Keysight Technologies

# Основные функциональные возможности измерительных приёмников ЭМП

## Рекомендации по применению




KEYSIGHT TECHNOLOGIES

# Содержание

Введение ..... 3
Соответствие требованиям CISPR 16-1-1 ..... 3
Соответствие требованиям MIL-STD-461 ..... 4
Важные свойства, не предусмотренные требованиями стандартов CISPR 16-1-1 или MIL-STD-461 ..... 5
- Ограничительные линии ..... 5
- Корректирующие коэффициенты ..... 6
- Списки сигналов ..... 6
- Средства, помогающие настроиться на максимальную амплитуду сигнала ..... 7
- Сканирование во временной области ..... 7
- Функция вычисления распределения вероятностей амплитуды (APD) ..... 7
- Встроенные средства диагностики ..... 8
  - Анализатор спектра ..... 8
  - Ленточная диаграмма ..... 9
  - Спектрограмма ..... 10
- Создание отчётов ..... 10

Заключение ..... 11
Соответствующая литература ..... 11
Web-ресурсы ..... 11

# Введение

Приёмники, используемые для тестирования на соответствие нормативным требованиям по электромагнитной совместимости (ЭМС), должны обладать определенными функциями и характеристиками, чтобы удовлетворять требованиям стандартов. Например, приёмник используемый для тестирования на соответствие нормативным требованиям ЭМС в коммерческих целях, должен удовлетворять требованиям стандарта CISPR16-1-1, а приёмник, используемый для тестирования на соответствие нормативным требованиям ЭМС в военных целях, должен соответствовать требованиям стандарта MIL-STD-461.

В данных рекомендациях по применению мы обсудим, какими свойствами должен обладать измерительный приёмник электромагнитных помех (ЭМП), чтобы полностью соответствовать требованиям стандартов, и приведем обзор некоторых самых полезных средств внутренней диагностики, позволяющих быстро и эффективно анализировать и измерять нежелательные сигналы. Мы также рассмотрим важные свойства, не предусмотренные требованиями стандартов CISPR 16-1-1 или MIL-STD-461, но крайне необходимые для проведения измерений.

## Соответствие требованиям CISPR 16-1-1

CISPR (СИСПР) расшифровывается как “Международный специальный комитет по радиопомехам”. Работа СИСПР напрямую связана с контрольно-измерительным оборудованием и методами измерения степени воздействия помех, определением пределов воздействия и требований к помехозащищенности, а также разработкой методов помехозащищенных измерений. CISPR 16-1-1 представляет собой стандартизирующий документ, описывающий требования к коммерческим измерительным приёмникам ЭМП, соответствующих стандарту.

Чтобы лучше понять, какие требования к характеристикам предъявляет стандарт CISPR 16-1-1, начнем с определения четырех базовых полос пропускания CISPR (200 Гц, 9 кГц, 120 кГц и 1 МГц). Первые три полосы пропускания (по уровню -6 дБ) соответствуют маскам, определённым в CISPR, а полоса пропускания 1 МГц определяется своей импульсной полосой пропускания, также нормированной CISPR. Имеется пять полос частот CISPR: A, B, C, D и E, которые распределены в диапазоне частот от 9 кГц до 18 ГГц. Каждой полосе частот CISPR соответствует одна из четырех базовых полос пропускания CISPR.

Таблица 1. Полосы частот CISPR и соответствующие базовые полосы пропускания CISPR

| Полоса частот | Интервал допустимых значений | Полосы пропускания CISPR |
|---|---|---|
| A | От 9 до 150 кГц | 200 Гц |
| B | От 150 кГц до 30 МГц | 9 кГц |
| C | От 30 до 300 МГц | 120 кГц |
| D | От 300 МГц до 1 ГГц | 120 кГц |
| E | От 1 до 18 ГГц | 1 МГц |

Стандартом CISPR 16-1-1 также определяются четыре типа детекторов: пиковых значений, квазипиковый, средних значений ЭМП и среднеквадратических-средних значений ЭМП. В приёмнике могут применяться и другие детекторы, например, средних значений и отрицательного пика, но они не определяются стандартом CISPR. Если приёмник может работать в режиме анализатора спектра, в распоряжении пользователя оказывается даже большее число детекторов.

