

# ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КЕРОВАНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Нестерко А.Б., к.т.н., ст. викл., Лисак К.М., магістрант  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Стрімке зростання розвитку відновлювальних джерел енергії та імплементація їх у розподільні електричні мережі несе за собою виникнення пов'язаних з застосуванням джерел розподіленого генерування проблем, як наслідок – необхідність у регулюванні даних систем. Додержання системних вимог та якість їх виконання впливають на ґрунтовну складову – стійкість мереж вищої напруги та безпосередньо якість електроенергії.

Додавання нових елементів у мережу, як правило, суттєво впливає на показники стабільності системи, через неможливість врахування додаткового генеруючого устаткування технікою регулювання, яка була вже встановлена. Для уникнення похідних проблем зі стійкістю мережі кожне нове джерело повинно мати систему регулювання, що перетворює його у допоміжну регулюючу ланку.

Основою таких систем є регулятори, які в залежності від вхідних параметрів мережі повинні керувати устаткуванням, ефективно та швидко оцінювати рівень напруги в мережі.

**Мета роботи.** Метою даної статті є дослідження моделі керування накопичувачем енергії, який підключений до розподільної електричної мережі промислового рівня напруги в програмному середовищі «Matlab & Simulink» і аналіз впливу її параметрів на рівень напруги в мережі.

**Матеріали та результати досліджень.** У [1] описується підхід до керування накопичувачами електроенергії на прикладі невеликої смарт-мережі – шопінг-центру в Альборні, Данія. Основна ідея полягає у фрагментації мережі на локальні ділянки, як і в [2], та аналіз її графіку навантажень і системи вдосконалення розподілення графіку навантаження ICLOCS. Такі підходи мають значні недоліки:

- обмеженість за потужністю накопичувачів;
- непристосованість до роботи у рівнях промислових напруг;
- ігнорування критеріїв заряду накопичувачів;
- доцільність обмеження використання накопичувачів електроенергії для подовження строку експлуатації.

Саме тому є актуальним питання щодо розробки керування накопичувачем електроенергії у розподільній електричній мережі промислової напруги.

Для керування напругою вузла приєднання джерел розподіленого генерування, у цьому випадку накопичувача енергії, необхідно враховувати напругу вузла приєднання та стан заряду накопичувача. Згідно [3] нормально допустиме і гранично допустиме значення встановленого відхилення напруги  $\partial U_v$  складають відповідно  $\pm 5$  та  $\pm 10\%$  від номінального значення напруги електричної мережі. Нормативів щодо використання накопичувачів

електроенергії, а саме допустимих меж заряду накопичувача немає. Проте спираючись на досвід використання та дослідження ці робочі межі встановлюються у проміжку  $\square$  30–70% від повного заряду батареї. Нижня межа базується на технологічних особливостях будови найпопулярніших накопичувачів електроенергії, які побудовані на акумуляторних батареях через необхідність великого пускового струму для запуску хімічної реакції – початку заряджання. А верхня, в свою чергу, зумовлюється збільшенням терміну експлуатації шляхом не виконання повного циклу перезаряджання батареї. Враховуючи ці обмеження, було складено алгоритм контролера (рис. 1), який складається з декількох функціональних блоків [4]:

- Блок генерування керуючих сигналів, які визначають режим роботи накопичувача (заряджання, розряджання та відключення);
- Блок керування струмом заряду/розряду батареї, в залежності від необхідної кількості потужності.



(a)

