

О. Б. Бурикін<sup>1</sup>  
Ю. В. Томашевський<sup>2</sup>  
Ю. В. Малогулко<sup>1</sup>  
Н. В. Радзівська<sup>1</sup>

## ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет;

<sup>2</sup>ПАТ «Вінницяобленерго»

*Розглянуто окремі питання забезпечення процесу оптимізації функціонування відновлюваних джерел енергії в локальних електричних системах в сучасних умовах, що передбачає застосування автоматизованих систем керування для підвищення якості виробництва та розподілу електроенергії.*

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії, локальні електричні системи, сонячні електростанції, інвертори, видача потужності.

### Вступ

На сьогоднішній день не повністю досліджені питання проектування та експлуатації відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в сучасних умовах, їх впливу на режими роботи електричних мереж (ЕМ), неузгодженості номінальних параметрів основного обладнання з потребами таких джерел, відсутності типових рішень стосовно засобів захисту та автоматизації процесу виробництва електроенергії, що приводить до ускладнення ефективного функціонування ВДЕ в локальних електричних системах (ЛЕС). Для підвищення ефективності функціонування ВДЕ шляхом зменшення втрат електроенергії в електричній мережі пропонується вимірювати струм на шинах високої напруги сонячної електростанції (СЕС) та, в залежності від значення оптимальної потужності, змінювати кількість інверторів, підключених на першу або другу систему шин для підтримання напруги на шинах в області допустимих значень.

Сучасні світові тенденції щодо децентралізації електропостачання споживачів, які пов'язані зі збільшенням вартості традиційних паливних ресурсів і проявляються у підвищенні частки розосередженого виробництва електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), призводять до ускладнення планування режимів електроенергетичних систем (ЕЕС) та оперативного керування ними. Крім того, поєднання означених вище процесів з реформуванням економіки енергетики, впровадженням системи двосторонніх договорів, фактично унеможливує організацію ефективного функціонування ЕЕС без вдосконалення їх інформаційної інфраструктури з поступовим переходом до концепції інтелектуальних електричних мереж (Smart Grid) [1].

Для забезпечення ефективної роботи умовно-керованих ВДЕ, наприклад, сонячних електростанцій, необхідно враховувати їх вплив на надійність електропостачання споживачів та якість електроенергії відпущеної споживачам. Це є досить складною задачею, зважаючи на ймовірнісний характер режимів роботи таких джерел.

Ймовірнісний характер генерування значно ускладнює організацію оперативного керування режимами локальних електричних систем внаслідок неможливості дотримання умовно-керованими ВДЕ заданого графіка видачі потужності [2—4].

*Метою статті є розробка способу оптимального керування схемою приєднання інверторів, тобто зміни схеми видачі потужності до електричної мережі, застосування якої дозволить узгодити графіки генерування умовно-керованих ВДЕ з місцевим електроспоживанням та підвищити надійність функціонування локальної електричної системи.*

### Оптимальне керування відновлюваними джерелами енергії

Видача потужності виконується через паралельно підключені інвертори на систему шин 0,4 кВ. Такий спосіб приєднання дозволяє керувати режимами видачі потужності окремих інверторів лише за рахунок недовикористання сонячної енергії, що недоцільно з огляду на прибутковість експлуатації. Зростання об'ємів нарощуваної потужності ВДЕ в окремих точках приєднання приводить до неможливості видачі електроенергії без погіршення її якості [5]. З метою розв'язання цієї задачі власники джерел енергії змушені вкладати кошти в будівництво додаткових ліній електропередач і, фактично, розподіляти генеровану електроенергію однієї електростанції між фідерами ЛЕС [6]. За рахунок цього структурні схеми таких електростанцій набувають вигляду, показаного на рис. 1.

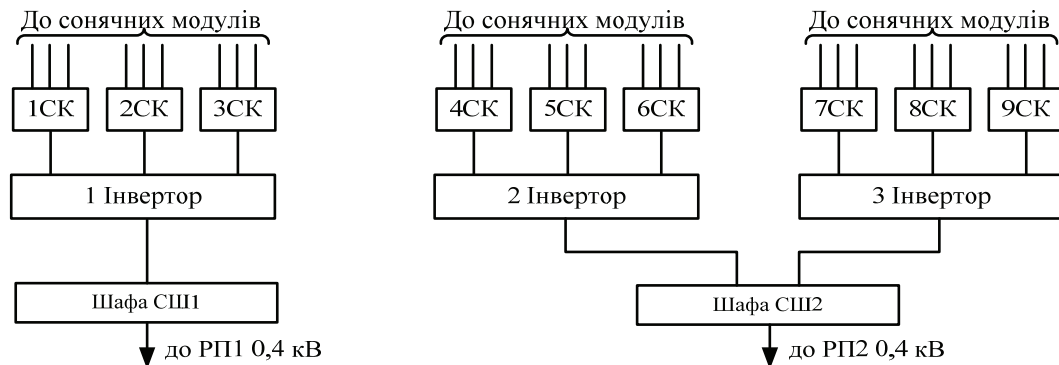


Рис. 1. Головна схема електричних з'єднань сонячної електростанції з резервованою схемою видачі потужності

Для узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням в роботі запропоновано спосіб оперативного коригування схеми приєднання інверторів, тобто зміни схеми видачі потужності до ЕМ. Залежно від поточної потужності СЕС та навантаження споживачів на регульовану систему шин підключається кількість інверторів, що здатні забезпечити споживання у ЛЕС з дотриманням показників якості та мінімальні втрати електроенергії. Надлишок виробленої електроенергії видається напряму до центру живлення, який окремим фідером підключений до іншої, нерегульованої системи шин (СШ). Для реалізації способу передбачається використання електронних ключів відповідної потужності або керованого комутаційного обладнання 0,4 кВ, встановленого у силовій шафі (ШС). Крім того, необхідно встановити автомати зворотної потужності (АЗП) (рис. 2).

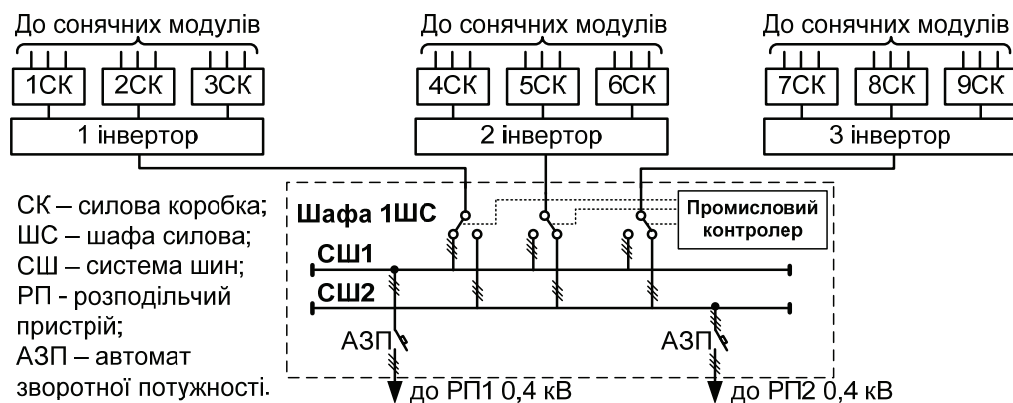


Рис. 2. Головна схема електричних з'єднань сонячної електростанції з резервованою та керованою видачею потужності

Сонячна електростанція за такої структурної схеми дозволить оперативно узгоджувати графіки видачі потужності на одній з систем шин з локальним навантаженням за рахунок автоматичного перерозподілу потужностей з виходів інверторів між секціями шин електричної станції. Для цього використовується мікропроцесорний пристрій локальної системи автоматичного керування (САК) та канал зв'язку з оперативно-інформаційним комплексом ЛЕС, за яким з бази даних зчитуються поточні значення оптимальної потужності ВДЕ.

За такої схеми приєднання електричної станції забезпечується можливість роботи однієї секції



На регульовану систему шин підключається кількість інверторів, що здатні забезпечити споживання у ЛЕС з дотриманням показників якості та мінімальних втрат електроенергії. Надлишок виробленої електроенергії видається на нерегульовану систему шин.

Застосування вказаної апаратної реалізації автоматизованої системи керування дозволить вдосконалити існуючу систему засобами дискретного керування. Це дозволить підвищити ефективність функціонування локальної електричної системи, а також покращити показники якості електроенергії та дасть можливість оперативного керування режимами роботи розосередженого генерування без погіршення їх прибутковості.

### Алгоритм функціонування мікропроцесорного пристрою керування схемою видачі потужності ВДЕ у локальних електричних системах

Для забезпечення можливості здійснення автоматичного керування конфігурацією схеми видачі потужності ВДЕ та узгодження керувальних впливів з оперативним керуванням розроблено алгоритм функціонування мікропроцесорного пристрою (МП) групового керування інверторами СЕС (рис. 4). На початку роботи алгоритму відбувається ініціалізація, зчитування та перезапис внутрішніх регістрів, тестування основних блоків, перевірка зв'язку з оперативно-інформаційним комплексом (ОІК) та засобами регулювання.

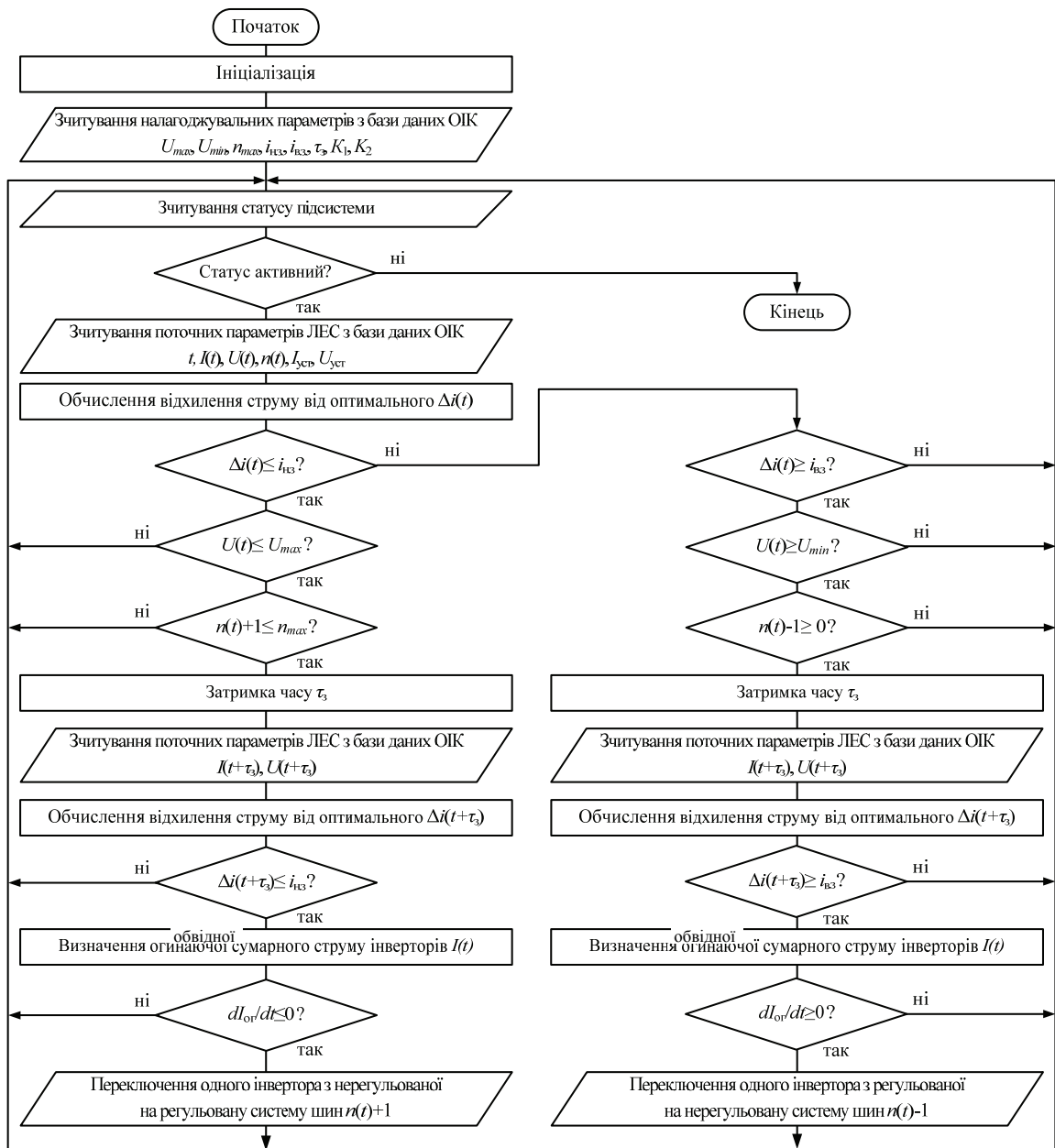


Рис. 4. Алгоритм функціонування мікропроцесорного пристрою

Зчитування налагоджувальних параметрів виконується з бази даних ОІК ЛЕС. У якості налагоджувальних параметрів використовуються межі регулювання напруги  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$  на шинах підстанції ВДЕ, максимальна кількість інверторів регульованої шини  $n_{\max}$ , межі зони нечутливості  $i_{н.з.}$ ,  $i_{в.з.}$ , час затримки сигналу  $\tau_3$ , та вагові коефіцієнти  $K_1$  і  $K_2$ .

Після зчитування налагоджувальних даних з бази даних ОІК виконується перевірка статусу підсистеми автоматичного керування конфігурацією схеми видачі потужності ВДЕ зчитуванням відповідного прапора з бази даних.

У разі, якщо статус підсистеми активний, то алгоритмом передбачено зчитування параметрів режиму ЛЕС  $I(t)$  та  $U(t)$  для поточного моменту часу  $t$ . Також, з бази даних зчитується кількість інверторів, підключених на регульовану систему шин  $n(t)$  та уставок по струму  $I_{уст}$  і напрузі  $U_{уст}$  для шин підстанції ВДЕ. У іншому випадку підсистема закінчує свою роботу, а її запуск виконується за запитом оператора.

Наступним етапом виконується розрахунок відхилення струму від оптимального

$$\Delta i(t) = K_1 \left[ \left( I(t) - I_{уст} \right) - K_2 \left( U(t) - U_{уст} \right) \right]. \quad (1)$$

Отримане значення порівнюється з нижньою  $i_{н.з.}$  (верхньою  $i_{в.з.}$ ) зоною нечутливості. Якщо відхилення значне, тобто умова виконується, відбувається перевірка можливості виконання переключення інверторів між шинами та перевірка дотримання поточної напруги у межах норми.

Після затримки часу, рівній часу затримки сигналу  $\tau_3$  підсистеми передачі інформації, порівнюється відхилення струму від оптимального з межами зони нечутливості. Якщо відхилення перевищує зону нечутливості, розраховується об'ємна сумарного струму інверторів та її похідна  $dI_{ог}/dt$ .

В залежності від знаку похідної  $dI_{ог}/dt$  подається сигнал щодо збільшення або зменшення кількості інверторів, підключених до регульованої системи шин СЕС.

