

Keysight Technologies

Решение проблем имитации солнечных батарей

Помощь в выборе оптимального источника
питания для наземных испытаний спутников

Руководство по
применению

Основная цель данного руководства по применению - помощь в выборе оптимального источника питания для наземных испытаний спутников. Руководство содержит 4 раздела: краткий обзор режимов работы солнечного элемента; анализ условий функционирования солнечной батареи на орбите; обоснование необходимости использования специализированного имитатора солнечных батарей и ключевые показатели оптимального решения по выбору источника питания. В качестве дополнительной информации в конце руководства приведён список литературы по теме.

Введение

Спутники являются чрезвычайно деликатными и дорогими электронными устройствами. Так как большинство спутников предназначено для полёта в космос без возврата на Землю, перед запуском они должны быть подвергнуты тщательным наземным испытаниям. Типичная система тестирования, входящая в состав наземного комплекса электронного технологического оборудования, состоит из двух основных частей: измерительная аппаратура для проведения испытаний различных электронных подсистем и один или несколько источников питания для них. Источники питания должны обеспечивать точное воспроизведение режимов работы солнечных батарей, которые в космическом пространстве функционируют в самых разных условиях.

В ходе тестирования нет возможности использовать в качестве источников питания реальные солнечные батареи. Это объясняется, по крайней мере, двумя причинами. Во-первых, в зоне испытаний отсутствует прямой солнечный свет, идентичный излучению в космическом пространстве, а во-вторых, проведение испытаний на открытом воздухе в большинстве случаев нецелесообразно. Кроме того, для достоверных испытаний критически важными являются ещё два аспекта: воспроизводимость и управляемость. Всё это приводит к необходимости моделирования воздействия изменяющихся внешних условий (интенсивности света, температуры, экранирования (затенения), затмения) в различных режимах работы солнечной батареи и получения при этом совместимых, непротиворечивых результатов.

Оптимальным решением проблемы является моделирование солнечных батарей с помощью испытательного оборудования. При этом, однако, следует иметь в виду, что достоверное воспроизведение функционирования как отдельных солнечных элементов, так и солнечных батарей в целом является непростой задачей. К счастью, на рынке имеются специализированные измерительные приборы — имитаторы солнечных батарей. По сравнению с кустарными, «доморощенными», имитаторами, промышленные решения предоставляют все преимущества стандартного, готового к использованию оборудования:

- прогнозируемые сроки поставки по сравнению с длительным (и, порой, неизвестным) временем разработки;
- оборудование спроектировано и проверено с целью обеспечения надёжности;
- технические характеристики опубликованы и поддаются проверке;
- более простые процедуры калибровки, технического обслуживания и ремонта.

Модульные имитаторы солнечных батарей имеют, кроме того, ещё два достоинства: возможность наращивания производительности путём конфигурирования системы с одним или несколькими каналами и увеличенное время безотказной работы системы за счёт возможности замены отдельных модулей питания.

Основной целью данного руководства по применению является оказание помощи по выбору оптимального источника питания для наземных испытаний спутников. Это будет сделано в четыре этапа: краткий обзор режимов работы солнечного элемента; анализ условий функционирования солнечной батареи на орбите; обоснование необходимости использования специализированного имитатора солнечных батарей и ключевые показатели оптимального решения по выбору источника питания. В качестве дополнительной информации в конце руководства приведён список литературы по теме.

Моделирование выходного сигнала солнечного элемента

Обычный спутник несёт несколько солнечных панелей (или батарей), каждая из которых состоит из множества солнечных элементов. Функционирование каждого отдельно взятого элемента оказывает влияние на общую производительность всей панели или батареи.

На величину выходной мощности батареи воздействуют три важнейших фактора. Во-первых, условия функционирования солнечной батареи в космическом пространстве: уровень солнечного излучения, температура, вращение, затмение спутника и экранирование (затенение). Их влияние будет рассматриваться в следующем разделе. Вторым фактором являются режимы нагрузки, которые определяют значения тока и напряжения на вольт-амперной характеристике (ВАХ) батареи.

Третий фактор охватывает параметры, специфически присущие фотогальваническим (солнечным) элементам. Когда фотоэлемент облучается солнечным светом, он ведёт себя как источник тока в соответствии со своей вольт-амперной характеристикой и эквивалентной схемой (рис. 1). Когда солнечный элемент находится в тени, его вольт-амперная характеристика и эквивалентная схема больше похожи на ВАХ и схему замещения диода (рис. 2). Из рассмотрения обоих рисунков видно, что значения параллельного ($R_{\text{пар.}}$) и последовательного ($R_{\text{посл.}}$) сопротивлений оказывают существенное влияние на величину максимально достижимой выходной мощности.

