

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

ВОЛКІВСЬКИЙ Вадим Борисович

УДК 621.314 : 621.354.34

**НАПІВПРОВІДНИКОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ПІДВИЩЕНОЮ
ЕФЕКТИВНІСТЮ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРІВ
ІМПУЛЬСНИМИ АСИМЕТРИЧНИМИ СТРУМАМИ**

Спеціальність 05.09.12 – Напівпровідникові перетворювачі електроенергії

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі промислової електроніки Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Співак Віктор Михайлович,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут” (м. Київ),
професор кафедри звукотехніки та реєстрації інформації

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Сенько Віталій Іванович,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут” (м. Київ),
професор кафедри теоретичної електротехніки

– кандидат технічних наук, доцент
Домнін Ігор Феліксович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”(м. Харків),
в.о. завідувача кафедрою промислової і біомедичної електроніки

Провідна установа – Інститут електродинаміки Національної академії наук України,
м. Київ

Захист відбудеться “20” червня 2007 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.002.19 в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” за адресою: 03056, Київ–56, пр. Перемоги, 37, корп. 12, ауд.114.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці НТУУ “КПІ” за адресою:
03056, Київ–56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий “18” травня 2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.Б. Швайченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку в системах електроживлення широкого застосовуються акумуляторні батареї різних типів. Для їх зарядки використовують різні зарядні пристрої – від найпростіших, в яких використовують заряд постійним струмом без контролю за зарядом, до високотехнологічних мікропроцесорних систем, де заряд контролюється за такими параметрами, як температура, напруга та струм. Однак в більшості цих пристроїв неможливо корегувати параметри заряду у процесі їх роботи, що унеможливає урахування стану, в якому знаходиться акумулятор, а також використовуються методи заряду, які досить легко реалізуються схемотехнічно, але мають недоліки у порівнянні з методами заряду імпульсним та асиметричним струмами. При імпульсному режимі заряду задається тривалість імпульсів, їхня амплітуда, скважність, форма, можна чергувати імпульси різної полярності (асиметричний заряд), тощо. Аналіз перехідних процесів при заряді акумуляторної батареї асиметричним струмом дозволяє отримати інформацію про характер явищ, що відбуваються в акумуляторі.

У зв'язку з широким використанням акумуляторних батарей у пристроях електроживлення на сьогоднішній день актуальною є проблема подовження їх терміну експлуатації, що опосередковано приведе до зменшення забруднення навколишнього середовища та зменшить фінансові витрати на технічне обслуговування батарей та на оновлення парку батарей. Вирішення цієї проблеми може бути досягнуто шляхом вдосконалення пристроїв та способів заряду акумуляторних батарей, в тому числі заряду імпульсним асиметричним струмом, оскільки такий заряд подовжує термін їх служби. Підвищення ефективності цих способів та пристроїв надасть можливість їх більш широкому застосуванню.

Тому актуальною є задача розробки та вдосконалення пристроїв і способів заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами з підвищеною ефективністю та побудови алгоритмів ефективного керування зарядом акумуляторів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут” відповідно Закону України „Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки” по пріоритетному напрямку 5 “Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі” (п. 5.1.4) на 2003-2004 р. у межах науково-дослідної роботи “Створення апаратних засобів та алгоритмів підвищення енергоефективності накопичення та перетворення сонячної енергії в складі електротехнічного комплексу на базі сучасних інтелектуальних систем керування та теорії економічної рівноваги” (№ДЗ/11-2003, ДР 0103U007646), а також державних бюджетних тем: „Розробка математичних основ алгоритмів мікропроцесорного керування силовими перетворювачами в автономних системах електроживлення” (№2518, ДР 0102U002214); “Наукові основи та алгоритми інтелектуального керування електротехнічним комплексом локального об'єкта з фотогенераторами” (№2724, ДР 0104U000130).

Мета і задачі наукового дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка енергозберігаючих способів заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами, схем напівпровід-

никових перетворювачів з підвищеною ефективністю заряду і способів адаптивного керування цими перетворювачами.

Поставлена мета потребує вирішення наступних задач:

- аналіз характеристик акумуляторів та методів їх заряду;
- розробка моделі акумуляторної батареї та адаптивного способу заряду;
- розробка алгоритмів адаптивного керування зарядом акумуляторних батарей;
- розробка способів та схем пристроїв для заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом з підвищеною енергоефективністю;
- моделювання та аналіз електромагнітних процесів роботи запропонованих пристроїв.

Об'єкт дослідження – ефективність напівпровідникових перетворювачів заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами.

Предмет дослідження – способи підвищення ефективності напівпровідникових перетворювачів заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами.

Методи дослідження – при виконанні поставлених у роботі задач використовувалися: методи математичного і фізичного моделювання, методи обчислювальної математики, теорія електричних кіл, методи рішення диференціальних рівнянь, математичні методи оцінки проведених досліджень. Основними інструментами дослідження були: пакети Matlab 6, 6.5 та 7, MathCAD 13, а також пакет розгалуження математичної системи Matlab – Simulink 4 та 5.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- на основі аналізу електродних процесів розроблено схемну модель акумулятора, яка враховує поляризаційну складову повного внутрішнього опору та дозволяє розрахувати перехідні процеси при подачі зарядних і розрядних імпульсів струму;
- розроблений новий спосіб використання енергії розрядного імпульсу струму при заряді акумуляторів імпульсним асиметричним струмом дозволяє підвищити ККД зарядних пристроїв акумуляторних батарей на 12–34%;
- запропоновано адаптивний спосіб заряду, який шляхом зміни тривалості зарядних і розрядних імпульсів в залежності від стану акумулятора дозволяє істотно скоротити час заряду.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що наукові положення доведені до ступеню, придатного для практичного використання при розробці мікропроцесорної системи та алгоритмів адаптивного керування зарядом акумуляторів з використанням запропонованого в роботі енергозберігаючого способу заряду.

Розроблені схеми пристроїв для заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом з підвищеною енергоефективністю, що дозволяє подовжити термін експлуатації акумуляторних батарей та зменшити енергоспоживання цих пристроїв і розроблений алгоритм керування адаптивним зарядом.

Результати роботи впроваджені в лабораторній дослідній установці на кафедрі “Промислової електроніки” НТУУ “КПІ”. Розроблена в роботі методика вибору та розрахунку акумуляторних батарей, а також схема електрична принципова передані для використання при конструюванні космічної мікроплатформи МС-Е у ДКБ „Південне” (м. Дніпропетровськ). Основні положення дисертаційної роботи застосовані у мікропроцесорній системі заряду акумуляторних батарей

асиметричним струмом, в якій використаний розроблений алгоритм адаптивного заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом, і у пристрої для формовки свинцевих акумуляторів асиметричним струмом на державному підприємстві „Науково-дослідний інститут „ХЕМЗ”, м. Харків. А також результати дисертаційної роботи впроваджені у системі безперебійного електроживлення гібридної лазерно-дугової технологічної установки для зварювання з мікропроцесорним керуванням, розробленій відділом „Спеціалізованої високовольтної техніки і лазерної технології” Інституту електрозварювання НАН України ім. Є.О. Патона. Теоретичні і практичні результати, отримані в дисертаційній роботі, використовуються при викладанні дисципліни “Сучасні напрямки електроніки” у навчальному процесі на кафедрі промислової електроніки НТУУ “КПІ”.

Особистий внесок автора. Автор самостійно виконав аналіз методів заряду акумуляторних батарей і дослідив вплив поляризації та імпульсних режимів заряду на робочі характеристики акумуляторів. Розробив енергозберігаючі способи заряду акумуляторів імпульсним асиметричним струмом і побудував схемну модель акумулятора з урахуванням електродних процесів, яка враховує поляризаційну складову повного внутрішнього опору і необхідна для організації зворотного зв'язку акумулятора із зарядною системою. Довів адаптивний спосіб заряду до ступеню, придатного для практичного використання в напівпровідникових перетворювачах заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами.

Роботи [2–4] написані особисто; в працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: в роботі [1] – запропоновані енергозберігаючі способи заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом (імпульсним струмом зі зворотнім імпульсом струму); в роботі [5] – проведено моделювання електромагнітних процесів у пристрої для заряду енергоємних акумуляторних батарей; в роботі [6] – запропонований алгоритм роботи зарядного пристрою для проведення дослідження заряд-розрядних характеристик; в роботі [7] – запропонована структурна схема експериментальної установки для дослідження впливу на акумулятор заряду асиметричним струмом; в роботі [8] – запропоновано триланковий пристрій заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом; в роботі [9] – проведено аналіз електромагнітних процесів та оптимізація заряду накопичувального конденсатора.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідалися на семінарах наукової ради НАН України по комплексній проблемі “Наукові основи електроенергетики” (грудень 2003 р., травень 2004 р., жовтень 2004 р., березень 2005 р., жовтень 2005 р., березень 2006 р. та вересень 2006 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Силова електроніка та енергоефективність” (2003–2006, м. Алушта); Міжнародній науково-технічній конференції “Електроенергетичні та електромеханічні системи” (2003, м. Львів); Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми сучасної електротехніки” (2004, м. Київ).

Публікація результатів наукових досліджень. По темі дисертації опубліковано 12 робіт, з них 9 статей в фахових наукових виданнях (з них 3 самостійно), 3 деклараційні патенти України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 163 сторінок, у тому числі 160 сторінок основного тексту, 71 рисунок, 11 таблиць, список використаних джерел з 84 найменувань і 3 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми і доцільність роботи, сформульовані мета і задачі наукового дослідження, викладено зв'язок роботи з державними пріоритетними напрямками та бюджетними темами, викладені наукова новизна і практичне значення результатів досліджень, визначено особистий внесок здобувача, наведені дані про зв'язок роботи з науковими програмами, експерименти, апробацію результатів роботи, публікації та впровадження.

У першому розділі розглянуто області застосування акумуляторів, основні їх типи, проведено порівняння за їх характеристиками та відносною вартістю, проведено дослідження впливу поляризації та імпульсних режимів заряду на якості акумуляторів, приведені схемні моделі заміщення електродних процесів, а також приведені методи заряду та залежність від них терміну служби акумуляторів, сформульовано задачу дослідження.