Из всех типов детекторов детектор пиковых значений обеспечивает максимально быстрое время свипирования. Детектор пиковых значений отображает максимальное значение каждого сегмента графика (элемента разрешения по частоте) без использования какого-либо типа усреднения. Это обеспечивает хорошие результаты для непрерывных сигналов, но не даёт хорошего отображения случайного шума.

## Соответствие требованиям CISPR 16-1-1 (продолжение)

Методика, рекомендуемая CISPR, предполагает сначала проведение измерения с использованием детектора пиковых значений. Если отклики сигналов тестируемого устройства (ТУ) ниже предела, испытание пройдено. Если ТУ не проходит испытание, пользователь должен провести повторные измерения с использованием квазипикового детектора или детектора среднеквадратических-средних значений ЭМП.

Кроме детекторов и полос пропускания, приёмник также должен соответствовать следующим требованиям:

- установленная погрешность измерения уровня:
  - ± 2 дБ, в диапазоне частот от 9 кГц до 1 ГГц
  - ± 2,5 дБ, в диапазоне частот > 1 ГГц до 18 ГГц
- входной импеданс 50 Ом; отклонения определяются в виде КСВН
- способность проходить тест на на защищённость продукта в поле интенсивностью 3 В⁄м
- соответствие импульсной характеристики требованиям стандарта CISPR
- соответствие другим особым требованиям, которые касаются уровней гармоник и интермодуляционных искажений

## Соответствие требованиям MIL-STD-461

В то время как для тестирования на соответствие требованиям по ЭМС в коммерческих целях необходимо, чтобы приёмник удовлетворял требованиям стандарта CISPR 16-1-1, для тестирования на соответствие требованиям по ЭМС в военных целях приёмник должен удовлетворять требованиям стандарта MIL-STD-461. Он разработан министерством обороны (США) и содержит описание того, как тестировать оборудование на соответствие требованиям по ЭМП и помехоустойчивость. Раздел 4.3.10 стандарта MIL-STD-461 4.3.10 определяет требования к измерительному приёмнику ЭМП. Первое требование состоит в том, что он должен иметь необходимые полосы пропускания. Требуемые полосы пропускания зависят от диапазона частот, как следует из Таблицы 2.

Таблица 2. Полосы частот MIL-STD-461 и соответствующие полосы пропускания

| Полоса частот | Полосы пропускания (по уровню - 6 дБ), определённые стандартом MIL-STD-461 |
|---|---|
| От 30 Гц до 1 кГц | 10 Гц |
| От 1 до 10 кГц | 100 Гц |
| От 10 до 150 кГц | 1 кГц |
| От 150 кГц до 30 МГц | 10 кГц |
| От 30 МГц до 1 ГГц | 100 кГц |
| Выше 1 ГГц | 1 МГц |

Во-вторых, приёмник должен обладать достаточной чувствительностью. Для точного измерения помех низкого уровня, средний уровень собственных шумов (DANL) прибора должен быть ниже, чем предел. Исходя из большого практического опыта, необходимо иметь запас не менее 10 дБ. В-третьих, приёмник должен иметь детектор пиковых значений. В отличие от других стандартов, MIL-STD-461 считает приемлемыми только данные измерений, полученные с использованием детектора пиковых значений. Измерения с использованием других типов детекторов не допускаются.

Кроме значений полосы пропускания, чувствительности и детектора пиковых значений приёмник должен также удовлетворять следующим требованиям:

- значения времени выдержки (определено в MIL-STD-461)
- погрешность измерения уровня: ± 2 дБ
- погрешность измерения частоты: ± 2%

## Важные свойства, не предусмотренные требованиями стандартов CISPR 16-1-1 или MIL-STD-461

Дополнительные свойства измерительного приёмника ЭМП, которые упрощают процесс измерений и делают их более эффективными, но не предусмотрены требованиями стандартов CISPR 16-1-1 или MIL-STD-461, включают: ограничительные линии, индикацию прохождения/непрохождения теста на соответствие ограничительной линии, корректирующие коэффициенты (для преобразователей), списки сигналов с функцией сортировки, сканирование во временной области и многое другое.

### Ограничительные линии

Во-первых, рассмотрим ограничительные линии. При выборе измерительного приёмника ЭМП пользователь может пожелать рассмотреть следующие вопросы:

- Имеются ли в приёмнике ограничительные линии, необходимые пользователю для тестирования?
- Можно ли добавлять к приёмнику новые ограничительные линии? Можно ли редактировать существующие ограничительные линии?
- Легко ли идентифицировать сигнал, который не прошёл испытание на соответствие ограничительной линии?
- Могут ли одновременно отображаться на экране более одной ограничительной линии?

Измерительный приёмник ЭМП MXE компании Keysight Technologies, Inc. обеспечивает все эти возможности и включает встроенную библиотеку широко применяемых ограничительных линий.

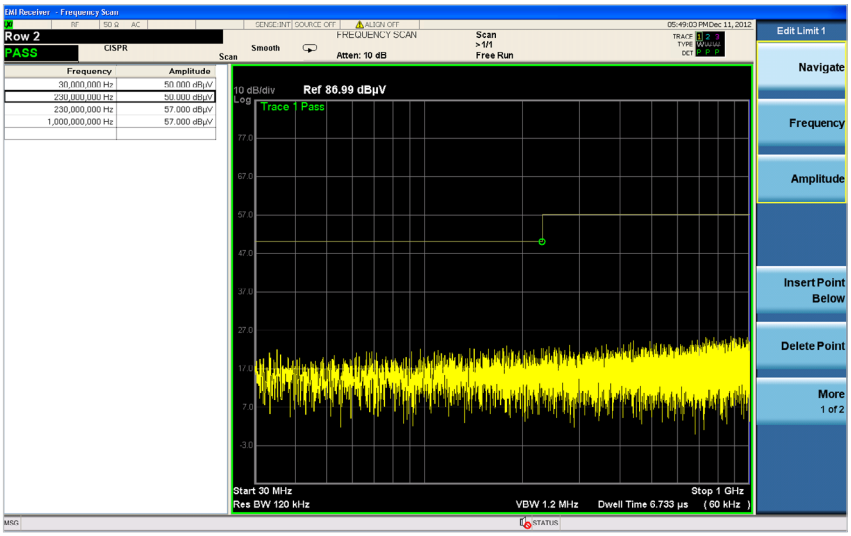



Рисунок 1. Редактор ограничительных линий приёмника MXE.

## Корректирующие коэффициенты

Корректирующие коэффициенты очень важны при проведении точных измерений. Преобразователи, такие как антенны, цепи стабилизации импеданса линии (LISN), токовые пробники, токоизмерительные клещи, кабели и усилители имеют уникальные частотно-зависимые корректирующие коэффициенты, которые обычно предоставляются заводом-изготовителем или организацией, предоставляющей услуги по калибровке. Эти корректирующие коэффициенты добавляются или вычитаются из полученных значений амплитуды, чтобы скомпенсировать усиление или потери преобразователя и обеспечить отображение приёмником действительной амплитуды напряженности поля помехи на преобразователе. Некоторые приёмники, такие как MXE, имеют встроенную библиотеку корректирующих коэффициентов, которую можно легко вызвать и получить данные для широко применяемых преобразователей. Во многих случаях пользователь должен сам определять корректирующий коэффициент для своего преобразователя. Поэтому MXE имеет редактор для установки корректирующих коэффициентов преобразователей или создания новых.

## Списки сигналов

Почему важно наличие списка сигналов? В списке сигналов сохраняются результаты сканирования и измерений отдельных сигналов. Приёмник MXE позволяет сохранить в списке 2000 сигналов. Эта информация может использоваться техниками и инженерами для идентификации сигналов, не прошедших тестирование, а также анализа данных с целью устранения неисправностей.

| SIG | | TRC | FREQ | QPD AMPL | EAVG AMPL | PEAK AMPL | QPD LL1 Δ | EAVG LL1 Δ | PEAK LL1 Δ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 1 | 181.03 MHz | 58.379 dBµV | 58.298 dBµV | 58.461 dBµV | 8.379 dB | 8.298 dB | 8.461 dB |
| 2 | | 1 | 190.99 MHz | 59.706 dBµV | 59.684 dBµV | 59.767 dBµV | 9.706 dB | 9.684 dB | 9.767 dB |
| 3 | | 1 | 201.01 MHz | 59.340 dBµV | 59.294 dBµV | 59.417 dBµV | 9.340 dB | 9.294 dB | 9.417 dB |
| 4 | | 1 | 211.03 MHz | 57.195 dBµV | 57.065 dBµV | 57.310 dBµV | 7.195 dB | 7.065 dB | 7.310 dB |
| 5 | | 1 | 220.99 MHz | 58.185 dBµV | 58.103 dBµV | 58.262 dBµV | 8.185 dB | 8.103 dB | 8.262 dB |
| 6 | | 1 | 231.01 MHz | 58.113 dBµV | 58.034 dBµV | 58.205 dBµV | 1.113 dB | 1.034 dB | 1.205 dB |
| 7 | | 1 | 241.03 MHz | 56.354 dBµV | 56.249 dBµV | 56.469 dBµV | -0.646 dB | -0.751 dB | -0.531 dB |
| 8 | | 1 | 250.99 MHz | 57.896 dBµV | 57.814 dBµV | 57.981 dBµV | 0.896 dB | 0.814 dB | 0.981 dB |
| 9 | | 1 | 261.01 MHz | 57.874 dBµV | 57.791 dBµV | 57.969 dBµV | 0.874 dB | 0.791 dB | 0.969 dB |

MSG STATUS

Рисунок 2. Список сигналов приёмник MXE.

## Средства, помогающие настроиться на максимальную амплитуду сигнала

Прежде чем проводить окончательные измерения, очень важно, чтобы частоты этих измерений были настроены так, чтобы захватить максимальную амплитуду сигнала. Подозрительные частоты и амплитуды, определённые во время предварительного сканирования, не всегда обеспечивают захват максимального уровня помехи по следующим причинам:

- изменение излучения во времени: примером может служить частотно-модулированное излучение;
- число измерений на полосу пропускания, выбранное пользователем: измерения при тестировании на ЭМС обычно проводятся с использованием от 2 до 4 точек измерения для заданной ширины полосы пропускания. Возможно, что частота помехи не будет совпадать с конкретной точкой измерения.

## Средства, помогающие настроиться на максимальную амплитуду сигнала (продолжение)

Возможность настройки подозрительной частоты на пиковое значение помехи перед проведением заключительного измерения позволяет пользователю измерить максимальную амплитуду. Имеются три функции приёмника, которые позволяют проводить такую подстройку частоты:

- Настройка центральной частоты измерителя: эта базовая функция используется для настройки центральной частоты на пиковое значение для стабильных сигналов, но она не может использоваться для настройки на пиковое значение для модулированных сигналов, и спектр сигнала недоступен для просмотра.
- Связанные отображения измерителей и анализа спектра: связывая частоту измерителей с центральной частотой анализатора спектра, пользователь может легко переключаться между отображениями сигнала. При отображении анализа спектра пользователи могут использовать все возможности анализатора спектра для определения параметров излучения и частоты максимума излучения, но не могут одновременно просматривать отображения и измерителей, и спектра сигнала. Приёмник N9038A MXE имеет опцию общей центральной частоты (Global Center Frequency), которая связывает центральную частоту для всех режимов работы прибора, обеспечивая удобный переход между измерителями и анализом спектра.
- Комбинированное отображение измерителей и спектра: некоторые приёмники позволяют одновременно просматривать и измерители, и ограниченное отображение спектра. Ограниченное отображение спектра - это обычно результат быстрого преобразования Фурье (БПФ) сигнала промежуточной частоты (ПЧ) приёмника. Его можно просматривать, используя один детектор в пределах довольно узкой полосы обзора (обычно < 10МГц) и при ограниченном выборе значений полосы пропускания. MXE имеет функцию монитора спектра (Monitor Spectrum), которая позволяет наблюдать отображения как измерителей, так и спектра в процессе их активного обновления.

## Сканирование во временной области

Сканирование во временной области является дополнительным методом сбора информации перед проведением окончательных измерений. В отличие от традиционного сканирования по частоте (когда гетеродин приёмника перестраивается или ступенчато изменяется с небольшими приращениями в пределах заданного диапазона частот), при сканировании во временной области для сбора информации об амплитуде с большими приращениями частоты используется быстрое преобразование Фурье с большим перекрытием. Преимущество для пользователя заключается в том, что время сбора данных сокращается при использовании более продолжительных времён выдержки. Стандарты CISPR требуют, чтобы значения времени выдержки при измерении были обратно пропорциональны частоте повторения измеряемого излучения (например, если импульсная помеха имеет частоту повторения 100 Гц, пользователь должен при измерении использовать время выдержки 10 миллисекунд). Частотное сканирование требует, чтобы пользователь выдерживал требуемое время в каждой измеряемой полосе пропускания по уровню минус 6 дБ (обычно, это 200 Гц, 9 кГц или 120 кГц, как определено стандартом CISPR). Сканирование во временной области позволяет пользователю выдерживать требуемое время только один раз на каждую полосу частот БПФ, которая обычно составляет от 5 до 20 МГц. Хотя время, сэкономленное при использовании сканирования во временной области меняется в зависимости от требуемой методики измерений, экономия может быть значительной.

## Функция вычисления распределения вероятностей амплитуды (APD)

Функция вычисления распределения вероятностей амплитуды (APD) - измерение вероятностей значений амплитуды сигнала в зависимости от времени на данной частоте. Функция APD - это дополнительная функция измерения, которая находится на рассмотрении для включения в стандарт CISPR 11 с целью измерения помех на частотах выше 1 ГГц.

## Встроенные средства диагностики

Если после проведения измерений выясняется, что сигналы не проходят испытание на соответствие ограничительной линии, необходимо локализовать и устранить источники проблемных сигналов. Приемник N9038A MXE имеет встроенные диагностические средства, которые значительно облегчают эту работу.

## Анализатор спектра

Одним из наиболее мощных из имеющихся средств диагностики является встроенный анализатор спектра. Со встроенным анализатором спектра предоставляется функция общей центральной частоты, набор одноклавишных измерений мощности и многое другое.

Если включена функция общей центральной частоты, центральные частоты измерительного приёмника ЭМП и анализатора спектра становятся одинаковыми. Это полезно, когда сигнал обнаруживается приёмником и требует дальнейшего исследования с помощью анализатора спектра. После переключения из режима приёмника в режим анализатора спектра можно увеличить масштаб изображения интересующего сигнала, сужая полосу обзора. После увеличения масштаба можно подстроить центральную частоту на частоту сигнала. Затем, вновь переключившись в режим приёмника, можно заменить прежнюю центральную частоту на новую. На последнем этапе производятся окончательные измерения с помощью детекторов ЭМП.

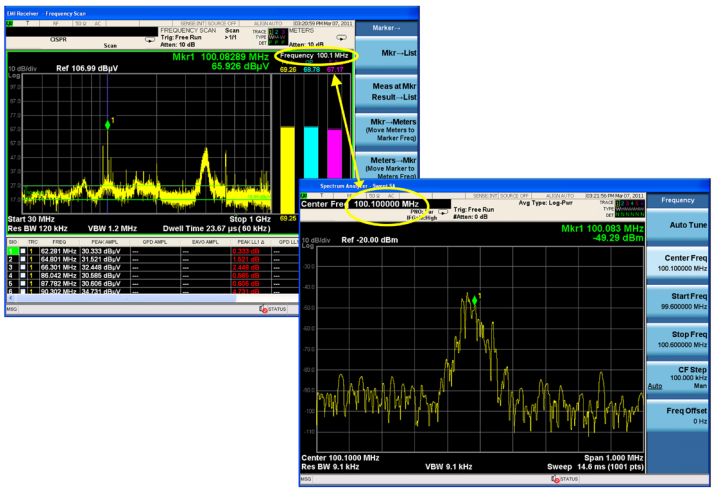



Рисунок 3. Получите более глубокое представление о сигнале, переключаясь между режимами анализатора спектра и измерительного приёмника ЭМП при сохранении центральной частоты.

В режиме анализатора спектра также доступны одноклавишные измерения мощности, позволяющие очень быстро выполнять обычные измерения ВЧ-сигналов с минимумом настроек посредством нажатия клавиши. Они включают измерение мощности в канале, занимаемой полосы частот, гармоник и многое другое.

Другое измерение, доступное с некоторыми измерительными приёмниками ЭМП и анализаторами спектра, это анализ спектра в режиме реального времени (RTSA). RTSA отличается от обычных измерений со свипированием частоты тем, что гетеродин постоянно настроен на требуемую центральную частоту, а полоса обзора при измерении ограничивается мгновенной полосой анализа, поддерживаемой АЦП в тракте ПЧ. В этом случае время простоя между сборами данных отсутствует, и процесс является непрерывным. Поэтому обрабатываются все собранные данные. Это может оказаться очень полезным для поиска неисправностей при проведении предквалификационных измерений, но не требуется для проведения измерений на соответствие требованиям стандартов. При проведении предквалификационных измерений RTSA полезен для решения весьма специфических задач диагностики (таких как захват быстрых перемежающихся сигналов), но обычно не требуется для решения большинства проблем с ЭМП (например, проблем экранирования, перекрёстных помех, высоких уровней сигналов и так далее).

## Ленточная диаграмма

Многие тесты на ЭМС требуют, чтобы пользователь поворачивал (обычно с использованием поворотного стола) ТУ до нахождения точки максимального излучения и измерял значение в этой точке для сравнения с пределом. Предполагая, что поворотный стол вращает ТУ со скоростью 1 об⁄мин, 15 секундам соответствует поворот на 90°, а 30 секундам - поворот на 180°.

$$1 \text{ оборот в минуту} = \frac{360°}{\text{минута}} \rightarrow 90° \text{ за 15 секунд}$$

Как пользователю быстро найти точку максимального излучения? Измерение, отображаемое в виде ленточной диаграммы, позволяет одновременно использовать 3 детектора ЭМП и получать график измерения в зависимости от времени. Визуально обследуя график, пользователь может быстро найти угол, при котором излучение было максимальным, и измерить его.

