

УДК 621.355.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СБОРКИ
АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ
SIMULATION OF PARALLEL-SERIAL CONNECTION OF BATTERIES IN
THE ELECTRONIC LABORATORY**

А.В. Борщевский

Научный руководитель – Ю.В. Бладыко, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

eie@bntu.by

A. Borshchevsky

Supervisor – Y. Bladyko, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В работе рассматривается моделирование процессов заряда-разряда сборок аккумуляторных батарей с учетом их деградации. Приводятся результаты симулирования циклической работы сборок батарей в электронной лаборатории Electronics Workbench. При моделировании учитывалось наличие в сборке одной «дефектной» батареи. Работа такой сборки сравнивалась с работой эталонной сборки. Рассматривалось параллельно-последовательное соединение батарей.*

***Abstract:** The paper deals with the modeling of the processes of charge-discharge of battery connections, taking into account their degradation. The results of simulating the cyclic operation of battery connections in the Electronics Workbench electronic laboratory are presented. The simulation took into account the presence of one “defective” battery in the connection. The performance of such battery was compared with the performance of a reference one. A parallel-series connection of batteries was considered.*

***Ключевые слова:** аккумулятор, заряд, разряд, емкость, соединение.*

***Keywords:** battery, charge, discharge, capacity, connection.*

Введение

В настоящее время вопросы продления срока службы аккумуляторов (АКБ) и их сборок являются актуальными для ряда отраслей. При этом необходимо решать задачи оптимизации схем включения, управления работой больших сборок АКБ с учетом деградации параметров отдельных батарей в зависимости от типа, конструкции, режима заряда-разряда, условий эксплуатации. Компьютерное моделирование процессов заряда-разряда аккумуляторных батарей и их сборок с учетом эффектов деградации, может стать важным инструментом решения этой проблемы [1, 2].

В [3] была показана работоспособность электронной лаборатории Electronics Workbench для таких исследований. При использовании критерия подобия имеются перспективы к усложнению схем и анализу больших параллельно-последовательных сборок аккумуляторов.

Основная часть

На рисунке 1 показана параллельно-последовательная сборка 4-х АКБ.

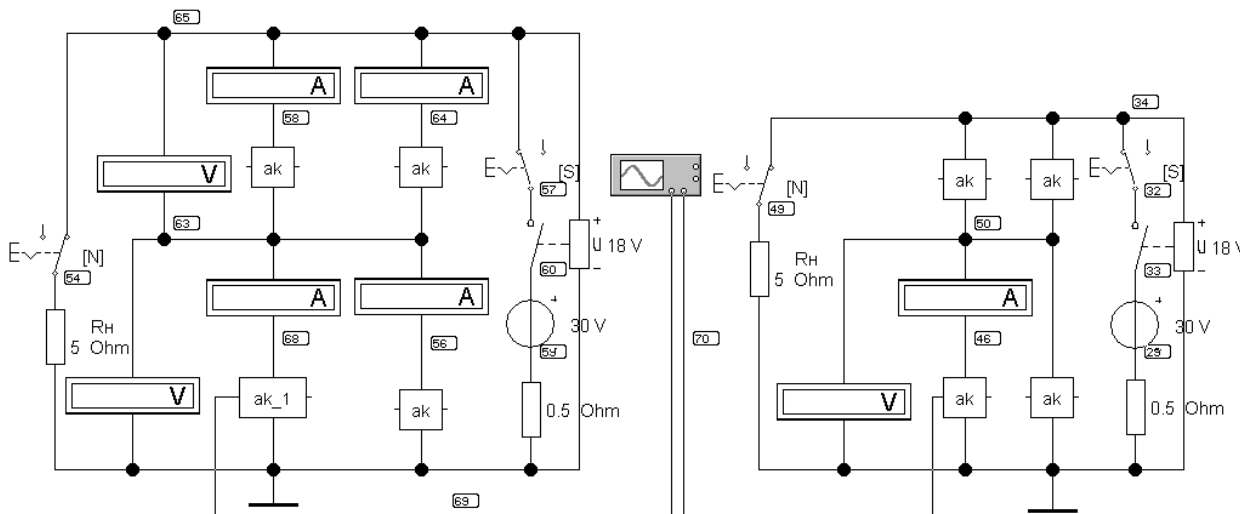


Рисунок 1 – Параллельно-последовательная сборка 4-х АКБ.
 Слева – исследуемая сборка, справа – эталонная сборка

