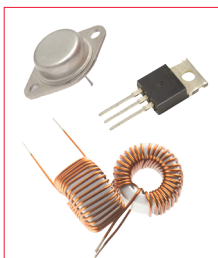


Keysight Technologies

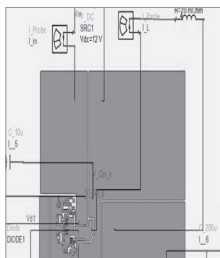
Повышение надежности и эффективности работы новых поколений преобразователей электрической энергии (Часть 1)

Оценка силовых устройств и компонентов

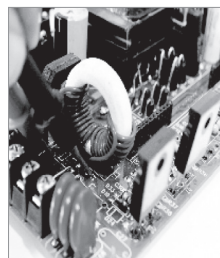
Рекомендации по применению



Оценка силовых устройств и компонентов



Моделирование устройств



Проектирование и отладка устройств



Проверка и сертификация изделий

Введение

Необходимость снижения потребления энергии и величины выбросов углекислого газа стала причиной увеличения количества выпускаемых силовых устройств и преобразователей. Эти потребности диктуются растущим числом электромобилей и распространением домашних систем управления электроснабжением, где все большую долю получают возобновляемые источники энергии. К росту эффективности преобразований, а также большей надежности создаваемых силовых преобразователей приводят два основных показателя. В области природоохранной возобновляемой энергии, например солнечной, основным показателем эффективности выбора преобразователей солнечной энергии является нормированная стоимость энергии (LCOE). Двумя важными переменными при расчете LCOE, величина которого показывает, будут ли ваши инвертеры продаваться, являются эффективность и надежность. А надежность гибридных электрических (HEV) и электрических автомобилей (EV) напрямую связана с репутацией производителя, а также с высокими показателями безопасности и сохранения жизни. Соответственно, исключительную важность приобретает всестороннее тестирование различных электрических систем электромобилей на стадии проектирования и испытаний.

Требования, стоящие перед многими современными преобразователями мощности вплотную приблизились к возможностям устройств на основе кремния. Но появление силовых компонентов с широкой запрещенной зоной (WBG) на основе карбида кремния (SiC) и нитрида галлия (GaN) гарантирует увеличение этого предела. Такие свойства, как возможность быстро переключаться, способность выдерживать высокие значения напряжения, расширенные температурные диапазоны, приводят к увеличению эффективности и надежности устройств, а также к уменьшению физических размеров. Но перед тем как силовые преобразователи с использованием компонентов с широкой запрещенной зоной станут основными, производители столкнутся с проблемами разработки и тестирования, решение которых поможет раскрыть потенциал этих устройств в полной мере.

Это первая из четырех частей, описывающих этапы разработки силового преобразователя. Мы рассмотрим проблемы, которые возникают при разработке и тестировании на каждом из четырех этапов, и предложим вам варианты решения этих проблем с помощью аппаратных и программных средств. Наибольшее внимание будет уделено улучшению упомянутых выше конструктивных показателей: увеличению эффективности, повышению надежности и снижению помех, а также уменьшению формфактора.

Кроме того, будут затронуты проблемы разработки и тестирования, возникающие при использовании широкозонных полупроводниковых устройств.

Каждая из четырех частей данной серии освещает один из перечисленных ниже циклов производства:

1. Оценка силовых устройств и компонентов
2. Моделирование устройств с использованием программных средств
3. Проектирование и отладка устройств
4. Проверка и сертификация изделий

