

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.314.12, 621.355.5

© Ткаченко К.І.*

ПОДОВЖЕННЯ СТРОКУ СЛУЖБИ СВИНЦОВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Запропонована концепція контролеру заряду свинцово-кислотних акумуляторів, який здатний виконувати десульфатацію пластин, контрольні-тренувальні цикли, заряд акумуляторів в автоматичному режимі з передачею даних до ПК.

Ключові слова: контролер заряду, відновлення акумуляторів, десульфатація пластин акумуляторів.

Ткаченко К.И. Увеличение срока службы свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при использовании возобновляемых источников энергии. Предложена концепция контроллера заряда свинцово-кислотных аккумуляторов, который способен выполнять десульфатацию пластин, контрольно-тренировочные циклы, заряд аккумулятора в автоматическом режиме с передачей данных на ПК.

Ключевые слова: контроллер заряда, восстановление аккумуляторов, десульфатация пластин аккумуляторов.

К.И. Tkachenko. *Lead-acid batteries life time prolongation in renewable energy source plants.* Charge controllers with microprocessor control are recognized to be almost optimal process control devices for collecting and storing energy in batteries in power systems with renewable energy sources such as solar photoelectric batteries, wind electrogenerators and others. The task of the controller is charging process control, that is such as charging and discharging the batteries while providing maximum charging speed and battery saving parameters that characterize the state of the battery, within certain limits, preventing overcharging, overheating and the batteries deep discharge. The possibility of archiving data that keeps the battery parameters time dependance is also important. Thus, the concept of a charge controller with Texas Instruments microcontroller device MSP430G2553 was introduced in the study. The program saved in the ROM microcontroller provides for: charge regime (with a particular algorithm); control and training cycle followed by charging; continuous charge-discharge regime to restore the battery or the study of charge regime algorithms influence on repair effectiveness. The device can perform its functions without being connected to a personal computer, but this connection makes it possible to observe in real time the characteristics of a number of discharge and charge regimes parameters, as well as reading the stored data from microcontroller flash memory and storing these data on the PC hard disk for further analysis. A four stages charging algorithm with reverse charging regime was offered by the author and correctness of algorithm was proved.

Keywords: charge controller, lead-acid battery recovery.

Постановка проблеми. Протягом останніх десятиліть набуває розвитку галузь використання відновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення як в масштабах приватних господарств, так і великих енергетичних об'єктів. Проте, такі джерела енергії як сонячне світло або вітер, характеризуються непостійністю потоків енергії, що призводить до необхідності використання акумуляторів електричної енергії в даних системах енергопостачання. Таким чином, те-

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, kostyantyn@gmail.com

рмін служби акумуляторів тісно пов'язаний з ефективністю використання систем з використанням відновлюваної енергії та економічною доцільністю переходу з традиційного енергопостачання на альтернативні джерела енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, для накопичення електричної енергії використовується декілька типів акумуляторів, проте доля свинцово-кислотних акумуляторів залишається достатньо великою завдяки їх меншій питомій вартості у порівнянні з літєвими акумуляторами. На сьогоднішній день загальноприйнятою теорією хімічних процесів в акумуляторі є теорія «подвійної сульфатації», запропонована у 1882 році англійськими дослідниками Гладстоуном та Трайбом [1, 2], і, хоча вона піддається певній критиці [3], але дозволяє достатньо точно з точки зору термодинаміки описати процеси заряду-розряду в свинцово-кислотному акумуляторі. Існуючі методи заряду свинцово-кислотних акумуляторів можна класифікувати наступним чином:

- постійним струмом (CC);
- постійною напругою (CU);
- комбінований CC/CU, в тому числі з використанням широтно-імпульсної модуляції;
- реверсивний.

На ринку є присутніми багато різноманітних пристроїв для заряду акумуляторних батарей (контролерів заряду) [4, 5], в тому числі і з мікропроцесорним керуванням, але вартість багатьох з них видається достатньо високою, до того ж алгоритм заряду є власністю виробника та відсутня або обмежена можливість змінювати його параметри в разі потреби.

Мета статті – запропонувати концепцію зарядного пристрою (контролеру заряду) з мікропроцесорним керуванням з можливістю зв'язку з персональним комп'ютером, в тому числі і для побудови часових залежностей напруги та заряду, а також можливість для кваліфікованого користувача вільно змінювати параметри заряду та виконувати контрольні-тренувальні цикли.

Виклад основного матеріалу. Контролери заряду з мікропроцесорним керуванням є практично визнаними оптимальними пристроями для керування процесами накопичення та зберігання енергії в акумуляторних батареях в системах енергозабезпечення за рахунок відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні фотоелектричні батареї, вітрові електрогенератори та ін. Завданням контролерів заряду є керування процесами як заряду, так і розряду акумуляторних батарей, забезпечуючи водночас максимально можливу швидкість заряду і збереження параметрів, що характеризують стан батареї, в припустимих межах, не допускаючи перезаряду, перегріву батареї та глибокого розряду при віддачі енергії на навантаження. Також важливим з точки зору зручності експлуатації та аналізу аварійних ситуацій є можливість ведення архіву даних, що утримує як часову залежність параметрів батареї, так і параметрів зарядно-розрядних режимів. Таким чином, в даній роботі, була зроблена спроба запропонувати концепцію контролеру заряду з використанням мікроконтролеру фірми Texas Instruments MSP430G2553. Цей мікроконтролер містить 16-розрядний процесор з RISC архітектурою з робочою частотою до 16 МГц, два таймери з апаратною можливістю генерації ШІМ сигналу, 10-бітний АЦП, модуль зв'язку UART та ін.

Запропонована схема (рис. 1) включає до себе підсилювачі сигналів виходу мікроконтролеру, електромагнітні реле, резисторні дільники АЦП та ланцюг розрядного опору для виконання контрольних-тренувальних циклів.

Так, в наведеній схемі, реле К1 виконує перемикання між режимами заряду та КТЦ, а реле К2 підключає розрядний опір R5. Нормально замкнуті та нормально розімкнуті групи контактів реле К1 забезпечують за відсутності ввімкнення його котушки розрядний режим, а при подачі керуючого сигналу на транзистор VT2 – зарядний режим. Водночас, нормально розімкнуті контакти реле К2 не дозволяють довільний розряд акумулятору через розрядний опір R5 без подачі керуючого сигналу мікроконтролера на базу транзистора VT1. Так як максимальний струм виходів мікроконтролеру не має перевищувати 2 мА, що значно нижче струму котушок реле (порядка сотень мА), то використані підсилюючі транзистори VT1 та VT2 для реле К1 та К2, відповідно. Для реалізації режиму ШІМ і, відповідно, керування напругою або струмом через акумулятор GB1 використаний польовий транзистор VT8, гальванічно розв'язаний з ланцюгом мікроконтролера через оптопару U2. Для можливості виконання режиму реверсивного заряду використовується кероване підключення резистору R7 за допомогою транзистору VT3,

також гальванічно розв'язаного через оптопару U1 з ланцюгом контролеру. Резистор підлаштування R19 використовується як дільник для вимірювання напруги (U_{R19}) на шунті R6 для визначення зарядного струму від джерела живлення G1. За допомогою резистору підлаштування R18 вимірюється: при зарядному режимі – сумарна напруга $U_{GB1}+U_{R19}$, що дозволяє визначити напругу акумулятору U_{GB1} ; при розрядному – безпосередньо напруга на акумуляторі U_{GB1} . Зв'язок між персональним комп'ютером та мікроконтролером реалізований в поточній версії контролеру заряду через перетворювач A1 UART↔RS232↔USB, вбудований до налагоджувальної плати, який забезпечує максимальну швидкість обміну 9600 бод. Це, однак, не виключає застосування мікроконтролеру без налагоджувальної плати з окремим перетворювачем UART з більшою швидкістю обміну даними. Крім того, можливий зв'язок з контролером заряду через WiFi модуль, наприклад, ESP8266, безпосередньо зв'язаний з виводами MSP430G2553, що відповідають за зв'язок за протоколом UART та конфігуруються програмно. В цьому випадку швидкість обміну даними може досягати 115200 бод.

