

# Варианты решения источник–приемник тока

## для тестирования системы электропитания спутника

Эд Брорин  
(Ed Brorein)

Искусственные спутники Земли (ИСЗ) сегодня широко применяются для теле- и радиовещания, связи, метеорологии и навигации. Несмотря на различные области применения, все они имеют систему электропитания (СЭП) бортовой аппаратуры. Как правило, ИСЗ получают энергию от солнечных панелей, построенных на основе фотоэлектрических преобразователей. Однако вращение ИСЗ и возможное затенение панелей солнечных батарей могут приводить к нежелательным изменениям напряжения питания. Для компенсации таких изменений в дополнение к солнечным панелям используются аккумуляторные батареи (АКБ), которые заряжаются и разряжаются для поддержания стабильного питания нагрузок на ИСЗ.

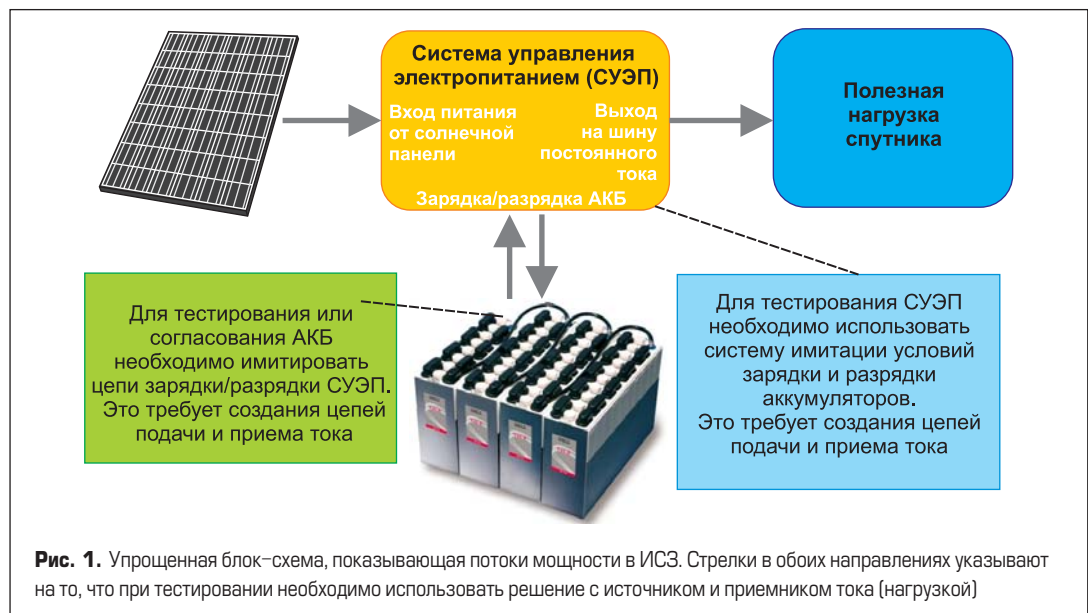
Система управления электропитанием (СУЭП) предназначена для управления потоком мощности, поступающим от солнечных панелей на АКБ, и распределения стабильного питания между остальной аппаратурой спутника. Правильную работу СУЭП и аккумуляторов спутника должен гарантировать инженер-испытатель, но это непростая задача. Решить возникающие проблемы можно тремя способами, каждый из которых имеет свои недостатки и не может рассматриваться как идеальный. Альтернативный вариант решения всех основных проблем тестирования СЭП спутника может быть получен на основе применения современных технологий.

### Требования к тестированию

При тестировании СУЭП или АКБ спутника необходимо обеспечивать подачу мощности источником и ее прием нагрузкой. Это требование очень важно, так как при тестировании АКБ спутника и электроники в СУЭП (рис. 1) необходимо подавать двунаправленный поток мощности. Например, для тестирования АКБ требуется источник для их зарядки и цепь нагрузки для разрядки. В процессе тестирования СУЭП очень важно имитировать зарядку и разрядку АКБ.

Другое требование к тестированию СЭП спутника связано с возможностью работы как в режиме подачи фиксированного напряжения (CV), так и в режиме подачи фиксированного тока (CC). При тестировании СУЭП необходим плавный переход между режимами источника и приемника тока без прерываний или появления зон нечувствительности на выходе.

Важно обеспечить возможность работы при разных импедансах нагрузки/тестируемого устройства (ТУ), а также использовать функции защиты с заданными предельными значениями и малым временем реакции на отклонения условий тестирования. Защита очень важна, поскольку в процессе тестирования СЭП ИСЗ возможен взрыв АКБ, а заменять ТУ обычно сложно и дорого. Применение решения источник–приемник тока, позволяющего точно регулировать напряжение и ток, быстро реагиру-



на опасные изменения условий тестирования, минимизирует этот риск.

И, наконец, характеристики решения для тестирования (например, уровень шума на выходе и стабильность выходного уровня) должны соответствовать спецификациям ТУ, а массогабаритные показатели должны обеспечивать интеграцию решения в стандартную контрольно-измерительную систему.

### Варианты тестирования СЭП спутника

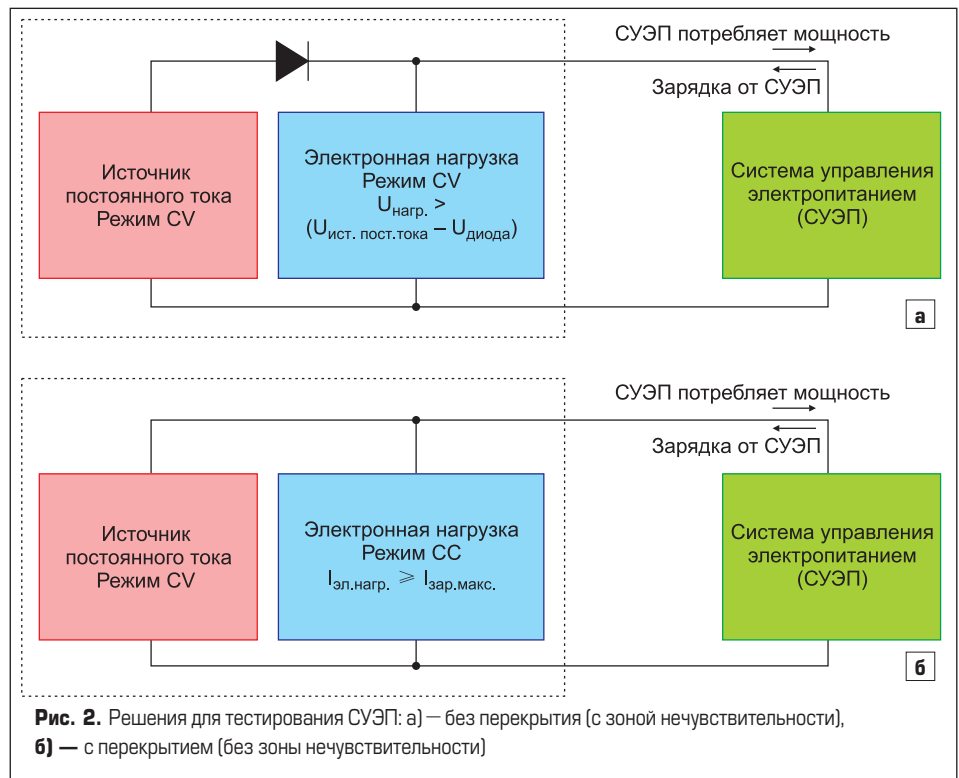
Рассмотрим три решения источник-приемник тока для тестирования СЭП спутника: без перекрытия (с зоной нечувствительности), с перекрытием (без зоны нечувствительности) и комбинированное. Каждое из них имеет свои преимущества и недостатки.

Решение без перекрытия объединяет источник постоянного тока и электронную нагрузку, как показано на рис. 2. Для предотвращения обратного протекания тока в источник может понадобиться диод.

Преимущества решения без перекрытия — стабильность выходного тока, возможность работы с токами динамической нагрузки и широкий диапазон мощности. Решение, в основном, предназначено для режима CV, что больше подходит для тестирования СУЭП. Основной недостаток этого решения — появление глитчей при выключении/включении режима CV для электронной нагрузки. Кроме того, инженеру понадобится программировать и управлять двумя приборами (источником постоянного тока и электронной нагрузкой), что довольно сложно. Следует отметить, что для выполнения непрерывных и точных измерений необходим внешний прибор, такой как цифровой мультиметр или шунт.

