

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Nowaka
pt.: „Eliminowanie łuku awaryjnego i ograniczanie skutków zwarciovych
z wykorzystaniem łączników hybrydowych”**

Promotor: dr hab. inż. Jerzy Janiszewski, prof. PP

Promotor pomocniczy: dr inż. Grzegorz Dombek

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Nowaka pt.: „Eliminowanie łuku awaryjnego i ograniczanie skutków zwarciovych z wykorzystaniem łączników hybrydowych”, została opracowana na podstawie:

- D1. Pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Nadolnego z dnia 22 września 2022 roku, sygn. WISIE.63.64.2022 oraz umowy o dzieło nr 0710/2022/97 z dnia 29 września 2022 roku.
- D2. Uchwały Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 20 września 2022 roku.
- D3. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r., Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r., poz. 1669, z późn. zm.).
- D4. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r., poz. 1668, z późn. zm.).

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona w postaci zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, co spełnia wymagania ustawy [D4] (Art. 187, ust. 3). Mgr inż. Karol Nowak zebrał artykuły naukowe stanowiące rozprawę doktorską w zwarte opracowanie wydrukowane na 115. stronach. Po stronie tytułowej jest spis treści oraz dwa streszczenia, pierwsze w języku polskim, drugie w angielskim. W punkcie 3. opracowania jest wykaz głównych publikacji naukowych stanowiących rozprawę doktorską, a w punkcie 4. Podobny wykaz zawierający dodatkowe prace z udziałem Autora związane z rozprawą doktorską. Punkt 5. Opracowania zawiera wykaz pozostałego dorobku naukowego Autora z podziałem na: pozostałe publikacje, udział w konferencjach naukowych oraz inne osiągnięcia w działalności naukowej i organizacyjnej. W kolejnym punkcie (6) opracowania Autor opisał swoje osiągnięcia naukowe, w tym sformułował cel pracy i hipotezę badawczą oraz przedstawił literaturę (spis liczy 30 pozycji). Punkt 7 zawiera wydruki 4. głównych publikacji naukowych stanowiących rozprawę doktorską. Na końcu opracowania są oświadczenia współautorów 4. głównych publikacji ze wskazaniem udziału poszczególnych autorów.

1. Charakterystyka zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących rozprawę doktorską

Artykuł nr 1

Tytuł: „Thyristor Arc Eliminator for Protection of Low Voltage Electrical Equipment”.

Autorzy: Karol Nowak, Jerzy Janiszewski i Grzegorz Dombek.

Czasopismo naukowe Energies, 2019, 12 (140 pkt. w wykazie punktowanych czasopism naukowych opublikowanych przez Ministra Edukacji i Nauki; IF w roku publikacji: 2,707; 5-letni IF: 3.333).

Według ResearchGate, artykuł był cytowany 3 razy (wszystkie cytowania są w publikacjach współautorskich).

Udział Autora rozprawy doktorskiej w artykule:

- Na podstawie artykułu: współudział w opracowaniu wstępu, współudział w przygotowaniu sekcji dotyczącej opisu tyrystorowego eliminatora łuku, indywidualny udział w opisie wyników eksperymentów, ale wszyscy współautorzy uczestniczyli przy planowaniu eksperymentu, współudział w sekcji zawierającej dyskusję oraz współudział w przygotowaniu wniosków.
- Na podstawie oświadczeń: wkład indywidualny Autora w pracę: 60%; przygotowanie stanowiska badawczego, wykonanie i rejestracja wyników badań, analiza danych pomiarowych, opracowanie pierwszej wersji publikacji.
- Na podstawie opisu w opracowaniu zwartym: Autor był odpowiedzialny za przygotowanie stanowiska badawczego, opracowanie koncepcji i metodyki badań, przeprowadził indywidualnie większość zaplanowanych, laboratoryjnych prac badawczych, zarejestrował wyniki badań, a następnie opracował je w postaci tabel i wykresów, dokonał szerokiej analizy wpływu zmiany charakteru obciążenia na czas gaszenia łuku elektrycznego za pomocą tyrystorowego eliminatora łuku oraz był odpowiedzialny za przegląd tematycznie związanych artykułów naukowych, opracowanie pierwszej wersji manuskryptu i udzielenie odpowiedzi na recenzje.

