

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации (РЗИ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой РЗИ
_____ А.С. Задорин
«__» _____ 2015г.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ
СИГНАЛОВ

Методические указания к лабораторным работам по курсу
«Устройства приема и обработки сигналов» для студентов специальности
210302

Разработчики:
ст. преподаватель каф. РЗИ
_____ А.В. Максимов

аспирант каф. РЗИ
_____ А.А. Лукина

Благодарим магистрантов кафедры РЗИ:
О.В. Дмитриева и А.Ж. Койжанову
за помощь в оформлении методических указаний.

Список используемых сокращений

УПОС – устройства приема и обработки сигналов;
ИИС – информационно – измерительная система;
ИП – источник питания;
ВЦ – входные цепи;
ЭА – эквивалент антенны;
УРЧ – усилитель радиочастоты;
ПЧ – промежуточная частота;
УПЧ – усилитель промежуточной частоты;
ОПЧ – основная промежуточная частота;
УЗЧ – усилитель звуковой частоты;
РПрУ – радиоприемное устройство;
АЧХ – амплитудно – частотная характеристика;
ВАХ – вольтамперная характеристика;
ВФХ – вольт-фарадная характеристика;
ДРЧ – диапазон рабочих частот;
ШИМ – широтно – импульсная модуляция;
ОПЧ – основная промежуточная частота;
ТТХ - тактико-технические характеристики;
УПТ – усилитель постоянного тока.

Содержание

Введение.....	5
1 Лабораторная работа № 1. Исследование входных цепей.....	7
1.1 Общие сведения.....	7
1.2 Классификация входных устройств	8
1.3 Основные характеристики входных цепей	10
1.4 Перестраиваемые одноконтурные входные цепи.....	12
1.4.1 Входная цепь с емкостной связью	12
1.4.2 Входная цепь с трансформаторной связью.....	15
1.4.3 Входная цепь с комбинированной связью	16
1.5 Описание информационно – измерительной системы.....	17
2 Лабораторная работа № 2. Исследование усилителя сигналов радиочастоты.....	26
2.1 Общие сведения.....	26
2.2 Основные характеристики УРЧ	27
2.3 Резонансный усилитель	29
2.4 УРЧ модуля УПОС.....	34
3 Лабораторная работа № 3. Исследование преобразователя частоты.....	38
3.1 Общие сведения.....	38
3.2 Принцип действия идеального смесителя.....	40
3.3 Понижающий смеситель.....	41
3.4 Повышающий смеситель	42
3.5 Принцип действия практических смесителей.....	44
3.6 Двойной балансный смеситель	45
3.6 Балансный смеситель модуля УПОС	48
3.7 Побочные каналы приема.....	48
4 Лабораторная работа № 4. Исследование тракта ПЧ.....	52
4.1 Общие сведения.....	52
4.2 Выбор значения ПЧ.....	53
4.4 Тракт основной ПЧ.....	56
4.4 Тракт первой ПЧ.....	57
4.5 Тракт ПЧ модуля УПОС	59

Список литературы.....	63
Приложение А.....	64
Приложение Б	65
Приложение В	66
Приложение Г	67
Приложение Д	68

Введение

В последнее несколько лет увеличилось количество радиосистем, разнообразие типов применяемых в них сигналов. В то же время развитие полупроводниковой электроники и особенно микроэлектроники дало возможность усложнить структуры радиоприемных устройств и способы обработки принимаемых сигналов, расширились функции радиоприемников. В результате возросли актуальность и сложность задач синтеза структур радиоприемных устройств, отвечающих современным требованиям и оптимальных по своим техническим и экономическим показателям.

Современные устройства приема и обработки сигналов (УПОС) имеют множество параметров, которые позволяют судить о пригодности устройств для конкретных условий эксплуатации. Так как эти параметры описывают достаточно сложную реакцию УПОС на совокупность сигнала и помех, то для исследования УПОС требуется много различных типов измерительных приборов, а методика измерений достаточно.

Дисциплина «Устройства приема и обработки сигналов» базируется на знаниях, полученных при изучении общепрофессиональных дисциплин: «Основы теории цепей», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Схемотехника аналоговых электронных устройств», «Цифровые устройства и микропроцессоры». К ним относятся:

- свойства электрических колебаний различных видов, главным образом модулированных колебаний, импульсов и флуктуационных шумов;
- методика анализа линейных и нелинейных электрических цепей, и цепей с периодически изменяющимися параметрами ;
- основы теории усилителей и генераторов, применяемых в радиотехнике;
- принципы преобразования частот, детектирования модулированных колебаний и других преобразований радиосигналов.

Предметом дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов» являются физические процессы при радиоприеме, принципы построения радиоприемников и теоретические основы их построения.

Настоящее руководство к лабораторному практикуму содержит описание четырех лабораторных работ, которые выполняются студентами специальности 210302 - «Радиотехника» при изучении дисциплины «Устройства приема и обработки сигналов».

Перед выполнением лабораторных работ каждый студент должен ознакомиться с теоретическими сведениями, представленными в данном пособии, без которых невозможно понимание физических процессов при радиоприеме.

Выполнению каждой работы предшествует проверка знаний студента. При положительных ответах на контрольные вопросы, студент допускается к выполнению работы.

Отчет по лабораторной работе выполняется в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 6.1 – 97 «Работы студенческие учебные и выпускные квалификационные: общие требования и правила оформления». Отчет должен содержать следующие части:

1. Титульный лист;
2. Введение (с постановкой цели и задач работы);
3. Описание лабораторного макета и методики эксперимента;
4. Основные расчетные формулы, необходимые для обработки экспериментальных данных;
5. Результаты лабораторной работы, содержащие таблицы, графики и их обсуждение. Результаты измерений должны быть оформлены строго в соответствии со специальной формой (протоколом инструментального контроля), приведенной в данном методическом пособии;
6. Выводы.

Выводы являются важной и неотъемлемой частью отчета и должны быть написаны каждым студентом самостоятельно.

1 Лабораторная работа №1. Исследование входных цепей

Цель работы: Экспериментальное исследование работающих в диапазоне от пяти до пятнадцати мегагерц одноконтурных входных цепей с ненастроенной антенной и электронной перестройкой собственной частоты контура, выполненных по различным схемам связи с антенной.

1.1 Общие сведения

Входной цепью (входным устройством) называется часть схемы приемника, связывающая антенну или антенный фидер с входом первого каскада приемника.

ВЦ предназначена для более эффективной передачи полезного сигнала на вход 1-го каскада приемника и, обладая резонансными свойствами, служит для осуществления предварительной частотной избирательности.

Необходимость фильтрации обусловлена тем, что следующие за входной цепью каскады (усилитель радиосигналов или преобразователь частоты) содержат электронные приборы (транзисторы, интегральные микросхемы), обладающие нелинейными вольтамперными характеристиками (ВАХ). Наличие таких приборов приводит к появлению различных нелинейных эффектов, например, перекрестных искажений – переносу модуляции мешающего сигнала на полезный сигнал.

ВЦ не содержит нелинейных элементов и источников энергии, и может быть представлена в виде пассивного линейного четырехполюсника, включающего в себя резонансную систему и элементы связи. В зависимости от диапазона частот резонансная система выполняется на сосредоточенных или распределенных элементах и состоит из одной или нескольких колебательных систем или резонаторов. Элементы связи обеспечивают связь антенной цепи с контуром или резонатором, а при нескольких резонансных элементах также связь между ними и первым каскадом приемника.

Структурная схема ВЦ приведена на рисунке 1.1, где E_A – наводимая в приемной антенне ЭДС; Z_A – внутреннее сопротивление антенны; ИС – избирательная система (один или несколько резонаторов).

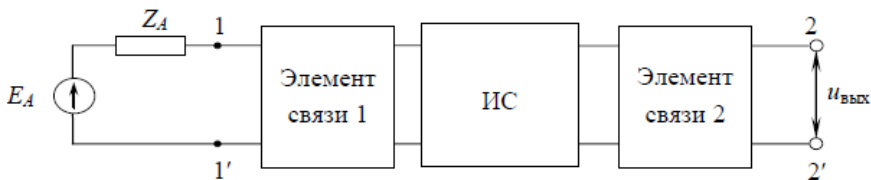


Рисунок 1.1 - Обобщенная структурная схема входного устройства

1.2 Классификация входных устройств

Входные устройства принято классифицировать по следующим основным признакам.

По диапазону рабочих частот и способу перестройки:

- с плавной перестройкой (в случае приема сигналов на любой из частот в диапазоне от f_{0min} до f_{0max});
- с дискретной перестройкой (при приеме сигналов на несколько $f_{01}, f_{02} \dots f_{0n}$ фиксированных частотах в заданном диапазоне).

По виду избирательной системы:

- с одним резонансным контуром;
- с двумя и более резонансными контурами;
- со специальными полосовыми фильтрами.

По типу виду связи избирательной системы с антенной или антенным фидером (рис. 1.2):

- с емкостной связью;
- с трансформаторной (индуктивной) связью;
- с комбинированной связью.

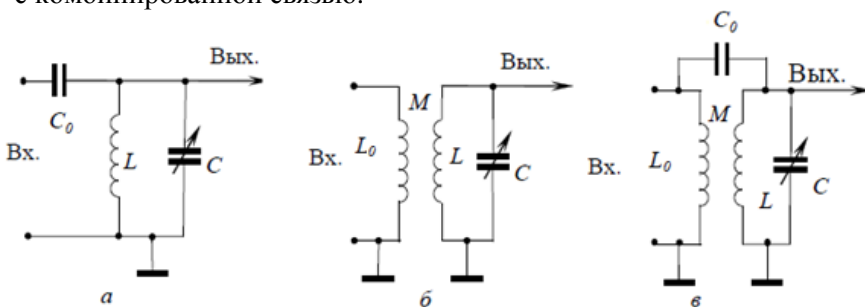


Рисунок 1.2 – Основные виды связи избирательной системы с антенной: а – емкостная; б – трансформаторная; в – комбинированная.

По виду связи избирательной системы с первым каскадом приемника:

- с полным включением;
- с трансформаторной связью;
- с связью через емкостной делитель. [1]

Для измерения параметров передатчика без выхода в эфир используются эквиваленты антенн.

Эквивалент антенны (ЭА) — радиотехническое устройство, заменяющее реальную антенну при испытаниях и настройке приемопередающих устройств. При помощи эквивалентов производится измерение параметров радиоприемников и радиопередатчиков, кроме того, они необходимы для предотвращения излучения передатчика в пространство при проведении испытательных работ. Поскольку эквиваленты используются в процессе измерений, большинство их типов относится к категории средств измерений и в этом качестве эквиваленты являются мерами импеданса.

В общем случае эквивалент представляет собой цепь активных и реактивных компонентов, заключенную в экранированный корпус с разъемами для внешних подключений. Существуют эквиваленты имитирующие приемную антенну, передающую антенну, а также сочетающие в себе обе функции.

По специфике требований, предъявляемых эквивалентам, они не могут являться универсальными приборами, и предназначены обычно либо для небольших видовых групп приемопередающих устройств, либо для конкретных типов радиостанций.

В зависимости от коэффициентов трансформации рассматривают основные режимы работы входного устройства с настроенной и ненастроенной антенной.

При работе приемника с настроенной антенной последняя представляется в виде источника ЭДС E_A , обладающего только активным сопротивлением $R_a (X_a)$. В этом случае антенна вносит во входной контур активную проводимость, что влечет за собой расширение полосы пропускания.

В режиме ненастроенной антенной цепи, антенна представляется в виде источника ЭДС E_A , обладающего активным R_a и реактивным X_a сопротивлениями. В этом случае антенна вносит во входной контур как активную, так и реактивную проводимости, что влечет за собой не только расширение полосы пропускания, но и сдвиг частоты настройки (за счет вносимой реактивной проводимости).

Входное устройство с трансформаторной связью используется при связи с несимметричными и симметричными, ненастроенными и настроенными антеннами. Связь с избирательной системой может варьироваться в широких пределах. Коэффициенту передачи может придаваться необходимый характер изменения в пределах поддиапазона – возрастающий или уменьшающийся. Катушка индуктивности контура L с помощью катушки связи L_0 связана с антенной. Степень связи между катушками связи L_0 и контура L характеризуется коэффициентом взаимоиנדукции M (рис. 1.2, б).

Входное устройство с емкостной связью обычно используется для связи с несимметричными, ненастроенными антеннами. Это входное устройство является наиболее простым по схеме и возможностям изменения степени связи с антенной. Вместе с тем его параметры резко изменяются по диапазону частот. Избирательная система при емкостной связи присоединяется к антенне через конденсатор связи C_0 . Степень связи с антенной зависит главным образом от соотношения емкостей конденсатора C_0 и конденсатора контура C .

Обычно главными признаками классификации входного устройства являются вид избирательной системы (одноконтурное, двухконтурное, многоконтурное входное устройство) и вид связи с антенной (входное устройство с емкостной связью; трансформаторной или комбинированной связью).

Выбор вида избирательной системы зависит от требований к избирательности и чувствительности приемника. С увеличением числа контуров во входном контуре улучшается его избирательность и ухудшается чувствительность. Определения необходимости вида связи избирательной системы с антенной зависит от параметров антенны и требований к величине и характеру изменения коэффициента передачи в диапазоне рабочих частот.[1]

1.3 Основные характеристики входных цепей

Коэффициент передачи по напряжению равен отношению напряжения сигнала на выходе входной цепи $U_{\text{вых}}$ к ЭДС в антенне (E_A), наведенной в антенне полем принимаемого полезного входного сигнала, а в случае магнитной (ферритовой) антенны - к напряженности поля сигнала:

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{E_A} \quad (1.1)$$

Резонансный коэффициент передачи (K_0) – коэффициент передачи по напряжению входной цепи при частоте, равной собственной частоте настройки избирательной системы.

Частотная селективность характеризует уменьшение значения модуля коэффициента передачи по напряжению $|K_u(f)|$ при заданной расстройке по частоте по сравнению с его значением при резонансе K_0 при $|E_A| = const$:

$$\delta(f) = \frac{|K_u(f)|}{K_0} \quad (1.2)$$

Представление о частотной селективности входной цепи дает ее резонансная характеристика, которая позволяет определить избирательность входной цепи при произвольной частотной расстройке.

Полоса пропускания – ширина области частот вокруг собственной частоты контура f_0 с допустимой неравномерностью коэффициента передачи.

Входная цепь вместе с УРЧ обеспечивает заданную избирательность приемника по зеркальному каналу и каналу промежуточной частоты, а также общую предварительную фильтрацию помех.

Коэффициент перекрытия диапазона частот. Под перекрытием диапазона частот понимается возможность настройки входной цепи на любую частоту данного диапазона или поддиапазона при условии, что неравномерность коэффициента передачи находится в допустимых пределах. Т.е. показатели (коэффициент передачи, полоса пропускания, избирательность и т.п.) не должны заметно меняться. Отношение максимальной частоты диапазона $f_{c \max}$ к минимальной $f_{c \min}$ называется коэффициентом перекрытия диапазона:

$$K_n = f_{c \max} / f_{c \min}. \quad (1.3)$$

При использовании в качестве регулировочного элемента конденсатора переменной емкости отношение максимального значения C_{\max} к минимальному значению C_{\min} этой емкости выразится как $N_{\max} / C_{\min} = K_n$.

Уравнение амплитудно-частотной характеристики колебательного контура выглядит так:

$$y(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2(f)}} \quad (1.4)$$

где $\xi(f) = Q_3 (f/f_0 - f_0/f)$ – обобщенная расстройка контура; Q_3 – эквивалентная добротность нагруженного контура.

Для увеличения степени подавления помехи на частоте зеркального канала необходимо увеличивать значение промежуточной частоты и добротность входного контура.

Зависимость основных характеристик от частоты настройки, т. е. частотная зависимость резонансного коэффициента передачи, избирательных свойств и коэффициента шума. Чем выше постоянство коэффициента передачи входных цепей УПОС, тем легче обеспечить постоянство чувствительности устройств приема и обработки сигналов.

1.4 Перестраиваемые одноконтурные входные цепи

Устройства приема и обработки сигналов, как правило, содержат несколько контуров. Так как контур входной цепи непосредственно связан с антенной, то по сравнению с другими перестраиваемыми контурами он находится в особых условиях. К нему подключается различная по величине, в зависимости от частоты настройки, реактивная составляющая полной проводимости антенной цепи.

Определены основные параметры одноконтурных входных цепей, которые наиболее часто применяются в УПОС диапазона длинных, средних и коротких волн.

1.4.1 Входная цепь с емкостной связью с антенной

В силу своей простоты емкостная связь находит широкое применение, как в радиовещательных, так и в профессиональных радиоприемных устройствах.

Принципиальная схема содержит колебательный LC контур, конденсатор связи C_0 , соединяющий антенну с контуром (рис. 1.2 (б)).

Изменяя C_0 , можно регулировать связь входного устройства с антенной. Колебательный LC контур перестраивается путем изменения емкости C или индуктивности L .

Коэффициент передачи входного устройства по напряжению, степень влияния параметров антенны на полосу пропускания и сдвиг частоты настройки колебательного контура зависят от соотношения емкостей C_0 и C .

Контур настраивается в резонанс на частоту сигнала и в нем выделяются колебания этой частоты, входящих в полосу пропускания контура.

Основные параметры входного устройства с емкостной связью:

- резонансная частота:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.5)$$

- волновое сопротивление:

$$\rho_3 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.6)$$

- резонансный коэффициент передачи входного устройства по напряжению

$$K_{ex0} = \omega_0^2 p_2 L_3 Q_3 C_{ан}. \quad (1.7)$$

где Q_3 - эквивалентной добротностью входного контура ; p_2 - коэффициент трансформации.

Таким образом, при перестройке контура конденсатором переменной емкости и емкостном характере антенны резонансный коэффициент передачи K_{ex0} при постоянстве других параметров возрастает пропорционально квадрату частоты. (рис.1.3).

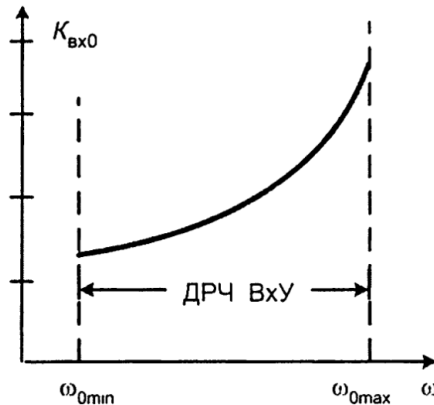


Рисунок 1.3 – Зависимость резонансного коэффициента передачи от частоты

Если весь диапазон рабочих частот разбит на поддиапазоны, то такой рост наблюдается в пределах каждого поддиапазона. Однако при переходе от одного поддиапазона к другому, более высокочастотному, индуктивность колебательного контура скачкообразно уменьшается, следовательно, скачкообразно изменяется и K_{ex0} . Для выравнивания K_{ex0} по поддиапазнам, изменяют коэффициент трансформации p_2 до значений, при которых K_{ex0} в нижних точках всех поддиапазонов не будет одинаковым (рис. 1.4).

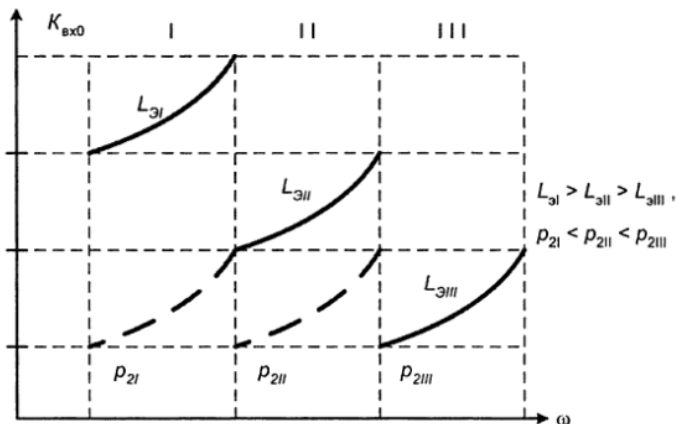


Рисунок 1.4 – Изменение резонансного коэффициента передачи в диапазоне частот

Связь колебательного контура с антенной зависит от величины емкости конденсатора C_0 . Чем меньше C_0 , тем больше его сопротивление ($X=1/\omega C_0$) и тем слабее действует антенна на входной контур.

