СЕКРЕТЫ ПРАВИЛЬНОГО ВЫБОРА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОБНИКОВ

7 типичных ошибок при использовании осциллографических пробников

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Введение

Для повышения качества измерений очень важно понимать, на что следует обращать внимание при использовании осциллографических пробников.

Если бы мы жили в идеальном мире, все пробники представляли бы собой не влияющие на сигнал проводники, подключаемые к схеме и имеющие бесконечное входное сопротивление с нулевой емкостью и нулевой индуктивностью. Они в точности воспроизводили бы измеряемый сигнал. Однако на практике все пробники создают нагрузку на измеряемую цепь. Резистивные, емкостные и индуктивные компоненты пробника могут изменять оклик испытуемой цепи.

Цепи бывают разные, и наборы их электрических характеристик различаются. Поэтому при любых испытаниях устройств с помощью пробников требуется учитывать параметры самих пробников и выбирать тот, который окажет минимальное влияние на результаты измерения. Сюда входят все компоненты — от входного разъема осциллографа и кабеля до точки подключения пробника к испытуемому устройству, включая все принадлежности, дополнительные кабели и паяные соединения для обеспечения контакта с точкой измерения.

В этой публикации мы предлагаем ознакомиться с типичными ошибками при проведении испытаний и практическими рекомендациями, позволяющими повысить точность результатов измерений.

Электрические характеристики пробника влияют как на результаты измерений, так и на работу разрабатываемой схемы.
Чтобы получить достоверные результаты измерений, необходимо свести это влияние к допустимому минимуму.

Содержание

7 типичных ошибок при использовании осциллографических пробников

ОШИБКА 1

Невыполнение калибровки пробника

Использование неоткалиброванных пробников приводит к некорректным результатам. Познакомьтесь со способами быстрой калибровки и компенсации пробников.

Перейти к описанию ошибки 1 >

ОШИБКА 2

Увеличение нагрузки пробника

Все пробники создают определенную нагрузку на измеряемую цепь. Узнайте, как минимизировать это влияние.

Перейти к описанию ошибки 2 >

ОШИБКА 3

Неполное использование возможностей дифференциальных пробников

Дифференциальные пробники могут выполнять те же измерения, что и несимметричные активные пробники, но с гораздо более высокой эффективностью. Выясните, как максимально задействовать все возможности дифференциальных пробников.

Перейти к описанию ошибки 3 >

ОШИБКА 4

Неправильный выбор токового пробника

При различных условиях и для разных схем пульсации тока могут сильно варьироваться. Узнайте, какие пробники лучше использовать для определенных измерений.

Перейти к описанию ошибки 4 >

ОШИБКА 5

Ошибки со смещением по постоянному току при измерениях пульсаций и уровня шума

При использовании блокирующего конденсатора возможна потеря важной информации о сигнале. Узнайте, как пробники шин питания позволяют одновременно анализировать смещение по постоянному току и переменные составляющие сигнала.

Перейти к описанию ошибки 5 >

ОШИБКА 6

Неизвестные ограничения по полосе пропускания

Пробник и осциллограф составляют единую систему. Узнайте о том, как самое слабое звено в этой системе может повлиять на полосу пропускания, максимально доступную для измерений.

