

МОНИТОР СОСТОЯНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ СО СВЕРХНИЗКИМ ТОКОМ ПОТРЕБЛЕНИЯ

BATTERY MONITOR WITH ULTRA-LOW CURRENT CONSUMPTION

В статье приведена информация об особенностях работы монитора состояния аккумуляторов LTC3337, разработанного компанией Analog Devices. Монитор предназначен для контроля степени разряда аккумуляторов в системах с низким энергопотреблением. Применение монитора позволяет избежать отказа устройств из-за разряда аккумулятора. Наличие интерфейса связи I2C позволяет программировать ИМС и передавать информацию о состоянии аккумулятора.

В. Макаренко

Abstract - This article provides information about the features of the LTC3337 batteries monitor, developed by Analog Devices. The monitor is designed to control the discharge of batteries in low-power systems. The use of the monitor allows you to avoid device failure due to battery discharge. The presence of the I2C communication interface allows you to program IC and transmit battery status information.

V. Makarenko

Новая ИМС монитора LTC3337 предназначена для контроля состояния аккумуляторных батарей различных устройств с малой мощностью потребления. Например, LiSOCL2 (литий-тионилхлоридный аккумулятор) или двух (трех) последовательно включенных щелочных аккумуляторов в удаленных промышленных датчиках, системах питания дверных замков, системах резервного питания и других устройствах.

Необходимость контроля состояния аккумуляторов объясняется тем, что при длительном хранении и несоблюдении зарядно-разрядных режимов эксплуатации, аккумуляторы теряют емкость, их внутренне сопротивление возрастает. Измерение внутреннего сопротивления позволяет определить степень старения аккумулятора.

LTC3337 – монитор с минимальным падением напряжения на нем и встроенным прецизионным кулоновским счетчиком предназначенным для размещения в секции с первичной батареей [1]. Запатентованный кулоновский счетчик контролирует разряд батареи, сохраняет эту информацию во внутреннем регистре и передает эту информацию через интерфейс I2C. При разряде аккумулятора до критической величины (программируемое значение) монитор формирует сигнал тревоги – прерывание на выводе IRQ.

Пиковое значение входного тока задается в диапазоне от 5 до 100 мА. ИМС позволяет подключать к выходу батарею, состоящую из суперконденсаторов.

Функциональная схема LTC3337 приведена на рис. 1. Пиковый ток через микросхему задается трехразрядным кодом, подаваемым на входы IPK (3

входа – IPK0...IPK2). Значение кода 000 соответствует максимальному току 5 мА, а 111 – 100 мА. При значении кода на входе старшего разряда 0 изменение кода на 1 приводит к изменению максимального тока на 5 мА, а при IPK2 = 1 – на 25 мА.

Если напряжение $V_{BAT_OUT} < (V_{BAT_IN} - V_{OUT_LOW})$, где номинальное значение V_{OUT_LOW} равно 160 мВ, источник тока включен и ток протекает от входа к выходу.

Если напряжение на выходе достигает значения $V_{BAT_OUT} \geq (V_{BAT_IN} - V_{OUT_HIGH})$, где номинальное значение V_{OUT_HIGH} равно 110 мВ, источник тока выключен. Конденсатор, включенный между выводом BAT_OUT и общим проводом, поддерживает ток в нагрузке, когда источник тока выключен, и должен иметь минимальное значение 100 мкФ для поддержания тока $I_{PEAK} = 100$ мА.

Компаратор с гистерезисом сравнивает напряжения V_{BAT_IN} и $(V_{BAT_OUT} + V_{OUT_HIGH})$ и управляет ключом, который подключает источник тока к выходу. Ширина петли гистерезиса равна 50 мВ. Ключ замыкается на время t_p , во время которого аккумулятор отдает ток в нагрузку, равный I_{PEAK} (рис. 2). Одновременно активируется работа генератора (OSC на рис. 1), период следования импульсов на выходе которого $T = 500$ нс. Счетчик подсчитывает число импульсов, пропорциональное заряду, отданному в нагрузку. Показания счетчика можно прочесть через интерфейс I2C.