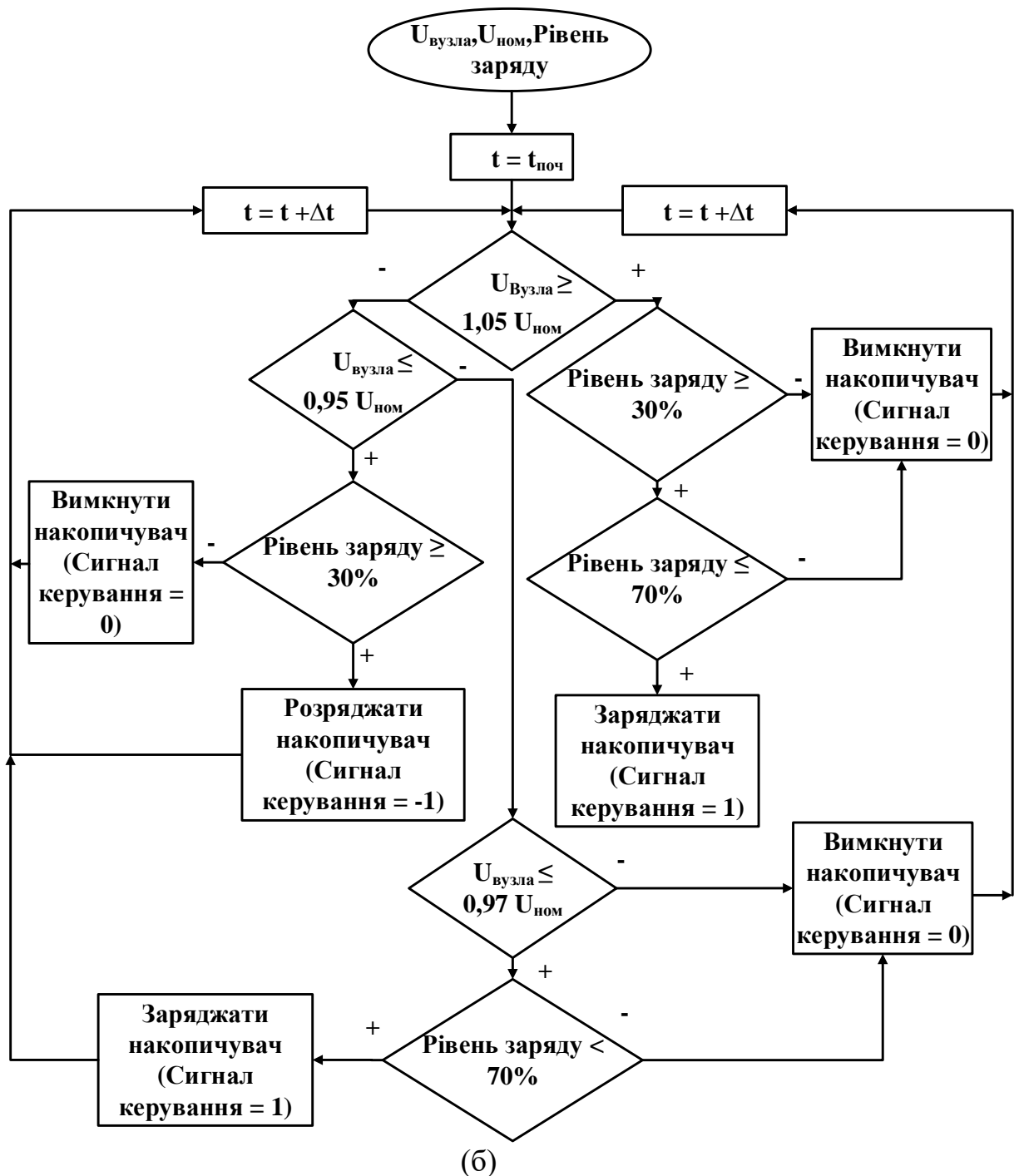


Рисунок 1 – Алгоритми блоків керування струмом заряду/розряду батареї (а) і генерування керуючих сигналів (б)

Для реалізації та дослідження роботи контролера було складено розподільну електричну мережу номінального рівня напруги 10,5 кВ (рис. 2) у програмному забезпеченні «Matlab & Simulink», а саме «Simscape Power Systems» [4], яка складається з генератора (Джерело 10,5 кВ), блока «3-phase Programmable Voltage Source», статичного та динамічного навантаження – «Three-Phase Series RLC Load» та «3-phase Dynamic Load» відповідно, останній базується на графіку добового навантаження системи.

