

**КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ
КАФЕДРА РАДИОАСТРОНОМИИ**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО КУРСУ**

**«ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ПОМЕХО-
УСТОЙЧИВОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ»
(с использованием осциллографа R&S RTO1024)**

Методические указания

КАЗАНЬ – 2025

УДК 621.396.075

ББК 32.884.1

Л12

Принято на заседании кафедры радиоастрономии КФУ

Протокол № 5 от 7 марта 2025 года

Рецензент:

доцент кафедры радиопизики КФУ

кандидат физико-математических наук **Латыпов Р. Р.**

Составители: **А.А. Колчев, Е.Ю. Зыков**

Лабораторные работы по курсу «Электромагнитная совместимость и помехоустойчивость информационных систем» (с использованием осциллографа R&S RTO1024). – Казань: КФУ, 2025. – 36 с.

Данное пособие предназначено для лабораторной поддержки дисциплины «Электромагнитная совместимость и помехоустойчивость информационных систем», изучаемой в бакалавриате направления «Информационная безопасность» и в специалитете направления «Информационная безопасность автоматизированных систем» Института физики КФУ. Для выполнения лабораторных работ используются имеющиеся на кафедре радиоастрономии измерительный комплекс, в состав которого входят лабораторный модуль фирмы «DreamCatcher», генераторы ВЧ-сигналов, осциллографы, компьютерная техника. Описаны три лабораторных работы, предназначенных для изучения вопросов электромагнитной совместимости технических средств.

© Колчев А.А., Зыков Е.Ю.

© Казанский федеральный университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	6
2. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА RODE&SCHWARZ RTO 1044	11
3. ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ ПЛАТ НАБОРА ME1400 (ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ)	21
3.1. Лабораторная работа 1: Исследование зависимости уровня шумов от полосы пропускания устройства	22
3.2. Лабораторная работа 2: Перекрестные помехи	26
3.3. Лабораторная работа 3: Согласование параметров цепи передачи сигналов	30
ЛИТЕРАТУРА	36

ВВЕДЕНИЕ

Во все отрасли экономики и разные сферы жизни общества высокими темпами внедряются микроэлектроника, оборудование информационных технологий и средства радиосвязи, обладающие повышенной восприимчивостью к электромагнитным помехам. Этот процесс обусловлен развитием научно-технического прогресса.

Обеспечение электромагнитной совместимости, т.е. достижение такого состояния, когда электротехнические, электронные и радиоэлектронные аппараты, системы и установки будут пригодны к выполнению функций по назначению при воздействии помех, создаваемых электротехническими изделиями и вызываемых природными явлениями, стало необходимым условием научно-технического прогресса.

Любые электрические и электронные изделия, включая аппараты, системы и стационарные и подвижные установки, способные создавать электромагнитные помехи и (или) восприимчивые к их воздействию, должны быть изготовлены таким образом, чтобы:

- создаваемые ими электромагнитные помехи не превышали уровня, обеспечивающего функционирование радио- и телекоммуникационного оборудования и других изделий в соответствии с их назначением;
- изделия имели достаточный уровень собственной устойчивости к электромагнитным помехам, обеспечивающий их функционирование в соответствии с назначением.

Именно поэтому разработка современных радиоэлектронных устройств требует знаний и умений работы с современными приборами, такими как: многоканальный генератор сигналов, анализатор спектра, многоканальный осциллограф и многие другие.

Для выполнения работ применяются учебный набор ME1400 фирмы «DreamCatcher» и научное оборудование компании Rohde&Schwarz. Учебный набор ME1400 состоит из лабораторного

модуля для изучения вопросов электромагнитной совместимости технических средств и дополнительных инструментов. Для измерения параметров исследуемых сигналов используется осциллограф R&S RTO1024 компании Rohde&Schwarz.

1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, существующих в данном месте.

В общем, электромагнитная обстановка зависит от времени, и для ее описания может требоваться статистический подход.

Электромагнитный шум – изменяющееся во времени электромагнитное явление, которое не содержит информации и может налагаться на полезный сигнал или объединяться с полезным сигналом.

Нежелательный сигнал – сигнал, который может ухудшить прием полезного сигнала.

Мешающий сигнал – сигнал, который ухудшает прием полезного сигнала.

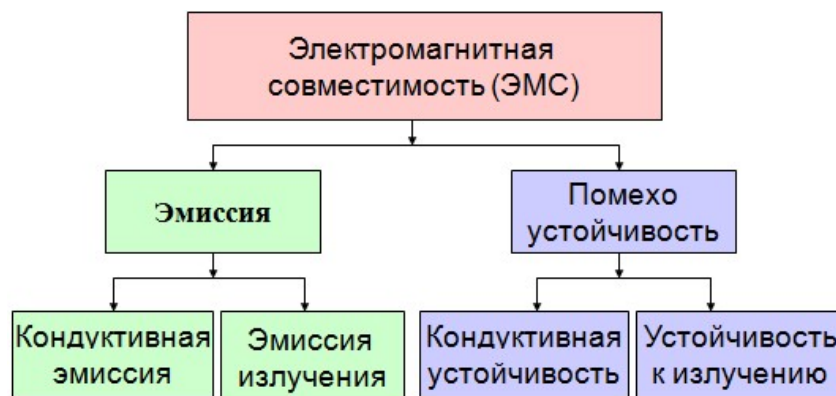
Электромагнитная помеха – любое электромагнитное явление, которое может ухудшить качество функционирования технического средства.

Электромагнитная помеха (ЭМП) может быть электромагнитным шумом, нежелательным сигналом или изменением в среде распространения.

Техническое средство может быть устройством, оборудованием, системой или установкой.

Влияние электромагнитной помехи – ухудшение качества функционирования технического средства или канала передачи, вызванное электромагнитной помехой.

Электромагнитная совместимость технических средств, ЭМС технических средств – способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам [1].