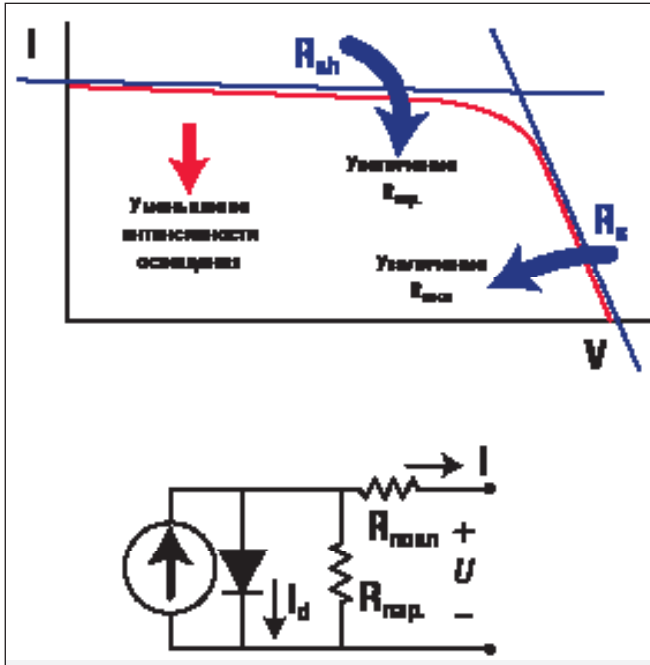


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика и эквивалентная схема для облучаемого фотогальванического элемента.

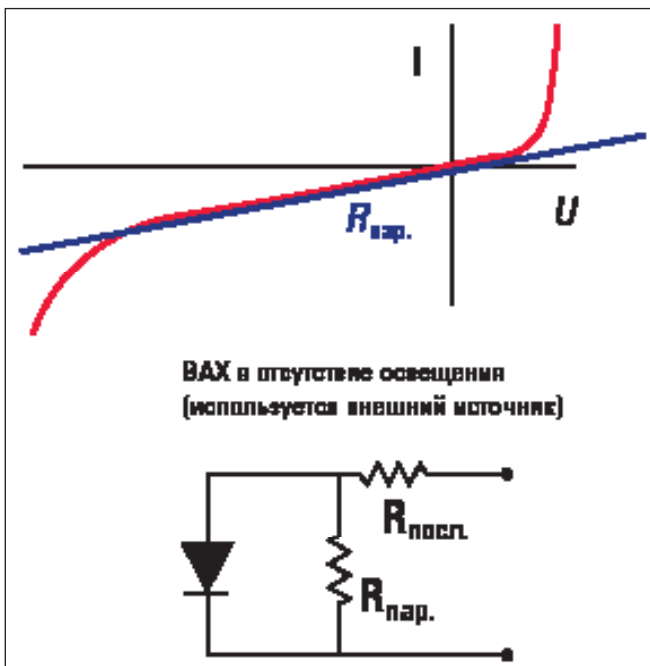


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика и эквивалентная схема для затенённого фотогальванического элемента.

Показанные на рисунке 3 две кривые позволяют получить переменные, необходимые для создания точной модели выходного сигнала солнечного элемента. Математическое представление этих характеристик включает четыре основных параметра:

- U_{xx} : напряжение холостого хода (внизу справа);
- $I_{кз}$: ток короткого замыкания (вверху слева);
- U_p : напряжение в точке максимальной мощности (рабочее напряжение);
- I_p : сила тока в точке максимальной мощности (рабочий ток).

В настоящее время это не единственный, но, вместе с тем, наиболее широко распространённый метод моделирования выходного сигнала солнечного элемента.

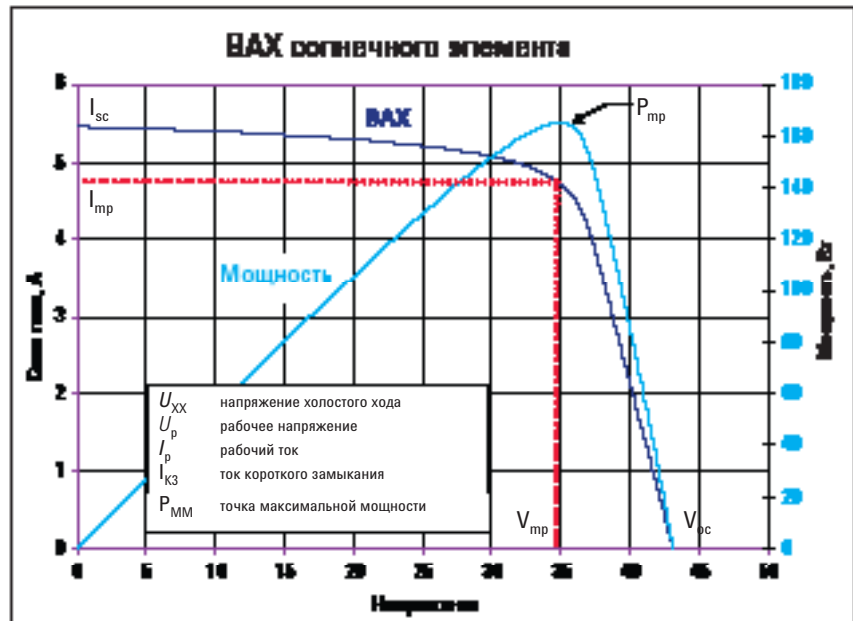


Рис. 3. Четыре переменные позволяют описать вольт-амперную характеристику и кривую мощности и могут использоваться для моделирования выходного сигнала солнечного элемента.

