

## Введение

В этом руководстве описывается приложение Double Pulse, предназначенное для работы с генератором сигналов произвольной формы/функций Tektronix серии AFG31000.

Приложение Double Pulse — это загружаемый в прибор программный модуль. Приложение используется для измерений параметров переключения и оценки динамических характеристик силовых приборов. Обычно в генераторах функций не предусмотрено управление длительностью импульсов, а регулировка длительности импульсов во время работ может оказаться сложной задачей. Приложение Double Pulse, объединяющее функциональные возможности генератора функций и тестера двойным импульсом, позволяет выполнять тестирование двойным импульсом при помощи генератора функций.

Пользуясь приложением, можно измерять следующие параметры переключения:

- Параметры включения: задержка включения ( $t_{d(on)}$ ), время нарастания ( $t_r$ ), время включения ( $t_{on}$ ), энергия потерь при включении  $E_{on}$ , скорость нарастания напряжения  $dv/dt$  и скорость нарастания тока  $di/dt$ . Затем определяются потери энергии.
- Параметры выключения: задержка выключения ( $t_{d(off)}$ ), время спада ( $t_f$ ), время выключения ( $t_{off}$ ), энергия потерь при выключении  $E_{off}$ , скорость спада напряжения  $dv/dt$  и скорость спада тока  $di/dt$ . Затем определяются потери энергии.
- Параметры обратного восстановления: время обратного восстановления ( $t_{rr}$ ), ток обратного восстановления ( $I_{rr}$ ), заряд обратного восстановления ( $Q_{rr}$ ), энергия обратного восстановления ( $E_{rr}$ ), скорость изменения тока  $di/dt$  и прямое падение напряжения ( $V_{sd}$ ).

По результатам тестирования приборов двойным импульсом можно:

- гарантировать характеристики, указанные в технических описаниях силовых приборов;
- подтвердить фактические значения или отклонения характеристик силовых приборов или модулей;
- измерять параметры переключения при заданном токе и работе с другими устройствами.

## Установка приложения

С инструкциями по установке приложений на прибор с USB-накопителя можно ознакомиться в *Руководстве пользователя AFG31000 (0771473)*.



## Технические характеристики приложения

Ниже приводятся технические характеристики приложения Double Pulse:

**Число импульсов:** 2—30 импульсов. Это число импульсов, генерирование которых обеспечивает приложение.

**Верхний/Нижний уровень:**

- Минимальный: –5 В
- Максимальный: +5 В

**Длительность импульса:**

- Минимальная: 20 нс
- Максимальная: 150 мкс
- Разрешение: 1 нс

**Запуск:** ручной, внешний, по таймеру

**Импеданс нагрузки:** 50 Ом и Высокий Z

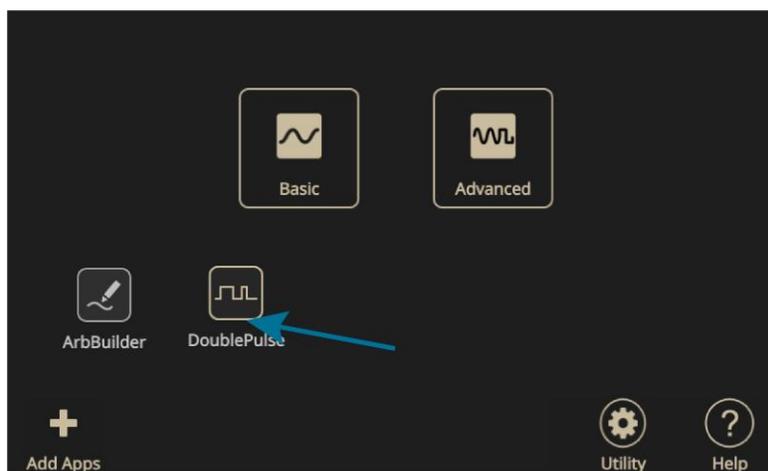
## Навигация по приложению

В следующих разделах описывается порядок запуска приложения Double Pulse, навигации и выполнения тестов при помощи приложения.

### Как открыть приложение

После загрузки приложения Double Pulse на экране домашней страницы генератора AFG31000 под кнопками режимов работы Базовый и Расширенный появится значок приложения. Если щёлкнуть на значок Double Pulse, приложение откроется.

**Рисунок 1: экран домашней страницы генератора AFG31K**



---

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Если значок приложения не появляется, просмотрите инструкции в руководстве пользователя генератора AFG31000 (0771473).

