

УДК 621.316.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2\(33\).140-149](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2019.2(33).140-149)

В.П. Солдатенко, канд. техн. наук, **В.В. Зінзура**, доц., канд. техн. наук, **С.П. Плешков**, доц., канд. техн. наук, **Н.Ю. Гарасьова**, доц., канд. техн. наук, **Т.В. Величко**, ст. викл.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: kirovograd41@gmail.com*

Технічна реалізація системи автоматичного управління режимом низьковольтної розподільчої електричної мережі з відновлюваними джерелами енергії

Здійснено розробку мікроконтролерного блоку автоматичного управління режимом генерації активної потужності установок з відновлюваними джерелами енергії, що працюють в складі комбінованої електроенергетичної системи. Розроблено структурну та принципові схеми даного блоку, які було використано для створення макету пристрою. Проведено експериментальні дослідження розробленої мікроконтролерної системи автоматичного управління, результати яких підтвердили її працездатність.

відновлювані джерела енергії, система автоматичного управління

В. П. Солдатенко, канд. техн. наук, **В. В. Зинзура**, доц., канд. техн. наук, **С. П. Плешков**, доц., канд. техн. наук, **Н. Ю. Гарасева**, доц., канд. техн. наук, **Т. В. Величко**, ст. преп.

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Техническая реализация системы автоматического управления режимом низковольтной распределительной электрической сети с возобновляемыми источниками энергии

Произведена разработка микроконтролерного блока автоматического управления режимом генерации активной мощности установок с возобновляемыми источниками энергии, работающих в составе комбинированной электроэнергетической системы. Разработана структурная и принципиальные схемы данного блока, которые были использованы для создания макета устройства. Проведены экспериментальные исследования разработанной микроконтролерной системы автоматического управления, результаты которых подтвердили ее работоспособность.

возобновляемые источники энергии, система автоматического управления

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку енергетичної галузі України спостерігаються стійкі тенденції до все більшого поширення установок генерації електричної потужності з відновлюваними джерелами енергії (ДЕ). Так, найбільшого розповсюдження набули сонячні (СЕС) та вітрові електростанції (ВЕС), що пов'язано, перш за все, з кліматичними умовами території України. Окрім цього, на підприємствах агропромислового напрямку набули поширення біогазові електростанції (БГЕ) – установки для утилізації відходів тваринництва або рослинництва з виробництвом електроенергії.

Такі установки на промислових підприємствах встановлюється для досягнення цілі зменшення витрат на споживання електричної енергії, що досягається шляхом виробництва її власними електрогенеруючими установками. Слід зазначити, що продаж виробленої електроенергії за «зеленим» тарифом дозволяє досягти істотного зниження строку окупності установок для виробництва електроенергії з відновлюваних ДЕ.

Додатковою перевагою сумісного використання різнорідних джерел електричної енергії на основі відновлюваних ДЕ в рамках комбінованої електроенергетичної системи (КЕЕС) є зниження добової нерівномірності вироблення електроенергії такою системою. Це, безперечно, є суттєвою перевагою КЕЕС в порівнянні із застосування генеруючих установок, що працюють на відновлюваному ресурсі одного виду.

Стрімкий ріст встановленої потужності генерації установок з відновлюваними ДЕ призводить до негативних явищ [1- 4], серед яких: відхилення напруги в низьковольтних електричних мережах, коливання напруги тощо.

Вирішити дану проблему можливо шляхом покращення характеристик систем автоматичного управління (САУ) виробництвом електричної енергії установками з відновлюваними ДЕ. Метою удосконалення зазначених САУ є досягнення максимального значення можливого рівня виробництва електричної енергії установками з відновлюваними ДЕ. При цьому обмежуючим фактором є забезпечення нормально допустимих значень усталеного відхилення напруги в місці приєднання споживачів електричної енергії до низьковольтної розподільчої мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті виконання аналізу літературних джерел [5- 7] було встановлено, що більшість існуючих САУ установок з ВДЕ (в тому числі і тих, що працюють в КЕЕС) забезпечують підхід до автоматичного управління, при якому відбувається обмеження величини виробництва електричної енергії в залежності від фіксованого значення уставки по напрузі. Негативним фактором такого підходу є скорочення грошових надходжень від реалізації виробленої електричної енергії за ставкою «зеленого» тарифу. Причина вказаного скорочення полягає в зниженні рівня генерації електроенергії в розподільну електричну мережу.

Шляхи удосконалення управління установками з відновлюваними ДЕ при одночасному забезпеченні нормально допустимих значень усталеного відхилення напруги в місці приєднання споживачів електричної енергії до розподільчої електричної мережі було розглянуто в роботах [3, 4, 8-11].

