

УДК 621.354

**РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗАРЯДНО-РАЗРЯДНОГО УСТРОЙСТВА**

Бударин Д.О., студент гр. НЭБ-221, IV курс
Цакун О.З., ассистент каф. ЭГПП
Научный руководитель: Лобур И.А., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачёва,
г. Кемерово

В статье представлена разработка универсального зарядно-разрядного устройства, объединяющего функции управляемого заряда, контролируемого разряда и точной диагностики аккумуляторных батарей различных электрохимических систем. Актуальность работы обусловлена необходимостью единого прибора для обслуживания Li-ion, NiMH и свинцово-кислотных аккумуляторов. Проанализированы особенности процессов заряда и разряда, сформированы технические требования. Разработана модульная структура, включающая импульсный понижающий преобразователь (режимы CC/CV), электронную нагрузку, измерительные каналы и систему управления на микроконтроллере. Приведены расчеты силовых узлов и результаты экспериментальной проверки. Подтверждена работоспособность алгоритмов, стабильность токов и напряжений, а также корректное срабатывание защит. Энергетический КПД цикла «заряд-разряд» составил 87,7%. Изделие может применяться в лабораторной и сервисной практике.

Введение

Развитие портативной электроники и автономных систем привело к одновременному использованию аккумуляторов разных типов (Li-ion, NiMH, свинцово-кислотные), каждый из которых предъявляет специфические требования к режимам заряда и разряда. Типовые зарядные устройства ориентированы на один сценарий и не обеспечивают полноценной диагностики, такой как контролируемый разряд для оценки фактической емкости. Это повышает риск деградации батарей и требует применения нескольких отдельных приборов. Целью работы является разработка универсального интеллектуального зарядно-разрядного устройства, способного выполнять заряд, контролируемый разряд и измерение параметров с обеспечением безопасности и стабильности режимов.

1 Теоретическая часть и требования к устройству

Выбор режимов определяется электрохимической системой. Для литиевых аккумуляторов критичен алгоритм CC/CV (постоянный ток / постоянное напряжение) с точным завершением по падению тока. Для NiMH ключевым

является контроль изменения напряжения и температуры (dV/dt , dT/dt). Свинцово-кислотные батареи чувствительны к глубокому разряду и требуют температурной компенсации напряжения. В таблице 1 приведены обобщенные требования.

Таблица – Требования к контролю параметров для различных типов АКБ

Тип	Критичный параметр	Условие завершения заряда	Рекомендуемый контроль
Свинцово кислотный	Температура и напряжение	Достижение напряжения и стабилизация тока	Компенсация напряжения по температуре, ограничение тока
NiMH	Температура	Изменение напряжения и рост температуры	Датчик температуры, ограничение времени, контроль производной напряжения
Li ion и LiPo	Напряжение	Падение тока на стадии удержания напряжения	Высокая точность измерения напряжения, отсечка по току и температуре
LiFePO4	Напряжение и температура	Падение тока на стадии удержания напряжения	Уставка по напряжению 3.65 В на элемент, температурный контроль

Анализ аналогов (автомобильные ЗУ, хобби-зарядники, лабораторные источники) выявил их функциональную ограниченность: отсутствие разряда, недостаточную мощность или необходимость двух приборов. На основе этого сформированы ключевые требования к разрабатываемому устройству: диапазон напряжений АКБ 2...24 В, ток заряда 0,1...10 А, ток разряда 0,1...8 А, ограничение мощности разряда до 100 Вт, погрешность измерения напряжения не хуже 1,0%, тока – 2,0%, наличие защит от переполусовки, КЗ и перегрева.

2 Разработка и проверка устройства

2.1 Структура и силовая часть

Устройство построено по модульному принципу (рис. 1). Силовая часть включает входной LC-фильтр, понижающий импульсный преобразователь (заряд) и управляемую электронную нагрузку (разряд). Измерительные каналы тока (шунт 0,2 Ом + усилитель), напряжения (делитель 10 кОм / 3 кОм) и температуры (NTC) подключены к микроконтроллеру.