Связь с антенной выбирают таким образом, чтобы, с одной стороны обеспечить максимум $K_{вых0}$, с другой – уменьшить влияние параметров антенны на входной контур. [1]

Таким образом, полученные выражения позволяют определить все основные характеристики входной цепи УПОС при емкостной связи с антенной, а именно: коэффициент передачи и его изменение по диапазону, избирательность на любой частоте и возможную расстройку входного контура при изменении параметров антенны. Очевидно, что основным недостатком такого вида связи является большая неравномерность резонансного коэффициента передачи в пределах диапазона, что начинает сказываться при коэффициентах перекрытия $K_n \gg 1,5$.

1.4.2 Входная цепь с трансформаторной связью контура с антенной

Принципиальная схема рассматриваемого входного устройства приведена на рисунке 1.2, а. В качестве частотно – избирательной системы используется LC контур, перестраиваемый путем изменения емкости C . Антенна или фидер присоединяются к катушке связи L_0 .

Степень связи с антенной реализуется выбором величины индуктивности L_0 и коэффициента взаимной индукции M . Причем Коэффициент связи определяется $k_{св}$ как:

$$k_{св} = M/\sqrt{L_0 L} \quad (1.8)$$

Выбором величины индуктивности L_0 можно влиять на частоту настройки антенной цепи, смещая ее к нижней границе поддиапазона и уменьшая значение K_{ex0} и смещая к верхней границе, таким образом повышая K_{ex0} .

В общем случае резонансный коэффициент передачи по напряжению K_{ex0} определяется выражением:

$$K_{ex0} = \frac{p_0 p_2 Q_2}{|1 - f_{0au}^2 / f_0^2|} \quad (1.9)$$

где $p_0 = M/L_0$ – параметр связи, характеризующий связь ВЦ с антенной; f_{0au} – частота настройки антенной цепи; f_0 – частота настройки входного устройства.

При $f_{0au} > f_0$ (режим укороченной антенны) собственная резонансная частота антенной цепи бывает больше максимальной частоты рабочего диапазона. В этом случае значение K_{ex0} пропорционально f_0^2 . Для данного случая в диапазоне рабочих частот полное сопротивление антенной цепи уменьшается обратно пропорционально частоте (рис. 1.5, а). Эквивалентная проводимость входного контура в диапазоне рабочих частот при $g = const$ изменяется так же обратно пропорционально частоте.

При $f_{c\ min} < f_{0au} < f_{c\ max}$ полное сопротивление антенной цепи имеет резко выраженный минимум на частоте $f_0 = f_{0au}$, соответствующий резонансным свойствам антенной цепи. На рис. 1.5, б представлена зависимость резонансного коэффициента передачи K_{ex0} от частоты. Неравномерность этой зависимости тем больше, чем меньше эквивалентное затухание антенной цепи.

При $f_{0au} < f_0$ (режим удлиненной антенны), полное сопротивление антенной цепи в диапазоне рабочих частот прямо пропорционально частоте. Это компенсирует обратную зависимость эквивалентной проводимости входного контура от частоты и позволяет получить высокую степень постоянства резонансного коэффициента передачи в диапазоне рабочих частот (рис. 1.5, в). Указанное достоинство в полной мере реализовать достаточно трудно, так как режим удлиненной антенны обеспечивается при большой величине индуктивности L_0 , а ее увеличение приводит к снижению значения K_{ex0} . [1]

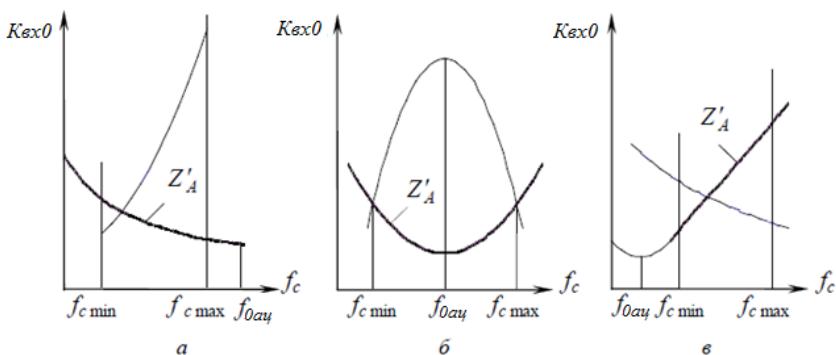


Рисунок 1.5 - Зависимость резонансного коэффициента передачи от частоты настройки при индуктивной связи

1.4.3 Входная цепь с комбинированной связью

На схеме, представленной на рисунке 1.2, в, для компенсации неравномерности коэффициента передачи, обусловленной емкостной связью входного контура с антенной, применена дополнительная индуктивная связь антенны с входным контуром. Очевидно, в этой схеме антенный контур должен работать в режиме удлинения. Напряжение на входном контуре создается двумя цепями связи: через конденсатор C_0 и за счет взаимоиндукции M . Напряжение на входном контуре, создаваемое через C_0 , возрастает с ростом частоты, а, следовательно, возрастает и резонансный коэффициент передачи (рис. 1.5, а). Напряжение на входном контуре, создаваемое за счет взаимоиндукции, с ростом частоты убывает, поэтому убывает и резонансный коэффициент передачи (рис. 1.5, б). Суммарный же резонансный коэффициент передачи изменяется незначительно (рис. 1.5, с). Таким образом, для правильного выбора коэффициента связи между ненастроенной антенной и контуром входной цепи с переменной настройкой необходимо, чтобы коэффициент связи не превышал:

- своего оптимального значения, так как в противном случае сильно увеличивается эквивалентное затухание контура входной цепи;
- величины, определяемой допустимой расстройкой входного контура антенной;

- конструктивно достижимой величины при данном виде связи и выбранной конструкции элементов, ее осуществляющих.

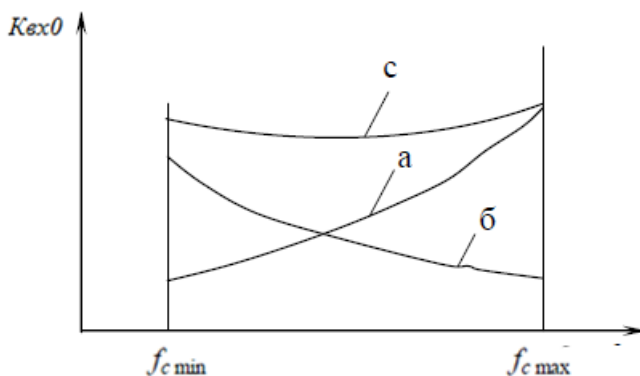


Рисунок 1.5 - Зависимость резонансного коэффициента передачи входной цепи от частоты настройки при комбинированной связи

1.5 Описание информационно – измерительной системы (ИИС)

В состав ИИС входит исследуемый модуль УПОС (устройства приема и обработки сигналов), персональный компьютер с портами управления и установленным программным обеспечением, генератор стандартных сигналов и осциллограф (управляемые кодами языка SCPI). (рис. 1.6)

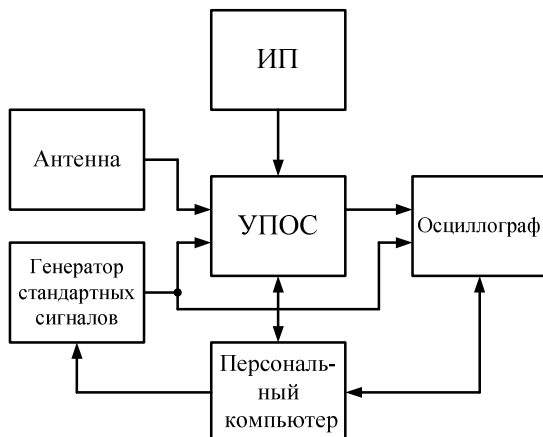


Рисунок 1.6 – Структурная схема лабораторного макета

Управление всей ИИС, включая модуль УПОС и виртуальные приборы, осуществляется программным модулем, разработанным в среде LabView (National Instruments). Разработанный программный модуль позволяет полностью автоматизировать процесс снятия характеристик.

Модуль УПОС оснащен разъемами для подключения сетевого адаптера 12 В, внешнего генератора или антенны, выходного устройства (динамика) и последовательного интерфейса RS-232.

Для исследовательских целей модуль УПОС реализуется на основе трех схем: прямого преобразования, прямого усиления и супергетеродинного типа.

Модуль содержит следующие узлы:

- входные цепи;
- усилитель сигнала радиочастоты (УРЧ);
- балансный смеситель;
- синтезатор частот (гетеродин);
- усилитель сигнала промежуточной частоты (УПЧ);
- детектор;
- усилитель сигнала звуковой частоты (УЗЧ);
- выходное устройство;
- микроконтроллер.

Другой синтезатор частот выполняет функцию генератора. Эмулирующего соседнюю станцию. В качестве генератора и гетеродина используется микросхема AD9834, синтезатор частоты, основанный на методе прямого цифрового синтеза.

Усилитель сигнала промежуточной частоты, в зависимости от того, какая схема приемника исследуется, усиливает сигнал или на промежуточной частоте, или на радиочастоте. В качестве УПЧ используется регулируемый усилитель AD8324. Для согласования дифференциального выхода усилителя AD8324 и несимметричного входа детектора использован каскад с дифференциальным входом на ОУ LMH661 фирмы National Semiconductor.

Детектор необходим для выделения полезного сигнала.

Усилитель сигнала звуковой частоты усиливает сигнал до уровня необходимого для воспроизведения динамическим громкоговорителем.

Микроконтроллер обеспечивает преобразование управляющих кодов SCPI в биты коммутации ключей и коды последовательной шины SPI, образующей внутренний канал между микроконтроллером и отдельными микросхемами, а также формирует сигналы с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), для управления напряжениями перестройки варикапов. [9]

В Приложении Д приведена структурная схема модуля УПОС.

Модуль оснащен контрольными точками для исследования:

- коэффициента передачи входной цепи, в зависимости от типа связи антенной (КТ 4);
- коэффициента передачи УРЧ, в зависимости от усиления (КТ 6,7);
- работы смесителя в различных режимах (КТ 10);
- сигналов, вырабатываемых генераторами помех (КТ 1,5);
- отношения сигнал-шум, в зависимости от полосы пропускания полосового фильтра промежуточной частоты супергетеродинного приемника (КТ 12,11);
- сигнала после линейного выпрямителя (КТ 13);
- сигнала после ФНЧ (КТ 14);
- сигнала после ФНЧ АРУ (КТ 15);
- усилителя звуковой частоты (КТ 17);
- выделения постоянной составляющей сигнала с широтно-импульсной модуляцией (КТ 3).

По периметру платы расположены земляные контрольные точки (КТ 20; КТ 23; КТ24; КТ 25; КТ 21; КТ 19; КТ 18; КТ22).

Управление осуществляется по последовательному интерфейсу RS-232 с помощью ПО, установленного на ПК.

В модуле УПОС осуществляется управление:

- выбором антенного входа или входа с генератора сигналов;
- переключением типов входных цепей;
- коэффициентами усиления трактов РЧ и ПЧ;
- настройками частот входных цепей и усилителя РЧ;
- избирательностью усилителя РЧ и тракта ПЧ;
- управление режимом работы балансного смесителя;
- управление генератором шума и его амплитудой;
- управление узкополосной помехой, её частотой, амплитудой и модуляцией;

- управлением частотой синтезатора гетеродина;
- усилением тракта ЗЧ и отключением выхода на динамическую головку. [7]

Ниже приведен интерфейс пользователя, для установки «Базовых настроек» модуля УПОС (рис. 1.8), для исследования резонансных характеристик устройств модуля УПОС (рис. 1.9), для исследования АЧХ устройств модуля УПОС (рис.1.10), для исследования спектра сигналов модуля УПОС (рис. 1.11).

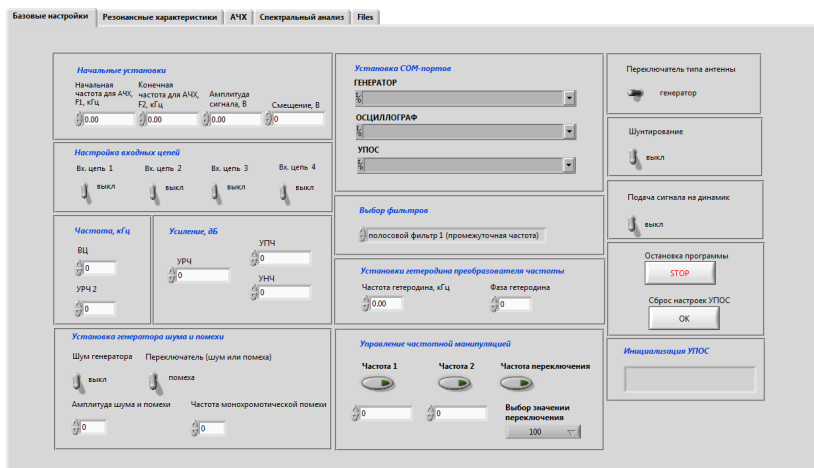


Рисунок 1.8- Интерфейс пользователя, для управления модулем УПОС

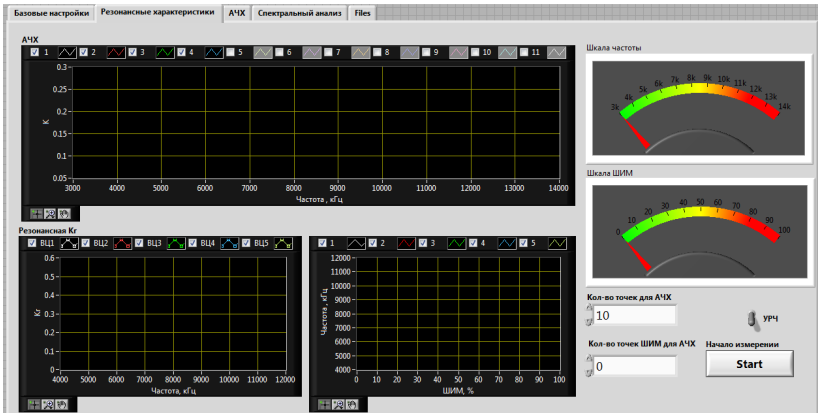


Рисунок 1.9 - Интерфейс пользователя для исследования резонансных характеристик устройств модуля УПОС

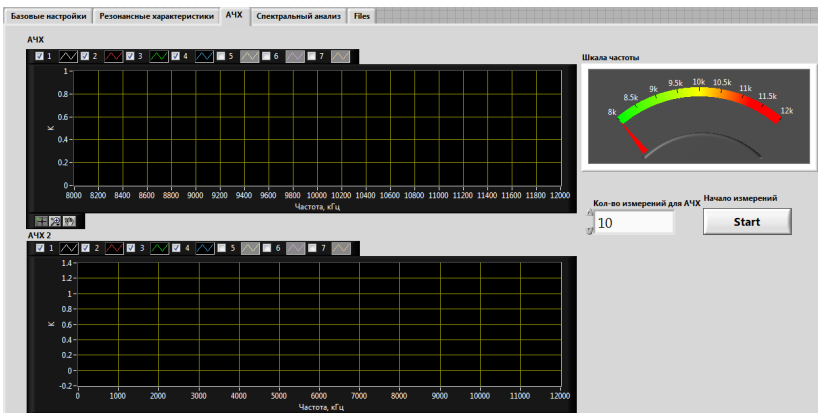


Рисунок 1.10 – Интерфейс пользователя для исследования АЧХ устройств модуля УПОС

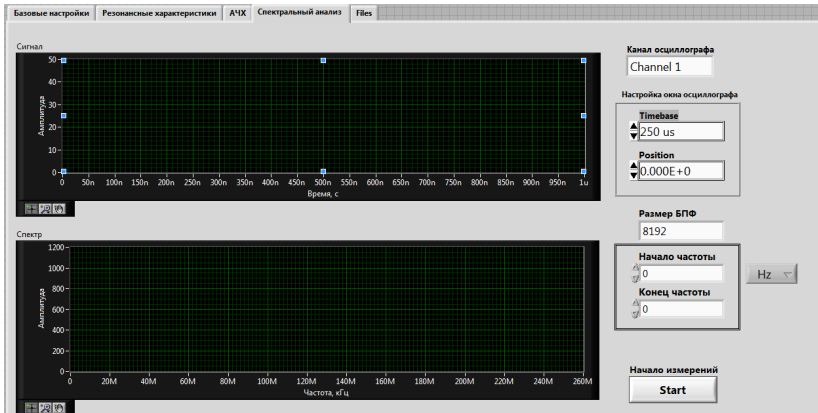


Рисунок 1.11 – Интерфейс пользователя для исследования спектра сигналов модуля УПОС

Порядок выполнения работы

1. Подготовить к работе ИИС:

1.1. Подключить генератор (выход «вывод») к разьему «эквивалент антенны» модуля УПОС. Включить генератор. Установить частоту и модуляцию сигнала по указанию преподавателя.

1.2. Подготовить осциллограф. Канал 1 – Входной сигнал (сигнальный зажим к разьему «эквивалент антенны», земляной зажим к одной из земляных точек (см. выше)). Канал 2 – Выходной сигнал (сигнальный зажим к контрольной точке, соответствующей исследованию; земляной зажим к одной из земляных точек).

1.3. Подключить разьем последовательного интерфейса RS-232 к модулю УПОС.

1.4. Подключить разьем адаптера питания к модулю УПОС, предварительно подключив адаптер к сети 220В.

1.5. Включить персональный компьютер с установленным программным модулем.

1.5.1. Запустить программу «УПОС» (рис.1.8)

1.5.2. Нажать кнопку остановка программы «STOP» (рис. 1.8)

1.5.3. На интерфейсе пользователя установить следующие настройки:

- В поле «Visa session general» установить № COM - порта «4»;
- В поле «Visa session oscilloscope» установить № COM - порта «3»;

- В поле «Visa session YPOS» установить № COM - порта «5»;

**При возникновении проблем по установке COM-портов, смотреть примечание.*

1.5.4. Нажать кнопку начало испытаний «Running»;

1.5.5. Выбрать исследуемый тип антенны (generation или antenna).

2. Включить тумблер «Входная цепь 2».

3. Установить диапазон частот и амплитуду сигнала по указанию преподавателя («Начальная частота»; «Конечная частота» «Амплитуда сигнала»).

4. Подобрать значения «Уровень ШИМ ВЦ» так, чтобы уровень выходного сигнала на контрольной точке №4 был максимальным (см. осциллограф).

5. Выбрать вкладку «Резонансные характеристики» (рис. 1.9);

5.1. Установить тумблер переключения режимов исследования (режим «VCh» - исследование входных цепей; режим «YRCh» - исследование УРЧ) в положения «VCh»;

5.2. Установить значения «Количество точек на АЧХ» по указания преподавателя (50 или 100 точек);

5.3. Выбрать значение «количество точек ШИМ» 10-ти;

5.4. На индикаторе «Шкала частот» установить диапазон частот, выбранный в п. 3;

5.5. Нажать кнопку начала измерений «Start»;

5.6. После завершения расчетов, зафиксировать полученные данные (см. пример в Приложении А).

6. Выключить тумблер «Входная цепь 2», включить тумблер «Входная цепь 1», проделать действия, описанные в п.5.

