

УДК 621.31

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СУМІСНОЇ РОБОТИ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ВКЛЮЧАЮЧИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ, В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ**С. П. Денисюк, Т. М. Базюк, Д. Г. Дерев'яно**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУ України «Київський політехнічний інститут»
вул. Борщагівська, 115, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: klimbuck@ukr.net, rianon87@meta.ua.

Проведено оцінку енергетичних процесів у локальних системах з елементами розосередженої генерації. Проаналізовано особливості інтеграції відновлюваних джерел енергії в локальні енергетичні системи. Розглянуто методи та способи оптимізації режимів і структур локальних електроенергетичних систем. Наведено алгоритми аналізу / оцінки стійкості, надійності та оптимальності перебігу процесів у системах з різномірними генераторами та нелінійними нестационарними навантаженнями.

Ключові слова: розосереджена генерація, інтеграція невідновлюваних джерел енергії, стійкість, надійність, оптимізація.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВКЛЮЧАЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ, В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**С. П. Денисюк, Т. М. Базюк, Д. Г. Дерев'яно**Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУ України «Київський політехнічний інститут»
ул. Борщаговская, 115, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: klimbuck@ukr.net, rianon87@meta.ua

Проведена оцінка енергетичних процесів в локальних системах з елементами розподіленої генерації. Проаналізовані особливості інтеграції відновлюваних джерел енергії в локальні енергетичні системи. Розглянуті методи і способи оптимізації режимів і структур локальних електроенергетичних систем. Наведені алгоритми аналізу / оцінки стійкості, надійності та оптимальності протекання процесів в системах з різномірними генераторами та нелінійними нестационарними навантаженнями.

Ключевые слова: распределенная генерация, интеграция ВИЭ, устойчивость, надежность, оптимизация.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Сьогодні з'являється все більше досліджень [1–3] стосовно переваг часткової децентралізації і шляхів інтеграції децентралізованих систем виробництва енергії в централізовану систему, створення інтелектуальних мереж Smart Grid.

Одним із прикладів інтелектуальних мереж Smart Grid є локальні електричні системи (ЕС). Особливістю локальних ЕС є те, що вони поєднують властивості великих енергетичних та малих електротехнічних систем із застосуванням пристроїв силової електроніки (СЕ) та мікропроцесорних систем керування, в реальному часі. У виділених системах значною є частка джерел обмеженої потужності, нетрадиційних відновлюваних джерел енергії та джерел, що працюють на органічному паливі [3].

Особливістю функціонування таких ЕС із джерелами розосередженої генерації є різномірність режимів роботи генеруючого обладнання та наявність пристроїв СЕ, які як вносять спотворення сигналів, так і забезпечують корекцію режимів роботи мережі [4].

Мета роботи – оцінка ефективності сумісної роботи розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювальні, в електроенергетичних системах.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Оцінку енергетичних процесів та інтеграції розосереджених джерел генерації електроенергії, включаючи відновлювані, в електроенергетичну систему розглянемо з використанням моделі системи електропостачання з розосередженою генерацією

(СЕПРГ), зображеної на рис. 1, де Г1 і Г2 – джерела розосередженої генерації (генератор), Р – регулятор, Н1, Н2 – споживачі (навантаження).

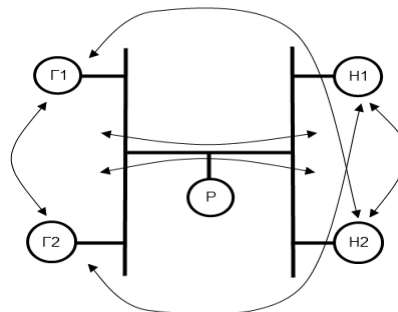


Рисунок 1 – Модель системи електропостачання з джерелами розосередженої генерації

Побудова оптимальних систем вимагає вирішення наступних задач:

1. Мінімізація амплітуди і діючого значення струму, що відбирається від генераторів.

2. Оптимізація параметрів СЕПРГ.

3. Аналіз меж стійкості та надійності роботи елементів СЕПРГ.

4. Аналіз обмінних процесів у системі з розосередженою генерацією з виділенням нормальних та аномальних режимів роботи системи.