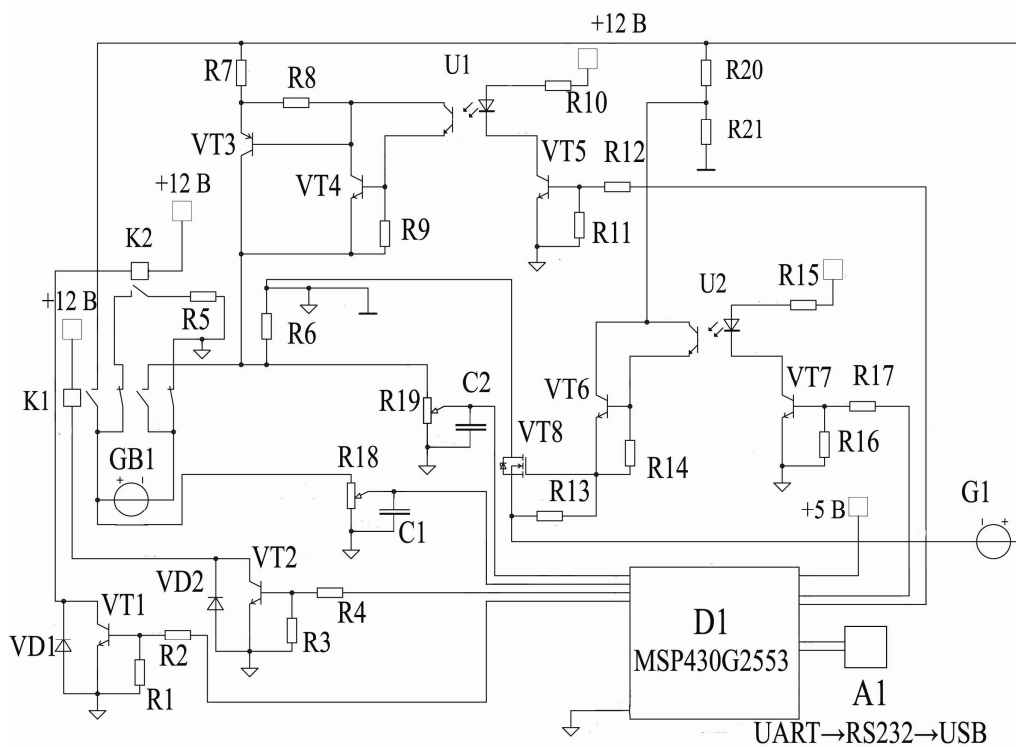


Рис. 1 – Принципова схема контролеру заряду

Для проведення експерименту з підбору режиму відновлення акумуляторної батареї, а також можливості швидкого внесення змін в схему контролеру заряду, було прийняте рішення створити макетну збірку пристрою без використання друкованої плати, зовнішній вигляд якої наведений на рис. 2. В якості джерела живлення G1 були використані два послідовно з'єднаних комп'ютерні блоки живлення, які забезпечували стабілізовану в широкому діапазоні струмів навантаження напругу в 24 В.

Конфігурування мікроконтролеру MSP430G2553, а зокрема: генератору тактового сигналу (частота процесору в поточній версії встановлена рівною 1 МГц), портів виводу, входів АЦП, таймеру ШІМ, таймеру реального часу (з частотою тактового генератора 32768 Гц з використанням зовнішнього кристалу кварцу), модуля UART, було виконано з використанням матеріалів статей Сокола С.П. [6], керівництва користувача мікроконтролерів сімейства MSP430 [7], специфікації MSP430G2553 фірми Texas Instruments [8].

Програма, внесена в ПЗП мікро контролера, забезпечує виконання режимів заряду (за певним алгоритмом), контрольно-тренувального циклу (розряду) з наступним зарядом, а також безперервного режиму заряд-розряд для відновлення акумулятору або дослідження впливу па-

раметрів режиму заряду на його ефективність. Пристрій може повноцінно виконувати свої функції без підключення до персонального комп'ютеру, проте таке підключення дає можливість спостерігати в режимі реального часу ряд характеристик режимів розряду та заряду, читати архівні дані режимів з флеш-пам'яті мікроконтролеру та зберігати вказані дані на жорсткому диску ПК для подальшого аналізу.

