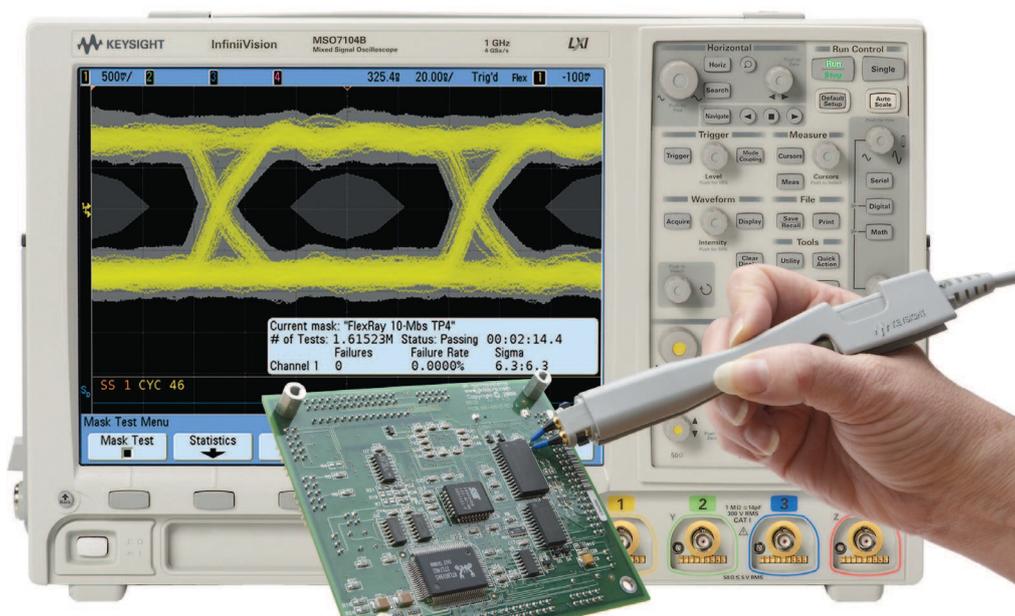


# Keysight Technologies

## Восемь советов по использованию пробников для повышения качества осциллографических измерений

Рекомендации  
по применению



## 8 советов по использованию пробников для повышения качества осциллографических измерений

Надлежащее подключение к тестируемому устройству очень важно для проведения качественных осциллографических измерений, а пробник зачастую является первым звеном в цепи осциллографического измерения. Если характеристики пробника не соответствуют Вашей прикладной задаче, Вы будете наблюдать на экране осциллографа искажённые или вводящие в заблуждение сигналы. Выбор надлежащего пробника для решения конкретной задачи — это первый шаг в направлении к получению надёжных результатов измерений. То, как Вы используете пробник, также влияет на возможность проводить точные измерения. В данных рекомендациях по применению Вы найдёте восемь полезных советов по выбору пробника для Ваших задач и его использованию для повышения качества осциллографических измерений. Следующие полезные советы помогут Вам избежать наиболее распространённых ошибок при проведении измерений.

Совет 1 – Пассивный или активный пробник?

Совет 2 – Проверка нагрузки, создаваемой пробником для тестируемого устройства, с помощью двух пробников

Совет 3 – Компенсация пробника перед использованием

Совет 4 – Советы по измерению тока низкого уровня

Совет 5 – Проведение безопасных измерений, изолированных от цепей заземления, с помощью дифференциального пробника

Совет 6 – Проверка ослабления синфазных сигналов

Совет 7 – Проверка связи пробника

Совет 8 – Демпфирование резонанса

## Совет #1

Пассивный или активный пробник?

Для стандартных измерений в диапазонах низких и средних частот (менее чем 600 МГц) хорошим выбором являются высокоимпедансные пассивные пробники с резисторным делителем. Эти прочные и недорогие пробники обладают широким динамическим диапазоном (более чем 300 В) и высоким входным сопротивлением для согласования с входным импедансом осциллографа. Однако они представляют более высокую ёмкостную нагрузку для тестируемого устройства и имеют менее широкие полосы пропускания, чем низкоимпедансные (z0) пассивные и активные пробники. В целом, высокоимпедансные пассивные пробники являются отличным выбором для отладки и поиска неисправностей большинства аналоговых и цифровых схем.

Для высокочастотных приложений (больше чем 600 МГц), когда требуется точность измерений во всём широком диапазоне частот, необходимы активные пробники. Они дороже, чем пассивные пробники, и их входной динамический диапазон по напряжению ограничен, но вследствие значительно меньшей ёмкостной нагрузки для тестируемого устройства они обеспечивают возможность более точного исследования быстрых сигналов.

На рисунке 1-1 показан снимок экрана осциллографа с полосой пропускания 600 МГц (осциллограф DS09064A компании Keysight), измеряющего сигнал, который имеет время нарастания 600 пс. На рисунке слева для измерения сигнала был использован пассивный пробник N2873A с полосой пропускания 500 МГц компании Keysight. На рисунке справа для измерения этого же сигнала был использован несимметричный активный пробник N2796A с полосой пропускания 2 ГГц компании Keysight. Жёлтый график отображает сигнал перед тем, как к нему был подключён пробник, он один и тот же в обоих случаях. Зелёный график отображает сигнал после того, как к нему был подключён пробник, он соответствует сигналу на входе пробника.

