

УПРОЩЕНИЕ СЛОЖНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСТОЧНИКА-ИЗМЕРИТЕЛЯ (SMU) SIMPLIFYING COMPLEX MEASUREMENTS WITH A SOURCE MEASURE UNIT

Том Ольсен (Tom Ohlsen), Tektronix

В современных быстро развивающихся технологиях проектирования электронного оборудования сложность является реальным злом и должна избегаться любой ценой, в то время как простота олицетворяет собой все хорошее и правильное. Возможно это слишком сильно сказано, но когда речь заходит о контрольно-измерительных задачах, простота становится лучшим другом инженера, поскольку экономит ему время и снижает трудоёмкость, при этом позволяя получать более достоверные и точные результаты.

Одним из приборов, способным максимально упростить многие широко распространённые измерения, является источник-измеритель (SMU), объединяющий в себе функции источника напряжения и тока, цифрового мультиметра и электронной нагрузки. В результате получается измеритель-

Tektronix

шает измерения, давайте рассмотрим конкретный пример. Для этого мы сначала покажем, как с помощью SMU упростить измерение параметров преобразователя постоянного тока, а потом рассмотрим методы упрощения тестирования полевого транзистора. Как покажут эти примеры, работа с SMU требует меньшего числа операций и обеспечивает глубокое понимание результатов измерений.

УПРОЩЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Как и для любых других устройств, параметры преобразователей постоянного тока необходимо измерять в процессе их производства, а также для

измерять множество параметров, и в том числе следующие:

- нестабильность по входу;
- нестабильность по нагрузке;
- погрешность входного и выходного напряжения;
- ток покоя;
- КПД;
- время включения;
- пульсации;
- динамические характеристики.

Обычно измерение электрических характеристик преобразователей постоянного тока включает подачу и измерение входного напряжения ($V_{вх}$), измерение входного тока ($I_{вх}$), измерение выходного напряжения ($V_{вых}$) и выходного тока ($I_{вых}$) на определённой нагрузке. По результатам этих измерений можно узнать КПД и другие параметры преобразователя. КПД является одним из важнейших показателей, особенно для устройств с автономным питанием, поскольку от него непосредственно зависит время работы устройства от батареи.

Традиционно для выполнения таких измерений используют пару цифровых мультиметров, источник питания и электронную нагрузку. Однако измерение параметров преобразователей постоянного тока можно упростить, заменив все эти приборы одним двухканальным SMU. SMU очень удобны для измерения вольт-амперных характеристик преобразователей постоянного тока, поскольку они могут подавать и измерять как ток, так и напряжение, а также могут выступать в роли электронной нагрузки. Обратите внимание, что для измерения всех

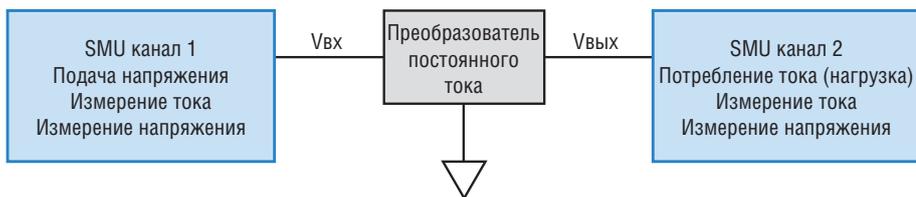


Рис. 1. Подключение одного канала SMU к входным контактам и другого канала к выходным контактам преобразователя заменяет несколько приборов

новый прибор, более гибкий, чем каждый из входящих в его состав отдельных приборов, что упрощает схему измерения, сокращает число операций и, как следствие, снижает вероятность ошибки оператора.

