

# Погрешность измерений при анализе спектра

**Боб Нельсон, Agilent Technologies**

Автор уже неоднократно поднимал озвученную тему в прессе. Его статьи, посвящённые динамическому диапазону и взаимосвязи скорости и воспроизводимости измерений, не остались незамеченными. Как утверждает автор, во многих случаях улучшение одного из этих параметров приводит к ухудшению двух других. Например, сокращение числа усреднений увеличивает скорость измерений, но ухудшает их воспроизводимость и, возможно, уменьшает динамический диапазон. В статье описывается точность измерений и её связь с динамическим диапазоном, скоростью и воспроизводимостью.

## Техническое руководство для анализатора сигналов

Прежде чем приступить к описанию заявленной темы, следует обратиться к опубликованным техническим параметрам анализаторов спектра, предоставленных их производителем. В частности, рассмотрим характеристики анализатора сигналов Agilent MXA N9020A. Техническое руководство для этого прибора можно загрузить по ссылке [www.agilent.com/find/mxa\\_specifications](http://www.agilent.com/find/mxa_specifications).

Этот документ содержит почти 400 страниц. Компания Agilent и другие производители анализаторов сигналов тратят значительное время на получение высоких характеристик, а затем на их проверку при изготовлении и калибровке средства измерения, чтобы гарантировать параметры прибора. Если прибор не соответствует заявленным гарантированным характеристиками, то он подлежит ремонту.

Инженеры-испытатели обычно рассматривают в совокупности такие параметры, как время испытаний, динамический диапазон и погрешность измерения. Проанализировав

эти показатели, они выбирают оптимальные с точки зрения соотношения цены и качества анализаторы сигналов, которые можно будет использовать при выполнении испытаний в лаборатории или на производственной линии сегодня и в перспективе.

## Точностные характеристики анализатора сигналов

Все точностные характеристики и параметры анализаторов сигналов Agilent N9020A MXA сведены в руководстве в таблицы, где информация представлена единообразно (см. табл. 1).

В первом столбце приведены наименование параметра и условия, для которых действительны его значения. Например, диапазон рабочих температур для полевых условий 0...+55°C, а для производственных или лабораторных условий +20...+30°C.

В центральном столбце указаны гарантированные значения параметров. В их число входят погрешности измерения для оборудования, используемого в процессе производства и калибровки. Точностные характеристики приведены для определённых условий

окружающей среды, таких как температура и влажность.

Многие пользователи контрольно-измерительных приборов компании Agilent отмечают, что фактические характеристики превосходят заявленные. Для них в третьем столбце представлена дополнительная информация, которая может оказаться весьма полезной для инженера-испытателя. Это может быть значение типовой характеристики, выходящее за пределы, которые имеют 80% приборов с доверительным интервалом 95% в диапазоне +20...+30°C (при этой температуре чаще всего выполняются наблюдения).

## Динамический диапазон

В руководстве также представлены значения характеристик, влияющие на динамический диапазон:

- точка пересечения по интермодуляционным составляющим третьего порядка (TOI);
- фазовый шум;
- уровень гармонических и паразитных составляющих.

Эти характеристики вместе с точными следует использовать для определения пределов, внутри которых гарантируется соответствие параметров испытываемого устройства требованиям заявленной спецификации.

Недостаточный динамический диапазон и погрешность измерений вместе или по отдельности могут привести к уменьшению процента выхода годных устройств, что существенно повлияет на производственные затраты. В результате исправное устройство может быть признано негодным, а неисправное – прошедшим контроль качества.

## Пример с TOI

В данном примере используются заявленные значения погрешности и динамического диапазона анализатора сигналов N9020A MXA, чтобы задать пределы для определения TOI испытываемого устройства, у которого, согласно спецификации, TOI составляет +22 дБм на несущей частоте 1 ГГц.

Сначала определяется оптимальный уровень несущей частоты для тестирования устройства. При уровне выход-

**Таблица 1. Пример таблицы точностных характеристик из руководства по техническим параметрам анализатора сигналов Agilent N9020A MXA**

Описание	Значение	Дополнительная информация
Абсолютная погрешность измерения амплитуды на частоте 50 МГц в диапазоне +20...+30°C в полном температурном диапазоне	±0,24 дБ ±0,28 дБ	±0,13 дБ (95-й процентиль)
На всех частотах в диапазоне +20...+30°C в полном температурном диапазоне	±(0,24 дБ + неравномерность АЧХ) ±(0,28 дБ + неравномерность АЧХ)	
95-й процентиль абсолютной погрешности измерения амплитуды (Широкий диапазон уровней сигнала, полосы разрешения, величины обратных потерь, полоса частот 0,01...3,6 ГГц, ослабление 10 дБ)		±0,19 дБ
Основная погрешность измерения амплитуды		±0,05 дБ (номинал)
Предварительный усилитель включен	±(0,36 дБ + неравномерность АЧХ)	

ного сигнала от испытуемого устройства –10 дБм пересечение TOI находится (в лучшем случае) на 64 дБн ниже уровня основной гармоники ( $A_{fund}$ ). Для определения TOI воспользуемся формулами 1 и 2.

$$TOI = A_{fund} - \frac{1}{2} \times D, \quad (1)$$

$$D = 2 \times (A_{fund} - TOI), \quad (2)$$

где  $A_{fund}$  – амплитуда основной гармоники,  $D$  – разность между амплитудой основной гармоники и интермодуляционными искажениями (дБн).

Однако при проверке испытуемого устройства на соответствие предельному значению –64 дБн не учитываются погрешности измерения, влияющие на предельные значения для испытаний типа «годен/не годен». Они включают погрешности динамического диапазона TOI анализатора сигналов и погрешности при измерении относительной амплитуды.

Рассмотрим динамический диапазон параметров TOI анализатора сигналов серии MXA. Полагаем, что TOI соответствует заявленному значению +16 дБм на частоте основной гармоники 1 ГГц. Параметры, приведённые в таблице 2, получены на основе учёта уровня на смесителе, а не на входе анализатора.

$$\begin{aligned} & \text{Уровень на входе смесителя} = \\ & = \text{Уровень основной гармоники} - \\ & \quad - \text{Ослабление на входе} - \quad (3) \\ & \quad - \text{Внешнее ослабление.} \end{aligned}$$

Заменяв  $A_{fund}$  уровнем на входе смесителя, получим:

$$D = 2 \times (\text{Уровень на смесителе} - TOI). \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что, по мере ослабления сигнала на входе анализатора спектра, собственные интермодуляционные искажения анализатора уменьшаются. Например, можно увеличить ослабление внутри прибора до 16 дБ без внешнего ослабления, чтобы вычислить уровень (дБн), когда уровень основной гармоники на выходе испытуемого устройства составляет –10 дБм:

$$\begin{aligned} D &= 2 \times (-26 \text{ [дБм]} - 16 \text{ [дБм]}) = \\ &= -84 \text{ [дБн]}. \quad (5) \end{aligned}$$

Зная динамический диапазон TOI анализатора сигналов, можно заключить, что при уровне входного сигнала от испытуемого устройства, равном –10 дБм, и внутреннем ослаблении 16 дБ разница между интермодуляционными искажениями, созданными испытуемым устройством, и собственными искажениями анализатора сигналов составит 20 дБ. В худшем случае интермодуляционные искажения от исследуемого устройства и собственные искажения анализатора синфазно суммируются, что приводит к уменьшению динамического диапазона на  $20 \log(1 + 10^{\frac{-20}{20}})$ , или 0,83 дБ, или к увеличению динамического диапазона на

$$20 \log(1 + 10^{\frac{-20}{20}}),$$

или –0,46 дБ.

Данную погрешность измерения, обусловленную динамическим диапазоном, следовало бы учитывать при определении условий испытаний для более тщательной проверки характеристик устройства. Однако добавление ослабления 10 дБ к внутреннему ослаблению 16 дБ снижает эту погрешность до +0,27 дБ/–0,28 дБ. При этом значительно уменьшается погрешность динамического диапазона, связанная с условиями испытаний.

При работе в более узкой полосе обзора по сравнению с той, которая обычно устанавливается для определения TOI, погрешность измерения зависит от точности шкалы отображения прибора. По сравнению с использовавшимися ранее аналоговыми анализаторами, современные анализаторы спектра с полностью цифровым трактом ПЧ имеют чрезвычайно высокую линейность. Точность шкалы отображения составляет около ±0,07 дБ.

Теперь можно учесть наихудшие значения погрешностей при оценке заявленных технических характеристик испытываемого устройства и установить для испытаний такие предельные значения, при которых динамический диапазон и точность анализатора сигналов не приведут к уменьшению выхода годных изделий и неправильной разбраковке по типу «годен/не годен». В большинстве случаев дополнительные погрешности вызваны иными причинами (не рассмотренными в данной статье), например, вариацией параметров внешней среды или неточностью других контрольно-измерительных приборов системы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производители современного испытательного оборудования прикладывают значительные усилия, чтобы пользователи получили больше возможностей для определения погрешностей при выполнении отдельных измерений. При этом пользователь может не только определять погрешности, но в большинстве случаев улучшить их показатели.

### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.agilent.com/find/mxa\\_specifications](http://www.agilent.com/find/mxa_specifications)
2. Agilent X-Series. Signal Analyzer N9020A MXA. Specifications Guide (Comprehensive Reference Data). This manual provides documentation for the following X-Series Analyzer: MXA Signal Analyzer N9020A.



Таблица 2. Спецификация с учётом уровня на входе смесителя

Описание	Технические характеристики	Дополнительная информация	
Интермодуляционные искажения третьего порядка (разнесение тонов сигнала в 5 раз больше полосы пропускания предварительного фильтра ПЧ, условия верификации)		См. сноску «Перекрытие полос» на стр.19 руководства [2]	
Полоса частот	Точка пересечения, дБм	Экстраполированное искажение, дБн	Точка пересечения (тип.), дБм
<i>В диапазоне температур +20...+30°С</i>			
10...100 МГц	+12	–84	+17
100...400 МГц	+15	–90	+20
От 400 МГц до 1,7 ГГц	+16	–92	+20
1,7...3,6 ГГц	+16	–92	+19
3,6...8,4 ГГц	+15	–90	+18
8,3...13,6 ГГц	+15	–90	+18
13,5...26,5 ГГц	+15	–90	+18
<i>В полном температурном диапазоне</i>			
10...100 МГц	+10	–80	
100...400 МГц	+13	–86	
От 400 МГц до 1,7 ГГц	+14	–88	
1,7...3,6 ГГц	+14	–88	
3,6...8,4 ГГц	+13	–86	
8,3...13,6 ГГц	+13	–86	
13,5...26,5 ГГц	+13	–86	