

Экстремальные измерения. Советы и рекомендации по продлению срока службы оборудования и выполнению качественных измерений в сложных физических условиях

Джейсон СВЕМ (Jason SVAME),
Нед БРАШ (Ned BRACH)

Размеры бытовых электронных приборов постоянно уменьшаются. Электронные системы все шире применяются в новых легковых автомобилях и грузовиках. Аэрокосмическая и оборонная промышленность постоянно ужесточают климатические требования к устройствам, обладающим все меньшими размерами и все большей универсальностью. Такая тенденция ведет к тому, что измерительные приборы, используемые на всех этапах разработки — проектирования, отладки и проверки, должны функционировать в постоянно усложняющихся условиях. Большие температурные перепады, трудный доступ, небольшие размеры тестируемых устройств и прочие характеристики предъявляют к осциллографам и пробникам достаточно жесткие требования. Но не все так плохо. Соблюдение достаточной аккуратности, знание, чего можно ожидать в «экстремальных» условиях, и следование здравому смыслу позволяют выполнять высокоточные и достоверные измерения с помощью стандартных пробников и иного инструментария.

К экстремальным измерениям относятся ситуации, в которых без тщательного учета всех условий можно повредить пробники и прочий инструментарий, выполнить неточные измерения или получить недостоверные данные. Традиционные «уловки», используемые инженерами для выполнения таких замеров, часто имеют негативные последствия с точки зрения целостности сигнала. Некоторые экстремальные ситуации, независимо от принятых мер, могут привести к повреждению измерительных приборов, и в этих случаях следует использовать несколько подходов, способствующих максимальному продлению срока их службы.

Экстремальная геометрия

Имея дело с постоянно уменьшающимися размерами компонентов, инженеры зачастую оказываются в ситуациях, когда измерительный прибор приходится присоединять к проводникам, которые трудно разглядеть невооруженным глазом, не говоря уж о получении надежного электрического контакта, особенно с помощью ручных пробников. Многие изготовители данных инструментов предлагают переходники (сменные «головки»): такие сис-

темы не только являются наилучшим решением в ситуациях, критичных с точки зрения электрических характеристик, но и обладают другими дополнительными преимуществами. Оснащенный таким образом пробник представляет собой усилитель измерительного прибора с любым числом головок, каждая из которых максимально приспособлена к определенной ситуации. Использование головки вызывает некоторые неудобства из-за необходимости тщательного припаивания пробника к контрольной точке, но может сберечь массу времени, если возникнет потребность повторного подключения в этом же месте: соединение выполняется единожды, что очень важно в труднодоступных местах. Однако в схемах с большим числом контрольных точек такое решение может оказаться слишком дорогим, поскольку головки пробника содержат обычно прецизионные электронные компоненты. Решить эту проблему позволяют некоторые разновидности традиционных припаяваемых переходников. Головки пробника (рис. 1) и наконечники типа ZIF (с нулевым усилием сочленения) работают с дифференциальными усилителями пробника и могут существенно снизить его стоимость при большом количестве контрольных точек. Обычно в таких

случаях используются одноразовые наконечники, которые припаиваются в разных местах печатной платы. Затем более дорогие и чувствительные головки пробника можно попеременно подключать к этим наконечникам.

Инженерам трудно устоять перед искушением удлинить провода наконечников, чтобы дотянуться в труднодоступные места. Возле наконечников активных пробников обычно расположен достаточно большой усилитель, который затрудняет доступ в узкие места, или же осциллограф может располагаться так далеко от тестируемого устройства, что длины кабеля пробника может оказаться недостаточно. Некоторые изготовители выпускают выносные головки или наконечники (например, наконечники ZIF с длинными проводами Agilent N5451A). Провода таких наконечников представляют собой согласованную линию передачи. Как правило, в пробниках нагрузка этих проводов значительно превышает характеристическое сопротивление самих проводов, что порождает низкочастотный резонанс по входу на частоте, соответствующей 1/4 длины волны. С ростом длины провода растет длина линии передачи и, следовательно, снижается резонансная частота, что вызывает сужение полосы пропус-

