



УДК 519.876.5

Мартынов Никита Сергеевич – студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Гордяскина Татьяна Вячеславовна – доцент кафедры радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ АНАЛОГОВЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ (АМПЛИТУДНЫХ МОДУЛЯТОРОВ) В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MULTISIM

Ключевые слова: нелинейные аналоговые цепи, амплитудный модулятор, полосовой фильтр, радиотехнические сигналы.

Аннотация. В работе рассматривается методика исследования процесса амплитудной модуляции радиотехнических сигналов с помощью нелинейных аналоговых радиотехнических цепей в программном пакете Multisim.

Студенты специальности «Техническая эксплуатация транспортного оборудования» должны обладать определённым набором профессиональных компетенций, в которые входят:

- способность генерирования идей, решения задач по созданию теоретических моделей, позволяющих исследовать свойства объектов профессиональной деятельности;
- способность осуществлять передачу и получение информации с использованием подсистемы и оборудования ГМССБ (Глобальная морская система связи при бедствии), а также выполнять функциональные требования ГМССБ.

Выпускники университета должны уметь эксплуатировать оборудование ГМССБ – объект профессиональной деятельности, а для этого необходимо знать его структуру и принципы работы входящих в его состав нелинейных систем.

В качестве примера исследования нелинейных радиотехнических систем рассмотрим аналоговый амплитудный модулятор. Принципиальная блок-схема амплитудного модулятора представлена на рисунке 1. [1]

В данной цепи преобразование сигнала будет осуществляться с помощью нелинейного элемента и полосового фильтра.

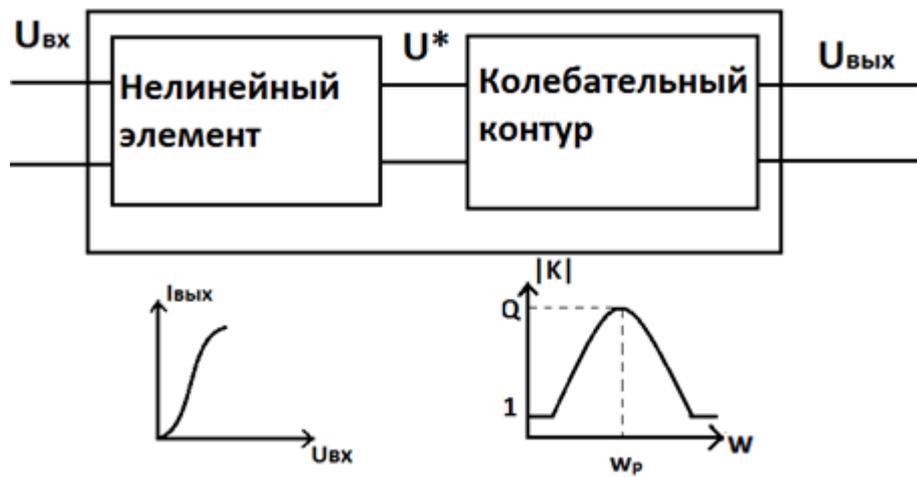


Рис.1. Структура амплитудного модулятора и характеристики его блоков.

Для более подробного понимания процесса модуляции рассмотрим нелинейность вольт - амперной характеристики (ВАХ) нелинейного элемента в виде аппроксимации степенным полиномом:

$$I_{\text{вых}} = a_0 + a_1 U_{\text{вх}} + a_2 U_{\text{вх}}^2 + \dots + a_n U_{\text{вх}}^n, \quad (1)$$

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{нес}} + U_{\text{упр}}, \quad U_{\text{нес}} = U_n \cos(w_n t), \quad U_{\text{упр}} = U_y \cos(w_y t), \quad (2)$$

$$U_{\text{вых}} = b_0 + b_1 U_{\text{вх}} + b_2 U_{\text{вх}}^2 + \dots + b_n U_{\text{вх}}^n, \quad (3)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входной сигнал; $U_{\text{нес}}$ – сигнал, выполняющий роль переносчика информации; $U_{\text{упр}}$ – сигнал, содержащий информацию; $I_{\text{вых}}, U_{\text{вых}}$ – выходные модулированные сигналы.

Рассмотрим ВАХ нелинейного элемента (1) в виде степенного полинома второго порядка: $I_{\text{вых}} = a_0 + a_1 U_{\text{вх}} + a_2 U_{\text{вх}}^2$.

После тригонометрических преобразований спектр сигнала на выходе модулятора имеет вид (рис. 2.):

$$U_{\text{вых}} = a_0 + a_1 U_n \cos(w_n t) + a_1 U_y \cos(w_y t) + \frac{a_2 U_n^2}{2} + \frac{a_2 U_n^2}{2} \cos(2w_n t) + a_2 U_n U_y \cos((w_n - w_y)t) + a_2 U_n U_y \cos((w_n + w_y)t) + \frac{a_2 U_y^2}{2} + \frac{a_2 U_y^2}{2} \cos(2w_y t)$$

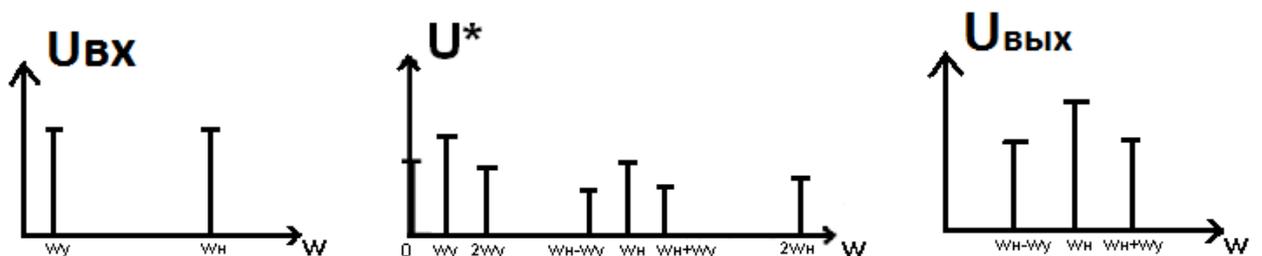


Рис.2. Спектры входного сигнала - $U_{\text{вх}}$, сигнала на выходе нелинейного элемента - U^* , выходного сигнала- $U_{\text{вых}}$.

Проходя через нелинейный элемент, спектр входного сигнала $U_{\text{вх}}$ «окрашивается», то есть на выходе элемента в спектре U^* появляются комбинационные частоты, отсутствующие на входе. В составе полигармонического спектра сигнала U^* располагаются гармоники, которые являются амплитудно-модулированным (АМ) сигналом, который выделяется полосовым LC- фильтром $U_{\text{вых}}$ (настройкой LC-контура в резонанс с частотой несущего колебания).

С целью получения большей наглядности процесса формирования АМ - сигнала в аналоговой нелинейной цепи проводится компьютерное моделирование в программном

пакете Multisim. [2] Схема амплитудного модулятора состоит из диода VD, колебательного LC - контура, который является полосовым фильтром и резистора R. Резистор используется в качестве нагрузки, для исследования полигармонического спектра сигнала на выходе диода. Входной сигнал состоит из двух гармонических колебаний с одинаковыми амплитудами по 50 мВ и частотами 159 кГц (частота несущего) и 10 кГц (частота управляющего). Схема амплитудного модулятора на диоде представлена на рисунке 3.

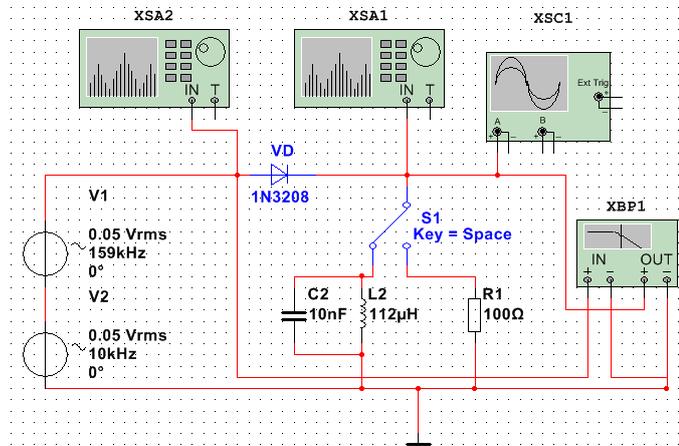


Рис.3. Схема цепи амплитудного модулятора на диоде.

Результаты формирования полигармонического сигнала на выходе диода (при подключенной нагрузке R), представлены на рис. 4, 5. После прохождения сигнала через нелинейный элемент – диод, на спектре появляются дополнительные гармоники. Среди получившегося ряда гармоник располагается амплитудно-модулированный сигнал, который в модуляторе выделяется полосовым фильтром. [3 - 5]

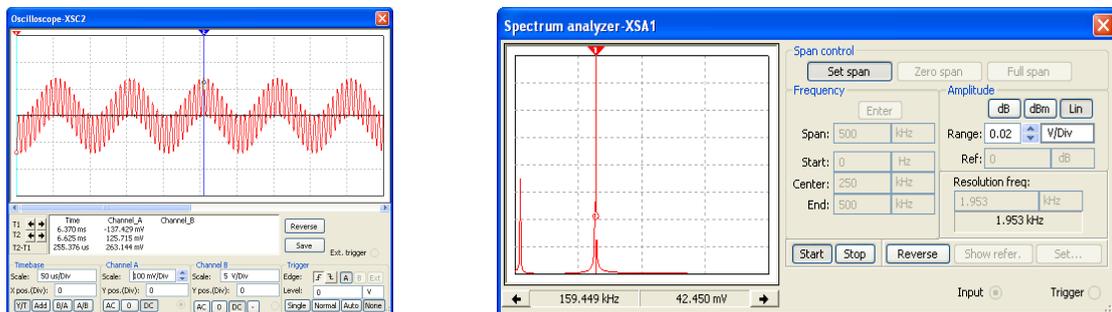


Рис.4. Осциллограмма и спектр входного сигнала.

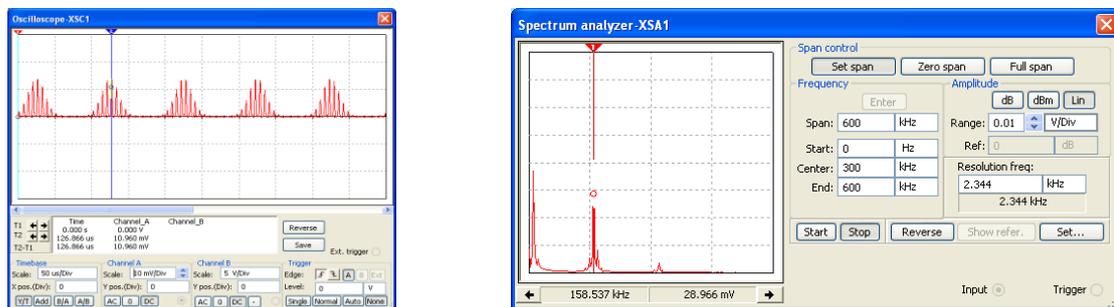


Рис.5. Осциллограмма и спектр сигнала на выходе модулятора с нагрузкой R.

Теперь рассмотрим сигнал, проходящий через полосовой LC- фильтр. Спектр и осциллограмма выходного сигнала представлены на рисунке 6.

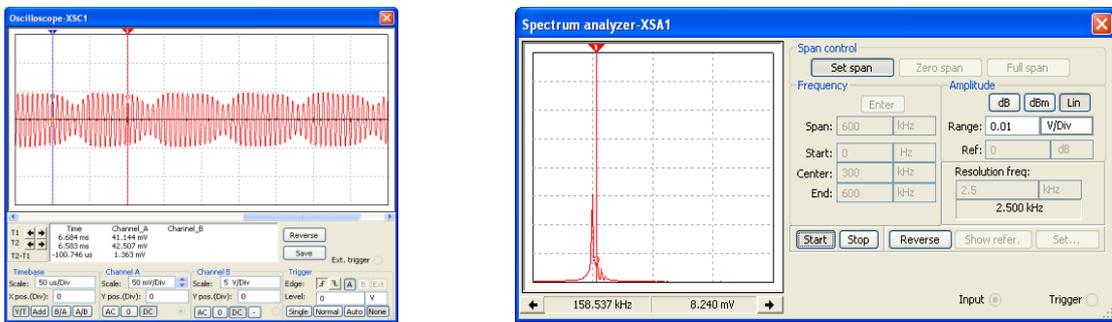


Рис.6. Осциллограмма и спектр сигнала на выходе модулятора с нагрузкой LC.

Проведем компьютерное моделирование процесса формирования амплитудно - модулированного сигнала нелинейной аналоговой цепью, выполненной на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, в программном пакете Multisim. Схема цепи представлена на рис. 7. Параметры входных сигналов аналогичны схеме с диодом (рис. 3.).

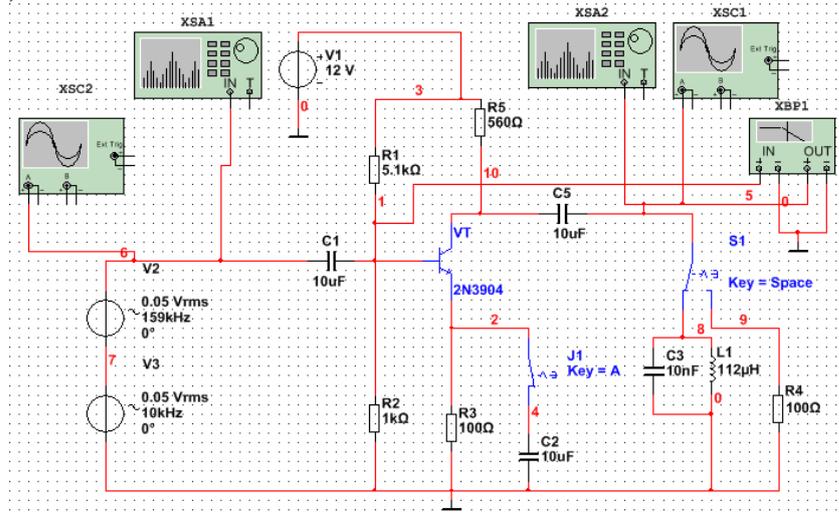


Рис.7 Схема амплитудного модулятора с транзистором.

В отличие от схемы модулятора с диодом, в цепи, на базе биполярного транзистора с общим эмиттером, происходит усиление и инвертирование входного сигнала. Результаты моделирования с нагрузкой R, представлены на рис. 8, 9.

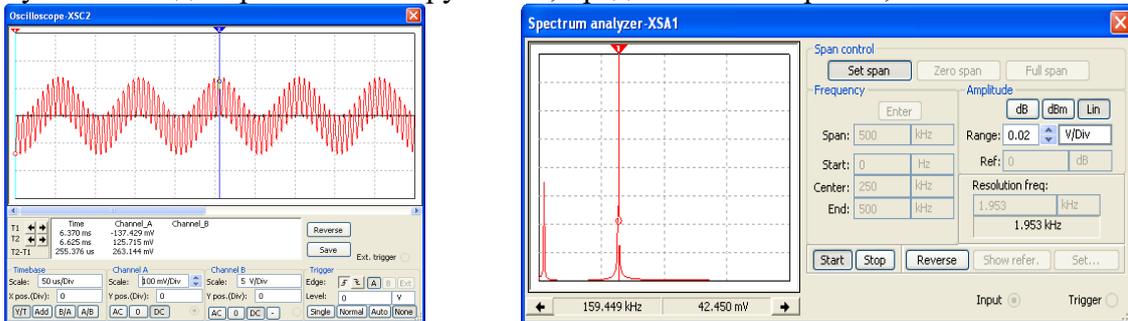


Рис.8. Осциллограмма и спектр входного сигнала.

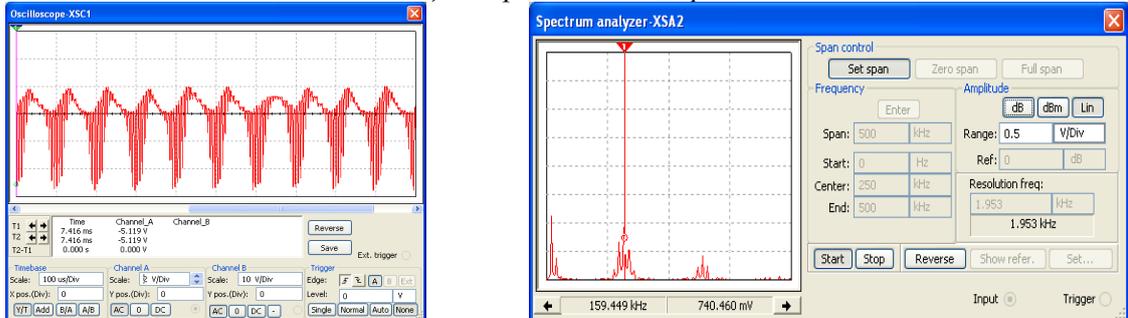


Рис.9. Осциллограмма и спектр сигнала на выходе модулятора с нагрузкой R.

Рассмотрим сигнал, проходящий через полосовой LC- фильтр. Спектр и осциллограмма выходного сигнала представлен на рисунке 10.

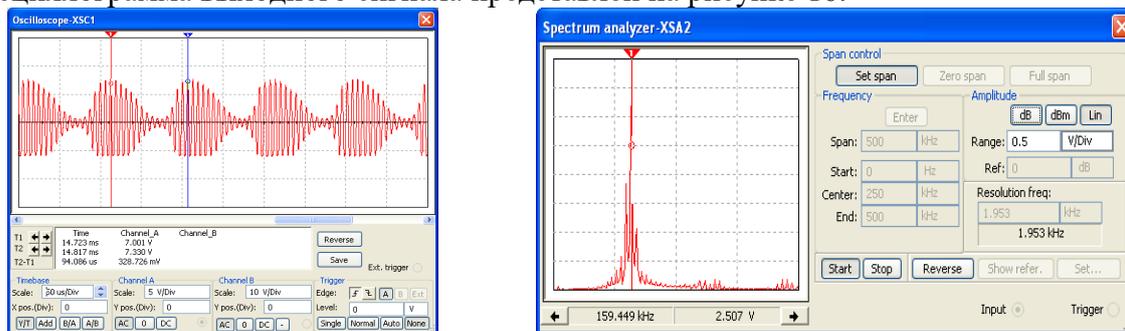


Рис.10. Осциллограмма и спектр сигнала на выходе модулятора с нагрузкой LC.

Рассматривая результаты моделирования, можно сделать вывод, что при прохождении сигнала через нелинейный элемент, его спектр «окрашивается» и появляются комбинационные частоты, среди которых необходимо выделить амплитудно-модулированный сигнал.

Отличием схемы амплитудного модулятора на транзисторе от схемы на диоде является то, что в цепи с транзистором происходит усиление и инвертирование выходного сигнала. В обеих рассматриваемых схемах произошло нелинейное преобразование сигнала и выделение АМ – колебания. Сформированный в модуляторах АМ - сигнал получился «неидеальным», так как:

1) в теоретических расчетах учитывалась ВАХ нелинейного элемента в виде степенного полинома второго порядка. Реальная ВАХ аппроксимируется степенным полиномом n -го порядка, следовательно, спектр на выходе нелинейного элемента будет содержать большее (чем при квадратичной аппроксимации) количество гармоник.

2) полосовой LC - фильтр имеет АЧХ, отличную от идеальной прямоугольной формы, что не позволяет эффективно подавить «паразитные» составляющие спектра.

Рассмотренная методика исследования нелинейных радиотехнических цепей может быть использована в учебном процессе на специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» в дисциплине «Радиотехнические цепи и сигналы» в качестве лабораторной работы «Исследование процесса преобразование сигнала в нелинейной аналоговой цепи - амплитудном модуляторе».

Методика состоит из следующих составных частей:

- Теоретическое исследование нелинейного преобразования спектра сигнала (аппроксимация ВАХ нелинейного элемента степенным полиномом);
- Расчёт параметров полосового фильтра для выделения АМ - сигнала;
- Компьютерное моделирование процесса формирования АМ – сигнала в нелинейных аналоговых цепях.

На основе проведенного исследования рассматривается возможность создания лабораторного стенда (для натурального моделирования) в качестве учебного пособия по изучению нелинейных аналоговых систем.

Список литературы:

- [1] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник. – М. : Высш. Школа, 2000. – 462 с.
- [2] MSM9-E-1790 Rev. 1 (C) 2005 Electronics Workbench Corporation. All rights reserved. Published November 2005. Printed in Canada.
- [3] Гордякина Татьяна Вячеславовна, Лебедева Светлана Владимировна Моделирование радиоэлектронных цепей в Multisim: Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ и курсового проекта по дисциплине «Проблемно-ориентированные пакеты прикладных программ в радиотехнике» для студентов дневного и заочного

обучения по специальности 162107.65 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования». – Н. Новгород: Издательство ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 40 с.

[4] Гордяскина Т.В., Лебедева С.В., Рубцов А.В. Применение проблемно-ориентированного программного пакета Multisim в технической диагностике частотно-избирательных радиотехнических цепей. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 43. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015. С.43-48.

[5] Гордяскина Т.В., Рубцов А.В. Техническая диагностика линейных аналоговых радиотехнических систем в программном пакете Multisim 10.0.1. Труды 17-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2015" [Электронный ресурс] - Электрон. дан. - Интернет журнал широкой научной тематики. Выпуск 4, 2015 г. Режим доступа: <http://vf-река-море.рф/2015/PDF/31.pdf>.

RESEARCH OF NONLINEAR ANALOG RADIO CIRCUITS (AMPLITUDE DETECTOR) IN THE SOFTWARE PACKAGE MULTISIM

Nikita S. Martynov, Tatyana V. Gordyaskina.

Keywords: nonlinear analog circuits, amplitude modulator, pass – band filter, radio technical signal.

Annotation. The paper discusses the method of researching the process of amplitude modulation of radio signals using nonlinear analog radio technical circuits in the software package Multisim.