Оценка силовых устройств и компонентов

На данном этапе производства у инженеров возникает необходимость оценки созданных в последнее время силовых устройств (МОП-транзисторов и биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT)) для дальнейшего их использования в производстве конкурентоспособных преобразователей. С возникновением приборов с широкой запрещенной зоной на основе карбида кремния (SiC) и нитрида галлия (GaN) оценка силовых устройств стала более сложной. Использование приборов с широкой запрещенной зоной расширяет возможности устройств и по сравнению с кремнием позволяет быстрее переключаться посредством увеличения максимальной скорости изменения входного сигнала, выдерживать высокие значения напряжения и расширение температурного диапазона. Благодаря этому создаваемые силовые преобразователи обладают такими преимуществами, как более высокая эффективность и меньший формфактор. Но с другой стороны, эти преимущества усложняют оценку и использование их в будущих разработках. Понимание технических характеристик и вопросов надежности полупроводниковых силовых устройств важно для их производства, так как именно они значительно влияют на эффективность и надежность всей схемы преобразователя мощности. К сожалению, предоставляемой производителем технической информации зачастую недостаточно для полного понимания. Условия, перечисленные производителем в техническом описании, часто отличаются от действительных условий использования, и поэтому полученная информация не дает полного представления об устройстве. Это приводит к тому, что создать надежную и эффективную схему на основе полученной от производителя информации очень сложно. Это касается и приборов с широкой запрещенной зоной, так как производители выбирают, какие технические характеристики необходимо включить в спецификацию, а какие нет.

Кроме того, увеличение максимальной скорости изменения входного сигнала силовых компонентов с широкой запрещенной зоной приводит к появлению сигналов/помех с высокой частотой, которые могут вызвать резонанс в используемых в устройствах схемах, поэтому зачастую инженеры, занимающиеся силовыми приборами, начинают думать как инженеры-радиочастотники. То есть инженеру необходимо не только провести оценку самого силового прибора, но и убедиться, что выбранные и используемые компоненты и конструкции печатных плат могут выдержать получаемое от компонентов с широкой запрещенной зоной увеличение производительности и надежности. После проведения оценки важно иметь спецификацию с параметрами, которые пригодятся для создания точной математической модели, используемой при симуляции.

В следующих разделах будут описаны тесты, необходимые для оценки силовых приборов с широкой запрещенной зоной. Для упрощения данные тесты будут разделены на две категории: статическое тестирование и динамическое тестирование (тесты с двойным импульсом). В третьем разделе описываются способы оценки выбираемых силовых устройств, основанных на приборах с широкой запрещенной зоной.

Статическое тестирование

Статическое тестирование силовых устройств проводится для проверки их работы, при этом рассматриваются следующие параметры:

- параметры тока и напряжения (сопротивление включения R_{on} , напряжение пробоя V_B , ток утечки, пороговое напряжение V_{th} , напряжение насыщения V_{sat} и др.);
- величины входной, выходной емкости, емкости затвор-сток (C_{iss} , C_{oss} , C_{rss} , C_{ies} , C_{oes} , C_{res}) и сопротивление затвора (R_g).

Для измерения данных параметров обычно используются различные инструменты, например характериограф и измеритель иммитанса. Но даже при всех необходимых инструментах точность измерений будет хуже идеальной из-за возникающих проблем с тестовыми приспособлениями, и часто эти параметры сложно оценить в режиме рабочих нагрузок по току и напряжению. Эти проблемы могут стать еще сложнее, если необходимо оценить работу устройства в условиях воздействия расширенного диапазона температур.

В течение долгого времени компания Keysight Technologies, Inc., основной поставщик решений по оценке точности силовых устройств, появляющихся на рынке полупроводниковых технологий, предлагала конечному пользователю или производителям силовых приборов различные способы оценки. При этом данные способы удовлетворяли условиям тестирования компонентов с широкой запрещенной зоной. Основное решение — анализатор силовых устройств B1506A. Данный анализатор оснащен высокоточным характериографом, позволяющим проводить измерения входной, выходной емкости, емкости затвор-сток (C_{iss} , C_{oss} , C_{rss} , C_{ies} , C_{oes} , C_{res}). Кроме того, проведение измерений возможно в условиях реальных рабочих нагрузок силового устройства, включая тестирование в диапазоне напряжений до 3 кВ и тока до 1500 А.