Величина заряда, отображаемого младшим битом цифрового кода q_{Isb} определяется по формуле

$$(1) q_{Isb} = \frac{(2^{46} - 1) I_{PEAK} T}{65535}$$

Чтобы обеспечить работу ИМС в различные ис-

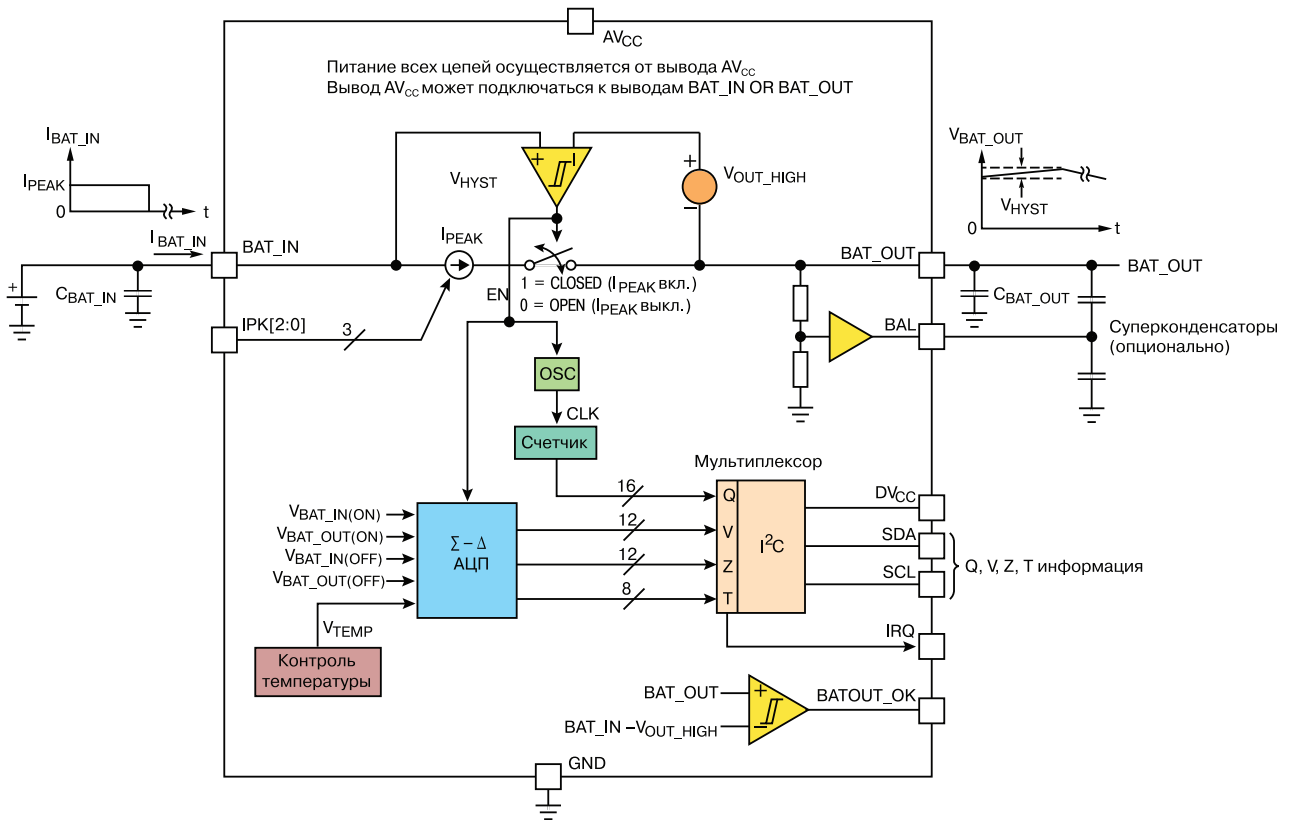


Рис. 1. Функциональная схема LTC3337

точки и значениями пикового тока, в нее встроено программируемый прескаллер. Значение, записанное пользователем в прескаллер, может изменяться от 0 до 15, при записи данных в регистр A[3:0]. По умолчанию в прескаллер записан 0.

Значение прескаллера, зависящее от емкости аккумулятора, можно вычислить по формуле (2)

$$M = \log_2 \left(\frac{65535 q_{Isb}}{Q_{BAT}} \right), \quad (2)$$

где Q_{BAT} – емкость аккумулятора.

