

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

КОКОЙЛО АНДРІЙ ДМИТРОВИЧ

УДК 004.3, 004.4

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ
БАТАРЕЙ**

**Автореферат кваліфікаційної магістерської роботи на здобуття
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітня кваліфікація

«Магістр з комп'ютерної інженерії»

Миколаїв – 2021

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Чорноморському національному університеті ім. Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі комп'ютерної інженерії.

Керівник: кандидат технічних наук, доцент
Крайник Ярослав Михайлович,
ЧНУ ім. Петра Могили,
в.о. зав. кафедри комп'ютерної інженерії

Рецензент: доктор технічних наук, професор,
Трунов Олександр Миколайович,
ЧНУ ім. Петра Могили,
професор кафедри автоматизації і
комп'ютерно–інтегрованих технологій

Захист відбудеться «24» лютого 2021 р. о 10³⁰ на засіданні
Державної екзаменаційної комісії в ЧНУ ім. Петра Могили, ауд. 2-406

З кваліфікаційною магістерською роботою можна ознайомитись в бібліотеці
Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: вул. 68
Десантників, 10, Миколаїв, 54003. Електронна версія розміщена в Інституційному
репозиторії для бакалаврських та магістерських робіт.

Автореферат оприлюднений «22» лютого 2021 р.

Секретар
екзаменаційної комісії,
кандидат фіз.-мат. наук, доцент

С. В. Пузирьов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Завдяки швидкому розвитку мікроелектроніки та комп'ютерних технологій в останні десятиліття, сьогодні існує велика кількість портативних пристроїв, таких як смартфони, цифрові відеокамери, дрони, тощо. Для автономного живлення даних пристроїв зазвичай використовуються вторинні хімічні джерела живлення – акумулятори, які перетворюють внутрішню хімічну енергію активних речовин в електричний струм. На відміну від одноразових батарейок, в акумуляторів даний процес є повністю зворотнім – при пропусканні через нього електричного струму від зовнішнього джерела, хімічні процеси на електродах протікають в зворотному напрямку, і акумулятор заряджається.

Різні типи акумуляторів вимагають різних умов експлуатації, при недотриманні яких вони можуть повністю або частково втратити свої властивості. Якщо такі «зіпсовані» акумулятори використовуються разом з нормальними, це може призвести до псування останніх внаслідок нерівномірного розрядження різних акумуляторів в батареї. В таких випадках потрібно мати пристрій для тестування акумуляторів щоб мати можливість виміряти реальну ємність даних акумуляторів перед їх використанням у складі батареї з декількох елементів.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є розробка системи для автоматизованого тестування акумуляторів, що включає в себе апаратний модуль на базі мікроконтролеру та програмне забезпечення для ПК.

Для досягнення даної мети в магістерській роботі поставлені та вирішені наступні завдання:

Завдання:

- проаналізувати методи зарядки та тестування, а також особливості умов експлуатації різних типів акумуляторів;
- проаналізувати функціональні можливості наявних пристроїв аналогічного призначення;

- спроектувати апаратну частину пристрою, використовуючи загальнодоступні компоненти, передбачивши можливість подальшої модифікації та вдосконалення;
- розробити програмну частину для забезпечення функціонування спроектованого апаратного модулю;
- розробити програмний застосунок для ПК з можливістю накопичення даних для подальшого аналізу та побудови розрядних характеристик;
- виготовити робочий прототип пристрою та перевірити його працездатність:

Об'єктом дослідження є основні технічні характеристики акумуляторів різних типів, їх залежність від загального технічного стану акумулятора та вплив на його експлуатаційні характеристики; методи вимірювання основних технічних характеристик акумуляторів.

Предметом дослідження виступає система для автоматизованого тестування акумуляторів.

Методи дослідження: для виконання поставлених завдань використовувались *теоретичні методи*, зокрема: дедукції – при виборі напрямків дослідження; експертної оцінки – при виборі теми і постановки мети дослідження та аналізі результатів; системного аналізу – при розробці технології наукових досліджень; теорії електрохімічних процесів – при аналізі проблем предметної області; теорії електромагнітних кіл – при проектуванні електричної схеми; та *емпіричні методи*: фізичне макетування, вимірювання параметрів, побудова залежностей – при експериментальному дослідженні на розробленому прототипі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблений пристрій може бути використаним для періодичного контролю технічного стану акумуляторних батарей, а також для зняття розрядних характеристик для їх подальшого аналізу.

Апробація результатів магістерської роботи відбулася під час конференції «Інтелектуальні інформаційні системи–2021» (м. Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили).

Публікації. За результатами роботи опубліковані тези доповіді на конференції «Інтелектуальні інформаційні системи–2021»[1].

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається з анотації на 2 сторінках, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 15 найменувань, 3 додатків на 16 сторінках,. Основна частина роботи становить 58 сторінок, серед яких 33 рис. та 6 табл..

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано обґрунтування актуальності теми магістерської роботи, зазначено її зв'язок із науковою програмою, планами і темами, сформульовано мету та завдання дослідження, вказано практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію результатів роботи та публікації автора. Проблема оцінки технічного стану акумуляторних батарей стала особливо актуальною у зв'язку з широким поширенням портативної електронної техніки з автономним живленням від акумуляторів. При довготривалому використанні, або при порушенні умов використання акумуляторів їх технічні характеристики можуть погіршуватись, що впливатиме на тривалість роботи пристроїв від однієї зарядки, або взагалі призведе до повної їх непрацездатності. Для того, щоб передбачити вихід з ладу акумулятора, і як наслідок втрату працездатності електронних пристроїв необхідно проводити періодичний контроль технічного стану акумуляторних батарей

У **першому розділі** магістерської роботи «**Аналітичний огляд інформації по акумуляторам та зарядно-тестувальним пристроям**» проаналізовано особливості основних розповсюджених типів акумуляторів,

розглянуто основні методи вимірювання технічних характеристик акумуляторів, які можуть бути використані для оцінки їх технічного стану.

Проведено дослідження та аналіз можливостей існуючих апаратних засобів для тестування акумуляторних батарей у ході чого виявлено, що жоден з розглянутих пристроїв не дозволяє проводити тестування акумуляторів шляхом вимірювання їх внутрішнього опору, хоча даний метод дозволяє швидко оцінити працездатність акумулятора та його придатність для конкретних задач.

Після аналізу характеристик різних типів акумуляторів та деяких популярних моделей зарядних пристроїв було вирішено розробити систему для тестування акумуляторів, яка задовольнятиме таким вимогам:

- підтримуватиме роботу з усіма популярними типами акумуляторів з ємністю до одиниць ампер-годин та максимальною напругою до 15 В;
- матиме змогу проводити вимірювання ємності та внутрішнього опору акумуляторних батарей для оцінки їх технічного стану;
- дозволить знімати зарядно-розрядні характеристики для подальшого аналізу;
- матиме зручний інтерфейс користувача у вигляді застосунку для ПК, в якому будуть відображатись результати вимірювання.

У **другому розділі** магістерської роботи **«Проектування системи автоматизованого тестування акумуляторних батарей»** було спроектовано структурну схему пристрою з основними блоками, необхідними для функціонування системи (рис. 1). Приведено алгоритми процесів вимірювання ємності та внутрішнього опору акумуляторів. Здійснено вибір основних компонентів, що будуть використовуватись при розробці системи з урахуванням їх функціональних можливостей та доступності. Проведено аналіз особливостей реалізації кожного структурного блоку з урахуванням всіх вимог до його характеристик та функціональних можливостей.

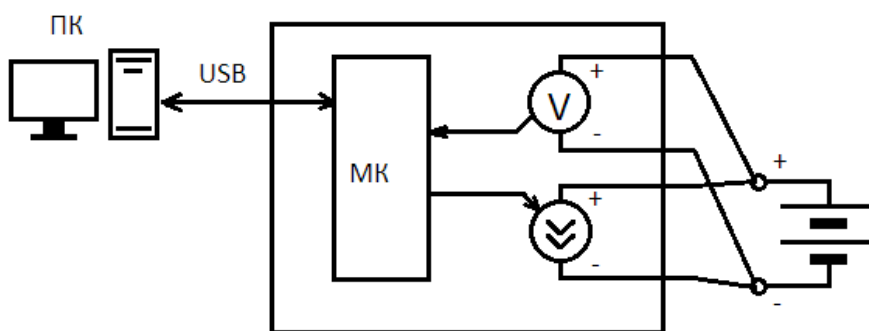


Рисунок 1 – Структурна схема системи

При проектуванні вузла вимірювання напруги було враховано особливості процесу вимірювання напруги при високих струмах навантаження. Використана чотирьохпровідна схема вимірювання дозволяє отримати високу точність вимірювань напруги на акумуляторі незалежно від сили струму навантаження.

У третьому розділі магістерської роботи «Розробка апаратної та програмної частин системи для автоматизованого тестування акумуляторів» описано деталі реалізації апаратної та програмної частин пристрою, а також реалізацію застосунку для ПК для управління системою.

При реалізації апаратної частини було враховано вимоги до точності та діапазонів вимірюваних параметрів. Розроблений пристрій має змогу тестувати акумулятори з напругою до 15 В та проводити їх розрядку струмом до 2 А, чого достатньо для більшості акумуляторів загального призначення, що використовуються в сучасній техніці.

Апаратну частину системи було виготовлено з загальнодоступних компонентів, що забезпечує високий рівень ремонтпридатності системи та її невисоку вартість. Розроблена архітектура апаратної частини передбачає можливість розширення робочих діапазонів напруги на струму, у разі необхідності, шляхом простого перерахунку номіналів деяких компонентів.

Розробка програмної частини пристрою велась в середовищі Microchip Studio з використанням мови програмування C. Використання даної мови

програмування дозволило розробити швидкий та компактний код, залишивши місце для розширення функціоналу.

Розробка програмного застосунку для ПК проводилась в середовищі Microsoft Visual Studio 2019 з використанням мови програмування C#. Використання даної мови програмування пов'язано зі зручністю реалізації користувацького інтерфейсу та простотою підтримки програмного коду.

У **четвертому розділі** магістерської роботи «**Тестування розробленої системи та аналіз результатів її роботи**» описується створений прототип пристрою та демонструється робота системи.

Проведено тестування літій-іонного акумулятора Liitokala VTC4, в результаті якого виявлено, що хоча акумулятор і має досить високий внутрішній опір для акумулятора даного типу, проте його значення збігається для двох акумуляторів, що свідчить про певну закономірність – або дане значення є нормою для даних акумуляторів при тих умовах, при яких відбувалось вимірювання, або обидва даних акумулятора є неякісними та не відповідають нормам для типу US18650VTC4.

При перевірці ємності даних акумуляторів було виявлено, що реальне її значення приблизно на 10 % нижче заявленого виробником навіть при малих струмах розрядки. Також у ході процесу вимірювання ємності було збережено набір даних, на основі яких було побудовано графіки розрядних характеристик акумулятора (рис. 2) при різних значеннях струму розрядки. На основі отриманих графіків можна зробити висновок, що залежність напруги від рівня заряду літій-іонних акумуляторів є дуже нелінійною, особливо на початку та в кінці процесу розрядки. Таким чином для оцінки рівня заряду літій-іонних акумуляторів необхідно використовувати більш складні методи, ніж просте вимірювання напруги.

