuku elektrycznego można dokonać jednoznacznej oceny skuteczności wybranych metod ograniczenia energii łuku podczas działania styków łącznika?
2. Czy dokonana w oparciu o pomiary i obliczenia wielkości elektrycznych, ocena skuteczności wybranych metod ograniczenia energii łuku elektrycznego znajduje potwierdzenie w wynikach badań materiałowych?

Należy zaznaczyć, że Autor rozprawy na tak postawione pytania mógł uzyskać odpowiedź jedynie, w wyniku zrealizowania własnego programu badań ponieważ analiza porównawcza w oparciu o dane literaturowe (rozdziały 3 i 4 rozprawy) prowadziła do pozyskania ogólnych informacji technicznych o ograniczonej przydatności praktycznej.

Należy dalej zauważyć, że jakkolwiek użyteczny cel rozprawy i jego realizacja stanowią o jej wartości merytorycznej to zawiera ona także interesujące aspekty poznawcze do których można zaliczyć:

1. Zróżnicowany, w zależności od poziomu napięcia wpływ synchronizowanych wyłączeń prądu na czas propagacji łuku elektrycznego i jego energię.
2. Ciekawa zależność pomiędzy głębokością erozji styków, a zawartością cyny na badanych powierzchniach, która nie występuje jako pierwiastek na nowych stykach.

Szkoda, że te zagadnienia nie zostały szerzej rozwinięte w rozprawie zwłaszcza, że związek poziomu napięcia z efektem synchronizowanych wyłączeń prądu w postaci ograniczenia energii łuku elektrycznego może mieć jeszcze inne uwarunkowania fizyczne takie jak na przykład właściwości obwodu elektrycznego, którego łącznik jest elementem.

Podsumowując tę część recenzji uważam, że rozprawa dotyczy aktualnej tematyki o walorach aplikacyjnych, teza rozprawy została dobrze sformułowana, a autorski program badań – przez wyniki uzyskiwane w kolejnych fazach jego realizacji – może wspierać dowodzenie prawdziwości tezy.

3. Ocena osiągnięć naukowych Autora rozprawy

Za najważniejsze osiągnięcie naukowe Doktoranta uważam przede wszystkim wykonanie obszernych i pracochłonnych badań eksperymentalnych i analiz, w wyniku których:

1. Dookreślono wpływ synchronizowanych wyłączeń prądu na warunki rozwoju łuku w układzie styków łącznika oraz stwierdzono istnienie istotnych różnic

w zakresie propagacji łuku elektrycznego w zależności zarówno od momentu separacji styków na krzywej prądu (wartość kąta elektrycznego) jak i poziomu napięcia na stykach łącznika.

2. Wykazano wpływ typu konstrukcji ogranicznika napięcia na warunki komutacji prądu w gałęzi obwodu elektrycznego równoległej do styków łącznika i praktyczną możliwość (lub jej brak) ograniczania energii łuku elektrycznego przez ogranicznik danego typu.
3. Wykazano w oparciu o wielowariantową analizę wyników badań eksperymentalnych i obliczeń, że optymalnym rozwiązaniem technicznym, z zakresu przebadanych konstrukcji łączników jest łącznik hybrydowy, którego elementem składowym jest przekaźnik półprzewodnikowy.
4. Potwierdzono wyniki badań energii łuku elektrycznego podczas synchronizowanych wyłączeń prądu w łącznikach autonomicznych (bez gałęzi obwodu elektrycznego z ogranicznikami) oraz dla łącznika hybrydowego, wynikami badań materiałowych erozji powierzchni styków z wykorzystaniem metod mikroskopowych.

Rozwiązywane zagadnienia naukowe zostały jasno sformułowane i opisane przez Autora rozprawy. Sposoby wykonania eksperymentów obliczeń i analiz nie nasuwają istotnych wątpliwości, część z nich jest wyszczególniona w punkcie 4 recenzji.

Uważam, że Autor rozwiązał poprawnie wszystkie postawione zadania badawcze (rozdziały 6,7 i 8 rozprawy) stosując w tym celu właściwe metody. Doktorant opisał jednoznacznie i szczegółowo metodykę przeprowadzonych badań i obliczeń oraz dokonał w poprawny sposób ich interpretacji jakościowej i ilościowej. Tezę naukową rozprawy można uznać za wystarczająco popartą wynikami licznych, dobrze zaplanowanych i konsekwentnie zrealizowanych badań laboratoryjnych na zbudowanym w tym celu stanowisku pomiarowym oraz wynikami badań materiałowych z wykorzystaniem metod mikroskopowych.