В роботах [10, 11] авторами запропоновано САУ установок з відновлюваними ДЕ яка дозволяє врахувати вплив генерації активної потужності на рівні усталеного відхилення напруги в точці приєднання споживачів до електричної мережі. Позитивний ефект від застосування розробленої в [11] САУ генерацією активної потужності установок з відновлюваними ДЕ підтверджується результатами комп'ютерного імітаційного моделювання.

Проте, для підтвердження працездатності розробленої в [11] САУ, а також для визначення ефективності її роботи необхідно розробити мікропроцесорний блок, що реалізує алгоритм автоматичного управління, запропонований в [11], та провести експериментальні дослідження режимів роботи розробленої системи.

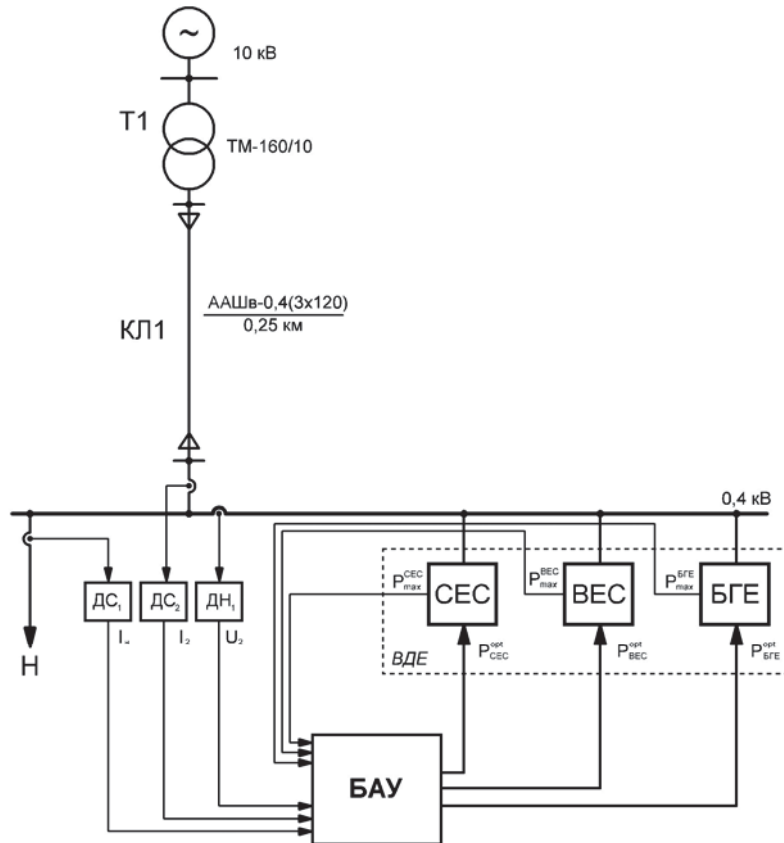
Постановка завдання. Таким чином, метою дослідження є розробка мікропроцесорної САУ, застосування якої забезпечить максимально можливий рівень генерації активної потужності установками з відновлюваними ДЕ, що входять до складу КЕЕС, при одночасному забезпеченні нормально допустимих значень усталеного відхилення напруги в точці підключення споживачів електричної енергії до низьковольтної розподільчої мережі.

Виклад основного матеріалу. В роботах [9, 11] запропоновано інтерпретувати задачу управління рівнем генерації активної потужності установок з відновлюваними ДЕ, що працюють у складі КЕЕС у вигляді задачі багатокритеріальної оптимізації. Проте, авторами не запропонована технічна реалізація такої системи.

Для здійснення перевірки працездатності, а також для експериментального підтвердження ефективності роботи САУ генерацією активної потужності

відновлюваних ДЕ в КЕЕС було виконано розробку структурної схеми мікроконтролерної САУ генерацією активної потужності відновлюваних ДЕ в КЕЕС із застосуванням сучасної елементної бази.

На рис. 1 зображена структурна схема САУ генерацією активної потужності відновлюваних ДЕ в КЕЕС із зазначенням вимірювальних каналів напруги, струмів лінії живлення та навантаження.