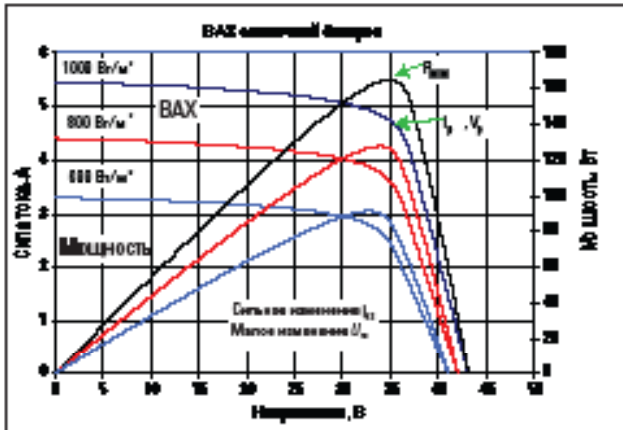


Рис. 4. ВАХ и кривые мощности солнечной батареи меняются при изменении уровня облучения.

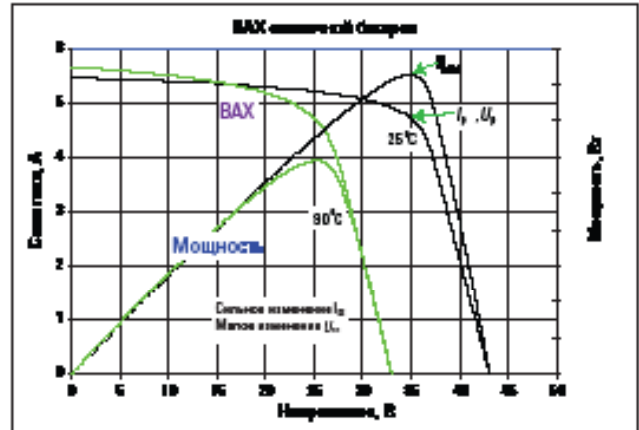


Рис. 5. Перепады температуры оказывают значительное влияние на выходную мощность.

Влияние внешних условий

Достижение максимальной производительности солнечного элемента может оказаться сложной задачей в силу воздействия ряда причин, уменьшающих величину выходной мощности. Условия функционирования батареи на любом космическом аппарате характеризуются пятью факторами: уровнем солнечного облучения, температурой, вращением, затмением спутника и экранированием (затенением) отдельных солнечных элементов. Для более глубокого понимания проблемы рассмотрим каждый из этих факторов подробнее.

Уровень солнечного облучения

Вполне закономерно, что максимальное значение выходной мощности солнечного элемента или батареи меняется в зависимости от уровня облучения. Как видно из рисунка 4, при изменении уровня облучения величина выходного

тока меняется очень существенно. Напротив, изменение выходного напряжения в зависимости от уровня облучения относительно невелико по сравнению с изменением выходного тока. Приведённые на графике кривые мощности показывают снижение мощности при уменьшении уровня облучения (верхняя, средняя и нижняя кривые). Во всех случаях мощность падает до нуля, когда эквивалентная схема солнечного элемента аналогична схемам цепи короткого замыкания или разомкнутого контура.

Температура

В космическом пространстве сильные перепады температуры являются нормой. Так как солнечные элементы и батареи подвергаются колебаниям температуры, то и выходная мощность изменяется значительно. На рисунке 5 приведены ВАХ и кривые мощности солнечной батареи для значений температуры +25°C и +90°C при постоянном уровне облучения.

Сравнивая рисунки 4 и 5, обратите внимание на одно важное отличие. При изменении температуры напряжение изменяется очень сильно, а сила

тока — незначительно, в то время как при изменении уровня облучения происходит обратное: сила тока меняется существенно, а напряжение остаётся практически прежним.

Из этого вытекает другое важное следствие. Потери мощности в кабелях и проводах выражаются зависимостью $I^2 \cdot R$. В результате изменение силы тока, вызываемое изменением уровня облучения, может оказывать более серьёзное воздействие на общую эффективность системы, чем колебания напряжения вследствие перепадов температуры.

Орбитальные условия

Обращается ли спутник по орбите вокруг небесного тела или просто перемещается в космическом пространстве — в любом случае на величину выходной мощности солнечной батареи влияют и скорость собственного вращения спутника, и периоды затмения или затенения. Каждый из этих факторов создаёт сложности при моделировании выходных характеристик солнечных элементов и батарей.

Скорость собственного вращения

На рисунках 6 и 7 показаны принцип и результат воздействия вращения спутника на выходную мощность солнечной батареи. На рисунке 6 каждый прямоугольный элемент на поверхности спутника обозначает солнечную панель. По мере вращения спутника уровень облучения и температура каждой панели изменяются во времени, причём частота изменений зависит от скорости вращения.

На рисунке 7 представлены циклы нарастания и спада выходного сигнала, которые проявляются по мере того, как система из четырёх панелей входит и выходит из зоны солнечного света. Фактическое значение мощности зависит от четырёх факторов: количества панелей и их размера, скорости вращения, степени нагрева и охлаждения, которым подвергается каждая панель, и уровня облучения. Степень воздействия этих факторов, в свою очередь, зависит от плоскости орбиты спутника (например, угла наклона по отношению к Солнцу), расстояния от Солнца и направления движения космического аппарата относительно Солнца (приближение или удаление от него).

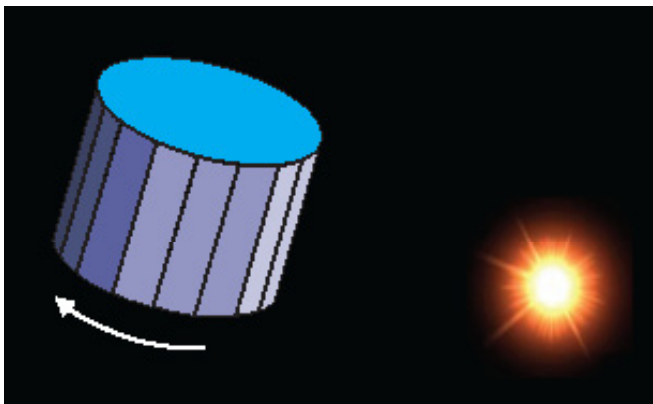


Рис. 6. Изменение облучённости сегментов солнечной батареи зависит от скорости вращения.

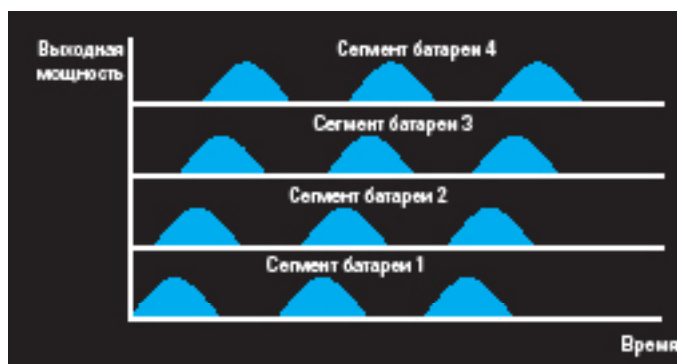


Рис. 7. Значение выходной мощности возрастает и спадает по мере вращения спутника.

Затмение

Солнечная батарея попадает в область затмения, когда Земля, Луна или другое небесное тело находится между спутником и Солнцем. Длительность затмения зависит от плоскости и радиуса орбиты спутника. Скорость входа в зону затмения и выхода из неё зависит от скорости движения космического аппарата по орбите. На рисунке 8 показана типичная форма выходного сигнала солнечной батареи в период нахождения спутника в областях полной тени, полутени и наибольшей интенсивности солнечного излучения.

Работа в условиях затмения требует совместного использования солнечных батарей и аккумуляторов. Аккумуляторы обеспечивают питание систем в период нахождения спутника в зоне затмения, а когда космический аппарат опять выходит на солнечный свет, они перезаряжаются. Для гарантированного бесперебойного питания всех бортовых систем солнечные батареи, регуляторы напряжения и цепи заряда должны работать корректно и абсолютно согласованно.

В период затмения проявляется также и влияние температуры. Холодные солнечные батареи более эффективны, чем тёплые. В результате максимальная производительность солнечной батареи наблюдается в период времени от момента её выхода из зоны затмения до входа в область наибольшей интенсивности солнечного излучения. Производительность солнечной батареи постепенно снижается в период её нахождения в условиях максимальной освещённости.

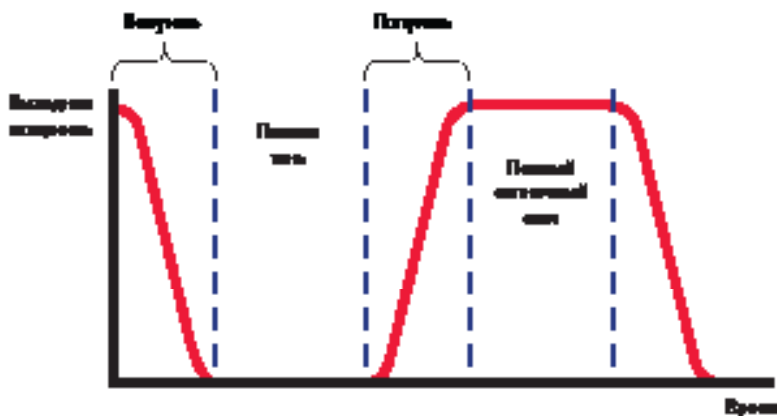


Рис. 8. Выходная мощность изменяется по мере того, как спутник входит, пересекает и покидает область затмения, а затем снова попадает в условия полного солнечного освещения.