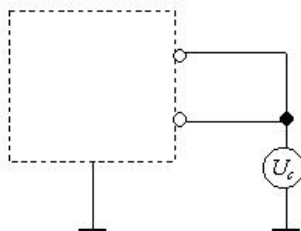
Электромагнитная эмиссия – явление, при котором электромагнитная энергия исходит от источника.

Кондуктивные помехи и причины их возникновения.

Кондуктивными электромагнитные помехи являются с учетом среды их распространения – в проводящих конструкциях и земле в виде токов.

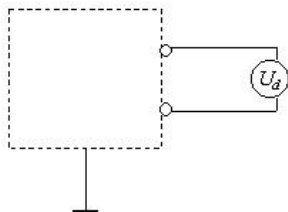
Кондуктивные помехи в цепях с более чем одним проводником, в свою очередь, разделяются на:

1. Помехи «провод-земля». Называются также несимметричными, синфазными, общего вида. Напряжение помехи при этом, как видно из названия, приложено между каждым из проводников цепи и землей.



Обусловлены такие помехи разностью потенциалов в цепях заземления устройств. Могут возникнуть от токов в земле (аварийные либо токи молнии) либо магнитных полей. При синфазных помехах не возникают мешающие напряжения на приемнике, однако они оказывают воздействие на изоляцию проводов относительно земли, а, следовательно, могут привести к пробое изоляции;

2. Помехи «провод-провод». Такие помехи называются еще симметричными, противофазными, дифференциального вида. В данном случае напряжение помехи приложено между различными проводниками одной цепи.



Возникновение таких помех происходит через гальванические связи, путем передачи электромагнитным полем, либо из-за преобразования помехи «провод-земля» в помеху «провод-провод».

Если говорить о том, какие же из вышеназванных кондуктивных помех наиболее опасные, то обычно это помехи «провод-провод», из-за того, что приложены они оказываются так же, как и полезный сигнал.

Реальные кондуктивные помехи обычно представлены комбинацией помех «провод-земля» и «провод-провод». Кроме того, из-за несимметричности внешних цепей передачи сигналов и входных цепей аппаратуры возможно преобразование одного вида кондуктивных помех в другой.

Причины появления кондуктивных помех.

Нарушения функционирования технических средств, как и помехи, непредсказуемы. Объяснением тому служат как множество различных механизмов возникновения помех, так и статистический характер помехоустойчивости у преобладающего числа средств автоматизации.

К причинам появления в системе кондуктивных ЭМП, то есть взаимного влияния приборов либо кондуктивных элементов, относятся:

напряжение питания с частотой 50 Гц;

ВЧ и НЧ тактовые сигналы;

сигналы в проводах управления либо линиях передачи (ЛП) данных;

коммутационные процессы в индуктивностях;

искровые разряды в момент замыкания и размыкания контактов.

Излучение (в радиосвязи) – радиоволны или сигналы, создаваемые передающей радиостанцией.

Радио (частотный) шум – электромагнитный шум, спектральные составляющие которого находятся в полосе радиочастот.

Радиопомеха – электромагнитная помеха, спектральные составляющие которой находятся в полосе радиочастот [1].

Все помехи делятся на два класса:

1. Помехи, производимые всеми устройствами, характеризующимися стабильностью во времени и частотном диапазоне.

2. Аперiodические, случайно возникающие во времени помехи. Причинами появления таких помех являются разного рода коммутации и возникновение коротких замыканий. При этом появляются помехи с широким частотным спектром.

Влияние радиопомехи – ухудшение приема полезного сигнала, вызванное радиопомехой.

Межсистемное влияние помехи – влияние электромагнитной помехи в системе, вызванное электромагнитными помехами, создаваемыми другой системой.

Внутрисистемное влияние помехи – влияние электромагнитной помехи в системе, вызванное электромагнитными помехами, создаваемыми в той же системе.

Естественный шум – электромагнитный шум, источником которого является природное явление, а не устройства, созданные человеком.

Индустриальный шум – электромагнитный шум, источником которого являются технические средства.

Ухудшение качества функционирования технического средства – нежелательное отклонение рабочих характеристик технического средства от требуемых.

Устойчивость к электромагнитной помехе (технического средства), помехоустойчивость (технического средства) – способность технического средства сохранять заданное качество функционирования при воздействии на него внешних помех с регламентированными значениями параметров.

Электромагнитная восприимчивость – неспособность технического средства функционировать без ухудшения качества при наличии электромагнитных помех.

Восприимчивость представляет собой недостаточную устойчивость к помехе [1].

2. АНАЛИЗ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА ROHDE&SCHWARZRTO 1044

Основные характеристики осциллографа [2]

- Глубина памяти до 80 MSa на канал, в зависимости от типа аппаратуры.

- Высокая точность пуска.
- Низкий уровень шума.
- Точные измерения из-за одноядерного ЦАП.
- Высокая скорость измерений, даже для сложных функций.
- Высококачественная линия зондов.
- USB для удобной передачи данных на / с компьютера.

На Рис. 1. показана передняя панель R&S RTO1024 с 4 каналами входного сигнала.



Рис. 1. Передняя панель R&S RTO1024 с 4 каналами входного сигнала

- 1 – Сенсорный экран.
- 2 – Настройка элементов управления.
- 3 – Горизонтальное управление.

- 4 – Управление ТРИГГЕРОМ.
- 5 – Контроль анализа.
- 6 – Вертикальное управление.
- 7 – Навигации.
- 8 – Питание.
- 9 – Разъемы USB и зонда.
- 10 – входные каналы.

Сенсорный экран.

Сенсорный экран (Рис. 2) показывает не только зафиксированные формы сигнала, но и обеспечивает всё необходимое для управления инструментом, анализа формы сигналов и получения результатов измерений.