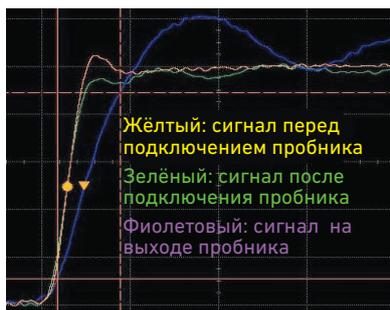


Рисунок 1-1. Сравнение пассивного и активного пробников при измерении сигнала, который имеет время нарастания 600 пс.

Пассивный пробник пробник N2873A с полосой пропускания 500 МГц компании Keysight с проводником заземления длиной 15 см с зажимом "крокодил"

- Сигнал нагружен и теперь имеет длительность перепада 740 пс
- Выходной сигнал пробника содержит резонансные колебания, а результат измерения длительности перепада равен 1,4 нс

Фиолетовый график отображает измеренный сигнал или сигнал на выходе пробника.

Пассивный пробник нагружает сигнал за счёт своего входного сопротивления, индуктивности и ёмкости (зелёный график). Вероятно, Вы ожидали, что осциллографический пробник не будет оказывать влияние на сигналы тестируемого устройства. Однако в данном случае пассивный пробник оказывает влияние на тестируемое устройство. Время нарастания сигнала после подключения к нему пробника становится равным 1,4 нс вместо ожидаемых 600 пс. Это обусловлено отчасти входным импедансом пробника, но также и ограниченной полосой пропускания 500 МГц при измерении сигнала с шириной полосы частот, равной 583 МГц ( $0,35/600 \text{ пс} = 583 \text{ МГц}$ ).

Индуктивный и ёмкостной характер нагрузки пассивного пробника является также причиной выбросов на фронте и пульсаций на выходе пробника (фиолетовый график). Некоторые разработчики даже не подозревают об этой величине погрешности измерения. Для других такая величина погрешности измерения является неприемлемой.



Активный пробник с полосой пропускания 2 ГГц N2796A компании Keysight с проводником заземления длиной 1,8 см

- Сигнал не подвергается влиянию пробника, длительность перепада по-прежнему равна 630 пс
- Сигнал на выходе пробника соответствует сигналу на входе, и результат измерения равен 600 пс

Нетрудно заметить, что сигнал фактически не изменяется, когда мы подключаем к тестируемому устройству активный пробник, такой как активный пробник N2796A с полосой пропускания 2 ГГц компании Keysight. Характеристики сигнала после подключения пробника (зелёный график) почти идентичны характеристикам до подключения пробника (жёлтый график). К тому же, пробник не оказывает влияния на время нарастания сигнала, которое сохраняется равным 600 пс. Кроме того, сигнал на выходе активного пробника (фиолетовый график) соответствует сигналу, к которому он подключён (жёлтый график), и при измерении получается ожидаемое значение времени нарастания 600 пс. Использование активного пробника N2796A с полосой пропускания 2 ГГц, превосходной точностью воспроизведения сигнала и низкой нагрузкой на тестируемое устройство делает это возможным.

## Совет #2

Проверка нагрузки, создаваемой пробником для тестируемого устройства, с помощью двух пробников

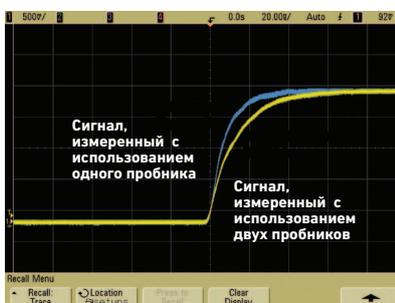
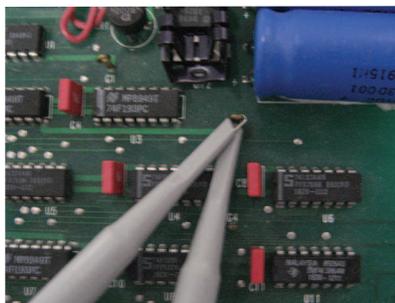


Рисунок 2-1. Проверка нагрузки пробника с использованием двух пробников.

Основные отличия между пассивными и активными пробниками обобщены ниже в таблице 1-2.

	Высокоимпедансный пассивный пробник	Активный пробник
Потребность в питании	НЕТ	ДА
Характер нагрузки на тестируемое устройство	Большая ёмкостная нагрузка и низкая резистивная нагрузка	Наилучшее общее сочетание резистивной и ёмкостной нагрузки
Полоса пропускания	До 600 МГц	До 30 ГГц
Области применения	Измерения общего назначения в диапазонах низких и средних частот	Высокочастотные приложения
Прочность	Очень прочный	Менее прочный
Максимальное входное напряжение	~ 300 В	~ 40 В
Типовые цены	От 100 до 500 долларов США	Более 1000 долларов США

Таблица 1-2. Сравнение высокоимпедансного пассивного и активного пробников

Перед проведением измерений подсоедините наконечник используемого пробника к контрольной точке тестируемого устройства, а затем подсоедините второй пробник к той же самой точке. В идеальном случае Вы не должны заметить никаких изменений в исследуемом сигнале. Если Вы наблюдаете изменения, их причиной является нагрузка пробника.

В идеальном мире осциллографический пробник был бы неинтрузивным (то есть, имеющим бесконечно большое входное сопротивление и нулевые значения ёмкости и индуктивности) проводником, подключённым к тестируемому устройству, и обеспечивал бы точную копию измеряемого сигнала. Однако в реальном мире пробник становится частью измерения и вносит дополнительную нагрузку в схему.

