

Opole, 12.05.2024

Dr hab. inż. Barbara Kaszowska
prof. Politechniki Opolskiej
Wydział Elektrotechniki, Automatyki
i Informatyki
Politechnika Opolska
Ul. Prószkowska 76
45-758 Opole

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgra inż. Thama Xuana Nguyena

pt.

Enhancing operational capability of islanded microgrids through optimal multiple droop-based DG placements

Podstawę formalną do opracowania niniejszej recenzji stanowi Uchwała nr 839/36/RDND02/2021-2024 Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne z dnia 26 lutego 2024r. w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologia kosmiczne panu mgr. inż. Thamowi Xuanowi Nguyenowi.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Thama Xuana Nguyena pt. Enhancing operational capability of islanded microgrids through optimal multiple droop-based DG placements.

Opis tematyki i ocena zgodności z dyscypliną naukową

Praca mikrosieci elektroenergetycznych jest bardzo aktualną problematyką, związaną z pracą systemów elektroenergetycznych. Mikrosieci mogą pracować w sposób autonomiczny (grid-off) lub w połączeniu z systemem elektroenergetycznym (grid-on). W pierwszym przypadku problemem jest zapewnienie właściwej niezawodności zasilania, wymaganej jakości dostarczanej energii elektrycznej oraz ekonomiczności pracy. W drugim przypadku, dodatkowo pojawia się problem współpracy mikrosieci z systemem elektroenergetycznym.

Doktorant zajął się w swojej pracy doktorskiej pracą mikrosieci izolowanych, tzn. optymalizacją rozmieszczenia rozproszonych źródeł energii elektrycznej pod kątem obniżenia wolumenu strat sieciowych (strat mocy) przy zapewnieniu wymaganych poziomów napięcia w węzłach mikrosieci.

Ze względu na to, że rozwój i funkcjonowanie mikrosieci wpisuje się w politykę energetyczną UE oraz innych państw, a ponadto w wielu przypadkach jest to najbardziej racjonalny sposób zaopatrzenia odbiorców w energię elektryczną, podjęcie tematyki związanej z projektowaniem i optymalizacją mikroinstalacji jest jak najbardziej właściwe.

KS

Problem zapewnienia właściwej jakości dostarczanej energii elektrycznej oraz optymalizacja pracy systemów elektroenergetycznych, w tym również mikroinstalacji to tematy jak najbardziej zgodne z Dyscypliną Naukową Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Ocena rozprawy doktorskiej

Rozprawa liczy łącznie 118 stron. Składa się z 6 rozdziałów zawierających m. in. 11 rysunków i 29 tabel. Do rozprawy dołączono listę publikacji Doktoranta - 5 pozycji współautorskich, w tym 3 opublikowane w wysoko punktowanych czasopismach oraz 2 – będące w przygotowaniu. W bibliografii rozprawy wymieniono 146 pozycji anglojęzycznych z lat 1989 – 2023.

Układ pracy jest logiczny i czytelny.

Rozdział 1 Wprowadzenie

W rozdziale 1 przedstawiono uzasadnienie podjęcia tematu rozszerzenia możliwości operacyjnych w izolowanych mikrosieciach poprzez optymalne rozmieszczenie źródeł rozproszonych z regulowanym statyzmem. Fluktuacja obciążenia wymusza konieczność utrzymania częstotliwości i poziomu napięcia w zadanym przedziale wartości dopuszczalnych. Efektem rozwiązania tego problemu jest określenie lokalizacji źródeł rozproszonych z przekształtnikami energoelektronicznymi z regulowanym statyzmem w celu obniżenia strat mocy oraz uzyskania stabilności napięciowej. Straty mocy powinny być efektywnie zminimalizowane, a napięcia węzłowe – zoptymalizowane.

W rozdziale 1 przedstawiono również zakres rozprawy:

1. Wybór odpowiedniej metody obliczania rozplywu mocy do identyfikacji optymalnych punktów pracy przy możliwie dużej wydajności obliczeniowej.
2. Zastosowanie stabilnych i niezawodnych technik ewolucji różnicowej (Differential Evolution) oraz zmodyfikowanej metody obliczania rozplywu mocy (Modified Backward-Forward Sweep MBFS).
3. Powiązanie rozmieszczenia generatorów z maksymalną redukcją strat mocy przy równoczesnej poprawie poziomów napięcia w izolowanej mikrosieci przy wykorzystaniu metody ewolucji różnicowej i metody Honey Badger.

