

УДК 519.876.5

Мельников Михаил Алексеевич¹, студент,
e-mail: mikh.melnickow1999@yandex.ru

Гордяскина Татьяна Вячеславовна¹, к.ф.-м.н., доцент кафедры Радиоэлектроники,
e-mail: klimtat@yandex.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

КОНКРЕТИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ БЛОКОВ АППАРАТУРЫ ГМССБ (НЕЛИНЕЙНЫХ АНАЛОГОВЫХ ЦЕПЕЙ) В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ MATHCAD

Аннотация. В работе рассматривается методика исследования процесса амплитудной модуляции радиотехнических сигналов с помощью нелинейных аналоговых радиотехнических цепей в программном пакете MathCAD; реализация модели, использующей радиосигналы; вольт-амперные характеристики реальных полупроводниковых приборов.

Ключевые слова: нелинейные аналоговые цепи, амплитудный модулятор, полосовой фильтр, радиотехнические сигналы, интерполяционный полином Лагранжа, параметрический анализ, полупроводниковые диоды.

При исследовании процесса амплитудной модуляции радиотехнических сигналов в аналоговых нелинейных радиотехнических цепях возникла необходимость в доработке математических моделей, учитывающих влияние параметров вольт-амперной характеристики (ВАХ) реальных полупроводниковых приборов. [1, 2]

Для получения модели ВАХ прибора (диода), требуется аппроксимировать форму реальной кривой ВАХ. Получить кривую ВАХ нелинейного элемента можно: из справочной литературы на прибор, где указана усредненная кривая ВАХ, или экспериментальным методом – снятием ВАХ по опорным точкам (подавая на прибор напряжение и измеряя протекающий ток). Для описания ВАХ в нелинейных цепях применяют методы полиномиальной аппроксимации, требующей большого количества точек для построения кривой. Вышеописанные факторы приводят к высокой трудоемкости процесса получения кривой ВАХ.

Для снижения временных и трудовых затрат, повышения точности измерений, исключения субъективного фактора применяют автоматизированные измерительные приборы – характериографы. Для решения поставленной задачи был разработан и собран характериограф на базе аппаратно-программной платформы Arduino Nano v.3 и модулей на микросхемах ADC1115 и MCP4725 (Рисунок 1).

В результате измерений ВАХ реального полупроводникового прибора (в качестве которого выбран диод марки Д220), получена таблица значений приложенных к прибору напряжений и протекающих через него токов.

Для дальнейшей обработки полученных данных используется пакет Microsoft Office Excel. По полученным данным строится график ВАХ диода, затем встроенными средствами программного пакета для выбранного графика строится линия тренда. В

настройках параметров линии тренда указывается тип аппроксимации - полиномиальная. Эта кривая описывается полиномом Лагранжа, величина достоверности аппроксимации зависит от выбранной степени аппроксимирующего полинома. ВАХ прибора описывается уравнением:

$$i_{\text{ВЫХ}} = a_0 + a_1 U_{\text{ВХ}} + a_2 U_{\text{ВХ}}^2 + a_3 U_{\text{ВХ}}^3 + \dots + a_n U_{\text{ВХ}}^n, \quad (1)$$

где: $i_{\text{ВЫХ}}$ – выходной ток прибора (диода, транзистора), $U_{\text{ВХ}}$ – входной сигнал (мгновенное значение приложенного напряжения), коэффициенты $a_0 - a_n$ играют роль проводимостей.

Коэффициенты $a_0 - a_n$ в исследованной ранее математической модели выбирались произвольным образом (от 0,1-1). [1] Для учета влияния ВАХ реальных приборов на параметры формируемого АМ-сигнала, коэффициенты определяются по уравнению кривой, полученной при исследовании ВАХ характеристикографом. При сохранении степени аппроксимирующего полинома (второй степени - выражение (2)), коэффициенты принимают значения, приведенные на рис. 2, при этом достоверность аппроксимации недостаточна. Путем повышения степени аппроксимирующего полинома (пятой степени - выражение (3)), возрастает величина достоверности аппроксимации, коэффициенты принимают значения, представленные на Рисунке 3.

$$i_{\text{ВЫХ}} = 4,1982 - 36,999 \cdot U_{\text{ВХ}} + 51,907 \cdot U_{\text{ВХ}}^2. \quad (2)$$

$$i_{\text{ВЫХ}} = -0,1125 + 4,0258 \cdot U_{\text{ВХ}} - 30,22 \cdot U_{\text{ВХ}}^2 + 86,34 \cdot U_{\text{ВХ}}^3 - 123,25 \cdot U_{\text{ВХ}}^4 + 89,315 \cdot U_{\text{ВХ}}^5 \quad (3)$$

Уравнение кривой линии тренда отображает математическую модель ВАХ прибора: где y – ток через прибор, x – приложенное к прибору мгновенное значение напряжения, а коэффициенты играют роль проводимостей.

