

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ОТКЛИКА СЛОЖНОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА ОТ АППРОКСИМАЦИОННОЙ СТЕПЕННЫМ РЯДОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ

М.М. ИВАНОВ, В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, В.М. ЧЕРТКОВ

*Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»
г. Новополоцк, 211440, Республика Беларусь*

Известно, что применение аддитивной смеси сверхширокополосных (СШП) и сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов в нелинейной радиолокации обуславливают возникновение эффекта взаимной их модуляции [1].

Целью работы является сравнительный анализ сложных зондирующих сигналов, представленных в виде аддитивной смеси СШП сигнала и негармонического СВЧ сигнала путем моделирования отклика от элементов с нелинейной вольтамперной характеристикой (НЭ) для повышения чувствительности нелинейного радиолокатора (НРЛ). Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: синтез имитационной модели взаимодействия зондирующего сигнала с НЭ; спектральный анализ переизлученных сигналов от НЭ; обоснование и выбор зондирующего сигнала, при котором переизлученный сигнал имеет наибольшее значение мощности.

Для анализа переизлученных сигналов от НЭ при зондировании сложным сигналом используется программная модель (ПМ), реализованная в среде Matlab. Структурная схема ПМ представлена на рисунке 1. ПМ имеет следующие функции: генерирование зондирующего сигнала с заданными параметрами; имитация наличия шума в радиоканале; моделирование аппроксимационной степенным рядом нелинейности; моделирование переизлученного сигнала; спектральное представление зондирующего и переизлученного сигналов.

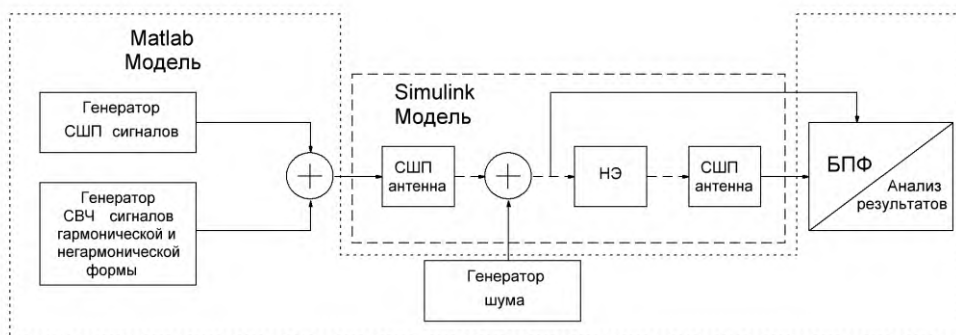


Рис. 1 – Структурная схема ПМ

Генераторы сигналов СШП, СВЧ гармонической и негармонической формы, шума, а также БПФ обработка описаны в Matlab модели. Взаимодействие с НЭ описано с помощью Simulink модели.

Считаем, что антенны, используемые на прием и передачу СШП сигналов, одинаковы, нижняя частота полосы пропускания которых составляет 450 МГц.

При моделировании рассмотрены следующие виды аддитивной смеси зондирующих сигналов: а) СШП сигнал и мощный гармонический СВЧ; б) СШП сигнал и СВЧ сигнал, частотно модулированный тональным сигналом; в) СШП сигнал и СВЧ сигнал, частотно модулированный пилообразным; г) СШП сигнал и СВЧ сигнал, частотно модулированный последовательностью кода Баркера длиной 13 символов.

СВЧ сигнал негармонической формы образуется с помощью частотной модуляции гармонического СВЧ сигнала, так как данный подход легко реализуем на практике.

СШП сигнал имеет вид последовательности импульсов, форму которых описывает вторая производная функции Гаусса. Спектр СШП сигнала находится в диапазоне 0.5–1.5 ГГц, а уровень средней мощности составляет -60дБм. Частота модулируемого СВЧ сигнала равна 0.9ГГц. Следовательно, спектр сложного объединения зондирующего сигнала состоит из СШП части расположенной в диапазоне 0.5–1.5 ГГц и уровнем мощности -60дБм и узкополосной СВЧ части на частоте 0.9 ГГц с уровнем мощности -5дБм.

Моделирование проводилось отдельно для двух основных типов объектов с нелинейными ВАХ: полупроводниковые компоненты и металлические соединения. При моделировании НЭ имитировался степенным рядом второго порядка для полупроводниковых компонентов и степенным рядом третьего порядка для объектов представляющих металлические контактные соединения.