Затенение (экранирование)

Затенённая солнечная батарея частично экранирована от солнечных лучей (см. рис. 9). Затенение отдельных солнечных элементов приводит к уменьшению мощности на выходе батареи. Следует обратить особое внимание на то, что степень уменьшения мощности зависит от физической схемы построения (последовательное или параллельное соединение) элементов или сегментов в батарее.

Эквивалентная схема фотогальванического элемента помогает лучше понять электрические свойства и характер функционирования солнечной батареи в условиях затенения. Так, например, ток в затенённом элементе протекает через параллельное сопротивление. Добавление в схему каждого элемента шунтирующего (обратного) диода позволяет существенно повысить производительность батареи в целом при её затенении (рис. 10).

Такое поведение может иметь важные последствия для моделирования. Сочетание последовательного и параллельного соединения множества затенённых элементов может привести к появлению достаточно интересных конфигураций ВАХ, которые представляют определённые сложности для воспроизведения (рис. 11).

Следствия для моделирования

Как отмечалось в начале этого раздела, все рассмотренные ранее факторы вносят свой вклад в ограничение максимального значения выходной мощности солнечной батареи. И это создаёт главную проблему при моделировании: реалистично и достоверно воспроизвести влияние этих факторов, чтобы гарантировать надёжность результатов испытаний.

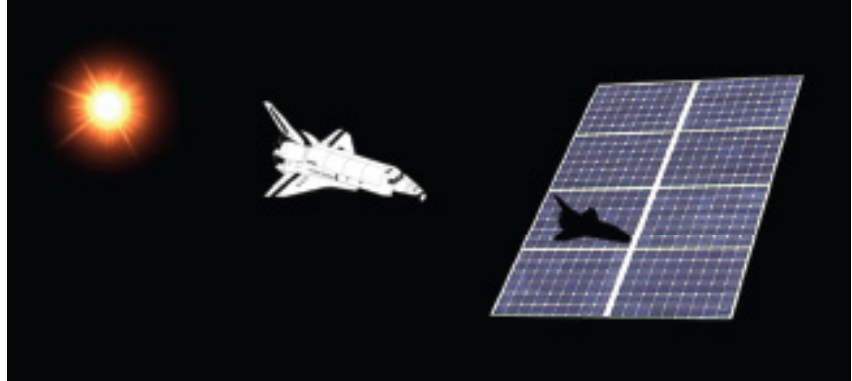


Рис. 9. Элементы, находящиеся в тени, не вырабатывают электрический ток, что приводит к ограничению выходной мощности солнечной батареи.

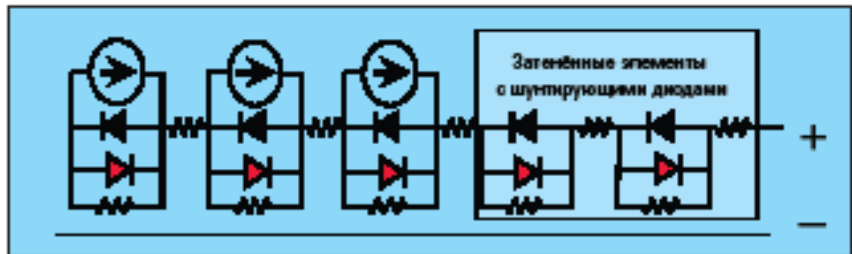


Рис. 10. Добавление в схему каждого элемента шунтирующего диода позволяет повысить производительность батареи при её затенении.



Рис. 11. Некоторые имитаторы солнечных батарей способны воспроизводить работу солнечной батареи в условиях затенения.

Топологии стабилизации силовой цепи

Совокупность влияния описанных выше эффектов, имеющих место в солнечной батарее, является главным в оценке параметров системы имитатора солнечной батареи. Кроме этого, важно принимать во внимание тип стабилизации, который используется в спутнике.

Обычно в спутниках используется одна из четырёх конфигураций шин: прямое подключение, последовательная коммутация, последовательно-параллельная коммутация (ППК) и отслеживание точки максимальной мощности (ОТММ или MPPT — Maximum Power Point Tracking). В настоящее время используются, главным образом, конфигурации ППК и ОТММ.

Последовательно-параллельная коммутация

При последовательно-параллельной коммутации процесс стабилизации осуществляется достаточно просто: когда необходимо, ток с сегментов солнечной батареи подаётся на нагрузку; а при отсутствии необходимости выходы сегментов замыкаются накоротко.