Батарея с меньшей емкостью требует более вы-

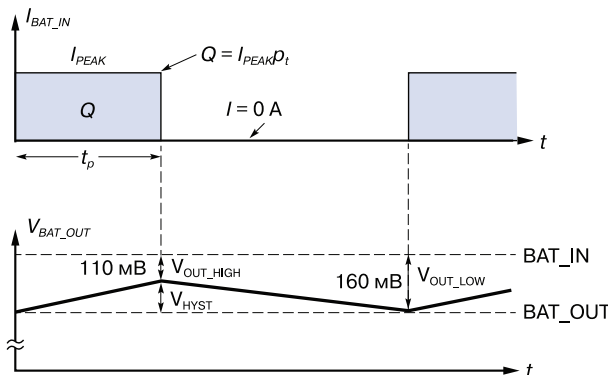


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов монитора

сокого значения M прескаллера, чем для батареи с большей емкостью, при одинаковом значении пикового тока I_{PEAK} . Значение заряда, отображаемое младшим разрядом, для $M > 0$ определяется по формуле (3)

$$q_{Isb_M} = \frac{q_{Isb}}{2^M}, \quad (3)$$

где q_{Isb} – значение заряда при $M = 0$.

Вывод питания AV_{CC} может быть подключен к выводу батареи (вывод BAT_IN) или к выводу ИМС (вывод BAT_OUT). Если вывод AV_{CC} подключен к выводу BAT_OUT, кулоновский счетчик подсчитывает весь заряд, отданный аккумулятором, в том числе и тот, который использован для питания LTC3337. При подключении AV_{CC} к выводу BAT_IN, потребление энергии ИМС LTC3337 не учитывается. Ошибка измерения заряда аккумулятора составляет 1,6%.

LTC3337 содержит 12-разрядный АЦП, который предназначен для измерения напряжения на выводах BAT_IN, BAT_OUT и на выходе датчика температуры. Значение единицы младшего разряда АЦП LSB = 1.465 мВ. Время преобразования составляет примерно 3.5 мс.

Напряжение на выводе BAT_IN измеряется дважды. Первое измерение осуществляется в момент

времени, когда ИМС формирует импульс тока в нагрузку. Второе измерение осуществляется при разомкнутом ключе (ток от аккумулятора на выход ИМС не поступает). Измеренные значения записываются в регистры D ($V_{BAT_IN(ON)}$) и E ($V_{BAT_IN(OFF)}$).

Измерение напряжения выполняется через каждые 1024 цикла, чтобы свести к минимуму ток потребления ИМС.

Импеданс батареи может быть рассчитан по результатам двух измерений напряжения на выводе BAT_IN по формуле

$$Z = (V_{BAT_IN(OFF)} - V_{BAT_IN(ON)}) / I_{PEAK},$$

где индексы ON и OFF указывают на состояние ключа – замкнут или разомкнут, соответственно.

LTC3337 также измеряет температуру кристалла каждые 1024 цикла и хранит ее значения в 8-рядном регистре C.

В случае аварийных ситуаций на выходе IRQ формируется низкий уровень. Информация о причинах аварии хранится в регистре S. Сигнал тревоги можно очистить, записав 1 в бит A[4]. Если появляется другой сигнал тревоги, то при сбросе предыдущего сигнала на выводе IRQ формируется высокий уровень длительностью 1 мкс перед возвратом к нулю. В это время бит прерывания A[4] также устанавливается в ноль.

Существует 4 различных условия формирования сигнала ошибки/тревоги:

1. Переполнение счетчика кулонов (значение C[0] равно "1") из-за неверного выбора значения M прескаллера.

2. Уровень предустановки достигнут (значение C[1] равно "1"). Пользователь должен увеличить порог тревоги в регистре A[15: 8] битах и записать в A[4] значение "1" для сброса сигнала тревоги.

3. Порог нижней температуры, установленный в регистре H, достигнут (значение бита C[2] равно "1").

4. Порог верхней температуры, установленный в регистре H, достигнут (значение бита C[3] равно "1").

