

Сінчук І.О.

Криворізький національний університет

Котякова М.Г.

Криворізький національний університет

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В АСПЕКТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ MICRO GRID

Стаття присвячена питанням застосовується централізованої структури генерації та розподілу електричної енергії в умовах сьогодення. У статті визначено, як альтернативу традиційним джерелам енергії, та розглядаються особливості підключення відновлювальні джерела енергії. Визначено, що інтеграція відновлювальних джерел до існуючих мереж породжує проблеми з якістю електричної енергії, а також споживання енергії по кожній шині, розташування та миттєві значення потужності відновлювальних джерел електричної енергії є випадковими та складно прогнозованим. Через цю невизначеність показники якості електричної енергії значно знижуються. У статті анонсовано, що на сьогоднішній день актуальними залишаються питання якості електричної енергії, з метою збільшення можливостей використання відновлювальних джерел енергії в аспекті впровадження технології Micro Grid. Акцентовано увагу на те, що за таких можливих варіантів підключення джерел розосередженої генерації до електричної мережі підприємства, та зважаючи на стохастичний характер функціонування відновлювальних джерел енергії, на потужностях яких мають вони базуватися слід приділити увагу аспектам якості електричної енергії, як локального показника, а не загального показника в мережі підприємства. У статті, зважаючи на всі зазначені аспекти, умови та чинники, запропоновано схему системи контролю та управління рівнем якості електричної енергії та алгоритм її функціонування. Між тим, у статті доведено можливість впровадження технології PLC для передавання інформації у аспекті інтелектуалізації систем управління електропостачанням та впровадження технологій Micro Grid, насамперед враховуючи можливість адаптивного управління якістю електричної енергії у мережі централізовано-децентралізованим способом. Стаття присвячена аспектам застосування технології PLC для передавання інформації у Micro Grid підприємств, питанням впровадження адаптивного управління якістю електричної енергії у мережі цих підприємств централізовано-децентралізованим способом, з метою підтримання належного рівня показників якості електричної енергії в мережі. Запропоновано в подальшому, при формуванні підходів до інтелектуалізації систем управління електропостачанням враховувати можливість застосування технології PLC для передавання інформації у Micro Grid.

Ключові слова: *якість електричної енергії, відновлювані джерела енергії, розосереджена генерація, Micro Grid, технологія PLC.*

Постановка проблеми. У світовій практиці в умовах сьогодення застосовується централізована структура генерації та розподілу електричної енергії. Слід зазначити, що традиційні джерела енергії мають кінцевий запас, який найближчим часом може бути виснаженим. Як альтернатива традиційним джерелам енергії розглядаються відновлювальні джерела енергії [1].

Проте, інтеграція відновлювальних джерел до існуючих мереж породжує проблеми з якістю електричної енергії. Типова розподільча мережа має стохастичний характер. Споживання енергії по кожній шині, а також розташування та миттєві значення потужності відновлювальних джерел електричної енергії є випадковими та складно

прогнозованим. Через цю невизначеність показники якості електричної енергії можуть значно знижуватися [2].

Зважаючи на вище сказане, актуальними залишаються питання якості електричної енергії та дослідження можливих шляхів їх вирішення з метою збільшення можливостей використання відновлювальних джерел енергії в аспекті впровадження технології Micro Grid.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ряді публікацій приділено чимало уваги питанням впровадження джерел розосередженої генерації до систем електропостачання підприємств та впровадження технології Micro Grid. Однак, залишається не вирішеним питання передачі інфор-

мації на великі відстані при впровадженні Micro Grid та особливо при встановленні на підприємствах додаткових електрогенеруючих потужностей на базі відновлюваних джерел електричної енергії, з метою оптимального управління та диспетчеризації [1-13].

Постановка завдання. Таким чином, актуальною є наукова задача – синтез підходів і методів щодо побудови системи управління засобами підвищення якості електричної енергії в мережах з розподіленою генерацією з метою їх адаптації до впровадження сучасних інтелектуальних енергетичних систем в аспекті впровадження технології Micro Grid.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розосереджена генерація на базі відновлюваних джерел електричної енергії виробляє електроенергію з ряду джерел електричної енергії різних типів та встановленої потужності. Проте, при інтеграції таких джерел до мережі виникає низка технічних та економічних проблем. Передусім, технічні проблеми можуть виникати у аспектах якості електричної енергії. Тому системи з розподіленою генерацією повинні задовольняти ряду технічних вимог для забезпечення ефективного, надійного та безпечного функціонування загальної мережі електропостачання [3].

