

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОСТИХ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СПОСОБУ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ MICROGRID В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Гарасимчук І. Д., к.т.н., доцент, e-mail: [igorgarasymchuk@gmail.com](mailto:igorgarasymchuk@gmail.com)

Потапський П. В., к.т.н., доцент, e-mail: [p.v.potap@meta.ua](mailto:p.v.potap@meta.ua)

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

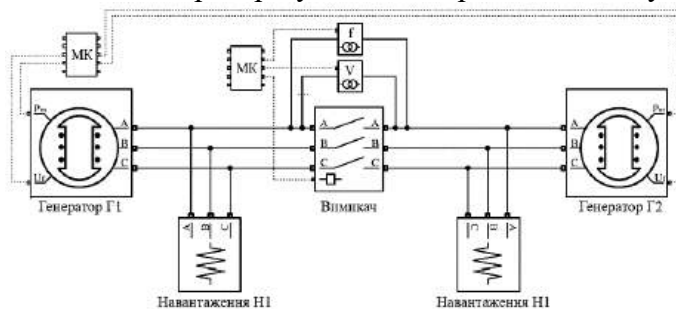
**Актуальність дослідження** Одним з важливих завдань забезпечення нормального функціонування об'єктів з малою генерацією, у тому числі MicroGrid, є синхронізація з іншими об'єктами з малою генерацією або з мережею великої потужності після аварійного поділу та подальша їхня паралельна робота для досягнення максимального системного ефекту, у тому числі високої надійності електропостачання споживачів.

У задачі синхронізації слід розрізняти на синхронізацію генераторів із шинами електричної станції та синхронізацію частин енергосистем. З появою інтелектуальних енергосистем малої потужності, зокрема MicroGrid, постало завдання їх ефективної синхронізації з мережами зовнішнього централізованого енергопостачання.

MicroGrid мають можливість переходити із ізольованого режиму на паралельну роботу та обмінюватися електроенергією із зовнішньою енергосистемою.

**Метою роботи** є дослідження особливостей та можливості реалізації способу децентралізованої синхронізації MicroGrid на простих мікроконтролерах.

**Основні матеріали досліджень.** Схема експериментальної установки наведено на рисунку 1. Вона містить дві фізичні моделі MicroGrid, представлених генератором з власним навантаженням (Г1, Н1 і Г2, Н2) та електрично віддалений вимикач. Як генератори використовувалися модельні генератори у складі енергоблоків потужністю 3 і 5 кВА.



**Рисунок 1 - Схема експериментальної установки на фізичній моделі енергосистем**

Управління реалізовано на двох мікроконтролерах (МК).

Як керуючі контролери використані широко найпоширеніші мікроконтролери сімейства ATmega (Arduino). Arduino - це

платформа з відкритим кодом на основі вбудованого мікроконтролера ATmega та середовища розробки Arduino IDE з програмним інтерфейсом (рис. 2).



**Рисунок 2 - Мікроконтролер ATmega**

Один з них виконує функції ідентифікації поділу мережі на частини, нормалізації напруги та частоти в кожній із MicroGrid після поділу, подачі періодичних (скануючих) сигналів управління потужністю та збудженням на кожен з генераторів, ідентифікацію віддаленого включення генераторів на паралельну роботу з припинення режиму сканування. Другий МК контролює виконання умов на віддаленому вимикачі (нормальність напруги, допустимість різниці частот, модулів і фази напруги) і видає команду на його включення.

до нормальності модулів напруг і частот, допустимості різниці частот і допустимості модуля різниці напруг по кінцях вимикача.

На рисунках 3, 4 представлені характерні осцилограми процесів при децентралізованому включенні моделей MicroGrid на паралельну роботу.

