

Keysight Technologies

Использование осциллографических пробников для измерения высокоскоростных сигналов



Рекомендации по
применению

Введение

Если Вам необходимо выполнить точные измерения параметров высокочастотных сигналов с использованием осциллографа, крайне важно внимательно подойти к выбору пробников и использовать их должным образом. Пробник является основным фактором, определяющим уровень собственных шумов и амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) измерительной системы. Влияние нагрузки, которую пробник представляет для тестируемой схемы, также должно стать предметом серьезного анализа.

В данных рекомендациях по применению мы обсудим активные пробники с полосами пропускания, превышающими 1 ГГц.

При выборе пробника Вам нужно оценить четыре аспекта, которые перечислены ниже.

- Характеристики пробников, V_{out}/V_{in}
- Нагрузка для тестируемого устройства (ТУ) на низких и высоких частотах
- Шум
- Адаптируемость и простота использования при подключении к различным тестируемым устройствам

Архитектура системы пробников InfiniiMax

Архитектура системы пробников InfiniiMax, разработанная компанией Keysight Technologies, учитывает все эти аспекты. Ключевой особенностью архитектуры InfiniiMax является отделение головки пробника от усилителя пробника. Эта архитектура позволяет реализовать головки пробников небольшого размера для доступа к точкам тестирования, которые находятся в ограниченном пространстве, одновременно оптимизируя АЧХ и нагрузку, которую пробник представляет для тестируемого устройства.

Преобладающее влияние на АЧХ и нагрузку пробника оказывают размеры соединения с тестируемой схемой. Чем меньше эти размеры, тем меньше ёмкость и индуктивность в этой части схемы. Конструкция головок пробников InfiniiMax уменьшает эти размеры до практического предела.

Для передачи сигнала между выходом головки пробника и входом усилителя пробника используется 50-омный тракт. При надлежащем 50-омном согласовании длина кабеля оказывает минимальное влияние на АЧХ. Если необходимо удалить головку пробника от усилителя пробника на большее расстояние, можно даже добавить между ними удлинительные кабели, и это окажет минимальное влияние на рабочие характеристики. Подробнее см. рекомендации по применению 1601 “Extending the Range of InfiniiMax Probes” (Расширение диапазона работы пробников InfiniiMax компании Keysight) по ссылке: <http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5989-7587EN.pdf>.

Архитектура системы пробников InfiniiMax в своей основе является дифференциальной. Даже если проводится измерение несимметричного сигнала, дифференциальный пробник всегда обеспечивает превосходные результаты, особенно с увеличением полосы частот сигнала. Напомним, что все сигналы являются дифференциальными; “земля” — это удобное предположение. Дифференциальный пробник будет представлять собой

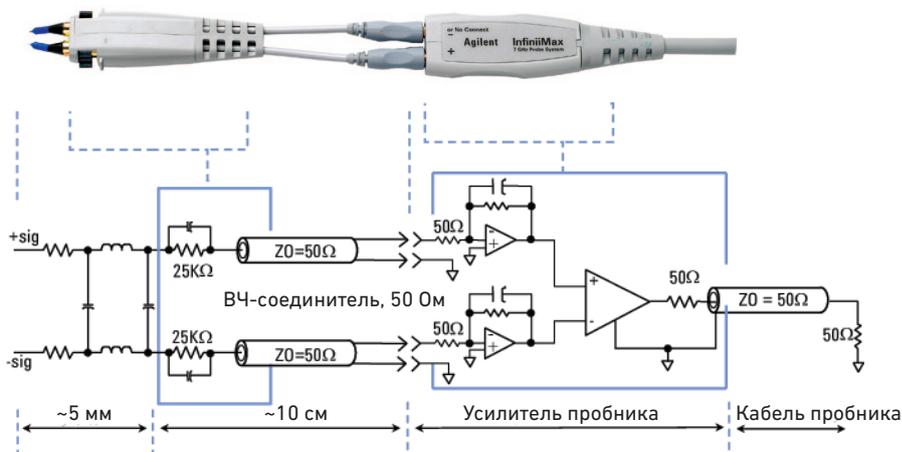


Рисунок 1. Архитектура системы пробников InfiniiMax



Рисунок 2. Увеличенное изображение впаиваемой головки пробника InfiniiMax

меньшую нагрузку (за счёт более высокого импеданса) для высокочастотных сигналов в дополнение к более высокому коэффициенту ослабления синфазного сигнала (CMRR). Подробнее о преимуществах дифференциальных пробников при измерении несимметричных сигналов см. рекомендации по применению 1419-03 “Performance Comparison of Differential and Single-Ended Active Voltage Probes” (Сравнение характеристик дифференциальных и несимметричных активных пробников напряжения) по ссылке: <http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5988-8006EN>.

