

Keysight Technologies

Измерение характеристик БТИЗ до 1500 А и 10 кВ с помощью B1505A

Анализатор мощных устройств/характериограф B1505A

Рекомендации
по применению



Анализатор мощных
устройств /характериограф
B1505A

Расширитель для сверх-
больших значений силы тока/
устройство подключения
N1265A и расширитель для
больших значений силы тока
HVSMU N1266A

Расширитель для сверх-
больших значений напря-
жения N1268A

Введение

Анализатор мощных устройств/ характерограф B1505A компании Keysight — идеальный инструмент для измерения характеристик устройств, таких как биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT — БТИЗ). Сочетание широкого диапазона измерений (1500 А и 10 кВ) и расширенных функций обеспечивает эффективное техническое решение для измерения характеристик мощных устройств.

Анализатор B1505A поддерживает несколько внешних модулей, которые значительно расширяют его диапазон измерений. Эти модули включают: устройство сверхбольших значений силы тока (UNCU) с максимальной выходной силой тока 1500 А, устройство больших значений напряжения и средних значений силы тока (HVMCU) с максимальными выходными диапазонами силы тока/ напряжения 2,5 А/2200 В и устройство сверхбольших значений напряжения (UNVU) с максимальным выходным напряжением 10 кВ. Эти возможности обеспечивают точность, гибкость и простоту использования в ходе измерений характеристик силовых устройств, таких как БТИЗ.

Благодаря расширенному диапазону измерений анализатор B1505A может тестировать большинство силовых устройств (см. рисунок 1). Здесь показаны выходные диапазоны силы тока в зависимости от напряжения используемых типовых модулей B1505A, предназначенных для приложений высокой мощности. Оба модуля UNCU и HVMCU имеют возможность измерения импульсов высокой мощности длительностью 10 мкс, что даёт более точные результаты измерений за счёт исключения эффектов саморазогрева устройств.

Анализатор B1505A может также проводить точное измерение вольт- фарадных характеристик (ВФХ) при напряжении смещения до 3 кВ.

Анализатор B1505A облегчает непосредственное измерение параметров ёмкости БТИЗ. EasyEXPERT — программное обеспечение (ПО) на базе графического интерфейса пользователя, установленное в B1505A, поддерживает интерактивное и реальное управление свипированием в режиме характерографа.

ПО EasyEXPERT поддерживает автоматическую экстракцию параметров БТИЗ, что исключает необходимость трудоёмких ручных вычислений.

Эти свойства позволяют рассматривать анализатор B1505A в качестве замены традиционных характерографов и обеспечивают повышение эффективности тестирования и точности измерений.

В данных рекомендациях по применению мы рассмотрим примеры использования анализатора B1505A для измерения типовых параметров БТИЗ на постоянном токе.

