

УДК 621.3.072+621.31

Костюк В.О., канд. техн. наук, доц.,
Луценко Д.М., магістр, **Радченко В.А.**, студент
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

КЕРУВАННЯ СПОЖИВАНОЮ ПОТУЖНІСТЮ МІНІГЕНЕРАТОРІВ У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗА СХЕМОЮ МІКРОМЕРЕЖІ

Надійне та безпечне функціонування малих електричних генераторів на основі технологій відновлюваної енергетики, котрі приєднані до вузлів розподільної електричної мережі (ЕМ) середньої напруги, пов'язують із особливостями *децентралізованого керування* такими об'єктами, оскільки система електрозабезпечення із двонаправленим потоком потужності стає *активною* [1]. Зі збільшенням частки малих генераторів (потужностей *розосередженого генерування*) у електроенергосистемі сумарна потужність, що продукується генераторами такої *малої системи розподілу* (МСР, [2]) може сягнути значень, що перевищують сумарну потужність, споживану електроприймачами. Надлишок виробленої енергії за таких умов надходить від системи розподілу до системи пересилання електричної енергії.

Проблема перевантаження генераторів малої потужності, що функціонують у мікромережі. Малі електричні генератори (МЕГ) зазвичай є захищеними від перевантажень у спосіб регулювання (зменшення) частоти мікромережі [3]. Збільшення сумарного навантаження системи електрозабезпечення СЕЗ зазвичай призводить до перевищення потужності окремого мінігенератора P_{Omax} . Внаслідок тривалого режиму перевантаження такі МЕГ можуть припинити роботу (від'єднатись від МСР).

Для аналізу процесів керування мікромережею, на рис. 1 зображено діаграми залежності потужності двох мінігенераторів автономної мікромережі від робочої частоти вузла РСС.

На рисунку позначено: E_1, E_2 – ЕРС мінігенераторів змінного струму, наприклад, сонячних фотоелектричних мінігенераторів (СФЕГ); $Z_{спож}$ – еквівалентний опір комплексного електроспоживача, приєданого до вузла мікромережі; Z_1, Z_2 – еквівалентні імпеданси ліній електропередавання; P_1, P_2 – вихідна активна потужність мінігенераторів; E_M, P_M – еквівалентна електрорушійна сила й потужність зовнішньої малої системи розподілу МСР.

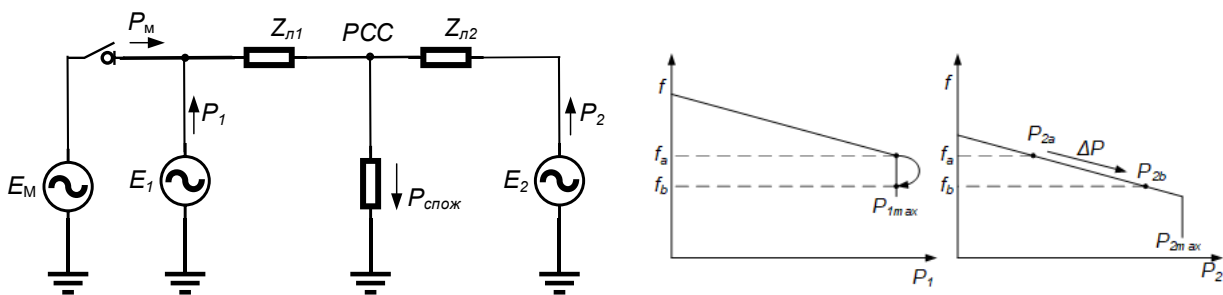


Рисунок 1 – Еквівалентна заступна схема мікромережі з двома мінігенераторами та їх статичні характеристики *активна потужність – частота*.

Відомі схеми автоматичного керування (САК) силовими статичними перетворювачами мінігенераторів, здатні забезпечити виконання таких функцій як регулювання струму та підтримання рівня напруги в точці приєднання РСС – через формування зовнішніх регулювальних характеристик мінігенераторів потрібної форми, включно для синхронізованих режимів функціонування (синхронізовано із зовнішньою мережею).

Таблиця 1 – Функції статичних перетворювачів, що забезпечують режими мікромережі

Режим функціонування мікромережі МСР	Нерегульований мінігенератор (МЕГ) мікромережі МСР	Керований мінігенератор (МЕГ) мікромережі МСР
Мікромережа, що функціонує в режимі приєднання до МСР	Перетворювач частоти, що передає енергію до зовнішньої електророзподільної мережі МСР (ПЧ-МС)	Перетворювач частоти, що передає енергію до зовнішньої електророзподільної мережі МСР (ПЧ-МС)
Мікромережа, що функціонує в автономному режимі	Перетворювач частоти, що виконує функції мережетвірного (ПЧ-МТ)	Перетворювач частоти, що виконує функції мережетвірного (ПЧ-МТ)

Рівняння статичних характеристик *активна потужність-частота* та *реактивна потужність-напруга* мережетвірного частотного перетворювача (ПЧ-МТ) записують так [3]:

$$\omega_i = \omega^* - m_i P_i, \quad (1)$$

$$U_i = U^* - n_i Q_i, \quad (2)$$

де ω_i – величина вихідної частоти ПЧ-МТ i -го ($i = 1, 2$) мінігенератора, ω^* – номінальна частота у точці загального приєднання до мікромережі, m_i – величина статизму характеристики активна потужність-частота для ПЧ-МТ i -го мінігенератора типу СФЕГ.

Розрахункові статичні характеристики мінігенераторів у складі мікромережі.

З метою підтримання стабільності напруги в мікромережі, що працює автономно, одне з джерел генерування має функціонувати в режимі *керованого* джерела напруги. За допомогою рівнянь (3) і (4) можна визначити величини активної потужності P і реактивної потужності Q такого МЕГ [4, 5]:

$$P = \frac{U \cdot U_{PCC}}{X_L} \sin \delta, \quad (3)$$

$$Q = \frac{U}{X_L} (U - U_{PCC} \cdot \cos \delta), \quad (4)$$

де U – величина вихідної напруги інвертора; U_{PCC} – величина напруги у вузлі PCC ; X_L – реактивний опір лінії мікромережі від інвертора до вузла PCC ; δ – кут між векторами напруги генератора і вектора напруги в точці приєднання U_{PCC} .

Розрахунки статичних частотних характеристик МЕГ *активна потужність-частота* здійснюються за допомогою співвідношення:

$$\omega = \omega_{ном} - m_P (P_{спож} - P), \quad (5)$$

де $P_{спож}$ – активна потужність споживачів, кВт; m_P – величина статизму статичної характеристики МЕГ, обчисленого за виразом:

$$m_P = (\omega_{max} - \omega_{min}) / P_{max}, \quad (6)$$

причому ω_{max} , ω_{min} – максимальні та мінімальні допустимі значення частоти мережі, рад/с; P_{max} – максимальне значення потужності (з урахуванням розрахункового запасу – величини «перевантаження») для мінігенератора, кВт.

На основі розрахункових даних, одержаних для схеми мікромережі із вузлом приєднання до еквівалентного споживача PCC , за наведеними вище рівняннями побудовано статичні характеристики *реактивна потужність-напруга* $Q(U)$, які зображено на рисунку 2.

