

Андрей Никитин (г. Минск)

ВСЕ ДЛЯ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ: МИКРОСХЕМЫ STM ДЛЯ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ И МОНИТОРИНГА БАТАРЕЙ



Линейка ИС компании **STMicroelectronics**, предназначенных для построения зарядных устройств для литиевых аккумуляторных батарей, состоит всего из восьми изделий, но эти изделия покрывают весь спектр потребности рынка в подобной продукции. В линейку входят микросхемы заряда батарей, микросхемы контроля состояния батареи и индикации уровня ее заряда.

В современных мобильных электронных устройствах, даже тех, которые спроектированы с учетом минимизации энергопотребления, использование невосстанавливаемых батарей уходит в прошлое. И с экономической точки зрения — уже на непродолжительном интервале времени суммарная стоимость необходимого количества разовых батарей быстро превысит стоимость одного аккумулятора, и с точки зрения удобства пользователя — проще перезарядить аккумулятор, чем искать, где купить новую батарейку. Соответственно, зарядные устройства для аккумуляторов становятся товаром с гарантированным спросом. Неудивительно, что практически все производители интегральных схем для устройств электропитания уделяют внимание и «зарядному» направлению.

Еще лет пять назад обсуждение микросхем для заряда аккумуляторных батарей (Battery Chargers IC) начиналось со сравнения основных типов аккумуляторов — никелевых и литиевых. Но в настоящее время никелевые аккумуляторы практически перестали использоваться и большинство производителей микросхем заряда либо полностью прекратило выпуск микросхем для никелевых батарей, либо выпускает микросхемы, инвариантные к технологии батареи (так называемые Multi-Chemistry IC). В номенклатуре компании STMicroelectronics в настоящее время присутствуют только микросхемы, предназначенные для работы с литиевыми аккумуляторами.

Коротко напомним основные особенности литиевых аккумуляторов. Достоинства:

- Высокая удельная электроемкость. Типичные значения 110...160 Вт*час*кг, что в 1,5...2,0 раза превышает аналогич-

ный параметр для никелевых батарей. Соответственно, при равных габаритах емкость литиевой батареи выше.

- Низкий саморазряд: примерно 10% в месяц. В никелевых батареях этот параметр равен 20...30%.

- Отсутствует «эффект памяти», благодаря чему эта батарея проста в обслуживании: нет необходимости разряжать аккумулятор до минимума перед очередной зарядкой.

Недостатки литиевых батарей:

- Необходимость защиты по току и напряжению. В частности, необходимо исключить возможность короткого замыкания выводов аккумулятора, подачи напряжения обратной полярности, перезаряда.

- Необходимость защиты от перегрева: нагрев батареи выше определен-

ного значения негативно влияет на ее емкость и срок службы.

Существуют две промышленные технологии изготовления литиевых аккумуляторов: литий-ионная (Li-Ion) и литий-полимерная (Li-Pol). Однако, поскольку алгоритмы заряда этих батарей совпадают, то микросхемы заряда не разделяют литий-ионную и литий-полимерную технологии. По этой причине обсуждение достоинств и недостатков Li-Ion- и Li-Pol-аккумуляторов пропустим, сославшись на литературу [1, 2, 3].

Рассмотрим алгоритм заряда литиевых батарей, представленный на рисунке 1.

Первая фаза, так называемый предварительный заряд, используется только в тех случаях, когда батарея сильно разряжена. Если напряжение батареи ниже 2,8 В, то ее нельзя сразу заряжать максимально возможным током: это крайне отрицательно скажется на сроке службы аккумулятора. Необходимо сначала «подзарядить» батарею малым током примерно до 3,0 В, и только после этого заряд максимальным током становится допустим.