Чтобы проверить эффект нагрузки пробника сначала подсоедините один пробник к тестируемому устройству или известному ступенчатому сигналу, а другой конец пробника — к входу осциллографа.

Наблюдайте сигнал на экране осциллографа, сохраните его график и вызовите его снова на экран, чтобы он оставался на экране для сравнения. Затем, используя другой пробник того же самого типа, подсоедините его к той же самой контрольной точке и посмотрите, какие изменения произойдут по сравнению с первоначальным графиком из-за подключения второго пробника.

Возможно, Вам потребуется внести коррективы в схему подключения или рассмотреть использование пробника с меньшей нагрузкой, чтобы улучшить результаты измерения. Например, в рассматриваемом случае уменьшение длины проводника заземления позволило добиться нужного результата. На рисунке 2-2 для соединения с "землёй" тестируемого устройства используется длинный проводник заземления пробника 18 см (7 дюймов).

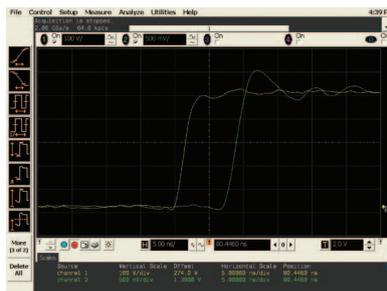


Рисунок 2-2. Причиной дополнительной нагрузки пробника является длинный проводник заземления.

### Совет #3

#### Компенсация пробника перед использованием

Большинство пробников спроектированы таким образом, чтобы обеспечить соответствие входам конкретных моделей осциллографов. Однако незначительные изменения наблюдаются не только между отдельными образцами осциллографов, но даже между разными каналами одного и того же осциллографа. Убедитесь в том, что Вы проверили компенсацию пробника, когда в первый раз подключаете пробник ко входу осциллографа, поскольку, возможно, ранее он был настроен по отношению к другому входу. Чтобы решить эту проблему, большинство пассивных пробников имеют встроенные схемы резисторно-конденсаторного (RC) делителя. Компенсация пробника — это процесс настройки делителя, имеющий целью поддержание коэффициента деления пробника постоянным во всей его нормированной полосе пропускания.

Если осциллограф способен автоматически учитывать характеристики пробников, имеет смысл использовать эту функцию. В противном случае используйте ручную компенсацию для подстройки конденсатора переменной емкости пробника. Большинство осциллографов имеют выход опорного сигнала прямоугольной формы (меандра) на передней панели для компенсации пробников. Вы можете присоединить наконечник пробника к этому выходу сигнала для компенсации пробников, а пробник подключить ко входу осциллографа. Наблюдая вид опорного сигнала (меандра), выполните надлежащую настройку пробника, используя небольшую отвёртку, чтобы сигнал прямоугольной формы на экране осциллографа выглядел прямоугольным.

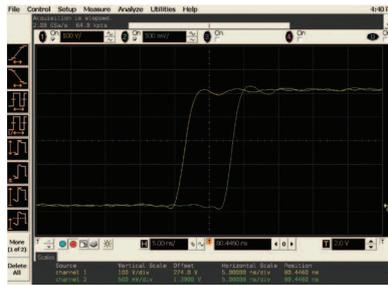


Рисунок 2-3. Уменьшение нагрузки пробника за счёт использования более короткого проводника заземления.



На рисунке 2-3 то же самое заземление пробника реализовано с помощью короткого подпружиненного проводника заземления. Пульсации на измеряемом сигнале (фиолетовый график) устраняются с помощью более короткого проводника заземления.



Рисунок 3-1. Используйте небольшую отвёртку для настройки конденсатора переменной ёмкости пробника.

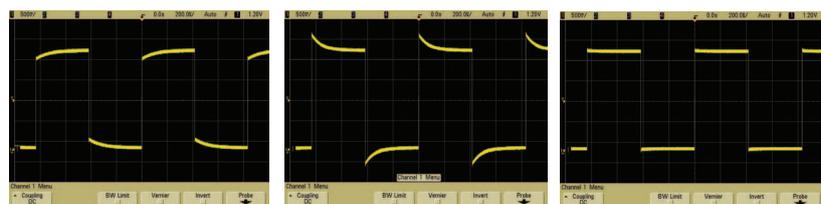
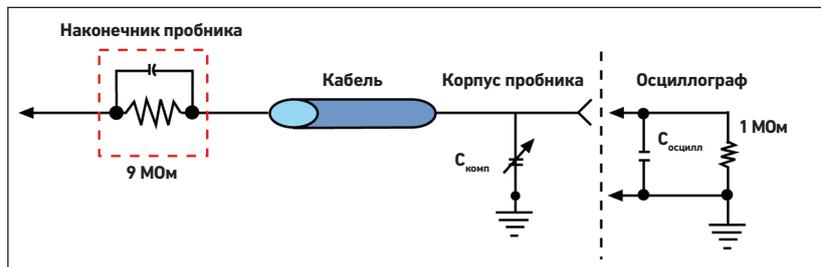


Рисунок 3-2. Правильная настройка компенсации соответствует сигналу прямоугольной формы с плоской вершиной импульса.

Диаграмма в нижней части рисунка 3-2 показывает, как правильно настроить компенсирующий конденсатор в схеме оконечной нагрузки на конце пробника. Как показано на рисунке, на сигнале прямоугольной формы можно наблюдать либо отклонение вниз

от номинала, либо выбросы, если низкочастотная настройка выполнена неправильно. Это приведёт к погрешностям в области высоких частот при проведении измерений. Очень важно убедиться в том, что компенсирующий конденсатор правильно настроен.

