

ПРИНЦИП НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ГЕЙЗЕНБЕРГА ПРИ ОЦІНЦІ РІВНЯ ЕНЕРГІЇ, ЩО ГЕНЕРУЄТЬСЯ ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

К.С. Осипенко, канд.техн.наук, **В.Я. Жуйков**, докт.техн.наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
 пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна. E-mail: ekateryna.osypenko@gmail.com

Показано дію принципу невизначеності Гейзенберга у системах розосередженої генерації. Одержано формули для розрахунку енергії для заряду накопичувача та максимально можливої енергії, яку можна отримати від відновлюваного джерела. Показано доцільність використання кусково-лінійної апроксимації функції зміни потоку первинної енергії функціями Франкліна. Наведено підхід для визначення оптимального числа інтервалів спостереження на базовому інтервалі та кількості апроксимуючих функцій на кожному інтервалі спостереження. Показано, що для ефективного керування системою розосередженої генерації необхідно мати два канали керування. Бібл. 10, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: відбір максимальної енергії, відновлювані джерела, принцип невизначеності Гейзенберга, розосереджена генерація, функції Франкліна.

Вступ. Ефективність роботи систем розосередженої генерації, побудованих на основі відновлюваних джерел, залежить від багатьох факторів, серед яких найбільш значущими є: по-перше, необхідність забезпечення при необхідності відбору максимальної енергії від відновлюваних джерел у кожний конкретний момент часу; необхідність визначення середнього значення енергії, що генерується відновлюваними джерелами на деякому базовому інтервалі [2]. Використання спеціальних методів та алгоритмів пошуку координат робочої точки на кривій навантаження дозволяє забезпечити відбір максимальної енергії від відновлюваних джерел [5, 9], а раціональне використання енергії накопичувача забезпечується шляхом накопичення енергії на інтервалах спостереження, на яких рівень енергії, що генерується відновлюваними джерелами, перевищує середнє значення, і повернення енергії в систему на інтервалах, коли рівень енергії, що генерується, нижчий за середнє значення [7, 10].

Виходячи з цього, навіть при рівномірному споживанні енергії виникає задача одночасної реалізації як відбору максимальної енергії, так і забезпечення умови раціонального використання енергії накопичувача. Однак, застосовуючи принцип невизначеності Гейзенберга [8] до систем розосередженої генерації, можна стверджувати, що принципово неможливо на обраному інтервалі спостереження одночасно з мінімальною похибкою визначати: положення робочої точки на зовнішній характеристиці відновлюваного джерела для забезпечення роботи в режимі відбору максимальної енергії; середнє значення енергії для забезпечення ефективної роботи накопичувача.

Тому метою даної роботи є визначення тривалості інтервалу спостереження та кількості інтервалів спостереження на базовому інтервалі для реалізації двоканального керування у системах розосередженої генерації при зміні потоку первинної енергії як за відбором максимальної енергії відновлюваних джерел, так і за реалізацією раціонального використання енергії накопичувача.

Кусково-лінійна апроксимація графіка генерації енергії функціями Франкліна. З метою прогнозування кількості мінімально необхідної частки енергії, що зберігається в накопичувачі та віддається в навантаження, доцільно використовувати деякий базовий інтервал часу, за який доцільно обирати добу, тиждень, місяць та ін. Наприклад, масив даних добових часових характеристик, отриманих з метеостанції, розташованої у аеропорту Бориспіль, м. Київ, містить 49 значень швидкості v вітрового потоку, що знімаються кожні 30 хв. [1]. Перехід до енергії, що генерується, здійснюється відповідно до виразу

$$W_{\text{ВП}}(k) = \sum_{i=1}^k C_p \frac{\rho \pi R_{\text{БК}}^2 v_i^3}{2} \cdot \Delta t_k, \quad k \in 0..N-1,$$

де ρ – густина повітря; $R_{\text{БК}}$ – радіус вітроколеса; C_p – коефіцієнт потужності.