Poziom naukowy rozprawy oceniam jako wysoki do czego również przyczynia się bardzo staranny sposób jej opracowania.

Na podstawie zawartości merytorycznej rozprawy jednoznacznie stwierdzam, że Doktorant wykazał się:

- dobrą ogólną wiedzą teoretyczną i praktyczną z materiałoznawstwa elektrycznego, technik przepięciowych, techniki wysokich napięć i elektroenergetyki mieszczących się w zakresie dyscypliny naukowej elektrotechnika,
- umiejętnością samodzielnego prowadzenia dobrze zaplanowanych i zorganizowanych badań naukowych oraz poprawnego opracowywania i dogłębnego interpretowania ich wyników,
- umiejętnościami inżynierskimi podczas projektowania, budowy i testowania stanowiska badawczego.

4. Uwagi ogólne i porządkowe

4.1 Uwagi ogólne

Analiza zawartości merytorycznej rozprawy nasuwa uwagi lub pytania o charakterze dyskusyjnym. Niektóre z tych uwag przedstawiono w tym punkcie recenzji i będą one skierowane do Doktoranta podczas obrony w celu uzyskania komentarza lub wyjaśnień.

1. Do eksperymentów synchronizowanego wyłączenia prądu – przy obu poziomach napięcia wybrano konfigurację obwodu elektrycznego o charakterze indukcyjnym (29,8 mH) i małej rezystancji (1,2 Ω) zwiększając do pewnego stopnia wymagania znormalizowane. Przebieg synchronizowanych wyłączeń prądu wskazywał przy napięciu 12V, najdłuższy czas propagacji i największą energię łuku elektrycznego (dla łącznika autonomicznego) podczas separacji styków przy kącie 90° na krzywej prądu (rys. 7.2 i 7.3). Natomiast najdłuższy czas propagacji i największą energię łuku elektrycznego (rys. 8.2 i 8.3) uzyskano podczas separacji styków dla kąta 35° na krzywej prądowej i przy napięciu 230V.
Czemu należy przypisać zaobserwowaną różnicę wartości kątów na krzywej prądowej? Czy sprawdzano wpływ obciążenia czysto rezystancyjnego na występowanie różnicy wartości kątów?
2. Na rys. 6.17 i 6.22 przedstawiono podstawowy układ mikrokontrolera stanowiska pomiarowego do badania synchronizowanych wyłączeń prądu opisany w tekście rozprawy.
Zarówno prądy jak i napięcia są mierzone z wykorzystaniem odpowiednich sond. Niestety w pracy nie określono dokładności pomiarów tych wielkości fizycznych co powoduje wątpliwości co do przebiegów przedstawionych na wielu wykresach na przykład 7.27, 7.33, 8.24, 8.26 i innych. Czy obserwowane różnice przebiegów nie mieszczą się w zakresie błędów pomiarów?
3. Do eksperymentów wybrano łącznik z dwoma stykami stacjonarnymi przedstawiony na rys. 4.4b, 6.3 i innych. Jakkolwiek taki łącznik jest w stanie przenosić większą energię wyładowania łukowego w stosunku do jednej pary styków to jego wybór z punktu widzenia wykonanych badań jest dyskusyjny.
Nawet w łącznikach o dużej precyzji wykonania synchronizacja czynności łączeniowych dwóch układów stykowych nigdy nie jest idealna i może wносить pewną niejednoczesność działania. Może na to wskazywać rys. 10.2e. Przydałoby się jakieś wyjaśnienie tej wątpliwości zwłaszcza, że mierzone przebiegi czasowe napięć i prądów na stykach są niekiedy krótsze niż 1ms.
4. Efekt poprawy trwałości eksploatacyjnej łącznika można uzyskać stosując materiały stykowe o lepszej odporności na erozję lub zaawansowane rozwiązania techniczne jakim jest zbadany w rozprawie łącznik hybrydowy

zawierający w swojej strukturze przełącznik półprzewodnikowy i zabezpieczenia przepięciowe.

W rozdziale 4.13 rozprawy omówiono wybrane materiały stykowe ale nie wskazano które z nich są najbardziej perspektywiczne z punktu widzenia trwałości eksploatacyjnej. Czy proste łączniki, których styki wykonano z ulepszonych materiałów stykowych mogą stanowić alternatywę dla łączników hybrydowych?

