

## Контроллер уровня заряда батареи для всех

Темпы совершенствования традиционной потребительской электроники, например смартфонов и планшетов, замедляются, поэтому многие творческие инженеры-разработчики сосредотачивают свои усилия на подготовке очередного технологического прорыва. Среди новых изобретений есть подключенные к сети устройства, достоинством которых является сбор информации в доступных через Интернет базах данных с возможностью анализа тенденций на основе аналитики Big Data. Дополнительным преимуществом многих современных устройств становится независимость от розетки: они работают от батарей либо используют батарею в качестве резервного источника энергии, на случай сбоев питания. Статья посвящена обзору контроллеров уровня заряда батареи MAX1720x/MAX1721x от компании Maxim Integrated.

Бакул ДАМЛЕ (Bakul DAMLE)

Традиционно любая продукция разрабатывалась большими командами, где за решение каждой конкретной задачи отвечал определенный сотрудник. Сегодня акцент все больше смещается в сторону компактных и маневренных групп, стремящихся как можно быстрее вывести продукцию на рынок, оценить ее успешность и принять решение о дальнейших инвестициях в производство. Кроме того, появилось множество стартапов, в которых трудятся творческие инженеры, по основному образованию являющиеся разработчиками не электронных схем, а скорее ПО, приложений или промышленных образцов. Такие специалисты порой рассматривают проектирование электронных схем как средство реализации своих идей, а ПО считают основным элементом, отличающим их от конкурентов. Впрочем, на рынок все чаще выходят и любители, изобретающие что-то ради удовольствия или «для себя».

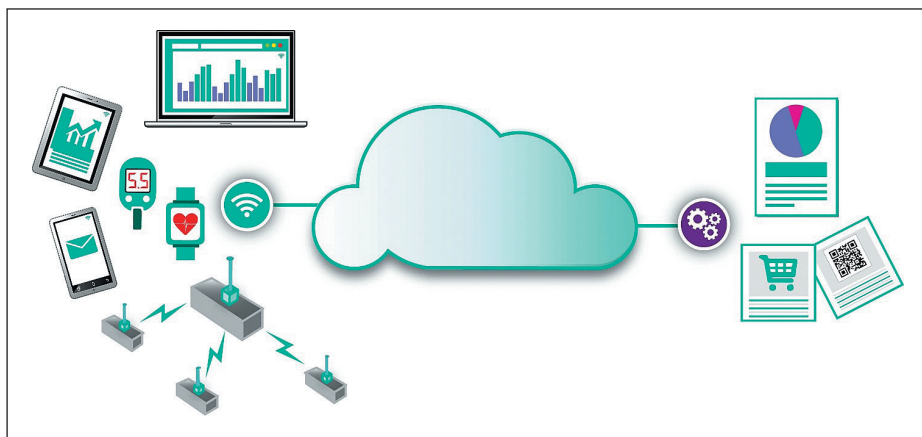
Эти творческие умы могут иметь смутное представление о тонкостях управления

аккумуляторной батареей. Им лишь необходимо устройство, функционирующее без дополнительных настроек и действительно простое в производстве. При традиционных методах измерения уровня заряда батарей команде разработчиков нужен соответствующий специалист и тесный контакт с поставщиком контроллеров уровня заряда (fuel gauge), чтобы найти модель, правильно описывающую батарею. Для этого часто приходится изучать характеристики подобного источника питания при различных нагрузках и температурах (если доступно специальное оборудование для тестирования батарей, включая термокамеру) либо отправлять батарею поставщику контроллеров уровня заряда, чтобы он исследовал параметры в своей лаборатории. Это может приводить как к материальным, так и нематериальным затратам. Ведь логистика доставки литий-ионных батарей воздушным транспортом попала под пристальное внимание из-за проблем безопасности, да и сама доставка занимает определенное время. Производителю после по-

лучения батарей может потребоваться пара недель для исследования всех характеристик аккумуляторных батарей и моделирования их поведения при различных нагрузках и в указанных температурных условиях. Только тогда разработчик системы сможет подключить конкретную аккумуляторную батарею к контроллеру уровня заряда, приступить к исследованиям и выбрать окончательный вариант конструкции.