Более того, помимо статического теста и оценки возможностей анализатор может измерять заряд затвора, а также вычислять и моделировать потери мощности, возникающие из-за переключения частот (см. рис 2).



Рисунок 1. Анализатор силовых устройств B1506A

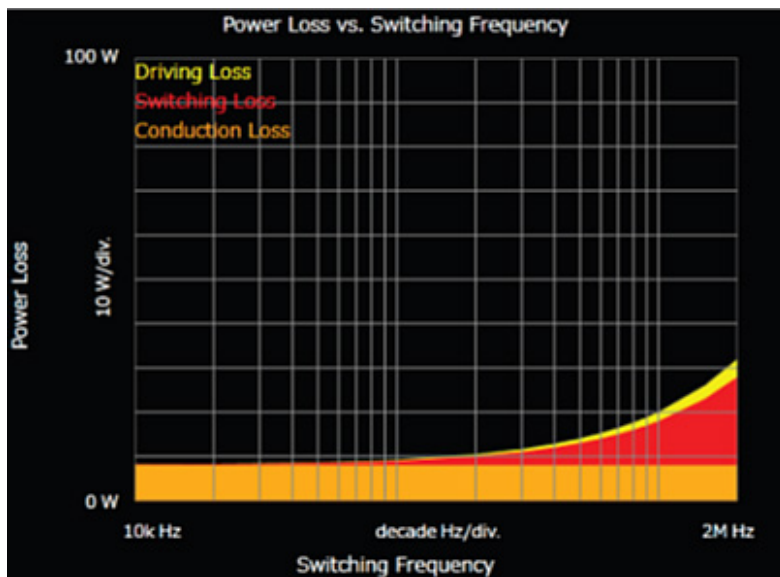


Рисунок 2. Моделирование анализатором B1506A потери мощности при переключении

Анализатор B1506A также позволяет проводить тестирование прибора в широком диапазоне температур. Все эти возможности объединены в одном решении с полностью автоматизированным пользовательским интерфейсом и оснасткой. Если у вас уже есть характериограф и вам необходимо только дополнить его измерителем емкости наряду с возможностью оценки величины тока утечки и пробоя изоляции, то для этого компанией был разработан анализатор емкости силовых устройств B1507A. Более подробная информация по анализатору силовых устройств представлена на сайте <http://www.keysight.com/find/B1506A>.

Динамическое тестирование

Динамическое тестирование, или тестирование двойным импульсом, силового устройства состоит в следующем: система посылает импульсы с высоким значением тока на один или несколько приборов и измеряет результирующее напряжение и форму тока при переключении, а также температурные параметры тестируемого устройства. Для генерирования импульсов может использоваться как генератор импульсов с высоким значением тока, так и схема для тестирования с помощью двойного импульса. Каждый подход имеет свои преимущества и недостатки. Выбор часто зависит от предпочтений инженера, проводящего испытания. На рисунке ниже приведено описание компоновки и размещения приборов для проведения динамического теста с использованием оборудования компании Keysight.