Рис. 2. Сенсорный дисплей

- 1 – Панель инструментов.
- 2 – Площадь диаграммы.
- 3 – Полоса сигнала с горизонтальной и триггерной меткой (3a),
значок сигнала с меткой сигнала (3b),

значок сигнала с минимизированный сигнал в реальном времени (3с).

4 – Строка меню.

5 – Диалоговое окно.

6 – Поле результата.

7 – Поле ввода.

Панель инструментов.

Значки на панели инструментов обеспечивают быстрый и легкий доступ к наиболее важным функциям.

Область диаграммы.

Диаграмма показывает диаграммы с формами сигналов.

Сигнальная панель.

Панель сигналов – это центр управления для всех разрешенных сигналов. Наверху горизонтальная и триггерные метки показывают основные настройки времени и триггера.

Ниже каждая форма сигнала представлена значком сигнала. Для активного сигнала, то есть показанный на диаграмме значок сигнала отображает метку сигнала с главной вертикалью и настройки сбора сигнала. Если вы нажмете значок «Свернуть» на ярлыке сигнала, форма волны переключается с области диаграммы на значок сигнала: на пиктограмме отображается просмотр в реальном времени формы сигнала. Если вы касаетесь и удерживаете метку сигнала: диалоговое окно с вертикальными настройками для этой формы сигнала.

Строка меню.

Меню предоставляют доступ к полной функциональности R & S RTO.

Диалоговое окно.

Вкладки диалоговых окон содержат все целевые настройки и операции и черные кнопки для вызова соответствующих вкладок.

Поле результатов.

Если вы выполняете ручные или автоматические измерения, тестирование маски или поиск, в окне результатов показаны резуль-

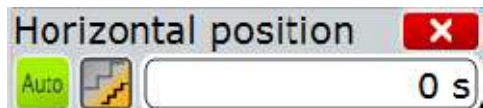
таты действия. Подобно диаграммам сигналов мы можем минимизировать поле результата к значку результата на сигнальной панели и отображать результаты в отдельной диаграмме на экране.

Поле ввода.

Поле ввода появляется, если вы отрегулируете значение с помощью одного из поворотных регуляторов или если вы перенесете элемент на экран, например, строку курсора. Поле ввода показывает текущее значение параметра. Вы можете ввести точное числовое значение, изменить размер шага и, если доступно, автоматически установить значение непосредственно в поле ввода.

В поле заголовка отображается имя текущего параметра. Поле ввода полезно при использовании многофункциональных поворотных регуляторов – регуляторов POSITION, INTENSITY.

Разрешение / Длина записи.



Кнопки SETUP устанавливают инструмент в определенное состояние, изменяют основные настройки. Ручка регулировки интенсивности настраивает контрастность дисплея для нескольких отображаемых элементов.

AUTOSET.

Прибор анализирует сигналы канала и настраивает соответствующие горизонтальные, вертикальные и триггерные настройки для отображения стабильных сигналов.

PRESET.

Сбрасывает инструмент в состояние по умолчанию. Все измерения, тесты масок, масштабирование и большинство отдельных настроек удаляются, все каналы, кроме канала 1, отключены.

Вы можете определить предустановленные конфигурации и сохранить их в файле. Ключ PRESET может быть сконфигурирован для установки заводских настроек по умолчанию или пользовательской предустановленной конфигурации.

ФАЙЛ.

Открывает и закрывает диалоговое окно «Файл», где вы можете:

- Сохранить настройки.
- Загрузить исходные настройки.
- Управлять данными: просмотр, копирование, удаление, создание папок.
- Определить шаблон имен для файлов данных осциллограммы.

РАСПЕЧАТАТЬ.

Сохраняет снимок в соответствии с настройками в меню «Файл»> «Настройка печати».

T-SCREEN LOCK.

Запирает сенсорный экран, чтобы предотвратить непреднамеренное использование. Когда сенсорный экран выключен, загорается клавиша. Нажмите еще раз, чтобы разблокировать сенсорный экран.

DISPLAY.

Открывает и закрывает диалоговое окно «Дисплей», чтобы настроить внешний вид осциллограмм, схему диаграммы, таблицы цветов, а также XY-диаграмму.

Горизонтальные элементы управления

Клавиши и поворотные регуляторы в функциональном блоке HORIZONTAL регулируют захват базовых настроек и горизонтальные параметры. Эти настройки эффективны для всех каналов осциллограмм.



RES / REC LEN.

Открывает и закрывает вкладку «Разрешение» в диалоговом окне «Горизонтальное», где вы можете установить разрешение и длину записи.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ (HORIZONTAL).

Открывает и закрывает вкладку «База времени» в диалоговом окне «Горизонтальное», где вы можете:

- Отрегулировать масштаб времени и время сбора.
- Отрегулировать горизонтальное положение и опорную точку.

РАЗРЕШЕНИЕ / ДЛИНА ЗАПИСИ.

Вращающаяся ручка изменяет разрешение или длину записи. Нажмите ручку для переключения.

POSITION / REF POINT.

Вращающаяся ручка изменяет горизонтальное положение формы волны или положение экрана контрольной точки. Нажмите на ручку, чтобы переключить настройку. Управляемый параметр и его значение отображается в поле ввода в верхнем левом углу экрана.

Контрольная точка обозначает центр масштабирования шкалы времени. На это указывает серый треугольник в верхней части диаграммы. Если вы измените масштаб времени, ссылка точка остается

фиксированной на экране, а шкала растягивается или сжимается по обе стороны опорной точки.

Элементы управления TRIGGER.

Клавиши и ручка функционального блока TRIGGER настраивают триггер и запускают или останавливают получение.



TRIGGER.

Открывает и закрывает диалоговое окно «Триггер», в котором вы можете:

- Выбрать тип триггера и настроить его.
- Установить общие параметры триггера и управлять запуском.
- Квалифицировать событие триггера с помощью логических шаблонов.
- Настроить последовательность из трех событий триггера.