Количество активных параллельных переключателей может изменяться от нуля до максимально возможного числа сегментов солнечной батареи,

и это может оказывать существенное влияние на охлаждение имитатора солнечных батарей. В выходном каскаде имитатора солнечных батарей используется линейный регулятор, обеспечивающий требуемый уровень производительности. Когда коммутатор находится во включённом состоянии, вся энергия, которая могла быть передана в шину, рассеивается в имитаторе. Таким образом, всякий раз, когда все параллельные переключатели одновременно замыкаются накоротко, на первый план выходит проблема эффективного охлаждения.

Кроме того, в процессе моделирования ППК может создать дополнительные сложности. В отличие от широтно-импульсной модуляции (ШИМ) напряжения, которое стабилизируется путём усреднения модулирующего импульса с помощью индуктивно-емкостного (LC) фильтра, при ППК стабилизация достигается путём модуляции тока. Следовательно, имитатор солнечных батарей должен быть в состоянии обрабатывать токовые сигналы с быстрыми переходными процессами.

Отслеживание точки максимальной мощности

Как следует из названия, метод ОТММ обеспечивает постоянный и динамичный поиск точки максимальной мощности батареи. Для стабилизации мощности этот метод использует два контура управления: медленный ОТММ контур и быстрый контур напряжения одного или нескольких преобразователей постоянного напряжения. Это также повышает общую эффективность благодаря снижению количества потерь мощности на рассеяние тепла (эффект, часто наблюдаемый в системах с последовательно-параллельной коммутацией).

В системах с ОТММ ключевым параметром является способность имитатора солнечных батарей обеспечивать функционирование в соответствии с запрограммированными значениями ВАХ, пока схема отслеживания осуществляет поиск максимума. Кроме того, имитатор солнечных батарей должен обеспечивать контроль производительности (кпд) батареи и точность при отслеживании точки максимальной мощности

«Почему нельзя использовать программируемый источник питания в качестве имитатора солнечных батарей?»

На первый взгляд, логично было бы задать вопрос: «А почему нельзя использовать программируемый источник питания в качестве имитатора солнечных батарей?». На это есть, по крайней мере, три важные причины: выходная ёмкость, адаптивность выхода солнечной батареи и защита тестируемого устройства (ТУ).

Выходная ёмкость

Источники питания общего назначения являются источниками напряжения. Они разработаны специально для обеспечения постоянного уровня напряжения в режиме переменной нагрузки. Это очень хорошо подходит для обычных приложений, но далеко не идеально в случае моделирования солнечных батарей. Дело в том, что солнечные панели являются источниками тока, поэтому лучшие имитаторы солнечных батарей разработаны для работы именно в качестве источников тока.

В большинстве случаев источники тока имеют относительно высокий выходной

импеданс и сравнительно низкую выходную ёмкость. Это позволяет получить два важных преимущества: во-первых, более высокая скорость коммутации обеспечивает лучшее воспроизведение и меньшее время тестирования, а во-вторых, при этом обеспечивается лучшая защита ТУ. Малое значение выходной ёмкости улучшает защиту тестируемого устройства благодаря уменьшению количества накопленной в схеме энергии. Чем меньше количество накопленной энергии, тем меньше переходные выбросы тока короткого замыкания, которые будут воздействовать на ТУ (подробнее о защите ТУ см. ниже).

Адаптивность выхода солнечной батареи

Обычные источники питания обеспечивают ступенчатое регулирование тока и напряжения и, соответственно, ступенчатую форму выходной «кривой». В отличие от них, панели солнечных батарей имеют ВАХ экспоненциальной формы. В результате имитаторы солнечных батарей должны быть способны воспроизводить ВАХ похожей формы. Кроме того, имитаторы солнечных батарей должны иметь возможность быстрого изменения выходного сигнала для реалистичного моделирования изменения уровня облучения или температуры, а также влияния вращения, затмения и экранирования.

Защита тестируемого устройства

Так как спутники являются достаточно тонкими и деликатными устройствами, источники питания, используемые для наземных испытаний, должны обеспечивать гораздо более высокий уровень защиты ТУ, чем обычные приборы. Так, например, традиционные источники питания имеют встроенную защиту от перегрузки по напряжению (OVP) и по току (OCP). Эти базовые функции, безусловно, очень полезны при тестировании спутников, однако их не достаточно для ограничения переходных выбросов тока или защиты внутренних компонентов от рассеиваемой мощности.

Возвращаясь к вопросу...

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что традиционные источники питания не сопоставимы по возможностям со специализированными имитаторами солнечных батарей, которые имеют более низкую выходную ёмкость, большую гибкость при воспроизведении выходного сигнала и лучшую защиту ТУ. Эти возможности, в свою очередь, обеспечивают более достоверное моделирование, сокращение времени испытаний и уверенность в отношении успешного прохождения спутником всех испытаний.

