

Корисна модель належить до електротехніки, зокрема до хімічних джерел струму, та може бути використана для оперативного контролю енергетичного стану електрохімічних накопичувачів енергії, зокрема при їх застосуванні в системах енергозабезпечення транспортних засобів.

Основним енергетичним параметром електрохімічного накопичувача енергії є його електрична ємність, яка поступово втрачається впродовж терміну експлуатації. Визначення величини ємності накопичувача стандартними методами, наприклад (ДСТУ ГОСТ 959:2006 Батареї акумуляторні свинцеві стартерні для автотракторної техніки. Загальні технічні умови (ГОСТ 959-2002, IDT), потребує відносно багато часу з відключенням накопичувача від мережі споживача, що унеможлиблює їх застосування для визначення поточної величини ємності накопичувача без порушення роботи споживача в штатному режимі. Разом з тим відомо, що показником, який в достатній мірі характеризує енергетичний стан накопичувача енергії, та останнім часом широко використовується як інформаційний параметр в системах контролю накопичувача енергії, є стан його зарядженості (наприклад, стаття авторів M. Surendar, P. Pradeepa. Future Challenges in State of Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries //International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). - 2020. - Volume 10. - P. 215-223. DOI:10.35940/ijeat.A1789.1010120). В технічних літературних джерелах стан зарядженості має умовне позначення SoC (State of Charge). Значення SOC встановлює зв'язок між станом зарядженості акумулятора та його ємністю і визначається як відношення поточної, тобто фактичної ємності до максимальної ємності, коли накопичувач повністю заряджений, та за виразом $SOC = C_f / C_m \times 100 \%$ описує залишковий відсоток його ємності, де C_m - ємність повністю зарядженого накопичувача, C_f - фактична поточна ємність накопичувача. Як видно із наведеного виразу, значення стану SOC залежать від зміни ємності накопичувача як протягом всього терміну його експлуатації, так і в процесі поточної роботи. При цьому точна оцінка SOC дозволяє ефективно керувати енергоспоживанням, запобігаючи перезарядженню або надмірній розрядці, що може завдати шкоди терміну служби та безпеці накопичувача. Особливо важливо оперативне визначення поточного стану зарядженості накопичувача енергії в системі енергозабезпечення транспортних засобів, в яких він є основним джерелом енергії, при його роботі в динамічних режимах, що неможливо виконати відомими способами. Разом з тим визначення поточного стану зарядженості електрохімічного накопичувача енергії дозволяє здійснювати оперативний контроль його поточного енергетичного стану більш простим способом.

Відомий спосіб автоматизованого контролю енергетичного стану акумулятора (Патент на корисну модель № 127146 Україна, МПК 7 МПК Н 01 М 10/44, Н 02 J 7/00, надрук. 25.07.2018 р. Бюл. № 14), який включає подачу на акумулятор одиночного, прямокутної форми зарядного імпульсу постійного струму, реєстрацію сигналу відгуку акумулятора на тестовий імпульс, визначення із форми сигналу відгуку математичними методами обробки сигналу параметрів електрохімічного процесу з подальшим визначенням енергетичного стану акумулятора, інформаційним параметром якого є величина кута нахилу θ прямої проінтегрованої функціональної залежності $\tau(t)$ до осі часу.

Недоліком способу є проведення відносно великої кількості операцій при обробці форми сигналу відгуку математичними методами, необхідних для визначення інформаційного показника енергетичного стану акумулятора, що уповільнює процес визначення поточного енергетичного стану акумулятора.

Найближчим аналогом до корисної моделі є спосіб автоматизованого контролю поточного стану зарядженості акумулятора. (Патент на корисну модель № 146438, Бюл. № 8, від 24.02.2021), який включає визначення величини площі S фігури, яка обмежена кривою спаду напруги на акумуляторі після вимикання тестового імпульсу та прямою на рівні величини напруги розімкненого кола акумулятора на протязі часу, рівного 15 с від моменту вимкнення тестового імпульсу, та пропорційна величині накопиченої в акумуляторі енергії, визначення поточного стану зарядженості акумулятора із виразу $SoC(t) = k \cdot S(t)$, де k - коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від типу електрохімічної системи та для свинцево - кислотних акумуляторів рівна 10, $S(t)$ - поточне значення величини площі S , а автоматизований контроль поточного стану зарядженості акумулятора здійснюють шляхом періодичного подання на нього тестових імпульсів, зняття сигналів відгуку на тестові імпульси та визначення із сигналу відгуку поточних значень величини площі S з послідовним визначенням із виразу $SoC(t) = k \cdot S(t)$ поточних значень стану зарядженості акумулятора.

