

Дослідження впливу заряду асиметричним струмом на ємність акумуляторних батарей

Снегіреєв В. А., ORCID [0000-0001-9844-8505](https://orcid.org/0000-0001-9844-8505)

e-mail slaiyfe@gmail.com

Волківський В. Б., к.т.н., ORCID [0000-0003-2379-0765](https://orcid.org/0000-0003-2379-0765)

e-mail v.volkivskiy@kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Реферат—У статті наведено результати експериментального дослідження впливу заряду імпульсним асиметричним та постійним струмами на ємність акумуляторних батарей. Розроблено пристрій заряду та розряду для експериментальних досліджень щодо SLA (Sealed Lead Acid – герметизовані свинцево-кислотні) та Ni-Cd (нікель-кадмієві) акумуляторів. Під час експерименту визначено параметри напруги та струму. Виявлено, що зменшення ємності герметичних свинцево-кислотних акумуляторів відбувається майже в 2 рази повільніше, ніж за зарядом постійним струмом. Поглиблений аналіз впливу на акумулятори різних значень амплітуд та тривалості зарядних і розрядних імпульсів надає змогу подовжити строк експлуатації акумуляторних батарей.

Бібл. 14, рис. 4, фото 3.

Ключові слова — асиметричний струм; імпульсний струм з зворотним викидом; заряд акумуляторів; зарядний пристрій; акумуляторна батарея

I. ВСТУП

У зв'язку з широким використанням акумуляторних батарей, як засобів електроживлення радіоелектронної апаратури різного призначення, на сьогоднішній день актуальною є проблема подовження терміну їх експлуатації, що опосередковано приведе до зменшення забруднення навколишнього середовища та зменшить фінансові затрати на технічне обслуговування батарей та на оновлення їх парку. Вирішення цієї проблеми може бути досягнуто шляхом вдосконалення пристроїв та способів заряду акумуляторних батарей, в тому числі заряду імпульсним асиметричним струмом, оскільки такий заряд дає змогу підвищити номінальну ємність, а також продовжити термін життя акумуляторних батарей в 1.5-3 рази, що доведено зарубіжними та вітчизняними дослідниками та винахідниками [1-13]. Підвищення ефективності цих способів та пристроїв заряду акумуляторних батарей надасть можливість їх більш широкому застосуванню.

Для підтвердження теоретичних даних [7-8], був створений зарядний пристрій, що дає змогу експериментально дослідити вплив заряду асиметричним струмом на строк служби акумулятора. У запропонованому пристрої для заряджання акумуляторів реалізовано три метода заряду: постійним, імпульсним асиметричним (чергування зарядних та розрядних імпульсів) та імпульсним (тільки зарядні імпульси) струмом.

Основними об'єктами дослідження є акумулятори серійного виробництва, через їх легку доступність і масовість, а саме Ni-Cd акумулятори виробництва Energy Technology Co., Ltd, модель D-SC2000HP, з ємністю 2000мА*год, і два герметичних свинцево-кислотних акумулятора SLA виробництва Full Energy, модель FE-7-12 ISO9001, з ємністю 7 А*год. Проведення експериментів на серійних зразках дає змогу стверджувати, що будь-яка зміна ємності в даних акумуляторах, яку зареєстровано під час експериментів, обумовлена саме режимом і способом заряду / розряду даних акумуляторів.

Отже метою статті є подальше удосконалення режимів і засобів заряджання акумуляторів, призначених для широкого застосування, задля забезпечення терміну їх експлуатації за умов збереження та, інколи, збільшення їх енергоємності.

II. ФУНКЦІОНАЛЬНА І ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СХЕМА ЗАРЯДНОГО ПРИСТРОЮ

Функціональна схема експериментальної установки наведена на рис. 1

До складу експериментальної установки входять такі функціональні елементи:

- ДЖ – джерело живлення
- ШП – широтно-імпульсний перетворювач
- ДС – датчик струму