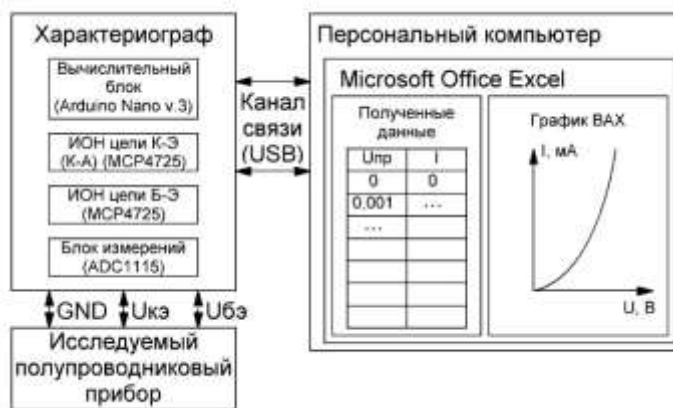


Рисунок 1 - Структурная схема лабораторной установки по измерению ВАХ

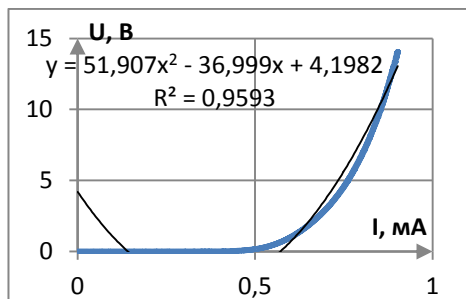


Рисунок 2 - ВАХ диода Д220 и уравнение кривой, при аппроксимации полиномом второго порядка.

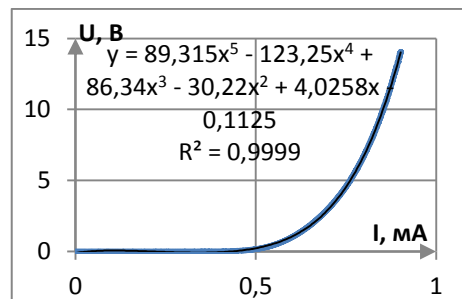


Рисунок 3 - ВАХ диода Д220 и уравнение кривой, при аппроксимации полиномом пятого порядка

$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x), \text{ где } l_i(x) = \prod_{j=0; j \neq i}^n \frac{x-x_j}{x_i-x_j} \quad (4)$$



Рассмотрим модель процесса формирования АМ-сигнала с учетом параметров реальной ВАХ. Амплитудный модулятор состоит из нелинейного элемента (НЭ, диода, транзистора), нагруженного на частотно-избирательную систему (ЧИС, параллельный колебательный контур, рисунок 4). На вход нелинейного элемента подается полигармонический сигнал (сумма несущего колебания и управляющего воздействия), определенной величины – такой, чтобы сигнал попадал в область наибольшей нелинейности ВАХ (Рисунок 5). [3, 4]

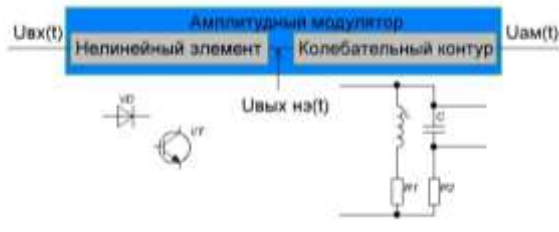


Рисунок 4 - Структурная схема амплитудного модулятора

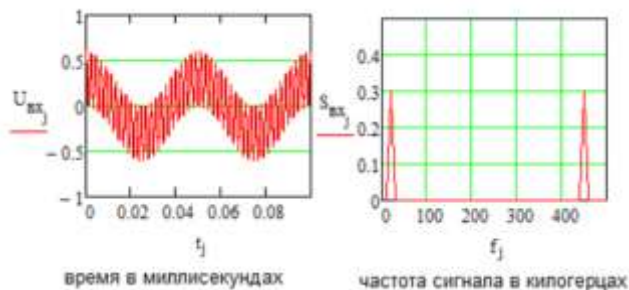


Рисунок 5 - Осциллограмма и спектр входного сигнала

Сигнал на выходе нелинейного элемента «окрашивается» - в спектре сигнала появляются новые гармонические составляющие на комбинационных частотах. Количество новых гармонических составляющих зависит от степени полинома, которым описывается ВАХ НЭ (Рисунки 6, 7).

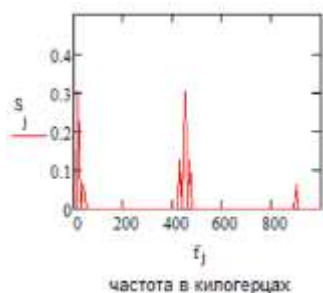


Рисунок 6 - Спектр сигнала на выходе НЭ, при аппроксимации полиномом второй степени

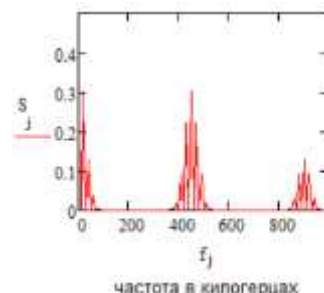


Рисунок 7 - Спектр сигнала на выходе НЭ, при аппроксимации полиномом пятой степени

Полигармонический широкополосный сигнал с выхода НЭ поступает на вход ЧИС (характеристики которой описываются амплитудно-частотной характеристикой – АЧХ, Рисунок 8), которая выделяет гармонические составляющие амплитудно-модулированного сигнала (Рисунки 9, 10). [5, 6]

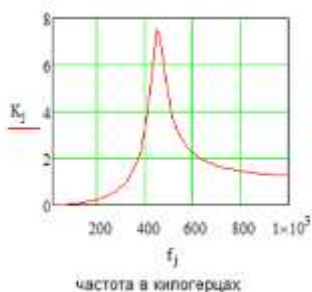


Рисунок 8 - АЧХ ЧИС (колебательного контура)

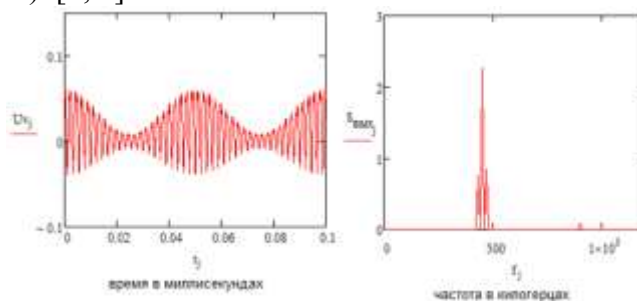


Рисунок 9 - Осциллограмма и спектр сигнала на выходе АМ при аппроксимации полиномом второй степени

Выходной сигнал амплитудного модулятора имеет искажения, так как ВАХ диода имеет не квадратичный вид, оптимальный для преобразования, что порождает дополнительные гармонические составляющие, которые проникают в сигнал. Кроме того ЧИС имеет недостаточное подавление вне полосы пропускания (АЧХ ЧИС имеет неоптимальную форму: оптимальная форма – «П» образная АЧХ).

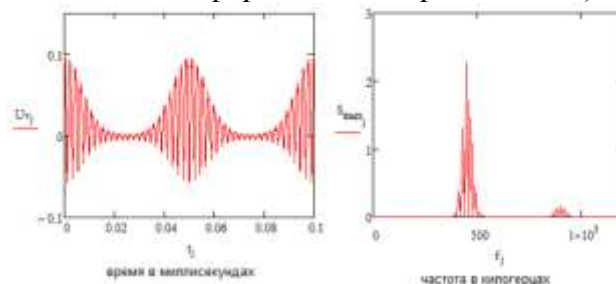


Рисунок 10 - Осциллограмма и спектр сигнала на выходе АМ при аппроксимации полиномом пятой степени

Для улучшения формы сигнала следует применять балансные схемы модулятора, а так же применять более схемы ЧИС более прямоугольной АЧХ. Все эти манипуляции улучшат параметры выходного сигнала, но усложнят схемную реализацию и математическую модель.

Список литературы:

1. Мельников М.А., Гордяскина Т.В. Исследование нелинейных аналоговых радиотехнических цепей (амплитудных модуляторов) в программном пакете mathcad.//Великие реки 2020: Материалы международной научно-методической конференции. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2020. – URL: http://вф-река-море.рф/2020/PDF/9_9.pdf (дата обращения 19.04.2021).
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник. – М. : Высш. Школа, 2000. – 462 с.
3. Гордяскина Т.В., Лебедева С.В, Рубцов А.В. Применение проблемно-ориентированного программного пакета Multisim в технической диагностике частотно-избирательных транспорта. Выпуск 43. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015. С.43-48.
4. Мартынов Н.С., Гордяскина Т.В. Исследование нелинейных аналоговых радиотехнических цепей (амплитудных модуляторов) в программном пакете Multisim. Труды конгресса «Великие реки» 2019 Выпуск 8, 2019г. URL: http://вф-река-море.рф/2019/PDF/9_5.pdf (дата обращения 19.04.2021).
5. Панков Е.А., Мартынов Н.С., Гордяскина Т.В., Лебедева С.В. Техническая диагностика нелинейных аналоговых радиотехнических систем в программном пакете Multisim. Труды конгресса «Великие реки» 2019 Выпуск 8, 2019г. URL: http://вф-река-море.рф/2019/PDF/9_7.pdf (дата обращения 19.04.2021).
6. 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. URL: <http://вф-река-море.рф/2015/PDF/31.pdf>. (дата обращения 19.04.2021)

SPECIFICATION OF MODELS OF GMDSS EQUIPMENT BLOCKS (NONLINEAR ANALOG CIRCUITS) IN THE MATHCAD SOFTWARE PACKAGE

Mikhail A. Melnikov, Tatiana V. Gordyaskina

Abstract. The paper deals with the method of studying the process of amplitude modulation of radio signals using nonlinear analog radio circuits in the MathCAD software package, methods for specifying the model.

Keywords: nonlinear analog circuits, amplitude modulator, pass – band filter, radio technical signal, Lagrange interpolation polynomial, parametric analysis.