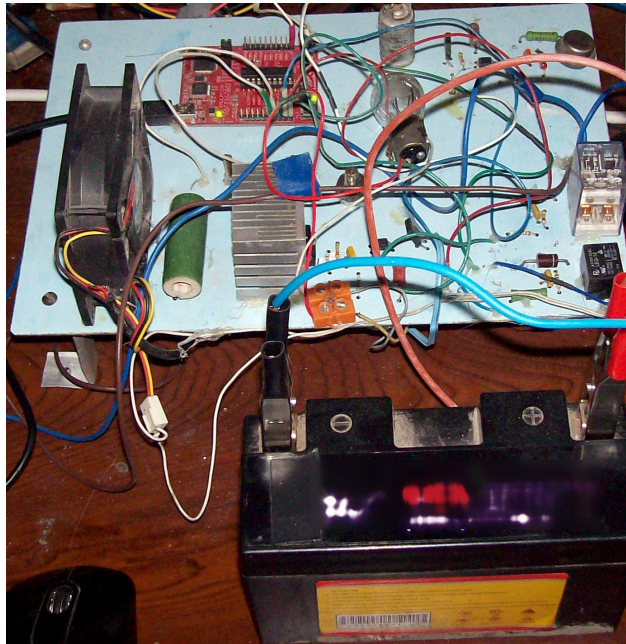


Рис. 2 – Зовнішній вигляд макетної збірки контролеру заряду

Програма для ПК написана в одному з середовищ розробника, яке дозволяє створення програм з візуальним інтерфейсом користувача для ОС Windows, зовнішній вигляд основного вікна та вікна роботи з флеш-пам'яттю наведені на рис. 3 та 4, відповідно.