Недоліком способу є відносно невелика швидкість визначення величини площі S фігури, яка пропорційна величині накопиченої в акумуляторі енергії, та необхідність підбору значення k - коефіцієнта пропорційності, величина якого залежить від типу електрохімічної системи, що обмежує можливість застосування способу для оперативного контролю поточного стану зарядженості накопичувача енергії при його роботі в динамічних режимах.

У способі-аналозі величину площі S фігури під експонентною кривою спаду напруги $U_{cn}(t)$ на сигналі відгуку визначають шляхом розділення кривої спаду напруги $U_{cn}(t)$ на відрізки та визначення площі трапеції під кожним відрізком кривої спаду напруги та прямою на рівні величини напруги розімкненого кола накопичувача енергії, після чого площі трапецій під кожним відрізком підсумовують

чисельним інтегруванням за правилом трапеції за відповідним математичним виразом для визначення величини загальної площі S фігури, яка пропорційна величині накопиченої в накопичувачі енергії, що потребує відносно багато часу для виконання відповідних математичних операцій та обмежує швидкість визначення поточного стану зарядженості накопичувача енергії за виразом: $SoC(t) = k \cdot S(t)$, при його роботі в динамічних режимах.

Для підвищення швидкості визначення поточного стану зарядженості накопичувача за рахунок зменшення числа математичних операцій в запропонованій корисній моделі площу S фігури, яка пропорційна величині накопиченої в накопичувачі енергії, визначають підрахуванням кількості N вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{cn}(t)$ за рівнянням: $S=N$, та за виразом: $SOC(t) = S(t)$, у якому $S(t) = N(k)/N(n) \times 100 \%$, де $N(k)$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги U_{cn} в сигналі відгуку на поточний момент часу, $N(n)$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги U_{cn} в сигналі відгуку при повністю зарядженому накопичувачі енергії, визначають поточний стану зарядженості накопичувача енергії у відсотках від значення стану його повної зарядженості.

В основу корисної моделі поставлено задачу здійснити оперативний контроль поточного стану зарядженості накопичувача енергії в динамічних режимах роботи у складі системи енергозабезпечення транспортних засобів без відключення споживача шляхом періодичного подання на нього тестових імпульсів через заданий проміжок часу, реєстрації сигналів відгуку та виділенні із сигналу відгуку кривої спаду напруги $U_{cn}(t)$ в межах від початкового значення $U_{cn.p}$ в момент вимкнення тестового імпульсу протягом часу t , рівного 15 с, від моменту вимкнення тестового імпульсу до значення $U_{cn.k} = 0,37 U_{cn.p}$, обчислення кількості N вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{cn}(t)$ в часовій області її знаходження в межах від $U_{cn.p}$ до $U_{cn.k} = 0,37$ в кожному сигналі відгуку, визначенні площі S за рівнянням: $S=N$, та за виразом: $SOC=S(t)$, у якому $S(t) = N(k)/N(n) \times 100 \%$, де $N(k)$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги U_{cn} в сигналі відгуку на поточний момент часу, $N(n)$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги U_{cn} в сигналі відгуку при повністю зарядженому накопичувачі, визначенні поточного стану зарядженості накопичувача енергії у відсотках від значення стану його повної зарядженості.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі оперативного контролю поточного стану зарядженості накопичувача енергії, який включає визначення із сигналу відгуку величини площі S фігури, яка обмежена кривою спаду напруги $U_{cn}(t)$ на акумуляторі після вимкнення тестового імпульсу та прямою на рівні величини напруги розімкненого кола акумулятора протягом часу, рівного 15 с, від моменту вимкнення тестового імпульсу, та пропорційна величині накопиченої в акумуляторі енергії, визначення поточного стану зарядженості акумулятора із виразу: $SoC(t) = k \cdot S(t)$, де k - коефіцієнт пропорційності, величина якого залежить від типу електрохімічної системи та для свинцево-кислотних акумуляторів рівна 10, $S(t)$ - поточне значення величини площі S , а автоматизований контроль поточного стану зарядженості акумулятора здійснюють шляхом періодичного подання на нього тестових імпульсів, зняття сигналів відгуку на тестові імпульси та визначення із сигналу відгуку поточних значень величини площі S з наступним визначенням із виразу $SoC(t) = k \cdot S(t)$ поточних значень стану зарядженості акумулятора, згідно з корисною моделлю, послідовно виконують наступні дії: здійснюють періодичне подання на накопичувач енергії тестового імпульсу через заданий проміжок часу, реєструють сигнали відгуку на тестовий імпульс та виділяють із кожного сигналу відгуку криву спаду напруги $U_{cn}(t)$ в межах від початкового значення $U_{cn.p}$ в момент вимкнення тестового імпульсу протягом часу t , рівного 15 с, від моменту вимкнення тестового імпульсу до значення $U_{cn.k} = 0,37 U_{cn.p}$, обчислюють кількість вейвлетів Хаара N на кривій спаду напруги $U_{cn}(t)$ в часовій області її знаходження в межах від $U_{cn.p}$ до $U_{cn.k} = 0,37$ в кожному сигналі відгуку, визначають площу S за рівнянням: $S=N$, та за виразом: $SOC(t) = S(t)$, у якому $S(t) = N(k)/N(n) \times 100 \%$, де $N(k)$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги U_{cn} в сигналі відгуку на поточний момент часу, $N(n)$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги U_{cn} в сигналі відгуку при повністю зарядженому накопичувачі, визначають поточний стан зарядженості накопичувача енергії у відсотках від значення стану його повної зарядженості.

