

Prof. dr hab. inż. Paweł Sowa  
Politechnika Śląska, Gliwice  
Katedra Elektroenergetyki i Sterowania Układów

Gliwice, 2021-08-12



PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY  
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika  
*Szela*  
prof. dr hab. inż. Wojciech Szela

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Szuchnika:**

***“Analiza przebiegów w powłokach kabli 110 kV w liniach ze specjalnym uziemieniem  
żył powrotnych i określenie zasad doboru ograniczników prądów”***

## **1. Podstawa wykonania recenzji**

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie Uchwały Rady dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika Politechniki Poznańskiej z dnia 23 czerwca 2021 r. (dyscyplina naukowa: elektrotechnika). Podstawą wykonania jest opracowanie pod ww. tytułem, o objętości 135 stron, w tym spis literatury zawierający 201 pozycji (w tym 7 katalogów producentów oraz specyfikacji technicznych) oraz 4 załączniki.

## **2. Teza naukowa i zakres pracy**

Teza naukowa została sprecyzowana w rozdziale 2 na stronie 16 pracy. Zdaniem Autora:  
*„W procedurze określania warunków pracy beziskiernikowych ograniczników prądów SVL (chroniących powłoki kabli) konieczne jest uwzględnienie wartości chwilowych napięć indukowanych w metalowych ekranach kabli 110 kV oraz wpływu wartości składowej nieokresowej prądu zwarciovego. Ma to szczególne znaczenie dla zapewnienia niezawodności i bezpieczeństwa pracy systemów kablowych wysokiego napięcia z różnymi sposobami uziemienia żył powrotnych kabli i prądach zwarciovych przekraczających wartość 40 kA.”*

Wprowadzając czytelnika w sformułowaną przez siebie tezę Autor na stronie 15 stwierdza:  
*„Z powodu bardzo dużej nieliniowości charakterystyki napięciowo-prądowej U-I ogranicznika, wartość skuteczna napięcia przyłożonego do jego zacisków nie odgrywa znaczącego wpływu na warunki pracy, na jakie jest narażony. Jedynie wartość chwilowa może być brana*

pod uwagę w przypadku wyznaczenia energii, jaką ogranicznik może pochłonąć w celu wyznaczenia punktu stabilności termicznej.” Jak do wyznaczenia energii można wybrać wartość chwilową? Energia to moc w czasie a tu bierze się wartość chwilową czyli w danej chwili czasu. Może chodzi o przebieg w czasie wartości chwilowej?

Na tej samej stronie pisze, że jednym z zagadnień do rozwiązania w problemie badawczym, będącym przedmiotem rozprawy jest „ocena wpływu składowej nieokresowej prądu zwarcio-owego na przebieg napięcia indukowanego, a także na wartość parametru TOV (Temporary OverVoltage). Nasuwa się pytanie „co z wpływem wyższych harmonicznyc czy subharm- nicznyc które mogą pojawić się w prądzie zwarcia 1 fazowego?”

Dla udowodnienia tezy naukowej Autor przyjął zakres swojej pracy opierających się o następujące zadania:

- przegląd literatury, dotyczących informacji technicznych i eksploatacyjnych podanych przez operatorów sieci WN,
- analiza możliwości zastosowania różnych konfiguracji i układów połączenia ekranów metalicznych kabli w liniach kablowych WN wraz ze zbadaniem potencjalnego oddziaływania na pracę ograniczników przepięć SVL,
- analiza bezpiecznych warunków pracy beziskiernikowych ograniczników przepięć,
- propozycja szczegółowego procesu doboru parametrów SVL, jako niezbędnego obszaru opracowania projektu technicznego linii kablowych z zastosowanym specjalnym uziemieniem żył powrotnych,
- szczegółowa analiza przepięć przy wykorzystaniu symulacji komputerowych dla przykładowych linii kablowych WN,
- ocena dostępnych metod obliczeniowych wraz z propozycją procesu realizacji prac związanych z doбором parametrów SVL (Sheath Voltage Limiter) dla nowoprojektowanych linii kablowych.

### **3. Ocena znaczenia i aktualności podjętej tematyki**

Problematyka podjęta przez Doktoranta dotyczy analizy systemów kablowych najwyższych napięć a w szczególności warunków pracy beziskiernikowych ograniczników przepięć SVL.

Z uwagi na charakter badań bezwarunkowe jest uwzględnienie parametrów w elektromagnetycznych stanach przejściowych.

Studia literaturowe przeprowadzone przez Autora oraz jego doświadczenia eksploatacyjne wykazały, że wiele z dotychczasowych metod obliczeniowych nie pozwala na prawidłowy dobór ograniczników przepięć SVL. Istnieje zatem konieczność opracowania wytycznych, koniecznych dla przeprowadzenia wnikliwej analizy systemów kablowych ze specjalnym uziemieniem żył powrotnych.

Generalnie badania przebiegów przejściowych w liniach kablowych są słabiej reprezentowane w literaturze w porównaniu do takich samych badań w liniach napowietrznych. Jest kilka czynników powodujących taki stan rzeczy, przy czym są one ze sobą wzajemnie powiązane.

W systemach przesyłowych dominującą rolę odgrywają linie napowietrzne, jednak na całym świecie obserwuje się dynamiczny rozwój sieci kablowej. W układach rozdzielczych jest tendencja do stopniowej przebudowy istniejących linii napowietrznych i zastępowania liniami kablowymi. Przykładowo spółka dystrybucyjna Tauron prowadzi stopniowe, równomierne kablowanie linii na całym obszarze swojego działania.

W układach przesyłowych wysokich napięć dominującą rolę przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych odgrywa jak dotychczas aspekt ekonomiczny - koszt budowy linii napowietrznej jest niższy niż koszt budowy równoważnej linii kablowej. Dla rozwoju sieci kablowej na wszystkich poziomach napięć główną rolę odgrywają względy techniczne, topograficzne i ekologiczne. Coraz częściej jednak dominującą rolę odgrywają względy społeczne w tym nie tylko brak zgody na obecność linii w najbliższym otoczeniu miejsca zamieszkania z powodów estetycznych, ale przede wszystkim obawa przed mniej lub bardziej uzasadnionym oddziaływaniem pola elektromagnetycznego wytwarzanego w otoczeniu na organizmy żywe.

Czynnikiem decydującym o konieczności preferowania linii kablowych powinna być dążność do realizacji dostaw energii w sposób ciągły i niezawodny, przy zachowaniu obowiązujących wymagań jakościowych.

Na całym świecie w ostatnich latach zainstalowano znaczące długości linii kablowych lądowych i morskich zarówno prądu przemiennego, jak i stałego, wykorzystując coraz lepsze metody ich układania (spółka Tauron chce wykorzystać nowoczesną technologię płużenia kabli).

Niewątpliwie jedną z przyczyn powodujących niedoceniającą tematyki elektromagnetycznych stanów przejściowych w krajowych ośrodkach naukowych jest brak możliwości weryfikacji pomiarowej rezultatów analizy obliczeniowej otrzymanych za pomocą odpowiedniego modelu systemu elektroenergetycznego. Innym powodem jest konieczność zastosowania odpowiedniego narzędzia symulacyjnego, którego wykorzystanie wymaga zarówno znajomości

odzworowania elementów układu – również odpowiednich metod numerycznych jak i umiejętności praktycznej analizy zjawisk będących przedmiotem badań.

Z tego też względu podjęty przez Doktoranta temat należy uważać za ważny, wypełniający w pewnym stopniu lukę w badaniach całokształtu zjawisk przejściowych występujących w systemie elektroenergetycznym.

## **4. Ocena merytoryczna pracy**

### **4.1. Zastosowana metodyka badań**

Dla analizy elektromagnetycznych zjawisk przejściowych obejmujących zagrożenia recenzowanej Autor rozprawy wybrał program symulacyjny EMTP. Użytkowy program komputerowy EMTP, stworzony przed wielu laty jako narzędzie służące do analizy stanów niestabilnych w liniach przesyłowych najwyższych napięć, jest dzisiaj najbardziej znanym oprogramowaniem na świecie stosowanym powszechnie w ośrodkach naukowych przemysłowych oraz uczelnianych. Bardzo cenną zaletą tego programu jest jego stała aktualizacja, zarówno z punktu widzenia rozwoju technologicznego (coraz szybsze procesory, coraz większe pamięci) jak i nowych modeli wprowadzanych bądź udoskonalanych przez użytkowników i/lub autorów programu.