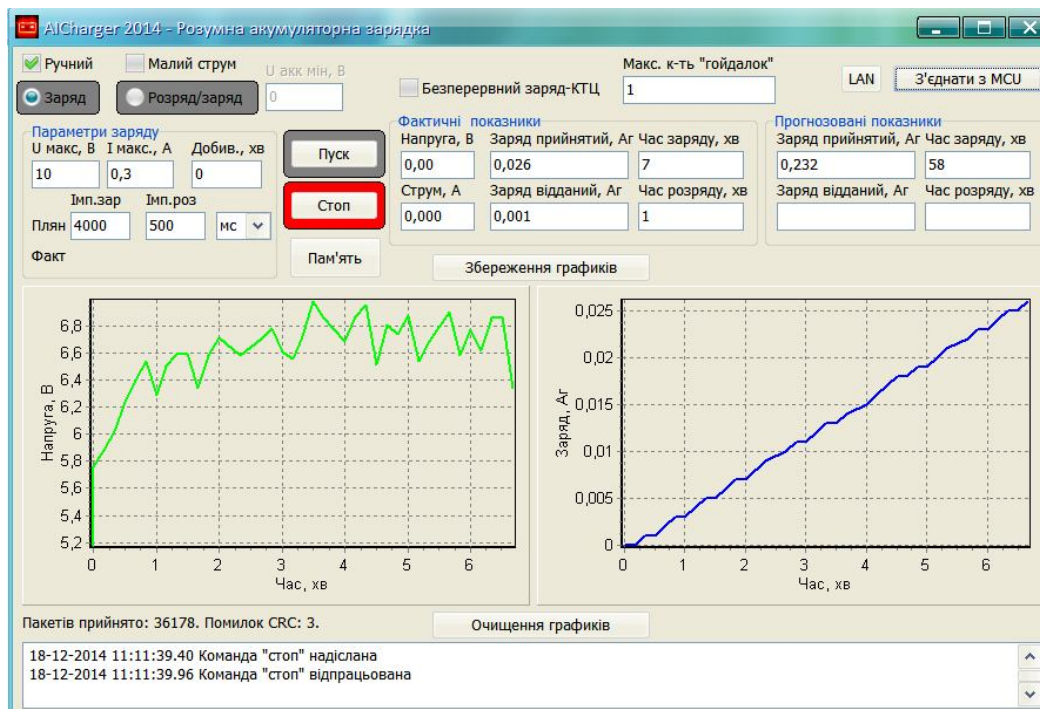


Рис. 3 – Вигляд основного вікна програми на ПК

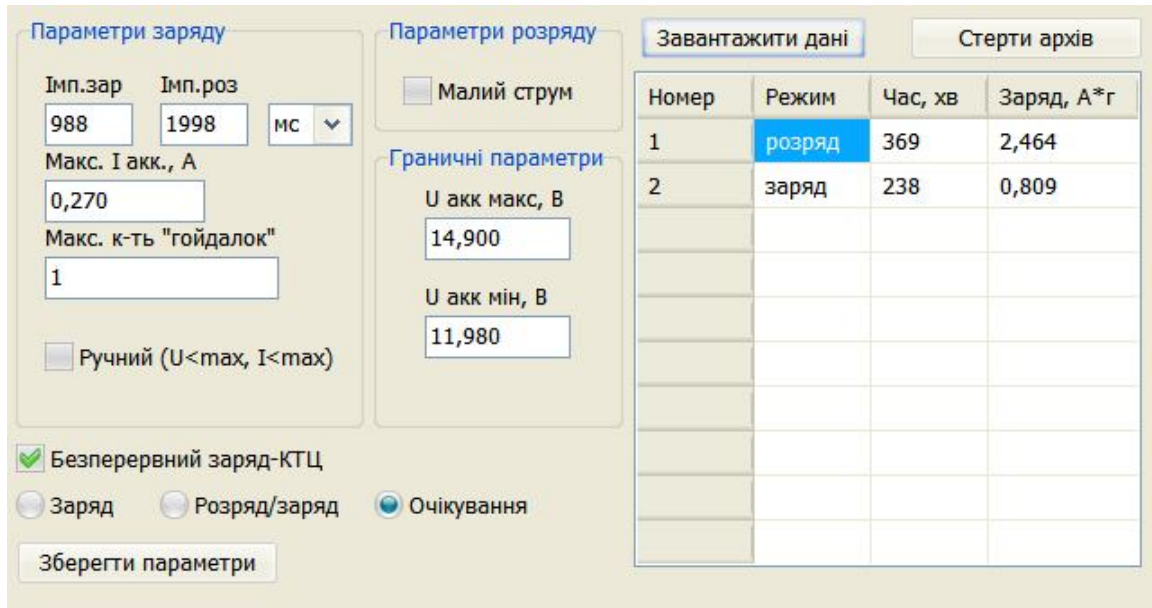


Рис. 4 – Вигляд вікна програми для роботи з флеш-пам'яттю мікроконтролера

Таким чином, з використанням запропонованої апаратної та програмної частини контролера заряду був виконаний підбір алгоритму заряду для відновлення сульфатованих акумуляторних батарей. На цей час в загальному доступі є певна інформація про сучасні алгоритми заряджання свинцево-кислотних акумуляторів: так, наприклад, шведська фірма СТЕК в своєму рекламному проспекті [4] пропонує використовувати наступну послідовність режимів (рис. 5), що, за їхніми даними, забезпечує ефективний заряд та відновлення акумуляторних батарей.

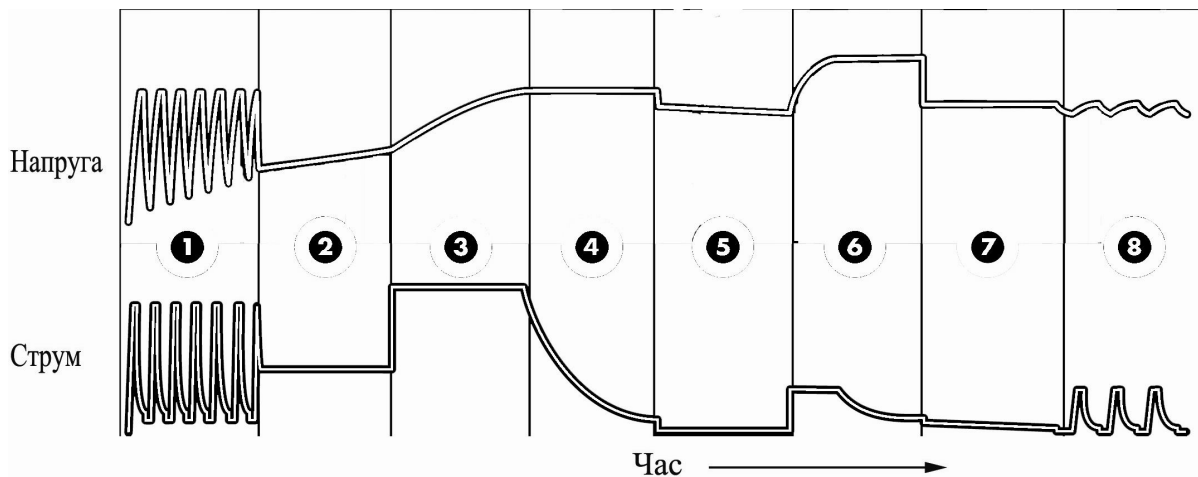


Рис. 5 – Схематичне зображення алгоритму заряджання фірми СТЕК [4]

Першим етапом використаної фірмою СТЕК послідовності режимів є десульфатація шляхом імпульсного заряду, другим – оцінка контролером заряду стану акумулятору і його можливості приймати заряд. Третій та четвертий етапи реалізують відомий спосіб заряджання CC/CU. На п'ятому етапі виконується перевірка здібності батареї зберігати заряд. Шостий етап застосовується для відновлення глибоко розряджених батарей. Сьомий та восьмий етапи використовуються для підтримання батареї в зарядженому стані. Точні параметри етапів заряджання 1, 7, 8 або механізм їх адаптивного підбору є власністю фірми та захищені патентним законодавством.