Оценка оптимального решения

Компания Keysight

Technologies является ведущим мировым производителем имитаторов солнечных батарей. В настоящее время компания выпускает уже четвёртое поколение этих решений. Приборы первого поколения представляли собой стандартные источники питания постоянного тока, которые комплектовались простым программным обеспечением. Творчески переработав опыт эксплуатации этих приборов, специалисты компании разработали следующее поколение — специализированные имитаторы солнечных батарей серии E4350A, а затем — E4350B. Сейчас потребители имеют возможность работать с самыми современными имитаторами солнечных батарей семейства E4360A.

При создании новой серии разработчикам удалось реализовать пять ключевых принципов, которые необходимо учитывать при оценке и выборе имитаторов солнечных батарей: номинальная выходная мощность и технические характеристики; параметры защиты; физические размеры и удельная мощность; время безотказной работы и факторы системного уровня.

Выходная мощность и технические характеристики

В эту группу параметров входят сила тока, напряжение, мощность и скорость параллельной коммутации. Чем шире возможности выбора, тем легче выбрать наилучшее сочетание уровня мощности, скорости коммутации и других показателей, отвечающее требованиям конкретной конструкции спутника.

Параметры защиты

Как упоминалось выше, функциональные возможности имитаторов солнечных батарей должны быть гораздо шире, чем простая защита от перегрузки по току и напряжению, которую обеспечивают традиционные источники питания. Так, например, решения на базе имитаторов солнечных батарей компании Keysight гарантируют следующие дополнительные уровни защиты:

- программируемые гибкие пороги для OVP и OCP, что обеспечивает защиту от ошибок оператора при вводе значений;
- возможность полного ограничения по току с целью отсеечения переходных выбросов тока;
- защита от чрезмерно высокой скорости коммутации, которая предохраняет внутренние компоненты от перегрева вследствие рассеяния мощности при превышении порога частоты коммутации;
- функция программируемой дистанционной блокировки, которая проверяет правильность задаваемых пользователем процедур защитного отключения.



ИСБ четвёртого поколения компании Keysight

Модульные имитаторы солнечных батарей Keysight E4360A позволяют с высокой степенью точности моделировать ВАХ разных типов солнечных батарей в различных условиях эксплуатации. Это семейство приборов включает двухслотовый основной блок (шасси) высотой 2U и шесть модулей постоянного тока. Шасси может иметь один или два выхода, обеспечивающих мощность до 600 Вт каждый.

Дополнительно каждый блок включает независимый контроллер, возможности подключения (порты LAN, USB и GPIB) и аппаратные средства синхронизации мейнфреймов между собой. Важной особенностью устройства является режим списка, который даёт возможность создавать пользовательские кривые и обеспечивает быстрый переход от одной кривой к другой при моделировании, например, этапов затмения.

Решения на базе серии E4360A могут поставляться как в виде автономных приборов, так и в виде готовых к непосредственному использованию систем. Но какой бы вариант вы ни выбрали, имитаторы Keysight обеспечивают несомненные преимущества, по крайней мере, по пяти направлениям:

- удельная мощность;
- гибкость;
- надёжность;
- воспроизводимость;
- готовность к использованию.

Более подробная информация об этих приборах доступна на сайте www.keysight.com/find/E4360.

Физические размеры и удельная мощность

Во многих случаях критически важно минимизировать площадь, занимаемую испытательным комплексом, при увеличении удельной мощности каждого прибора. Имитаторы солнечных батарей с компактным форм-фактором и модульной архитектурой позволяют вместить больше мощности — и больше каналов моделирования — в меньшем объёме. Это особенно ценно при дефиците пространства, например, при размещении приборов в системных стойках или многоярусных установках (рис. 12).

Время безотказной работы

Критерием оценки надёжности устройств является такая статистическая величина, как среднее время безотказной работы или наработка на отказ. Такие показатели как модульность и масштабируемость не просто повышают гибкость и расширяют возможность повторного использования оборудования, но и увеличивают среднее время безотказной работы системы. Так, например, модульный принцип построения приборов позволяет осуществлять замену отдельных модулей питания при необходимости их технического обслуживания, калибровки или ремонта. Масштабируемость позволяет, когда требуется, легко



Рис. 12. В левой стойке размещены 12 приборов серии Keysight E4360A, которые обеспечивают 24 канала имитации солнечных батарей.

Выводы и заключение

Проблемы достоверного моделирования эффектов влияния различных режимов функционирования солнечных батарей — уровня облучения, температуры, вращения, затмения и экранирования — препятствуют использованию обычных источников питания. С ними также связаны такие факторы как выходная ёмкость, гибкость и защита тестируемого устройства. Последний пункт особенно важен при тестировании спутников. Возможности специализированных имитаторов солнечных батарей по защите ТУ гораздо шире, чем простая защита от перегрузки по току и напряжению. Они обеспечивают дополнительные уровни

защиты, такие как программируемые гибкие пороги (для OVP и OCP), полное ограничение по току, защита от чрезмерно высокой скорости коммутации и функция программируемой дистанционной блокировки.

Специализированные модульные имитаторы солнечных батарей серии Keysight E4360A позволяют достоверно и результативно моделировать сложное поведение одного или нескольких отдельных фотогальванических элементов или солнечных батарей. Интерфейс приборов семейства E4360A основан на четырёх параметрах: напряжение

расширять, перенастраивать или перепрофилировать систему или консоль.

Факторы системного уровня

Имитаторы солнечных батарей, как правило, входят состав более крупных систем. В этом контексте такие показатели как возможность изменения конфигурации и удобство обслуживания приобретают особую важность.

Подходящим отправным пунктом может стать лёгкость конфигурирования для начального использования. В узкоспециализированных установках модульность позволяет повторно использовать оборудование в новых системах. В универсальных комплексах возможность динамичного изменения конфигурации обеспечивает быструю перенастройку аппаратуры. В любом случае переконфигурирование существенно упрощается благодаря возможностям межсоединения, таким как, например, клеммная колодка, сопряжённая с реле.

Для уменьшения времени простоя на техническое обслуживание прибора или системы должны затрачиваться минуты, а не часы или дни. В модульных имитаторах солнечных батарей процесс демонтажа и замены отдельных блоков питания предельно облегчён. Благодаря функции быстрого отключения и повторного соединения схемы межсоединений клеммных колодок с реле, о которых говорилось выше, упрощается проведение процедур самотестирования.

холостого хода, ток короткого замыкания, рабочее напряжение и рабочий ток (U_{XX} , $I_{КЗ}$, U_p и I_p соответственно), что даёт возможность эффективно формировать любые нужные типы ВАХ. Режим списка позволяет создавать пользовательские кривые и обеспечивает быстрый переход от одной кривой к другой при моделировании, например, этапов затмения.

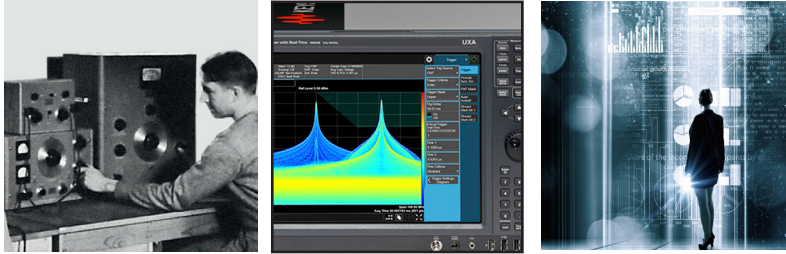
Литература по теме

- Последовательно-параллельное регулирование. Руководство по применению, публикация № 5989-9791EN (на англ. яз.).
- Формирование вольтамперных характеристик с помощью имитаторов солнечных батарей Keysight E4360A и с использованием параметров U_{XX} , I_{K3} , N и $R_{\text{посл}}$. Руководство по применению, публикация № 5990-3665EN (на англ. яз.).
- Преобразование параметров $R_{\text{посл}}$ и N в U_p и I_p . Таблица, см. страницу www.keysight.com/find/E4360conversion
- Сравнение имитаторов солнечных батарей Keysight E435xB и E436xA. Руководство по применению, публикация № 5989-9884EN (на англ. яз.).
- Модульные имитаторы солнечных батарей Keysight E4360A. Техническое описание, публикация № 5989-8485EN (на англ. яз.)
- Обзор системных возможностей имитаторов солнечных батарей. См. страницу www.home.keysight.com/upload/cmc_upload/All/SASSystemCapabilities.pdf

Развиваемся с 1939 года

Уникальное сочетание наших приборов, программного обеспечения, услуг, знаний и опыта наших инженеров поможет вам воплотить в жизнь новые идеи. Мы открываем двери в мир технологий будущего.

От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight.



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированная подборка только нужной вам информации.

http://www.keysight.com/find/emt_product_registration

Зарегистрировав свои приборы, вы получите доступ к информации о состоянии гарантии и уведомлениям о выходе новых публикаций по приборам.

KEYSIGHT SERVICES
Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

Услуги ЦСМ Keysight

www.keysight.com/find/service

Центр сервиса и метрологии Keysight готов предложить вам свою помощь на любой стадии эксплуатации средств измерений – от планирования и приобретения новых приборов до модернизации устаревшего оборудования. Широкий спектр услуг ЦСМ Keysight включает услуги по поверке и калибровке СИ, ремонту приборов и модернизации устаревшего оборудования, решения для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое, что поможет вам повысить качество ваших разработок и снизить затраты.



Планы технической поддержки Keysight

www.keysight.com/find/AssurancePlans

ЦСМ Keysight предлагает разнообразные планы технической поддержки, которые гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.

Торговые партнеры Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

Получите лучшее из двух миров: глубокие профессиональные знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнерами.

Российское отделение

Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954

8 800 500 9286 (Звонок по России бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр

Keysight Technologies в России

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

e-mail: tmo_russia@keysight.com

(ВР-16-10-14)



www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.

Сертифицировано DEKRA на соответствие стандарту ISO 9001:2015
Система управления качеством