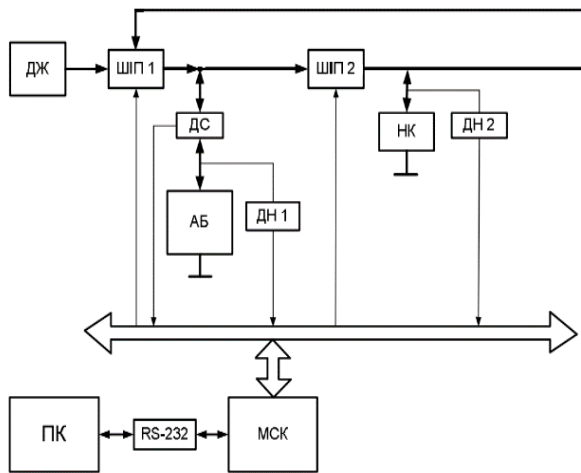


Рис.1 Функціональна схема експериментальної установки

- ДН – датчик напруги
- АБ – акумуляторна батарея
- НК – накопичувальний конденсатор
- МСК – мікропроцесорна система керування
- ПК – персональний комп'ютер
- RS-232 – інтерфейс підключення до ПК

Джерело живлення (ДЖ) - це перетворювач напруги мережі живлення до стабілізованого значення постійної напруги та струму на виході, відповідно 24В, 10А. Струм від джерела живлення подано на вхід знижувального широтно-імпульсного перетворювача (ШПП-1), який забезпечує задані параметри зарядного імпульсу для акумуляторної батареї (АБ). Від ШПП-1 струм надходить у АБ через датчик струму (ДС), який необхідний для підрахунку Ампер*год, відданих АБ та контролю струму заряду.

Датчик напруги на АБ (ДН1) призначений для контролю напруги на АБ.

ШПП-1 формує зарядний імпульс із заданими проміжками часу. У моменти часу між зарядними імпульсами працює ШПП-2, який формує розрядний імпульс АБ, енергія якого накопичує конденсатор (НК – накопичувальний конденсатор). Датчик напруги (ДН-2), призначений для контролю значення напруги на НК. У моменти, коли напруга досягає зазначеного рівня, ШПП-2 вимкнено і енергія, накопичена в НК, надходить на вхід АБ через ШПП-1 під час формування зарядного імпульсу.

МСК забезпечує:

- керування ШПП-1, ШПП-2 відповідно до заданого алгоритму;
- контроль струму і напруги;
- аналого-цифрове перетворення інформації, що надходить;
- передачу інформації до ПК;
- керування через ПК;

Персональний комп'ютер (ПК) виконує функції пристрою реєстрації і візуалізації інформації та керування МСК. Керування та зчитування МСК реалізовано інтерфейсом RS-232.

Схему електричну принципову силової частини зарядного пристрою показано на рис. 2. ШПП-1 знижувального типу, який реалізовано на елементах VT1, L1, VD2, формує зарядний імпульс, що надходить на АБ. ШПП-2, підвищувального типу, який реалізовано на елементах L2, VT2, VD4, C1, формує розрядний імпульс, енергію якого накопичує C1 (НК). В момент, коли напруга на НК досягає певного рівня, ШПП-2 перестає працювати і енергія, накопичена НК, надходить на вхід АБ через ШПП-1 під час формування зарядного імпульсу.