Розглянуто схемні моделі заміщення акумуляторів і показано, що загальна схемна модель заміщення акумуляторної батареї являє собою складну комбінацію активних опорів, ємностей і в окремих випадках індуктивностей, а тому у більшості випадків може бути визначена лише прямими вимірами.

Проведений аналіз методів заряду показав, що метод заряду імпульсним асиметричним струмом перевершує за якісними показниками інші і дозволяє збільшити термін служби батареї в 1,5–3 рази. Огляд пристроїв заряду акумуляторних батарей імпульсним асиметричним струмом показав, що їх низький ККД стоїть на заваді використання заряду імпульсним асиметричним струмом, хоча такий спосіб заряду дозволяє значно подовжити термін служби батарей, суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища та зменшити фінансові витрати на оновлення парку батарей.

Поставлено задачу розробки та вдосконалення пристроїв і способів заряду акумуляторних батарей імпульсними асиметричними струмами з підвищеною ефективністю та побудови алгоритмів ефективного керування зарядом акумуляторних батарей.

У другому розділі запропонована схемна модель акумулятора на основі розглянутих впливу на характеристики акумулятора імпульсних режимів заряду і перехідних процесів при подачі на акумулятор імпульсу струму; запропонований алгоритм ідентифікації параметрів схемної моделі акумулятора; проведено порівняння розрахункових кривих перехідних напруг з експериментальними; запропоновано адаптивний спосіб заряду і алгоритм керування ним.

При подачі на акумулятор одиночного імпульсу струму виникає відповідний імпульс напруги, форма якого може бути різною залежно від типу акумулятора, ступеня його зарядженості, а також від тривалості й амплітуди струмового імпульсу. Форма імпульсів напруги не залишається незмінною в процесі заряду акумулятора, а зазнає певних змін. У всіх випадках імпульс напруги складається із двох складових – миттєвого викиду напруги в момент включення й, відповідно, вимикання струму, і ділянки, що відносно повільно змінюється в часі. Миттєва компонента являє собою омичне спадання напруги в електроліті між електродами. Повільна компонента відображує процеси, що відбуваються безпосередньо на електродах акумулятора. При подачі струмового імпульсу більш-менш швидке наростання поляризаційної складової, після вимикання струму – поступовий спад поляризації.

Для створення схемної моделі акумулятора розглянута кінетика електродних процесів при дії на акумулятор імпульсу струму. Для цього у роботі було розглянуто процеси у пористому електроді, які описуються рівнянням:

$$\sigma_{ef} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x^2} - C \frac{\partial \eta}{\partial t} - S \cdot i_0 \cdot f(\eta) = 0 \quad (1)$$

де η – поляризація, В; C – питома ємність подвійного шару на пористому електроді, $\Phi/\text{см}^2$; σ_{ef} – ефективна провідність електроліту в порах електроду, $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$; S – питома поверхня електроду; i_0 – струм обміну електродного процесу, А; $f(\eta)$ – функція, яка визначає струм розряду в залежності від поляризації. Ввівши безрозмірні величини для поляризації, поляризаційного струму, лінійного розміру і часу: $\psi = \eta/b$; $J = I/I_0$; $X = x/x_l$; $\theta = t/\tau$; де $x_l = \sqrt{\sigma_{ef} \cdot b / 2Si_0}$; $I_0 = \sigma_{ef} \cdot b / x_l = \sqrt{2Si_0 \sigma_{ef} \cdot b}$; $\tau = bC / 2Si_0 = bC' / 2i_0$ (C' – ємність подвійного шару на 1 см^2 поверх-

ні), отримуємо рівняння (1) в безрозмірних величинах:
$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} - \frac{\partial \psi}{\partial \theta} - \psi = 0 \quad (2)$$

Розв'язавши яке отримуємо для двох крайніх випадків приведеної товщини наступні рівняння і побудовані з них криві заряду пористих електродів:

– для електроду необмеженої товщини (при $\delta \rightarrow \infty$):
$$\psi_{0,\theta} = J_s \operatorname{erf} \sqrt{\theta}. \quad (3)$$

– для електроду з малою приведеною товщиною маємо звичайне рівняння кривої заряду плоского електроду (при $\delta \rightarrow 0$):
$$\psi_{0,\theta} = \psi_\infty [1 - \exp(-\theta)]. \quad (4)$$

На рис. 1 зображені криві заряду пористих електродів для крайніх випадків товщини ($\delta \rightarrow \infty$ і $\delta \rightarrow 0$), розраховані за формулами (3) та (4). Для проміжних випадків приведеної товщини криві заряду будуть знаходитись у проміжку між кривими крайніх випадків.

Для того, щоб отримати наочне уявлення про те, як впливає на структуру перехідного процесу зміна опору на електродній поверхні, потрібно перерахувати графіки перехідних процесів для умов постійного

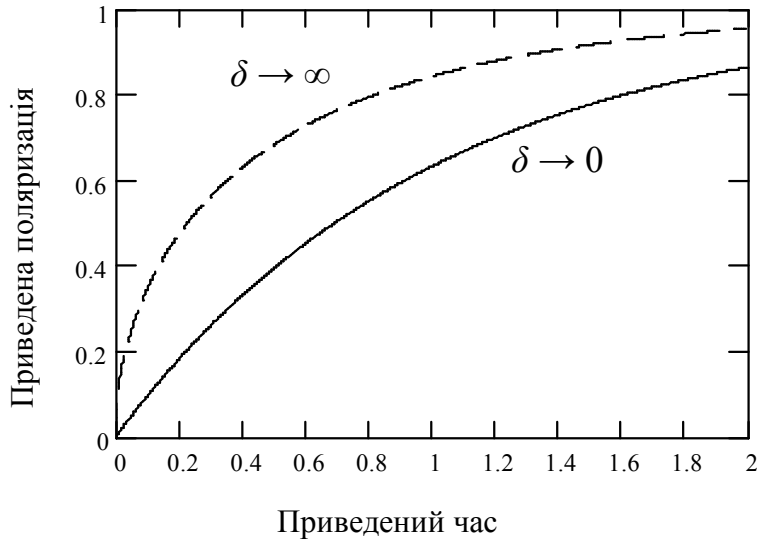


Рис. 1

поляризуючого імпульсу, але різної величини опору на електродній поверхні. Вираз, що описує криву заряду пористого електроду для певної приведеної товщини при подачі на акумуляторну батарею імпульсу струму, має наступний вигляд [2]:

$$E = I \cdot l \rho \cdot \left\{ \frac{\coth \delta}{\delta} - \frac{1}{\delta^2} \exp(-T\delta^2) - \frac{2}{\delta^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left(1 + \frac{\pi^2}{\delta^2} n^2 \right)^{-1} \exp \left[- \left(1 + \frac{\pi^2}{\delta^2} n^2 \right) \cdot T\delta^2 \right] \right) \right\}, \quad (5)$$

де ρ – опір електроліту в порах електрода, Ом·м; δ – приведена товщина електрода; I – щільність струму через електрод, А/м²; l – довжина електрода, м.

Приведена (безрозмірна) товщина електрода δ : $\delta = l \cdot \sqrt{2S\rho/R}$, де

S – питома поверхня матеріалу електрода; R – опір плівки поверхні електродного матеріалу; C – електрична ємність на поверхні електродного матеріалу.

Приведений час θ пропорційний квадрату приведеної товщини: $\theta = T \cdot \delta^2$, де $T = t / (\rho C S l^2)$.

Результати розрахунків по формулі (5) показані на рис. 2. Криві розраховані для наступних значень параметрів: $S = 10^5 \text{ м}^{-1}$, $C = 0.2 \text{ Ф/м}^2$, $l = 10^{-3} \text{ м}$, $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $I = 10 \text{ А/м}^2$, R , відповідно, для кривих а), б), в), г): 50, 2, 0.5, 0.125 Ом·м²; значення приведеної товщини електродів δ для кривих а), б), в), г) відповідно: 0.2, 1, 2, 4. На електродах з великою приведеною товщиною, яким відповідає малий поляризаційний опір матеріалу електрода, поляризація швидко досягає стаціонарного значення й далі вже не змінюється – крива проходить горизонтально. При відносно великих величинах поляризаційного опору (при малих δ) крива виходить на майже прямолінійну похилу ділянку.

Форма кривої наростання поляризації при подачі струмового імпульсу дає інформацію про характер процесів, що протікають в електродах акумулятора. Коли поляризаційний опір на поверхні часток електродного матеріалу відносно малий й, відповідно, мала ефективна глибина поширення процесу, то може спостерігатися «пошаровий» режим заряду. Область заряду в цьому режимі поширюється фронтально від поверхні в глибину електрода. Пошаровому режиму заряду відповідає крива заряду, що характеризується швидким виходом на стаціонарний рівень поляризації (рис. 2, крива г). Інший крайній випадок спостерігається, якщо поверхневий опір на частках активного матеріалу порівняно великий. При цьому ефективна глибина проникнення процесу велика й значно перевищує реальну товщину електрода. У цих умовах інтенсивність процесу усередині електрода розподіляється практично рівномірно. Електрод працює в «об'ємному» режимі. Крива заряду в цьому режимі характеризується безперервним наростанням потенціалу приблизно за лінійним законом (рис. 2, крива а).

