

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Радиоуправления и связи»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
по дисциплине

«Теория электромагнитной совместимости телекоммуникационных систем»
Специальность подготовки – 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и
системы связи»

Специальность (профиль) подготовки
Интеллектуальные системы и сети телекоммуникаций

Квалификация выпускника – магистр
Форма обучения – очная

Рязань 2025г.

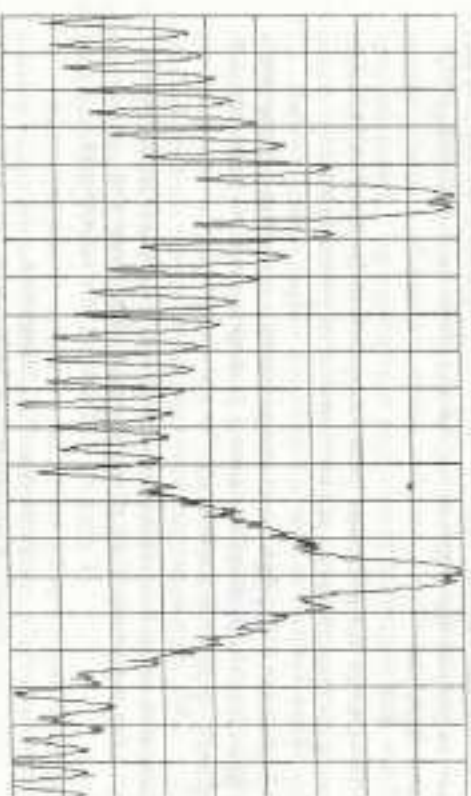
5031

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ВНЕПОЛОСНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ
РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ**

Методические указания к лабораторной работе № 1



Рязань 2016

Исследование возникновения внеполосных излучений радиопередатчиков: методические указания к лабораторной работе №1 / Рязань, гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.В. Егоров, В.А. Корнеев. – Рязань: РГТУ, 2016. – 12 с.

Изложены теоретические сведения о причинах появления внеполосных излучений в радиопередатчиках и факторах, влияющих на их интенсивность. Приведены параметры, используемые для оценки уровня нежелательных излучений, а также сведения о методах снижения внеполосных излучений. Даны указания для подготовки и выполнения лабораторной работы.

Предназначены для студентов 4-го курса направления 11.03.02 «Информационные технологии и системы связи» (профиль «Многоканальные телекоммуникационные системы», «Средства связи с подвижными объектами») и 5-го курса специальности 11.05.01 «Радиотехнические системы и комплексы радиотехнического факультета, обучающихся по курсу «Электромагнитная совместимость радиотехнических средств».

Табл. 2. Ил. 7. Рязань: 9 изд.

Экспериментальная совместимость, основное излучение, неосновное излучение, внеполосное излучение, оценка спектра, сопроводительное излучение

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра радиотехники и связи Рязанского государственного радиотехнического университета (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. С.Н. Корилкин)

Исследование возникновения внеполосных излучений радиопередатчиков
Составитель: Егоров Алексей Владимирович

Корнеев Валерий Александрович

Редактор Р.К. Мангутов

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 20.10.16. Формат бумаги 60х84 1/16.
Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,75.

Тираж 100 экз. Заказ 34236.

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГТУ.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение природы возникновения внеполосных излучений в радиопередатчиках, а также факторов, влияющих на их величину.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Любое радиоэлектронное средство (РЭС) характеризуется совокупностью параметров, определяющих качество его функционирования в заданных условиях. Эти параметры делят на две группы. К первой относят те, которые отражают основные функции, выполняемые данным средством. Эти параметры принято называть *функциональными*. Вторую группу составляют параметры, влияющие на электромагнитную совместимость (ЭМС), определяющие способность данного средства функционировать совместно с другим РЭС. Это «параметры ЭМС». Обе группы параметров радиопередатчика соответствуют требованиям и он полностью выполняет свои основные функции по передаче информации с заданным качеством. Однако он может не отвечать требованиям ЭМС из-за нестабильности частоты или нежелательных излучений, создающих помехи другим радиоприёмникам.