УРОВЕНЬ (LEVEL).

Вращающаяся ручка устанавливает уровень триггера для всех типов триггеров. Поверните по часовой стрелке, чтобы переместить уровень запуска вверх. Если для выбранного типа триггера требуются два уровня триггера – верхний и нижний уровень – нажмите ручку для переключения между двумя уровнями.

ИСТОЧНИК (SOURCE).

Открывает диалоговое окно, в котором вы можете выбрать источник триггера. Нажмите клавишу еще раз, чтобы переключить источник. Ключ загорается в цвете выбранного источника триггера.

SLOPE.

Переключает наклон триггера или полярность пуска, в зависимости от типа триггера. Электрический ток настройки отображается на триггерной метке, которая имеется на верхней части панели сигналов.

РЕЖИМ.

Переключает триггерный режим между Авто и Нормальным. Текущая настройка отображается на триггерной метки.

RUN CONT.

Запускает и останавливает непрерывное получение данных. Зеленый индикатор указывает на текущее состояние.

Красный свет показывает, что захват остановлен.

RUN N × SINGLE.

Запускает определенное количество циклов сбора. Зеленый индикатор указывает на то, что происходит захват.

Красный свет показывает, что захват остановлен. Чтобы установить количество циклов сбора данных, нажмите клавишу TRIGGER, выберите вкладку «Control» и установите «Averagecount (N-single count) ». Нажмите кнопку еще раз, чтобы прекратить выполнение операции.

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ элементы управления

Клавиши и регуляторы в функциональном блоке VERTICAL выбирают сигнал и регулируют вертикальную шкалу и положение параметров выбранного сигнала.



CH <N>.

Включает, выбирает и настраивает канал. Ключ освещен соответствующим цветом канала, если канал активен.

Эффект нажатия клавиши зависит от состояния канала:

- Если канал выключен: нажатие клавиши включает канал и выбирает его.
- Если канал включен, но не выбран: нажатие клавиши выбирает форму сигнала канала.
- Если выбран сигнал: нажатие клавиши открывает диалоговое окно «Вертикальное» для соответствующего канала.

Вертикальные поворотные ручки настроены на выбранный сигнал, и они подсвечиваются в соответствующий цвет.

REF.

Открывает диалоговое окно «Ссылка», в котором вы можете настроить и отобразить ссылку осциллограмм. Нажмите кнопку несколько раз, чтобы переключиться на опорный сигнал, который нужно настроить.

Вертикальные поворотные ручки сосредоточены на выбранной эталонной форме волны, и они подсвечиваются цветом выбранного сигнала.

ПОЛОЖЕНИЕ / СМЕЩЕНИЕ.

Вращающаяся ручка изменяет вертикальное положение или смещение выбранного сигнала.

- Позиция указывает вертикальное расположение.
- Смещение перемещает вертикальный центр выбранного канала на значение смещения.

Регулятор загорается цветом выбранного сигнала.

МАСШТАБ.

Эта поворотная ручка настраивает вертикальную шкалу для выбранной формы волны. Световые индикаторы в цвет выбранной формы волны.

Поверните по часовой стрелке, чтобы растянуть форму сигнала. При этом значение шкалы V / div уменьшается.

ВЫХОД СИГНАЛА.

Выключает выбранный сигнал и выбирает следующий канал, обработку или опорную форму сигнала.

Сохранение скриншотов

Вы можете распечатать или сохранить скриншоты текущего экрана, чтобы документировать ваши результаты. В следующем примере печатается текущее изображение как черно-белое изображение с инвертированными цветами, то есть темный сигнал печатается на белом фоне. Затем вы сохраните скриншот в файле.

1. Откройте меню «Файл» и нажмите «Настройка печати».
2. Нажмите «Цвет» и выберите «Черно-белый».
3. Включите «Инвертированный цвет».
4. Чтобы добавить текстовый комментарий или выделить специальную область формы сигнала, нажмите «Изменить образ».

Печатное изображение открывается в приложении Paint. Отредактируйте изображение по мере необходимости, затем сохраните файл и закройте приложение Paint, чтобы вернуться в диалоговое окно «Печать».

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ ПЛАТ НАБОРА ME 1400 (ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ)

Внешний вид платы ME 1400 EMI Source Module.

На Рис.3 показан вид сверху модуля источника EMI ME1400.

Модуль состоит из шести блоков:

1. Цифровой импульсный источник 10 МГц с тремя выходами.
2. Цифровой буфер:
 - 2a – Цифровая буферизация без плоскости заземления;
 - 2b – Цифровая буферизация с плоскостью заземления;
 - 2c – Дифференциальный цифровой буфер.
3. Источник импульсов 50 МГц.
4. Цепь электродвигателя.
5. Генератор синусоидальной волны с частотой 10 МГц.
6. Встроенная оконечная нагрузка 100 Ом.

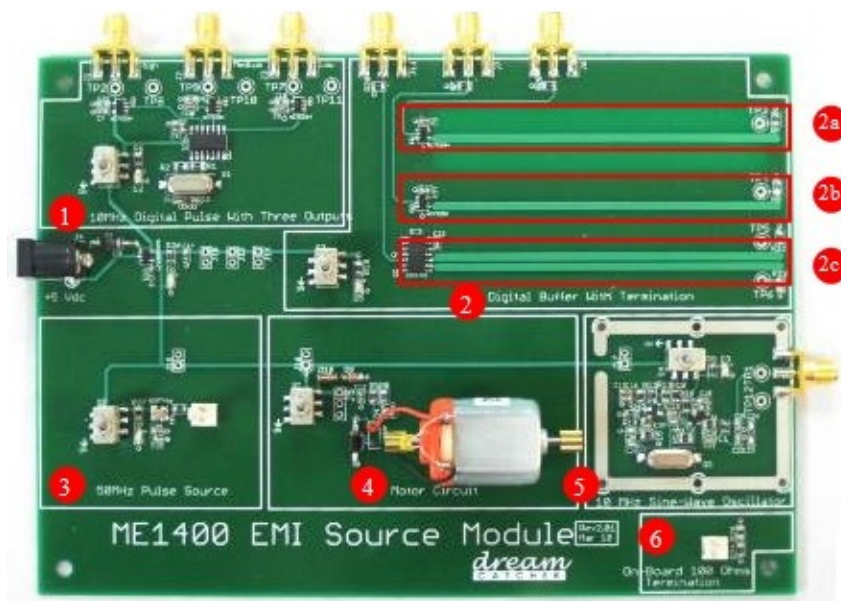


Рис. 3. Внешний вид платы ME1400-EMI Source Module

3.1. Лабораторная работа 1: Исследование зависимости уровня шумов от полосы пропускания устройства