T1 – силовий трансформатор; КЛ1 – кабельна лінія; Н – електричне навантаження; ВЕС, СЕС, БГЕ – вітрова, сонячна та біогазова електростанції відповідно; ДС₁, ДС₂ – датчики струму; ДН₁ – датчик напруги; БАУ – мікроконтролерний блок автоматичного управління генерацією активної потужності відновлюваних ДЕ в КЕЕС

Рисунок 1 – Структурна схема САУ генерацією активної потужності відновлюваних ДЕ в КЕЕС
Джерело: розроблено авторами

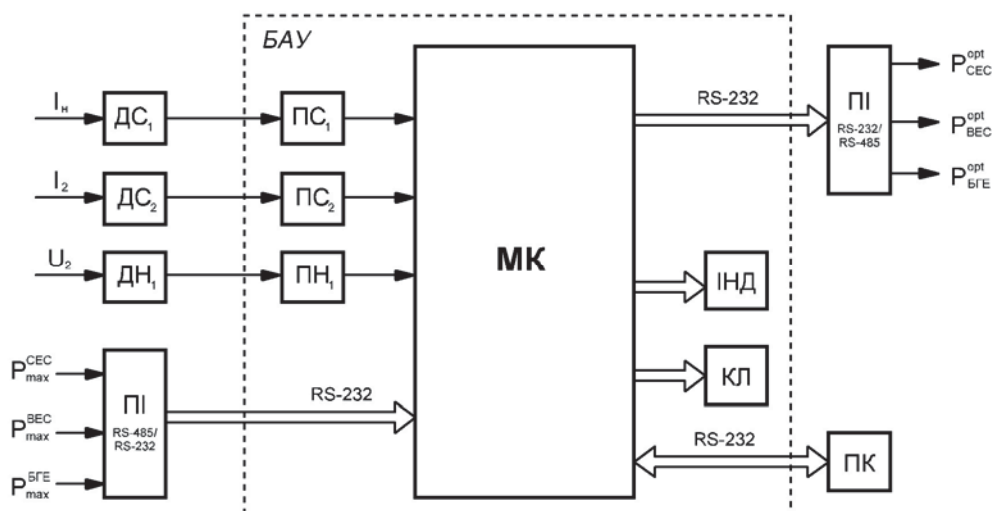
В ролі первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) струму запропоновано застосування застосовувати вимірювальні трансформаторів струму. Такий тип ПВП має суттєві переваги в порівняно з іншими, зокрема:

- багатофункціональність використання, адже дані ПВП можуть застосовуватись як для організації вимірювальних каналів запропонованої САУ, так і для контролю робочих режимних параметрів КЕЕС та релейного захисту;
- доступність та широкий спектр типоміналів;
- задовільний клас точності (0,5 і більше) в широкому діапазоні вимірювання.

З огляду на те, що контроль параметрів реалізується на стороні 0,4 кВ, необхідність у застосуванні вимірювальних трансформаторів напруги не виникає. В таких випадках застосовується пряме підключення вимірювальних приладів до мережі.

Головним елементом структурної схеми САУ генерацією активної потужності відновлюваних ДЕ в КЕЕС є блок автоматичного управління БАУ. Зазначений блок реалізує запропонований алгоритм визначення оптимального вектора управління.

На рис. 2 наведена структурна схема мікроконтролерного БАУ генерацією електричної енергії відновлюваними ДЕ в КЕЕС.



БАУ – блок автоматичного управління; МК – мікроконтролер; ПН₁, ПС₁, ПС₂ – перетворювачі напруги та струму; ДН₁, ДС₁, ДС₂ – датчики напруги та струму; ПІ – перетворювач інтерфейсу RS-485/RS-232; ІНД – блок індикації даних; КЛ – блок введення даних (клавіатура); ПК – персональний комп’ютер

Рисунок 2 – Структурна схема мікроконтролерного БАУ генерацією електричної енергії відновлюваними ДЕ в КЕЕС

Джерело: розроблено авторами

Принцип роботи блоку автоматичного управління (рис. 2) наступний. Інформація про виміряні значення струмів навантаження та лінії (I_1 , I_2) і напруги в точці підключення електроспоживачів (U_2) з виходів датчиків (ДН₁, ДС₁, ДС₂) надходять на входи перетворювачів напруги і струму (ПН₁, ПС₁, ПС₂). В зазначених перетворювачах виконується перетворення інформації про сигнали в цифрову форму із аналогової. Перетворені сигнали з блоків ПС₁, ПС₂ та ПН₁, а також інформація про максимальне в даний момент часу значення генерації електричної енергії установками з відновлюваними ДЕ подаються на вхід мікроконтролера МК. В якості вихідного сигналу мікроконтролера МК буде вектор оптимального управління. Визначення вектора управління відбувається за алгоритмом, який запропонований в роботі [11].

