

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЛИТИЕВО-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПАНИИ RENESAS

Силовые полевые транзисторы (FET), или силовые ключи, обеспечивают важные функции безопасности в системе управления аккумуляторными батареями (battery management system, BMS), отключая в нестабильных условиях батарейный блок либо от нагрузки, либо от зарядного устройства. В статье рассматриваются блоки диагностики и применение силовых ключей для обеспечения безопасной работы литиево-ионных аккумуляторов.

Функциональный блок с силовым ключом обеспечивает его замыкание при подсоединении зарядного устройства или нагрузки и его размыкание, если что-то пойдет не так. Правильное функционирование силового ключа требует от разработчика понимания условий нагрузки, ограничений аккумуляторной батареи и функциональной схемы защитного блока.

Силовые ключи в BMS-системе управляются сигналами, контролирующими напряжение элемента аккумуляторной батареи (ячейки), ток батареи, температуру, режим работы – заряд или разряд.

Функциональный блок в системе защиты строится одним из трех способов:

- 1) из дискретных компонентов, что требует дополнительного пространства, причем разработчик должен хорошо знать каждый подблок;
- 2) с использованием интегральной схемы с силовым ключом, которая объединяет большую часть функциональных подблоков и применяется в качестве дополнительной ИС для

многоэлементного устройства мониторинга/балансировки. ИС с силовым ключом рекомендуется применять в устройствах с большим количеством элементов (>16), например в солнечных электростанциях и интеллектуальных энергосистемах;

- 3) функциональный блок силового ключа входит в состав полностью интегрированных BMS-систем, построенных на базе таких микросхем как ISL94202, ISL94203 или ISL94208 от Renesas Electronics. Каждая из них имеет примерно одинаковую функциональность. Мы рассмотрим внутренние функции каждого подблока и особенности проектирования разных приложений.

Подключенная к электродвигателю система является схемой с силовым ключом на стороне высокого напряжения (см. рис. 1). Состояние ВКЛ. силового ключа зависит от напряжения аккумуляторного элемента, зарядного и разрядного токов, температуры и состояния контролируемых выводов. Любые неисправности, о которых сообщает подблок, приводят к размыканию одного или обоих ключей.