Перейти к описанию ошибки 6 >

ОШИБКА 7

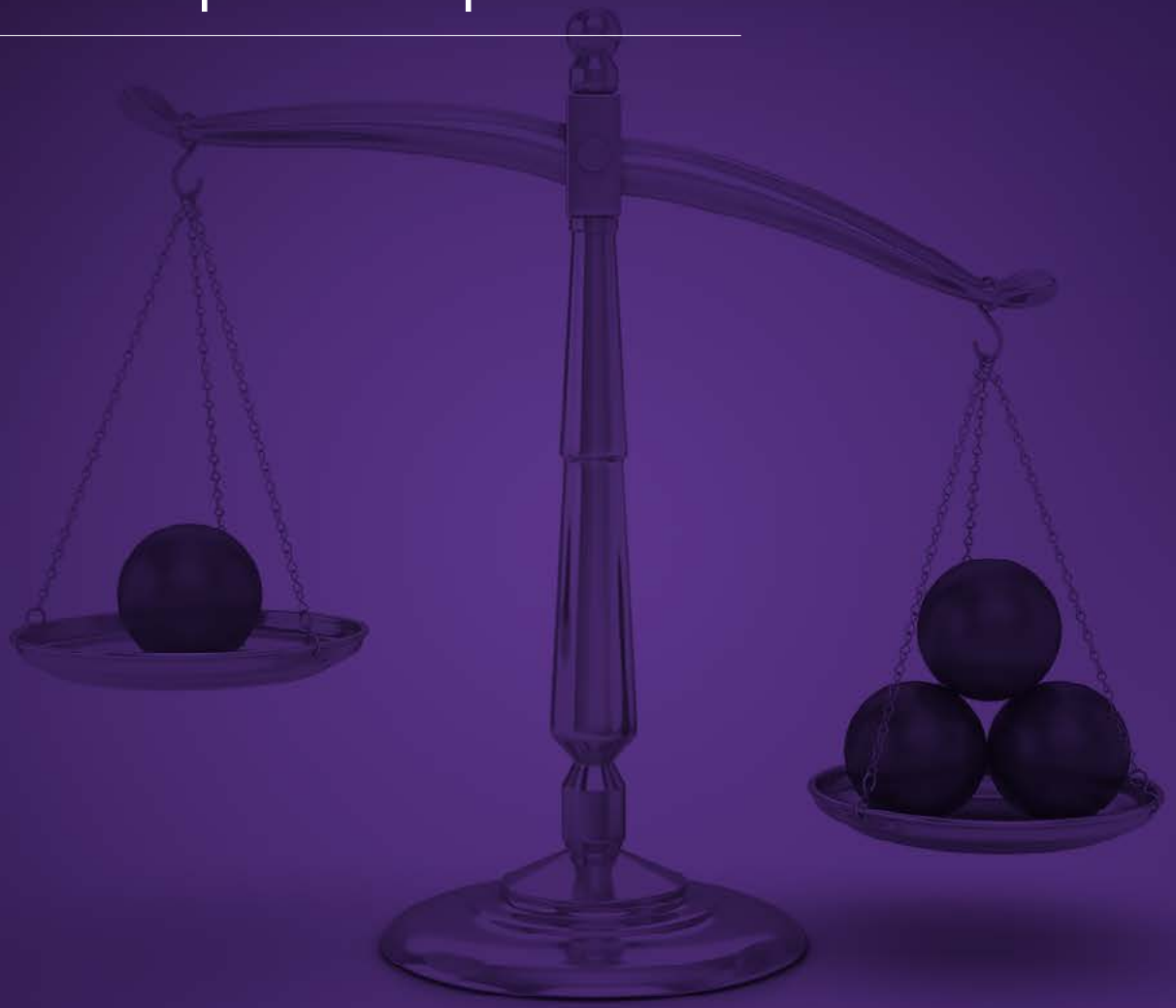
Влияние скрытых шумов

Коэффициент ослабления пробника может облегчить или, наоборот, усложнить измерения. Секреты выбора правильного коэффициента ослабления для решения конкретных задач.

Перейти к описанию ошибки 7 >

ОШИБКА 1

Невыполнение калибровки пробника



ОШИБКА 1

Невыполнение калибровки пробника

Перед отправкой пробников заказчикам выполняется их общая калибровка, однако такие пробники не откалиброваны для использования в качестве входных устройств конкретного осциллографа. Если не откалибровать их для работы на входе конкретного осциллографа, результаты измерений будут неточными.

АКТИВНЫЕ ПРОБНИКИ

Если не откалибровать активные пробники для конкретного осциллографа, то возникнут расхождения в результатах измерения напряжения по вертикали и временных параметров нарастающих фронтов (а также, возможно, определенные искажения). Большинство осциллографов оснащается выходом опорного сигнала или вспомогательными выходами, для которых прилагаются инструкции по их использованию при калибровке пробников.

На рис. 1 представлен сигнал с частотой 50 МГц, подаваемый на первый входной канал (желтая осциллограмма) осциллографа через кабель SMA и переход. Зеленая осциллограмма — это тот же сигнал, подаваемый через активный пробник на второй входной канал осциллографа. Заметьте, что пиковое значение сигнала на первом входном канале составляет 1,04 $В_{пик-пик}$, тогда как это же значение для сигнала на втором канале — 965 мВ. Кроме того, сдвиг по фазе между первым и вторым каналами составляет такую значительную величину, как 3 мс. Соответственно, значения времени нарастания совершенно не совпадают.

Рис. 1. Сигнал на выходе генератора и сигнал, полученный с помощью пробника

После калибровки этого пробника результаты значительно улучшатся. На рис. 2 представлены результаты после правильной калибровки по амплитуде и времени. Теперь отображается правильное значение амплитуды — 972 мВ$_{пик-пик}$, а сдвиг по фазе скорректирован таким образом, что значения времени нарастания совпадают.

Рис. 2. Результаты после калибровки по амплитуде и времени

Чтобы **получить наиболее точное представление об исследуемом сигнале**, откалибруйте измерительные пробники для работы совместно с осциллографом.

ПАССИВНЫЕ ПРОБНИКИ

Можно отрегулировать подстроечный конденсатор пробника для компенсации в точном соответствии с входными параметрами используемого осциллографа. Большинство осциллографов оснащается выходом прямоугольного сигнала для калибровки и использования в качестве опорного сигнала. Подключите пробник к этому выходу и убедитесь, что сигнал имеет прямоугольную форму. При необходимости отрегулируйте подстроечный конденсатор пробника, чтобы устранить любые отрицательные и положительные выбросы перед фронтом сигнала.

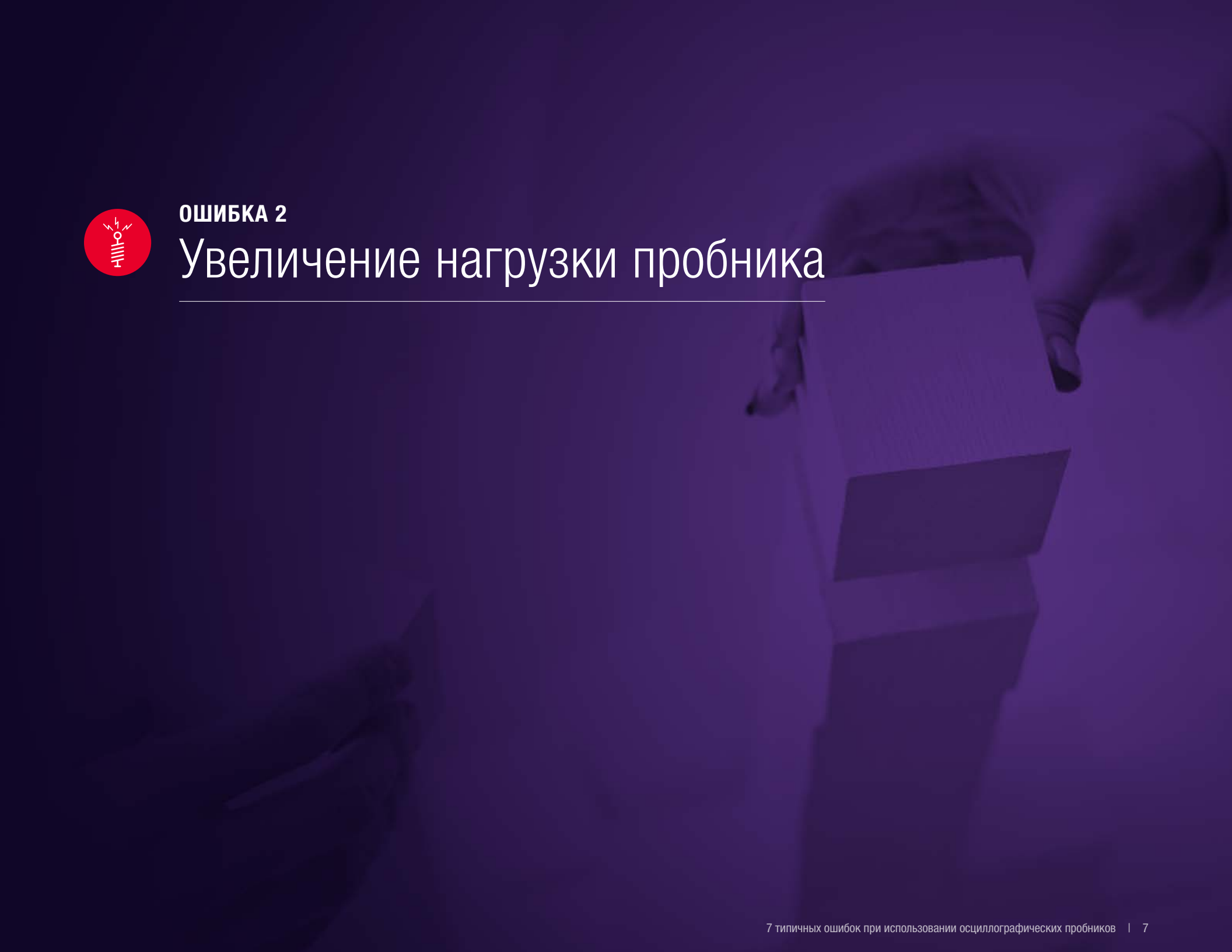
Совет. У осциллографа может иметься функция регулировки компенсации пробника. В противном случае это можно выполнить вручную.