Принципова електрична схема БАУ генерацією електроенергії відновлюваних ДЕ в комбінованій системі зображена на рис. 3. Реалізація розробленого алгоритму визначення оптимального вектора управління відбувається на 8-бітному мікроконтролері Atmega162, що володіє достатніми обчислювальними ресурсами.

Зовнішній вигляд макету БАУ генерацією електроенергії відновлюваних ДЕ в КЕЕС наведено на рис. 4.

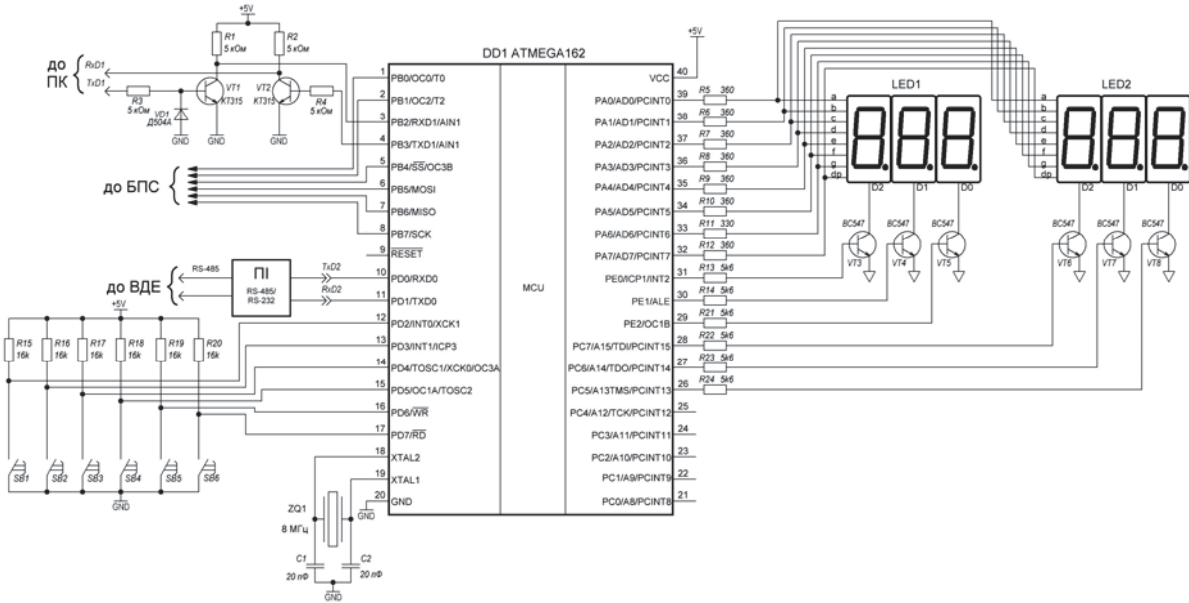


Рисунок 3 – Принципова електрична схема БАУ генерацією електроенергії відновлюваних ДЕ в КЕЕС

Джерело: розроблено авторами

Експериментальні дослідження створеної мікроконтролерної САУ генерацією електричної енергії відновлюваних ДЕ в КЕЕС були проведені на лабораторному стенді. Функціональна схема лабораторного стенда зображена на рис. 5., де: МС – модель живлячої системи; E_C – джерело стабілізованої напруги (моделює ЕРС живлячої системи); R_C – моделює опір електроспоживачів живлячої системи; $R_{Л}$ – моделює еквівалентний опір ланок електропередачі; МН – модель навантаження; R_H – моделює опір електроспоживачів КЕЕС; МВДЕ – моделює відновлювані джерела енергії; J_1, J_2, J_3 – керовані джерела струму (моделюють генерацію електроенергії від СЕС, ВЕС, БГЕ; БАУ – блок автоматичного управління генерацією електроенергії; $K_1^{opt}, K_2^{opt}, K_3^{opt}$ – складові вектора оптимального управління; I_H – струм навантаження; U_H – напруга на шині електроспоживачів; I_1, I_2, I_3 – значення струмів джерел J_1, J_2, J_3 ; ПК – персональний комп’ютер.