Artykuł nr 2

Tytuł: „A Multi-Sectional Arc Eliminator for Protection of Low Voltage Electrical Equipment”.

Autorzy: Karol Nowak, Jerzy Janiszewski i Grzegorz Dombek.

Czasopismo naukowe Energies, 2020, 13 (140 pkt. w wykazie punktowanych czasopism naukowych opublikowanych przez Ministra Edukacji i Nauki; IF w roku publikacji: 3,004; 5-letni IF: 3.333).

Według ResearchGate, artykuł był cytowany 2 razy (wszystkie cytowania są w publikacjach współautorskich).

Udział Autora rozprawy doktorskiej w artykule:

- Na podstawie artykułu: współudział w opracowaniu wstępu, współudział w przygotowaniu sekcji dotyczącej metodyki i opisu obiektu badań, współudział w opisie procedury wyzwalania tyrystorów, współudział w pozostałych sekcjach artykułu.
- Na podstawie oświadczeń: wkład indywidualny Autora w pracę: 60%; przygotowanie stanowiska badawczego, wykonanie i rejestracja wyników badań, analiza danych pomiarowych, opracowanie pierwszej wersji publikacji.
- Na podstawie opisu w opracowaniu zwartym: Autor był odpowiedzialny za przygotowanie stanowiska badawczego, opracowanie koncepcji i metodyki badań, przeprowadził indywidualnie większość zaplanowanych, laboratoryjnych prac badawczych, dla kilku rozwiązań eliminatora łuku zarejestrował serie wyników badań, a następnie opracował je w postaci tabel i wykresów oraz był odpowiedzialny za przegląd tematycznie związanych artykułów naukowych, opracowanie pierwszej wersji manuskryptu i udzielenie odpowiedzi na recenzje.

Artykuł nr 3

Tytuł: „The Possibilities to Reduce Arc Flash Exposure with Arc Fault Eliminators”.

Autorzy: Karol Nowak, Jerzy Janiszewski i Grzegorz Dombek.

Czasopismo naukowe Energies, 2021, 14 (140 pkt. w wykazie punktowanych czasopism naukowych opublikowanych przez Ministra Edukacji i Nauki; IF w roku publikacji: 3,252; 5-letni IF: 3.333).

Według ResearchGate, artykuł był cytowany 3 razy (jedno cytowanie jest w publikacji współautorskiej, dwa są w publikacjach niezależnych autorów(rok 2021)).

Udział Autora rozprawy doktorskiej w artykule:

- Na podstawie artykułu: współudział w koncepcji, metodyce, analizie formalnej, badaniach, opracowaniu i edycji artykułu oraz indywidualny udział w wizualizacji wyników.

- Na podstawie oświadczeń: wkład indywidualny Autora w pracę: 60%; przygotowanie stanowiska badawczego, wykonanie i rejestracja wyników badań, analiza danych pomiarowych, opracowanie pierwszej wersji publikacji.
- Na podstawie opisu w opracowaniu zwartym: Autor był odpowiedzialny za opracowanie sposobu rejestracji i metodyki badań oddziaływań łuku elektrycznego w awaryjnych stanach pracy sieci elektroenergetycznej, przeprowadził indywidualnie większość zaplanowanych, laboratoryjnych prac badawczych, a także zebrał oraz dokonał analizy zarejestrowanych przebiegów i rejestracji fotograficznych, wykonał obliczenia matematyczne związane z energią łuku elektrycznego i niebezpieczną strefą jego rażenia oraz był odpowiedzialny za przegląd tematycznie związanych artykułów naukowych, opracowanie pierwszej wersji manuskryptu i udzielenie odpowiedzi na recenzje.

Artykuł nr 4

Tytuł: „A New Short-Circuit Hybrid Device for the Protection of Low-Voltage Networks From the Effects of an Arc Fault”.

Autorzy: Karol Nowak, Jerzy Janiszewski i Grzegorz Dombek.

Czasopismo naukowe IEEE Access 2022, vol. 10 (100 pkt. w wykazie punktowanych czasopism naukowych opublikowanych przez Ministra Edukacji i Nauki; IF w roku publikacji: 3,476; 5-letni IF: 4.676).

Artykuł nie był cytowany.

Udział Autora rozprawy doktorskiej w artykule:

- Na podstawie oświadczeń: wkład indywidualny Autora w pracę: 80%; obejmuje opracowanie koncepcji i metodyki badań, wykonanie i rejestrację wyników badań, analizę danych pomiarowych, opracowanie pierwszej wersji publikacji.
- Na podstawie opisu w opracowaniu zwartym: Autor był odpowiedzialny za opracowanie koncepcji i metodyki badań ograniczania skutków oddziaływania łuku awaryjnego i przepływu prądów zwarciovych, przeprowadził indywidualnie większość zaplanowanych, laboratoryjnych prac badawczych, zarejestrował wyniki badań, a następnie opracował je w postaci tabel i wykresów, wykonał obliczenia matematyczne związane z elektrodynamiką torów prądowych, erozją materiałową oraz natężeniem dźwięku w otoczeniu wieloprądowego łuku elektrycznego oraz był odpowiedzialny za przegląd tematycznie związanych artykułów naukowych, opracowanie pierwszej wersji manuskryptu i udzielenie odpowiedzi na recenzje.

Zdaniem recenzenta udział Autora rozprawy w poszczególnych artykułach nie jest precyzyjnie określony, szczególnie w trzech pierwszych artykułach opublikowanych w czasopiśmie Energies. Ujęcie procentowe jest tylko pewną ogólną miarą udziału. W naukowych pracach awansowych najważniejszy jest szczegółowy udział poszczególnych autorów w zakresie merytorycznym. **Do oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Nowaka, recenzent uznaje merytoryczny opis udziału Autora przedstawiony w zwartym opracowaniu.**

2. Problem naukowy (teza) rozprawy i trafność oraz jasność jego sformułowania

Zwarcia łukowe są jednymi z najpoważniejszych stanów awaryjnych w elektroenergetyce. Cechami charakterystycznymi tych zwarć są m.in.: wysoka temperatura, rozprzestrzenianie się plazmy i gorącego powietrza, gwałtowna zmiana ciśnienia gazu izolacyjnego, a w efekcie rozrzut odłamków i fragmentów stopionych elementów oraz wydzielanie się toksycznych gazów. Zatem istotnym problemem w kontekście ograniczenia skutków tego typu zwarcia jest wczesne wykrycie łuku, a następnie jego eliminacja. Poszukiwanie rozwiązań w tym zakresie jest aktualnym problemem we współczesnej elektroenergetyce, i to zarówno z praktycznego punktu widzenia, jak i naukowego.

Cel i hipoteza badawcza rozprawy zostały sformułowane w punkcie 6.2. opracowania. Celem pracy było opracowanie koncepcji eliminowania łuku awaryjnego i ograniczania skutków zwarciovych z wykorzystaniem łącznika hybrydowego. Technicznym rozwiązaniem

problemu byłby specjalny łącznik, składający się z łączników półprzewodnikowych oraz zwiernika mechanizmowego. Taki łącznik powinien skutecznie eliminować łuk elektryczny w zwarciu o dużej wartości natężenia prądu. Chociaż z przedstawionego celu pracy bezpośrednio nie wynika aspekt naukowy, to uszczegółowienie celu pracy w postaci 7. zakładanych efektów zastosowania przedmiotowego łącznika oraz przedstawienie zakresu etapów badawczych pozwala na wskazanie naukowych aspektów celu ocenianej pracy.

Hipoteza badawcza została sformułowana następująco: przy aktualnym stanie wiedzy, istnieją techniczne możliwości opracowania konstrukcji łącznika hybrydowego, pozwalającego na szybkie i skuteczne eliminowanie awaryjnego łuku elektrycznego oraz efektywne ograniczanie skutków powodowanych wyładowaniami łukowymi i przepływami prądów zwarciovych.

Problem naukowy jest aktualny, cel pracy i hipoteza badawcza są czytelne i trafnie sformułowane.