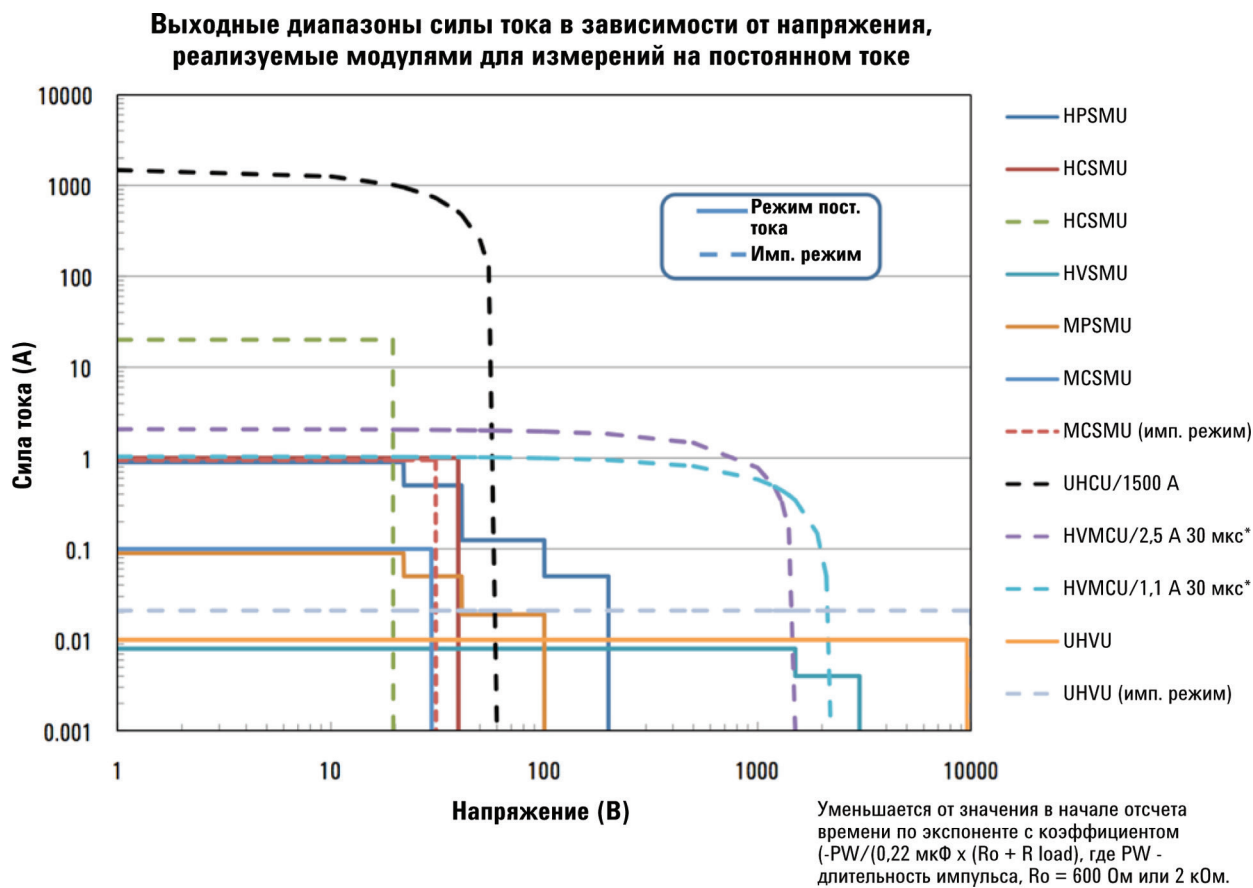


Рисунок 1. Выходные диапазоны силы тока анализатора B1505A.

Типовые параметры БТИЗ

Параметры постоянного тока и ёмкостные параметры, вносимые в перечень типовых характеристик или нормируемых технических характеристик БТИЗ, приведены в таблице 1. В крайнем правом столбце указаны пределы измерений, обеспечиваемые анализатором B1505A, для каждого параметра.

Ранее эти параметры могли быть измерены только путём использования дорогого производственного тестера мощных устройств, либо набора измерительных приборов, который включал характериограф, измеритель вольт-фарадных характеристик (ВФХ) и источник смещения постоянного тока. Однако, с выходом на рынок B1505A все эти параметры можно легко измерить с помощью одного прибора.

Таблица 1. Типовые параметры постоянного тока и ёмкостные параметры БТИЗ и пределы измерения анализатора B1505A.

Типовой параметр БТИЗ	Обозначение	Единица измерения	Измерение ¹	Типовой измерительный модуль	Типовой измеряемый диапазон анализатора B1505A
Напряжение пробоя коллектор-эмиттер	BVces	B	Ic-Vce	UHVU	От –10 кВ до 10 кВ ² (мин. разрешение 10 мВ)
Максимальное напряжение затвор-эмиттер	VGES	B	Ig-Vge	MCSMU	От –30 В до 30 В ³ (мин. разрешение 0,2 мкВ)
Ток коллектора (режим постоянного тока)	Ic	A	Ic-Vce	HPSMU	От –1 А до 1 А (мин. разрешение 10 нА)
Ток коллектора (импульсный режим)	Ic pulse	A	Ic-Vce	UHCU	От –1500 А до 1500 А ⁴ (мин. разрешение 2 мА)
Ток отсечки коллектор-эмиттер	ICES	A	Ic-Vce	UHVU	От –10 мА до 10 мА (при 10 кВ) ⁵ (мин. разрешение 10 нА)
Характеристики передачи	Ic	A	Ic-Vge	(Vc= пост. значение)	UHCU От –1500 А до 1500 А ⁴ (мин. разрешение 2 мА)
Ток утечки затвор-эмиттер	IGES	A	Ig-Vge	MCSMU	От –100 мА до 100 мА ⁶ (мин. разрешение 10 нА)
Пороговое напряжение затвор-эмиттер	VGE(th)	V	Ic-Vce (Vc=Vg)	SMU	От –30 В до 30 В ⁷ (мин. разрешение 0,2 мкВ)
Полная проводимость прямой передачи или полная междуэлектродная проводимость прямой передачи	yfs Gfs	См	Vce-Ic при Vce	UHCU	От 1 мСм до ~ 1000 См ⁸
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер	VCE(sat)	B	Vce-Vge при Ic-Vge	UHCU	От –10 В до 10 В ⁹ (мин. разрешение 100 мкВ)
Прямое напряжение диода	VFM	B	Ie-Vec	UHCU	От –10 В до 10 В ⁹ (мин. разрешение 100 мкВ)
Входная ёмкость	Cies	пФ	C-V (1 МГц)	MFCMU	Лучше, чем 1% при C < 10 нФ ¹⁰
Выходная ёмкость	Coes	пФ	C-V (1 МГц)	MFCMU	Лучше, чем 1% при C < 10 нФ ¹¹
Проходная ёмкость	Cres	пФ	C-V (1 МГц)	MFCMU	Лучше, чем 1% при C < 10 нФ ¹¹