7. Выключить тумблер «Входная цепь 1», включить тумблер «Входная цепь 3», проделать действия, описанные в п.5.

8. Выключить тумблер «Входная цепь 3», включить тумблер «Входная цепь 4», проделать действия, описанные в п.5.

9. Составить отчет по лабораторной работе в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 6.1 – 97;

**Примечание:* Если по каким-либо причинам не удастся установка COM-портов, проделать следующие действия:

- Нажать кнопку «Остановка программы» «STOP»;
- Во вкладке «Базовые настройки» в поле «Visa session YPOS» установить какой-либо номер (один из трех) порта и нажать кнопку «Начало испытаний» «Running»;
- В поле «Инициализация» появится одно из следующих обозначений («YPOS» - соответствует вводу данных в поле «Visa session YPOS»; «GD/GS» соответствует вводу данных в поле «Visa session oscilloscope»; если ничего не появилось, то указанный номер порта соответствует вводу данных в поле «Visa session general»), которое будет соответствовать введенному номеру СОМ-порта.
- Провести выше описанные действия с оставшимися номерами портов.
- Установить полученные значения в соответствующие поля;

Контрольные вопросы

1. Назначение, принцип работы и схемы входных цепей. Достоинства и недостатки различных вариантов схем.
2. Что представляет собой обобщенная эквивалентная схема одноконтурных входных цепей?
3. Как определяются резонансные коэффициенты передачи входных цепей с внешнеемкостной и индуктивной связями контура с антенной? Какие режимы работы входной цепи с индуктивной связью целесообразно использовать на практике?
4. Почему настройка контура ВЦ с помощью переменной емкости предпочтительнее настройки с переменной индуктивностью?
5. Составьте эквивалентные схемы ВЦ с различными видами связи контура с антенной.
6. Какими параметрами определяется коэффициент передачи ВЦ? Условия получения максимального коэффициента передачи ВЦ?
7. От чего зависит избирательность ВЦ?
8. От чего зависит ширина полосы пропускания ВЦ?
9. Из каких соображений выбирается связь входного контура с антенной?

Лабораторная работа №2. Исследование усилителя сигналов радиочастоты

Цель работы: Экспериментальное исследование процесса усиления амплитудно-модулированных сигналов радиочастоты.

2.1 Общие сведения

Усилителями радиосигналов называются каскады РПрУ, в которых усиление принимаемого сигнала осуществляется на его несущей частоте. Эти каскады располагаются перед ПЧ в супергетеродинном приемнике РПрУ (рис. 2.1) или перед детектором в РПрУ прямого усиления.

УРЧ выполняет следующие функции:

- усиление принимаемых сигналов на радиочастоте;
- обеспечение избирательности радиоприемника к сильным помехам, вызывающим нелинейные эффекты;
- избирательность по побочным каналам приема, таким, как зеркальный канал ($f_z = f_c + 2f_{np}$) и канал на промежуточной частоте;
- ослабление паразитного излучения гетеродина через входную цепь и антенну.

В РПрУ диапазонов ДВ, СВ и КВ основным назначением УРЧ является обеспечение требуемой избирательности по зеркальному каналу и необходимого усиления. В диапазоне метровых и дециметровых волн УРЧ обеспечивает высокую чувствительность РПрУ.[6]

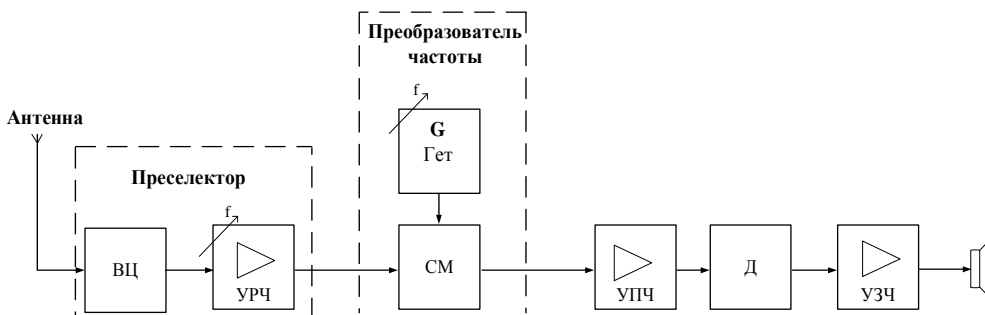


Рисунок 2.1 – Структурная схема супергетеродинного приемника

УРЧ входит в состав РПрУ. В состав УРЧ входят: усилительный прибор (УП); частотно-избирательная цепь на выходе УП, предназначенная для выделения области частот, где содержится основная часть спектра полезного сигнала $u_c(t)$.

Требования к УРЧ по ряду параметров аналогичны требованиям к ВЦ и включают в себя следующее:

- подавление помех, включая помехи зеркальной и промежуточной частот;
- обеспечение необходимого коэффициента усиления;
- перекрытие диапазона рабочих частот;
- установленная неравномерность АЧХ в заданной полосе пропускания. [6]

УРЧ делятся на резонансные и апериодические. В резонансных УРЧ в качестве резонансного элемента используются колебательные контуры различного вида. Такие УРЧ обладают частотной избирательностью. Апериодический УРЧ не содержит колебательного контура и поэтому избирательностью не обладает. Как правило, УРЧ содержит один-два каскада.

Большее число каскадов усложняет настройку и снижает устойчивость работы УРЧ

При необходимости получения большого коэффициента усиления применяют многокаскадные усилители. Если частотно-избирательные свойства обеспечены входными цепями усилительно-преобразовательного тракта УПОС, то для усиления могут быть использованы апериодические усилители с резистивной нагрузкой.

Резонансные УРЧ делятся на две группы; усилители с постоянной настройкой; усилители с переменной настройкой.

2.2 Основные характеристики усилителей сигналов радиочастоты

Резонансный коэффициент усиления по напряжению, равный отношению амплитуды выходного напряжения $U_{вых}$ к амплитуде входного напряжения $U_{вх}$ на резонансной частоте f_0 настройки частотно-избирательной цепи :

$$(K_U)_{рез} = U_{вых} / U_{вх}. \quad (2.1)$$

Для многокаскадного УРЧ общий коэффициент усиления:

$$K_{общ} = K_1 K_2 \dots K_n \quad (2.2)$$

Динамический диапазон усиливаемых входных сигналов, ограничиваемый снизу величиной U_{min} собственного шума усилителя радиосигналов и сверху величиной максимального уровня входных сигналов $U_{ex\ max}$, определяется выражением

$$D[\text{дБ}] = 20\lg [U_{ex\ max}/U_{min}] \quad (2.3)$$

Избирательность усилителя определяется типом частотно-избирательной цепи и ее параметрами. Избирательные свойства характеризуются коэффициентом прямоугольности k_n , равным отношению полосы пропускания $\Delta F_{0,707}$ на уровне 0,707 к полосе пропускания $\Delta F_{0,1}$, на уровне 0,1:

$$k_n = \Delta F_{0,707} / \Delta F_{0,1} \quad (2.4)$$

Коэффициент прямоугольности частотно-избирательной цепи всегда меньше единицы.

Коэффициент перекрытия диапазона радиочастот резонансного УРЧ с переменной настройкой, определяемый отношением максимальной частоты $f_{c\ max}$ диапазона к минимальной частоте $f_{c\ min}$:

$$k_n = f_{c\ max} / f_{c\ min} \quad (2.5)$$

Коэффициент шума радиоприемника, оцениваемый величиной отношения мощности шумов $P_{ш. вых}$ на выходе конкретного УРЧ к мощности шумов $P_{ш\ ид}$ на выходе идеального УРЧ:

$$K_{ш} = P_{ш. вых} / P_{ш. ид} \quad (2.6)$$

Под идеальным УРЧ понимается усилитель, на выходе которого появляются шумы, обусловленные лишь флуктуационными процессами в антенне или входных цепях, через которые на вход усилителя поступает полезный входной сигнал.

Искажения сигналов в УРЧ подразделяются на линейные, обусловленные частотно-избирательными цепями и нелинейные, вызываемые нелинейностью ВАХ усилительных приборов.

Многосигнальная селективность, под которой понимается способность УРЧ усиливать полезный входной сигнал на фоне сосредоточенной по спектру помехи, уровни которых таковы, что они создают нелинейные эффекты при одновременном действии входного сигнала и помехи.

Нелинейные эффекты, обусловленные в основном нелинейностью ВАХ усилительного устройства при больших уровнях полезного сигнала и помехи, вызывают следующие явления:

1. *Перекрестные искажения* полезного входного сигнала, проявляющиеся в переносе модуляции с мешающего внеполосного сигнала на радиосигнал. Это явление может возникнуть в случае, когда входной сигнал проходит через УРЧ одновременно с сильным внеполосным сигналом помехи, средняя частота которой находится на скатах АЧХ усилителя. При этом возникает дополнительная амплитудная (перекрестная) модуляция в полезном входном сигнале.

2. *Взаимная модуляция (интермодуляция)*, возникающая при воздействии на усилительный прибор с нелинейной ВАХ двух и более мешающих узкополосных (сосредоточенных по спектру) помех. При определенном соотношении средних частот этих помех образуются компоненты, проходящие на выход усилителя радиосигналов.

3. *Блокирование (подавление)* полезного входного сигнала. Это явление обусловлено наличием участка насыщения нелинейной ВАХ усилительного прибора. При условии, когда на вход такого прибора поступает полезный входной сигнал и мощная узкополосная помеха, происходит блокирование входного сигнала. Блокирование можно объяснить ограничением амплитуд смеси входного сигнала и помехи. Количественно это явление оценивают коэффициентом блокирования $k_{\text{бл}}$, который определяется как отношение амплитуды составляющей выходного сигнала УРЧ, обусловленной воздействием помехи $U_{\text{п. вых}}$ к амплитуде составляющей сигнала при отсутствии помехи $U_{\text{вых}}$:

$$k_{\text{бл}} = U_{\text{п. вых}} / U_{\text{вых}} \quad (2.7)$$

Кроме вышеперечисленных явлений в УРЧ имеются помехи на частотах $f_{c/k}$, появляющиеся вследствие нелинейности ВАХ усилительного прибора. В этом случае k -е гармоники помех попадают в полосу пропускания частотно-избирательной цепи УРЧ и проходят на выход усилителя. [1]

2.3 Резонансный усилитель

Операционные усилители - это основной тип интегральных усилителей, который очень часто используется в различных электронных схемах. Первоначально операционные усилители были разработаны для использования их в аналоговых вычислительных устройствах, отсюда их название. Однако в настоящее время область их применения намного шире. Сейчас ОУ - многокаскадный транзисторный усилитель, выполненный в виде микросхемы и имеющий большой коэффициент усиления напряжения.

В классической схеме инвертирующего усилителя, входной и выходной сигналы сдвинуты по фазе на 180 градусов. Благодаря высокому коэффициенту усиления усилителя без обратной связи, для изменения выходного напряжения усилителя во всем рабочем диапазоне достаточно весьма малых значения U_{∂} . (рис.2.2). Если подать на схему положительное $U_{\text{вх}}$, то U_{∂} станет положительным и выходной потенциал начнет снижаться (т.к входное напряжение подано на инвертирующий вход усилителя). Выходное напряжение будет меняться в отрицательном направлении до тех пор, пока напряжение на инвертирующем входе (точка А на рис. 2.2) не станет почти нулевым: $U_{\partial} = U_{\text{вых}}/A \approx 0$. Таким образом R_1 и $R_{\text{о.с}}$ действуют как делитель напряжения между $U_{\text{вых}}$ и $U_{\text{вх}}$, и отношение $U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ равно таковому $R_{\text{о.с}}/R_1$. Точку А называют потенциально заземленной, потому что ее потенциал почти равен потенциалу земли, так как U_{∂} , как правило, весьма мало.

Коэффициент усиления с обратной связью равен

$$K_{\text{о.с}} = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = -R_{\text{о.с}}/R_1 \quad (2.8)$$

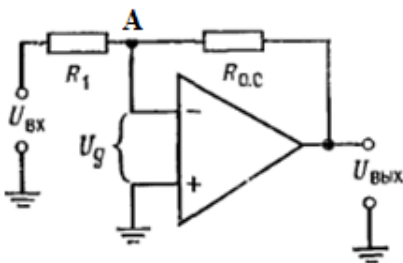


Рисунок 2.2 - Реальный инвертирующий усилитель.

Заменяв сопротивление обратной связи $R_{\text{о.с}}$, на комплексное сопротивление Z , получим усилитель с частотно – зависимой обратной связью (рис. 2.3).[2]

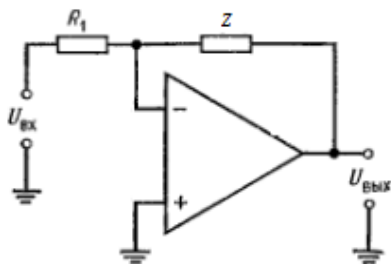


Рисунок 2.3 - Инвертирующий усилитель с частотно – зависимой обратной связью.

Заменяв комплексное сопротивление в цепи отрицательной обратной связи на резонансный LC контур, получим усилитель с частотно – избирательной обратной связью. Нужные параметры для избирательности контура задаются с помощью реактивных элементов: катушки индуктивности и емкости конденсатора.

Резонансные усилители предназначены для усиления сигналов в узкой полосе частот. Резонансные усилители, содержащие резонансные колебательные контуры и имеющие вследствие этого большое усиление в сравнительно узкой полосе частот, вблизи резонансной частоты, что позволяет не только усиливать, но и выделять колебания с требуемыми частотами. Резонансные усилители широко используются в радиотехнике, главным образом в качестве малошумящих избирательных усилителей на входе радиоприёмных устройств и мощных усилителей на выходе радиопередающих устройств. Узкополосность усилителя чаще всего достигается за счет использования резонансных явлений в LC контурах. [6]

Реализуем схему, аналогичную схеме в каскаде УРЧ модуля УПОС (рис. 2.4). На рисунке 2.4 приведена обобщенная схема, где перестройка по частоте резонансного каскада осуществляется микроконтроллером путем подачи напряжения смещения на варикап.

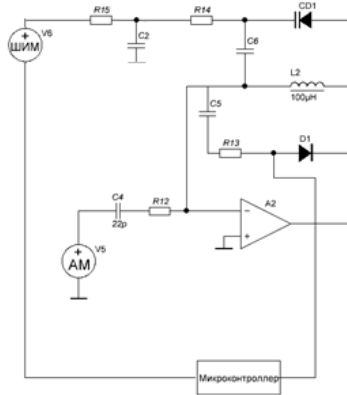


Рисунок 2.4 – Резонансный усилитель на операционном усилителе

Приведенная ниже исследуемая схема позволяет практически изолировать контур от внешних воздействий.

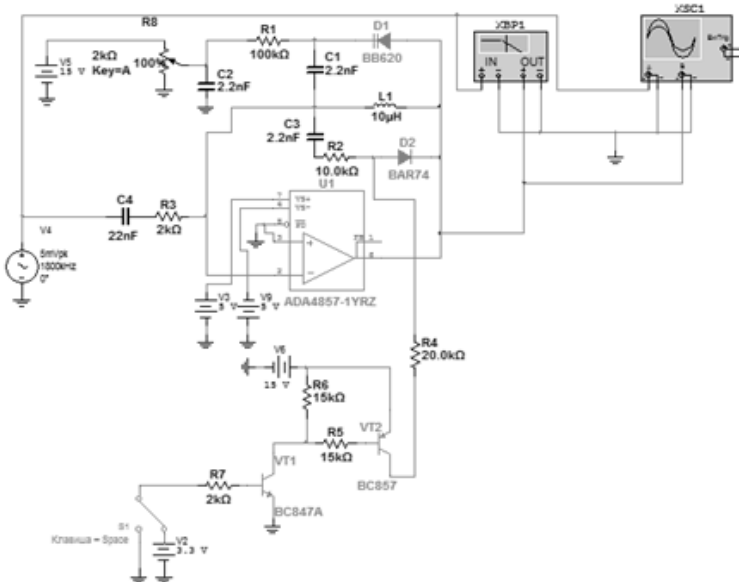


Рисунок 2.5 - Схема симулирования резонансного LC каскада на ОУ в среде Multisim.

Вносимое изменение непосредственно в контур меняет вид АЧХ, и соответственно его параметры. Добротность контура меняется путем подачи напряжения смещения на PIN-диод (D2), в результате чего его сопротивление по переменному току будет малым. Выбор смещения осуществляется с помощью транзисторов VT1 и VT2. Транзистор VT2 открыт, когда подается управляющий сигнал на транзистор VT1, в противном случае ток не течет через транзистор VT2. Управляющий сигнал подается с микроконтроллера.

На рисунках 2.6 видно, что при шунтировании добротность падает, а полоса увеличивается.

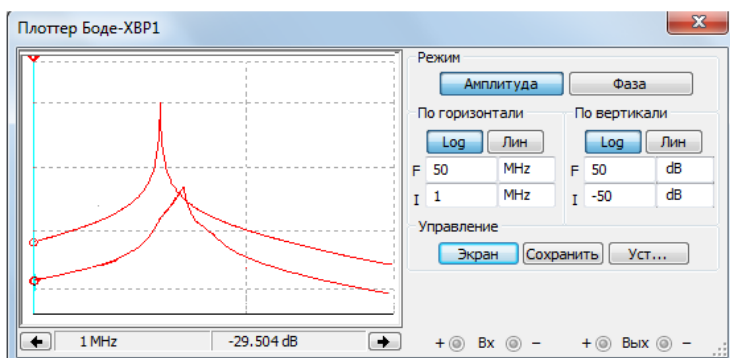


Рисунок 2.6 - АЧХ без воздействия и с воздействием шунтирования в среде Multisim.

Практическое внедрение данной схемы позволяет локализовать резонансный LC контур от других каскадов устройства.

Настройка на резонансную частоту осуществляется микроконтроллером путем подачи напряжения смещения на варикап (BV182). Напряжения источника V5 выбирается на основании вольт-фарадной характеристики варикапа D1 (рис. 2.7). На рисунке 2.8 показаны АЧХ при различных номиналах напряжения.

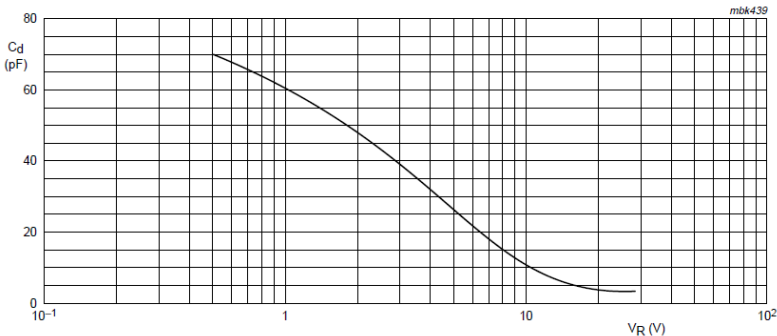


Рисунок.2.7 – Вольт – фарадная характеристика варикапа VV182

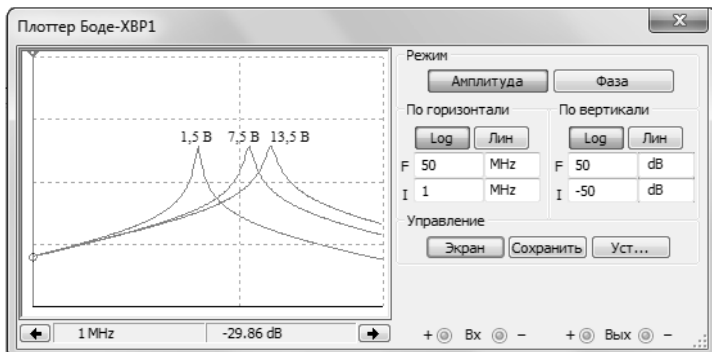


Рисунок 2.8 - АЧХ резонансного «LC» каскада на ОУ при различных номиналах напряжения на варикапе (в среде Multisim).