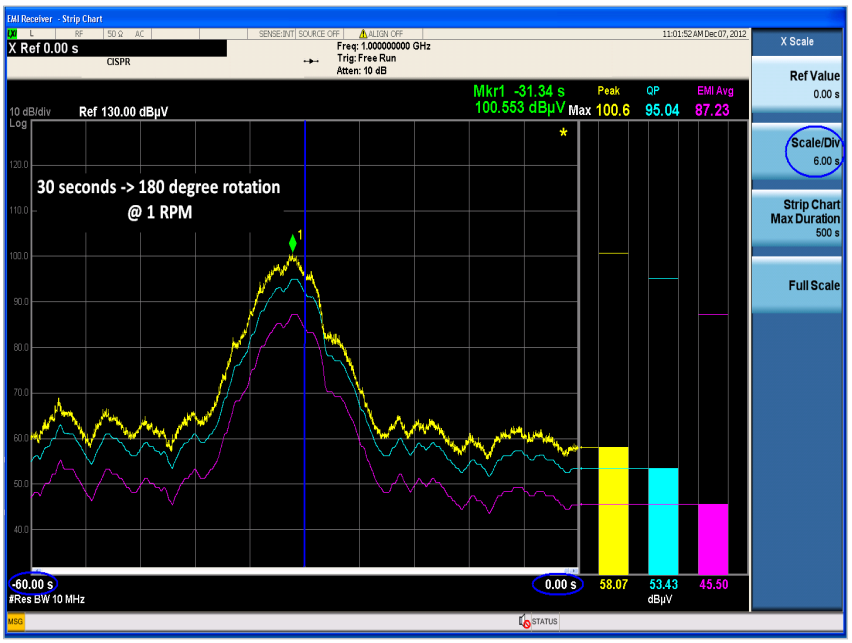



Рисунок 4. Отображение измерения приёмника MXE в виде ленточной диаграммы.

Ленточная диаграмма также очень полезна при измерениях в соответствии с методикой измерения CISPR 16. Для помех, которые не являются стабильными, CISPR 16 устанавливает, что отсчёты приёмника должны наблюдаться минимум в течение 15 секунд для каждого измерения, а затем должен быть зарегистрирован максимальный отсчёт. Если излучение изменяется более чем на 2 дБ за 15 секунд, следует наблюдать его в течение более длительного периода времени. В этом случае ленточная диаграмма даёт большое преимущество, поскольку она строит график зависимости излучения от времени, а также захватывает максимальный отсчёт с помощью отображения данных измерителя.

Измерения в режиме ленточной диаграммы очень напоминают измерения с использованием осциллографа. Они позволяют записывать и отображать данные в течение периода времени до 2 часов.

## Спектрограмма

Ещё одним полезным средством диагностики является спектрограмма. С помощью спектрограммы можно легко распознавать непрерывные и перемежающиеся сигналы, измеряя периодичность перемежающихся сигналов. Частота и время между сигналами могут дать ценную информацию о том, где возник этот сигнал. Вооружившись этой информацией, можно затем использовать пробники ближнего поля, чтобы точно определить источник помех.

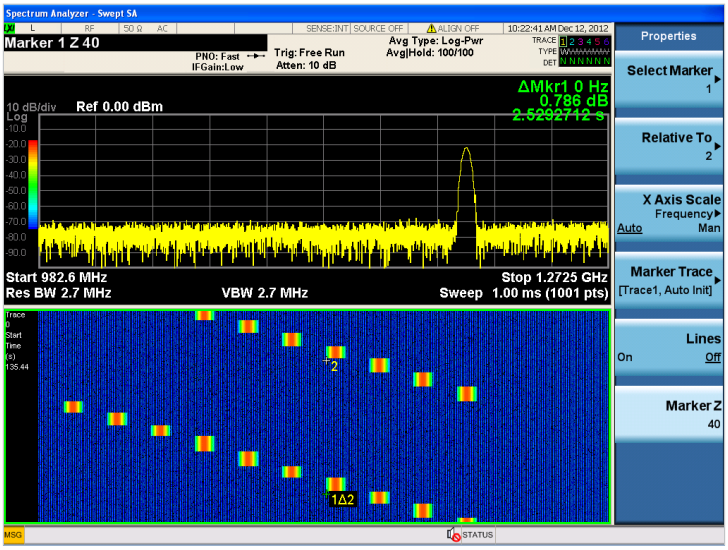



Рисунок 5. Отображение спектрограммы на экране приёмника MXE.

## Создание отчётов

После того, как эмиссия помех от ТУ измерена, скорее всего, потребуется составить отчет. Этот отчет, возможно, необходимо будет отправить группе разработчиков, чтобы помочь ей устранить проблему с помехами, или заказчику, если Вы используете испытательное оборудование для испытаний на ЭМС в коммерческих целях.

Измерительный приёмник ЭМП N9038A MXE может создавать отчеты, детализирующие результаты тестов. Отчет можно настроить так, чтобы он включал выделенные пункты, такие как данные графика, список сигналов, ограничительные линии, корректирующий коэффициент и экранное изображение наряду с данными, содержащимися в заголовке.

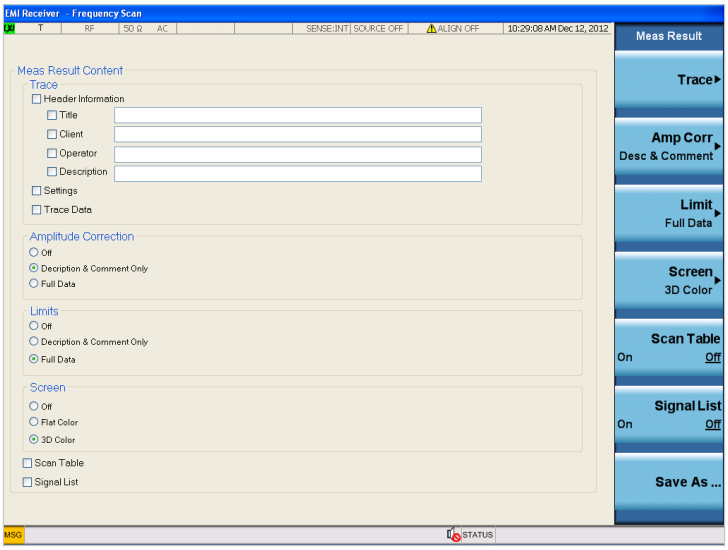



Рисунок 6. Генератор отчётов приёмника MXE.

## Заключение

Инженерам, выполняющим измерения в процессе сертификации на соответствие требованиям по ЭМС, требуется использовать измерительные приёмники, отвечающие требованиям соответствующего измерительного стандарта.

Кроме основных требований, имеется также ряд существенных свойств, таких как ограничительные линии, запасы по допускам, корректирующие коэффициенты и списки сигналов, которые определяют удобство применения приёмника. Большую пользу приносят средства диагностики, такие как встроенный анализатор спектра, ленточная диаграмма и спектрограмма, которые помогают идентифицировать и локализовать проблемы с помехами.

## Соответствующая литература

*MXE X-Series EMI Receiver N9038A, Brochure (N9038A Измерительный приёмник MXE серии X. Брошюра), номер публикации* 5990-7422EN

*N9038A MXE EMI Receiver 20 Hz to 8.4 and 26.5 GHz, Data Sheet (N9038A Измерительный приёмник MXE серии X. Технические данные), номер публикации* 5990-7421EN

*Making EMI Compliance Measurements, Application Note, Data Sheet (Проведение измерений ЭМП на соответствие требованиям стандартов. Рекомендации по применению), номер публикации* 5990-7420EN

## Web-ресурсы

www.keysight.com/find/mxe
www.keysight.com/find/emi

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight
Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.

www.keysight.com/go/quality
Подразделение электронных измерений компании Keysight Technologies, Inc. сертифицировано компанией DEKRA на соответствие требованиям системы менеджмента качества ISO 9001:2008

Торговые партнеры компании Keysight
www.keysight.com/find/channelpartners
Получите двойную выгоду: глубокие профессиональные знания в области измерительной техники и широкую номенклатуру выпускаемой продукции компании Keysight в сочетании с удобствами, предоставляемыми торговыми партнёрами.

www.keysight.com/find/mxe
www.keysight.com/find/emi

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

Информация может быть изменена без уведомления.
© Keysight Technologies, 2013-2014
Published in USA, August 3, 2014
5991-1756RURU
www.keysight.com