

Подробная цифровая модель радиоприёмного устройства

В. А. Жигулин, email: obi4n@yandex.ru ¹

¹ ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»

Аннотация. В данной работе рассказывается о моделировании полной схемы супергетеродинного АМ радиоприёмника КВ-диапазона в САПР Advanced Design System. Приведена готовая модель и продемонстрированы принципы её работы.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, САПР, радиоприёмник.

Введение

Радиоприёмное устройство (РПрУ) – это система узлов, блоков и электрических цепей, предназначенная для улавливания высокочастотных электромагнитных колебаний, выделения полезных сигналов из принимаемого радиоизлучения и преобразования их к виду, обеспечивающему использование содержащейся в них полезной информации. Цель данной работы – создать цифровую модель РПрУ и провести измерение некоторых его параметров. Были поставлены следующие задачи:

- найти схемотехнические решения для каждого блока РПрУ;
- провести моделирование супергетеродинного радиоприёмника;
- проследить изменения сигнала в разных частях устройства.

Объектом исследования является модель радиоприёмного устройства КВ диапазона. Предмет исследования – это характеристики данного радиоприёмного устройства.

Описываемая далее модель представляет собой развитие идеи, представленной ранее в статьях [1-2]. Предыдущие модели состояли из готовых функциональных блоков без внутренней схемотехники. Это позволяло продемонстрировать преобразования сигнала и принципы работы устройства, однако давало лишь общее понимание о внутреннем устройстве супергетеродинного радиоприёмника. В данной же работе каждый блок РПрУ представлен конкретной схемой, состоящей из реальных компонентов, что позволяет более приближенно к реальности моделировать проходящие процессы, хотя и усложняет сам процесс моделирования.

1. Предварительный анализ

В данной работе проводится моделирование радиоприёмного устройства по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты. Структурная схема моделируемого РПрУ представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема РПрУ

Данная схема является типовой и часто используется в приёмниках, предназначенных для прослушивания радиовещательных станций на частотах ниже 30 МГц.

Рассмотрим подробнее работу и устройство данной схемы. Наведённый в антенне радиосигнал через фидер попадает в преселектор РПрУ. Он состоит из входной цепи и усилителя высокой частоты (УВЧ) (радиочастоты). Входная цепь представляет собой непереключаемый полосовой фильтр на резонансных элементах (LC-цепи), настроенный на частоту принимаемой станции 7,215 МГц. Радиосигнал фильтруется входной цепью и проходит через усилитель высокой частоты, где усиливается до уровня, достаточного для корректной работы преобразователя частоты. Именно за счёт преселектора осуществляется основная селективность паразитных побочных частот приёма: зеркального канала и канала прямого прохождения.

Преобразователь частоты состоит из смесителя и фильтра промежуточной частоты, а также внешнего гетеродина. Смеситель, с помощью сигнала от гетеродина, осуществляет перенос спектра нужного информационного сигнала на статичную промежуточную частоту (ПЧ). Выбор подходящей промежуточной частоты супергетеродинного РПрУ очень важен для достижения необходимых характеристик. Для обеспечения более высокой избирательности по зеркальному каналу промежуточная частота должна быть как можно выше, а для обеспечения достаточной избирательности по соседнему каналу – как можно ниже. Кроме того, промежуточные частоты нормируются государственными и международными стандартами. В данной работе была выбрана одна из наиболее употребительных ПЧ 455 кГц.

Фильтр промежуточной частоты (ФПЧ) представляет собой не перестраиваемый полосовой фильтр с центральной частотой, равной промежуточной частоте. Именно за счёт фильтра промежуточной частоты осуществляется основная селективность по соседним каналам. Это особенно важно, когда радиопередатчики идут один за другим в общем спектре. Отфильтрованный ФПЧ полезный сигнал на промежуточной частоте поступает на усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Его функция – усилить информационный сигнал до уровня, достаточного для корректной работы детектора. Демодуляция в данном радиоприёмном устройстве осуществляется с помощью амплитудного детектора.

После всех преобразований на выход радиоприёмника поступает продетектированный звуковой сигнал. Его мощность слишком мала для работы воспроизводящего оборудования, поэтому он предварительно усиливается усилителем низкой (звуковой) частоты (УНЧ).

2. Моделирование радиоприёмника

В данной работе проводилось моделирование радиоприёмного устройства КВ-диапазона. Это радиоприёмник амплитудно-модулированного сигнала супергетеродинного типа с одним понижением частоты (одной промежуточной частотой). РПрУ рассчитано на приём одной фиксированной станции на частоте 7,215 МГц.

После расчёта каждого блока по-отдельности была собрана обобщённая схема из всех блоков. На рис.2 представлена полная цифровая модель РПрУ.

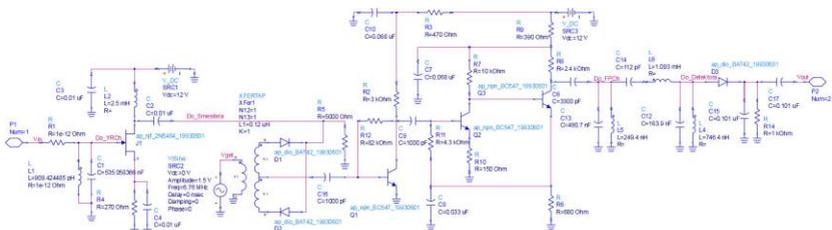


Рис. 2. Полная модель радиоприёмного устройства

На рис.3 приведены графики сигналов в разных точках РПрУ, полученные после проведения временного анализа. На осциллограмме (а) представлен входной сигнал амплитудой 30 мкВ, амплитудно-модулированный синусоидой с частотой 1 кГц. На графике (б) – сигнал после смесителя. Форма его огибающей отличается от той, что была до

преобразователя частоты. Это вызвано появлением в его спектре комбинационных частот. На осциллограммах (в) и (г) представлены модулирующий и итоговый демодулированный сигналы.

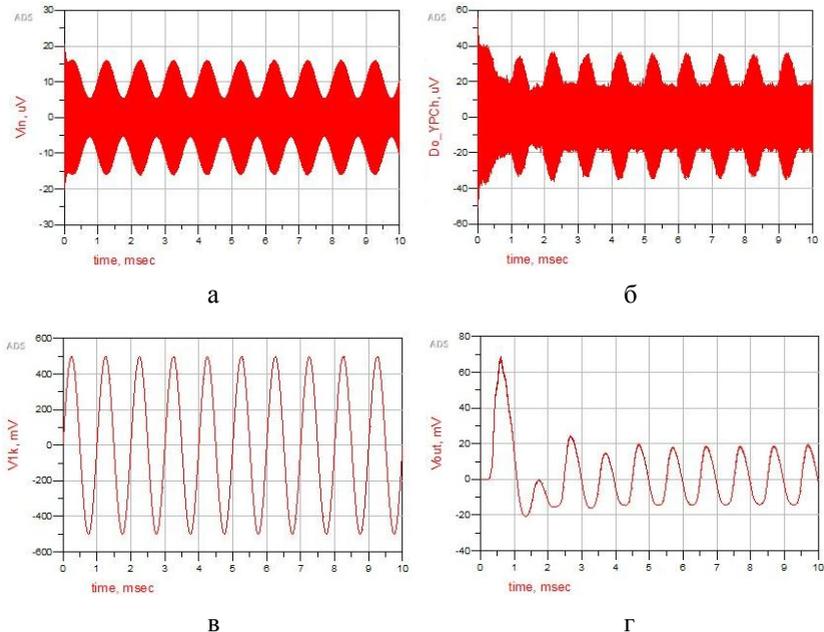


Рис. 3. Осциллограммы сигналов из разных точек РПрУ

При помощи анализа методом гармонического баланса (НВ Simulation) можно изучить спектры сигналов в разных точках приёмника. На рис.4 представлены спектрограммы сигналов в разных точках радиоприёмного устройства. Они позволяют точно отследить изменения, происходящие с сигналом. Здесь можно видеть спектры входного сигнала (а), сигнала после преобразователя частоты (б) (маркеры m2 и m3 показывают разностные и суммарные комбинационные частоты), сигнала после ФПЧ (в) (маркеры m4 и m5 показывают, как ослабевают суммарные гармоники) и сигнал после АМ детектора (г) на частоте 1 кГц.

3. Оценка некоторых параметров РПрУ

Оценим избирательность приёмника по соседнему и зеркальному каналам. Избирательность характеризует способность приемника

выделять сигналы нужной станции и не пропускать сигналов других, мешающих приему, станций.