Мінімізація амплітуди і діючого значення струму, що відбирається від генератора. Системи електропостачання із джерелами розосередженої генерації характеризуються наявністю в них генераторів обмеженої потужності, використанням різних типів нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії

(НВДЕ), широким діапазоном зміни параметрів навантаження тощо. З розвитком систем електроживлення локальних об'єктів постають задачі ефективного керування, оптимізації енергетичних процесів та оцінки стійкості елементів системи [1].

Задачу параметричної та структурної оптимізації СЕПРГ можна представити як багатокритеріальну (векторну) задачу оптимізації кількох часткових цільових (скалярних) функцій (критеріїв якості) за наявності обмежень як на множину варіюваних параметрів, так і на функції, що оптимізуються.

Складність розв'язання задачі оптимізації СЕПРГ пов'язана з високою розмірністю математичних моделей цих систем, різноманітністю та дискретним характером параметрів, що варіюються, багатоекстремальністю цільових функцій. Сама оптимізація СЕПРГ передбачає розробку стратегії оптимізації, формування моделі СЕПРГ (вихідних даних), визначення складових оптимізаційного процесу, розробку оптимізаційної процедури (алгоритму оптимізації), оцінку прийнятності отриманих рішень та етап реалізації.

Розглянемо часткові складові рішення оптимізаційної задачі:

- 1) оптимізація топології СЕПРГ;
- 2) оптимізація параметрів.

Оптимізація параметрів СЕПРГ. Розглянемо систему електроживлення, до складу якої входять один генератор постійної напруги обмеженої потужності та автономні інвертори напруги (АІН), що працюють в усталеному режимі з активно-індуктивним навантаженням.

Оптимізація режимів електроживлення передбачає мінімізацію діючого значення струму кола генератора.

Дана СЕПРГ описується таким співвідношеннями:

– миттєвий струм генератора:

$$i_{\Gamma}(t) = \sum_{j=1}^{n_I} i_{1,j}(t), \quad (1)$$

де $i_{1,j}(t)$ – миттєвий струм j -го інвертора; n_I – кількість інверторів.

– максимальне значення струму генератора:

$$I_{\Gamma, \max}(t) = \max \left\{ i_{\Gamma}(t) = \sum_{j=1}^{n_I} i_{1,j}(t) \right\}. \quad (2)$$

– діюче значення струму генератора:

$$I_{\Delta} = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T i_{\Gamma}^2(t) dt}. \quad (3)$$

Сформулюємо оптимізаційну задачу для СЕПРГ:

$$I_{\Gamma, \max}, I_{\Delta} \rightarrow \min; \Delta t_j - \text{var}. \quad (4)$$

Обмеження на зміну оптимізаційних змінних:

$$\begin{aligned} |I_{1,(M),j} - I_{1,(M),j,ном}| &\leq \varepsilon_{I,1}; \quad \varepsilon_{I,1} \geq 0; \\ |T_j - T_{j,ном}| &\leq \varepsilon_{I,2}; \quad \varepsilon_{I,2} \geq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Нехай задана система електроживлення, до складу якої входить один генератор постійної напруги (E) чи змінної (синусоїдальної) напруги $e(t)$.

Генератори є генераторами необмеженої потужності. Системи електроживлення позначимо як СЕПРГ–1 (діє генератор постійної напруги E) та СЕПРГ–2 (діє генератор синусоїдальної напруги $e(t)$). СЕПРГ–1 та СЕПРГ–2 складаються із паралельно з'єднаних елементів:

- елементи СЕПРГ–1 – широтно-імпульсні перетворювачі (ШПП) та інвертори;
- елементи СЕПРГ–2 – випрямлячі та регулятори змінної напруги (РЗН).

При цьому СЕПРГ–1 містить $n_{ШП}$ ШПП та n_I інверторів; СЕПРГ–2 містить $n_{В}$ випрямлячів; $n_{Р}$ регуляторів змінної напруги. Надалі будемо розглядати однофазні еквіваленти системи СЕПРГ–1 та СЕПРГ–2.

Для формування оптимізаційних процедур визначимо критерії регулювання для кожного із типів перетворювачів електроенергії (ПЕЕ) – ШПП та інверторів. При цьому задамо, що ПЕЕ працюють в усталеному режимі згідно зі сформульованими вимогами до рівня напруги (струму) навантаження.

Оптимізація режимів електроживлення передбачає мінімізацію для заданої системи максимального значення $I_{\Gamma, \max}$, розмаху пульсацій струму відносно середнього значення струму $\Delta I = I_{\Gamma, \max} - I_{\Gamma, CP}$; коефіцієнта пульсацій K_{Π} .

Нижче наведено характеристики роботи кожного типу ПЕЕ, регулюючий параметр і межі зміни регулюючого параметра.

Широтно-імпульсний перетворювач (ШПП). Для j -го ШПП задано період роботи $T_j : [0; T_j]$. Початковий момент включення Δt_j змінюється в межах $[\Delta t_j; \Delta t_j + T_j]$, де $0 < \Delta t_j < T_j$.

Інвертор. Для j -го інвертора задано період роботи $T_j : [0; T_j]$; $f_j = \frac{1}{T_j}$.

Початковий момент включення Δt_j змінюється в межах $[\Delta t_j; \Delta t_j + T_j]$; $0 < \Delta t_j < T_j$.

Випрямляч. Для j -го випрямляча задано період роботи генератора $T_j : [0; T_j]$; $f_j = \frac{1}{T_j}$.

Кути регулювання α_j змінюються в межах: $\alpha_{ГР,j_1} < \alpha_j < \alpha_{ГР,j_2}$; $\alpha_{ГР,j} = \left(\frac{t_{ГР,j}}{T_j} \cdot 2\pi \right)$.

Для кожного типу випрямлячів в СЕПРГ–2 потрібно визначити $\alpha_{ГР,j} : t_{ГР,j} = \frac{\alpha_{ГР,j}}{2\pi} \cdot T_j$.

У свою чергу, в залежності від типу випрямляча в системах керування необхідно враховувати можливу зміну кутів $\alpha_j \rightarrow \left(\frac{2\pi}{m} - \alpha_j\right)$.

Регулятор змінної напруги (РЗН). Для j -го РЗН задано період роботи

$$T_j: [0, T_j]; f_j = \frac{1}{T_j}.$$

Кути регулювання α_j змінюються в межах:

$$\alpha_{GP,j_1} < \alpha_j < \alpha_{GP,j_2}; \alpha_{GP,j} = \left(\frac{t_{GP,j}}{T_j} \cdot 2\pi\right).$$

Оптимізаційна задача формується наступним чином:

для СЕПРГ-1:

$$\begin{aligned} \Delta I &= I_{G,\max} - I_{G,CP} \rightarrow \min \\ \Delta t_j &- \text{var}; \end{aligned} \quad (6)$$

для СЕПРГ-2:

$$\begin{aligned} I_d &\rightarrow \min; I_{MAX} \rightarrow \min; \\ \alpha &- \text{var}; \end{aligned} \quad (7)$$

Обмеження на зміну оптимізаційних змінних для СЕПРГ-1:

$$\begin{aligned} |I_{cp,u,j} - I_{cp,u,jном}| &\leq \varepsilon_u; \quad \varepsilon_u \geq 0; \\ |I_{1,(m),j} - I_{1,(m),jном}| &\leq \varepsilon_{I,1}; \quad \varepsilon_{I,1} \geq 0; \\ |T_j - T_{jном}| &\leq \varepsilon_{I,2}; \quad \varepsilon_{I,2} \geq 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Обмеження на зміну оптимізаційних змінних СЕПРГ-2:

$$\begin{aligned} |I_{d,B,j} - I_{d,B,jном}| &\leq \varepsilon_B; \quad \varepsilon_B \geq 0; \\ |I_{1,(m),p,j} - I_{1,(m),j,p,ном}| &\leq \varepsilon_P; \quad \varepsilon_P \geq 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Одним із способів вирішення оптимізаційної задачі є реалізація часових зсувів діючих струмів роботи системи, допустиме значення яких розраховується залежно від типу завод та значення енергії споживання. Наведена оптимізаційна процедура може бути розширена за рахунок введення як критеріїв зміни функції в допустимих межах параметрів вихідного сигналу кожного з типів ПЕЕ.