Бурхливий розвиток силової електроніки та цифрових систем керування дозволяє розробляти пристрої, які забезпечать активне керування енергетичними характеристиками джерел розподіленої генерації з метою покращення роботи системи електропостачання шляхом поліпшення показників якості електроенергії в точці спільного підключення навантажень.

Між тим, слід зауважити, що показники якості електричної енергії мають нормування, та у разі відхилень призводять до негативних явищ, що характеризуються великим матеріальним збитком та порушенням технологічного процесу [4].

З поміж іншого, до складу систем комутації в системах електропостачання входять силові напівпровідникові ключі, що генерують гармонічні складові струмів у точці спільного підключення навантажень, тобто є нелінійним навантаженням з точки зору мережі, тобто погіршує показники якості електричної енергії [5].

Слід зазначити той факт, що незважаючи на те, що до показників якості електричної енергії відноситься велика кількість показників, проте найчастіше його відносять до якості живлячої напруги, оскільки в традиційних електроенергетичних системах у якості джерел живлення висту-

пають джерела напруги, а форми струмів визначаються характеристиками навантаження. Низька якість електричної енергії може бути відображена у вигляді різних показників, таких як коливання амплітуди та частоти, перехідні процеси, вміст гармонік у формі сигналів, коефіцієнт потужності, несиметрія фаз, неперервність потужності і т.д. Оскільки електроенергетична система є взаємопов'язаною, то зниження показників якості в одній точці мережі може призводити до зниження показників якості в інших частинах мережі [6].

Стохастичний характер зміни режиму роботи генеруючих потужностей відновлювальних джерел електричної енергії мають вплив при під'єднанні джерел розосередженої генерації на їх базі до мережі.

Між тим, на сьогоднішній день важливим і пріоритетним питанням стала модернізація та інтелектуалізація систем електропостачання. Ця тенденція особливо важлива для в тому числі і для підприємств. Одним із факторів розвитку систем електропостачання стало впровадження до їх складу джерел розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел електричної енергії. Такі мікромережі можуть працювати ізольовано від централізованого електропостачання або підключатися до нього. При цьому слід зауважити той факт, що джерелами гармонік в таких мережах є не лише інвертори джерел розподіленої генерації, а й інші навантаження мережі гірничого підприємства. Значна кількість споживачів електричної енергії можуть розглядатися як нелінійні навантаження, оскільки містять в своєму складі напівпровідникові перетворювачі, що призводять до створення гармонічних струмів навіть при живленні від чисто синусоїдальної напруги. Поведінка гармонічних складових в мережах та навантаженнях є різною в залежності від порядку гармоніки, тобто співвідношення частоти конкретної складової до частоти основної гармоніки [7].

Однією з таких технологій, що сприяє розвитку інтелектуальних мереж, в тому числі а в аспекті розвитку концепції Smart Grid є технологія PLC для передавання інформації у MicroGrid та базі X10. Особливістю цієї технології є передача даних по силовим лініях електромережі. Силова мережа служить спільним середовищем передачі даних, тобто в один момент часу передачу даних здійснює одразу декілька приладів та електричної енергії. Для вирішення конфліктів трафіку застосовуються регулюючі механізми організації протоколу доступу до мережі [8].

Технологію PLC у системі MicroGrid можна використовувати для автоматичного збору даних з лічильників електричної енергії, що дає можливість здійснювати аналіз, обробку та прогнозування даних щодо електроспоживання. У той же час, PLC-модулі є елементами зв'язку пристроїв промислової електроніки в єдиній інформаційній інфраструктурі [9].

Таким чином, враховуючи важливість впровадження до енергетичної галузі принципів декарбонізації та інтелектуалізації, актуальним науковим завданням є побудова принципів системи управління контролем рівня якості електричної енергії у мережі, яка має бути побудована за принципом адаптивності.

Одним із аспектів інтеграції джерел розосередженої генерації є під'єднання їх до мережі. У низьковольтних мережах з розподіленою генерацією досить часто є необхідним забезпечення четвертого (нейтрального) провідника засобами джерел енергії та відповідних мережевих інтерфейсів для живлення однофазних та несиметричних трифазних навантажень. При цьому слід очікувати зменшення взаємовпливу фаз навантаження між собою у контексті забезпечення відповідності показникам якості електричної енергії, проте дане питання вимагає відповідного аналізу [9].