Вторая фаза: зарядное устройство как источник постоянного тока. На этом

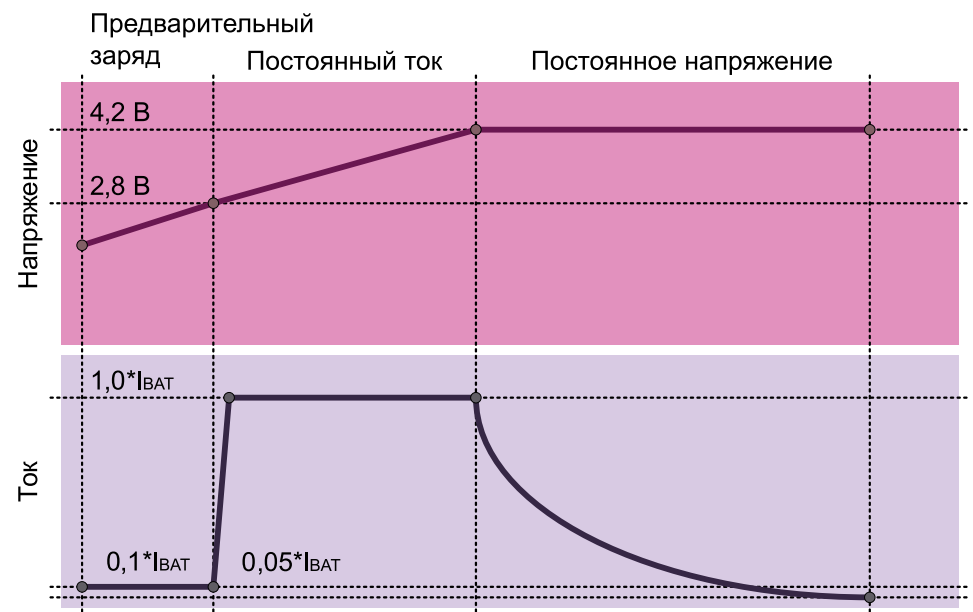


Рис. 1. Алгоритм заряда литиевых батарей

этапе через батарею протекает максимальный для заданных условий ток. При этом, напряжение аккумулятора постепенно растет до тех пор, пока не достигнет предельного значения, равного 4,2 В. Строго говоря, по завершению второго этапа заряд можно прекратить, но при этом следует иметь в виду, что аккумулятор на данный момент заряжен примерно на 70% своей емкости. Отметим, что во многих зарядных устройствах максимальный ток подается не сразу, а плавно нарастает до максимума в течение нескольких минут — используется механизм «плавного старта» (Soft Start).

Если желательно зарядить батарею до значений емкости, близких к 100%, то переходим к третьей фазе: зарядное устройство как источник постоянного напряжения. На этом этапе к батарее приложено постоянное напряжение 4,2 В, а ток, протекающий через батарею, в процессе заряда уменьшается от максимума до некоторого заранее заданного минимального значения. В тот момент, когда значение тока уменьшается до этого предела, заряд батареи считается законченным и процесс завершается.

Напомним, что одним из ключевых параметров аккумуляторной батареи является ее емкость (единица измерения — А*час). Так, типичная емкость литий-ионного аккумулятора типоразмера AAA равна 750...1300 мА*ч. Как производная от этого параметра используется характеристика «ток 1С», это величина тока, численно равная номинальной емкости (в приведенном примере — 750...1300 мА). Значение «тока 1С» имеет смысл только как определенная величины максимального тока при заряде батареи и величины тока, при которой заряд считается законченным. Принято считать, что величина максимального тока не должна превышать величины 1*1С, а заряд батареи можно считать законченным при снижении тока до величины 0,05...0,10*1С. Но это те параметры, которые можно считать оптимальными для конкретного типа батареи. В реальности одно и то же зарядное устройство может работать с аккумуляторами различных производителей и различной емкости, при этом емкость

конкретной батареи остается для зарядного устройства неизвестной. Следовательно, заряд батареи любой емкости в общем случае будет происходить не в оптимальном для батареи режиме, а в режиме, предустановленном для зарядного устройства.

Перейдем к рассмотрению линейки микросхем заряда компании STMicroelectronics.

Микросхемы STBC08 и STC4054

Эти микросхемы представляют собой достаточно простые изделия для заряда литиевых аккумуляторов. Микросхемы выполнены в миниатюрных корпусах типа DFN6 и TSOT23-5L, соответственно. Это позволяет использовать данные компоненты в мобильных устройствах с достаточно жесткими требованиями по массогабаритным характеристикам (например, сотовые телефоны, MP3-плееры). Схемы включения STBC08 и STC4054 представлены на рисунке 2.

Несмотря на ограничения, которые накладывает минимальное количество внешних выводов в корпусах, микросхемы обладают достаточно широкими функциональными возможностями:

- Нет необходимости в применении внешнего MOSFET-транзистора, блокировочного диода и токового резистора. Как следует из рисунка 2, внешняя обвязка ограничивается фильтрующим конденсатором на входе, программирующим резистором и двумя (для STC4054 — одним) индикаторными светодиодами.

- Максимальное значение тока заряда программируется номиналом внешнего резистора и может достигать значения 800 мА. Факт окончания заряда определяется в тот момент, когда в режиме постоянного напряжения значение зарядного тока снизится до величины $0,1 \cdot I_{\text{BAT}}$, то есть, также задается номиналом внешнего резистора. Максимальный ток заряда определяется из соотношения:

$$I_{\text{BAT}} = (V_{\text{PROG}} / R_{\text{PROG}}) \cdot 1000;$$

где I_{BAT} — ток заряда в Амперах, R_{PROG} — сопротивление резистора в

Омах, V_{PROG} — напряжение на выходе PROG, равное 1,0 Вольта.

- В режиме постоянного напряжения на выходе формируется стабильное напряжение 4,2 В с точностью не хуже 1%.

- Заряд сильно разряженных батарей автоматически начинается с режима предварительной зарядки. До тех пор, пока напряжение на выходе аккумулятора не достигнет величины 2,9 В, заряд осуществляется слабым током величиной $0,1 \cdot I_{\text{BAT}}$. Подобный метод, как уже отмечалось, предотвращает весьма вероятный выход из строя при попытке заряда сильно разряженных аккумуляторов обычным способом. Кроме того, величина стартового значения зарядного тока принудительно ограничивается, что также увеличивает срок службы батарей.