Дополнительный диапазон смещения, доступный в активных пробниках, является преимуществом использования пробника, которое часто не замечают. Этот

дополнительный диапазон смещения позволяет измерять с хорошим разрешением сигналы переменного тока низкого уровня с большой величиной смещения постоянного тока. Подробнее см. рекомендации по применению 1451 “Understanding and Using Offset in InfiniiMax Active Probes” (Понимание и использование смещения в активных пробниках InfiniiMax) по ссылке: <http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5988-9264EN.pdf>.

Характеристики пробников

Наиболее эффективным способом получения характеристик пробника во временной и частотной областях, является определение выходного сигнала как функции от входного сигнала на наконечниках пробника. Определение характеристик таким способом позволяет оценить точность пробника при воспроизведении фактического сигнала, присутствующего в тестируемой системе с присоединённым пробником. Некоторые производители определяют характеристики пробника как отношение напряжения выходного сигнала пробника к напряжению сигнала источника (V_{out}/V_{source}), другими словами, “что будет здесь, если бы пробника не было”. Другие производители разрабатывают свои пробники и программное обеспечение коррекции с использованием цифровой обработки сигналов (ЦОС), чтобы показать, каким сигнал “был бы” в отсутствие пробника.

При определении характеристик таким способом необходимо сделать ряд предположений о свойствах тестируемой системы. В результате характеристики могут быть определены только для конкретной конфигурации тестируемой системы. Это может привести к ошибочным предположениям о том, как характеристики пробника повлияют на результаты измерения тестируемой системы. Кроме того, если нагрузка пробника служит причиной некоторой потери величины допуска по времени и амплитуде, при проведении измерений Вы наверняка захотите об этом знать. Компенсация V_{out}/V_{source} будет скрывать эти эффекты от Вас.

Характеристики всех сочетаний головок пробников и усилителей пробников задокументированы в руководствах по эксплуатации пробников (User’s Guides), которые доступны на сайте компании Keysight. Например, рассмотрим усилитель пробника 1169A и впаиваемую головку пробника N5381A с полосами пропускания 12 ГГц. В руководстве по эксплуатации 1169A, <http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/01169-97007.pdf>, переходная характеристика во временной области показана на

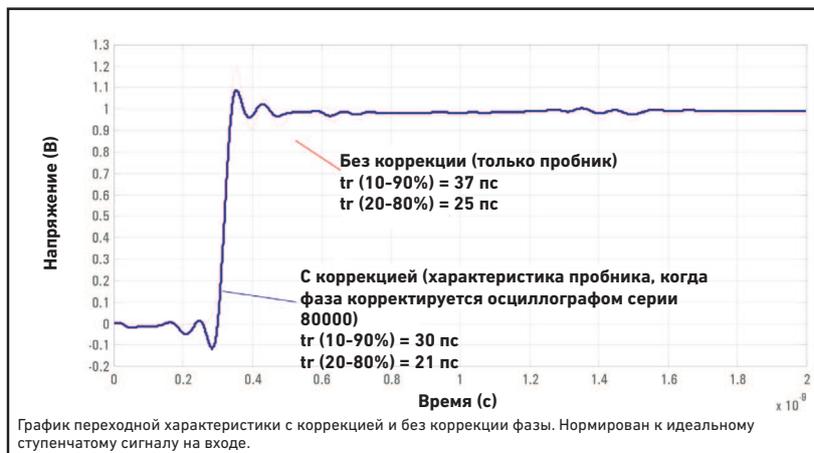


Рисунок 3. Характеристика впаиваемой головки пробника N5381A и усилителя пробника 1169A во временной области

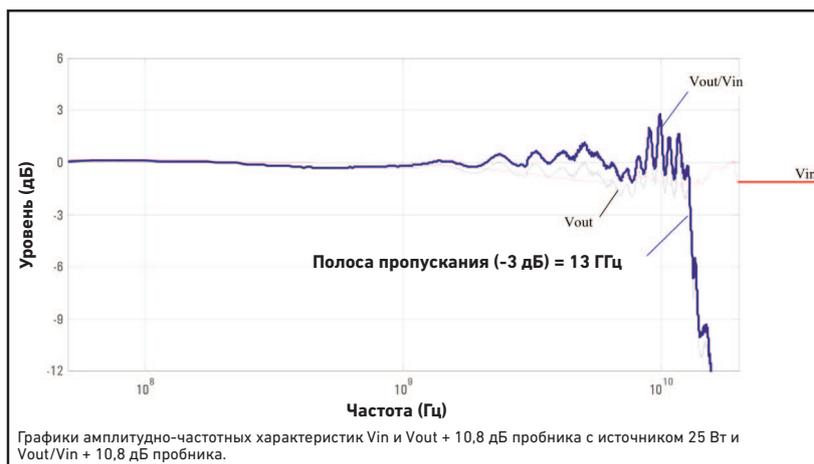


Рисунок 4. АЧХ впаиваемой головки пробника N5381A и усилителя пробника 1169A.

рисунке 2-18 (страница 2-24) и воспроизведена в этих рекомендациях по применению на рисунке 3.

Заметим, что если пробник используется с осциллографами DSO/DSA80000 и DSO/DSA90000 компании Keysight, методы ЦОС используются в осциллографе для дополнительной коррекции характеристик пробника как по амплитуде, так и по фазе. На графике показаны характеристики как с коррекцией ЦОС, так и без неё.

Нагрузка для тестируемой системы

Нагрузка, которую пробник представляет для тестируемой системы, является вторым важнейшим аспектом системы пробников. Чрезмерная нагрузка в диапазонах низких и средних частот будет снижать амплитуду тестируемых сигналов, тем самым уменьшая величину допуска при тестировании амплитудных параметров, или в некоторых случаях приведёт к тому, что “хорошая” система будет фактически признана неисправной. Пробники некоторых производителей имеют импеданс порядка 450 Ом в диапазонах средних частот, что приводит к уменьшению амплитуды сигнала на 5% при измерении линии передачи с импедансом 50 Ом. Чрезмерная нагрузка в диапазонах высоких частот приведёт к увеличению времени нарастания и спада сигналов тестируемой системы, дополнительным задержкам и межсимвольной интерференции (ISI).

Характеристики нагрузки для всех пробников серии InfiniiMax компании Keysight задокументированы в руководствах по эксплуатации. Например, рассмотрим впаиваемую головку пробника N5381A с полосой пропускания 12 ГГц. В руководстве по эксплуатации, <http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/01169-97007.pdf>, характеристики нагрузки во временной области показаны на рисунке 2-19 (страница 2-24) и воспроизведены в этих рекомендациях по применению на рисунке 5.

На синем графике показан ступенчатый сигнал со временем нарастания 58 пс, передаваемый по линии передачи с импедансом 50 Ом, без присоединённого пробника. На красном графике показано, как этот сигнал в линии передачи изменяется, когда к нему подключается головка пробника.

Характеристики нагрузки в частотной области показаны на рисунке 2-23 (страница 2-26) руководства по эксплуатации и воспроизведены в этих рекомендациях по применению на рисунке 6.