Радиоприёмник с требуемыми значениями функциональных параметров способен обеспечить приём сигналов с нужным качеством и отсутствие помех. При воздействии радиопомех вследствие явления блокирования, интермодуляции и других качество приёма может не соответствовать требованию.

Перечисленные параметры являются количественной мерой соответствия характеристик РЭС, влияющих на ЭМС. Эти характеристики в зависимости от класса устройств (радиопередатчик, радиоприёмник, антенна и прочее) индустриальное оборудование) объединены в группы и индексы. К группам относят характеристики, определяющие ЭМС.

• радиопередатчиков устройств — их излучения через антенны, восприимчивость к радиоэлектронным помехам, излучения, относящиеся к индустриальным помехам;

• радиоприёмных устройств — частотная избирательность, измеренная относительно номинальной и многоосцилляционной методов; восприимчивость, индустриальные радиоизлучения (например, гетеродин);

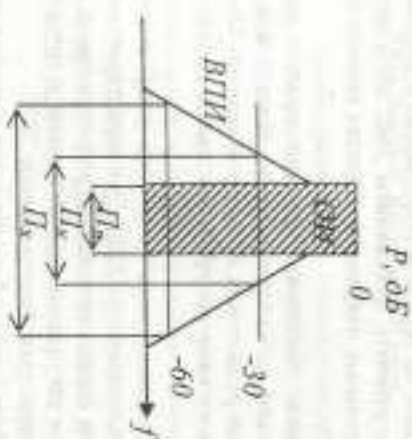
• антенных устройств;

• оборудование различного назначения — излучения, относящиеся к индустриальным радиоэлектронным помехам.

Характеристики ЭМС радиопередатчиков (ПРД) являются характеристиками их излучений и восприимчивости к помехам различного происхождения. Все перечисленные устройства РЭС практически излучают не

только в необходимой полосе, но и за её пределами. Излучения ПРД, действующие на *основные и нежелательные* (неосновные). Средств частота и полоса частот, в пределах которой данной станции разрешено излучение, называются *присвоенными*. Спектр мощности излучения ПРД на присвоенной частоте определяется видом модуляции переданного сигнала и состоит из двух компонентов — *основное и вспомогательное* излучения. Спектр основного излучения лежит в пределах необходимой полосы частот P_n . Это интересная часть, минимально необходимая для передачи сообщений с требуемой скоростью и качеством. Величина P_n определяется видом сообщения и модуляцией, скоростью передачи сигнала, длительностью импульсов, крутизной их фронтов, установками пропускания радиополосы и т.д.

К неэквивалентным полученным относит *гетероактивные, пассивные и жаромые* излучения. Внутренние излучения занимают полосу частот, непосредственно прилегающую к $H_{\text{вн}}$ и практически существуют у всех ПДП как следствие модуляции. Поэтому реальная полоса излучаемых час-



Princ. 1

маши аппаратура В4 несут
ко колебания. Кроме того, ПРД могут создавать *интермодульные* радио-
помехи.

Внеполосное излучение. Внеполосное излучение связано с процессом модуляции сигнала. Обусловлено оно:

- использованием сигналов с большой шириной спектра, чем это необходимо для выполнения стандартной своей основной функции;
- нелинейностью АХ и ФЧХ тракта;
- применением модулирующих сигналов низкого большого уровня;
- ограничением амплитуды, квантованием и др.

В результате в спектре излучаемых радиосигналов появляются составляющие, лежащие вне полосы $H_{\text{н}}$. Эти излучения неоправданно расширяют занимаемую полосу частот и могут создавать помехи стигмичным, работающим на соседних каналах.

Отметим, что спектр внеплемновых излучений представляет собой убывающую функцию от величины расстройки от собственной частоты Π_0 . Поэтому одной из характеристик ЭМС ПВД является полосу частот Π , на которой отсчета — Х дБ. Значение Π , определяется как полоса частот, в пределах которой сосредоточено 99 % излучаемой мощности. При $\Pi_0 = \Pi$, то есть, что излучение *совершенное*. Большинство ПВД имеет широкоспектрное излучение, когда $\Pi_0 > \Pi$.

