

УДК 519.876.5

Мальцев А.М.¹, студент, e-mail: 8312mail@gmail.comГордяскина Татьяна Вячеславовна¹, доцент кафедры радиоэлектроники,
e-mail: klimtat@yandex.ru¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород,
Россия.

ИССЛЕДОВАНИЕ БЛОКОВ ОБОРУДОВАНИЯ ГМССБ НА ПРИМЕРЕ АНАЛОГОВЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MULTISIM

Аннотация. В работе рассматривается процесс детектирования амплитудно-модулированного сигнала с помощью нелинейных аналоговых радиотехнических цепей на примере супергетеродинного приемника в программном пакете Multisim.

Ключевые слова: модулированный сигнал, нелинейный элемент, полосовой фильтр, промежуточная частота, детектор, 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) - радиотехнический канал связи. Поскольку в состав упомянутого выше оборудования входят нелинейные радиотехнические системы, изучение их моделей, структуры, основ и принципов их функционирования является важной и актуальной задачей. В данной работе рассматривается процесс преобразования радиосигнала в аналоговом супергетеродинном приемнике. [1]

Современные радиоприёмные устройства выполняются по супергетеродинной схеме, что позволяет упростить аппаратную часть приёмника, так как основное усиление сигнала, выделение его на фоне помех осуществляется на постоянной (промежуточной) частоте. Структурная схема супергетеродинного приёмника представлена на Рисунке 1. [2]

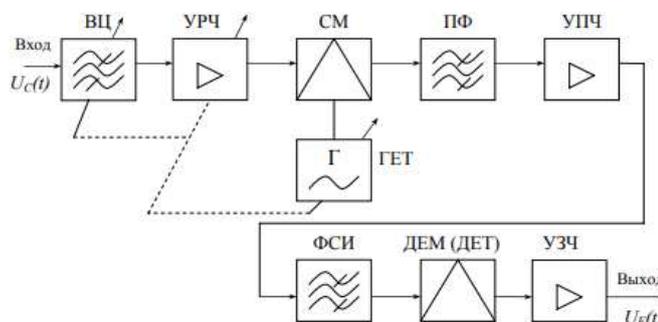


Рисунок 1 - Структурная схема супергетеродинного приемника

Где 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.

Исследуем процесс преобразования радиосигнала в параметрических (блок преобразователя частоты) и нелинейных (детектор) цепях. Их основными элементами являются: смеситель СМ, гетеродин ГЕТ и полосовой фильтр ПФ.

На вход смесителя подается АМ сигнал

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

Также на вход смесителя поступает сигнал с заданной частотой от блока гетеродина $U_{Г}(t) = U_{mГ} \cos(w_{Г} t)$. Спектр сигналов на входе смесителя (рис.2):

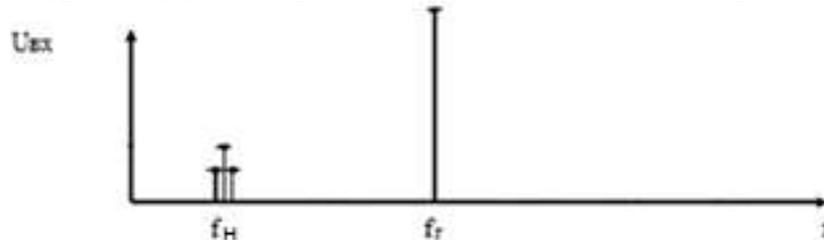


Рисунок 2 - Спектр сигналов на входе смесителя

В блоке смесителя находится нелинейный элемент (диод), нелинейность ВАХ которого можно рассмотреть в виде аппроксимации степенным полиномом второго порядка:

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

Входной сигнал можно представить в следующем виде:

$$U_{вх}(t) = U_{mH} \cos w_{AM} t + U_{Г}(t) = U_{mH} \cos w_{AM} t + U_{Г} \cos w_{Г} t \quad (3)$$

После проведения тригонометрических преобразований выражение для выходного сигнала:

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

Спектр сигнала на выходе нелинейного элемента обогащается, т.е. формируются комбинационные частоты. Для выделения АМ-сигнала на промежуточной частоте необходимо использовать полосовой фильтр, настроенный в резонанс на промежуточную частоту, т.е. LC - контур. Спектры сигналов после прохождения диода (а) и полосового фильтра (б) представлены на рисунке 3.

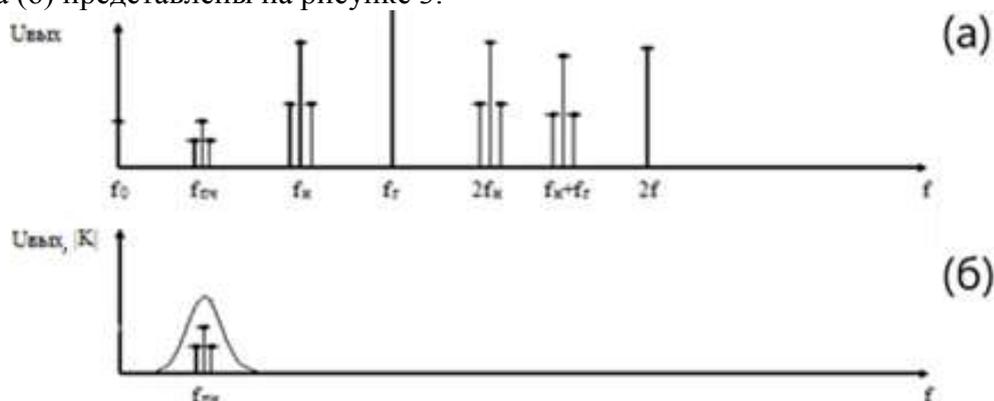


Рисунок 3 - Спектр сигнала на выходе нелинейного элемента (а) и после полосового фильтра (б)

Спектр сигнала на выходе преобразователя частоты переместился на промежуточную частоту $f_{пч} = f_{Г} - f_{с}$ без изменения характера модуляции.



Выделение передаваемого низкочастотного сообщения из АМ - сигнала проводится с помощью амплитудного детектора. С выхода преобразователя частоты на вход детектора (на нелинейный элемент - диод) поступает сигнал:

$$U_{\text{вх Ад}}(t) = a_1 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} \cos(w_{\text{нч}} t) + a_2 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} (\cos(w_{\text{пч}} t - w_y t) + \cos(w_{\text{пч}} t + w_y t))$$

ВАХ диода также аппроксимируется полиномом 2 степени, и на выходе диода формируется полигармонический сигнал:

$$i(t)_{\text{вых}} = b_0 + b_1 U_{\text{вх дет}} + b_2 U_{\text{вх дет}}^2$$

$$i_{\text{ввых Ад}}(t) = b_0 + b_1 a_1 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} \cos(w_{\text{нч}} t) + b_1 a_2 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} (\cos(w_{\text{пч}} t - w_y t) + \cos(w_{\text{пч}} t + w_y t)) + b_2 (a_1 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} \cos(w_{\text{нч}} t))^2 + 2b_2 a_1 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} \cos(w_{\text{нч}} t) a_2 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} (\cos(w_{\text{пч}} t - w_y t) + \cos(w_{\text{пч}} t + w_y t)) + b_2 (a_2 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} (\cos(w_{\text{пч}} t - w_y t) + \cos(w_{\text{пч}} t + w_y t)))^2$$

Поскольку необходимо выделить низкочастотный управляющий сигнал, то используется фильтр низкой частоты ФНЧ (RC цепь), частота среза которого определяется: $f_{\text{ср}} \geq f_{\text{упр max}}$

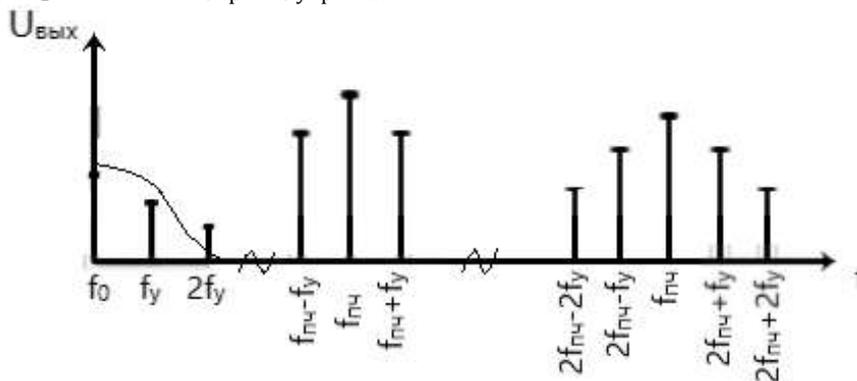


Рисунок 4 - АЧХ фильтра

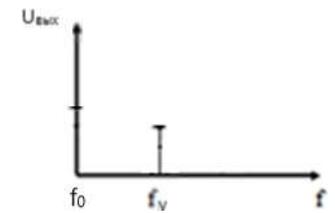


Рисунок 5 - Спектр сигнала на выходе ФНЧ

На выходе ФНЧ выделяется низкочастотный управляющий сигнал (передаваемое сообщение).

$$i_{\text{ввых Ад}}(t) = b_0 + a_2 a_1 U_{\text{мн}} U_{\Gamma} \cos(w_y t)$$

В результате рассмотренного преобразования радиосигнала в приемном устройстве можно наглядно убедиться в формировании на выходе приемного устройства передаваемого сообщения.

Для иллюстрации теоретических расчётов выполним компьютерное моделирование в программном пакете Multisim. Схема преобразователя частоты и амплитудного детектора представлена на рис. 6. На вход ПЧ подается два АМ-сигнала:

- 1) $f_{\text{н1}}=800$ кГц, $f_{\text{y1}}=10$ кГц амплитуды 50 мВ и сигналом гетеродина $f_{\text{г}}=950$ кГц с амплитудой 100 мВ
- 2) $f_{\text{н2}}=650$, $f_{\text{y2}}=10$ кГц с амплитудой 50 мВ и сигналом гетеродина $f_{\text{г}}=800$ кГц с амплитудой 100 мВ

На выходе ПЧ формируется сигнал на промежуточной частоте $f_{\text{пр}}=150$ кГц. Чтобы выделить управляющий сигнал, необходим амплитудный детектор, состоящий из: диода 1N3208 и ФНЧ с параметрами: $C2=2$ нФ, $R2=5$ кОм.

Как видно на рисунке 7 на входе ПЧ есть 2 основные гармоники на частоте 800 кГц и 950 кГц, но после прохождения через ПЧ, спектр сигнала смещается (рисунок 8) и далее необходимо выделить полезный сигнал с помощью детектора (рисунок 9).

На выходе амплитудного детектора образуется передаваемое сообщение (управляющий низкочастотный сигнал). В осциллограмме выходного сигнала наблюдаются незначительные высокочастотные пульсации. Для лучшей фильтрации



высших гармонических колебаний необходимо использовать более качественные фильтры низкой частоты.

Из проведенных исследований можно сделать вывод:

- 1) Для упрощения аппаратной реализации многоканальных приемников необходим блок преобразователя частоты, осуществляющий перенос спектра входного АМ-сигнала с несущей частоты на фиксированную промежуточную частоту.
- 2) Чтобы выделить управляющий сигнал (передаваемое сообщение), необходим детектор, состоящий из нелинейного элемента и ФНЧ. Важным параметром является точная настройка фильтра, для исключения высших гармоник спектра и выделения сигнала на управляющей частоте.

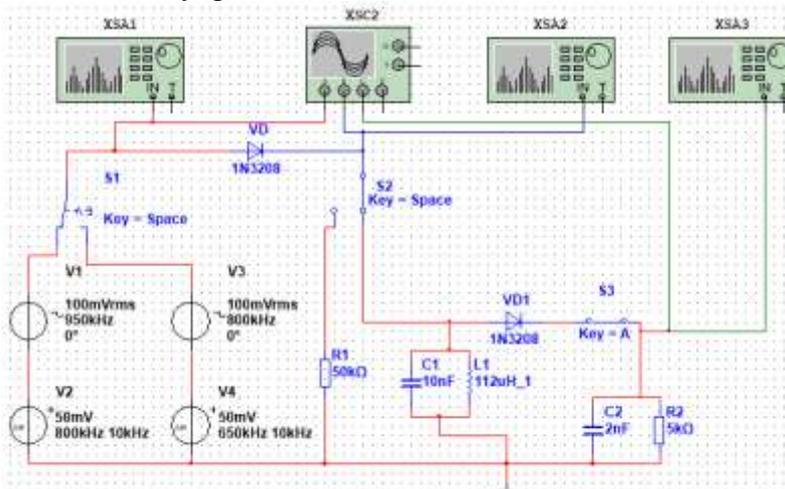


Рисунок 6 - Схема преобразователя частоты с амплитудным детектором

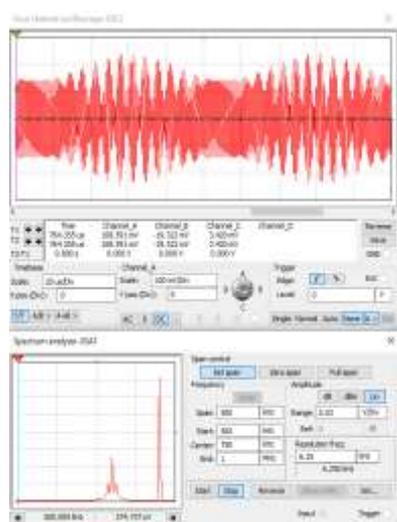


Рисунок 7 – Сигнал на входе ПЧ

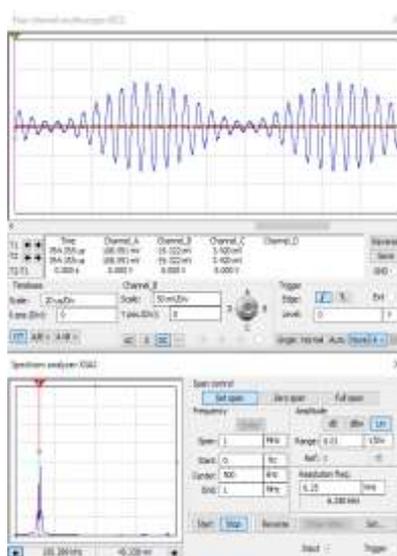


Рисунок 8 – Сигнал на выходе ПЧ

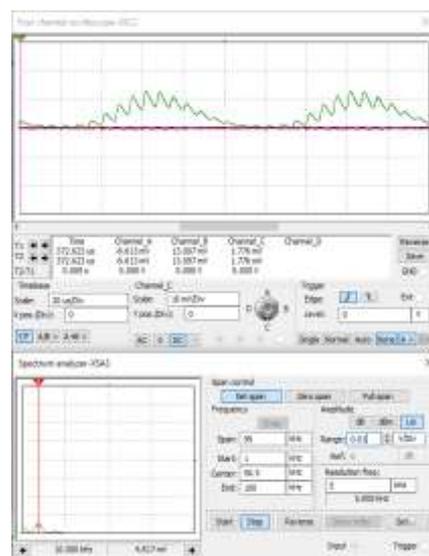


Рисунок 9 - Сигнал на выходе АД

Список литературы:

- [1] Панков Е.А., Гордяскина Т.В. Исследование нелинейных аналоговых радиотехнических цепей (амплитудных детекторов) в программном пакете Multisim. // Великие реки 2019: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2019. – URL: http://вф-река-море.рф/2019/PDF/9_6.pdf (дата обращения 28.04.2021)
- [2] Садововский А.С. Приемно-передающие радиоустройства и системы связи: учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 243 с.



RESEARCH OF GMDSS EQUIPMENT BLOCKS ON THE EXAMPLE OF ANALOG PARAMETRIC CIRCUITS IN THE MULTISIM SOFTWARE PACKAGE

Anton M. Maltsev, Tatyana V. Gordyaskina

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

The article is devoted to the development of a method for detecting a signal using nonlinear parametric elements on the example of a superheterodyne receiver in the Multisim software package.