Для побудови алгоритмів керування системою розосередженої генерації необхідно знати функцію зміни потоку первинної енергії, що потребує її апроксимації для подальших розрахунків. При ап-

роксимациі дискретних функцій найбільш часто використовуються або кусково-постійні наближення з використанням ортонормованих систем Уолша та Хаара, або нелінійні наближення Чебишева, Лежандра та ін. [4]. Однак кусково-постійні наближення є недостатньо точними, а застосування кусково-нелінійних наближень пов'язане з додатковою складністю при виведенні аналітичних виразів. Апроксимація кусково-лінійними наближеннями, наприклад, функціями Франкліна дозволяє забезпечити необхідну точність та зменшити трудомісткість розрахунків [6]. У табл. 1 наведено формули, що описують перші дев'ять функцій повної ортонормованої системи Франкліна $\{R_i(t)\}$ на інтервалі спостереження $t=24$ год.

Таблиця 1

Функція $R_i(t)$	Формула	Функція $R_i(t)$	Формула
$R_0(t)$	$1, 0 \leq t \leq 24$		
$R_1(t)$	$\sqrt{3}(t/12-1), 0 \leq t \leq 24$	$R_2(t)$	$\begin{cases} \sqrt{3}(1-t/6), 0 \leq t < 12 \\ \sqrt{3}(t/6-3), 12 < t \leq 24 \end{cases}$
$R_3(t)$	$\begin{cases} \sqrt{3/11}(5-19t/12), 0 \leq t < 6 \\ \sqrt{3/11}(13t/12-11), 6 \leq t < 12 \\ \sqrt{3/11}(5-t/4), 12 \leq t \leq 24 \end{cases}$	$R_4(t)$	$\begin{cases} \sqrt{3/77}(1-t/2), 0 \leq t < 6 \\ \sqrt{3/77}(3t/2-11), 6 \leq t < 12 \\ \sqrt{3/77}(45-19t/6), 12 \leq t < 18 \\ \sqrt{3/77}(25t/6-87), 18 \leq t \leq 24 \end{cases}$
$R_5(t)$	$\begin{cases} \sqrt{3/7 \cdot 157}(71-269t/6), 0 \leq t < 3 \\ \sqrt{3/7 \cdot 157}(179t/6-153), 3 \leq t < 6 \\ \sqrt{3/7 \cdot 157}(59-11t/2), 6 \leq t < 12 \\ \sqrt{3/7 \cdot 157}(3t/2-25), 12 \leq t < 18 \\ \sqrt{3/7 \cdot 157}(11-t/2), 18 \leq t \leq 24 \end{cases}$	$R_6(t)$	$\begin{cases} \sqrt{3/157 \cdot 73}(19-57t/3), 0 \leq t < 3 \\ \sqrt{3/157 \cdot 73}(57t-209), 3 \leq t < 6 \\ \sqrt{3/157 \cdot 73}(803-335t/3), 6 \leq t < 9 \\ \sqrt{3/157 \cdot 73}(293t/3-1081), 9 \leq t < 12 \\ \sqrt{3/157 \cdot 73}(325-39t/2), 12 \leq t < 18 \\ \sqrt{3/157 \cdot 73}(13t/2-143), 18 \leq t \leq 24 \end{cases}$
$R_7(t)$	$\begin{cases} \sqrt{3/73 \cdot 2131}(5-5t), 0 \leq t < 3 \\ \sqrt{3/73 \cdot 2131}(15t-55), 3 \leq t < 6 \\ \sqrt{3/73 \cdot 2131}(365-55t), 6 \leq t < 9 \\ \sqrt{3/73 \cdot 2131}(205t-1975), 9 \leq t < 12 \\ \sqrt{3/73 \cdot 2131}(5403-2459t/6), 12 \leq t < 15 \\ \sqrt{3/73 \cdot 2131}(2213t/6-6277), 15 \leq t < 18 \\ \sqrt{3/73 \cdot 2131}(1991-181t/2), 18 \leq t \leq 24 \end{cases}$	$R_8(t)$	$\begin{cases} \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(1-t), 0 \leq t < 3 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(3t-11), 3 \leq t < 6 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(73-11t), 6 \leq t < 9 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(41t-395), 9 \leq t < 12 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(1933-153t), 12 \leq t < 15 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(571t-8972), 15 \leq t < 18 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(23413-2927t/3), 18 \leq t < 21 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(4847t/3-36255), 21 \leq t \leq 24 \end{cases}$

Функція зміни енергії вітрового потоку $W_{ВП}(t)$ є дискретною, тому для її апроксимації перейдемо до системи дискретних функцій Франкліна $\{R_i(n)\}$, де n – кількість інтервалів спостереження на базовому інтервалі: $\Psi_{ВП}(t) = \sum_{i=0}^8 C_i R_i(n)$, $n \in 0 \dots 48$, де $C_i = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} W_{ВП}(t) R_i(n)$ – коефіцієнти дискретного ряду Франкліна. Дев'ята функція дискретного ряду Франкліна $R_8(n)$ описується формулою

$$R_8(n) = \begin{cases} \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(1-n/2), 0 \leq n < 6 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(3n/2-11), 6 \leq n < 12 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(73-11n/2), 12 \leq n < 18 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(41n/2-395), 18 \leq n < 24 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(1933-153n/2), 24 \leq n < 30 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(571n/2-8972), 30 \leq n < 36 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(23413-2927n/6), 36 \leq n < 42 \\ \sqrt{3/2131 \cdot 97 \cdot 7}(4847n/6-36255), 42 \leq n \leq 48 \end{cases}$$

У табл. 2 наведено значення коефіцієнтів ряду при розкладанні функції $W_{ВП}(t)$.

Таблиця 2

C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
3,51	-0,531	-0,286	0,212	0,224	0,266	-0,16	-0,101	0,181

На рис. 1 показано результат розкладання функції $W_{ВП}(t)$ у дискретний ряд Франкліна за 9-ма функціями (крива 1), її тренд (крива 2) та її середнє значення (крива 3) з середньоквадратичною похибкою апроксимації $\Delta = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (W_{ВП}(t) - \Psi_{ВП}(t))^2} = 12,5\%$. Звичайно, при збільшенні кількості функцій ряду Франкліна точність апроксимації підвищується.

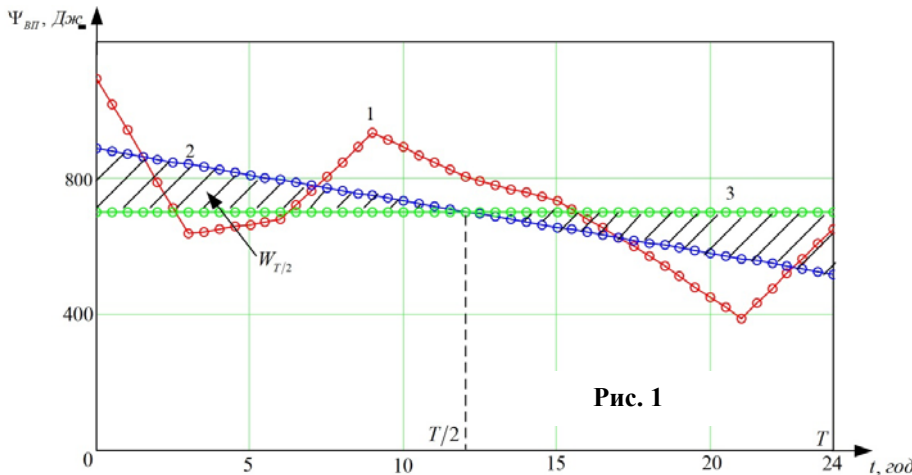


Рис. 1

Оскільки для визначення рівнів максимально можливої енергії, яку можна відібрати від відновлюваного джерела, та енергії для заряду накопичувача необхідно розглядати весь інтервал спостереження і, враховуючи, що тренд функції $W_{ВП}(t)$ при використанні апроксимуючих функцій Франкліна є лінійним, припустимо, що потужність первинного потоку змінюється за лінійним законом $P_{ВП}(t) = P_0 + k_p t$, де

$k_p = (P_T - P_0)/T$, з середнім значенням $P_{cp} = (P_T + P_0)/2$, де P_0, P_T – значення потужності у моменти часу $t=0, t=T$. Такий підхід дозволить порівняти рівні максимально можливої енергії, яку можна відібрати від відновлюваного джерела, та енергії для заряду накопичувача при зменшенні тривалості інтервалу спостереження з 1 (тривалість інтервалу спостереження дорівнює тривалості базового інтервалу) до 1/48 для прикладу, що розглядається.

Визначення максимально можливої енергії відновлюваного джерела та енергії для заряду накопичувача. За умови, що тривалість інтервалу спостереження дорівнює тривалості базового інтервалу T , енергія $W_{T/2}$ (рис. 1) заряду накопичувача визначається за формулою

$$W_{T/2} = \int_0^{T/2} P_{ВП}(t) dt = P_0 T/2 + k_p/2 (T/2)^2.$$

Максимально можлива енергія відновлюваного джерела визначається за умови, що від джерела відбирається максимальна потужність

$$P_{\max}(t) = \frac{E^2(t) \cdot R_H(t)}{(R_i + R_H(t))^2},$$

де $E(t) = E_0 + k_E t$ – напруга еквівалентного генератора відновлюваного джерела, де $k_E = (E_T - E_0)/T$, E_0, E_T – значення напруги у моменти часу $t=0, t=T$; R_i – внутрішній опір еквівалентного генератора відновлюваного джерела, значення якого визначаються у моменти рівності потужності первинного вітрового потоку та середнього значення потужності навантаження; $R_H(t) = R_0 T/t$ – опір навантаження, де R_0 – початкове значення опору на момент часу $t=0$.

Тоді максимально можлива енергія W_{\max} , що отримується від відновлюваного джерела на інтервалі спостереження T , дорівнює

$$W_{\max} = \frac{T^3}{R_0} \int_0^1 \frac{\tau (E_0/T + k_E \tau)^2}{(2\tau + 1)^2} d\tau,$$

де $\tau = t/T$ – безрозмірна змінна.

Зі зменшенням тривалості інтервалу спостереження до T/n (для спрощення приймемо, що базовий інтервал поділено на рівні частини) енергія $W_{T/n}$ заряду накопичувача на n інтервалах визначається за формулою

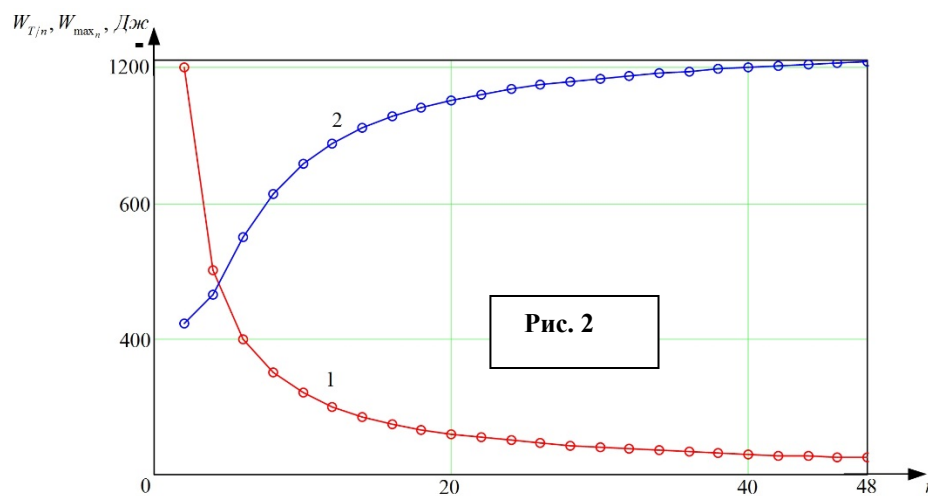
$$W_{T/n} = \sum_{n=1}^{\infty} P_0 T/n + k_p / 2 (T/n)^2,$$

а максимально можлива енергія W_{\max_n} відновлюваного джерела – за формулою

$$W_{\max_n} = \frac{T^3}{R_0} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^n \int_{(i-1)T/n}^{iT/n} \frac{\tau(E_0/T + k_E \tau)^2}{(2n\tau/(2i-1) + 1)^2} d\tau,$$

де i – номер інтервалу спостереження.

На рис. 2 показано залежності величин енергії заряду накопичувача (крива 1) та максимально можливої енергії, яку можна отримати від відновлюваного джерела (крива 2), від кількості інтервалів спостереження n на базовому інтервалі.



Врахування принципу невизначеності Гейзенберга при керуванні системою розосередженої генерації вказує на необхідність розгляду як базового, так і мінімального інтервалів спостереження для визначення положення робочої точки, оскільки, розглядаючи базовий інтервал T , середнє значення енергії на цьому інтервалі визначається точно і є можливість точно визначити рівень енергії

для заряду накопичувача. Однак неможливо точно визначити положення робочої точки для забезпечення роботи відновлюваного джерела в режимі відбору максимальної енергії. І навпаки, знаючи з достатньою точністю положення робочої точки (мінімальну тривалість інтервалу спостереження), неможливо точно визначити середнє значення енергії і відповідно рівень енергії для заряду накопичувача. Тому двоканальне керування є принципово необхідним.

Визначення оптимального числа інтервалів спостереження та кількості апроксимуючих функцій на інтервалі. Для реалізації керування системою розосередженої генерації необхідно знати функцію зміни потоку первинної енергії у часі, що будується на основі даних метеопрогнозу та обробки бібліотеки метеоданих для інтервалу часу, що розглядається. Наближення функції може здійснюватися як з використанням максимальної кількості інтервалів спостереження, так і з використанням максимальної кількості апроксимуючих функцій, однак для спрощення алгоритмів керування бажано зменшувати кількість як інтервалів, так і функцій зі збереженням заданої точності. Тому виникає задача визначення оптимального співвідношення між вказаними величинами. Для розрахунку необхідної кількості функцій Франкліна та інтервалів спостереження при апроксимації графіка зміни енергії первинного потоку скористаємося наступним підходом: вважаючи, що функція $W_{ВП}(t)$ відома з бібліотеки метеорологічних даних, її апроксимацію функціями Франкліна на n інтервалах можна представити у вигляді суми лінійних складових вигляду

$$\Psi_{ВП}(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} R_j(t),$$

де m – кількість апроксимуючих функцій на n інтервалах, j – номер базисної функції.

Оптимальне значення співвідношення між n та m виберемо, виходячи з умови забезпечення мінімального середньоквадратичного відхилення δ_i наближення функції $W_{BP}(t)$, яке на i -му інтервалі спостереження визначається з виразу

$$\delta_i^2 = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \left[W_{BP}^2(t) - \sum_{j=1}^m (C_{ij} R_{ij}(t))^2 \right] dt. \quad (1)$$

Функцію $W_{BP}(t)$ у виразі (1) замінимо її лінійним наближенням у точці t_{i-1} . Тоді

$$W_{BP}(t) = W_1 + (t - t_{i-1})W_2, \quad (2)$$

де $W_1 = W_{BP}(t)|_{t=t_{i-1}}$, $W_2 = dW_{BP}(t)/dt|_{t=t_{i-1}}$. Похідну функції $dW_{BP}(t)/dt$ будемо визначати як кінцеву різницю першого порядку у вузлі t_i : $dW_{BP}(t)/dt|_{t=t_{i-1}} = W_{BP}(t_{i+1}) - W_{BP}(t_i)$.

Перенесемо початок координат у точку з координатами (W_1, t_{i-1}) . Замінимо функцію $[C_{ij} R_{ij}(t) - W_2]$ деяким середнім значенням W_{CPij} , а суму $\sum_{j=1}^m W_{CPij}$ представимо у вигляді

$$mW_2 = \sum_{j=1}^m W_{CPij}, \quad (3)$$

звідки $W_2 = \sum_{j=1}^m W_{CPij} / m$. Враховуючи перенесення початку координат у точку (W_1, t_{i-1}) , підставляючи вирази (2) та (3) в (1) і припускаючи, що $t - t_{i-1} \approx T/n$, знаходимо

$$\delta_i^2 = \frac{W_1 T^3}{3n^3} - \frac{mW_2 T}{n}.$$

Покладемо, що відхилення апроксимації функції на базовому інтервалі пропорційне сумі відхилень апроксимації на всіх інтервалах спостереження, тобто $\delta^2 \approx n\delta_i^2$.

Для розв'язання задачі вибору числа апроксимуючих функцій m та інтервалів n за умови $nm \leq N$, або $nm - N = 0$, де N – наперед задане число, скористаємося методом Лагранжа [3] і отримемо систему рівнянь

$$\begin{cases} -2W_1 T^3 / 3n^3 + \lambda m = 0; \\ -W_2 T + \lambda n = 0, \end{cases}$$

з якої знайдемо

$$n = \frac{2 T^2 W_1}{3 N W_2}.$$

При визначенні числа інтервалів та апроксимуючих функцій Франкліна за умови, що функція