Значение P_s сильно зависит от формы модулируемого сигнала и вида модуляции. Для сигналов почти всех классов помех P_s не должна превышать $P_{\text{б}}$ больше чем на 20 %. Для определения скорости убывания интенсивности интенокского излучения используется полоса частот P_s на уровне $X = -60$ дБ относительно основного излучения. При уровне частотного разнесения РЭС используется контрольная полоса частот P_s на уровне $X = -30$ дБ. Эти полосы резистентированы.

До FOST 23611-79 под широкополосным излучением понимается излучение в полном диапазоне частот, простирающемся к необходимой полосе частот, являющейся результатом модуляции сигнала. Это излучение является неслепящим, поэтому целесообразно создавать такие сигналы или способы модуляции, которые снижали бы его уровень. В то же время сформировать излучение, полностью свободное от внешних составляющих, невозможно.

Для увеличения интенсивности световых колебаний необходимо получить максимально большую скорость спадания отключенной спектра при увеличении расстройки по частоте за пределами необходимой полосы. Большинство сигналов в радиосвязи и телевидении имеют несущую частоту, значительно превышающую максимальную частоту модуляции. Поэтому, значительная часть спектра достаточно оценить лишь спектр его колебаний спектра такого сигнала достаточно оценить лишь спектр его колебаний спектра функции. Для идеального прямоугольного импульса длительностью τ с несущей частотой ω_0 спектр совпадает со спектром видеосигнала, но сдвинут по частоте на величину ω_0 . Он описывается выражением

$$S(\omega - \omega_0) = E\tau \frac{\sin\left(\frac{\omega - \omega_0}{2}\tau\right)}{\frac{\omega - \omega_0}{2}\tau} \quad (1)$$

Заменив в выражении разность частот на Ω , т.е. перейдя к элементу спектра относительно несущей, выражение для спектра можно записать более компактно:

$$S(\Omega) = E\tau \frac{\sin\left(\frac{\Omega}{2}\tau\right)}{\frac{\Omega}{2}} \quad (2)$$

Для решения задачи, связанных с ЭМС, интересен не сам спектр, а его огибающая. Она определяется по выражению (2) заменой функции $\sin(\Omega\tau/2)$ ее максимальным значением, равным 1. Тогда

$$G(\Omega) = 2 \frac{\tau}{\Omega} = \frac{K}{\Omega}, \quad (3)$$

где K — константа. Спектр и его огибающая как функции от расстояния изображены на рис. 2.

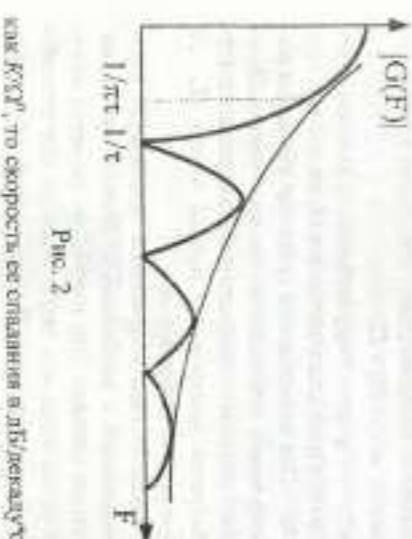


Рис. 2

Оценим скорость спадания огибающей спектра. Ее принято характеризовать в дБ/декаду или в дБ/октаву. Если отбросить спектр спадает

$$\gamma(\Omega) = 20 \lg \frac{G(\Omega)}{G(10\Omega)} = 20 \text{ дБ} \quad (4)$$