- Реализован режим автоматической капельной подзарядки — при снижении напряжения батареи до 4,05 В цикл заряда будет перезапущен. Это позволяет обеспечить постоянный заряд батареи на уровне не ниже 80% от его номинальной емкости.

- Защита от перенапряжения и перегрева. Если значение входного напряжения превышает определенный предел (в частности, 7,2 В) или если температура корпуса превысит величину 120°C, то зарядное устройство отключается, защищая себя и аккумулятор. Разумеется, реализована также защита от низкого входного напряжения — если входное напряжение опустилось ниже определенного уровня (U_{VLO}), то зарядное устройство также отключится.

- Возможность подключения светодиодов индикации позволяет пользователю иметь представление о текущем состоянии процесса зарядки батареи.

Микросхемы заряда батарей L6924D и L6924U

Данные микросхемы представляют собой устройства с более широкими возможностями по сравнению с STBC08 и STC4054. На рисунке 3 представлены типовые схемы включения микросхем L6924D и L6924U.

Рассмотрим те функциональные особенности микросхем L6924, которые касаются задания параметров процесса заряда батареи:

1. В обеих модификациях есть возможность задать максимальную продолжительность заряда батареи начиная с момента перехода в режим стабилизации постоянного тока (также используется термин «режим быстрой зарядки» — Fast charge phase). При переходе в этот режим запускается сторожевой таймер, запрограммированный на определенную длительность T_{PRG} номиналом конденсатора, подключенного к выво-

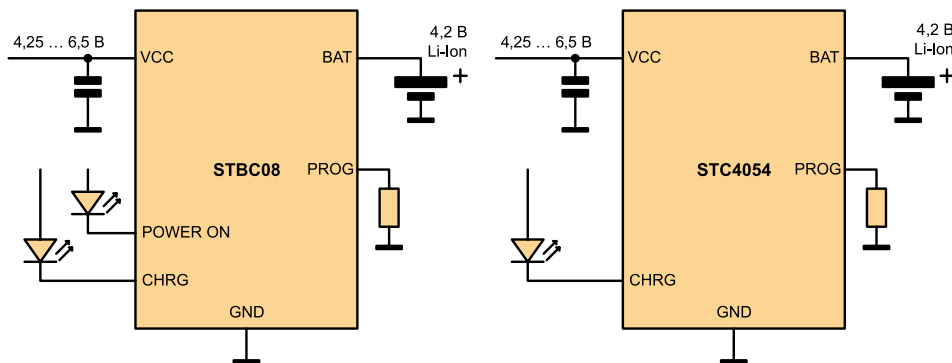


Рис. 2. Схемы включения микросхем STBC08 и STC4054

ду T_{PRG} . Если до срабатывания данного таймера заряд батареи не будет прекращен по штатному алгоритму (снижение тока, протекающего через батарею, ниже значения I_{END}), то после срабатывания таймера зарядка будет прервана принудительно. При помощи этого же конденсатора задается максимальная продолжительность режима предварительной зарядки: она равна $1/8$ от продолжительности T_{PRG} . Также, если за это время не произошел переход в режим быстрой зарядки, происходит выключение схемы.

2. Режим предварительной зарядки. Если для устройства STVC08 ток в этом режиме задавался как величина, равная 10% от I_{BAT} , а напряжение переключения в режим постоянного тока было фиксированным, то в модификации L6924U этот алгоритм сохранился без изменений, но в микросхеме L6924D оба этих параметра задаются с использованием внешних резисторов, подключаемых ко входам I_{PRE} и V_{PRE} .

3. Признак завершения зарядки на третьей фазе (режим стабилизации постоянного напряжения) в устройствах STVC08 и STC4054 задавался как величина, равная 10% от I_{BAT} . В микросхемах L6924 этот параметр программируется номиналом внешнего резистора, подключаемого к выводу I_{END} . Кроме того, для микросхемы L6924D существует возможность снизить значение напряжения на выводе V_{OUT} с общепринятого значения 4,2 В до значения 4,1 В.

4. Значение максимального зарядного тока I_{PRG} в данных микросхемах задается традиционным образом — посредством номинала внешнего резистора.

Как видим, в простых «зарядках» STVC08 и STC4054 при помощи внешнего резистора задавался только один параметр — зарядный ток. Все остальные параметры были либо жестко зафиксированы, либо являлись функцией от I_{BAT} . В микросхемах L6924 есть возможность тонкой подстройки еще нескольких параметров и, кроме того, осуществляется «страховка» максимальной продолжительности процесса зарядки батарей.

