

УДК 519.876.5

Крит А.А.¹ – студент, e-mail: qgc89092850880@gmail.comГордяскина Татьяна Вячеславовна¹ – доцент кафедры радиоэлектроники,
e-mail: klimtat@yandex.ru¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MULTISIM

Аннотация. В работе исследуется процесс параметрического преобразования спектра радиосигналов в аналоговых радиотехнических цепях (смесителе радиоприемника супергетеродинного типа) в программном пакете Multisim.

Ключевые слова: нелинейный элемент, смеситель, гетеродин, промежуточная частота, полосовой фильтр, модулированный сигнал, управляющий сигнал.

В соответствии с ФГОС 3+ специальности 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» выпускники должны генерировать идеи и решать задачи по созданию теоретических моделей, позволяющих исследовать свойства объектов профессиональной деятельности. Одним из таких объектов является оборудование ГМССБ (Глобальной Морской Системы Связи при Бедствии).[1]. Поскольку в состав оборудования радиотехнического канала связи входят параметрические радиотехнические системы, изучение их моделей, структуры, основ и принципов функционирования является важной и актуальной задачей. В работе рассматривается нелинейная система – параметрическая цепь (блок преобразователя частоты супергетеродинного приемника).

Современные приемные устройства радиотехнического канала связи строятся по супергетеродинной схеме, где основное усиление сигнала, выделение его на фоне помех и преобразование в первичный сигнал осуществляется не на принимаемой несущей частоте, а на постоянной более низкой (промежуточной) частоте. Структурная схема супергетеродинного приёмника представлена на Рисунке 1. [2]

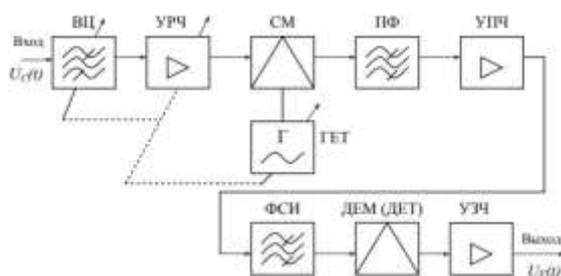


Рисунок 1- Структурная схема супергетеродинного приемника

Наименование блоков структурной схемы: ВЦ – входная цепь, УРЧ – усилитель радиочастоты, СМ – смеситель, ГЕТ – гетеродин, ПФ – полосовой фильтр, УПЧ –

усилитель промежуточной частоты, ФСИ – фильтр сосредоточенной избирательности, ДЕМ (ДЕТ) – демодулятор (детектор), УЗЧ – усилитель звуковой частоты.

Процесс параметрического преобразования частоты входного радиосигнала исследуем на примере схемы, выполненной на нелинейном элементе (диоде).

1) Рассмотрим теоретические основы процессов, протекающих в блоке преобразователя частоты. Он состоит из смесителя СМ, гетеродина ГЕТ и полосового фильтра ПФ и предназначен для переноса спектра радиосигнала с несущей частоты f_n на фиксированную промежуточную частоту $f_{пч}$ без потери параметров модуляции.

На вход смесителя подается АМ – сигнал на несущей частоте f_n :

$$U_{AM}(t) = U_{mH}(1 + M \cos w_y t) \cos w_n t = U_{mH} \cos w_{AM} t \quad (1)$$

Также на вход смесителя поступает гармонический сигнал с заданной частотой f_r от блока гетеродина. Причем амплитуда сигнала от гетеродина выбирается большей, чем амплитуда сигнала АМ - сигнала на несущей частоте. Спектр сигнала на входе смесителя выглядит следующим образом (Рисунок 2):

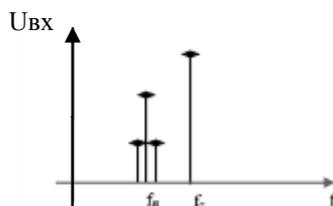


Рисунок 2 - Спектр сигналов на входе смесителя

Входной сигнал можно представить в следующем виде:

$$U_{вх}(t) = U_{mH} \cos w_{AM} t + U_r(t) = U_{mH} \cos w_{AM} t + U_r \cos w_r t \quad (2)$$

В блоке смесителя находится нелинейный элемент (диод), благодаря нелинейной ВАХ, которого и происходит преобразование частоты. Нелинейность ВАХ представим в виде аппроксимации степенным полиномом второго порядка:

$$i(t)_{вых} = a_0 + a_1 U_{вх} + a_2 U_{вх}^2. \quad (3)$$

После проведения тригонометрических преобразований выражение для выходного сигнала:

$$i_{вых}(t) = a_0 + a_1 U_{mH} \cos w_{AM} t + a_1 U_r \cos w_r t + \frac{a_2 U_{mH}^2 + a_2 U_{mH}^2 \cos 2w_{AM} t}{2} + a_2 U_{mH} U_r (\cos(w_r t - w_{AM} t) + \cos(w_r t + w_{AM} t)) + \frac{a_2 U_r^2 + a_2 U_r^2 \cos 2w_r t}{2} \quad (4)$$

Спектр данного сигнала содержит набор гармонических составляющих на различных частотах, в число которых входит как входной АМ-сигнал, несущая и управляющая частоты, сигнал гетеродина и комбинационные частоты. Поскольку стоит задача преобразования частоты, т.е. переноса сигнала из одной области частот в другую, без изменения характера модуляции, то необходимо использовать полосовой фильтр, настроенный на промежуточную частоту, т.е. LC-цепь. Спектры сигналов после прохождения диода и полосового фильтра представлены на Рисунках 3 и 4.

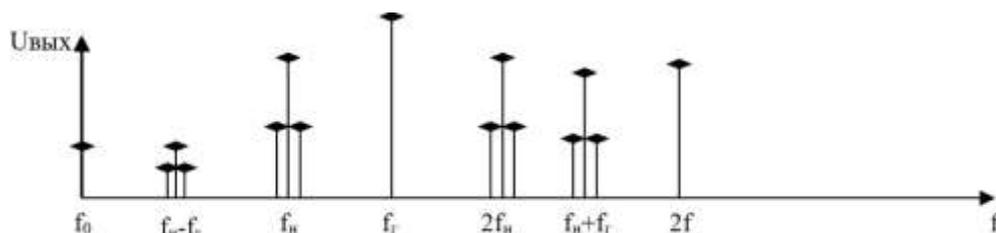


Рисунок 3 - Преобразование спектров сигналов в смесителе



Рисунок 4 - Спектр после прохождения полосового фильтра

Анализируя спектры сигнала, полученных на выходе преобразователя частоты, можно отметить, что из входных сигналов (АМ-колебания и сигнала гетеродина) на выходе получен АМ - сигнал на промежуточной частоте: $f_{пч} = f_r - f_n$, то есть наблюдается процесс переноса спектра сигнала на частотной оси.

II) Компьютерное моделирование. Для иллюстрации теоретических расчётов выполним компьютерное моделирование преобразователя частоты на диоде в программном пакете Multisim. Схема параметрического преобразователя частоты представлена на рис. 5. Она состоит из двух генераторов АМ-сигнала с параметрами: сигнал 1: $f_{n1} = 800$ кГц, $f_{y1} = f_{y2} = 20$ кГц, $U_1 = 50$ мВ; сигнал 2: $f_{n2} = 650$ кГц, $U_2 = 50$ мВ

И двух генераторов сигнала гетеродина:

сигнал 1: $f_{r1} = 950$ кГц, $U_{r1} = 100$ мВ; сигнал 2: $f_{r2} = 800$ кГц, $U_{r2} = 100$ мВ.

А также диода 1N3208, резистора $R_1 = 50$ кОм, конденсатора $C_1 = 10$ нФ и катушки индуктивности $L_1 = 112$ мкГн. В работе приведены результаты моделирования с первым генератором АМ-сигнала и сигнала гетеродина. На Рисунках 6, 7 представлены: осциллограмма и спектр сигнала на входе системы.

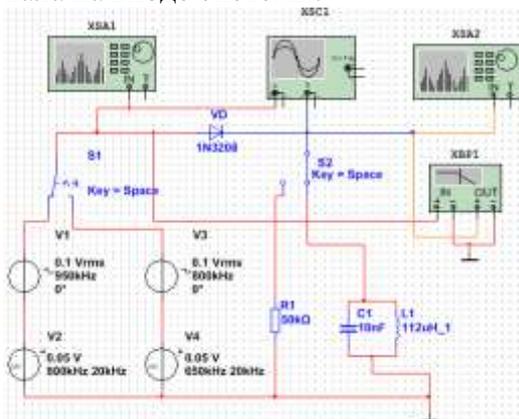


Рисунок 5 - Схема преобразователя частоты на диоде



Рисунок 6 - Осциллограмма на входе смесителя

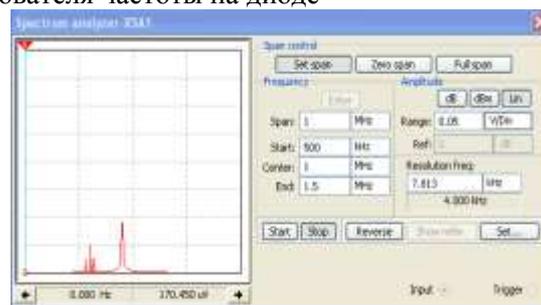


Рисунок 7 - Спектр на входе смесителя

После прохождения сигналов через диод в нагрузку R_1 , появляется спектр АМ-сигнала на промежуточной частоте 150 кГц. Таким образом, в спектре сигналы располагаются на нулевой, промежуточной, несущей и комбинационных частотах. Осциллограмма и спектр сигнала представлены на рисунках 8, 9.