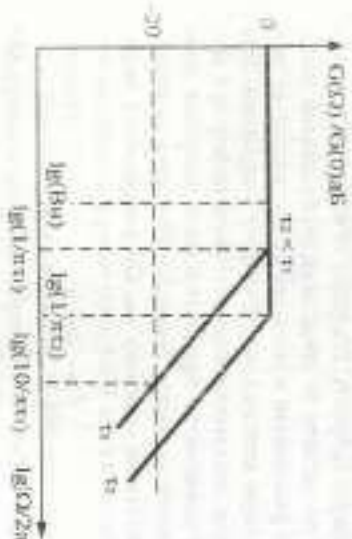


Рис. 3

При графическом изображении огибающей спектра по обеим осям обычно используется логарифмический масштаб. В случае идеальных прямоугольных импульсов огибающая спектра для двух значений длительности τ_1 и τ_2 будет иметь вид, показанный на рис. 3. Точка перегиба огибающей спектра ($F = 1/\tau$) соответствует точке, где отбрасывается спектр, выно-

сая по выражению (3), касается первого лепестка спектра, определяемого выражением (2) (в не точен, соответствующей первой нулю в спектре импульса).

Реальный импульс в отличие от прямоугольного имеет конечную длительность переднего и заднего фронтов τ_{p1} , τ_{p2} и приближенно изображается трапецией (рис. 4). Огибающая спектра которой приведена на рис. 5.

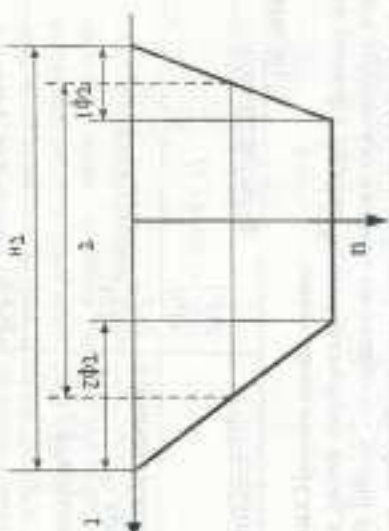


Рис. 4

$$F_2 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_{p1}} + \frac{1}{\tau_{p2}} \right)$$

Начиная с частоты скорость спадания отбрасываемой спектра увеличивается по сравнению со скоростью спадания отбрасываемой спектра прямоугольного импульса до величины 40 дБ/декада.

В общем случае скорость спадания отбрасываемой спектра зависит от непрерывности самого сигнала и его производных. Доказана теорема, гласящая, что если сигнал $f(t)$ и его производные $f'(t) \dots f^{(m-1)}(t)$ непрерывны, а $f^{(m)}(t)$ конечна, то при $\Omega \rightarrow \infty$ отбрасываемая спектра $G(\Omega)$ убывает не медленнее, чем $\bar{G}(\Omega)$, где $\bar{G}(\Omega) = A/\Omega^{m+1}$, или $\gamma(\Omega) = 20(m+1)$ дБ/декада.

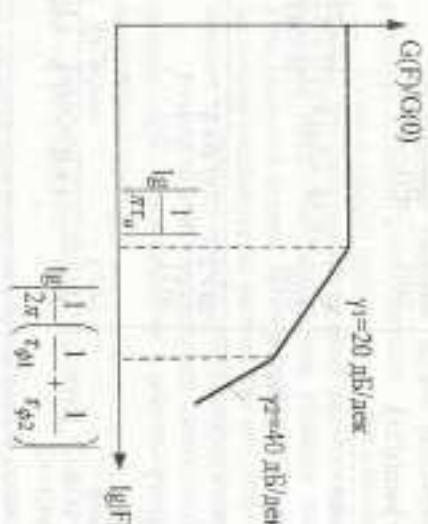


Рис. 5

Эта теорема дает путь к построению сигналов, имеющих быстрое спадание амплитудных колебаний: чем более закручен сигнал и vice его производные, тем быстрее спадает огибающая спектра в зависимости от частоты. Наибольшее резкое спад амплитудных колебаний может быть обеспечен кусочнолинейным импульсом,

все производные которого также относятся гауссовой кривой, т.е. не превышают и значения. Однако идеальный гауссов импульс имеет бесконечную длительность, т.е. на практике не реализуется. В качестве практических приближений к такому сигналу рассматриваются модулированные импульсы с убывающей экспонентой $\cos(\pi f \tau)$, $\cos^2(\pi f \tau)$ и т.д. на усеченный по времени гауссов импульс (с отсечением).

