

# Снижение уровня шума в устройствах зарядки аккумуляторов

Боб Золло, Keysight Technologies

Стандартные источники питания, как правило, имеются в любой исследовательской лаборатории. Они могут оказаться удобнее специальных аккумуляторных тестеров, поскольку стандартные источники питания и электронные нагрузки можно запрограммировать так, чтобы проверить широкое разнообразие профилей зарядки и разрядки в соответствии с требованиями конкретного приложения.

На этапе разработки устройств с питанием от аккумуляторных батарей инженеры должны оценивать пригодность аккумуляторов для данного приложения. И хотя такие испытания рекомендуется проводить с помощью специального контрольно-измерительного оборудования, иногда инженеры используют стандартные источники питания для зарядки аккумуляторов и стандартные электронные нагрузки для их разрядки.

Рассмотрим применение стандартного источника питания на этапе зарядки типичного цикла зарядки/разрядки литий-ионного аккумулятора (см. рис. 1). Зарядка выполняется с помощью источника питания, запрограммированного на нужный ток зарядки аккумулятора и работающего в режиме стабилизации тока (CC). По мере зарядки аккумулятора напряжение на нём растёт. Со временем аккумулятор заряжается до своего напряжения холостого хода. К этому моменту источник питания достигает запрограммированного предельного значения напряжения (которое должно быть равно напряжению на аккумуля-

торе в режиме холостого хода) и переходит в режим стабилизации напряжения (CV). В режиме CV ток, втекающий в аккумулятор из источника питания, начинает падать, а напряжение остаётся постоянным. Когда ток упадёт до некоторого заданного предела, зарядку нужно прекратить. Например, если заряжать аккумулятор большой ёмкости (электромобиль и пр.), то при максимальном токе зарядки 20 А ток отключения может равняться лишь 50 мА. По достижении тока отключения аккумулятор считается полностью заряженным, зарядка прекращается, а цикл зарядки/разрядки переходит к следующему этапу – обычно, к некоторому периоду покоя.

Какой прибор применить для измерения тока зарядки аккумулятора? Поскольку речь идёт о зарядке большим током, измерение тока простым амперметром непрактично, так как максимальный ток может превысить допустимый измеряемый ток цифрового мультиметра. Предположим, что для измерения тока зарядки используется встроенный амперметр источника питания.

Как уже было сказано, для определения момента окончания зарядки мы измеряем ток и сравниваем его с током отключения. Но если в измеряемом токе присутствует шум, то определить точный момент отключения будет непросто: по сравнению с максимальным током зарядки ток отключения мал (доли процента, то есть ниже класса точности популярных амперметров), поэтому шум может представлять собой достаточно серьёзную проблему. Так, если при полном токе зарядки 20 А присутствует шум в 100 мА (погрешность измерения 0,5%), то он замаскирует ток отключения 50 мА и затруднит точное определение момента окончания зарядки.

## Источники шума при измерении тока

Обычно схема измерения очень проста – источник питания подключён к аккумулятору, который надо зарядить (см. рис. 2). Аккумулятор условно представляем в виде идеального источника ЭДС, последовательно с которым включён резистор, имитирующий внутреннее сопротивление. Последнее можно измерить как сопротивление по переменному току с помощью специального контрольно-измерительного оборудования для аккумуляторов или с помощью измерителя иммитанса. Внутреннее сопротивление аккумулятора лежит в диапазоне от нескольких десятков мОм для больших аккумуляторов до сотен мОм для аккумуляторов