В той же час, експериментальний досвід відновлення батарей, в тому числі вітчизняними дослідниками [9, 10], доводить про можливість достатньо широкого вікна припустимих пара-

метрів режимів заряду з певними обмеженнями щодо максимальної напруги та струму заряду, мінімальної напруги розряду, які забезпечують як достатню тривалість життєвого циклу акумуляторних батарей, так і відновлення батарей з певним ступенем сульфатації пластин. В якості дослідного зразка автором був використаний акумулятор типу AGM (технологія Absorbent Glass Mat – абсорбційне утримання електроліту в матах з скловолокна) 12 В 7 А·год, який протягом року мав напругу розімкнутого ланцюгу приблизно 4 В, струм короткого замикання менше 10 мА, що свідчило про його повну розрядженість та сульфатацію пластин (наявність інших дефектів, які б унеможливили хоча б часткове відновлення, під час експерименту не підтвердилася).

Так, базуючись на алгоритмі фірми СТЕК [4], для відновлення акумулятору був використаний наступний режим:

1. Від початку заряду і до напруги на акумуляторі 12,9 В виконувався реверсивний заряд зі струмом 0,1 С і змінною скважністю імпульсу заряду від 0,1 (на початку заряду) до 0,9 (по досягненню 12,9 В). Розрядний струм (протягом імпульсу розряду) був встановлений величиною 0,02 С.

2. Від напруги на акумуляторі 12,9 В і до напруги 14,9 В заряд виконувався постійним струмом 0,1 С (режим СС).

3. По досягненню напруги 14,9 В, зарядний струм обмежувався таким чином, щоб забезпечити підтримання напруги на акумуляторі $14,9 \pm 0,05$ В (режим СU). Ознакою закінчення даного етапу була зміна зарядного струму менше 5 % протягом 30 хвилин (для акумуляторів більшої ємності, ніж дослідний, інтервал оцінки зміни струму має бути збільшений).

4. Реверсивний заряд з обмеженням напруги 16 В при зарядному імпульсу протягом 1 години. Цей етап заряду може виконуватися для відновлення батареї при сульфатації, але не є рекомендованим для заряду при нормальній експлуатації в зв'язку з підвищеною корозією позитивних пластин з-за виділення кисню при електролізі води електроліту.

Типові зарядні криві $U = f(\tau)$, $Q = g(\tau)$ алгоритму, що використовувався протягом експерименту наведені на рис. 6 (а та б, відповідно).

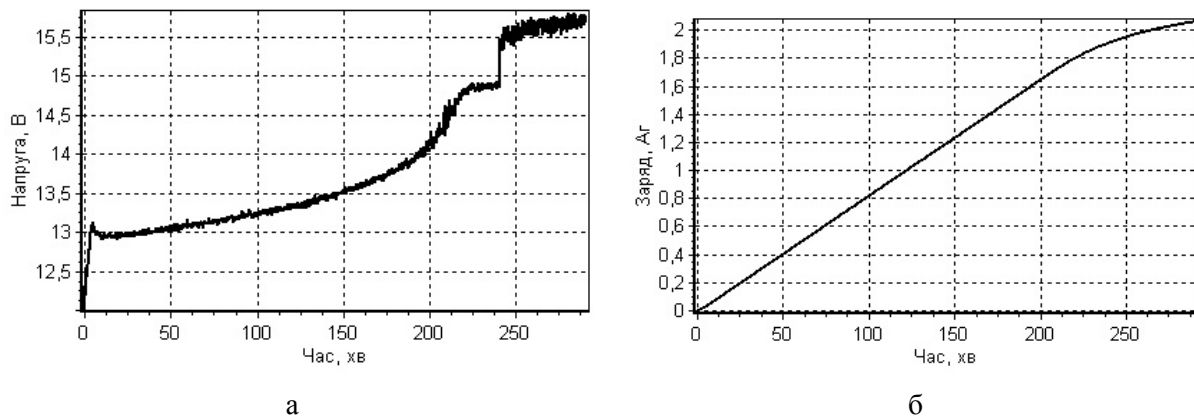


Рис. 6 – Приклад залежності напруги на акумуляторі від часу (а) та заряду від часу (б)

На рис. 7 наведені криві розряду $U = f(\tau)$ акумулятору для другого та останнього контрольно-тренувального циклу експерименту, наочно видно збільшення часу розряду, і, відповідно, ефективної ємності акумулятору. Зростання ефективної ємності акумулятору протягом експерименту показує наведений графік на рис. 8 – так, протягом експерименту вдалося відновити ємність акумулятору до 47% від номінальної, і, хоча ця величина ненабагато більша за критичний залишок ємності (не менше 40%), при якому акумулятор умовно вважається справним [11, 12], але досягнутий результат дозволяє продовжувати використовувати відновлений акумулятор в системах з відновлюваними джерелами енергії, хоча і з меншим часом автономної роботи.