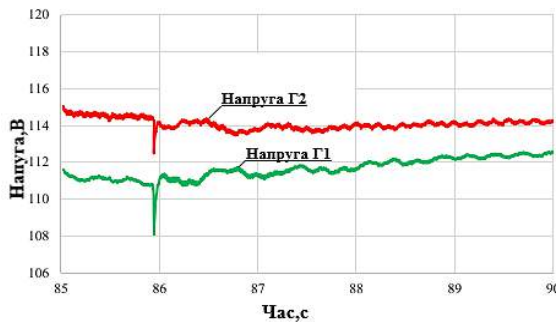


Рисунок 3 - Осцилограма напруг генераторів

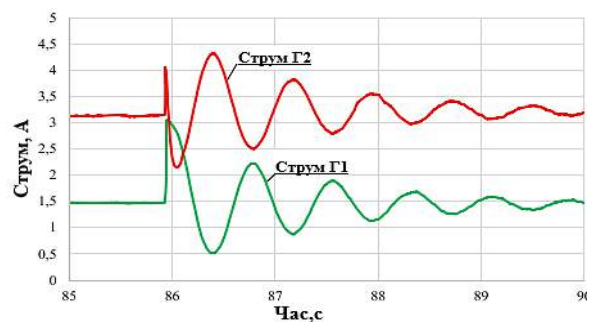


Рисунок 4 - Осцилограма струмів генераторів

Як ми бачимо з осцилограм, включення на паралельну роботу відбувається з великими кидками струмів лише на рівні вихідних робочих струмів Minigrd.

Для оцінки помилки, визначимо розрахунковим шляхом максимальну допустиму та максимальну величину зрівняльного струму при включенні на паралельну роботу двох генераторів (при допустимому та протифазному включенні генераторів). Схема заміщення аналізованої схеми їхнього оцінки наведено на рисунку 5.

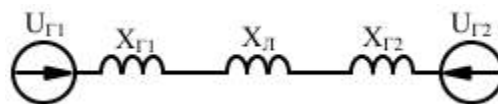


Рисунок 5 - Схема заміщення двох генераторів, з'єднаних лінією зв'язку

Опір елементів:

$$X_{Г1} = X'_d \cdot \frac{U_{Г1}^2}{S_{Г1}} = 0,171 \cdot \frac{220^2}{3000} = 2,750 \text{ Ом}; \quad X_{Г2} = X'_d \cdot \frac{U_{Г2}^2}{S_{Г2}} = 0,134 \cdot \frac{220^2}{5000} = 1,290 \text{ Ом}; \quad X_L = 160 \text{ мОм}.$$

$$X_{\Sigma} = X_{Г1} + X_L + X_{Г2} = 2,75 + 16 + 1,29 = 20,040 \text{ мОм}.$$

Розрахунковий струм при допустимих значеннях параметрів синхронізації, а саме при різницях напруги  $\Delta U = 11,1 \text{ В}$  (відповідає різниці кутів напруги  $\delta = 5^\circ$ ):

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\Delta U}{X_{\Sigma}} = \frac{11,1}{20,04} = 0,55 \text{ А}$$

Розрахунковий струм при протифазних напругах включення, а саме при різницях напруг  $\Delta U = 254 \text{ В}$  (при  $\delta = 180^\circ$ ):

$$I_{\text{вкл}} = \frac{\Delta U}{X_{\Sigma}} = \frac{254}{20,04} = 12,45 \text{ А}$$

**Висновок.** Аналізуючи ряд отриманих осцилограм струмів і порівнюючи значення струмів при включенні з допустимими можна відзначити, що вони в деяких випадках значно перевищують допустимі, що зумовлено недостатньою продуктивністю мікроконтролера, що призводила до запізнення при зчитуванні коду, проте функціональність управління забезпечується, тобто забезпечується "груба" синхронізація.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського. URL: [www.nbuv.gov.ua](http://www.nbuv.gov.ua).
2. Вусатий М. В., Гарасимчук І. Д., Потапський П. В. Баланси електроенергії в електричних мережах. «CURRENT CHALLENGES OF SCIENS AND EDUCATION» for being an active participant in VIII International Scientific and Practical Conference, 08-10 April 2024.- BERLIN,- с.101.
3. Вусатий М. В., Панцир Ю. І., Гарасимчук І. Д., Потапський П. В. Підвищення надійності розподільчих електричних мереж. «SCIENCE AND TECHNOLOGY: PROBLEMS, PROSPECTS INNOVATIONS»: for being an active participant in IX International Scientific and Practical Conference, 19-21 October 2022.- OSAKA, Japan - с.64.