2.4 УРЧ модуля УПОС

Резонансный УРЧ в модуле УПОС реализован по схеме резонансного LC каскада на ОУ ADA4857-1.

Усилитель с регулируемым коэффициентом усиления в модуле УПОС реализован на микросхеме AD8324. Усилитель способен усиливать входной сигнал порядка 35 дБ и ослаблять сигнала на 25 дБ. (рис. 2.9).

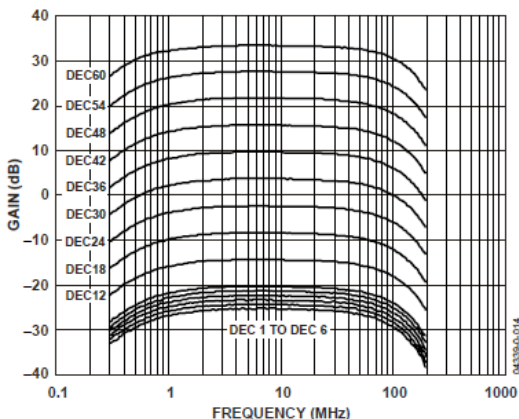


Рисунок 2.9 - Коэффициент передачи усилителя AD8324, при различных значениях аттенюатора

Во многом благодаря идеальным свойствам операционных усилителей, применять их значительно проще, чем дискретные транзисторы. Привлекательность классического ОУ связана с его высокими параметрами на звуковых частотах. Первые ОУ были слишком инерционны, поэтому вскоре появились варианты с модифицированной архитектурой, обладающие хорошими высокочастотными характеристиками, так что к настоящему времени практически не осталось направлений, где дискретные транзисторы имеют преимущества перед ОУ, за исключением СВЧ диапазона. [2]

Буферный каскад в модуле УПОС используется для развязки резонансного контура с последующими каскадами УРЧ, что позволяет реализовать предварительный усилитель на операционном усилителе с резонансным контуром в цепи обратной связи. Буферный каскад реализован на ОУ, включенном по схеме инвертирующего усилителя, с коэффициентом передачи равным единице. Выбор номиналов резисторов обусловлен минимальным влиянием буферного каскада на резонансный контур и минимальными затуханиями сигнала.

Управление резонансными контурами и настройка на резонансную частоту осуществляется с помощью варикапа ВВ182 с подключаемой параллельно катушкой индуктивности. Ёмкость варикапов меняется в пределах 4 – 80 пФ при изменении на них напряжения смещения (рис. 2.7). Напряжение смещения регулируется с помощью широтно-импульсного

модулятора микроконтроллера. Спектр ШИМ – сигнала представлен на рисунке 2.10.

Спектр содержит постоянную составляющую среднего уровня сигнала и пик частоты гармоник, закодированной в ШИМ – сигнале. Для выделения постоянной составляющей ШИМ сигнала и подавления частоты повторения (ЧП) используется ФНЧ [8].

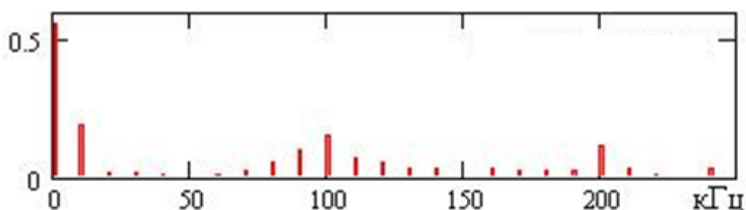


Рисунок 2.10 – Модуль спектра ШИМ сигнала.

Для согласования уровней постоянной составляющей ШИМ – сигнала и необходимого напряжения для смещения варикапов используется ОУ *AD8661*, включенный по схеме неинвертирующего усилителя постоянного тока (УПТ). Напряжение на выходе данного ОУ изменяется в пределах 0 – 15В, что позволяет использовать полный динамический диапазон ВФХ варикапа, представленной на рисунке 2.7.

Порядок выполнения работы

1. Выполнить действия, описанные в п.1 лабораторной работы №1. На генераторе выбрать частоту и модуляцию сигнала аналогичную частоте, взятой в лабораторной работе №1.

2. В программе «YPOS», вкладка «Базовые настройки», включить тумблер «Входная цепь 2».

3. Установить диапазон частот и амплитуду сигнала по указанию преподавателя («Начальная частота»; «Конечная частота»; «Амплитуда сигнала»).

4. Установить значения «Уровень ШИМ ВЦ» аналогично значениям, выбранным в лабораторной работе №1.

5. Подобрать значения «Уровень ШИМ УРЧ» таким образом, чтобы уровень выходного сигнала (КТ 6,7) был максимальным (см. осциллограф).

6. Выбрать вкладку «Резонансные характеристики» (рис. 1.9).

- 6.1. Установить тумблер переключения режимов исследования в положения «YRCh»;
- 6.2. Установить значения «Количество точек на АЧХ» по указания преподавателя (50 или 100 точек);
- 6.3. Выбрать значение «количество точек ШИМ» 10-ти;
- 6.4. На индикаторе «Шкала частот» установить выбранный диапазон частот в п. 3;
- 6.5. Нажать кнопку начала измерений «Start»;
- 6.6. После завершения расчетов, зафиксировать полученные данные.
- 6.7. Вкладка «Базовые настройки», включить тумблер «Шунтирование». (положение «on»);
- 6.8. Выбрать вкладку «Резонансные характеристики», нажать кнопку начала измерений «Start»;
- 6.9. После завершения расчетов, зафиксировать полученные данные.(см. пример в Приложении Б).
7. Выключить тумблер «Входная цепь 2», включить тумблер «Входная цепь 1», проделать действия, описанные в п.б.
8. Выключить тумблер «Входная цепь 1», включить тумблер «Входная цепь 3», проделать действия, описанные в п.б.
9. Выключить тумблер «Входная цепь 3», включить тумблер «Входная цепь 4», проделать действия, описанные в п.б.
10. Составить отчет по лабораторной работе в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 6.1 – 9.7;

Контрольные вопросы

1. Каково назначение усилителя радиосигналов в устройствах приема и обработки сигналов?
2. Каковы основные характеристики усилителей радиосигналов?
3. С чем связано смещение резонансной частоты настройки УРЧ при резонансной нагрузке?
4. При каких условиях достигается максимум коэффициента усиления в резонансном усилителе?
5. От чего зависит коэффициент шума резонансного усилителя с ВЦ?

Лабораторная работа №3. Исследование преобразователя частоты

Цель работы: Экспериментальное исследование процесса преобразования частоты входного сигнала, выполненного по схеме двойного балансного смесителя.

3.1 Общие сведения

Преобразователем частоты называется устройство, предназначенное для переноса спектра радиосигнала из одной частотной области в другую без изменения вида и параметров модуляции, т.е. линейно (рис. 3.1).

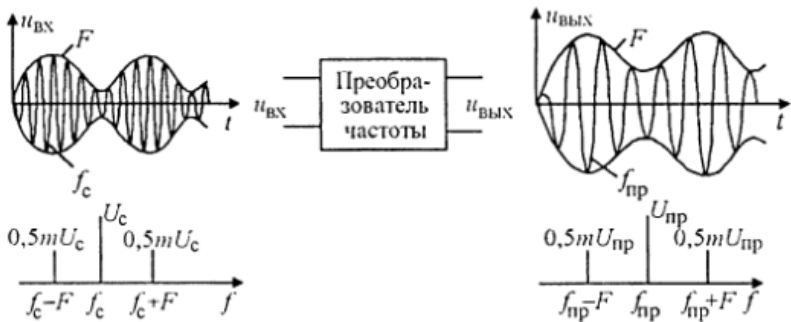


Рисунок 3.1 – Перенос спектра сигнала

В состав преобразователя частоты входит: смеситель и гетеродин. Ширина спектра выходного сигнала смесителя $u_{\text{вых}}(t)$ намного превышает ширину спектра входного сигнала $u_c(t)$. С помощью полосового фильтра на выходе преобразователя выделяется сигнал $u_{n.v}(t)$ промежуточной частоты. [5]

Преобразование частоты может быть выполнено следующими способами:

1. Использованием в качестве смесителя электронного прибора (транзистора, диода) с нелинейной характеристикой вида $y = L(x)$. На вход такого прибора суммы поступает входной сигнал:

$$u_c(t) = U_c \cos(\omega_c t + \varphi_c) \quad (3.1)$$

и сигнал гетеродина

$$u_c(t) = U_c \cos \omega_c t \quad (3.2)$$

При перемножении напряжений сигнала и гетеродина появляются комбинационные составляющие

$$u_c(t) u_e(t) = 0,5 U_c U_e \cos[(\omega_e \pm \omega_c)t \pm \varphi_e] \quad (3.3)$$

Одно из них (обычно с частотой $\omega_r - \omega_c$ или $\omega_c - \omega_r$) выделяется в нагрузке смесителя, в качестве которой используется частотно-избирательная система – полосовой фильтр, и называется напряжением промежуточной частоты:

$$u_{np}(t) = U_{np} \cos(\omega_{np}t + \varphi_{np}) \quad (3.4)$$

2. Использование электронного устройства, выполняющего операцию перемножения двух функций. Сигнал на выходе такого устройства определяется выражением $A u_c(t) u_r(t)$, где A – постоянный коэффициент, не зависящий от $u_c(t)$ и $u_r(t)$. При идеальном перемножении сигналов $u_c(t) = U_c \cos \omega_c t$ и $u_r(t) = U_r \cos \omega_r t$ в токе на выходе смесителя возникают колебания с частотами $\omega_n = |\omega_e \pm \omega_c|$, одно из которых далее выделяется в нагрузке. Побочные колебания, возникающие вследствие не идеальности операции перемножения, подавляются полосовым фильтром.

3. Использование параметрического преобразователя на реактивном элементе. В основе работы такого устройства лежит физический процесс преобразования энергии генератора высокочастотного сигнала (так называемого «генератора накачки») в энергию выходного сигнала, что приводит к преобразованию в реактивном элементе энергий входного сигнала и сигнала гетеродина в энергию сигнала промежуточной частоты. Обмен энергии осуществляется с помощью реактивного элемента – конденсатора или индуктивности, величины которых $C(t)$ или $L(t)$ изменяются как функции времени, благодаря управлению со стороны «генератора накачки». Такие преобразователи наиболее эффективно работают в диапазоне СВЧ.

Основными показателями качества преобразователя частоты являются: коэффициенты усиления по напряжению и по мощности, диапазон рабочих частот, избирательность, коэффициент шума, коэффициент интермодуляции. Они аналогичны показателям резонансных усилителей, однако некоторые из них имеют особенности, присущие режиму преобразования частоты. Например, в отличие от усилителей в преобразователе частоты появляются побочные каналы приема, которые ухудшают их избирательные свойства и заставляют принимать специальные меры.

3.2 Принцип действия идеального смесителя

Идеальный смеситель (рис. 3.2) аналогичен мультиплексору. На входы поступают преобразуемый сигнал и сигнал гетеродина, необходимый для преобразования. В идеальном случае последний из них является синусоидальным. На выходе получают преобразованный сигнал вместе с дополнительными составляющими, возникшими в ходе преобразования. Нежелательные составляющие подлежат подавлению с помощью фильтров в процессе последующей обработки сигнала. Поэтому для преобразования частоты в дополнение к смесителю нужны еще один или два фильтра. Обычно вход для преобразуемого сигнала называют просто входом, а вход для сигнала гетеродина – входом гетеродина. [3]

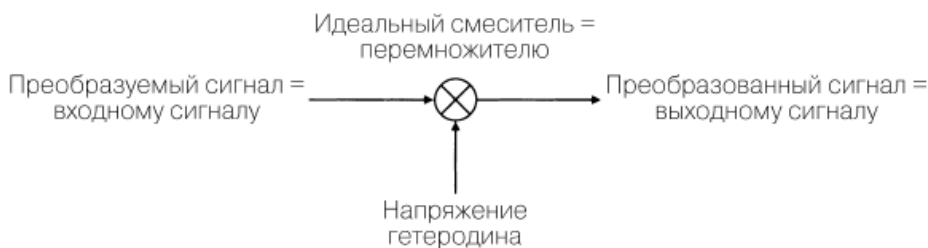


Рисунок 3.2 – Идеальный смеситель

Преобразование входного сигнала на более высокую частоту называют восходящим преобразованием, соответствующий смеситель – повышающим смесителем. Соответственно, говорят о нисходящем преобразовании и понижающем смесителе, если преобразование входного сигнала смесителем приводит к понижению его частоты. Ниже приведены частотные параметры повышающего и понижающего смесителей (рис. 3.3):

- промежуточная частота (ПЧ) $f_{пр}$. ПЧ меньше по сравнению с несущей входного сигнала у понижающего смесителя и ПЧ больше по сравнению с несущей входного сигнала у повышающего смесителя;

- радиочастота (РЧ) $f_{рч}$;

- частота гетеродина $f_г$ равна смещению частоты вследствие преобразования. [3]

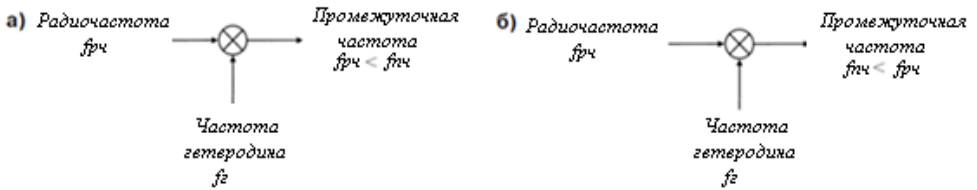


Рисунок 3.3 – Частоты смесителей а) повышающий смеситель; б) понижающий смеситель.

3.3 Повышающий смеситель

На вход повышающего смесителя подается сигнал РЧ. Следует отметить, что здесь используется представление сигнала через амплитудную $a(t)$ и угловую $\varphi(t)$ модуляцию:

$$S_{рч}(t) = a(t)\cos[\omega_{рч} t + \varphi(t)] \quad (3.5)$$

Данный сигнал перемножается с сигналом гетеродина:

$$S_{г}(t) = 2\cos\omega_г t. \quad (3.6)$$

На выходе смесителя получим:

$$S(t) = S_{рч}(t) \times S_{г}(t) = a(t)\cos[(\omega_г + \omega_{рч})t + \varphi(t)] + a(t)\cos[(\omega_г - \omega_{рч})t - \varphi(t)] \quad (3.7)$$

Составляющая на частоте $f_г + f_{рч}$ называется полоса ПЧ и характеризуется той же последовательностью частот спектра, что и сигнал РЧ. Ее называют *прямым порядком*. Составляющая на частоте $f_г - f_{рч}$ называется полоса зеркального сигнала и характеризуется последовательностью частот спектра, обратной по отношению к сигналу РЧ. Ее называют *обратным порядком*. ПЧ полоса служит выходным сигналом. Ненужная полоса должна подавляться с помощью фильтра. [3]

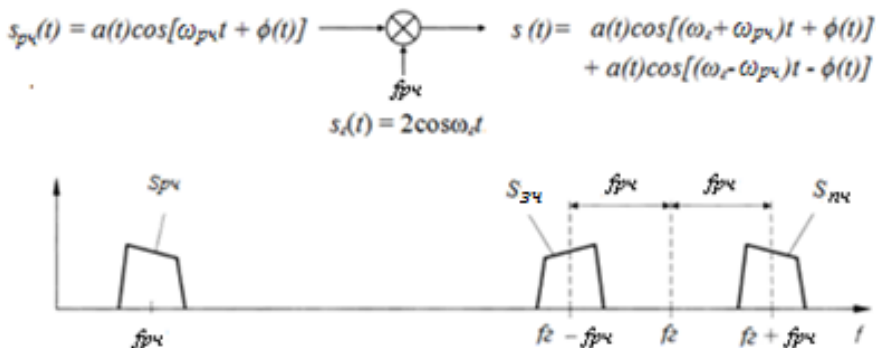


Рисунок 3.4 - Спектры сигналов в случае повышающего смесителя

3.4 Понижающий смеситель

На вход понижающего смесителя подается сигнал РЧ

$$S_{pч}(t) = a(t)\cos[\omega_{pч} t + \varphi(t)] \quad (3.8)$$

и перемножается с сигналом гетеродина (рис. 3.3)

$$S_c(t) = 2\cos\omega_c t.$$

На выходе получаем:

Прямой порядок $f_{pч} > f_c$

$$S(t) = s_{pч}(t) \times s_c(t) = a(t)\cos[(\omega_{pч} - \omega_c)t - \varphi(t)] + a(t)\cos[(\omega_{pч} + \omega_c)t + \varphi(t)]$$

Или

Обратный порядок $f_{pч} < f_c$

$$= a(t)\cos[(\omega_c - \omega_{pч})t - \varphi(t)] + a(t)\cos[(\omega_c + \omega_{pч})t + \varphi(t)] \quad (3.9)$$

Помимо полезной составляющей с разностной частотой, выходной сигнал содержит дополнительную составляющую с суммарной частотой, которую необходимо подавить с помощью фильтра. Тогда для сигнала ПЧ имеем:

$S_{nч}(t) = a(t)\cos[(\omega_{pч} + \omega_c)t + \varphi(t)]$ - Прямой порядок $f_{pч} > f_c$;

$a(t)\cos[(\omega_c - \omega_{pч})t - \varphi(t)]$ - Обратный порядок $f_{pч} < f_c$;

Если РЧ выше частоты гетеродина, получим сигнал ПЧ в прямом порядке с той же последовательностью частот (рис. 3.5 а). В противном случае образуется сигнал ПЧ в обратном порядке с обращенной последовательностью частот относительно спектра РЧ. (рис. 3.5 б).

Сигнал РЧ, поступающий на вход понижающего смесителя, нередко содержит не только полезный сигнал с частотой $f_{pч} = f_c \pm f_{nч}$, но и зеркальный сигнал с зеркальной частотой $f_{зep} = f_c \pm f_{nч}$, который также преобразуется в промежуточную частоту.[3]

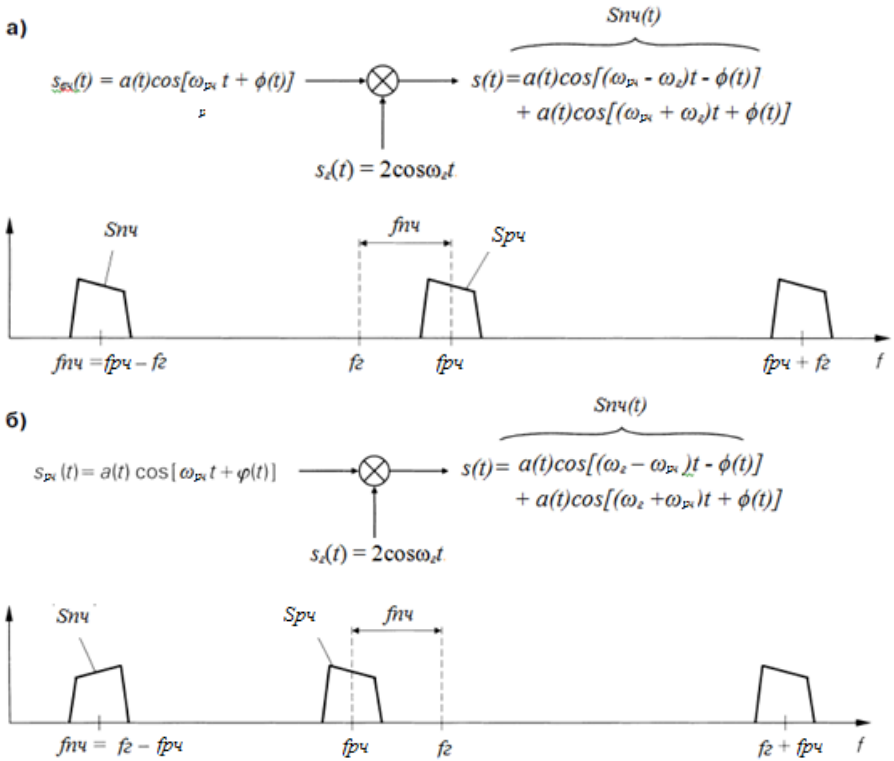


Рисунок 3.5 - Спектры сигналов в случае понижающего смесителя: а – в прямом порядке; б – в обратном порядке.