## Совет #4

### Советы по измерению тока низкого уровня

В последние годы инженерам, которые занимаются разработкой мобильных телефонов и других устройств с батарейным питанием, требуется проводить измерения силы тока с более высокой чувствительностью. Это помогает убедиться в том, что потребление тока их устройств находится в допустимых пределах. Использование пробника, выполненного в виде токоизмерительных клещей, с осциллографом — простой способ измерить силу тока, который не требует разрыва цепи. Но этот способ будет ненадежным, если измеряемые уровни тока попадают в диапазон нескольких миллиампер или ещё ниже.

По мере снижения уровня измеряемого тока собственные шумы осциллографа становятся реальной проблемой. Все осциллографы обладают одной нежелательной характеристикой — вертикальным шумом. При измерении сигналов низкого уровня шум измерительной системы может снизить точность измерения. Поскольку осциллографы являются широкополосными измерительными приборами, то чем шире их полоса пропускания, тем выше уровень вертикального шума. Перед выполнением измерений необходимо внимательно оценить шумовые характеристики осциллографа. Уровень собственных шумов типовой осциллографа с полосой пропускания 500 МГц, измеренный при установке вертикального отклонения, соответствующей максимальной чувствительности, равен приблизительно 2 мВ (размах). При измерении сигналов низкого уровня важно учитывать, что на уровень собственных шумов осциллографа может повлиять и глубина памяти сбора данных.

С другой стороны, современные токовые пробники переменного/ постоянного тока, такие как токовый пробник N2783A с полосой пропускания 100 МГц, способны измерять уровень переменного/ постоянного тока, равный 5 мА, с погрешностью приблизительно 3%. При этом схема,

заложенная в основе токового пробника, обеспечивает коэффициент преобразования 0,1 В/А (один ампер входного тока соответствует выходному напряжению 0,1 В). Другими словами, уровень собственных шумов осциллографа, равный 2 мВ (размах), может быть значительным источником погрешности при измерении силы тока менее 20 мА.

Итак, как минимизировать влияние собственных шумов осциллографа? Современные осциллографы предлагают несколько возможных методов.

- Фильтр ограничения полосы пропускания — Большинство цифровых осциллографов имеют фильтры ограничения полосы пропускания, которые могут улучшить разрешающую способность по вертикали посредством отфильтровывания нежелательного шума из входных сигналов и уменьшения полосы пропускания шума. Фильтры ограничения полосы пропускания реализуются с помощью либо аппаратных, либо программных средств. Большинство фильтров ограничения полосы пропускания можно включать и выключать по усмотрению пользователя.
- Режим сбора данных с высоким разрешением — Разрешающая способность по вертикали в нор-

мальном режиме у большинства осциллографов равна 8 бит. Режим сбора данных с высоким разрешением некоторых осциллографов обеспечивает намного более высокую разрешающую способность по вертикали, обычно достигающую 12-16 бит, которая позволяет снизить вертикальный шум и увеличить разрешающую способность по вертикали. Обычно режим сбора данных с высоким разрешением имеет больший эффект при медленных установках скорости развёртки, когда число захваченных точек данных отсражаемой части сигнала является большим. Поскольку в режиме сбора данных с высоким разрешением усредняются соседние точки данных от одного сигнала запуска (полученные во время одного сбора данных), этот режим уменьшает частоту дискретизации и полосу пропускания осциллографа.

- Режим усреднения — Если сигнал является периодическим или сигналом постоянного тока, можно использовать режим усреднения для уменьшения влияния вертикального шума осциллографа. В режиме усреднения производится множество сборов данных периодического сигнала и создаётся скользящее среднее для уменьше-

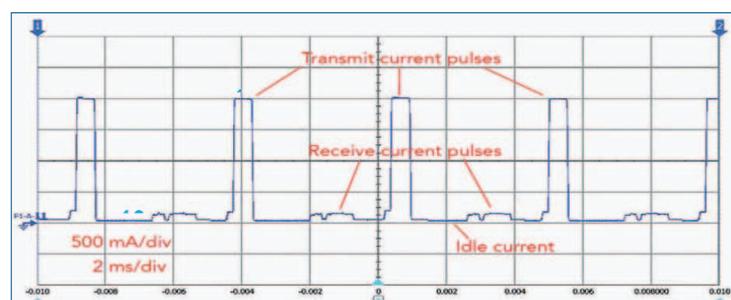


Рисунок 4-1. Измеренная утечка тока GSM-телефона в момент совершения звонка



Рисунок 4-2. Простой способ измерить ток с помощью осциллографа — использовать пробник с токоизмерительными клещами Keysight 1147B или токовый пробник N2893A.

ния случайного шума. Режим сбора данных с высоким разрешением уменьшает частоту дискретизации и ширину полосы частот измеряемого сигнала, тогда как обычное усреднение — нет. Однако использование режима усреднения приводит к снижению скорости обновления сигналов, поскольку этот режим использует несколько сборов данных для усреднения сигналов и вычерчивания графика на экране. Достижимый эффект уменьшения шума в сравнении с любыми другими методами, описанными выше, тем больше, чем большее число усреднений выбирает пользователь.