Процес оптимізації базується на принципі взаємокомпенсації, де "вирівнювання" графіка споживання струму від генератора здійснюється за рахунок зміни моментів комутації вентилів, що забезпечують роботу різних ПЕЕ. При аналізі складних схем важливо здійснити побудову макромоделей, тобто задіяти процедуру еквівалентування СЕПРГ відносно вибраних (контрольованих) вузлів системи.

За результатами проведених розрахунків та моделювання можна отримати функціональні залежності, які можуть бути використані для керування ПЕЕ з метою зниження максимального струму генератора СЕПРГ з паралельною роботою ПЕЕ.

Отже, задачу оптимізації СЕПРГ локальних об'єктів необхідно вирішувати за рахунок оптимізації топології, параметрів та режимів. Реконфігурація топології СЕПРГ є нелінійною комбінаторною оптимізаційною задачею, оскільки, для знаходження оптимального рішення необхідно розглянути всі можливі варіанти топології системи при зміні стану вимикачів. За рахунок реконфігурації досягаються зменшення втрат активної та реактивної енергії в системі відновлення електропостачання після аварій підвищення надійності функціонування системи тощо.

Аналіз меж стійкості та надійності роботи елементів системи.

Однією з найважливіших задач аналізу режимів СЕПРГ є оцінка стійкості їх рівноваги за малих збурень [1, 3]. До зазначених збурень належать невеликі зміни усталеного режиму, спричинені малими нерегулярними збуреннями електрорушійних сил генераторів, механічних моментів на валу генераторів, змінами потужності електроспоживання та іншими чинниками в системі.

Спроможність системи повертатися до початкового стану після припинення дії малих збурень, які вивели її з цього стану, називається статичною стійкістю системи.

Важливо, що поняття статичної стійкості системи пов'язане з певним її станом, тобто статична стійкість системи – це стійкість стану рівноваги системи (для СЕПРГ такий стан рівноваги – це її усталений режим). Тому будь-який фізично реалізований усталений режим СЕПРГ статично стійкий, оскільки за реальних умов функціонування СЕПРГ завжди мають місце малі збурення, на які вказано вище. Статично нестійкий режим не може існувати, оскільки з виникненням збурень стан рівноваги СЕПРГ буде порушено і до нього система не зможе повернутися. Інша річ, коли ставити питання про визначення міри стійкості такого усталеного режиму.

Можна зробити два зауваження:

1. Коли йдеться про стійкість СЕПРГ, то під цим розуміють стійкість її стану, тобто режиму СЕПРГ (здебільшого слово «режим» не згадують).

2. Коли йдеться про оцінку статичної стійкості (іноді замість «статична стійкість» вживають термін стійкість «в малому», аналогічно тому, що іноді замість «динамічної стійкості» вживають термін стійкість «у великому») фізично реалізованого або розрахованого усталеного режиму СЕПРГ, то під цим розуміють перш за все визначення певної «віддалі», яка існує між цим режимом (статично стійким) і режимом, який перебуває на межі статичної стійкості, тобто за фізичної реалізації статично нестійкий.

Практично задача може полягати у визначенні запасу стійкості або ж ступеня стійкості системи. Не зважаючи на, здавалося б, семантичну близькість, це різні поняття: якщо ступінь стійкості СЕПРГ однозначно визначається на підставі інформації про власні значення характеристичної матриці СЕПРГ, то в загальному випадку складових багатомашинних СЕПРГ поняття запасу статичної стійкості ЕЕС не визначено, оскільки воно має змістовне трактування лише за умови чіткого вибору способу обтяження режиму, який зумовлюється особливостями режимів конкретних СЕПРГ.

Наприклад одним з таких критеріїв є чутливість СЕПРГ до збурень, що характеризується рівністю

$$S_x^y = \frac{\partial y}{\partial x},$$

де y – міра відхилення від величини x .

Сформульований алгоритм аналізу стійкості роботи системи може застосовуватись для оцінки стійкості роботи систем з компенсаторами реактивної потужності, а саме активних гібридних фільтрів, складається з таких етапів:

1. Опис процесів за допомогою гармонічного спектра напруги та струму в перетинах СЕПРГ:

$$\begin{aligned} u(t) &= \sum_{k=1}^{N_r} U_{M(k)} \sin(k\omega t + \psi_k^u); \\ i(t) &= \sum_{k=1}^{N_r} I_{M(k)} \sin(k\omega t + \psi_k^i), \end{aligned} \quad (7)$$

де $U_{M(k)}, I_{M(k)}$ – амплітудні значення напруг та струмів для k -ої гармоніки; ψ_k^u, ψ_k^i – початкові фази напруг та струмів, k – номер гармоніки.