На основі проведеного аналізу відгуків напруги на імпульс струму у роботі запропонована схемна модель (рис. 3), у якій враховані основні необхідні параметри для моделювання швидких перехідних процесів, що відбуваються в акумуляторі при подачі на нього імпульсу струму і необхідна для організації зворотного зв'язку акумулятора із зарядною системою, що дозволить точно і оптимально керувати процесом заряду, а саме – змінювати довжини імпульсів зарядного струму в залежності від стану акумулятора. Схема складається з двох увімкнених паралельно гілок: до

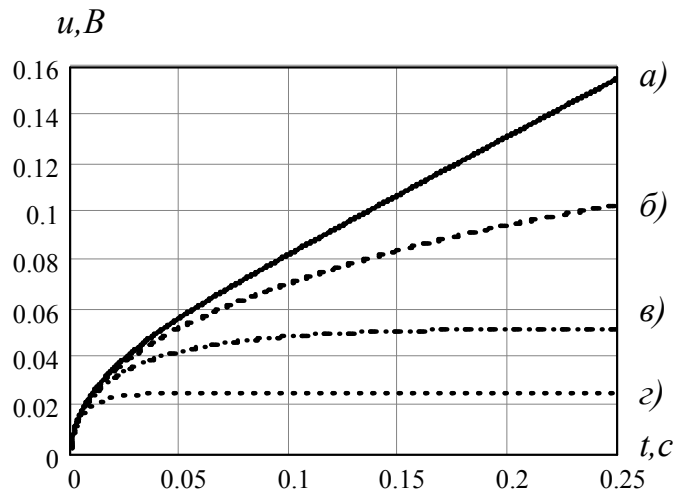


Рис. 2

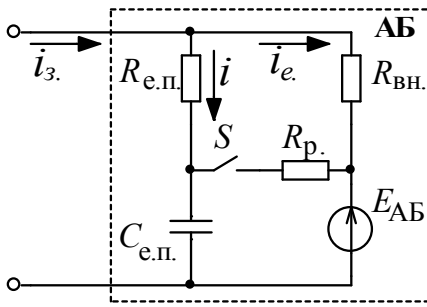


Рис. 3

паралельно опорам $R_{e.п.}$ та $R_{вн.}$ після вимкнення зарядного імпульсу.

Для знаходження параметрів моделі потрібно знати сталу часу перехідного процесу. Оскільки схема заміщення акумулятора залежить від його типу, стану зарядженості та віку, то аналітично визначити усталене значення складно. Для визначення моменту завершення перехідного процесу доцільно користуватися виразом для знаходження відношень приростів:

$$\delta = \frac{u(k \cdot T) - u[(k-1) \cdot T]}{u(T) - u_{(0)}}, \quad (6)$$

де T – період квантування, c ; а $k \in Z$. При відношенні приростів $\delta \leq 0,05$ перехідний процес можна вважати таким, що закінчився. Постійну часу знаходять із виразу: $\tau = -kT / \ln \delta$. (7)

Визначивши значення постійної часу проводимо ідентифікацію параметрів схемної моделі акумулятора.

Форма імпульсу зарядного струму (*a*), що подається на акумулятор, та форма імпульсу напруги (*б*), що виникає при цьому на акумуляторі зображена на рис. 4. При подачі імпульсу струму необхідно вимірювати напругу на акумуляторі на початку та в кінці перехідного процесу ($u_{(0)}$, $u_{(\infty)}$), напругу холостого ходу акумулятора (або напругу на акумуляторі, що знаходиться у спокої $u_{сп.} =$

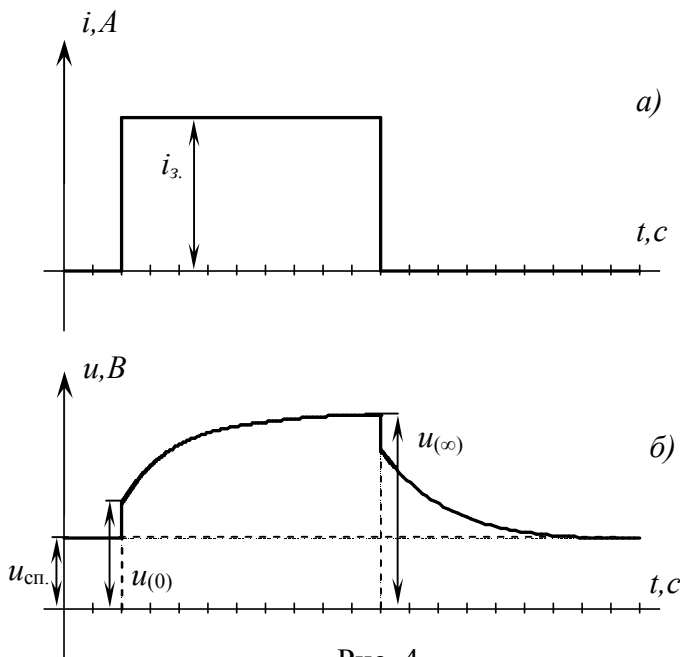


Рис. 4

$E_{АБ}$), зарядний струм (i_3) і сталу часу перехідного процесу τ . За виконання умови закінчення перехідного процесу знаходимо всі параметри моделі акумулятора.

Внутрішній опір:

$$R_{вн.} = (u_{(\infty)} - E_{АБ}) / i_3. \quad (8)$$

Еквівалентний струм у гілці з джерелом напруги і внутрішнім опором:

$$i_{e.(0)} = (u_{(0)} - E_{АБ}) / R_{вн.} \quad (9)$$

Струм $i_{e.п.}$ у початковий момент подачі імпульсу струму у гілці з опором та ємністю ($R_{e.п.}$, $C_{e.п.}$), які враховують електродні процеси:

$$i_{(0)} = i_3 - i_{e.(0)}. \quad (10)$$

$$\text{Опір електродних процесів:} \quad R_{\text{е.п.}} = \left(u_{(0)} - E_{\text{АБ}} \right) / i_{(0)}. \quad (11)$$

$$\text{Ємність електродних процесів:} \quad C_{\text{е.п.}} = \tau / \left(R_{\text{вн.}} + R_{\text{е.п.}} \right). \quad (12)$$

У випадку, коли стала часу перехідного процесу при подачі зарядного імпульсу більша за сталу часу перехідного процесу при вимкненні зарядного імпульсу у модель вводиться додатковий опір розряду, який вмикається ключем S паралельно опорам $R_{\text{е.п.}}$ та $R_{\text{вн.}}$ після вимкнення зарядного

$$\text{імпульсу і розраховується за формулою:} \quad R_p = \frac{\left(R_{\text{е.п.}} + R_{\text{вн.}} \right) \cdot \tau_p / C_{\text{е.п.}}}{\left(R_{\text{е.п.}} + R_{\text{вн.}} \right) - \tau_p / C_{\text{е.п.}}}. \quad (13)$$

Визначені параметри моделі дозволяють прогнозувати час завершення перехідного процесу, побудувати теоретичні графіки перехідних процесів на акумуляторній батареї і порівняти їх із значеннями, отриманими на практиці. Для оптимізації ресурсів обчислювальної системи також можна корегувати період квантування T в залежності від часу перехідного процесу τ , значення якого ми отримуємо слідкуючи за закінченням перехідного процесу.

У випадку, коли імпульс струму перервали до того, як перехідний процес закінчився, значення напруги в усталеному режимі $u_{(\infty)}$ не буде отримано, а отже буде неможливо скористатися запропонованою вище методикою розрахунку параметрів схемної моделі акумулятора. Значення напруги в усталеному режимі $u_{(\infty)}$ розраховуємо методами обчислювальної математики:

$$u_{(\infty)} = \frac{u(T)u(kT) - 2u_{(0)}u(kT) + u_{(0)}u[(k-1)T]}{u(T) - u_{(0)} - u(kT) + u[(k-1)T]}. \quad (14)$$

За допомогою отриманих схемної моделі акумулятора та розрахункових формул побудовані графіки форми імпульсів напруги для різних типів акумуляторів (свинцево-кислотного, Ni-Cd, Li-ION фірми Motorola, Li-ION фірми Toshiba, Ni-MH) при дії на них імпульсу струму, а також проведено порівняння з експериментальними даними відгуків напруги для різних типів акумуляторів при дії на них імпульсу струму.

На рис. 5, *а* зображена осцилограма відгуку напруги на імпульс струму на свинцево-кислотному акумуляторі. Із осцилограми (рис. 5, *а*) визначені сталі часу перехідного процесу і усталене значення напруги, з яких по запропонованій методиці розраховані параметри схемної моделі свинцево-кислотного акумулятора. На рис. 5, *б* зображена розрахована форма імпульсу відгуку напруги на імпульс струму. Для порівняння розрахованої форми імпульсу напруги і осцилограми відгуку напруги на імпульс струму криві були накладені одна на одну і зображені на рис. 5, *в*.

Сталі часу перехідного процесу, визначені із осцилограми на рис. 5, *а*:

$$\begin{aligned} \text{– стала часу зарядного імпульсу:} & \quad \tau_3 = 1,035 \text{ мс;} \\ \text{– стала часу розрядного імпульсу:} & \quad \tau_p = 0,2 \text{ мс.} \end{aligned}$$

Параметри схемної моделі свинцево-кислотного акумулятора, розраховані за запропонованою методикою:

$$\begin{aligned} \text{– напруга на акумуляторі у стані спокою:} & \quad E_{\text{АБ}} = 12,45 \text{ В;} \\ \text{– внутрішній опір:} & \quad R_{\text{вн.}} = 1,11 \text{ Ом;} \\ \text{– опір електродних процесів:} & \quad R_{\text{е.п.}} = 0,041 \text{ Ом;} \end{aligned}$$

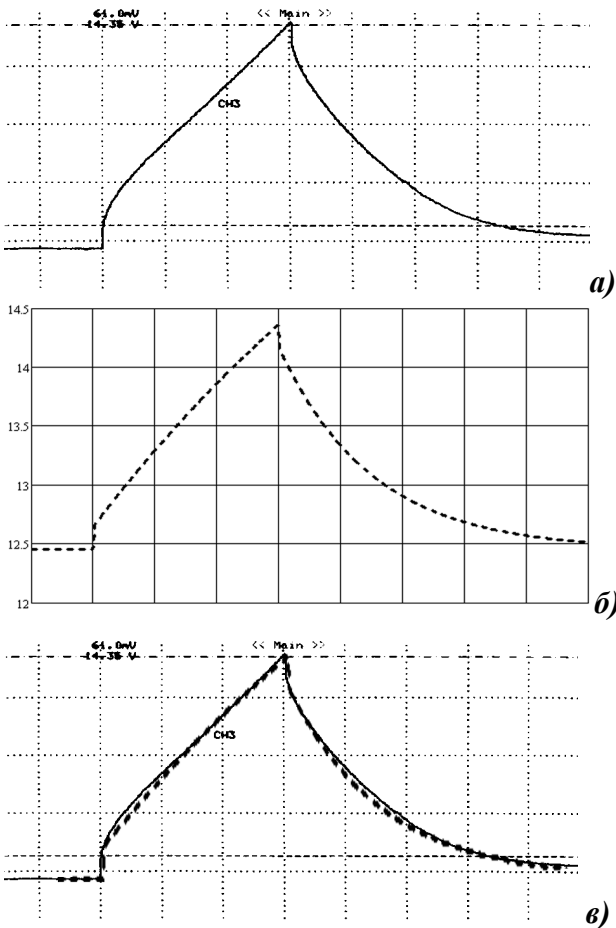


Рис. 5

Такі самі розрахунки були проведені у роботі для Ni-Cd, Li-ION фірми Motorola, Li-ION фірми Toshiba, Ni-MH акумуляторів.