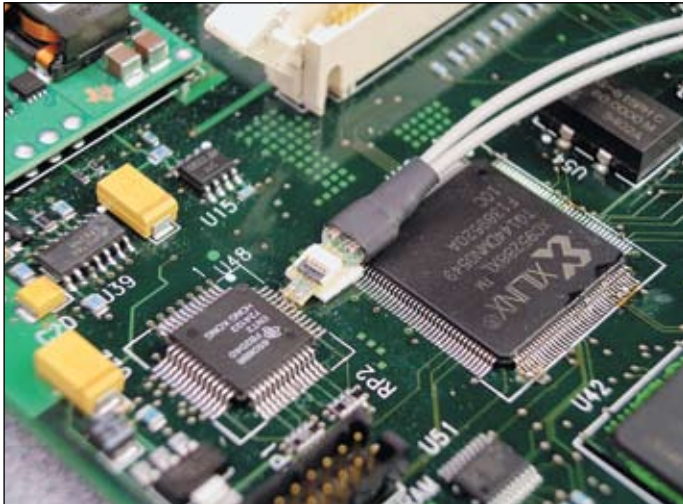


Рис. 1. Головка пробника типа ZIF Agilent N5425A с ZIF-наконечником N5426A и двусторонней клейкой лентой



Рис. 2. Головка пробника Agilent InfiniiMax, удлинительные кабели и кабель усилителя

кания пробника. Важно понимать, что раздвигание проводов в стороны также сужает полосу измерения.

Резистор, который устанавливается в наконечниках всех широкополосных пробников, смягчает влияние резонанса, ограничивая нижнюю частоту резонанса входного сопротивления. Важно, чтобы этот резистор располагался как можно ближе к тестируемому устройству. К сожалению, резистор наконечника не защищает от сужения полосы, вызванного длиной его проводов, поэтому наращивание проводов неприменимо для выполнения высокоточных широкополосных измерений.

Как говорилось выше, знание принципов работы системы снятия сигнала помогает инженеру принимать разумные решения в сложных условиях работы проектируемых схем и измерительных приборов. В традиционных пробниках применяется сравнительно высокоомный компенсированный делитель, включенный перед высокоомным измерительным преобразователем напряжения. Из-за большого сопротивления эта топология не может применяться в линиях передачи с регулируемым сопротивлением. В результате компенсированный делитель должен располагаться в непосредственной близости от усилителя. Сейчас многие изготовители пробников используют концепцию так называемого «утолщения кабеля». В этом случае пассивный наконечник минимального размера соединяется с усилителем гибким коаксиальным кабелем малого диаметра, характеристическое сопротивление которого равно входному сопротивлению усилителя. Такая топология позволяет использовать разные наконечники для разных приложений. Система представляет собой согласованную линию передачи, обладающую меньшим паразитным влиянием и меньшими потерями, чем традиционные системы. В случае измерений в экстремальных условиях эта линия передачи дает существенные преимущества. Ее длину можно зна-

чительно увеличивать без сужения полосы. Удлинительные коаксиальные кабели практически не искажают измеряемые сигналы и позволяют размещать усилитель на значительном расстоянии от исследуемого образца.

Удлинение линии передачи между головкой и усилителем пробника хоть и в незначительной степени, но все же оказывает влияние на целостность сигнала: возможны некоторые потери и увеличение эквивалентного входного шума. Поэтому очень важно использовать высококачественные коаксиальные кабели. Двумя наиболее важными характеристиками таких кабелей являются согласование по фазе и потери. Рассогласование по фазе отрицательно сказывается на целостности поступающего на усилитель дифференциального сигнала. Максимальное снижение потерь в кабеле позволяет минимизировать внутриполосные потери, что проявляется во временной области в виде снижения времени нарастания. Удлинительные кабели Agilent N5450A — это кабели с малыми потерями, которые поставляются согласованными по фазе парами, что позволяет свести к минимуму их влияние на целостность сигнала.

Удлинительные кабели позволяют выполнять измерения в сложных ситуациях, а в некоторых случаях без их применения вообще не удастся что-либо измерить. Они особенно удобны, когда усилитель пробника не помещается возле тестируемого устройства. Кабели позволяют держать усилитель за пределами его корпуса. Припаиваемые головки позволяют переставлять усилители пробника между кабелями, не выключая тестируемое устройство.

