

STRESZCZENIE PRACY

Tematyka projektu doktorskiego dotyczy współpracy prosumenckich mikroinstalacji fotowoltaicznych (PV) z sieciami rozdzielczymi niskiego napięcia (nN) i koncentruje się na zbadaniu ich wpływu na wybrane parametry charakteryzujące pracę sieci, poprzez symulację pracy układu w określonym horyzoncie czasowym. Do przeprowadzania symulacji wykorzystano program OpenDSS. W pierwszej kolejności badania zostały przeprowadzone na testowym modelu sieci nN, będącym częścią sieci testowej CIGRE. Symulacje przeprowadzono w dobowym horyzoncie czasowym z rozdzielczością godzinową. Przeanalizowano wpływ generacji fotowoltaicznej m.in. na poziomy napięcie w sieci, rozptyły prądów oraz straty energii. Stwierdzono, że obecność źródeł PV zmienia warunki pracy sieci, doprowadzając w pewnych sytuacjach do przekroczenia dopuszczalnych parametrów jej pracy, co negatywnie wpływa na samą sieć oraz na odbiorców z niej zasilanych.

Dla tego samego modelu sieci, w kolejnym etapie prac, przeprowadzono symulacje w rocznym horyzoncie czasowym, także z rozdzielczością godzinową, których wyniki również potwierdziły okresowy negatywny wpływ źródeł PV. Wyniki symulacji posłużyły do opracowania metody umożliwiającej ilościowe określenie stopnia negatywnego oddziaływania mikroinstalacji PV na pracę sieci nN, poprzez wyznaczenie poziomu ryzyka przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy sieci w założonym okresie. Ostatnim etapem części naukowej było zbadanie wpływu warunków atmosferycznych na poziomy ryzyka występujące w sieci. Symulacje przeprowadzono na dotychczasowym modelu sieci, odpowiednio modyfikując dane wejściowe w celu odwzorowania odmiennych warunków pogodowych. Otrzymane wyniki umożliwiły określenie wpływu warunków atmosferycznych na ryzyko przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy sieci oraz dodatkowo określono maksymalny stopień nasycenia testowej sieci CIGRE źródłami PV, dla którego nie stwierdzono zakłóceń w jej pracy. Na tym zakończono część naukową.

Opracowana metoda wyznaczania ryzyka przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy sieci została wykorzystana do badań nad rzeczywistymi układami sieciowymi, co stanowi część wdrożeniową projektu. Przekazane przez OSD dane techniczne rzeczywistych sieci dystrybucyjnych nN zostały wykorzystane do przygotowania ich modeli w OpenDSS. W związku z planowaną do przeprowadzenia bardzo dużą liczbą symulacji, w pierwszej

kolejności opracowano narzędzie, które umożliwia automatyzację procesu wykonywania symulacji, dzięki czemu znacznemu skróceniu uległ czas przeprowadzania pojedynczej analizy.

Do badań wytypowano trzy różne sieci nN. Dla każdej z nich przeanalizowano wpływ źródeł PV na ich pracę poprzez określenie rocznego ryzyka przekroczenia dopuszczalnych parametrów pracy sieci dla różnego stopnia nasycenia źródłami PV. Symulacje przeprowadzono w rocznym horyzoncie czasowym z rozdzielczością godzinową. Potwierdziły one, przedstawiony w części naukowej, negatywny wpływ źródeł PV na ich pracę w pewnych okresach. Efektem przeprowadzonych badań było wytypowanie spośród zbadanych sieci tej, która charakteryzuje się najgorszymi parametrami pracy, dla której następnie rozpoczęto szczegółową analizę jej pracy, skupiając się głównie na poziomach napięć oraz na zaproponowaniu rozwiązań technicznych minimalizujących negatywny wpływ mikroinstalacji PV na jej pracę. Dzięki przeprowadzeniu symulacji dobowych z rozdzielczością minutową, zbadano dziesięć możliwości, a uzyskane wyniki umożliwiły zarekomendowanie OSD rozwiązania technicznego, minimalizującego negatywny wpływ źródeł PV dla badanej sieci, w efekcie czego OSD uwzględnił w swoim planie inwestycyjnym zaproponowane i potwierdzone badaniami rozwiązanie. Analiza wyników przeprowadzonych symulacji wykazała również pozytywny wpływ zainstalowania bateryjnych magazynów energii u wybranych prosumentów na poziomy napięć w sieci, przy czym w pierwszym etapie badań założono ich nieskończoną pojemność i relatywnie prosty program pracy.

Ostatni etap prac obejmował przeprowadzenie symulacji przy założeniu skończonej pojemności magazynów prosumenckich oraz innego sposobu ich sterowania, odzwierciedlającego realia częstych zmian cen energii elektrycznej na polskim rynku. Rozpatrzono dwa sposoby sterowania magazynami, dla których przygotowano odpowiednie profile ich pracy: pierwszy, którego celem była minimalizacja kosztów energii i drugi, maksymalizujący neutralność finansową prosumentów. Celem określenia tych profili wykorzystano algorytm PSO i przeprowadzono symulacje dobowe, w których wykorzystano profile cen energii dla dwóch różnych dni 2024 roku. Przeprowadzono również symulacje roczne, obejmujące ceny energii jakie obowiązywały na polskim rynku w całym 2024 roku. W przypadku symulacji dobowych zbadano wpływ programów pracy magazynów na poziomy napięć w sieci oraz czas trwania przepięć w stosunku do układu bez magazynów. Dla symulacji rocznych dokonano z kolei oceny ryzyka przekroczenia napięcia powyżej wartości dopuszczalnej, tj. $1,1 U_n$ w miejscach przyłączenia odbiorców oraz oszacowano ilość

potencjalnie niewygenerowanej energii na skutek przerw w pracy mikroinstalacji PV spowodowanej zbyt wysokim napięciem w sieci. Analiza wyników wykazała, że lepsze efekty osiągnięto, gdy magazyny pracowały zgodnie z programami maksymalizującymi neutralność finansową prosumentów. Większemu skróceniu uległ wtedy czas trwania przepięć, a ilość potencjalnie niewygenerowanej energii elektrycznej również była mniejsza, w stosunku do sytuacji, gdy magazyny były sterowane według profili minimalizujących koszty energii.

Najważniejszym wnioskiem praktycznym z przeprowadzonych badań jest konkluzja mówiąca, że zastosowanie, sterowanych w odpowiedni sposób, rozproszonych magazynów energii zainstalowanych u prosumentów, pozwala łagodzić przepięcia występujące w sieci oraz obniża częstość wyłączania instalacji PV przez odpowiednie zabezpieczenia zainstalowane w falownikach, co przekłada się na mniejsze straty finansowe prosumentów oraz na dłuższą żywotność samych urządzeń, w szczególności falowników. Wniosek ten jest ważny m.in. z punktu widzenia konstrukcji systemów zarządzania energią u odbiorców komunalno-bytowych wyposażonych w mikroinstalacje PV i magazyny energii, ale także powinien być uwzględniony przy ewentualnym określaniu ram prawnych w tym obszarze.