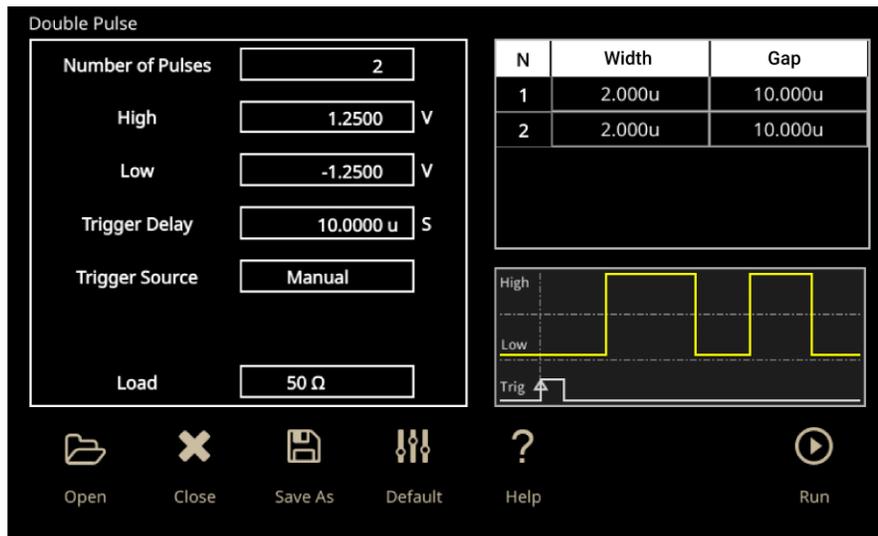
---

## Настройка тестирования двойным импульсом

После открытия приложения Double Pulse можно настроить тестирование двойным импульсом. На следующем рисунке приводится вид экрана с настройками тестирования двойным импульсом. На этом экране можно настроить следующие параметры:

- Число импульсов (N): от 2 до 30 импульсов
- Верхний и нижний уровни напряжения
- Задержка запуска
- Источник запуска: ручной, внешний или по таймеру
- Нагрузка: 50 Ом или Высокий Z

Рисунок 2: Экран приложения Double Pulse



После завершения настройки выберите кнопку **Пуск**, чтобы начать тестирование. Чтобы завершить тестирование, щёлкните на кнопку **Конец**.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** При выборе кнопки Закрывать настройки приложения не сбрасываются. При выборе кнопки По умолч. настройки возвращаются до настроек по умолчанию.

## Сохранение и извлечение данных

В приложении Double Pulse можно сохранять и открывать тесты, записанные во внутренней памяти прибора AFG31000 или на USB-накопителе.

### **Чтобы сохранить результаты завершённого теста:**

1. В окне приложения Double Pulse щёлкните на кнопку **Сох. как**.
2. Выберите кнопку Память для сохранения данных во внутренней памяти либо кнопку USB для сохранения на накопителе.
3. Перейдите к требуемой папке либо создайте папку на правой панели и выберите папку.
4. Нажмите кнопку **ОК**.

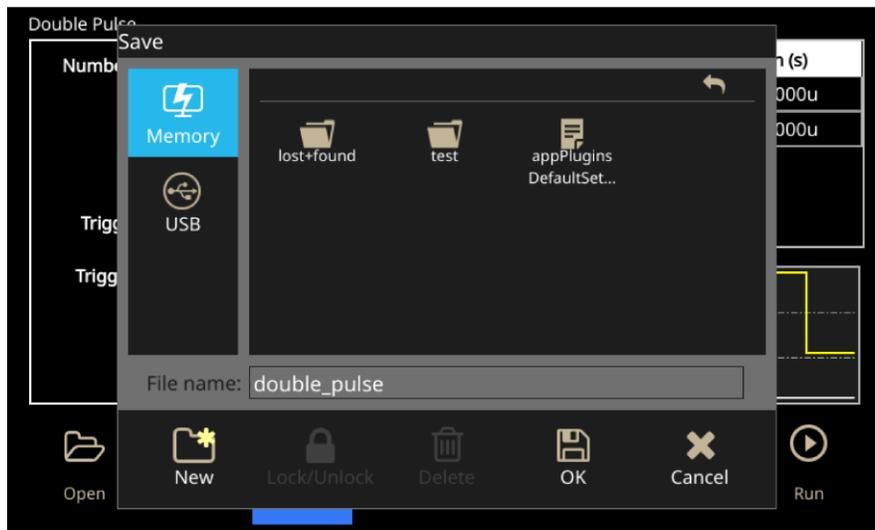
---

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Приложение Double Pulse сохраняет тесты в виде файлов с расширением .json и .tfwx.

---

На следующем рисунке показан вид окна с опциями сохранения.

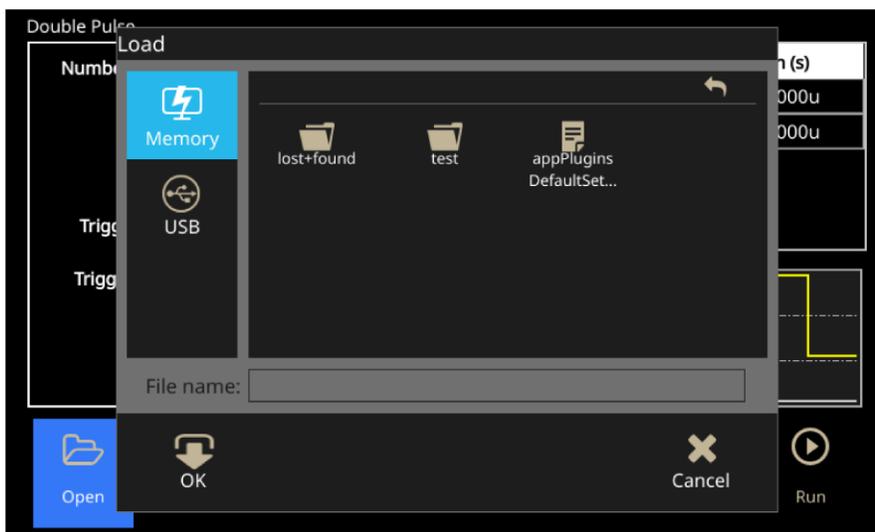
**Рисунок 3: Окно Сохранить**



**Чтобы извлечь ранее сохранённые данные:**

1. В окне приложения Double Pulse щёлкните на кнопку **Открыть**.
2. Выберите на левой панели местоположение сохранённых данных.
3. Перейдите к требуемой папке на правой панели и выберите файл.
4. Нажмите кнопку **ОК**.

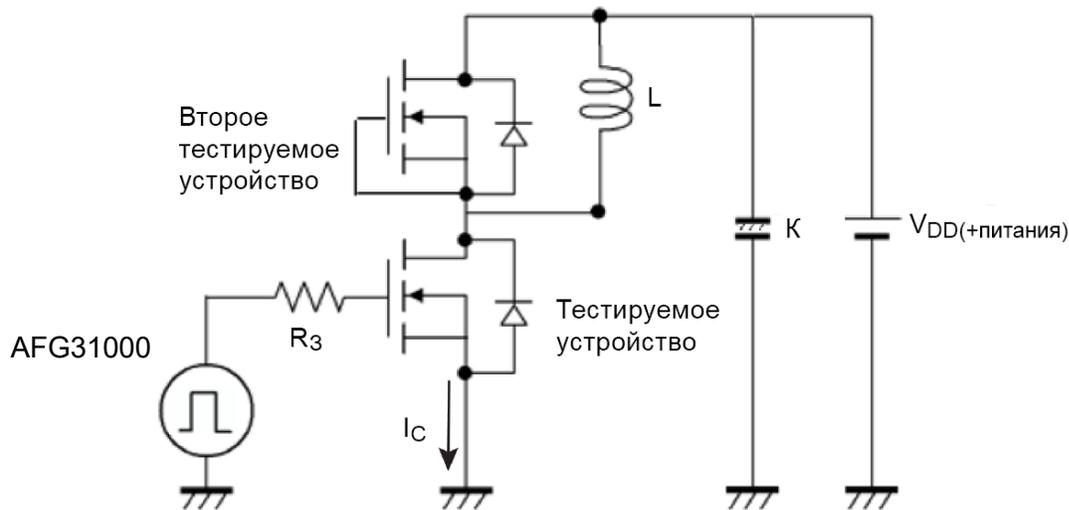
На следующем рисунке показан вид окна с опциями открытия файлов.

**Рисунок 4: Окно Открыть**

## Порядок работы с приложением Double Pulse

Для тестирования с использованием приложения Double Pulse можно задействовать источник питания и индуктивную нагрузку. Внешние импульсы, поступающие от генератора сигналов произвольной формы/функций Tektronix (AFG31K), переключают и открывают затвор полевого МОП-транзистора, и через затвор начинает протекать ток. На следующем рисунке изображена типичная схема измерений параметров переключения силового прибора. В этой схеме для измерения всех параметров переключения используются два тестируемых устройства.

**Рисунок 5: Схема тестирования двойным импульсом**



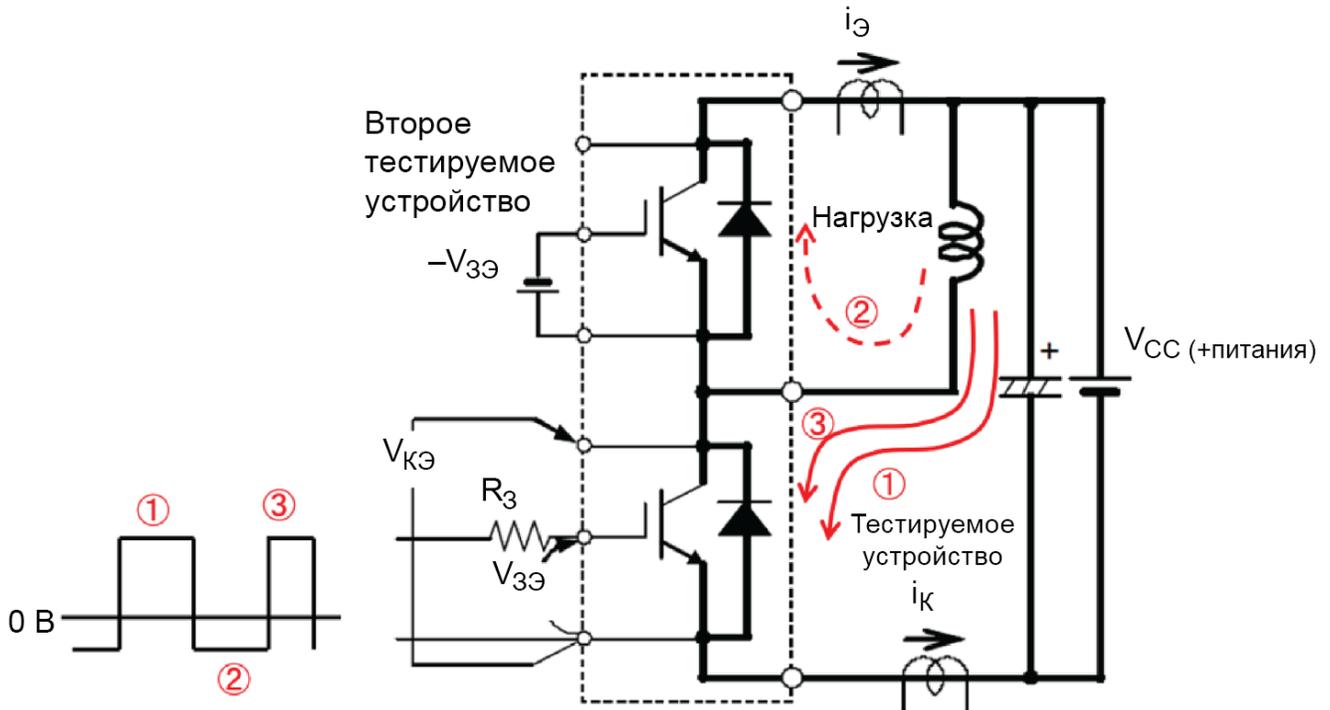
**ПРИМЕЧАНИЕ.** Чтобы получить точное значение тока переключения, нужно отрегулировать длительность первого импульса. Чем дольше тестируемое устройство будет в открытом состоянии, тем выше будет ток, нарастающий за это время.

При помощи приложения Double Pulse можно создавать импульсы с разной длительностью. Длительность первого импульса регулируется, чтобы получить желаемое значение тока переключения, после чего длительность второго импульса можно изменять независимо от первого. Обычно второй импульс короче, чем первый — этим предотвращается повреждение силового прибора. Кроме того, можно регулировать временные интервалы между импульсами.

## Тестирование двойным импульсом

На следующем рисунке приводится схема тестирования двойным импульсом со схематическим изображением поведения диодов со стороны высокого напряжения. Первая, вторая и третья позиции соответствуют шагам в последовательности операций.

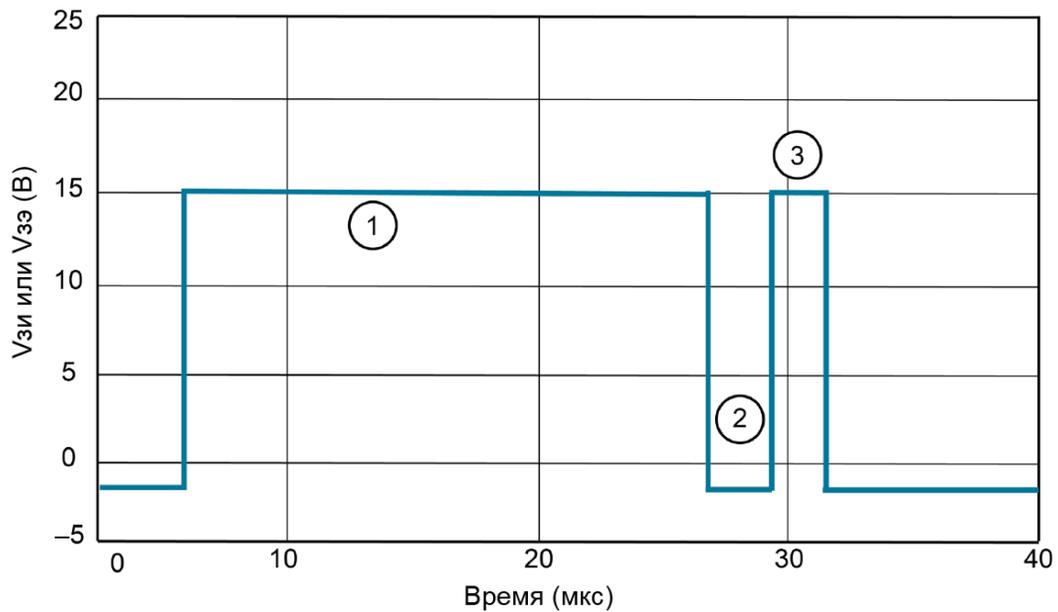
**Рисунок 6: Схематическое изображение процессов при тестировании двойным импульсом**



На следующих двух рисунках представлена последовательность операций при тестировании двойным импульсом. На первом рисунке импульс изображён в виде последовательности операций, при которых измеряется напряжение на затворе тестируемого устройства.

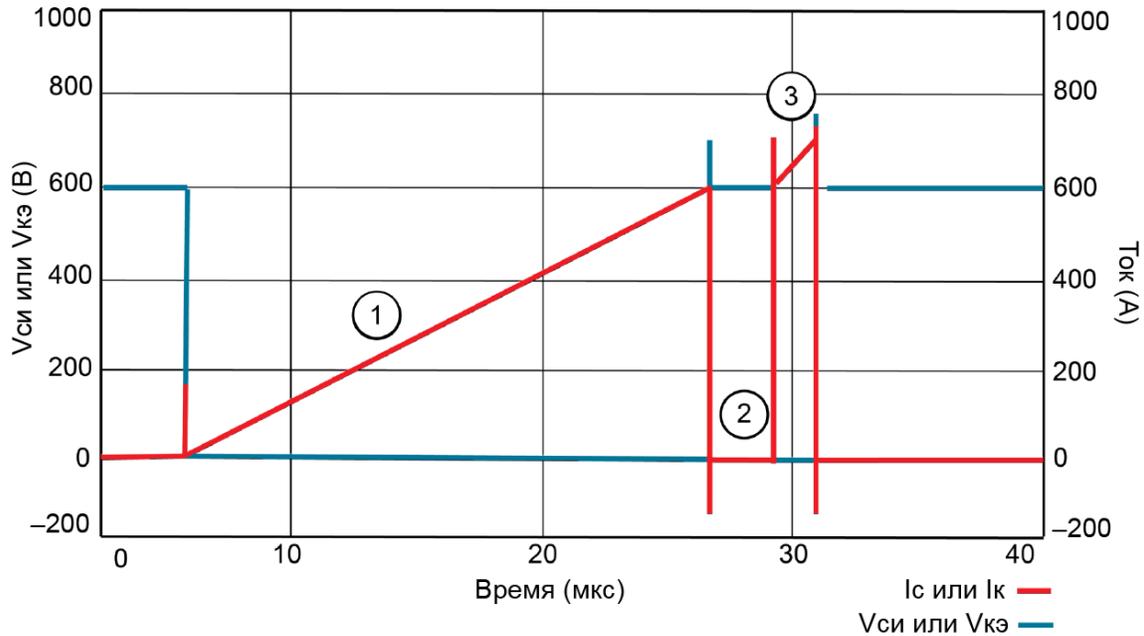
- Первый шаг последовательности — это подача первого импульса с регулируемой длительностью. Этот импульс определяет величину тока в индуктивной тестовой нагрузке.
- Следующий шаг соответствует интервалу времени между импульсами. В этот промежуток времени токовая нагрузка постоянна.
- Третьим шагом является подача второго импульса при условии наличия предварительного заряда.

**Рисунок 7: График тестирования двойным импульсом**



На втором рисунке изображены сигналы тока стока и напряжения стока, полученные в результате тестирования. На этом рисунке используется та же последовательность шагов, как и на первом рисунке. Разница заключается лишь в том, что на рисунке представлены два импульса: от биполярного транзистора с изолированным затвором (БТИЗ) и полевого МОП-транзистора. Линиями синего цвета указано напряжение стока. Линиями красного цвета — ток стока. Наличие выбросов связано со звоном тока.

**Рисунок 8: Результаты тестирования двойным импульсом полевого МОП-транзистора и БТИЗ**



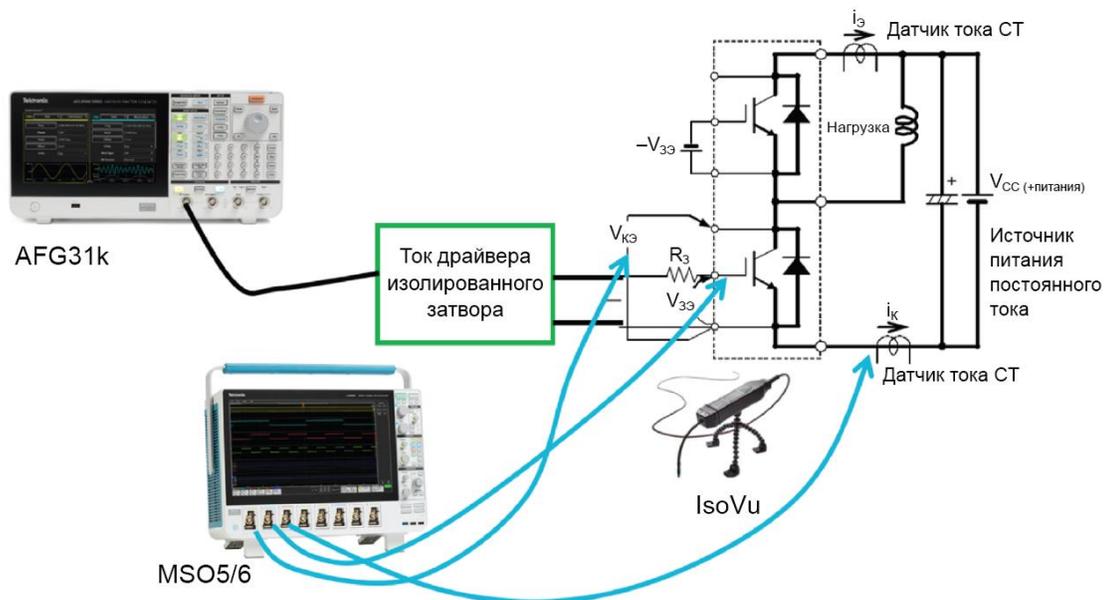
**ПРИМЕЧАНИЕ.** Элементы БТИЗ используются в схематических обозначениях, а сигналы для МОП-транзистора и БТИЗ идентичны. При выполнении шага 2 ток, протекающий через второе тестируемое устройство, не измеряется.

## Схема подключения оборудования для тестирования двойным импульсом

На следующем рисунке изображена схема подключения оборудования для тестирования двойным импульсом. Для тестирования требуется следующее оборудование:

- AFG31000 — для генерирования управляющего сигнала;
- осциллограф (в этой схеме используется MSO5/6) — для измерений управляющего сигнала (напряжение стока или коллектора), а также тока стока или тока коллектора в зависимости от тестируемого устройства;
- пробник IsoVu Prober — с высоким коэффициентом подавления синфазного сигнала. Служит для передачи сигналов затвора на осциллограф.

Рисунок 9: Схема подключения оборудования для тестирования двойным импульсом



На рисунке выше осциллограф измеряет параметры тестируемого устройства на канале 3. Параметры второго тестируемого устройства (см. предыдущую схему) можно измерять на канале 4.

---

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Приложение Double Pulse является одноканальным решением, обеспечивающим генерирование импульсов на канале 1.

---

Представленная схема подключения оборудования для тестирования двойным импульсом позволяет:

- анализировать переходные процессы и потери энергии при переключении на этапе переключения больших нагрузок;
- исследовать характеристики переключения реальных приборов и сравнивать их с симуляцией;
- оценивать быстрые переходные процессы при переключении, которые могут привести к коммутационным перегрузкам транзистора и появлению выбросов и звона напряжения и тока;
- проверять системы защиты от короткого замыкания в схеме драйвера затвора (токи КЗ).

## Важная информация по технике безопасности

Настоящее руководство содержит правила и предостережения, которые следует соблюдать для безопасной эксплуатации прибора и поддержания его в безопасном состоянии.

Информация по безопасному обслуживанию прибора приводится в конце этого раздела. См. [Правила техники безопасности при обслуживании](#).

## Общие правила техники безопасности

Используйте прибор только указанным способом. Внимательно ознакомьтесь с приведёнными правилами техники безопасности во избежание получения травм, повреждения прибора и подключённых к нему устройств. Внимательно прочитайте все инструкции. Сохраняйте это руководство для использования в будущем.

Соблюдайте все местные и общегосударственные нормы и правила безопасности.

Для правильной и безопасной эксплуатации прибора важно соблюдать не только приведённые в настоящем руководстве указания, но и общепринятые процедуры безопасности.

Прибор предназначен для использования только обученным персоналом.

Снимать крышку для ремонта, технического обслуживания или регулировки разрешается только квалифицированным специалистам, осведомлённым об источниках опасности в приборе.

Перед каждым использованием проверяйте прибор с помощью известного источника, чтобы убедиться в его исправности.

Этот прибор не предназначен для обнаружения опасных напряжений.

Используйте средства индивидуальной защиты при работе вблизи проводов под опасным напряжением во избежание поражения электрическим током или дуговым разрядом.

Во время работы с прибором может потребоваться доступ к другим компонентам более крупной системы. Следует ознакомиться с разделами по технике безопасности руководств по работе с другими компонентами системы, с мерами предосторожности и предупреждениями при её эксплуатации.

При использовании этого оборудования в составе системы ответственность за безопасность несёт изготовитель комплектной системы.

## Пожарная безопасность и предотвращение травм

**Используйте соответствующий шнур питания.** Для подключения прибора к сети электроснабжения следует использовать только шнур питания данного прибора, сертифицированный в стране использования.

Не используйте поставляемый в комплекте шнур питания с другими приборами.

**Используйте соответствующее значение напряжения.** Прежде чем включить питание, убедитесь, что переключатель выбора напряжения установлен в правильное положение, соответствующее напряжению в используемом источнике питания, либо измените напряжение, руководствуясь указанными в документе требованиями к питанию.

**Заземляйте прибор.** Прибор заземляется через провод заземления шнура питания. Во избежание поражения электрическим током провод заземления должен быть подключён к заземлению. Проверьте наличие защитного заземления, прежде чем выполнять подсоединение к выходам и входам прибора.

Не отсоединяйте проводник заземления шнура питания.

**Отключение питания.** Отсоединение шнура питания отключает прибор от источника электроэнергии. См. указания по размещению. Устанавливайте прибор таким образом, чтобы иметь постоянный доступ к шнуру для быстрого отсоединения при необходимости.

**Соблюдайте правила подсоединения и отсоединения.** Не подсоединяйте и не отсоединяйте приборы под напряжением.

Используйте только разъёмы и адаптеры, поставляемые с прибором или рекомендованные компанией Tektronix.

**Соблюдайте допустимые номиналы для всех разъёмов.** Во избежание воспламенения или поражения электрическим током не допускайте превышения допустимых номиналов и указаний в маркировке на приборе. Перед подсоединением прибора просмотрите дополнительные сведения по номинальным ограничениям, содержащиеся в руководстве по эксплуатации прибора. Пользуясь прибором, не превышайте номинальных значений для категории измерений (КАТ.), а также номинального напряжения и тока, которые указаны для отдельного компонента, имеющего самое низкое номинальное значение.

Не подавайте на разъёмы, в том числе на общий вывод, напряжение, превышающее номинальное допустимое для этих разъёмов.

Плавающий потенциал общей клеммы не должен превышать номинальное напряжение для этой клеммы.

**Не используйте прибор со снятыми элементами корпуса.** Эксплуатация прибора со снятыми кожухом, или защитными панелями, или с открытым корпусом не допускается. Возможен риск поражения опасным напряжением.

**Не прикасайтесь к оголённым участкам электрических цепей.** Не прикасайтесь к неизолированным соединениям и элементам под напряжением.

**Не используйте прибор при наличии сомнений в его исправности.** Если есть сомнения в исправности прибора, следует выполнить его диагностику с привлечением квалифицированного специалиста по техническому обслуживанию.

Отключите повреждённый прибор. Использование повреждённого или неправильно работающего прибора не допускается. При наличии сомнений в безопасности прибора выключите его и отсоедините шнур питания. Нанесите на прибор чёткую маркировку для предотвращения его дальнейшей эксплуатации.

Осмотрите прибор перед использованием. Убедитесь в отсутствии повреждений и наличии всех комплектующих деталей.

Используйте только указанные в спецификации запасные части.

**Пользуйтесь средствами для защиты зрения.** При наличии интенсивных световых потоков или лазерного излучения используйте средства для защиты глаз.

**Не пользуйтесь прибором в условиях повышенной влажности.** При перемещении прибора из холодного в тёплое помещение возможна конденсация влаги.

**Не пользуйтесь прибором во взрывоопасных средах.**

**Обеспечьте надлежащую вентиляцию.** Дополнительные сведения по обеспечению надлежащей вентиляции при установке прибора содержатся в инструкциях по установке в руководстве.

Не закрывайте доступ к вентиляционным отверстиям и щелям. Не вставляйте какие-либо предметы в отверстия.

**Обеспечьте безопасные условия в рабочей зоне.** Устанавливайте прибор таким образом, чтобы было удобно наблюдать за дисплеем и индикаторами.

Избегайте неправильного или продолжительного использования клавиатур, указателей и кнопочных панелей. Неправильное или продолжительное использование клавиатуры или указателя может привести к серьёзной травме.

Обеспечьте соответствие рабочей зоны эргономическим стандартам. Для предотвращения туннельного синдрома проконсультируйтесь со специалистом по эргономике.

Соблюдайте осторожность при подъёме и переносе прибора. Прибор снабжен ручками для подъёма и переноски.

Используйте только приспособления Tektronix для крепления в стойку, указанное для этого прибора.

**Содержите прибор в чистоте в сухом месте.** Перед чисткой прибора отключите все источники входных сигналов. Периодичность проверки прибора определяется условиями его эксплуатации. Чтобы очистить наружные поверхности, выполните следующие действия:

1. Удалите пыль с поверхности прибора при помощи салфетки без ворса. Будьте осторожны, чтобы не поцарапать прозрачный стеклянный фильтр экрана.
2. Для очистки прибора пользуйтесь мягкой влажной салфеткой. Для более эффективной очистки подходит 75-процентный водный раствор изопропилового спирта.



**ОСТОРОЖНО!** При чистке наружной поверхности не допускайте проникновения влаги внутрь прибора. Не используйте чистящего раствора больше, чем требуется для смачивания ткани или щётки. Чтобы избежать повреждения прибора, не следует использовать для очистки аэрозоли, жидкости, растворители, абразивные или химические вещества.

## Предостережения в данном руководстве

В настоящем руководстве используются следующие условные обозначения:



**ВНИМАНИЕ!** Предупреждения о действиях и условиях, опасных для жизни или способных нанести вред здоровью.



**ОСТОРОЖНО!** Предостережения о действиях и условиях, способных привести к повреждению данного прибора или другого оборудования.

## Правила техники безопасности при обслуживании

В этом разделе приводится дополнительная информация, требуемая для безопасного обслуживания прибора. Обслуживание прибора следует поручать только квалифицированным специалистам. Прежде чем выполнять какие-либо процедуры по обслуживанию, ознакомьтесь с *Правилами техники безопасности при сервисном обслуживании* и с «Общими правилами техники безопасности».

**Во избежание поражения электрическим током.** Не прикасайтесь к оголённым соединениям.

**Не выполняйте техническое обслуживание в одиночку.** При выполнении работ по обслуживанию или настройке внутри прибора рядом должен находиться напарник, способный оказать первую помощь и выполнить реанимационные мероприятия.

**Отсоедините шнур питания.** Во избежание поражения электрическим током выключайте прибор и отсоединяйте шнур питания от сети перед снятием крышек и панелей или открытием корпуса для технического обслуживания.

**Соблюдайте меры предосторожности при обслуживании прибора под напряжением.** В приборе могут присутствовать опасные напряжения и токи. Перед снятием защитных панелей, пайкой или заменой компонентов отключите питание, извлеките батарею (при наличии) и отсоедините измерительные провода.

**Проверка безопасности прибора после ремонта.** По завершении ремонта всегда проверяйте целостность цепи заземления и электрическую прочность изоляции.

## Символы и условные обозначения на приборе

Список возможных обозначений на приборе приведен ниже:

- Обозначение «ОПАСНО!» указывает на непосредственную опасность получения травмы.
- Обозначение «ВНИМАНИЕ!» указывает на риск получения травмы при отсутствии непосредственной опасности.
- Обозначение «ОСТОРОЖНО!» указывает на риск повреждения данного прибора и другого имущества.



Если этот символ имеется на корпусе прибора, следует обратиться к руководству по работе с ним для выяснения характера потенциальной опасности и требуемых мер предосторожности. (Этот символ может использоваться в руководстве для указания на предельные допустимые значения).

На приборе могут быть размещены следующие символы:

