

Применение калибровки для оптимизации наиболее важных измерений

Дипти ЧХЕДА (Dipti CHHEDA)

Каждый инженер, ответственный за систему тестирования, отвечает в том числе за точность и воспроизводимость выполняемых ею измерений. И, как правило, именно воспроизводимость становится ключом к успеху при проектировании, изготовлении и последующей эксплуатации.

Кроме того, основой воспроизводимости в системах тестирования являются гарантированные параметры входящих в ее состав измерительных приборов. Это особенно справедливо для такого важного оборудования, как анализаторы цепей, анализаторы сигналов, измерители мощности, осциллографы и генераторы сигналов. Если любой из их заявленных параметров выходит за пределы допусков, это может отрицательно сказаться на результатах измерения.

Точная, профессиональная и качественная калибровка — та основа, которая гарантирует получение достоверных и воспроизводимых результатов. Метрология и калибровка являются специальными техническими дисциплинами, и далеко не все инженеры обладают достаточными знаниями в этой области. Но к счастью, знакомство с некоторыми фундаментальными концепциями может повысить точность измерений, улучшить интерпретацию результатов и в конечном итоге снизить риск принятия неверного решения по результатам измерений.

Удовлетворение требований, предъявляемых к измерениям

Система тестирования поддерживает определенный план испытаний, и первым важным шагом на пути к определению критически важных параметров становится выявление наиболее значимых характеристик тестируемого устройства. Каждый параметр имеет связанный с ним набор тестов, допусков и требований к точности.

Разработка плана испытаний включает выбор аппаратных средств, обеспечивающих необходимые функции и возможности. Поэтому инженер должен хорошо понимать существующие возможности выбора и компромиссы альтернативных вариантов оборудования.

Как правило, оценке услуг калибровки и ремонта, необходимых для поддержания

заявленных параметров каждого прибора, уделяется минимум времени. Легко предположить, что периодической калибровки вполне достаточно для обеспечения высокого качества измерений в течение длительного периода.

В реальных условиях контрольно-измерительное оборудование стареет и иногда ломается. К тому же калибровка — не одноразовая процедура, и процесс обеспечения долговременной воспроизводимости измерений достаточно далек от принципа «настроил и забыл». Активная позиция в данном вопросе может значительно повлиять на долговременную точность и воспроизводимость системы тестирования, не только снижая риск выхода за пределы допусков, но и реально повышая эффективную точность системы. Это помогает обеспечить необходимые параметры тестируемого устройства и повысить общую продуктивность производства.

Применение калибровки для улучшения измерения паразитных сигналов

Существенное повышение достоверности результатов можно продемонстрировать на примере измерения паразитных сигналов с помощью анализатора сигналов. Обратите внимание, что это скорее иллюстрация, чем рекомендация по обнаружению случайных выбросов.

Внешние паразитные сигналы воздействуют на все типы высокочастотных и сверхвысокочастотных устройств: в радиосвязи, радиолокации, системах радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и многих других. Многие паразитные сигналы порождаются постоянно усложняющейся спектральной обстановкой и в зависимости от ситуации могут быть ожидаемыми или непредвиденными.

Другие паразитные сигналы способны возникать внутри самого тестируемого устройства. Эта проблема особенно актуальна для устройств, содержащих несколько близко

расположенных передатчиков: чем меньше расстояние между ними, тем выше вероятность возникновения и уровень помехи.

Некоторые измеренные паразитные сигналы генерируются внутри самого анализатора сигналов. Эти сигналы бывают предсказуемы до такой степени, что производитель может запрограммировать анализатор так, чтобы снизить их влияние на результаты измерений.

В общем, паразитные сигналы являются источником множества потенциальных проблем. В радиолокационных системах они уменьшают способность системы видеть слабые отраженные сигналы, что может повлиять на достоверность выводимого на экран изображения. Если вы выполняете конфиденциальные операции в полевых условиях, то автогенерируемые паразитные сигналы, излучаемые приемной антенной, могут выдать ваше местоположение. Таким образом, выполняя измерения, нужно задать себе один важный вопрос: «Если появился паразитный сигнал, то насколько он достоверен?»

Поиск паразитных сигналов

Обычно поиск паразитных сигналов сводится к поиску слабых сигналов в присутствии более сильных. Соответственно, основными необходимыми для этого техническими характеристиками являются свободный от паразитных составляющих динамический диапазон и чувствительность.

Поскольку частоты паразитных сигналов обычно заранее неизвестны, поиск начинается с широкополосного измерения спектра. Оптимальное значение входного ослабления зависит от амплитуды самого сильного сигнала в самой широкой полосе обзора. В связи с такой комбинацией широкой полосы обзора с вероятным присутствием сильных сигналов можно пропустить множество низкоуровневых сигналов из-за недостаточного разрешения по частоте и слишком большого уровня собственных шумов.

Для того чтобы расширить доступный динамический диапазон, нужно минимизировать входное ослабление, одновременно сохранив его достаточным для предотвращения генерации анализатором паразитных сигналов, таких как гармоники и интермодуляционные составляющие, которые могут помешать измерению. Полоса разрешения должна быть довольно узкой для снижения эффективного шума анализатора и выявления близко расположенных паразитных сигналов, обеспечивая в то же время достаточную скорость измерений.

Применение описанных методов

В качестве примера можно привести измерение свободного от паразитных составляющих динамического диапазона антенного облучателя РЛС. Основная частота несущей равна примерно 10 ГГц. Его динамический диапазон должен лежать на 80 дБ ниже несущей (-80 дБн), что соответствует уровню -65 дБм при выходном уровне антенного облучателя +15 дБм.

Это основные параметры тестируемого устройства. Измерение данных параметров зависит от динамического диапазона анализатора сигналов, который, в свою очередь, зависит от параметров, связанных с шумом и паразитными составляющими.

Допустим, заявленный средний уровень собственных шумов анализатора сигналов равен -148 дБм. Поскольку средний уровень собственных шумов указывается обычно для полосы разрешения 1 Гц, то в полосе разрешения 10 кГц он увеличится до -108 дБм. Заявленный уровень паразитных составляющих не превышает -100 дБм. В соответствии с этим заявленное значение точки пересечения по интермодуляционным составляющим третьего порядка (TOI) составляет -90 дБм. Настраивая входной аттенюатор и уровень смесителя для измерения паразитных составляющих, важно понимать компромисс между ожидаемым значением среднего уровня собственных шумов (не жесткий параметр) и TOI (рис. 1).

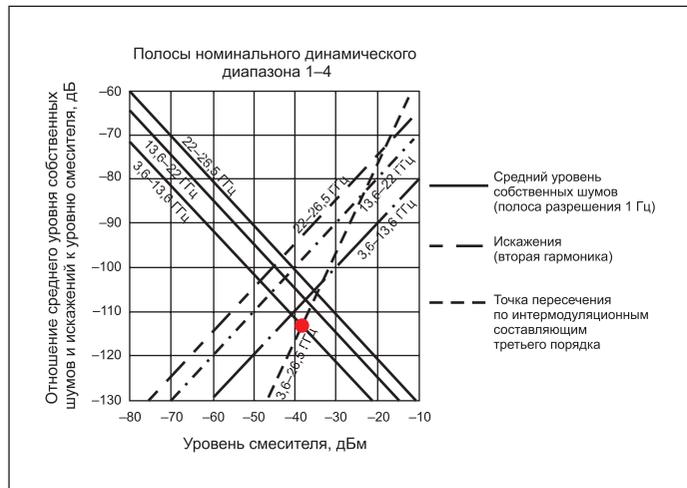


Рис. 1. Знание номинальных значений среднего уровня собственных шумов и TOI помогает оптимизировать компромиссы в процессе поиска паразитных составляющих

Кроме общих характеристик, полезно было бы знать реальные параметры каждого анализатора: хуже ли они заявленных значений, соответствуют им или лучше? Если они лучше, чем указано в технических характеристиках, то насколько? Эта информация важна для лучшей интерпретации результатов измерения.

Улучшение эффективных характеристик

Давайте вернемся к фундаментальному вопросу: «Если появился паразитный сигнал, то насколько он достоверен?» На этот вопрос проще ответить, владея дополнительной информацией, улучшающей эффективные характеристики измерения. Например, можно

Spur	Range	Frequency	Amplitude	Limit
2	1	1.936 GHz	-81.92 dBm	-50.00 dBm
3	1	1.942 GHz	-82.18 dBm	-50.00 dBm
4	1	1.942 GHz	-82.48 dBm	-50.00 dBm
5	1	1.965 GHz	-83.11 dBm	-50.00 dBm
6	1	1.929 GHz	-83.42 dBm	-50.00 dBm
7	1	1.957 GHz	-83.44 dBm	-50.00 dBm
8	1	1.933 GHz	-83.86 dBm	-50.00 dBm
9	5	829.3 MHz	-76.13 dBm	-50.00 dBm

Рис. 2. Результаты измерений паразитных сигналов отдельного тестируемого устройства

применить результаты калибровки и затем использовать их для повышения качества и скорости измерений.

На рис. 2 показаны результаты измерения паразитных сигналов с помощью приложения, встроенного в анализатор сигналов. Для каждой паразитной составляющей показан ее номер, измеренный диапазон, частота, амплитуда и введенные пользователем граничные значения.

Сопоставляя результаты измерения тестируемого устройства с данными калибровки анализатора сигналов, можно воспользоваться имеющимся опытом и скорректировать параметры измерения, повысив достоверность результатов. В таблице показан реальный отчет о калибровке высококачественного анализатора сигналов: наилучший результат соответствует паразитному сигналу с частотой 1,1 ГГц и амплитудой -105,25 дБн. Из этого следует, что, изменяя ослабление и полосу разрешения, можно достичь минимального значения собственных шумов и большей уверенности в том, что все отображаемые сигналы достоверны.

Таблица. Реальные результаты измерений паразитных сигналов в стандартном тракте ПЧ высококачественного анализатора сигналов

Частота паразитного сигнала, МГц	Номинальная частота, МГц	Амплитуда паразитного сигнала, дБн	Погрешность измерения, ±дБ	Номинал, дБн	Результат
225	10 470	-139,71	0,44	-80	Норм.
1100	1745	-105,25	0,44	-80	Норм.
5500	6145	-121,99	0,45	-80	Норм.
2000	12 645	-128,12	0,45	-80	Норм.
5000	15 645	-128,39	0,45	-80	Норм.

Использование данных калибровки для улучшения характеристик

Разумно предположить, что в ходе полной калибровки должны измеряться и проверяться все заявленные характеристики для всех возможных конфигураций прибора. К сожалению, не все поставщики услуг калибровки настолько педантичны.

Конечно, эта работа не проста. Например, калибровка типичного анализатора сигналов среднего класса требует 36 отдельных измерений, подтверждающих работу прибора в соответствии с заявленными характеристиками.

После выполнения всех этих испытаний лаборатория должна представить полный отчет с отслеживанием результатов до признанных эталонов калибровки. Проверка измерений, результаты испытаний и соответствие эталонам играет важную роль в ответе на вопрос о том, соответствует ли анализатор заявленным характеристикам.

На рис. 3 приведен пример результатов калибровки, которые можно использовать для улучшения параметров измерений. В таблице показана измеренная частотная характеристика анализатора сигналов, включая погрешность измерения и применимые параметры прибора.

Эти данные можно использовать, например, для более строгого соблюдения параметров тестируемого устройства, расширения разницы между себестоимостью изделия и выручкой от его продажи, ускорения тестирования или повышения процента выхода годной продукции. В научных исследованиях эти данные можно использовать для дальнейшей оптимизации конструкции и исключения потребности