Aktualnie do dyspozycji są trzy wersje programu: ATP - europejska, z wiodącym ośrodkiem w Hanowerze (Niemcy), MicroTran - produkt Uniwersytetu w Vancouver (Kanada) oraz EMTP-RV. Doktorant wybrał wersję ATP – jako najbardziej dostępną – również finansowo, jednak wymagającą od użytkownika największego nakładu pracy oraz odpowiednich umiejętności, ale również jak pisze wersję EMTP-RV.

W przeciwieństwie do linii-napowietrznych, dla których model JMARTI (FD) jest prawie idealnym zweryfikowanym rozwiązaniem, dla linii kablowej proponowane są różne modele – również w poszczególnych wersjach programu EMTP. Uniwersalność modelu FD spowodowała błędne próby jego wykorzystania dla linii kablowych. Wprowadzony model FDQ (LMARTI) wydaje się optymalnym rozwiązaniem, jednak w dalszym ciągu są prowadzone badania nad jego ulepszeniem, w wyniku których powstają nowe moduły – przykładowo zCable (UBC Vancouver).

Wyniki testów modelu FDQ oraz zCable wykazały bardzo dużą zgodność, dodatkowo stwierdzono, że oba modele są dokładniejsze niż model liniowy FD z macierzą stałej

transformacji. Główną zaletą modelu zCable jest bezwzględna stabilność numeryczna modelu dla silnie asymetrycznych konfiguracji kabli oraz dla dowolnych warunków zakłóceńowych.

Autor rozprawy wykorzystuje dwie wersje programu EMTP: ATP – jako główne narzędzie symulacyjne oraz EMTP-RV – dla modelu szerokopasmowego WB. Byłoby interesujące zaprezentować podczas publicznej obrony pracy doktorskiej, jak współpracują oba programy wykorzystywane jednocześnie podczas tej samej symulacji.

Wybór narzędzia matematycznego - środowiska EMTP uważam za właściwy dla symulacji w zakresie przyjętym przez Autora rozprawy. Autor swobodnie „porusza się” w obszarze nowoczesnych metod numerycznych i modeli matematycznych elementów systemu elektroenergetycznego, bardzo dobrze opisuje zamierzenia badawcze a następnie bogato dokumentuje przeprowadzone symulacje. Podane w załącznikach szczegółowe dane pozwalają na ewentualną weryfikację uzyskanych przez Niego wyników za pomocą innego dostępnego oprogramowania komputerowego spoza środowiska EMTP np. DigSilent lub Netomac.

#### **4.2. Ocena wyników obliczeń**

Przedstawiona do oceny praca jest bardzo rozbudowana i porusza wiele problemów związanych z procedurami określania warunków pracy beziskiernikowych ograniczników prądów SVL. Badania przeprowadzone zostały wykonane dla różnych modeli linii (nie tylko kablowej), z uwzględnieniem autorskich modeli cyfrowych poszczególnych elementów systemu kablowego oraz kompleksowej procedury wyboru konkretnego ogranicznika prądów pracującego jako SVL.

Dzięki autorskiemu procesowi doboru parametrów ograniczników prądów opracował precyzyjne wytyczne, które są niezbędne do modelowania i analizy zjawisk występujących w systemach kablowych.

Wykazał przydatność zaproponowanego procesu modelowania i symulacji systemów kablowych w celu poprawnego doboru parametrów elektrycznych ograniczników prądów SVL oraz przedstawił ograniczenia powszechnie wykorzystywanych analitycznych metod obliczeniowych ich potencjalny wpływ na błędny dobór ograniczników prądów SVL.

Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością poruszanej problematyki. Zaproponował szereg dalszych badań, których wyniki mogą skutkować zaproponowaniem rozwiązań umożliwiających lepszy opis matematyczny obwodu ziemnopowrotnego linii kablowych z zastosowanym specjalnym uziemieniem żył powrotnych. To z kolei stanowiłby podstawę do wyznaczenia

sumarycznej wielkości prądu uziomowego, jak również dla określenia wartości wzrostu lokalnego potencjału ziemi podczas zwarcia jednofazowego oraz dwufazowego z ziemią.