Теперь, когда Вы знаете, как уменьшить вертикальный шум осциллографа с помощью одного из методов, описанных выше, давайте посмотрим, как можно повысить точность и чувствительность токового пробника. Существует множество различных типов токовых пробников. Из них наиболее удобным в использовании и имеющим лучшие характеристики является токовый пробник переменного/постоянного тока, выполненный в виде токоизмерительных клещей. Этот пробник можно прикрепить к токнесущему проводнику для измерения силы переменного или постоянного тока. Примером может служить токовый пробник серии N2780A компании Keysight.

Ниже приведены два полезных совета по использованию токовых пробников такого типа.

1. Размагнитьте пробник и устраните смещение по постоянному току.

Для обеспечения точности измерений низких уровней тока необходимо устранить остаточную намагниченность путем размагничивания магнитного сердечника. Как и в случае удаления нежелательного магнитного поля внутри дисплея на электронно-лучевой трубке для улучшения качества изображения, Вы можете размагнитить токовый пробник, чтобы устранить любую остаточную намагниченность. Если провести измерение с намагниченным сердечником пробника, может возникнуть напряжение смещения, пропорциональное остаточной намагниченности, вызывающее погрешность измерения. Особенно важно размагничивать магнитный сердечник при подключении пробника к цепи включения/выключения питания или к цепи с очень большим входным током. Кроме того, можно скорректировать нежелательное напряжение смещения или температурный дрейф, используя орган управления настройкой нуля, расположенный на пробнике.

2. Повысьте чувствительность пробника.

Токовый пробник измеряет магнитное поле, создаваемое током, протекающим через захват головки пробника. Токовые пробники генерируют выходное напряжение, пропорциональное входному току. При измерении сигналов постоянного тока или низкочастотных сигналов переменного тока с малой амплитудой можно улучшить чувствительность пробника, намотав несколько витков измеряемого проводника вокруг пробника. За счёт этого сигнал умножается на число витков проводника вокруг

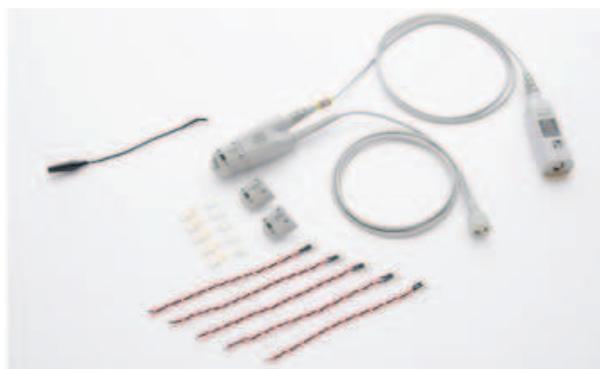


Рис 4-3. Новые токовые пробники N2820A/21A постоянного/переменного тока обеспечивают наилучшую в отрасли чувствительность

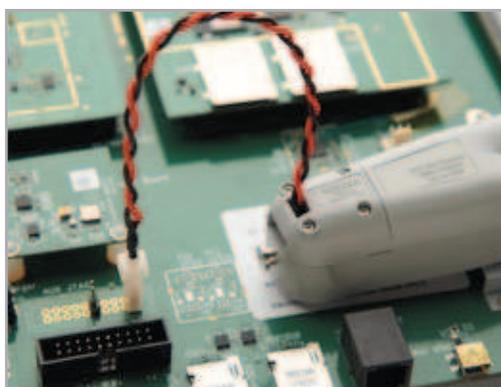


Рисунок 4-4. Сменные головки подключаются к тестируемому устройству без разрыва цепи, что позволяет многократно проводить измерения без впаивания и выпайки головок пробника



Рисунок 4-5 Осциллографы компании Keysight семейств Infiniium и InfiniiVision могут измерять площадь под кривой тока (заряд), что позволяет с легкостью подсчитать суммарное потребление тока во времени, выраженное в А·ч. (Ампер × Часы)

пробника. Например, если обмотать проводник вокруг пробника 5 раз, и отсчёт осциллографа равен 25 мА, то реальное значение силы тока будет равно 25 мА, делённому на 5, или 5 мА. В этом случае Вы повышаете чувствительность токового пробника в 5 раз.

## Совет #5

### Проведение безопасных измерений, изолированных от цепей заземления, с помощью дифференциального пробника

Пользователям осциллографов часто необходимо проводить измерения, изолированные от цепей заземления, когда ни одна из точек измерения не связана с потенциалом "земли". Например, предположим, что измеряется падение напряжения между входом и выходом последовательно включённого стабилизатора U1 линейного источника питания. При этом контрольные точки входного и выходного напряжения стабилизатора гальванически развязаны относительно "земли".

Стандартное измерение осциллографа, когда пробник подключается к сигналу в контрольной точке, а проводник заземления наконечника пробника — к "земле" (заземлению) схемы, фактически является измерением разности между уровнем сигнала в контрольной точке и потенциалом "земли". Большинство осциллографов имеют свои клеммы заземления сигналов (либо внешнюю часть корпуса соединителя BNC), подключённые к защитному заземлению системы. Это делается для того, чтобы все сигналы, подаваемые на осциллограф, имели общую точку подключения. По существу, все измерения осциллографа проводятся относительно потенциала "земли". Подключение проводника заземления пробника к любой из гальванически развязанных точек значительно понизит уровень сигнала в измеряемой точке относительно потенциала "земли", что часто является причиной появления выбросов или нарушений в работе схемы. Как решить эту проблему проведения измерений, изолированных от цепей заземления?

Популярным, но нежелательным техническим решением реализации дифференциальных измерений является метод "А-В", который использует два несимметричных пробника и математическую функцию осциллографа. Большинство цифровых осциллографов имеют функцию вычитания, когда сигналы двух входных каналов могут элек-

трически вычитаться друг из друга, чтобы показать величину разности в дифференциальном сигнале. Для получения хороших результатов перед использованием каждый пробник должен быть согласован и компенсирован. Для этого метода коэффициент ослабления синфазного сигнала обычно ограничен значением, меньшим чем -20 дБ (10:1). Если синфазный сигнал на каждом пробнике имеет очень большую величину, а дифференциальный — намного меньше, то любое различие в коэффициентах усиления между этими двумя плечами будет значительно изменять их "дифференциальный" или "А-В" результат. Хорошей проверкой корректности полученных результатов в данном случае было бы повторное измерение одного и того же сигнала, чтобы убедиться в идентичности результатов "А-В". Использование высоковольтного дифференциаль-

ного пробника, например, пробника N2790A компании Keysight, является гораздо лучшим решением для проведения безопасных и точных измерений, изолированных от цепей заземления с помощью любого осциллографа. Благодаря наличию настоящего дифференциального усилителя в головке пробника, N2790A может использоваться для измерения дифференциальных напряжений до 1400 В (напряжение постоянного тока + пиковое значение напряжения переменного тока) с коэффициентом ослабления синфазного сигнала (CMRR), равным -70 дБ на частоте 10 МГц. Используйте дифференциальный пробник с динамическим диапазоном и полосой пропускания, которые достаточны для решения Вашей прикладной задачи, при проведении безопасных и точных измерений, изолированных от цепей заземления.

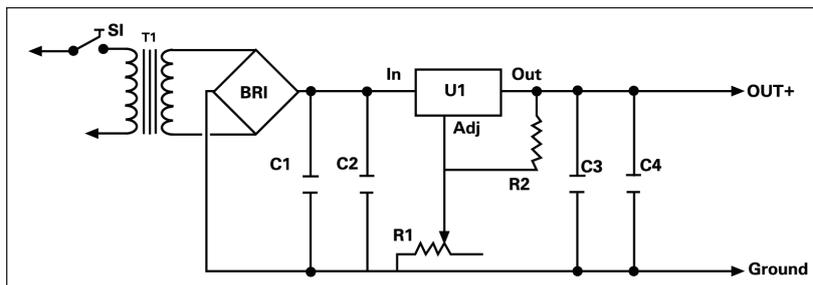


Рисунок 5-1. Для измерения сигналов, гальванически развязанных относительно "земли", необходимо использовать техническое решение для дифференциальных измерений.



Рисунок 5-2. В качестве проверки корректности дважды измерьте один и тот же сигнал и убедитесь, что результаты "А-В" получаются похожими.

## Совет #6

### Проверка ослабления синфазных сигналов



Рисунок 6-1. Подсоедините оба конца пробника к точке заземления ("земле") тестируемого устройства и проверьте, появляются ли на экране какие-либо сигналы.

Одной из наиболее трудных для понимания проблем при использовании пробников является их способность подавлять синфазные сигналы, которая может снизить качество измерений. Как при использовании несимметричных, так и дифференциальных пробников всегда имеет смысл подсоединить оба конца пробника к точке заземления ("земле") тестируемого устройства и проверить, появляются ли на экране какие-либо сигналы.

Если сигналы появляются, они показывают уровень искажений синфазных сигналов. Токи синфазных помех, источники которых не связаны с измеряемым сигналом, могут протекать от "земли" тестируемого устрой-

ства через проводник заземления пробника и далее на экранирующую оболочку кабеля. Источники синфазных помех могут находиться как внутри испытуемого устройства, так вне его. Примерами таких источников являются помехи в цепях питания, электромагнитные помехи или токи электростатических разрядов.

Длинный проводник заземления несимметричного пробника может сделать эту проблему очень значительной. Недостатком несимметричного пробника является его неспособность подавлять синфазные сигналы. Дифференциальные активные пробники обеспечивают высокие значения коэффициента ослабления синфазного сигнала, обычно достигающие 80 дБ (10,000:1).

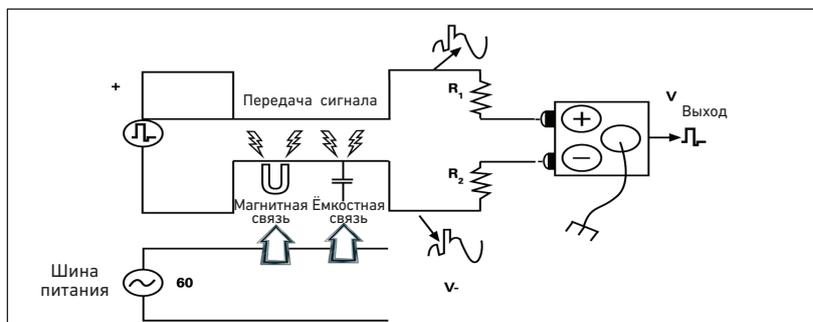


Рисунок 6-2. Дифференциальные активные пробники обеспечивают значительно более высокие значения коэффициента ослабления синфазного сигнала, эффективно устраняя токи синфазных помех.

## Совет #7

### Проверка связи пробника

Подсоединив пробник к сигналу, перемещайте кабель пробника и приподнимайте его руками. Если сигнал на экране изменяется значительно, значит, на экранирующей оболочке кабеля накапливается энергия, вызывающая эти изменения. Использование ферритового сердечника на кабеле пробника может помочь улучшить точность измерения за счёт уменьшения токов синфазных помех в экранирующей оболочке кабеля.

Ферритовый сердечник на кабеле пробника создаёт последовательный импеданс параллельно резистору в проводнике. Добавление ферритового сердечника к кабелю пробника оказывает очень хорошее влияние на сигнал, поскольку он проходит сквозь сердечник по центральному проводнику и возвращается сквозь

сердечник по экранной оболочке, в результате чего соблюдается нулевой баланс тока, протекающего сквозь сердечник.

Положение ферритового сердечника на кабеле очень важно. Из соображений удобства Вы можете решить поместить сердечник на том конце пробника, который подключается к осциллографу. За счёт этого головка пробника будет легче и удобнее в обращении. Однако при этом эффективность сердечника будет значительно снижена, если поместить сердечник на конце кабеля, где находится интерфейс пробника.

Уменьшение длины проводника заземления несимметричного пробника в некоторой степени может решить данную проблему. Замена его на дифференциальный пробник обычно помогает в значительно большей степени. Многие пользователи не понимают, что условия

окружающей среды, в которых находится кабель пробника, могут вызывать изменения в результатах измерения, особенно на высоких частотах, а это может привести к тому, что повторяемость и качество результатов измерений окажутся неудовлетворительными.



Рисунок 7-1. Использование ферритового сердечника на кабеле пробника может помочь улучшить точность измерения.

## Совет #8

На характеристики пробника в значительной степени влияет способ его подключения к тестируемому устройству. По мере увеличения быстродействия разрабатываемых устройств при подсоединении пробника осциллографа можно заметить, что выбросы на фронте импульса, затухающие колебания (звон) и другие искажения сигнала проявляются в большей степени. Пробники образуют резонансную цепь при подключении к тестируемому устройству. Если паразитный резонанс находится в пределах полосы пропускания используемого пробника осциллографа, будет трудно определить, что является причиной отклонения от нормы — тестируемое устройство или пробник. Если для проведения измерений в труднодоступных местах Вам приходится добавлять проводники к наконечнику пробника,

подсоедините резистор на конце проводника, чтобы демпфировать (ослабить) резонанс, обусловленный добавлением этого проводника.

При использовании несимметричного пробника подсоедините резистор только к сигнальному проводнику, и попытайтесь максимально укоротить длину проводника заземления. При использовании дифференциального пробника подсоедините резисторы к концам обоих добавленных проводников и проследите, чтобы проводники были одинаковой длины. Номинал резистора можно определить следующим образом. Сначала подать

через плату устройства подключения E2655C компании Keysight на пробник осциллографа известный ступенчатый сигнал. Затем подать этот же сигнал на пробник с подсоединённым добавленным проводником, который предполагается использовать при измерениях, и резистором на конце. Если номинал резистора выбран правильно, Вы должны увидеть на экране осциллографа ступенчатый перепад, такой же, что и в тестовом шаге, за исключением того, что он может быть отфильтрован в области нижних частот. Если наблюдается повышенный уровень колебаний, увеличьте номинал резистора.

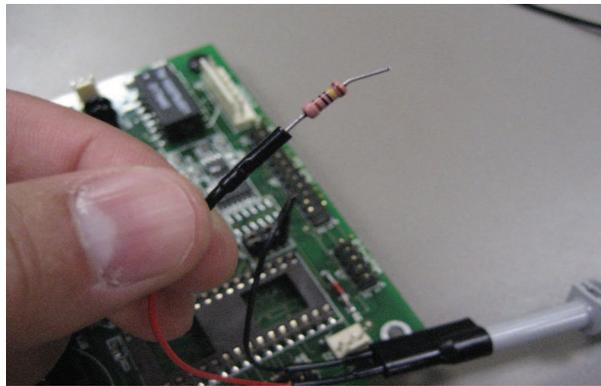


Рисунок 8-1. Подсоедините резистор к концу проводника для демпфирования резонанса, обусловленного его добавлением.

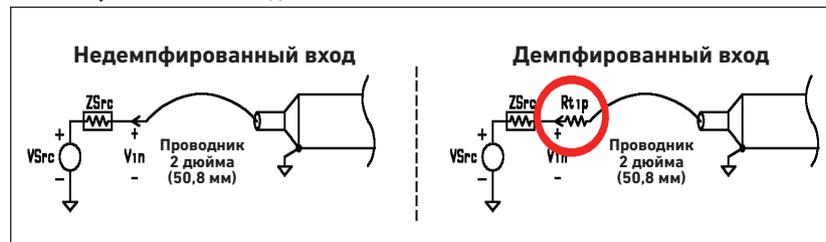


Рисунок 8-2. Если вход пробника демпфирован надлежащим образом, импеданс нагрузки/входной импеданс никогда не упадёт ниже значения демпфирующего резистора.

### Тактовый сигнал с частотой 250 МГц и длительностью фронта 100 пс

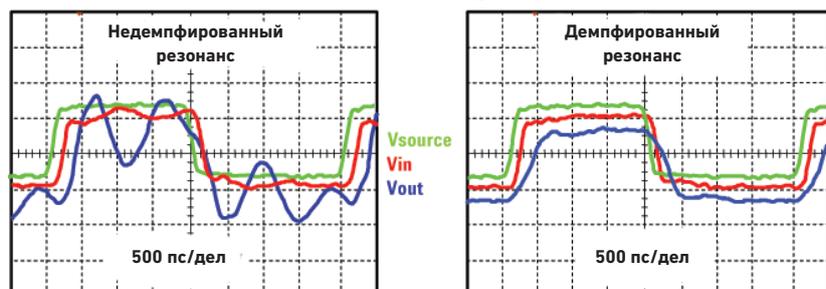


Рисунок 8-3. По мере увеличения быстродействия разрабатываемых устройств можно заметить, что выбросы на фронте импульса, затухающие колебания и другие искажения сигнала проявляются в большей степени. Подавите резонанс, обусловленный подключением пробника, добавлением демпфирующего резистора к наконечнику пробника.

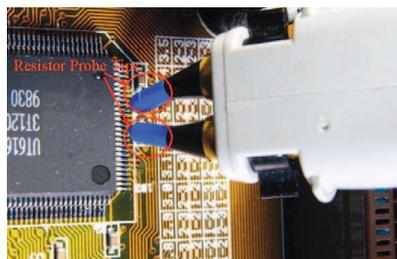


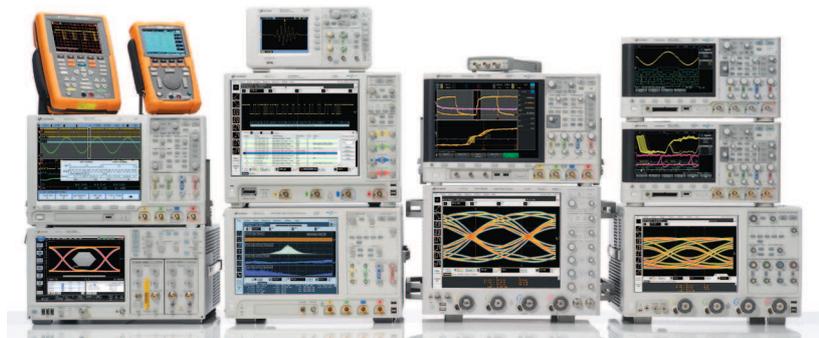
Рисунок 8-4. Все пробники серии 1156A/1157A/1158A и серии InfiniiMax используют эту технологию демпфированных принадлежностей для обеспечения оптимальных, но гибких режимов работы.

Демпфированные принадлежности пробников позволяют поддерживать низкие значения входной ёмкости и индуктивности, а также равномерную АЧХ во всём нормированном диапазоне частот. Все пробники серии 1156A/1157A/1158A и серии InfiniiMax используют эту технологию демпфированных принадлежностей для обеспечения оптимальных, но гибких режимов работы.

### Надёжные измерения начинаются с пробников! Сопутствующая литература компании Keysight

Название публикации	Вид публикации	Номер публикации
Keysight Oscilloscope Probes and Accessories (Пробники и принадлежности для осциллографов компании Keysight)	Руководство по выбору	5989-6162EN
InfiniiVision Oscilloscope Probes and Accessories (Пробники и принадлежности для осциллографов семейства InfiniiVision)	Технические данные	5968-8153EN

Для получения максимальной отдачи от осциллографа Infiniium необходимы надлежащие пробники и принадлежности, которые соответствуют конкретным прикладным задачам. Пожалуйста, обращайтесь к специалистам по методам измерений компании Keysight или посетите сайт компании по ссылке [www.keysight.com/find/scope\\_probes](http://www.keysight.com/find/scope_probes) для получения информации об обширном ассортименте наших осциллографических пробников и принадлежностей.



### Осциллографы компании Keysight Technologies

Множество конструктивных исполнений, полосы пропускания от 20 МГц до > 90 ГГц

Лидирующие в отрасли технические характеристики

Приложения с расширенными возможностями

	<p>myKeysight <a href="http://www.keysight.com/find/mykeysight">www.keysight.com/find/mykeysight</a> Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.</p>
	<p><a href="http://www.axiestandard.org">www.axiestandard.org</a> AXIe представляет собой открытый стандарт, основанный на AdvancedTCA, с расширениями для контрольно-измерительных приложений. Компания Keysight входит в число основателей консорциума AXIe.</p>
	<p><a href="http://www.lxistandard.org">www.lxistandard.org</a> LXI представляет собой сетевой интерфейс, пришедший на смену интерфейсу GPIB и обеспечивающий более быстрый и эффективный обмен данными. Компания Keysight входит в число основателей консорциума LXI.</p>
	<p><a href="http://www.pxisa.org">http://www.pxisa.org</a> PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.</p>
	<p>Трехлетняя гарантия <a href="http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty">www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty</a> Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предлагает стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование.</p>
	<p>Планы Технической Поддержки Keysight <a href="http://www.keysight.com/find/AssurancePlans">www.keysight.com/find/AssurancePlans</a> До пяти лет поддержки без непредвиденных расходов гарантируют, что ваше оборудование будет работать в соответствии с заявленной производителем спецификацией, а вы будете уверены в точности своих измерений.</p>
	<p><a href="http://www.keysight.com/quality">www.keysight.com/quality</a> Система управления качеством Keysight Electronic Measurement Group сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008</p>
	<p>Торговые партнеры компании Keysight <a href="http://www.keysight.com/find/channelpartners">www.keysight.com/find/channelpartners</a> Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми торговыми партнерами.</p>

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](mailto:tmo_russia@keysight.com)

[www.keysight.ru](http://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](mailto:tmo_russia@keysight.com)

(BP-05-19-14)