При пропускании кабеля через отверстия в стенках корпуса или в крепежном приспособлении нужно ослабить его натяжение, закрепляя его в критических точках (где случайный рывок может нарушить электрический контакт) застежками-липучками, двусторонней липкой лентой (рекомендуется двусторонняя лента 3М №4416) или легкоплавким

термоклеем. Не забывайте, что возле головки клей и липкую ленту нужно применять с крайней осторожностью. Придерживайтесь следующего простого правила — во избежание механических повреждений и ухудшения электрических характеристик расстояние от клея или липкой ленты до соединительных проводов должно быть не менее 6 мм. Даже небольшое количество клеящего вещества в непосредственной близости от проводов наконечника может существенно изменить его электрические характеристики.

Экстремальная температура

Тепловые испытания электронных устройств для определения предельных диапазонов температур становятся вполне обычным делом. В компании Agilent принято разделять температуру на три общих диапазона: «стандартный», в котором гарантируется соблюдение всех заявленных характеристик изделия (от +5 до +40 °С), «умеренно жесткий», используемый обычно для тестирования бытовых электронных приборов в предельных режимах (от -25 до +80 °С), и «очень жесткий» диапазон, применяемый обычно в автомобильной и аэрокосмической промышленности (от -55 до +150 °С). Активные пробники, имеющие обычно встроенный в кабель интегральный усилитель (так называемое «утолщение кабеля»), не рассчитаны на температуры за пределами стандартного диапазона из-за прецизионных электронных компонентов усилителя, а также из-за проблемы отвода тепла при высоких температурах. Было бы весьма непрактично и дорого создавать усилитель активного пробника, способный надежно работать в широком диапазоне температур. Кроме того, калибровка осциллографических пробников предполагает, что температура окружающей среды вокруг усилителя и осциллографа не сильно меняется во время измерения. Наиболее практичный подход заключа-

ется в том, чтобы воздействию экстремальных температур подвергалась лишь головка, а усилитель оставался при комнатной температуре. Головки пробников содержат только пассивные компоненты и не столь чувствительны к сильным перепадам температур. Компания Agilent протестировала различные головки пробников InfiniiMax в трех упомянутых температурных диапазонах [2]; сведения о предельных рабочих температурах вашего оборудования можно получить у изготовителя. Удлинительные кабели позволяют подвергать тестируемое устройство и головки сильным перепадам температур, например, в климатических камерах, не оказывая влияния на усилитель пробника или осциллограф.

В принципе, для нагрева и охлаждения тестируемой схемы можно использовать термофен и охлаждающий аэрозоль, однако эти методы не обеспечивают должного контроля температуры. Применяя термофен, можно повредить материалы, из которых изготовлены пробник или печатная плата (то есть достичь температуры плавления). Значительно точнее температура контролируется в климатических камерах.

При экстремальных температурах, особенно на краях очень жесткого диапазона, свойства многих материалов коренным образом изменяются. Пластмассы при охлаждении могут становиться хрупкими и ломкими, а примерно при +150 °С большинство из них достигает температуры стеклования или плавления. Особое внимание следует уделять оболочке кабеля, так как она особенно чувствительна к воздействию высокой температуры. Старайтесь не скручивать и не перегибать кабели пробников и тестируемых устройств, если они будут подвергаться воздействию очень высоких температур.

С изменением температуры все материалы в той или иной степени меняют форму. Это значит, что при изменении температуры могут возникать и устраняться обрывы, происходить нежелательные соединения электрических цепей. Также под влиянием температуры могут искажаться электрические свойства пассивных компонентов из-за изменения структуры материалов, из которых они изготовлены. Однако наибольшие проблемы возникают из-за температурной зависимости характеристик активных компонентов, таких как ИМС, ПЛИС и других. Исследование характеристик этих компонентов в широком диапазоне температур играет очень важную роль в отыскании сбоев и других ошибок, которые могут не проявляться в «нормальных» рабочих условиях. Применение головок пробника, рассчитанных на такие условия, и соответствующих удлинительных кабелей позволяет выполнять электрические измерения этих компонентов в очень широком диапазоне температур.

При подключении пробников к исследуемому устройству в климатической камере важную роль играет их закрепление, поскольку в процессе работы камеры точное позицио-

нирование пробника становится практически невозможным. Большинство клеев и липких лент плохо переносят воздействие предельных температур. Лучше заранее проверить теплоустойчивость клеящих материалов на безопасном участке. Безопасным участком можно считать оболочку кабеля, подключенного к головке пробника Agilent: даже если клей разложится и потечет, оболочка кабеля защитит проводники и предотвратит искажение сигнала пробника. Другим фактором, который необходимо учитывать при сильных перепадах температуры, является конденсация влаги на компонентах пробника и тестируемого устройства. Влага может вызывать короткие замыкания и приводить к электрическому повреждению головок пробника или тестируемого устройства. Заметив конденсацию, отключите питание всех устройств и приборов и, прежде чем продолжить измерения, дождитесь испарения влаги.

