

## МЕТОДИКА ОБРОБКИ СИГНАЛУ ВІДГУКУ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО СТАНУ

Д. ф.-м. н. С. В. Плаксін, М. Я. Житник, Р. Ю. Левченко, С. Я. Остаповська,  
І. В. Тимченко

Інститут транспортних систем і технологій НАН України  
Україна, м. Дніпро  
R.Y.Levchenko@nas.gov.ua

Контроль енергетичного стану електрохімічного накопичувача енергії в режимі реального часу здійснюють визначенням його поточної ємності через коефіцієнт використання активних матеріалів, інформаційним еквівалентом якого є площа фігури під лінією спаду напруги на сигналі відгуку накопичувача. Для підвищення точності визначення площі запропоновано обробляти сигнал відгуку, використовуючи вейвлет-перетворення.

Ключові слова: накопичувач енергії, поточна ємність, сигнал відгуку, вейвлет-перетворення.

Для контролю поточного енергетичного стану накопичувача енергії використовують поточні значення основного енергетичного параметра — залишкову ємність. Визначати ємність в динамічних режимах роботи накопичувача стандартними довготривалими методами неможливо, а методики її визначення з використанням математичного моделювання процесів в акумуляторі [1] не враховують вплив швидкоплинних процесів в режимі реального часу. Тому розробка методів оперативного контролю енергетичного стану накопичувачів в режимі реального часу є актуальним завданням.

Авторами [2] запропоновано імпульсний метод визначення фактичної ємності накопичувача через коефіцієнт використання активних матеріалів, інформаційним еквівалентом якого є площа фігури  $S$  під лінією спаду напруги  $U_{cn}(t)$  на сигналі відгуку (рис. 1, а). Методика визначення площі  $S$  заснована на її числовому інтегруванні за правилом трапеції. На рис. 1, б для прикладу наведено графік зміни площі фігури в процесі заряджання накопичувача. Збільшення площі  $S$  за час заряджання накопичувача тут становить:  $\Delta S = (S_{tk} - S_{t1}) = 10 - 5,8 = 4,2$  ум. од., або у відсотках:  $\Delta S = 42\%$ , де  $S_{t1}$ ,  $S_{tk}$  — значення  $S$  на початку та наприкінці процесу заряджання. При заряджанні накопичувача в динамічних режимах роботи виникає необхідність в підвищенні точності визначення його поточного енергетичного стану, а відповідно, і площі  $S$ .

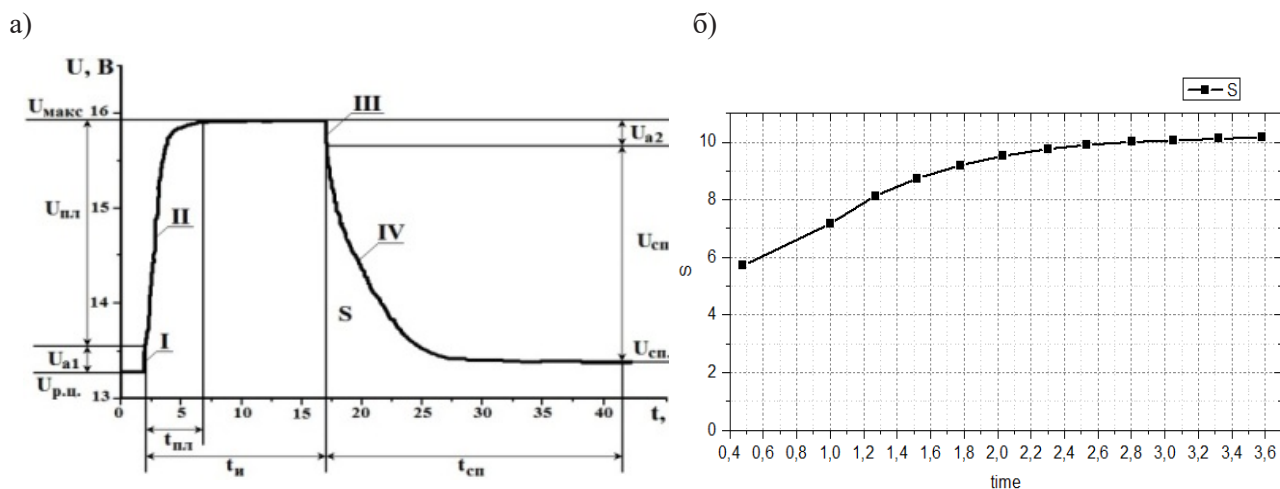


Рис. 1. Форма сигналу відгуку (а) та графік зміни площі  $S$  в процесі заряджання (б)

З метою підвищення точності визначення площі  $S$  запропоновано сигналу відгуку обробляти шляхом вейвлет-перетворень з обчисленням вейвлетів Хаара [3] в часовій області знаходження лінії спаду напруги  $U_{\text{сп}}(t)$  на сигналі відгуку. Підвищення точності досягається завдяки переходу від визначення геометричної величини площі фігури до визначення її величини в імпульсному вигляді, як це показано на рис. 2, а. Шляхом обчислення різниці кількості імпульсів  $N(t)$  в кожному вейвлеті  $\Delta N = (N_{i(n)} - N_{i(n-1)})$  оцінюють зміну величини площі в умовних одиницях в процесі заряджання накопичувача. Підрахунок імпульсів проводився за допомогою блоку Counter у програмі Matlab/Simulink. На рис. 2, б наведено результати визначення площі  $S$  із приведеного на рис. 1, б прикладу з використанням обчислень вейвлетів Хаара. Збільшення площі  $S$  за час заряджання накопичувача в приведеному на рис. 2, б прикладі становить  $\Delta N = (N_{\text{тк}} - N_{\text{і1}}) = 18 - 6 = 12$  ум. од., або у відсотках  $\Delta N = 67\%$ , де  $N_{\text{і1}}$ ,  $N_{\text{тк}}$  — кількість імпульсів у вейвлеті на початку та наприкінці процесу заряджання. В порівнянні зі значенням  $S$ , одержаним за правилом інтегрування трапецій, точність визначення її величини з використанням вейвлет-перетворення є вищою приблизно на 25%.

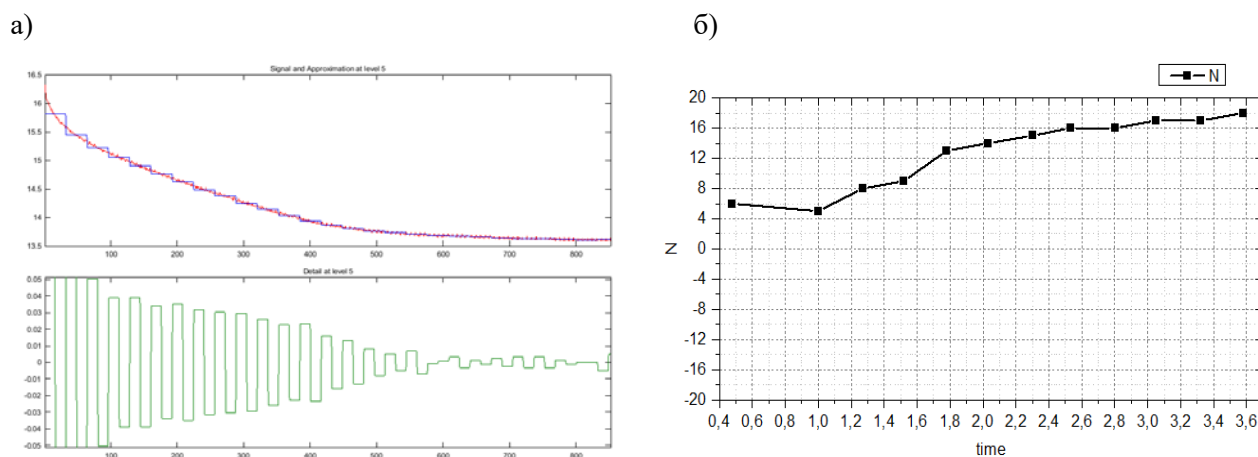


Рис. 2. Приклад вейвлету Хаара (а) та графік зміни кількості імпульсів  $N$  в процесі заряджання (б)

Таким чином, порівняльний аналіз результатів визначення за сигналом відгуку площі фігури  $S$  під лінією спаду напруги, одержаних числовим інтегруванням за правилом трапеції та з використанням вейвлет-перетворень, підтверджує доцільність застосування методики оброблення сигналу відгуку за допомогою вейвлет-перетворення, яка забезпечує підвищення точності визначення площі фігури  $S$ , для оперативного контролю енергетичного стану накопичувача.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Хандорин М. М., Букреев В. Г. Методика оценки остаточной емкости литий-ионной аккумуляторной батареи при изменении температуры аккумулятора. *Доклады ТУСУРа*, 2017, том 21, № 2, с. 120–122.
2. Плаксін С. В, Житник М. Я., Левченко Р. Ю., Остаповська С. Я. Імпульсний метод оперативного контролю та управління зарядним процесом накопичувача енергії. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, 2022, № 1–3, с. 22–30.
3. Дьяконов В. П. Современные методы Фурье- и вейвлет- анализа и синтеза сигналов. *Контрольно-измерительные приборы и системы*, 2009, №2, с. 25.

S. V. Plaksin, M. Ya. Zhytnyk, R. Yu. Levchenko, S. Ya. Ostapovska, I. V. Tymchenko

#### Method for processing electrochemical energy storage response signal for real-time control of its energy state

*The energy state of the electrochemical energy storage is controlled in real-time by determining its current capacity through the active materials usage coefficient. The informational equivalent of the usage coefficient is the area under the depolarization curve on the storage response signal. To determine the size of the area more accurately, it is suggested to process the response signal by wavelet transformation.*

*Key words: energy storage, current capacity, response signal, wavelet transformation.*