3. Ocena rozwiązania postawionego problemu, w tym zastosowanych metod oraz ocena umiejętności Autora związanych z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych

Autor przyjął, że dobrym rozwiązaniem zidentyfikowanego problemu ograniczenia skutków zwarciovych i łukowych jest skrócenie czasu przepływu prądu w obwodzie zwarciovym. W tym celu poszukiwał rozwiązania, które pozwoliło by na zbocznikowanie miejsca wystąpienia zwarcia w jak najkrótszym czasie oraz możliwie dużej obciążalności prądowej. Wiadomo, że łączniki półprzewodnikowe charakteryzują się krótkimi czasami zadziałania, ale stosunkowo małą obciążalnością prądową (w stosunku do natężenia prądów zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych). Natomiast łączniki mechanizmowe są stosunkowo wolne w działaniu, ale charakteryzują się znacząco dużą obciążalnością prądową. Zatem, ideowo korzystnym rozwiązaniem problemu będzie zaproponowane przez Autora rozprawy połączenie tych dwóch łączników w jednym łączniku hybrydowym.

Rozwiązanie techniczne zwiernika hybrydowego Autor rozprawy wraz z promotorem zgłosił do ochrony patentowej w roku 2018. Patent przyznany został w roku 2022. Przedmiotem wynalazku był zwiernik hybrydowy będący urządzeniem wykonującym bardzo szybkie zbocznikowanie dotkniętego awarią obwodu elektrycznego, mające na celu stworzenie alternatywnej, uprzywilejowanej drogi dla przepływu prądu.

W artykule nr 1 przedstawiono układ dwóch połączonych przeciwobnie tyrystorów, które mają za zadanie szybką eliminację łuku elektrycznego. Autor pisze, że „spadek napięcia na przewodzących półprzewodnikach jest mniejszy od napięcia palącego się łuku elektrycznego, czego efektem powinno być jego zgaszenie”. Obwód testowy przedstawiony jest na rys. 2 w artykule nr 1.

Wyjaśnienia wymaga wpływ parametrów R_R i L_R na skuteczność zgaszenia łuku, szczególnie przy dużych wartościach natężenia prądu zwarciovego (będą również spadki napięcia na rezystorze R_R i cewce L_R). Autor w artykule nr 1 odwołuje się do artykułu [10], którego autorzy również wskazują na ograniczenia proponowanego rozwiązania, konkretnie że eliminator łuku nie spełni swojego zadania (szybkiej eliminacji łuku) w obwodach z dużą indukcyjnością lub w sytuacji, gdy łuk powstaje w dużej odległości od eliminatora łuku. W artykule nr 1 pokazano, że zwiększając indukcyjność obwodu zwarciovego (rys. 8) zwiększa się czas podtrzymywania łuku, ale łącznik spełnia swe zadanie. Sam Autor pisze, że w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia prądu przemiennego rezystancja obwodu znacznie przekracza jego reaktancję. Zatem, jaki będzie wpływ parametrów R_R i L_R na skuteczność zgaszenia łuku, przy dużych wartościach natężenia prądu zwarciovego, szczególnie w kontekście wartości napięcia?

We wnioskach w artykule nr 1, Autor pisze, że badania eksperymentalne wykazały, że w obwodach o dominującej rezystancji w stosunku do reaktancji dwa przeciwnie połączone tyrystory mogą działać jako eliminator łuku, który zgasi łuk w czasie krótszym niż 0,7 ms.

Wyjaśnienia wymaga proces detekcji łuku (na razie nie poruszamy zagadnienia lokalizacji detektora/detektorów). Jaki jest czas identyfikacji łuku w samym detektorze oraz jaki jest czas reakcji układu wyzwalania tyrystorów w kontekście podanego w artykule nr 1 czasu 0,7 ms? Interesująca jest odpowiedź na kolejne pytanie dotyczące samego procesu detekcji łuku. Jakie jest prawdopodobieństwo niewłaściwego zadziałania detektora, to znaczy błędnego sygnału stwierdzającego łuk elektryczny?

Dla zwiększenia obciążalności prądowej proponowanego łącznika półprzewodnikowego zastosowano rozwiązania z połączeniem równoległym wielosekcyjnych gałęzi z tyrystorami. Takie rozwiązania przedstawiono w artykułach nr 2 (rys. 2) i 3. Badane były układy trzysekcyjne (artykuł nr 2, rys. 3), dwusekcyjne (artykuł nr 2, rys. 6) oraz dwusekcyjne z tyrystorem o mniejszym napięciu przewodzenia (artykuł nr 2, rys. 11) i tyrystorem o mniejszym napięciu przewodzenia i większą liczbą szeregowych tyrystorów w gałęzi najwyższego rzędu (artykuł nr 2, rys. 15).