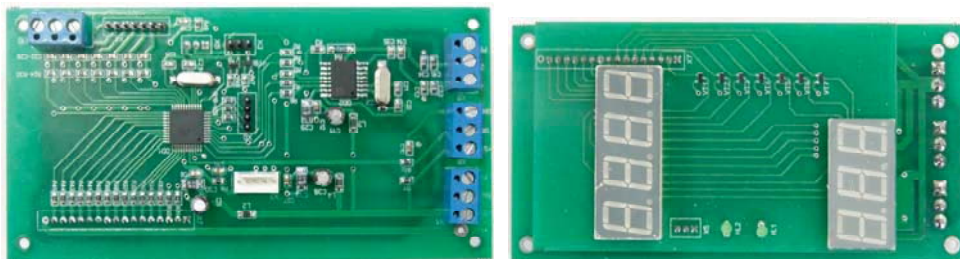


Рисунок 4 – Макет блоку автоматичного управління генерацією електроенергії відновлюваних ДЕ в КЕЕС

Джерело: розроблено авторами

Для моделювання генерації активної потужності установками з відновлюваними ДЕ було використано трьохканальне програмоване джерело струму. Даний пристрій виконано на основі мікросхеми Atmega 162, цифро-аналогових перетворювачів AD5446

та операційних підсилювачів AD8510. Значення складових вектора управління $K_{\text{СЕС}}^{\text{opt}}$, $K_{\text{ВЕС}}^{\text{opt}}$, $K_{\text{БГЕ}}^{\text{opt}}$ передаються від БАУ по інтерфейсу RS-232.

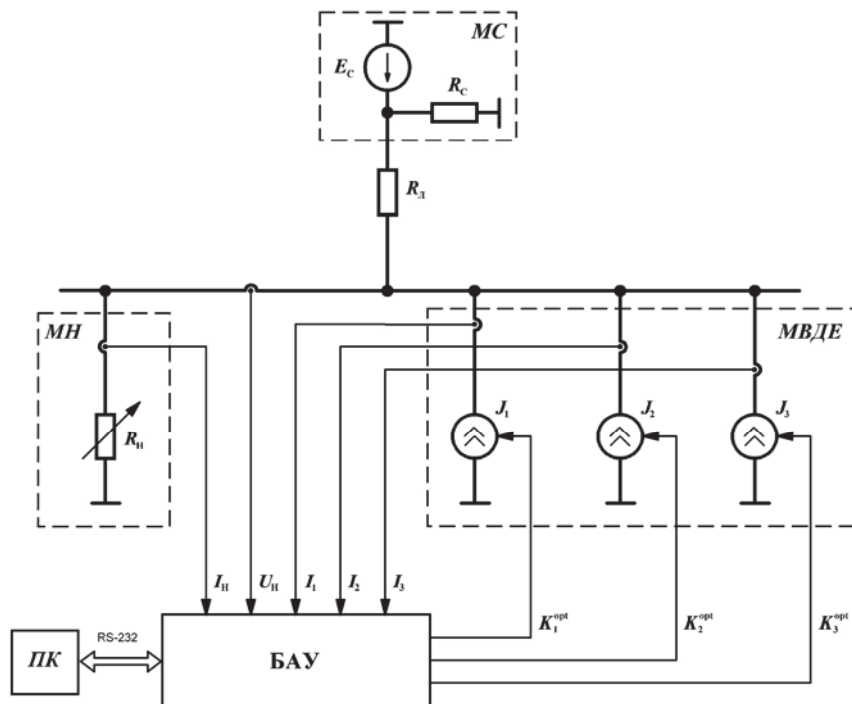


Рисунок 5 – Функціональна схема лабораторного стану для експериментального дослідження мікроконтроленої САУ генерацією електроенергії відновлюваних ДЕ в КЕЕС

Джерело: розроблено авторами

Загальний вигляд лабораторного стану для дослідження САУ генерацією електроенергії відновлюваних ДЕ в КЕЕС приведений на рис. 6.



Рисунок 6 – Загальний вигляд лабораторного стану для експериментального дослідження САУ блоку управління рівнем генерації активної потужності в КЕЕС з ВДЕ

Джерело: розроблено авторами

Результати проведених експериментальних досліджень наведені на рис. 7 – 9 у вигляді графіків

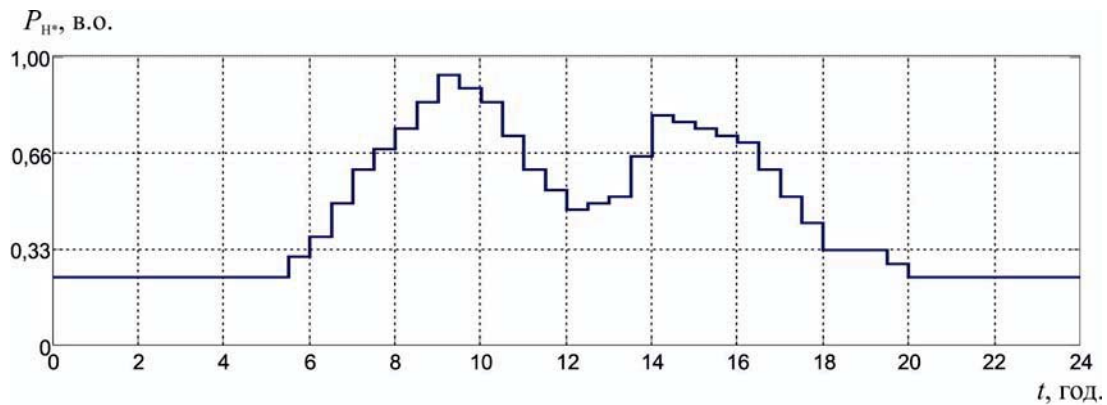


Рисунок 7 – Графік споживання потужності навантаження споживачів електроенергії
Джерело: розроблено авторами

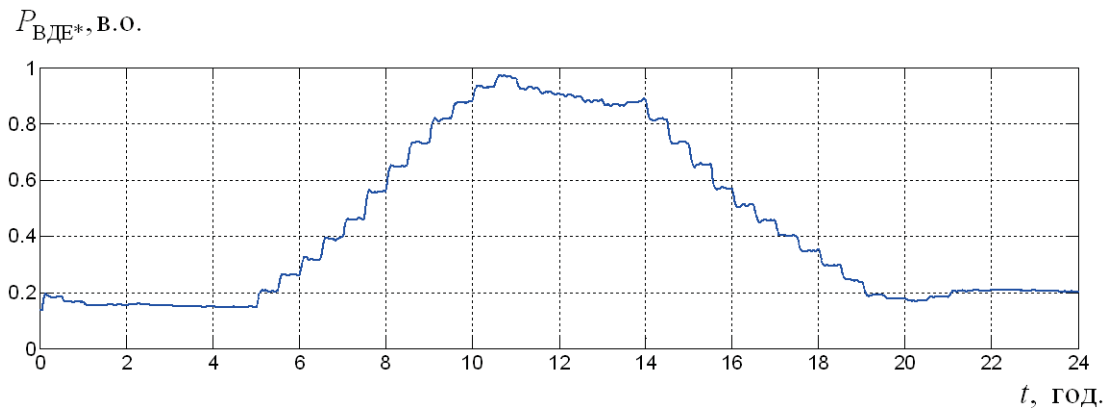


Рисунок 8 – Графік сумарної потужності генерації електроенергії установками з відновлюваними ДЕ
Джерело: розроблено авторами

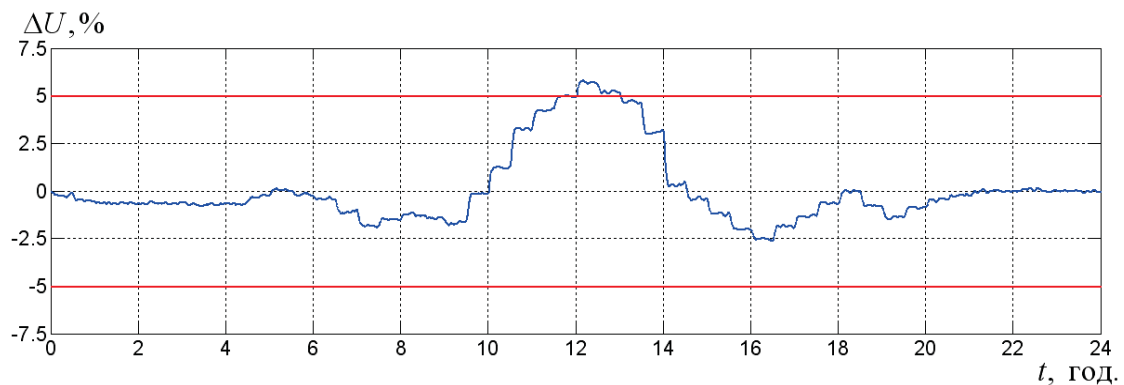


Рисунок 9 – Графік відхилення напруги на шинах електроспоживачі
Джерело: розроблено авторами

Було проведено обробку даних отриманих в результаті комп'ютерного імітаційного моделювання в роботі [11] та експериментального дослідження. Результати статистичної обробки даних наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки результатів експериментальних досліджень та комп'ютерного імітаційного моделювання