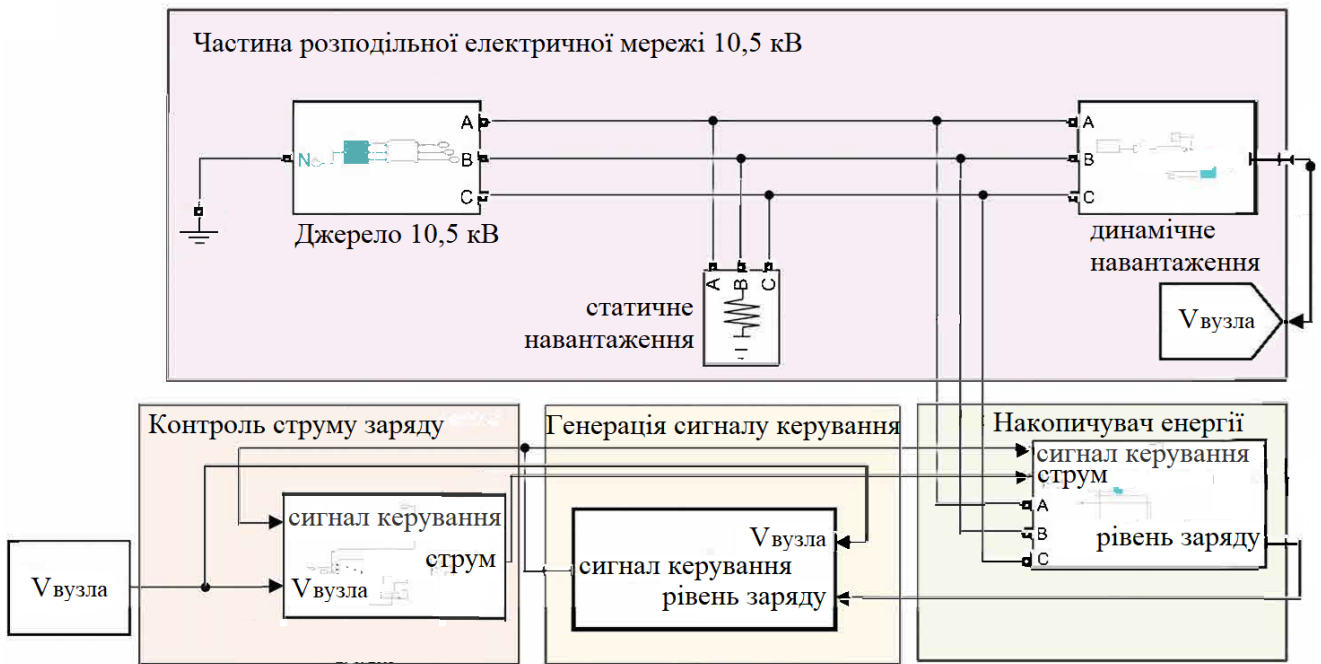
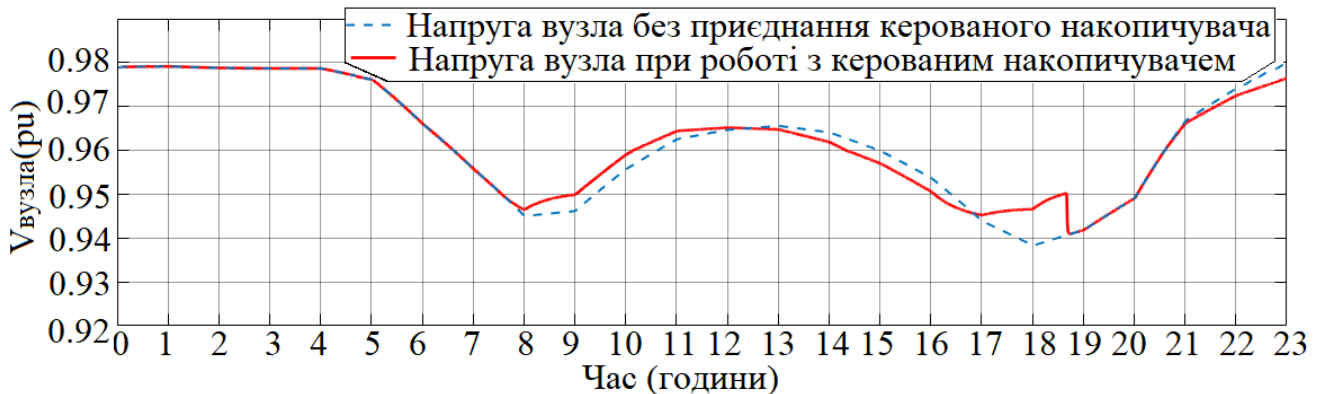
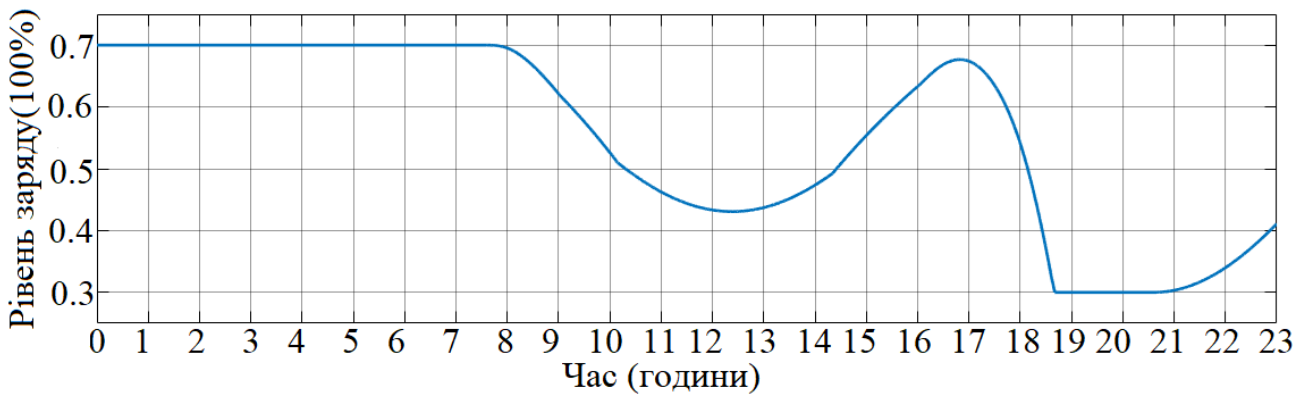