### Висновки

Запропоновано спосіб оптимального керування схемою приєднання інверторів, тобто зміни схеми видачі потужності до електричної мережі. Застосування запропонованого способу узгодження графіків генерування умовно-керованих ВДЕ з місцевим електроспоживанням дозволить підвищити надійність функціонування локальної електричної системи, покращити показники якості електроенергії та дасть можливість оперативного керування режимами роботи розосередженого генерування без погіршення їх прибутковості. Запропоновано також варіант апаратної реалізації автоматизованої системи керування схемою видачі потужності ВДЕ в локальних електричних системах, яка базується на принципах функціонування *Smart Grid*, що полягають у значній інтеграції та автоматизації процесів генерування, передачі та споживання. Інформаційні зв'язки з інтелектуальним вимірювальним і керувальним обладнанням, а також базою даних ОІК, дозволяють на рівні диспетчерського керування враховувати експлуатаційні особливості розосереджених відновлюваних джерел енергії та локальної електричної системи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стогній Б. С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Техн. електродинаміка. — 2010. — № 6. — С. 44—50.
2. Рубаненко О. Є. Вдосконалення математичного забезпечення комп'ютерних систем оптимізації режимів локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії / О. С. Рубаненко, О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко // Науковий вісник Чернівецького університету. — 2014. — № 2 (5). — С. 85—93. — ISSN 2311-9276. — (Комп'ютерні системи та компоненти).
3. Лежнюк П. Д. Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах енергії [Текст] / П. Д. Лежнюк, О. С. Рубаненко, Ю. В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — 2014. — № 60 (1102). — С. 68—77. — ISSN 2079-4525.
4. Кулик В. В. Дослідження ефективності сумісної експлуатації локальних електричних мереж з ВДЕ та систем централізованого електропостачання [Текст] / В. В. Кулик, О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». — 2014. — Вип. 25. — С. 113—120. — ISSN 2079-5688. — (Гірництво. Електрифікація та автоматизація гірничих робіт).
5. Лежнюк П. Д. Оптимізація режиму розподільних електричних мереж з розосередженими джерелами електроенергії / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, В. В. Кулик // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — 2011. — Вип. 11 (186). — С. 250—254. — ISSN 2074-2630. — (Електротехніка і енергетика).
6. Лежнюк П. Д. Оптимізація керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук // Праці Інституту електродинаміки НАН України : зб. наук. пр. : спеціальний випуск. — 2011. — Ч. 1. — С. 48—55. — ISSN 1727-9895.
7. Воронницький В. Э. Методика и программа оценки эффективности применения РПН и АРПН в замкнутых электрических сетях / В. Э. Воронницький, П. Д. Лежнюк, И. А. Серова // Электрические станции. — 1992. — № 1. — С. 60—66.