Для забезпечення адаптивного заряду акумуляторної батареї потрібно стежити за перехідним процесом та з його завершенням припиняти формування зарядного (розрядного) імпульсу струму і починати формування розрядного (зарядного) імпульсу струму (рис. 6). Це пояснюється тим, що якщо тривалість імпульсу зарядного струму (t_3) істотно коротше часу перехідного процесу на електроді ($t_{п.п.з}$), то через електрод буде протікати в основному нефарадеевський ємнісний струм, що не дає приросту запасу хімічної енергії в електроді. У випадку, коли імпульс зарядного струму

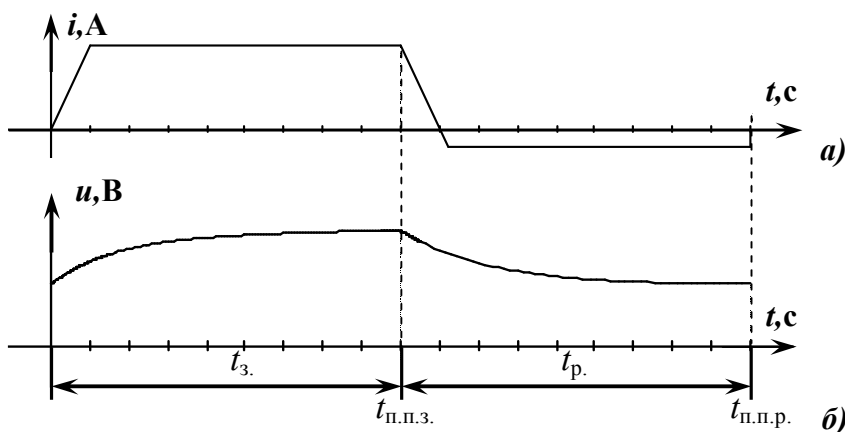


Рис. 6

– ємність електродних процесів:

$$C_{e.п.} = 898,7 \text{ мкФ};$$

– опір розряду: $R_p = 0,276 \text{ Ом}$.

Для оцінки точності проведених розрахунків і запропонованої методики ідентифікації параметрів схемної моделі із розрахованих і експериментальних значень напруг розраховано наступні параметри:

– середнє арифметичне всіх визначень:

$$\Delta u_c = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \Delta u_i = -3,071 \cdot 10^{-3} \text{ В};$$

– середньоквадратичне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n-1} (\Delta u_i - \Delta u_c)^2}{(n-1)}} = 4,223 \cdot 10^{-3};$$

– коефіцієнт варіації:

$$V = \left| \frac{S}{\Delta u_c} \cdot 100\% \right| = 1,375\%;$$

– максимальне абсолютне відхилення:

$$\Delta u_{\max} = 0,012;$$

– максимальне відхилення у відсотках:

$$\Delta u_{\max} = 1,2\%.$$

буде набагато триваліше $t_{п.п.з}$. всі передбачувані переваги будуть тією чи іншою мірою втрачатися і імпульсний режим буде наближатися до звичайного постійнострумового. Тривалість імпульсу розрядного струму (t_p) не повинна бути істотно коротше часу перехідного процесу на електроді ($t_{п.п.р}$), тому що в

цьому випадку буде проявлятися ефект нагромадження залишкової напруги, в результаті якого напруга на акумуляторі, що заряджається, буде постійно наростати аж до досягнення неприпустимої межі. З іншого боку, імпульс розрядного струму не повинен бути набагато триваліше часу $t_{п.р.}$, тому що в цьому випадку будуть наявні втрати корисної енергії, накопиченої в акумуляторі. Тривалості імпульсів зарядного/розрядного струму повинні постійно корегуватися в залежності від тривалості перехідних процесів на електроді, які в залежності від типу, стану зарядженості та віку акумуляторної батареї будуть постійно змінюватись.

Для керування адаптивним зарядом розроблений алгоритм, блок схема якого зображена на рис.7. Алгоритм потрібно корегувати та доповнювати в залежності від типу акумулятора, типу зарядного пристрою і методу заряду (імпульсного, або імпульсного асиметричного).

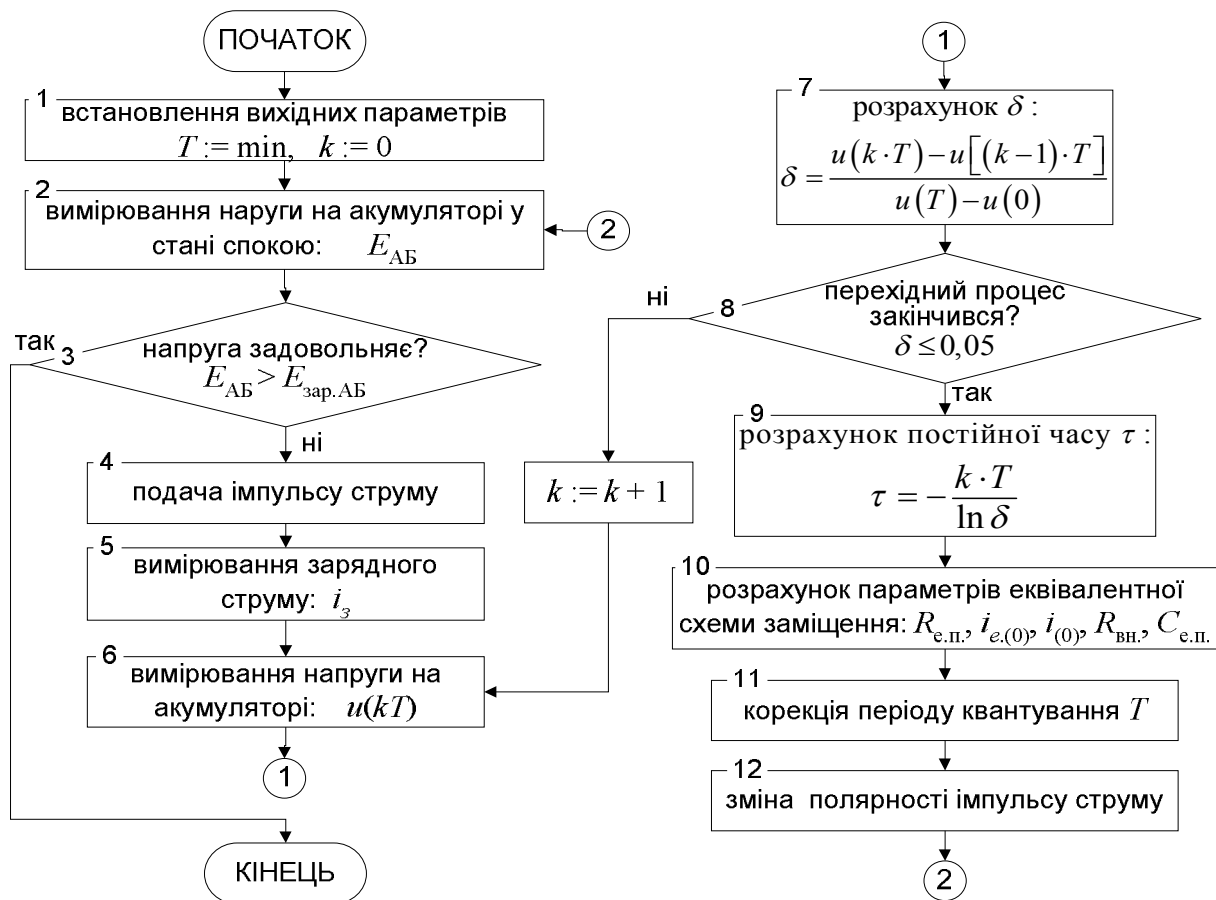


Рис. 7

У третьому розділі розглянуті можливі способи підвищення ККД пристроїв заряду, запропоновано способи заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами з підвищеною ефективністю і проведено порівняння ККД пристроїв заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами.

Сутність запропонованого енергозберігаючого способу заряду полягає у збереженні енергії імпульсу розрядного струму в процесі заряду і подальшим її використанням для формування імпульсу зарядного струму, або використанні енергії імпульсу розрядного струму для живлення корисного навантаження, чи заряду іншої батареї, що дозволяє підвищити ККД пристроїв. В зале-

жності від місця використання пропонуються наступні способи реалізації енергозберігаючого способу заряду акумуляторних батарей імпульсним асиметричним струмом:

- спосіб заряду акумулятора зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму в накопичувальному реактивному елементі [9, 10];
- спосіб заряду групи акумуляторів з використанням енергії імпульсу розрядного струму для заряду іншої акумуляторної батареї [4, 11];
- спосіб заряду акумуляторної батареї в буферному режимі з використанням енергії імпульсу розрядного струму для живлення корисного навантаження [3].

Схема зарядного пристрою, у якому використовується *спосіб заряду акумулятора зі збереженням енергії імпульсу розрядного струму в накопичувальному реактивному елементі*, представлена на рис. 8.

Напряга (E) надходить на формувач зарядного імпульсу (ФЗІ), що створює імпульс струму необхідної амплітуди. На рис. 9 показані результати моделювання системи заряду батареї ємністю 50 А·год. Амплітуда зарядних імпульсів i_z не перевищувала 5 А (рис. 9, а). У проміжках між зарядними імпульсами формувачем розрядного імпульсу (ФРІ) (рис. 8) створюється імпульс розрядного струму (рис. 9, а, інтервал часу t_1-t_2), енергія якого накопичується в накопичувальному реактивному елементі (НРЕ) $C_{\text{нак}}$ (рис. 9, б, інтервал часу t_1-t_2), з якого потім (рис. 9, після моменту часу t_3) передається через ФЗІ під час формування імпульсу зарядного струму (рис. 9, б, в, інтервал часу t_3-t_4) в акумуляторну батарею (АБ) (рис. 9, а, інтервал часу t_3-t_4).