1. Измерение, используемое для извлечения параметра.
2. 10 кВ/20 мА-UHVU; 2,2 кВ/1,1 А-HVMCU; 3 кВ/4 мА-HVSMU.
3. 30 В-MCSMU; 200 В-HPSMU; 100 В-MPSMU.
4. 1500 А-UHCU; 20 А-HCSMU; 2 А-HVMCU.
5. 10 кВ-UHVU; 3 кВ-HVSMU.
6. 30 В-MCSMU.
7. Ic: 50 мА-MPSMU (Vc < 40 В); 1000 А-UHCU (Vc < 20 В).
8. Приблизжённый подсчёт (примерные значения Ic/Vge: от 1 мА/1 В до ~ 100 А/100 мВ).
9. Типовые значения: 10 В при Ic < 1250 А, 3 В при Ic < 1400 А, 1 В при Ic < 1500А.
10. Коллектор и эмиттер закорочены конденсатором 1 мкФ.
11. Максимальное смещение постоянного тока 3000 В с высоковольтным тройником смещения.

Измерение типовых параметров БТИЗ

Анализатор В1505А может легко измерять типовые параметры БТИЗ. В следующем разделе мы покажем, как измерить некоторые из параметров, перечисленных в таблице 1.

Доступные режимы тестирования

Анализатор В1505А имеет четыре режима тестирования: режим характериографа (Tracer Test), режим прикладного тестирования (Application Test), режим классического тестирования (Classic Test) и режим быстрого тестирования (Quick Test). Каждый режим тестирования имеет свои уникальные возможности, которые мы осветим ниже.

Режим характериографа (Tracer Test) обеспечивает интерактивный интерфейс характериографа, который позволяет изменять параметры в реальном времени в процессе измерения, используя ручку передней панели анализатора В1505А. Режим характериографа (Tracer Test) поддерживает уникальные свойства, которых нет в традиционных характериографах, такие как возможности помещения маркеров и линий точно на характеристику и захвата экранных изображений в форматах, совместимых с ПК. Режим прикладного тестирования (Application Test) включает библиотеку стандартных тестов, которая исключает необходимость ручной установки большинства параметров прибора для наиболее распространенных тестов устройств (например, измерение зависимости тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер, Ic-Vce). В этом режиме можно проводить измерения, используя интуитивно-понятный интерфейс. Измерения и экстракция параметров проводится за один щелчок мыши.

Режим классического тестирования (Classic Test) обеспечивает полный доступ ко всем возможностям измерения и анализа ПО EasyEXPERT. Установки параметров измерения, созданные в режиме характериографа (Tracer Test), можно импортировать в режим классического тестирования, и к ним добавить вычисления автоматического анализа. Полученные таким образом установки параметров режима классического тестирования можно затем использовать как в интерактивном режиме, так и для автоматического тестирования.

Режим быстрого тестирования (Quick Test) предлагает удобные средства для автоматизации установки параметров тестирования, созданных в режимах характериографа, прикладного тестирования или классического тестирования без программирования. Пользователь может автоматизировать создание тестовых последовательностей при тестировании как в устройстве подключения (держателе), так и на пластине по всей её поверхности, используя драйверы установок зондового контроля, поставляемые вместе с ПО EasyEXPERT.

Примеры измерений

Следующие примеры иллюстрируют экстракцию параметров БТИЗ с использованием различных режимов тестирования.

1. Выходные характеристики: Ic-Vce

На рисунке 2 показан результат измерения выходных характеристик БТИЗ (зависимости тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер, Ic-Vce) в режиме характериографа (Tracer Test). Этот пример показывает, как возможность управления свипированием с помощью ручки передней панели в режиме характериографа позволяет интерактивно контролировать максимальное значение напряжения коллектора при свипировании (изменении в заданных пределах) в реальном времени в процессе проведения измерения. Управление свипированием с помощью ручки особенно полезно для определения правильных значений напряжения и силы тока для коллектора и затвора, поскольку эти параметры обычно отличаются даже для одного и того же типа устройств.