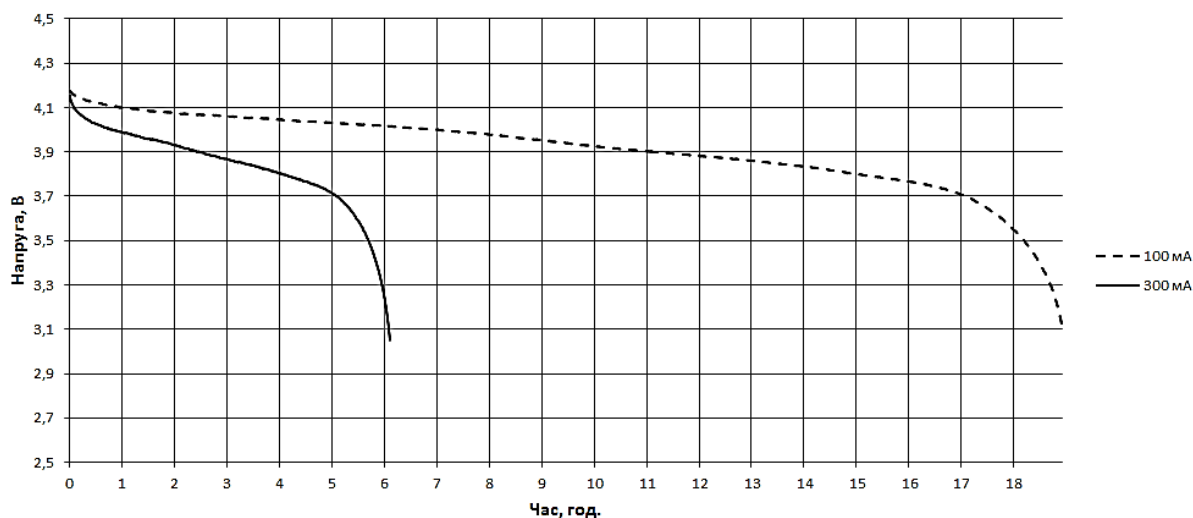


Рисунок 2 – Розрядні характеристики, отримані в результаті роботи пристрою

В результаті перевірки двох нікель-кадмієвих акумуляторів було виявлено, що один з них має значно завищений внутрішній опір, при тому, що він має нормальну напругу і, напевно, зможе нормально працювати при малих значеннях струму навантаження. У зв'язку з високим значенням внутрішнього опору даний акумулятор не зможе віддавати велике значення сили струму в навантаження, та працювати у складі батареї з декількох елементів.

При перевірці внутрішнього опору нікель-метал-гідридного акумулятора невідомої марки виявлено, що його значення внутрішнього опору (60 мОм) значно менше ніж в усіх інших протестованих акумуляторів, навіть у вищезгаданого літій-іонного, хоча він має бути найбільш потужним з усіх розглянутих типів. Даний результат доводить, що вимірне підвищене значення опору літій-іонного акумулятора не є помилкою вимірювання, а скоріше за все свідчить про низьку якість акумулятора.

На основі результатів проведених вимірювань можна зробити висновок, що вимірювання внутрішнього опору є досить ефективним способом перевірки працездатності акумуляторів, що не потребує значних затрат часу.

У додатках приведено повну принципову схему апаратної частини системи, а також код програмної частини пристрою та код застосунку для ПК.

Спеціальна частина «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» проведений аналіз факторів виробничого середовища у приміщенні на підприємстві ТОВ «Борд-Бід», а також визначений вплив цих факторів на здоров'я та працездатність працівників. Слід зазначити, що була встановлена відповідність всіх розглянутих показників чинним санітарним нормам та виявлено, що умови праці в ТОВ «Борд-Бід» є оптимальними.

ВИСНОВКИ

Метою магістерської роботи була розробка системи для автоматизованого тестування акумуляторів. Проведено аналіз характеристик та особливостей використання акумуляторів основних розповсюджених типів, у ході якого було виявлено, що деякі типи акумуляторів мають схильність до погіршення характеристик при неправильному використанні. При проектуванні системи було передбачено реалізацію алгоритму вимірювання внутрішнього опору акумуляторних батарей, розрядки батареї з вимірюванням її ємності та записом розрядного профілю для подальшого аналізу. Також, при розробці схеми апаратної частини програмно-апаратного комплексу було передбачено можливість його використання в якості зарядного пристрою при наявності зовнішнього блоку живлення. Даний режим роботи не було реалізовано в програмному забезпеченні, але існує можливість його реалізації шляхом оновлення програмного забезпечення без необхідності внесення змін в апаратну частину.

