

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej mgra inż. Grzegorza Drygały**

**pt.**

**„Zespołowy ogranicznik przepięć przeznaczony do układów trakcyjnych  
wyłączanych przeciwprądem”**

Recenzję rozprawy doktorskiej mgra inż. Grzegorza Drygały pt. „Zespołowy ogranicznik przepięć przeznaczony do układów trakcyjnych wyłączanych przeciwprądem” opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej, w oparciu o przekazany zasadniczy tekst rozprawy liczący 102 strony i jeden załącznik.

### **1. Ocena wyboru tematu i zakresu pracy doktorskiej**

Praca doktorska mgr. inż. Grzegorza Drygały dotyczy analizy teoretycznej i badań eksperymentalnych oraz symulacji komputerowej zjawisk fizycznych zachodzących w zespołowym ograniczniku przepięć, służącym do ochrony przeciwprzepięciowej obwodów trakcyjnych prądu stałego o napięciu znamionowym 3 kV.

Problematyka rozprawy dotyczy w szczególności tych zjawisk fizycznych, które mają miejsce w ogranicznikach przepięć instalowanych w układach trakcyjnych wyposażonych w wyłączniki działające na zasadzie wymuszonego sprowadzania prądu stałego do zera w głównej próżniowej komorze gaszeniowej. W trakcie wyłączania prądu przez układ stykowy wyłącznika, ma miejsce doprowadzenie do niego impulsu prądowego o kierunku przeciwnym do wyłączanego prądu, z uprzednio naładowanego kondensatora wchodzącego w skład gałęzi komutacyjnej, równoległej do głównej komory gaszeniowej. W trakcie przebiegu takiego procesu gaszeniowego łuku elektrycznego występują w obwodzie wyłączanym przepięcia, ograniczane przez ograniczniki przepięć (warystory). Energia wydzielana w nich podczas ograniczania przepięć łączeniowych jest znacząca. Stanowi to główną przyczynę degradacji i uszkodzeń ograniczników przepięć i ma istotny wpływ na niezawodność działania wyłączników elektrycznych prądu stałego.

Rzeczywisty rozwój współczesnej elektroenergetyki, wymaga poszukiwania i stosowania nowych rozwiązań elektrycznej aparatury łączeniowej spełniającej coraz wyższe wymagania odnośnie do niezawodności pracy. Postępy technologiczne w elektrotechnice związane w znacznym stopniu z osiągnięciami inżynierii materiałowej i elektrofizyki umożliwiają obserwowany, zwłaszcza w ostatnich latach na świecie, istotny rozwój konstrukcji łączników wysokiego napięcia, w których niewrażliwą częścią są oprócz układów stykowych, także ograniczniki przepięć. Osiągnięcia w tej dziedzinie elektrotechniki bazują na wynikach doświadczalnych, analizach teoretycznych oraz inwencji projektantów. Szczególną rolę w doskonaleniu warsztatu badawczego, spełniają komputerowe narzędzia analizy i symulacji procesów łączeniowych w układach trakcyjnych prądu stałego wysokiego napięcia.

Recenzowana rozprawa dobrze wpisuje się w ten nurt prac badawczych i dotyczy zagadnień bardzo aktualnych i ważnych, czego wyrazem są liczne artykuły na ten temat w literaturze światowej, na organizowanych konferencjach i sympozjach naukowych. Autor w swojej pracy w sposób logiczny i kompleksowy dokonuje analizy, badania zjawisk fizycznych i ich oceny, z punktu widzenia obciążalności zespołowych ograniczników przepięć i skuteczności odciążenia prądowego dla stosowanych tam warystorów.

Można więc stwierdzić, że podjęta przez doktoranta tematyka ma duże znaczenie poznawcze, jest jak najbardziej celowa, nowoczesna i o dużym znaczeniu praktycznym. Mając powyższe na uwadze, recenzent wysoce pozytywnie ocenia wybór tematu rozprawy doktorskiej.

