

Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska skupia się na badaniach wpływu mikroinstalacji fotowoltaicznych na jakość dostawy energii elektrycznej oraz metodach poprawy integracji tych źródeł z siecią dystrybucyjną niskiego napięcia. Badania w powyższym zakresie były prowadzone na terenie gminy Ochotnica Dolna, która w 2017 roku otrzymała dofinansowanie na zabudowę ponad siedmiuset dachowych jednofazowych mikroinstalacji fotowoltaicznych o mocy 2 kW współpracujących z systemem podgrzewania ciepłej wody użytkowej, z możliwością oddawania nadwyżek wyprodukowanej energii do sieci dystrybucyjnej. Duża koncentracja nierównomiernie przyłączonych¹ źródeł wytwórczych do poszczególnych faz często prowadzi do powstawania asymetrii oraz wzrostów napięć fazowych, które skutkują wyłączeniem się mikroinstalacji, co z kolei generuje dużą liczbę skarg składanych do gminy oraz lokalnego operatora systemu dystrybucyjnego.

Badania prowadzone na terenie gminy w latach 2018-2022 skupiały się na pomiarach wpływu mikroinstalacji na: wartość skuteczną napięcia, asymetrię napięcia, wahania napięcia oraz odkształcenie napięcia wyższymi harmonicznymi. Równolegle prowadzono badania skuteczności poprawy wskaźników jakości napięcia za pomocą różnych rozwiązań technicznych, takich jak: aktywacja w falownikach trybu regulacji współczynnika mocy w funkcji mocy czynnej $\cos\phi=f(P)$, przyłączenie równoległego filtra aktywnego, symetryzatora transformatorowego, baterijnego magazynu energii z funkcją symetryzacji i stabilizacji napięć fazowych oraz szeregowego regulatora napięcia typu LVR.

Poza prowadzonymi badaniami polowymi (*in situ*), autor przeprowadził również badania symulacyjne, w ramach których opracowano w programie *Matlab-Simulink* model rzeczywistego obwodu niskiego napięcia z dużą koncentracją jednofazowych mikroinstalacji. Badania symulacyjne obejmowały wykonanie modeli rozwiązań technicznych sprawdzonych w rzeczywistych warunkach, jak również dodatkowych urządzeń, takich jak: kompensator DSTATCOM oraz dynamiczny regulator napięcia typu DVR. Celem badań symulacyjnych była ocena skuteczności poprawy parametrów napięcia, tj. redukcji asymetrii oraz wzrostów napięcia w obwodzie.

Autor uczestniczył również w wydarzeniu pt. „Piknik OZE 2021” [1], w ramach którego w laboratorium Centrum Energetyki AGH przeprowadził badania pracy wybranych falowników jedno- i trójfazowych w trybie: $Q=f(U)$, $P=f(U)$, OVRT oraz zbałał emisji wyższych harmoniczných prądu tych urządzeń.

Wyniki przeprowadzonych badań stanowią istotne źródło informacji o sposobach poprawy integracji mikroinstalacji fotowoltaicznych z sieciami niskiego napięcia dla operatorów systemów dystrybucyjnych, prosumentów, instalatorów oraz specjalistów z branży systemów fotowoltaicznych.

¹ Przez nierównomiernie przyłączenie jednofazowych mikroinstalacji fotowoltaicznych rozumie się ich przyłączenie w różnej liczbie do poszczególnych faz obwodu niskiego napięcia.

Abstract

The doctoral dissertation focuses on studying the impact of photovoltaic micro-installations on power quality parameters and the technical methods for improving the integration of these renewable sources into low-voltage distribution network. Research within this scope was conducted in the Ochotnica Dolna commune, which, in 2017, received funding for the development of over seven hundred roof-mounted, single-phase photovoltaic micro-installations. These installations, each with a nominal power of 2 kW, cooperate with a domestic hot water heating system and have the capability to return energy surpluses to the distribution network. A large concentration of renewable energy sources, unevenly connected to individual phases in low-voltage feeders, leads to increases in phase voltage and voltage imbalance. This results in frequent shutdowns of the micro-installations, which in turn generates a significant number of complaints submitted to the commune and the local distribution system operator.

Research conducted from 2018 to 2022 focused on measuring the impact of micro-installations on several factors: RMS voltage values, voltage unbalance, voltage fluctuations, and harmonic voltage distortion. In parallel, research was carried out on the effectiveness of improving voltage quality indicators using various technical solutions, such as: activating a power factor control mode in the PV inverters $\cos\phi=f(P)$, connecting an active power filter to a low-voltage feeder, using a phase balancing transformer, implementing a battery energy storage system with voltage balancing and stabilization capabilities, and employing a series line voltage regulator (LVR).

In addition to the field research, the author also conducted simulation studies. A model of a real low-voltage feeder, with a large concentration of single-phase micro-installations, was prepared using the *Matlab-Simulink* tool. The conducted simulations included modeling technical solutions that were tested in real conditions, as well as additional voltage conditioners, such as: static compensator DSTATCOM and a dynamic voltage restorer (DVR). The aim of the simulation studies was to assess the effectiveness of improving voltage quality, especially reducing voltage unbalance and voltage increases in a low-voltage feeder.

The author also participated in the “RES Picnic 2021” event [1]. During that event, the author tested selected single- and three-phase PV inverters at the AGH Energy Center Laboratory operating in the following modes: $Q=f(U)$, $P=f(U)$, OVRT and examined the current harmonics emission from these devices.

The results of all the research conducted serve as a significant source of information on the technical methods of improving the integration of photovoltaic micro-installations into low-voltage networks. This information is particularly valuable for distribution system operators, prosumers, installers, and specialists in the photovoltaic system industry.