Заметим, что измерение, показанное на рисунке 2, было проведено с предельным значением уровня мощности, установленным равным 3,5 кВт (показан красной линией). Это было сделано, чтобы избежать превышения максимально допустимой мощности (пределов области безопасной работы) в импульсном режиме работы устройства.

Две белые пунктирные линии отображают предельные значения выходного напряжения и силы тока (соответственно). Можно проводить измерения устройства при высоком значении силы тока и низком напряжении, но необходимо также учитывать максимально допустимое напряжение в области измерения низких значений силы тока. Предельное значение силы тока гарантирует, что для данного устройства максимально допустимое значение силы тока не будет превышено.

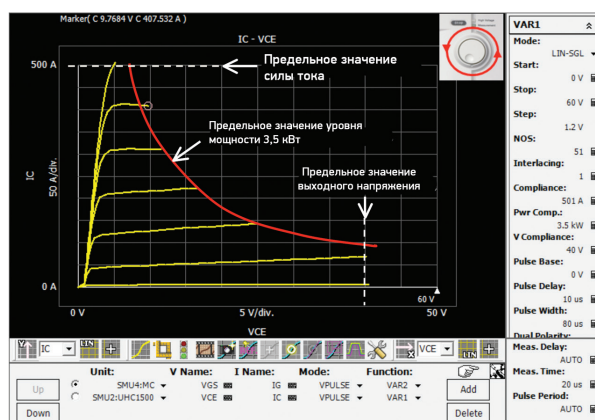


Рисунок 2. Пример измерения зависимости тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер (Ic-Vce) в режиме характериографа (UHCU).

2. Характеристики БТИЗ в открытом состоянии: I_c - V_{ce}

На рисунке 3 показан пример измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) — зависимости тока коллектора от напряжения коллектор-эмиттер (I_c - V_{ce}) типового БТИЗ — в открытом состоянии. Точка, в которой был помещён маркер на этом графике, соответствует отсчёту 2,77 В при 1511 А.

Максимальное выходное напряжение устройства сверхбольших значений силы тока (UHCU) было установлено равным 60 В. Правда, действительное напряжение, подаваемое на тестируемое устройство (ТУ), не совпадает с установленным значением. Пользователь должен учитывать падение напряжения на выходном сопротивлении UHCU (типичное значение равно 40 мОм). Предельное значение напряжения было установлено равным 5 В для исключения ненужных измерений в области низких значений силы тока.

3. Напряжение насыщения: V_{ce} - V_{ge}

Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, определяемое по характеристике зависимости напряжения коллектор-эмиттер от напряжения затвор-эмиттер (V_{ce} - V_{ge}), является важным параметром для приложений, связанных с решением задач коммутации. На рисунке 4 показаны характеристики насыщения V_{ce} - V_{ge} для четырёх постоянных значений тока коллектора от 50 до 200 А с шагом 50 А.

Это измерение было проведено с помощью устройства сверхбольших значений тока (UHCU), которое использовалось в качестве источника постоянного неизменяющегося тока, присоединённого к коллектору. Сделать это с помощью традиционного характерографа было бы невозможно, поскольку он имеет только режим источника напряжения. Ранее это измерение можно было провести только с использованием очень дорогих производственных тестеров мощных устройств. Однако, устройство сверхбольших значений тока (UHCU) анализатора B1505A позволяет легко провести это измерение.

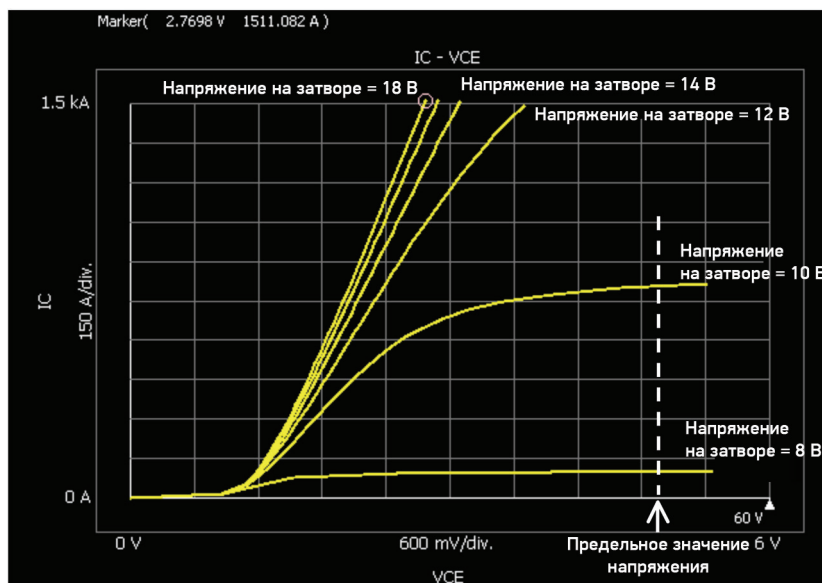


Рисунок 3. Характеристики БТИЗ в открытом состоянии (UHCU).

