

Keysight Technologies

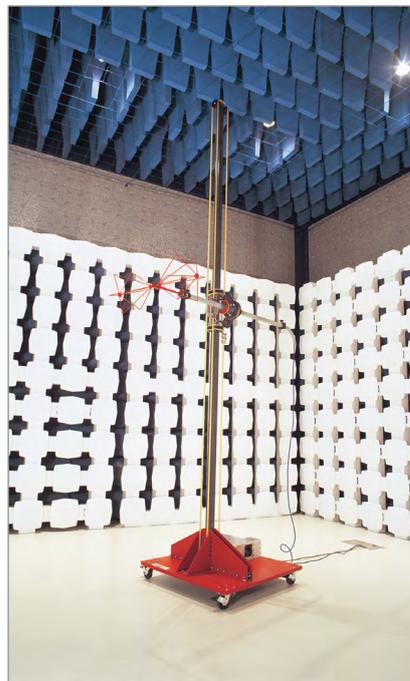
Проведение измерений ЭМП на соответствие требованиям стандартов

Рекомендации по применению



Содержание

Введение к измерениям на соответствие требованиям стандартов	3
Процесс проведения измерений на соответствие требованиям стандартов	4
Требования к измерительному приёмнику ЭМП.....	7
Требования для измерений на частотах выше 1 ГГц....	7
Измерение кондуктивных ЭМП	8
Установка для измерения кондуктивных ЭМП.....	8
Конфигурирование приёмника.....	8
Проведение измерений кондуктивных ЭМП	10
Измерение излучаемых ЭМП	12
Требования к открытой измерительной площадке	12
Установка для измерения излучаемых ЭМП.....	13
Измерение излучаемых ЭМП.....	14
Размещение ТУ для получения максимальных откликов..	15
Измерения сигналов окружающей среды плюс помех ТУ	15
Приложение А - Цепи стабилизации импеданса линии (LISN).....	16
Приложение В - Коэффициенты передачи антенн.....	18
Приложение С - Основные соотношения электрических величин.....	20
Приложение D - Детекторы, используемые для измерений ЭМП.....	21
Приложение Е - Органы государственного регулирования в области обеспечения ЭМС	24
Глоссарий аббревиатур и определений.....	26



Введение к измерениям на соответствие требованиям стандартов

Электрическое или электронное оборудование, которое использует общую электрическую сеть или имеет потенциальную возможность генерации электромагнитного излучения, должно пройти испытания на соответствие требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС). Эти требования можно разделить на четыре основных типа испытаний: измерение излучаемых электромагнитных помех (излучаемых ЭМП) и кондуктивных электромагнитных помех (кондуктивных ЭМП), испытания на устойчивость к излучаемым ЭМП и кондуктивным ЭМП.

При тестировании кондуктивных ЭМП сосредотачиваются на сигналах, присутствующих в сетях переменного тока, которые генерируются тестируемым устройством (ТУ). Диапазон частот, в котором проводятся эти измерения, обычно составляет от 9 кГц до 30 мГц. Однако измерения в соответствии с требованиями военного стандарта (MIL-STD) могут проводиться в более широком диапазоне частот.

При тестировании излучаемых ЭМП проводится поиск сигналов, излучаемых от ТУ в свободном пространстве. Типовой диапазон частот этих измерений составляет от 30 МГц до 1 ГГц или 6 ГГц, хотя правила Федеральной комиссии по средствам связи США (FCC) требуют проведения испытаний до 40 ГГц.

На рисунке 1 показано различие между излучаемыми ЭМП, устойчивостью к излучаемым ЭМП, кондуктивными ЭМП и устойчивостью к кондуктивным ЭМП. Устойчивость к излучаемым ЭМП - способность устройства или продукта противостоять воздействию излучаемых электромагнитных полей. Устойчивость к кондуктивным ЭМП - способность устройства или продукта противостоять электрическим возмущениям в сетях питания или каналах связи. Испытания на устойчивость к помехам в настоящем документе не рассматриваются.

Для того, чтобы возникла проблема ЭМС (например, когда электродрель мешает приёму телевизионных программ), должен быть генератор или источник, цепь связи и приёмник. До последнего времени большая часть усилий при устранении проблем ЭМС направлялась на понижение излучений источника до приемлемого уровня. В настоящее время проводится как тестирование уровня ЭМП, так и испытания на устойчивость к ЭМП.

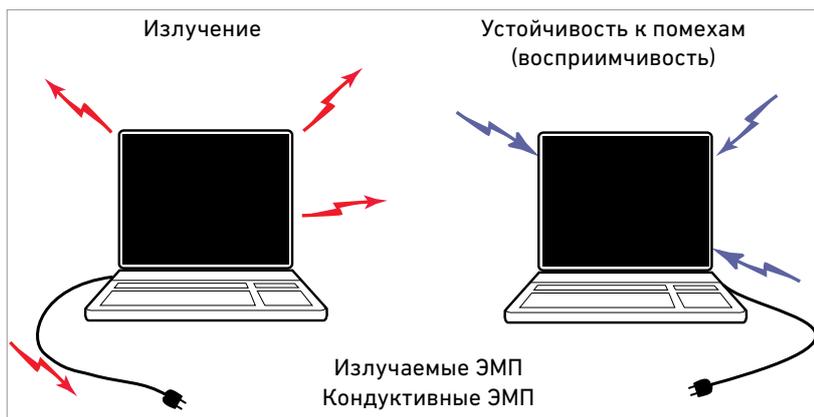


Рисунок 1. Четыре типа измерений при испытаниях на соответствие требованиям ЭМС.

Процесс проведения измерений на соответствие требованиям стандартов

Прежде чем проводить измерения продукта на соответствие требованиям стандартов, необходимо получить ответы на ряд предварительных вопросов:

1. Где будет осуществляться реализация продукта (например, в США, Европе или Японии)?
2. К какой категории относится продукт (например, оборудование информационных технологий (ITE); промышленное, научное или медицинское оборудование (ISM); автомобильное оборудование или оборудование связи)?
3. Где будет использоваться продукт (например, для домашнего использования, для коммерческого использования, для лёгкой или тяжёлой промышленности)?

Ответив на эти вопросы, можно установить, какие требования к испытаниям применимы к Вашему продукту в соответствии с таблицами 1a и 1b, приведёнными ниже. Например, если установлено, что продукт относится к оборудованию информационных технологий (ITE) и будет реализовываться в США, необходимо провести испытания продукта в соответствии с нормами части 15 правил Федеральной комиссии по средствам связи США (FCC).

Сводка международных нормативных документов (по эмиссии помех)

CISPR	FCC	EN	Тип оборудования
11	Часть 18	EN 55011	Промышленное, научное или медицинское оборудование
13	Часть 15	EN 55013	Радиовещательные приёмники
14		EN 55014	Бытовые электрические приборы и инструменты
15		EN 55015	Флюоресцентные источники света/светильники
16-1-1			Аппаратура/методики измерений
22	Часть 15	EN 55022	Оборудование информационных технологий
25		EN 55025	Автомобильное оборудование и компоненты
		EN 50081-1,2	Общие стандарты на эмиссию

Таблица 1a. Сравнение требований регулирующих агентств

Европейские стандарты (EN)

Тип оборудования	Эмиссия помех
Оборудование общего назначения	EN 50081-1
Жилые зоны	
Производственные зоны с малым энергопотреблением	
Промышленные зоны	EN 50081-2
Промышленное, научное и медицинское оборудование (ISM)	EN 55011
Приемники аудио и телевидения	EN 55013
Бытовые электрические приборы и инструменты	EN 55014
Оборудование информационных технологий (ITE)	EN 55022
Автомобильное оборудование и компоненты	EN55025

Таблица 1b. Основные требования европейских норм

Европейские стандарты

EN 55011 (CISPR 11) Промышленное, научное и медицинское оборудование

Класс А: используется в учреждениях, но не в домашних условиях.

Класс В: пригодно для использования в домашних условиях.

Группа 1: лабораторное, медицинское и научное оборудование (например, генераторы сигналов, измерительные приёмники, частотомеры, анализаторы спектра, импульсные источники питания, автоматические весы и электронные микроскопы).

Группа 2: промышленное оборудование с индукционным нагревом, оборудование с диэлектрическим нагревом, промышленное оборудование с микроволновым нагревом, домашние микроволновые печи, медицинские аппараты, оборудование искровой эрозии, аппараты точечной сварки (например, плавление металла, нагрев болванок, нагрев компонентов, обычная пайка и пайка твёрдым припоем, склеивание деревянных изделий, сварка изделий из пластмасс, обработка продуктов питания, оттаивание продуктов питания, сушка бумаги, оборудование для микроволновой терапии).

EN 55014 (CISPR 14)

Работающие на электромоторах и нагревательные электрические приборы для бытового и подобного применения, электрические инструменты и электрические аппараты. В зависимости от номинальной мощности ТУ используйте один из пределов, приведённых в таблице 1с.

EN55014 Кондуктивные ЭМП, бытовые электроприборы, QP
EN55014 Кондуктивные ЭМП, бытовые электроприборы, AVE
EN55014 Кондуктивные ЭМП, двигатели < 700 Вт, QP
EN55014 Кондуктивные ЭМП, двигатели < 700 Вт, AVE
EN55014 Кондуктивные ЭМП, двигатели > 700 Вт, < 1000 Вт, QP
EN55014 Кондуктивные ЭМП, двигатели > 700 Вт, < 1000 Вт, AVE
EN55014 Кондуктивные ЭМП, двигатели > 1000 Вт, QP
EN55014 Кондуктивные ЭМП, двигатели > 1000 Вт, AVE
EN55014 Излучаемые ЭМП, бытовые электроприборы, QP
EN55014 Излучаемые ЭМП, бытовые электроприборы, AVE
EN55014 Излучаемые ЭМП, двигатели < 700 Вт, QP
EN55014 Излучаемые ЭМП, двигатели < 700 Вт, AVE
EN55014 Излучаемые ЭМП, двигатели > 700 Вт, < 1000 Вт, QP
EN55014 Излучаемые ЭМП, двигатели > 700 Вт, < 1000 Вт, AVE
EN55014 Излучаемые ЭМП, двигатели > 1000 Вт, QP
EN55014 Излучаемые ЭМП, двигатели > 1000 Вт, AVE

где QP - квазипиковое значение, AVE - среднее значение

Примечание: диапазон частот кондуктивных ЭМП - от 150 кГц до 30 МГц и излучаемых ЭМП - от 30 до 300 МГц.

Таблица 1с. Тесты, базирующиеся на номинальной мощности

EN55022 (CISPR 22) Оборудование информационных технологий (ITE)

Оборудование, для которого основной функцией является ввод, сохранение, отображение, поиск, передача, обработка, коммутация или контроль данных (например, оборудование обработки данных, офисные машины, электронное оборудование для бизнеса, телекоммуникационное оборудование).

Класс А ITE: не предназначено для применения в бытовой обстановке.

Класс В ITE: предназначено для применения в бытовой обстановке.

Федеральная комиссия по средствам связи США (FCC)

Оборудование	FCC
Радиовещательные приёмники	
Бытовые электрические приборы/инструменты	Часть 15
Флюоресцентные источники/светильники	
Оборудование информационных технологий (ITE)	
Промышленное, научное и медицинское оборудование (ISM)	
Диапазон частот измерения кондуктивных ЭМП: от 450 кГц до 30 МГц	Часть 18
Диапазон частот измерения излучаемых ЭМП: от 30 до 1000 МГц, 40 ГГц	

Таблица 1d. Нормативные документы FCC

Федеральная комиссия по средствам связи США (FCC) Часть 15 правил FCC: радиочастотные устройства — непреднамеренные излучатели

Оборудование, непреднамеренно излучающее помехи, которые могут повлиять на работу других устройств (например, широковещательные ТВ-приёмники, радиовещательные ЧМ-приёмники, приёмники радиосвязи в общественном диапазоне, сканирующие приёмники, устройства ТВ-интерфейса, оконечные устройства кабельных систем, персональные компьютеры и периферийные устройства класса В, цифровые устройства класса В, цифровые устройства и периферийные устройства класса А и внешние импульсные источники питания).

Цифровые устройства класса А - для использования в коммерческих целях.

Цифровые устройства класса В - для использования в домашних условиях.

В случае необходимости получения помощи для адаптации применимого требования обращайтесь в органы государственного регулирования — см. Приложение Е для получения контактной информации.

Требования к измерительному приёмнику ЭМП

Существует несколько требований для проведения измерений уровня ЭМП на соответствие требованиям стандартов. Во-первых, это наличие измерительного приёмника ЭМП, такого как N9038A MXE, который соответствует требованиям стандарта CISPR 16-1-1¹.

Измерительный приёмник ЭМП, соответствующий CISPR 16-1-1, должен иметь следующие функциональные возможности в диапазоне от 9 кГц до 18 ГГц:

- номинальная абсолютная погрешность измерения уровня: ± 2 дБ
- полосы пропускания (по уровню -6 дБ), определённые в соответствии с требованиями стандарта CISPR, как показано в таблице ниже:

Полоса пропускания	Диапазон частот
200 Гц	От 9 до 150 кГц
9 кГц	От 150 кГц до 30 МГц
120 кГц	От 150 кГц до 1000 МГц
1 МГц (импульсная)	От 1 до 18 ГГц

Примечание: амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтров должна также находиться в пределах "масок", определённых стандартом CISPR 16-1-1.

- детектор пиковых значений, квазипиковый детектор, детектор средних значений и детектор среднеквадратических-средних значений с нормированными значениями времени заряда и разряда, а также констант измерителя для квазипикового детектора (см. приложение D, где приведено описание этих детекторов)
- нормированный входной импеданс с номинальным значением 50 Ом; рассогласования определяются в виде КСВН
- эффективное экранирование, позволяющее пройти тест 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

При тестировании импульсной характеристики на соответствие требованиям стандарта CISPR широкополосные импульсы с заданной спектральной плотностью и изменяющейся частотой повторения подаются на вход измерительного приёмника ЭМП. Квазипиковый детектор должен измерять эти импульсы, имеющие заданный уровень, с нормированной погрешностью. Для обеспечения соответствия этим требованиям при тестировании импульсной характеристики подразумевается, но не определяется стандартом, что приёмник должен обладать следующими свойствами:

- Преселекция — достигается с помощью входных фильтров, которые отслеживают настройку приёмника для уменьшения широкополосного шума, перегружающего входной смеситель
- Чувствительность и динамический диапазон — приёмник ЭМП должен иметь достаточно низкий уровень собственных шумов, чтобы обеспечить измерение сигналов при низкой частоте повторения импульсов (PRF)

Для обеспечения точности измерений рекомендуется, чтобы приёмник обладал функцией обнаружения перегрузки. Для проведения точных измерений приёмник должен находиться в линейном рабочем режиме, и не должно быть состояния насыщения на входном смесителе в результате подачи больших узкополосных сигналов или широкополосных помех. Полезная схема обнаружения перегрузки будет предупреждать пользователя о состояниях перегрузки во всех диапазонах частот и во всех рабочих режимах. Усовершенствованная схема измерения и обнаружения перегрузки будет автоматически устанавливать диапазон измерений или автоматически вставлять достаточное ослабление перед первым смесителем для измерения сигнала в условиях, когда состояние перегрузки отсутствует.

Требования для измерений на частотах выше 1 ГГц

В соответствии с требованиями стандарта CISPR полоса пропускания 1 МГц требуется для проведения измерений в диапазоне частот выше 1 ГГц. Следует также отметить, что квазипиковый детектор для измерений в диапазоне частот выше 1 ГГц не требуется. Тестировании импульсной характеристики на соответствие требованиям стандарта CISPR на частотах выше 1 ГГц не требуется, но важна превосходная чувствительность измерительной системы для достижения достаточного динамического диапазона при проведении измерений.

В соответствии с действующими в настоящее время нормами FCC, максимальная частота тестирования должна быть равна пятой гармонике наивысшей тактовой частоты для излучателей непреднамеренных помех (например, компьютеров без интерфейса беспроводной связи) и десятой гармонике для источников полезных электромагнитных сигналов (например, сотовые телефоны или беспроводные локальные сети).

1. CISPR - Comite International Special des Perturbations Radioelectriques (Международный специальный комитет по радиопомехам)

Измерение кондуктивных ЭМП

Тестирование эмиссии помех делится на измерения кондуктивных ЭМП и излучаемых ЭМП. Следуйте приведенным ниже шагам, чтобы настроить измерительное оборудование, принадлежности и ТУ.

Установка для измерения кондуктивных ЭМП

В стандарте ANSI C63.4 описана конкретная установка для измерения кондуктивных ЭМП. В части 15 правил Федеральной комиссии по средствам связи США (FCC) детализируются пределы для этих тестов. Обращайтесь к стандарту ANSI C63.4 для получения самой последней информации об установке для измерения кондуктивных ЭМП — в стандарте CISPR 22 приведена аналогичная установка для измерения кондуктивных ЭМП (для европейских стандартов с обозначением EN).

Конфигурирование приёмника

Подсоедините к измерительному приёмнику ЭМП, такому как N9038A MXE компании Keysight Technologies, Inc., цепь стабилизации импеданса линии (LISN) и ТУ. Функция LISN более подробно описана в Приложении А.

1. Отсоедините вход приёмника.
2. Установите надлежащий диапазон частот, выбрав полосу частот В в соответствии со стандартом CISPR, при этом также выбирается соответствующая полоса пропускания. Выберите правильный диапазон в таблице сканирования и включите ВЧ-преселектор.
3. Исходя из типа оборудования и требований регулирующего органа, выберите соответствующую ограничительную линию из широкого набора ограничительных линий в измерительном приёмнике ЭМП.

Примечание: следующая последовательность шагов по проведению измерений для определения соответствия требованиям стандартов с использованием измерительного приёмника ЭМП предполагает, что измерительная установка и измерительный приёмник соответствуют требованиям соответствующего стандарта, и что настройка системы закончена, если такая настройка была необходима.

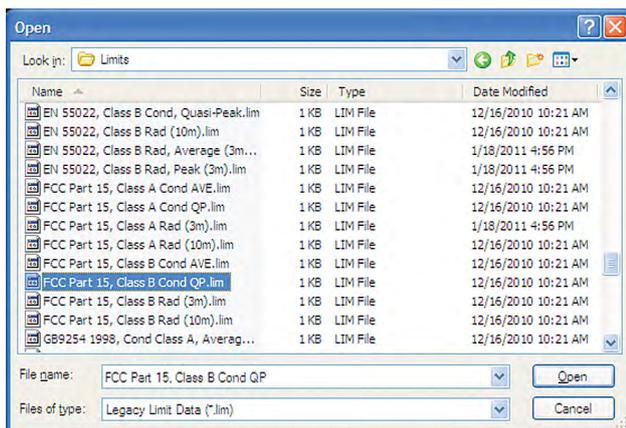


Рисунок 2а. Ограничительные линии, соответствующие нормам части 15 правил FCC

Конфигурирование приёмника (продолжение)

- Затем загрузите корректирующие коэффициенты для LISN из списка преобразователей, который доступен в измерительном приёмнике ЭМП.

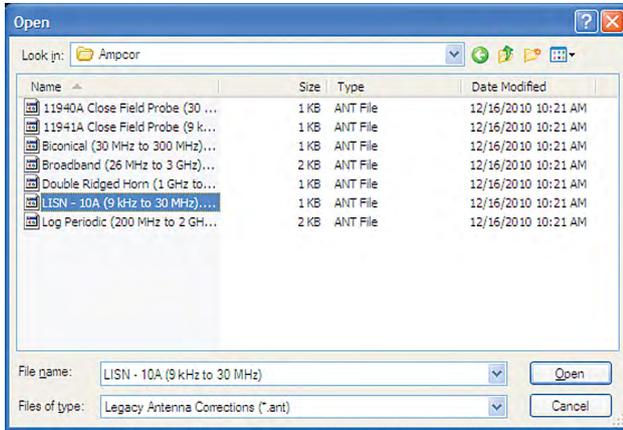


Рисунок 2b. Корректирующие коэффициенты преобразователей для LISN

После загрузки корректирующих коэффициентов для LISN и ограничительных линий и запуска сканирования на изображении на экране приёмника должно выглядеть, как на на рисунке 3.

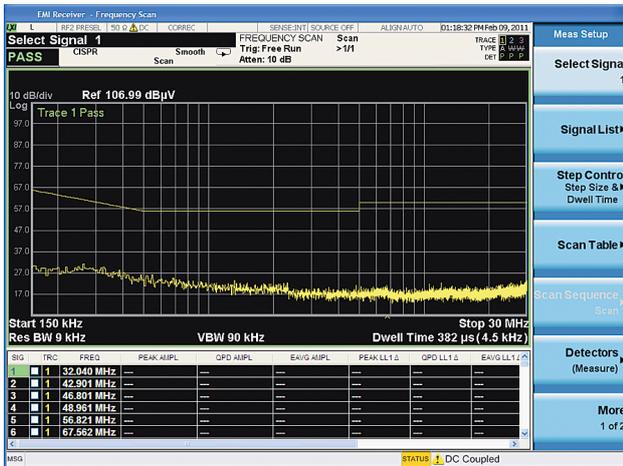


Рисунок 3. Отображение с ограничительными линиями и корректирующими коэффициентами для тестирования кондуктивных ЭМП

Проведение измерений кондуктивных ЭМП

Теперь в измерительном приёмнике ЭМП установлены все необходимые параметры, включая полосу пропускания, диапазон частот, компенсацию влияния LISN и ограничительную линию. Но есть ещё одно обстоятельство, которое следует учитывать, прежде чем приступить к измерению кондуктивных ЭМП, – это влияние окружающей среды на результаты измерения. Кабель питания, соединяющий LISN с ТУ, может действовать как антенна и стать причиной появления ложных откликов на экране ТУ. Чтобы убедиться в отсутствии этого, выключите питание ТУ и проверьте по экрану, что шумовой порог по крайней мере на 6 дБ ниже ограничительной линии, как показано на рисунке 4.

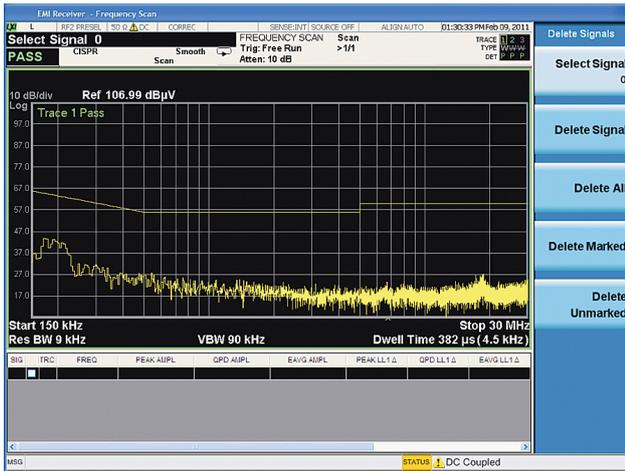


Рисунок 4. Тестирование на отсутствие влияния сигналов окружающей среды

Включите питание ТУ и наблюдайте изображение на экране. Если сигналов, превышающих ограничительную линию, нет, это означает, что ТУ успешно прошло тест и удовлетворяет требованиям к предельным уровням помех проводимости. Данные и сигналы, близкие к ограничительной линии, возможно, потребуются собрать для отчёта. Напомним, что тестирование должно быть проведено как для фазного, так и нейтрального проводов. Если на экране имеются сигналы, превышающие ограничительную линию, требуется более тщательный анализ.

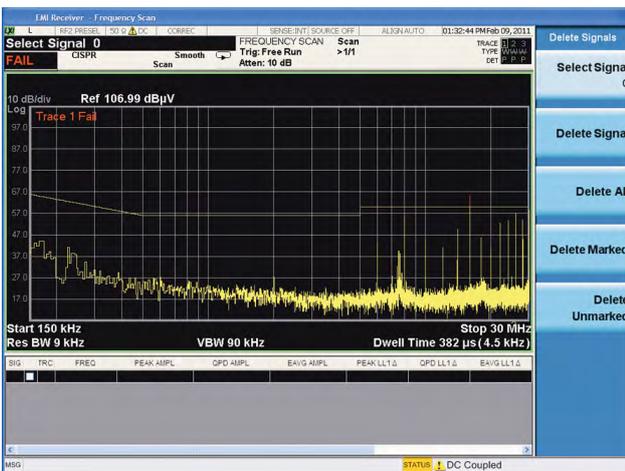


Рисунок 5. Кондуктивные ЭМП от ТУ

Проведение измерений кондуктивных ЭМП (продолжение)

На следующем шаге должно выполняться квазипиковое измерение откликов сигнала, превышающих уровень ограничительной линии. Это достигается путём помещения этого сигнала в список измерительного приёмника ЭМП и повторного измерения с использованием выбранного детектора. Теперь все значения измеряемого сигнала зарегистрированы.

Тестируемое устройство (ТУ) проходит этот тест, если никакие измеренные квазипиковые значения не превышают квазипиковую ограничительную линию, и никакие измеренные средние значения не превышают ограничительную линию средних значений; либо никакие измеренные квазипиковые значения не превышают ограничительную линию средних значений.

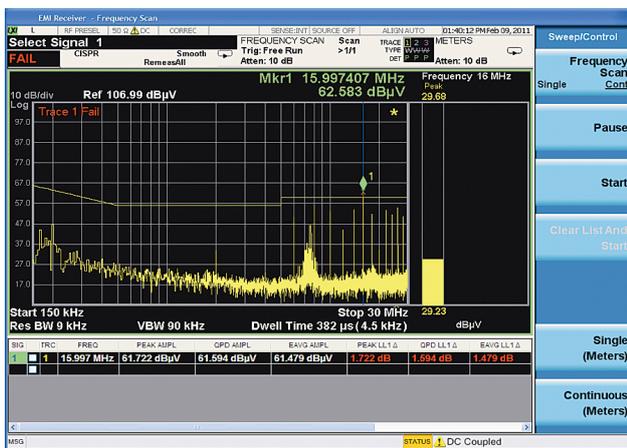


Рисунок 6. Неудачный результат измерения кондуктивных ЭМП с использованием квазипикового детектора

Напомним, что тестирование должно быть проведено для всех проводов: фазных и нейтрального, либо для всех фаз. Если некоторые значения превышают квазипиковый уровень при использовании квазипикового детектора, а также превышают ограничительную линию средних значений при использовании детектора средних значений, потребуется выполнить поиск и устранение неисправностей и частично переработать конструкцию.

Измерение излучаемых ЭМП

Процесс проведения измерений излучаемых ЭМП не является таким же простым, как измерение кондуктивных ЭМП. В этом случае имеется дополнительная сложность, связанная с излучениями окружающей среды на открытом воздухе, которые могут стать препятствием при измерениях излучаемых ЭМП от ТУ. К счастью, существуют методы, позволяющие отделить посторонние сигналы окружающей среды, такие как телевизионные сигналы, сигналы с частотной модуляцией и сигналы сотовой радиосвязи, от сигналов ТУ.

Требования к открытой измерительной площадке

Тестируемые устройства (ТУ) измеряются на открытой измерительной площадке. Стандарты ANSI C63.4 и CISPR 16-1-1 устанавливают требования для открытой измерительной площадки, включающая следующие:

- Предпочтительное измерительное расстояние: 3, 10 или 30 метров
- Размещение антенны: на высоте от 1 до 4 метров
- Зона, называемая "эллипсом CISPR" с большим диаметром, равным $2X$, и малым диаметром, равным $\sqrt{3} \cdot X$, где X - измерительное расстояние; эллипс должен быть свободен от любых отражающих объектов
- Металлическая пластина заземления для зоны измерения

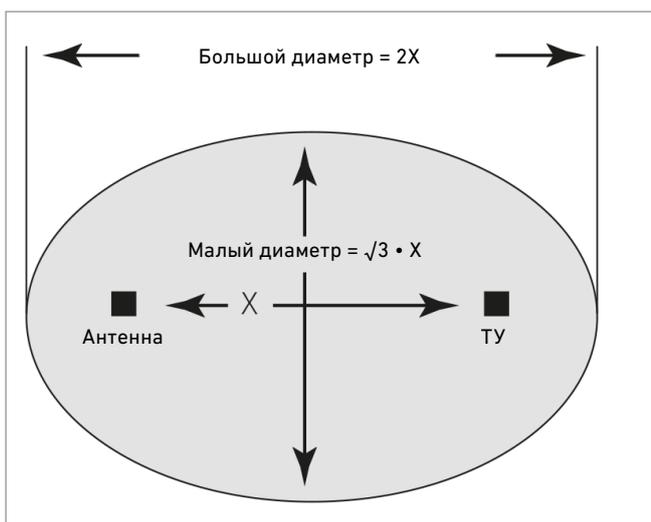


Рисунок 7. Эллипс CISPR

Более подробная информация, касающаяся требования к открытой измерительной площадке, приведена в стандартах CISPR 16-1-1 и ANSI C63.4, а также ANSI C63.7. Кроме того, в стандарте ANSI C63.7 описана конструкция открытой измерительной площадки.

Примечание: для измерения излучаемых ЭМП при испытаниях на соответствие требованиям стандартов могут также использоваться безэховая экранированная камера с измерительным расстоянием 10 метров и GTEM-ячейки.

Установка для измерения излучаемых ЭМП

Примечание: следующая последовательность шагов по проведению измерений для определения соответствия требованиям стандартов с использованием измерительного приёмника ЭМП предполагает, что установка для измерения излучаемых ЭМП соответствует требованиям соответствующего стандарта.

1. Разместите антенну, ТУ и измерительный приёмник ЭМП, как показано на рисунке 8. Разнесите антенну и ТУ на расстояние 3 метра (на расстоянии 10 метров, если это предписано регламентом). Стандарты CISPR и ANSI требуют, чтобы ТУ проверялось в наихудшем режиме работы (например, с подключёнными кабелями и монитором).

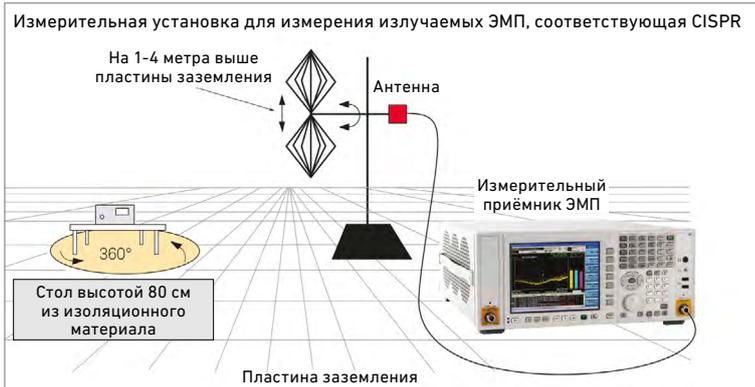


Рисунок 8. Установка для измерения излучаемых ЭМП

2. Используйте таблицу 1, чтобы определить требования регулирующих агентств, на соответствие которым должно быть испытано ТУ.
3. Установите в измерительном приёмнике ЭМП требуемую полосу обзора, корректирующие коэффициенты антенны и ограничительную линию с запасом по допуску. В данном случае мы проводим тестирование с использованием ограничительной линии, соответствующей нормам части 15 правил FCC (класс В, 3 м). Загрузите соответствующую ограничительную линию из имеющихся в приёмнике.

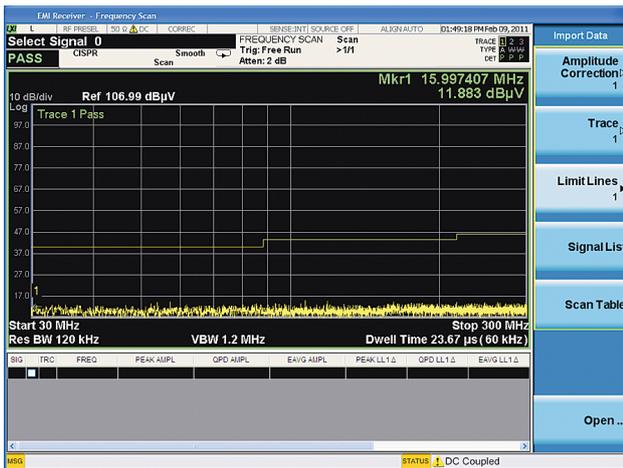


Рисунок 9. Загрузка ограничительной линии для тестирования на соответствие нормам части 15 правил FCC (класс В, 3 м)

Установка для измерения излучаемых ЭМП (продолжение)

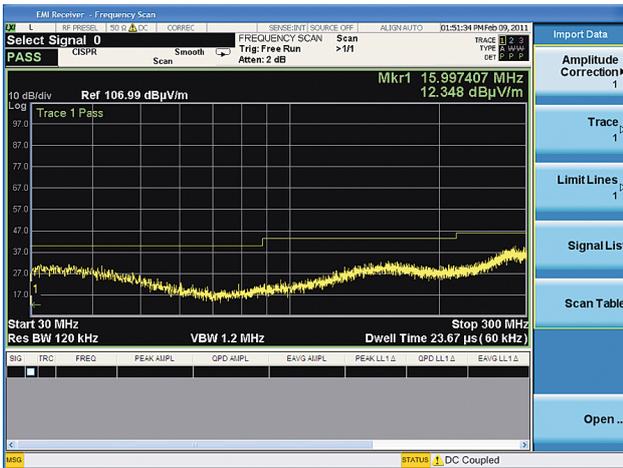


Рисунок 10. Загрузка корректирующих коэффициентов для антенны

Загрузите соответствующие корректирующие коэффициенты из приёмника. Поскольку эти корректирующие коэффициенты являются типовыми, возможно, их потребуется изменить, используя функции редактирования приёмника.

Теперь Вы расположили ТУ в 3 метрах от антенны, выбрали соответствующую ограничительную линию и корректирующие коэффициенты с учётом потерь антенны.

Измерение излучаемых ЭМП

Следующий шаг - оценка уровня излучаемых ЭМП, которые создаёт ТУ. При выключенном ТУ нужно просмотреть интересующий диапазон частот, чтобы обследовать уровни сигналов в окружающей среде. Идеальной была бы ситуация, когда все отклики окружающих сигналов были бы ниже ограничительной линии. Во многих случаях они наоборот превышают её, поэтому полезно было бы измерить и записать их. Значения амплитуды и частоты сигналов окружающей среды, превышающих уровень ограничительной линии или запас по допуску, можно сохранить в списке сигналов приёмника для будущего сравнения и удаления.

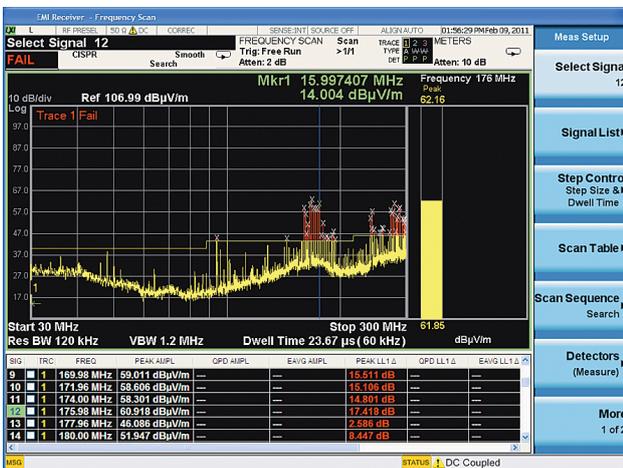


Рисунок 11. Сигналы окружающей среды, помещённые в список сигналов

Размещение ТУ для получения максимальных откликов (процесс ручного измерения)

Излучаемые ЭМП от электронных устройств неравномерны по уровню. Самые сильные помехи могут быть от передней, задней панелей или щелей в экране. Чтобы быть уверенным, что измерение выполняется для наихудшего случая излучения помех от ТУ, следуйте приведенным ниже шагам.

1. Проводя измерения с помощью измерительного приёмника ЭМП, настроенного для просмотра интересующей полосы обзора, поворачивайте ТУ на 360° с шагом 45°
2. Через каждые 45° градусов поворота ТУ отметьте амплитуды наибольших откликов и сохраните экранное изображение во внутреннем файле для последующего обращения

После того, как все экранные изображения будут захвачены, загрузите их в графическое приложение для наглядного сравнения. В некоторых случаях можно обнаружить, что для разных частот наихудшими случаями могут быть разные углы поворота ТУ. Например, для помехи на частоте 100 МГц наихудшим случаем может оказаться угол поворота 90°, а для помехи на частоте 200 МГц - угол поворота 270°. В этом случае тестирование должно быть проведено при обоих углах поворота ТУ. Если нет уверенности в том, являются ли наблюдаемые на экране отклики сигналами окружающей среды или сигналами ТУ, выключите питание ТУ. Если отклики остаются, значит, это сигналы окружающей среды. Помехи, соответствующие наихудшим случаям, должны быть определены как для горизонтальной, так и вертикальной поляризации антенны.

Измерения сигналов окружающей среды плюс помех ТУ

Поверните ТУ в положение, соответствующее одному из наихудших случаев. Может быть несколько положений ТУ, в которых помехи превышают ограничительную линию. Для каждого такого случая превышения помехой ограничительной линии должны быть проведены измерения с использованием квазипикового детектора. Если и при квазипиковом измерении по-прежнему наблюдается превышение ограничительной линии, необходимо провести поиск неисправностей и ремонт. Причина может оказаться достаточно простой, например, плохое заземление кабеля или нежелательные щелевые отверстия в экране.

Если имеется несколько сигналов, которые превышают ограничительную линию и не идентифицируются как сигналы окружающей среды, необходимо увеличить один из них или сразу два, измеряя квазипиковое значение каждого. Использование программного обеспечения для выполнения описанных выше процессов позволит обеспечить большую повторяемость измерений и документирование.

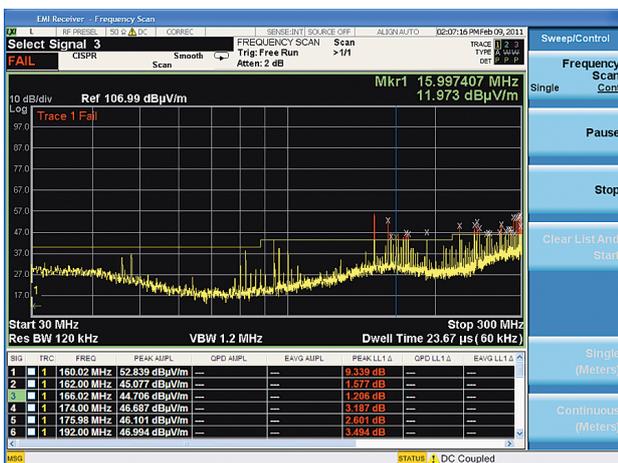


Рисунок 12. Сигналы окружающей среды плюс помехи ТУ

Приложение А

Цепи стабилизации импеданса линии (LISN)

Назначение LISN

Цепь стабилизации импеданса линии (LISN) служит трём целям:

1. Изоляция сети питания от тестируемого устройства (ТУ). Напряжение питания, подаваемое на ТУ, должно быть как можно более чистым от помех. Любые помехи на линии питания будут попадать на вход приёмника для измерения ЭМП, и интерпретироваться им как помехи, создаваемые ТУ.
2. Предотвращение прохождения любых помех, создаваемых ТУ, в сеть питания. Излишний уровень помех в проводах сети питания может мешать нормальной работе других устройств, подключённых к той же сети.
3. Сигналы, генерируемые ТУ, поступают на приёмник для измерения ЭМП через фильтр верхних частот (ФВЧ), который является частью LISN. Сигналы, находящиеся в полосе пропускания ФВЧ, проходят через него и имеют в качестве нагрузки входное сопротивление приёмника для измерения ЭМП, равное 50 Ом.

Работа LISN

На рисунке А.1 ниже показана схема цепи для одного сетевого провода относительно заземления.

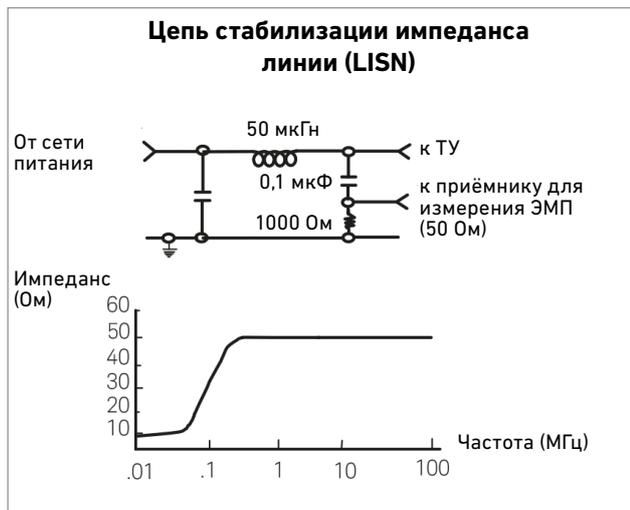


Рисунок А-1. Типовая принципиальная электрическая схема LISN

Конденсатор ёмкостью 1 мкФ в комбинации с индуктивностью 50 мкГн образует фильтр, который изолирует сеть питания от ТУ. Индуктивность 50 мкГн изолирует помехи, создаваемые ТУ, от сети питания. Конденсатор ёмкостью $0,1 \text{ мкФ}$ пропускает помехи, создаваемые ТУ, на приёмник для измерения ЭМП. Сигналы от ТУ с частотами выше 150 кГц проходят на вход приёмника для измерения ЭМП и нагружаются его входным сопротивлением 50 Ом .

На графике рисунка А.1 представлена зависимость импеданса порта ТУ от частоты.

Приложение В

Коэффициенты передачи антенн

Единицы измерения напряжённости поля

Мерой интенсивности излучаемых ЭМП является электрическое поле. Напряжённость поля измеряется в единицах дБмкВ/м, которые получаются из следующих выражений:

P_t = полная мощность, излучаемая изотропным излучателем

P_D = плотность мощности на расстоянии r от изотропного излучателя (дальнее поле)

$$P_D = P_t / 4\pi r^2 \quad R = 120\pi \text{ (Ом)}$$

$$P_D = E^2 / R$$

$$E^2 / R = P_t / 4\pi r^2$$

$$E = (P_t \times 30)^{1/2} / r \text{ (V/m)}$$

Дальнее поле* начинается с расстояния $> \lambda s / 2\pi$

* Дальнее поле определяется минимальным расстоянием от излучателя, где поле приобретает форму плоской волны.

Коэффициенты передачи антенн

По определению коэффициенты передачи антенн представляют отношение напряжённости электрического поля, измеренное в вольтах на метр, в плоскости антенны к выходному напряжению на соединителе антенны.

Примечание: коэффициент передачи антенны не то же самое, что коэффициент усиления антенны.

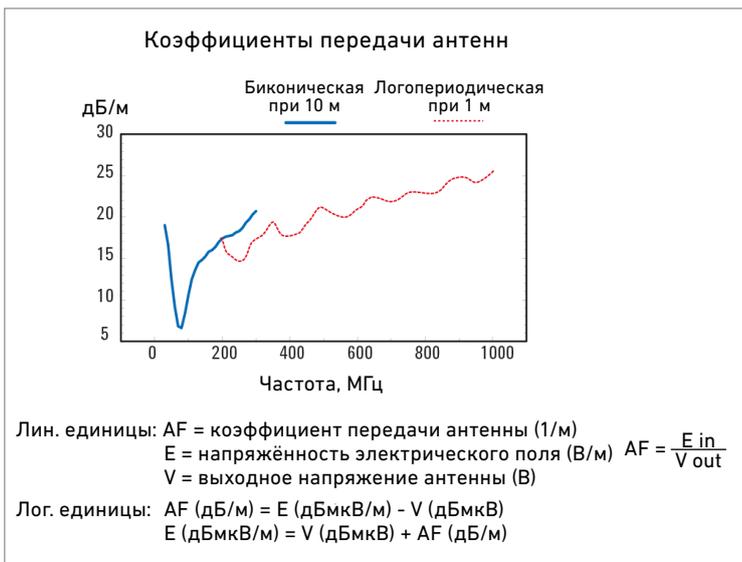


Рисунок В-1. Типовой вид зависимости коэффициентов передачи антенн от частоты

Приложение В (продолжение)

Типы антенн, используемые для коммерческих измерений излучаемых ЭМП

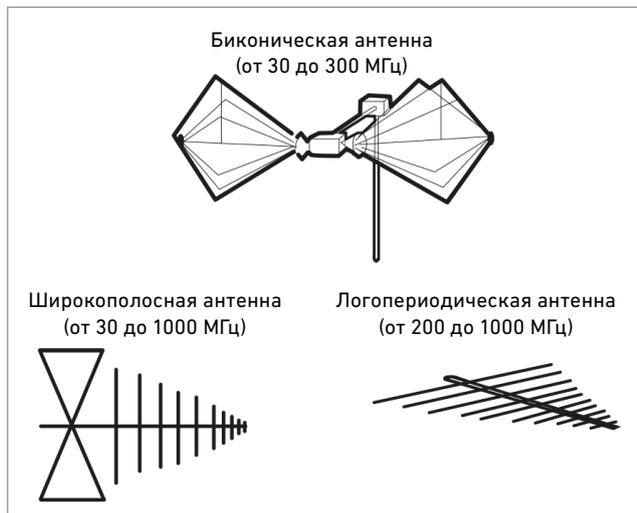


Рисунок В-2. Антенны, используемые для измерений излучаемых ЭМП

Имеется три типа антенн, используемых для коммерческих измерений излучаемых ЭМП.

- | | |
|----------------------------|--|
| Биконическая антенна: | диапазон частот от 30 до 300 МГц |
| Логопериодическая антенна: | диапазон частот от 200 МГц до 1 ГГц (диапазоны частот биконической и логопериодической антенн перекрываются) |
| Широкополосная антенна: | диапазон частот от 30 МГц до 1 ГГц (более широкий диапазон, чем у биконической и логопериодической антенн) |

Приложение С

Основные соотношения электрических величин

В области электромагнитных измерений широко используется единица измерения "децибел". Это величина пропорциональная логарифму отношения двух величин. Эти величины могут представлять мощность, напряжение, ток, напряжённость электрического или магнитного поля.

$$\text{Децибел} = \text{дБ} = 10 \lg (P_2/P_1)$$

Иногда эти величины выражаются в вольтах или единицах напряжённости поля.

В этом случае мощность P заменяется на V^2/R .

Если импедансы нагрузок равны, формула принимает вид:

$$\text{дБ} = 20 \lg (V_2/V_1)$$

Для измерения ЭМП используется единица измерения дБмкВ или дБмкА. Соотношение единиц дБмкВ и дБм определяется формулой:

$$\text{дБмкВ} = 107 + P_{\text{дБм}}$$

Это справедливо для импеданса нагрузки 50 Ом.

Длина волны λ определяется следующими соотношениями:

$$\lambda = 3 \times 10^8 / f \text{ (Гц)} \quad \text{или} \quad \lambda = 300/f \text{ (МГц)}$$

Приложение D

Детекторы, используемые для измерений ЭМП — пиковых значений, квазипиковый и средних значений

Детектор пиковых значений

Первоначально измерения ЭМП выполнялись с использованием детектора пиковых значений.

Этот режим намного быстрее, чем режимы детектирования, использующие квазипиковый детектор или детектор средних значений. Отклики сигналов обычно отображаются на экране анализаторов спектра или измерительных приёмников ЭМП в режиме детектирования пиковых значений. Поскольку отклики, измеряемые в режиме с использованием пикового детектора, всегда имеют амплитуды, равные или больше, чем в режимах с использованием квазипикового детектора или детектора средних значений, очень просто выполнить свипирование по частоте и сравнить результаты с уровнем ограничительной линии. Если все отклики ниже предела, это означает, что ТУ выдержало испытание, и дальнейшее тестирование не требуется.

Работа детектора пиковых значений

Измерительный приёмник ЭМП имеет детектор огибающей или детектор пиковых значений в тракте ПЧ с такой постоянной времени, при которой выходное напряжение детектора всегда отслеживает пиковые значения сигнала ПЧ. Другими словами, детектор может отслеживать самые быстрые возможные изменения огибающей сигнала ПЧ, но не мгновенные значения синусоидального сигнала несущей ПЧ (см. рисунок D-1).

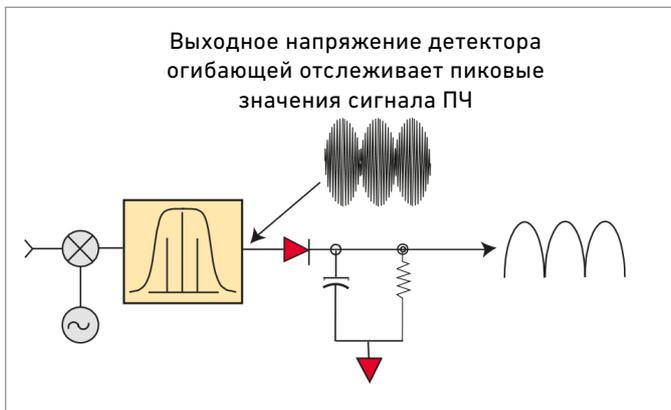


Рисунок D-1. Диаграмма работы детектора пиковых значений

Приложение D (продолжение)

Квазипиковый детектор

В большинстве случаев пределы, устанавливаемые для измерений излучаемых ЭМП и кондуктивных ЭМП, основаны на режиме квазипикового детектирования. Квазипиковые детекторы взвешивают сигналы в соответствии с их частотой повторения, что даёт способ измерения и количественной оценки "раздражающих факторов" сигнала. При увеличении частоты повторения квазипиковый детектор не имеет достаточно времени для разряда, в результате чего выходное напряжение становится выше (см. рисунок D-2 ниже). Для немодулированных сигналов (CW) детектор пиковых значений и квазипиковый детекторы ведут себя одинаково.

Поскольку квазипиковый детектор всегда даёт отсчёты, которые меньше или равны отсчётам детектора пиковых значений, то почему бы не использовать квазипиковый детектор постоянно? Действительно, хотя измерения с использованием квазипикового детектора могут помочь намного проще провести тесты на соответствие требованиям по ЭМП, они на два-три порядка медленнее, чем в случае использования детектора пиковых значений.

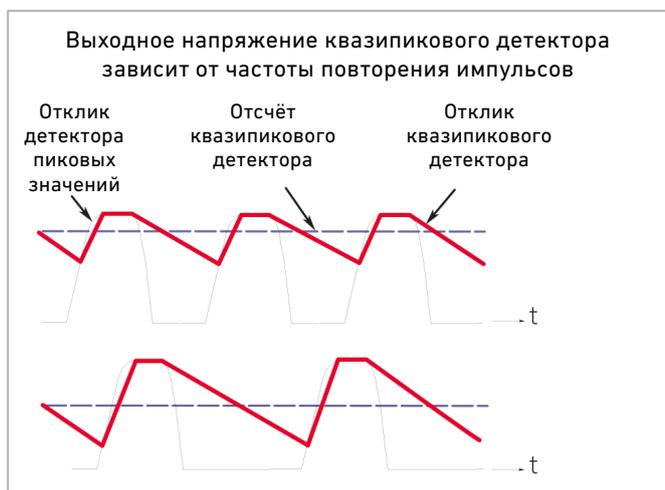


Рисунок D-2. Временная диаграмма отклика квазипикового детектора

Работа квазипикового детектора

У квазипикового детектора скорость заряда намного выше скорости разряда; поэтому при более высокой частоте повторения сигнала выходное напряжение квазипикового детектора выше. Кроме того квазипиковый детектор реагирует на сигналы различной амплитуды по линейному закону. Сигналы с высокой амплитудой и низкой частотой повторения дают такое же выходное напряжение как сигналы с низкой амплитудой и высокой частотой повторения.

Приложение D (продолжение)

Детектор средних значений

Детектор средних значений требуется для некоторых тестов кондуктивных ЭМП в сочетании с квазипиковым детектором. Кроме того, измерения излучаемых ЭМП на частотах выше 1 ГГц также выполняются с использованием детектора средних значений. Выходное напряжение детектора средних значений всегда меньше или равно напряжению детектора пиковых значений.

Работа детектора средних значений

Детектор средних значений во многом подобен детектору пиковых значений. На рисунке D-3 показан сигнал, который только что прошёл преобразование на промежуточную частоту (ПЧ) и готов к детектированию. Выходное напряжение детектора огибающей представляет огибающую модулированного сигнала. Если ширина полосы после детектирования больше полосы пропускания анализатора, происходит детектирование пиковых значений. Чтобы имело место детектирование средних значений, сигнал, протестированный детектором пиковых значений, должен пройти через фильтр, полоса которого много меньше полосы пропускания анализатора. Этот фильтр усредняет высокочастотные составляющие, такие как шумы, на выходе детектора огибающей.

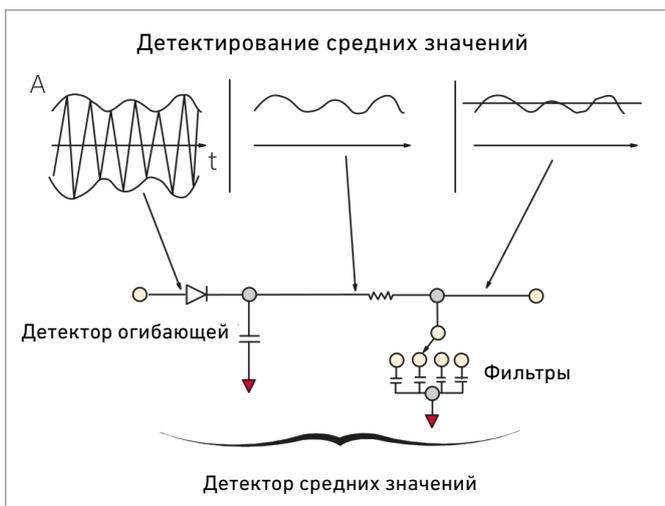


Рисунок D-3. Временная диаграмма отклика детектора средних значений

Детектор среднеквадратических-средних значений

Приёмники со взвешивающим детектором среднеквадратических-средних значений (RMS-average detector) применяют взвешивающий детектор, который представляет собой сочетание детектора среднеквадратических значений (для частот повторения импульсов выше частоты излома, f_c) и детектора средних значений (для частот повторения импульсов ниже частоты излома, f_c), таким образом достигая получение импульсной характеристики со спадом 10 дБ/декада выше частоты излома и 20 дБ/декада ниже частоты излома. См. стандарт CISPR 16-1-1 2010, где амплитудно-частотные характеристики описаны более подробно.

Приложение E

Органы государственного регулирования в области обеспечения ЭМС

IEC (CISPR) - Международная электротехническая комиссия, МЭК (CISPR - Международный специальный комитет по радиопомехам) МЭК, центральный офис, департамент продаж
PO Box 131
3, Rue de Verembe
1121 Geneva 20, Switzerland
www.iec.ch
<http://www.iec.ch/standardsdev/publications/guide.htm>

ITU-R (CCIR) - Сектор радиосвязи МСЭ (Международный консультативный комитет по радиосвязи, МККР) ITU - Международный союз электросвязи, МСЭ, генеральный секретариат, служба продаж
Place de Nation
1211 Geneva, Switzerland
Telephone: +41 22 730 5111
Fax: +41 22 733 7256
<http://www.itu.int/ITU-R>

Австралия Australia Electromechanical Committee Standards Association of Australia
PO Box 458
North Sydney N.S.W. 2060
Telephone: +61 2 963 41 11
Fax: +61 2 963 3896
AustraliaElecto-technical Committee
<http://www.ihs.com.au/standards/iec/>

Бельгия Comite Electrotechnique Belge
Boulevard A. Reyerslaan, 80
B-1030 BRUSSELS
Telephone: Int +32 2 706 85 70
Fax: Int +32 2 706 85 80
<http://www.bec-ceb.be>

Канада Standards Council of Canada Standards Sales Division
270 Albert Street, Suite 200
Ottawa, Ontario K1P 6N7
Telephone: 613 238 3222
Fax: 613 569 7808
<http://www.scc.ca>

Canadians Standards Association (CSA)
5060 Spectrum Way
Mississauga, Ontario L4W 5N6
Telephone: 416 747 4000
800 463 6727
Fax: 416 747 2473
<http://www.csa.ca>

Дания Dansk Elektroteknisk Komite
Strandgade 36 st
DK-1401 Kobenhavn K
Telephone: +45 72 24 59 00
Fax: +45 72 24 59 02
<http://www.en.ds.dk>

Франция Comite Electrotechnique Francais
UTE CEDEX 64
F-92052 Paris la Defense
Telephone: +33 1 49 07 62 00
Fax: +33 1 47 78 71 98
<http://www.ute-fr.com/FR>

Германия VDE VERLAG GmbH
Bismarckstr. 33
10625 Berlin
Telephone: +49 30 34 80 01 - 0
Fax: +49 30 341 70 93
email: vertrieb@vde-verlag.de

Индия Bureau of Indian Standards, Sales Department
Manak Bhavan
9 Bahadur Shah Zafar Marg.
New Delhi 110002
Telephone: +91 11 331 01 31
Fax: +91 11 331 40 62
<http://www.bis.org.in>

Италия CEI-Comitato Elettrotecnico Italiano
Sede di Milano
Via Saccardo, 9
20134 Milano
Telephone: 02 21006.226
Fax: 02 21006.222
<http://www.ceiweb.it>

Япония Japanese Standards Association
1-24 Akasaka 4
Minato-Ku
Tokyo 107
Telephone: +81 3 583 8001
Fax: +81 3 580 14 18
http://www.jsa.or.jp/default_english.asp

Приложение Е (продолжение)

Органы государственного регулирования в области обеспечения ЭМС

Нидерланды

Nederlands Normalisatie-Instituut

Afd. Verdoop en Informatie
Kalffjeslaan 2, PO Box 5059
2600 GB Delft
Telephone:(015) 2 690 390
Fax: (015) 2 690 190
www.nni.nl

Норвегия

Norsk Elektroteknisk Komite

Harbizalleen 2A
Postboks 280 Skoyen
N-0212 Oslo 2
Telephone:67 83 87 00
Fax: 67 83 87 01
<https://www.standard.no/en/toppvalg/nek/The-Norwegian-Electrotechnical-Committee/#.VDc6XO8lF7c>

Южная Африка

South African Bureau of Standards

Electronic Engineering Department
Private Bag X191
Pretoria
0001 Republic of South Africa
<https://www.sabs.co.za>

Испания

Comite Nacional Espanol de la CEI

Francisco Gervás 3
E-28020 Madrid
Telephone:+ 34 91 432 60 00
Fax: + 34 91 310 45 96
<http://www.aenor.es>

Швеция

Svenska Elektriska Kommissionen

PO Box 1284
S-164 28 Kista-Stockholm
Telephone:08 444 14 00
Fax: 08 444 14 30
http://www.elstandard.se/standarder/emc_standarder.asp

Швейцария

Swiss Electrotechnical Committee

Swiss Electromechanical Association
Luppenstrasse 1
CH-8320 Fehraltorf
Telephone:+ 41 44 956 11 11
Fax: + 41 44 956 11 22
<http://www.electrosuisse.ch/>

Великобритания

BSI Standards

389 Chiswick High Road
London
W4 4AL
Telephone:+44 (0)20 8996 9001
Fax: +44 (0)20 8996 7001
www.bsi-global.com

British Defence Standards

DStan Helpdesk

UKDefence Standardization
Room 1138
Kentigern House
65 Brown Street
Glasgow
G2 8EX
Telephone:+44 (0) 141 224 2531
Fax: +44 (0) 141 224 2503
<http://www.dstan.mod.uk>

Соединённые Штаты Америки

America National Standards Institute Inc.