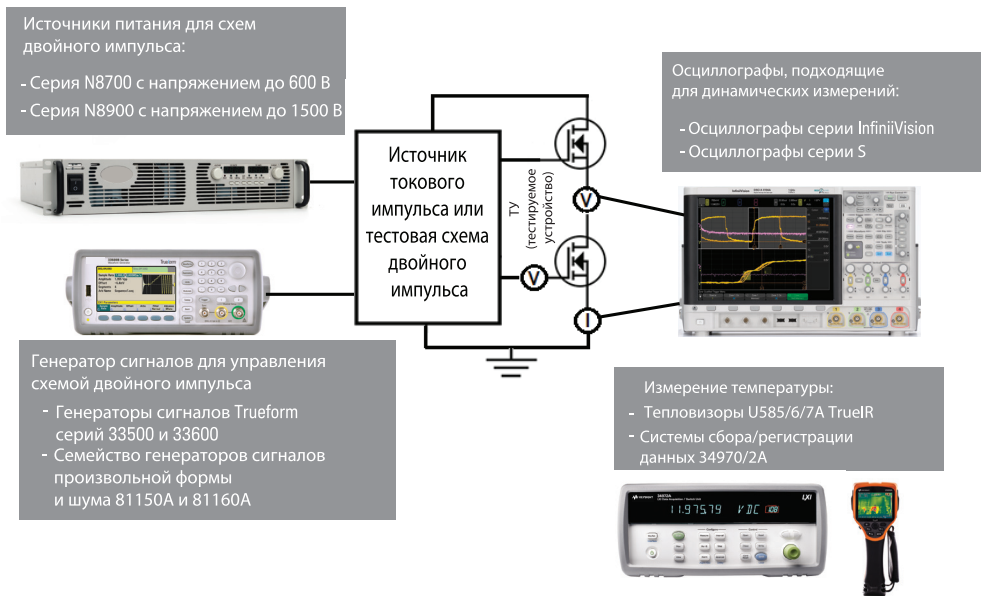


Рисунок 3. Описание компоновки и размещения приборов для динамического тестирования или тестирования с использованием двойного импульса

При проведении динамического тестирования одним из самых сложных вопросов, с которым сталкиваются инженеры сегодня, это точная характеристика формы сигнала при переключении (напряжения и тока) силовых компонентов с широкой запрещенной зоной. Если в первую очередь рассматривать измерение формы сигнала напряжения, то одной из проблем тестирования будет захват и значение пик-пик напряжения переключения, которое может изменяться в диапазоне от сотен до, может быть, тысяч вольт, максимальная скорость изменения входного сигнала при этом может превышать иногда 100 В/1 нс. В условиях таких быстрых изменений входного сигнала необходимо рассматривать полосу пропускания измерительного прибора, как и любого преобразователя. Расчетная формула полосы пропускания при нарастании и спаде:

Ширина полосы пропускания = $0,5 / \text{время нарастания (от 10 до 90 \%)}.$

Согласно формуле, приведенной выше, форма сигнала при переключении с величиной времени нарастания 10 нс будет иметь полосу пропускания около 100 МГц. Так как рассчитанная полоса пропускания каждого измерительного прибора обычно определяется для уровня ЗдБ, то для более точных измерений таких максимальных скоростей изменения входного заряда хотелось бы использовать прибор, который имеет рассчитанную полосу пропускания в 2–3 раза выше, чем полоса пропускания сигнала при переключении. Для приведенного ранее примера, когда полоса пропускания составляет 100 МГц, лучше, чтобы рассчитанная полоса пропускания прибора составляла 200 МГц и больше.

Динамический диапазон и разрешающая способность используемого измерительного прибора также очень важны. К примеру, достигнуть высокой точности измерений уровней напряжения насыщения устройства, которые могут составлять от десятков до сотен милливольт при величине переключения в 100 вольт, может стать сложной задачей.

Для измерения величины тока переключения устройства может использоваться традиционный токовый пробник на эффекте Холла. Но более подходящими будут следующие методы: метод коаксиальных резистивных шунтов и метод измерения с помощью трансформатора тока, так как в этих измерениях необходимы более низкая индуктивность и большая полоса пропускания.

Обычно для точного захвата формы сигнала переключения напряжения и тока устройств с широкой запрещенной зоной используются осциллографы. Осциллографы хорошо подходят для измерений параметров переключения силовых устройств, так как они имеют большую полосу пропускания, несколько каналов (для тока и напряжения), а также они могут выдержать большие значения напряжения и тока при нормальных величинах напряжения и тока пробника и/или преобразователя. В следующих разделах будет описано несколько осциллографов компании Keysight, предлагающих возможности проведения динамического тестирования устройств с широкой запрещенной зоной.