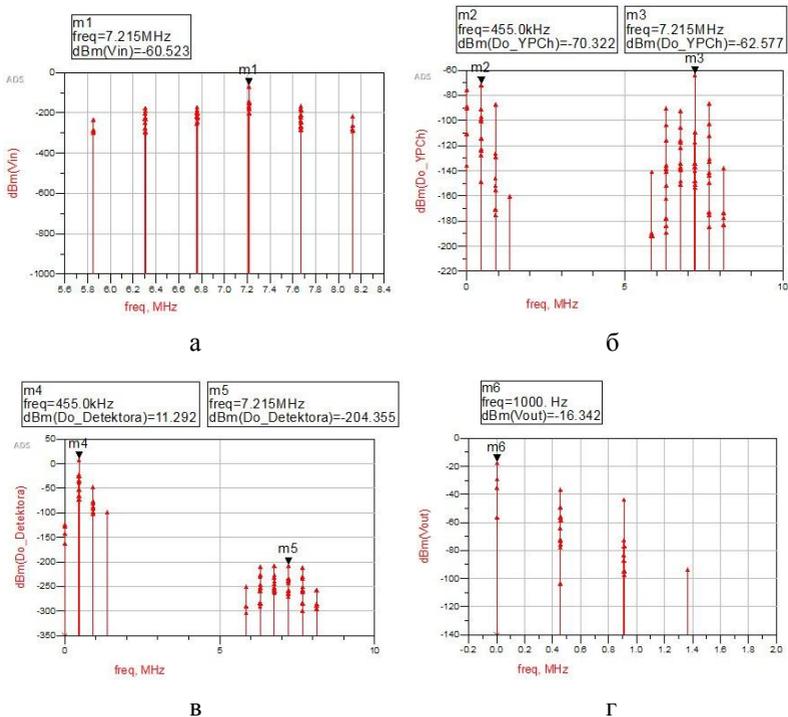


Рис. 4. Спектрограммы сигналов в различных точках РПРУ

Избирательность по соседнему каналу — это способность приемника принимать полезный сигнал на заданной частоте канала с заданным качеством в присутствии мешающего сигнала по соседнему каналу. Избирательность по соседнему каналу достигается за счёт фильтра промежуточной частоты (ФПЧ).

Было проведено измерение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра промежуточной частоты. График характеристики представлен на рис.5. Из графика видны характеристики данного фильтра: центральная частота, равная 455 кГц (маркер m1), ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ, равная 10 кГц (маркеры m2 и m3), и коэффициент передачи на частоте соседнего канала, равный -20,681 дБ. Из данных значений вычисляется избирательность по соседнему каналу, равная 15,5 дБ.

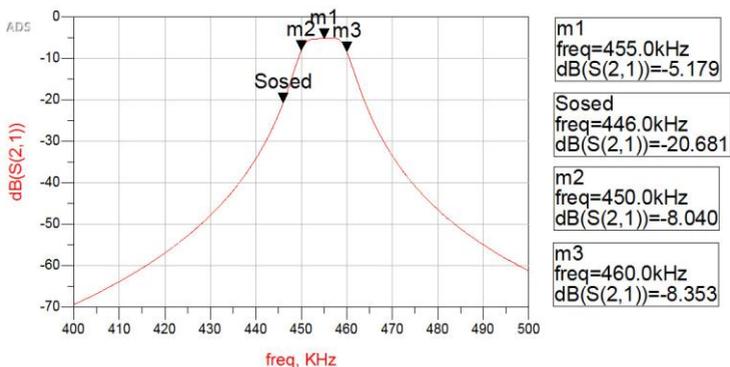


Рис. 5. АЧХ ФПЧ

Измерим избирательность данного приёмника по зеркальному каналу. Зеркальный канал приёма – это вторая входная частота, дающая такую же разность с частотой гетеродина, что и рабочая частота. Сигнал, передаваемый на этой частоте, проходит через ФПЧ и неразделимо смешивается с полезным сигналом. Избирательность по зеркальному каналу достигается за счёт фильтра радиочастоты (ФРЧ), находящегося перед преобразователем частоты.

Ниже представлены результаты моделирования входной цепи. На рис.6 изображён график её амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

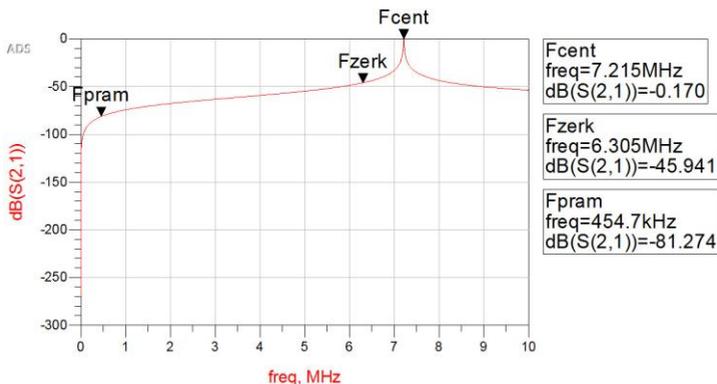


Рис. 6. АЧХ ФРЧ

На представленном графике АЧХ отмечено три маркера. Они соответствуют следующим частотам:

f_{cent} – центральная частота ПФ, 7,215 МГц;
 f_{zker} – зеркальная частота РПрУ, 6,305 МГц;
 f_{gram} – промежуточная частота РПрУ, 455 кГц.

Данные маркеры показывают следующие значения характеристик рассчитанной входной цепи: коэффициент преобразования на частоте радиосигнала $K_n = -0,17 \text{ дБ}$; избирательность по зеркальному каналу $\delta_{\text{зк}} = -45,9 \text{ дБ}$; избирательность по каналу прямого прохождения $\delta_{\text{нр}} = -81,3 \text{ дБ}$.

Заключение

В данной работе была представлена модель радиоприёмного устройства коротковолнового диапазона супергетеродинного типа. Данная модель создавалась как развитие идеи, представленной ранее в статьях [1-2]. Моделирование и измерения проводились в САПР Advanced Design System. Была продемонстрирована готовая модель и представлены графики и спектрограммы сигналов в различных точках приёмника, иллюстрирующие принципы работы супергетеродинных радиоприёмников.

Список литературы

1. Жигулин, В. А. Моделирование радиоприёмника УКВ-частот и оценка его основных параметров / В. А. Жигулин // Материалы областного профильного семинара "Школа молодых ученых" по проблемам технических наук : Тезисы и доклады семинара, Липецк, 19 ноября 2021 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2021. – С. 128-131.
2. Жигулин, В. А. Моделирование радиоприёмного устройства коротковолнового диапазона в САПР Advanced Design System / В. А. Жигулин // Информатика: проблемы, методы, технологии : Материалы XXII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазинова, Воронеж, 10–12 февраля 2022 года / Под редакцией Д.Н. Борисова. – Воронеж: Общество с ограниченной ответственностью "Вэлборн", 2022. – С. 228-235.
3. Котлинский, С. В. Компьютерное моделирование радиоэлектронных средств на базе среды схемотехнического моделирования Advanced Design System (ADS): учеб. пособие / С. В. Котлинский, В. А. Павлов. – Тверь : Тверской государственный технический университет, 2020. – 160 с.
4. Левин Е.К. Расчёт и схемотехническое моделирование функциональных узлов радиоприёмного устройства : учеб. пособие по

курсовому проектированию / Е.К. Левин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2016. – 84 с.

5. Проектирование радиотехнических устройств в среде Advanced Design System / А. Д. Головин, О. А. Смирнова, А. Н. Глогов, Равиль Загидуллин. – 1-е изд. – Москва : Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Москва), 2006. – 44 с.

6. Смирнова, О. А. Применение моделирующего комплекса ADS в подготовке специалистов высшей квалификации для задач исследования и разработки радиоэлектронных средств защиты информации / О. А. Смирнова, Б. П. Петренко // Вопросы защиты информации. – 2006. – № 1 (72). – С. 46-51.

7. Тяпичев Г. Как построить трансивер / Г. Тяпичев. – Москва : ДМК Пресс, 2005. – 432 с.

8. Чукаев М.В. Проектирование радиоприёмных устройств супергетеродинного типа: учебно-методическое пособие / М.В. Чукаев. – Санкт-Петербург, СПб ГБОУ СПО «ПКГХ», 2016. – 45 с.