

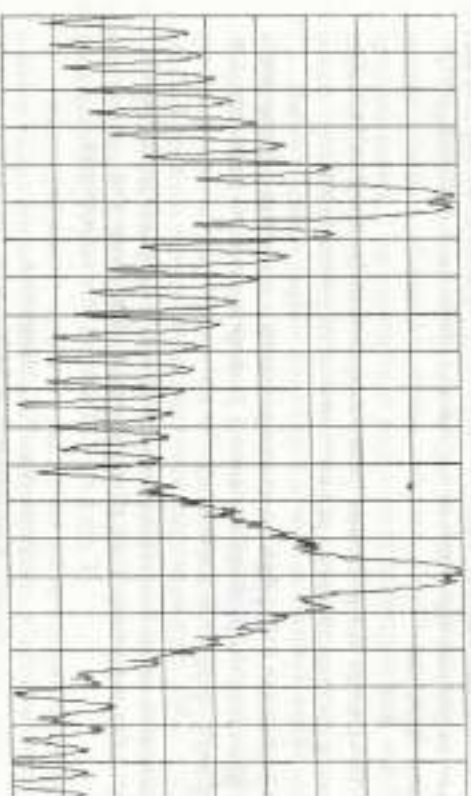
5031

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 / Разин, гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.В. Егоров, В.А. Корнелис. – 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. Библиогр.: 9 назв.

Электромагнитная совместимость, основное излучение, неосновное излучение, внеполосное излучение, оценка спектра, спектральное излучение

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

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

Исследование возникновения внеполосных излучений радиопередатчиков
Составители: Егоров Алексей Владимирович
Корнелис Валерий Александрович

Редактор Р.К. Манутов
Корректор С.В. Махушина
Подписано в печать 20.10.16. Формат бумаги 60х84 1/16.
Бумага печатная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,75.

Тираж 100 экз. Заказ 34236.

Раздаточный 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 параметры, 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, создавая 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 требуемому.

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

• радиопередатчиков устройств – их излучения через антенны, восприимчивость к радиопомехам, излучения, относящиеся к индивидуальным помехам;

• радиоприёмных устройств – частотная избирательность, измеренная относительными и абсолютными методами; восприимчивость; индивидуальные радиопомехи (например, гетеродин);

• антенных устройств;

• оборудования различного назначения – излучения, относящиеся к индивидуальным радиопомехам.

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

только в необходимой полосе, но и за её пределами. Излучения ПРД делится на *основные* и *нежелательные* (неиспользуемые). Средней частота и полоса частот, в пределах которой данной станцией разрешено излучение, называются *предельными*. Спектр мощности излучения ПРД на присвоенной частоте определяется видом модуляции полезного сигнала и состоит из двух компонентов — *основного* и *вспомогательного* излучения. Спектр нового излучения лежит в пределах необходимой полосы частот H_0 . Это интервал частот, минимально необходимый для передачи сообщений с требуемыми скоростью и качеством. Величина H_0 определяется видом сообщения и модуляции, скоростью передачи сигнала, длительностью импульсов, крутизной их фронтов, условиями прохождения радиоволн и т.д.

К нежелательным излучениям относят *вспомогательные, побочные и шумовые* излучения. Вспомогательное излучение занимает полосу частот, непосредственно прилегающую к H_0 , и практически существует у всех ПРД как следствие модуляции. Поэтому реальная полоса излучаемых че-

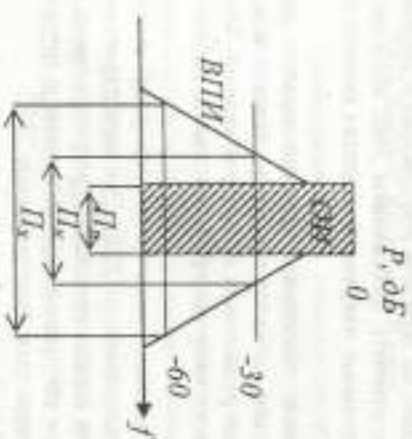


Рис. 1

тот сигналов всегда больше H_0 , что изображено на рис. 1. Составляющие спектра: *побочных излучений* лежат вне полосы, занимаемой основными и *вспомогательным* излучением. Появление их связано с нелинейными процессами в тракте ПРД, кроме процесса модуляции несущего колебания полезным сигналом. Их удаление не сказывается на качестве формируемых радио-сигналов, но улучшает ЭМС.

Шумовые излучения возникают в результате паразитной модуляции внутренних шумов аппаратуры ВЧ несущей.