W stosunku do zakresu pracy doktorskiej opiniujący zgłasza następujące uwagi ogólne:

1. Przeprowadzone przez Doktoranta analizy teoretyczne i kompleksowe badania mają duże znaczenie aplikacyjne. Dotychczasowe rozważania dotyczyły wytrzymałości warystorów na działanie pojedynczego udaru. Ograniczniki mogą być jednak narażone na powtarzające się przepięcia łączeniowe podczas wielokrotnego zadziałania automatyki zabezpieczeniowej, czy wielokrotnych udarów piorunowych. Byłoby interesujące uzyskać od Autora uzupełniającą opinię do powyższych informacji w świetle przeprowadzonych badań i analiz.
2. Byłoby interesujące uzyskać od Autora opinię, czy na tym etapie badań modelu zespołowego ogranicznika przepięć, można by już podjąć próbę sformułowania pewnych wytycznych, odnośnie projektowania układu odciążającego, dla stosowanych w praktyce warystorów, o różnych parametrach znamionowych.

3. W pracy wykonano serię pomiarów czasów własnych kompletnego członu łączeniowego wraz z układem zasilającym go, w funkcji napięcia początkowego kondensatora napędowego, podając przy tym jedynie informację, że rozrzut czasów własnych jest stały i nie przekracza 3%. Nie podano jednak wyników analizy statystycznej tych badań. Byłoby jednak pożądane ustosunkowanie się do tych zagadnień przez doktoranta.

Wymienione wyżej uwagi ogólne traktuję jako dyskusyjne i nie podważają one dalej tezy pracy doktorskiej, natomiast rozszerzają jej zakres. Opiniujący oczekuje ustosunkowania się do wymienionych wyżej uwag ogólnych, w czasie publicznej obrony doktorskiej.

## **2. Zakres pracy doktorskiej i jej elementy oryginalne**

Opiniowana praca obejmuje:

- wstęp,
- cel, tezę i zakres pracy,
- analizę źródeł przepięć w głównych układach zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego wyposażonych w wyłączniki działające na zasadzie wyłączania impulsem przeciwprądu,
- omówienie wpływu udarów prądowych na stopień degradacji warystorów i koncepcji realizacji układu odciążającego,
- analizę przebiegu komutacji prądów, zachodzącej w wyłączniku próżniowym wyposażonym w zespołowy ogranicznik przepięć, w oparciu o zaproponowane trzy modele matematyczne opisujące proces wyłączania i ograniczania przepięć w układzie, oraz opracowane odpowiednie programy w pakiecie Mathcad,
- budowę, badania eksperymentalne i analizę modelu laboratoryjnego zespołowego ogranicznika przepięć, a także ogólną ocenę ekonomiczną stosowania w praktyce takiego ogranicznika,
- uwagi końcowe i wnioski.

Teza pracy rozprawy doktorskiej podana w punkcie 2 (str. 7), jest sformułowana następująco:

*„Poprawa trwałości ograniczników przepięć w obwodach trakcji elektrycznej prądu stałego wyłączanych przeciwprądem jest możliwa do zrealizowania za pomocą układów odciążających energetycznie warystor”.*

Teza sformułowana przez doktoranta w rozprawie doktorskiej została potwierdzona dokonanymi analizami teoretycznymi zjawisk fizycznych zachodzących w zespołowym ograniczniku przepięć, jak i wynikami eksperymentalnych oraz symulacyjnych badań.

Zdaniem recenzenta za oryginalny dorobek zawarty w pracy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Drygały należy uznać:

- Metodyczne podejście do sprecyzowania założeń badawczych odnośnie rozpoznania przebiegu procesów przejściowych w układach zasilania trakcji elektrycznej, wyposażonych w wyłączniki prądu stałego, działających na zasadzie wyłączania impulsem przeciwprądu, a także koncepcję odciążenia energetycznego, dla stosowanych ograniczników przepięć w tego typu wyłącznikach.
- Opracowanie modeli matematycznych opisujących proces wyłączenia i ograniczania przepięć w układzie, oraz przedstawienie ciągu eksperymentów badawczych i symulacyjnych, weryfikujących ich użyteczność.
- Całość prac koncepcyjnych i projektowych umożliwiających zbudowanie kompleksowego stanowiska badawczego, a następnie diagnostykę badanego zespołowego ogranicznika przepięć.
- Twórcze wykorzystanie wyników badań w tej dziedzinie, przeprowadzonych w kraju i zagranicą, których szerokie omówienie podano w rozprawie, stanowi logiczną podstawę rozwijanej przez Autora tezy, oraz programu i realizacji badań eksperymentalnych i symulacyjnych.