Осциллографы серии X: InfiniiVision 3000, 4000 и 6000

Осциллографы серии InfiniiVision не имеют аналогов в своем классе, снабжены простым в использовании пользовательским интерфейсом, сенсорным экраном для просмотра и анализа формы сигнала переключения. Дополнительно осциллографы InfiniiVision имеют опцию встроенного генератора сигналов стандартной/произвольной формы. Данный генератор позволяет пользователю управлять схемой тестирования с использованием двойного импульса и проводить измерение результирующей формы сигнала переключения одним прибором. Осциллограф и генератор в одном корпусе могут упростить схему тестирования. Осциллографы InfiniiVision серии X имеют улучшенные технические возможности настройки запуска осциллографа, продвинутую математическую обработку сигнала, автоматические измерения. Также доступно дополнительное приложение измерения мощности для оценки и анализа источников питания с автоматической настройкой измерений, включающих потери на переключение и расчет сопротивления включения. Далее в третьей части будет обсуждаться, как эти опции могут помочь пользователю оптимизировать производство преобразователей мощности, а также увеличить скорость процесса разработки.

Осциллографы S-серии: Infiniium

Осциллографы серии S компании Keysight представляют лидирующие на рынке технологии измерения, имеют высокую разрешающую способность и динамический диапазон для измерения формы сигнала переключения для оценки силовых устройств. Осциллографы S-серии имеют разрешающую способность АЦП 10 бит, глубокую память с быстрым откликом, а также полосу пропускания до 8 ГГц. Для того чтобы получить лучшую производительность, осциллографы S-серии не только используют высокопроизводительные АЦП, но и имеют низкошумящие входные тракты, а также поддерживают высокую частоту дискретизации со скоростью 20 Гвыб/с, все эти возможности позволяют по максимуму использовать 10-битные АЦП. Осциллографы S-серии имеют самое высокое значение эффективных бит (ENOB) в своем классе, более высокое, чем осциллографы с заявленной 12-битной разрешающей способностью.

Осциллографические пробники

В измерениях форм сигналов переключения осциллограф является только одним из элементов схемы. Другая важная часть измерений — пробники. Компания Keysight предлагает широкий спектр дифференциальных и несимметричных пробников с различными диапазонами по напряжению и полосам пропускания. Например, несимметричный пробник 10076С, который хорошо подходит для измерений мощных устройств с широкой запрещенной зоной, может выдерживать напряжение до 4 кВ и имеет полосу пропускания 500 МГц. Данный пробник имеет небольшую стоимость и предлагает широкие возможности по напряжениям и полосе пропускания. Для измерений тока многие производители обычно используют коаксиальные резистивные шунты, которые могут быть измерены с помощью несимметричных пробников с большой полосой пропускания, а также дифференциальных пробников совместно с осциллографами со встроенными математическими функциями. Компания Keysight также предлагает большой ряд аксессуаров для пробников для хорошего подсоединения, уменьшения количества помех и паразитных составляющих, что увеличивает точность измерений. Более подробная информация о пробниках компании Keysight на странице www.keysight.com/find/scopes-power в разделе View measurement options and probing solutions.

Тепловые характеристики силовых устройств

Определение температурного профиля во время тестирования силовых устройств с широкой запрещенной зоной очень важно для дальнейшего производства, а также для обеспечения хорошей работы и надежности. Компания Keysight разработала множество опций, которые могут использоваться для различных задач. Для проведения и записи прямых многоканальных измерений температуры хорошо подходят измерительные приборы 34970A и 34972A. Данные приборы имеют модульный подход к проведению многоканальных измерений температуры и могут проводить другие общие измерения, например измерения тока и напряжения. Также доступно бесплатное программное обеспечение для записи результатов измерений. Более подробно об этом в четвертой части серии.