Цели:

- 1) Изучить основные операции модуля источника EMI ME1400.
- 2) Рассмотреть цифровые выходы модуля источника электромагнитных помех ME1400 и изучить правильные методы зондирования высокочастотных сигналов.

Необходимое оборудование

- 1) Цифровой осциллограф.
- 2) Модуль источника EMI ME1400.

Необходимые аксессуары

Нагрузка 50 Ом, разъем SMA.

Порядок выполнения работы:

1. Включите источник питания ME1400 EMI с напряжением питания 5 В.
2. Включите ключ S1 для подачи питания на цифровой импульсный источник 10 МГц.
3. Подключите нагрузку 50 Ω SMA (Рис. 4) к высокоскоростному разъему SMA (J1).



Рис. 4. Нагрузка 50 Ом

4. Установите DSO с полосой пропускания 200 МГц или выше.

5. Подключите щуп 1:10 с полосой пропускания не менее 200 МГц к каналу 1 (CH1) осциллографа.

6. Подведите щуп к высокоскоростному выходу (TP1) и зафиксируйте зажим крокодила на корпус разъема SMA (как показано на Рис. 5).

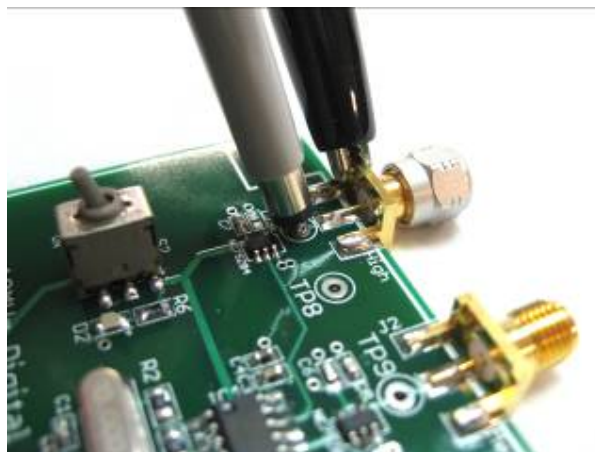


Рис. 5. Щуп с заземляющим контактом «крокодил»

7. Установите источник триггера в положение CH1.

8. Отрегулируйте временную шкалу, вертикальный масштаб, смещение и уровень триггера, чтобы получить стабильную и ясную форму сигнала на дисплее.

9. На DSO нажмите QuickMeas и выберите время нарастания и время падения, чтобы измерить время нарастания и время падения сигнала.

10. Сохраните форму сигнала и результат измерения времени нарастания и времени спада.

11. Повторите шаги 4 – 10, но на этот раз вместо крокодила используйте контакт заземления пружина на щупе (как показано на Рис. 6).



Рис. 6. Щуп с заземляющим контактом «пружина»

12. Повторите вышеописанные процедуры проверки на тестовой точке среднескоростного выхода (TP3), а затем низкочастотный выход (TP5) импульсного источника с частотой повторения импульсов 10 МГц.

13. Запишите формы сигналов и сравните эти шесть сигналов между собой.

Высокоскоростной выход цифрового импульсного источника 10 МГц

Щуп с заземлением «пружина»	Щуп с заземлением «крокодил»
Время нарастания = _____ ns Время спада = _____ ns	Время нарастания = _____ ns Время спада = _____ ns

Среднескоростной выход 10 МГц цифрового источника импульсов

Щуп с заземлением «пружина»	Щуп с заземлением «крокодил»
Время нарастания = _____ ns	Время нарастания = _____ ns
Время спада = _____ ns	Время спада = _____ ns

Низкоскоростной выход цифрового импульсного источника 10 МГц

Щуп с заземлением «пружина»	Щуп с заземлением «крокодил»
Время нарастания = _____ ns	Время нарастания = _____ ns
Время спада = _____ ns	Время спада = _____ ns

Вопросы:

1. Можете ли вы наблюдать «звон» в вашей форме сигнала? Объясните причину его появления.
2. Какая комбинация щупа и выхода создает форму сигнала с самым высоким уровнем помехи? Объясните, почему так происходит.
3. Какая методика зондирования даст формы сигнала, которые ближе к фактическому состоянию (например, формы сигнала, когда зонд отсутствует)?

3.2. Лабораторная работа 2: Перекрестные помехи

В данной работе измеряется уровень перекрестных помех между параллельными дорожками передающих линий на печатной плате. При измерениях во временной области активный участок получает энергию с помощью цифрового импульса известной амплитуды и частоты. Индуцированное напряжение на ближнем и дальнем концах смежной линии измеряется осциллографом.

Цели:

- 1) Измерение перекрестных помех во временной области.
- 2) Изучение факторов, влияющих на уровень перекрестных помех.

Необходимое оборудование:

- 1) Цифровой осциллограф.
- 2) Модуль источника ЕМІ ME1400.

Необходимые аксессуары:

- 1) Модуль линии передачи ME1400.
- 2) Нагрузка 2 x 50 Ом, разъем SMA.
- 3) Один кабель SMA (m)-to-SMA, длина 0,18 м.