В решении с перекрытием, как и в решении без перекрытия, используются электронная нагрузка и источник постоянного тока. Однако мощность источника постоянного тока значительно выше (большой ток), а электронная нагрузка работает в режиме CC при фиксированном максимальном (зарядном) токе источника СУЭП (рис. 2). Это решение не имеет зоны нечувствительности и поддерживает постоянный уровень напряжения при переключении тестируемого устройства между режимами источника и приемника тока.

Несмотря на возможность получения приемлемого стабильного напряжения без зоны нечувствительности, это решение имеет существенный недостаток — большие размеры. Уровень мощности источника постоянного тока должен быть больше чем в два раза превышать уровень мощности ТУ, т. е., нужно использовать более мощный источник питания. Нагрузка всегда рассеивает мощность, что приводит к увеличению энергопотребления. Точное измерение тока проблематично, так как измеряемый ток равен разности между токами электронной нагрузки и источника, т. е., вклад в погрешность измерения вносится каждым прибором. Кроме того, для гарантии стабильности и предсказуемости результатов измерений может понадобиться дополнительное оборудование.



Хотя это и не показано на рисунке, но для тестирования АКБ нужно изменить решение без перекрытия так, чтобы электронная нагрузка и источник постоянного тока работали независимо с предельными значениями напряжений разряда и заряда. В данном случае функции защиты имеют первостепенное значение. В дополнение ко встроенным устройствам защиты электронных нагрузок и источников постоянного тока используется дополнительное защитное оборудование.

Последний вариант — это комбинированное решение, обеспечивающее работу в двухквadrантном режиме. Это означает, что для управления источником и приемником тока используется один контур регулирования (рис. 3). В результате обеспечивается плавное переключение между режимами источника и приемника тока, а соответствующие рабочие характеристики можно получать в любом режиме без увеличения мощности рассеяния.

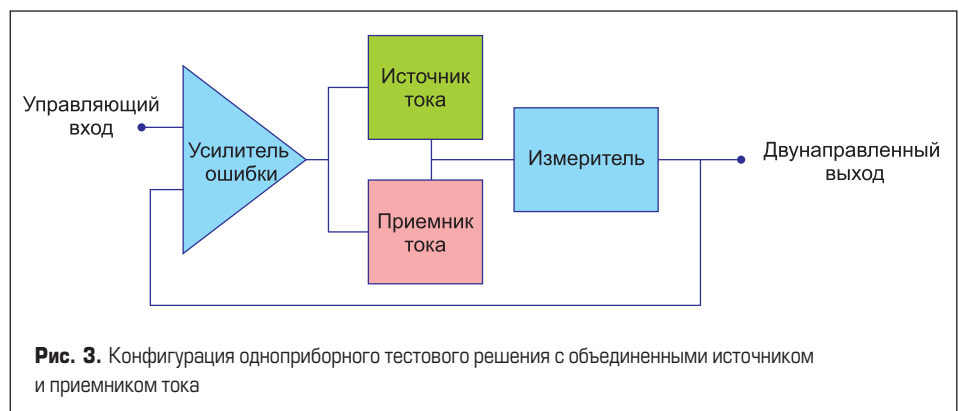
Другое преимущество — регулирование тока и напряжения, которое можно использовать при тестировании как АКБ, так и СУЭП. Основной недостаток — трудности создания комбинированного решения в диапазоне мощ-

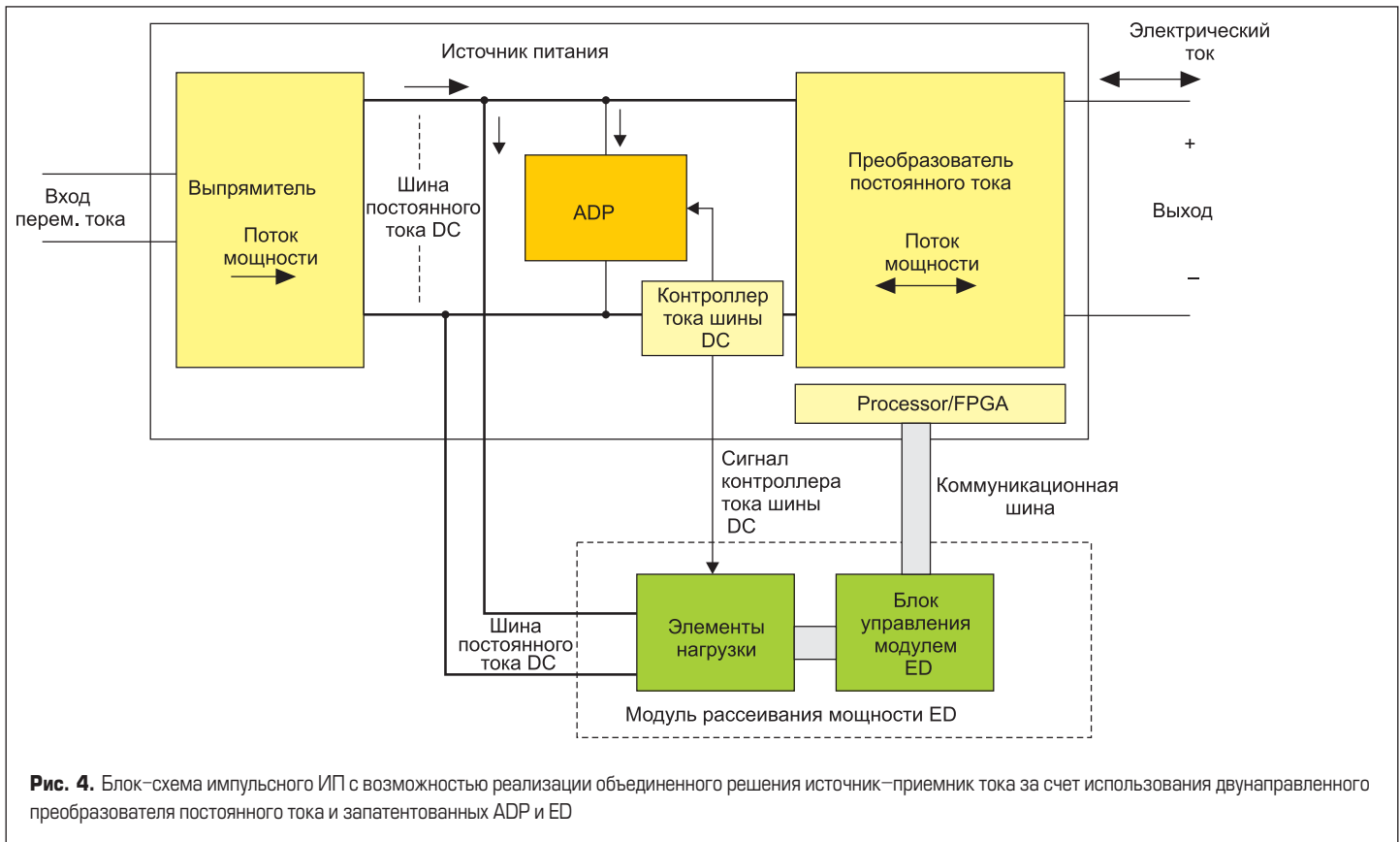
ности спутника (например, несколько киловатт или даже более). Линейные источники питания (ИП) постоянного тока поддерживают работу в двухквadrантном режиме, но их размеры значительно увеличиваются при таких уровнях мощности. Архитектура импульсного источника постоянного тока позволяет создавать тестовые системы небольшого размера, но затрудняет работу в двухквadrантном режиме.

### Преодоление недостатков

Самый распространенный подход к тестированию СЭП спутника основан на использовании отдельных приборов в качестве источника и приемника тока в решениях с перекрытием и без перекрытия, поскольку такие приборы выпускаются серийно. Недостатки этих решений могут быть устранены в комбинированном решении. Трудность заключается в его практической реализации. И здесь на помощь приходят новые технологии.

В настоящее время разработан двунаправленный преобразователь постоянного тока и запатентованы модуль автоматического рассеивания мощности (ADP) и внешний модуль





**Рис. 4.** Блок-схема импульсного ИП с возможностью реализации объединенного решения источник-приемник тока за счет использования двунаправленного преобразователя постоянного тока и запатентованных ADP и ED

рассеивания мощности (ED). Синхронное выпрямление, используемое в преобразователе постоянного тока, обеспечивает возможность двунаправленной передачи потока мощности. Добавление такой возможности к импульсному ИП позволяет разряжать накопленную энергию на выходе источника питания. Запатентованный модуль ADP обеспечивает мониторинг и отвод тока на шине постоянного тока, когда ток в шине начинает возрастать. Запатентованный модуль рассеивания мощности ED расширяет возможности ADP по мониторингу и отводу тока, но, в отличие от ADP, он представляет собой внешнее устройство. При использовании ED ИП может работать в полноценном режиме источник-приемник тока или в двухквadrантном режиме.

При совместном использовании эти технологии позволяют создать комбинированное решение источник-приемник тока, основанное на архитектуре импульсного

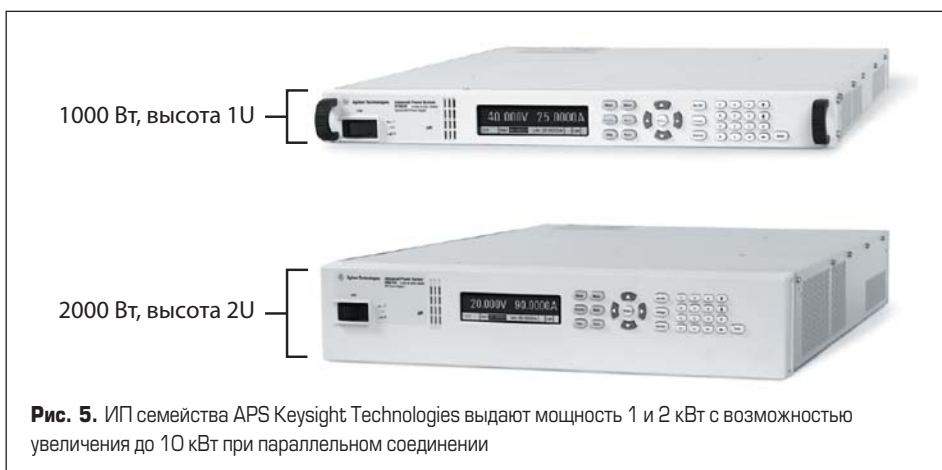
ИП и управляемое одним контуром регулирования (рис. 4). Превосходным воплощением этого решения является семейство ИП N6900 и N7900 производительной системы питания (APS) (рис. 5). Комбинированные решения удовлетворяют требованиям тестирования СЭП спутника, предлагая при этом высокую точность импульсных ИП. Модельный ряд предлагает два уровня производительности: ИП постоянного тока серии N6900 предназначен для автоматизированных испытательных систем (АИС), в которых очень важны высокие характеристики, а динамический ИП постоянного тока серии N7900 предназначен для АИС, в которых требуются динамические высокоскоростные подача и измерение тока.

Комбинированное решение источник-приемник тока, подобное APS, имеет ряд важных преимуществ над решениями с перекрытием и без перекрытия. Во-первых, независимо от подачи или приема тока, ИП ис-

пользует один контур для управления обоими токами. Следовательно, независимо от того, работает ИП в режиме источника или приемника тока, он имеет одинаковые характеристики. Решение обеспечивает плавные, без глитчей, переходы между режимами источника и приемника тока и не потребляет много электроэнергии. Уменьшение необходимого аппаратного и программного обеспечения и, как следствие, упрощение АИС достигаются за счет подключения к ТУ только одного прибора и программного управления тестированием. При этом нет необходимости использовать дополнительную аппаратуру. Использование архитектуры импульсного ИП позволяет значительно уменьшить размеры и вес оборудования.

**Выводы**

Очевидно, что для тестирования АКБ и СУЭП необходимо использовать решение источник-приемник, но выбор варианта этого решения усложняется тем, что каждый из них имеет свои недостатки. Сегодня широко используются решения без перекрытия и с перекрытием, но комбинированное решение источник-приемник предпочтительнее. Оно стало возможным после появления двунаправленного преобразователя постоянного тока и запатентованных технологий ADP и ED. Они позволяют создать комбинированное решение источник-приемник на основе архитектуры импульсного ИП. Комбинированное решение не только удовлетворяет всем требованиям тестирования СЭП спутника, но и лишено недостатков, присущих другим решениям.



**Рис. 5.** ИП семейства APS Keysight Technologies выдают мощность 1 и 2 кВт с возможностью увеличения до 10 кВт при параллельном соединении