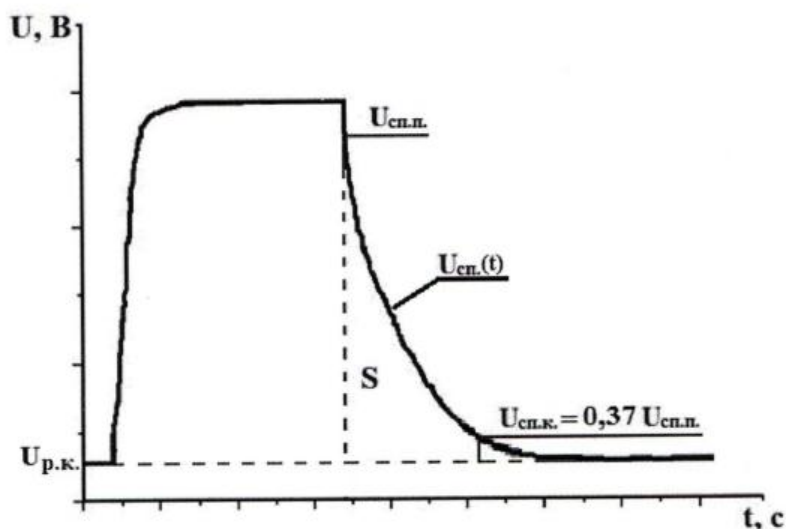
Суть корисної моделі пояснюють креслення. На фіг. 1 зображений у графічній формі загальний вигляд сигналу відгуку накопичувача енергії на основі свинцево-кислотного акумулятора на тестовий імпульс та відмічені інформаційні параметри, необхідні для оперативного визначення поточного стану зарядженості накопичувача енергії згідно з корисною моделлю, а саме: площа S фігури, що пропорційна величині накопиченої в накопичувачі енергії, величина напруги розімкненого кола $U_{p.k}$ та крива спаду напруги $U_{cn}(t)$ на накопичувачі енергії в межах від початкового значення $U_{cn.p}$ в момент вимкнення тестового імпульсу до кінцевого значення $U_{cn.k} = 0,3 U_{cn.p}$ на відрізку прямої на рівні величини напруги розімкненого кола накопичувача. На фіг. 2 наведено фрагменти експериментально одержаних послідовностей, на яких у верхній частині відображено криву спаду напруги $U_{cn}(t)$, а в нижній частині відповідно відображені результати обчислення кількості N вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{cn}(t)$ в зазначених межах в процесі розряду накопичувача енергії на навантаження за відповідні проміжки часу роботи накопичувача.

На повністю заряджений накопичувач енергії, який знаходиться в експлуатації, подають зарядний

тестовий імпульс та реєструють сигнал відгуку накопичувача на тестовий імпульс. Із сигналу відгуку визначають значення необхідних параметрів, таких, як величина напруги розімкненого кола $U_{р.к.}$, величина напруги $U_{сп.п.}$ накопичувача в момент вимкнення тестового імпульсу, крива спаду напруги $U_{сп.п.}(t)$ накопичувача протягом часу t , рівного 15 с, від моменту вимкнення тестового імпульсу до значення $U_{сп.к.} = 0,37 U_{сп.п.}$, обчислюють кількість $N_{(n)}$ вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{сп.п.}(t)$ в часовій області її знаходження в межах від $U_{сп.п.}$ до $U_{сп.к.} = 0,37 U_{сп.п.}$, визначають площу S за рівнянням: $S = N_{(n)}$, в процесі експлуатації на накопичувач енергії періодично через зазначений проміжок часу подають зарядний тестовий імпульс та реєструють сигнал відгуку, обчислюють кількість $N_{(к)}$ вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{сп.п.}(t)$ в часовій області її знаходження в межах від $U_{сп.п.}$ до $U_{сп.к.} = 0,37 U_{сп.п.}$ в кожному сигналі відгуку, визначають площу S за рівнянням $S = N_{(к)}$, та за виразом $SOC(t) = S(t)$, у якому $S(t) = N_{(к)}/N_{(n)} \times 100 \%$, де $N_{(к)}$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{сп.п.}$ в сигналі відгуку на поточний момент часу, $N_{(n)}$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{сп.п.}$ в сигналі відгуку при повністю зарядженому накопичувачі, визначають поточний стан зарядженості накопичувача у відсотках від початкового значення стану зарядженості накопичувача енергії.