Рисунок 2 – Структурна схема електричної мережі 10,5 кВ

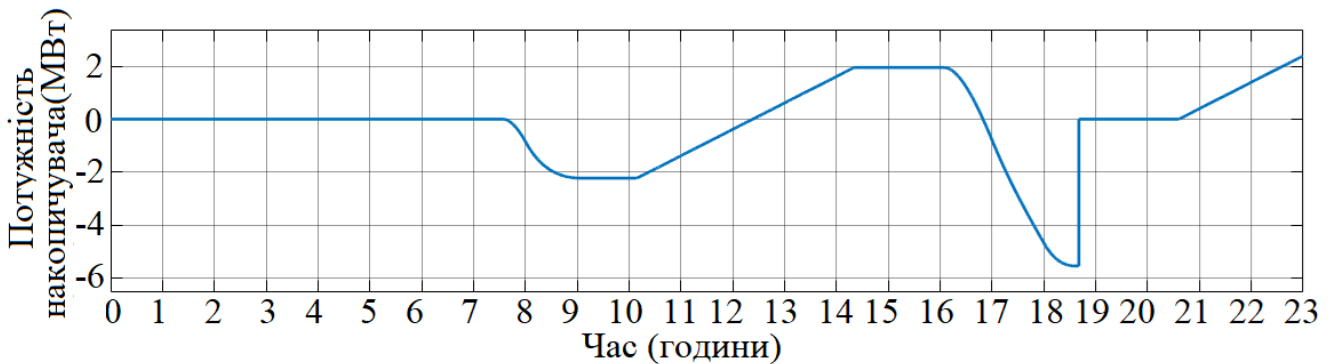
До ділянки мережі 10,5 кВ на паралельну роботу ввімкнено накопичувач енергії, який має видавати чи споживати потужність, до якого підходить два входи: сигнал керування та значення струму (струм). А виходом блоку є рівень заряду. Значення рівня заряду потрапляє на вхід блоку генерування сигналу керування, який формується в залежності від рівня напруги ( $V_{\text{вузла}}$ ) та рівня заряду накопичувача відповідно до алгоритму рис. 1 (а). Далі керуючий сигнал потрапляє на вхід блоку, в якому відбувається розрахунок необхідного струму заряду чи розряду накопичувача (Контроль струму заряду), який згодом і потрапляє до останнього, забезпечуючи видачу та споживання активної потужності з або в систему. В результаті дослідження ділянки розподільної електричної мережі з керованим накопичувачем енергії отримано графіки залежності зміни напруги вузла підключення, рівня заряду та потужності накопичувача від часу.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 3 – Суміщений графік рівня напруги, як разом, так і без керованого накопичувача (а), графік зміни рівня заряду накопичувача (б) та потужності накопичувача (в)

З суміщеного графіку визначаємо, що рівень напруги під час «ранкового» та «вечірнього» мінімумів – переходу мінімально допустимого рівня, без участі керованого накопичувача електроенергії лінійно зменшується, в той же час, графік напруги за участі керованого накопичувача демонструє, що падіння напруги відбувається у тому ж за часом проміжку, але експоненціально, а далі повертається до допустимих меж – запобігає подальшому зниженню. При цьому заряду накопичувача зменшився на 10 %, що вказує на наявність запасу потужності на випадок значного навантаження на систему та аварійних режимів.

Наступний проміжок визначено у часу між 12 та 17 год. При неповному заряді накопичувача та достатньому запасі потужності у мережі відбувається заряд накопичувача до його майже максимального рівня (68%), чому сприяє контроль зарядного струму, який дозволяє при цьому залишати рівень напруги вузла у допустимих межах.

Другий та більший спад напруги відбувається в межах 17 та 20 год. У цей період накопичувач працював у режимі розряду, при цьому різниця рівнів напруг двох режимів роботи мережі складає 0.01 у.о., за рахунок чого рівень напруги зростав до допустимого рівня, поки накопичувач не вимкнувся. Це відбулося оскільки заряд накопичувача досяг ліміту в 30 %, тому що подальше його використання є не ефективним.

При подальшому відновленні рівня напруги накопичувач увійшов в режим заряду.

**Висновки.** Для дослідження моделі керування накопичувачем енергії в розподільній електричній мережі було розроблено алгоритми регуляторів, на основі яких було створено окремі елементи керування накопичувачем електроенергії в програмному середовищі «Matlab & Simulink», побудовано модель системи управління накопичувача енергії та модель розподільної електричної мережі з керованим накопичувачем енергії.

Розроблений контролер здатен керувати струмом заряду накопичувача в залежності від потреб мережі заданням уставок за рівнем напруги вузла включення, та обмежень самого накопичувача енергії.

Дослідження показали, що керований накопичувач може бути одним із перших елементів запобігання стрімкого падіння напруги у системі, так само, як і при перевищенні рівня, може за необхідності спожити зайву потужність.

#### **Перелік посилань**

1. Mahat P. et al. A Micro-Grid Battery Storage Management. - [Electronic Resource]. – Mode of access : URL : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6672497>.
2. Mehdi T. et al. Optimal Management of an Energy Storage Unit in a PV-Based Microgrid Integrating Uncertainty and Risk. - [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: [https://res.mdpi.com/d\\_attachment/applsci/applsci-09-00169/article\\_deploy/applsci-09-00169.pdf](https://res.mdpi.com/d_attachment/applsci/applsci-09-00169/article_deploy/applsci-09-00169.pdf).
3. ГОСТ 13109-97. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. – К.: Держстандарт, 1999. – 24 с.
4. Simscape Power Systems Simscape Blocks [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/simscapeblocklist.html>. – Title from the screen.