В этом случае смеситель работает в прямом и обратном порядке. Это показано на рисунке 3.6 на примере понижающего смесителя с РЧ $f_{pч} = f_c + f_{nч}$ в прямом порядке и зеркальной частотой $f_{зep} = f_c - f_{nч}$ – в обратном, причем последовательность частот зеркального сигнала инвертирована из-за обратного порядка. Для того чтобы смеситель преобразовывал только полезный сигнал РЧ, зеркальный сигнал должен быть подавлен фильтром зеркальной частоты, включенным перед смесителем.

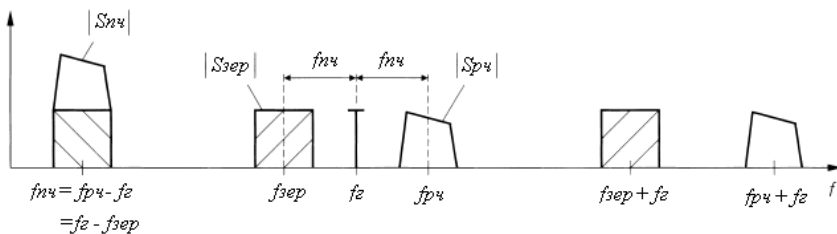


Рисунок 3.6 - Зеркальная частота $f_{згп}$ в случае понижающего смесителя в обратном порядке

3.5 Принцип действия практических смесителей

На практике мультиплексоры в качестве смесителей почти не применяются. Реальные мультиплексоры характеризуются высокой линейностью по обоим входам, которая, однако, не требуется для преобразования частоты. Практические мультиплексоры в роли смесителей даже вредны, поскольку высокая линейность достигается ценой схемотехнических ухищрений, результатом которых становится весьма высокий коэффициент шума, недопустимый в большинстве случаев функционирования в режиме смесителя.

Для практического смесителя вполне достаточно, чтобы сигналы идеального восходящего или нисходящего преобразования содержались в напряжениях и токах смесителя, в которых могут присутствовать любые другие сигналы, лишь бы их удавалось отделять по частоте от полезного сигнала и подавлять на выходе с помощью фильтров. В этой связи важно отличать *аддитивное смешивание* от *мультипликативного*.

При аддитивном смешивании происходит сложение сигналов радиочастоты и гетеродина, добавляется постоянная составляющая U_0 , и результат подается на схемный элемент с нелинейной вольтамперной характеристикой. Благодаря нелинейности появляется множество комбинационных частот, среди которых имеется и полезная частота, которую выделяют полосовым фильтром. Принцип аддитивного смешивания показан на рисунке 3.7. [3]

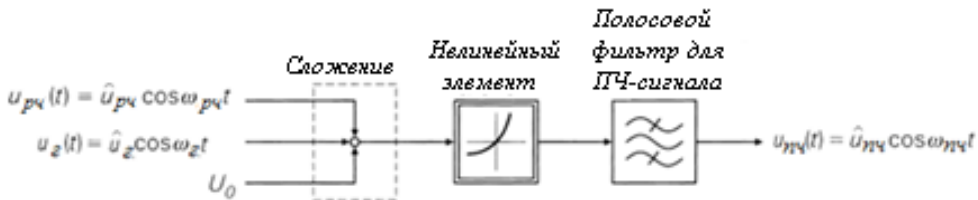


Рисунок 3.7 - Принцип аддитивного смешивания

При мультипликативном смешивании сигнал радиочастоты перемножается с сигналом гетеродина. В отличие от принципа действия идеального смесителя при этом применяется не синусоидальный, а общий периодический сигнал гетеродина с базовой частотой f_c . Полезная частота отфильтровывается из смеси частот с помощью полосового фильтра. [3]

Принцип мультипликативного смешивания показан на рисунке 3.8.

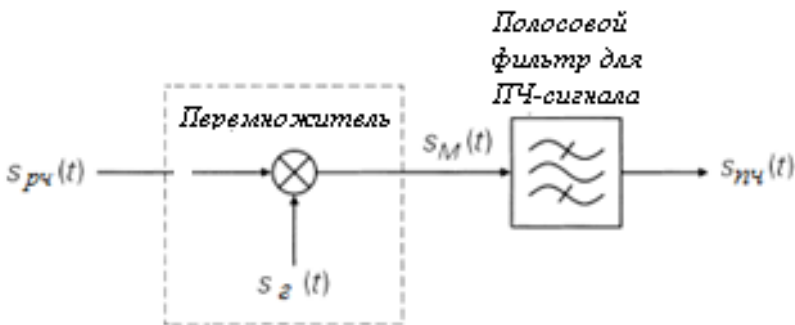


Рисунок 3.8 - Принцип мультипликативного смешивания

3.6 Двойной балансный смеситель

Схема двойного балансного смесителя (смесителя Гильберта) представлена на рисунке 3.9. Такому смесителю отдают предпочтение в интегральных схемах, так как он способен функционировать без фильтра, расположенного непосредственно в смесителе. В этом случае подавление паразитных составляющих осуществляется в последующих компонентах устройства.

Рассмотрим понижающий двойной балансный смеситель на транзисторах (Смеситель Гильберта). Смеситель Гильберта состоит из пары балансных смесителей, выходы которых связаны между собой: T_1 , T_2 и T_5 , а также T_3 , T_4 и T_6 . Схемы с общим эмиттером и обратной связью по току (T_5 , T_6), работающие как преобразователь напряжение–ток, подключены к дифференциальному усилителю с обратной связью по току и противофазно управляются напряжением сигнала радиочастоты $U_{pч}$. Благодаря этому точка соединения обоих резисторов цепи обратной связи $R_{o.c}$ служит точкой виртуальной земли (земля по переменному току). Ток покоя задается источником тока $2I_0$ благодаря тому, что $I_{C5,A} = I_{C6,A} = I_0$. Напряжение гетеродина U_c , в идеале имеющее прямоугольную форму, противофазно подается на дифференциальный усилитель (T_1 , T_2 и T_3 , T_4), работающий в режиме переключателя.

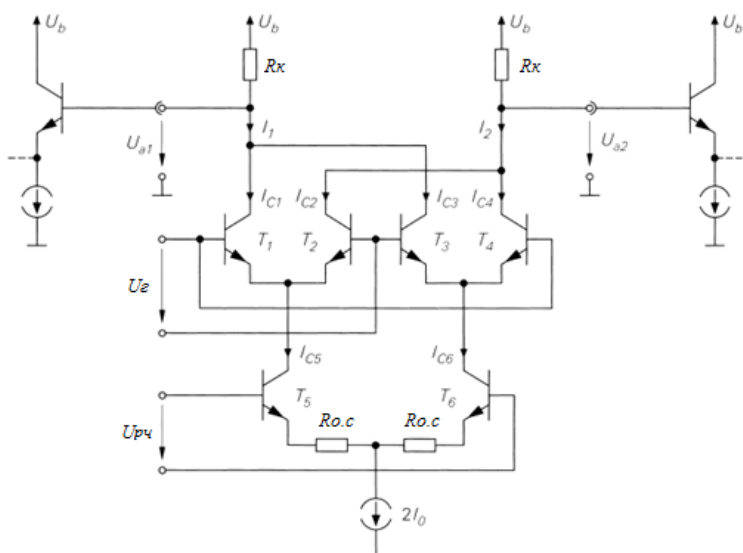


Рисунок 3.9 – Двойной балансный смеситель на транзисторах

Вместо высокочастотного фильтра используются два резистора в цепи коллектора R_k , поэтому здесь фильтрация сигнала вообще отсутствует и выходные напряжения наряду с полезной высокочастотной составляющей содержат и другие сигналы, генерируемые при смешивании частот. Как правило, на выходах имеются схемы с общим коллектором в качестве

преобразователей полного сопротивления. Только после этого включают фильтр ПЧ, причем в большинстве случаев используется диэлектрический фильтр или пьезокерамические фильтры с высоким коэффициентом прямоугольности.

Двойной балансный смеситель на рисунке 3.9 соответствует дифференциальному усилителю с обратной связью по току и коллекторными резисторами, в котором возможно переключение полярности между входами и выходами промежуточной частоты. Как и всякий дифференциальный усилитель, двойной балансный смеситель может эксплуатироваться в несимметричном режиме, если на один из входов ПЧ подать постоянный потенциал, использовать лишь один выход или сочетание обоих выходов. Возможен также несимметричный гетеродинный вход. Однако несимметричный режим отрицательно влияет на переходную характеристику. Поэтому несимметричное напряжение гетеродина уже до смесителя преобразуется в симметричное с помощью симметрирующего трансформатора или несимметричного дифференциального усилителя.

Принцип действия двойного балансного смесителя представлен на рисунке 3.10. Нетрудно заметить, что каждый из балансных смесителей управляется противофазно относительно другой половиной напряжения промежуточной частоты. [3]

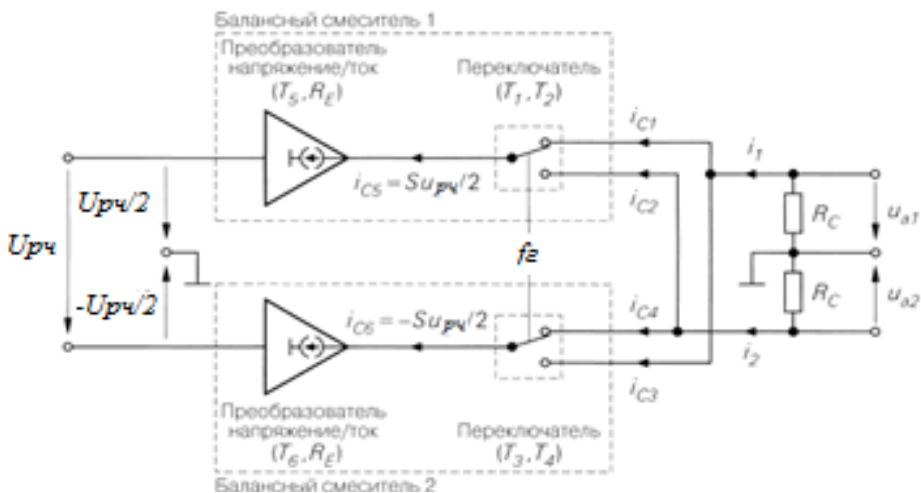


Рисунок 3.10 - Малосигнальная схема двойного балансного смесителя на транзисторах

3.7 Балансный смеситель модуля УПОС

Преобразователь частоты в модуле УПОС состоит из двойного балансного смесителя и синтезатора частоты (гетеродина). Благодаря свойствам преобразователя, возможна реализация трех видов приемников.

В зависимости от реализуемого типа приемника, выбирается режим работы балансного смесителя, либо как усилительного устройства с преобразованием частоты, либо как простого усилительного устройства.

В случае супергетеродинного приемника балансный смеситель работает в режиме с преобразованием частоты.

Частота гетеродина выбирается как: $f_z = f_{pч} - f_{np}$, где

$$f_{np} = f_{pч} - f_z, \text{ при } f_{pч} > f_z$$

Частота гетеродина выбирается как: $f_z = f_{pч} + f_{np}$, где

$$f_{np} = f_z - f_{pч}, \text{ При } f_z > f_{pч}$$

В случае приемника прямого преобразования балансный смеситель работает в режиме с преобразованием частоты. Частота гетеродина выбирается как: $f_z = f_{pч}$.

В случае приемника прямого усиления балансный смеситель работает в режиме усилителя с широким диапазоном частот усиления. Частота гетеродина в этом случае $f_z = 0$.

Таким образом, управление режимом работы двойного балансного преобразователя осуществляется в зависимости от типа исследуемого приемника.[8]

3.7 Побочные каналы приема

Преобразователь частоты, как отмечалось ранее, в общем случае служит для переноса спектра входного сигнала с частотой $f_{pч}$ в другую область вблизи номинального значения промежуточной частоты $f_{п.ч}$ с сохранением закона модуляции.

Сигналы с частотами $f_{pч}$, удовлетворяющими соотношению

$$f_z - f_{pч} = f_{п.ч} \quad (3.10)$$

называются *сигналами, соответствующими основному каналу приема*.

Колебания на выходе преобразователя частоты с частотой $f_{п.ч}$ образуются в результате действия сигналов помехи с частотами f_n , полученными из формулы

$$f_{n,ч} = |\pm mf_c \pm nf_n|, m, n = 0, 1, 2, \dots, N \quad (3.11)$$

Равенство означает, что значение частоты, определяемое величиной модуля в выражении (3.11), отличается от величины $f_{n,ч}$ не более чем на половину полосы пропускания частотно-избирательной системы на выходе преобразователя. Решив выражение (3.11) относительно частоты помехи f_n , получим

$$f_n = m/n f_c \pm 1/n f_{n,ч}. \quad (3.12)$$

Сигналы с частотами f_n , удовлетворяющие соотношению (3.12), называют *сигналами помехи, соответствующими побочным каналам приема*.

При $m = 1$ и $n = 1$ из выражения (3.12) получим

$$f_n = f_c + f_{n,ч} = f_3. \quad (3.12)$$

При выполнении равенства (3.12) побочный канал приема называется *зеркальным*. На рисунке 3.11 условно на частотной оси изображены сигналы гетеродина, его гармоники, а также сигналы, принимаемые по основному и побочным каналам приема.

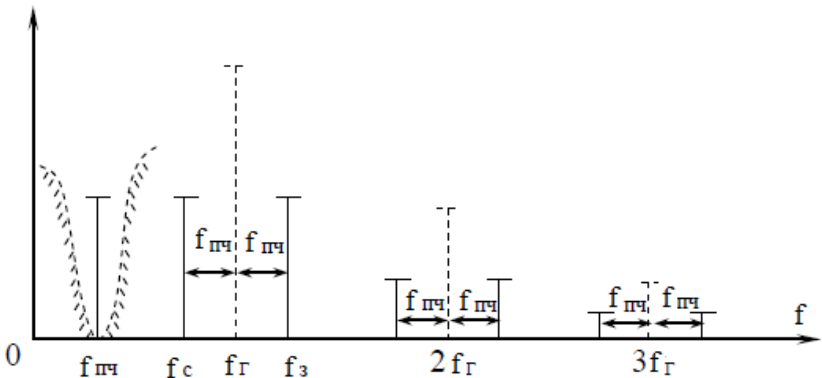


Рисунок 3.11 - Спектр основного и побочных каналов приема

Помеха, принимаемая по зеркальному каналу, преобразуется по частоте на равных основаниях с входным сигналом, поэтому ее подавление или эффективное ослабление должно осуществляться до преобразования частоты, с помощью частотно-избирательных систем входных цепей и усилителя радиосигналов.

Борьба с сигналами, соответствующими побочным каналам приема, происходит с помощью входных цепей и усилителей радиочастоты, а также

путем соответствующего выбора величины $f_{n,ч}$ либо с помощью двойного и тройного преобразования частоты. [5]

Порядок выполнения работы

1. Выполнить действия, описанные в п.1 лабораторной работы №1. На генераторе выбрать частоту и модуляцию сигнала аналогичную частоте, взятой в лабораторной работе №1.

2. В программе «YPOS», вкладка «Базовые настройки», включить тумблер «Входная цепь 2».

3. Указания по настройке преселектора смотреть в п.4 лабораторной работы №1 и п.5 лабораторной работы №2.(значения «Уровень ШИМ ВЦ» и «Уровень ШИМ УРЧ»).

4. Подобрать значения коэффициента усиления усилителя (вкладка «УРЧ» в блоке «Усилители») по указанию преподавателя (значения «30» соответствует усилению на 0 дБ).

5.1. Исследование приемника супергетеродинного типа;

5.1.1. Установить частоту гетеродина (вкладка «Частота гетеродина») так, чтобы разностный сигнал гетеродина и несущей был 455 кГц. ($f_{nч} = f_{рч} - f_{с}$, где $f_{nч} = 455$ кГц);

5.1.2. Выбрать вкладку «Спектр»; (рис. 1.11)

5.1.3. Выбрать соответствующий канал осциллографа (Канал 1 или Канал 2), который отображает исследуемый сигнал; (Вкладка «Выбор канала с осциллографа»);

5.1.4. Исследуемый сигнал снимается на контрольной точке №10;

5.1.5. Нажать кнопку начала измерений «Start»;

5.1.6. Зафиксировать полученные на виртуальном осциллографе и спектроанализаторе графики (см. пример в Приложении В).

5.2 Исследование приемника прямого преобразования;

5.2.1. Установить частоту гетеродина, равной частоте несущего сигнала. ($f_{рч} = f_{с}$);

5.2.2. Прodelать действия, описанные в пунктах 5.1.1-5.1.6.

5.3. Исследование приемника прямого усиления;

5.3.1. Установить частоту гетеродина нулевой ($f_{г}=0$), а фазу гетеродина 90 градусов (Вкладка «Фаза гетеродина»);

5.3.2. Прodelать действия, описанные в пунктах 5.1.1 – 5.1.6.

6. Составить отчет по лабораторной работе в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 6.1 – 97.

Контрольные вопросы

1. Каковы принципы построения и схемы преобразователей частоты? В чем состоят достоинства и недостатки смесителей, выполненных по различным схемам?
2. Как происходит преобразование частоты?
3. Какие искажения сигналов возможны в преобразователе частоты?
4. Вследствие чего возникают интерференционные искажения сигнала?
4. Как выбирается промежуточная частота приемника?
5. Вследствие чего появляются побочные каналы приема при супергетеродинном приеме?
6. Как происходит преобразование частоты в балансном смесителе?

Лабораторная работа №4. Исследование тракта промежуточной частоты.

Цель работы: Экспериментальное исследование процесса работы тракта промежуточной частоты.

4.1 Общие сведения

Тракт промежуточной частоты включает в себя часть схемы приемника от входа первого преобразователя частоты до входа детектора (рис. 4.1).

Тракт должен обеспечивать преобразования разной принимаемой частоты сигнала (в соответствии с частотой настройки приемника) к постоянной основной промежуточной частоте, на которой осуществляется выполнение требований основного усиления и основной избирательности сигнала по соседним каналам.

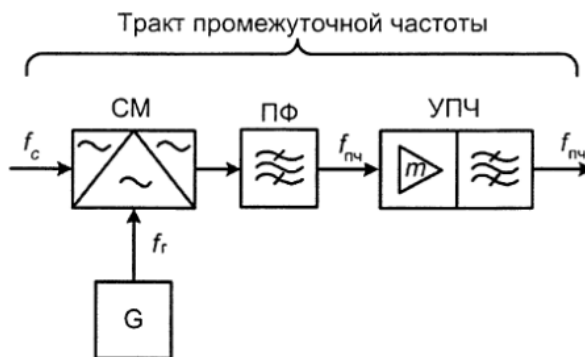


Рисунок 4.1 - Структурная схема тракта промежуточной частоты

В зависимости от числа преобразований тракт промежуточной частоты подразделяется на тракты первой, второй и т.д. промежуточных частот, один из которых является трактом основной промежуточной частоты (ОПЧ). Каждый из указанных трактов состоит из преобразователя частоты и каскадов усиления соответствующей промежуточной частоты. [1]

Применять несколько преобразований частоты приходится вследствие противоречивости требований к выбору номиналов промежуточной частоты. Одни требования можно удовлетворить только при выборе

достаточно высокой, другие - достаточно низкой промежуточной частоты, третьи диктуют вполне определенные соотношения между номиналами промежуточных частот, между частотами радиосигнала, промежуточной и первичного сигнала. В соответствии с указанными противоречивыми требованиями выбирается количество преобразований частоты и номиналы промежуточных частот. В современных приемниках используются не более двух-трех преобразований частоты.