Експериментальна перевірка пропонованого способу оперативного контролю поточного стану зарядженості накопичувача енергії проведена на серії накопичувачі в енергії на основі свинцево-кислотних акумуляторних батарей. Як приклад на фіг. 2 наведено експериментально одержану послідовність визначення вейвлетів Хаара із сигналів відгуку накопичувача енергії на основі акумуляторної батареї 6СТ - 75 АЗ в процесі його роботи на навантаження через відповідні проміжки часу. На фігурі наведено криву спаду напруги $U_{сп.п.}(t)$ та кількість N вейвлетів Хаара на ній згідно з позначками: а) - при повністю зарядженому накопичувачі; б) - в проміжному стані через 5 годин роботи; в) - в кінцевому стані через 10 годин роботи накопичувача енергії при його розряді на навантаження споживача. Підставляють одержані експериментально у відповідних проміжках часу та відображені на фігурі 2 кількість N вейвлетів Хаара на відповідних кривих спаду напруги $U_{сп.п.}(t)$ у вираз $SOC(t) = S(t)$, у якому $S(t) = N_{(к)}/N_{(n)} \times 100 \%$, де $N_{(к)}$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{сп.п.}$ в сигналі відгуку на поточний момент часу, $N_{(n)}$ - кількість вейвлетів Хаара на кривій спаду напруги $U_{сп.п.}$ в сигналі відгуку при повністю зарядженому накопичувачі, та одержують значення поточного стану зарядженості накопичувача енергії вказаних проміжках часу, виражені у відсотках від значення стану повної зарядженості. У наведеному прикладі: а) - при початковому 100 % стані зарядженості накопичувача кількості $N_{(n)}$ вейвлетів Хаара дорівнювала $N_{(n)} = 16$; б) - через 5 годин від початку процесу розряду при кількості вейвлетів Хаара $N_{(к)} = 10$ стан зарядженості накопичувача дорівнює $SOC(t) = S(t)$, у якому $S(t) = N_{(к)}/N_{(n)} \times 100 \% = 10/16 \times 100 \% = 62,5 \%$; в) - через 10 годин від початку процесу розряду при кількості вейвлетів Хаара $N_{(к)} = 4$ стан зарядженості накопичувача становить $SOC(t) = S(t)$, у якому $S(t) = N_{(к)}/N_{(n)} \times 100 \% = 4/16 \times 100 \% = 25 \%$. Досягнення такого значення стану зарядженості свідчить про необхідність припинення процесу розряду накопичувача з подальшим його зарядженням до величини стану повної зарядженості.

Таким чином, пропонований спосіб дозволяє визначити поточний стан зарядженості накопичувача енергії в динамічних режимах роботи в системі енергозабезпечення транспортних засобів.



Фіг. 1

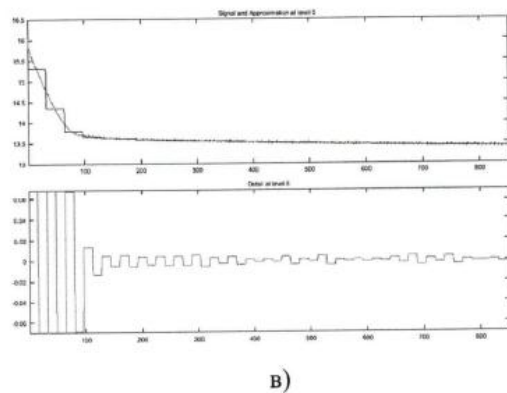
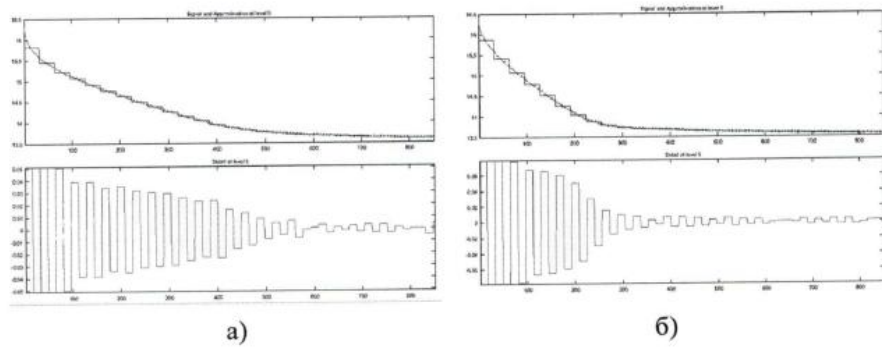


Fig. 2