ПОДРОБНЕЕ

Узнайте, *как откалибровать пробник*

ОШИБКА 2

Увеличение нагрузки пробника



ОШИБКА 2

Увеличение нагрузки пробника

При подключении пробника к осциллографу и испытуемому устройству пробник становится неотъемлемой частью цепи. Создаваемая пробником резистивная, емкостная и индуктивная нагрузка влияет на сигнал, отображаемый на экране осциллографа. В результате такой нагрузки могут измениться рабочие характеристики испытуемой цепи. Понимание вопросов влияния этой нагрузки поможет избежать ошибок, связанных с неправильным выбором пробников для определенных цепей и систем. У пробников имеется резистивная, емкостная и индуктивная составляющие нагрузки, как показано на рис. 3.

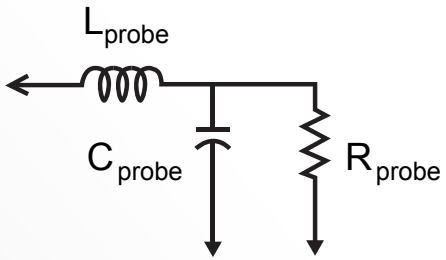


Рис 3. Стандартная электрическая схема пробника

Для подключения к труднодоступной точке могут потребоваться дополнительные длинные провода и кабели. Однако добавление принадлежностей или наконечников пробников может сузить полосу пропускания, повысить нагрузку и вызвать нелинейность амплитудно-частотной характеристики.

Как правило, увеличение длины входных кабелей и проводов до наконечника пробника приводит к пропорциональному сужению полосы пропускания. Это может не оказывать заметного влияния на результаты измерений при узкой полосе пропускания, однако при выборе наконечников пробников и принадлежностей для измерений с широкой полосой пропускания, особенно на частотах выше 1 ГГц, следует быть внимательным. При сужении полосы пропускания пробника теряется возможность измерения параметров сигналов с малым временем нарастания. На рис. 4 показано, как с увеличением длины принадлежностей ухудшаются показатели времени нарастания сигнала, отображаемого на экране осциллографа. Для достижения максимальной точности результатов измерений предпочтительно использовать кабели минимальной длины.

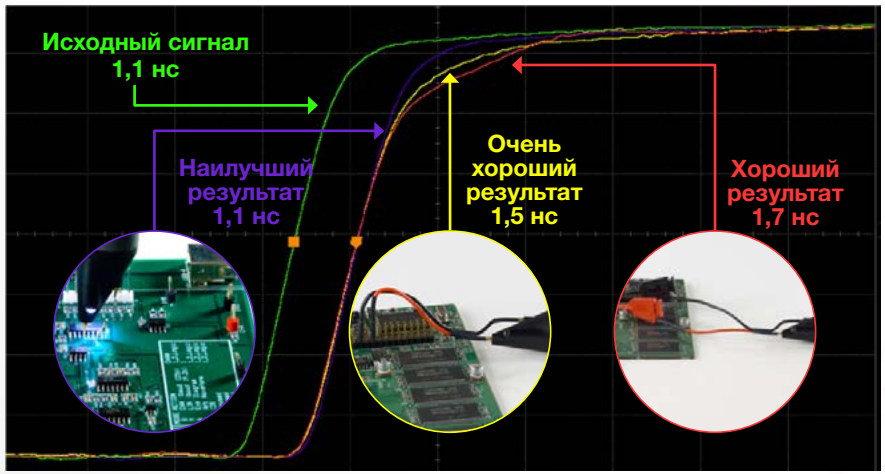


Рис. 4. Влияние соединительных проводников пробника различной длины

Используйте кабели минимально возможной длины для сохранения полосы пропускания и точности результатов измерений.

Также обязательно следует использовать провода заземления минимальной длины, поскольку с увеличением их протяженности возрастает добавляемая ими индуктивность. Использование проводов заземления минимальной длины и выбор точки их подключения максимально близко к точке заземления системы позволит обеспечить точность и повторяемость результатов измерений.

Совет. Если вам абсолютно необходимо использовать дополнительный проводник от наконечника пробника для подключения к труднодоступным точкам, подключите к наконечнику пробника дополнительный резистор для демпфирования резонансных явлений, вызванных данным проводником. Хотя это и не поможет избежать сужения полосы пропускания, вызванного дополнительными длинными соединительными кабелями, амплитудно-частотная характеристика будет более плоской. Для определения нужного номинала резистора проанализируйте с помощью осциллографа заранее известный сигнал прямоугольной формы, например опорный сигнал на выходе осциллографа. При правильном выборе номинала резистора будет отображаться неискаженный прямоугольный сигнал (за исключением возможного сужения полосы пропускания). При наличии в сигнале переходного процесса в виде затухающих колебаний увеличьте номинал резистора. Для несимметричных пробников требуется только один резистор на наконечнике пробника. Для дифференциальных пробников требуется два резистора — по одному на каждый провод.

Используйте резистор для демпфирования импульсных искажений, вызванных протяженными кабелями пробника.