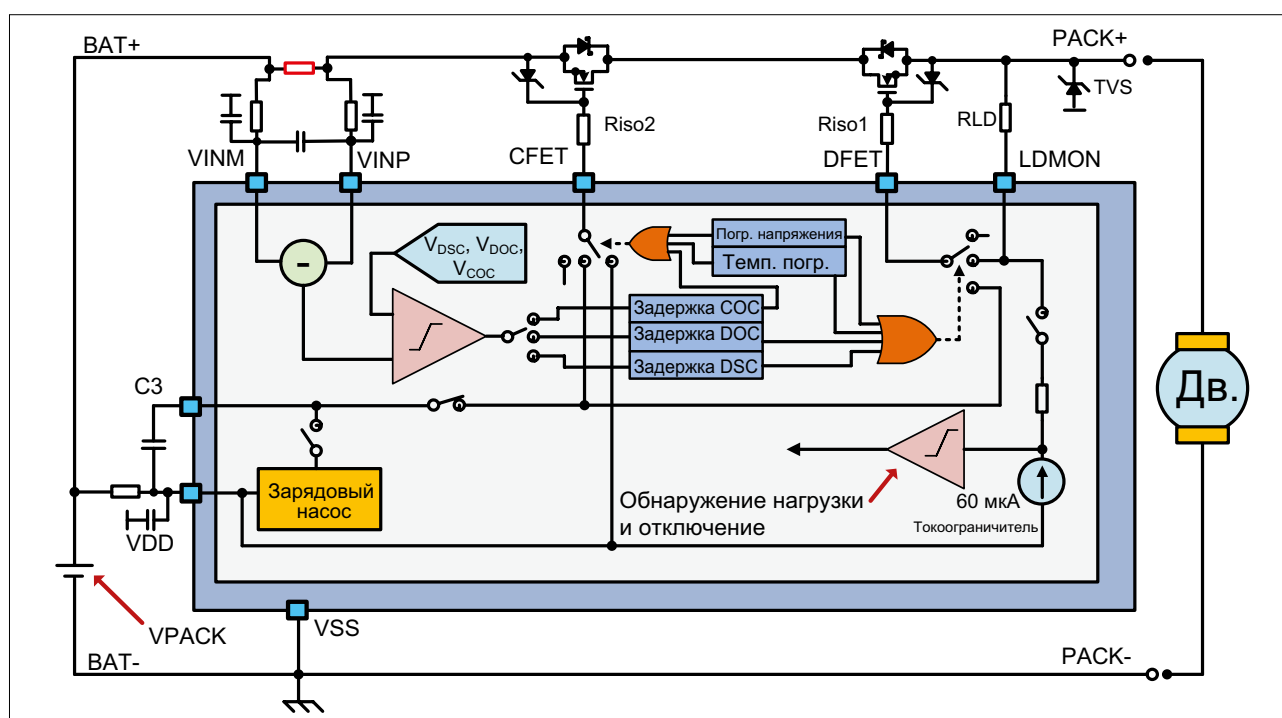


Рис. 1. Упрощенная схема принятия решения о необходимости замыкания или размыкания силового ключа

КОНТРОЛЬ НАД НАПРЯЖЕНИЕМ АККУМУЛЯТОРНОГО ЭЛЕМЕНТА (ЯЧЕЙКИ)

Напряжение аккумуляторного элемента V_{CELL} без балансировки определяется с целью определения повышенного и пониженного напряжений и обрыва цепи элемента. Состояние пониженного напряжения имеет большое значение для мониторинга разряженной батареи, чтобы предохранить аккумуляторный элемент от выхода из активной области. Активная область напряжения литиево-ионного аккумуляторного элемента находится в диапазоне 2,5–4,2 В. Пределы активной области для литиево-полимерного элемента составляют 2,5–3,6 В. Его граничное напряжение устанавливает предел полностью заряженного и «пустого» элемента на основе химического состава и конструкции. Заряд аккумуляторного элемента до значения, превышающего предельную величину, может привести к его повреждению. Большая часть интегральных схем BMS-систем непрерывно контролирует значения повышенного и пониженного напряжений независимо от состояния заряда батареи.

После измерения всех элементов в аккумуляторной батарее формируется сообщение об общей разнице напряжений между самым «сильным» и самым «слабым» элементами. Большая разница напряжений аккумулятора свидетельствует о наличии разомкнутого элемента или разомкнутого провода. В большинстве систем предусмотрен тест на разомкнутый провод, который достоверно определяет, подключен ли провод между системой измерения и элементом. Тест разомкнутого провода используется реже, чем считывание напряжения элемента, и вычисление разницы напряжений элементов может быть первым признаком наличия проблем в системе.

Размыкание элемента возникает в том случае, когда внутренние соединения элемента размыкаются или нарушается внешнее соединение. Такое событие может происходить постепенно или внезапно. Возможные причины размыкания элемента – старение, производственный брак либо продолжительная эксплуатация в суровых условиях. Причиной нарушения внешнего соединения обычно является плохая конструкция аккумуляторной батареи.

Ложные значения для максимального разностного напряжения аккумуляторного элемента могут быть получены, когда при подключении аккумулятора к нагрузке возникает значительный бросок тока. Этот бросок, помноженный на рассогласование импеданса элемента, приводит к значительному несоответствию напряжения аккумуляторного элемента. Одни микросхемы задерживают сообщения о таком событии, а другие передают их немедленно.

КОНТРОЛЬ НАД ТОКОМ

Большинство систем измерения тока аккумуляторных батарей содержит три компаратора тока: компаратор тока короткого замыкания при разряде (DSC), компаратор превышения тока разряда (DOC) и компаратор превышения тока заряда (COC). Каждый компаратор задерживает выдачу сигнала, в результате чего ток превышает предельное значение в течение некоторого времени, прежде чем система работает.

Нагрузки менее контролируемы, чем зарядные устройства, и для размыкания силового ключа во избежание повреждения аккумуляторных батарей или самих транзисторов требуется быстрое обнаружение разряда. Задержки в десятки или сотни микросекунд перед размыканием силового ключа являются обычным явлением для DSC-компараторов. Задержка тока DSC-компаратора состоит из временной задержки в микросхеме и времени, необходимого для размыкания силового ключа. При разомкнутом ключе затвор и исток соединены друг с другом через изолирующий резистор. RC-цепочка, образованная резистором и емкостью затвора, задает время размыкания силового ключа.

При вычислении общей задержки отключения тока DSC-компаратора требуется учитывать множество факторов. Время отключения DSC ограничено допустимым временем броска тока без повреждения аккумулятора и схемы по отношению к допустимому времени прохождения броска тока при подключении нагрузки или когда нагрузка уже подключена. Время отключения DSC-компаратора необходимо согласовать со временем разомкнутого состояния силового ключа. Слишком быстрое размыкание силового ключа приводит к большому переходному напряжению на контактах аккумуляторного элемента. Ближайшие к силовому ключу контакты наиболее чувствительны к большим переходным напряжениям. Причиной возникновения переходных процессов является индуктивная энергия, накопленная в паразитных элементах цепи между силовым ключом и аккумуляторной батареей, и невозможность рассеяния этой энергии при аварийном отключении аккумулятора от нагрузки. Индуктивная энергия рассеивается в разомкнутую нагрузку до тех пор, пока напряжение не поднимется достаточно, чтобы активировать ESD-диоды подключенной схемы. Если эта энергия достаточно большая, часть схемы может испытывать электрическую перегрузку.

Как известно, магнитный поток, создаваемый индуктивностью рассеяния, является производением величины этой индуктивности на протекающий через нее ток. В данном случае это ток, поступающий в нагрузку. При коротком замыкании энергия, накопленная в индуктивности рассеяния, может создать ток, который способен повредить компоненты системы. Фильтрация напряжения на контактах элемента помогает снизить вероятность нарушения работоспособности системы. Длина проводников всегда должна быть минимальной, а их ширина – максимальной. Важны размер и длина кабеля между нагрузкой и силовым ключом. Это еще один участок, где может возникнуть высокое напряжение при переходных процессах.

Увеличение сопротивления резистора в цепи затвора силового ключа уменьшает переходное напряжение за счет возрастания времени размыкания ключа. Кроме того, увеличивается время включения транзистора в силу увеличения постоянной времени RC цепи затвора. Заметим, что резистор в цепи затвора является одним и тем же для обоих случаев.

Слишком медленное размыкание силового ключа приводит к его повреждению или падению напряжения в цепи питания. У большинства ключей – типичная зависимость тока от напряжения (см. рис. 2).

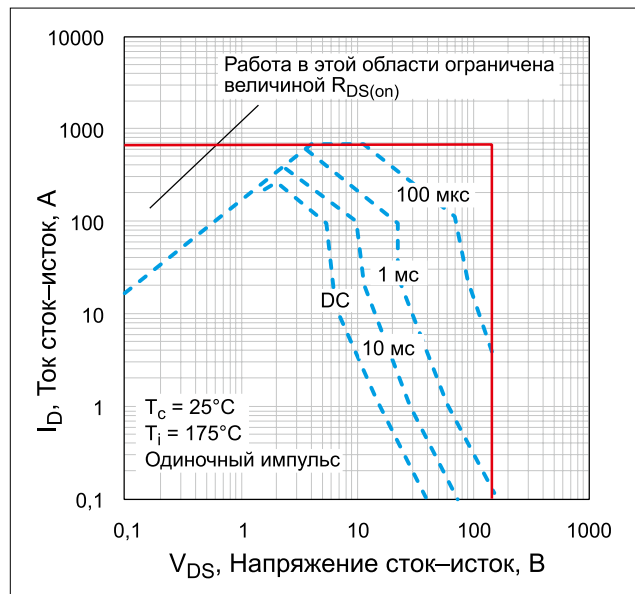


Рис. 2. Время размыкания силового ключа должно находиться в безопасной рабочей области

Рассмотрим 20-В аккумуляторную батарею с током короткого замыкания 100 А. График показывает, что время до выхода силового ключа из строя в этом состоянии составляет 1 мс.

Часто ограничение тока между стоком и истоком компенсируется продолжительностью его броска. Бросок тока может в 100 и более раз превысить рабочий ток. Пример переходного процесса броска тока приведен на рисунке 3. Максимум броска тока составляет 270 А. Рабочий ток стока равен 8 А. Если бросок тока будет периодически достигать предельного значения тока между стоком и истоком, силовой транзистор станет переключаться между замкнутым и разомкнутым состояниями.

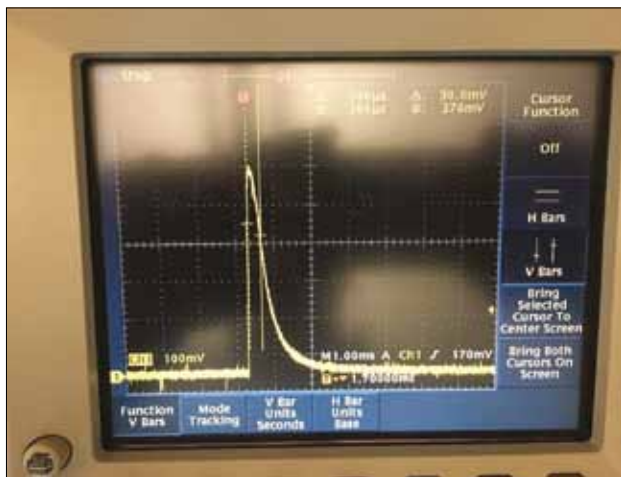


Рис. 3. Броски тока могут достигать предельного значения при коротком замыкании



Рис. 4. Падение напряжения аккумуляторной батареи при броске тока через аккумулятор (см. рис. 3)

На рисунке 4 показано результирующее падение напряжения аккумулятора, когда бросок тока на рисунке 3 проходит через аккумуляторный элемент.

Рисунок 4 иллюстрирует важность применения низкоимпедансных аккумуляторных элементов и контактов между ними. Бросок тока приводит к падению напряжения аккумуляторной батареи на 10,8 В. Величина броска снижается за счет увеличения номиналов изолирующих резисторов (R_{ISO1} и R_{ISO2}) силового ключа. Увеличение сопротивления увеличивает продолжительность броска.

Предельное значение перегрузки по разрядному току и задержка являются вторым пределом, который свидетельствует о повреждении нагрузки или системы (незначительном), либо о подключении к аккумуляторной батарее несоответствующей нагрузки. Длительность разряда при перегрузке по току может быть значительно выше и обусловлена меньшим количеством факторов, чем разряд при коротком замыкании.

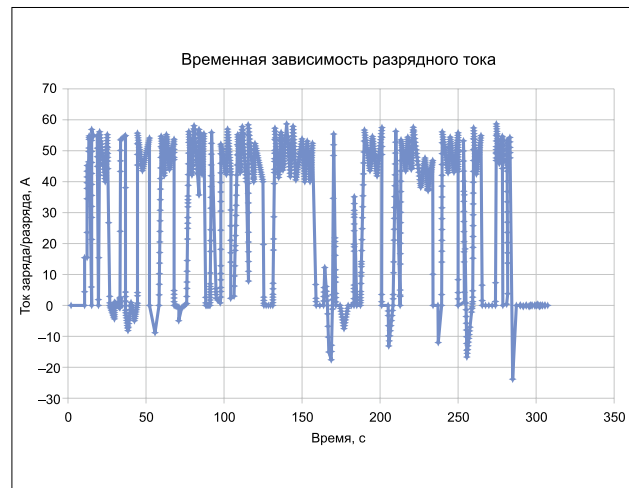


Рис. 5. Профиль электрической нагрузки скутера

Предельное значение перегрузки по зарядному току предотвращает перезаряд аккумуляторной батареи и соответствующее повреждение зарядных устройств. В результате задержки срабатывания защиты при превышении тока нерегулируемый заряд в течение короткого временного интервала поступает в аккумуляторную батарею. На рисунке 5 показан профиль нагрузки электроскутера. При отрицательном токе двигатель заряжает батарею. Регенеративный ток от двигателя может значительно превышать зарядный ток. Предельное значение тока заряда устанавливается близким к току обычного зарядного устройства, чтобы предотвратить заряд батареи неисправным устройством. Длительность большинства регенеративных токов мала. Осциллограмма на рисунке 5 описывает после 250-й секунды регенеративный ток скутера, катящегося по склону. Осциллограмма на 280-й секунде соответствует регенеративному току скутер, движущегося по инерции до полной остановки. Зарядный ток аккумуляторной батареи при этом составляет 2 А.

На установление тока заряда влияет немало факторов. Основным из них является ток заряда, максимально допустимый собственно аккумуляторными элементами. К другим факторам относится время заряда, нагрев элементов и старение аккумуляторной батареи.

КОНТРОЛЬ НАД ТЕМПЕРАТУРОЙ

Контроль над температурой аккумуляторного элемента осуществляется, главным образом, во избежание его теплового пробоя. Причинами, которые могут его вызвать, являются перегрузка элементов при зарядке, короткое замыкание аккумуляторной батареи или внутренние короткие замыкания в самом элементе. Некоторые химические составы обладают большей восприимчивостью к тепловому пробоя, чем другие.

Помимо обнаружения теплового пробоя, контроль температуры используется для определения безопасности аккумуляторной батареи при заряде или разряде. У большинства литиевых аккумуляторов рекомендуемый диапазон температур заряда/разряда соответствует тому, который показан на рисунке 6.

У некоторых приложений, например у ноутбуков, заряд считается допустимым только в ограниченном интервале температур (см. рис. 6). Японская промышленная ассоциация электроники и информационных технологий (JEITA) разработала стандарт для заряда литиевых элементов. Стандарт предусматривает снижение зарядного тока в температурных диапазонах, где аккумуляторный элемент менее стабилен или способен принимать заряд в меньшей мере. Пример стандарта заряда JEITA приведен на рисунке 7,

но для большинства применений профиль на рисунке 6 достаточен и прост в реализации.

Выводы

При использовании автономных интегральных схем BMS-системы необходимо знать их функциональные блоки и характеристики силовых ключей в рабочей области. Одни ИС осуществляют зарядку силовых ключей и в цепи заряда (charge FET, CFET), и в цепи разряда (discharge FET, DFET), удерживая их состояние открытым. Другие же интегральные схемы размыкают CFET-ключи. В последовательной конфигурации CFET-ключи не должны быть разомкнуты при работе батареи на разряд. Управление нагрузкой при разомкнутом CFET-ключе позволяет току проходить через внутренний диод этого ключа. В результате увеличивается мощность, рассеиваемая ключом, что приводит к повышению его температуры. Если не отводить тепло от силового ключа через плату или с помощью радиатора, аккумуляторный элемент может повредиться. CFET-ключ в последовательной конфигурации, который разомкнут во время работы, также снижает мощность, отдаваемую в нагрузку, что сказывается на производительности подключенного оборудования.

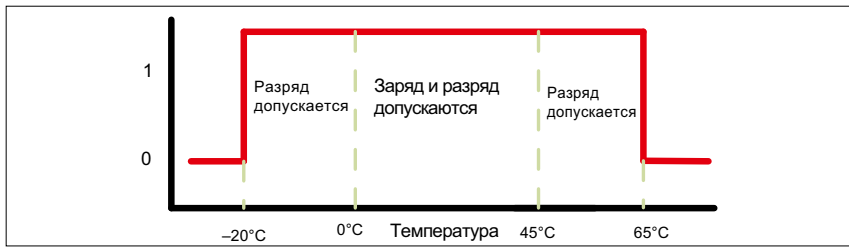


Рис. 6. Приемлемые области температуры заряда/разряда для литиевых батарей

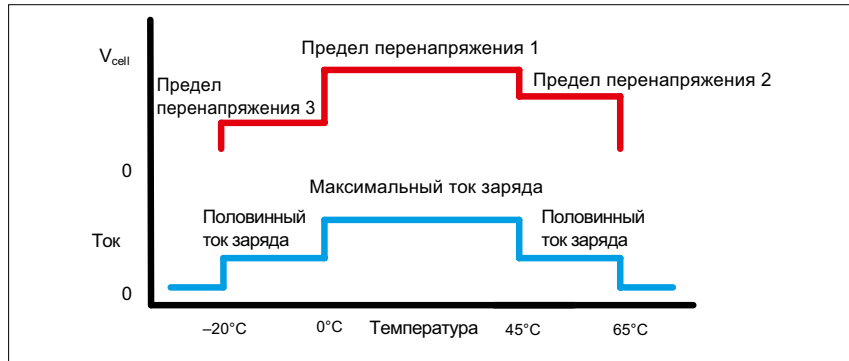


Рис. 7. Зарядка возможна в экстремальных температурных областях, но она усложняется

В большинстве малых и средних аккумуляторных батарей для мониторинга температуры используются два термистора. Один из них находится в середине батареи, где температура выше из-за плохого теплоотвода. Из-за более высокой рабочей температуры эти средние элементы быстрее изна-

шиваются. Второй термистор установлен снаружи аккумуляторной батареи, что позволяет измерять температуру окружающей среды. Грамотный мониторинг температуры защищает батарею от теплового пробоя и гарантирует ее безопасность при заряде или разряде. —

Микропроцессор RZ/A1L с ядром Arm Cortex-A9 и большим объемом внутренней памяти

Микропроцессор RZ/A1L Arm®Cortex®-A9 работает на частоте 400 МГц. Встроенная SRAM (3 МБ) позволяет поддерживать до двух дисплеев с разрешением WVGA (800×480) или один дисплей с разрешением WSVGA (1024×600) без необходимости использования внешней памяти. Благодаря поддержке Linux, RTOS или Bare-metal, RZ/A1L активно используется для проектирования интеллектуальных устройств компактных размеров с высокой производительностью для приложений IoT.

Применение: бытовая техника/ медицинское оборудование/ системы безопасности.

- В комплекте к процессору идут Linux и Microsoft Azure RTOS.
- Два вида отладочных наборов: «Stream It!», «Starter Kit + for RZ/A1H».
- Напряжение питания: 3.3 В/1.8 В.
- Интерфейс SDRAM для расширения внешней памяти до 128 МБ.
- Корпус: 176-контактный LFBGA, 176/208-контактный LQFP.
- Графические функции: контроллер видеодисплея, драйвер (Capture engine unit).
- Возможности подключения: Ethernet 100 Мбит/с, 5×UART, 4×I²C, 2×CAN, 2×USB и др.
- Прочее: 8-канальный 12-битный SAR АЦП, ШИМ, 32-битный таймер OC×2, интерфейс последовательной связи с 16-ступенчатым FIFO (SCIF)×5.

RENESAS

Сканту

Официальный дистрибьютор: www.scanti.ru
Заказ тестовых образцов/отладочных плат: renesas@scanti.ru