Тракты первой, второй и т.д. промежуточных частот предназначены для:

- выделения и усиления колебаний соответствующих ПЧ;
- развязки между преобразователями частоты;
- подавления побочных каналов приема последующего преобразования частоты.

Тракт основной промежуточной частоты выполняет следующие функции:

- основное усиление, обеспечивающее нормальный режим работы детектора и реализацию возможностей приемника по чувствительности. Как правило, это усиление реализуется с помощью многокаскадного усилителя, охваченного системами автоматической и ручной регулировок усиления;
- основная избирательность по соседним каналам приема. Полоса пропускания и прямоугольность характеристики избирательности приемника определяются в основном полосой пропускания и прямоугольности характеристики избирательности тракта ОПЧ. Если приемник рассчитан для приема сигналов с разной шириной спектра, то в тракте реализуется регулировка полосы пропускания.

С целью обеспечения высоких и неизменных коэффициентов усиления и прямоугольности фильтра основная промежуточная частота выбирается достаточно низкой и постоянной. [1]

4.2 Выбор значения промежуточных частот

Выбор номиналов промежуточных частот в приемнике определяется следующими основными факторами:

1. Номинальные значения промежуточных частот следует выбирать в диапазоне, где не работают мощные радиостанции. Для вещательных приемников установлены стандартные номиналы промежуточных частот. 110 или 465 кГц.

Для профессиональных приемников ДВ, СВ и КВ стандартных значений не установлено, но существуют нормализованные значения промежуточных частот, выбираемые в диапазонах 110...115; 125...130; 210...215; 460...465; 490...510; 720...750; 910...930; 1500...1600, 2200 и 3000 кГц.

Для приемников метрового, дециметрового и сантиметрового диапазонов нормализованы следующие значения ПЧ: 10,7; 23, 30, 70, 120, 140, 300 МГц.

2. Номинальное значение промежуточной частоты не должно выбираться в пределах диапазона рабочих частот приемника. Оно должно быть отнесено как можно дальше от границ этого диапазона с целью обеспечения необходимого подавления помехи по каналу промежуточной частоты. Фактическое подавление помехи на частоте $f_{пч}$ должно быть равно или превышать требуемое (D_{mp}), т.е.

$$D(f_{пч}) = D_{ex}(f_{пч}) \prod_{i=1}^n D_i(f_{пч}) \geq D_{mp}(f_{пч}) \quad (4.1)$$

, где $D_{ex}(f_{пч})$ - подавление помехи по каналу ПЧ во входном устройстве; $D_i(f_{пч})$ - подавление помехи по каналу ПЧ i -м каскадом усиления; n – число каскадов; $D_{mp}(f_{пч})$ - требуемое подавление, указанное в ТТХ приемника.

Подавления $D_{ex}(f_{пч})$ и $D_i(f_{пч})$ зависят от относительной расстройки канала промежуточной частоты $f_{пч}$ относительно частоты настройки приемника $f_{рч}$:

$$\delta = \frac{f_{пч}}{f_{рч}} - \frac{f_{рч}}{f_{пч}} \quad (4.2)$$

Подавление тем больше, чем больше относительная расстройка δ .

Выбор наихудшей точки для подавления помехи по $f_{пч}$ различен при преобразовании частоты с понижением или повышением частоты сигнала после преобразования.

При преобразовании «вниз» ($f_{пч} < f_{рчmin}$) подавление $D(f_{пч})$ и расстройка δ тем больше, чем больше отношение $f_{рчmin} / f_{пч}$ т.е. чем меньше $f_{пч}$ по сравнению с $f_{рчmin}$ (рис. 4.2).

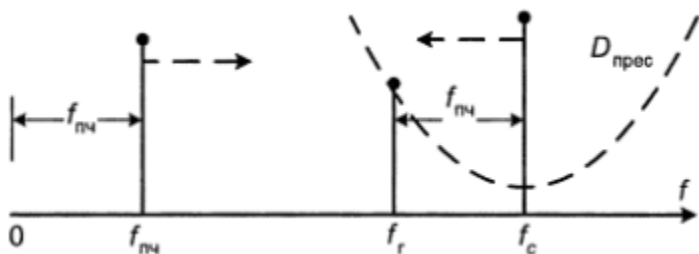


Рисунок 4.2 - Подавление помехи по 1-ой ПЧ при преобразовании «вниз»

Из рисунка видно, что чем больше $f_{пч}$ и меньше минимальная частота настройки приемника, тем ближе возможная помеха по ПЧ к полосе пропускания приемника, следовательно, ослабить ее будет труднее.

С точки зрения эффективного подавления помехи по ПЧ ее номинал необходимо выбирать как можно меньшей.

При преобразовании «вверх» ($f_{пч} > f_{рчmin}$) наиболее опасной является точка, где отношение $f_{рчmax}/f_{пч}$ максимально (рис.4.3). [1]

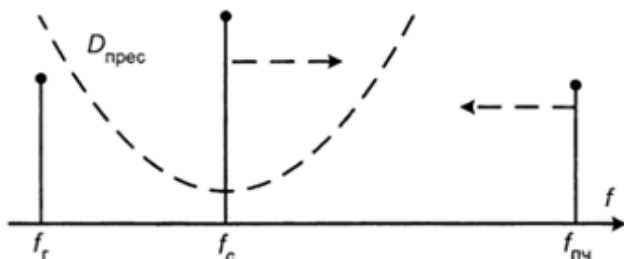


Рисунок 4.3 - Подавление помехи по 1 ПЧ при преобразовании «вверх»

3. Промежуточная частота должна быть возможно более высокой, чтобы помеха по зеркальному каналу $f_{зк} = f_{рч} \pm 2f_{пч}$ была возможно дальше отнесена от частоты настройки приемника f_0 .

Влияние выбора номинала $f_{пч}$ на подавление помехи по каналам ПЧ и ЗК противоречивы. Чем больше $f_{пч}$, тем легче обеспечить подавление помехи по ЗК и сложнее обеспечить ее подавление по каналу ПЧ.

4. Промежуточная частота должна быть как можно более высокой, чтобы обеспечить:

- лучшую фильтрацию промежуточной частоты на выходе схемы детектора, причем практически достаточно, чтобы выполнялось условие $f_{пч} > (5...10)F_{max}$, где F_{max} - высшая частота спектра первичного сигнала;

- более устойчивую работу системы автоматической подстройки частоты;

- меньшее влияние шумов гетеродина на чувствительность приемника.

5. С другой стороны, промежуточная частота должна выбираться возможно более низкой, так как чем ниже $f_{пч}$, тем более высокое устойчивое усиление можно получить на один каскад;

Перечисленные факторы, влияющие на выбор номиналов промежуточной частоты, противоречивы. С одной стороны, следует стремиться к выбору более высокой $f_{пч}$, с другой - более низкой. Это противоречие в ряде случаев разрешается выбором нескольких преобразований частоты.

Два преобразования используются для того, чтобы удовлетворить противоречивым требованиям ослабления побочных каналов приема и высокой избирательности по соседним каналам. Первое требование предполагает выбор возможно более высокой промежуточной частоты обычно путем переноса спектра принимаемого сигнала выше диапазона рабочих частот приемника. Второе условие влечет за собою выбор достаточно низкой промежуточной частоты, на которой могут быть сравнительно просто реализованы избирательные системы с узкими полосами пропускания и резким возрастанием затухания за пределами полосы.

В частности, с точки зрения подавления помехи по зеркальному каналу, первая промежуточная выбирается как можно более высокой. Тогда зеркальная помеха первого преобразования $f_{зк} = f_{рч} \pm 2f_{пч}$ легко подавляется преселектором. [1]

4.3 Тракт основной промежуточной частоты

Назначение тракта - обеспечение основной избирательности и основного усиления до входа детектора. Селективные свойства приемника супергетеродинного типа, в первую очередь избирательность в отношении соседних каналов приема, определяются трактом ОПЧ. Полоса пропускания

тракта выбирается, как можно более узкой, близкой к необходимой полосе пропускания приемника, с небольшим превышением:

$$\Delta F_n = (1, 1 \dots 1, 2) \Delta F_{\text{общ}} \quad (4.2)$$

Полоса пропускания приемника $F_{\text{общ}}$ выбирается с учетом реальной ширины спектра радиосигнала и запаса, зависящего от частотной точности (стабильности) радиолинии. Для приема сигналов с приемлемым качеством важны формы амплитудно-частотной, фазо-частотной или переходной характеристик в пределах полосы пропускания и прилегающих областях. Указанные требования определяются родом первичного сигнала, видом модуляции радиосигналов и допустимыми искажениями передаваемого сообщения.

Все вышеуказанные требования в приемниках супергетеродинного типа в основном реализуются в тракте основной промежуточной частоты.

4.4 Тракт первой промежуточной частоты

Тракт первой промежуточной частоты, выполняя свои функции, вытекающие из условий применения двойного преобразования частоты, вместе с тем обеспечивает:

- усиление колебаний первой промежуточной частоты;
- развязку между первым и вторым преобразователями;
- избирательность по побочным каналам приема, образующимся при втором преобразовании частоты.

Тракт состоит из преобразователя частоты и одного-двух каскадов усиления первой промежуточной частоты.

К первому преобразователю частоты предъявляются высокие требования, определяемые назначением и классом приемника. Основными требованиями являются:

- высокая линейность преобразования частоты, ослабление или практически полное отсутствие высших компонентов преобразования частоты на выходе схемы;
- низкий коэффициент шума преобразователя и по возможности высокий коэффициент передачи по мощности;
- слабое просачивание колебаний гетеродина и его шумов, как на вход приемника, так и на выход схемы преобразователя;
- высокие входное и выходное сопротивления, согласующиеся с предшествующими и последующими элементами схемы.

Высокая линейность первого преобразования частоты в приемнике имеет первостепенное значение, в особенности в профессиональной аппаратуре. При выборе типа схемы преобразователя в первую очередь следует заботиться о том, чтобы схема и режим работы обеспечивали, как можно большую протяженность линейного участка крутизны характеристики преобразующего элемента. Чем шире линейный участок, тем меньше выражены нелинейные явления преобразования.

При протяженном линейном участке допустимы большие изменения амплитуды входного сигнала при приемлемом уровне нелинейных искажений. Или наоборот - чем ниже уровень входного сигнала, тем больше запас линейности крутизны характеристики преобразующего элемента. Учитывая это, амплитуда напряжения сигнала на входе преобразователя $U_{вх}$ ограничивается допустимой величиной нелинейных искажений. Усиление в тракте принимаемой частоты до входа преобразователя должно быть ограничено и регулироваться в зависимости от уровня сигнала на входе приемника.

Кроме ограничения входных уровней сигналов и помех для линейности преобразования большое значение имеет выбор режима работы преобразующего элемента. В особенности это важно с точки зрения ослабления полезно не используемых компонентов преобразования частоты. Для ослабления интенсивности неиспользуемых компонентов преобразования могут быть приняты следующие меры:

- обеспечение строго гармонической формы напряжения гетеродина, подводимого к смесителю;
- расположение начального положения рабочей точки преобразователя в средней точке линейного участка характеристики крутизны преобразующего элемента;
- уменьшение амплитуды напряжения гетеродина на входе преобразующего элемента, по крайней мере, до величины, не превышающей половины линейного участка характеристики крутизны;
- использование специальных схем - балансных или кольцевых, обеспечивающих подавление высших компонентов преобразования.

Входные и выходные сопротивления преобразователя должны быть как можно более высокими, чтобы уменьшить их влияние на избирательные системы предшествующего и последующего каскадов.

При втором преобразовании частоты, как и при первом, образуются побочные каналы приема. Наибольшую опасность представляют помехи по зеркальной и промежуточной частотам второго преобразования частоты.

Подавление их должно быть не меньше, чем подавление соответствующих помех первого преобразования частоты. Ослабление побочных каналов приема второго преобразования частоты осуществляется во всех избирательных системах приемника, стоящих до входа второго преобразователя.

Частоты ЗК второго преобразования определяются выражениями:

$$f_{зк} = f_{рч} \pm 2f_{1пч} \text{ (в тракте принимаемой частоты);}$$

$$f'_{зк} = f_{1пч} \pm 2f_{2пч} \text{ (в тракте первой промежуточной частоты).}$$

Эта помеха будет частично ослаблена в тракте принимаемой частоты. Если $f_{1пч}$ относительно низкая, такое ослабление невелико. Дополнительное ослабление помехи на этой частоте обеспечивается избирательными системами тракта первой промежуточной частоты.

4.5 Тракт промежуточной частоты модуля УПОС

Тракт промежуточной частоты радиоприемника отвечает за выделение сигнала промежуточной частоты. Формирование сигнала промежуточной частоты происходит в смесителе, далее идет тракт выделения и усиления сигнала ПЧ. Структурная схема тракта выделения промежуточной частоты показана на рисунке 7.10.

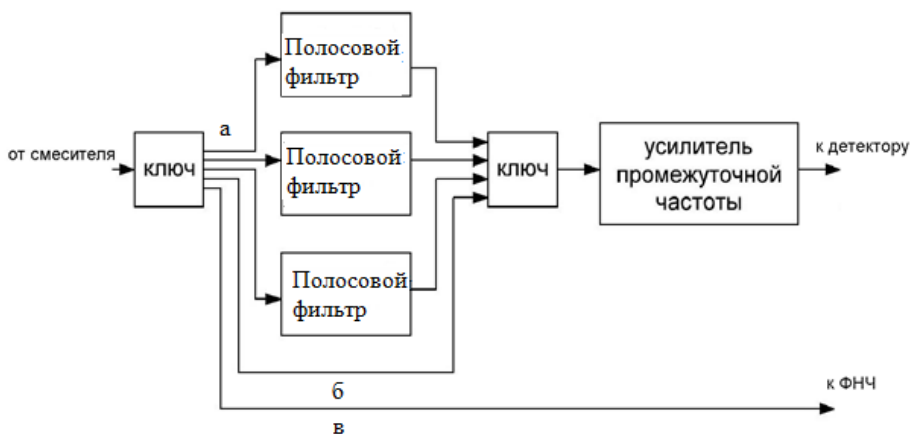


Рисунок 7.10 – Структурная схема тракта выделения сигнала промежуточной частоты

Усилитель сигнала промежуточной частоты, в зависимости от того, какая схема приемника реализуется, усиливает сигнал или на промежуточной частоте, или на радиочастоте.

В случае супергетеродинного приемника разностный сигнал выделяется одним из полосовых фильтров, имеющих различную ширину полосы пропускания (6 кГц; 20 кГц; 38 кГц), а далее усиливается в усилителе с регулируемым коэффициентом усиления (рис. 7.10, а).

Радиосигнал проходит в обход полосовых фильтров, поступая на устройство детектирования, в случае приемника прямого усиления (рис. 7.10, б).

При реализации приемника прямого преобразования, сигнал с выхода смесителя поступает непосредственно на ФНЧ, минуя полосовые фильтры, усилитель ПЧ и выпрямитель (рис. 7.10, в).

В качестве усилителя сигнала промежуточной частоты используется регулируемый усилитель *AD8324*. Для согласования дифференциального выхода усилителя *AD8324* и несимметричного входа детектора использован ОУ *LMH661* фирмы *National Semiconductor*.

Порядок выполнения работы

1. Выполнить действия, описанные в п.1 лабораторной работы №1. На генераторе выбрать частоту и модуляцию сигнала аналогичную частоте, взятой в лабораторной работе №1.

2. В программе «YPOS», вкладка «Базовые настройки», включить тумблер «Входная цепь 2».

3. Выбрать полосовой фильтр №1 (Вкладка «Выбор фильтров»).

3. Указания по настройке преселектора смотреть в п.4 лабораторной работы №1 и п.5 лабораторной работы №2.(значения «Уровень ШИМ ВЦ» и «Уровень ШИМ УРЧ»).

4. Значения УРЧ (вкладка «УРЧ» в блоке «Усилители») установить аналогично значениям, выбранным в лабораторной работе №3 (значения «30» соответствует усилению на 0 дБ).

5. Подобрать значения УПЧ (вкладка «УПЧ» в блоке «Усилители») по указанию преподавателя (значения «30» соответствует усилению на 0 дБ).

6. Установить диапазон частот $\pm 50\text{кГц}$ от промежуточной частоты («Начальная частота» и «Конечная частота»).

7.1 Исследование приемника супергетеродинного типа;

7.1.1 Установить частоту гетеродина так (вкладка «Частота гетеродина»), чтобы разностный сигнал гетеродина и несущей был 455 кГц. ($f_{np} = f_{pч} - f_c$, где $f_{np} = 455$ кГц);

7.1.2 Выходной исследуемый сигнал снимается на контрольной точке №11(12);

7.1.3 Выбрать вкладку «АЧХ» (рис. 1.10);

7.1.4 Установить значения «Количество точек на АЧХ» по указания преподавателя (50 или 100 точек);

7.1.5 На индикаторе «Шкала частот» установить выбранный диапазон частот в п. 6;

7.1.6 Нажать кнопку начала измерений «Start»;

7.1.7 После завершения расчетов, программа предложит сохранить полученные результаты в отдельный файл (см. пример в Приложении Г).

8. Выбрать полосовой фильтр №2 (Вкладка «Выбор фильтров»).

9. Прodelать действия, описанные в п. 7.1. Полученные результаты сохранить в файл, выбранный в п. 7.1.7.

10. Выбрать полосовой фильтр №3 (Вкладка «Выбор фильтров»).

11. Прodelать действия, описанные в п. 7.1. Полученные результаты сохранить в файл, выбранный в п. 7.1.7. (см. примечание)

В режиме приемника прямого усиления, сигнал проходит в обход полосовым фильтрам и усиливается в УПЧ, поступая на устройство детектирования. Данный сигнал можно посмотреть на контрольной точке №33. (Перед детектором).

В режиме приемника прямого преобразования, сигнал проходит в обход тракта ПЧ и выпрямителя, поступаю непосредственно на ФНЧ.

**Примечание:* Для того чтобы увидеть n -графиков, где $n=4$ максимальное значение, в одном графическом окне (например АЧХ), проделать следующие действия:

- В программе «YPOS» открыть вкладку «Файлы»;
- Установить значения «Количество точек на АЧХ» 100-м;
- Установить значения «Количество графиков» n ;
- Открыть файл, в который были совершены предыдущие сохранения (п. 11);
- Зафиксировать полученные графики.

Контрольные вопросы

- 1 Назначение тракта промежуточной частоты?
- 2 Какие функции выполняет тракт основной промежуточной частоты?
- ? В чем отличие тракта основной промежуточной частоты от других трактов?
- 3 Из каких соображений выбирается значение промежуточной частоты?
- 4 Для чего применяются несколько преобразований частоты?
- 5 Что такое зеркальный канал? Методы борьбы с зеркальным каналом?
- 6 Вследствие чего появляются побочные каналы приема?
- 7 Какими мерами ослабляется действие помех по побочным каналам?

Лабораторная работа №5. Исследование частотно-избирательных систем с помощью широкополосного белого шума

Цель работы: Экспериментальное исследование процесса влияния широкополосного белого шума на прохождение сигнала через частотно-избирательную систему.

5.1 Общие сведения

Для обозначения преимущества системы связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) перед незащищенной системой, необходимо практически определить, как действует монохроматическая и шумовая помеха на принимаемый сигнал. С этой целью в приемное устройство внедряется генераторы помехи и шума.

