

## КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕЮ ІЗ РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

**Грушевий Р.А., студент, Лавренова Д.Л., к.т.н.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

**Вступ.** Міжнародна рада з великих електричних систем (CIGRE) визначила мікромережу як систему розподілу електроенергії, що містить навантаження і розподілені енергетичні ресурси (такі як розподілені генератори, накопичувачі або керовані навантаження), які можуть експлуатуватися контрольованим, скоординованим чином як при підключенні до магістральної електромережі, так і в режимі ізольованої роботи [1].

Розподілені ресурси енергосистеми вносять додаткову невизначеність в роботу енергосистеми і вимагають більш інтелектуальних і надійних рішень в керуванні енергосистемою.

**Мета роботи.** Моделювання процесів контролю мережі із розподіленою генерацією у випадку виникнення несправності.

**Матеріали і результати досліджень.** Мікромережа - це система розподілення електроенергії, яка знаходиться в межах локальної території і працює незалежно від основної енергосистеми або підключена до неї. Мікромережі можуть містити як відновлювані, так і традиційні джерела генерації, а також накопичувачі енергії для компенсації нестабільності генерації відновлюваних джерел.

Стабільність потужності мікромережі є більш чутливою до змін навантаження через залежність від ресурсів із застосуванням інверторів. Крім того, розподілена генерація в поєднанні з двонаправленими потоками електроенергії збільшує складність експлуатації мікромережі.

Мікромережа може працювати в режимі підключення до загальної електромережі (режим підключення до електромережі) або незалежно від неї (автономний або ізольований режим). В ізольованому режимі навантаження системи забезпечується тільки від об'єктів генерації, присутніх в мікромережі. У цьому режимі керування мікромережею регулює напругу та частоту об'єктів генерації за допомогою мережевого керування. У режимі з'єднання з мережею напруга та частота мікромережі задаються енергосистемою, а система керування мікромережею регулює активну та реактивну потужність об'єктів генерації мікромережі, використовуючи керування на основі моніторингу стану мережі.

Таким чином, керування мікромережею містить декілька режимів для забезпечення стабільної та безпечної роботи:

1. Синхронізація мережі: частота і фаза напруги мікромережі узгоджуються з напругою мережі перед підключенням. Якщо напруги не узгоджені в межах певного допуску, при підключенні можуть виникати великі перехідні процеси, що призводить до нестабільності і, як наслідок, до небезпечної експлуатації та пошкодження обладнання.

2. Формування мережі: об'єкти генерації знаходяться під контролем напруги та частоти в системі змінного струму та під контролем напруги в системі

постійного струму. Ізольована мікромережа не здатна працювати безпечно і стабільно, якщо відсутнє керування, що формує мережу.

3. Контроль мережі: контролюються активна та реактивна потужності окремих об'єктів генерації в системі змінного струму та виключно активна потужність в системі постійного струму. Пристрої, синхронізовані із мережею, не беруть безпосередньої участі в регулюванні напруги та частоти.

4. Обмеження: коли зменшується генерація та/або потужність споживання. Основною причиною скорочення генерації та навантаження є підтримка безпеки та стабільності при виникненні незапланованих подій або коли експлуатаційні умови створюють додаткове навантаження на мережу.

Для дослідження режимів керування мікромережами була створена модель в середовищі розробки MATLAB Simulink та Simscape Electrical (рис. 1).

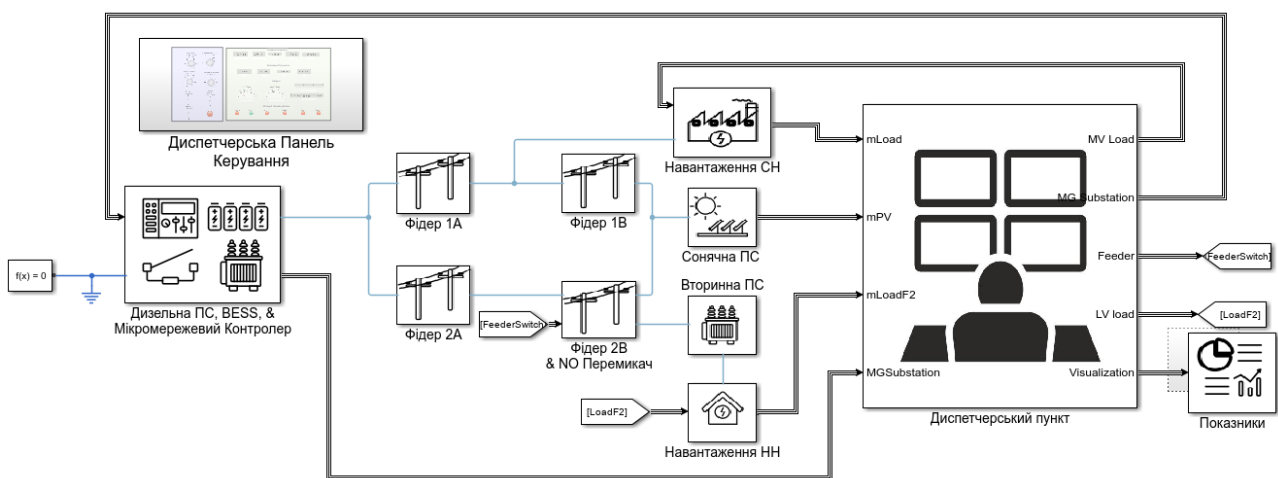


Рисунок 1 – Модель віддаленої мікромережі

У цьому дослідженні оцінюється робота мікромережі, керування мікромережею та функції контролера мікромережі відповідно до різних стандартів [2-7]:

- IEEE Std 2030.9-2019: Рекомендована практика IEEE з планування та проектування мікромереж;
- ДСТУ ІЕС TS 62898-1:2017: Мікромережі - Частина 1: Керівництво з планування та специфікації проектів мікромереж;
- IEEE Std 2030.7-2017: Стандарт IEEE для специфікації контролерів мікромереж;
- IEEE Std 2030.8-2018: Стандарт IEEE для тестування контролерів мікромереж;
- IEEE STD 2030.2.1-2019: Керівництво IEEE з проектування, експлуатації та обслуговування стаціонарних і мобільних систем зберігання енергії, а також додатків, інтегрованих з електроенергетичними системами.

Модель мікромережі складалася з наступних елементів:

- Елементи, що генерують потужність: дизель-генератор, сонячна батарея,
- Накопичувчі енергії: акумулятори,
- Навантаження: високовольтне, низьковольтне,

- Підстанція з двома вихідними фідерами,
- Система керування: мікромережвий контролер (BESS), диспетчерський пункт (ДП).

Контролер мікромережі в цій моделі виконує такі функції:

- Генерація опорної частоти,
- Генерація опорної напруги,
- Керування вимикачами,
- Керування генерацією еталонної активної та реактивної потужності,
- Планове відключення або ізолювання дизель-генератора,
- Запуск і ресинхронізація дизель-генератора.

Було змодельовано режим незапланованого відокремлення мікромережі внаслідок аварії дизельного генератора. Аварія відбувається на 3с процесу, реле струму налаштоване на струм 1,1 А протягом 0,5 с. У разі виникнення аварії, реле максимального струму подає сигнал відключення на автоматичний вимикач РСС.

На графіку (рис. 2) представлено результати моделювання, а саме трифазну напругу і струм на виході BESS та струм мережі під час запуску дизеля і з дизель-генератором.

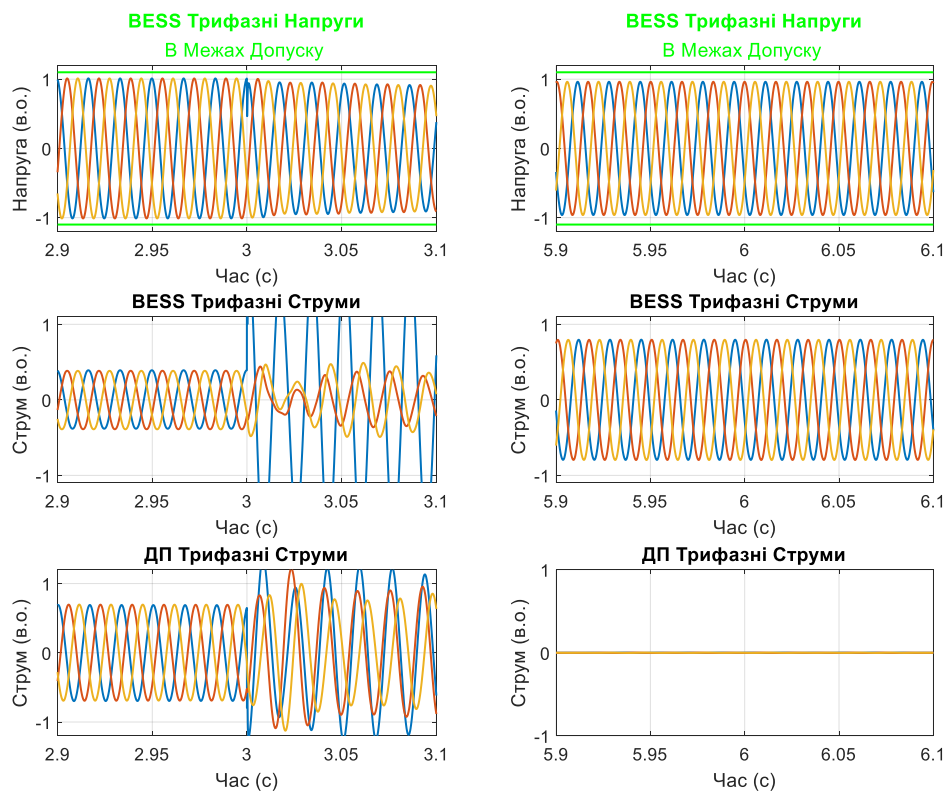


Рисунок 2 – Напруги та струми в мережі в момент аварії дизельного генератора

За результатами моделювання можна зробити висновок, що стабільність напруги та струму на виході BESS після непланованого відокремлення підтверджує ефективність керування мікромережею.

На рис. 3 представлений результат моделювання аварійного режиму, а саме зміни активної та реактивної потужності BESS, СЕС, ДП та навантажень.

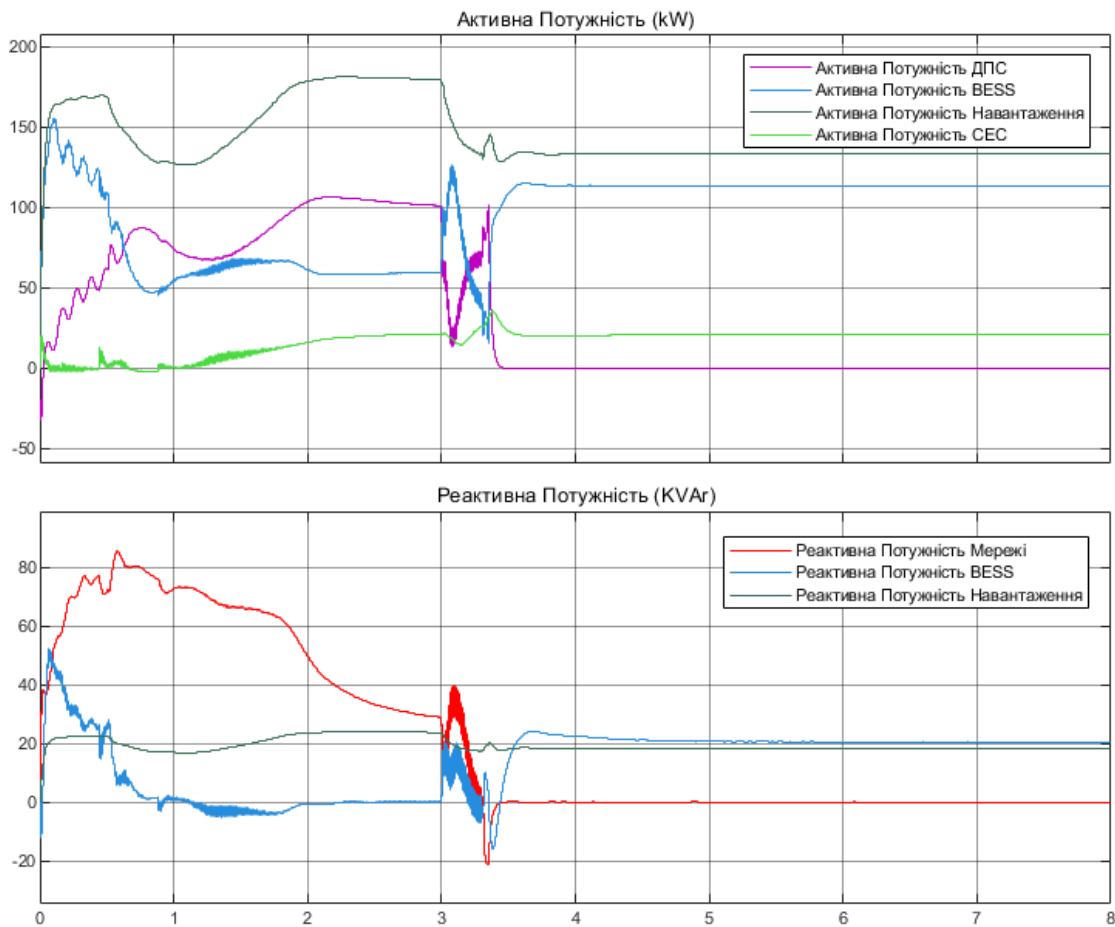


Рисунок 3 – Активні та реактивні потужності в момент аварії

Так само можна відмітити, що швидка стабілізація активної та реактивної потужності після непланованого відокремлення є свідченнями ефективного керування мікромережею під час непланованого відокремлення.

На рис. 4 представлено зміну діючих напруги та струмів на навантаженні під час відокремлення мікромережі.

Можна побачити, що напруга та струм на навантаженні залишаються сталими під час процесу відокремлення та після процесу внутрішньої синхронізації. Тобто швидка стабілізація і цих параметрів свідчить про ефективність системи керування мікромережею.

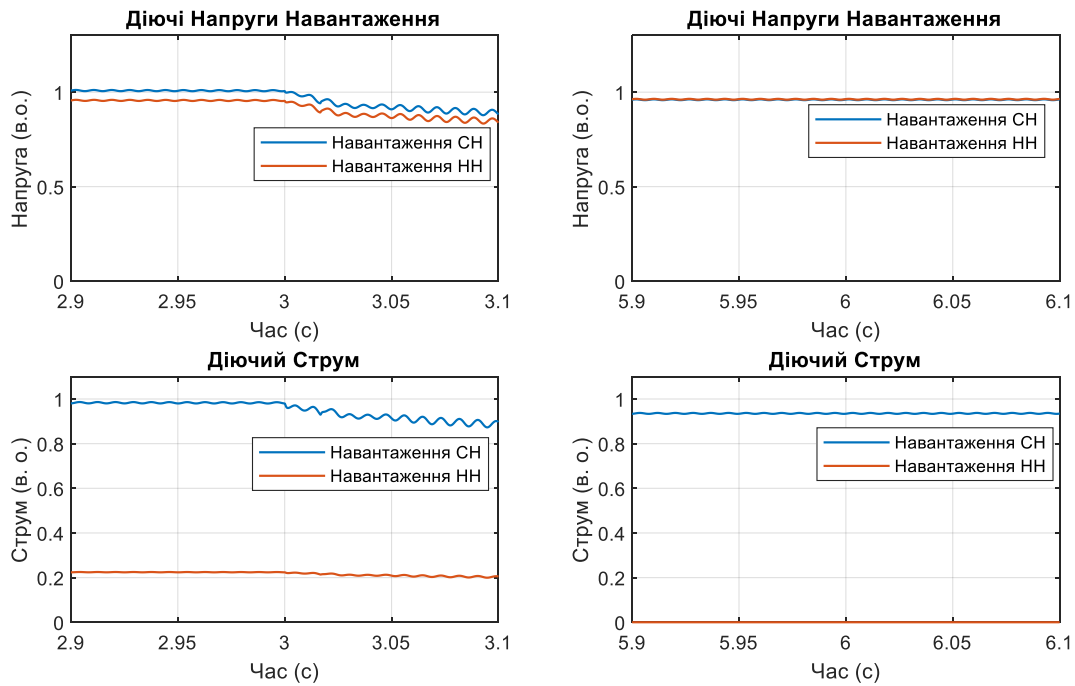


Рисунок 4 – Діючі напруги та струми на навантаженні

**Висновки.** Результати дослідження показали, що система керування мікромережею ефективно підтримує стабільність напруги та струму на навантаженнях після непланованого відокремлення, підтверджуючи її здатність до автономної роботи.

Крім того, використання системи зберігання енергії (BESS) і налаштування реле дозволяють забезпечити стабільний вихід активної та реактивної потужності під час аварійних ситуацій.

#### Перелік посилань

1. R. Majumder, "Some Aspects of Stability in Microgrids," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 3, pp. 3243-3252, Aug. 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2234146.
2. IEEE 2030.7-2017-IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers.
3. IEEE 2030.8-2018-IEEE Standard for the Testing of Microgrid Controllers.
4. IEEE 2030.9-2019-IEEE Recommended Practice for the Planning and Design of the Microgrid.
5. IEEE 2030.2.1-2019 - IEEE Guide for Design, Operation, and Maintenance of Battery Energy Storage Systems, both Stationary and Mobile, and Applications Integrated with Electric Power Systems.
6. IEC TS 62898-1:2017 Microgrids - Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification.
7. IEC TS 62898-2:2018 Microgrids Part 2: Guidelines for operation.
8. J. S. Gómez et al., "An Overview of Microgrids Challenges in the Mining Industry," in IEEE Access, vol. 8, pp. 191378-191393, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3032281.