Порядок выполнения работы (см. Рис. 7):

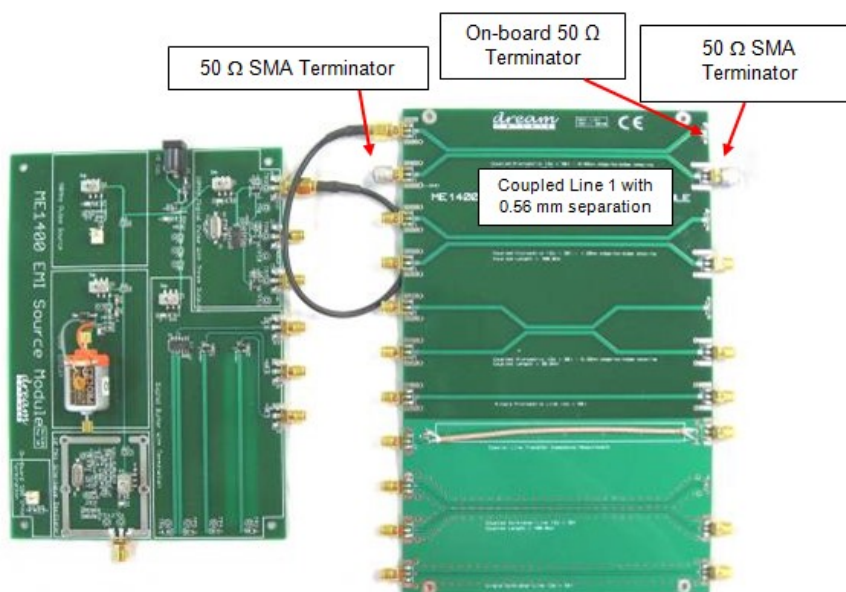


Рис. 7. Внешний вид установки

1. Настройте оборудование, как показано на Рис. 7. Подключите высокоскоростной выход цифрового импульсного источника 10 МГц к сопряженной микрополосковой линии с разнесением 0,56 мм, длиной 100 мм (сопряженная линия 1).

2. Подключите два других порта с 50 Ω SMA-нагрузками.

3. Включите цифровой импульсный источник 10 МГц.

4. Включите цифровой осциллограф (DSO). Используйте два щупа 10:1; используйте щуп 1 для зондирования входа на активной линии передачи (линия, к которой мы подключаем источник импульсов, является активной линией) и щуп 2, чтобы тестировать ближний конец пассивной линии передачи, как показано на Рис. 8.

5. Используйте заземляющий контакт пружина для заземления щупа, чтобы обеспечить оптимальную пропускную способность.



Рис. 8. Тестирование микрополосковой линии

5. Переключитесь на CH1.

6. Отрегулируйте временной, вертикальный масштаб, смещение и уровень, чтобы получить стабильный и чистый сигнал на дисплее осциллографа. Сохраните результат.

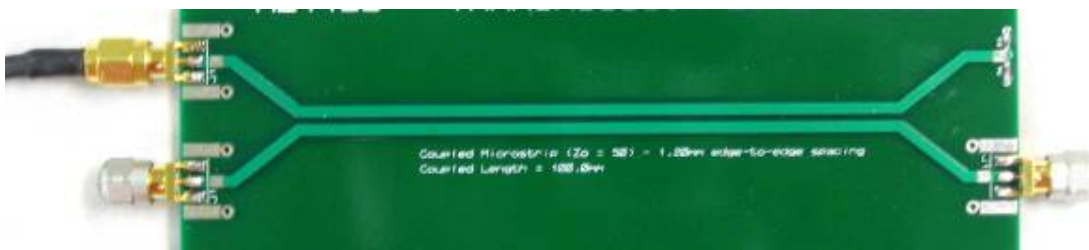
7. Повторите с щупом 2, зондирующим дальний конец пассивной линии передачи (измерение FEXT), как показано на Рис. 9.



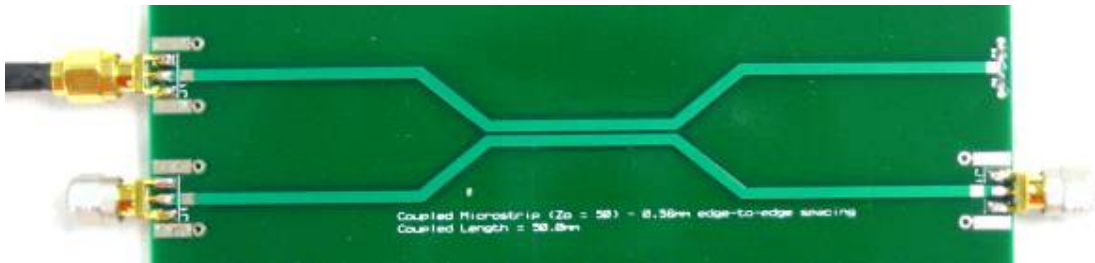
Рис. 9. Исследование напряжения для связанной линии

8. Повторите шаги с 1 по 7 для следующих связанных линий:

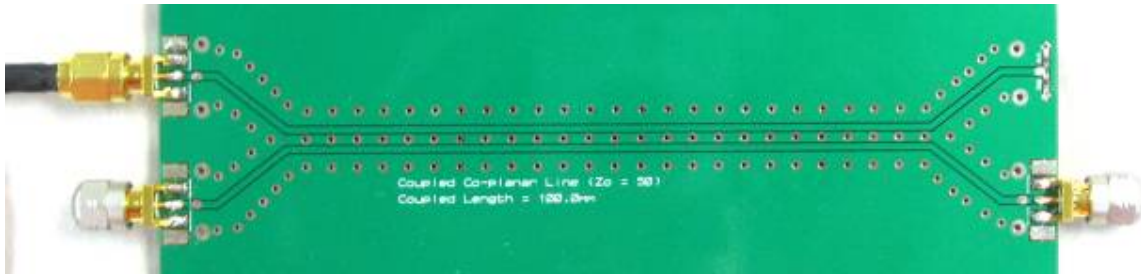
– Соединительная микрополосковая линия с расстоянием между линиями 1,2 мм, 100-миллиметровая длина соединения (сопряженная линия 2).