Чтобы не тратить много времени на объяснения того, как SMU упро-

оценки пригодности их применения в проектируемой схеме. В стремлении создать изделие с меньшим энергопотреблением, разработчики ищут способы повышения эффективности преобразования энергии. В ходе определения электрических характеристик преобразователя постоянного тока приходится

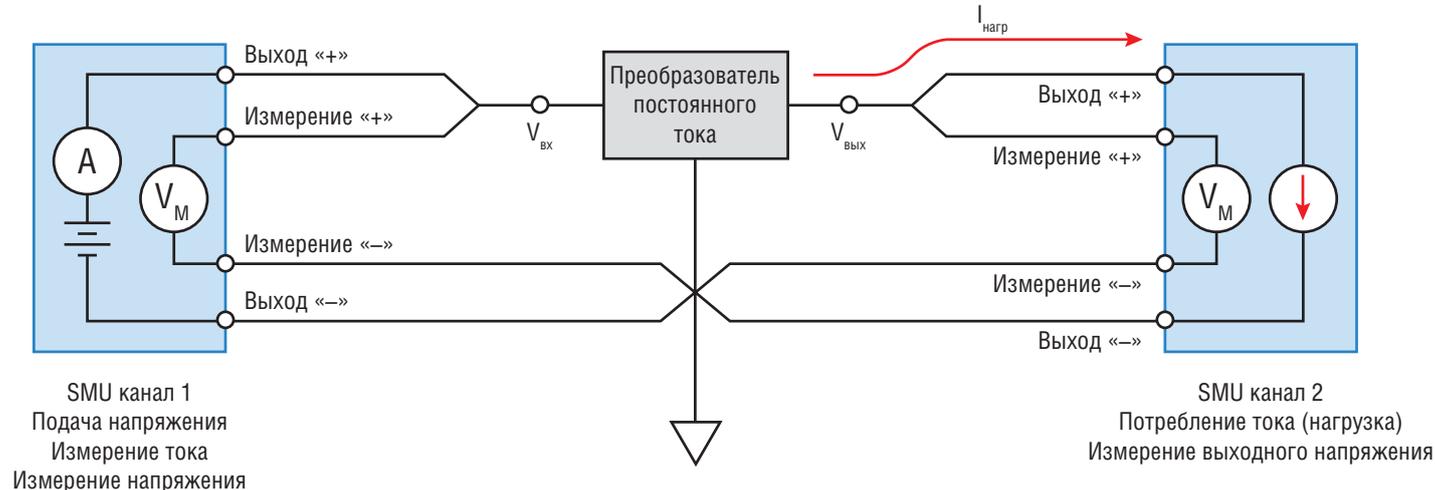


Рис. 2. Типовая схема измерения нестабильности по нагрузке с помощью двух каналов SMU

параметров преобразователя постоянного тока, кроме SMU, обеспечивающего входное напряжение и ток нагрузки, понадобится ещё и осциллограф.

Применение одного прибора вместо нескольких упрощает схему измерения, программирование и синхронизацию, а также экономит место в стойке или в испытательном стенде. Как показано на рисунке 1, подключение одного канала SMU (канал 1) к входным контактам и второго канала

схема измерения нестабильности по нагрузке с помощью двух каналов SMU. Канал 1 SMU подаёт входное напряжение и измеряет входной ток. Канал 2 SMU работает в режиме электронной нагрузки (является источником отрицательного тока). В этом режиме SMU работает в четвёртом квадранте и потребляет ток.

Каналы SMU настраиваются на работу с отдельным измерительным входом напряжения (четырёхпроводный режим). Четырёхпроводный режим

подключения компенсирует падение напряжения на соединительных проводах, которое, в противном случае, отрицательно сказалось бы на точности измерений. В четырёхпроводном режиме напряжение подаётся по одной паре проводов (Выход «+» и Выход «-»), а измеряется по другой паре проводов (Измерение «+» и Измерение «-»). Измерительные провода следует подключать как можно ближе к тестируемому устройству, что минимизирует влияние сопротивления проводов на результаты измерения.

На рисунке 3 показаны результаты типowego измерения нестабильности по нагрузке, в ходе которого постоянное выходное напряжение тестируемого устройства было установлено на 3,6 В. Канал 1 SMU настраивался так, чтобы подавать на вход преобразователя напряжение 5 В (номинальное значение). Канал 2 SMU настраивался так, чтобы изменять ток нагрузки от 0 до

1 А и измерять результирующее выходное напряжение. Измерения выполнялись автоматически под управлением специальной программы. Значение нестабильности по нагрузке легко рассчитывается по измеренным значениям тока и напряжения.

НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ПО ВХОДУ

Нестабильность по входу характеризует способность преобразователя постоянного тока поддерживать заданное выходное напряжение при изменении входного напряжения. Выходное напряжение должно оставаться постоянным в пределах нескольких милливольт при изменении входного напряжения в указанном диапазоне. Для измерения нестабильности по входу оба канала SMU подключаются к преобразователю постоянного тока так же, как при измерении нестабильности по нагрузке.

Однако в ходе этого измерения входное напряжение меняется в заданном диапазоне и при этом измеряется результирующее выходное напряжение. Обычно ток нагрузки устанавливается на 0 А. На рисунке 4 показаны результаты типowego измерения нестабильности по входу. Один канал SMU (первый) настроен так, чтобы менять напряжение на входе тестируемого устройства, а другой канал SMU (второй) настроен на измерение выходного напряжения. Затем нестабильность по входу можно рассчитать по измеренным значениям входного и выходного напряжения.

УПРОЩЕНИЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА С ПОМОЩЬЮ SMU

Измерение вольт-амперных характеристик полевого транзистора используется для того, чтобы подтвердить его соответствие требованиям спецификаций и пригодность к применению в целевых приложениях. Из-

Зависимость выходного напряжения от тока нагрузки или нестабильность по нагрузке

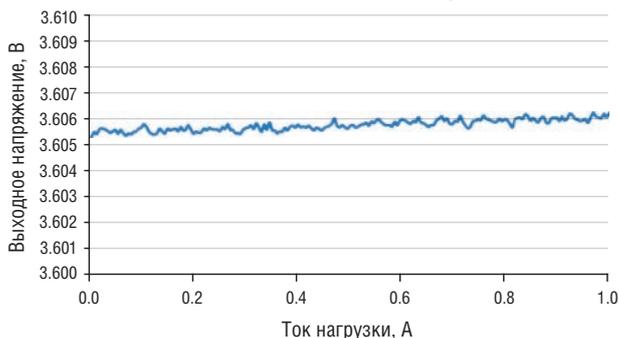


Рис. 3. Результаты типowego измерения нестабильности по нагрузке

Зависимость выходного напряжения от входного или нестабильность по входу

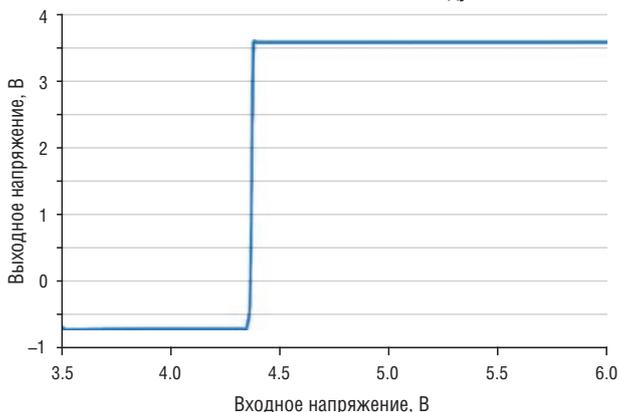


Рис. 4. Результаты типowego измерения нестабильности по входу

SMU (канал 2) к выходным контактам преобразователя постоянного тока заменяет несколько измерительных приборов.

Измерение параметров преобразователя постоянного тока включает регистрацию многих электрических величин. Но мы сосредоточимся на нестабильности по нагрузке и по входу, поскольку эти измерения являются самыми распространёнными.

НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ПО НАГРУЗКЕ

Нестабильность по нагрузке характеризует способность преобразователя постоянного тока поддерживать заданное выходное напряжение при изменении тока нагрузки ($I_{нагр}$) при постоянном входном напряжении $V_{вх}$. Обычно этот параметр измеряется во всём диапазоне токов нагрузки.

На рисунке 2 показана типовая

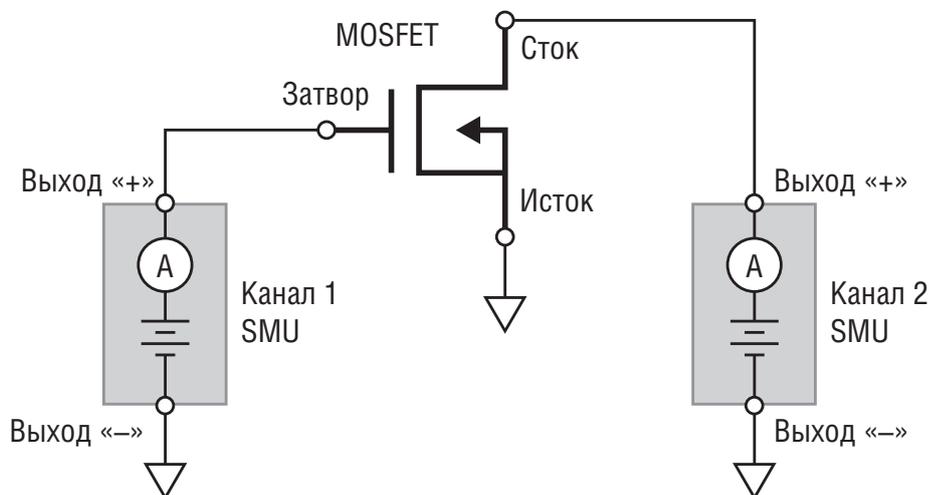


Рис. 5. Схема измерения вольт-амперных характеристик транзистора MOSFET на постоянном токе с помощью двухканального SMU

меряемые параметры могут включать ток утечки затвора, напряжение пробоя, пороговое напряжение, передаточные характеристики, ток стока, сопротивление в открытом состоянии и т.п. Тестирование полевого транзистора зачастую включает программирование и синхронизацию нескольких измерительных приборов, в том числе чувствительного амперметра и нескольких источников питания, что может отнимать много времени. И хотя готовые системы для измерения параметров полупроводниковых приборов решают проблему интеграции, стоимость систем такого типа составляет обычно десятки тысяч долларов. Альтернативный подход заключается в использовании SMU. Число SMU, необходимых для проведения теста, зависит обычно от числа выводов полевого транзистора, на которые надо подавать питание, и на которых надо выполнять измерения.

В большинстве случаев полевой транзистор представляет собой устройство, работающее с основными носителями заряда, в котором протекающий ток меняется под воздействием электрического поля. Полевой транзистор, как правило, имеет три вывода: исток, сток и затвор. Приложенное к затвору (V_z) напряжение управляет током, протекающим от истока (I_i) к стоку (I_c).

Существует множество структур полевых транзисторов, включая MOSFET (металл-окисел-полупроводник), MESFET (металл-полупроводник), JFET (полевой транзистор с управляющим p-n переходом), OFET (органический полевой транзистор), GNR-FET (транзистор с графеновой нанолентой) и CNTFET (транзистор с углеродной нанотрубкой). Все эти транзисторы отличаются конструктивно и типом канала.



Рис. 6. Это семейство выходных характеристик транзистора MOSFET получено с помощью двухканального SMU, оптимизированного для измерения малых токов

Вольт-амперные характеристики полевого транзистора можно использовать для извлечения многих параметров устройства, для изучения влияния технологий изготовления и параметров технологических процессов и для определения качества контактов. На рисунке 5 показана схема измерения вольт-амперных характеристик транзистора MOSFET

на постоянном токе с помощью двухканального SMU (каналы 1 и 2). Здесь клемма Выход «+» канала 1 подключена к затвору транзистора, клемма Выход «+» канала 2 подключена к стоку. Исток транзистора подключен к клеммам Выход «-» обоих каналов SMU или к третьему каналу SMU, если нужно подавать и измерять напряжение на всех трёх выводах транзистора.