Між тим, існують різні варіанти під'єднання джерел розосередженої генерації до мережі, які суттєво відрізняються впливом на потоки потужності і, відповідно, на втрати потужності і електроенергії в мережі. Так, джерела розосередженої генерації можуть бути приєднані до шин підстанції. В цьому випадку трансформатор розвантажуються на потужність, яка виробляється джерелами розосередженої генерації, і в результаті зменшуються навантажувальні втрати в трансформаторі. В лініях електропередачі втрати не змінюються. Якщо, ж розглянути варіант під'єднання джерел розосередженої генерації безпосередньо біля споживача електричної енергії, то розвантажуються як трансформатор підстанції, так і частина мережі, що забезпечує додаткове зменшення втрат потужності. Оскільки зменшується потік потужності, то зменшуються також втрати напруги, що сприяє покращенню рівнів напруги на шинах підстанцій.

Однак, за таких можливих варіантів підключення джерел розосередженої генерації до електричної мережі підприємства, та зважаючи на стохастичний характер функціонування від-

новлювальних джерел енергії, на потужностях яких мають вони базуватися слід приділити увагу аспектам якості електричної енергії, як локального показника, а не загального показника в мережі підприємства [10].

Таким чином, зважаючи на всі зазначені аспекти, умови та чинники запропоновано схему системи контролю та управління рівнем якості електричної енергії (рис. 1) та алгоритм її функціонування (рис. 2).

На рисунку 1 зображена запропонована схема системи контролю та управління рівнем якості електричної енергії, де В1-п – вимірювальні блоки відповідних показників якості електричної енергії в на ділянках мережі М1-п, що регулюються відповідними пристроями П1-п.

На рисунку 2 зображено алгоритм системи корегування показників якості електричної енергії вказаної на рисунку 1. Запропонований алгоритм дає можливість корегування відповідних показників якості електричної енергії централізовано-децентралізованим способом управління на відповідних ділянках мережі з підключенням розосереджених джерел електричної енергії на базі відновлювальних джерел енергії.

Враховуючи можливість адаптивного управління якістю електричної енергії у мережі централізовано-децентралізованим способом, є можливим впровадження технології PLC для передавання інформації у аспекті інтелектуалізації систем управління електропостачанням та впровадження технологій Micro Grid.

Зважаючи на актуальність інтелектуалізації систем управління електропостачанням є можливим впровадження технології PLC для передавання інформації у Micro Grid, що позбавить труднощів з передачею управляючого сигналу та передачі даних до системи управління [2].

Висновки. 1. Враховуючи актуальність та необхідність застосування технології PLC для передавання інформації у Micro Grid підприємств є необхідність впровадження адаптивного управління якістю електричної енергії у мережі цих підприємств централізовано-децентралізованим способом, з метою підтримання належного рівня показників якості електричної енергії в мережі.

2. Запропоновано в подальшому, при формуванні підходів до інтелектуалізації систем управління електропостачанням враховувати можливість застосування технології PLC для передавання інформації у Micro Grid.