В качестве генератора шума использована программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) *EPM3032* из семейства *MAX3000* фирмы *Altera Devices*, представляющая из себя массив регистров сдвига. Алгоритм генерации выполняется программно.

С помощью регистра сдвига генерируются псевдослучайная последовательность, которая выступает в качестве шумовой помехи для полезного сигнала.

Генератор шума выполнен в виде генератора ПСП 2¹⁵-1. При тактовой частоте много больше частоты сигнала, можно утверждать, что для полезного сигнала такой сигнал будет выглядеть как «белый» шум.

5.1.1 Псевдослучайные двоичные последовательности и генераторы шума

Псевдослучайные двоичные последовательности являют собой пример гармоничного сочетания аналоговой и цифровой техники. Оказывается, можно необычайно просто генерировать последовательности бит (или слов), с хорошими стохастическими свойствами, т. е. последовательности, которые будут обладать такими же вероятностными и корреляционными свойствами, какими обладает идеальная машина для подбрасывания монеты. Поскольку эти последовательности генерируются стандартными элементами детерминированной логики (если быть точнее, регистрами сдвига), получающиеся двоичные последовательности на самом

деле являются предсказуемыми и повторяемыми, хотя любой фрагмент такой последовательности во всех отношениях выглядит как случайная последовательность 0 и 1. Всего с помощью нескольких интегральных микросхем (ИМС) можно получить последовательности, которые тянутся буквально на столетия без повторения. Это очень простой и привлекательный способ получения цифровых двоичных последовательностей или аналоговых сигналов шума.

Аналоговый шум. С помощью простой фильтрации нижних частот псевдослучайной двоичной последовательности (ПСП) можно получить гауссов белый шум с ограниченной полосой, то есть напряжение шума с плоским энергетическим спектром до некоторой частоты среза. С другой стороны, с помощью взвешенного суммирования содержимого регистров сдвига (с использованием набора резисторов) можно осуществить *цифровую фильтрацию*. С помощью этого способа можно легко получить плоский спектр шума в пределах нескольких мегагерц.

5.1.2 Последовательности, генерируемые регистрами сдвига с обратными связями

Наиболее известным (и самым простым) генератором ПСП является регистр сдвига с обратной связью (5.1.1). Регистр сдвига длины m работает от тактовых импульсов с частотой f_0 . Входная последовательность формируется с помощью вентиля ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, на вход которого поступают сигналы от n -го и последнего (m -го) разрядов регистра сдвига. Такая схема проходит через некоторое множество состояний (совокупность состояний регистра сдвига после каждого тактового импульса), которые после K тактов начинают повторяться, т. е. последовательность состояний является циклической с периодом K .

Максимальное число возможных состояний m -разрядного регистра равно $K = 2^m$, т. е. числу m -битовых двоичных комбинаций. Однако состояние «все нули» является «тупиком» для этой схемы, поскольку на выходе вентиля ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ появляется 0, который вновь поступает на вход схемы. Таким образом, последовательность максимальной длины, которую может сформировать данная схема, содержит $2^m - 1$ бит. Оказывается, что такую последовательность максимальной длины можно получить только при правильном выборе m и n , причем полученная

последовательность будет псевдослучайной. (Критерием максимальной длины является неприводимость и примитивность многочлена $1 + x^n + x^m$ над полем Галуа).



Рисунок 5.1 – Генератор ПСП

Таким образом, под воздействием каждого тактового импульса разряды регистра сдвига принимают определенные состояния, причем последовательность этих состояний зависит от способа включения обратной связи. Общее число таких различных состояний равно $2^n - 1$, следовательно, период ПСП равен $2^n - 1$. ПСП можно снимать с выхода любого разряда регистра, в частности с последнего. Любая выходная последовательность, имеющая такой период, называется линейной последовательностью максимальной длины.

Для генератора ПСП на 15 разрядном регистре сдвига, точками подключения обратных связей являются выходы 13 и 14 триггера. Результаты моделирования представлены ниже.

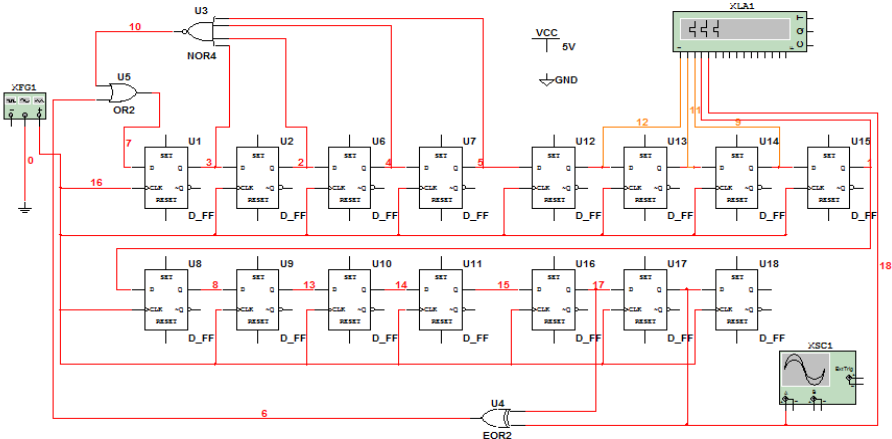


Рисунок 5.2 – Схема генератора ПСП на 15 триггерах

На этой схеме логический элемент «4И-НЕ» введен для автоматической записи единицы в первый разряд регистра, если в момент включения питания все триггеры регистра сдвига установятся в состояние ноль.

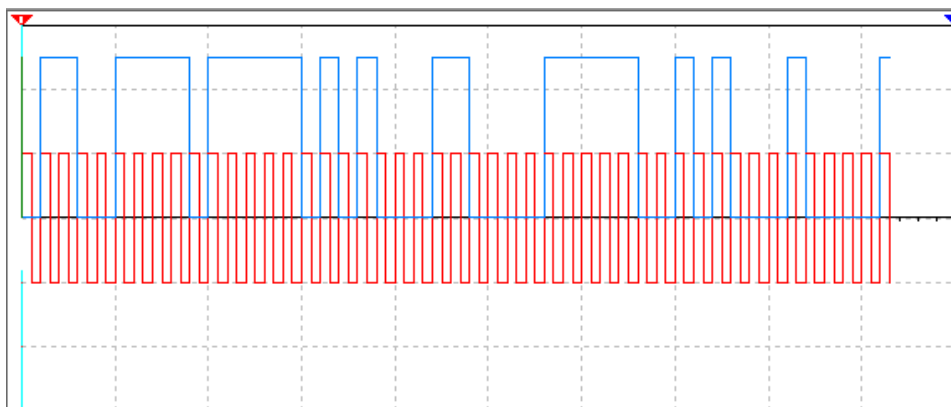


Рисунок 5.3 – Опорный сигнал и сгенерированная ПСП

5.1.3 Свойства последовательностей максимальной длины

Псевдослучайную последовательность двоичных символов получают путем тактирования одного из таких регистров и наблюдения последовательных выходных двоичных символов. Выход можно взять от любого разряда регистра; обычно в качестве выхода используют последний (m -й) разряд. Последовательность максимальной длины обладает следующими свойствами:

1. В полном цикле (K тактов) число «1» на единицу больше, чем число «0». Добавочная «1» появляется за счет исключения состояния «все нули». Это свидетельствует о том, что «орлы» и «решки» равновероятны (дополнительная «1» большой роли не играет; 17-разрядный регистр будет вырабатывать 65 536 «1» и 65 535 «0» за один цикл).

2. В одном цикле (K тактов) половина серий из последовательных «1» имеет длину 1, одна четвертая серий – длину 2, одна восьмая – длину 3 и т.д. Такими же свойствами обладают и серии из «0» с учетом одного пропущенного «0». Это говорит о том, что вероятности «орлов» и «решек» не зависят от исходов предыдущих «подбрасываний» и поэтому вероятность

того, что серия из последовательных «1» или «0» закончится при следующем подбрасывании равна $1/2$.

3. Если последовательность полного цикла (K тактов) сравнить с этой же последовательностью, но циклически сдвинутой на любое число символов n (n не является нулем или кратным K), то число несовпадений будет на единицу больше, чем число совпадений. Научно выражаясь, автокорреляционная функция этой последовательности представляет собой дельта – функцию Кронекера при нулевой задержке и равна $-1/K$ при любой другой задержке. Отсутствие «боковых лепестков» автокорреляционной функции – свойство, которое делает ПСП очень полезными в радиолокационных системах.

5.2 Порядок выполнения работы

1. Подготовить к работе ИИС:

1.1. Включить осциллограф. Щуп одного из двух каналов осциллографа подключить: сигнальный зажим к контрольной точке, соответствующей исследованию; земляной зажим к одной из земляных точек.

1.2. Подключить разъем последовательного интерфейса RS-232 к модулю УПОС.

1.3. Подключить разъем адаптера питания к модулю УПОС, предварительно подключив адаптер к сети 220В.

1.4. Включить персональный компьютер с установленным программным модулем.

2. Запустить программу «YPOS» (рис.1.8)

2.1. Нажать кнопку остановки программы «STOP» (рис. 1.8)

2.2. На интерфейсе пользователя “Начальные установки” установить следующие настройки:

- В поле «Visa session general» установить № COM - порта «16»;

- В поле «Visa session oscilloscope» установить № COM - порта «15»;

- В поле «Visa session YPOS» установить № COM - порта «13»;

**При возникновении проблем по установке COM-портов, смотреть примечание.*

2.3. Нажать кнопку начало испытаний «Running» и в поле «Инициализация» получить ответ «UPOS». Этот элемент индикации необходим для подтверждения взаимодействия программного и аппаратного обеспечения.

3. Включить тумблер «Генератор шума».

3.1. Переключатель выбора «шум или помеха» установить в положение «шум»;

3.2. Проверить наличие шума на КТ 1 щупом осциллографа. Сделать необходимые скриншоты с осциллографа для отчета.

3.3. Щуп канала осциллографа подключить к КТ 5. Установить значение «Амплитуда шума и помехи» равное «35».

3.4. Щуп канала осциллографа подключить к КТ 4-1.

3.4. Выбрать вкладку «Спектральный анализ» (рис. 1.9);

4.5. Выбрать соответствующий канал осциллографа (Канал 1 или Канал 2), который отображает исследуемый сигнал (вкладка «Выбор канала с осциллографа»);

4.6. Установить значение «Развертка осциллографа» в наносекундах.

4.7. Установить значение «Размер БПФ» равное «4096».

4.7. Нажать на кнопку начала измерений «Start». Сделать необходимые скриншоты с вкладки «Спектральный анализ» для отчета.

4.8. Вернуться к вкладке «Начальные установки»

4.8. Включить тумблер «Шунтирование» и также снять спектр.

4.6. Последовательно устанавливая значения «Уровень УРЧ» на «10», «20», «30», снять спектр сигнала с шумом с КТ 4-1. Сделать необходимые скриншоты с вкладки «Спектральный анализ» для отчета.

4.8. Установить значение «УРЧ» из вкладки «Усилители» равное «35»

4.9. Установить частоту гетеродина (вкладка «Частота гетеродина») так, чтобы разностный сигнал гетеродина и несущей был 455 кГц. Частота гетеродина для приемника супергетеродинного типа выбирается из следующего выражения:

$$f_{нч} = f_{рч} - f_{\text{с}}$$

где $f_{нч}$ =455 кГц, $f_{рч}$ - см. пп.4.7 (спектр сигнала снятый с КТ 4-1 без изменения «Уровень УРЧ»);

4.10. Исследуемый сигнал снимается на контрольной точке №10;

4.11. Перейти к вкладке «Спектральный анализ» и установить развертку осциллографа «Развертка осциллографа» в микросекундах.

4.12. Нажать на кнопку начала измерений «Start»;

4.13. Установить значение «УПЧ» из вкладки «Усилители» равное «35»

4.13. Выбрать Полосовой фильтр 1;

4.11. Перейти к вкладке «Спектральный анализ» и установить развертку осциллографа «Развертка осциллографа» в микросекундах.

4.12. Нажать на кнопку начала измерений «Start»;

4.10. Исследуемый сигнал снимается на контрольной точке №11

5. Сделав необходимые скриншоты, составить отчет по лабораторной работе в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 6.1 – 97

**Примечание:* Если по каким-либо причинам не удастся установка СОМ-портов, проделать следующие действия:

- Нажать кнопку остановки программы «STOP»;

- Во вкладке «Базовые настройки» в поле «Visa session YPOS» установить какой-либо номер (один из трех) порта и нажать кнопку начала испытаний «Running»;

- В поле «Инициализация» появится одно из следующих обозначений («YPOS» - соответствует вводу данных в поле «Visa session YPOS»; «GD/GS» соответствует вводу данных в поле «Visa session oscilloscope»; если ничего не появилось, то указанный номер порта соответствует вводу данных в поле «Visa session general»), которое будет соответствовать введенному номеру СОМ-порта.

- Прodelать выше описанные действия с оставшимися номерами портов.

- Установить полученные значения в соответствующие поля;

Контрольные вопросы

1. Что такое шум и какие виды шумов существуют?
2. Чем характерны появление шумов в приемниках?
3. Какие уровни чувствительности осуществляется в приемниках?
4. Как генерируется регистры сдвига с обратной связью псевдослучайной последовательности?
5. Объясните свойства последовательностей максимальной длины.

Лабораторная работа №6. Исследование влияния помех на сигнал

Цель работы: Экспериментальное исследование процесса влияния монохроматической помехи, имитирующей соседний канал на прохождение сигнала через частотно-избирательную систему.

6.1 Общие сведения

В модуле УПОС реализован генератор монохроматической помехи, который имитирует соседний канал.

В качестве генератора монохроматической помехи используется микросхема *AD9834*. Это синтезатор частоты, основанный на методе прямого цифрового синтеза.

В качестве источника тактового сигнала микросхемы *AD9834* используется опорный генератор *GXO-7531* 50МГц, рекомендованный производителем. Для снижения влияния помех на опорный генератор, в качестве источника питания используется отдельный линейный стабилизатор напряжения *ADP3301*.

6.1.1 Формирование сигналов при помощи синтезаторов прямого цифрового синтеза частот

Эффективный способ формирования сигналов заданной частоты, можно осуществить при помощи синтезаторов частот. Данные устройства формируют из сигнала фиксированной частоты f_S сигнал на связанной с ней желаемой частоте (и с желаемой фазой) f_{OUT} . В общем случае взаимосвязь может быть описана простым выражением:

$$f_{OUT} = \epsilon_x \cdot f_S,$$

где ϵ_x – масштабирующий множитель, который иногда называют нормированной частотой.

Это выражение всегда реализуется при помощи алгоритмов пошаговой аппроксимации вещественных чисел. Когда масштабирующий множитель является рациональным числом, то есть отношением двух простых целых чисел, частота выходного сигнала и опорная частота будут гармонически связаны друг с другом. В то же время в большинстве случаев ϵ_x может принадлежать более широкому набору вещественных чисел,

и тогда процесс аппроксимации останавливается, когда результирующее значение множителя попадает в пределы допустимой погрешности.

Прямой цифровой синтез частот

Одним из возможных способов практической реализации синтезатора частот является технология прямого цифрового синтеза частот (DirectDigitalFrequencySynthesis, DDFS), которую иногда сокращенно именуют прямым цифровым синтезом (DirectDigitalSynthesis, DDS). Этот метод основан на использовании цифровой обработки данных для формирования выходного сигнала с перестраиваемыми частотой и фазой из сигнала фиксированной опорной частоты (тактового сигнала) f_s . В архитектуре DDS опорная частота (частота системного тактового сигнала) подвергается делению на масштабирующий коэффициент, который определяется программируемым двоичным словом настройки.

Синтезатор DDS преобразует последовательность импульсов тактового сигнала в аналоговое колебание, как правило, синусоидальной, треугольной или прямоугольной формы. Как показано на рисунке 6.1, основными составными частями синтезатора являются:

- фазовый аккумулятор, формирующий число, соответствующее фазовому углу выходного колебания;
- преобразователь фазы в цифровой код, формирующий мгновенное значение цифрового кода амплитуды, соответствующее фазовому углу;
- цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), который преобразовывает этот цифровой код в соответствующий дискретный уровень аналогового сигнала.

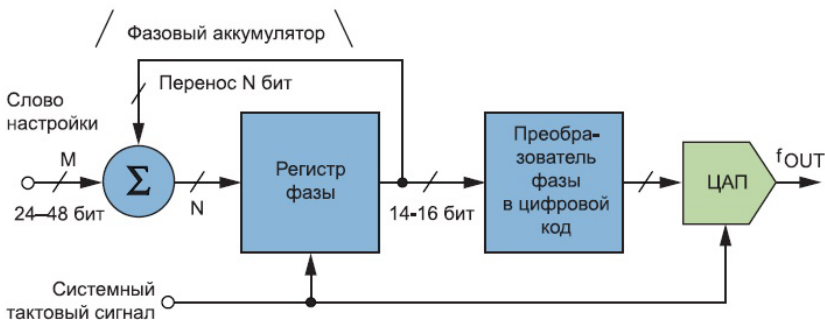


Рисунок 6.1 – Функциональная схема системы DDS

В случае синусоидальных выходных сигналов преобразователь фазы в цифровой код обычно представляет собой таблицу значений синуса (рисунок 6.2). Фазовый аккумулятор осуществляет суммирование текущего значения с величиной N для формирования частоты, которая связана с f_s выражением:

$$T = N / 2^M \cdot f_s, \quad !)$$

где M – разрешение слова настройки (24–48 бит); N — количество импульсов частоты f_s , соответствующее приращению выходного значения фазового аккумулятора.

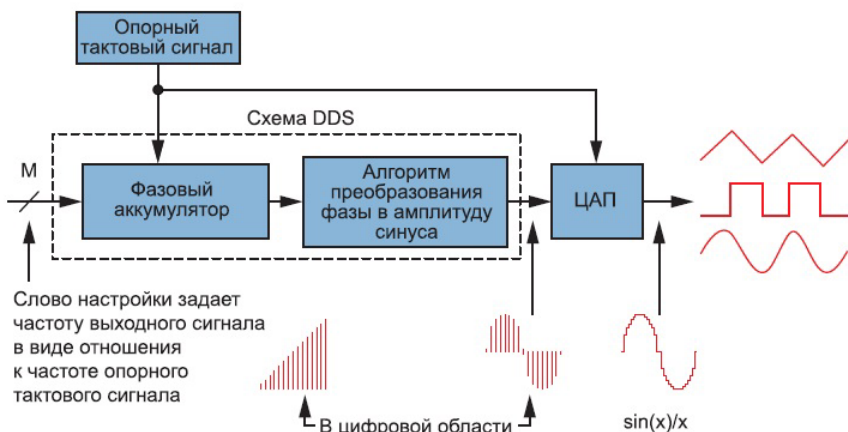


Рисунок 6.2 – Архитектура синтезатора DDS и этапы преобразования сигнала

Поскольку изменение N приводит к мгновенному изменению частоты и фазы выходного сигнала, архитектура, по определению, не дает разрывов фазы, что является критическим требованием для многих задач. Кроме того, в отличие от аналоговых систем, таких как системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), синтезатор DDS не требует времени на стабилизацию контура.

ЦАП обычно представляет собой высококачественную схему, спроектированную специально для работы с ядром DDS (фазовый аккумулятор и преобразователь фазы в амплитуду). В большинстве случаев комбинацию ЦАП и ядра DDS, которая часто реализуется на одном кристалле, называют полнофункциональным DDS (Complete DDS, C-DDS).