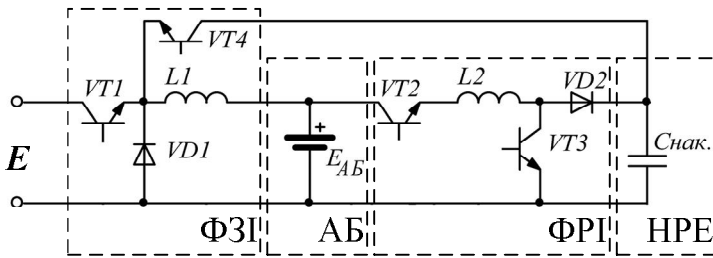


Рис. 8

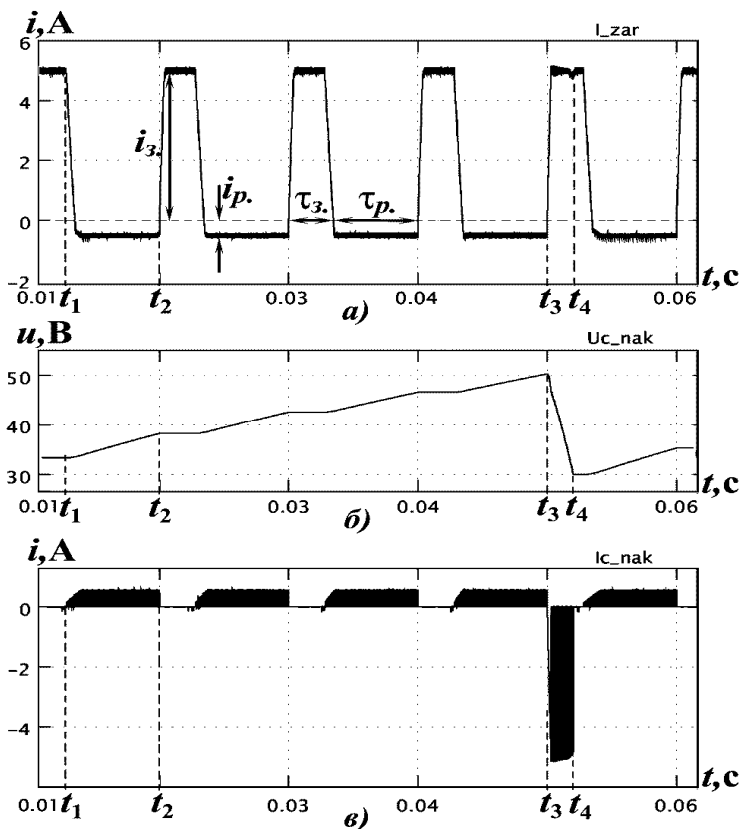


Рис. 9

За рахунок того, що енергія розрядного імпульсу зберігається у накопичувальному конденсаторі забезпечується підвищення ККД зарядного пристрою.

Також розглянуто питання вибору величини ємності накопичувального конденсатора $C_{\text{нак}}$ і його заряд за мінімальний час, оскільки це дозволить ефективно зберегти енергію імпульсу розрядного струму.

Структурна схема, що реалізує *спосіб заряду групи акумуляторів з*

використанням енергії імпульсу розрядного струму для заряду іншої акумуляторної батареї під час формування для нього зарядного імпульсу, наведена на рис. 10. Енергія імпульсу розрядного струму $АБ_n$, для якого $ФРІ_n$ формує розрядний імпульс, доповнює струм, отриманий з мережі живлення E , і використовується $ФЗІ_1$ для формування імпульсу зарядного струму для $АБ_1$. Таким чином, енергія струму розрядного імпульсу не втрачається, а передається в наступні ланки.

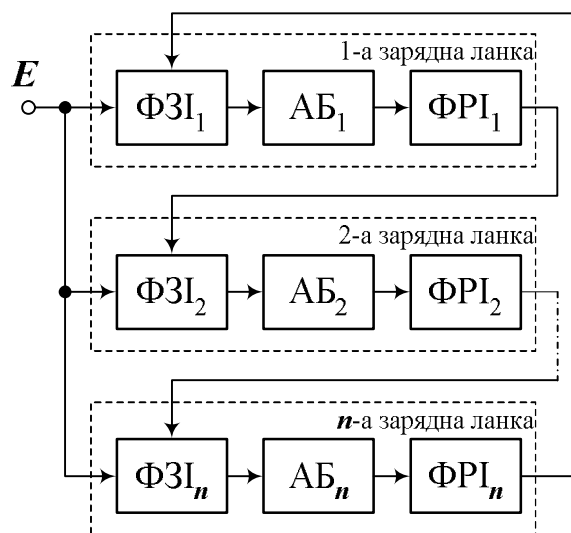


Рис. 10

На рис. 11 представлені результати моделювання, що пояснюють роботу пристрою, з яких видно, що для формування струму заряду акумуляторної батареї ($i_{зар.}$) широтно-імпульсним перетворювачем, струм мережі живлення (i_m) доповнюється струмом розрядного імпульсу акумулятора, для якого формується в цей момент імпульс розрядного струму. На рис. 11 заштриховані області, що відповідають додатковому струму розрядного імпульсу, які відповідають 10-12% енергії, споживаної із джерела живлення.

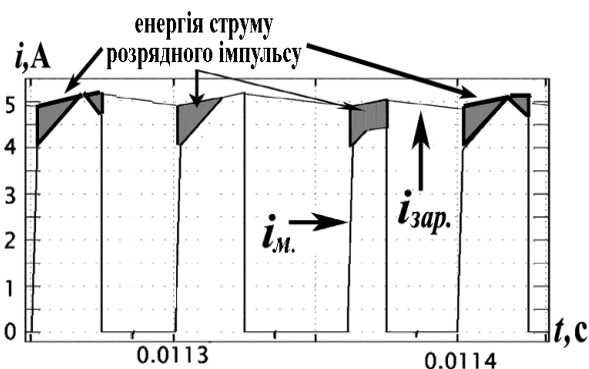


Рис. 11

Схема зарядного пристрою з використанням способу заряду акумуляторної батареї в буферному режимі з використанням енергії імпульсу розрядного струму для живлення корисного навантаження, наведена на рис. 12. Імпульс розрядного струму, сформовано $ФРІ$, додається до струму, отриманого з мережі живлення через $ФЗІ$, і використовується для живлення навантаження (H). Таким чином, акумуляторна батарея ($АБ$), працюючи в буферному режимі, заряджається імпульсним асиметричним струмом й одночасно забезпечує живлення навантаження.

Як приклад на рис. 13, а наведена діаграма струму заряду акумуляторної батареї. Як видно з рис. 13, в (інтервал часу t_2-t_3), споживання струму з мережі живлення знижується під час формування імпульсу розрядного струму (рис. 13, а, інтервал часу t_2-t_3), тому що енергія імпульсу розрядного струму передається в навантаження, тим самим зменшуючи споживання енергії від основного джерела живлення. На-

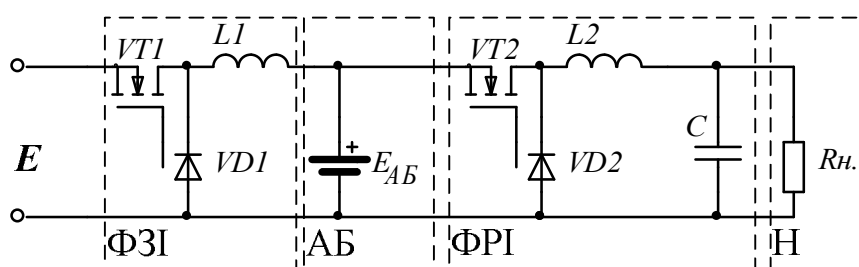


Рис. 12

пруга навантаження u (рис. 13, б) залишається стабільною як під час формування імпульсів зарядного (інтервал часу t_1-t_2) і розрядного струмів (інтервал часу t_2-t_3), так і під час відключо-

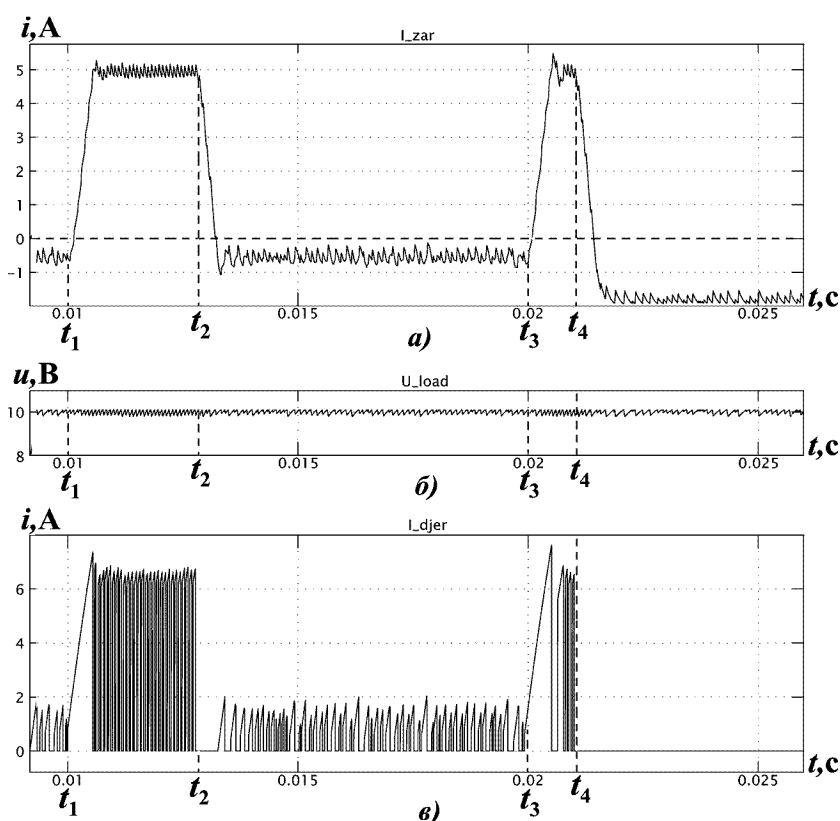


Рис. 13

чення основного джерела живлення (момент часу t_4), після якого живлення навантаження здійснюється від акумуляторної батареї.

Із результатів проведеного порівняльного аналізу ККД пристроїв заряду акумуляторних батарей імпульсним асиметричним струмом видно, що загальне збільшення ККД пристроїв, в яких використовуються запропоновані енергозберігаючі способи заряду асиметричним струмом і імпульсні методи регулювання, у порівнянні з існуючими пристроями, сягає 12–34%. Також запропоновані в даному розділі

пристрої заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом мають на даному етапі розвитку сучасних систем заряду досить високий показник ККД, який складає за попередніми оцінками 82–94%.

У четвертому розділі проведено моделювання напівпровідникових перетворювачів з підвищеною ефективністю заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами з використанням адаптивного способу заряду і розробленої схемної моделі акумулятора за допомогою прикладного комп'ютерного пакету розгалуження математичної системи MATLAB – Simulink, проведено порівняння часу заряду звичайним способом заряду імпульсним асиметричним струмом з часом заряду адаптивним способом.

На рис. 14 зображені результати моделювання схеми, зображеної на рис. 8 з використанням розробленої схемної моделі акумулятора, зображеної на рис. 3, і з використанням розробленого алгоритму керування адаптивним зарядом, зображеним на рис. 7.

Тривалість імпульсів зарядного і розрядного струмів корегується в залежності від стану акумулятора. В даному випадку параметри схемної моделі акумулятора розраховані виходячи з експериментальних даних. Таким чином можна стверджувати, що схемна модель відповідає дійсності, що і було доведено в роботі. Для знаходження співвідношення часів заряду потрібно прирівняти ємності, що надаються акумулятору. Прирівнявши ємності, отримуємо формулу для знаходження співвідношення часів заряду:

$$\frac{t}{t_a} = \frac{(i_3 t_{3.a} - i_p t_{p.a}) / T_a}{(i_3 t_3 - i_p t_p) / T} \quad (15)$$

де i_3 – амплітуда імпульсу зарядного струму ($i_3=5A$); i_p – амплітуда імпульсу розрядного струму ($i_p=0,5A$); $i_3=10i_p$ – співвідношення амплітуд імпульсів зарядного і розрядного струмів; t_3 – час

імпульсу зарядного струму ($t_3=3,33\text{мс}$); t_p – час імпульсу розрядного струму ($t_p=6,67\text{мс}$); $t_{3,a}$ – час імпульсу зарядного струму при адаптивному заряді ($t_{3,a}=5,15\text{мс}$); $t_{p,a}$ – час імпульсу розрядного струму при адаптивному заряді ($t_{p,a}=3,15\text{мс}$); T – тривалість періоду ($T= t_3+ t_p=10\text{мс}$); T_a – тривалість періоду при адаптивному заряді ($T_a= t_{3,a}+ t_{p,a}=8,3\text{мс}$); t – час заряду; t_a – час заряду адаптивним методом.

Підставивши всі значення у вираз (15), отримуємо співвідношення часу заряду до часу заряду адаптивним методом, яке відображає у скільки разів скоротився час заряду: $\frac{t}{t_a}=2,2$. Значне скорочення часу заряду (в 2,2 рази) досягається за рахунок того, що під час формування розрядного імпульсу акумулятор не буде розряджатися більше необхідного обґрунтованого рівня і, відповідно, непотрібно відновлювати енергію, яка втрачається у випадку розряду більше зазначеного необхідного обґрунтованого рівня.

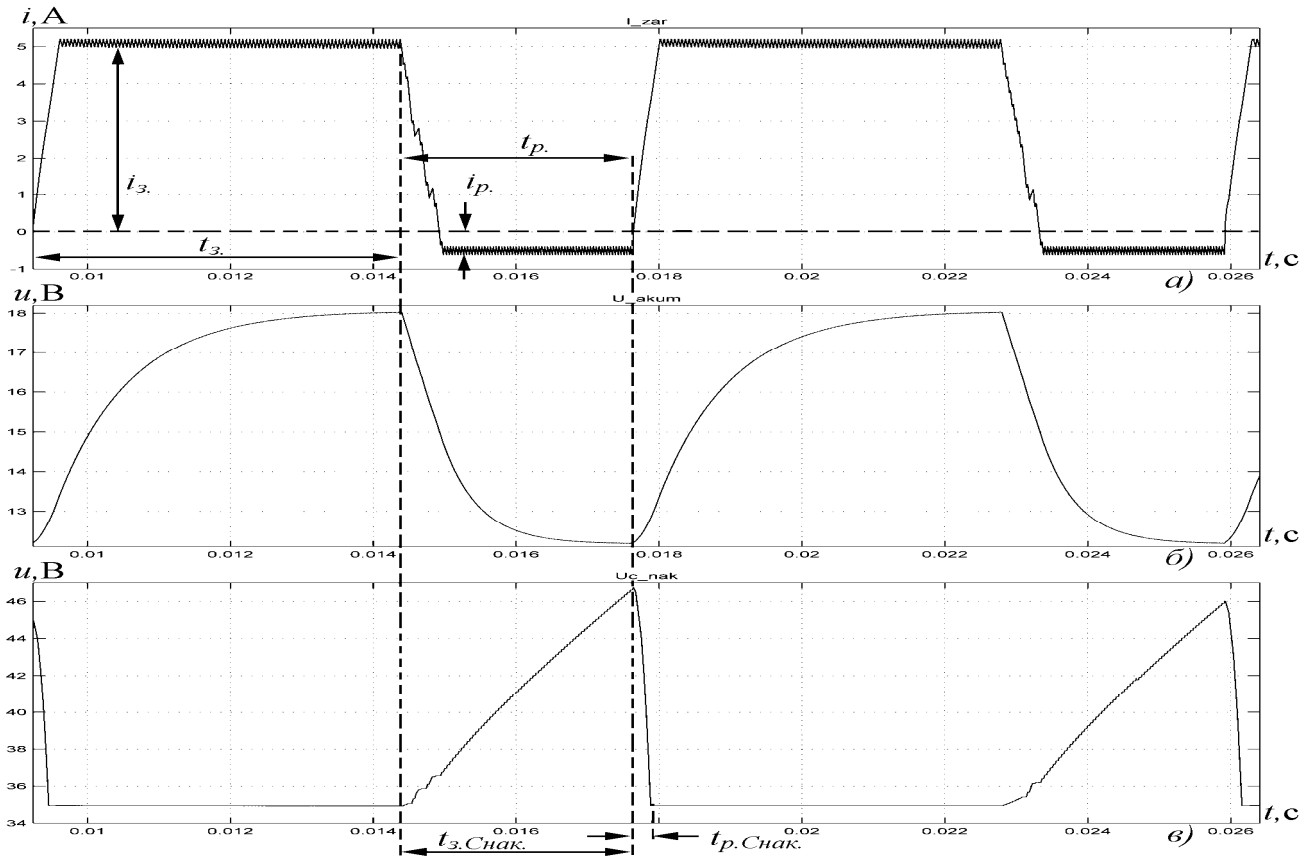


Рис. 14

На рис. 15 зображені результати моделювання схеми, створеної на основі запропонованого способу заряду групи акумуляторів, з використанням енергії імпульсу розрядного струму для заряду іншої акумуляторної батареї (структурна схема зображена на рис. 10). При моделюванні використовувались розроблена схемна модель акумулятора і розроблений алгоритм керування адаптивним зарядом. Співвідношення часу заряду до часу заряду адаптивним способом: $\frac{t}{t_a}=1,8$.

Триланковий та дволанковий пристрої були створені в роботі у якості прикладу реалізації способу заряду імпульсним асиметричним струмом групи акумуляторів з використанням енергії імпульсу розрядного струму для заряду іншої акумуляторної батареї. При створенні багатоланкових пристроїв на основі запропонованого способу потрібно враховувати тип акумуляторів і співвідношення часу перехідних процесів при формуванні зарядного імпульсу струму і розрядного, а також можливість реалізації у конкретній системі.

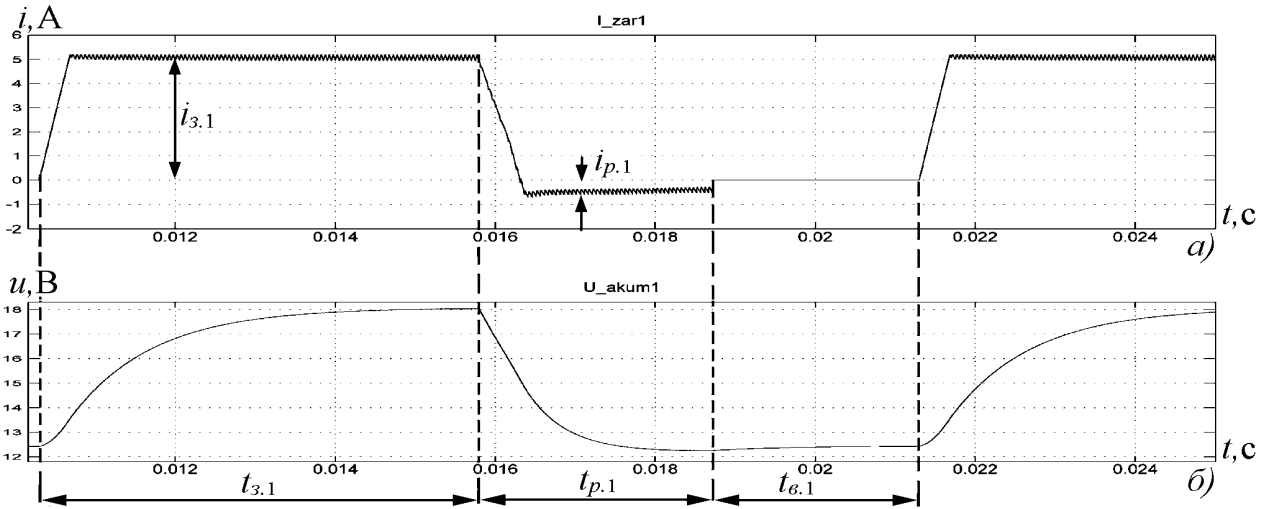


Рис. 15

На рис. 16 зображені результати моделювання схеми, зображеної на рис. 12, з використанням розробленої схемної моделі акумулятора (рис. 3) і з використанням розробленого алгоритму керування адаптивним зарядом, (рис. 7).