Если напряжение на выводе BAT_OUT ниже, чем напряжение BAT_IN не более чем на 160 мВ), то кулоновский счетчик работает правильно при напряжении аккумулятора не менее 2 В. Для расширения диапазона в сторону уменьшения напряжения аккумулятора необходимо записать "1" в A[6] регистра A. При таком значении бита A[6] кулоновский счетчик отключается, отключается контроль пикового тока и

устанавливается низкое сопротивление между выводами BAT_IN и BAT_OUT. При работе в таком режиме необходимо предпринять меры для контроля максимального тока, чтобы он не превысил значение 100 мА. Такой режим рекомендуется использовать только в случае глубокого разряда аккумулятора для продления срока его эксплуатации без подзарядки.

Суперконденсаторы используются в случаях, когда необходима работа с многими циклами быстрого заряда/разряда в течение короткого времени. Суперконденсаторы, имеющие низкое внутреннее сопротивление, обеспечивают высокую плотность мощности и высокие нагрузочные токи. Одним из недостатков суперконденсаторов является их низкая удельная энергия. Поэтому они не могут быть использованы в качестве долговременного источника питания. Кроме того, максимальное напряжение одной ячейки обычно составляет 2.7 В. Если требуется более высокое напряжение, необходимо соединять несколько ячеек последовательно.

Для обеспечения требуемого пика тока при включении или выключении необходимо правильно выбирать емкость конденсатора, подключенного к выходу ИМС. Для обеспечения высокой точности работы счетчика необходимо чтобы ключ, обеспечивающий подключение источника тока к выходу, был замкнут не менее 50 мкс.

Величина выходного тока в режиме включения (ON) и выключения (OFF) определяется по формулам

$$I_{PEAK_ON}time(min) = \left(\frac{C_{OUT} V_{HYST}}{I_{PEAK}} \right),$$

$$I_{PEAK_OFF}time(min) = \left(\frac{C_{OUT} V_{HYST}}{I_{LOAD(max)}} \right),$$

где V_{HYST} – амплитуда пульсаций на выходе ИМС (рис. 2), соответствующая ширине петли гистерезиса. Номинальное значение ширины петли гистерезиса составляет 50 мВ.

Для максимального тока $I_{PEAK} = 100$ мА рекомендуется на выходе ИМС подключить конденсатор емкостью 100 мкФ, для минимального тока 5 мА рекомендуемое значение емкости составляет 4.7 мкФ.

Амплитуда пульсаций зависит от внутреннего сопротивления аккумулятора. Для обеспечения высокой точности подсчета заряда счетчиком рекомендуется выполнять условие $ESR \cdot I_{PEAK} \ll V_{HYST}$, где ESR – внутренне сопротивление аккумулятора.

Емкость входного конденсатора C_{BAT_IN} не должна

быть меньше 10 мкФ, иначе продолжительность цикла включения может стать меньше 3 мкс, что приведет к увеличению погрешности АЦП.

Максимальный непрерывный ток на выходе BAT_OUT не может превышать I_{PEAK} . Однако мгновенное значение тока в отдельные моменты времени, при условии, что среднее значение тока не превышает I_{PEAK} , может быть значительно выше за счет энергии, запасенной в конденсаторе СВАТ_OUT. На рис. 3 приведены осциллограммы сигналов при импульсном потреблении тока.

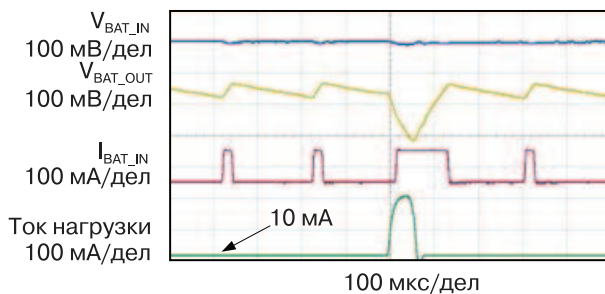


Рис. 3. Осциллограммы сигналов на входе и выходе LTC3337

На рис. 3 показаны осциллограммы, снятые при выходной емкости 100 мкФ, и скачке тока нагрузки равном 200 мА.

Интерфейс I2C обеспечивает скорость передачи информации до 400 кбит/с. Подробную информацию об особенностях интерфейса можно найти в [1].