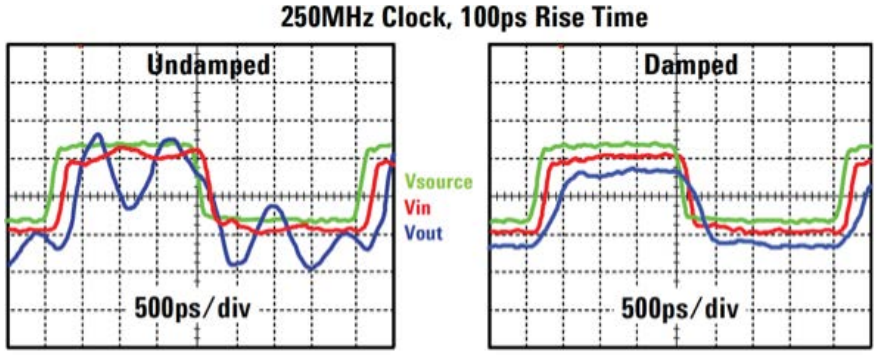


Рис. 5. Добавление резистора к наконечнику пробника может сократить резонансные явления, вызванные длинными кабелями, переходные процессы в виде затухающих колебаний и выбросы на фронте импульса. Однако это не может предотвратить сужение полосы пропускания из-за дополнительной длины кабелей.

ПОДРОБНЕЕ

Узнайте подробнее о *нагрузке пробника.*

ОШИБКА 3

Неполное использование возможностей дифференциальных пробников

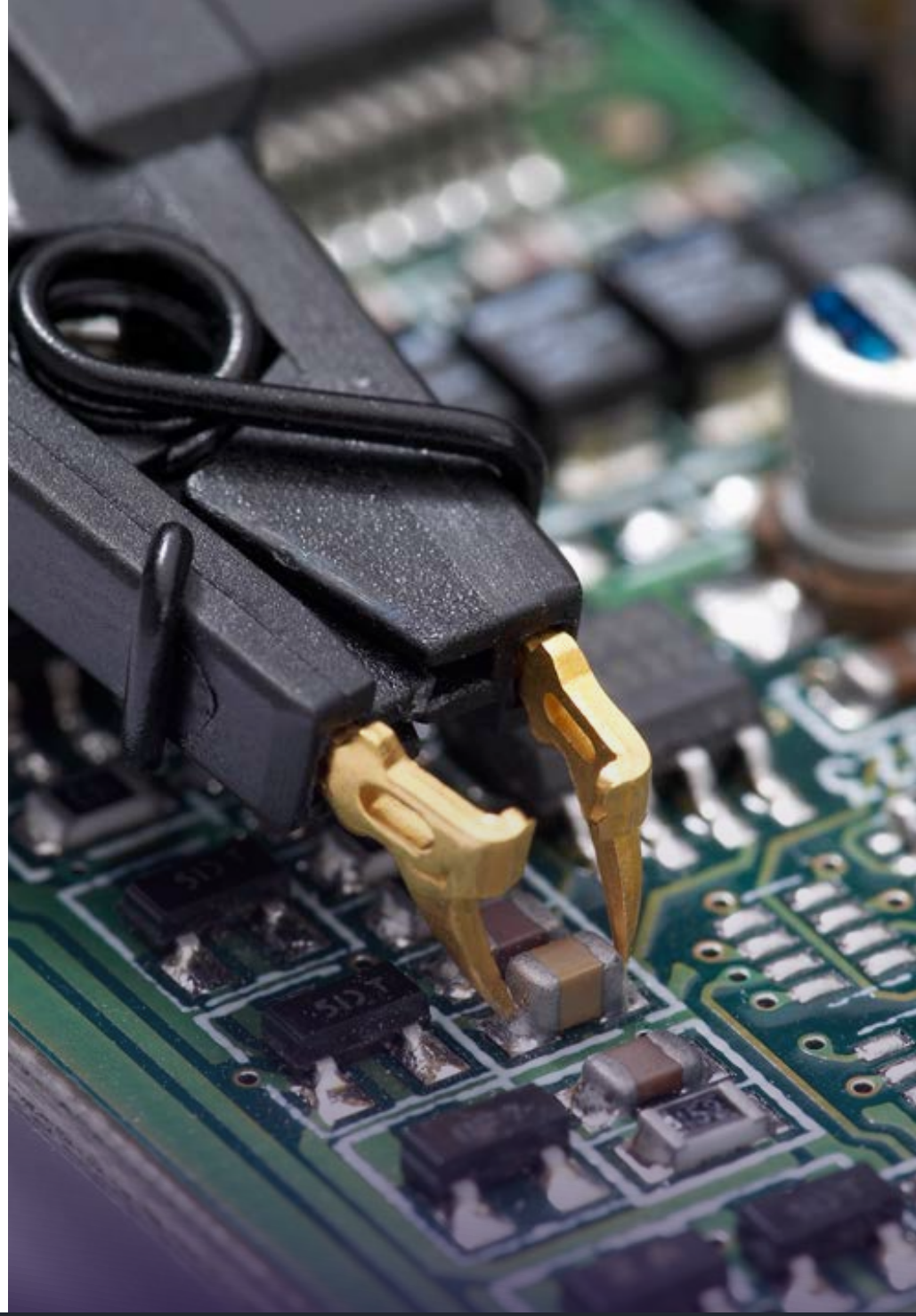
ОШИБКА 3

Неполное использование возможностей дифференциальных пробников

Многие считают, что дифференциальные пробники предназначены исключительно для анализа дифференциальных сигналов. На самом деле дифференциальные пробники также позволяют анализировать несимметричные сигналы. Это позволяет ускорить проведение испытаний, сократить затраты и повысить точность результатов измерений. Максимально используйте преимущества дифференциального пробника и добейтесь наивысшей достоверности результатов измерений.

Дифференциальные пробники позволяют выполнять те же измерения, что и несимметричные пробники. Однако подавление синфазных сигналов на обоих входах дифференциального пробника способствует значительному снижению уровня шума при измерениях. Это дает более точное представление сигналов испытуемого устройства (ИУ) и не введет вас в заблуждение случайным шумом, добавляемым пробником.

На рис. 6 (на следующей странице) представлен сигнал, полученный с помощью несимметричного пробника (синяя осциллограмма), а на рис. 7 — сигнал, полученный с помощью дифференциального пробника. На синей осциллограмме, полученной с помощью несимметричного пробника, заметен гораздо более высокий уровень шумов по сравнению с красной осциллограммой, соответствующей результату анализа сигнала с помощью дифференциального пробника. Это вызвано слабым подавлением синфазных помех при использовании несимметричного пробника.