Програмне забезпечення для мікроконтролера було написано на мові C в середовищі Microchip Studio. Використання даної мови програмування дозволило максимально ефективно задіяти апаратні ресурси вибраного мікроконтролера, отримавши при цьому досить компактний та швидкий код.

Після проектування програмної та апаратної частин пристрою його працездатність було перевірено на створеному макеті. Після аналізу результатів

тестування декількох акумуляторів можна зробити висновок про високу ефективність розробленої системи.

Робота пройшла апробацію на всеукраїнській науково-технічній конференції, за результатами надруковано одну публікацію.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Кокойло А. Д., Крайник Я. М. Система автоматизованого тестування акумуляторних батарей. *Інтелектуальні інформаційні системи* : тези доп. Всеукр. наук.-практ. конф., 9–12 лютого 2021 р. / ЧНУ ім. Петра Могили. – Миколаїв, 2021. – с. 101

АНОТАЦІЯ

Кокойло А. Д. Система автоматизованого тестування акумуляторних батарей

Магістерська робота спрямована на розробку автоматизованої системи для тестування акумуляторних батарей. У ході роботи було проаналізовано особливості акумуляторів основних розповсюджених типів, розглянуто можливості наявних пристроїв подібного призначення, спроектовано програмну та апаратну частини пристрою, а також додаток для ПК. Практичне значення результатів дослідження та розроблення полягає у тому, що розроблений пристрій та програмне забезпечення можна використовувати для вимірювання основних технічних характеристик та зняття графіків розрядних характеристик акумуляторів для оцінки їх технічного стану.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та трьох додатків. У вступі визначається актуальність теми, сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження та розроблення. У першому розділі досліджуються особливості акумуляторів основних розповсюджених типів; проводиться аналіз методів тестування акумуляторів; розглядаються можливості існуючих пристроїв для тестування акумуляторів. У другому розділі здійснюється проектування

системи, розглядаються особливості реалізації окремих її блоків; приводиться загальний алгоритм роботи системи. У третьому розділі проводиться детальний опис апаратної реалізації системи; проводиться вибір мов програмування та середовища розробки; розглядаються особливості реалізації програмного забезпечення. Четвертий розділ присвячений тестуванню розробленої системи та аналізу результатів її роботи. У висновках наведено аналіз виконаної роботи та отриманих результатів дослідження та розроблення. У додатку А наведено електричну принципову схему пристрою, у додатку Б – код програмного забезпечення пристрою, у додатку В – код додатку для ПК.

Дипломна робота містить 66 стор. (без додатків), 33 рис., 6 табл., 23 посилання та 3 додатки.

Ключові слова: управління енергією, акумулятори, тестування акумуляторів, енергетична ємність, внутрішній опір, розрядні характеристики.

ABSTRACT

Kokoilo Andrii “Automated battery testing system”

The master's thesis is aimed at developing an automated system for testing batteries. During the work, the features of the main common types of batteries were analyzed, the capabilities of existing devices for this purpose were considered, the software and hardware of the device, as well as a PC application were designed. The practical significance of the results of research and development is that the designed device and developed software can be used to measure the basic technical characteristics and plot graphs of the discharge characteristics of batteries to determine their technical condition.

The explanatory note of the master's thesis consists of an introduction, four sections, conclusions and three appendices. The introduction determines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject and objectives of research and development. The first section examines the features of the main

common types of batteries; the analysis of methods of testing of accumulators is carried out; the capabilities of the existing devices for testing batteries are considered. In the second section the system is designed, features of implementation of its separate blocks are considered; the general algorithm of work of system is resulted. The third section provides a detailed description of the hardware implementation of the system; the choice of programming languages and development environment is made; features of software implementation are considered. The fourth section is devoted to testing the developed system and analyzing the results of its work. The conclusions provide an analysis of the work performed and the results of research and development. Appendix A shows the electrical schematic diagram of the device, Appendix B - the device software code, Appendix C - the application code for the PC.

Thesis contains 66 pages. (without appendices), 33 figures, 6 tables, 23 references and 3 appendices.

Keywords: energy management, batteries, battery testing, energy capacity, internal resistance, discharge characteristics.