В табл. 1 приведены выражения для спектров некоторых модулированных импульсов, а на рис. 6 изображены графики амплитудных спектров четырех различных типов импульсов равной энергии и равной длительности по половинному уровню напряжения.

Таблица 1

№п/п	Формула импульса	Формула спектра
1	Прямоугольный $f(t) = \text{rect}(t/\tau)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \text{sinc}(f\tau)$
2	Симметричный триангуляционный с длительностью фронта τ_0 $f(t) = \frac{1}{\tau_0} \text{rect}(t/\tau) \cdot \text{tri}(t/\tau_0)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \text{sinc}(f\tau) \cdot \text{sinc}(f\tau_0)$
3	Гауссов импульс $f(t) = \exp(-4t^2/\tau^2)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \exp(-\pi^2 f^2 \tau^2/4)$
4	Косинусный импульс (Тьюки) $f(t) = \frac{1}{2}(1 - \cos \pi t/\tau) \text{rect}(t/2\tau)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \frac{\text{sinc}(2f\tau)}{2\pi f^2(1 - 4f^2\tau^2)}$
5	Косинус - квадратный (Хемминга) $f(t) = (0.54 + 0.46 \cos^2 \pi t/\tau) \text{rect}(t/\tau)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = 0.48 \cdot \text{sinc}(f\tau) \cdot \left(\frac{f\tau/2}{2} \right)^2 - 1.69 \left(\frac{f\tau/2}{2} \right)^2 - 0.25$
6	Импульс Барнета $f(t) = \left(1 - \frac{2 t }{\tau}\right) \text{rect}(t/\tau)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \text{sinc}^2\left(\frac{f\tau}{2}\right)$
7	Косинус - кубический $f(t) = \cos^3\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right) \text{rect}(t/\tau)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \frac{\cos(\pi f \tau)}{1 - 17.8(f\tau/2)^2 [1 - 1.6(f\tau/2)^2]}$

Как следует из рис. 6, уровни внеполосных излучений для разных импульсов очень сильно различаются, наибольшая скорость спадающая от боковой спектра обеспечивается при гауссовом импульсе, а простейший прямоугольный импульс обладает самым широким спектром из всех возможных.

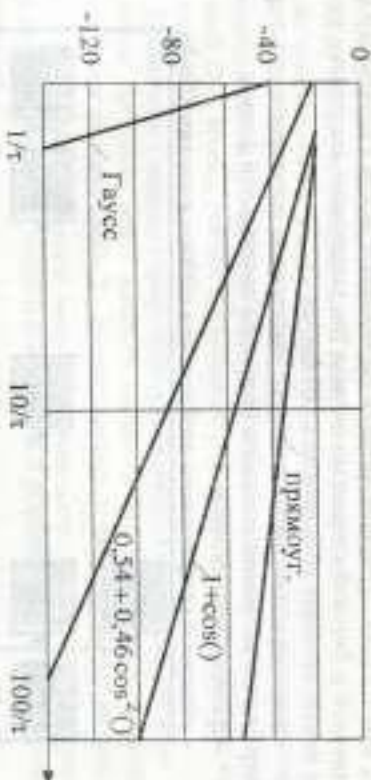


Рис. 6

Создание импульсов специальной формы для снижения внеполосных колебаний — сложная техническая задача. Практический смысл имеет сравнение внеполосных колебаний лишь до определенного предела. Если речь идет о составляющих спектра сигнала -50 дБ и менее, то большее значение, чем форма сигнала, начинают иметь эффекты не учитываемые упрощенной моделью сигнала и вызванные способом модуляции несущей частоты.

На практике решение задачи снижения внеполосного излучения решается одним из двух способов.

Первый способ предполагает применение формирующих фильтров. Причем эти фильтры могут быть реализованы в виде ФНЧ, с характеристиками, обеспечивающими при входном импульсном воздействии отклик заданной формы. Либо реализуются полосовые фильтры на промежуточной (поднесущей) частоте для модулированного сигнала, обеспечивающие требуемую форму выходного сигнала.

Второй способ предполагает синтез модулирующих импульсов заданной формы и выполняется с использованием цифровых методов формирования сигнала.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Программная модель выполнена в среде SystemView. Для загрузки схем для исследования необходимо загрузить SysView_32.exe и вызвать файл ViewProc.svc. Данный файл представляет собой модель, позволяющую исследовать спектральные характеристики последовательности модулированных импульсов различной формы.

Схема, изображенная на рис. 7, состоит:

- установка случайной битовой последовательности с заданной амплитудой и битовой скоростью сигнала (по умолчанию логическое уровни имеют значения ± 0.5 , скорость 100 бит/с);
- формирующих низкочастотных фильтров с регулируемым параметром, позволяющих создавать импульсы специальной формы;
- элементов графического отображения сигнала и анализа (Sink).

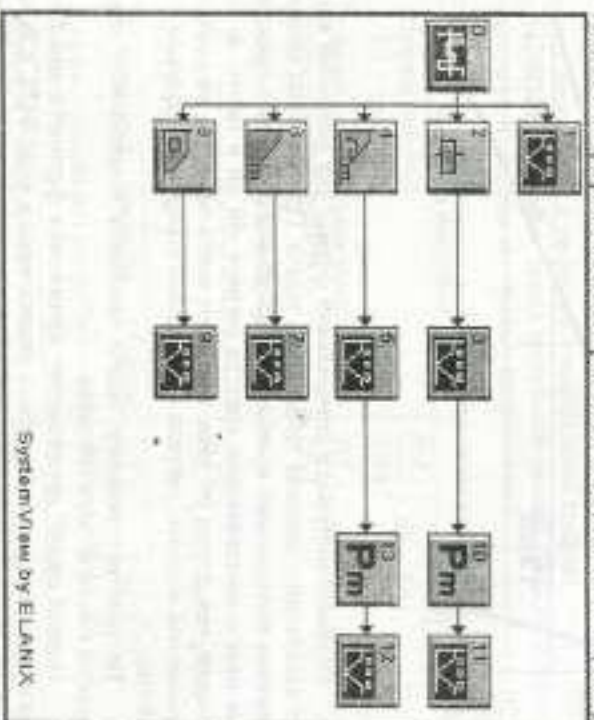


Рис. 7

Для изменения параметров устройства необходимо выполнить, двойной щелчок левой клавишей мыши на выбранном блоке и, выбрав раздел **Parameters**, установить желаемые величины.

1. Запустить систему моделирования **SystemView** и вызвать файл **Устройство.svl**.

1.1. Установить параметры анализа, для чего:

- нажать на кнопку системного времени (**System Time**) на панели инструментов;
- в поле **Start Time** установить начальное время анализа 0 с;
- в поле **Stop Time** установить время анализа 2 с;
- в поле **No. of Sample** установить количество отсчетов, равное 8192;
- в поле **No. of System Loops** установить количество запусков системы (количество сечений усреднения); равное 1;
- в поле **Start/ Stop Time** выбрать **Lock** и нажать **OK**.

1.2. Установить, в соответствии с заданием параметры источника случайной битовой последовательности (**Sink 0**), для чего:

- дважды щелкнуть левой клавишей мыши на значке **Sink 0**;
- нажать кнопку **Parameters** вызвать окно установок параметров;
- установить значение амплитуды (**Amplitude**, Δv), равное 0.5; скорость передачи данных (**Rate**, **Hz**), равную 100 бит/с, количество уровней сигнала (**No. levels**), равное 2, смещение постоянного уровня (**Offset**, v), равное 0, и нажать кнопку **OK**.

1.3. Установить значения параметров формирующих фильтров, для чего:

- дважды щелкнуть левой клавишей мыши на значке, соответствующем выбранному фильтру (**Sink 2** – формирователь транзисторных импульсов, **Sink 4** – формирователь импульсов вида $\sqrt{\cos}$, **Sink 6** – формирователь косинусоидальных импульсов, **Sink 8** – формирователь гауссовских импульсов);
- нажать кнопку **Parameters** вызвать окно установок параметров.

1.3.1. Для формирования транзисторных импульсов:

- в поле **Design** нажать кнопку **Comp**;
- в окне **Communications Filters Library** нажать кнопку **Root Raised Cosine** и кнопку **Design**;
- в поле **Symbol Rate R (Hz)** установить битовую скорость, равную 100, и нажать кнопку **Finish**;

1.3.2. Для формирования импульсов вида $\sqrt{\cos}$:

- в поле **Design** нажать кнопку **Comp**;
- в окне **Communications Filters Library** нажать кнопку **Root Raised Cosine** и кнопку **Design**;
- в поле **Symbol Rate R (Hz)** установить битовую скорость, равную 100, и нажать кнопку **Finish**;
- в поле **Design** нажать кнопку **Comp**;
- в окне **Communications Filters Library** нажать кнопку **Raised Cosine** и кнопку **Design**;
- в поле **Symbol Rate R (Hz)** установить битовую скорость, равную 100, и нажать кнопку **Finish**;

1.3.4. Для формирования гауссовских импульсов:

- в поле **Design** нажать кнопку **Comp**;
- в окне **Communications Filters Library** нажать кнопку **Gaussian** и нажать кнопку **Design**;
- в поле **Bandwidth (Hz)** установить полосу частот, равную 50, и нажать кнопку **Finish**;

Примечание: для любого из фильтров в окне **SystemView Linear System** можно просмотреть импульсную характеристику фильтра и его АЧХ.

2. Запустить моделирующую систему, нажав кнопку **▶ (RUN SYSTEM)** панели инструментов.

2.1. Записать оциллограммы на выходах фотодиодов. Номер каждой оциллограммы (например, Sink 1) соответствует номеру блока отбрасывающего датчик (например, 1).

2.2. Записать и исследовать спектры модулирующих сигналов на выходах соответствующих блоков, для чего:

- войти в меню View и выбрать функцию Analysis Window.

2.2.1. Подвести указатель мыши к окну W0, соответствующему отображению сигнала на выходе источника модуляции (последовательности) (контрольный прибор Sink1), правой кнопкой мыши вызвать контекстное меню.

- выбрать опцию Sink Calculator, а в ней нажать кнопку спектрального анализа (SPECTRUM), выбрать функцию Power Spectrum dBm in 1 Ohm, нажать OK и получить в отдельном окне изображение выборочного спектра мощности сигнала, отображенное как Power spectrum of Sink 1.

- выбрать опцию Sink Calculator, нажать кнопку Operators, затем Moving Averages, установить в поле Samples (ширина интервала сглаженного окна) величину 50, в окне Select One Window выбрать соответствующий спектр, в данном случае Power spectrum of Sink 1, нажать кнопку Apply. Записать полученный сглаженный спектр, выданный дисплеем отбрасывающей спектра мощности.

2.2.2. Выполнить п. 2.2.1 для всех остальных сигналов (окна W1-W9) и получить выборочные и сглаженные спектры мощности модулирующих импульсов различной формы.

Примечание. Здесь и в дальнейшем для каждого из записанных сигналов, спектров и характеристик необходимо приводить параметры модели, при которых они были получены.

2.3. Исследовать эффективность применения сглаживания импульсов для снижения степени внеполосного излучения, для чего:

- рассчитать оценку скорости спада отбрасывающей спектра мощности для каждого из сигналов;

- оценить полосу частот H_z на уровне $K = -40$ дБ относительно основного излучения;

- оценить контрольную полосу частот H_z на уровне $K = -30$ дБ, используя при оценке частотного разнесения РЭС;

- сопоставить результаты, полученные с помощью моделирования, с теоретическими.

3. Провести исследование зависимости уровня внеполосных излучений и контрольной полосы частот от параметров формирующих фильтров и скорости входящего сигнала. Для этого выполнить следующее.

3.1. Выбрать в соответствии с табл. 2 исследуемые сигналы.

Таблица 2

№ сигнала	Виды сигналов	Скорость передачи (Rate)	Параметры фильтра
1	прямоугольный, трапециевидный	$10 \div 100$ Hz	Time Window $10^2 \div 2 \cdot 10^3$ sec
2	прямой, обратный, $\sqrt{\text{cos}}$	$10 \div 100$ Hz	Roll-off factor 0-1
3	прямоугольный, $\cos$	$10 \div 100$ Hz	Roll-off factor 0-1
4	прямоугольный, гауссовский	$10 \div 100$ Hz	Bandwidth $10 \div 100$ Hz

3.2. Изменяя параметр Rate источника сигнала в пределах, указанных в табл. 2, оценить контрольную полосу частот H_z на уровне $K = -30$ дБ по сглаженному спектру мощности для указанных видов сигналов. Построить зависимость контрольной полосы частот от скорости передачи.

3.3. Изменяя параметр формирующего фильтра в пределах, указанных в табл. 2, оценить контрольную полосу частот H_z на уровне $K = -30$ дБ по сглаженному спектру мощности для сигнала специальной формы. Построить зависимость контрольной полосы частот от параметра фильтра для фиксированной скорости передачи.

Примечание. При каждом изменении в схеме или в ее параметрах необходимо запускать ► (RUN SYSTEM). А для пересчета данных и графиков в окне Analysis следует нажать кнопку Load New Sink Data или комбинацию клавиш Ctrl+N.

4. Исследовать свойства радиосигнала, модулированного импульсами различной формы.

4.1. Подключить фазовый модулятор F_m к источнику модулирующего сигнала (источнику импульсной последовательности, выходу формирующего фильтра), а к выходу модулятора подключить контрольные устройства (Sink).

Установить параметры модуляторов: частота несущей 1000 Hz, Mod Gain 20V (коэффициент модуляции) 0,5.

4.2. Запустить систему, нажав кнопку ► (RUN SYSTEM) панели инструментов.

Войти в меню View и выбрать функцию Analysis Window. В окне анализа для сигналов на выходах модуляторов построить спектры аналогично п. 2.2.1 и записать их.

4.3. Оценить контрольные полосы частот H_z на уровне $K = -30$ дБ по сглаженному спектру мощности. Сравнить с результатами, полученными в п. 2.3.

5. Построить зависимость, объяснить результаты, сделать выводы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое внешнее излучение, какова природа его возникновения?
2. Какие типы нежелательных излучений вы знаете?
3. Что такое совершенное излучение?
4. Как связаны форма модулирующего сигнала и скорость спадания отбоя спектра?
5. Что влияет на ширину спектра радиосигнала?
6. Какие вы знаете меры, обеспечивающие снижение уровня внешнего излучения?
7. Какие вы знаете контрольные уровни и полосы частот и для чего они используются?
8. Что такое зажимная полоса частот и как она оценивается?
9. Какие существуют формы модулирующих сигналов и как они соотносятся с точкой зрения скорости спадания отбоя спектра мощности?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: учеб. пособие / под. ред. д-т.н., проф. М.А. Быковского. - М.: Эко-Трендз, 2006. - 376 с.
2. Основы управления использованием радиочастотного спектра. Том 2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем / под. ред. д-т.н., проф. М.А. Быковского. - М.: КРАСАНД, 2012. - 552 с.
3. Буга Н.Н. и др. Электромагнитная совместимость РЭС. - М.: Радио и связь, 1993.
4. Киселёв А.Д. Элементы теории и практики ЭМС РЭС. - М.: Радио и связь, 1984.
5. Михайлов А.С. Измерение параметров ЭМС РЭС. - М.: Связь, 1980.
6. Мешинкин В.М. Характеристики ЭМС радиопередающих устройств: учеб. пособие. - М.: МИИЭА, 1992.
7. ГОСТ 23611-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
8. ГОСТ 23872-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Номенклатура параметров и классификация технических характеристик.
9. ГОСТ 30318-95/ГОСТ Р 50016-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внешнему излучению радиопередатчиков. Методы измерений и контроля.