2. Визначення струму $i_{P, \Phi 1}(t)$, який має бути скомпенсованим в ідеальному випадку.

3. Визначення струму $i_{P, \Phi 2}(t)$, який генерує компенсуючий елемент.

4. Розрахунок струму $i_{\Sigma P, A\Phi}(t)$, який повинен компенсувати активний елемент згідно з виразом $i_{\Sigma P, A\Phi}(t) = i_{P, A\Phi}(t) + i_{P, \Phi 2}(t)$, де $i_{P, A\Phi}(t)$ – струм, який компенсує активний елемент.

5. Для оцінки меж стійкості роботи фільтра визначаються діючі I_D та максимальні I_M значення струмів $i_{\Sigma P, A\Phi}(t)$ та $i_{P, A\Phi}(t)$.

6. Визначення меж стійкості роботи гібридного фільтра, як межі перевищення, яка обумовлює незворотні негативні процеси в системі (зокрема, вихід її з ладу).

Для аналізу стійкості роботи фільтра використаємо співвідношення діючих значень струмів компенсації активного фільтра в ідеальному випадку та у випадку конструктивного виконання цієї схеми. Для більш детального аналізу отримаємо залежності, що дають змогу визначити зони стійкості ГФ при зміні

кута φ_1 у межах $[0;180]$ та зміні параметрів третьої гармоніки напруг та струмів, а саме при зміні кута ψ_3^u у межах $[0;180]$ (рис. 2).

Отримані залежності дають змогу більш точно виділити зони стійкості роботи окремих елементів локальних систем в залежно від зміни багатьох параметрів. Таким чином, перерізи, показані на рис. 4.7б,в дають змогу визначити дві основні зони аналізу: при зміні величини кута φ_1 у межах $[0;15]$ та в межах $[15;180]$. Окрім того, зробивши перерізи по осі кута φ_1 зони $[0;15]$, можна також виділити зони відносної стійкості при різних значеннях параметра φ_3 .

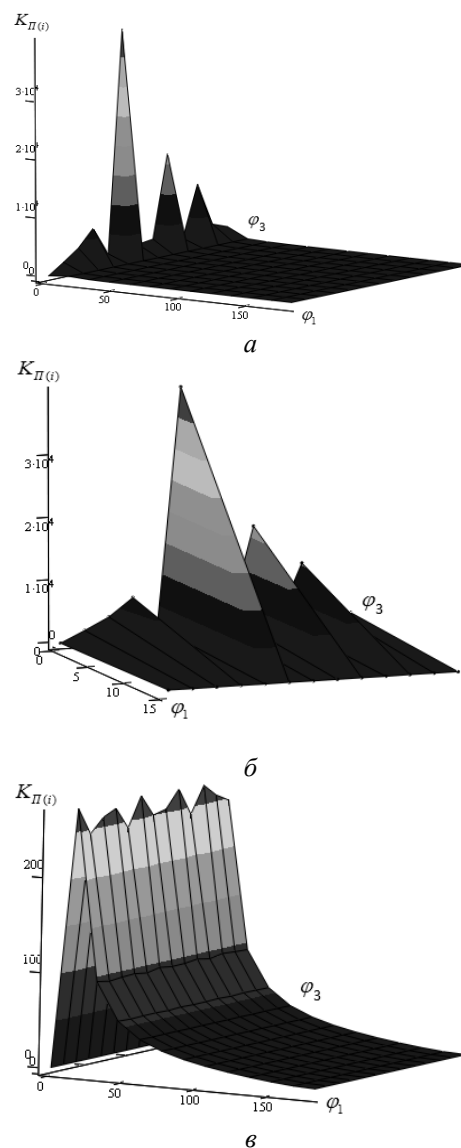


Рисунок 2 – Спроможність ГФ компенсувати величину реактивного струму в мережі при зміні декількох параметрів вхідного сигналу