8. Астахов Ю. Н. Применение критериального метода в электроэнергетике / Ю. Н. Астахов, П. Д. Лежнюк. — Киев : УМК ВО. — 1989. — 137 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 16.05.2016

**Бурикін Олександр Борисович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, e-mail: mr.burykin@mail.ru;

**Малогулко Юлія Володимирівна** — асистент кафедри електричних станцій та систем, e-mail: Juliya\_Malogulko@ukr.net;

**Радзієвська Наталя Володимирівна** — студентка Інституту магістратури, аспірантури та докторантури. Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Томашевський Юрій Васильович** — директор ІТ Публічне акціонерне товариство «Вінницяобленерго», Вінниця

**O. B. Burykin<sup>1</sup>**  
**Yu. V. Tomashevskiy<sup>2</sup>**  
**Yu. V. Malohulko<sup>1</sup>**  
**N. V. Radziievska<sup>1</sup>**

## Optimal Control of Renewable Energy in Local Electrical Systems

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University;

<sup>2</sup>PJSC «Vinnitsiaoblenerho»

*There have been reviewed some issues of process optimization of renewable energy sources in the local electrical systems in modern terms, which involves the use of automatic control systems in the context of improving the quality of production and distribution electrical energy.*

**Keywords:** renewable energy, local electric systems, solar power, inverters, distribution of power.

**Burykin Oleksandr B.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Power Plants and Systems, e-mail: mr.burykin@mail.ru;

**Malohulko Yuliia V.** — Assistant of the Chair of Power Plants and Systems, e-mail: Juliya\_Malogulko@ukr.net;

**Tomashevskiy Yurii V.** — Director of IT PJSC «Vinnitsiaoblenerho»;

**Radziievska Natalia V.** — Student of the Institute of Masters, Postgraduate and Doctoral Studies

**О. Б. Буркин<sup>1</sup>**  
**Ю. В. Томашевский<sup>2</sup>**  
**Ю. В. Малогулко<sup>1</sup>**  
**Н. В. Радзиевская<sup>1</sup>**

## Оптимальное управление возобновляемыми источниками энергии в локальных электрических системах

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет;

<sup>2</sup>Публичное акционерное общество «Винницаоблэнерго»

*Рассмотрены отдельные вопросы обеспечения процесса оптимизации функционирования возобновляемых источников энергии в локальных электрических системах в современных условиях, что предполагает применение автоматизированных систем управления в контексте повышения качества производства и распределения электроэнергии.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, локальные электрические системы, солнечные электростанции, инверторы, выдача мощности.

**Бурикін Олександр Борисович** — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, e-mail: mr.burykin@mail.ru;

**Малогулко Юлія Владимировна** — асистент кафедри електричних станцій і систем, e-mail: Juliya\_Malogulko@ukr.net;

**Томашевський Юрій Васильович** — директор ІТ ПАО «Вінницяоблэнерго»;

**Радзиевская Наталья Владимировна** — студент Інституту магістратури, аспірантури і докторантури