– Соединительная микрополосковая линия с расстоянием 0,56 мм, длиной 50 мм (сопряженная линия 3).



– Соединительная копланарная линия длиной 100 мм (сопряженная линия 4).



9. Повторите для среднескоростного и низкоскоростного выходов цифрового импульсного источника 10 МГц.

(Результаты: по 2 точки на каждую линию на каждый выход, всего 16 рисунков).

Вопросы:

1. Объяснить причину формы наблюдаемых осциллограмм перекрестных помех. Покажите, как длительность сигнала перекрестного напряжения связана с входным импульсом.

2. Какая сопряженная линия имеет самые низкие перекрестные помехи как для NEXT, так и для FEXT?

3. Какая скорость (высокая, средняя или низкая) цифрового импульса способствует наивысшему уровню перекрестных помех?

4. Обобщите физические характеристики параллельных трасс, которые минимизируют уровень перекрестных помех.

5. Объясните влияние перекрестных помех на работу электронной системы.

3.3. Лабораторная работа 3: Согласование параметров цепи передачи сигналов

Цели

- 1) Наблюдение механизмов и эффектов распространения сигнала на проводящей дорожке печатной платы (PCB).
- 2) Пронаблюдать явление отражения сигнала.

Необходимое оборудование

- 1) Осциллограф.
- 2) Векторный анализатор сети (дополнительно *).
- 3) Модуль источника ЕМІ ME1400.

Необходимые аксессуары

- 1) Модуль линии передачи ME1400.
- 2) Нагрузка 50 Ом, разъем SMA .
- 3) Адаптер 2 x N (m) -to-SMA (f).
- 4) Два коаксиальных кабеля SMA (m)-to-SMA, длина 1 м.
- 5) Разъем SMA (M) -to-SMA .

Порядок выполнения работы:

Измерение во временной области – Задержка распространения

Установка основного оборудования (Рис. 10):



Рис. 10. Базовая установка для измерения временной области

1. Подключить выход генератора импульсов 10 МГц (используйте высокоскоростной выход) к одиночной микрополосковой линии передачи на модуле линии передачи (TLM), как показано на Рис. 10.
2. Подключить нагрузку 50 Ом на другой конец линии передачи.
3. Включить генератор импульсов и цифровой осциллограф (DSO).
4. Установите острия щупов на подложке входа линии передачи как показано на Рис. 11.



Рис. 11. Измерение временной задержки распространения на DSO

5. Отрегулируйте уровень сигнала на осциллографе (DSO), пока не увидите, что осциллограммы стабилизировались.
6. Отрегулируйте вертикальные и горизонтальные ручки положения на DSO, чтобы расположить осциллограммы в центре дисплея DSO.
7. Выполнить любые другие необходимые настройки, чтобы формы сигналов были похожи на те, которые показаны на Рис.12.
8. Запишите временную задержку между двумя каналами осциллографа.

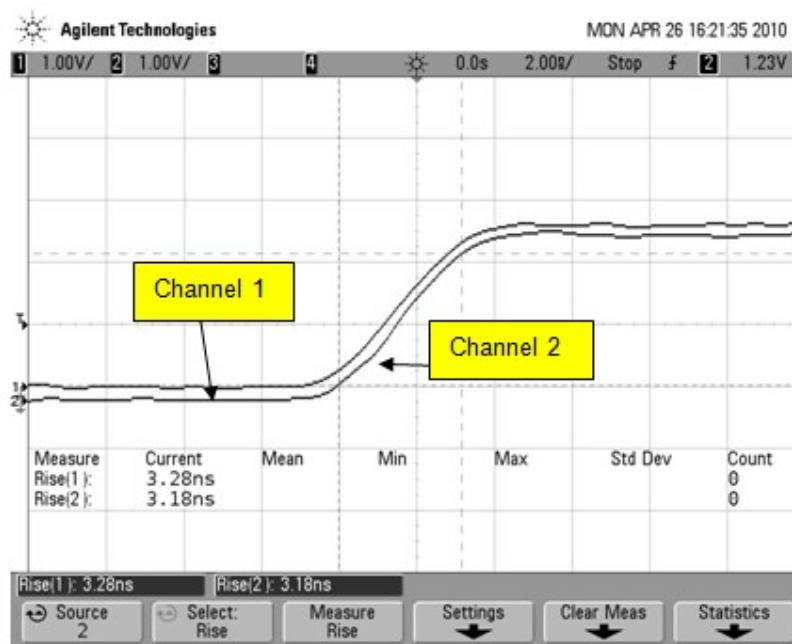


Рис. 12. Калибровка во временной области

ЗАПИСЬ ДАННЫХ

а) Какова внутренняя временная задержка между Каналом 1 и Каналом 2?

Временная задержка = _____ ps

9. Проверить напряжение на обоих концах микрополосковой линии. Обратите внимание, что на обоих концах линии передачи рядом с SMA End Launcher имеются тестовые площадки для упрощения зондирования (как показано на Рис. 13).



Рис. 13. Измерение задержки распространения в микрополосковой линии

10. Оцените сигналы импульсов на начальной и конечной точке передающей линии. Сопоставьте изображения и измерьте время роста/падения импульсов, используя осциллограф.