№ з/п	Параметр режиму	Математичне очікування, M	Середньо-квадратичне відхилення, σ
Результати комп'ютерного імітаційного моделювання			
1.	Потужність навантаження споживачів електроенергії, P_n , в.о.	0,483	0,246
2.	Потужність генерації відновлюваних джерел, $P_{ВДЕ}$, в.о.	0,423	0,288
3.	Значення усталеного відхилення напруги, ΔU , %	0,093	1,955
Результати експериментальних досліджень			
4.	Потужність навантаження споживачів електроенергії, P_n , в.о.	0,483	0,255
5.	Потужність генерації відновлюваних джерел, $P_{ВДЕ}$, в.о.	0,436	0,288
6.	Значення усталеного відхилення напруги, ΔU , %	0,097	1,947

Джерело: розроблено авторами

Як видно з результатів статистичної обробки даних, що наведені в таблиці 1, розбіжність між результатами експериментальних досліджень та даними комп'ютерного імітаційного моделювання [11], знаходиться в діапазоні 3-4%. Це свідчить про працездатність розробленої мікроконтролерної САУ генерацією електроенергії відновлюваними ДЕ в КЕЕС.

Висновки. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Для реалізації алгоритму визначення вектора оптимального управління генерацією електроенергії відновлюваних ДЕ в КЕЕС запропоновано структурну схему мікроконтролерної САУ а також її принципову схему з використанням сучасної елементної бази.

2. Розроблений лабораторний стенд, для експериментального дослідження роботи запропонованої САУ генерацією електричної енергії відновлюваними ДЕ в КЕЕС, дозволив виконати експериментальні дослідження мікропроцесорної САУ.

3. Співставлення результатів проведених експериментів з даними комп'ютерного імітаційного моделювання з наступною обробка статистичних даних показала, що розбіжність між ними складає менше 4 %. Це підтверджує працездатність розробленої САУ генерацією активної потужності відновлюваних ДЕ в КЕЕС.

Список літератури

1. Аналіз впливу приєднання відновлюваних джерел електроенергії на рівні напруги електричних мереж / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, А. Е. Зоммер. *Технічна електродинаміка. Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність»*. 2011. Ч. 2. С. 44–49.
2. Проблеми інтеграції відновлюваних джерел електроенергії в «слабкі» електричні мережі / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, І. В. Трач. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 3. С. 25–26
3. Лежнюк П. Д., Кулик В. В., Ковальчук О. А. Оптиміальне керування розосередженими джерелами енергії в локальній електричній системі. *Праці Інституту електротехнічної динаміки НАН України: збірник наукових праць. Спеціальний випуск*. 2011. ч. 1. С. 48–55.

4. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Вплив сонячних електричних станцій на напругу споживачів 0,4 кВ. *Енергетика: економіка, технології, екологія: науковий журнал*. 2015. № 3 (41). С. 7–13.
5. Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems / F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, A.V. Timbus. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2006. vol.53. no.5. pp.1398-1409.
6. Blaabjerg F., Chen Z. Power electronics as an enabling technology for renewable energy integration. *J. Power Electron*. 2003. vol. 3. no. 2. pp. 81–89.
7. Blaabjerg F., Liserre M., Ma K. Power Electronics Converters for Wind Turbine Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2012. Vol. 48. No.2. P. 708–719.
8. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2015. №. 2. С. 134–145.
9. Солдатенко В. П., Плешков С. П. Автоматичне керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів*. 2017. №34(1256). С. 66–70.
10. Солдатенко В. П. Система автоматичного керування роботою комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип. 187 Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2017. С. 37–39.
11. Плешков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Солдатенко В.П. Оптиміальне керування режимом роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика*. 2018. №32 (1308). С. 64-70.
12. Зінзура В. В. Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2012. Вип. 25. Ч. 1. С. 350-360.