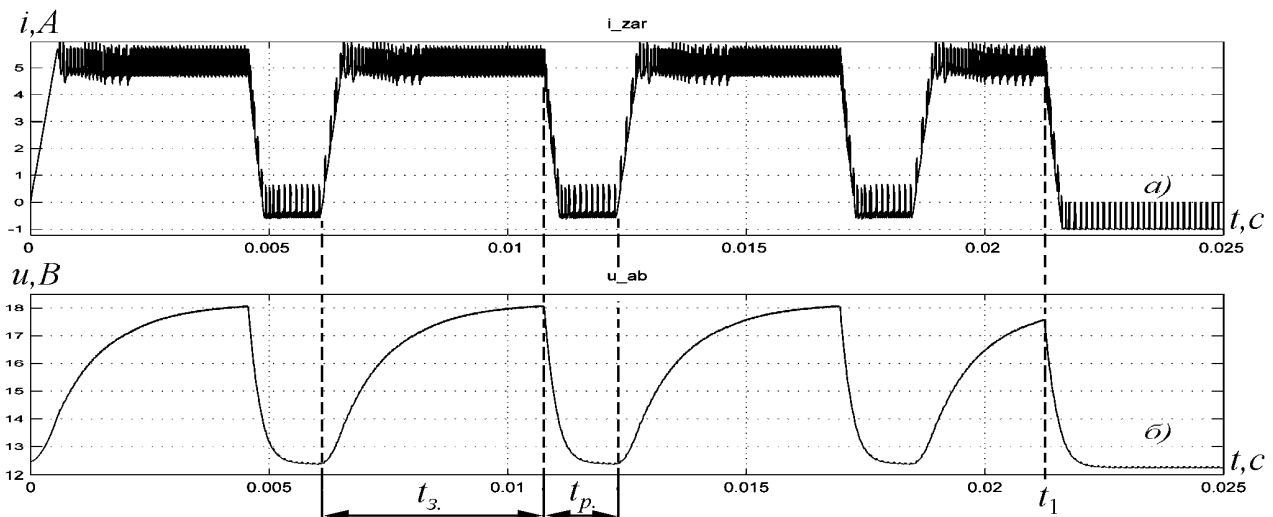


Рис. 16

Як і в попередніх пристроях, тривалість імпульсів зарядного і розрядного струмів корегується в залежності від стану акумулятора. Порівнюючи тривалість імпульсів зарядних і розрядних струмів з запропонованими для пристроїв з фіксованою довжиною імпульсів, можна твердити для

випадку, що розглядається, про додаткове підвищення ККД заряду, оскільки тривалість зарядного імпульсу струму при адаптивному заряді більше у 1,4 рази, ніж у запропонованому пристрої, а розрядного – у 4,3 рази менше. Також зменшується час заряду в 2,7 рази. Для знаходження співвідношення часів заряду для буферного пристрою заряду використовувалась формула (15).

У п'ятому розділі розглянута експериментальна установка для дослідження впливу заряду імпульсним асиметричним струмом на тривалість життя акумуляторів, пристрій заряду акумуляторної батареї в експериментальній системі електроживлення з альтернативними джерелами енергії і зарядний пристрій акумуляторної батареї в підсистемі електропостачання космічної мікроплатформи МС-Е.

В роботі розроблені структурна схема (рис. 17), схема електрична принципова [7], друкована плата і алгоритм роботи експериментальної установки для дослідження впливу заряду імпульсним асиметричним струмом на тривалість життя акумуляторів [6]. Запропонована методика обробки експериментальних досліджень [6].

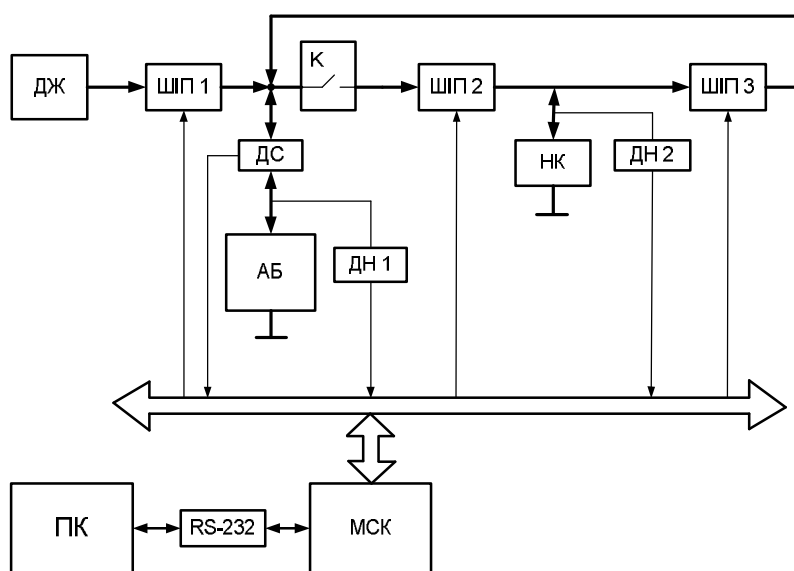


Рис. 17

Експериментальна установка складається з наступних функціональних елементів: *ДЖ* – джерело живлення; *ШПГ1– ШПГ3* – широтно-імпульсні перетворювачі; *ДС* – датчик струму; *ДН1, ДН2* – датчики напруги; *АБ* – акумуляторна батарея; *К* – ключ комутатор; *НК* – накопичувальний конденсатор; *МСК* – мікропроцесорна система керування; *ПК* – персональний комп'ютер.

Описане застосування розробленого пристрою заряду акумуляторної батареї в експериментальній системі електроживлення з альтернативними джерелами енергії, її структурна схема та принцип роботи.

В роботі розроблений зарядний пристрій акумуляторної батареї для застосування в підсистемі електропостачання космічної мікроплатформи МС-Е, його структурно-функціональна схема, схема електрична принципова. Запропонована методика розрахунку параметрів АБ, яка дозволяє вибрати для космічної мікроплатформи батарею з мінімальною вагою та необхідними параметрами, що зменшує витрати на виведення супутника на орбіту.

В додатках наведені акти впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво та навчальний процес.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблено енергозберігаючі способи та схеми напівпровідникових перетворювачів для заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами з підвищеною ефективністю в яких раціонально використовується енергія розрядного імпульсу струму. Розроблено адаптивний спосіб заряду, який шляхом зміни тривалості зарядних і розрядних імпульсів в залежності від стану акумулятора дозволяє істотно скоротити час заряду. Розроблена схемна модель акумулятора, яка враховує поляризаційну складову повного внутрішнього опору та дозволяє розрахувати перехідні процеси при подачі зарядних і розрядних імпульсів струму. Отримані нові науково обґрунтовані результати в сукупності є суттєвими для розвитку пристроїв електроживлення, в яких використовуються акумулятори.

Основні результати дисертаційної роботи:

1. Проведено аналіз характеристик акумуляторів та методів їх заряду і обґрунтовано необхідність використання заряду імпульсними асиметричними струмами, оскільки він перевищує за якісними показниками інші і дозволяє збільшити термін служби батареї в 1,5–3 рази, що дозволить суттєво зменшити забруднення навколишнього середовища та зменшити фінансові витрати на оновлення парку батарей.
2. Розроблена схемна модель акумулятора, створена на основі проведеного аналізу перехідних процесів, що виникають при подачі імпульсу струму на акумулятор, враховує поляризаційну складову повного внутрішнього опору і необхідна для організації зворотного зв'язку акумулятора із зарядною системою, дозволяє керувати процесом заряду – змінювати довжини імпульсів в залежності від стану акумулятора.
3. Розроблено алгоритм розрахунку параметрів схемної моделі акумулятора. Порівняння розрахункових кривих перехідних напруг з експериментальними довело, що запропонована модель акумулятора дозволяє отримати розрахункові криві перехідних напруг, значення яких відрізняються не більше ніж на 2% і коефіцієнт варіації знаходиться у межах 2-6%, у порівнянні з експериментальними.
4. Запропонований адаптивний спосіб заряду, створений алгоритм керування ним та обґрунтований підбір тривалості зарядних і розрядних імпульсів струму дозволяють підвищити ефективність заряду акумуляторних батарей імпульсним та імпульсним асиметричним струмом.
5. Розроблений новий спосіб використання енергії розрядного імпульсу струму при заряді акумуляторів імпульсним асиметричним струмом дозволяє підвищити ККД зарядних пристроїв акумуляторних батарей.
6. Зменшено енергоспоживання в запропонованих схемах пристроїв для заряду акумуляторних батарей імпульсним асиметричним струмом за рахунок використання енергії розрядного імпульсу: шляхом збереження її в накопичувальному елементі для подальшого заряду акумулятора; для заряду іншого акумулятора при заряді групи акумуляторів; для живлення корисного навантаження.
7. Проведене порівняння ККД пристроїв заряду акумуляторів імпульсним асиметричним струмом показало, що пристрої, в яких використовуються запропоновані енергозберігаючі способи заряду імпульсним асиметричним струмом і імпульсні методи регулювання, на даному етапі

розвитку сучасних систем заряду імпульсним асиметричним струмом мають високий ККД, який складає 82–94%, а загальне збільшення ККД у порівнянні з існуючими пристроями, сягає 12–34%.