Przeprowadzone przez Autora analizy i symulacje potwierdzają słuszność przyjętych założeń i wskazują na wysoką zasadność podjętej tematyki oraz kierunków badań.

### 4.3. Uwagi dyskusyjne

W trakcie studiowania pracy nasunęły mi się następujące uwagi i pytania:

- Na stronie 74 opisano (rysunek 6.2) proces „Tworzenia ekwiwalentu zwarciego systemu po zastąpieniu podsystemu zewnętrznego gałęzią L4”. Co takiego reprezentuje gałąź L4 i jak wyznaczane są jej parametry? Przy krótkim opisie Autor powołuje się na dwie pozycje literaturowe krajowe, które jednak dotyczą modeli w stanach ustalonych bądź quasi- ustalonych, co najwyżej mogą mieć zastosowanie w obliczeniach zjawisk elektromechanicznych. Szkoda, że Autor nie wykorzystał bogatej literatury światowej (publikacje prof. Erlicha), ale również nie skorzystał z publikacji na Politechnice Śląskiej (w tym obszernej monografii). Uproszczenie schematów zastępczych (z obu stron linii) do prostych elementów skupionych (elementy schematów zastępczych są określane na podstawie informacji o mocy zwarciego systemu), jak to niestety można jeszcze spotkać w bardzo wielu publikacjach, jest obarczone dużym błędem. Generalnie istnieją dwa sposoby postępowania przy poszukiwaniu ekwiwalentów systemu zewnętrznego w badaniach elektromagnetycznych stanów nieustalonych:
  - poszukiwanie ekwiwalentu + identyfikacja parametrów
  - wykorzystanie sztucznej sieci neuronowej
- Strona 81 rozdział 6.2.5. Wpływ składowej nieokresowej prądu zwarciego. W rozdziale mowa o składowej nieokresowej natomiast opis matematyczny (równanie 6.6) dotyczy zapisu dla wartości skutecznych? Jak wyznaczona wartość skuteczną dla sygnału zmiennego w czasie? Jaka jest definicja wartości skutecznej sygnału?.
- Co uzyskuje się dokonując krzyżowania ekranów metalicznych w kontekście sygnałów zmiennych w czasie lub składowej zerowej?
- Niejasne podpisy pod rysunkami, np. Rys.6.13. Przebiegi napięcia na przekładkach izolacyjnych w miejscu krzyżowania żył powrotnych dla różnych typów kabli połączenia między mufami a ogranicznikami przepięć.
- Numeracja rysunków. Trzy razy występuje rysunek 7.6. Jak obliczono chwilowe wartości skuteczne sygnałów przemiennych (nieregularnych) w czasie?

- W Tablicach 7.3 i 7.4 – występuje ten sam problem: zakładając, że wymuszenie i otrzymane napięcie nie są zawsze sygnałami monoharmonicznymi (przemiennymi w czasie) jak obliczono fazory napięć indukowanych? Podaje się je w zapisie fazora!
- Czy w pracy brano pod uwagę również wiązki kablowe, np. 3 kable 1 żyłowe na fazę?
- Na stronie 100 jest opis i rysunek sugerujący, że Autor w przyszłości będzie analizował sygnały udarowe – przepięcia atmosferyczne. Jak będzie wyglądał model linii kablowej dla zakresów „mikrosekundowych” ? Co z uwzględnieniem ulotu dynamicznego ?

Uwagi oraz pytania szczegółowe, mają wyraźnie charakter dyskusyjny i nie wpływają na moją ocenę recenzowanej rozprawy, która jest jednoznacznie pozytywna.

## 5. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne podejście do rozwiązania interesującego, aktualnego i bardzo ważnego dla praktyki problemu naukowego.

Autor rozwiązał poprawnie postawiony problem. Sposób przeprowadzonych badań wskazuje, że mgr. inż. Krzysztof Szuchnik posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia wymagania Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora oraz Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 882 i 1311).

Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Szuchnika do publicznej obrony.