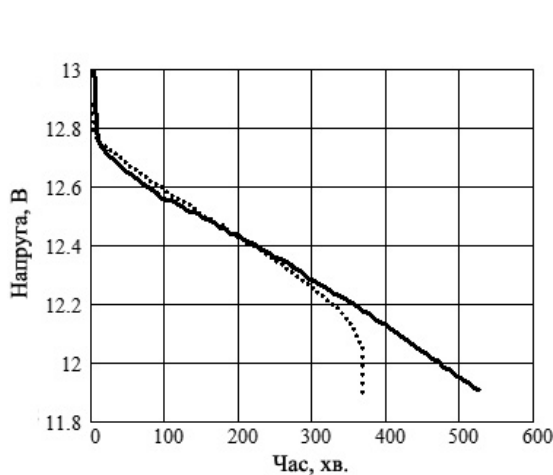


Рис. 7 – Залежність напруги від часу при розряді: --- – КТЦ №2, – – КТЦ №13

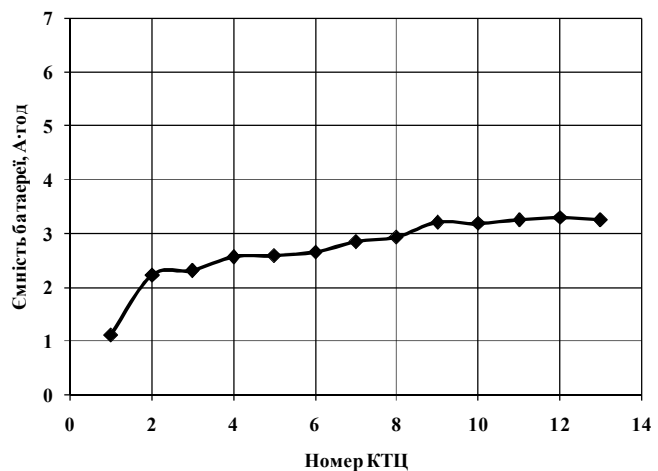


Рис. 8 – Залежність ефективної ємності акумулятору від номеру контрольно-тренувального циклу (КТЦ)

Висновки

1. Запропоновано концепцію мікроконтролерного зарядного пристрою (контролеру заряду) свинцево-кислотних акумуляторних батарей, в тому числі і для систем з використанням відновлюваних джерел енергії.
2. Встановлені параметри режиму, що забезпечує часткове відновлення сульфатованих акумуляторних батарей, доведена ефективність режиму на прикладі AGM батареї 7 А·год 12 В.
3. Дослідження в даному напрямку необхідно продовжувати, збільшивши експериментальну базу, а також використовуючи електрохімічні напрацювання сучасної науки щодо роботи свинцево-кислотних акумуляторів.

Список використаних джерел:

1. Tribe A. The Chemistry of the Secondary Batteries of Plante and Faure / A. Tribe, J.H. Gladstone. – Charleston SC, 2012. – 84 p.
2. Кочуров А.А. Теоретические основы решения проблемы увеличения сроков службы акумуляторных батарей при хранении и повышение эффективности способов их восстановления / А.А. Кочуров, В.Ю. Гумелев, Н.П. Шевченко. – Рязань : РВВДКУ, 2012. – 252 с.
3. Дасоян М.А. Современная теория свинцового акумулятора / М.А. Дасоян, И.А. Агуф. – Л. : Энергия, 1975. – 312 с.
4. Офіційний сайт фірми СТЕК. [Електронний ресурс] : <http://ctek.com.ua>.
5. Why PWM? : Whitepaper // Morningstar Corporation: Newtown, PA 18940 USA, 2012. – 8 p.
6. Сокол С.П. Микроконтроллеры MSP430 / С.П. Сокол // Радио. – 2012. – № 1. – С. 43-44.
7. MSP430x2xx Family. User's Guide. // Texas Instruments Incorporated : Dallas, Texas, 2013. – 644 p.
8. MSP430G2x53. MSP430G2x13. Mixed Signal Microcontroller // Texas Instruments Incorporated : Dallas, Texas, 2013. – 644 p.
9. Сорока А.В. Адаптивные алгоритмы зарядки свинцовых акумуляторов [Електронний ресурс] : <http://adopt-zu.soroka.org.ua>.
10. Влияние способов заряда свинцево-кислотных акумуляторных батарей на их состояние / Н.Е. Сергиенко, А.Н. Сергиенко, Н.Е. Оверко, А.Н. Маренич // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – № 22. – С. 30-35.
11. Про затвердження Правил експлуатування акумуляторних свинцевих стартерних батарей колісних транспортних засобів і спеціальних машин, виконаних на колісних шасі // Наказ Міністерства транспорту і зв'язку України від 02.07.2008 №795 (зі змінами від 24.11.2014).
12. Акумуляторы свинцовые стационарные. Общие технические условия : ГОСТ 26881-86. – [Чинний від 1989-04-01]. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 32 с.

Bibliography:

1. Tribe A. The Chemistry of the Secondary Batteries of Plante and Faure / A. Tribe, J.H. Gladstone. – Charleston SC, 2012. – 84 p.
2. Kochurov A.A. Theoretical bases of solving the problem of increasing the service life of batteries during storage and ways to improve the efficiency of their recovery / A.A. Kochurov, V.Y. Gumelev, N.P. Shevchenko. – Ryazan : RVVDKU, 2012. – 252 p. (Rus.)
3. Dasoyan M.A. The modern theory of lead batteries / M.A. Dasoyan, I.A. Aguf. – L. : Energiya, 1975. – 312 p. (Rus.)
4. Official web site of CTEK Company. [Electronic resource] : <http://ctek.com.ua>.
5. Why PWM? : Whitepaper // Morningstar Corporation: Newtown, PA 18940 USA, 2012. – 8 p.
6. Sokol S.P. Microcontrollers MSP430 / S.P. Sokol // Radio. – 2012. – № 1. – P. 43-44. (Rus.)
7. MSP430x2xx Family. User's Guide. // Texas Instruments Incorporated : Dallas, Texas, 2013. – 644 p.
8. MSP430G2x53. MSP430G2x13. Mixed Signal Microcontroller // Texas Instruments Incorporated : Dallas, Texas, 2013. – 644 p.
9. Soroka A.V. Adaptive algorithms of lead-acid batteries charging [Electronic resource] : <http://adopt-zu.soroka.org.ua>.
10. Influence of charging ways of lead-acid batteries in their state / N.E. Sergienko, A.N. Sergienko, N.E. Overko, A.N. Marenich // News NTU «KhPI». – 2014. – № 22. – Pp. 30-35. (Rus.)
11. On approval of rules exploiting rechargeable lead-acid starter batteries of vehicles and special vehicles carried on wheeled chassis // Order of the Ministry of Transport and Communications of Ukraine of 02.07.2008 №795 (amended on 11.24.2014). (Ukr.)
12. Lead Stationary Batteries. General specifications : GOST 26881-86. – [Effective as of 01.04.1989]. – M.: USSR State Committee on Standards, 1986. – 32 p. (Rus.)

Рецензент: В.П. Гранкін
д-р фіз.-мат. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 02.04.2015

УДК 681.5

© Воротникова З.Е.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «ГУСЕНИЦА»**

В статье изложены сведения о существующих способах моделирования нестационарных временных рядов и о разработанном автором способе автоматического моделирования нестационарных временных рядов технологических параметров с помощью метода «Гусеница» (SSA) с целью использования в имитационных и экспертных системах для дальнейшего анализа хода технологического процесса.

Ключевые слова: нестационарные временные ряды, структура временного ряда, асимптотическое приближение ряда, сингулярный спектральный анализ, тест на стационарность, главные компоненты.

Воротникова З.Е. Моделювання нестационарних часових рядів технологічних параметрів з використанням методу «Гусінь». У статті викладені відомості про існуючі способи моделювання нестационарних часових рядів та про розроблений автором спосіб автоматичного моделювання нестационарних часових рядів технологічних параметрів з метою використання в імітаційних та експертних системах для подальшого аналізу ходу технологічного процесу.

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, mailgold@mail.ru