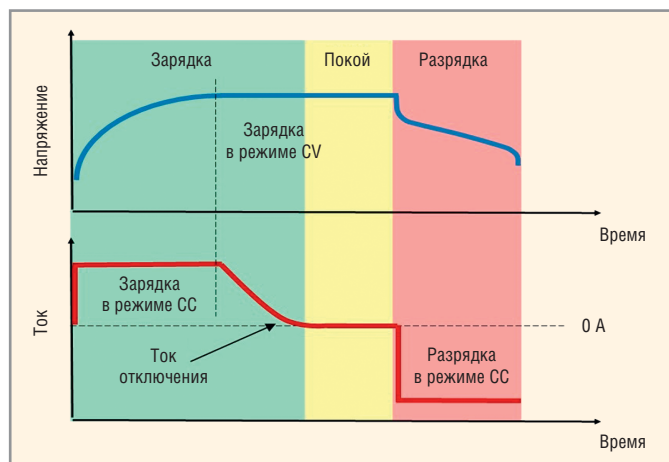


Рис. 1. Типичный цикл зарядки/разрядки литий-ионного аккумулятора

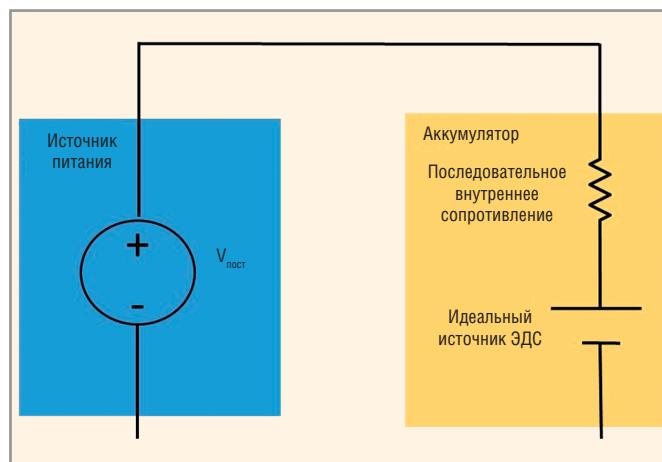


Рис. 2. Схема зарядки аккумулятора с малым внутренним сопротивлением

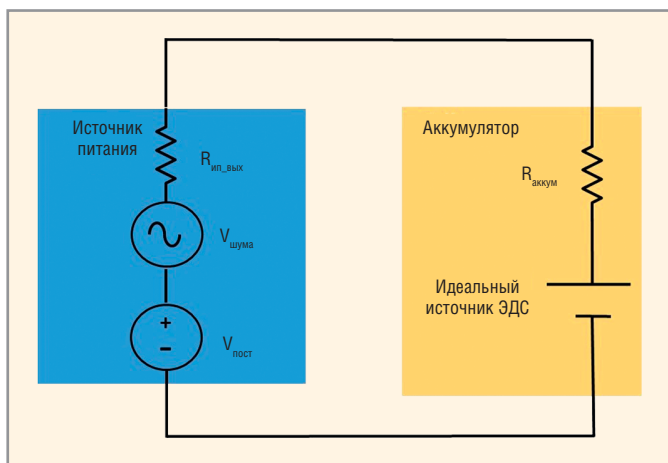


Рис. 3. Схема зарядки аккумулятора с учётом внутреннего сопротивления и шума источника питания

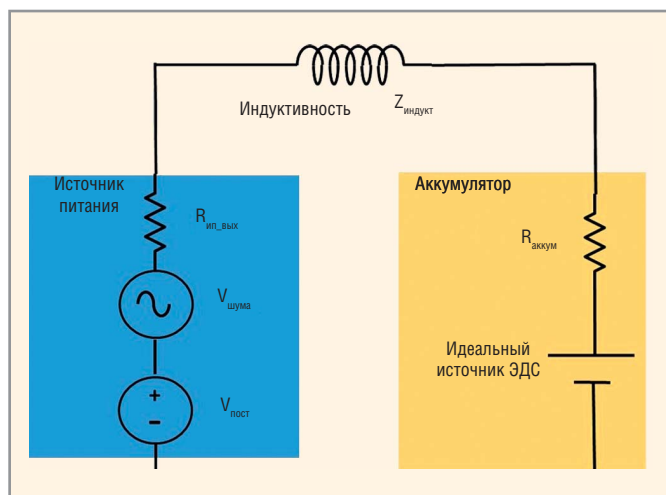


Рис. 4. Добавление индуктивности для снижения шума

среднего размера (и до 1 Ом и более для очень маленьких, например, дисковых аккумуляторов). Но в этой статье мы рассматриваем аккумуляторы, рассчитанные на большой ток, поэтому будем предполагать, что внутреннее сопротивление лежит в диапазоне нескольких десятков мОм.