Для обеих модификаций L6924 предусмотрено два режима работы, если входное напряжение формируется сетевым AC/DC-адаптером. Первый — стандартный режим линейного понижающего регулятора выходного напряжения. Второй — режим квазиимпульсного регулятора. В первом случае в нагрузку может быть отдан ток, величина которого чуть меньше, чем величина входного тока, отбираемого от адаптера. В режиме стабилизации постоянного тока (вторая фаза — Fast charge phase) разница между входным напряжением и напряжением на «плюсе» батареи рас-

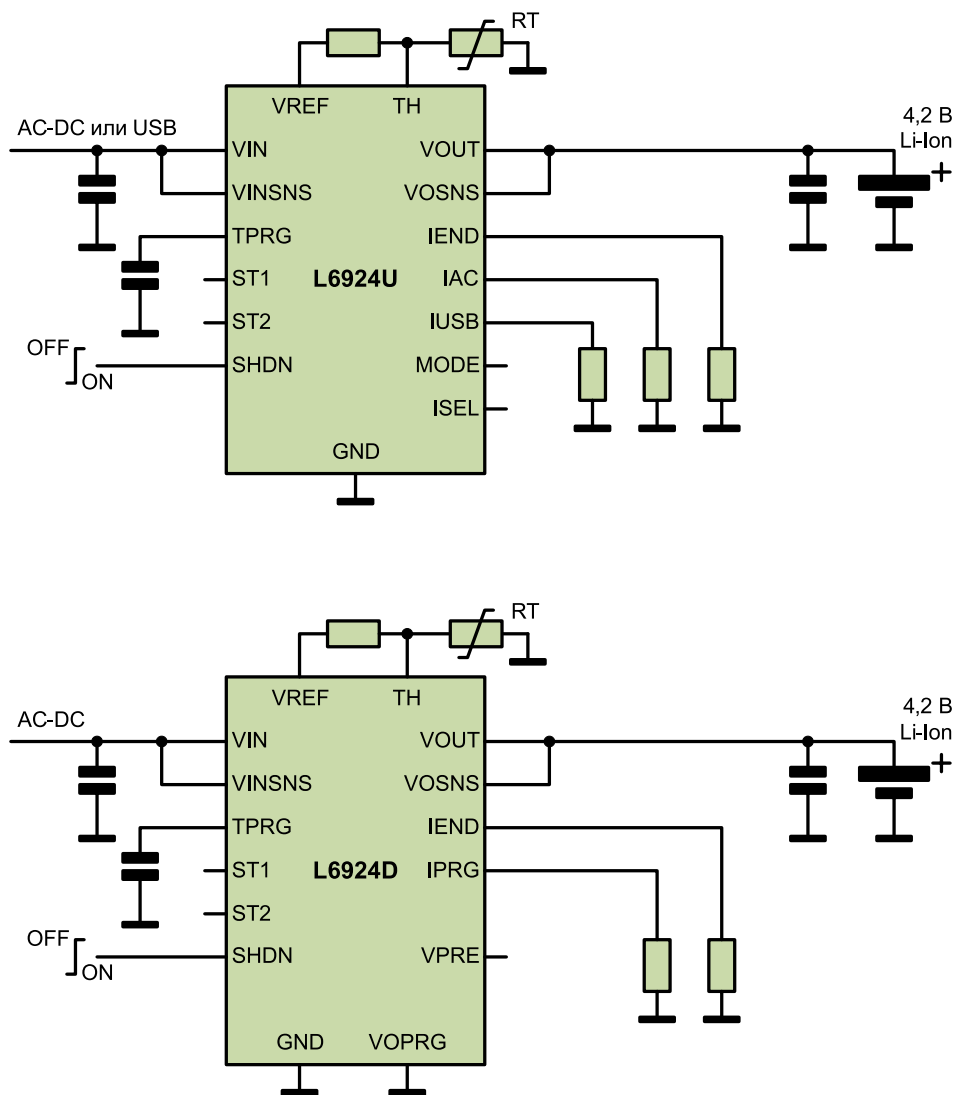


Рис. 3. Схемы подключения микросхем L6924D и L6924U

сеивается как тепловая энергия, вследствие чего рассеиваемая мощность на этой фазе заряда максимальна. При работе в режиме импульсного регулятора в нагрузку может быть отдан ток, значение которого выше, чем значение входного тока. При этом «в тепло» уходит существенно меньшая энергия. Это, во-первых, снижает температуру внутри корпуса, а во-вторых — повышает эффективность устройства. Но при этом следует иметь в виду, что точность стабилизации тока в линейном режиме равно приблизительно 1%, а в импульсном — около 7%.

Работа микросхем L6924 в линейном и квазиимпульсном режимах иллюстрируется рисунком 4.

Микросхема L6924U, кроме того, может работать не от сетевого адаптера, а от USB-порта. В этом случае микросхема L6924U реализует некоторые технические решения [4], которые позволяют дополнительно снизить рассеиваемую мощность за счет увеличения продолжительности зарядки.

Микросхемы L6924D и L6924U имеют дополнительный вход принудитель-

ного прерывания заряда (то есть отключения нагрузки) SHDN.