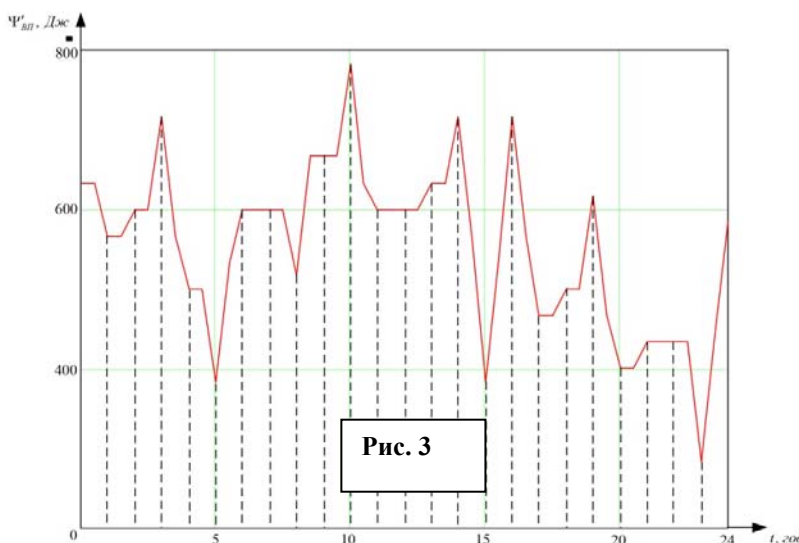
W_1 набуває середнього значення

$$W_{1CP} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-1} W_{1n},$$

а функція W_2 – мінімального значення $W_{2min} = \min_{[0;T]} W_2$

на інтервалі спостереження $t = 24$ год з кількістю відліків $N = 48$, отримуємо $n = 28$, $m = 2$. За умови рівномірного поділу на інтервали спостереження $n = 24$, а кількість апроксимуючих функцій на кожному інтервалі $m = 2$ отримуємо результат розкладання функції $W_{BP}(t)$ у ряд Франкліна $\Psi'_{BP}(t)$, зображений на рис. 3.

Запропонований підхід до-



зволяє зменшити кількість інтервалів спостереження в два рази, на кожному з яких забезпечується відбір максимальної енергії від відновлюваних джерел, а рівень енергії заряду накопичувача визначається на базовому інтервалі. Злами на кожному з інтервалів спостереження апроксимуючої кривої свідчать про необхідність зміни режиму роботи відновлюваних джерел, що потребує відповідних реакцій системи керування.

Висновок. Таким чином на основі застосування лінійного наближення графіка зміни енергії первинного потоку функціями Франкліна та врахування принципу невизначеності Гейзенберга для ефективного керування системою розосередженої генерації необхідно мати два канали керування: за базовим інтервалом для забезпечення необхідного рівня енергії для заряду накопичувача та за мінімальною тривалістю інтервалу спостереження для забезпечення необхідного рівня максимально можливої енергії, що отримується від відновлюваних джерел.

1. Архів метеорологічних спостережень. Дані по аеродромах Європи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.pogoda.by/zip-avia/index.php?Year=2015&sortBy=country>

2. Базюк Т.М., Блінов І.В., Буткевич О.Ф., Гончаренко І.С., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Кириленко О.В., Лук'яненко Л.М., Миколаєць Д.А., Осипенко К.С., Павловський В.В., Рибіна О.Б., Стелюк А.О., Танкевич С.Є., Трач І.В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.

3. Жуйков В.Я., Сучик В.Е., Денисюк С.П. Применение аппроксимации сигналов и структурного синтеза к проектированию вентиляльных преобразователей / Вопросы анализа и синтеза устройств электропитания на ЭВМ. – Киев, 1983. – С. 33-55.

4. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. – М.: Сов. радио, 1972. – 468 с.

5. Boico F., Lehman B. Study of Different Implementation Approaches for a Maximum Power Point Tracker. – IEEE COMPEL Workshop. – 2006. – Pp. 15–21.

6. Franklin Ph. A set of continuous orthogonal functions // *Mathematische Annalen*. – 1928. – No 100. – Pp. 522-529.

7. Haihua Zhou, Tanmoy Bhattacharya, Duong Tran, Tuck Sing Terence Siew, Ashwin M. Khambadkone, Composite Energy Storage System Involving Battery and Ultracapacitor With Dynamic Energy Management in Microgrid Applications // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2011. – Vol. 26. – Issue 3. – Pp. 923 – 930.

8. Heisenberg, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. / *Zeitschrift für Physik* 43 (3–4): 172–198.

9. Nacer K. M'Sirdi, Bechara Nehme, Mouna Abarkan, Abdelhamid Rabbi. The best MPPT algorithms by VSAS approach for Renewable Energy Sources (RES) / 3rd International Symposium on 2014, 19-21 Nov. Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA). – Pp. 1–7.

10. Tanabe T., Sato T., Tanikawa R., Aoki I., Funabashi T., Yokoyama R. Generation scheduling for wind power generation by storage battery system and meteorological forecast / Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, IEEE. – 2008. – Pp. 1–7.