Выход источника питания, заряжающего аккумулятор, имеет свой шум. Типовое значение напряжения шума может составлять 10 мВ<sub>пик-пик</sub> для источника питания с выходным напряжением 10 В. На рисунке 3 показана эквивалентная схема аккумулятора и источника питания, учитывающая внутреннее сопротивление и шум последнего. Шум напряжения на выходе источника питания представлен источником переменного напряжения, включённым последовательно с выходом постоянного тока. Это переменное напряжение (шум) будет выглядеть как переменный ток, протекающий через очень малое последовательное сопротивление аккумулятора, и по закону Ома:  $I_{\text{шума}} = V_{\text{шума}} / (R_{\text{ин\_вых}} + R_{\text{аккумулятор}})$ . Когда частота падает ниже 100 Гц, величина  $R_{\text{ин\_вых}}$  стремится к нулю.

Таким образом, шум измеряемого тока – это не шум, обусловленный изме-

рением, а реальный шум тока, порождённый шумом выходного напряжения источника питания, который проявляется в виде тока через внутреннее последовательное сопротивление аккумулятора. Даже малозумящий источник питания может создавать шум тока в аккумуляторе, несмотря на то, что внутреннее сопротивление аккумулятора весьма мало.

Чтобы определить, когда ток зарядки достигнет порога отключения в присутствии шумового тока, можно использовать усреднение результатов измерения. Выполнив интегрирование в течение нескольких секунд или даже одной минуты, можно существенно подавить переменную составляющую шума и получить стабильное значение постоянного тока, которое затем сравнить с порогом отключения. Но что если источник питания не позволяет усреднять измеряемый ток? В этом случае нужно выполнить несколько измерений, ввести их в компьютер, усреднить и использовать среднее значение для определения момента достижения тока отключения.

Другой метод заключается в использовании индуктивности, включённой последовательно с аккумулятором, как показано на рисунке 4. Индуктивность

обладает малым импедансом на низких частотах и большим импедансом на высоких частотах. Из закона Ома следует, что  $I_{\text{шума}} = V_{\text{шума}} / (Z_{\text{ин\_вых}} + Z_{\text{индукт}} + Z_{\text{аккумулятор}})$ . С ростом частоты величина  $Z_{\text{индукт}}$  возрастает и становится доминирующим членом знаменателя, в результате токовый шум  $I_{\text{шума}}$  снижается с ростом частоты. Таким образом индуктивность создаёт фильтр нижних частот и подавляет шум на высоких частотах. Это позволяет снизить шум и точнее определить, достигнут ли порог тока отключения.

В идеальном случае частота среза этого фильтра должна быть менее 10 Гц, что позволяет сильно подавить токовый шум вблизи постоянной составляющей. Если предположить, что ток зарядки равен 20 А, а последовательное сопротивление аккумулятора равно 10 мОм, то потребуются индуктивность в несколько сотен мкГн. Заметьте, что индуктивность должна пропускать полный ток зарядки 20 А, так что маленький компонент для поверхностного монтажа тут не подойдёт. Тем не менее, нет ничего сложного в том, чтобы вручную намотать провод на тороидальный сердечник и сделать подходящую индуктивность. ©

## Новости мира News of the World Новости мира

### Altium Limited – партнёр Национального чемпионата WorldSkills Russia 2016

Altium Limited, ведущий мировой разработчик в области автоматизации проектирования электронных устройств, выступил официальным партнёром Национального

чемпионата «Молодые профессионалы (WorldSkills Russia) 2016», который прошёл с 23 по 27 мая 2016 г. на площадке Крокус-Экспо в Красногорске. В чемпионате приняли участие молодые представители рабочих специальностей в возрасте от 18 до 22 лет, а также юниоры в возрасте от 10 до 17 лет.

Компания Altium Limited поддержала мероприятие в компетенции «Электроника». В рамках партнёрства Altium предоставил несколько лицензий последней версии своего флагманского решения Altium Designer 16.1 для проведения конкурса по проектированию печатных плат.

[www.altium.com](http://www.altium.com)