

О. Б. Бурикін¹
Ю. В. Томашевський²
Ю. В. Малогулко¹
Н. В. Радзієвська¹

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ЛОКАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ

¹Вінницький національний технічний університет;

²ПАТ «Вінницяобленерго»

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

Ключові слова: відновлювальні 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 відновлювальних 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 унеможлиблює 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-керуваними 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 відновлювальними 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.

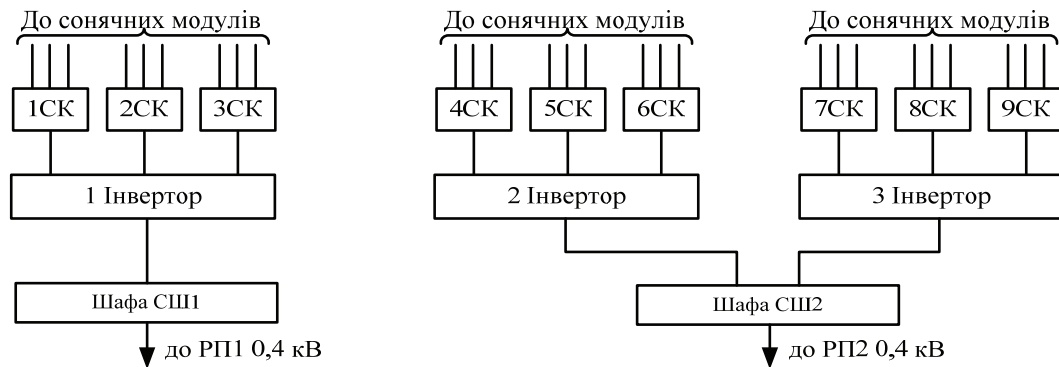


Рис. 1. Головна схема електричних з'єднань сонячної електростанції з резервованою схемою видачі потужності

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).

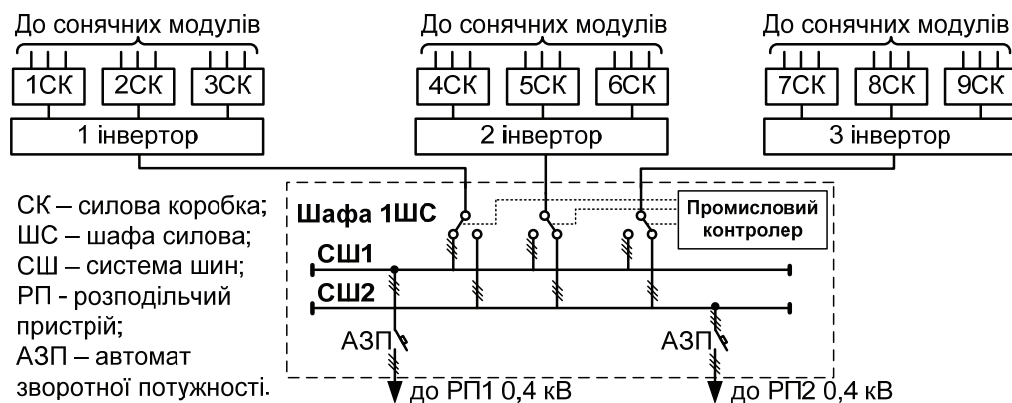


Рис. 2. Головна схема електричних з'єднань сонячної електростанції з резервованою та керованою видачею потужності

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

шин у базовому режимі — відповідно до графіка місцевого електроспоживання. На другу секцію шин, зв'язану безпосередньо з живильною підстанцією розподільних електромереж, будуть видаватися надлишки електроенергії, генеровані сонячною станцією, які не узгоджуються з місцевим електроспоживанням.

Особливості апаратної реалізації автоматизованої системи керування схемою видачі потужності відновлювальних джерел енергії в локальних електричних системах

Для реалізації комплексу задач оптимального керування ВДЕ в локальних електричних системах необхідною умовою є забезпечення можливості централізованого керування об'єктом у реальному часі. Однак, ця умова не може бути забезпечена через просторову розподіленість об'єкта керування та обмежену надійність каналів зв'язку між ними та диспетчерським центром [7—8]. Виходячи з цього, автоматизована система керування (АСК) з необхідним переліком функцій керування може бути побудована як централізована система оперативного керування з децентралізацією функцій реального часу за рахунок застосування локальних САК.