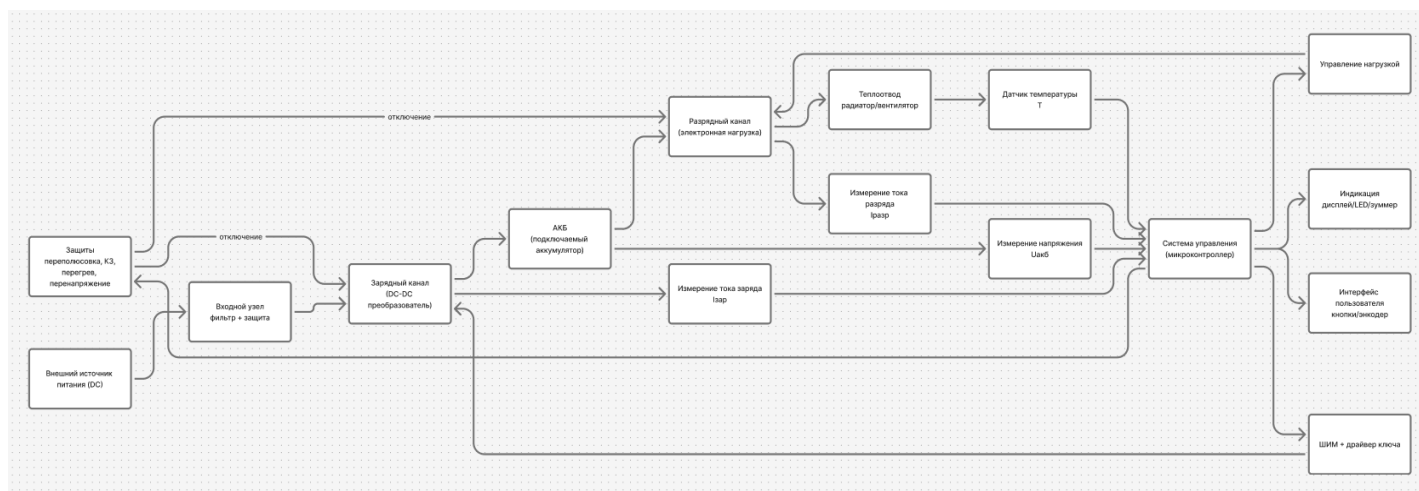


Рисунок 1 – Структурная схема разрабатываемого зарядно разрядного устройства

Расчет зарядного канала для режима 12,6 В / 3,5 А: при $U_{вх}=15$ В и $f=100$ кГц индуктивность дросселя составила 15 мкГн, пульсации тока – 1,34 А, пиковый ток – 4,17 А. Выходная емкость выбрана 470 мкФ.

Расчет разрядного канала: при разряде 12 В / 5 А мощность рассеяния достигает 60 Вт. Тепловой расчет показал необходимость радиатора с сопротивлением не хуже 1,83 °С/Вт и активного охлаждения (вентилятора).

2.2. Алгоритмы управления и измерения

В режиме заряда реализован конечный автомат: стабилизация тока (CC) до достижения $U_{\text{макс}}$, затем стабилизация напряжения (CV) до снижения тока до $I_{\text{кон}}$. В режиме разряда поддерживается постоянный ток с интегральным расчетом емкости. Для подавления помех на входах АЦП установлены RC-фильтры (1 кОм, 100 нФ). Разрешение измерения напряжения составило 6,8 мВ, тока – 1,61 мА.

2.3. Результаты испытаний

Испытания проводились на Li-ион батарее 3S (11,1 В, 5 А·ч). Настройки: Iзар=3,5 А, Uмакс=12,6 В, Iкон=0,2 А; Iразр=2,0 А, Uмин=9,0 В.

На рис. 2 показаны зависимости при заряде: на участке СС ток стабилен, после достижения 12,6 В переход в CV, ток снижается до 0,22 А за 120 минут.