Компания Keysight предлагает тепловизоры семейства U5855/6/7A для анализа изменений в реальном времени, а также для анализа изменения профиля температур силового устройства. Программное обеспечение включает создание отчетности, содержащей анализ кривых и точечный анализ, графическое изображение измерений и возможность изменения цвета вывода результатов. Этот инструмент дополняет и увеличивает скорость получения температурного профиля силовых устройств. Кроме того, для увеличения мощности и улучшения контроля схем с использованием двойного импульса компания Keysight разработала широкий спектр источников постоянного тока и генераторов сигналов стандартной/произвольной формы, предназначенных для использования в силовых электронных преобразователях и силовых преобразователях. В третьей части обсуждается более подробная информация о них, на рисунке 3 перечислены рекомендуемые модели.

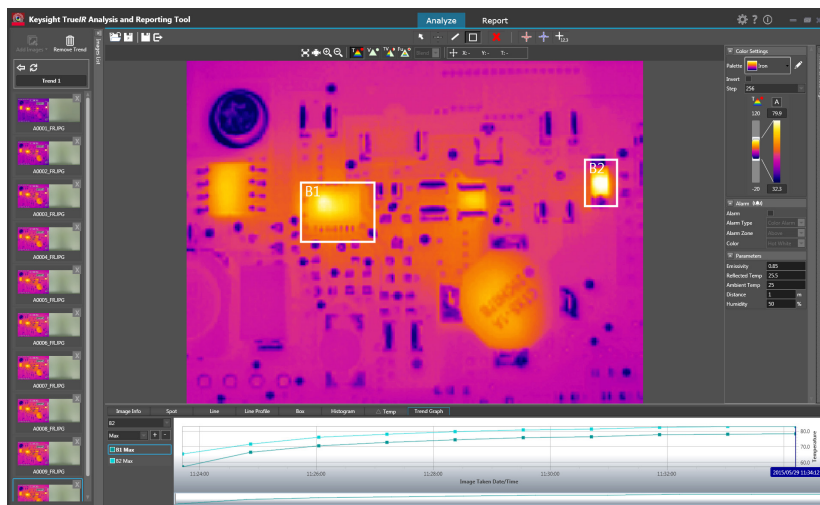


Рисунок 4. Термограмма печатной платы, полученная для анализа изменений температур важного компонента с помощью программного обеспечения Keysight U5855/6/7A. График внизу рисунка показывает изменение температур в двух выбранных точках на изображении

Оценка дополнительных компонентов

Кроме оценки самих силовых устройств, необходимо также оценить и описать используемые дополнительные компоненты, например коннекторы, индукторы, диоды и даже конструкции печатных плат. Очень важно проверить их работу в заявленных технических условиях, убедиться в их надежности, провести точное моделирование с помощью программного обеспечения. Это необходимо для уменьшения стоимости и времени, которое затрачивается на изготовление прототипа оборудования. Анализатор силовых устройств V1506A, о котором подробно обсуждалось в разделе о статических тестах, является идеальным инструментом для перечисленных задач, а также для:

- Точного анализа тока и напряжения по всему диапазону их значений
- Измерения емкости для самых высоких уровней напряжения
- Измерения сопротивления постоянного тока и индуктивности в условиях большого токового смещения
- Проверки работы других используемых приборов в широком диапазоне температур

Компания Keysight также предлагает большое семейство измерителей LCR, предназначенных для проведения точных измерений импеданса используемых компонентов. Измерители LCR являются стандартным инструментом, используемым в данной области, так как обладают лучшим показателем точности и воспроизводимости в широчайшем диапазоне значений импеданса.

Оценка влияния находящихся рядом ВЧ-систем на устройства с широкой запрещенной зоной

В настоящее время необходимы более сложные устройства анализа импеданса, так как производство силовых преобразователей становится все более трудным: необходимо учитывать более строгие системы управления, большие скорости переключения, а также использовать приборы с широкой запрещенной зоной, которые генерируют высокие частоты воздействия на схемы и имеют быстрые перепады входного сигнала. Силовые электронные схемы больше не могут создаваться с использованием простых схем с сосредоточенными параметрами. Несмотря на то что схемы с сосредоточенными параметрами могут применяться в любых условиях, при конструировании силовых схем необходимо использовать надежные имитаторы, чтобы было ясно, как их импеданс меняется в более широком диапазоне частот. Компания Keysight выпускает продукты, ставшие лидерами на рынке, которые удовлетворяют перечисленным выше условиям:

Анализатор импеданса E4990A:

- Диапазон частот: от 20 Гц до 10/20/30/50/120 МГц
- Диапазон измерения импеданса (основная погрешность 0,08; 0,045 (тип.)): от 25 мОм до 40 МОм

Анализатор импеданса E4991B:

- Диапазон частот: от 1 МГц до 500 МГц/1 ГГц/3 ГГц
- Диапазон измерения импеданса (основная погрешность 0,65 %): от 120 мОм до 52 кОм

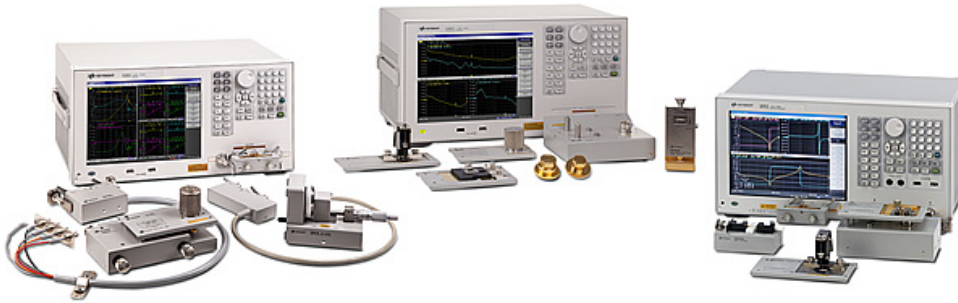


Рисунок 5. Анализаторы импеданса компании Keysight

Для измерения импеданса анализаторы серии E4990A используют мостовой метод с автобалансировкой, а анализаторы E4991B используют метод высокочастотных преобразований тока в напряжение (RF I-V). Данные методы основываются (по закону Ома) на линейном соотношении величины напряжения-тока к величине импеданса. Таким образом, достоверность теоретического измерения импеданса постоянна и имеет высокую точность по всему диапазону изменений импеданса, в отличие от методов, используемых в анализаторах цепей. Превосходная стабильность измерений анализаторов импеданса E4990A/E4991B в свою очередь достигается использованием приемника для минимизации ошибок, связанных с уходом параметров за границы допустимого диапазона. Это позволяет проводить точную характеристику в течение большого временного периода. Keysight также предлагает анализаторы цепей E5061B серии ENA, оснащенные опцией 3L5/005 анализа цепей, анализа импеданса, а также амплитудно-фазового анализа.

Хотя данные анализаторы не имеют таких показателей точности и стабильности, как анализаторы E4990A и E4991B, они представляют собой более универсальный инструмент анализа. Ниже приведен график, на котором сравниваются точность измерений приборов E4990A, E4991B и E5061B в зависимости от частоты:

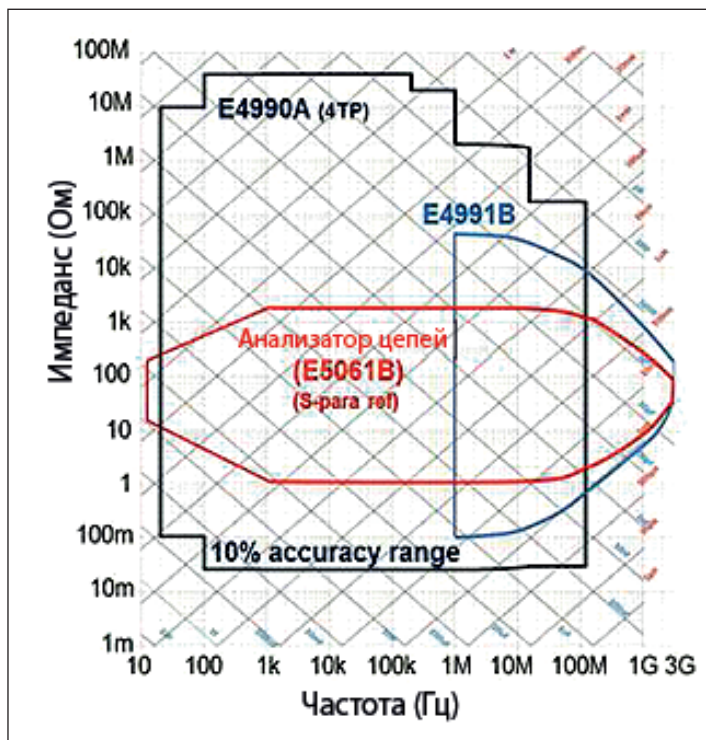


Рисунок 6. 10%-я степень точности измерения импеданса приборов E4990A, E4991B и E5061B

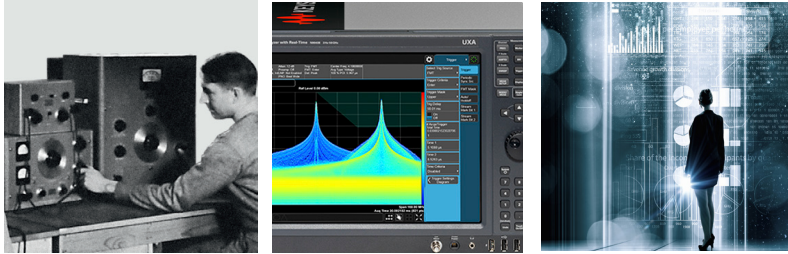
Более подробная информация об LCR-измерителях компании Keysight и об анализаторах импеданса представлена на странице <http://www.keysight.com/find/impedance>.

Аннотация

В данных рекомендациях по применению описываются проблемы, с которыми сталкиваются инженеры по силовой электронике при оценке, описании и конструировании устройств с широкой запрещенной зоной для их использования в новых силовых преобразователях. Обсуждаются инструменты, решения и знания компании Keysight для создания и тестирования силовых устройств. Например, анализатор силовых устройств B1506A разработан для получения таких характеристик силовых устройств, как величины тока и напряжения, емкости, а также заряда затвора. Лидер отрасли, семейство анализаторов импеданса компании Keysight, позволяет оценивать элементы схемы, которые используются вместе с приборами с широкой запрещенной зоной, по всему диапазону частот, что упрощает учет воздействия высоких частот от данных приборов.

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.



Российское отделение

Keysight Technologies

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

Тел.: +7 (495) 797-39-54
8 800 500 9286
{Звонок по России бесплатный}

Факс: +7 (495) 797-39-02
Эл. почта: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр
Keysight Technologies в России
115054, Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 797-39-30
Факс: +7 (495) 797-39-01

Эл. почта: tmo_russia@keysight.com

{BP-09-07-17}

DEKRA Certified
ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality
Keysight Technologies, Inc.
Сертифицировано DEKRA
на соответствие стандарту ISO 9001:2015.
Система управления качеством

myKeysight

myKeysight
www.keysight.com/find/mykeysight
Персонализированная подборка только нужной вам информации.

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 ЦМ 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 ЦМ Keysight включает поверку и калибровку СИ, ремонт приборов и модернизацию устаревшего оборудования, подбор решений для управления парком приборов, консалтинг, обучение и многое другое. Мы поможем вам повысить качество разработок и снизить затраты.



Планы технической поддержки Keysight
www.keysight.com/find/AssurancePlans
ЦМ 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
Двойная выгода: глубокие знания в области измерений и широкий ассортимент решений компании Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.

www.keysight.com/find/B1506A



Информация в данном документе может быть изменена без предварительного уведомления.
© Keysight Technologies, 2016–2017
Published in USA, September 14, 2017
5992-1166RURU
www.keysight.com