Основные характеристики LTC3337:

- диапазон входных напряжений 1.8...5.5 В
- собственный ток потребления 100 нА
- 8 программируемых значений пикового тока на выходе ИМС – 5/10/15/20/25/50/75/100 мА
 - контроль заряда аккумулятора
 - интегрированный счетчик заряда
 - контроль напряжения батареи, внутреннего сопротивления аккумулятора и температуры кристалла
 - контроль тока, потребляемого от батареи, и тока нагрузки
 - интегрированное устройство балансировки заряда суперконденсаторов ± 10 мА
 - программируемый прескаллер для обеспечения широкого диапазона измерений при различной емкости аккумуляторов
 - программируемый порог формирования сигнала тревоги на выводе прерываний
 - интерфейс I2C
 - габаритные размеры 2x2 мм

- корпус LFCSP-12.

На рис. 4 приведены зависимости собственного тока потребления ИМС LTC3337 от температуры при различных напряжениях аккумуляторов, а на рис. 5 – зависимость максимального тока на выходе ИМС от температуры.

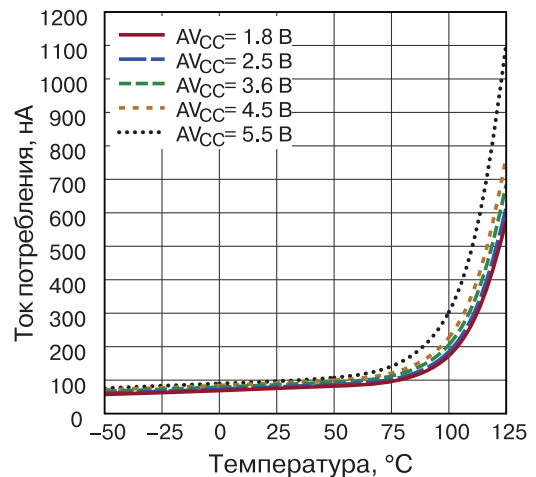


Рис. 4. Зависимости собственного тока потребления ИМС LTC3337 от температуры

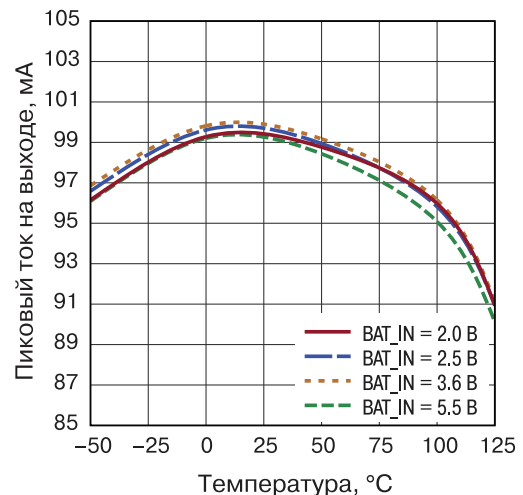


Рис. 5. Зависимости максимального выходного тока ИМС LTC3337 от температуры

Реакцию ИМС на скачки тока в нагрузке иллюстрируют осциллограммы на рис. 6. Из рис. 6 следует, что чем больше ток нагрузки, тем чаще включается заряд выходного конденсатора и тем больше пульсации выходного напряжения.

На рис. 7 приведена схема подключения LTC3337 при использовании на выходе вместо конденсатора двух суперконденсаторов, а на рис. 8 – при питании ИМС от аккумулятора.

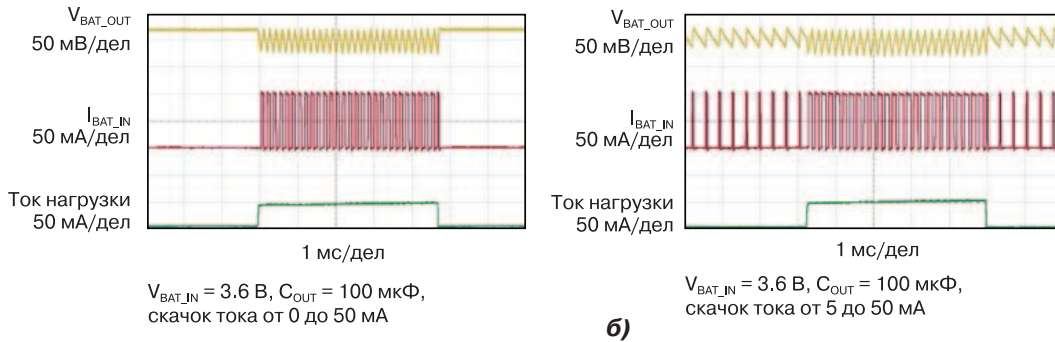


Рис. 6. Осциллограммы входных и выходных токов ИМС LTC3337 при скачке тока нагрузки 50 мА (а) и 45 мА (б)