Враховуючи структурну та апаратну складність такої системи у поєднанні з достатньо жорсткими фінансовими обмеженнями щодо проектування, реалізації та подальшого супроводження, АСК має будуватися на принципах ієрархічної структури керування з виділенням трьох рівнів:

- перший рівень — диспетчерський центр централізованого керування;
- другий рівень — «опорні» керовані ВДЕ, які функціонально підпорядковуються першому рівню та здійснюють керування відновлювальними джерелами третього рівня, ретранслюючи команди, або коригуючи налагоджувальні параметри, що надходять з вищого рівня;
- третій рівень — відновлювальні джерела оснащені засобами локальної автоматизації керування з мінімально-необхідною інтелектуалізацією та максимальною автономністю функціонування, які виконують команди та реалізують закони керування з вищих ієрархічних рівнів, адаптуючи їх до місцевих умов. Така структура дозволяє зменшити витрати на апаратно-програмну реалізацію АСК.

Відповідно до наведеної вище структури та пропонованого способу узгодження графіків генерування СЕС з локальним електроспоживанням на рис. 3 показано особливості апаратної реалізації автоматизованої системи керування СЕС. На рис. 3 зображено взаємозв'язок підсистеми обміну інформацією розрахунково-диспетчерського центру (РДЦ) локальної електричної системи (перший рівень) та САК сонячною електростанцією (третій рівень) автоматизованої системи керування.

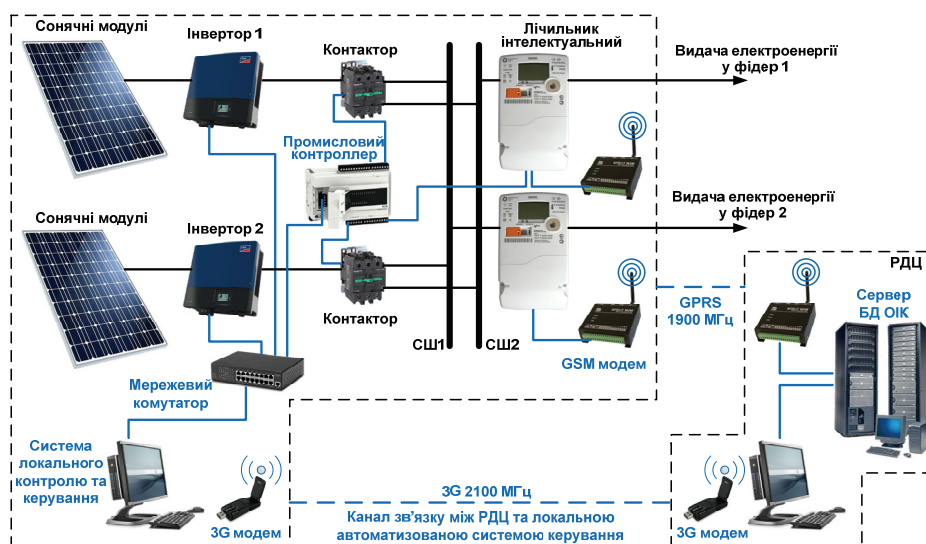


Рис. 3. Особливості апаратної реалізації АСК схемою видачі потужності ВДЕ

Відповідно до пропонованого способу оперативного коригування схеми видачі потужності до ЕМ апаратна реалізація передбачає застосування керованих комутаційних апаратів (контакторів), паспортні дані яких залежать від номінальної потужності інверторів, що встановлені на СЕС.

Управління комутаційними апаратами здійснюється промисловим контролером, який порівнює інформацію про поточні значення напруги та струму на шинах СЕС зі значенням оптимальної потужності та збереженої у базі даних оперативно-інформаційного комплексу РДЦ. Інформація про поточні значення струму та напруги на керованій системі шин зчитується з допомогою комуніка-

ційного зв'язку з інтелектуальним лічильником.

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.

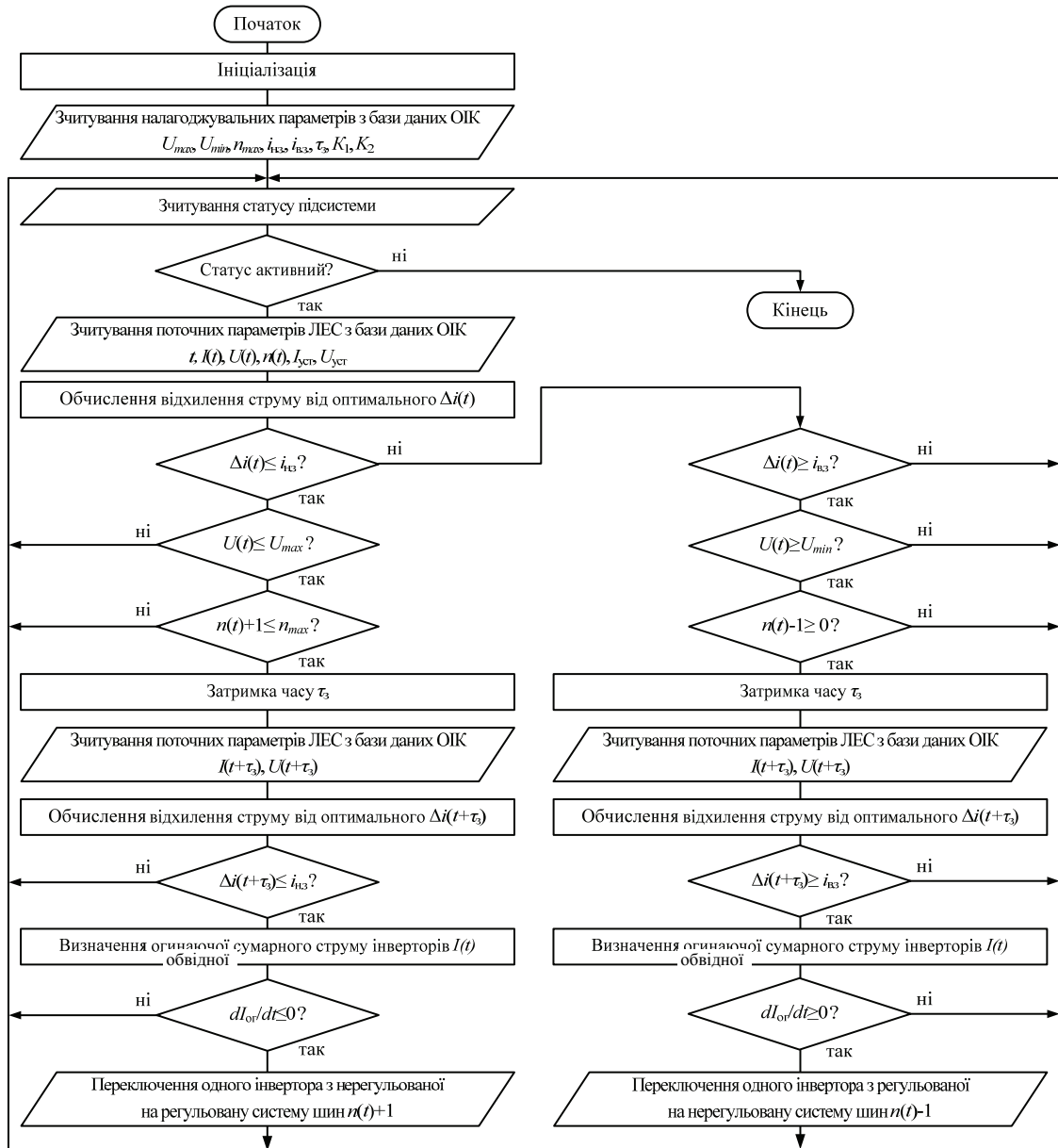


Рис. 4. Алгоритм функціонування мікропроцесорного пристрою

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 τ_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 τ_3 підсистеми передачі інформації, порівнюється відхилення струму від оптимального з межами зони нечутливості. Якщо відхилення перевищує зону нечутливості, розраховується об'їдна 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 відновлювальних 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 факультету електроенергетики та електромеханіки. Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Томашевський Юрій Васильович — директор ІТ.

Публічне акціонерне товариство «Вінницяобленерго», Вінниця

O. B. Burykin¹
Yu. V. Tomashevskiy²
Yu. V. Malohulko¹
N. V. Radziievska¹

Optimal Control of Renewable Energy in Local Electrical Systems

¹Vinnitsia National Technical University;

²PJSC «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 Faculty of electricity and electrical engineering

О. Б. Бурыкин¹
Ю. В. Томашевский²
Ю. В. Малогулко¹
Н. В. Радзиевская¹

Оптимальное управление возобновляемыми источниками энергии в локальных электрических системах

¹Винницкий национальный технический университет;

²Публичное 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.

Бурыкин Александр Борисович — канд. техн. наук, доцент кафедры электрических станций и систем, e-mail: mr.burykin@mail.ru;

Малогулко Юлия Владимировна — ассистент кафедры электрических станций и систем, e-mail: Juliya_Malogulko@ukr.net;

Томашевский Юрий Васильевич — директор ИТ ПАО «Винницаоблэнерго»;

Радзиевская Наталья Владимировна — студент факультета электроэнергетики и электромеханики