

УДК 004+372.853+537

**А. И. СЕРЫЙ**

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

## **О РАЗНОВИДНОСТЯХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОСОБЕННОСТЯХ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ АППАРАТУРОЙ**

Составной частью учебной программы дисциплины «Технические средства и методы защиты информации» является, в частности, тема «Нелинейные локаторы (локаторы нелинейностей, ЛН)». Важное значение при изучении данной темы имеет вопрос о разновидностях нелинейных элементов (НЭ) как таковых, поиском которых занимаются ЛН. При этом под НЭ будем понимать элементы, для которых одновременно выполняются два условия: а) нелинейный характер имеет вольт-амперная характеристика (ВАХ); б) ВАХ является наиболее актуальной характеристикой с практической точки зрения (т. е. не рассматриваются элементы, для которых более подходящими являются, к примеру, вебер-амперная или кулон-вольтная характеристики).

Представляет интерес сравнение двух основных типов НЭ, играющих важную роль в вышеназванной дисциплине. Они различаются номером гармоники, преобладающей в выходном сигнале. Следует учесть, что ВАХ

любого НЭ разлагается в ряд Тейлора в виде аппроксимирующего степенного полинома. Вывод выражения для силы тока (с использованием сведений из [1, с. 303–317]) представлен на рисунке, где приняты следующие обозначения:  $i_{\text{вых}}(t)$  – сила тока на выходе НЭ,  $t$  – время,  $i_0$  – сила тока на входе НЭ,  $e_s(t)$  – входной сигнал (ВхС) на НЭ,  $\alpha, \beta, \gamma$  – коэффициенты,  $A_0$  – амплитуда ВхС,  $\omega$  – частота ВхС. Тонкие стрелки соответствуют подстановкам.

$$i_{\text{вых}}(t) = i_0 + \alpha e_s(t) + \beta e_s^2(t) + \gamma e_s^3(t) + \dots$$

$$e_s(t) = A_0 \cos \omega t$$

$$i_{\text{вых}}(t) \approx i_0 + \beta A_0^2 + (\alpha A_0 + 1,25 \gamma A_0^3) \cos \omega t + 0,5 \beta A_0^2 \cos 2\omega t + 0,25 \gamma A_0^3 \cos 3\omega t$$

Рисунок – Блок-схема получения выражений для гармоник выходной силы тока

Таким образом, в сигнале отклика есть гармонические составляющие, среди которых наиболее существенны вторая и третья гармоники. Результаты сравнительного анализа изложены в таблицах 1–3.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика двух основных типов НЭ

НЭ	Полупроводник	Естественный МОМ-диод (МОМ – «металл–окисел–металл»), ложное соединение (ЛС)
Примеры	Транзисторы, диоды, микросхемы	Ржавые части металла (в частности, классическая двуокись железа) или контакт металл–окисел–металл
Считается, что в разложении на рисунке приближенно выполняется	равенство $\gamma \approx 0$	равенство $\beta \approx 0$
Таким образом, ВАХ имеет характер	квадратичный	кубический
А в принимаемом сигнале преобладает	2-я гармоника	3-я гармоника
Имеет ли такое предположение четкое теоретическое обоснование?	Нет, так как невозможно создать элементы с идеальными квадратичной или кубической формой ВАХ	
Влияет ли постукивание по ЛН на спектр принимаемого сигнала	Нет	Да, так как мы имеем дело с нестабильным « $p-n$ –переходом» и с нестабильной ВАХ, которая существенно зависит от свойств окружающей среды и внешних воздействий

Таблица 2 – Демодулированный аудиоотклик над настоящим полупроводником и ЛС

Если прослушивать демодулированный аудиоотклик	От объекта исследования (ОИ), который является чистым полупроводником (ЧП)	От ОИ, который является ложным соединением
По мере приближения антенны ЛН к ОИ	Уровень шума будет значительно понижаться	Уровень шума несколько изменится в ту или иную сторону
По мере удаления антенны ЛН от ОИ	Уровень шума начнет возрастать и постепенно приблизится к нормальному значению	Уровень шума снова примет обычное значение
Демодулированный аудиосигнал непосредственно над ОИ имеет значение	Наименьшее по сравнению с сигналом вдали от ОИ	Несколько иное (но нельзя определенно сказать, меньшее или большее) по сравнению с сигналом вдали от ОИ

Таблица 3 – Применение «эффекта затухания» с различными модуляциями для определения типа соединений

Вид модуляции	Аудиодемодуляция	Обычная частотная
В каких режимах излучения реализуется в ЛН	В непрерывном и импульсном; пример – ЛН «NR 900 EM» (Россия) в режиме «20К»	В непрерывном
Надежность определения типа соединений	Недостаточная	Достаточная для большинства ЛС

Таблица 4 – Роль шума (треска) при селекции ЧП и ЛС

Тип обнаруживаемого соединения	ЧП	ЛС
При прослушивании демодулированного аудиосигнала с одновременным механическим воздействием на него путем постукивания по стене деревянным или резиновым молоточком	Нет треска в наушниках	Появление треска в наушниках
Наблюдение слабого отклика на дисплее локатора может быть воспринято как шум. Если при этом не прослушивать тональный сигнал в наушниках, то можно	Сделать ошибочный вывод о наличии ЛС	Сделать правильный вывод о наличии ЛС

Таблица 5 – Основные преимущества и недостатки различных режимов тонального сигнала в ЛН

Прослушивание тонального сигнала	Демодулированного	FM-модулированного
Возможность селекции ЧП и ЛС	Да	Нет
Дальность обнаружения электронных устройств с помощью ЛН	Ниже	Значительно выше при условии обеспечения приемного тракта ЛН качественным аудиодемодулятором и хорошей частотной изоляцией от передающего канала

Составление подобных таблиц и схем может быть предложено обучающимся в качестве самостоятельных творческих заданий, требующих более внимательной работы с информационными источниками и развивающих умение выполнять сравнительный анализ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические средства и методы защиты информации : учеб. пособие для вузов / А. П. Зайцев [и др.] ; под ред. А. П. Зайцева и А. А. Шелупанова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 616 с.