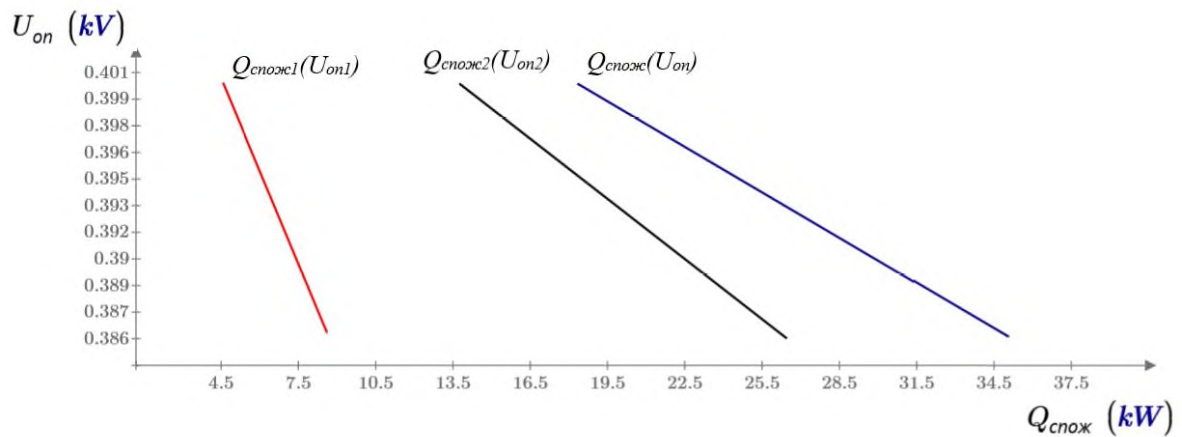


Рисунок 2 – Статичні характеристики реактивна потужність-напруга $Q(U)$: окремих мінігенераторів E_1, E_2 та сумарна.

Статичні частотні характеристики (СЧХ) активна потужність-частота $P(f)$ обох мінігенераторів мікромережі та результуючу характеристику зображено на рисунку 3.

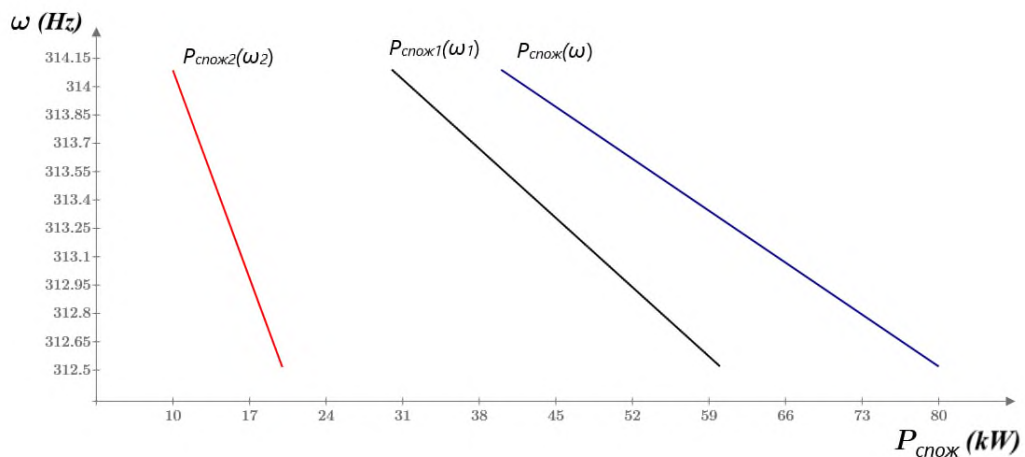


Рисунок 3 – Статичні частотні характеристики активна потужність-частота $P(f)$: окремих мінігенераторів E_1, E_2 та сумарна.

Наведені результати дають змогу обрати раціональний режим керування СЕЗ у першому наближенні, використовуючи функційні можливості сучасних статичних перетворювачів електричної енергії [6], які комерціалізовано для використання в Україні у складі малих сонячних, вітрових та комбінованих енергетичних установок.

Висновки. Мікромережі є високосумісними з фотоелектричними джерелами електроенергії. Мікромережа може працювати в режимі приєднання до паралельної роботи з розподільною мережею та в автономному режимі. Керування в режимі паралельної роботи з мережею МСР забезпечується через керування струмами мінігенератора, що зумовлює перехід такого генератора до режиму керованого джерела струму. За цих умов рівень напруги в мікромережі встановлюється електророзподільною мережею, відтак МEG мікромережі завжди можуть генерувати максимальну потужність за наявності пристроїв відстеження максимальної потужності MPPT. За умови налагодження засобів керування мікромережею з на основі МEG в автономному режимі дозволяє генераторам підтримувати напругу та частоту, тому малі генератори фотоелектричного типу (СФEG) можуть працювати в якості джерела напруги для живлення споживачів у автономному режимі.

