

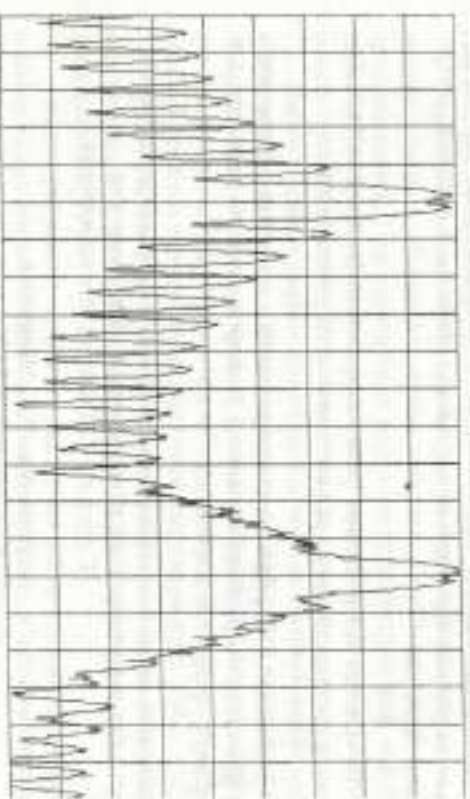
5031

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЕГАНСКИЙ 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. Корниси. – Рязань: РГРТУ, 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.

*Электронная версия совместилась, основное излучение, несомненно излучение, внеполосное излучение, радиотехнический спектр, сверхважное 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. Кириллов)

Исследование возникновения внеполосных излучений радиопередатчиком

Составители: Егоров Алексей Владимирович

Корниси Валерий Александрович

Редактор Р.К. Мангутова

Корректор С.В. Макушина

Подписано и печать 20.10.16. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага печат. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,75.

Тираж 100 экз. Заказ 4235.

Развлекательный государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

## 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 равноправны по своей значимости. Например, функциональные параметры 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 сигнала с нужным качеством и отсутствием 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 (радиопередатчике, радиоприёмнике, антенне 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 относительно номинальных методов; восприимчивость; индивидуальные радиопомехи (например, гетеродина);

• 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* (внешние). Средний частота и полосу частот, в пределах которой данной станцией разрешено излучение, называются *приведенными*. Спектр мощности излучения ПРД на приволенной частоте определяется видом модуляции полезного сигнала и состоит из двух компонентов — *основного* и *внешнего* излучения. Спектр основного излучения лежит в пределах необходимой полосы частот  $P_0$ . Это интеграл частот, минимально необходимый для передачи сообщений с требуемыми скоростью и качеством. Величина  $P_0$  определяется видом сообщения и модуляции, скоростью передачи сигналов, длительностью импульсов, крутизной их фронтов, условиями прохождения радиоволн и т.д.

К нежелательным излучениям относят *внешние*, *лишние* и *лишние* излучения. Внешние излучения являются помехами для соседних станций, непосредственно принадлежащих к  $P_0$ , и практически существуют у всех ПРД как следствие модуляции. Поэтому реальная полоса излучаемых частот сигнала всегда больше

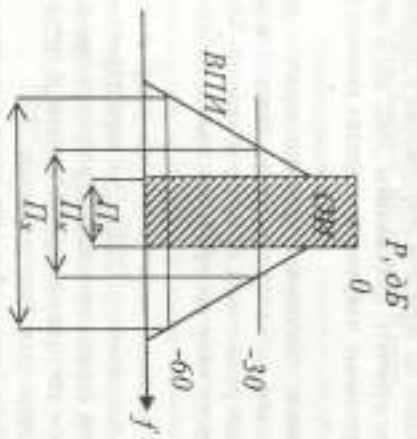


Рис. 1

то колоссальна. Кроме того, ПРД могут создавать *интерференционные* радиопомехи.

**Внешнее излучение.** Внешнее 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 трактов;
- применением модулирующих сигналов низкого уровня;
- ограничением амплитуды, квантованием и др.

В результате в спектре излучаемых радиосигналов появляются составляющие, лежащие вне полосы  $P_0$ . Эти излучения неоправданно расширяют занимаемую полосу частот и могут создавать помехи соседним работавшим на соседних каналах.

Отрицательная сторона внешнего излучения представляет собой убывающую функцию от величины расстройки от приволенной частоты. Поэтому одной из характеристик ЭМС ПРД является полоса частот  $P_s$  на уровне отсчета  $-X$  дБ. Значение  $P_s$  определяется как полоса частот, в пределах которой сосредоточено 99 % излучаемой мощности. При  $P_s = P_0$  говорят, что излучение *свернутое*. Большинство ПРД имеет широкую полосу *несвернутого* излучения, когда  $P_s > P_0$ .