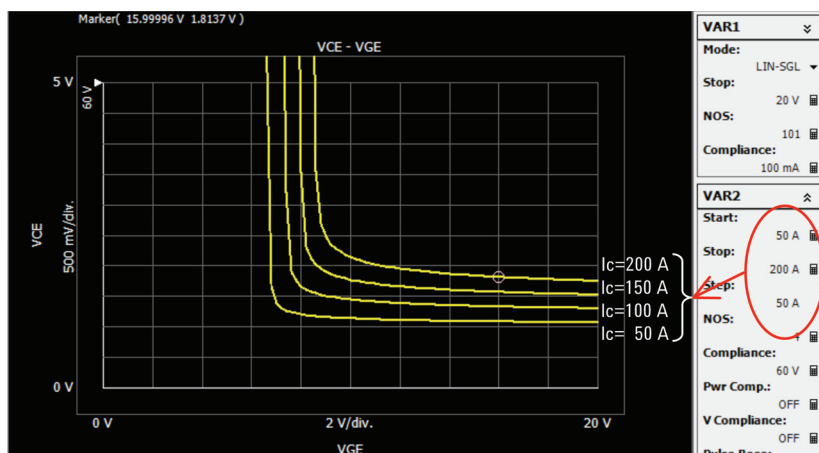


Рисунок 4. Характеристики зависимости напряжения коллектор-эмиттер от напряжения затвор-эмиттер (V_{ce} - V_{ge}) БТИЗ в открытом состоянии (UHCU).

4. Характеристики БТИЗ вблизи пробоя

На рисунке 5 показан пример измерения характеристик БТИЗ вблизи пробоя.

Это измерение было проведено посредством подключения устройства больших значений напряжений и средних значений силы тока (HVMSU) к коллектору БТИЗ. Максимальное выходное напряжение HVMSU было установлено равным 1500 В с учётом падения напряжения из-за выходного сопротивления HVMSU (в этом примере оно равно 600 Ом). Предельное значение напряжения было установлен таким, чтобы оно не превышало максимально допустимого напряжения коллектора, определённого в технических характеристиках.

5. Переходные характеристики: Ic-Vge

Измерение характеристик зависимости тока коллектора от напряжения затвор-эмиттер (I_c - V_{ge}) обычно проводится при фиксированном значении напряжения коллектора. Поскольку характеристики имеют внутреннее выходное сопротивление, невозможно с их помощью подать на коллектор БТИЗ постоянное напряжение, если ток коллектора изменяется, из-за падения напряжения на выходном сопротивлении, которое равно произведению силы тока на сопротивление.

Стандартная библиотека ПО EasyEXPERT анализатора B1505A содержит в своём составе прикладной тест Ic-Vge, при проведении которого автоматически компенсируется падение напряжения, вызванное выходным сопротивлением (см. рисунок 6). Примечание: в левом окне на рисунке 6 показано отображение графического интерфейса пользователя для установки параметров тестирования, а в правом окне — отображение результатов измерения.

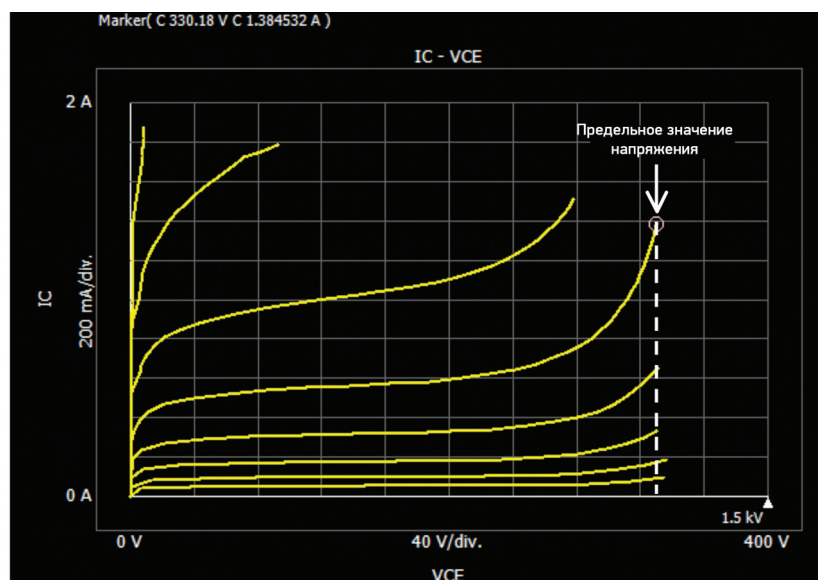


Рисунок 5. Характеристики БТИЗ вблизи пробоя (HVMSU).

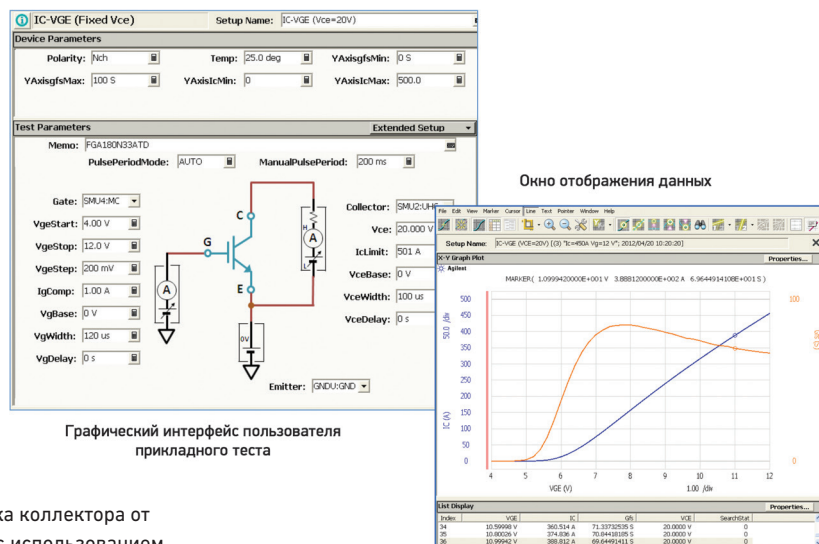


Рисунок 6. Переходные характеристики зависимости тока коллектора от напряжения затвор-эмиттер БТИЗ (I_c - V_{ge}), измеренные с использованием прикладного теста.

6. Тестирование напряжения пробоя до 10 кВ

Устройство сверхбольших значений напряжения (UHVU) поддерживает измерение напряжения пробоя до 10 кВ. На рисунке 7 показан пример тестирования напряжения пробоя с использованием UHVU. В этом примере напряжение пробоя тестируемого устройства приблизительно равно 8 кВ.

Другие свойства

Представление в формате осциллографа

ПО EasyEXPERT (версия 5 или более поздняя) поддерживает представление в формате осциллографа (Oscilloscope View) (см. рисунок 8) на экране анализатора B1505A, которое позволяет контролировать формы сигналов при измерении импульсов с разрешением 2 мкс. Этот формат представления имеет следующие свойства:

- ВАХ и формы импульсов отображаются одновременно.
- Форму измеренных импульсов можно контролировать в любой точке.
- Как значение напряжения, так и силы тока можно считывать, используя линию маркера.
- Условия измерения импульсов можно изменять в процессе измерения, и оперативно проверять получающиеся в результате формы сигналов.

Большие сигналы тока, подаваемые на коллектор, могут искажаться паразитными элементами (такими, как индуктивность кабеля установки для тестирования), и эти паразитные элементы могут приводить к непредсказуемым результатам измерения.

Представление в формате осциллографа помогает предотвратить это, обеспечивая точное отображение формы сигнала, а также относительное временное расположение сигналов коллектора и затвора. Это позволяет настроить параметры синхронизации таким образом, чтобы достичь оптимальных условий измерения.

Представление в формате осциллографа сокращает время отладки, повышая при этом также качество данных измерения.

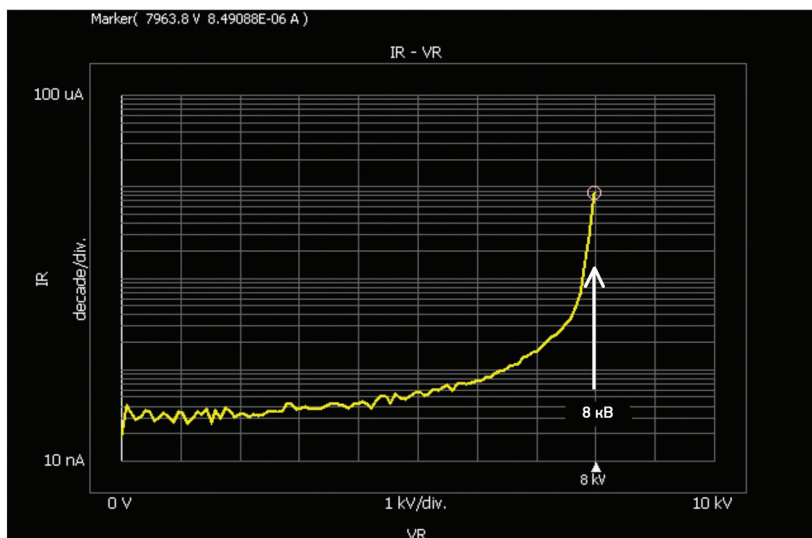


Рисунок 7. Тестирование напряжения пробоя до 10 кВ (UHVU).

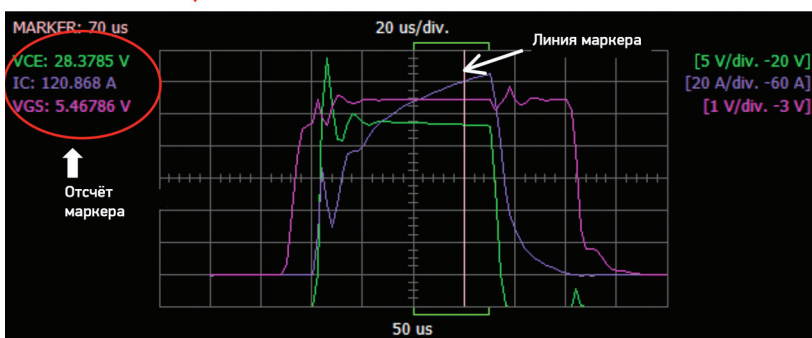
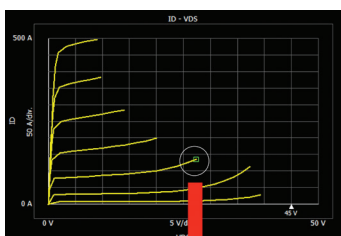


Рисунок 8. Представление в формате осциллографа.

Свойства

- ВАХ и формы импульсов отображаются одновременно.
- Форму измеренных импульсов можно контролировать в любой точке.
- Как значение напряжения, так и силы тока можно считывать, используя линию маркера.
- Условия измерения импульсов можно изменять в процессе измерения, и оперативно проверять получающиеся в результате формы сигналов.

Селектор выбора модуля для подачи напряжения/силы тока на коллектор БТИЗ

Измерение параметров БТИЗ требует подачи на коллектор напряжения и силы тока в широких диапазонах значений. Это означает, что модули, показанные на рисунке 9, должны переключаться в зависимости от того, какое конкретное измерение требуется провести. На рисунке 9 показана упрощенная структурная схема селектора модуля расширителя для сверхбольших значений тока/устройства подключения N1265A.

Он исключает трудоёмкую задачу переподключения кабелей для различных типов измерений, устраняя любую возможность ошибки оператора. ПО EasyEXPERT автоматически выбирает соответствующий модуль в зависимости от заданного теста.

Измерения на пластине

Измерения на пластине можно проводить для значений силы тока более чем 500 А и напряжения до 10 кВ. Максимальное значение силы тока в действительности ограничивается иглами пробников установок зондового контроля, а не анализатором B1505A.

Кабель установки зондового контроля для сверхбольших значений силы тока N1254A-524, поставляемый по дополнительному заказу, способен поддерживать измерения до 500 А и 3 кВ. Рисунок 10 иллюстрирует подключение к установке зондового контроля с использованием этого кабельного удлинения. Это кабельное удлинение можно также использовать для измерений сверхбольших значений силы тока внутри термостатической камеры.

Примечание: для проведения измерений в диапазоне от 3 до 10 кВ сигнал должен быть подан в обход селектора модуля, а устройство сверхбольших значений силы тока (UHVU) необходимо подключать непосредственно к тестируемому устройству (ТУ).

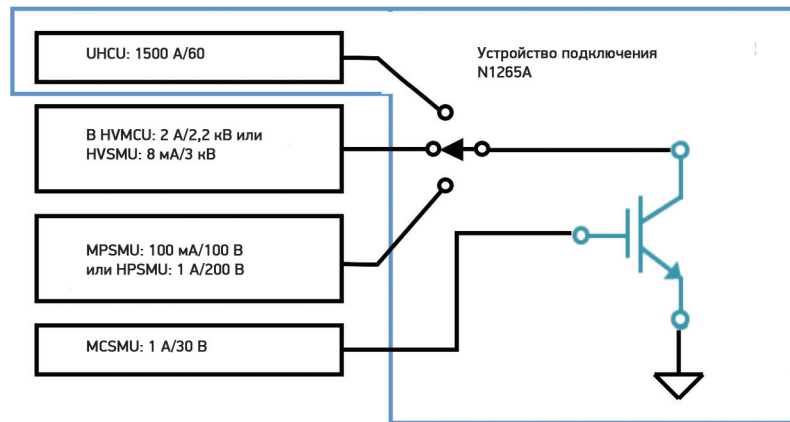


Рисунок 9. На тестируемое устройство (ТУ) можно подать до 1500 А и 3 кВ без какого-либо изменения кабельных соединений.

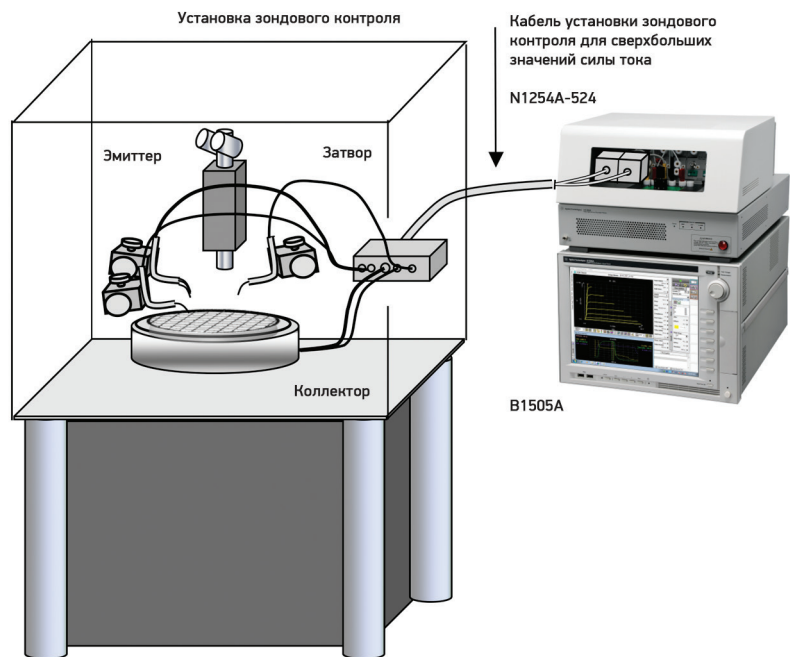


Рисунок 10. Подключение к установке зондового контроля с использованием кабеля установки зондового контроля для сверхбольших значений силы тока N1254A-524.

Заключение

В данных рекомендациях по применению мы рассказали, как использовать анализатор B1505A для измерения типовых параметров на постоянном токе, которые заданы в технических данных коммерческих БТИЗ.

Анализатор B1505A имеет четыре режима тестирования: режим трассировки (Tracer Test), режим прикладного тестирования (Application Test), режим классического тестирования (Classic Test) и режим быстрого тестирования (Quick Test). Эти режимы предлагают различные варианты решений для тестирования характеристик устройств.

Диапазон измерения анализатора B1505A — до 10 кВ и 1500 А. Встроенный селектор N1265A упрощает переключение измерительных модулей для подачи на коллектор БТИЗ требуемой величины напряжения и силы тока. Измерения на пластине могут проводиться для значений напряжения максимум 10 кВ и силы тока более чем 200 А.

Представление в формате осциллографа является неоценимым средством для создания установок и настройки параметров для надёжных и точных измерений характеристик устройств.

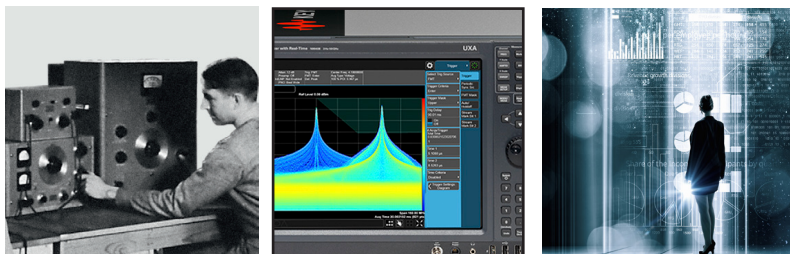
Эти возможности в сочетании с многочисленными функциями анализа данных B1505A образуют средство измерения характеристик БТИЗ, которое соответствует современному техническому уровню и значительно превосходит возможности традиционных характериографов.

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

(BP-16-10-14)



www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.

Сертифицировано DEKRA на соответствие
стандарту ISO 9001:2015

Система управления качеством

Информация может быть изменена без
уведомления.

© Keysight Technologies, 2017

Published in USA, December 01, 2017

5991-0913RURU

www.keysight.com