На практике интегральные микросхемы (ИМС) синтезаторов DDS часто содержат набор интегрированных регистров, при помощи которых реализуются различные схемы частотной и фазовой модуляции. Содержимое регистра фазы, если он присутствует, прибавляется к результату на выходе фазового аккумулятора. Это позволяет задерживать выходной синусоидальный сигнал по фазе в соответствии с записанным словом настройки фазы. Данная функция крайне полезна для систем связи с фазовой модуляцией. Количество бит в слове настройки фазы, а следовательно, и разрешение задержки по фазе определяются разрешением схемы сумматора.

Интеграция ядра DDS и ЦАП в одном устройстве имеет свои достоинства и недостатки, однако независимо от того, интегрирован ЦАП или нет, он должен формировать аналоговый сигнал высокого качества с исключительной чистотой спектра. ЦАП преобразовывает цифровой синусоидальный выходной сигнал ядра DDS в аналоговое синусоидальное колебание и может иметь несимметричный или дифференциальный выход. Некоторыми из ключевых требований, предъявляемых к ЦАП, являются малый фазовый шум, превосходный свободный от побочных составляющих динамический диапазон (*SpuriousFreeDynamicRange*, SFDR) в широкой и узкой полосе, а также малое энергопотребление. Если ЦАП является внешним компонентом, то он должен иметь достаточное быстродействие для работы с выходным цифровым сигналом ядра DDS, поэтому в данном случае обычно используются ЦАП с внешним портом.

Высокие технические характеристики стали причиной того, что в последнее время *DDS* вытесняют обычные аналоговые синтезаторы частот.

Основные преимущества DDS:

- очень высокое разрешение по частоте и фазе, управление которыми осуществляется в цифровом виде;
- экстремально быстрый переход на другую частоту (или фазу), перестройка по частоте без разрыва фазы, без выбросов и других аномалий, связанных со временем установления;
- архитектура, основанная на *DDS*, ввиду очень малого шага перестройки по частоте, исключает необходимость применения точной подстройки опорной частоты, а также обеспечивает возможность параметрической температурной компенсации;
- цифровой интерфейс позволяет легко реализовать микроконтроллерное управление.

Области применения

Области применения синтезаторов DDS можно разделить на две основные категории:

- радиолокационные системы и системы связи, в которых требуются источники сигналов с быстрым изменением частоты для кодирования данных и модуляции;
- измерительные, промышленные и оптические системы, где требуется базовая функция синтеза частот с программируемой настройкой и возможностью качания частоты.

6.2 Порядок выполнения работы

1. Подготовить к работе ИИС:

1.1. Подключить генератор (выход «вывод») к разъему «эквивалент антенны» модуля УПОС. Включить генератор. Установить частоту и модуляцию сигнала по указанию преподавателя.

1.2. Включить осциллограф. Щуп одного из двух каналов осциллографа подключить: сигнальный зажим к контрольной точке, соответствующей исследованию; земляной зажим к одной из земляных точек.

1.3. Подключить разъем последовательного интерфейса RS-232 к модулю УПОС.

1.4. Подключить разъем адаптера питания к модулю УПОС, предварительно подключив адаптер к сети 220В.

1.5. Включить персональный компьютер с установленным программным модулем.

2. Запустить программу «YPOS» (рис.1.8)

2.1. Нажать кнопку «Остановка программы» «STOP» (рис. 1.8)

2.2. На интерфейсе пользователя «Начальные установки» установить следующие настройки:

- В поле «Visasessiongeneral» установить № COM - порта «16»;

- В поле «Visasessionoscilloscope» установить № COM - порта «15»;

- В поле «Visasession YPOS» установить № COM - порта «13»;

**При возникновении проблем по установке COM-портов, смотреть примечание.*

2.3. Нажать кнопку «Начало испытаний» «Running» и в поле «Инициализация» получить ответ «UPOS». Этот элемент индикации необходим для подтверждения взаимодействия программного и аппаратного обеспечения.

3. Включить тумблер «Входная цепь 2».

3.1. Включить тумблер «Генератор шума».

3.2. Переключатель выбора «шум или помеха» установить в положение «помеха»;

3.3. Установить значение «Частота монохроматической помехи» по указанию преподавателя (не более 100 кГц)

3.4. Установить значение «Амплитуда шума и помехи» равное «35».
3.5. Щуп канала осциллографа подключить к КТ 4.
3.6. Установить значение «Уровень сигнала на ВЦ» равное «35».
3.7. Выбрать вкладку «Спектральный анализ» (рис. 1.9);
4. Выбрать соответствующий канал осциллографа (Канал 1 или Канал 2), который отображает исследуемый сигнал (вкладка «Выбор канала с осциллографа»);

4.1. Установить значение «Развертка осциллографа» в наносекундах.
4.2. Выбрать значение «Размер БПФ» (не менее 2048).
4.3. Нажать на кнопку начала измерений «Start». Сделать необходимые скриншоты с вкладки «Спектральный анализ» для отчета.
4.4. Вернуться к вкладке «Начальные установки»
4.5. Установить значение «Уровень сигнала на УРЧ» равное «35».
4.6. Щуп канала осциллографа подключить к КТ 4-1. Также снять спектр (см. пп.4 - 4.3).
4.7. Установить значение «УРЧ» из вкладки «Усилители» равное «35»

4.8. Установить частоту гетеродина (вкладка «Частота гетеродина») так, чтобы разностный сигнал гетеродина и несущей был 455 кГц. Частота гетеродина для приемника супергетеродинного типа выбирается из следующего выражения:

$$f_{nc} = f_{pc} - f_z$$

где f_{nc} =455 кГц, f_{pc} - рабочая частота (см. пп. 1.1.)

4.10. Исследуемый сигнал снимается на контрольной точке №10;
4.11. Прodelать пп. 4 - 4.3.
4.12. Установить значение «УПЧ» из вкладки «Усилители» равное «35»

4.13. Выбрать полосовой фильтр 1;
5. Щуп канала осциллографа подключить к КТ 11.
5.1. Прodelать пп.4.5-4.7.
5.2. Также снять спектр сигнала на выходе фильтров, выбрав полосовой фильтр 2 и полосовой фильтр 3.
6. Сделав необходимые скриншоты, составить отчет по лабораторной работе в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 6.1 – 97

**Примечание:* Если по каким-либо причинам не удастся установка СОМ-портов, проделать следующие действия:

- Нажать кнопку остановки программы «STOP»;
- Во вкладке «Базовые настройки» в поле «Visasession YPOS» установить какой-либо номер (один из трех) порта и нажать кнопку начало испытаний «Running»;

- В поле «Инициализация» появится одно из следующих обозначений («YPOS» - соответствует вводу данных в поле «Visasession YPOS»; «GD/GS» соответствует вводу данных в поле «Visasessionoscilloscope»; если ничего не появилось, то указанный номер порта соответствует вводу данных в поле «Visasessiongeneral»), которое будет соответствовать введенному номеру СОМ-порта.

- Прodelать выше описанные действия с оставшимися номерами портов.

- Установить полученные значения в соответствующие поля;

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется формирование сигналов при помощи синтезаторов прямого цифрового синтеза частот?

2. Как влияет помеха соседнего канала на полезный сигнал?

3. В какой КТ происходит подавление помехи соседнего канала?

4. Что происходит со спектром сигнала на КТ УРЧ?

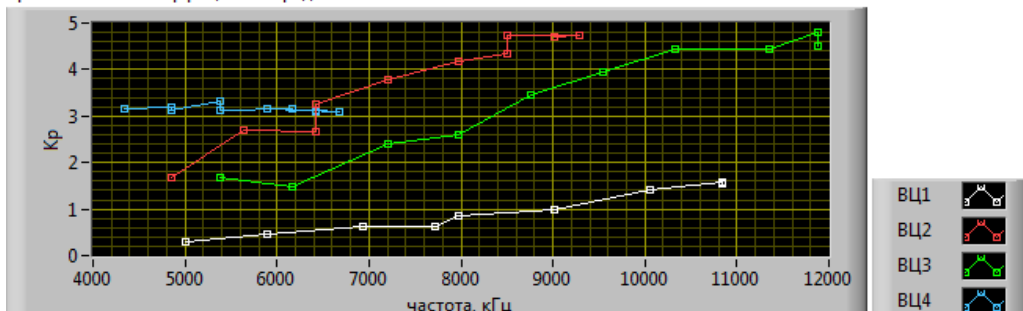
5. Что происходит со спектром сигнала на КТ 10?

Список литературы

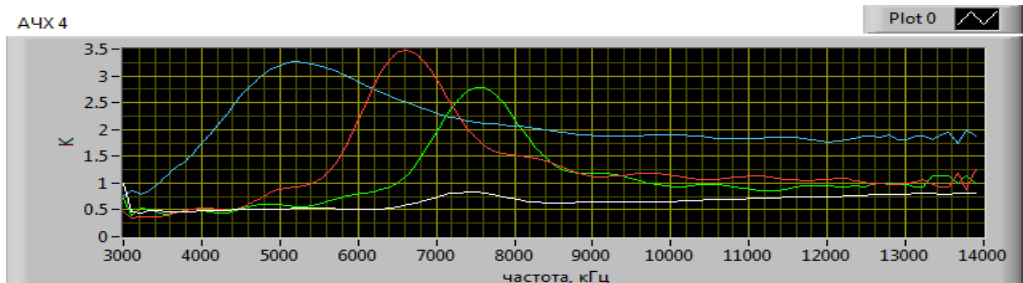
- 1 Колосовский Е.А. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007. – 456 с.: ил.
- 2 Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 572 с., ил.
- 3 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12_е изд. Том II: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 942 с.: ил.
- 4 Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12_е изд. Том I: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.: ил.
- 5 Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин и др.; Под редакцией Н.Н. Фомина. – 3-е издание, стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 520 с.: ил.
- 6 Румянцев К.Е. Радиоприемные устройства: учебник для студ. сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 336 с.
- 7 А.А. Лукина, А.В. Максимов. Информационно-измерительная система для исследования характеристик устройств приёма и обработки сигналов. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15–17 мая 2013 г. – Томск: В-Спектр, 2013: В 5 частях. – Ч. 1. – 370 с. ISBN 978-5-91191-284-0 (Ч. 1) с 306-310.
- 8 М.В. Побаченко, А.В. Максимов. Приемник амплитудно-модулированных сигналов. // Материалы докладов Международной научно-практической конференции (8–10 ноября 2012 г.): В 2 ч. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2012. – 176 с. ISBN 978-5-91191-268-0 (В 2 частях) ISBN 978-5-91191-270-3 (Ч. 2) с.116-120

Приложение А

График зависимости резонансного коэффициента от частоты.
резонансный коэффициент передачи

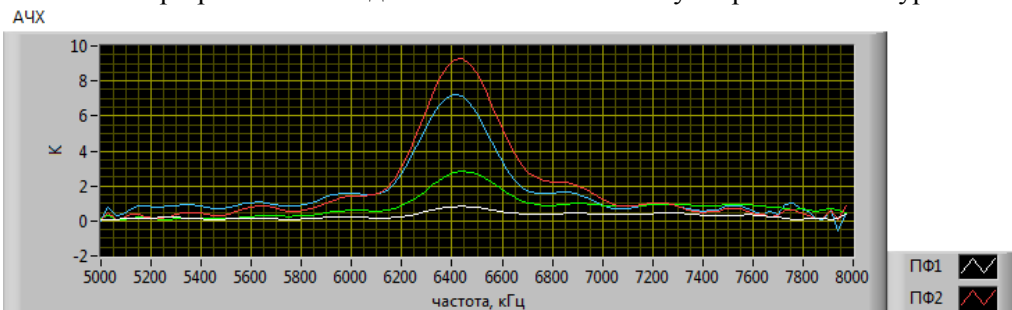


АЧХ входных цепей.

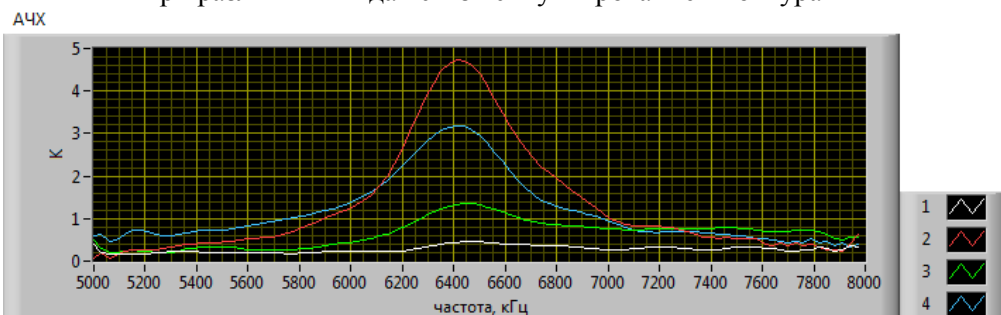


Приложение Б

АЧХ при различных видах связи без влияния шунтирования контура

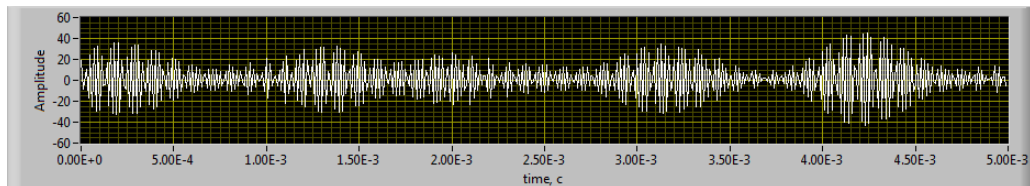


АЧХ при различных видах связи с шунтированием контура

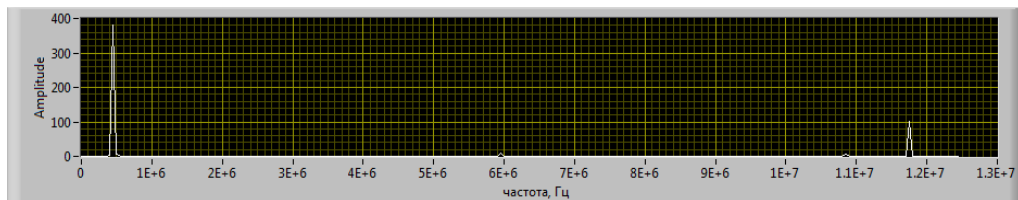


Приложение В

Вид сигнала на выходе смесителя приемника супергетеродинного типа



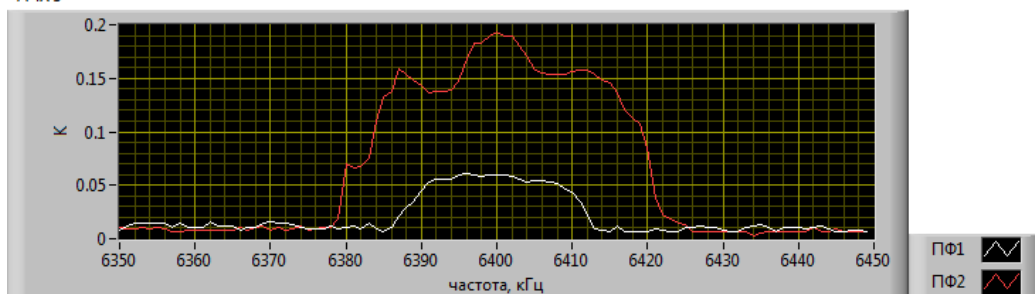
Спектр сигнала на выходе смесителя приемника супергетеродинного типа



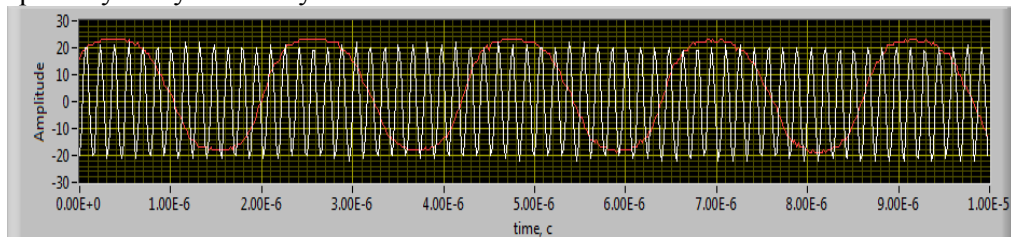
Приложение Г

АЧХ ПФ с полосой пропускания 38 и 20 кГц

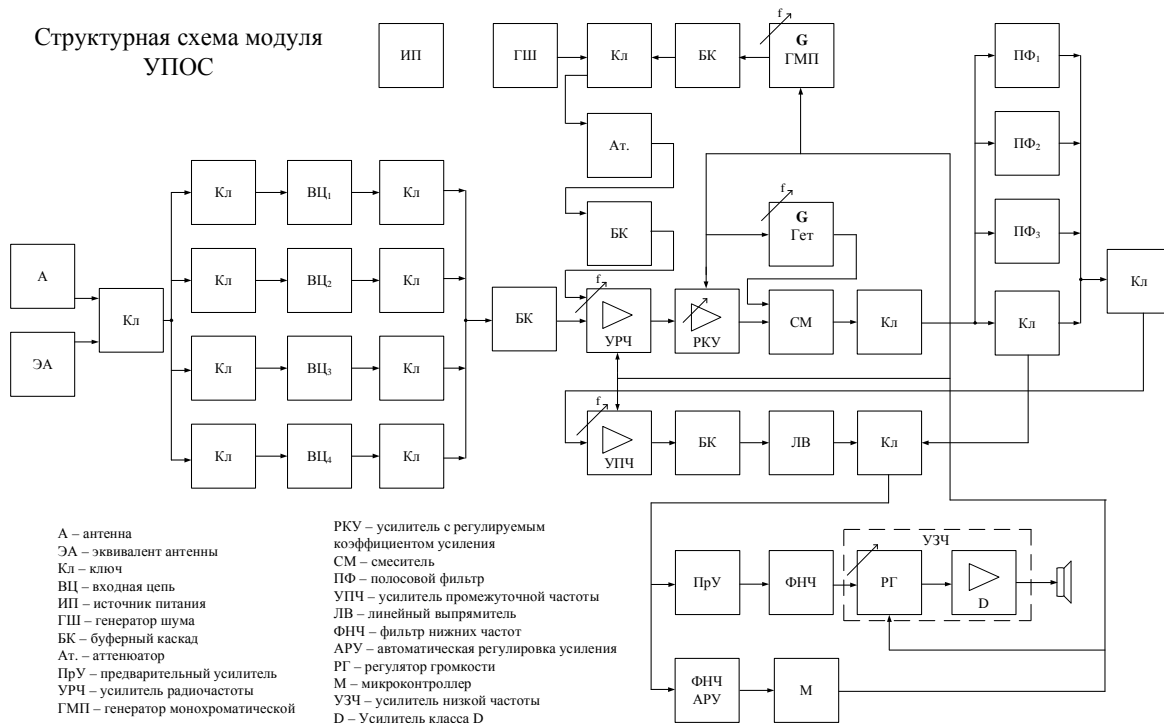
АЧХ 5



Вид сигнала на входе приемника и после преобразования сигнала на промежуточную частоту



Структурная схема модуля УПОС



А – антенна
 ЭА – эквивалент антенны
 Кл – ключ
 ВЦ – входная цепь
 ИП – источник питания
 ГШ – генератор шума
 БК – буферный каскад
 Ат. – аттенуатор
 ПрУ – предварительный усилитель
 УРЧ – усилитель радиочастоты
 ГМП – генератор монохроматической помехи
 Гет – гетеродин

РКУ – усилитель с регулируемым коэффициентом усиления
 СМ – смеситель
 ПФ – полосовой фильтр
 УПЧ – усилитель промежуточной частоты
 ЛВ – линейный выпрямитель
 ФНЧ – фильтр нижних частот
 АРУ – автоматическая регулировка усиления
 РГ – регулятор громкости
 М – микроконтроллер
 УЗЧ – усилитель низкой частоты
 D – Усилитель класса D