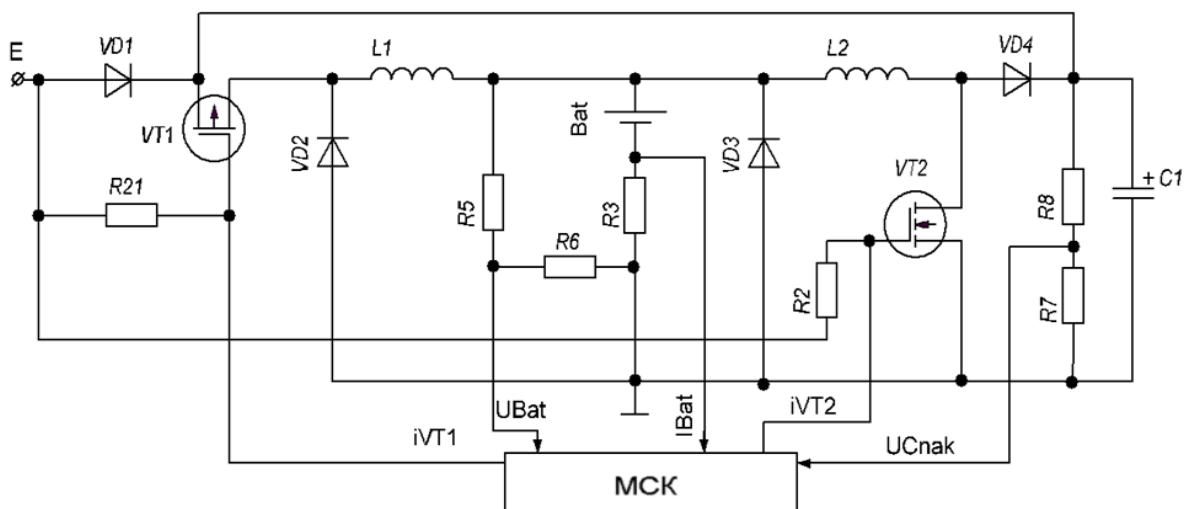


Рис. 2 Схема електрична принципова силової частини пристрою

ТАБЛИЦЯ 1. РЕЖИМИ РОБОТИ СИЛОВИХ КЛЮЧІВ

Ключ \ Струм	Постійний	Імпульсний		Імпульсний асиметричний	
		Рест період	Зарядний імпульс	Розрядний імпульс	Зарядний імпульс
VT1	ШПП	Закритий	ШПП	Закритий	ШПП
VT2	Закритий	Закритий	Закритий	ШПП	Закритий

Мікропроцесорна система керування, яка побудована на основі мікроконтролера X-Mega32A4AU, виконує функції контролю та керування, а саме – підтримує в акумуляторі необхідні значення струму та напруги, реалізує алгоритм роботи, передачу інформації з датчиків струму та напруги надходить на порти входу PB1, PB2, PB3, PB4. Мікроконтролер має аналого-цифровий перетворювач, який оцифровує вхідний аналоговий сигнал у двійковий код. Відповідно до даних, які надійшли, контролер коригує показники зарядних/розрядних імпульсів з портів виведення PC0, PC1, PC2, PC3, які підключені до драйверу силових ключів ULN2003I. У табл. 1 показано алгоритм роботи ключів під час роботи ЗП в режимі заряду.

МСК отримує живлення від лінійного стабілізатора, який під'єднано до виходу ДЖ. ПК перетворює, відправлені з МСК, масиви даних в графічний вигляд [9]. Використання даного типу візуалізації інформації дає змогу спостерігати за даними, які надходять з датчиків у режимі реального часу і за відправкою команд керування МСК.

III. ІНШІ РЕЖИМИ РОБОТИ ЗП

У даному ЗП реалізовано можливість заряджати АБ не тільки асиметричним, а й імпульсним та постійним струмом, що дає змогу заряджати різні типи АБ різними способами, в залежності від поставлених завдань під час дослідження [10]. Режим роботи ключів для різних способів заряду наведено в табл. 1.

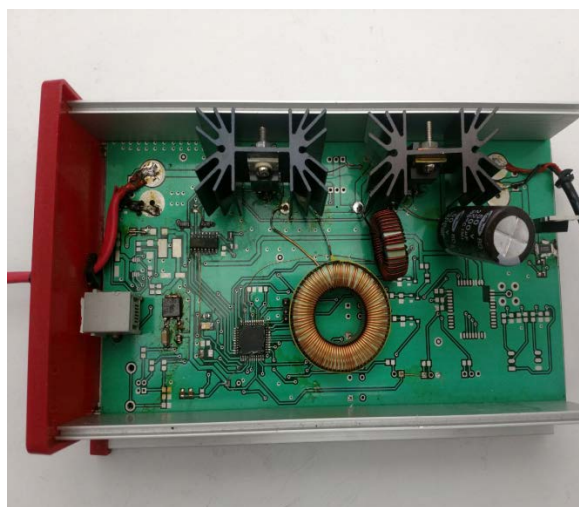


Фото 1 Експериментального ЗП

IV. ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для підтвердження працездатності та продуктивності запропонованого підходу сконструйовано та протестовано прототип ЗП (фото 1).

Напруга на вході ЗП ~220В, напруга та струм на виході ЗП – до 24В, до 10А, відповідно.