На рисунке 2 представлена временная диаграмма состояния заряда исправного АКБ в эталонной сборке в ходе зарядно-разрядного циклирования и соответствующая диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ в тестируемой сборке. На графике виден тренд деградации емкости «дефектной» АКБ. Показано изменение заряда (емкости АКБ) в процессе нескольких циклов заряда-разряда с первоначальной деградацией параметров (левая часть) и с прогрессирующей деградацией (правая часть). В ходе циклирования происходит дальнейшая деградация «дефектной» АКБ, – уменьшение емкости с 4,5 до 4 Ф (до 48 А·ч) и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом.

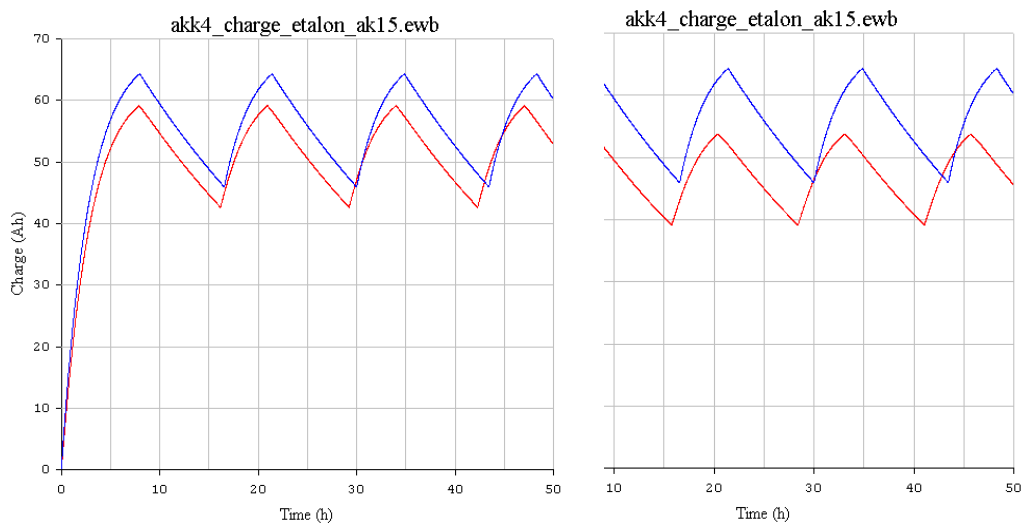


Рисунок 2 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия) в эталонной сборке и «дефектной» АКБ (красная линия).
 Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

На рисунке 3 представлена временная диаграмма состояния заряда «дефектной» АКБ и включенной с ней параллельно в сборке нормальной АКБ.