ЗАПИСЬ ДАННЫХ

- а) Время нарастания импульсов на входе = _____ ns
- б) Время нарастания импульсов на выходе = _____ ns
- в) Наблюдаемая задержка между входом и выходом = _____ ps

Измерение во временной области – отражение и нагрузка

Установка основного оборудования (Рис. 14):

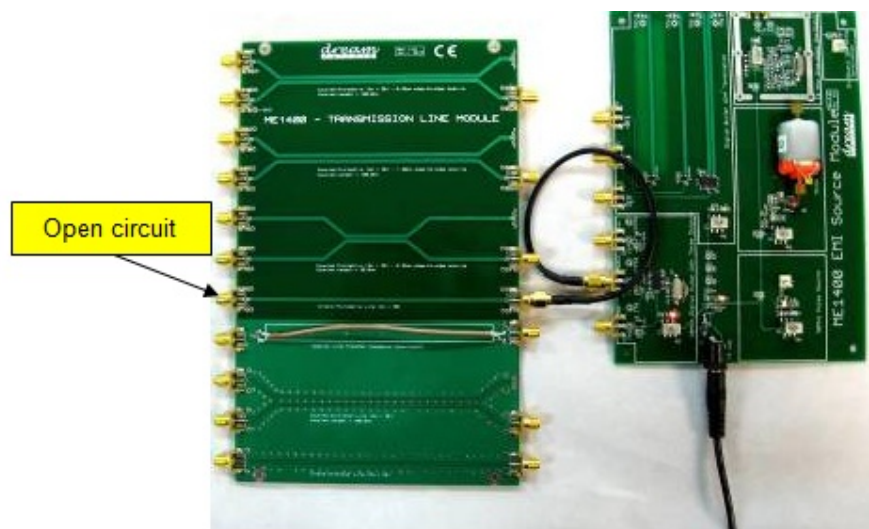


Рис. 14. Базовая установка для измерения отражения
во временной области

1. Подключить выход импульсного генератора (используйте среднескоростной выход) к одиночной микрополосковой линии передачи на модуле линии передачи (TLM). Оставить другой линии передачи свободным, как показано на Рис. 14.

2. Включить генератор импульсов и цифровой осциллограф (DSO).

3. Надеть измерительные прокладки на входной конец линии передачи с каналом 1.

4. Регулируйте уровень триггера на DSO, пока не увидите, что осциллограммы стабилизировались.

5. Отрегулируйте вертикальные и горизонтальные ручки положения на DSO, чтобы расположить осциллограммы в центре дисплея DSO.

6. Выполнить любые другие необходимые настройки шкалы и времени, и вы получите формы сигналов, похожие на фигуры на Рис. 15.

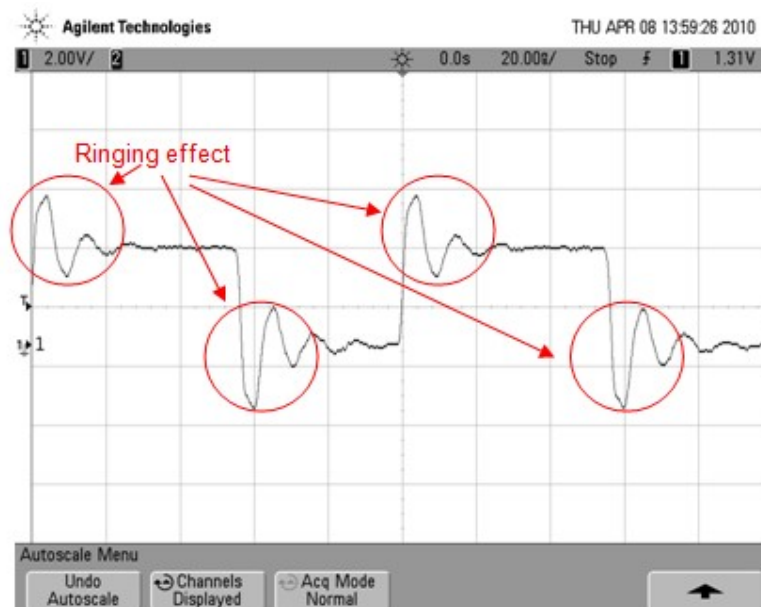


Рис. 15. Импульсная волна на линии передачи с открытым контуром

7. Подключить плату с резисторами к выходному концу одиночной микрополосковой линии. Начните с 200 Ом, затем 100 Ом и, наконец, 50 Ом (как показано на Рис. 16). Для каждого значения нагрузки обратите внимание на формы напряжения на конце линии передачи.

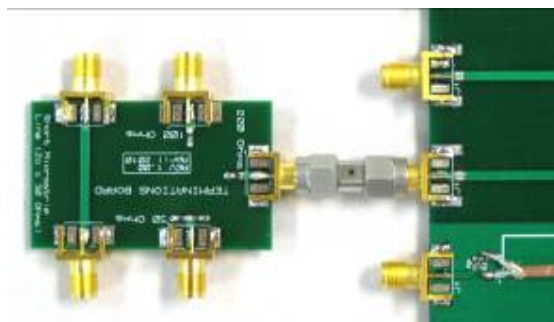


Рис. 16. Плата с сопротивлениями

8. Использовать низкоскоростной и высокоскоростной выход из цифрового импульсного генератора на модуле источника ЕМІ ME1400 для возбуждения линии передачи.

(Результаты: 12 картинок – по 4 на каждую ширину полосы).

9) Дайте развернутый ответ с объяснениями результатов проведенного эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 50397 – 2011 (МЭК 60050-161:1990). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094154> (дата обращения: 14.04.2025).
2. R&S®RTO Digital Oscilloscope Getting Started. – URL: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/r/rto_1/rto1000_1/RTO_GettingStarted_en_10.pdf (дата обращения: 14.04.2025).
3. Электромагнитная совместимость: учебное пособие / сост.: Д.М. Валиуллина, В.К. Козлов. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т – 2-е изд., доп., 2018. – 95 с.
4. Пудовкин А.П. Электромагнитная совместимость и помехозащищённость РЭС : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, Т.И. Чернышова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 92 с.