На рисунке 6 можно увидеть, что входной импеданс в дифференци-

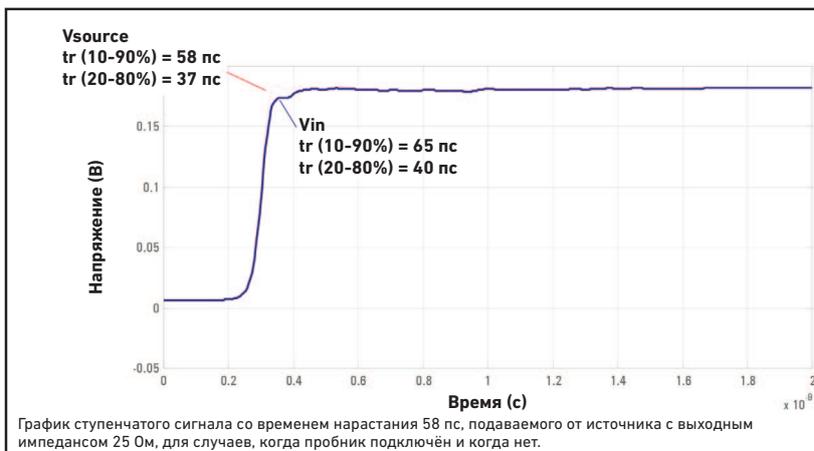


Рисунок 5. Характеристики нагрузки во временной области для впаиваемой головки пробника N5381A

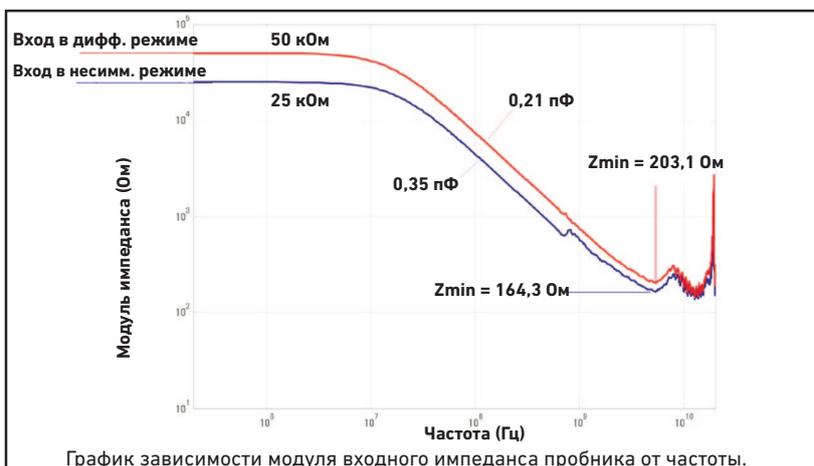


Рисунок 6. Характеристики нагрузки в частотной области для впаиваемой головки пробника N5381A

альном режиме всегда выше, чем в несимметричном режиме.

Для всех высокоимпедансных головок пробников серии InfiniiMax доступны модели Spice. Вы можете использовать модели Spice для создания прототипа, чтобы понять, как нагрузка пробника повлияет на работу тестируемой схемы. Модели Spice представлены в руководствах о эксплуатации. В руководстве по эксплуатации 1169A модели Spice приведены, начиная со страницы 3-1.

Шум

Шум пробников обычно больше, чем уровень собственных шумов осциллографа, поэтому выбор пробника с низким уровнем собственных шумов очень важен для точных измерений. Шум транслируется в джиттер на перепаде сигнала и таким образом оказывает влияние и на измерения параметров джиттера. Чем медленнее скорость нарастания сигнала, тем более заметным становится шум. Усилители пробников 1168A и 1169A серии InfiniiMax компании Keysight имеют исключительно низкий уровень собственных шумов 2,6 мВ СКЗ, отнесенный ко входу пробника.

Адаптируемость

Архитектура системы пробников InfiniiMax обеспечивает гибкость, необходимую для измерения широкого разнообразия конфигураций тестируемых систем. Мы предлагаем следующие головки пробников:

- Впаиваемые головки пробников с полосами пропускания 7 и 12 ГГц
- Головки и наконечники пробников с нулевым усилением сочленения (ZIF) и полосами пропускания 12 ГГц
- Головки-браузеры для дифференциальных сигналов с полосами пропускания 6 и 12 ГГц
- Головка-браузер для несимметричных сигналов с полосой пропускания 5 ГГц
- Головка пробника для дифференциальных сигналов с наконечниками в виде розеток и полосой пропускания 12 ГГц
- Головки пробников со сдвоенными соединителями SMA для дифференциальных сигналов с полосами пропускания 7 и 12 ГГц

Все головки пробников являются дифференциальными, за исключением головки-браузера для несимметричных сигналов E2676A.

Длина проводников

Две точки, к которым требуется подключить пробник, не всегда могут быть расположены удобно и близко друг к другу. Впаиваемая головка пробника E2677A, наконечники ZIF с удлинитель-

ными проводниками N5451A и головка пробника с наконечниками в виде розеток E2678A могут присоединять проводники различной длины для настройки подключения к точкам, расположенным на разных расстояниях.