Для свинцевого акумулятора 7 А*год зарядний імпульс струму 5А, до 18В (фото 2). Для Ni-Cd 2000 мА*год, Ni-MH 2000 мА*год, зарядні імпульси струму 2А, до 9В (фото 3).

Герметичні свинцево-кислотні SLA акумулятори (7 А*год) виробництва Full Energy FE-7-12 розряджено на резистивне навантаження 15 Ом зі струмом ~ 0.8А.

Ni-Cd 2000 мА*год, Ni-MH 2000 мА*год акумулятори розряджено на резистивне навантаження 1 Ом.

Так само проведені цикли заряду/розряду іншого свинцево-кислотного акумулятора 7 А*год постійним струмом. Зарядний струм 1А, а розряджали на резистивне навантаження 15 Ом зі струмом ~ 0.8А.

Під час розряду та заряду проведено контрольні вимірювання напруг, струмів і часу. Отримані дані в ході експериментів наведені в [14].

При таких параметрах імпульсів були проведені дослідні заряду та розряду АБ і побудовано залежності зміни ємності акумуляторів від циклів заряду-розряду для SLA та Ni-Cd акумуляторів (рис. 3 та рис. 4).



Фото 2 Осцилограми заряду SLA

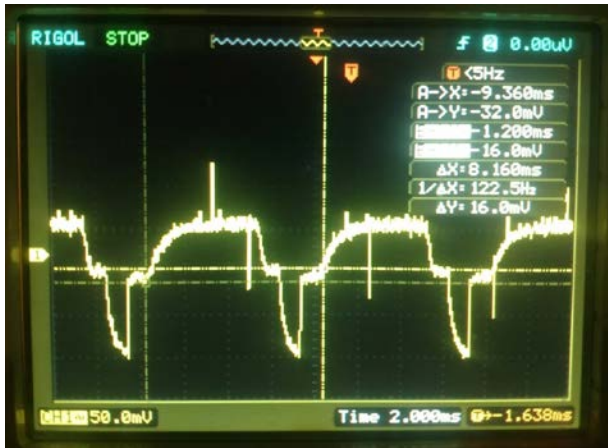


Фото 3 Осцилограми заряду Ni-Cd

На основі даних, що отримані під час експерименту, побудовано залежності ємності SLA акумуляторів від циклів заряду-розряду (рис. 3) при заряді імпульсним асиметричним та постійним струмами, які дають змогу стверджувати, що при заряді імпульсним асиметричним струмом зменшення ємності відбувається майже в 2 рази повільніше, ніж при заряді постійним струмом. Швидке зменшення ємності, яке показано на рис. 3, зумовлене вкрай важким режимом заряду та розряду акумуляторів, які призначені для роботи у буферному режимі. Тобто вони добре працюють тільки при глибині розряду не більше 20% і в циклі глибоких розрядів/зарядів (глибина розряду 80% і більше) їх строк служби майже вдвічі менше тягових, які працюють у режимах глибокого розряду, мають порівняно великий ресурс і невелику вартість. Отже, для проведеного експерименту потрібно було б обрати саме тягові акумулятори.

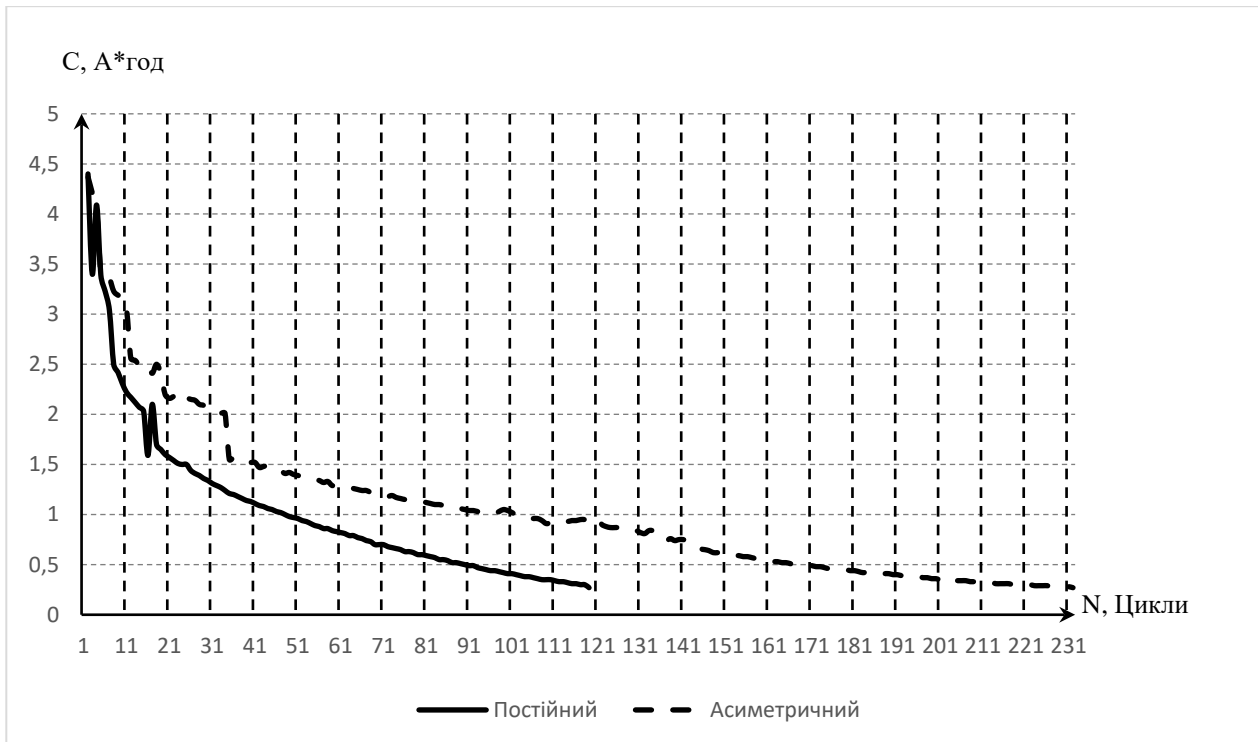


Рис. 3 Залежність ємності SLA акумуляторів від циклів заряду-розряду

Також на основі даних, отриманих під час експерименту, побудовано залежності ємності Ni-Cd акумуляторів від циклів заряду-розряду (рис. 4) при заряді імпульсним асиметричним струмом та постійним струмом. З 29 по 39 цикли відбулося різке зменшення ємності акумулятора при заряді постійним струмом, що вказує на необхідність повторення експерименту, оскільки виробники надають інформацію до 1000 циклів, хоча в дійсності деякі акумулятори даного типу можуть вийти з ладу і на 100 циклах.

ВИСНОВКИ

- 1) Розроблено пристрій заряду та розряду батарей постійним та імпульсним асиметричним струмом.
- 2) Проведено експерименти вимірювання зміни ємності акумуляторів у залежності від циклів заряду/розряду, під час яких постійно ресетувалися струм та напруга на акумуляторних батареях, а також час заряду/розряду.
- 3) З'ясовано, що деградація ємності акумуляторних батарей від вимірної ємності на першому циклі при заряді імпульсним асиметричним струмом на 15% менша, ніж при заряджанні постійним струмом (при однаковій кількості циклів).
- 4) З'ясовано, що під час заряду імпульсним асиметричним струмом зменшення ємності відбувається майже в 2 рази повільніше, ніж під час заряду постійним струмом.