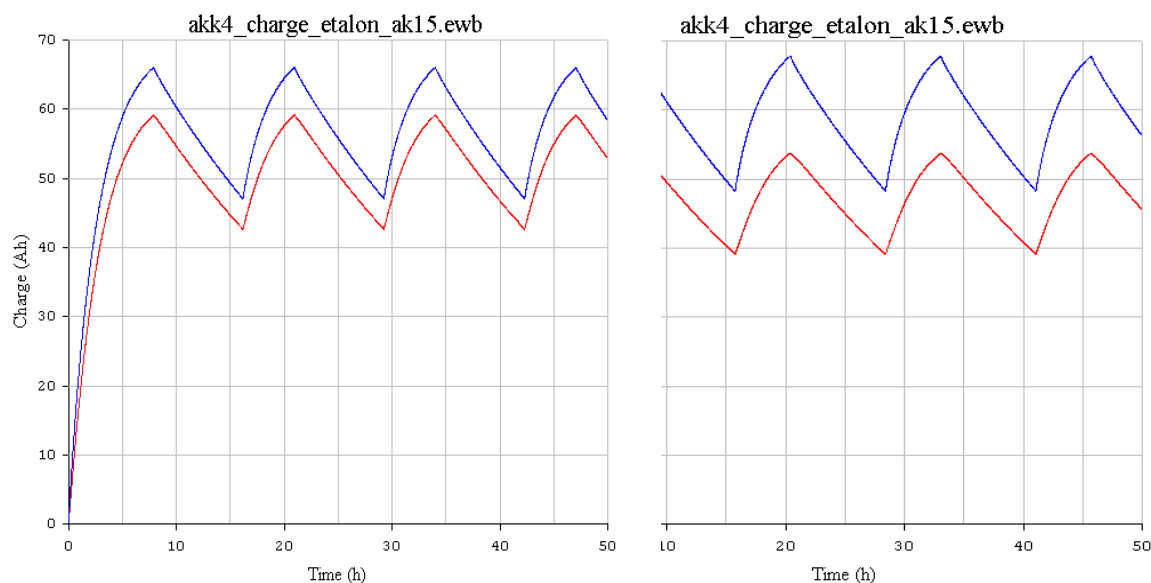


Рисунок 3 – Временная диаграмма состояния заряда исправной АКБ (синяя линия) и включенной с ней параллельно «дефектной» АКБ (красная линия).
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

На рисунках 4–5 представлены временные диаграммы изменения напряжений «дефектной» АКБ по сравнению с изменениями эталонной и подсоединенных с ней последовательно и параллельно.

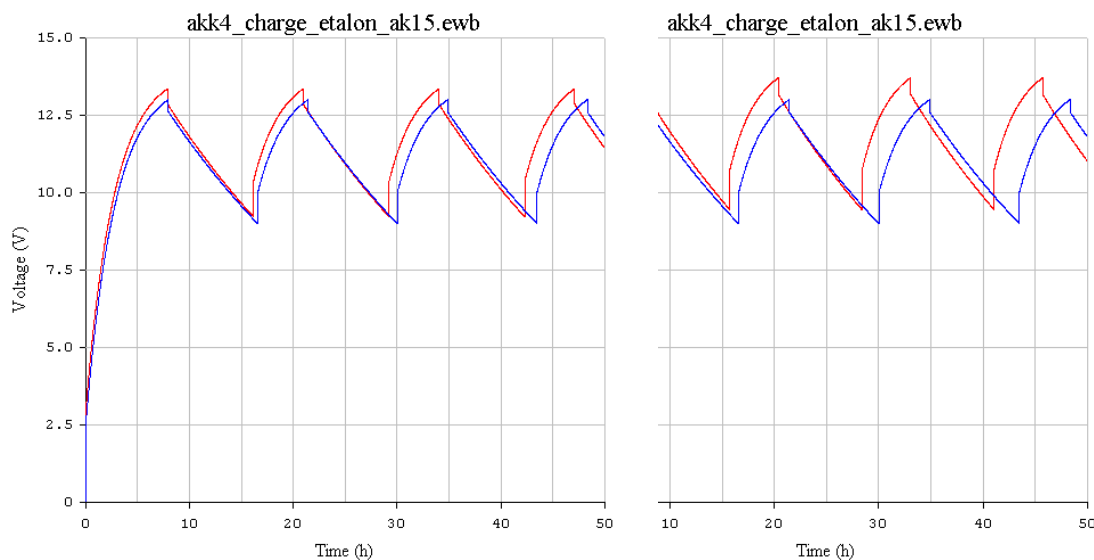


Рисунок 4 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия) в эталонной сборке и «дефектной» АКБ (красная линия).
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

Уменьшение емкости дефектной АКБ на 10 % и увеличение сопротивления дефектной АКБ (внутреннее сопротивление выросло с 0,1 до 0,15 Ом) привело к сокращению времени разряда исследуемой сборки на 3,2 % по сравнению со

временем разряда эталонной сборки. При дальнейшей деградации (уменьшение емкости на 20 % от эталонной и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом) время разряда исследуемой сборки уменьшается на 6,4 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. Изменение параметров зарядного устройства и нагрузки для разряда АКБ не выявило существенного влияния на указанные процентные соотношения