Referencis

1. Kyrylenko, O.V., Pavlovskiy, V.V., Lukianenko, L.M. & Zommer, A.E. (2011). Analiz vplyvu pryednannia vidnovliuvanykh dzherel elektroenerhii na rivni napruhy elektrychnykh merezh [Analysis of the influence of connection of renewable energy sources on the voltage level of electricity grids]. *Tekhnichna elektrodynamika. Tem. vypusk «Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist» – Technical electrodynamicics. «Power Electronics and Energy Efficiency» Special issue, 2*, 44 [in Ukrainian].
2. Kyrylenko, O.V., Pavlovskiy, V.V., Lukianenko, L.M. & Trach, I.V. (2012). Problemy intehratsii vidnovliuvanykh dzherel elektroenerhii v «slabki» elektrychni merezhi [Problems of integration of renewable energy sources into "weak" electric grids]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamicics, 3*, 25–26 [in Ukrainian].
3. Lezhniuk, P.D., Kulyk, V.V. & Kovalchuk, O.A. (2011). Optymalne keruvannia rozoseredzhenymy dzherelamy enerhii v lokalnii elektrychnii systemi [Optimal control of scattered energy sources in the local electrical system]. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy: zbirnyk naukovykh prats. Spetsialnyi vypusk – Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine: collection of scientific works. Special issue, 1*, 48–55 [in Ukrainian].
4. Lezhniuk, P.D., Rubanenko, O.Ye. & Hunko I.O. (2015). Vplyv soniachnykh elektrychnykh stantsii na napruhu spozhyvachiv 0,4 kV [Flush of sonny electric power stations on the spur of settling 0,4 kV]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia: naukovyi zhurnal – Energy: economics, technology, ecology: science journal, 3 (41)*, 7–13 [in Ukrainian].
5. Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M. & Timbus, A.V. (2006). Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 5, 1398-1409 [in English].
6. Blaabjerg, F. & Chen, Z. (2003) Power electronics as an enabling technology for renewable energy integration *Power Electron, 2*, 81–89 [in English].
7. Blaabjerg, F., Liserre, M. & Ma, K. (2012). Power Electronics Converters for Wind Turbine Systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2, 708–719 [in English].
8. Lezhniuk, P.D., Rubanenko, O. Ye. & Hunko, I.O. (2015). Vplyv invertoriv SES na pokaznyky yakosti elektrychnoi enerhii v LES [Influence of solar power inverters on the electric power quality indicators in the local electrical system]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical sciences, 2*, 134–135 [in Ukrainian].

9. Soldatenko, V.P. & Plieshkov, P.G. (2017). Avtomatychnе керування rezhymamy roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [Automatic control of the modes of operation of the combined power system with renewable energy sources]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Serii: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: Problems of Improvement of Electric Machines and Apparatus*, 34(1256), 66–70 [in Ukrainian].
10. Soldatenko, V.P. (2017). Systema avtomatychnoho керування robotoiu kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [The system of automatic control of the operation of a combined power system with renewable energy sources]. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Tekhnichni navky. Vyp. 187 Problemy enerhozabezpechennia ta enerhozberezhennia v APK Ukrainy – Bulletin KhNTUSH P. Vasilenko. Technical lessons. Whip 187 Problems of power supply and energy saving in the agroindustrial complex of Ukraine*, 37–39 [in Ukrainian].
11. Plieshkov, P.G., Soldatenko, V.P. & Harasova, N. Y. (2018). Optymalne керування rezhymom roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoi systemy z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii [Optimal Control of the Work of the Hybrid Electric Energy System with Renewable Sources of Energy]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Serii: Problemy udoskonalennia elektrychnykh mashyn i aparativ – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: Problems of Improvement of Electric Machines and Apparatus*, 32(1308), 66–70 [in Ukrainian].
12. Zinzura, V.V. (2012). Metody rozviazku zadachi bahatokryterialnoi optymizatsii rehuliuвання napruhy v elektrychnykh merezhakh. [Methods of solving the problem of multicriteria optimization of voltage regulation in electric networks]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu – Collection of scientific works of Kirovograd National Technical University*, 25, 350-360 [in Ukrainian].

Valentyn Soldatenko, Lect., PhD tech. sci., **Vasyl Zinzura**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Plieshkov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nataliia Harasova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Tetiana Velychko**, Sen. Lect. *Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

Technical Implementation of the Automatic Control System of the Low-voltage Distribution Network with Renewable Energy Sources

The purpose of the study is to develop a microprocessor-based automatic control system, the application of which will provide the highest possible level of generation of active power to the units of RES, which are part of the EEC, subject to the observance of the normally acceptable values of the established voltage deviation at the point of connection of consumers to the electrical distribution network.

A block diagram of a microprocessor-based automatic control system for generating the active power of renewable energy sources operating within a combined power system using a modern element base has been developed. Structural and schematic diagrams of the microprocessor-based automatic control system were developed, based on an algorithm for determining the optimal control vector based on the solutions of the multicriteria optimization problem. The developed laboratory stand for the experimental study of the quality of work of the automatic control system of generation of active power of renewable energy sources working in the combined electric power system allowed to perform the experimental researches of the microprocessor automatic control system. Experimental studies were conducted to test the performance of the developed microprocessor-based system for automatic control of the level of active power generation, as well as to determine its efficiency.

Comparison of the results of the experimental studies with the data of computer simulation and the results of statistical data showed the correctness of the theoretical studies and the efficiency of the developed system of automatic control of the generation of active power of renewable energy sources operating in the combined electricity system.

renewable energy sources, automatic control system

Одержано (Received) 18.12.2019

Прорецензовано (Reviewed) 20.12.2019

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019