Рис. 4 Залежність ємності Ni-Cd акумуляторів від циклів заряду-розряду

- 5) Поглиблений аналіз впливу на акумулятори різних значень амплітуд та тривалості зарядних і розрядних імпульсів, дасть змогу підвищити ефективність використання акумуляторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] I. M. SIndeev, "Yeleksrosnabzhenie letatelnyh apparatov [Electric power supply of aircrafts]" *M. Transport*, 1982.
- [2] Podrazhanckiy Yirii Markovich, "Ispolzovanie impulsnyh rezhimov zariada dlia povyshenia yekspluatatsionnyh parametrov akkumulyatorov.[Using pulse charging modes to improve battery performance]" *Dis... kand.tehn. nauk*, 2003.
- [3] V. S. Lavrus (red.), "Batarei i akkumulyatory: Dlia shirokogo krugaa Chitatelei,[batteries and accumulators for wide cicle]" *Nayka i tehnika*, 1995.
- [4] V. Srinivasan, G. Q. Wang, and C. Y. Wang, "Mathematical Modeling of Current-Interrupt and Pulse Operation of Valve-Regulated Lead Acid Cells," *Electrochem. Soc. 2003 volume 150, issue 3, A316-A325. DOI: 10.1149/1.1541005*
- [5] T. Nguyen and L. Bushnell, "Advanced Battery Charging Techniques: Pulse-Charging in Large-Scale Applications - Design of Divide and Conquer Technique for High-Capacity Batteries," 2014.
- [6] E. C. Darcy, "INVESTIGATION OF THE RESPONSE OF NIMH CELLS TO BURP CHARGING by," Diss. Present. to Fac. Dep. Chem. Eng. Univ. Houston, no. December, pp. 1–67, 1998.
- [7] T. O. Tereshchenko, V. M. Spivak, and V. B. Volkivskiy., "Prystrii dlia zariadu energoemnisnyh akkumulyatornyh batarei asymetrychnym strumom [device for charging energy-consuming batteries with an asymmetric current]. *Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyi vypusk "Sylovaelektronika ta energoefektyvnist*, p. 11–15, 2003.
- [8] V. M. Sivak and V. B. Volkivskiy, "Modeluvannia elektromagnitnyh protsesiv i prustroi dlia zariadu energoemnyh akumulyatornyh batarei [Modeling of electromagnetic processes and a device for charging energy-efficient storage batteries]. *Visnyk Natsionalnogo universytetu „Lvivska politehnika,” Elektroenergetychni ta elektromehanichni systemy*, p. 165–172, 2003.
- [9] V. Ya. Zhuykov, T. O. Tereshchenko, V. B. Volkivskiy, i Yu. S. Peterheria, "Prystrii dlia zariadky akkumulyatornoi batarei, [Rechargeable battery chargers]" *Deklaratsiinyi patent Ukrainu na vunakhid № 57499 A, H02J7/00.*, 2002.
- [10] E. T. Volodarskii, B. N. Malinovskii, i Yi. M. Tuz, "Planirovanie i orhanizatsia izmeritelnogo eksperimenta,[planning and organization of a measurement experiment]" *K. Vysycha shk*, p. 280, 1987.
- [11] J. B. Wang and C. Y. Chuang, "A multiphase battery charger with pulse charging scheme," *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.*, vol. 2005, pp. 1
- [12] H. P. Smetankin., S. S. Matekin., A. V. Burdyihov., i T. V. Plokhova., "Ispytaniia hermetychnykh nikel-kadmievykh akkumulyatornykh batarei na sokhranost emkosti pri dlitelnom khranenni posle zariada postoiannym i acymmetrychnym tokhami,[Tests of hermetically sealed nickel-cadmium batteries for the preservation of the container during long-term storage after charging with a constant and asymmetric current]" *Elektrokhimicheskaia Energetika*, 2012.
- [13] H.-I. Hsieh, C.-Y. Tsai, and G.-C. Hsieh, "Photovoltaic Burp Charge System on Energy-Saving Configuration by Smart Charge Management," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 4, pp. 1777–1790, Apr. 2014.
- [14] V.A. Snegirev, Pristrii dlya doslidzhennya vplyvu zaryadu asymetrychnym strumom na emnist akumulyatornykh bataray: magisterska dysertatsiya: 171 Elektronika / Nacionalnyi tekhnichniy un-t Ukrainy "Kyivskiy politekhnichniy in-t im. Igorya Sikorskogo". – K., 2018. – 90 ark. – Bibliogr.: pp. 86-90, 2018.

Надійшла до редакції 12 березня 2018 р.



УДК 621.354.342.5

Исследование влияния заряда асимметричным током на емкость аккумуляторных батарей

Снегирев В. О., ORCID [0000-0001-9844-8505](https://orcid.org/0000-0001-9844-8505)e-mail slaiyfe@gmail.comВолківський В. Б., к.т.н., ORCID [0000-0003-2379-0765](https://orcid.org/0000-0003-2379-0765)e-mail v.volkivskiy@kpi.ua

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Реферат—В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния импульсного асимметричного и постоянного метода заряда на емкость аккумуляторных батарей. Разработано устройство заряда и разряда для экспериментальных исследований над SLA и Ni-Cd аккумуляторами. В течение эксперимента определялись напряжение и ток. Обнаружено, что уменьшение емкости герметичных свинцово-кислотных аккумуляторов происходит практически в 2 раза медленнее, чем при заряде постоянным током. Углубленный анализ влияния на аккумуляторы различных значений амплитуд и длительностей зарядных и разрядных импульсов дает возможность продлить срок эксплуатации аккумуляторных батарей.