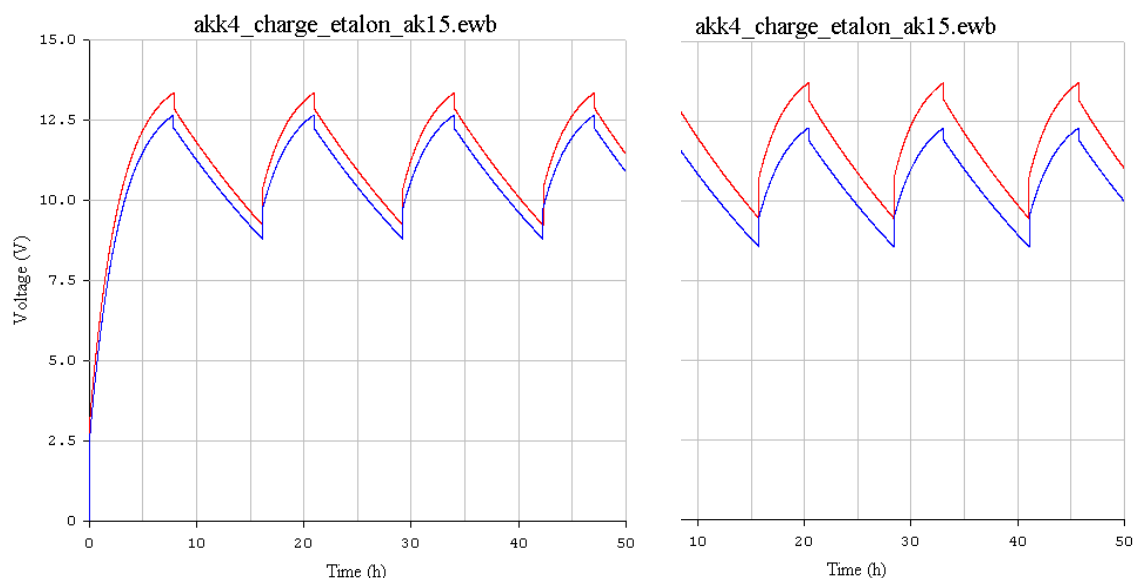


Рисунок 5 – Временная диаграмма напряжения исправной АКБ (синяя линия) и подключенной с ней последовательно «дефектной» АКБ (красная линия).
Правая часть – с учетом деградации параметров со временем

Отличие напряжения по сравнению с напряжением эталонной батареи составляет 3,0 %, при прогрессировании деградации возрастает до 6,3 %. Если сравнивать напряжения «дефектной» АКБ и последовательно включенной, то разница напряжения возрастает при деградации с 5,0 % до 10,4 %. Потери мощности в «дефектной» АКБ возрастают при этом на 12,2 %.

Заключение

При параллельно-последовательном подключении АКБ 2x2 уменьшение емкости дефектной АКБ на 10 % и увеличение сопротивления дефектной АКБ (внутреннее сопротивление выросло на 50 %) привело к сокращению времени разряда исследуемой сборки на 3,2 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. При дальнейшей деградации (уменьшение емкости на 20 % от эталонной и увеличение внутреннего сопротивления с 0,15 до 0,2 Ом) время разряда исследуемой сборки уменьшается на 6,4 % по сравнению со временем разряда эталонной сборки. Отличие напряжения по сравнению с напряжением эталонной батареи составляет 3,0 %, при прогрессировании деградации возрастает до 6,3 %. Если сравнивать напряжения «дефектной» АКБ и последовательно включенной, то разница напряжения возрастает при деградации с 5,0 % до 10,4 %. Потери мощности в «дефектной» АКБ возрастают при этом на 12,2 %.

При сравнении двух способов включения предпочтение отдается параллельно-последовательному подключению АКБ. Для такой сборки АКБ 2x2

практически не изменились временные параметры работы, однако более чем в два раза изменились различия в напряжениях «дефектной» и других АКБ. Потери мощности в «дефектной» АКБ снизились на 16,5 % при выборе параллельно-последовательной сборки.

Литература

1. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 800 с.
2. Бладыко, Ю.В. Электроника. Практикум. Мн.: ИВЦ Минфина, 2016. 190 с.
3. Доброго, К.В. Моделирование сборок аккумуляторных батарей в электронной лаборатории / К.В. Доброго, Ю.В. Бладыко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1 . С. 27 – 39.