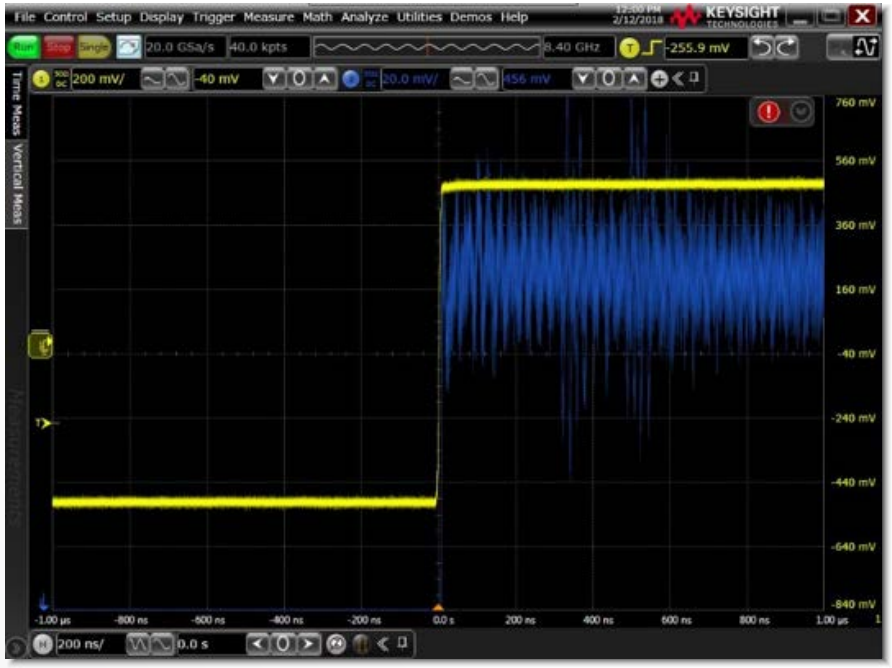


Рис. 6. Измерение с помощью несимметричного пробника

Рис. 7. Измерение с помощью дифференциального пробника

Дифференциальные пробники позволяют выполнять те же измерения, что и несимметричные пробники, но с гораздо меньшим уровнем шума благодаря подавлению синфазных помех.

ПОДРОБНЕЕ

Видео: *Несимметричный или дифференциальный пробник?*

ОШИБКА 4

Неправильный выбор токового пробника

ОШИБКА 4

Неправильный выбор токового пробника

При измерениях больших и малых токов требуется проанализировать различные особенности сигнала. Для этого необходимо определить, какой именно токовый пробник требуется для конкретного случая, и учитывать возможные последствия выбора неправильного пробника.

СИЛЬНОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Для сильноточных измерений (от 10 до 3000 А) использовать токовый пробник, обхватывающий проводник, следует только в тех случаях, когда испытуемое устройство имеет достаточно малые размеры для оригинального зажима пробника. Инженерам, применяющим пробники такого типа, приходится проявлять изобретательность и использовать дополнительные кабели к пробнику, чтобы измерить параметры сигналов устройств, не умещающихся в наконечнике. Однако это может привести к изменениям результатов измерений параметров ИУ. Гораздо предпочтительнее будет выбрать подходящие инструменты для работы.

Наилучшее решение — использование пробника для сильноточных измерений с гибкой петлей головки. Эту гибкую петлю можно изогнуть вокруг любого устройства. Такой тип пробников называется поясом Роговского. Он позволяет анализировать устройства без добавления компонентов с не известными заранее характеристиками, поддерживая высокий уровень целостности сигналов при измерениях. Кроме того, он позволяет измерять большие токи в диапазоне от единиц миллиампер до сотен тысяч ампер. Но необходимо убедиться в том, что измеряется только переменный ток, постоянные составляющие которого отсечены. Такие пробники также обладают более низкой чувствительностью по сравнению с некоторыми другими токовыми пробниками. Обычно это не представляет проблему при сильноточных измерениях. При слаботочных измерениях более важными аспектами становятся чувствительность и анализ постоянных составляющих. Учтите, что способы, используемые при измерениях одного типа, могут не действовать при измерениях другого типа.

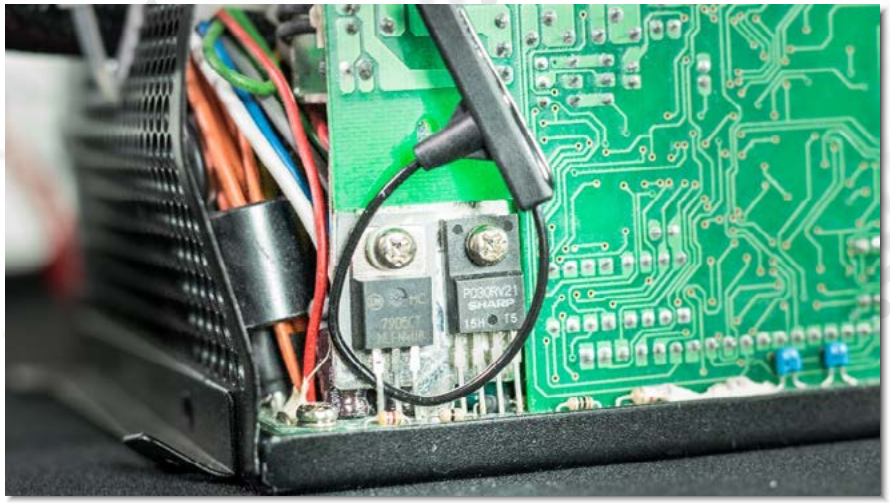


Рис. 8. Наконечник пробника типа пояса Роговского, установленный на компонент устройства

> **Используйте высокоточные пробники,** подходящие для измерений параметров ИУ.

СЛАБОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

При измерениях тока в устройствах с питанием от батареи динамический диапазон может значительно различаться. Когда устройство с питанием от батарей работает в режиме ожидания или выполнения фоновых задач, пиковые значения тока могут быть незначительными. Если устройство переключается в более активный режим работы, пиковые значения тока могут значительно возрастать. При использовании вертикальной шкалы осциллографа с большим шагом можно измерять сигналы большой амплитуды. Однако при этом на фоне шумов будут утеряны сигналы с небольшим уровнем тока. С другой стороны, при использовании мелкой вертикальной шкалы сильные сигналы будут ограничиваться, и результаты измерения будут искажены и недостоверны.

Выберите токовый пробник, который не только способен измерять сигналы в диапазоне от единиц микроампер до нескольких ампер, но и с несколькими усилителями с регулируемым коэффициентом усиления для анализа как мощных, так и слабых отклонений тока. Два встроенных в пробник усилителя с регулируемым коэффициентом усиления позволяют увеличивать масштаб для анализа малых отклонений тока и уменьшать его для анализа мощных выбросов тока (см. рис. 9).

Используйте слаботочный токовый пробник с достаточной чувствительностью и динамическим диапазоном для всестороннего детального анализа сигнала.

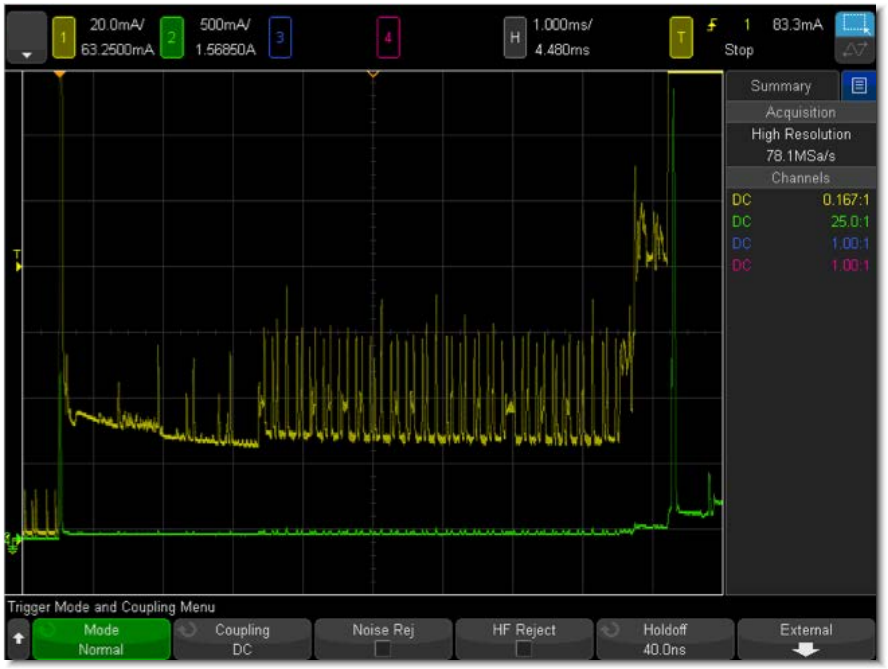


Рис. 9. Токовые пробники с двумя усилителями с настраиваемым коэффициентом усиления позволяют одновременно анализировать как большие, так и малые токи В этом примере представлены высокочувствительные токовые пробники Keysight N2820A/21A.

ПОДРОБНЕЕ

Видео: *Как выполнять измерения тока с помощью осциллографа?*

Блог: *Как выполнять измерения тока с помощью осциллографа — слаботочные токовые пробники*

Блог: *Какой токовый пробник следует выбрать?*

ОШИБКА 5

Ошибки со смещением по постоянному току при измерениях пульсаций и уровня шума

ОШИБКА 5

Ошибки со смещением по постоянному току при измерениях пульсаций и уровня шума

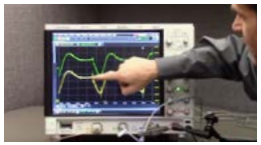
Пульсации и помехи источников питания постоянного тока состоят из слабых составляющих переменного тока на фоне относительно мощного сигнала постоянного тока. При высоком уровне смещения по постоянному току может потребоваться использование настройки масштаба осциллографа с большим шагом по напряжению, чтобы анализируемый сигнал уместился в видимой области экрана. При этом уменьшается чувствительность измерений и возрастают шумы относительно амплитуды переменных составляющих сигнала. Это означает, что вы не сможете получить точное представление обо всех переменных составляющих сигнала.

Если для решения этой проблемы воспользоваться конденсатором, блокирующим постоянную составляющую сигнала, то неминуемо окажутся отсеченными определенные низкочастотные составляющие, что воспрепятствует анализу реального сигнала устройства со всеми его составляющими.

Для центрирования изображения сигнала на экране осциллографа без применения конденсатора, блокирующего постоянную составляющую сигнала, воспользуйтесь пробником шин питания с достаточным запасом по смещению для постоянной составляющей. Это позволит уместить на экране всю осциллограмму сигнала при сохранении небольших вертикальных настроек и увеличенного масштаба. Такие настройки позволяют детально анализировать переходные процессы, пульсации и помехи.

Использование пробника шин питания с большим запасом по смещению для постоянной составляющей позволяет детально анализировать переходные процессы, пульсации и помехи без отсечения постоянной составляющей сигналов.

ПОДРОБНЕЕ



Видео: *Измерения параметров качества электропитания: использование пробника шин питания N7020A*

Рекомендации по применению: *Решения Keysight позволяют повысить качество измерений пульсаций и помех в шинах электропитания постоянного тока*

Краткие рекомендации по применению: *Выполнение измерений пульсаций и помех на линиях и шинах электропитания постоянного тока*

ОШИБКА 6

Неизвестные ограничения по полосе пропускания

ОШИБКА 6

Неизвестные ограничения по полосе пропускания

Выбор пробника с соответствующей полосой пропускания критически важен для выполнения измерений. При неправильно подобранной полосе пропускания возникают искажения сигнала, затрудняющие проведение испытаний и отладку устройств.

Согласно широко принятой формуле для определения полосы пропускания, произведение ее значения и значения времени нарастания фронта от уровня 10 % до уровня 90 % должно составлять 0,35.

$$\textit{Полоса пропускания} \times \textit{Время нарастания}_{\textit{фронта}} = 0{,}35$$

Важно заметить, что также необходимо учитывать полосу пропускания всей используемой системы. Для определения общей полосы пропускания всей системы следует принимать во внимание как полосу пропускания пробника, так и полосу пропускания осциллографа. Ниже представлена формула для расчета полосы пропускания системы.

$$\text{Полоса пропускания системы} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\text{полоса пропускания осциллографа}^2} + \frac{1}{\text{полоса пропускания пробника}^2}}}$$

Допустим, полоса пропускания и осциллографа, и пробника составляет 500 МГц. Значение полосы пропускания системы, полученное с помощью приведенной выше формулы, составит лишь 353 МГц. Можно заметить, что полоса пропускания системы значительно уже по сравнению с двумя отдельными значениями полосы пропускания пробника и осциллографа.

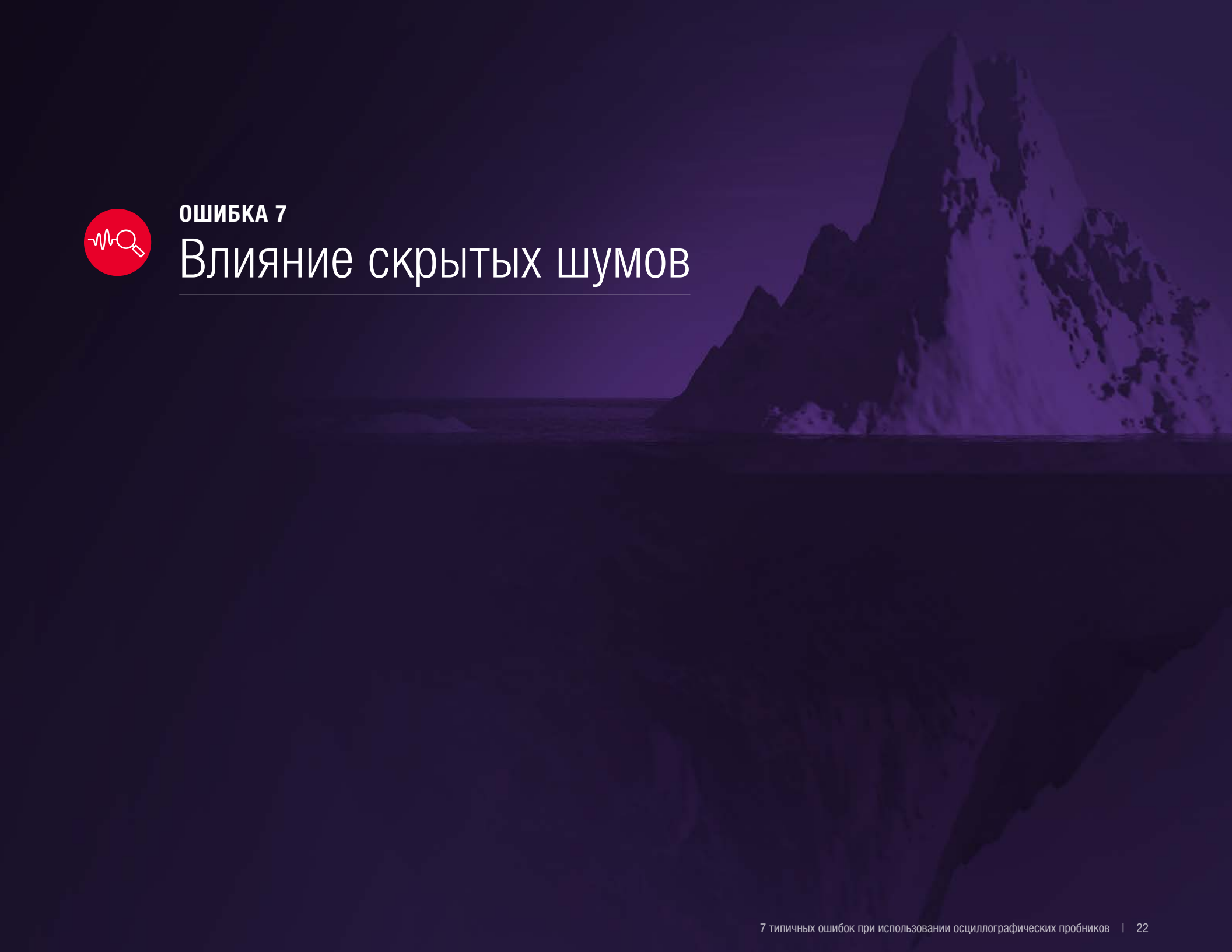
Теперь представим, что полоса пропускания пробника составляет всего 300 МГц, а осциллографа — по-прежнему 500 МГц. В этом случае, согласно приведенной выше формуле, полоса пропускания системы будет еще более узкой и составит 257 МГц.

Пробник и осциллограф образуют единую систему и совместно оказывают более заметное совместное влияние на полосу пропускания, чем по отдельности.

ПОДРОБНЕЕ

Блог: *Простой способ проверки полосы пропускания пробника*

Блог: *Как самостоятельно измерить полосу пропускания осциллографа (и пробника)*



ОШИБКА 7

Влияние скрытых шумов

ОШИБКА 7

Влияние скрытых шумов

Шумы испытуемого устройства могут усиливаться собственными шумами пробника и осциллографа. При выборе соответствующего пробника с правильным коэффициентом ослабления для конкретного применения можно снизить шумы, добавляемые пробником и осциллографом. В результате представление сигнала от испытуемого устройства будет более четким.

> Простой способ оценить шумы пробника — **проверить значения коэффициента ослабления и уровня шумов пробника, указанные в его техническом описании или руководстве по эксплуатации.**

Многие производители пробников при указании значения их шумов используют показатель эквивалентного входного шума (equivalent input noise, EIN), который измеряется в единицах среднеквадратического напряжения. Более высокие значения коэффициента ослабления позволяют измерять сигналы большей амплитуды, однако при этом осциллограф усиливает слабые сигналы вместе с шумами. Для иллюстрации этого эффекта на рис. 10 представлен завышенный уровень шумов при использовании пробника с коэффициентом ослабления 10:1 (зеленая осциллограмма).