4.2 Uwagi porządkowe i redakcyjne

Stronę redakcyjną rozprawy należy ocenić wysoko za duży wkład pracy włożony w staranne i przejrzyste opracowanie kolejnych rozdziałów. Pomimo tej wysokiej oceny strony redakcyjnej rozprawy można podczas jej czytania odnieść wrażenie, że Autorowi było bardzo trudno pominąć zagadnienia, które nie miały bezpośredniego przełożenia na realizowany program badań. Dotyczy to na przykład podrozdziałów 4.1, 4.1.1, 4.1.3 czy 5.3.1. Wydaje się, że bez szkody dla układu strukturalnego pracy można było przenieść te zagadnienia do załącznika co dotyczy także na przykład rozdziałów od 6.61 do 6.6.4 i dalej całego rozdziału 6.7, związanych z opisem parametrów technicznych zbudowanego stanowiska badawczego.

Można też zwrócić uwagę na niedostatki opisów niektórych rysunków na przykład rys. 4.8, 5.3, 6.22 (oznaczenia powinny być przeniesione z rys. 6.17), 6.23 i innych. Do niektórych rysunków brakuje komentarza wskazującego na różnice w zarejestrowanych przebiegach napięć i prądów. Dotyczy to na przykład rysunków 7.5 – 7.8 czy 8.5- 8.8. Są też drobne pomyłki w numerowaniu rysunków, na przykład na stronie 67 w trzecim wierszu od góry strony jest rys. 4.5b, powinno być 4.4b.

Nie jest rzeczą recenzenta oceniać stronę językową rozprawy, która została napisana w języku angielskim. Uwagi zrobione w tym zakresie mają jedynie na celu pokazanie pomyłek i przeoczeń, które można łatwo wyeliminować. Rozprawa jest napisana zrozumiałym językiem angielskim bez większych błędów gramatycznych. Przykładowe mankamenty językowe podano poniżej:

- str. 19 wiersz 6 od góry, jest and resulting high current density makes the contact material melt, powinno być and resulting current of high density makes the contact material melt,
- str. 19 wiersz 14 od dołu, jest combination energy, powinno chyba być combined energy,
- str. 22 wiersz 2 od góry, jest in dependence on type powinno być depending on type,
- str. 23 wiersz 16 od dołu, jest which can lead not to extinguish vacuum arc – złożenie słów niezrozumiałe,
- str. 23 wiersz 3 od dołu, jest increase of larger temperature with value, powinno być increase of temperature with value,

- str. 25 wiersz 2 od dołu, jest on the based of voltage- current powinno być on the basis of the voltage- current,
- str. 36 wiersz 1 od góry, jest as shown in Fig. 4.3 components that conduct the current are usually made of elastic materials ..., powinno być components that conduct the current, shown in Fig. 4.3, are usually made of elastic materials,
- str. 39 wiersz 11 od dołu, skreślić w tytule rozdziału 4.2 słowa performing the,
- str. 41 wiersz 18 od góry – co należy rozumieć przez value of the electric arc?
- str. 48 wiersz 10 od góry, jest In this state, the voltage source appears ..., powinno być Under these conditions voltage appears ...,
- str. 48 wiersz 12 od góry jest if the voltage source is strong high, powinno być if the voltage source is strong enough...

Przedstawione w tej części recenzji przykładowe mankamenty redakcyjne nie obniżają całościowej wysokiej oceny związanej z jej zredagowaniem i mają na celu skłonienie Autora do jej uważnego kolejnego przeglądu.

5. Podsumowanie

- 5.1 Oceniana rozprawa doktorska należy do grupy bardzo przydatnych prac badawczo rozwojowych z zakresu elektroenergetyki, których realizacja pozwala, w wyniku uzyskania nowej wiedzy z przeprowadzonych badań, zwiększyć trwałość eksploatacyjną urządzeń, w tym przypadku łączników prądu. Dla zrealizowania celu rozprawy, którym jest zwiększenie trwałości eksploatacyjnej łączników, zasadnicze znaczenie mają wyniki przeprowadzonych eksperymentów. Uważam, że tematyka rozprawy jest oryginalna naukowo i ma udokumentowane walory aplikacyjne.
- 5.2 W moim przekonaniu teza rozprawy została udowodniona, a cel rozprawy zrealizowany. Doktorant wykazał się bardzo dobrym opanowaniem wiedzy teoretycznej i umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Ma również umiejętności inżynierskie i praktycznie ukierunkowane zainteresowania naukowe.
- 5.3 Po rozważeniu całościowego zakresu rozprawy, a także wątpliwości i uwag o charakterze dyskusyjnym, uważam że przedłożona mi do recenzji rozprawa spełnia jednoznacznie warunki stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003r. (Dz.U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm. art. 13.1).
- 5.4 Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Piotra Oramusa do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej przed Komisją Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo- Hutniczej, a w przypadku pomyślnego przebiegu obrony – również o wyróżnienie rozprawy.

Wankowicz