### **3. Ocena wiedzy doktoranta w zakresie realizowanej pracy doktorskiej i jej poziomu edytorskiego**

W rozprawie doktorskiej doktorant powołał się na 99 pozycje literatury dotyczącej:

- procesów łączeniowych w układach trakcyjnych prądu stałego,
- wyłączania przeciwprądem zwarć w obwodach trakcyjnych,
- wysokonapięciowych ograniczników przepięć,

- warystorów ZnO oraz ich degradacji wysokoenergetycznymi udarami prądowymi,
- zagadnień gaszenia łuku elektrycznego w próżni,

Podany wykaz literatury można uznać jako zupełnie wystarczający do przyjętego planu i programu badań. Sądzę jednak, że byłoby pożytecznym sięgnąć także do publikacji K. L. Chrzana pt. Wysokonapięciowe ograniczniki przepięć z 2003 roku.

Rozprawa została napisana i zredagowana starannie, mimo pewnych drobnych uchybień redakcyjnych i językowych.

#### **4. Uwagi szczegółowe**

Do opiniowanej pracy doktorskiej mgr. inż. Grzegorza Drygały recenzent zgłasza następujące uwagi szczegółowe:

1. s. 18, rys. 5, brak objaśnienia prądu  $i_s$ ,
2. s. 23, rys. 7, s. 24 wzory (4), (5), (6), s. 26 wzór (10) – ujednoczyć oznaczenia dotyczące miejsca zwarcia  $x$ ,
3. s. 27, rys. 8, s. 28, rys. 10 - mało rozróżnialne kolory poszczególnych wykresów,
4. s. 47,  $U_{ch}$  – brak takiego oznaczenia,
5. s.48, rys. 25 - wskazane byłyby oznaczenia elementów rys.,
6. s.66, rys. 36, s. 71, rys. 39, s.74, rys. 42 - brak krótkich wniosków dotyczących rys.,
7. s. 77, rys. 44, s. 84, rys. 47 – mało czytelne wykresy,
8. s. 86, rys.48, 49, s. 87,rys. 50,s. 88, rys 51, s. 89, rys. 52 i 53 - brak krótkich wniosków dotyczących rys.
9. s. 92 – brak poz. [100] w spisie literatury,

#### **5. Wniosek końcowy**

Opiniowana rozprawa doktorska mgr. inż. Grzegorza Drygały pt:

*„Zespołowy ogranicznik przepięć przeznaczony do układów trakcyjnych wyłączanych przeciwprądem”*

oparta o wyniki analiz teoretycznych oraz badań doświadczalnych i symulacyjnych, spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim.

Recenzowana rozprawa doktorska jest bardzo dobrym przykładem rzetelnie wykonanej pracy badawczej, w której teza naukowa o charakterze zależności przyczynowo-skutkowej, podlegała weryfikacji w kompletnym programie eksperymentalnym i symulacyjnym.

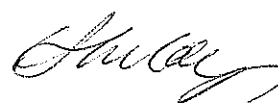
Rozpoznane zostały procesy przejściowe zachodzące w zespolonym ograniczniku prądów w trakcie wyłączania zwarcia wyłącznikiem szybkim, oraz potwierdzona została użyteczność zaproponowanej w pracy koncepcji odciążenia energetycznego warystorów stosowanych w ogranicznikach prądów.

Istotne i uzasadnione jest zatem znaczenie aplikacyjne przeprowadzonych badań, eksperymentalnych i symulacyjnych, ponieważ ich wyniki stwarzają w pewnym stopniu podstawę, do racjonalnego projektowania bardziej niezawodnych układów ograniczania prądów w obwodach sieci trakcyjnej.

Omawiana rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie ważnego zadania naukowego z dyscypliny naukowej Elektrotechnika, dotyczącego poprawy trwałości ograniczników prądów, współpracujących z wyłącznikami prądu stałego w obwodach trakcyjnych.

Podsumowując, można stwierdzić, że mgr inż. Grzegorz Drygała wykazał się zarówno wiedzą jak i umiejętnością prowadzenia pracy naukowej. W szczególności znajomość prac eksperymentalnych, z wykorzystaniem komplementarnym nowoczesnych technik obliczeniowych i narzędzi badawczych jest niewątpliwą zaletą Doktoranta, godną podkreślenia.

W świetle wymagań i przepisów Ustawy o „Tytułach naukowych i stopniach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki” opublikowanej w Dzienniku Ustaw RP nr 65 z dnia 14 marca 2003 roku stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Grzegorza Drygały spełnia wymagania określone w wyżej wymienionej Ustawie, w związku z czym stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji i obrony.



/ Stanisław Kulas /