Autor, w artykule nr 2 zaproponował procedurę wyzwalania tyrystorów zapewniającą skuteczne zmniejszenie napięcia między zaciskami proponowanego łącznika. Tyrystory powinny mieć jak najniższe napięcie przewodzenia. Od wartości tego napięcia zależy skuteczność eliminacji łuku. Jednak, zdaniem Autora w każdym przypadku następuje co najmniej zmniejszenie wartości prądu łuku i emitowanej przez niego energii. Sekwencyjny podział prądu zwarciovego na poszczególne gałęzie półprzewodnikowe umożliwia przewodzenie prądów o natężeniu znacznie większym od dopuszczalnych wartości natężenia prądu przewodzenia pojedynczego tyrystora. Uzyskuje się znaczne zwiększenie obciążalności prądowej eliminatora łuku, ale czas palenia się łuku może się wydłużyć, ale nawet w tym przypadku, gałąź półprzewodników przejmuje większość część prądu. Są to bardzo istotne wnioski z punktu widzenia celu pracy.

Pytania do Autora rozprawy: 1) Dlaczego w tych badaniach eksperymentalnych pominięto impedancję między miejscem wystąpienia łuku a miejscem przyłączenia półprzewodnikowego eliminatora łuku? 2) Jaki zdaniem Autora rozprawy byłby wpływ impedancji na skuteczność eliminacji łuku z zastosowaniem proponowanego wielosekcyjnego, półprzewodnikowego eliminatora łuku?

W artykule nr 3, Autor skupił uwagę na badaniach eksperymentalnych dokumentujących skuteczność działania proponowanego tyrystorowego eliminatora łuku w przykładowych układach praktycznych. Skrócenie czasu trwania zwarcia łukowego znacznie zmniejsza ilość energii uwalnianej w łuku, co powoduje zmniejszenie ciśnienia gazu wewnątrz rozdzielnic, gdzie wystąpiło zwarcie. Autor wykazał, że redukcja energii znacznie zmniejsza również utratę materiału z elektrod łukowych, a tym samym zmniejsza ryzyko poparzenia osób znajdujących się w pobliżu łuku elektrycznego.

Możliwości testowe w badaniach eksperymentalnych ograniczały natężenie prądu do wartości ok. 50 kA (prąd przemienny 50 Hz). Wyniki uzyskane w ramach tych badań są jednak bardzo istotne w kontekście celu pracy i skłoniły Autora do zastosowania w kolejnych eksperymentach dodatkowego łącznika ze stykami mechanicznymi (możliwość przejęcia prądu o stosunkowo dużej wartości natężenia).

Finalną propozycją był innowacyjny układ łącznika hybrydowego, który oprócz łączników tyrystorowych zawierał również zwiernik mechaniczny (artykuł nr 4, rys. 2 i rys. 3). Zasadniczym problemem było precyzyjne określenie początku przepływu i polaryzacji przepływającego prądu, w celu odpowiedniego sterowania wyzwalaniem tyrystorów oraz czasu załączenia zwiernika mechanicznego. W artykule nr 4 przedstawiono fotografie (rys. 6) pokazujące elementy testowego łącznika hybrydowego.

Pytania do Autora rozprawy: 1) W jaki sposób wybiera się lokalizację proponowanego łącznika hybrydowego do eliminacji łuku awaryjnego w różnego rodzaju konstrukcjach rozdzielnic, jak również w całych układach elektroenergetycznych? 2) Czy Autor rozważał stosowanie proponowanego rozwiązania tylko do ochrony indywidualnej skutków zwarć łukowych, czy można również stosować ten łącznik hybrydowy do ochrony grupowej? 3) W jaki sposób zastosować proponowane rozwiązanie w układach trójfazowych, zarówno cztero-, jak i trzyprzewodowych?