В простых микросхемах заряда температурная защита заключается в прекращении заряда при повышении температуры внутри корпуса микросхемы до 120°C. Это, конечно, лучше, чем полное отсутствие защиты, но величина 120°C на корпусе с температурой самой батареи связана более чем условно. В изделиях L6924 предусмотрена возможность подключения термистора, непосредственно связанного с температурой аккумулятора (резистор RT1 на рисунке 3). При этом появляется возможность задать температурный диапазон, в котором заряд батареи станет возможным. С одной стороны, литиевые батареи не рекомендуются заряжать при минусовой температуре, а с другой — также крайне нежелательно, если батарея при зарядке нагревается более чем до 50°C. Применение термистора дает возможность производить зарядку батареи только при благоприятных температурных условиях.

Естественно, дополнительный функционал микросхем L6924D и

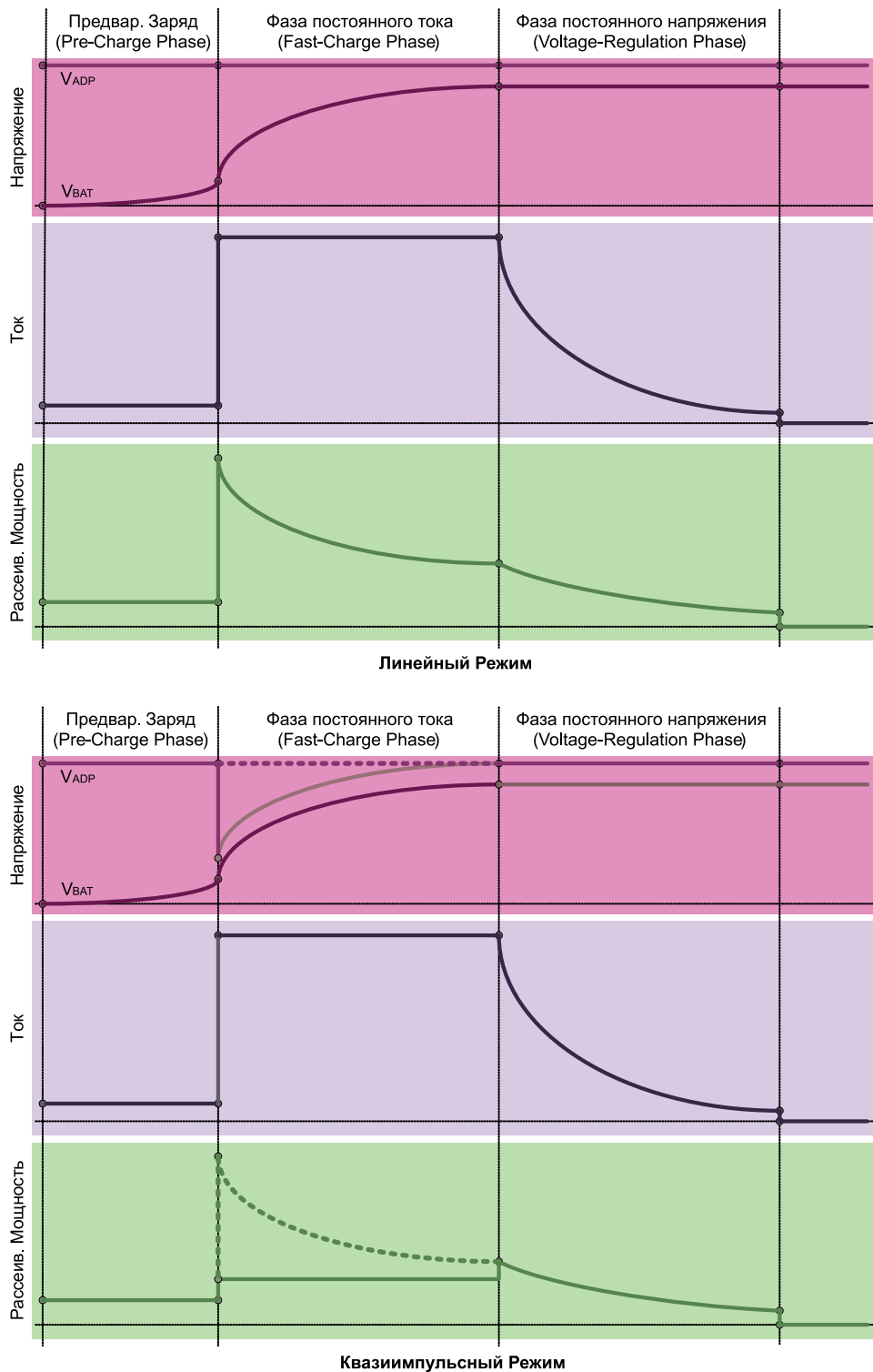


Рис. 4. Линейный и квазиимпульсный режим заряда в микросхемах L6924D и L6924U

L6924U не только расширяет возможности проектируемого устройства, но и приводит к увеличению площади на плате, занимаемой как самим корпусом микросхемы, так и внешними элементами обвязки.

Микросхемы заряда аккумулятора STBC21 и STw4102

Это — дальнейшее усовершенствование микросхемы L6924. С одной стороны, реализован приблизительно тот же функциональный пакет:

- Линейный и квазиимпульсный режим.
 - Термистор, связанный с батареей, как ключевой элемент температурной защиты.
 - Возможность задания количественных параметров для всех трех фаз процесса зарядки.
- Некоторые дополнительные возможности, отсутствовавшие в L6924:
- Защита от неправильной полярности.
 - Защита от короткого замыкания.

• Существенным отличием от L6924 является наличие цифрового интерфейса I²C для задания значений параметров и других настроек. Как следствие, становятся возможными более точные настройки процесса заряда. Рекомендуемая схема включения **STBC21** приведена на рисунке 5. Очевидно, что в данном случае вопрос об экономии площади платы и о жестких массогабаритных характеристиках не стоит. Но также очевидно, что применение данной микросхемы в малогабаритных диктофонах, плеерах и мобильных телефонах простых моделей не предполагается. Скорее, это аккумуляторы для ноутбуков и подобных устройств, где замена батареи — процедура нечастая, но и недешевая.

Микросхемы STBC21 и **STw4102** не принадлежат к одному семейству. Несмотря на то, что их основные функциональные возможности схожи, в мелких деталях существует значительное количество различий. Микросхема STw4102, например, предоставляет более широкие возможности в «тонких» настройках практически всех возможных параметров, кроме того, реализованы дополнительные функции мониторинга батареи, имеется возможность использования внешнего MOSFET-транзистора. Однако целевая область применения обеих микросхем примерно одна и та же.

Микросхемы контроля/индикации

Основу линейки «батарейных микросхем» любого производителя составляют именно микросхемы заряда аккумуляторных батарей (Battery Chargers IC), которые и были рассмотрены выше. Но многие производители дополняют номенклатуру «сопутствующими» микросхемами, к которым можно отнести микросхемы контроля состояния батареи (Battery Status Monitor) и микросхемы индикации уровня заряда батареи (Battery Gas Gauge). В номенклатуре STMicroelectronics обе эти роли выполняют **STC3100** и **STC3105**. Схема включения STC3105 представлена на рисунке 6. С функциональной точки зрения микросхема осуществляет периодические измерения значений напряжения на выходе микросхемы и тока, протекающего через нее. Полученные и обработанные данные передаются на микроконтроллер по каналу I²C. Данные микросхемы, с одной стороны, могут оказаться эффективным дополнением для простых микросхем заряда в приложениях, где не имеет смысла усложнять саму процедуру заряда, но может оказаться полезным расширить функции контроля над процессом. С другой стороны, интерфейс I²C предполагает наличие микроконтроллера, который должен получить данные и, в результате, принять какое-то решение на их основе. Но в этом случае напрашивается ре-

шение о применение интеллектуальных микросхем STBC21 и STw4102, в которых уже реализованы некоторые функции мониторинга.

СС/CV-контроллеры

Помимо функционально законченных микросхем заряда аккумуляторных батарей, компания STMicroelectronics предлагает семейство микросхем СС/CV-контроллеров, в частности – микросхем серии **TSM101x**. Данные микросхемы включают в себя опорный источник напряжения и два операционных усилителя, как правило, с объединенным выходом. На рисунке 7 представлен фрагмент схемы сетевого зарядного устройства для литиевой батареи с использованием контроллера **TSM1012**. На первом операционном усилителе (CV – Constant Voltage) реализован контур стабилизированного постоянного напряжения, на втором (CC – Constant Current) – контур стабилизированного постоянного тока. Остальные компоненты представляют собой типовую обвязку импульсного источника питания и задающие цепи.

Напомним, что цикл заряда литиевого аккумулятора состоит из двух фаз, в которых устройство выступает в качестве источника постоянного тока и одной фазы, в которой устройство выступает в качестве источника постоянного напряжения. Безусловно, проектирование зарядного устройства на базе универсальных «кирпичиков» – более хлопотное и трудоемкое занятие, нежели использование специализированных схем. Однако, в этом случае становится возможным созда-

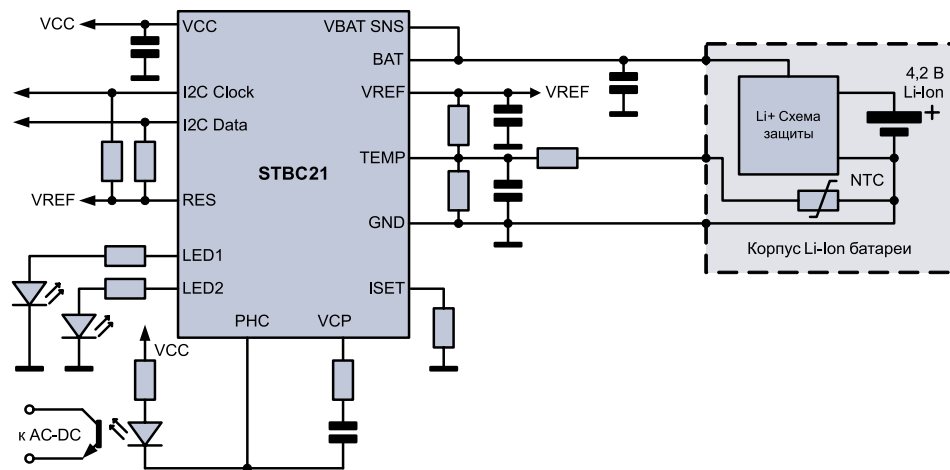


Рис. 5. Рекомендуемая схема включения STBC21

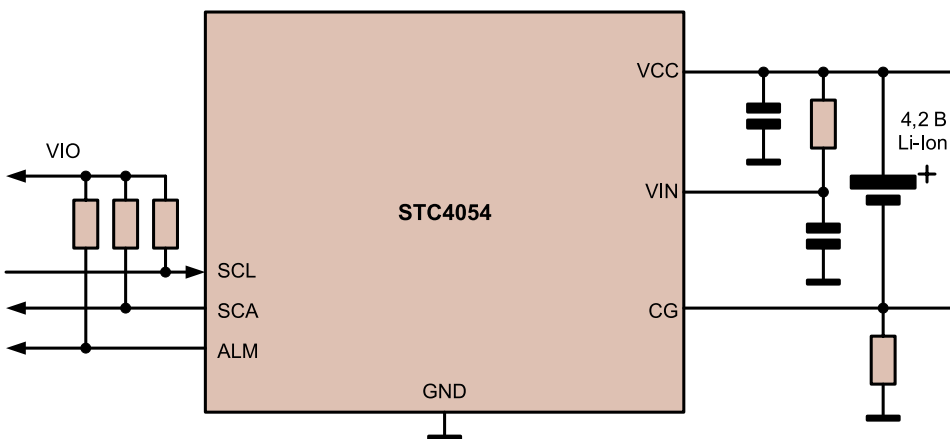


Рис. 6. Схема включения STC3105

ние устройств, в которых некоторые параметры оказываются на существенно ином качественном уровне. Так, например, в работе [5] приводится ряд решений, позволяющих существенно

снизить энергопотребление сетевого зарядного устройства в режиме холостого хода. Приводятся расчеты, согласно которым, типовое решение обеспечивает значение полной потребляемой мощ-

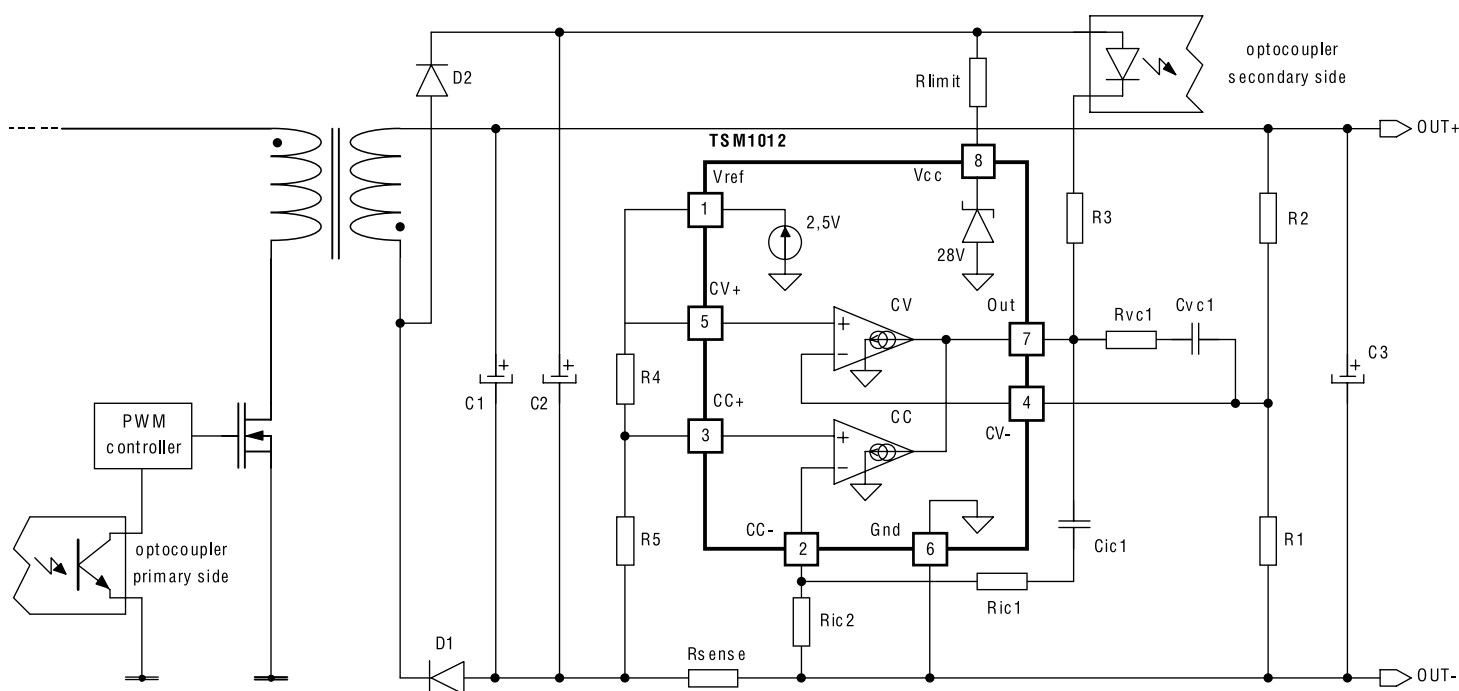


Рис. 7. Сетевое зарядное устройство на СС/CV-контроллере TSM1012



Рис. 8. Демонстрационная плата зарядного устройства на солнечной батарее STEVAL-ISV012V1

ности, равное 440 мВт. Первоначальная оптимизация схемы с применением контроллера **TMS1011** дает величину 140 мВт, а дальнейшая оптимизация схемы на контроллере TMS1012 обеспечивает дальнейшее снижение мощности до величины 104 мВт. Безусловно, в большинстве случаев можно обойтись и типовыми решениями, которые дают не рекордные, но вполне приемлемые показатели. Однако, стоит иметь в виду и тот факт, что в линейке продукции есть компоненты, позволяющие, при необходимости, разработать устройство с «элитарными» значениями отдельных параметров.

DC/DC-преобразователи для солнечных батарей

Для большинства мобильных устройств с питанием от аккумуляторных батарей зарядное устройство выполняется в виде автономного устройства для бытовой сети переменного тока. То есть в любом случае для формирования входного постоянного напряжения для

микросхемы заряда батареи требуется AC/DC-преобразователь. Компания STMicroelectronics предлагает широкий спектр подобных преобразователей, а также проверенную технологию проектирования сетевых адаптеров. Однако сетевые зарядные устройства – хотя и самое распространенное, но не единственно возможное решение. В качестве источника энергии может быть использована солнечная энергия, накапливаемая в солнечных батареях. В номенклатуре компании STMicroelectronics присутствуют микросхемы DC/DC-преобразователей для солнечных батарей, использующих алгоритм MPPT (Maximum Power Point Tracking – слежение за точкой максимальной мощности). Не вдаваясь в специфические детали, отметим, что на сегодня технология MPPT является наиболее современной и эффективной технологией для контроллеров заряда солнечной батареи. Вычисление максимальной точки эффективности заряда от солнечного модуля позволяет повысить эффективность генерации солнечной энергии до 25...30% по сравнению с контроллерами других типов [6]. В настоящий момент STMicroelectronics выпускает две микросхемы – **SPV1020** и **SPV1040**. Первая работает с цепочкой последовательно соединенных солнечных батарей с выходным напряжением в диапазоне 6,5...40 В. Вторая – как правило, с одной, батареей напряжением до 5,5 В. Компания STMicroelectronics также выпустила демонстрационную плату **STEVAL-ISV012V1**, включающую в себя MPPT DC/DC-преобразователь **SPV1040** и микросхему заряда **L6924D**. На рисунке 8 показана демонстрационная плата.

В материале [7] указывается, что суммарная эффективность подобной связки составляет примерно 85% (для SPV1040 – 94%, для L6924D – 90%).

Заключение

Номенклатуру микросхем для заряда аккумуляторных батарей, которые пред-

лагает компания STMicroelectronics, нельзя назвать очень широкой: линейка включает в себя восемь изделий и примерно столько же микросхем в смежных нишах. Но реальные функциональные возможности существующих изделий STMicroelectronics покрывают основные потребности рынка в зарядных микросхемах от достаточно простых изделий до высокотехнологичных решений. Возможности интеграции микросхем заряда с такими современными технологиями, как солнечные батареи, также представляются очень перспективным направлением.

Литература

1. Чигарев М. Микросхемы управления зарядом аккумуляторов компании ON Semiconductor // Новости Электроники, № 3, 2010.
2. Никитин А. Интегральные схемы управления зарядом аккумуляторов производства Maxim // Новости электроники, № 15, 2009.
3. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. – М.: Изумруд, 2003.
4. L6924U. USB compatible battery charger system with integrated power switch for Li-Ion/Li-Polymer // Материал компании STMicroelectronics. Размещение в Интернете: http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00197120.pdf
5. Camiolo Jean, Scuderi Giuseppe. Reducing the Total No-Load Power Consumption of Battery Chargers and Adapter Applications Polymer // Материал компании STMicroelectronics. Размещение в Интернете: http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/TECHNICAL_ARTICLE/CD00020012.pdf
6. Maximum power point tracker. Страница в Википедии. Страница в Интернете: en.wikipedia.org/wiki/Maximum_power_point_tracker
7. STEVAL-ISV012V1: lithium-ion solar battery charger // Материал компании STMicroelectronics. Размещение в Интернете: http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/DM00048561.pdf



Микросхемы заряда батарей L6924



- Два источника заряда – USB и AC-адаптер
- Программируемый ток заряда до 1 А
- Программируемый таймер зарядки
- Контроль температуры батарей



www.compel.ru

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: analog.vesti@compel.ru