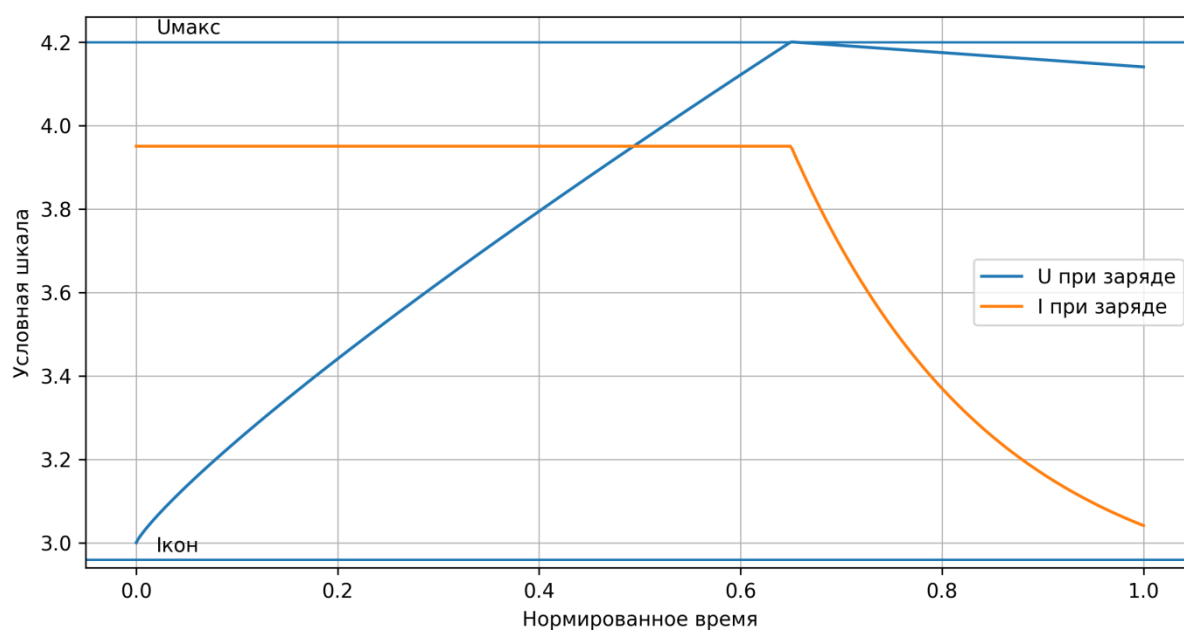


Рисунок 2 – Критерии окончания заряда в режиме CC CV

На рис. 3 – разряд: ток 2,0 А поддерживается до достижения 9,0 В. Расчетная емкость составила 5,0 А·ч. Энергия заряда – 60,7 Вт·ч, разряда – 53,2 Вт·ч, КПД цикла – 87,7%. Защиты от перенапряжения, перегрева и КЗ сработали корректно.

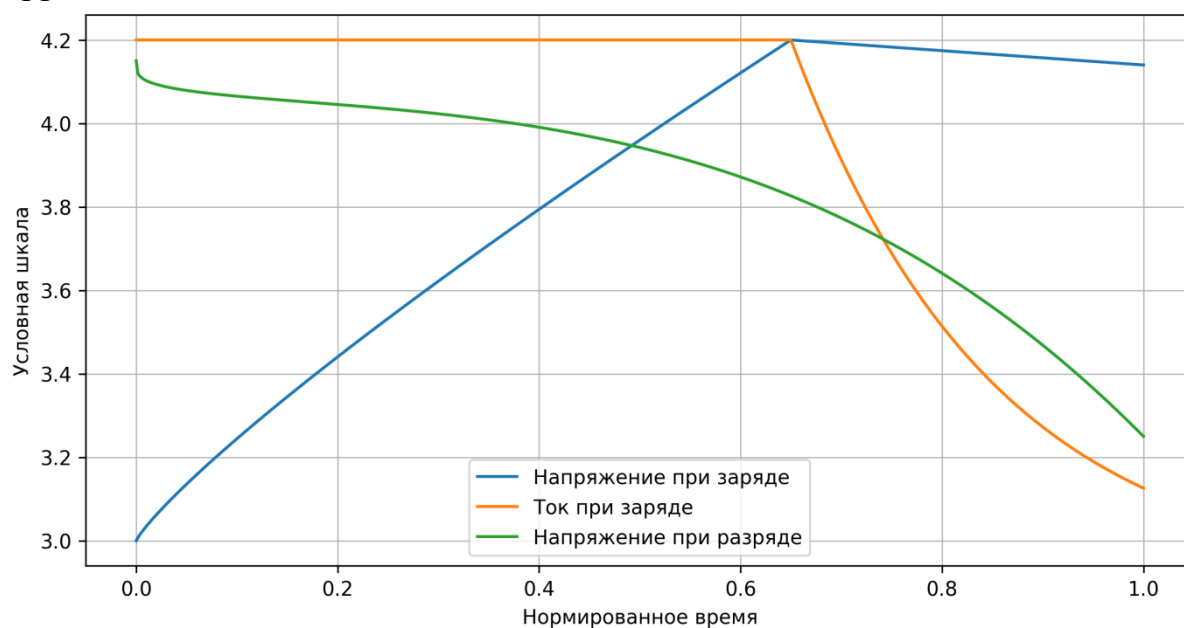


Рисунок 3 – Типовые профили заряда и разряда аккумуляторов

2.4. Расчет надежности

Суммарная интенсивность отказов (с вентилятором) – $8,39 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Средняя наработка на отказ (MTBF) – 119 190 ч. Вероятность безотказной работы за 1000 ч – 0,9916. Гамма-процентная наработка ($\gamma=0,95$) – 6114 ч.

Заключение

Разработано универсальное зарядно-разрядное устройство, объединяющее заряд (CC/CV), разряд (электронная нагрузка) и точное измерение параметров. Экспериментально подтверждена стабильность режимов, корректность защит и расчет емкости. Устройство может применяться в лабораторных, учебных и сервисных целях. Перспективы развития – интерфейс связи с ПК и расширение диапазона мощностей.

Список литературы:

1. RU2662045C1. Способ определения степени заряженности аккумулятора. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2662045C1/ru> (дата обращения: 20.03.2026).
2. RU2484491C1. Устройство мониторинга напряжения аккумулятора. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2484491C1/ru> (дата обращения: 20.03.2026).
3. ГОСТ 18618-73. Источники тока. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2011. 12 с.
4. Преобразователи тока и напряжения. Современные разработки. URL: <https://kit-e.ru> (дата обращения: 20.03.2026).
5. Korba P., Šváb P., Veres M. L., Lukác J. Optimizing Aviation Maintenance through Algorithmic Approach of Real-Life Data // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. No. 6. Article 3824. DOI: 10.3390/app13063824.