8. Проведене моделювання схем пристроїв, створених на основі енергозберігаючих способів заряду з використанням створеної схемної моделі акумулятора, довело, що дані схеми забезпечують заряд акумуляторних батарей струмом необхідної форми, причому енергія імпульсу розрядного струму не втрачається, а використовується, або повторно, або для заряду іншої батареї, чи для живлення корисного навантаження.
9. Використання адаптивного способу заряду, який змодельовано з використанням створеної схемної моделі акумулятора, дозволяє скоротити час заряду до 2,7 разу і ефективно використовувати електроенергію для заряду та ресурси акумулятора.
10. Розроблена експериментальна установка дозволяє дослідити процеси у зарядному пристрої, які відбуваються під час заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом, і розроблено алгоритми роботи експериментальної установки, завдяки чому досягається ефективне управління зарядним пристроєм і здійснюється автоматизоване проведення експериментального дослідження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Волківський В.Б.*, Камаев В.С., Колодяжний А.В. Методи заряду никель-кадмиевих акумуляторних батарей // *Електроніка і зв'язок*. – 2005. – № 27. – С. 18-25.
2. *Волківський В.Б.* Адаптивний метод заряду акумуляторних батарей // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”*. – 2005. – Ч. 2.– С. 40-43.
3. *Волківський В.Б.* Пристрій для заряду асиметричним струмом акумуляторної батареї в буферному режимі // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”*. – 2004. – Ч. 3. – С. 21-24.
4. *Волківський В.Б.* Триланковий пристрій для заряду енергоємних акумуляторних батарей асиметричним струмом // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблеми сучасної електротехніки”*. – 2004. – Ч. 6. – С. 89-94.
5. *Снівак В.М.*, Волківський В.Б. Моделювання електромагнітних процесів у пристрою для заряду енергоємних акумуляторних батарей // *Вісник Національного університету „Львівська політехніка”*. „Електроенергетичні та електромеханічні системи”. – 2003. – № 487. – С. 165-172.
6. *Терещенко Т.О.*, Волківський В.Б., Кріпак О.О. Алгоритми роботи експериментальної установки для дослідження впливу заряду асиметричним струмом на характеристики акумуляторів // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”*. – 2006. – Ч. 3. – С. 3-7.
7. *Терещенко Т.О.*, Волківський В.Б., Кріпак О.О. Експериментальна установка для дослідження впливу заряду асиметричним струмом на тривалість життя акумуляторних бата-

- рей // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. – 2006. – Ч. 2. – С. 30-33.
8. *Терещенко Т.О., Петергеря Ю.С., Волківський В.Б.* Застосування перетворення в орієнтованому базисі для керування триланковим пристроєм для заряду акумуляторних батарей асиметричним струмом // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. – 2003. – Ч. 3. – С. 39-43.
 9. *Терещенко Т.О., Співак В.М., Волківський В.Б.* Пристрій для заряду енергоємних акумуляторних батарей асиметричним струмом // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Силова електроніка та енергоефективність”. – 2003. – Ч. 2. – С. 11-15.
 10. Деклараційний патент України на винахід № 57499 А, H02J7/00. Пристрій для зарядки акумуляторної батареї. / В.Я. Жуйков, Т.О. Терещенко, Ю.С. Петергеря, В.Б. Волківський (Україна). – № 2002108677; Заявлено 31.10.2002; Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6.
 11. Деклараційний патент України на винахід № 58230 А, H02J7/00. Пристрій для зарядки акумуляторних батарей. / В.Я. Жуйков, Т.О. Терещенко, Ю.С. Петергеря, В.Б. Волківський (Україна). – № 2002108680; Заявлено 31.10.2002; Опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7.
 12. Деклараційний патент України на корисну модель № 10667 U, H02J7/00. Пристрій для зарядження акумуляторної батареї асиметричним струмом. / В.Я. Жуйков, Т.О. Терещенко, В.Б. Волківський (Україна). – № u200505266; Заявлено 02.06.2005; Опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11.

АНОТАЦІЇ

Волківський В.Б. Напівпровідникові перетворювачі з підвищеною ефективністю заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.12 - Напівпровідникові перетворювачі електроенергії. – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, Київ, 2007.

Дисертація присвячена розробці енергозберігаючих способів заряду акумуляторів імпульсними асиметричними струмами, схем напівпровідникових перетворювачів з підвищеною ефективністю заряду і способів адаптивного керування цими перетворювачами.

На основі аналізу електродних процесів розроблено схемну модель акумулятора, яка враховує поляризаційну складову повного внутрішнього опору та дозволяє розрахувати перехідні процеси при подачі зарядних і розрядних імпульсів струму.

Розроблено новий спосіб використання енергії розрядного імпульсу струму при заряді акумуляторів імпульсним асиметричним струмом, який дозволяє підвищити енергоефективність зарядних пристроїв акумуляторних батарей імпульсними асиметричними струмами.

Запропоновано адаптивний спосіб заряду, який шляхом зміни тривалості зарядних і розрядних імпульсів в залежності від стану акумулятора дозволяє істотно скоротити час заряду.

Ключові слова: акумуляторна батарея, заряд асиметричним струмом, адаптивний заряд, схемна модель акумулятора.

Волкивский В. Б. Полупроводниковые преобразователи с повышенной эффективностью заряда аккумуляторов импульсными асимметричными токами. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.12 – полупроводниковые преобразователи электроэнергии. – Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, Киев, 2007.

Диссертация посвящена разработке энергосберегающих способов заряда аккумуляторов импульсными асимметричными токами, схем полупроводниковых преобразователей с повышенной эффективностью заряда и способов адаптивного управления этими преобразователями.

В работе проведен анализ методов заряда аккумуляторов и обоснована необходимость использования заряда импульсными асимметричными токами, поскольку такой заряд превышает по качественным показателям другие и позволяет увеличить срок службы аккумулятора, что позволит уменьшить загрязнение окружающей среды и уменьшить финансовые затраты на обновление парка батарей.

При подаче на аккумулятор одиночного импульса тока возникает соответствующий импульс напряжения, форма которого может быть разной в зависимости от типа аккумулятора, степени его заряженности, а также от продолжительности и амплитуды токового импульса. Форма импульсов напряжения не остается неизменной в процессе заряда аккумулятора, а испытывает определенные изменения. На основе анализа электродных процессов, которые возникают при подаче импульса тока на аккумулятор, разработана схемная модель аккумулятора, которая учитывает поляризационную составляющую полного внутреннего сопротивления и позволяет рассчитать переходные процессы при подаче зарядных и разрядных импульсов тока. Модель необходима для организации обратной связи аккумулятора с зарядной системой и позволяет управлять процессом заряда – изменять длины импульсов в зависимости от состояния аккумулятора.

Разработан новый способ использования энергии разрядного импульса тока при заряде аккумуляторов импульсным асимметричным током, который позволяет повысить энергоэффективность зарядных устройств аккумуляторных батарей импульсными асимметричными токами. Сущность предложенного энергосберегающего способа заряда состоит в сохранении энергии импульса разрядного тока в процессе заряда и дальнейшим ее использованием для формирования импульса зарядного тока, или использовании энергии импульса разрядного тока для питания полезной нагрузки, или заряда другой батареи, что позволяет повысить КПД устройств. Сохранить энергию импульса разрядного тока возможно путем передачи его в какой-либо накопительный элемент - конденсатор, или индуктивность. Поскольку в конденсаторе потери меньше, то накопленная энергия может сохраняться дольше, чем в индуктивности, и целесообразно использовать именно его в качестве накопительного элемента. Если в разрабатываемую систему должно входить несколько звеньев с зарядными устройствами и аккумуляторными батареями, то целесообразно передавать энергию разрядного импульса во время его формирования с одного звена в другое звено во время формирования в нем импульса зарядного тока. Таким образом, энергия разрядного импульса не будет утрачена. При разработке системы заряда импульсным асимметричным током аккумулятора в буферном режиме сохранить энергию разрядного импульса возможно путем передачи ее к полезной нагрузке, которая подключена на выходе буферной системы.

Предложен адаптивный способ заряда, который путем изменения длительности зарядных и разрядных импульсов в зависимости от состояния аккумулятора позволяет существенным образом сократить время заряда.

Для обеспечения адаптивного заряда аккумуляторной батареи нужно следить за переходным процессом и с его завершением прекращать формирование зарядного (разрядного) импульса тока и начинать формирование разрядного (зарядного) импульса тока. Продолжительности импульсов зарядного/разрядного тока должны постоянно корректироваться в зависимости от продолжительности переходных процессов на электроде, которые в зависимости от типа, состояния заряда и возраста аккумуляторной батареи будут постоянно изменяться. Использование адаптивного способа заряда позволяет сократить в несколько раз время заряда, а также эффективно использовать электроэнергию для заряда и ресурсы аккумулятора.

Результаты диссертационной работы нашли практическое применение в НИИ „ХЕМЗ” (г. Харьков) при разработке микропроцессорной системы заряда аккумуляторных батарей асимметричным током и в устройстве для формовки свинцовых аккумуляторов ассиметричным током. Также результаты работы внедрены в систему бесперебойного электропитания гибридной лазерно-дуговой технологической установки для сваривания с микропроцессорным управлением, разработанной в Институте электросваривания НАН Украины им. Е.О. Патона (г. Киев). Кроме того, материалы работы используются в учебном процессе в Национальном техническом университете Украины «КПИ» (г. Киев).

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, заряд асимметричным током, адаптивный заряд, схемная модель аккумулятора.

Volkivskiy V.B. Semiconductor converters with increased charging efficiency of accumulators by pulse asymmetric currents. - Manuscript.

Thesis for a candidate of science degree in the speciality 05.09.12 - Semiconductor Converters of Electric Energy. – National technical university of Ukraine “Kyiv’s Polytechnic Institute”, Kyiv, 2007.

The dissertation is dedicated to future development of energy saving charging methods of accumulators by pulse asymmetric currents, circuits of semiconductor converters with increased charging efficiency and methods of adaptive control of these converters.

Circuit model of accumulator, which takes into account polarization component of the complete internal resistance, has been designed by using of electrode processes research. This model allows to compute a transient processes when charge and discharge current pulses are operating.

New method of energy using of a discharge pulse current, when accumulators charging by pulse asymmetric currents, allows to increase energy efficiency of chargers.

The adaptive method of charging, which by change of duration charge and discharge pulses depending on a condition of the accumulator, allows to reduce a charging time significantly has been offered.

Keywords: storage battery, asymmetric current charging, adaptive charging, circuit model of accumulator.