Аналіз стійкості роботи системи може також проводитись на основі оцінки дольового внеску споживача (ДВС). Такий аналіз проводиться шляхом

оцінки обмінних процесів у вузлі для заданої діючої напруги генератора $u(t)$, розділивши її за першою, однією j -ю вищою та всіма гармоніками. Виділення внеску j -го елемента у спотворення електроенергії у вузлі системи передбачає формування інтегральної моделі оцінки взаємного впливу і розщеплення моделі системи на дві ортогональні складові, які відображають відповідно протікання активного та реактивного струмів. Далі здійснюється розрахунок обмінних потужностей у розщепленій моделі на основі реактивної складової струму згідно зі співвідношеннями та визначається дольовий внесок для j -го елемента. Аналіз ДВС на основі обмінних процесів дає можливість:

- аналізу обмінних процесів при наявності в системі різномірних гармонік;
- аналізу обмінних процесів, коли окремі фрагменти системи (макромоделі) можуть бути представлені джерелами напруги і струму (ідеальними та / чи реальними);
- аналізу обмінних процесів на вищих гармонічних складових напруги та струму для систем постійного струму;
- відмовитись від ідентифікації параметрів моделей, зокрема, величин $Z(n\omega)$ та $Y(n\omega)$ на кожній із частот, кратній основній (не потрібно здійснювати переформатування (зміну) параметрів моделей, коли її елементи змінюються з плином часу).

Оцінка стійкості функціонування елементів СЕЖ, що проводиться на основі запропонованого алгоритму, та аналізу дольового внеску окремого елемента системи (ДВС) дає змогу детально дослідити кожен окремий елемент системи, як елемент оптимізаційної моделі. Зменшення впливу завод та збурень на роботу системи, що призводить до зменшення робочого струму системи, є одним із рішень поставленої оптимізаційної задачі.

Аналіз обмінних процесів в системі з розосередженою генерацією з виділенням нормальних та аномальних режимів роботи системи. Розробка методів, алгоритмів та технічних засобів регулювання електроспоживання в СЕПРГ, аналізу ЕМС, оцінки взаємного впливу має базуватися на врахуванні особливостей технологічних процесів енергозабезпечення, які відбуваються на рівні локальних розподілених мереж, на використанні моделей керування зазначеними процесами та використанні інформації, одержуваної від інформаційно-керуючих систем розподілених мереж, для реалізації ефективного ієрархічного керування процесами енергозабезпечення в розподілених локальних електричних системах.

Для оцінки ДВС на погіршення якості електроенергії в точці загального підключення (ТЗП) можливі два підходи. Перший базується на використанні алгоритму оцінки взаємного впливу елементів з виділенням внеску елемента у спотворення електроенергії у вибраному вузлі та аналізу величини впливу спотворюючих факторів на електромагнітні про-

цеси в елементі системи. Вплив елементів системи оцінюється поза залежністю від попередніх режимів роботи як системи в цілому, так і конкретних його елементів, а кількісні показники взаємного впливу визначаються сумою впливів для кожного з виділених факторів неякості електроенергії з врахуванням критерію мінімуму втрат електроенергії. Загальний вплив у вузлі обумовлюється сумою впливів всіх елементів, що підключені до вузла.

Виділення внеску j -го елемента у спотворення електроенергії у вузлі системи передбачає формування інтегральної моделі оцінки взаємного впливу і розщеплення моделі системи на дві ортогональні складові, які відображають відповідно протікання активного та реактивного струмів. Далі здійснюється розрахунок обмінних потужностей у розщепленій моделі на основі реактивної складової струму згідно зі співвідношеннями:

$$Q_{OB}^{(1)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i) dt;$$

$$Q_{OB}^{(j)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) I_{m(j)} \sin(j\omega t - \psi_j^i) dt;$$

$$Q_{OB}^{(\infty)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) \left(\sum_{k=2}^{N_r} I_{m(k)} \sin(\omega t - \psi_k^i) \right) dt;$$

$$Q_{OB}^{(\Sigma)} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} u(t) \left(\sum_{k=1}^{N_r} I_{m(k)} \sin(\omega t - \psi_k^i) \right) dt;$$