Важно отметить, что воздействие предельных температур существенно сокращает срок службы всех компонентов схем и пробников. Причем, особую опасность представляет циклическое изменение температуры, и именно поэтому срок службы устройств проверяется в экстремальных температурных условиях в камерах ускоренного тестирования срока службы (HALT). Информацию о реальных сроках службы сертифицированных головок пробника можно получить у изготовителя [2].

В зависимости от типа выполняемых измерений может случиться так, что отказ в результате циклического температурного воздействия станет заметен не сразу. Например, симптомом отказа головки пробника Agilent из-за температурного воздействия может быть обрыв положительного или отрицательного полюса в цепи постоянного тока. Очевидно, что такие симптомы отказа у разных изготовителей могут быть разными. Если вы подозреваете, что произошел отказ, измерьте сопротивление от наконечника пробника до разъема SMP по каждой линии. Сопротивление цепи на постоянном токе должно быть 25 кОм.

Головки пробника, используемые при экстремальных температурах, рекомендуется хранить отдельно от нормальных головок (и снабжать их специальной маркировкой). Перед выполнением экстремальных измерений рекомендуется проверять входное сопротивление головок, чтобы убедиться в том, что с их помощью еще можно выполнять достоверные измерения. Во время измерений в экстремальных температурных условиях оболочка кабеля может утратить гибкость и обесцветиться. Это нормально и не должно вызывать беспокойства — температура оплавления большинства ПВХ пластиков, и в том числе пластиков, из которых изготовлена оболочка кабелей головок пробников Agilent, равна примерно +150 °С. До тех пор пока коаксиальный кабель полностью покрыт оболочкой, он сохраняет работоспособность. В большинстве высококачественных ВЧ-ка-

белей применяется тефлоновый диэлектрик; в зависимости от изготовителя он может быть экструдированным или ленточным. Обычно кабели с ленточным диэлектриком обладают большей гибкостью, но при этом могут быть менее стойкими. Перекручивания и перегибы создают в кабелях постоянные деформации, которые могут сказываться на их электрических характеристиках. Необходимо следить за тем, чтобы кабели головок пробников и удлинительные кабели не лежали на острых объектах, таких как теплоотводы, которые могут прорезать размягченную от нагрева оболочку кабеля. Кабель, лежащий на токоведущих проводниках, может вызвать замыкание этих проводников на экранирующую оплетку при расплавлении своей оболочки.

Удары и вибрация

Еще одним аспектом тестирования срока службы и работы в реальных условиях является проверка стойкости к механической вибрации и ударам. В ходе этих тестов могут имитироваться, например, падения сотового телефона или работа электронного оборудования в автомобилях. Факторы, влияющие на работу пробников в таких ситуациях, практически не отличаются от тех, которые упоминались выше: защищайте чувствительный усилитель пробника, во избежание обрыва цепей используйте для подключения тестируемого устройства припаиваемые головки пробника или наконечники, не допускайте возникновения в кабелях и головках пробника механических напряжений, которые могут вызвать разрыв цепи.

В большинстве случаев здравый смысл и элементарное соблюдение ограничений, свойственных измерительному оборудованию, могут гарантировать долгую службу приборов и высокое качество измерений. Знание архитектуры и особенностей поведения системы снятия сигнала поможет сделать правильный выбор при эксплуатации оборудования на пределе своих физических возможностей. Кроме того, большинство изготовителей осциллографов выпускает множество специальных приспособлений, которые могут оказаться очень полезными в особых ситуациях. Описанные выше наконечники позволяют выполнять точные измерения и продлевают срок службы пробников и принадлежностей в экстремальных климатических условиях. ■

Литература

1. Даскер Д. Правда о точности широкополосных пробников. Agilent Technologies. Рекомендации по применению 1404. <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5988-6515EN.pdf>
2. Agilent Technologies. Дифференциальные и несимметричные пробники InfiniiMax 1168A и 1169A, Руководство пользователя. <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/01169-97007.pdf>