Недавно компания Maxim Integrated анонсировала инновационный способ решения этих проблем на основе новейших достижений в области устройств сверхмалой мощности, технологий смешанных цифро-аналоговых ИС в сочетании с собственным алгоритмом измерения уровня заряда, получившим название ModelGauge m5 EZ. Этот алгоритм встроен в автономные ИС сверхмалой мощности MAX1720x/MAX1721x — контроллеры уровня заряда батарей. ИС MAX17201/MAX17211 предназначены для контроля одноэлементных батарей. ИС MAX17205/MAX17215 позволяют вести мониторинг и балансировку двух- и трехэлементных батарей или мониторинг многоэлементных батарей. Интерфейс Maxim 1-Wire (MAX17211/MAX17215) и 2-проводной интерфейс I<sup>2</sup>C (MAX17201/MAX17205) предоставляют доступ к данным и управляющим регистрам.

Эти ИС контроллера уровня заряда батарей позволяют разработчикам систем с помощью простого процесса, в основе которого лежит мастер конфигурирования (Configuration Wizard), включенный в оценочный комплект ПО, без особых проблем, связанных с измерением характеристик конкретного аккумулятора, создать его модель в соответствии с требованиями приложе-



ния (рис. 1). Разработчику системы необходимо дать ответы только на три вопроса: какова проектная емкость батареи (часто указана в тексте наклейки или в спецификации аккумуляторной батареи); какое напряжение в расчете на один элемент следует считать признаком полного разряда батареи (зависит от ограничений приложения); и превышает ли напряжение заряда батареи 4,275 В (в расчете на один элемент в случае многоэлементных батарей).

Помимо модели аккумуляторной батареи, мастер конфигурирования помогает разработчику системы определить следующие аппаратные характеристики:

- схема аккумуляторной батареи (используется для многоэлементных батарей);
- количество элементов в батарее;
- режим завершения работы (используется при отсоединении батареи от системы);
- выбор резистора для датчика;
- измерение температуры — встроено в ИС или используются внешние термисторы;
- оповещения на базе различных критериев, таких как напряжение, ток, температура или уровень заряда батареи (State-Of-Charge — SOC,%), обнаружение перегрузки по току, нарушение полярности подключения;
- регистрация данных о работе батареи;
- использование энергонезависимой памяти общего назначения.

Это позволяет исключить сложный, ведущий к ошибкам процесс ручной установки различных конфигурационных битов при подготовке регистров к программированию ИС.

Насколько хорошо это работает на практике? Уместно напомнить наблюдение Эдисона, сделанное им в 1883 году: «Как только человек начинает работать с аккумуляторной батареей, у него проявляется способность ко лжи», — важно внимательно и четко анализировать характеристики новой технологии, чтобы не преувеличить значение отдельных фактов.

Компания Maxim создала обширную базу аккумуляторных батарей, в которую включены характеристики элементов и описание их поведения в различных условиях тестирования, аналогичных моделям использования устройства потребителями. Благодаря этому компания Maxim может оценивать новые усовершенствования алгоритма для измерения уровня заряда на основе реальных данных, собранных ранее. С помощью такой информации компания Maxim проанализировала рабочие характеристики нескольких сотен аккумуляторных батарей различного размера и построила гистограмму результатов (рис. 2).

Как видно, более 94% тестов, проведенных при комнатной температуре и выше, дают погрешность определения уровня заряда (% SOC) менее 3%. Из этих тестовых примеров исключены аккумуляторные батареи определенного типа, для которых, в отличие от батарей более традиционного химического состава, выявлено весьма значительное

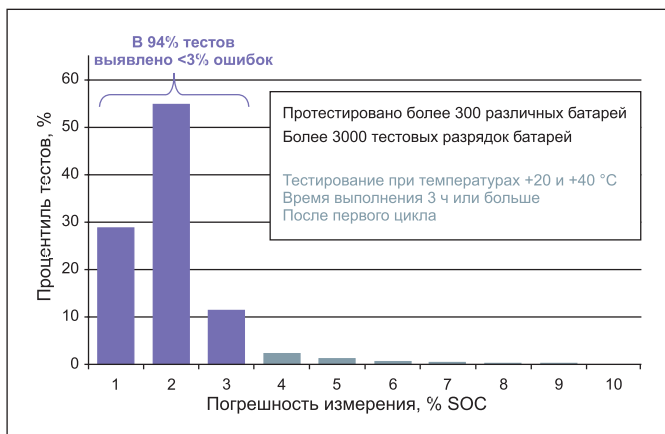


Рис. 2. Эффективность модели EZConfig

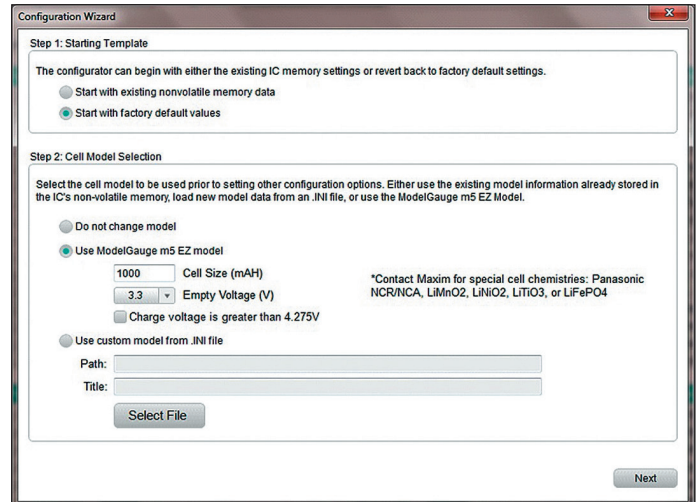


Рис. 1. Окно «Мастер конфигурирования»

расхождение напряжения разомкнутой цепи (Open-Circuit Voltage — OCV) и параметра «% SOC».

Полученные результаты выглядят очень хорошо, но насколько мы ошибаемся с точки зрения рабочих характеристик, если используем индивидуальную конфигурацию модели аккумуляторной батареи в каждом случае? Гистограмма на рис. 3 позволяет сравнить модели EZ с «настроенной» индивидуально моделью; по вертикальной оси отложены проценти тестовых случаев, по горизонтальной — относительная погрешность измерений. Хотя в «настроенной» модели действительно большее число случаев характеризуется погрешностью 1%, при объединении всех тестовых случаев, где погрешность не превышала 3%, оказывается, что модель EZ охватывает 95%, а индивидуально настроенная модель — 97% тестовых случаев. Если учесть дополнительные усилия, ресурсы и время, необходимые для подготовки индивидуально настроенной модели, то модель EZ начинает казаться и в самом деле очень привлекательной.

Другой подход заключается в сравнении модели EZ с индивидуально настроенной моделью при определенной погрешности, допустимой для данной конструкции системы. На рис. 4 эти модели сопоставлены при величинах погрешности <3 и <5%.

Вместо того чтобы просто рассматривать максимальную погрешность где-то между 0 и 100% SOC, обратите внимание на погрешность измерения уровня заряда почти разряженной (например, до 10%) батареи, где точное определение уровня заряда действительно важно. Если батарея заряжена примерно на 50%, а измеритель уровня заряда показывает 40 или 60% (ошибка 10%), ничего страшного, скорее всего, не случится, так как никаких критически важных

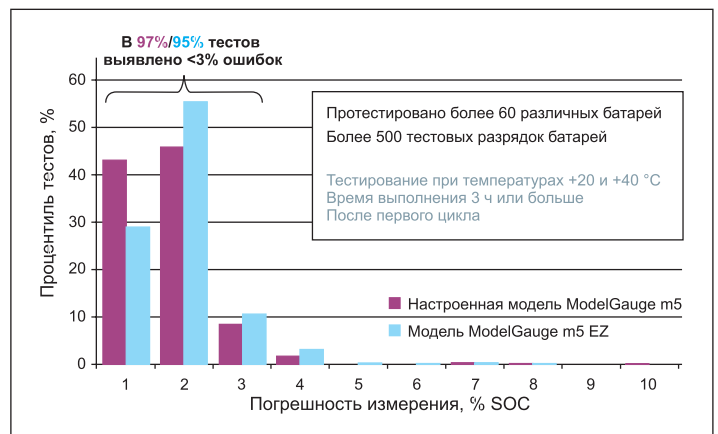


Рис. 3. Сравнение параметров настроенной модели ModelGauge m5 и модели EZ

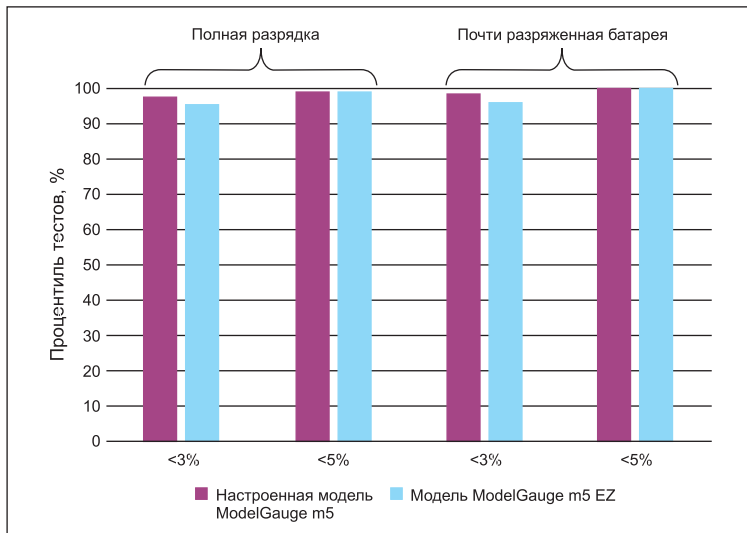


Рис. 4. Сравнение параметров настроенной модели ModelGauge m5 и модели EZ

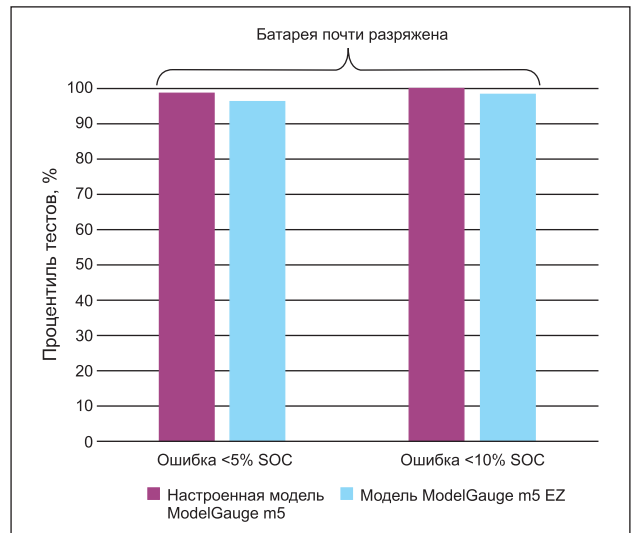


Рис. 5. Соотношение между параметрами «% SOC» и OCV батареи

решений по управлению питанием в этом случае не принимается. Однако когда батарея заряжена на 10%, а измеритель уровня заряда показывает 5% SOC, система, вероятно, завершит работу преждевременно, и ресурс аккумуляторной батареи будет использован не в полной мере. В то же время, если батарея заряжена на 5%, а измеритель уровня заряда показывает 10% SOC, вполне возможен неожиданный аварийный останов системы вместо планового постепенного завершения работы. При любом положении страдает пользователь: в первом случае время автономной работы устройства оказывается меньше ожидаемого, а во втором — внезапное выключение устройства вызывает раздражение.

Если приложение предъявляет более высокие требования и нуждается в хорошей точности измерения уровня заряда при низких температурах (около нуля по Цельсию), то аналогичные рассуждения справедливы и для погрешности измерения <5%.

Таким образом, для большой категории приложений простота реализации рабочих характеристик конфигурации EZ в корне меняет ситуацию в случае создания новой продукции.

Итак, почему конфигурация ModelGauge m5 EZ обеспечивает столь хорошие результаты? «Магия» заключается в том, каким образом патентованный алгоритм ModelGauge m5 использует результаты измерения электрических характеристик в реальном времени и превращает их в значение параметра «% SOC» и в другую полезную информацию о батарее. В алгоритме предусмотрено несколько механизмов компенсации ошибок, обусловленных несоответствием модели реальным элементам аккумуляторной батареи. Эти механизмы также компенсируют и любые ошибки в измерениях электрических характеристик, негативно сказывающиеся на выходном значении параметра «% SOC». Кроме того, имеется несколько адаптивных механизмов, которые помогают контроллеру уровня заряда батареи узнать больше о ее характеристиках и повысить точность измерений.

Алгоритм ModelGauge m5 объединяет краткосрочную точность и линейность кулоновского счетчика и долгосрочную стабильность измерителя уровня заряда батареи на базе напряжений. Основная часть алгоритма объединяет оценку OCV-состояний с кулоновским счетчиком. Значение OCV для элементов Li+ коррелирует с параметром «% SOC», причем это соотношение практически не меняется в процессе старения элемента (рис. 5).

В цикле заряда-разряда элементов батареи происходит перемещение вверх и вниз по данной кривой, что значительно снижает чувствительность к ошибкам, возникающим из-за несоответствия модели элементу батареи. Вначале, когда элемент подключен к ИС контроллера уровня заряда, оценка состояния OCV имеет значительно больший вес по сравнению с выходным значением кулоновского

счетчика. По мере того как элементы батареи проходят цикл заряда-разряда в приложении, точность кулоновского счетчика повышается, и смешанный алгоритм изменяет его вес так, чтобы результаты кулоновского счетчика стали определяющими. С этого момента ИС переключается в режим «следящее смешивание» (servo mixing), который обеспечивает коррекцию ошибок кулоновского счетчика на фиксированную величину вверх или вниз, в зависимости от знака ошибки относительно оценки OCV. Это позволяет оперативно устранять расхождение между показаниями кулоновского счетчика и оценкой OCV. Итоговые результаты, полученные на основе смешанного алгоритма, не страдают от накопленных ошибок измерений тока. Данный метод является более надежным, чем алгоритм, основанный только на оценке OCV (рис. 6).

Коррекция кулоновского счетчика осуществляется непрерывно, пока приложение активно или находится в дежурном режиме. На практике это означает, что коррекции кулоновского счетчика происходят более 200 000 раз в день, крошечными шагами, почти незаметными для пользователя. Такие коррекции выполняются, когда батарея находится под нагрузкой и без нагрузки, в установившемся режиме или нет — и в этом значительное преимущество перед другими конкурирующими алгоритмами.

При изменении температуры и скорости разряда устройства величина доступного заряда тоже изменяется. Алгоритм ModelGauge m5 различает оставшуюся емкость ячейки и оставшуюся емкость для приложения и сообщает пользователю оба результата.

Этот алгоритм периодически вносит внутренние корректировки в модель элемента батареи и в информацию о приложении, чтобы устранить первоначальную ошибку и поддерживать точность

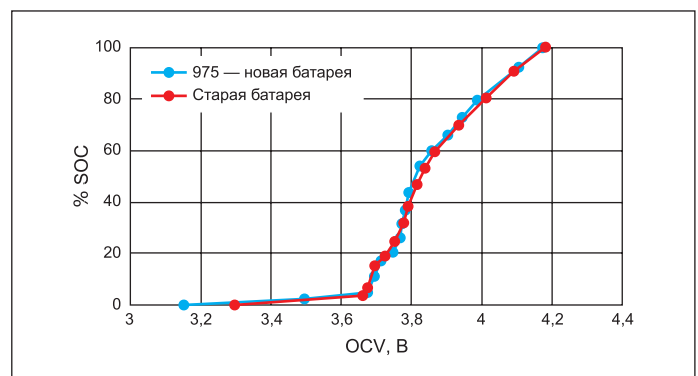


Рис. 6. Эффективность смешанного алгоритма коррекции ошибок

по мере старения элементов. Такие уточнения всегда производятся на меньшую величину, чтобы предотвратить нестабильность системы и значительные «скачки» результатов измерения уровня заряда батареи. Обучение происходит автоматически без вмешательства хост-системы. Помимо оценки заряда батареи, ИС отслеживает ее релаксационный отклик и корректирует динамику напряжения на измерителе уровня заряда.

В алгоритме ModelGauge m5 имеется функция, которая гарантирует сходимость показаний измерителя уровня заряда к 0% по мере того, как напряжение приближается к напряжению разряженного элемента. Когда напряжение приближается к напряжению разряженного элемента, ИС плавно корректирует скорость изменения параметра «% SOC» так, чтобы измеритель уровня заряда показывал 0% точно в тот момент, когда будет достигнуто напряжение разряженного элемента. Так удается предотвратить неожиданное завершение работы или преждевременное сообщение измерителя уровня заряда о достижении уровня 0% SOC. Это дополнительный механизм компенсации ошибок измерения % SOC, обусловленных несоответствием модели оригиналу.

ИС автоматически компенсирует старение элемента аккумуляторной батареи, температуру и скорость разряда, а также предоставляет точные значения уровня заряда (SOC) в миллиампер-часах (мА·ч) или в процентах (%) в широком диапазоне условий эксплуатации. ИС обеспечивает точность оценки времени до полной разрядки и до полной зарядки батареи, прогноз старения Cycle+, а также предлагает три метода оценки возраста аккумуляторной батареи: по падению емкости, по увеличению внутреннего сопротивления батареи, на основе подсчета общего количества циклов заряда-разряда.

ИС обеспечивает прецизионные измерения силы тока, напряжения и температуры. Температура аккумуляторной батареи определяет-

ся по результатам внутренних измерений; поддерживается до двух внешних термисторов для логометрических измерений с использованием вспомогательных входов. ИС может генерировать предупреждения при обнаружении высоких или низких значений напряжения, силы тока, температуры или же о состоянии зарядки. Кроме того, ИС содержит два программируемых высокоскоростных компаратора для определения перегрузки по току, которые позволяют выявлять броски тока в системе и выдавать предупреждения, чтобы сделать соответствующие корректировки для предотвращения внезапного выхода батареи из строя. Оба компаратора имеют программируемые пороговые значения и программируемые задержки для предотвращения ложного срабатывания (debounced delay).

Во избежание клонирования аккумуляторной батареи ИС представляет собой автономный контроллер уровня заряда со встроенной аутентификацией по алгоритму SHA-256 с использованием 160-битного секретного ключа. Каждая ИС имеет уникальный 64-битный идентификатор.

ИС предлагаются в удобных для автоматизированной обработки, не содержащих свинца 14-выводных TDFN-корпусах размером 3×3 мм.

Итак, новейшие достижения в технологиях измерения уровня заряда батареи, базирующиеся на десятилетиях опыта в области управления аккумуляторными батареями и в области проектирования, обеспечивают мировой класс точности измерения уровня заряда любым заказчикам — от крупных компаний-производителей до стартапов и индивидуальных разработчиков. Продукция ModelGauge m5 EZ позволяет разработчикам сконцентрировать свои усилия в той области, где они являются специалистами, и не беспокоиться о реализации измерителя уровня заряда батарей. ■