Sales Dept.
1430 Broadway
New York, NY 10018
Telephone:212 642 4900
Fax: 212 302 1286
<http://webstore.ansi.org>

FCC Rules and Regulations Technical Standards Branch

2025 M Street N.W.
MS 1300 B4
Washington DC 20554
Telephone:202 653 6288
<http://www.fcc.gov>

FCC Equipment Authorization Branch

7435 Oakland Mills Road
MS 1300-B2
Columbia, MD 21046
Telephone:301 725 1585
<http://www.fcc.gov>

Глоссарий аббревиатур и определений

Уровень помех окружающей среды

1. Значения излучаемых и кондуктивных сигналов и помех, присутствующих в определённом месте и в определённое время проведения испытаний, когда тестируемое устройство (ТУ) не активировано.
2. Уровни излучаемых и кондуктивных сигналов и помех, присутствующих в определённом месте и в определённое время, когда ТУ не работает. Атмосферные помехи, помехи от других источников, шумы схем или другие помехи, создаваемые внутри измерительной установки, составляют уровень помех окружающей среды.

Амплитудная модуляция

1. Процесс в системе передачи сигналов или результат этого процесса, когда амплитуда одной электрической величины изменяется в соответствии с некоторой выбранной характеристикой другой величины, которая не обязательно должна быть электрической по своей природе.
2. Процесс, с помощью которого амплитуда несущего колебания изменяется по заданному закону.

Безэховая камера

1. Экранированная комната, обшитая изнутри радиопоглощающим материалом для снижения отражений от всех внутренних поверхностей. Полностью обшитые безэховые камеры имеют такую обшивку на всех внутренних поверхностях, стенах, потолке и полу. Их называют также "полностью безэховыми камерами". Полубезэховая камера представляет экранированную комнату, имеющую обшивку из поглощающего материала на всех поверхностях кроме пола.

Антенна

1. Средство для излучения и приёма радиоволн.

2. Преобразователь, который либо излучает в пространство высокочастотную мощность от источника сигнала, либо перехватывает проходящее электромагнитное поле, преобразуя его в электрический сигнал.

Коэффициент передачи антенны

Коэффициент преобразования напряжённости электрического поля в вольтах на метр и напряжённости магнитного поля в амперах на метр в напряжение в вольтах на входных зажимах измерительного прибора.

Напряжение, индуцируемое в антенне

Измеренное или вычисленное напряжение, развиваемое на выходных зажимах антенны при разомкнутой цепи нагрузки.

Кондуктивные помехи антенного терминала

Любое нежелательное напряжение и ток, создаваемые приёмником, передатчиком или связанным с ними оборудованием, которые появляются на зажимах антенны.

Вспомогательное оборудование

Оборудование, не относящееся к тестируемому, однако необходимое для реализации всех функций и оценки правильности работы ТУ, подвергаемого воздействию помех.

Симметрирующее устройство

Симметрирующее устройство антенны, позволяющее использовать коаксиальные кабели для питания симметричной антенны, такой как диполь.

Широкополосное излучение

Термин "широкополосное" определяет характер помехи, у которой несколько спектральных линий находятся в заданной полосе ВЧ-канала приёмника.

Широкополосная помеха (измерения)

Возмущение, энергия спектра которого распределена в достаточно широкой полосе, так что реакция измерительного приёмника существенно не изменяется при его перестройке в пределах указанных частотных полос.

Кондуктивная помеха

Помеха, возникающая в результате прохождения шумов или нежелательных сигналов на преобразователь (приёмник) из-за наличия кондуктивной связи.

Взаимная связь

Прохождение сигнала из одного канала, цепи или проводника к другому, где этот сигнал оказывается нежелательным.

Развязывающая цепь

Развязывающая цепь - электрическая схема для предотвращения влияния тестовых сигналов, подаваемых на ТУ, на другие устройства, оборудование или системы, которые не тестируются. IEC 801-6 устанавливает, что связывающие и развязывающие цепи могут находиться в одном блоке или могут выполняться в виде отдельных цепей.

Диполь

1. Антенна, состоящая из прямого проводника, длиной обычно не более $1/2$ волны, разделённого в его электрической середине для подключения линии передачи.
2. Один из классов антенн, создающих диаграмму направленности, как у элементарного электрического диполя.

Электромагнитная совместимость (ЭМС)

1. Способность электронного оборудования систем работать с определённым запасом безопасности в предполагаемой рабочей среде при сохранении проектного уровня эффективности без его ухудшения, обусловленного помехами.

Глоссарий аббревиатур и определений

2. ЭМС - способность оборудования удовлетворительно функционировать в его электромагнитной среде, не создавая недопустимых возмущений в этой среде или для другого оборудования.

Электромагнитная помеха

Электромагнитная помеха есть воздействие, приводящее к ухудшению полезного радиосигнала из-за электромагнитного возмущения.

Электромагнитная волна

Излученная энергия, созданная периодическим изменением электрического заряда и характеризующаяся колебанием электрического и магнитного полей.

Эмиссия

Распространение электромагнитной энергии от источника путём излучения или проводимости.

Дальнее поле

Область пространства, где плотность потока мощности от антенны приблизительно обратно пропорциональна квадрату расстояния. Для диполя это соответствует расстояниям более $\lambda/2\pi$, где λ - длина волны излучения.

Заземлённая плоскость

1. Проводящая поверхность пластины, используемая как общая опорная точка для возвратных цепей и электрического или сигнального потенциала.
2. Металлический лист или пластина, используемая как опорная точка для возвратных цепей и электрического или сигнального потенциала.

Помехозащищённость

1. Свойство приёмника или любого другого оборудования или системы, позволяющее подавлять ЭМП
2. Способность электронного оборудования противостоять излучаемым электромагнитным полям без появления нежелательных реакций.

Интермодуляция

Смещение двух или более сигналов на нелинейном элементе, порождающее сигналы с частотами, равными сумме и разности кратных частот исходных сигналов.

Изотропный

Изотропный означает обладание свойством равных величин во всех направлениях.

Несимметричный вибратор

Антенна, состоящая из прямого проводника, длиной обычно не более $1/4$ длины волны, установленная непосредственно над заземлённой плоскостью и перпендикулярно к ней. Она подключается к линии передачи у её основания и ведёт себя подобно диполю.

Узкополосное излучение

Излучение, у которого существенная часть энергии спектра сосредоточена в полосе частот используемого измерительного приёмника.

Открытое пространство

Место для измерения излучаемых электромагнитных помех, которое представляет собой открытую ровную территорию на достаточном удалении от зданий, линий электропередачи, ограждений, деревьев, подземных кабелей и трубопроводов, так чтобы их влияние было пренебрежимо мало. В этом месте должен быть существенно низкий уровень окружающих помех, который позволил бы проводить испытания на требуемом уровне пределов.

Поляризация

Этот термин используется для описания ориентации вектора поля излучения.

Излучаемые ЭМП

ЭМП, создаваемые излучением шумов и нежелательных сигналов. Сравнить с приведённым ниже описанием радиопомех.

Излучение

Излучение энергии в форме электромагнитных волн.

Радиопомехи

Радиопомехи являются ВЧ-помехами для радиоприёмника. Это происходит, когда нежелательные электромагнитные колебания попадают на высокочастотный вход приёмника или на антенную систему.

Источники радиопомех

Источниками радиопомех являются оборудование и системы, равно как и их компоненты, которые могут создавать радиопомехи.

Экранирующий кожух

Защитный экран или жёсткий металлический корпус, сконструированный специально для изоляции внутренних схем от внешней электромагнитной среды. Это устройство предназначено для защиты от влияния внешних электромагнитных полей, которые могут привести к ухудшению рабочих характеристик изделия, и для защиты от излучения помех в окружающую среду.

Полосковая линия

Линия передачи, состоящая из металлической пластины и параллельного ей ленточного проводника, используемая для генерации электромагнитного поля в целях тестирования.

Восприимчивость

Характеристика электронного оборудования, которая допускает появление нежелательных реакций в оборудовании, когда оно подвергается воздействию электромагнитной энергии.

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации.



www.lxistandard.org

LAN eXtensions for Instruments (расширения LAN для измерительных приборов) добавляет возможности локальной сети Ethernet и Web в измерительные системы. Компания Keysight является членом-учредителем консорциума LXI.



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

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

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