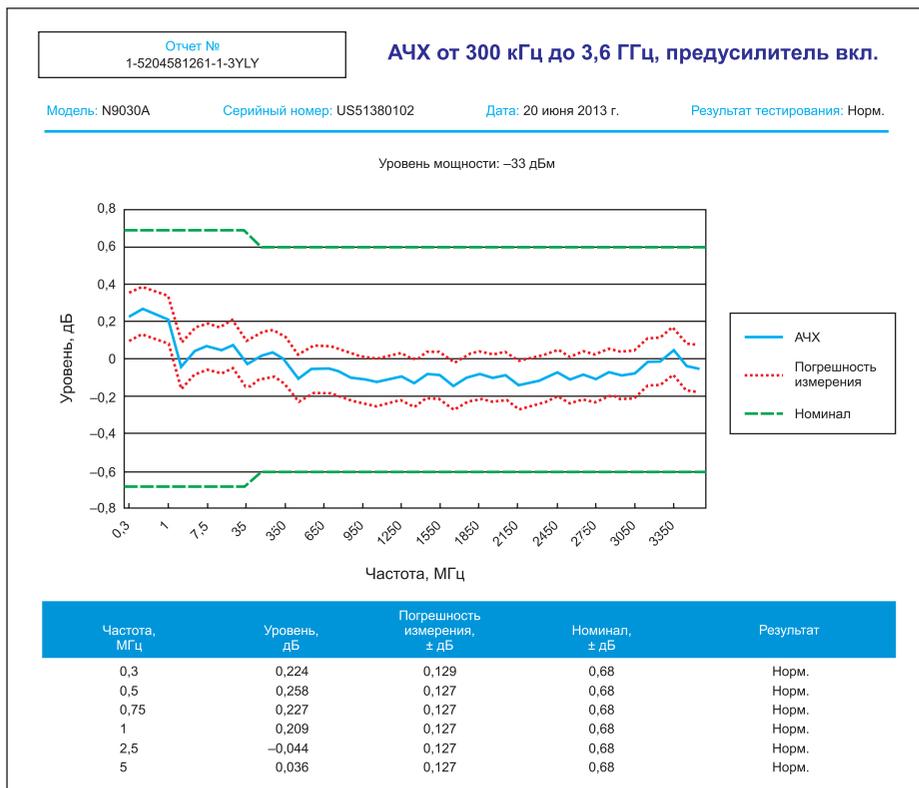


Рис. 3. Результаты калибровки конкретного прибора можно использовать для улучшения интерпретации результатов измерений

вильно понимали пределы «проверки параметров»: даже с регулировками это не то же самое, что реальная калибровка. Вместо этого лучше потребовать, чтобы каждый раз проверялись все заявленные характеристики для всех установленных опций.

Для полной уверенности убедитесь, что после каждой калибровки вам вручают следующие документы:

- Отчеты о калибровке.
- Полный отчет о результатах измерений.
- Полный перечень калибровочного оборудования и свидетельство об его испытаниях.
- Подтверждение того, что калибровка соответствует требованиям к отслеживаемости.

И наконец, полезно определить экономическую ценность этой «страховки». Например, возможность достижения или превышения заданного процента выхода годной продукции может сократить число забракованных или отправленных на доработку изделий. Такой тип информации поможет руководителям и снабженцам лучше понять ценность высококачественной калибровки.

Заключение

Обращение к наиболее надежному поставщику калибровки является лучшей гарантией того, что выбранное контрольно-измерительное оборудование по-прежнему соответствует характеристикам, ради которых было в свое время приобретено. В коммерческом смысле это часто означает лучшую производительность, прибыль и процент выхода годной продукции. В аэрокосмической и оборонной сфере это повышает вероятность успешного исхода миссии. В любой ситуации надежная калибровка гарантирует получение согласованных результатов, упрощая выявление проблем и тем самым минимизируя задержки в разработке и изготовлении. ■

в согласовании противоречивых результатов, полученных разными рабочими группами.

Как избежать ошибок калибровки и снизить риск

Хотя за обеспечение качества измерений отвечает обычно один инженер, он, как правило, не является единственным человеком, участвующим в получении услуг калибровки. Приведенные ниже рекомендации помо-

гут гарантировать, что вы получите то, что хотели, и помогут повысить эффективность работы с другими сотрудниками во избежание ситуаций, не позволяющих достигать ожидаемого уровня характеристик измерительного прибора.

Во-первых, важно четко представлять, чего вы ждете от калибровки. То есть нужно указать, какие из заявленных параметров следует проверять во время каждой калибровки прибора. Также важно, чтобы другие пра-