Значение  $P_s$  сильно зависит от формы модулирующего сигнала и вида модуляции. Для сигналов почти всех классов полоса  $P_s$  не должна превышать  $P_0$  более чем на 20 %. Для определения скорости убывания интенсивности внешнего излучения используется полоса частот  $P_s$  на уровне  $X = -60$  дБ относительно основной частоты. При оценке частотного разнесения РЭС используется контролируемая полоса частот  $P_s$  на уровне  $X = -30$  дБ. Эти полосы регламентированы.

По ГОСТ 23611-79 под внешними излучениями 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 внешних составляющих, невозможно.

Для уменьшения интенсивности внешних колебаний необходимо получить максимально большую скорость спада внешней стороны спектра при увеличении расстройки по частоте за пределами необходимой полосы. Большинство передающих и приемных имеет несущую частоту, значительно превышающую максимальную частоту модуляции. Для оценки спектра такого сигнала достаточно оценить лишь спектр его модулирующей функции. Для идеального прямоугольного импульса длительностью  $\tau$  с несущей частотой  $\omega_0$  спектр совпадает со спектром внешнего импульса, но сдвинут по частоте на величину  $\omega_0$ . Он описывается выражением

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

Заменяя в выражении разность частот на  $\Omega$ , т.е. переходя к значению расстройки относительно несущей, выражение для спектра можно записать более компактно:

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

Для решения задач, 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 скорости изображены на рис. 2.

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

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

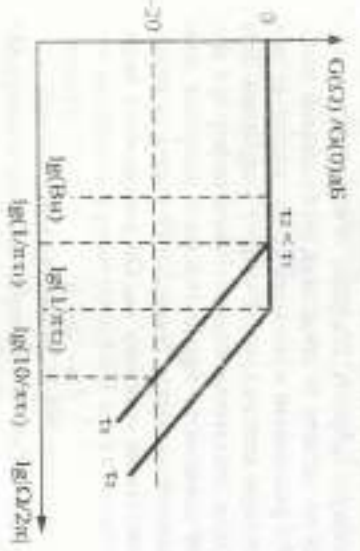


Рис. 2

При графическом изображении огибающей спектра по обеим осям обычно используется логарифмический масштаб. В случае наклонных прямоугольных импульсов огибающая спектра для двух значений длительности  $\tau_1$  и  $\tau_2$  будет иметь вид, показанный на рис. 3. Точка перелома огибающей спектра ( $F = 1/\tau$ ) соответствует точке, выделяющей спектр, вычис-

Рис. 3

ленная по выражению (3), является первым лентом спектра, определяемого 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 изображается трапецией (рис. 4). Огибающая спектра которой приведена на рис. 5.

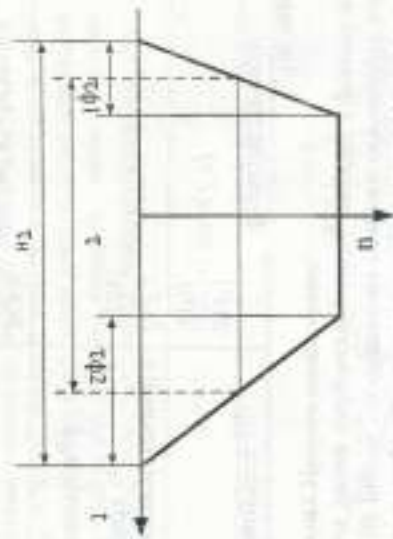


Рис. 4

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

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.

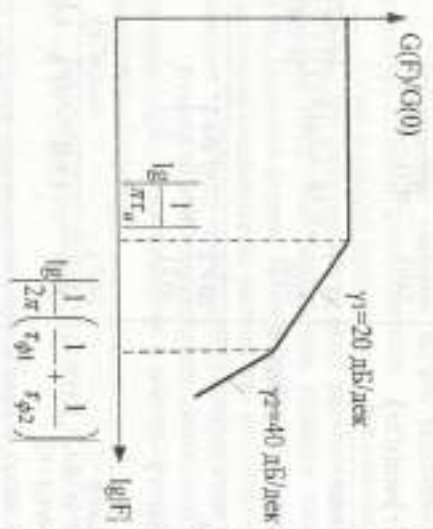


Рис. 5

Эта теорема дает путь к построению сигналов, имеющих быстрое спадание амплитудных колебаний: чем более закруглены сигналы и vice versa производные, тем быстрее спадает огибающая спектра в зависимости от скорости. Наиболее резкий спад амплитудных колебаний может быть обеспечен гусевыми модулирующими импульсами,

все произвольные которого также отображаются гауссовой кривой, т.е. не-прецедента и концы. Однако идеальный гауссов импульс имеет бесконечную длительность, т.е. на практике не реализуется. В качестве практических приближений к такому сигналу рассматриваются модулированные импульсы с ограниченной выш. частотой  $\cos(\pi f_0 t)$ ,  $\cos^2(\pi f_0 t)$  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 равнозначному уровню напряженности.