Библ. 14, рис. 4, фото 3.

Ключевые слова — асимметричный ток; импульсный ток с обратным выбросом; заряд аккумуляторных батарей; зарядное устройство; аккумуляторная батарея.

UDC 621.354.342.5

Research of Asymmetric Current Charging Influence to Capacity of Storage Batteries

V. A. Snehirev, ORCID [0000-0001-9844-8505](https://orcid.org/0000-0001-9844-8505)e-mail slaiyfe@gmail.comV. B. Volkivskiy, Ph.D., ORCID [0000-0003-2379-0765](https://orcid.org/0000-0003-2379-0765)e-mail v.volkivskiy@kpi.uaNational technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute" kpi.ua

Kiev, Ukraine

Abstract—The problem of reducing the capacity of the battery during operation due to the appearance of a memory effect or sulfatation (depending on the type of battery and charging method) is being examined. The advantages of charging with an asymmetric current in comparison with a constant current is also being examined, based on the characteristics of the change in the capacity of storage batteries obtained as a result of experimental studies.

Based on foreign and domestic(national) researches a new type of battery charger was developed. This charger allows changing the charging and discharging method depending on battery type, battery condition and user requirements.

The research is aimed at studying battery batteries for a constant charge and an asymmetrical current (pulse with a reverse ejection). Analyzing changes in capacitance, changes in voltages in the time of charge and in the time of discharge of batteries.



Further development of this topic can help to exceed the battery life cycle, which can directly affect the reduction of environmental pollution and reduce the cost of batteries maintenance.

In the course of the experiment, characteristics such as capacity, charge current, voltage at the beginning of the charge cycle, voltage after the charge cycle (without load with connected power), voltage at the beginning of the discharge cycle (with load), voltage at the end of the discharge cycle (with load), and regression rate fixing were taken into account, depending on the number of charging cycles and further comparison of battery charging methods.

The following graph shows changes in the capacity of the battery, depending on the charge cycle of the battery and the charging method, and also clearly shows the advantage of the asymmetric charging method over a constant charging method.

To show that changes in the experiment for one battery can be massive the Ni-Cd, SLA batteries were considered due to their mass-production and the operational disadvantages.

The charger is equipped with a system that monitors voltages and currents; responds to changes in parameters over time, works with different types of batteries and with varying degrees of battery health.

The charge voltage starts to drop when the battery is fully charged and the charging current is applied to it.

When the battery is fully charged, the charging power turns off and the load connects.

On Ni-Cd batteries 2000mA/h, which are susceptible to memory effect, experiments of cyclic charge by asymmetric current and discharge on resistance were conducted.

In the pulse, the charge current was 1A, with the discharge cycle, the battery was discharged to a 1 Ohm resistor, that gave an average discharge current of 1.2A.

For Ni-Cd, the load current starts from $2 * C$, where C is the battery capacity.

In SLA batteries, the main problem is the reduction of capacity during plate sulfatation, experiments were performed on charge and discharge with a constant and asymmetrical current, experiments were carried out on two batteries with a nominal capacity of each 7 A/h. The charge was conducted by a constant current 1A, asymmetric with a charge pulse of 5 A.

Discharge was performed using a resistive load of 15 Ohms on each of the batteries that gave an on average current value of 0.8A.

For SLA-type batteries, the load current starts from $0.2C$, where C is the capacity.

On the basis of these experiments the reduction of capacity were concluded in both cases. However, was found that a decrease in the capacity of hermetically sealed lead-acid batteries occurs almost 2 times slower than when charged by a direct current.

Ref. 14, fig. 4, photo 3.

Keywords — asymmetric current; a pulsed current with a reverse ejection; charge of batteries; charger; accumulator battery)