

Мирончик В. А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Федоринчик М. П. – ст. преподаватель

**Аннотация.** Работа посвящена проектированию архитектуры автономного эмулятора литий-ионных аккумуляторов. Рассматривается программная реализация эквивалентной схемы замещения Тевенина на базе микроконтроллера и построение двунаправленного силового каскада. Описанный подход позволяет имитировать динамические процессы в ячейке, такие как просадка напряжения под нагрузкой и релаксация, что необходимо для верификации систем управления батареями (BMS) без использования химических источников тока.

**Ключевые слова:** эмулятор аккумулятора, модель Тевенина, Arduino, двунаправленный DC-DC преобразователь, литий-ионная ячейка.

#### **Введение**

При разработке систем управления батареями (BMS) критически важным этапом является проверка алгоритмов защиты и балансировки. Использование реальных аккумуляторов для этих целей неэффективно из-за большой длительности циклов заряда-разряда и невозможности оперативного воспроизведения конкретных состояний (например, имитации изношенной ячейки с высоким внутренним сопротивлением). Промышленные образцы имеют, зачастую, избыточные для небольших масштабов характеристики и ограничения в виде большой цены и платного ПО. Существующие лабораторные стенды на базе дискретных приборов не обладают требуемой динамикой и двунаправленностью. В связи с этим актуальной задачей является разработка специализированного устройства, программно имитирующего электрохимические процессы аккумулятора.

#### **Обзор состояния рынка и параметров аккумуляторов и аккумуляторных батарей**

В докладе рассматриваются основные характеристики эмулируемых литий-ионных аккумуляторов, графики заряда и разряда выбранной эталонной ячейки Panasonic 18650 и характеристики, с которыми должен работать эмулятор. На основании этого сделан вывод о наиболее важных и часто используемых параметрах.

Проектируемое устройство строится по принципу программно-определяемой системы (Software-Defined Battery). В качестве математического ядра выбрана модель Тевенина первого порядка (1RC-цепь). Она включает в себя три ключевых параметра: напряжение холостого хода (OCV), зависящее от степени заряда (SoC), активное внутреннее сопротивление и RC-цепочку, описывающую поляризацию.

Центральным узлом является микроконтроллер, который выполняет расчет текущего напряжения на клеммах в реальном времени. Силовая часть представляет собой двунаправленный импульсный преобразователь. Это ключевое требование для эмулятора: прибор должен уметь не только отдавать ток (имитация разряда), но и поглощать его (имитация заряда), работая в режиме управляемой электронной нагрузки.

Алгоритм управления реализует метод табличной аппроксимации (Look-Up Table) для разрядных кривых ячеек типа 18650. Это позволяет быстро адаптировать эмулятор под разные типы химии, изменяя только программные коэффициенты. Связь с внешним ПК по интерфейсу USB/UART обеспечивает возможность оперативного изменения параметров модели: начального SoC, емкости и величины внутреннего сопротивления для имитации деградации аккумулятора.

#### **Заключение**

Предложенная архитектура эмулятора обеспечивает автономность и гибкость настройки параметров имитации. Сочетание математической модели Тевенина и двунаправленного силового каскада позволяет воспроизводить нелинейное поведение литий-ионной ячейки в широком диапазоне режимов. Разработанная структура является базой для создания доступного инструментария, необходимого при отладке встраиваемой электроники и систем автономного питания.

#### **Список использованных источников:**

1. Panasonic NCR18650B Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: – Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/> – Дата доступа: 18.03.2026.
2. Thevenin Equivalent Circuit Model for Lithium-Ion Batteries [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/5/1074>.
3. Bi-Directional DC-DC Converter / Texas Instruments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ti.com/lit/an/snva716/snva716.pdf>.