УДК 621.314

ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА ПРИ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЭНЕРГИИ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Е.С. Осипенко, канд.техн.наук, **В.Я. Жуйков**, докт.техн.наук

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина. E-mail: ekateryna.osypenko@gmail.com

Показано действие принципа неопределенности Гейзенберга в системах распределенной генерации. Получены формулы для расчета энергии для заряда накопителя и максимально возможной энергии, которую можно получить от возобновляемого источника. Показана целесообразность использования кусочно-линейной аппроксимации функции изменения потока первичной энергии функциями Франклина. Приведен подход для определения оптимального числа интервалов наблюдения на базовом интервале и количества аппроксимирующих функций на каждом интервале наблюдения. Показано, что для эффективного управления системой распределенной генерации необходимо иметь два канала управления. Библиограф. 10, табл. 2, рис. 3.

Ключевые слова: возобновляемые источники, отбор максимальной энергии, принцип неопределенности Гейзенберга, распределенная генерация, функции Франклина.

HEISENBERG'S UNCERTAINTY PRINCIPLE IN EVALUATING THE LEVEL OF POWER GENERATED BY RENEWABLE SOURCES

K.S. Osypenko, V.Ya. Zhuikov

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",

pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: ekateryna.osypenko@gmail.com

The influence of the Heisenberg uncertainty principle of distributed generation systems is shown. The formulas for calculating the storage battery power and maximum power that can be obtained from renewable sources are given. The expediency of piecewise linear approximation of primary power flow change graphics with Franklin functions is shown. The approach to determine the optimal number of observation intervals at the basic interval and the number of approximating functions at each observation interval is given. It is shown that for the effective control in distributed generation power system there have to be two control channels. References 10, tables 2, images 3.

Keywords: maximum power point tracking, renewable power sources, Heisenberg's uncertainty principle, distributed generation, Franklin functions.

1. The archive of the meteorological observations. Data on airfields in Europe. Available at: <http://www.pogoda.by/zip-avia/index.php?Year=2015&sortBy=country>

2. Baziuk T.M., Blinov I.V., Butkevych O.F., Honcharenko I.S., Denysiuk S.P., Zhuikov V.Ia., Kyrylenko O.V., Lukianenko L.M., Mykolaiets D.A., Osypenko K.S., Pavlovskiy V.V., Rybina O.B., Steliuk A.O., Tankevych S.Ye., Trach I.V. Intelligent power systems: elements and modes. – Kyiv: Instytut Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy, 2016. – 400 p. (Ukr)

3. Zhuikov V.Ya., Suchyk V.E., Denysiuk S.P. The application of the approximation signals and structural synthesis in the design of valve converters // Voprosy analiza i sinteza ustroystv elektropitaniia na EVM. – Kyiv, 1983. – Pp. 33–55. (Rus)

4. Trakhtman A.M. The introduction to the theory of generalized spectral signals. – Moskva: Sovetskoe Radio, 1972. – 468 p. (Rus)

5. Boico F., Lehman B. Study of Different Implementation Approaches for a Maximum Power Point Tracker. – IEEE COMPEL Workshop. – 2006. – Pp. 15–21.

6. Franklin Ph. A set of continuous orthogonal functions. – *Mathematische Annalen*, 100, 1928, 522-529.

7. Haihua Zhou, Tanmoy Bhattacharya, Duong Tran, Tuck Sing Terence Siew, Ashwin M. Khambadkone, Composite Energy Storage System Involving Battery and Ultracapacitor With Dynamic Energy Management in Micro-grid Applications // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 2011. – Vol. 26. – Issue 3. – Pp. 923 – 930.

8. Heisenberg, W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik* 43 (3–4): 172–198.

9. Nacer K. M'Sirdi, Bechara Nehme, Mouna Abarkan, Abdelhamid Rabbi. The best MPPT algorithms by VSAS approach for Renewable Energy Sources (RES) / Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA), 2014 3rd International Symposium on, 19-21 Nov. 2014. – Pp. 1–7.

10. Tanabe T., Sato T., Tanikawa R., Aoki I., Funabashi T., Yokoyama R. Generation scheduling for wind power generation by storage battery system and meteorological forecast / Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE. – Pp. 1–7.

Надійшла 12.07.2016

Остаточний варіант 18.10.2016