Другий підхід передбачає оцінку зміни величин обмінних потужностей як функцій від окремих змінюваних параметрів, наприклад, згідно з коефіцієнтом впливу (чутливістю) S_j^i зміни обмінної потужності $Q_{OB}^{(j)}$ i -го елемента від зміни параметра P_j j -го елемента системи:

ВИСНОВКИ. Останні тенденції у розвитку систем генерації і розподілу електроенергії показують, що рівень проникнення альтернативних джерел в мережу значно зріс. Техніка кінцевого споживача стає все більш чутливою до стану якості електроенергії. Було проведено дослідження впливу інтеграції джерел розосередженої генерації на порушення якості електроенергії. Запропонований підхід до оцінки керованості процесів в локальних ЕС дозволяє при розділенні режимів роботи елементів системи виділити граничні режими, які визначають межі стійкості за зміною режимів роботи системи та можливість систем поглинати збурення які виникають в даних системах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Буткевич О.Ф. Запаси статичної стійкості та пропускна спроможність контрольованих перетинів енергосистем – деякі ретроспекції та сьогодення // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України: збір. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – Вип. 18. – С. 3–12.
2. ГКД 34.20.575–2002 Стійкість енергосистем, керівні вказівки. – К.: ОЕП «Гріфре», 2009. – 23 с.

3. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією / Денисюк С.П., Дерев'яно Д.Г., Колесник П.С. // Збір. праць Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. вип. – 2011. – С. 30–37.

4. Денисюк С.П., Рибіна О.Б., Дерев'яно Д.Г. Аналіз електромагнітної сумісності елементів сис-

тем електропостачання при змінних параметрах генератора та навантажень // Спец. випуск Праць Ін-ту електродинаміки НАН України (Матеріали I Міжнародної конференції «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС'10»). – К.: ІЕД НАНУ, 2010. – С. 123–128.

PERFORMANCE EVALUATION OF DISTRIBUTED SOURCES OF ELECTRICITY GENERATION, INCLUDING RENEWABLES, IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

S. Denysiuk, T. Baziuk, D. Derevianko

Energy Saving and Energy Management Institute of NTU of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"
vul. Borschahivska, 115, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: klimbuck@ukr.net, riannon87@meta.ua

The authors have discussed methods and ways of optimization of the structures of local power systems and performed assessment of energetic processes in the local systems containing the elements of distributed generation. Within the frame of research the key features and parameters of the renewable energy integration into the local power systems were analyzed and the methods and techniques for optimization of operation modes and structures of local power systems were considered. Also, the main problems urgent for the construction of the optimal systems based on the evaluation of distributed generation sources were formed. The algorithms of stability, reliability and optimality analysis and assessment of all the current processes in the systems with heterogeneous generators and nonlinear and nonstationary loads are presented; energy processes on the local systems with elements of distributed generation were estimated. Stability analysis of a system with renewable energy-based equity contribution to consumer (ICE) was performed by measuring the metabolic processes in the node for a given operating voltage generator. This analysis can provide marginal modes that determine the stability limits for mediation modes of the system, as well as system ability to absorb disturbances occurring in them.

Key words: distributed generation, integration of renewable energy, stability, reliability, optimization.

REFERENCES

1. Butkevych, A.F., (2007), «Stocks static stability and capacity controlled intersections power systems - some retrospection and present», *Collected works of Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine*, iss. 18, pp. 3–12.

2. GKD 34.20.575–2002, (2009), *Electricity grids stability, guidelines*, APC "Hrifle", Kyiv, Ukraine.

3. Denysiuk, S.P., Derevianko, D.G., Kolesnik, P.S. (2011), «Optimization of electricity supply in local systems rozoseredzhe-tion generation», *Collected works of Institute of Electrodynamics of the NAS of*

Ukraine, Special issue, pp. 30–37.

4. Denysiuk, S.P., Rybina, O.B., Derevyanko, D.G. (2010), «Analysis of electromagnetic compatibility of electrical items with variable parameters of the generator and load», *Spec. issue of Proceedings of Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine (Materials of the International Conference "Intelligent Energy System - IES'10")*, IER National Academy of Sciences, Kyiv, pp. 123–128.

Стаття надійшла 01.07.2013.