Autor wykonał badania eksperymentalne z testowymi układami łącznika do eliminacji łuku elektrycznego, spowodowanego np. zwarciami łukowym, z zastosowaniem wyposażenia laboratorium Politechniki Poznańskiej. Uzyskane wyniki są bardzo ważne z punktu widzenia celu pracy i udowodnienia hipotezy badawczej.

Pytania do Autora rozprawy: 1) Czy Autor rozważał wykonanie części eksperymentów za pomocą symulacji komputerowej? 2) Jak obecnie stosuje się modele matematyczne łuku elektrycznego oraz jakie są możliwości prowadzenia badań symulacyjnych w temacie ocenianej rozprawy doktorskiej?

Sformułowane pytania i rozwinięte wątki merytoryczne w tej części niniejszej recenzji mają charakter dyskusyjny i nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej mgr. inż. Karola Nowaka. Mają one na celu zachęcenie Autora do bardziej wnikliwego przeanalizowania niektórych kwestii oraz do udzielenia dodatkowych wyjaśnień tam, gdzie wywody są niejasne lub dyskusyjne.

Problem badawczy (naukowy) został rozwiązany prawidłowo. Do rozwiązania postawionego problemu zastosowano właściwe metody eksperymentalne. Autor wykazał się bardzo dobrym przygotowaniem merytorycznym i wysokimi umiejętnościami w zakresie metodyki i metodologii prowadzenia eksperymentalnych badań naukowych.

4. Oryginalny dorobek Autora i jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki lub techniki

Rozprawa doktorska, w postaci zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie czterech artykułów naukowych stanowi oryginalne rozwiązanie problemu szybkiej eliminacji zwarciego łuku elektrycznego z zastosowaniem innowacyjnego łącznika hybrydowego w postaci połączenia sekcji łączników półprzewodnikowych z łącznikiem mechanizmem.

Główne osiągnięcia naukowe Autora to:

1. Uzyskanie wyników badań eksperymentalnych testowego eliminatora łuku elektrycznego, jako przeciwstawnie połączone tyrystory z autorskim rozwiązaniem programowalnego sterownika mikroprocesorowego, potwierdzających jego skuteczność jako zabezpieczenia łukochronnego dla zmiennego charakteru impedancji między miejscem zwarcia łukowego i lokalizacją testowego układu eliminatora.
2. Uzyskanie wyników badań eksperymentalnych testowego eliminatora łuku elektrycznego, jako autorskiego opracowania układu kaskadowo połączonych i sekwencyjnie sterowanych wielu gałęzi z elementami półprzewodnikowymi, potwierdzających zwiększenie możliwości obciążalności prądowej proponowanego eliminatora z zastosowaniem elementów półprzewodnikowych.
3. Uzyskanie wyników badań eksperymentalnych testowego eliminatora łuku elektrycznego z zastosowaniem elementów półprzewodnikowych (w układzie sekcyjnym) potwierdzających efekt zmniejszenia strefy rażenia łukiem elektrycznym oraz możliwość obniżenia kategorii zagrożenia (według wytycznych IEEE 1584).
4. Uzyskanie wyników badań eksperymentalnych testowego eliminatora łuku elektrycznego z zastosowaniem elementów półprzewodnikowych (w układzie sekcyjnym) potwierdzających ograniczenie przyrostów ciśnienia wewnątrz zamkniętych konstrukcji (obudów) urządzeń elektrycznych, wewnątrz których występuje zwarcie łukowe.

5. Opracowanie innowacyjnego autorskiego rozwiązania łącznika hybrydowego, stanowiącego równoległe połączenie wielu sekcji z elementami półprzewodnikowymi (tyrystorami) oraz łącznikiem mechanizmowym, który może zostać wykorzystany jako wielkopiętrowy zwiernik hybrydowy ograniczający skutki powstałego łuku awaryjnego i przepływu prądu zakłóceniewego.
6. Uzyskanie wyników badań eksperymentalnych testowego łącznika hybrydowego potwierdzających jego skuteczność w jednofazowych obwodach elektrycznych.

Wymienione wyżej osiągnięcia naukowe mgr. inż. Karola Nowaka mają duże znaczenie poznawcze i przydatność praktyczną dla nauki oraz dla techniki w zakresie ograniczania skutków zwarć łukowych w urządzeniach i aparatach elektrycznych szeroko stosowanych w elektroenergetyce.