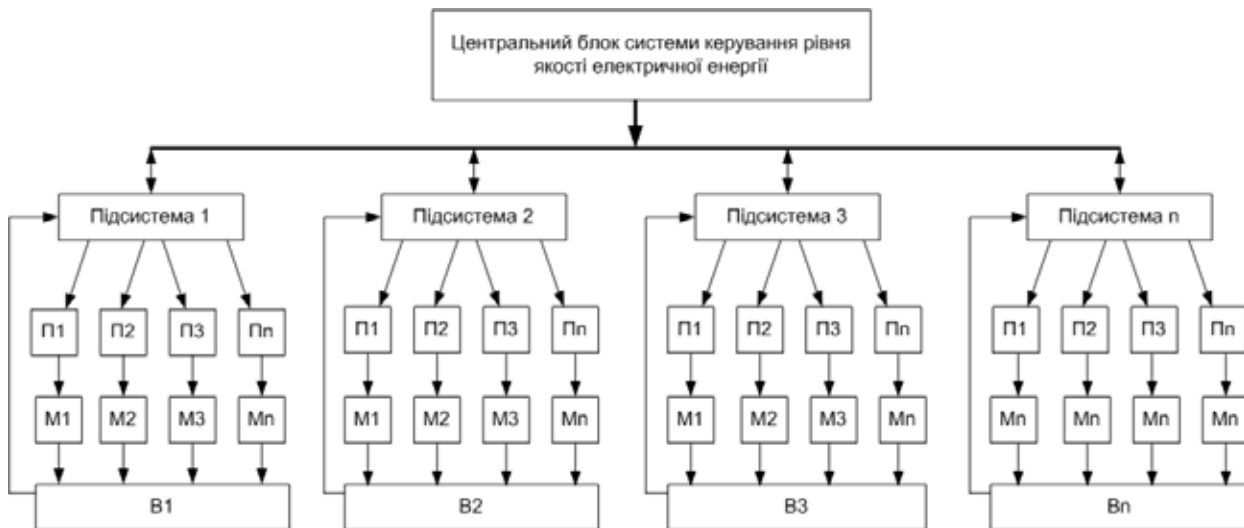


Рис. 1. Схема системи контролю та управління рівнем якості електричної енергії

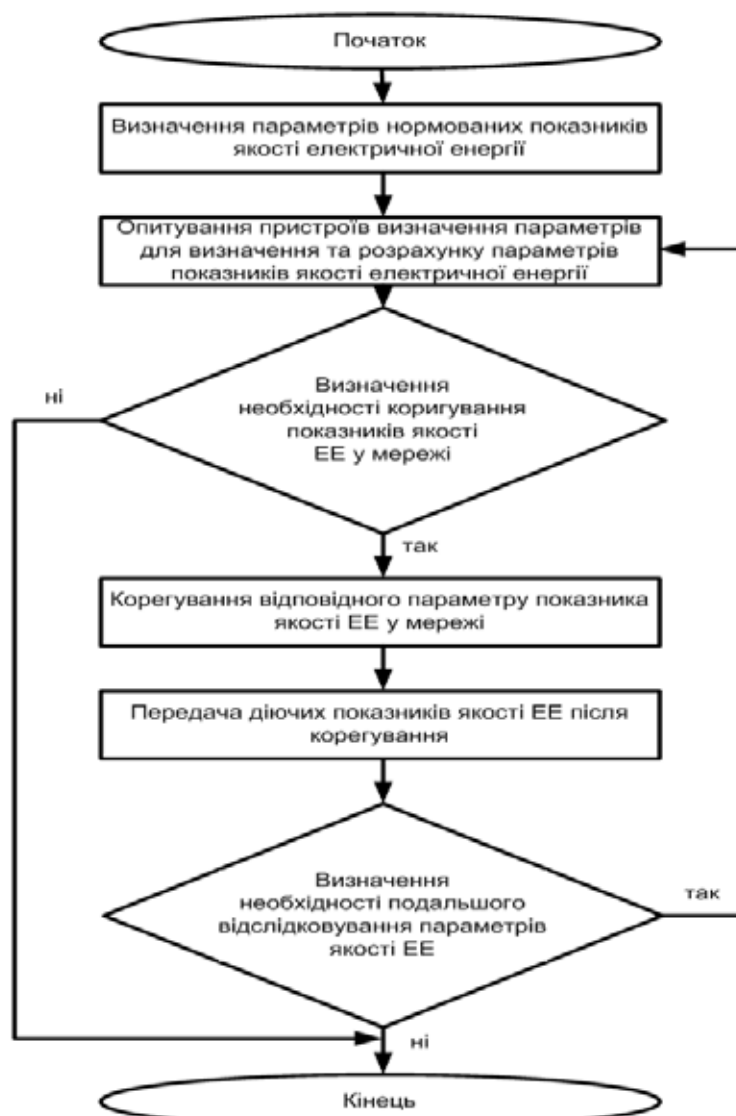


Рис. 2. Алгоритм системи корегування показників якості електричної енергії

Список літератури:

1. Лежнюк П.Д., Комар В.О., та Кулик В.В., Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж. *Енергетика та електрифікація*, № 1, с. 8 - 12, 2015.
2. Лежнюк П.Д. та Буславець О.А. "Застосування Smart Grid технологій для балансування режимів в локальних електричних системах", *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Серія «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*, №195, с. 3-6, 2018.
3. P. Lezhniuk, O. Rubanenko, V. Komar, and O. Sikorska. The Sensitivity of the Model of the Process Making the Optimal Decision for Electric Power Systems in Relative Units. in Proc. of the *IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, 2020, pp. 247-252.
4. P. Lezhniuk, V. Komar, O. Rubanenko, and N. Ostra. The sensitivity of the process of optimal decisions making in electrical networks with renewable energy sources, *Przeglad Elektrotechniczny*, no.10, 2020, pp. 32-38.
5. Wang X., Zhang Y., Zhang S., Li X. and Wu L. Equilibrium Analysis of Electricity Markets With Microgrids Based on Distributed Algorithm. *IEEE Access*, vol. 7. 2019. pp. 119823-119834.
6. Циганенко Б. В., Сумський Д. М., Кирик В. В., та Кацадзе Т. Л., "Підвищення енергоефективності розподільних мереж з використанням SMART-технологій", *Electronics and communications*. Т. 21, № 4, 2016, с. 58-64.
7. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими: За заг. ред. акад. НАН України О.В. Кирилєнка / *Інститут електродинаміки НАН України. К.: Ін-т електродинаміки НАН України*, 2016. 400 с.
8. Буткевич А.Ф., Зелінський Е.С. Интеллектуализация систем диспетчерского управления территориально-распределенными электроэнергетическими объектами – основные задачи и их решение // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”*. Ч.3. 2001. С.76-81.
9. Колотов М.В. Передача інформації по лініях електроживлення. *Енергоінформ. Укреноергозбереження*. 2003. №42(224). С. 5-6.
10. J. Misurec, P. Mlynek and S. Bezzateev, "The modeling of power line for PLC in smart grids," *Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS)*, St. Petersburg, 2017, pp. 780-786.
11. European Smart Grids Technology Platform: vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. European Commission. 2006. 44 p.
12. Ягуп В.Г., Ягуп Е.В. Определение режима компенсации реактивной мощности в четырехпроводной трехфазной системе электроснабжения с помощью поисковой оптимизации. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 1. С. 60–66.
13. Coh H.H., Liao L., Zhang D., Dai W., Lim C.S. Denoising Transient Power Quality Using an Improved Adaptive Wavelet Threshold Method Based on Energy Optimization. *Energies*. 2022. No 15. Pp. 1-21.

Sinchuk I.O., Kotyakova M.G. ELECTRICITY QUALITY CONTROL IN THE ASPECT OF IMPLEMENTATION OF MICRO GRID TECHNOLOGY

The article is devoted to the issues of the application of the centralized structure of generation and distribution of electric energy in today's conditions. The article defines renewable energy sources as an alternative to traditional energy sources and considers the features of connecting them. It has been determined that the integration of renewable sources into existing networks creates problems with the quality of electrical energy, as well as the energy consumption per bus, the location and instantaneous power values of renewable sources of electrical energy are random and difficult to predict. Due to this uncertainty, the indicators of the quality of electrical energy are significantly reduced. The article announced that the issue of the quality of electrical energy remains relevant today, with the aim of increasing the possibilities of using renewable energy sources in the aspect of implementing Micro Grid technology. Attention is focused on the fact that under such possible options for connecting sources of distributed generation to the electric network of the enterprise, and taking into account the stochastic nature of the functioning of renewable energy sources, on the capacities of which they should be based, attention should be paid to aspects of the quality of electric energy, as a local indicator, and not a general one indicator in the enterprise network. In the article, taking into account all the mentioned aspects, conditions and factors, the scheme of the system of control and management of the level of the quality of electric energy and the algorithm of its operation is proposed. Meanwhile, the article proves the possibility of implementing PLC technology for information transfer in the aspect of intellectualization of power supply management systems and the introduction of Micro Grid technologies, primarily taking into account the possibility of adaptive management of the quality of electrical energy in the network in a centralized-decentralized way. The article is devoted to the aspects of the application of PLC technology for the transmission of information in the Micro Grid of enterprises, to the issue of the implementation of adaptive management of the quality of electric energy in the network of these enterprises in a centralized-decentralized way, in order to maintain the appropriate level of indicators of the quality of electric energy in the network. It is suggested that in the future, when forming approaches to the intellectualization of power supply management systems, the possibility of using PLC technology to transmit information in the Micro Grid should be taken into account.

Key words: power quality, renewable energy sources, distributed generation, Micro Grid, PLC technology.