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

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

В результате в спектре излучаемых радиосигналов появляются составляющие, лежащие вне полосы H_0 . Эти излучения неоправданно расширяют занимаемую полосу частот и могут создавать помехи станциям, работающим на соседних каналах.

Отбрасывая спектр вспомогательных излучений представляет собой убывающую функцию от величины расстройке от присвоенной частоты. Поэтому одной из характеристик ЭМС ПРД является полоса частот H_0 на уровне отсчёта $-X$ дБ. Значение H_0 определяется как полоса частот, в пределах которой сосредоточено 99 % излучаемой мощности. При $H_0 = H_0$ говорят, что излучение *совершено*. Большинство ПРД имеет широкоспектрное *несовершенное* излучение, когда $H_0 > H_0$.

Значение H_0 сильно зависит от формы модулирующего сигнала и вида модуляции. Для сигналов почти всех классов полоса H_0 не должна превышать H_0 более чем на 20 %. Для определения скорости убывания интенсивности вспомогательного излучения используется полоса частот H_0 на уровне $X = -60$ дБ относительно основного излучения. При оценке частотного разнесения РЭС используется контрольная полоса частот H_0 на уровне $X = -30$ дБ. Эти полосы регламентированы.

По ГОСТ 23611-79 под *вспомогательным излучением* понимается излучение в полосе частот, примыкающей к необходимой полосе частот, являющееся результатом модуляции сигнала. Это излучение является нежелательным, поэтому целесообразно создавать такие сигналы или способы модуляции, которые снижали бы его уровень. В то же время сформировать излучение, полностью свободное от вспомогательных составляющих, невозможно.

Для уменьшения интенсивности вспомогательных колебаний необходимо получить максимально большую скорость спада отбрасываемой спектра при увеличении расстройки по частоте за пределами необходимой полосы. Большинство сигналов в радиосвязи и локациях имеют несущую частоту, значительно превышающую максимальную частоту модуляции. Для оценки спектра такого сигнала достаточно оценить лишь спектр его модулирующей функции. Для идеального прямоугольного импульса длительностью τ с несущей частотой ω_0 спектр совпадает со спектром вспомогательного, но сдвинут по частоте на величину ω_0 . Он описывается выражением

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

Замена в выражении разность частот на Ω , т.е. переход к значению расстройки относительно несущей, выражение для спектра можно записать более компактно:

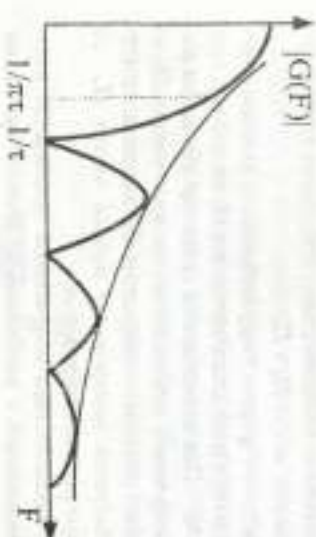
$$S(\Omega) = E\tau \frac{\sin\left(\frac{\Omega}{2}\tau\right)}{\frac{\Omega}{2}} \quad (2)$$

Для решения задачи, связанных с ЭМС, интересен не сам спектр, а его огибающая. Она определяется из выражения (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 частоты изображены на рис. 2.

Рис. 2



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

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

или K/Ω^α , то скорость ее спадания в дБ/декаду определяется выражением

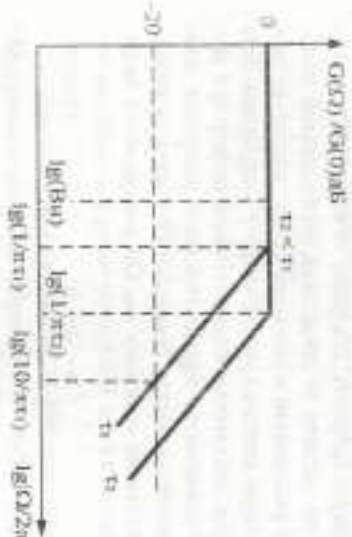


Рис. 3

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 огибающая спектра, вычис-

ленная по выражению (3), касается первого локуса спектра, определенного выражением (2) (в не точкой, соответствующей первому нулю в спектре импульса).

Реальный импульс в отличие от прямоугольного имеет конечную длительность, переднего и заднего фронтов $\tau_{\phi 1}$, $\tau_{\phi 2}$ и приближенно аппроксимируется трапецией (рис. 4). Огибающая спектра которой приведена на рис. 5.