Таблица 1

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

Как следует из рис. 6, уровни внеполосных излучений для разных импульсов очень сильно различаются, наибольшая скорость спадаения отбрасываемой 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 снижение 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 различные способы 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 характерными свойствами, 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 SysView\_32.exe и вызвать файл Viewokos.svc. Данный файл представляет собой модель, позволяющую исследовать спектральные характеристики последовательности модулирующих импульсов различной формы.

Схема, изображенная на рис. 7, состоит:

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

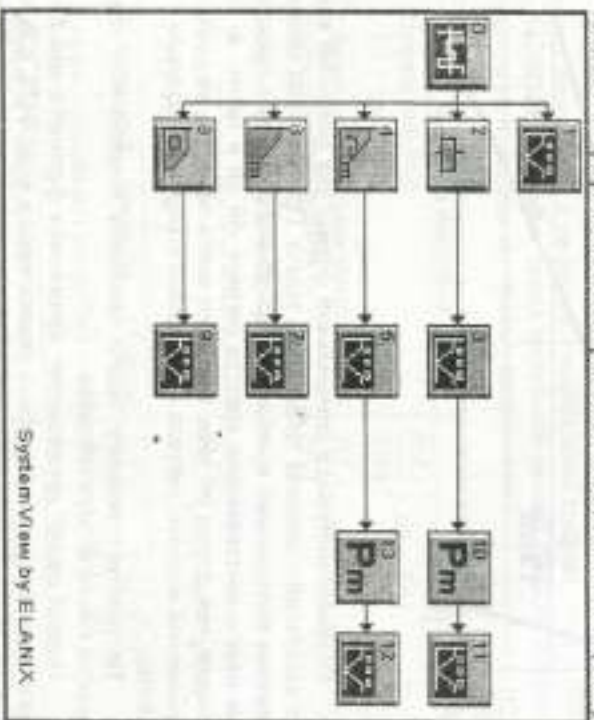


Рис. 7

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 **Verilog.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 звуковых систем (количество сериальных усреднений), 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**,  $\Delta V$ ), 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 формирования трапециевидных импульсов:

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

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

- в поле **Design** нажать кнопку **Const**;
- 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 формирования косинусоидальных импульсов:

- в поле **Design** нажать кнопку **Const**;
- 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 **Const**;
- 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 проследить 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 отбрасывания 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, отглаженное как Power spectrum of Sink 1.

- выбрать опцию Sink Calculator, нажать кнопку Operator, затем Moving Average, установить в поле Samples (ширина апертуры отглаженного 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, выдвинув дилпоре-смакнуто 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 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 отбрасывающей спектра мощности для каждого из сигналов;

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

- оценить контрольную полосу частот  $H_c$  на уровне  $K = -30$  дБ, используемую 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

№ группы	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, $\sqrt{\text{cos}}$	$10 \div 100$ 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÷100 Hz

3.2. Изменяя параметр Rate источника сигнала в пределах, указанных в табл. 2, оценить контрольную полосу частот  $D_c$  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  $D_c$  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 нажать кнопку ▶ (RUN SYSTEM). А для верности данных и графика в окне Analysis следует нажать кнопку Load New Sink Data или комбинацию клавиш Ctrl+N.

4. Исследовать свойства радиосигнала, модулируемого импульсами различной формы.

4.1. Подвести фазовые модуляторы  $\Phi_m$  к источникам модулирующего сигнала (источнику импульсной последовательности, выходу формирующего фильтра), а к выходам модулятора подключить контрольные устройства (Sink).

Установить параметры модуляторов: частота несущей 1000 Hz, Mod Gain 2dBv (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 мощности п. 2.2.1 и зарисовать их.

4.3. Оценить контрольные полосы частот  $D_c$  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 некогерентное излучение, какова природа его возникновения?
2. Какие виды некогерентных излучений вы знаете?
3. Что такое совершенное излучение?
4. Как связана форма модулирующего сигнала и скорость сдвигания оптической спектры?
5. Что влияет на ширину спектра радиосигнала?
6. Какие вы знаете меры, обеспечивающие снижение уровня некогерентного 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 сдвигания оптической спектры мощности?

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем: учеб. пособие / под. ред. д.т.н., проф. М.А. Быховского. - М.: Эко-Трендс, 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. Буря Н.Н. и др. Электромагнитная совместимость РЭС. - М.: Радио и связь, 1993.
4. Киндел 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 30118-95/ГОСТ Р 50016-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля.