

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники» (ТУСУР)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ БЛОКИРОВАНИЯ,  
ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ И ПЕРЕКРЁСТНЫХ  
ИСКАЖЕНИЙ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ**

Томск 2015



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники» (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧиКР)

Утверждаю:

Заведующий кафедрой СВЧиКР  
канд. физ.-мат. наук, профессор

\_\_\_\_\_ С.Н.Шарангович

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015г.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ БЛОКИРОВАНИЯ,  
ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ И ПЕРЕКРЁСТНЫХ  
ИСКАЖЕНИЙ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ**

Руководство к лабораторным работам для подготовки магистров по  
направлению 11.04.02 — Инфокоммуникационные технологии и системы  
связи, дисциплина «Теория электромагнитной совместимости  
радиоэлектронных средств и систем»

Разработчики:

студенты гр.140-3

\_\_\_\_\_ В.В. Нам

\_\_\_\_\_ Р.О. Ромашов

ассистент кафедры СВЧиКР

\_\_\_\_\_ А.Ю. Попков

Томск 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ .....	5
2 ТЕОРИЯ.....	6
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА БЛОКИРОВАНИЯ РАДИОПРИЁМНОГО УСТРОЙСТВА .....	13
3.1 Цель работы .....	13
3.2 Краткие теоретические сведения.....	13
3.3 Описание лабораторной установки.....	14
3.4 Порядок выполнения работы .....	15
3.5 Домашнее задание:.....	20
3.6 Контрольные вопросы .....	22
3.7 Список литературы .....	22
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ РАДИОПРИЁМНОГО УСТРОЙСТВА .....	23
4.1 Цель работы .....	23
4.2 Краткие теоретические сведения.....	23
4.3 Описание лабораторной установки.....	24
4.4 Порядок выполнения работы .....	25
4.5 Домашнее задание: .....	30
4.6 Контрольные вопросы: .....	31
4.7 Список литературы .....	32
5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПЕРЕКРЁСТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ.....	33
5.1 Краткие теоретические сведения и основные расчетные соотношения .....	33
5.2 Описание лабораторной установки.....	34
5.3 Порядок выполнения работы .....	36
5.4 Требования к отчёту .....	43
5.5 Домашнее задание.....	43
5.6 Контрольные вопросы .....	43
5.7 Список литературы .....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное). Краткое руководство пользователя по работе в САПР SystemVue .....	45

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение радиоэлектронных средств (РЭС) приводит к тому, что при одновременной работе они начинают оказывать воздействие друг на друга. Поэтому при проектировании РЭС необходимо учитывать условия их эксплуатации, включая электромагнитную обстановку, в которой надлежит работать РЭС. Электромагнитная обстановка (ЭМО) – это совокупность электромагнитных излучений в точке или районе, где размещается (или предполагается разместить) РЭС. Электромагнитные излучения могут нарушить качество работы РЭС, вплоть до полной невозможности выполнения им своей основной функции. Появление нового РЭС изменяет ЭМО в точках, где уже расположены работающие средства. Это изменение может ухудшить качество функционирования некоторых из них. Решение задач обеспечения удовлетворительного функционирования РЭС в окружающей ЭМО, не оказывая недопустимого воздействия на нее и другие средства, составляет сущность проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС).

Восприимчивость радиоприемного устройства – это свойство устройства реагировать на радиопомехи, воздействующие через антенну и помимо нее, в том числе через экран, по цепям питания, управления и коммутации [1].

К параметрам, определяющим восприимчивость радиоприемного устройства, относят чувствительность основного и побочного каналов приема, избирательность, нелинейные эффекты блокирования, перекрестных искажений и интермодуляции, а также коэффициенты сетевых радиопомех, электрической индукции и переноса радиопомех.

## 2 ТЕОРИЯ

Воздействие интенсивной помехи, значительно превышающей по уровню полезный сигнал, возможно помимо основного и побочного каналов приема. При этом влияние помехи, проявляется в виде нелинейных эффектов: блокирования или интермодуляции или одновременного возникновения указанных эффектов.

Блокированием называется изменение уровня сигнала или отношения сигнал-шум на выходе радиоприемника при действии радиопомехи, частота которой не совпадает с частотами основного и побочных каналов приема радиоприемника[2]. Это явление проявляется в уменьшении усиления приемника в присутствии интенсивной помехи. Полоса частот, в которой имеет место блокирование, называется полосой блокирования  $B_{\text{бл}}$

Воздействие интенсивных помех на вход радиоприемника оказывает влияние на прием полезного сигнала даже в том случае, если помехи не попадают в основной и побочные каналы приема, вследствие возникновения нелинейных эффектов в тракте приемника. Одним из таких эффектов является блокирование, приводящее к уменьшению отношения сигнал/шум на выходе радиоприемника и, следовательно, к ухудшению его чувствительности. Блокирование обычно рассматривается в рамках проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств [3]. Поскольку чувствительность является одной из основных характеристик радиоприемника, то эффект блокирования необходимо учитывать и оценивать при проектировании и эксплуатации радиоприемных устройств (РПУ), предназначенных для функционирования в условиях сложной электромагнитной обстановки. Между тем, оценки влияния блокирования на чувствительность радиоприёмного устройства (РПУ) встречают принципиальные трудности, связанные с оценкой мощности шума на выходе приемника, находящегося под действием помех. Часто блокирование определяется как изменение уровня сигнала на выходе радио

приемника под действием внеполосных помех. Однако, под действием внеполосных помех происходит также изменение мощности шума на выходе приемника. В связи с этим существует другое определение блокирования [5], охватывающее оба эти эффекта, как изменения уровня сигнала или отношения сигнал/шум на выходе радиоприемника под действием внеполосной помехи. Блокирование, определяемое по уровню сигнала, часто называют блокированием по усилению, а блокирование по отношению сигнал/шум — блокированием по шумам [2]. Если блокирование по усилению характеризуется изменением коэффициента усиления, то блокирование по шумам — изменением коэффициента шума радиоприемника (или каскада). Таким образом, блокирование по шумам радиоприемника количественно эквивалентно изменению его чувствительности. Блокирование радиоприемника по шумам складывается из двух эффектов: изменения коэффициента усиления и изменения уровня шумов на выходе под действием помехи. При оценке изменения чувствительности РПУ вследствие блокирования изменение уровня выходных шумов зачастую рассматривается только как следствие изменения коэффициента усиления приемника и его отдельных каскадов. Собственные шумы каскадов, подвергающихся воздействию помех, считаются неизменными и равными линейным, имеющим место в отсутствие помех [2]. Между тем, в ряде работ [3] на примере усилителей радиочастоты (УРЧ) различных типов показано, что уровень собственных шумов также изменяется под действием помех, при чем этот эффект дает вклад в общее изменение выходных шумов, сравнимый по величине с результатом изменения усиления входных шумов, так что при оценке чувствительности РПУ требуется рассматривать совместно оба эти эффекта. Необходимо сделать замечание об использовании термина «чувствительность» применительно к РПУ, находящемуся под воздействием помех. Воздействие интенсивных помех на вход радиоприемника оказывает влияние на при ем полезного сигнала даже в том случае, если помехи не попадают в основной и

побочные каналы приема, вследствие возникновения нелинейных эффектов в тракте приемника. Одним из таких эффектов является блокирование, приводящее к уменьшению отношения сигнал/шум на выходе радиоприемника и, следовательно, к ухудшению его чувствительности. Блокирование обычно рассматривается в рамках проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств [1]. Поскольку чувствительность является одной из основных характеристик радиоприемника, то эффект блокирования необходимо учитывать и оценивать при проектировании и эксплуатации радиоприемных устройств (РПУ), предназначенных для функционирования в условиях сложной электромагнитной обстановки. Между тем, оценки влияния блокирования на чувствительность РПУ встречают принципиальные трудности, связанные с оценкой мощности шума на выходе приемника, находящегося под действием помех. Часто блокирование определяется как изменение уровня сигнала на выходе радиоприемника под действием внеполосных помех. Однако, под действием внеполосных помех происходит также изменение мощности шума на выходе приемника. В связи с этим существует другое определение блокирования [4], охватывающее оба эти эффекта, как изменения уровня сигнала или отношения сигнал/шум на выходе радиоприемника под действием внеполосной помехи. Блокирование, определяемое по уровню сигнала, часто называют блокированием по усилению, а блокирование по отношению сигнал/шум – блокированием по шумам [5]. Если блокирование по усилению характеризуется изменением коэффициента усиления, то блокирование по шумам – изменением коэффициента шума радиоприемника (или каскада). Таким образом, блокирование по шумам радиоприемника количественно эквивалентно изменению его чувствительности. Блокирование радиоприемника по шумам складывается из двух эффектов: изменения коэффициента усиления и изменения уровня шумов на выходе под действием помехи. При оценке изменения чувствительности РПУ вследствие блокирования изменение уровня выходных шумов зачастую рассматривается



только как следствие изменения коэффициента усиления приемника и его отдельных каскадов. Собственные шумы каскадов, подвергающихся воздействию помех, считаются неизменными и равными линейным, имеющим место в отсутствие помех. Между тем, в ряде работ на примере усилителей радиочастоты (УРЧ) различных типов показано, что уровень собственных шумов также изменяется под действием помех, причем этот эффект дает вклад в общее изменение выходных шумов, сравнимый по величине с результатом изменения усиления входных шумов, так что при оценке чувствительности РПУ требуется рассматривать совместно оба эти эффекта. Необходимо сделать замечание об использовании термина «чувствительность» применительно к РПУ, находящемуся под воздействием помех [1].

В качестве рецептора помех РЭС рассмотрим радиоприемное устройство, которое выделяет полезную информацию, адресованную определенному корреспонденту. Эта информация выделяется из совокупности сигнала и помех, воздействующих на антенну. В общем случае ЭМС совокупности источников и рецепторов ЭМП определяется не только электромагнитной обстановкой в точке размещения чувствительных элементов рецепторов помех, но и восприимчивостью этих рецепторов к действующему полю.

На рис. 2.1 приведена упрощенная структурная схема супергетеродинного радиоприемника. Способность приемника выделить полезный сигнал из совокупности составляющих напряженности электромагнитного поля, в котором находится антенна, называют избирательностью.

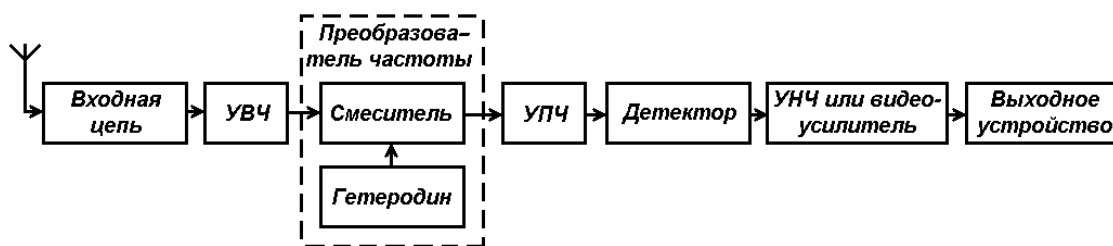


Рисунок 2.1. – Структурная схема главного тракта приемника

Различают несколько видов избирательности: пространственную, поляризационную, временную, амплитудную, фазовую и частотную. Частотная избирательность имеет особое значение. В отличие от других видов избирательности она присуща каждому супергетеродинному приемнику. Характеристика частотной избирательности – зависимость уровня сигнала на входе радиоприемного устройства от частоты этого сигнала при заданном отношении сигнал-шум или уровне сигнала на выходе радиоприемника [1]. Измерение характеристики частотной избирательности проводится односигнальным или многосигнальным методами.

На рис. 2.2 представлена типовая характеристика частотной избирательности приемника, измеренная односигнальным методом. Она описывает избирательные свойства приемника в линейном или близком к линейному режимам работы, когда на входе приемника отсутствует помеха. На характеристике выделяют основной и побочные каналы приема.

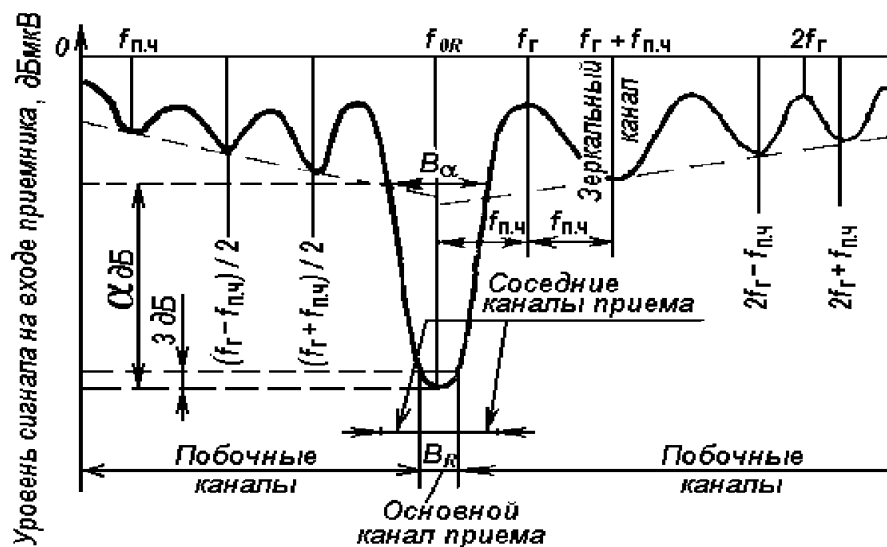


Рисунок 2.2. – Характеристика односигнальной частотной избирательности супергетеродинного приемника:

Основным каналом приема радиоприемника называют полосу частот, находящуюся в полосе пропускания радиоприемника и предназначенную

для приема сигнала [1]. На рис. полоса частот основного канала обозначена  $B_R$ . Ее определяют на уровне 3 дБ по отношению к значению частотной характеристики на частоте настройки приемника  $f_{0R}$ . В идеальном случае ширина полосы основного канала приемного устройства должна быть равна необходимой полосе частот полезного сигнала  $B_R = B_n$ . Поскольку излучение передающих устройств является несовершенным, а селективирующие цепи приемных устройств не являются идеальными и частота гетеродина  $f_r$  характеризуется определенной нестабильностью, приходится принимать  $B_R > B_n$

Другой характеристикой основного канала является коэффициент прямоугольности  $\Pi_\alpha$  частотной характеристики. Коэффициентом прямоугольности по уровню  $\alpha$ , дБ, называют отношение полосы частот на уровне  $\alpha$ , дБ, к полосе на уровне 3 дБ, т. е.  $\Pi_\alpha = B_\alpha / B_R$ . Обычно принимают  $\alpha$  равным 30 или 60 дБ. Считают, что приемник имеет хороший коэффициент прямоугольности, если  $\Pi_{60} = 2,5 \div 4$ , и низкий, если  $\Pi_{60} \geq 8$ . Из-за существенного отличия характеристики частотной избирательности от прямоугольной возможен прием помех с частотами, примыкающими к основному каналу приема. Следует отметить, что помеха может проникать в радиоприемник и по основному каналу, если ее спектр полностью или частично лежит в полосе пропускания  $B_R$ . Это называется прямым прохождением помехи.

Побочный канал приема составляют полосы частот, находящиеся за пределами основного канала приема радиоприемника, в которых сигнал проходит на выход приемника. К побочным каналам относятся каналы, включающие промежуточную, зеркальную, комбинационные частоты и субгармоники частоты настройки радиоприемника [1].

Побочные каналы приема образуются в смесителях. Они определяются недостаточной избирательностью предшествующих каскадов и характеристикой нелинейности смесителя. Предполагается, что при переносе спектра в смесителе искажения отсутствуют. В этом смысле

операция преобразования частоты – линейная. Составной частью преобразователя частоты является перемножитель напряжений. Но даже в идеальном перемножителе обязательно есть побочный канал, называемый зеркальным, частота которого  $f_3 = f_\Gamma + f_{п.ч}$ , где  $f_{п.ч}$  – промежуточная частота. Отличительная особенность этого канала состоит в том, что он имеет одинаковую чувствительность с основным каналом приема, если измерять ее с входа преобразователя.

В реальных преобразователях частоты идеального перемножения поступающих сигналов не происходит. Преобразователи работают по принципу косвенного перемножения, осуществляемого с помощью нелинейного элемента. Это приводит к появлению новых побочных каналов.

Частота побочного канала  $f_{п.к}$  в общем случае удовлетворяет равенству

$$m \cdot f_{п.к} + n \cdot f_\Gamma = f_{п.ч} \quad (2.1)$$

где  $m$ , и  $n$  - целые числа, положительные и отрицательные, включая нуль. Величина  $N = |m| + |n|$  называется порядком комбинационного канала. Соотношение (2.1) определяет частоты побочных каналов в самом общем виде. Из него можно получить:

$$f_{п.к} = \frac{1}{m} f_{п.ч} - \frac{n}{m} f_\Gamma \quad (2.2)$$

Эти значения частот  $f_{п.к}$  побочных каналов приема РЭС играют существенную роль при назначении рабочих частот  $f_p$  радиопередающим устройствам. В задачах оценки ЭМС не требуется определять все побочные каналы приема. Для каждого мешающего излучения обычно нужно знать конкретный канал, по которому помеха может проникнуть на выход приемника. В супергетеродинном приемнике порядок комбинационного канала  $N$ , по которому возможно прохождение помехи с частотой  $f_n$ , для каждого преобразователя.

Воздействие интенсивной помехи, значительно превышающей по уровню полезный сигнал, возможно помимо основного и побочного каналов приема. При этом влияние помехи, проявляется в виде нелинейных

эффектов: блокирования или перекрестной модуляции или одновременного возникновения указанных эффектов [1].

### **3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА БЛОКИРОВАНИЯ РАДИОПРИЁМНОГО УСТРОЙСТВА**

#### **3.1 Цель работы**

Целью данной работы является исследование эффекта блокирования происходящее на выходе РПУ

#### **3.2 Краткие теоретические сведения**

Восприимчивость приёмника, как его свойство реагировать на непреднамеренную электромагнитную помеху (НЭМП), определяется частотной избирательностью, которая представляет собой зависимость амплитуды помехи на входе от ее частоты при фиксированном отношении помеха/шум, либо амплитуде информационного сигнала, либо значений одного из коэффициентов (блокирования –  $K_{\text{бл}}$ ; интермодуляции –  $K_{\text{инт}}$ ).

Характеристика частотной избирательности (ХЧИ) по блокированию представляет собой зависимость амплитуды мешающего сигнала на входе от частоты этого гармонического сигнала при одновременном воздействии полезного сигнала и при заданном значении коэффициента блокирования  $K_{\text{бл}}$ .

Коэффициент блокирования – отношение разности уровней сигнала на выходе радиоприемника при отсутствии и при наличии радиопомехи на его входе к уровню этого сигнала при отсутствии радиопомехи:

$$K_{\text{бл}} = \frac{U_{\text{вых}}(U_c + U_{\text{п}}) - U_{\text{вых}}(U_c)}{U_{\text{вых}}(U_c)}, \quad (\text{А } 3.2.1)$$

где  $U_c$ ,  $U_{\text{п}}$  - входные амплитуды сигнала и помехи соответственно;

При отсутствии блокирования  $K_{\text{бл}} = 0$ , при полном блокировании  $K_{\text{бл}} = 1$ . Значения коэффициента блокирования, соответствующие допустимому изменению уровню сигнала на выходе приемника лежат в пределах  $0,3 \div 0,5$  [1].

### 3.3 Описание лабораторной установки

Функциональная схема установки изображена на рисунке 3.3.1:

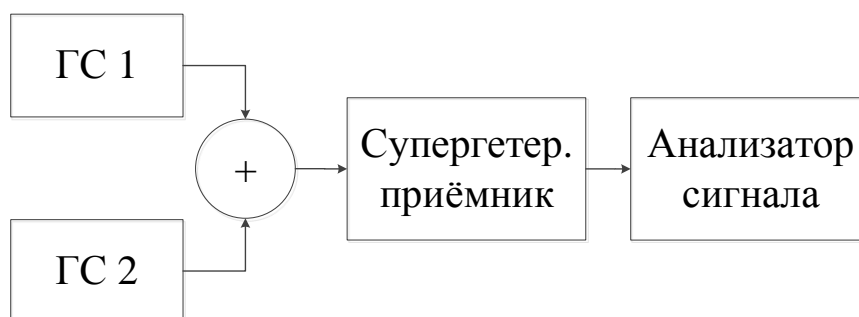


Рисунок 3.3.1 - Функциональная схема установки для исследования эффекта блокирования РПУ.

Схема включает в себя:

- ГС 1 – источник сигнала (рис. 3.3.2);
- ГС 2 – источника сигнала имитирующий помеху (рис. 3.3.3);
- РПУ – супергетеродинный приёмник;
- Анализатор сигнала (осциллограф).

Сигнал модулируется по амплитуде внутренним модулятором ГС 1, помеха не модулирована. В сумматоре проводится сложение сигнала и помехи, откуда далее полученный сигнал поступает в приемник. К низкочастотному выходу приемника подключен анализатор сигнала для визуальной регистрации эффекта блокирования. Анализатор сигнала может быть, как осциллографом, так и спектроанализатором (в зависимости от режима просмотра).

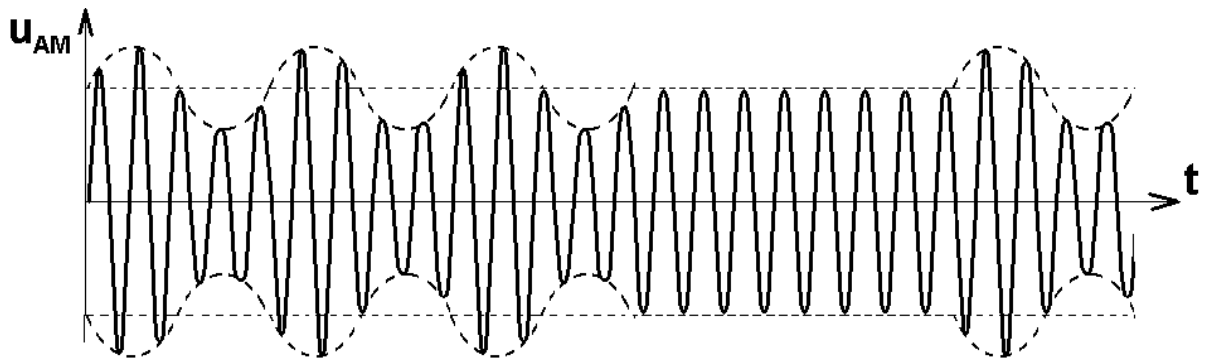


Рисунок 3.3.2 – Эпюра амплитудно-модулированного сигнала.

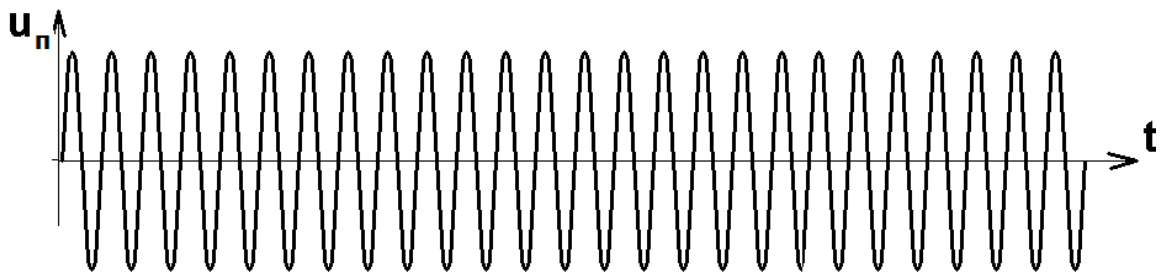


Рисунок 3.3.3 - Эпюра напряжения немодулированной помехи.

Лабораторная работа выполняется в программе моделирования процессов, протекающих в радиотехнических устройствах, *SystemVue*. [3]

### 3.4 Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с программой моделирования процессов *SystemVue*.
- 2) Изучить функциональную схему устройства лабораторной работы
- 3) Собрать лабораторный макет согласно блок схеме рис. 3.4.1
- 4) Снять значения эпюр напряжений, с анализатора сигнала на выходе РПУ, зафиксировать значения  $U_{\Sigma\text{ВЫХ}}$ .
- 5) Рассчитать коэффициент блокирования по формуле (3.2.1).
- 6) Построить графики зависимость амплитудной характеристики РПУ по блокированию  $K_{\text{бл}} = \varphi(U_{\text{ПВХ}})$
- 7) Построить график зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты помехи  $U_{\Sigma\text{ВЫХ}} = \varphi(f_{\text{ПВХ}})$

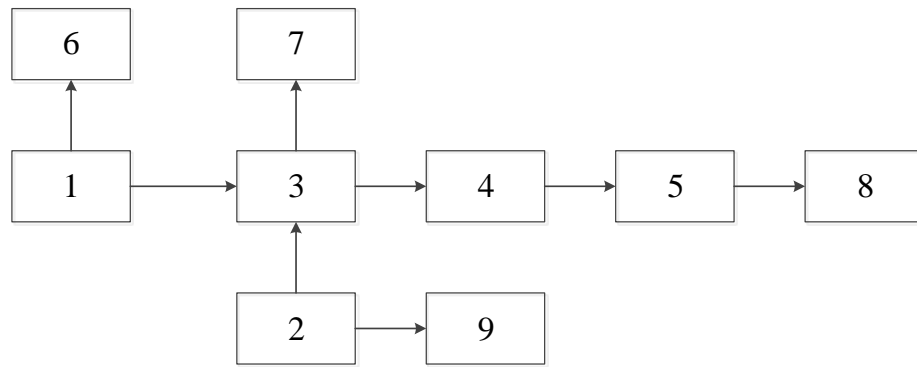


Рисунок 3.4.1 - Лабораторная установка собранная в *SystemVue*

- 1 – Генератор информационного амплитудного сигнала;
- 2 – Генератор немодулированной, синусоидальной помехи;
- 3 – Сумматор сигналов;
- 4 – Супергетеродинный приёмник;
- 5 – Демодулятор;
- 6 – Анализатор сигнала на выходе генератора информационного амплитудно-модулированного сигнала;
- 7 – Анализатор суммы сигналов;
- 8 – Анализатор сигналов на низкочастотном выходе супергетеродинного приёмника;
- 9 – Анализатор сигнала на выходе генератора сигнала немодулированной помехи;

Собрать метасистему информационно амплитудно – модулированного сигнала можно по следующей схеме (рис. А 3.4.2):

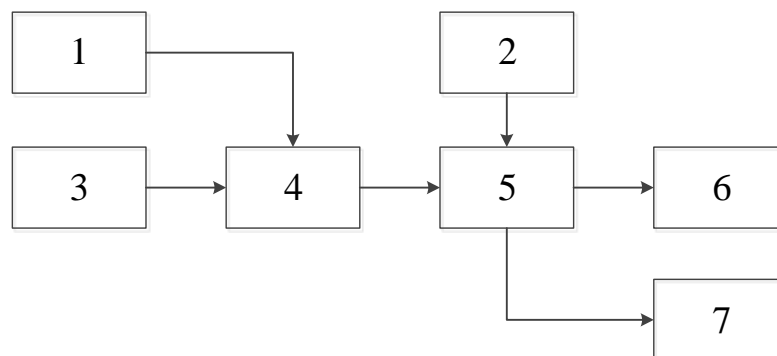


Рисунок 3.4.2 – Блок схема генератора информационного амплитудного сигнала.



- 1 – Источник модулирующего сигнала;
- 2 – Источник несущего сигнала;
- 3 – Ступенчатая функция;
- 4 – Сумматор;
- 5 – Умножитель;
- 6,7 – Выход метасистемы.

Входное напряжение сигнала принять равной  $U_{\text{СВХ}}=1$  В. Частоту сигнала  $f_c=25$  кГц. Для этого, дважды щелкнув левой клавишей мышки по функциональному блоку, имитирующему генератор информационного сигнала. На рабочем поле программы откроется окно «Источник сигнала» рисунок 3.4.3:

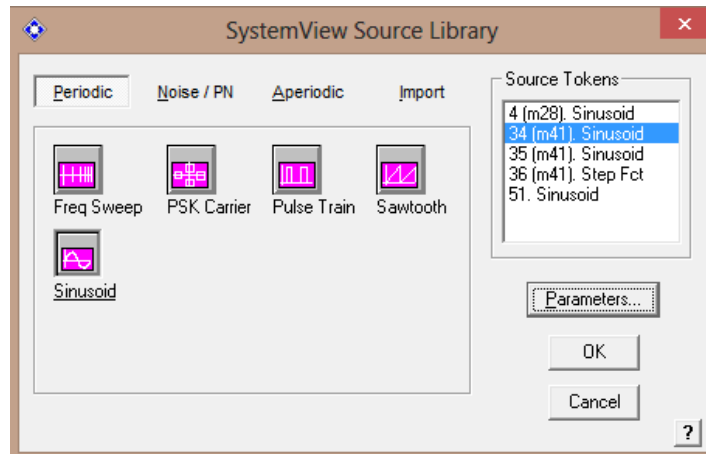


Рисунок 3.4.3 – Выбор типа источника сигнала

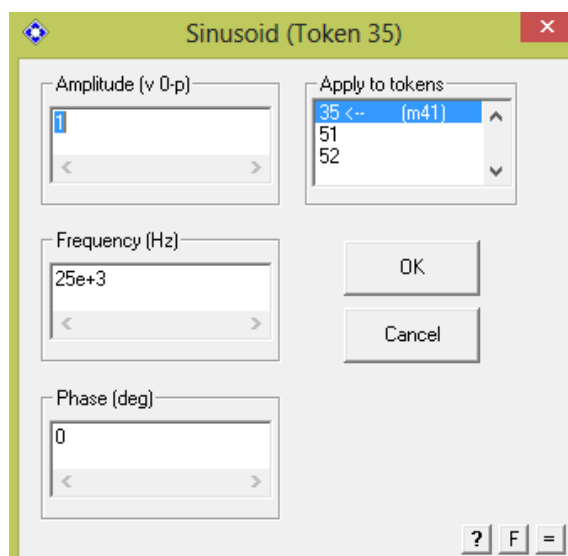


Рисунок 3.4.4–Выбор параметров источника сигнала

В поле «*Amplitude [v]*» выставляется желаемая амплитуда несущего сигнала, в поле «*Frequency [Hz]*» - его частота, в поле «*PHASE (deg)*» - начальная фаза. После чего нажать кнопку «ОК». На рис А 3.6 в окне показана схема формирования амплитудно-модулированного сигнала. Несущий сигнал генерируется синусоидальным источником. Несущий сигнал перемножается с модулирующим в перемножителе. Источником модулирующего напряжения является сумма сигнала источника синусоидального напряжения и ступенчатой функции. Параметры модулированного сигнала установить согласно варианту из таб. 3.5.1.

Частота помехи отличается от частоты сигнала, но находится внутри полосы пропускания приемника. Параметры источника помехи изменяются так же, как и у источника сигнала. Помеха не модулирована.

Увеличивая входное напряжение помехи, будем следить за изменением суммарного (сигнал и помеха) напряжения на выходе РПУ

В качестве РПУ выберем супергетеродинный приёмник реализованный по схеме (рисунок 3.4.5).

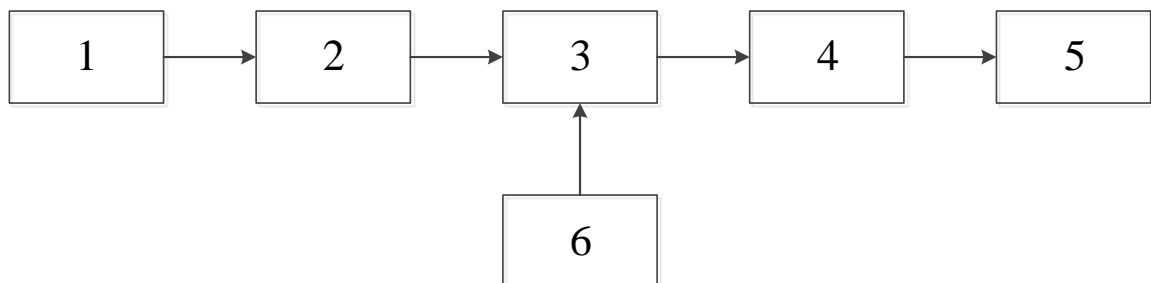


Рисунок 3.4.5– Блок-схема супергетеродинный приёмник

- 1 – Вход метасистемы;
- 2 – Преселектор;
- 3 – Смеситель;
- 4 – Демодулятор;
- 5 – Выход метасистемы;
- 6 – Гетеродин.

Для просмотра эюр сигналов на рабочем поле располагаются анализаторы сигналов под номерами 5,6,7,8 (рис. 3.4.1).

Демодулятор приёмника представлен на рис. 3.4.6

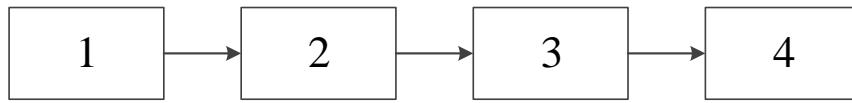


Рисунок 3.4.6 – Блок – схема демодулятора приёмника

- 1 – Вход метасистемы;
- 2 – Полупроводниковый диод;
- 3 – ФНЧ;
- 4 – Выход метасистемы.

После запуска системы (нажатие кнопки), необходимо нажать на кнопку «*Analysis Window*».

Получить эюры, дающие наглядное представление о характере сигналов и их проходимости через тракт РПУ. Значение амплитуды можно узнать, наведя курсор мыши на эюру. Величина отображается в верхнем правом углу окна «*SystemVue Analysis*».

Данные измерений занести в табл. 3.4.1.

При незначительных напряжениях  $U_{\text{пвх}}$  выходной сигнал  $U_{\text{сввх}}$  изменяется слабо и не имеет искажений, а при дальнейшем увеличении  $U_{\text{пвх}}$ , сигнал на выходе сначала искажается, а затем начинает уменьшаться по амплитуде.

Рассчитать коэффициент блокирования по формуле:

$$K_{\text{бл}} = \frac{U_{\text{сввх}} - U_{\text{свх}}}{U_{\text{сввх}}} = 1 - \frac{U_{\text{свх}}}{U_{\text{сввх}}} \quad (3.4.1)$$

Полученные значения  $K_{\text{бл}}$  занести в таблицу 3.4.1.

Таблица 3.4.1

$N_{\text{б}}$	$U_{\text{пвх}}, \text{В}$	$U_{\text{свх}}, \text{В}$	$K_{\text{бл}}$	$\frac{U_{\text{пвх}}}{U_{\text{свх}}}$
1				

Продолжение таблицы 3.4.1:

2				
3				
4				
5				

Построить график блокирования РПУ в виде зависимости  $U_{\Sigma_{\text{вых}}} = \varphi(U_{\text{пвх}})$  при  $U_{\text{свых}} = \text{const}$ .

Оставляя частоту и амплитуду входного сигнала постоянной, необходимо увеличивать частоту помехи в пределах полосы пропускания РПУ при постепенном повышении  $U_{\text{пвх}}$  с шагом в 100мВ. Шаг перестройки, частоты помехи, принять равным 0,04 кГц.. Данные измерений записать в таблицу 3.4.2.

Таблица 3.4.2

№	$f_{\text{пвх}}$ , МГц	$U_{\Sigma_{\text{вых}}}$
1		
2		
3		
4		
5		

Построить график зависимости и  $K_{\text{бл}} = \varphi(U_{\text{пвх}})$  при  $U_{\text{свых}} = \text{const}$

### 3.5 Домашнее задание:

Изучение теоритического материала по блокированию сигнала и процессу построения радиоприёмного тракта на гетеродинной основе.

Требование к отчету:

По результатам лабораторной работы каждому студенту необходимо составить индивидуальный отчет, обязательно содержащий:

1. Краткие теоретические сведения.
2. Функциональную схему установки для исследования эффекта блокирования в РПУ.
3. Формулу расчета  $K_{\text{бл}}$ .
4. Заполненные таблицы со снятыми и рассчитанными значениями.
5. Иллюстративный материал зависимостей  $K_{\text{бл}} = \varphi(U_{\text{пвх}})$ ,  $U_{\Sigma\text{вых}} = \varphi(f_{\text{пвх}})$ .
6. Выводы по работе

Примечание:

В качестве источника помехи допускается использование функции косинуса. Возможные варианты, исследования эффекта блокирования для студентов отображены в таблице 3.5.1.

Таблица 3.5.1

№	$f_c$ , кГц	$f_{\text{гб}}$ , кГц	$U_{\text{свх}}$ , В	$U_{\text{пвх}}$ , В
1	25	25,025	1	0,5
2	25	25,017	0,9	0,5
3	25	25,022	0,96	0,55
4	25	25,031	1,1	0,57
5	25	25,015	0,9	0,5
6	25	25,032	1,2	0,75
7	25	25,022	0,96	0,55
8	25	25,026	1	0,5
9	25	25,037	1,2	0,6
10	25	25,023	0,97	0,56
11	25	25,034	1,1	0,59
12	25	24,022	0,96	0,55

### 3.6 Контрольные вопросы

1. Что такое восприимчивость радиоприёмного устройства?
2. Что означает термин основной канал приёма радиоприёмника?
3. Поясните эффект блокирования радиоприемного устройства помехой.
4. Что такое коэффициент блокирования РПУ?
5. Что является критерием качественного показателя при блокировании РПУ помехой?
6. В каких пределах и единицах измеряется  $K_{\text{бл}}$ ?

### 3.7 Список литературы

1. Ефанов В. И., Тихомиров А. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: учебное пособие / Ефанов В. И., Тихомиров А. А. — ТУСУР, 2012.
2. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи: Пер. с англ. Вып. 1 / Под ред. А. И. Сапгира. – М.: Сов. радио, 1977. 348 с
3. Емельянов В.Е., Солозобов М.Е. Теория и методы оценки электромагнитного взаимодействия РЭО: пособие по выполнению лабораторных работ / Емельянов В.Е., Солозобов М.Е. — МГТУ ГА, 2014.
4. Златин И.В. *SystemVue 6.0 (SystemVue)*. Системное проектирование радиоэлектронных устройств. / *Agilent Technologies* – Москва 2006г.

## 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ РАДИОПРИЁМНОГО УСТРОЙСТВА

### 4.1 Цель работы

Целью данной работы является исследование эффекта интермодуляционных искажений в РПУ.

### 4.2 Краткие теоретические сведения.

Интермодуляция – возникновение помех на выходе приемника при действии на его входе двух и более радиопомех, частоты которых не совпадают с частотами основного и побочного каналов приема. Интермодуляция обусловлена эффектами преобразования колебаний двух или более помех в смесителе или в каскадах, предшествующих смесителю. Интермодуляция - одна из наиболее важных причин несовместимости РЭС. Так, в системах связи метрового диапазона на долю интермодуляции приходится до 70% случаев нарушения ЭМС непреднамеренными помехами.[1].

Количественной мерой является коэффициент интермодуляции - отношение уровня радиопомехи, возникающей в результате интермодуляции в радиоприемнике, к уровню сигнала, соответствующего чувствительности радиоприемника, определенных на выходе радиоприемника:

$$K_{\text{инт}} = \frac{U_{\text{вых}}(U_c + \Sigma U_{\text{Пп}})}{U_{\text{вых}}(U_c)}, \quad (4.2.1)$$

где  $U_{\text{вых}}(U_c + \Sigma U_{\text{Пп}})$  и  $U_{\text{вых}}(U_c)$  - выходные напряжения при наличии и отсутствии помех,  $U_c = U_{\text{пор}}$  - входное напряжение, соответствующее чувствительности приемника.

Кроме коэффициента интермодуляции используют характеристику частотной избирательности приемника по интермодуляции – зависимость уровня сигналов на входе радиоприемного устройства, создающих интермодуляцию в радиоприемнике от частоты одного из них при заданном коэффициенте интермодуляции в радиоприемнике.

Блокирование, перекрестные искажения и интермодуляция присущи любым типам радиоприемных устройств: супергетеродинным, прямого усиления, с параметрическими усилителями и т.д. Влияние этих нелинейных эффектов уменьшается: при повышении частотной избирательности входных цепей радиоприемника и пассивных цепей его первых каскадов; при приближении характеристики усилительных элементов к линейным, а смесительных к квадратичным во всем диапазоне возможного изменения амплитуд сигналов и помех. Интенсивность помех, обусловленных нелинейными эффектами, пропорциональна  $U_n^3$  и  $U_n^2$  соответственно, где  $U_n$  - амплитуда помехи. Этим объясняется то, что приемник обычно более восприимчив к интермодуляционным помехам, чем к помехам, вызывающим перекрестные искажения и блокирование.

### 4.3 Описание лабораторной установки

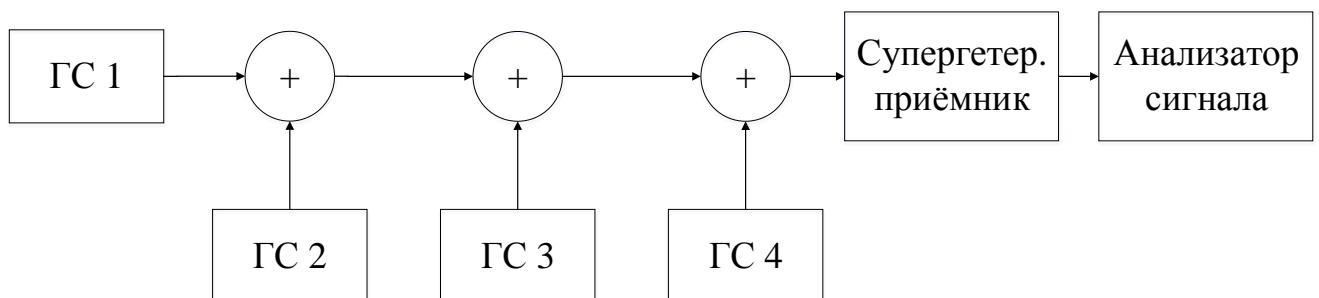


Рисунок 4.3.1 - Функциональная схема установки для исследования эффекта интермодуляционных искажений РПУ.

Схема включает в себя:

- ГС 1 – источник сигнала (рис. 4.4.2);



- ГС 2,3,4 – источники сигнала имитирующие модулирующие помехи;
- РПУ – супергетеродинный приёмник;
- Анализатор сигнала (осциллограф).

Сигнал модулируется по амплитуде внутренним модулятором (ГС 1), помехи (ГС 2, ГС 3, ГС 4) модулированы аналогичным способом по амплитуде, но уже с отличными частотами и амплитудами напряжений, чем ГС 1. В сумматорах проводится сложение сигналов и помех, откуда далее она поступает в приёмник. К низкочастотному выходу приёмника подключен анализатор сигнала для визуальной регистрации эффекта интермодуляции. Анализатор сигнала может быть, как осциллографом, так и спектроанализатором (в зависимости от режима просмотра).

#### 4.4 Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с программой моделирования процессов *SystemVue*.
- 2) Изучить функциональную схему устройства лабораторной работы
- 3) Собрать лабораторный макет согласно блок схеме изображенной на рис. 4.4.1
- 4) Снять значения эюр напряжений, с анализатора сигнала на выходе РПУ, зафиксировать значения  $U_{\Sigma\text{ВЫХ}}$ .
- 5) Рассчитать коэффициент интермодуляции по формуле (4.1).
- 6) Построить графики зависимость амплитудной характеристики РПУ  $K_{\text{инт}} = \varphi(U_{\text{пвх}})$ .

Блок-схема лабораторной установки, представлена на рис. 4.4.1:

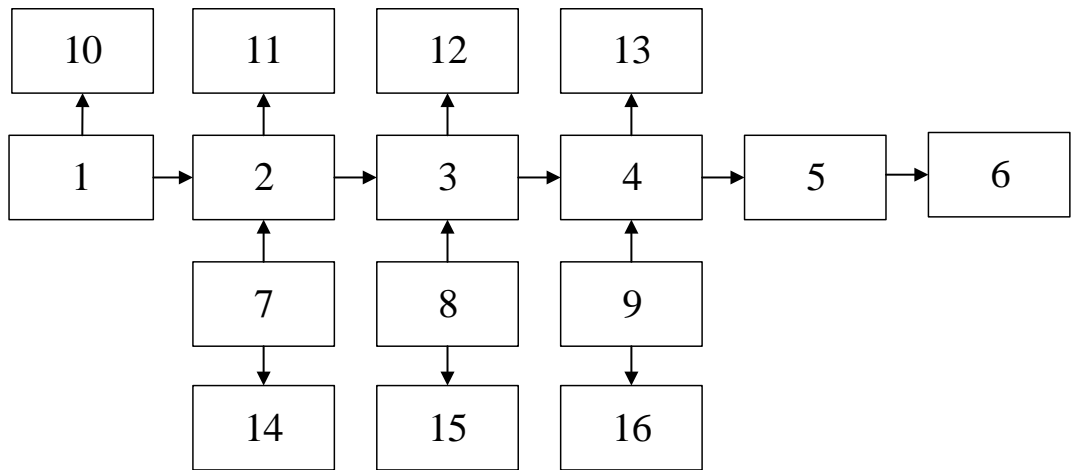


Рисунок 4.4.1 - Лабораторная установка собранная в *SystemVue*

1 – Генератор информационного амплитудного сигнала;  
 2,3,4 – Сумматоры сигналов;  
 5 – Супергетеродинный приёмник;  
 6 – Анализатор сигнала на выходе РПУ;  
 7,8,9 – Генераторы амплитудно – модулированных помех;  
 10 - Анализатор сигналов на выходе информационного амплитудного сигнала;

11,12,13 - Анализаторы сигналов на выходе сумматоров;

14,15,16 - Анализаторы сигналов на выходе генераторов помех.

Собрать метасистему информационно амплитудно – модулированного сигнала можно по следующей схеме рис. 4.4.2.

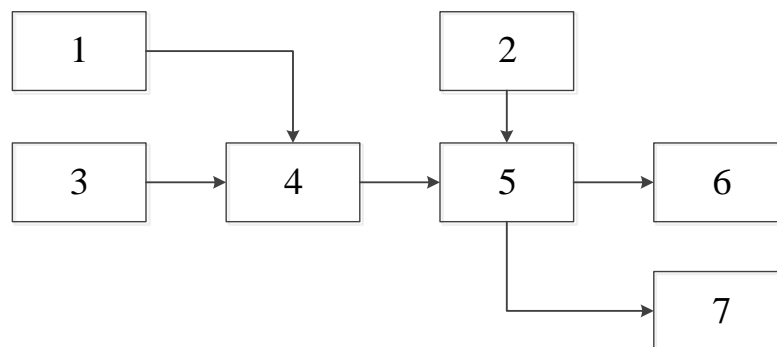


Рисунок 4.4.2 – Блок схема генератора амплитудно – модулированного сигнала.

1 – Источник модулирующего сигнала;

- 2 – Источник несущего сигнала;
- 3 – Ступенчатая функция;
- 4 – Сумматор;
- 5 – Умножитель;
- 6,7 – Выход метасистемы.

Входное напряжение сигнала принять равной  $U_{\text{свх}}=1$  В. Частоту сигнала  $f_c=25,02$  кГц. Для этого, дважды щелкнув левой клавишей мышки по функциональному блоку, имитирующему генератор информационного сигнала,. На рабочем поле программы раскроется окно «Источник сигнала» рисунок 4.4.3:

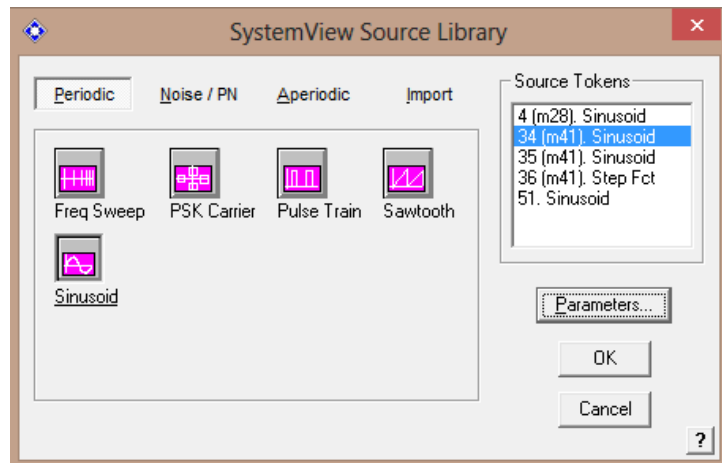


Рисунок 4.4.3 – Выбор типа источника сигнала

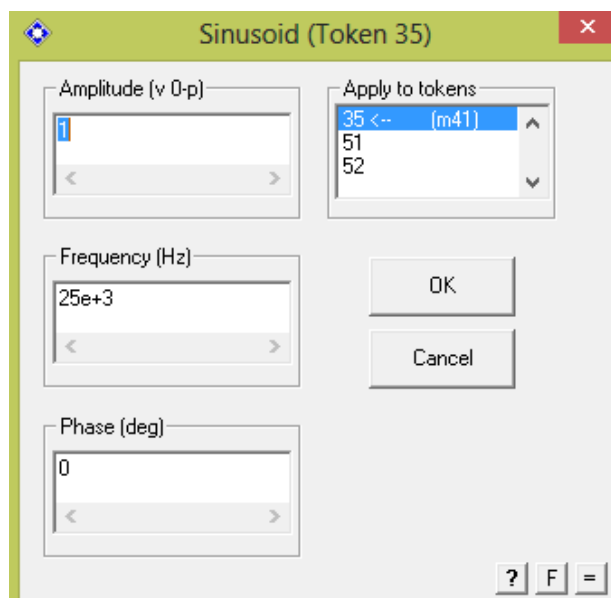


Рисунок 4.4.4 – Выбор параметров источника сигнала

В поле «*Amplitude [v]*» выставляется желаемая амплитуда несущего сигнала, в поле «*Frequency [Hz]*» - его частота, в поле «*PHASE (deg)*» - начальная фаза. После чего нажать кнопку «ОК». На рис 4.4 в окне показана схема формирования амплитудно-модулированного сигнала. Несущий сигнал генерируется синусоидальным источником. Параметры сигнала даны в. Несущий сигнал перемножается с модулирующим в перемножителе. Источником модулирующего напряжения является сумма сигнала источника синусоидального напряжения и ступенчатой функции. Параметры модулирующего сигнала приведены установить согласно варианту из таб. 4.5.1.

Частоты помех отличаются от частоты сигнала, но находится внутри полосы пропускания приемника. Параметры источников помехи изменяются так же, как и у источника сигнала. Помехами является модулированный синусоидальный сигнал, образованный по аналогии с блок схемой генератора информационного амплитудного сигнала (рис. 4.4.2). Количество генераторов созданных помех выбрать произвольно (2–3).

Увеличивая входное напряжение помехи, будем следить за изменением суммарного (сигнал и помеха) напряжения на выходе РПУ

В качестве РПУ выберем супергетеродинный приёмник реализованный по схеме (рисунок 4.4.5).

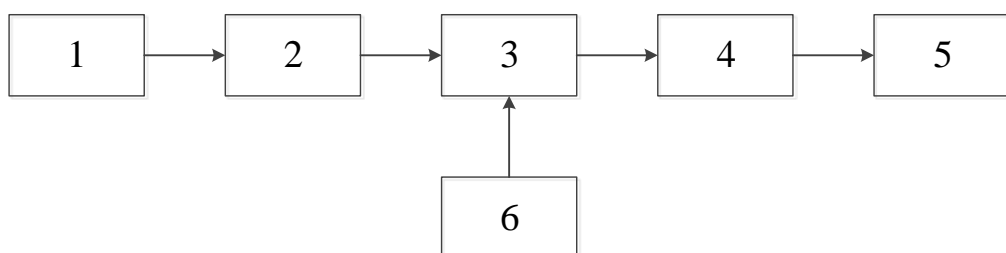


Рисунок 4.4.5 – Блок-схема супергетеродинный приёмник

- 1 – Вход метасистемы;
- 2 – Преселектор;
- 3 – Смеситель;

- 4 – Демодулятор;
- 5 – Выход метасистемы;
- 6 – Гетеродин.

Демодулятор приёмника представлен на рис. 4.4.6.

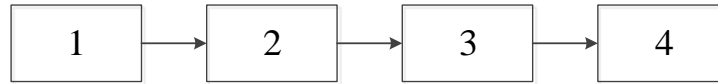


Рисунок 4.4.6 – Блок – схема демодулятора приёмника

- 1 – Вход метасистемы;
- 2 – Полупроводниковый диод;
- 3 – ФНЧ;
- 4 – Выход метасистемы.

После запуска системы (нажатие кнопки ), необходимо нажать на кнопку «*Analysis Window*».

Получить эпюры, дающие наглядное представление о характере сигналов и их проходимости через тракт РПУ. Значение амплитуды можно узнать, наведя курсор мыши на эпюру. Величина отображается в верхнем правом углу окна «*SystemVue Analysis*».

Данные измерений занести в табл. 4.4.1.

При незначительных напряжениях  $U_{\text{пвх}}$  выходной сигнал  $U_{\text{вых}}$  изменяется слабо и не имеет искажений, а при дальнейшем увеличении  $U_{\text{пвх}}$ , сигнал на выходе сначала искажается, а затем начинает уменьшаться по амплитуде.

Оставляя частоту и амплитуду входного сигнала постоянной, необходимо увеличивать частоту помехи в пределах полосы пропускания РПУ при постепенном повышении  $U_{\text{пвх}}$ . с шагом в 100мВ. Шаг перестройки, частоты помехи, принять равным 0,04 кГц. Данные измерений записывать в таблицу 4.4.1.

Рассчитать коэффициент интермодуляции по формуле:

$$K_{\text{инт}} = \frac{U_{\text{вых}}(U_c + \sum U_{\text{П}i})}{U_{\text{вых}}(U_c)} \quad (\text{А 4.4.1})$$

Полученные значения  $K_{\text{инт}}$  так же занести в таблицу А 4.4.1. Построить график амплитудной зависимости характеристики интермодуляции РПУ в виде зависимости  $K_{\text{инт}} = \varphi(U_{\text{пвх}})$  при  $U_{\text{сввых}} = \text{const}$ .

Таблица А 4.4.1

№	$U_{\text{вых}}(U_c + \sum U_{\text{П}i}), \text{В}$	$U_{\text{вых}}(U_c), \text{В}$	$K_{\text{инт}}$	$U_{\text{пвх}}, \text{В}$
1				
2				
3				
4				
5				

#### А 4.5 Домашнее задание:

Изучение теоритического материала по интермодуляции сигналов в радиоприёмном устройстве и его реализацию на гетеродинной основе.

Требование к отчету:

По результатам лабораторной работы каждому студенту необходимо составить индивидуальный отчет, содержащий:

1. Краткие теоретические сведения.
2. Функциональную схему установки для исследования эффекта интермодуляции в РПУ.
3. Формулу расчета  $K_{\text{инт}}$ .
4. Заполненные таблицы со снятыми и рассчитанными значениями.
5. Иллюстративный материал зависимостей  $K_{\text{инт}} = \varphi(U_{\text{пвх}})$ .
6. Выводы по работе

Примечание:

В качестве источника помехи допускается использование функции косинуса. Возможные варианты, исследования эффекта интермодуляции для студентов отображены в таблице А 4.5.1.

Таблица А 4.5.1

<i>№</i>	<i>f<sub>c</sub>, кГц</i>	<i>f<sub>п</sub>, кГц</i>	<i>U<sub>свх</sub>, В</i>	<i>U<sub>пвх</sub>, В</i>
1	25	25,025	1	0,5
2	25	25,017	0,9	0,5
3	25	25,022	0,96	0,55
4	25	25,031	1,1	0,57
5	25	25,015	0,9	0,5
6	25	25,032	1,2	0,75
7	25	25,022	0,96	0,55
8	25	25,026	1	0,5
9	25	25,037	1,2	0,6
10	25	25,023	0,97	0,56
11	25	25,034	1,1	0,59
12	25	24,022	0,96	0,55

#### А 4.6 Контрольные вопросы:

1. Что такое восприимчивость радиоприёмного устройства?
2. Что такое характеристика частотной избирательности?
3. Объясните влияние нелинейных эффектов на избирательность РПУ.
4. Поясните эффект интермодуляции радиоприемного устройства.
5. Что такое коэффициент интермодуляции РПУ?
6. В каких пределах и единицах измеряется  $K_{\text{инт}}$  ?

#### 4.7 Список литературы

1. Ефанов В. И., Тихомиров А. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: учебное пособие / Ефанов В. И., Тихомиров А. А. — ТУСУР, 2012.
2. Уайт Д. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи: Пер. с англ. Вып. 1 / Под ред. А. И. Сапгира. – М.: Сов. радио, 1977. 348 с
3. Емельянов В.Е., Солозобов М.Е. Теория и методы оценки электромагнитного взаимодействия РЭО: пособие по выполнению лабораторных работ / Емельянов В.Е., Солозобов М.Е. — МГТУ ГА, 2014.
4. Златин И.В. *SystemVue 6.0 (SystemVue)*. Системное проектирование радиоэлектронных устройств. / *Agilent Technologies* – Москва 2006г.
5. Рембовский А.М. Радиомониторинг. Задачи, методы, средства / В.В. Быков – Москва. Горячая линия – Телеком, 2010 – 624с



## 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПЕРЕКРЁСТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В РАДИОПРИЁМНОМ УСТРОЙСТВЕ

### 5.1 Краткие теоретические сведения и основные расчетные соотношения

Восприимчивость РПУ, как его свойство реагировать на непреднамеренные электромагнитные помехи (НЭМП), определяется частотной избирательностью, которая представляет собой зависимость амплитуды помехи на входе от ее частоты при фиксированном отношении помеха/шум, либо амплитуде информационного сигнала, либо значением коэффициента перекрестных искажений —  $K_{ПИ}$ . Взаимодействие НЭМП за пределами основного канала приёма (ОКП) и полезного сигнала на нелинейности, приводящей к искажению временной и спектральной структуры полезного сигнала на выходе РПУ, т.е. восприимчивость РПУ к мультипликативным помехам, зависит от характеристики частотной избирательности (ХЧИ) по перекрестным искажениям.

Такая ХЧИ представляет зависимость амплитуды мешающего модулированного радиосигнала на входе от частоты этого сигнала при заданном коэффициенте перекрестных искажений  $K_{ПИ}$ .

$$A_{П}(f, m_{П}) = \Phi_{пер} [K_{ПИ} = const, m_{П}, A_0(f_0), f], \quad (5.1.1)$$

где  $m_{П}$  — коэффициент соответствующего вида модуляции мешающего сигнала,  $A_{П}(f, m_{П})$  — амплитуда НЭМП на входе РПУ,  $A_0(f_0)$  — амплитуда полезного сигнала на входе РПУ.

В практических задачах удобно использовать следующее выражение для коэффициента перекрестных искажений:

$$K_{ПИ} = \frac{|U_{\Sigma\_вых} - U_{с\_вых}|}{U_{с\_вых}}, \quad (5.1.2)$$

где  $U_{\Sigma\_вых}$  — напряжение на выходе приёмника при наличии помехи;  $U_{с\_вых}$  — напряжение на выходе приёмника при отсутствии помехи.

Способность РПУ принимать сигнал в присутствии сильной помехи с допустимыми перекрестными искажениями определяется динамическим диапазоном РПУ по перекрестным искажениям:

$$D_{\text{пер}}(f) = \frac{A_{\text{П}}(f, m_{\text{П}})}{A_0(f_0)} = \Phi_{\text{пер}}[K_{\text{ПН}} = \text{const}, A_{\text{П}}(f), A_0(f_0), f], \quad (5.1.3)$$

где  $D_{\text{пер}}(f)$  — динамический диапазон РПУ по перекрестным искажениям,  $A_{\text{П}}(f, m_{\text{П}})$  — амплитуда НЭМП на входе РПУ,  $A_0(f_0)$  — амплитуда полезного сигнала на входе РПУ,  $m_{\text{П}}$  — коэффициент соответствующего вида модуляции мешающего сигнала. [3]

## 5.2 Описание лабораторной установки

На рис. 5.2.1 изображена подробная блок-схема лабораторного макета по исследованию перекрестных искажений в РПУ.

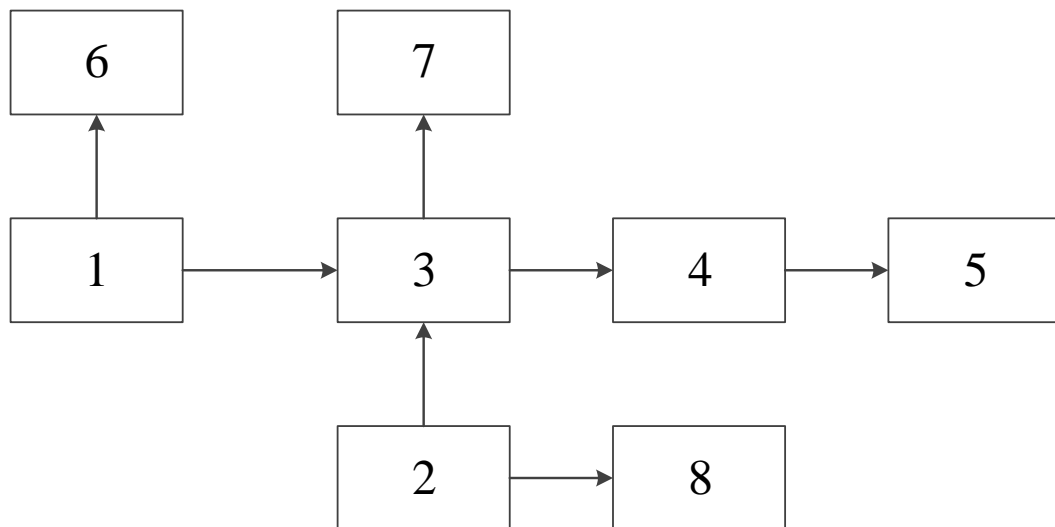


Рис. 5.2.1 — Подробная блок-схема лабораторного макета, где 1 — генератор информационного АМ сигнала (ГС 1); 2 — генератор амплитудно-модулированной помехи (ГС 2); 3 — сумматор сигналов (имитатор антенны); 4 — РПУ; 5 — анализатор сигналов на низкочастотном выходе РПУ; 6 — анализатор сигнала на выходе генератора информационного амплитудно-модулированного сигнала; 7 — анализатор суммы сигналов; 8 — анализатор сигнала на выходе генератора сигнала помехи;

Генератор ГС 1 имитирует полезный информационный сигнал, генератор ГС 2 — помеху. И сигнал, и помеха моделируется по амплитуде: сигнал модулируется напряжением частотой 250 Гц, помеха модулируется напряжением частотой 200 Гц внутреннего модулятора ГС 2. В антенне (вместо антенны используется сумматор) проводится сложение полезного сигнала и помехи. Далее эта сумма поступает в приемник. К низкочастотному выходу приемника подключен анализатор сигнала, который может служить как осциллографом, так и спектроанализатором (в зависимости от режима просмотра) для регистрации эффекта перекрестных искажений.

ГС 1 и ГС 2 представляют собой два одинаковых генератора сигналов (блок-схема которых изображена на рисунке 5.2.2) с небольшой разницей. Отличия между ними в том, что ГС 1 генерирует полезный информационный сигнал, а ГС 2 — модулированную помеху.

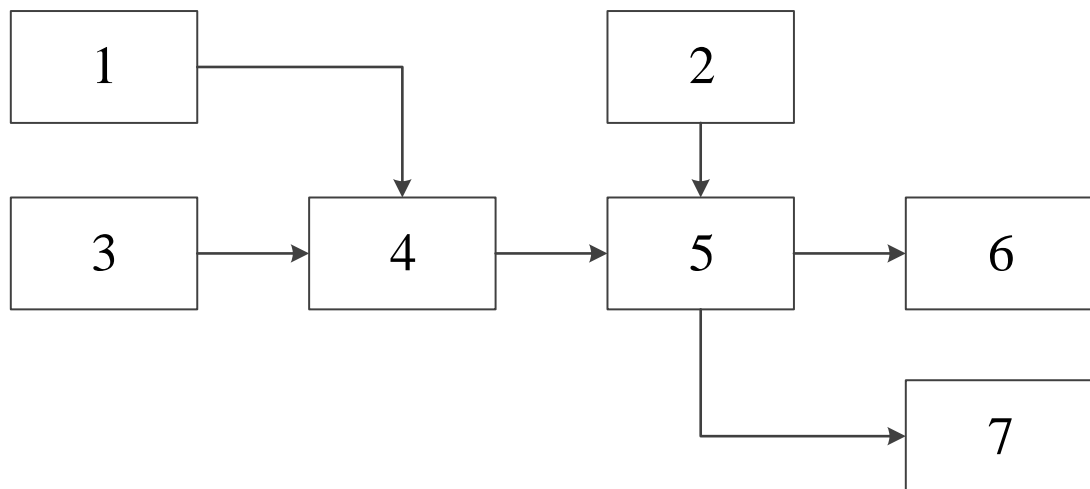


Рис. 5.2.2 — Блок-схема генераторов сигналов ГС1 и ГС2, где 1 — источник модулирующего сигнала; 2 — источник несущего сигнала; 3 — ступенчатая функция; 4 — сумматор; 5 — умножитель; 6, 7 — выходы метасистемы.

На рисунке 5.2.3 показан общий вид схемы РПУ, принимающий и демодулирующий сумму полезного сигнала и помехи.

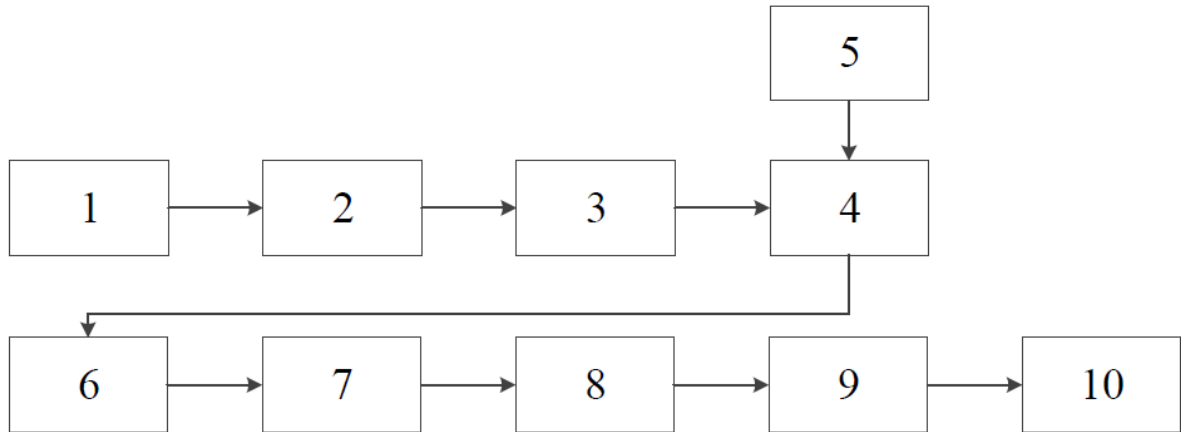


Рис. 5.2.3 — Блок-схема РПУ,

где 1 — вход метасистемы; 2 — полосовой фильтр Батерворда (24–26 кГц); 3 — усилитель (3 дБ); 4 — смеситель; 5 — гетеродин (20 кГц; 3 В); 6 — полосовой фильтр Батерворда (4–6 кГц); 7 — усилитель (3 дБ); 8 — полупроводниковый диод (D-Anode); 9 — фильтр низких частот Чебышева (400 Гц); 10 — выход метасистемы.

### 5.3 Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со средой моделирования — САПР SystemVue (приложение А).

2. Изучить функциональную схему устройства лабораторной работы и её частей (раздел 5.2).

3. Снять амплитудную характеристику РПУ по перекрестным искажениям. Перед проведением компьютерного эксперимента необходимо установить начальные значения напряжений и частот генераторов сигналов ГС1 и ГС2. Параметры генераторов сигналов:

ГС 1:  $f_{м_с}=250$  Гц,  $U_{м_с}=0,5$  В,  $f_{н_с}=(\text{зависит от варианта})$ ,  $U_{н_с}=1$  В.

ГС 2:  $f_{м_п}=200$  Гц,  $U_{м_п}=0,5$  В,  $f_{н_п}=(\text{зависит от варианта})$ ,  $U_{н_п}=U_{п}>1$  В (меняется).

Устанавливается входное напряжение сигнала  $U_{н_с}=1$  В, и частота сигнала  $f_{н_с}$ . Частота полезного сигнала зависит от варианта. Варианты

приведены в таблице 5.3.3. Для задания параметров сигнала необходимо дважды щёлкнуть мышью по функциональному блоку генератора полезного сигнала (ГС 1). Откроется метасистема генератора сигнала. Далее нужно дважды щёлкнуть на блок, отвечающий за настройки источника несущего сигнала. В открывшемся окне (рис. 5.3.1) нажать кнопку «Parameters», зайдя тем самым в настройки источника несущего сигнала (рис. 5.3.2). В первом поле (Amplitude) задаётся амплитуда сигнала, во втором поле (Frequency) — частота.

Аналогичным образом устанавливается начальная амплитуда помехи  $U_{н\_п}=1$  В и частота помехи  $f_{н\_п}$ , зависящая от варианта (таблица 5.3.3). Для этого нужно зайти в метасистему генератора амплитудно-модулированной помехи (ГС 2) и таким же образом, как описано выше, изменить настройки источника несущего сигнала. После установки начальных условий системы, необходимо запустить симуляцию процесса. Симуляция активируется зелёной кнопкой «Run system» на панели в верхней части окна программы (показана на рис. 5.3.3), либо нажатием клавиши F5 на клавиатуре.

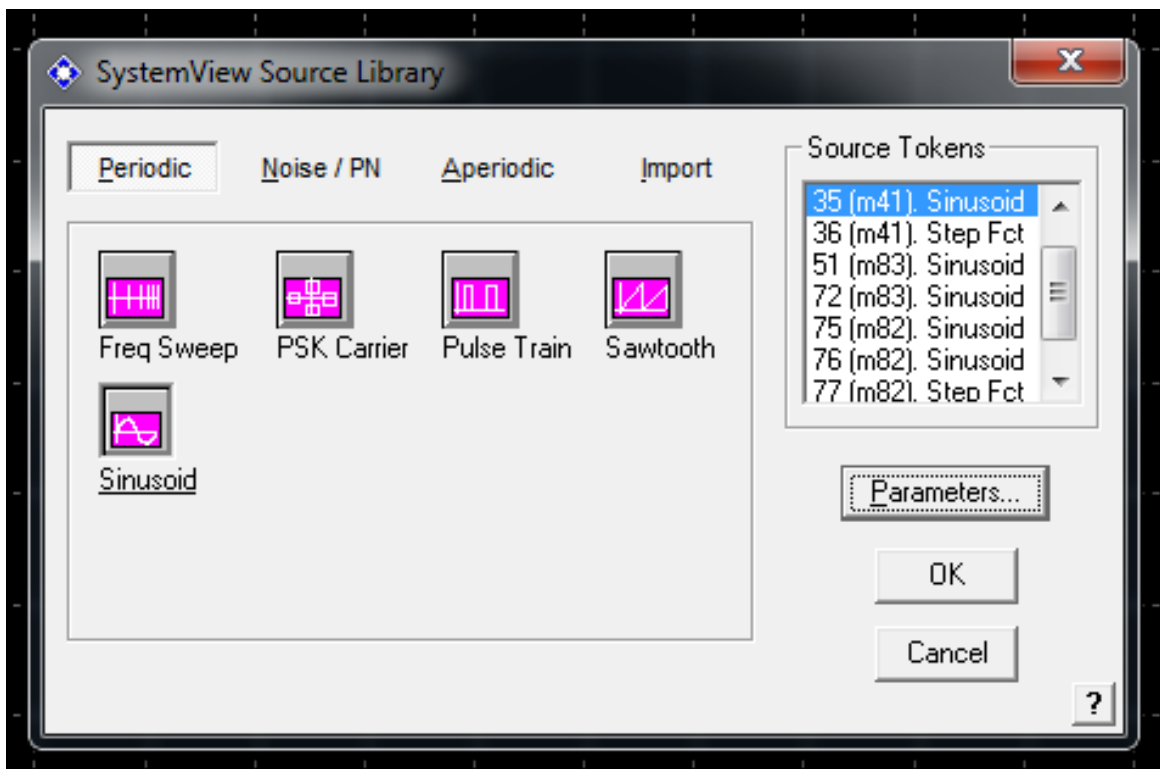


Рис. 5.3.1 — Общее окно настроек

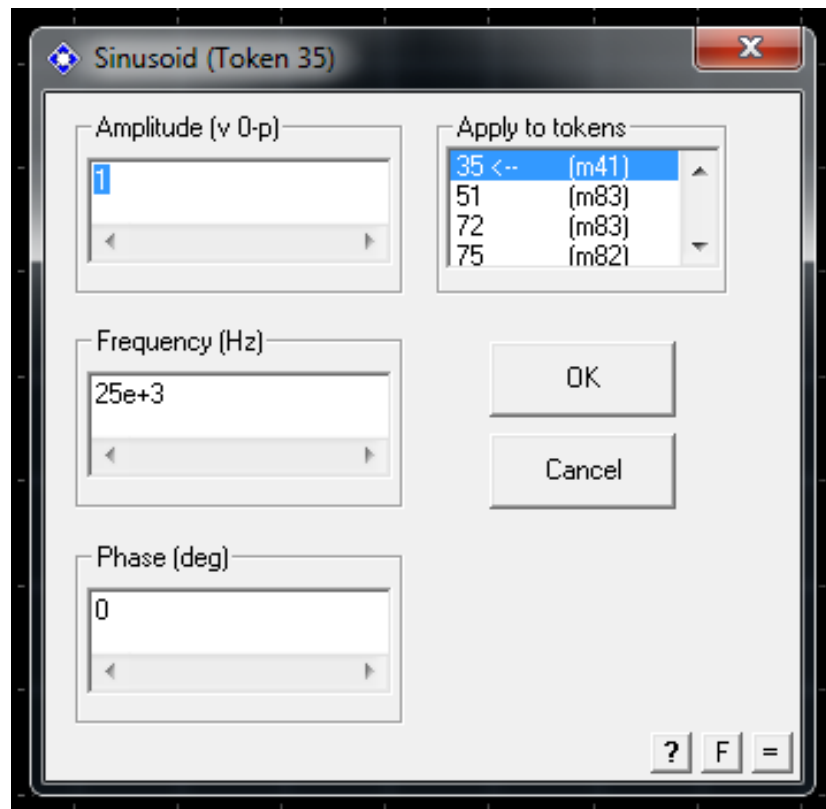


Рис. 5.3.2 — Окно настроек генератора

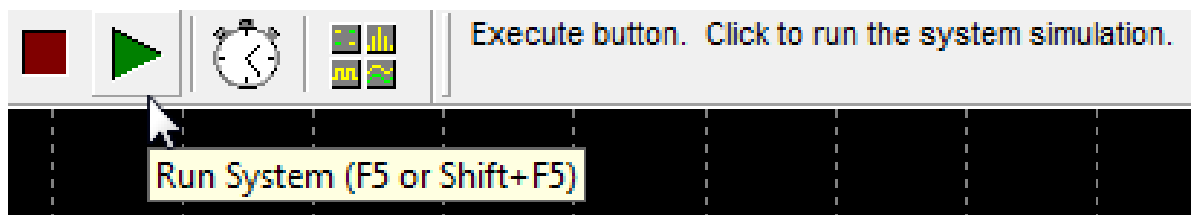


Рис. 5.3.3 — Кнопка запуска симуляции процесса

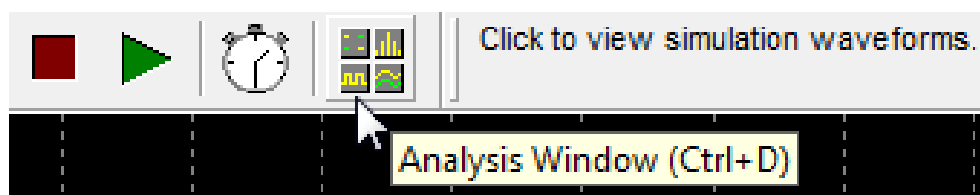


Рис. 5.3.4 — Кнопка открытия окна просмотра анализаторов сигналов

Частота помехи отличается от частоты сигнала, но находится внутри полосы пропускания приемника. Увеличивая входное напряжение помехи ( $U_n$ ) нужно следить за изменением суммарного (сигнал+помеха) напряжения на выходе РПУ. Для наблюдения изменения КПИ необходимо изменять

напряжение  $U_{н\_п}$  в диапазоне от 0 (для наблюдения отсутствия перекрёстных искажений) до 8 В и измерять значение напряжения на выходе приёмника.

Для того чтобы снять значение амплитуды сигнала  $U_{\Sigma\_ВЫХ}$  необходимо, после запуска симуляции процесса, открыть окно просмотра анализаторов сигналов. Для этого нужно нажать на кнопку «Analysis Window» на панели в верхней части окна программы (показана на рис. 5.3.4), либо нажать сочетание клавиш Ctrl+D на клавиатуре.

В открывшемся окне будет доступно 4 графика: полезный информационный сигнал, помеха, сигнал с выхода сумматора полезного сигнала и помехи, сигнал на выходе РПУ. Именно сигнал на выходе РПУ и показывает необходимые значения напряжения  $U_{\Sigma\_ВЫХ}$ . Амплитуда рассчитывается путём нахождения значения напряжений в соседних максимальной и минимальной точках графика и деления этой величины на два.

Значения  $U_{н\_п}$  и  $U_{\Sigma\_ВЫХ}$  заносятся в таблицу 5.3.1. В эту же таблицу необходимо (во все строки) занести значение  $U_{с\_ВЫХ}$  (то есть, напряжение на выходе приёмника ( $U_{\Sigma\_ВЫХ}$ ) при отсутствии помехи ( $U_{н\_п}=0$  В)). Это нужно для удобства последующего расчёта  $K_{пн}$ .

На рисунках 5.3.5–5.3.9 показаны примеры входных и выходного сигналов при различных настройках системы (в частности — с наличием помехи и без неё).

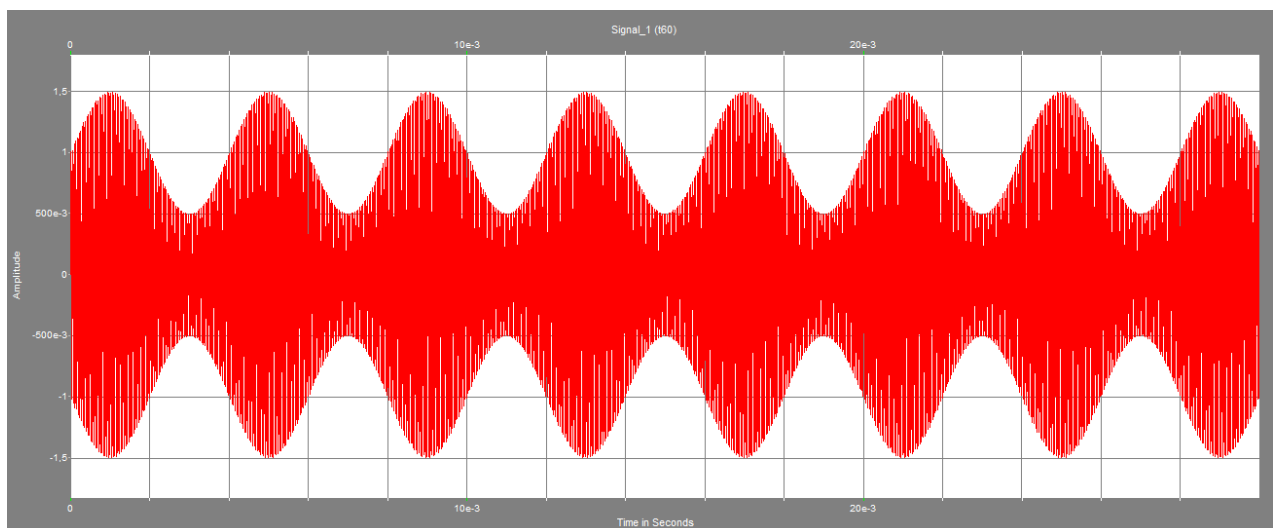


Рис. 5.3.5 — Полезный информационный АМ сигнал

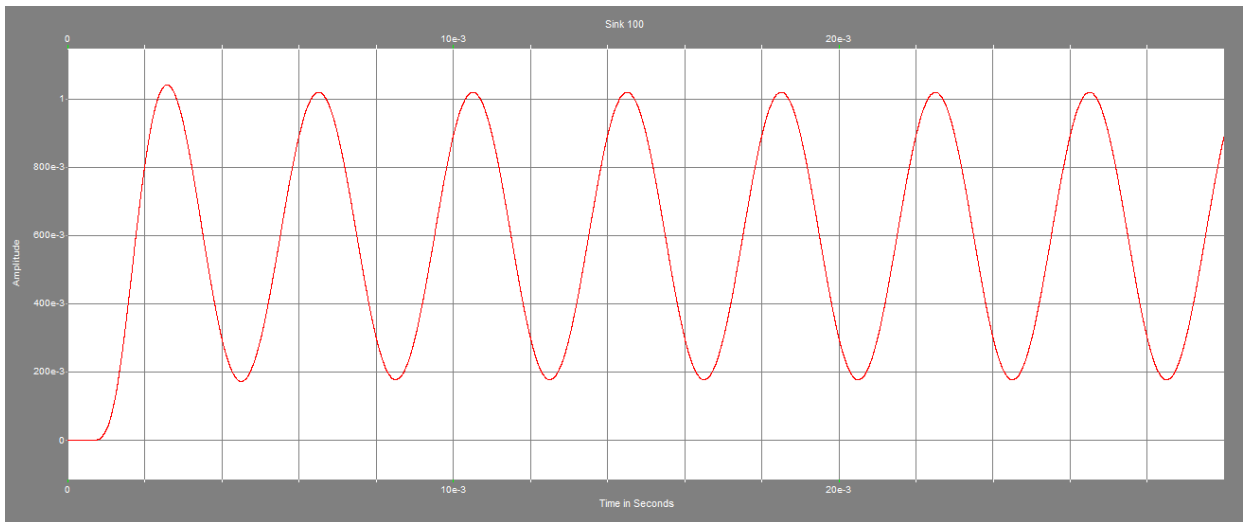


Рис. 5.3.6 — Демодулированный сигнал (при отсутствии помехи)

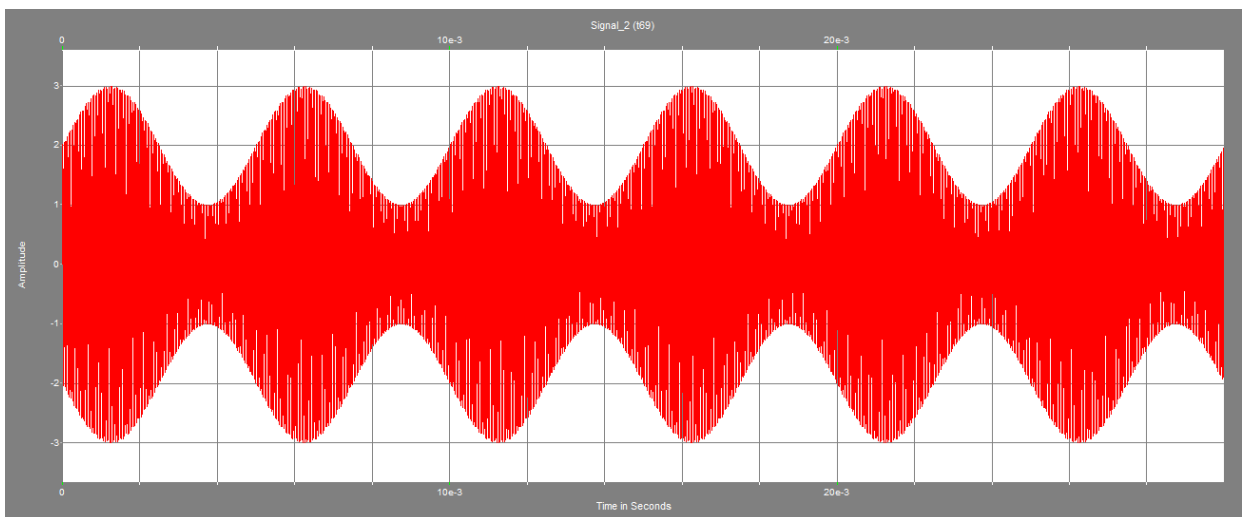


Рис. 5.3.7 — Сигнал помехи

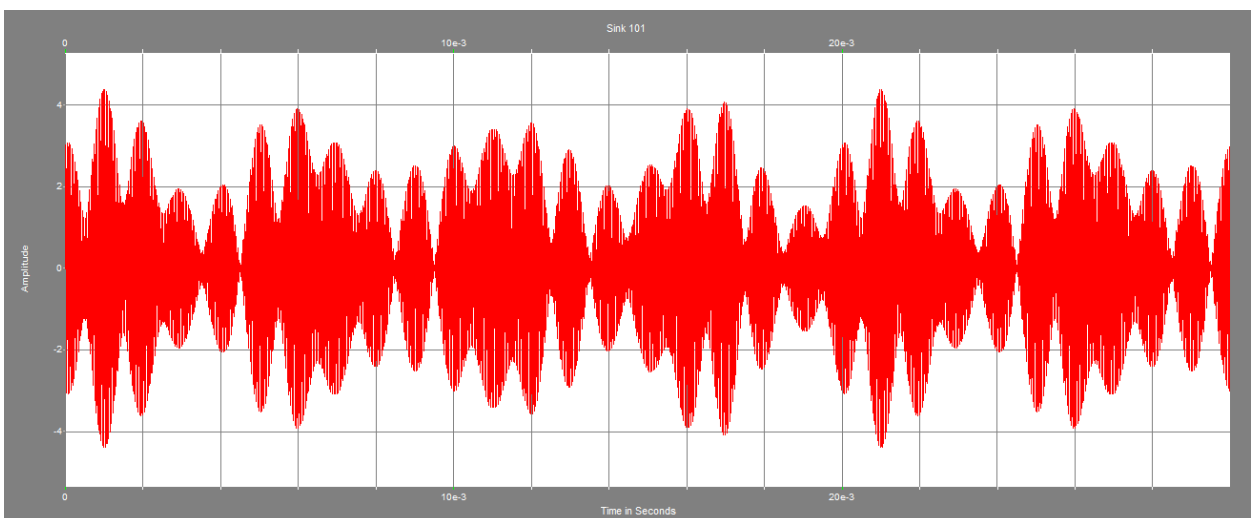


Рис. 5.3.8 — Сумма полезного сигнала и помехи



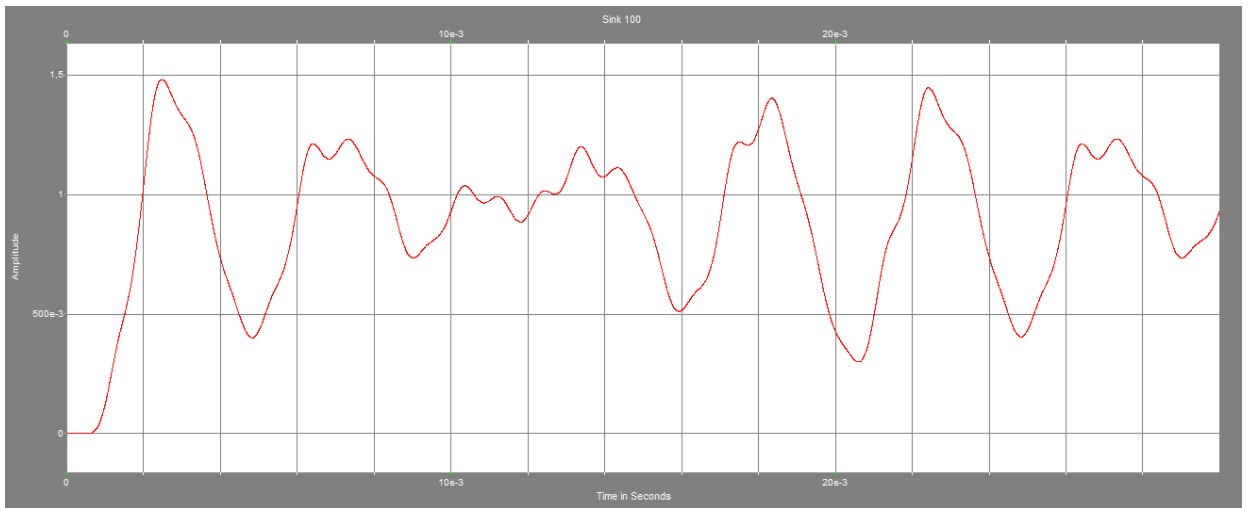


Рис. 5.3.9 — Демодулированный сигнал суммы полезного сигнала и помехи

Таблица 5.3.1 — Зависимость  $U_{\Sigma\_ВЫХ}$  от  $U_{П}$  и  $K_{ПИ}$  от  $U_{Н\_П}$

$U_{Н\_П}$ , В	$U_{\Sigma\_ВЫХ}$ , мВ	$U_{с\_ВЫХ}$ , мВ	$K_{ПИ}$
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

4. Рассчитать коэффициент перекрестных искажений.  $K_{ПИ}$  рассчитывается по формуле 5.1.2. Получившиеся значения  $K_{ПИ}$  заносятся в таблицу 5.3.1

5. Построить графики зависимостей амплитудной характеристики РПУ по перекрестным искажениям.

По значениям из таблицы 5.3.1 строятся графики характеристики РПУ по перекрестным искажениям в виде зависимостей  $U_{\Sigma\_вых}=\varphi(U_{н\_п})$  при  $U_{н\_с}=const$ , а также зависимость  $K_{ши}=\varphi(U_{н\_п})$ .

6. Далее необходимо провести оценку эффективной избирательности РПУ по перекрестным искажениям. Оставляя частоту и амплитуду входного сигнала постоянными и равными  $U_{н\_с}=1$  В;  $f_{н\_с}=25$  кГц ( $f_{н\_с}$  зависит от варианта — таблица 5.3.3), необходимо изменять частоту помехи  $f_{н\_п}$  при  $U_{н\_п}=2$  В в пределах полосы пропускания РПУ, определяемой полосовым фильтром Чебышева и равной 4 кГц (от 23 до 27 кГц). Меняя  $f_{н\_п}$  (с шагом в 0,1 кГц — три раза в отрицательную сторону, три раза — в положительную) снимаются показания амплитуды сигнала  $U_{\Sigma\_вых}$ . Способ установки необходимых величин  $U_{н\_с}$ ,  $f_{н\_с}$ ,  $U_{н\_п}$  и  $f_{н\_п}$  подробно описан выше. Данные измерений заносятся в таблицу 5.3.2.

Таблица 5.3.2 — Зависимость  $U_{\Sigma\_вых}$  от  $f_{н\_п}$

$f_{н\_п}$ , кГц	$f_{н\_п}-0,3$	$f_{н\_п}-0,2$	$f_{н\_п}-0,1$	$f_{н\_п}$	$f_{н\_п}+0,1$	$f_{н\_п}+0,2$	$f_{н\_п}+0,3$
$U_{\Sigma\_вых}$ , мВ							

7. По значениям из таблицы 5.3.2 строится график зависимости амплитуды выходного сигнала от частоты помехи ( $U_{\Sigma\_вых}$  от  $f_{н\_п}$ ).

Таблица 5.3.3 — Варианты входных данных

№	$f_{н\_с}$ , кГц	$f_{н\_п}$ , кГц
1	24,75	26
2	25	25,9
3	25,25	25,8
4	25	25,7
5	24,75	25,8
6	25	25,9
7	25,25	26
8	25	26,1
9	24,75	26,2
10	25	26,3

Продолжение таблицы 5.3.3

11	25,25	26,2
12	25	26,1
13	24,75	26
14	25	25,9
15	25,25	25,8

#### 5.4 Требования к отчёту

По результатам проведённой лабораторной работы каждому студенту необходимо составить индивидуальный отчет, содержащий иллюстративный материал зависимостей  $U_{\Sigma\_вых}=\varphi(U_{н\_п})$ ,  $K_{пи}=\varphi(U_{н\_п})$ ,  $U_{\Sigma\_вых}=\varphi(f_{н\_п})$ .

Отчёт должен содержать:

- краткие теоретические сведения;
- заполненные таблицы со снятыми и рассчитанными значениями;
- построенные графики;
- выводы по работе.

#### 5.5 Домашнее задание

- Изучение теоретического материала по тематике лабораторной работы.
- Анализ модели процесса перекрёстных искажений в РПУ.

#### 5.6 Контрольные вопросы

1. Что такое перекрёстные искажения?
2. Что такое интермодуляция?
3. Что такое электромагнитная обстановка?

4. Что такое коэффициент перекрёстных искажений и как он измеряется?

5. Изобразите общую блок-схему установки для изучения воздействия помех на РПУ двухсигнальным способом.

### 5.7 Список литературы

1. Ефанов В. И., Тихомиров А. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем: учебное пособие / Ефанов В. И., Тихомиров А. А. — ТУСУР, 2012.

2. ГОСТ 23611-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.

3. Емельянов В.Е., Солозобов М.Е. Теория и методы оценки электромагнитного взаимодействия РЭО: пособие по выполнению лабораторных работ [Электронный ресурс] / Емельянов В.Е., Солозобов М.Е. — МГТУ ГА, 2014. — Режим доступа: <http://storage.mstuca.ru/handle/123456789/7849> (дата обращения 20.01.2015).

4. Бобров Н.В. Радиоприёмные устройства: учебное пособие / Бобров Н.В. — Москва: Энергия, 1976.

6. Загидуллин Р.Ш., Карутин С.Н., Стешенко В.Б. SystemVue: схемотехническое моделирование устройств обработки сигналов / Загидуллин Р.Ш., Карутин С.Н., Стешенко В.Б., под редакцией кандидата технических наук Стешенко В.Б. — Москва, Горячая линия-Телеком, 2005.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### (справочное)

#### **Краткое руководство пользователя по работе в САПР *SystemVue***

В качестве мощного и удобного средства анализа и разработки радиотехнических средств удобно использовать пакет САПР *SystemVue* компании «*Keysight technologies*», который обеспечивает возможность всестороннего анализа свойств систем, включая алгоритмы аналоговой или цифровой обработки сигналов, синтеза фильтров, анализа и синтеза систем управления и систем связи. Пакет САПР *SystemVue* осуществляет моделирование динамических систем на уровне функциональных блоков [6].

Открытая архитектура пакета даёт возможность пользователям и разработчикам выпускать собственные дополнения и подключать их в виде динамических библиотек.

Система содержит множество дополнительных средств для наращивания и усложнения модели с целью максимального приближения её к реальной аппаратуре. Внутренние средства анализа ограничены лишь осциллографом и анализатором спектра, но в системе имеется возможность записи временное реализации в файл, что позволяет выполнять обработку данных с помощью других программных средств.

Рассмотрим программный интерфейс САПР *SystemVue*. Окно программы (рис. А 1) содержит меню, панель инструментов (рис. А 2), полосы горизонтальной и вертикальной прокрутки, область проектирования, область сообщений и перечень модулей (рис. А 3).