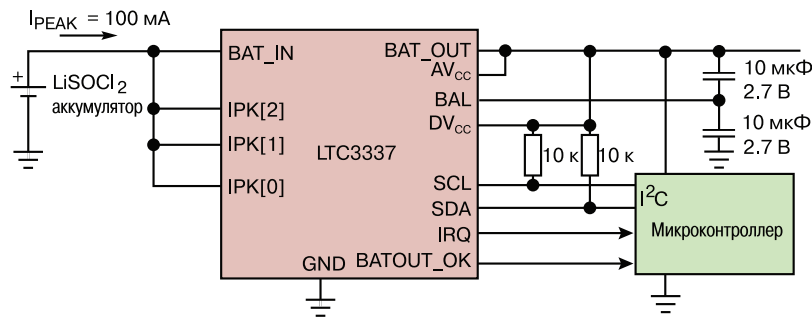


Рис. 7. Схема подключения LTC3337 при использовании на выходе суперконденсаторов

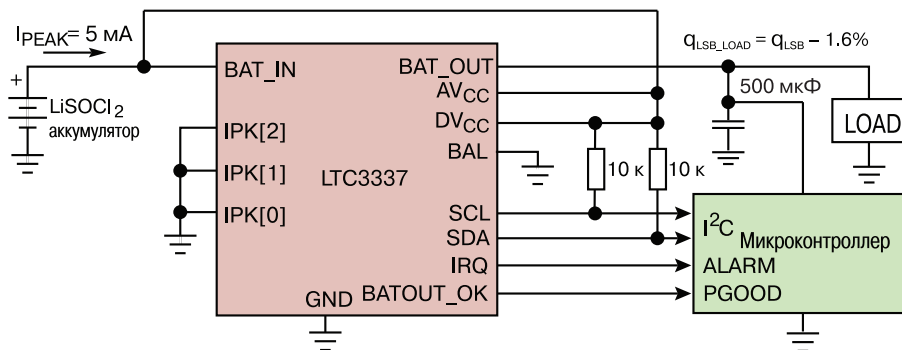


Рис. 8. Схема подключения LTC3337 при питании ИМС от аккумулятора

На рис. 9 и 10 приведены примеры подключения LTC3337 для обеспечения пиковых токов, превышающих значение 100 мА.

Для отладки устройств с использованием LTC3337 компании Analog Devices предлагает отладочную плату DC2973A [2], приведенную на рис. 11.

Плату можно подключить к ПК через интерфейс USB. Программное обеспечение для работы с платой предоставляет пользователю простой графический интерфейс (рис. 12).

Подробное описание работы с платой приведе-

но в [2], а принципиальную схему можно найти в [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc3337.pdf>
2. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/user-guides/dc2973a.pdf>
3. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/eval-board-schematic/dc2973a_schematic.pdf

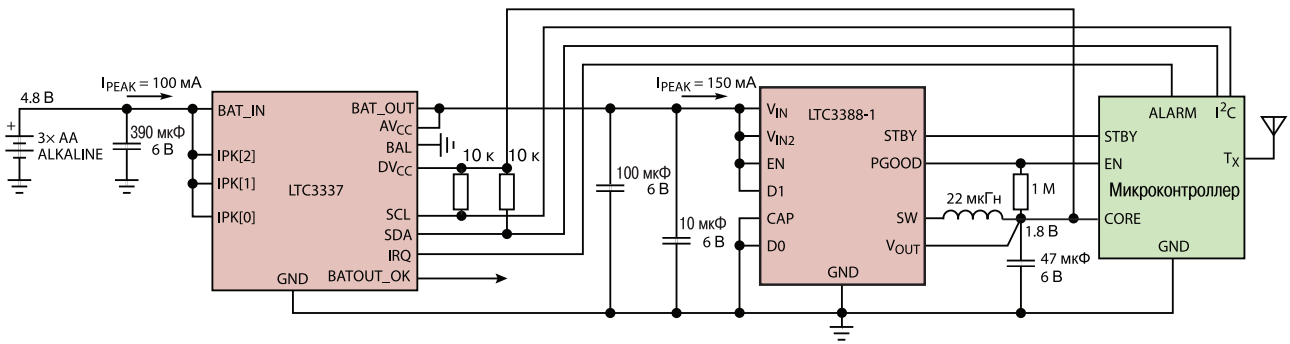


Рис. 9. Схема подключения LTC3337 для питания DC/DC-преобразователя и микроконтроллера с радиоканалом

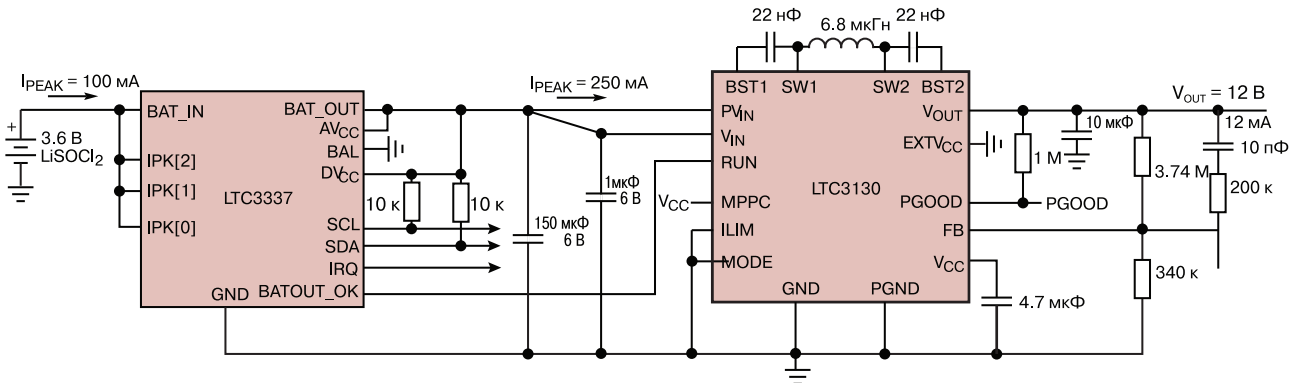


Рис. 10. Схема подключения LTC3337 для питания повышающего преобразователя

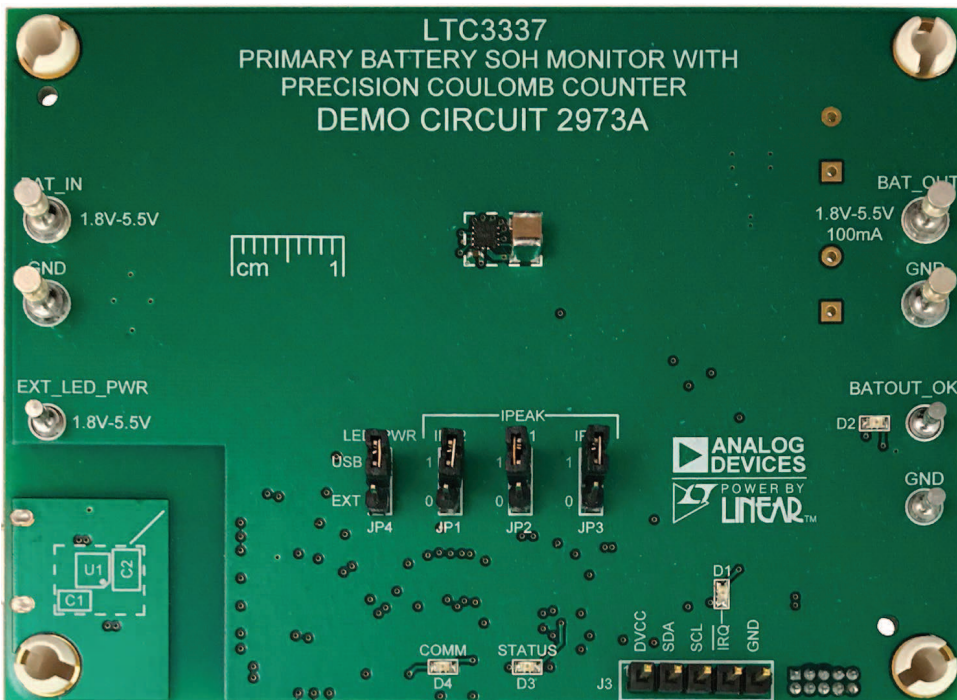


Рис. 11. Отладочная плата DC2973A

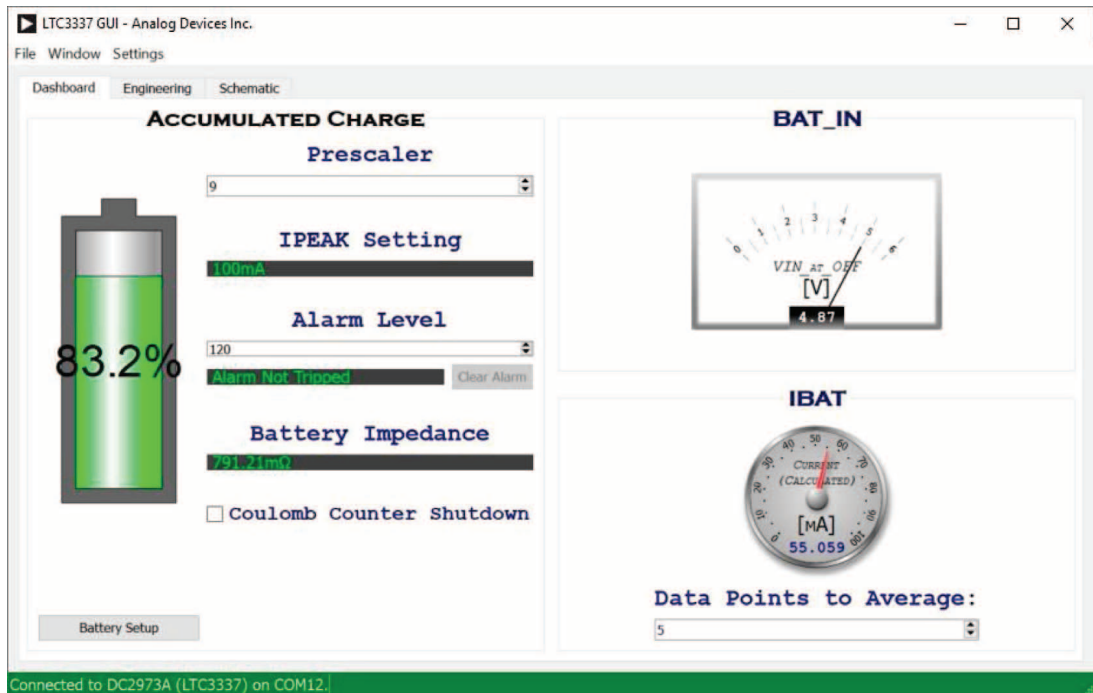


Рис. 12. Главное окно ПО для работы с отладочной платой DC2973A

БЮДЖЕТНЫЕ AC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

**RAC01-GA/B, RAC02-GA/B, RAC03-GA/B,
RAC04-GA/B, RAC05-K, RAC10-K/277**

- входное напряжение 85...305 В (АС)
- мощность от 1 до 10 Вт
- выходные напряжения 3.3, 5, 9, 12, 15 и 24 В
- высокая эффективность в широком диапазоне нагрузки
- высокая эффективность при малом токе нагрузки
- защита от короткого замыкания, перегрузки по току и напряжению
- малые габаритные размеры
- интегрированный фильтр электромагнитных помех класса А или В
- диапазон рабочих температур от -40 до 85 °С
- сертифицированы соответствии стандартам UL/IEC/EN60950-1, 62368-1, 60335-1



VD MAIS
ДИСТРИБЬЮЦИЯ
КОНТРАКТНОЕ
ПРОИЗВОДСТВО

VD MAIS – официальный дистрибьютор компании Rescom в Украине

тел.: (044) 201-0202, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478,
(048) 734-1954, (095) 274-6897, info@vdmias.ua, www.vdmias.ua