Анализ результатов моделирования показал, что кроме наличия в переизлученном сигнале второй и третьей гармоник СВЧ сигнала, наблюдается повышение уровня средней мощности, вызванное нелинейным преобразованием СШП сигнала в следующих диапазонах:

- 1.5 – 1.7 ГГц, 1.9–2.5 ГГц для нелинейности аппроксимированной степенным рядом второго порядка;
- 1.5 – 1.7 ГГц, 1.9–2.5 ГГц и общий уровень шумов для нелинейностей аппроксимированной степенным рядом третьего порядка.

Также следует отметить, что использование частотной модуляции СВЧ сигнала приводит к увеличению мощности переизлученного сигнала для второй и третьей гармоник примерно на 21дБм, для СШП части – на 1 - 4дБм.

Результаты моделирования для нелинейности, аппроксимированной степенным рядом второго порядка, сведены в таблицу 1, а для нелинейности аппроксимированной степенным рядом третьего порядка – в таблицу 2.

Таблица 1 – Результаты моделирования для нелинейностей, аппроксимированных полиномом второй степени

Вид зондирующего сигнала	Мощность второй гармоники (P ₂ , дБм) переизлученного сигнала	Средняя мощность на частотах 1.5–1.7 ГГц, (P _{1.5-1.7} , дБм) переизлученного сигнала	Средняя мощность на частотах 1.9–2.5 ГГц, (P _{1.9-2.5} , дБм) переизлученного сигнала
СШП + гармонический СВЧ	-33	-44	-47
СШП + частотно модулированный тональным сигналом СВЧ	-12	-45	-43
СШП + частотно модулированный пилообразным сигналом СВЧ	-12	-50	-42
СШП + частотно модулированный кодом Баркера СВЧ	-12	-44	-43

Сравнительный анализ показал:

- а) При использовании аддитивной смеси СШП и СВЧ сигналов в качестве зондирующего для НРЛ имеет место классический нелинейных эффект возникновения второй и четных гармоник СВЧ сигнала для полупроводниковых НЭ, которые аппроксимируются степенным рядом второго порядка. Для НЭ представляющих тип металлических контактных соединений переизлученных от них сигнал содержит третью и нечетные гармоники. Кроме того наблюдается эффект взаимной модуляции СШП и СВЧ сигналов.

Таблица 2 – Результаты моделирования для нелинейностей, аппроксимированных полиномом третьей степени

Вид зондирующего сигнала	Мощность второй гармоники (P2, дБм) переизлученного сигнала	Средняя мощность на частотах 1.5–1.7 ГГц, (P1-1.7, дБм) переизлученного сигнала	Средняя мощность на частотах 1.9–2.5 ГГц, (P1.9-2.5, дБм) переизлученного сигнала	Мощность третьей гармоники переизлученного сигнала	Уровень шума Рш, дБм
СШП + гармонический СВЧ	-33	-44	-45	-38	-50
СШП + частотно модулированный тональным сигналом СВЧ	-12	-43	-44	-18	-44
СШП + частотно модулированный пилообразным сигналом СВЧ	-12	-42	-41	-18	-42
СШП + частотно модулированный кодом Баркера СВЧ	-12	-42	-42	-20	-42

б) Уровень мощности переизлученного сигнала от НЭ, аппроксимированного степенным рядом второго порядка, имеет наибольшее значение при частотной модуляции СВЧ сигнала кодом Баркера. Для НЭ, аппроксимированного степенным рядом третьего порядка, наибольший уровень мощности достигает при модулировании СВЧ сигнала пилообразным сигналом. При этом отмечено, что частотная модуляция СВЧ сигнала приводит к повышению уровня шума на 10дБм. Для обоих типов НЭ наименьший уровень мощности переизлученного сигнала наблюдается при использовании гармонического СВЧ сигнала.

в) Полученные результаты моделирования установили, что в качестве зондирующего сигнала для НРЛ предпочтительней использовать аддитивную смесь СШП сигнала и частотно модулированного СВЧ сигнала, чем сумму СШП и гармонического СВЧ сигналов.

Литература

1 Якубов, В.П. Дистанционная сверхширокополосная томография нелинейных радиоэлектронных элементов / В.П. Якубов, С.Э. Шипилов, Р.Н. Сатаров, А.В. Юрченко // Журнал технической физики. – 2015. – Том 85, вып. 2. – С. 122–125.

Сведения об авторах

Иванов М.М. – ассистент кафедры радиоэлектроники учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Чертков В.М. – старший преподаватель кафедры радиоэлектроники учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Железняк В.К. – д-р. тех. наук, профессор, заведующий кафедры радиоэлектроники учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

Адрес для корреспонденции

211440, Республика Беларусь.

Витебская обл., г.Новополоцк, ул.Блохина, 29, учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

тел. +375-29-894-39-46

e-mail: m.ivanov@psu.by

Иванов Михаил Михайлович