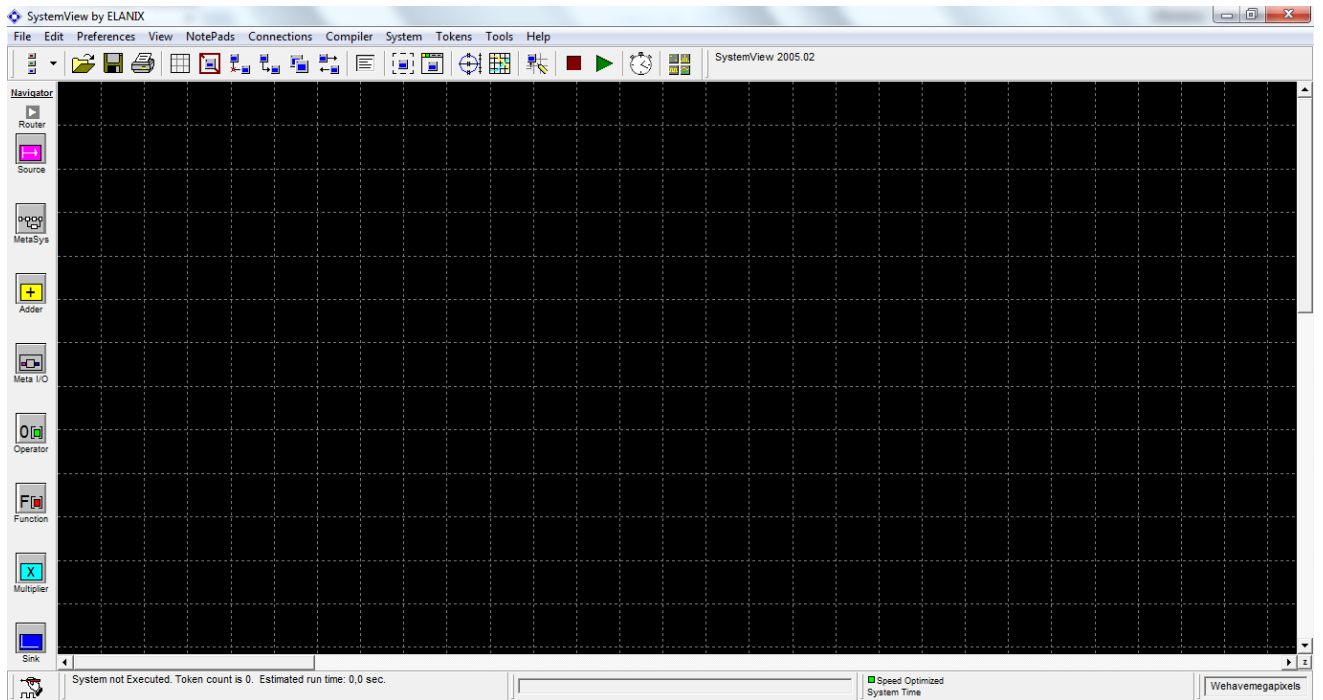


рис. А 1 – Окно программы

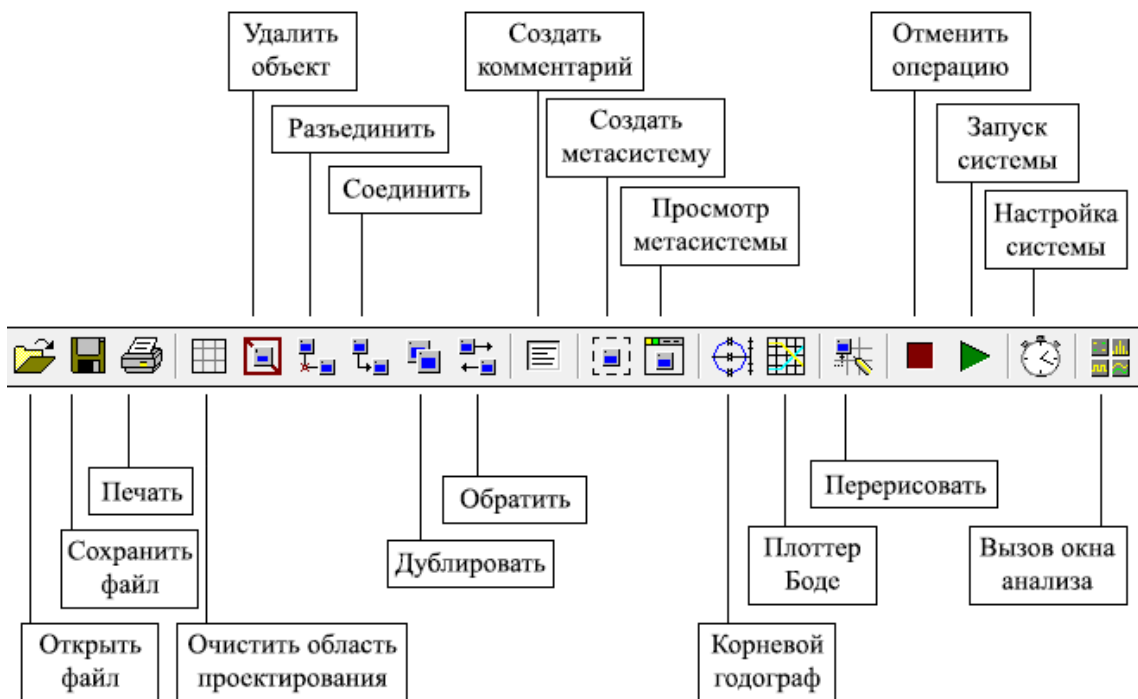


Рис. А 2 — Меню

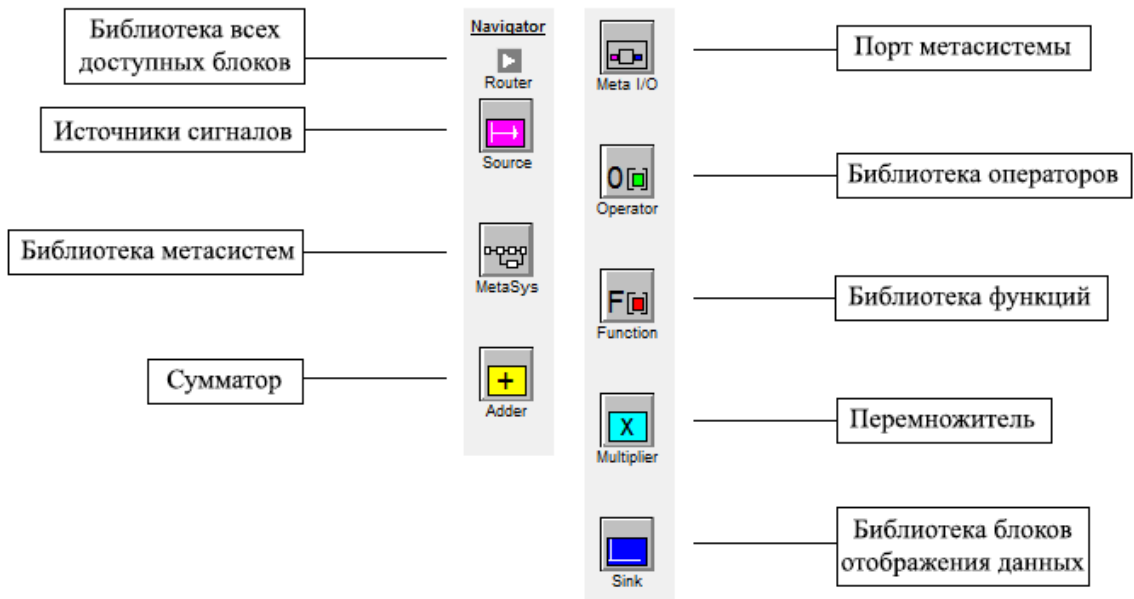


Рис. А 3 — Перечень модулей

Для добавления в проект функционального блока необходимо перетащить значок нужной библиотеки с панели библиотек в поле проекта и выполнить на нём двойной щелчок левой кнопкой мыши (или выполнить щелчок правой кнопкой мыши и в контекстном меню выбрать команду *Library*). На экране появится окно определения блока, аналогичное тому, которое показано на рис. А 4 для библиотеки функций (*Function Library*).

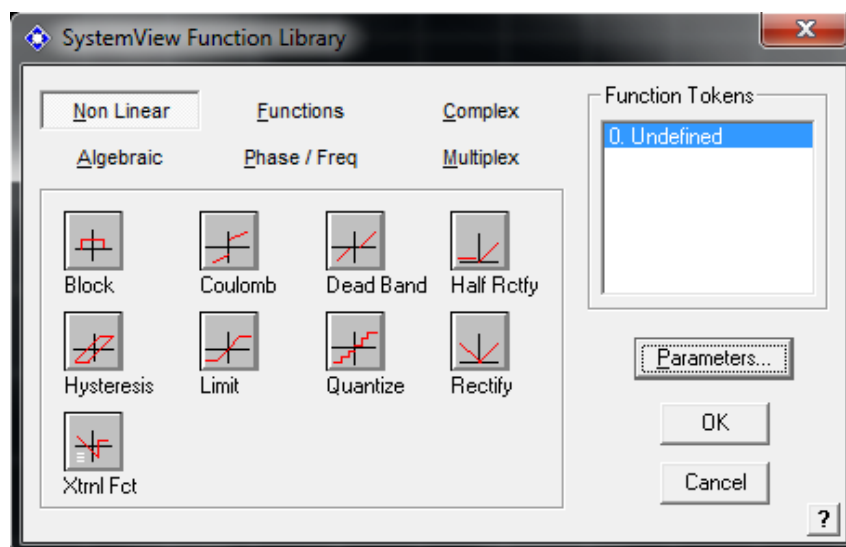


Рис. А 4 — Окно определения блока

Внутри каждой библиотеки примитивы организованы в группы. Например, на рис. А 4 показана группа блоков нелинейных функций (*Non Linear*). Далее следует выбрать нужный блок и нажать кнопку *Parameters*. Типичное окно задания параметров (в нашем случае это окно параметров функции Quantizer) показано на рис. А 5. Все параметры уже имеют некоторые задаваемые по умолчанию значения, которые можно изменить. Внесённые изменения можно применить к другим блокам этого же типа, которые выбираются в окне *Apply To Token*.

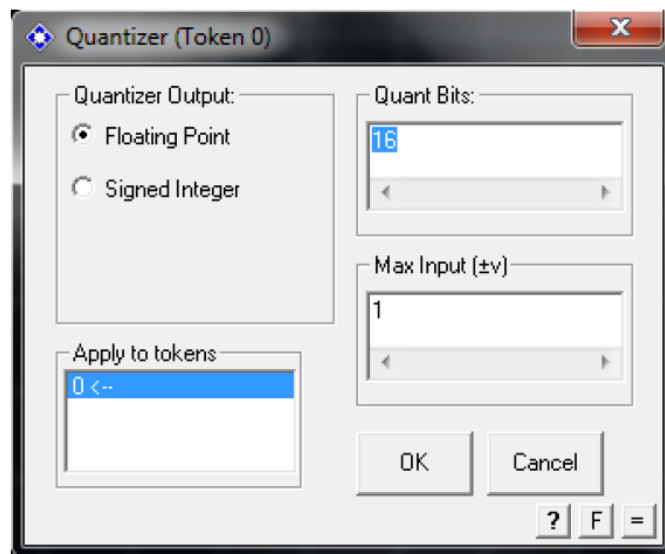


Рис. А 5 — Пример окна задания параметров

Для задания связи между блоками необходимо подвести указатель мыши к правой стороне первого из них, подождать пока указатель мыши не изменит свой вид на направленную вверх стрелку, нажать левую кнопку мыши и, удерживая её, протянуть связь до второго блока.

Иначе задать связь можно с помощью кнопки *Connect* (**Соединить** на рис. А 2) на панели инструментов, после нажатия которой потребуется последовательно указать два связываемых блока. Для удаления связи между блоками следует подвести указатель мыши к левой стороне второго из них, подождать пока указатель мыши не изменит свой вид на направленную вверх пунктирную стрелку, нажать левую кнопку мыши и, удерживая её, указать на подсвеченную пунктиром цепь.



Иначе удалить связь можно с помощью кнопки *Disconnect* (**Разъединить** на рис. А 2) на панели инструментов, после нажатия на которую потребуется последовательно указать блоки, связь между которыми должна быть удалена.

Для наблюдения за процессами, происходящими внутри радиоэлектронных систем в реальности используются осциллографы/спектроанализаторы. В среде САПР *SystemVue* существует блок, объединяющий в себе и осциллограф и спектроанализатор — это блок *Analysis* из раздела библиотеки модулей *Sink* (**Библиотека блоков отображения данных** на рис. А 3). В качестве примера соединим генератор гауссовского шума с блоком *Analysis* (рис. А 6). Теперь становится доступным просмотр эпюр напряжения на генераторе. Для этого необходимо запустить симуляцию, нажав кнопку *Run System* (**Запуск системы** на рис. А 2), либо нажать клавишу *F5* или сочетание *Shift+F5*. Для того, чтобы перейти к просмотру окна анализа (внешний вид которого показан на рис. А 7), необходимо нажать клавишу *Analysis Window* (**Вызов окна анализа** на рис. А 2), либо сочетание клавиш *Ctrl+D*.

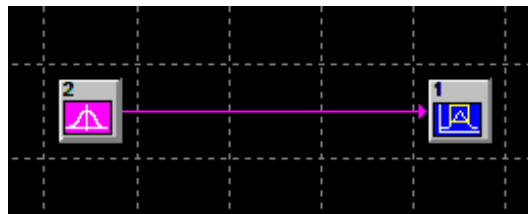


Рис. А 6 — Пример использования блока *Analysis*

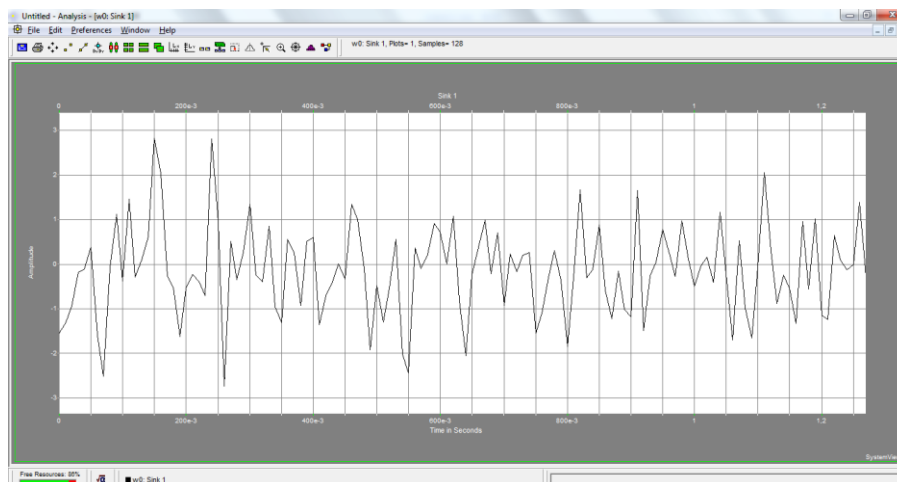


Рис. А 7 — Внешний вид окна анализа сигналов (*Analysis Window*)

Метасистема — объединение нескольких блоков в группу. Она используется для создания многоуровневой иерархической структуры и для упрощения визуального отображения системы. Метасистема выглядит как блок и с ней можно работать как с любым блоком — перетаскивать её, соединять с другими метасистемами и блоками.

Для создания метасистемы нужно выделить блоки, которые необходимо объединить в метасистему, и нажать кнопку **Create MetaSystem** на панели инструментов (**Создать метасистему** на рис. А 2), либо нажать сочетание клавиш Ctrl+M. Обратите внимание, что перед созданием метасистемы необходимо к уже имеющимся блокам добавить блоки ввода/вывода из метасистемы (**Порт метасистемы** на рис. А 3). Они необходимы для организации связей.

При создании связи изнутри метасистемы наружу (или снаружи внутрь неё) соединяться нужно именно с необходимыми в данном случае блоками портов.

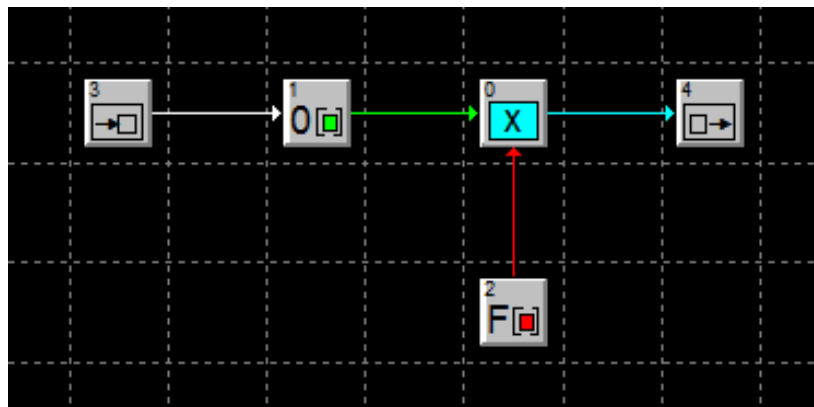


Рис. А 8 — Группа блоков перед объединением их в метасистему

На рис. А 8 показан пример готового набора объединённых между собой блоков для создания метасистемы. Блок №3 на схеме — вход (Meta In) метасистемы, необходимый для связи других блоков или других метасистем с данной. Блок №4 на схеме — выход (Meta Out) метасистемы, необходимый для связи данной метасистемы с другими блоками или другими метасистемами. Портов у одной метасистемы может быть несколько.