Для более длинных проводных соединений с тестируемой системой необходимо находить компромиссные решения. Чем длиннее проводники, тем больше будет нагрузка, а первая резонансная частота будет меньше как для АЧХ, так и характеристик нагрузки. Для технического решения с более длинными проводниками следует выбирать демпфирующие резисторы, чтобы обеспечить оптимальное сглаживание как для АЧХ, так и для характеристик нагрузки. Это вызывает сужение полосы пропускания, но подавляет резонансы, выравнивая как АЧХ, так и характеристики нагрузки. В руководстве по эксплуатации пробника содержатся АЧХ и характеристики нагрузки для каждого технического решения. Например, в руководстве по эксплуатации усилителя пробника 1169A, стр. 2-24, размещено описание наконечников ZIF с удлинительными проводниками N5451A. АЧХ и характеристики нагрузки любого технического решения с длинными соединениями также зависят от угла между проводниками. Поэтому для наконечников ZIF с удлинительными проводниками в руководстве содержатся АЧХ и характеристики нагрузки для значений угла между резистивными проводниками, равных 0 и 60 градусам.

Следует также иметь в виду, что сигналы, разнесенные в пространстве на значительном расстоянии, не являются в полном смысле слова “дифференциальными”, поскольку их поля не связаны. Поэтому в данном случае можно говорить только о двух несимметричных режимах, а не об истинном “дифференциальном” режиме.

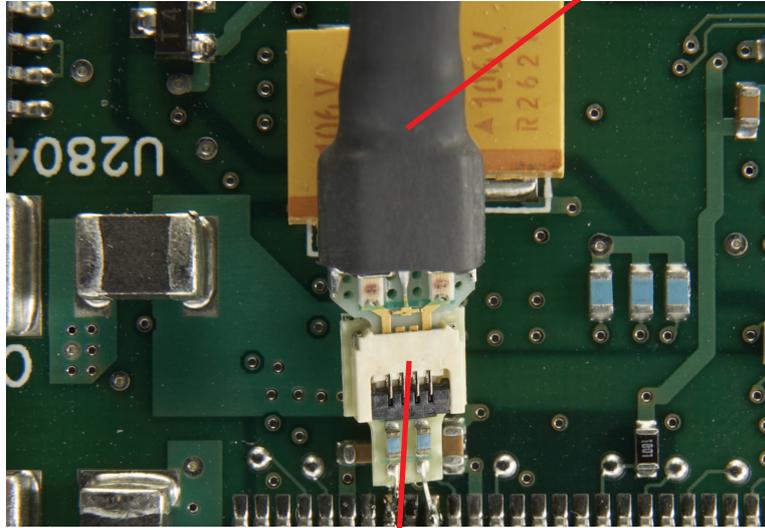
АЧХ и характеристики нагрузки для дифференциальной впаиваемой головки пробника E2677A с демпфирующими резисторами для средней

ширины полосы пропускания можно найти в руководстве по эксплуатации усилителя пробника 1134A, <http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/01134-97009.pdf>, стр. 1-34.

Головки и наконечники пробников с нулевым усилением сочленения (ZIF)

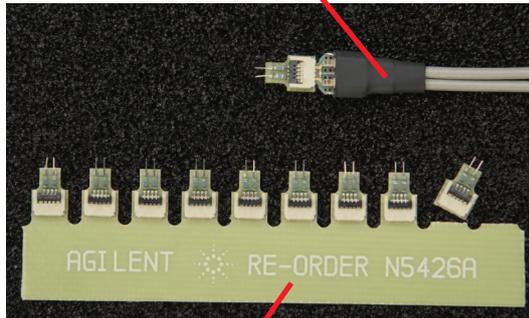
Головка пробника ZIF N5425A и наконечники ZIF N5426A экономят средства и очень удобны, когда необходимо перемещать пробники между множеством точек измерения в тестируемой системе. Стоимость наконечников ZIF намного ниже стоимости головок пробника. Для заказа используется номер модели, включающий комплект из десяти наконечников ZIF. Для подключения к точкам измерения, расположенным на большем расстоянии друг от друга, доступны наконечники ZIF с удлинительными проводниками (комплект из десяти таких наконечников доступен для заказа под номером модели N5451A).

Головка пробника ZIF N5425A, присоединённая к наконечнику ZIF



Наконечник ZIF, запаянный в тестируемую систему

Головка пробника ZIF N5425A



Наконечники ZIF N5426A

Рисунок 7. Головка пробников ZIF N5425A и наконечники ZIF N5426A

Головки пробников со сдвоенными соединителями SMA

Keysight предлагает головку пробников со сдвоенными соединителями SMA — N5380A (12 ГГц). Если тестируемый сигнал выведен на коаксиальные ВЧ-соединители, зачем использовать дифференциальный пробник с соединителями SMA вместо того, чтобы просто подключать два сигнала к двум каналам осциллографа с помощью коаксиальных кабелей и использовать математическую функцию для вычитания двух компонентов дифференциального сигнала?

Рассмотрим преимущества использования пробника с дифференциальной головкой пробника с соединителями SMA. При использовании кабелей для подключения дифференциальных сигналов к двум каналам осциллографа результаты в значительной степени зависят от того, насколько точно настроена временная задержка между этими двумя каналами. Коэффициент ослабления синфазного сигнала зависит от любых незначительных отличий в калибровке этих двух каналов. При использовании дифференциального пробника не нужно беспокоиться о настройке временной задержки одного канала относительно другого или калибровке коэффициентов усиления отдельных каналов.

При использовании коаксиальных кабелей для подключения двух составляющих дифференциального сигнала (или несимметричных сигналов) к осциллографу, S-параметры коаксиального кабеля влияют на точность измерений (конечно, можно исключить влияние кабелей из результатов измерения, если имеется хорошая модель для этих кабелей). С другой стороны, пробник обеспечивает компенсацию, предназначенную для учёта характеристик кабеля, соединяющего усилитель пробника с осциллографом, и его внутренних схем. Если пробники 1168A или 1169A используются с осциллографами серий DSO/DSA80000B или DSO/DSA90000A, осциллограф автоматически применяет цифровые фильтры обработки сигналов для обеспечения ещё большего выравнивания АЧХ.

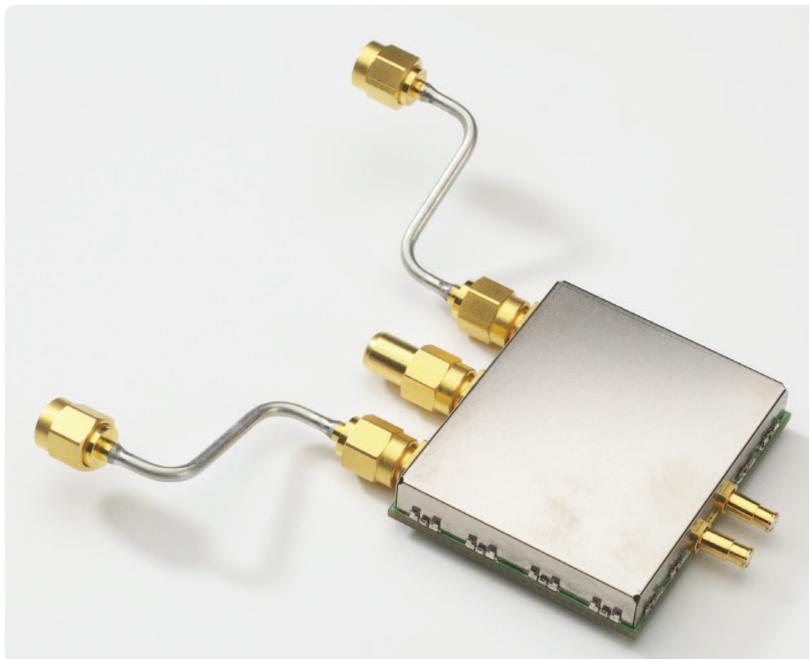


Рисунок 8. Дифференциальная головка пробника со сдвоенными соединителями SMA N5380B.

При использовании коаксиальных кабелей и математических функций для измерения каждого дифференциального сигнала требуется два канала осциллографа, что позволяет одновременно измерять с помощью 4-канального осциллографа только два дифференциальных сигнала. Используя дифференциальные пробники, можно измерять четыре сигнала одновременно. Это позволяет, например, одновременно просматривать две линии, где каждая линия состоит из одной дифференциальной пары, обеспечивающей передачу данных в обоих направлениях.

Принципиальным недостатком использования пробника вместо непосредственного подключения с использованием коаксиальных кабелей является вносимый пробником шум.

Использование удлинительных кабелей с головками пробников

В камере для проведения температурных испытаний Вам может потребоваться контролировать состояние системы с помощью осциллографического пробника. Это необходимо для снятия характеристик тестируемого устройства или системы в широком диапазоне рабочих температур, либо для определения причины отказов при высоких или низких температурах. Усилители пробников InfiniiMax компании Keysight имеют нормированный рабочий диапазон температур от 5 до 40°C. Однако головки пробников могут работать в значительно более широком диапазоне. Можно использовать набор удлинительных кабелей N5450B компании Keysight (рисунок 9), чтобы физически отделить головки пробников от усилителей пробников. За счёт этого обеспечивается возможность работы головок пробников внутри камеры для проведения температурных испытаний, а усилителей — за пределами камеры. Подробнее см. рекомендации по применению 1601 "Extending the Range of Keysight InfiniiMax Probes" (Расширение диапазона работы пробников InfiniiMax компании Keysight), <http://cp.literature.keysight.com/litweb/pdf/5989-7587EN.pdf>.

Расширение динамического диапазона пробников

Динамический диапазон усилителей пробников серии 1130 равен 5 В (размах), а динамический диапазон серии 1160 — 3,3 В (размах). Если Вам нужно измерять сигналы в более широком диапазоне, архитектура пробников InfiniiMax позволяет добавлять коаксиальные ВЧ-аттенюаторы между головкой пробника и усилителем пробника для расширения динамического диапазона. Атенюаторы позволяют также увеличить диапазон смещения пробника. Подробнее см. рекомендации по применению 1601 "Extending the Range of Keysight InfiniiMax Probes" (Расширение диапазона работы пробников InfiniiMax компании Keysight), ссылка на которые указана выше.



Рисунок 9. Головка пробника InfiniiMax и удлинительные кабели N5450B, подключённые к усилителю пробника

Комплексное определение характеристик дифференциальных сигналов

Для полного определения характеристик дифференциальных сигналов необходимо измерить:

- составляющую дифференциального сигнала в дифференциальном режиме (V_p-V_m)
- составляющую дифференциального сигнала в синфазном режиме (V_{cmsig})

Чтобы выполнить эти измерения с помощью несимметричных пробников, один пробник, подключённый к первому каналу осциллографа, необходимо соединить между точками V_p и V_{gd} (см. рисунок 10), а другой пробник, подключённый ко второму каналу осциллографа, — между точками V_m и V_{gd} . Затем следует использовать математические функции осциллографа, чтобы вычислить синфазный и дифференциальный сигналы. Синфазный сигнал, V_{cmsig} , равен $(V_p + V_m)/2$.

Из-за индуктивности соединения с заземлением несимметричные пробники недостаточно хорошо подавляют составляющую V_{cmdt} , особенно на более высоких частотах. Это может привести к искажению результата измерения синфазного сигнала, V_{cmsig} , поскольку это измерение не должно включать в себя составляющую V_{cmdt} .

Индуктивность соединения с заземлением также позволяет паразитным сигналам проникать на экран коаксиального кабеля пробника. Маршрут следования и положение коаксиального кабеля пробника будут определять, в какой степени эти сигналы будут отражаться обратно к точке подключения наконечника пробника к сигнальной земле. Эти отражённые сигналы воздействуют на измеряемый сигнал и служат причиной проблем повторяемости результатов измерений, если кабель пробника перемещается.

Все сигналы могут быть получены путём использования дифференциальных пробников и математических функций осциллографа.

Подсоедините один дифференциальный пробник, подключённый к одному каналу осциллографа, между точками V_p и V_{gd} (см. рисунок 10), а другой дифференциальный пробник, подключённый ко второму каналу осциллографа, — между точками V_m и V_{gd} . Дифференциальный и синфазный сигналы могут быть получены посредством использования математических функций осциллографа. Альтернативный способ заключается в том, что измерить напряжение между точками V_p-V_m можно непосредственно с помощью одного дифференциального пробника. Преимущество использования двух пробников, подключаемых к точкам V_p и V_m , заключается в том, что как дифференциальный, так и синфазный сигнал можно измерить, используя одно подключение и только два пробника. Также можно наблюдать индивидуальные сигналы V_p и V_m . Это важно в ходе проведения диагностики, например, если только на одной стороне обнаруживаются выбросы или перекрёстные помехи.

Дифференциальный пробник с хорошим ослаблением синфазного сигнала будет существенно подавлять составляющую V_{cmdt} при измерении V_p-V_{gd} и V_m-V_{gd} .

За счёт ослабления синфазных сигналов будут также в значительной степени подавляться любые сигналы, которые проникают на экран коаксиального кабеля пробника и отражаются обратно к точке подключения наконечника пробника к сигнальной земле.

Дифференциальный пробник может непосредственно измерять V_p-V_m . Это позволяет убедиться в том, что косвенное измерение (то есть, определяемое как разность измерений двух сигналов) согласуется с результатом прямого измерения и таким образом гарантирует, что оба пробника надлежащим образом выровнены.

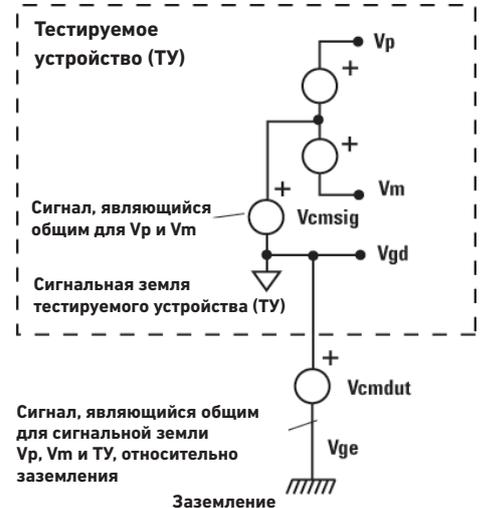


Рисунок 10. Измеряемая система дифференциальной передачи сигналов

Краткие выводы

Система пробников InfiniiMax компании Keysight предлагает оптимальное сочетание точности воспроизведения сигнала, нагрузки для тестируемой схемы, низкого уровня шумов и простоты использования для решения проблем подключения к различным тестируемым устройствам. Понимание преимуществ и недостатков доступных усилителей пробников, головок пробников и принадлежностей поможет получить наилучшие результаты измерений параметров тестируемого устройства.

Список литературы

Дифференциальные и несимметричные пробники 1134A серии InfiniiMax с полосой пропускания 7 ГГц. Руководство по эксплуатации
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/01134-97009.pdf>

Дифференциальные и несимметричные пробники 1168A и 1169A серии InfiniiMax. Руководство по эксплуатации
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/01169-97007.pdf>

Сравнение характеристик дифференциальных и несимметричных активных пробников напряжения, рекомендации по применению 1419-03,
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5988-8006EN.pdf>

Повышение удобства использования и характеристик широкополосных осциллографических пробников, рекомендации по применению 1419-02,
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5988-8005EN.pdf>

Понимание и использование смещения в активных пробниках InfiniiMax, рекомендации по применению 1451,
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5988-9264EN.pdf>

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.



www.lxistandard.org

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.

<http://www.pxisa.org>



PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) – это формат модульного высокопроизводительного вычислительного и контрольно-измерительного оборудования, предназначенного для работы в жестких производственных условиях.



Трехлетняя гарантия

www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty

Keysight обеспечивает высочайшее качество продукции и снижение общей стоимости владения. Единственный производитель контрольно-измерительного оборудования, который предлагает стандартную трехлетнюю гарантию на все свое оборудование.



Планы Технической Поддержки Keysight

www.keysight.com/find/AssurancePlans

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.



www.keysight.com/quality

Система управления качеством Keysight Electronic Measurement Group сертифицирована DEKRA по ISO 9001:2008

Торговые партнеры компании Keysight

www.keysight.com/find/channelpartners

Получите двойную выгоду: богатый опыт и широкий выбор продуктов Keysight в сочетании с удобствами, предлагаемыми 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-05-19-14)