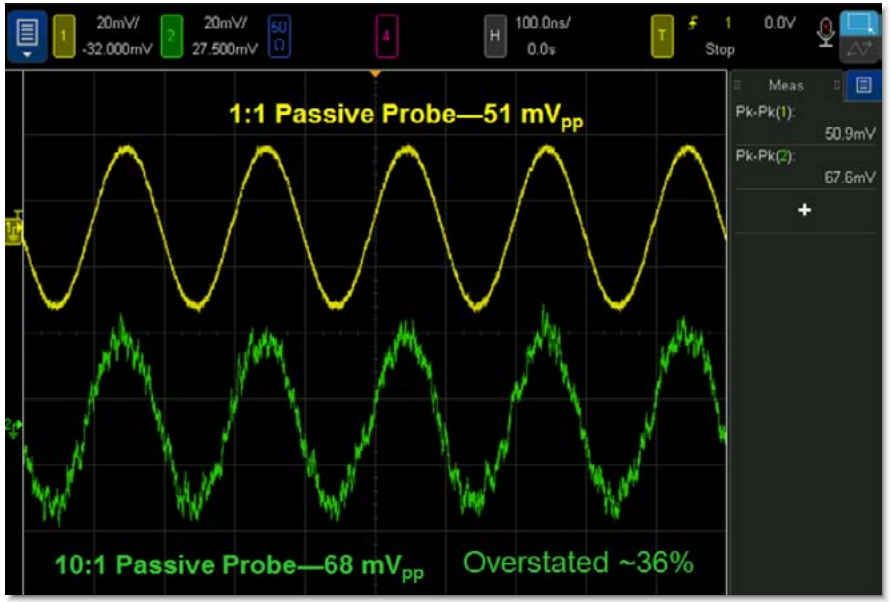


Рис 10. Синусоидальный сигнал с уровнем 50 мВ$_{пик-пик}$, измеренный с помощью пробников с коэффициентом ослабления 1:1 и 10:1

ПОДРОБНЕЕ

Видео: *Основы измерения уровня шума*

Рекомендации по применению: *оценка целостности сигнала осциллографа*

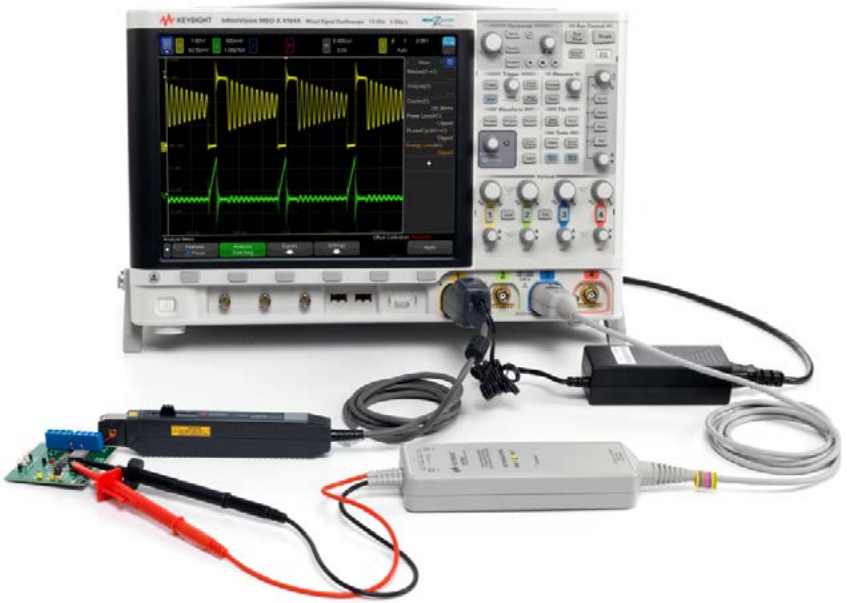
Рекомендации по применению: *8 советов для более эффективного использования осциллографических пробников*

Сведения об изделии

РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ KEYSIGHT В ОБЛАСТИ ПРОБНИКОВ

Подберите оптимальный пробник для конкретного применения с помощью разнообразных онлайн-инструментов. Ассортимент компании Keysight позволяет выбрать нужное решение в области пассивных, активных, дифференциальных, токовых и высоковольтных пробников. Пробники компании Keysight обеспечивают превосходные возможности для измерения сигналов с максимальной точностью в различных отраслях промышленности.

- Выберите нужный осциллографический пробник компании Keysight с помощью *Руководства по выбору осциллографических пробников и принадлежностей*.
- Загрузите приложение компании Keysight *Probe Resource Center (PRC)* (Центр ресурсов по пробникам) для удобного доступа к руководствам, техническим описаниям, моделям SPICE (симуляторам электронных схем), рекомендациям по применению и другим материалам по осциллографическим пробникам компании Keysight.
- Познакомьтесь с полным ассортиментом *осциллографических пробников и принадлежностей компании Keysight* на нашем веб-сайте.



Дополнительная информация

Все электрические цепи и условия измерений отличаются друг от друга. Один пробник в определенных условиях может работать, а другой — нет. При определенных обстоятельствах могут потребоваться дополнительные принадлежности. В других случаях необходимо обеспечить непосредственное соединение минимальной длины с испытуемым устройством. Некоторые подходы оказывают меньшее влияние на результаты испытаний, чем другие. Важно понимать, какие именно средства и методы позволят обеспечить максимально точные результаты в каждом конкретном случае.

Надемся, что описание приведенных выше типичных ошибок, совершаемых инженерами при работе с пробниками, поможет выбрать оптимальные средства измерений для решения ваших задач.

- Серия видеоматериалов с практическими советами *Секреты выбора и использования пробников*
- Хотите подробнее познакомиться с правильными приемами практического применения пробников? Почитайте блоги экспертов Keysight *Быстрое обучение точным измерениям с помощью осциллографических пробников*
- Познакомьтесь с ассортиментом *пробников и принадлежностей компании Keysight*

Чтобы быть в курсе самых последних обучающих материалов, методов и примеров успешного применения, подпишитесь на страницу Keysight Bench в Facebook, смотрите видеоролики на канале Keysight Labs на YouTube и следите за публикациями специалистов по осциллографам Keysight в Twitter.

Информация может быть изменена без уведомления. | 5992-2848RURU © Keysight Technologies, 2018. Опубликовано в США 20 марта 2018 г. | keysight.com
Bluetooth® и логотипы Bluetooth® являются зарегистрированными товарными знаками компании Bluetooth SIG, Inc., и любое использование этих знаков компанией Keysight Technologies осуществляется на основе лицензии.