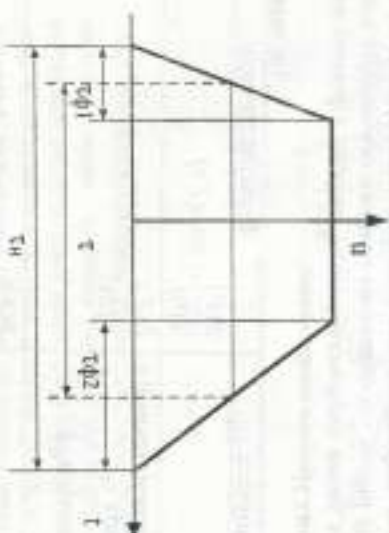


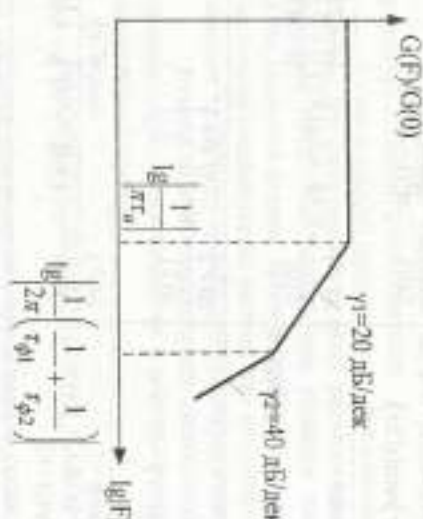
Рис. 4

$$F_2 = \frac{1}{2\tau} \left(\frac{1}{\tau_{\phi 1}} + \frac{1}{\tau_{\phi 2}} \right)$$

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

В общем случае скорость спадания огибающей 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 $\Omega \rightarrow \infty$ огибающая спектра $G(\Omega)$ убывает не медленнее, чем $\tilde{G}(\Omega)$, где $\tilde{G}(\Omega) = A/\Omega^{m+1}$, или $\gamma(\Omega) = 20(m+1)$ дБ/декада.

Рис. 5



Эта теорема дает путь к построению сигналов, имеющих быстрое спадание амплитудных колебаний: чем более закручены сигналы и vice его производные, тем быстрее спадает огибающая спектра в зависимости от частоты. Наибольший резкий спад амплитудных колебаний может быть обеспечен гауссовым модулирующим импульсом,

все произвольные которого также отображаются гауссовой кривой, т.е. не-препятствую и конструи. 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 амплитудой $\cos(\pi f \tau)$, $\cos^2(\pi f \tau)$ и т.д. или усеченный по времени гауссов импульс (с отбрасыванием).

В табл. 1 приведены выражения для спектров некоторых модулированных импульсов, а на рис. 6 изображены графики отбрасываемых 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 трапецеидальный с длительностью фронта τ_0 $f(t) = \frac{1}{\tau_0} \text{rect}(t/\tau) \cdot \text{rect}(t/\tau_0)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \text{sinc}(f\tau) \cdot \text{sinc}(f\tau_0)$
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) $f(t) = (0.54 + 0.46 \cos^2 \pi t/\tau) \text{rect}(t/\tau)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = 0.48 \cdot \text{sinc}(f\tau) \cdot \left(\frac{f\tau/2}{2} \right)^2 - 1.69 \cdot \left(\frac{f\tau/2}{2} \right)^2 - 0.25$
6	Импульс Бартлетта $f(t) = \left(1 - \frac{2 t }{\tau}\right) \text{rect}(t/\tau)$	$\frac{S(f)}{S(0)} = \text{sinc}^2\left(\frac{f\tau}{2}\right)$
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 спада отбрасываемых спектров обеспечивается при гауссовом импульсе, а простейший прямоугольный импульс обладает самым широким спектром из всех возможных.

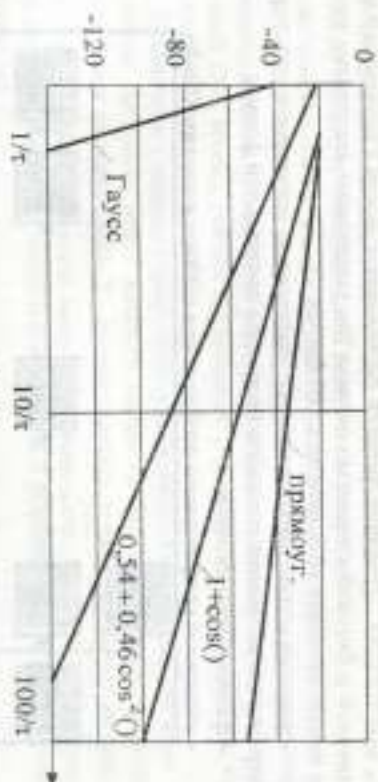


Рис. 6

Создание импульсов специальной формы для снижения внеполосных колебаний — сложная техническая задача. Практический смысл имеет синтезирование 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 схемы для исследования необходимо запустить SysVu_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:

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

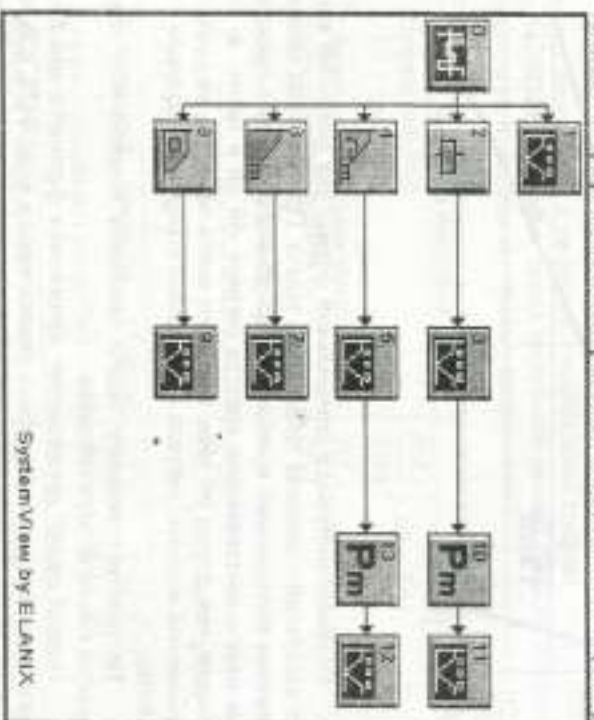


Рис. 7

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 **Verobus.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 установки параметров;
- установить значение амплитуды (**Amplitude**, $\pm v$), равное 0.5, скорость передачи данных (**Rate**, **Hz**), равную 100 бит/с, количество логических уровней (**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 трапециевидных импульсов, **Sink 4** – формирователь импульсов вида $\sqrt{\cos}$, **Sink 6** – формирователь косинусоидальных импульсов, **Sink 8** – формирователь гауссовских импульсов);
- нажать кнопку **Parameters** вызвать окно установки параметров;

1.3.1. Для формирователя трапециевидных импульсов:

- в поле **Time Window** (sec) установить длительность фронта импульса, равную 0.005, и нажать **OK**.

1.3.2. Для формирователя 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**;

1.3.3. Для формирователя косинусоидальных импульсов:

- 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 формирователя 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 моделирование системы, нажав кнопку **▶ (RUN SYSTEM)** панели инструментов.

2.1. Записать осциллограммы на выходах формирователей. Номер каждой осциллограммы (например, Sink 1) соответствует номеру блока отображения данных (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 изображению сигнала на выходе источника импульсной 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, выдолнить диапазон отбрасываемой 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 различных форм;

Примечание. Здесь и в дальнейшем для каждого из зарисованных 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 отбрасываемой спектра мощности для каждого из сигналов;

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

- оценить контрольную полосу частот H_c 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 входного 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 $10^2 \div 2 \cdot 10^2$ sec
2	прямоугольный, $\sqrt{\cos}$	$10 \div 100$ 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_c 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_c 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 фазовые модуляторы Φ_m к источникам модулирующего сигнала (источнику импульсной последовательности, выходу формирующего фильтра), а к выходам модуляторов подключить контрольные устройства (Sink).

Установить параметры модуляторов: частота несущей 1000 Hz, Mod Gain 2 dBv (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 зарисовать их.

4.3. Оценить контрольные полосы частот H_c 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 виды нежелательных излучений вы знаете?
3. Что такое совершенное излучение?
4. Как связана форма модулирующего сигнала и скорость спадания отбоя спектра?
5. Что влияет на ширину спектра радиосигнала?
6. Какие вы знаете меры, обеспечивающие снижение уровня внешнее-го излучения?
7. Какие вы знаете контрольные уровни и полосы частот и для чего они используются?
8. Что такое зашумленная 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. Быховского. - 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. Быховского. - М.: КРАСАНД, 2012. - 552 с.
3. Буга Н.Н. и др. Электромагнитная совместимость РЭС. - М.: Радио и связь, 1993.
4. Кисилев 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.: МИРЭА, 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 радиоизлучателей. Методы измерений и контроля.