Результати першочергових розрахункових досліджень ustalених режимів простої СЕЗ, виконаних для схеми простої нерегульованої мікромережі з двома , підтверджують ймовірний небажаний вплив малих генераторів розосередженого типу на показники якості електропостачання, зокрема відхилення напруги понад нормовані значення, визначені стандартами.

Водночас, завдяки широким функційним можливостям сучасних мінігенераторів електричної енергії, функціонують на основі статичних напівпровідникових перетворювачів частоти (СФЕГ малої потужності зокрема, [6]) вдається підвищити показники складових якості електропостачання, обумовлених вимогами сучасних стандартів якості, що висуваються до операторів ринку електричної енергії.

Список використаних джерел:

1. Кириленко О.В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. // Техн. електродинаміка. – 2011. – №1. – С.46-53.
2. Кодекс систем розподілу / Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №310 від 14.03.2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>.
3. The CERTS MicroGrid Concept / Robert Lasseter, Abbas Akhil, Chris Marnay, John Stephens, Jeff Dagle, Ross Guttromson, A. Sakis Meliopoulos, Robert Yinger, and Joe Eto. – U.S. Department of Energy. – 2002.
4. Костюк В.О., Біліков В.М. Керування силовими перетворювачами малих генерувальних установок у складі мікромережі // Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'19». – С. 34–35.
5. Wei Du, Qirong Jiang, Micah J. Erickson, Robert H. Lasseter/ Voltage-Source Control of PV Inverter in a CERTS Microgrid / IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY 2014. – P.1–9. – DOI: [10.1109/TPWRD.2014.2302313](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2302313).
6. Гібридний інвертор AXIOMA energy ISGRAD 10000. Інструкція користувача. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://solar.biz.ua/inventory-ibp/solnechnye-inventory/setevoy-invertor-s-rezervnoy-funksiyei-10kvt-380v-isgrid-10000-axioma-energy.html>.

References

1. Kyrylenko O.V. Technical aspects of distributed generation sources implementation into the grid / O.V. Kyrylenko, V.V. Pavlovskiy, L.M. Lukianenko // Technical electroynamics. – 2011. – №1. – P.46–53.
2. Code of Distribution Systems / Resolution of the National Commission for State Regulation in the Spheres of Energy and Utilities №310 of March 14, 2018. – Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0310874-18#Text>.
3. The CERTS MicroGrid Concept / Robert Lasseter, Abbas Akhil, Chris Marnay, John Stephens, Jeff Dagle, Ross Guttromson, A. Sakis Meliopoulos, Robert Yinger, and Joe Eto. – U.S. Department of Energy. – 2002.
4. Kostiuk V.O., Bielikov V.M. Control system for small generators operated in microgrid supply // Proceedings of the V International Scientific and Technical Training Conference “Energy Management: State and Prospects for Development – PEMS'19” – 2019. – P.34–35.
5. Wei Du, Qirong Jiang, Micah J. Erickson, Robert H. Lasseter/ Voltage-Source Control of PV Inverter in a CERTS Microgrid / IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY 2014. – P.1–9. – DOI: [10.1109/TPWRD.2014.2302313](https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2302313).
6. [Hybrid inverter AXIOMA energy ISGRAD 10000. User manual. – Available at: https://solar.biz.ua/inventory-ibp/solnechnye-inventory/setevoy-invertor-s-rezervnoy-funksiyei-10kvt-380v-isgrid-10000-axioma-energy.html.](https://solar.biz.ua/inventory-ibp/solnechnye-inventory/setevoy-invertor-s-rezervnoy-funksiyei-10kvt-380v-isgrid-10000-axioma-energy.html)