5. Ocena wiedzy Autora, wiedzy na zaawansowanym poziomie, o charakterze podstawowym dla dziedziny nauk technicznych oraz o charakterze szczegółowym, odpowiadającej obszarowi prowadzonych badań naukowych

Autor ocenianej rozprawy wykazał się dużą wiedzą w ogólnie pojętej dziedzinie nauk technicznych, głównie w zakresie budowy i działania współczesnych systemów i układów elektroenergetycznych. Wykazał szczególnie wysoki poziom wiedzy w aspekcie procesów zwarcioowych i ich skutków, zwłaszcza zwarć łukowych.

Na wyróżnienie zasługuje:

1. Bardzo szeroka wiedza Autora rozprawy w zakresie skutków zwarć łukowych w układach elektroenergetycznych niskiego napięcia. Bardzo dobra umiejętność interpretacji zjawisk fizycznych występujących podczas wystąpienia łuku elektrycznego i jego skutków w otoczeniu.
2. Zaawansowany, wysoki poziom wiedzy w zakresie prowadzenia badań eksperymentalnych układów elektroenergetycznych, ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk elektrycznych, elektronicznych (półprzewodniki), mechanicznych i cieplnych. Umiejętność interpretacji wyników badań eksperymentalnych.
3. Bardzo szeroka wiedza i umiejętności Autora rozprawy w zakresie interpretacji wyników analizy w kontekście ujęcia fizycznego działania analizowanego złożonego układu.
4. Bardzo szeroka wiedza, doświadczenie i umiejętności w zakresie konstruowania układów do realizacji określonych celów badawczych.

Autor wykazał się bardzo wysokim poziomem wiedzy i umiejętności w zakresie pracy złożonych układów uwzględniających aspekty elektryczne, elektroniczne, mechaniczne i cieplne. Rozumienie zjawisk i procesów zachodzących w analizowanych układach przyczyniło się w głównej mierze do bardzo dobrej oceny umiejętności Autora związanych z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych.

6. Ocena najnowszych osiągnięć nauki w rozprawie i znajomości Autora współczesnej literatury z przedmiotowej dyscypliny naukowej

Spis literatury należy podzielić na cztery części. W artykule nr 1 w spisie literatury umieszczono 25 pozycji, w artykule nr 2 – 33 pozycje, w artykule nr 3 – 36 pozycji oraz w artykule nr 4 – 48 pozycji. Oczywiście część publikacji jest wspólna dla wskazanych artykułów Autora rozprawy. W większości (bez dziewięciu) są to prace opublikowane po roku 2000. Zdecydowana większość jest opublikowana w języku angielskim, a zatem dostępne są w szerokim (światowym) zasięgu.

Dobór i wykorzystanie źródeł literaturowych bez zastrzeżeń. **Autor zna współczesną literaturę w zakresie fizyki łuku elektrycznego i jego skutków w otoczeniu, jak również budowy, działania i badań układów zawierających elementy elektryczne, elektroniczne i mechaniczne.**

7. Wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska, jako zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie czterech artykułów naukowych pod wspólnym tytułem: „Eliminowanie łuku awaryjnego i ograniczanie skutków zwarciovych z wykorzystaniem łączników hybrydowych”, autorstwa mgr. inż. Karola Nowaka, prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwa i Energetyki oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez jej Autora.

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego eliminacji zwarciovego łuku elektrycznego i ograniczania jego skutków z zastosowaniem łączników hybrydowych, opartych na połączeniu sekcyjnego układu tyrystorowego z układem łącznika mechanizmowego.

Autor udowodnił, że przy aktualnym stanie wiedzy, istnieją techniczne możliwości opracowania konstrukcji łącznika hybrydowego, pozwalającego na szybkie i skuteczne eliminowanie awaryjnego łuku elektrycznego oraz efektywne ograniczanie skutków powodowanych wyładowaniami łukowymi i przepływami prądów zwarciovych.

W związku z pozytywną oceną pracy, stwierdzając że spełnia ona wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 r., poz. 1668, z późn. zm.) stawiane rozprawom doktorskim, wnoszę o przyjęcie jej jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr. inż. Karola Nowaka do publicznej jej obrony.