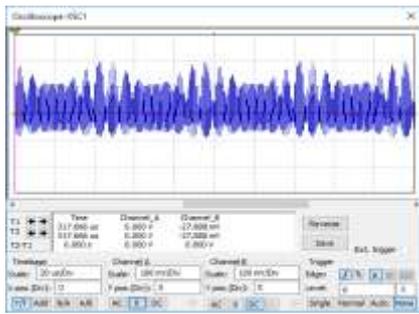


Рисунок 8 - Осциллограмма на R1

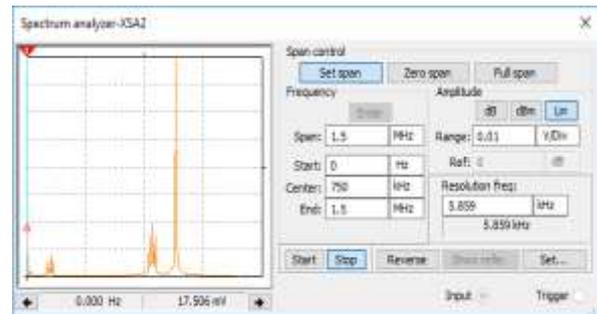


Рисунок 9 - Спектр на R1

После подачи сигнала с диода на ПФ (LC-параллельный колебательный контур, настроенный в резонанс на $f_p = f_{пч} = 150 \text{ кГц}$), в спектре выделяются гармонические составляющие, расположенные в области промежуточных частот 150 кГц, остальные составляющие спектра подавляются. Осциллограмма и спектр сигнала после LC-фильтра представлены на рисунках 10 и 11.

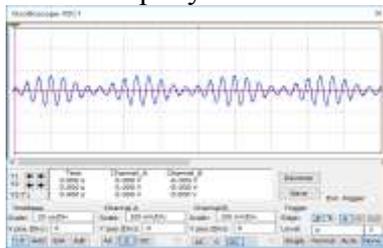


Рисунок 10 - Осциллограмма сигнала на выходе ПФ

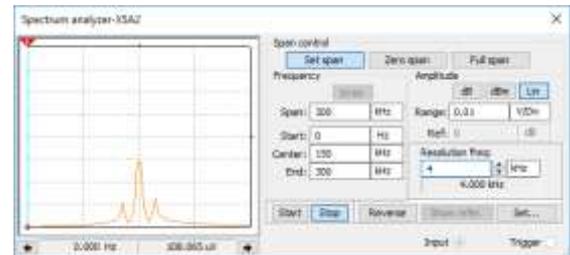


Рисунок 11 - Спектр сигнала на выходе ПФ

Анализируя полученные осциллограмму и спектр можно отметить, что произошел перенос спектра входного АМ-сигнала с несущей частоты $f_n = 800 \text{ кГц}$ в область промежуточных частот $f_{пч} = 150 \text{ кГц}$ без изменения характера модуляции.

Рассмотренная методика исследования может быть внедрена в учебный процесс, что позволит студентам более детально изучить сложные преобразования радиотехнических сигналов в оборудовании радиотехнического канала связи. На основе данного исследования можно рассмотреть возможность создания лабораторного стенда в качестве учебного пособия по изучению нелинейных преобразований радиосигналов.

Список литературы:

1. Панков Е.А., Гордяскина Т.В. Исследование нелинейных аналоговых РТЦ (амплитудных детекторов) в программном пакете Multisim // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. 2019. №8. ISBN 978-5-901722-63-3. URL: http://вф-река-море.рф/2019/PDF/9_6.pdf (дата обращения 15.05.2021).
2. Садовомский А.С. Приемно-передающие радиоустройства и системы связи: учебное пособие. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 243 с.

RESEARCH OF PARAMETRIC RADIO ENGINEERING CIRCUITS IN THE MULTISIM SOFTWARE PACKAGE

Andrey A. Krit, Tatyana V. Gordyaskina

Abstract. The paper investigates the process of parametric conversion of the radio signal spectrum in analog radio circuits (superheterodyne radio receiver mixer) in the Multisim software package.

Keywords: nonlinear element, mixer, heterodyne, intermediate frequency, bandpass filter, modulated signal, control signal.