После подключения транзистора к SMU нужно настроить управляющую программу (как правило, встроенную

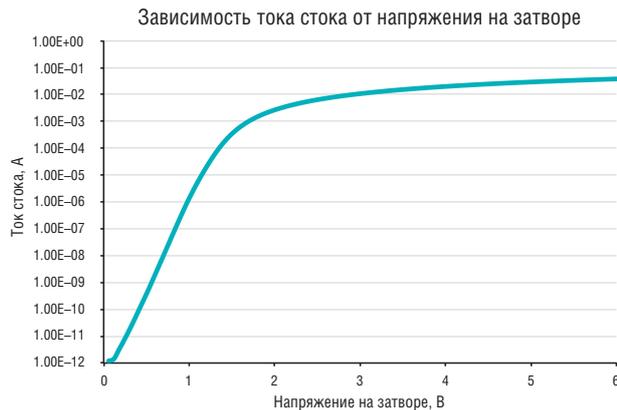


Рис. 7. Зависимость тока стока от напряжения на затворе транзистора MOSFET

в SMU) на выполнение автоматических измерений. Подключите прибор к компьютеру кабелем Ethernet, введите IP-адрес SMU в адресную строку любого браузера, после чего откроется внутренняя веб-страница прибора. С этой страницы пользователь может запустить встроенную программу и настроить нужные тесты, которые можно сохранить для дальнейшего использования.

Одним из измерений, часто выполняемых для транзисторов MOSFET, является получение семейства выходных характеристик (V_{gs} - I_c). В ходе этого измерения канал 1 SMU ступеньками меняет напряжение на затворе (V_z), а канал 2 SMU свипирует напряжение на стоке и измеряет результирующий ток стока (I_c). После настройки двух каналов SMU на выполнение этого теста, данные можно получать и выводить в виде графика на экран в режиме реального времени. На рисунке 6 показано семейство выходных характеристик транзистора MOSFET, полученное с помощью двухканального SMU, оптимизированного для измерения малых токов. После экспорта в файл формата CSV, эти данные можно загружать в электронные таблицы для дальнейшего анализа или для преобразования в таблицу.

Другим широко распространённым измерением полевого транзистора, которое можно выполнить по той же схеме, является построение зависимости тока стока (I_c) от на-

пряжения на затворе (V_z). В ходе этого измерения выполняется свипирование напряжения на затворе и измеряется результирующий ток стока при постоянном напряжении на стоке. На рисунке 7 показана результирующая кривая I_c - V_z , полученная при постоянном напряжении на стоке. Однако в этом случае полученные данные были экспортированы в виде файла и нанесены на график в полулогарифмическом масштабе. Этот тест можно изменить так, чтобы напряжение на стоке менялось шагами, а напряжение на затворе свипировалось. Данные I_c - V_z отображают несколько декад тока стока, измеренного с помощью SMU (от 10^{-12} до 10^{-2} ампер).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложность измерений отрицательно сказывается на эффективности и продуктивности работы инженера. Как показано в этой статье, источники-измерители, объединяющие в себе функции нескольких приборов, могут упростить процедуры те-

стирования, сэкономить время и позволить получать более точные и воспроизводимые результаты. В ходе измерений характеристик преобразователей постоянного тока один двухканальный SMU заменяет пару цифровых мультиметров, источник питания и электронную нагрузку. В ходе измерений параметров полевого транзистора SMU представляет собой более простую и недорогую альтернативу схемам измерения, состоящим из чувствительного амперметра и нескольких источников напряжения или из специализированной системы для измерения характеристик полупроводниковых приборов. ☑

Test complexity is the enemy of engineering efficiency and productivity. As shown here, source measure units that combine the functionality of multiple instruments into a single box can simplify testing procedures, saving time and producing more accurate and repeatable results.