Rozdział 2 Przegląd literatury

Rozdział 2 zawiera przegląd literatury dotyczącej planowania mikrosieci, przy czym został on podzielony na dwie części:

1. Publikacje dotyczące planowania (lokalizacja i wielkość) źródeł energii elektrycznej pracujących w mikrosieci, przy czym pierwsza część tych publikacji dotyczy wielkości źródeł, natomiast druga – ich lokalizacji.
2. Publikacje dotyczące badania wpływu rozmieszczenia źródeł z regulowanym statyzmem w mikrosieci izolowanej na zmniejszenie strat mocy.

Na podstawie przeglądu literatury doktorant stwierdził, że istnieją różne metody wyznaczania optymalnej liczby i lokalizacji generatorów rozproszonych m. in. w celu zmniejszenia strat mocy oraz poprawy warunków napięciowych przy zastosowaniu różnych metod optymalizacyjnych. Wskazał brak badań oraz praktycznych metod optymalizacyjnych z zastosowaniem regulowanego statyzmu do efektywnej minimalizacji strat mocy w mikrosieci.

Na podstawie przeglądu literatury doktorant określił cel swojej pracy obejmujący rozwinięcie metody i algorytmu rozmieszczania źródeł rozproszonych współpracujących z

przekształtnikami energoelektronicznymi, z regulowanym statyzmem mających na celu minimalizację strat mocy.

Rozdział 3 Metodologie do wyznaczania optymalnego rozmieszczenia generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem w izolowanej mikrosieci

W rozdziale zaproponowano dwie metodologie wyznaczania rozmieszczenia i lokalizacji rozproszonych generatorów z regulowanym statyzmem w celu zminimalizowania strat mocy przy zachowaniu właściwych poziomów napięcia w węzłach i odpowiedniego zapasu stabilności.

Są to metoda ewolucji różnicowej oraz algorytm Honey Badger do wyznaczenia parametrów statyzmu i lokalizacji generatorów rozproszonych. Metody te zostały zaadoptowane do realizacji sformułowanego celu. Natomiast do określenia optymalnego punktu pracy przy spełnieniu zadanych ograniczeń zaproponowano metodę obliczania rozplywu mocy MBFS opisaną w literaturze.

Metoda ewolucji różnicowej oparta jest na ewolucyjnym algorytmie optymalizacyjnym, w którym badany jest obszar rozwiązań w poszukiwaniu optymalnego rozwiązania. Algorytm generuje nowe propozycje rozwiązań przez mutacje i skrzyżowania szacując ich przydatność do aktualizowania i ulepszania kolejnych rozwiązań. Doktorant przedstawił kolejne kroki w procedurze algorytmu ewolucji różnicowej.

Metoda Honey Badger inspirowana jest zachowaniem zwierząt w naturze. Jedną z głównych zalet HBA jest zdolność do równoważenia eksploracji i eksploatacji podczas wyszukiwania rozwiązania, prowadząc do poprawy wydajności w porównaniu z innymi algorytmami. Doktorant przedstawił kolejne kroki w procedurze algorytmu Honey Badger.

Obliczanie optymalnego rozplywu mocy musi być dostosowane do charakteru izolowanej mikrosieci, w której właściwie nie występuje węzeł bilansujący, co wynika z niewielkich mocy generatorów. Częstotliwość i napięcie nie są powiązane z parametrami pracy krajowego systemu elektroenergetycznego. Dlatego jest konieczne, aby przynajmniej jeden z generatorów pracujących w izolowanej mikrosieci był generatorem z regulowanym statyzmem. Pozwala to na kontrolowanie częstotliwości i napięcia w celu utrzymania tych parametrów w dopuszczalnych granicach. Do obliczeń zastosowano opisaną w literaturze metodę MBFS.

Zaproponowano sposób optymalizacji parametrów statyzmu oraz rozdziału mocy między generatory rozproszone pracujące w mikrosieci.

Rozdział 4 Optymalne planowanie generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem w izolowanej mikrosieci prądu przemiennego w celu ograniczenia strat mocy oraz poprawy wartości napięć węzłowych.

Doktorant sformułował opis matematyczny problemu. Funkcją celu są straty mocy czynnej z uwzględnieniem wielkości strat mocy biernej, zmian napięć węzłowych oraz maksymalizacji wskaźnika stabilności napięciowej.

Przedstawiono model sieci promieniowej, nieliniowe równania przepływu mocy oraz ograniczenia obszaru pracy generatorów z regulowanym statyzmem.

Przedstawiony model matematyczny został wykorzystany do analizy czterech przypadków:

1. Optymalizacja mocy czynnej i biernej pięciu generatorów rozproszonych z regulacją statyzmu przy napięciu odniesienia równym 1 (w jednostkach względnych).
2. Optymalizacja mocy czynnej i biernej oraz napięcia pięciu generatorów rozproszonych z regulacją statyzmu przy napięciu odniesienia z przedziału $1,0 \div 1,2$.
3. Optymalizacja mocy czynnej i biernej oraz lokalizacji pięciu generatorów z regulacją statyzmu przy napięciu odniesienia równym 1.
4. Optymalizacja mocy czynnej i biernej oraz lokalizacji pięciu generatorów z regulacją statyzmu przy napięciu odniesienia z przedziału $1,0 \div 1,2$.

Badania przeprowadzono na przykładzie 33-węzłowego zmodyfikowanego systemu testowego IEEE wykorzystując metodę ewolucji różnicowej oraz metodę Honey Badger. Przedstawione wyniki wskazują przydatność opracowanych metod, a metoda HB jest najbardziej efektywna w przypadku 4.

Rozdział 5 Zwiększanie liczności lokalizacji generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem w izolowanej mikrosieci w celu zmniejszenia strat mocy i poprawy poziomów napięcia

W rozdziale przedstawiono wpływ zmiany liczby generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem na minimalizację strat mocy w izolowanej mikrosieci. Przedstawiono model matematyczny zagadnienia. Przeprowadzono badania na przykładzie 33-węzłowego zmodyfikowanego systemu testowego IEEE dla czterech przypadków:

1. Optymalizacja mocy trzech generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem.
2. Optymalizacja mocy i lokalizacji trzech generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem.
3. Optymalizacja mocy pięciu generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem.
4. Optymalizacja mocy i lokalizacji pięciu generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem.

Obliczenia były wykonane z wykorzystaniem metody ewolucji różnicowej oraz innych, stosowanych wcześniej metod opisanych w literaturze. Przedstawione wyniki wskazują, że wybrane metody dają poprawne wyniki, ale najlepsze efekty daje zastosowanie ewolucji różnicowej.

Rozdział 6 Wnioski i dalsze badania

Doktorant stwierdził, że ze względu na poprawną i stabilną pracę mikrosieci izolowanej, zawierającej generatory rozproszone z regulowanym statyzmem, konieczne jest właściwe planowanie i bilansowanie mocy. W tym celu zaproponował i przystosował modele matematyczne, metodę optymalnego rozplywu mocy oraz algorytmy optymalizacyjne, które z powodzeniem zastosował do analizy przykładowej mikrosieci izolowanej.

Metoda optymalnego rozplywu mocy MBFS została zastosowana do wyznaczenia najlepszego punktu pracy mikrosieci z uwzględnieniem zmian obciążenia w czasie.

Doktorant zastosował algorytmy metaheurystyczne ewolucji różnicowej oraz Honey Badger do wyznaczenia parametrów statyzmu generatorów rozproszonych oraz ich lokalizacji w analizowanej mikrosieci, uzyskując znaczące dopasowanie do zmiennego zapotrzebowania na moc.

Przedstawione wyniki wskazują, że metoda Honey Badger jest odpowiednia do wyznaczenia właściwych mocy oraz lokalizacji generatorów rozproszonych z regulowanym statyzmem, prowadząc również do redukcji strat mocy w mikrosieci oraz poprawy poziomów napięcia w węzłach mikrosieci.

Zaproponowana metoda ewolucji różnicowej bazująca na zmodyfikowanej metodzie rozplywu mocy (MBFS) pozwala na optymalne rozmieszczenie wielu generatorów rozproszonych w celu zminimalizowania strat mocy w izolowanej mikrosieci przy jednoczesnej poprawie warunków napięciowych.

Doktorant wskazał kierunki dalszych badań:

1. Uwzględnienie obecności odnawialnych źródeł energii w mikrosieciach.
2. Przyszłe badania powinny uwzględniać lokalizacje źródeł i innych obiektów przyłączonych do sieci przez inwertery, w tym również służące do regulacji napięcia i mocy biernej.
3. Określenie optymalnego rozmieszczenia urządzeń rozdzielczych pracujących w mikrosieciach z uwzględnieniem trybów pracy off-grid i on-grid, a także przy niezbilansowaniu układów trójfazowych.

4. Sformułowanie odpowiednich modeli matematycznych pozwalających na optymalizację mocy i rozmieszczenia źródeł przy zmiennej topologii sieci oraz pracy wyposażonych w inwertery układów do regulacji napięcia i mocy biernej.
5. Badanie mikrosieci, w których generatory rozproszone są zainstalowane w więcej niż 30 % wszystkich węzłów.

Najważniejsze osiągnięcia naukowe zawarte w rozprawie doktorskiej

Do najważniejszych osiągnięć pracy doktorskiej zaliczam:

1. Opracowanie metodologii optymalizacji rozmieszczenia i mocy generatorów z regulowanym statyzmem w izolowanych mikrosieciach w celu minimalizacji strat mocy i poprawy warunków napięciowych.
2. Zastosowanie algorytmów metaheurystycznych (ewolucji różnicowej i Honey Badger) do wyznaczania optymalnego rozmieszczenia generatorów, wyznaczania ich mocy oraz parametrów statyzmu w izolowanej mikrosieci.

Pytania do rozprawy

1. Jakie jest przeznaczenie opracowanych metod optymalizacyjnych – czy opracowane metody mogą być stosowane w zakresie projektowania mikrosieci, czy ewentualnie (po pewnych modyfikacjach?) – do analizy warunków pracy mikrosieci przy różnych profilach obciążeń?
2. W rozdziale 3 omówiono m. in. metodę optymalnego rozplywu mocy MBFS, w której wykorzystuje się m. in. macierz impedancji gałęziowych. Czy w przypadku mikrosieci zawierającej w przeważającej mierze linie kablowe o stosunkowo dużej pojemności jest możliwe uwzględnienie wpływu prądów pojemnościowych tych linii?
3. W rozdziale 4 Doktorant przeprowadził analizę czterech przypadków, w których zastosował zaproponowane algorytmy optymalizacyjne. Zostały sformułowane warunki dotyczące napięć na poziomie $1 \div 1,2$. W jaki sposób mogłyby zmienić się wyniki obliczeń jeśli przyjęto by wartości zbliżone ale mniejsze niż 1?
4. W rzeczywistych sieciach dystrybucyjnych, w których występuje duże nasycenie instalacjami wytwórczymi PV, zdarzają się przypadki instalowania transformatorów SN/nn wyposażonych w podobciążeniowe przełączniki zaczeów lub rozważa się taką możliwość. Czy na obecnym etapie w opracowanych metodach można uwzględnić pracę transformatorów SN/nn z możliwością regulacji napięcia w czasie normalnej pracy tych transformatorów?
5. W rozdziale dotyczącym kierunków przyszłych badań Doktorant wspomniał o zbadaniu możliwości uwzględnienia w analizach magazynów energii elektrycznej. Jak Doktorant widzi możliwość uwzględnienia większych magazynów, przyłączonych do sieci SN oraz magazynów o niewielkich mocach, współpracujących z mikroinstalacjami fotowoltaicznymi prosumentów?

Napisana przez Pana mgr inż. Thama Xuana Nguyena praca doktorska świadczy, że posiada On ogólną wiedzę teoretyczną w Dyscyplinie Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne oraz szczegółową wiedzę w zakresie modelowania, metod optymalizacyjnych oraz metod obliczeniowych stosowanych w analizie systemów elektroenergetycznych. Realizując pracę naukową dowiódł, że posiada umiejętności w zakresie modelowania oraz praktycznych zastosowań różnych metod optymalizacyjnych i obliczeniowych stosowanych w analizie systemów elektroenergetycznych, a także ich adaptacji do rozwiązywania problemów naukowych. Świadczy to o posiadaniu kwalifikacji i umiejętności samodzielnelnego prowadzenia prac naukowych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Thama Xuana Nguyena odpowiada wymogom i warunkom określonym w Art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 ze zm.). Stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Thama Xuana Nguyena do publicznej obrony przed Radą Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej.

Głosno ustalne

MSJ