

ОСНОВНЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е. В. Ермашкевич

*Витебский государственный университет имени П. М. Машерова
Витебск, Беларусь
e-mail: rutcode@gmail.com*

Рассматриваются основные и перспективные методы распознавания нелинейных элементов, дается оценка их эффективности.

Ключевые слова: нелинейный объект; нелинейный локатор; нелинейность; ложные; истинные; полупроводники.

BASIC AND ADVANCED METHODS OF RECOGNITION SYNTHETIC SEMICONDUCTOR ELEMENTS

Y. V. YERMASHKEVICH

*Vitebsk State University named after P. M. Masherov
Vitebsk, Belarus*

Discusses the basic and advanced techniques of artificial recognition of non-linear elements, provides an assessment of their effectiveness.

Keywords: nonlinear object; nonlinear locator; nonlinearity; false; true; semiconductors.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня человечество все более озадачено проблемой защиты информации, в том числе вопросом обнаружения средств скрытой ее передачи. В данном докладе рассматриваются способы обнаружения этих средств.

Принцип работы нелинейного локатора следующий: его антенна излучает зондирующий сигнал, чтобы определить наличие электронных компонентов, когда этот зондирующий сигнал встречает полупроводниковые переходы (диоды, транзисторы и т. д.), сигнал возвращается на кратной гармоникам исходного сигнала частоте из-за нелинейных характеристик перехода. Частой проблемой являются ложные срабатывания, например связь двух разнородных металлов, которые соединяются прикасаясь, либо коррозия исходного металла будет также возвращать сигнал кратный зондирующему из-за нелинейных характеристик перехода. Их мы будем называть ложными полупроводниками.

Теперь рассмотрим диод – самую простую форму электронного нелинейного элемента. Его вольт-амперная характеристика описывается следующим соотношением:

$$i = I_s \left[\frac{e^{qU}}{kT} - 1 \right], \quad (1)$$

где i – это ток через диод, I_s – ток утечки, q – заряд электрона, U – напряжение, k – постоянная Больцмана, а T – температура в Кельвинах.

Аппроксимируем (1) разложив в ряд Тейлора:

$$i = I_s \left[\frac{Uq}{kT} + \frac{\left(\frac{Uq}{kT}\right)^2}{2} + \frac{\left(\frac{Uq}{kT}\right)^3}{6} + \dots \right]. \quad (2)$$

Для малых сигналов, проходящих через диод, мы можем сократить это выражение до первых трех слагаемых:

$$i = I_s \left[\frac{Uq}{kT} + \frac{\left(\frac{Uq}{kT}\right)^2}{2} + \frac{\left(\frac{Uq}{kT}\right)^3}{6} \right]. \quad (3)$$

В уравнении (3) второе слагаемое отвечает за генерацию 2-й гармоники, а третий член отвечает за процесс создания 3-й гармоники.

Из-за различий в нелинейных характеристиках между искусственными полупроводниками и ложными полупроводниками сигналы 2-й и 3-й гармоники будут иметь различную интенсивность. Когда нелинейный локатор излучает сигнал на искусственный полупроводниковый переход, это приводит к тому, что уровень 2-й гармоники выше, чем 3-й гармоники. Ложный полупроводниковый элемент возвращает более высокий уровень 3-й гармоники, чем второй гармоники. Это и есть основной метод распознавания искусственных полупроводниковых элементов, но вероятность верной идентификации в нем не превышает 50 %.

Качественный нелинейный локатор должен иметь возможность сравнивать мощность принимаемого сигнала как на второй и на третьей гармонике. Эта функция значительно помогает пользователю видеть различие между истинными и ложными полупроводниковыми переходами. Также данная функция как правило приводит к гораздо более дорогим нелинейным локаторам, потому как последние должны иметь по два приемника.

Кроме того, очень важно, чтобы нелинейный локатор имел между входами второй и третьей гармоники хорошую РЧ-изоляцию, так как приемники не должны мешать друг другу. После оценки многих нелинейных локаторов мира кажется, что многие из них не имеют хорошей изоляции РЧ-цепей. Это означает, что чистый полупроводниковый переход может появиться, с достаточно сильным уровнем третьей гармоники и ложный полупроводниковый переход может иметь высокий уровень второй гармоники.

МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕНЕРАТОРА ПИЛО-ОБРАЗНОГО СИГНАЛА

Данный метод поиска и обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности основан на излучении зондирующего сигнала, амплитуда которого промодулирована по пилообразному закону, в направлении на нелинейный объект. Прием и получение сигнала отклика осуществляется по двум каналам на второй и третьей гармониках частоты вторичного электромагнитного поля.

С помощью модуляции зондирующего сигнала достигается уменьшение количества ложных срабатываний и, как следствие, повышается вероятность распознавания типа нелинейного объекта.

В работе С. Н. Панычева [1] показано, что использование данного метода дает вероятность идентификации нелинейности объекта, близкую к 100 %. Основными недостатками этого метода являются сложность технической реализации и необходимость в высокой линейности передающего каскада. Кроме того, метод не позволяет однозначно идентифицировать нелинейный объект из-за существенной разницы вида зависимости амплитуды сигнала отклика от амплитуды зондирующего сигнала на частотах второй и третьей гармоник при сложных ВАХ.

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА С РАСПОЗНАВАНИЕМ ТИПА НЕЛИНЕЙНОСТИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DSB-СИГНАЛА

Уравнение АМ-волны в своей простейшей форме, т. е. один тон модуляции, выражается в виде:

$$s(t) = A \cos \omega_c t + \frac{Am_a}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{Am_a}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t. \quad (4)$$

Из этого уравнения очевидно, что компонент-несущая в АМ-волне остается постоянной по амплитуде и частоте. Это означает, что несущая модулированной волны не передает никакой информации.

При расчете мощности АМ-сигнала было замечено, что для одного тона синусоидальной модуляции отношение суммарной мощности к мощности несущей:

$$\frac{P_t}{P_c} = 1 + \frac{m_a^2}{2}, \quad (5)$$

где m_a – индекс модуляции.

Для 100 % модуляции около 67 % от общей мощности требуется для передачи несущей, которая не содержит никакой информации.

Сигнал, полученный путем подавления несущей из модулированной волны, называется двухполосным сигналом с подавленной несущей (DSB-SC). Метод основывается на передаче DSB-SC сигнала, сигнал отклика принимают на второй и третьей гармониках частоты вторичного электромагнитного поля. Следует заметить, что использование данного метода дает возможность осуществления дополнительной обработки сигнала отклика на восстановленной удвоенной несущей частоте излучаемого сигнала.

МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ВИЗУАЛИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Данный метод заключается в сканировании и последующей визуализации пространства в миллиметровом радиодиапазоне, при этом обнаружение нелинейных объектов и их классификация происходят не по их радиохарактеристикам, а по характерным изображениям в этом диапазоне.

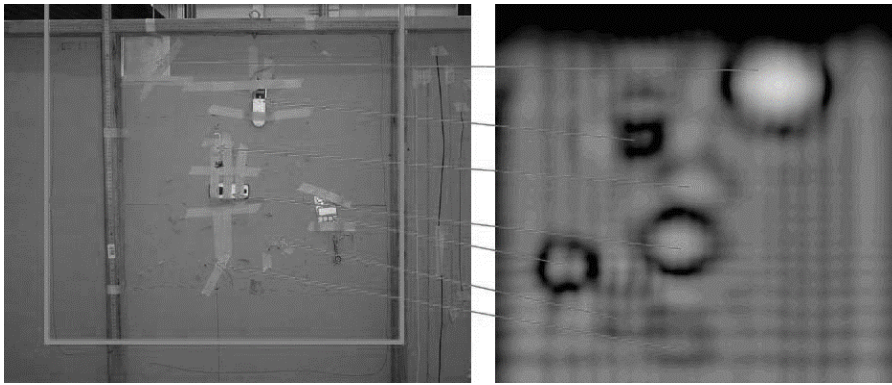


Рис. 1. Иллюстрация метода

МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ИЗМЕРЕНИИ ФАЗОВОГО ШУМА

Идея данного метода была предложена доктором технических наук А. В. Бельчиковым, его физическую реализацию предложил автор данного доклада. В основе метода лежит измерение отношения фазового шума опорного генератора к фазовому шуму на 2-й гармонике принимаемого сигнала, схема работы метода изображена на рис. 2, она работает следующим образом: сигнал опорного генератора и приемника оцифровывается ПЛИС, далее поступает на ФАПЧ и балансный смеситель, после этого отфильтровывается фильтром низкой частоты, усиливается, вычисляется значение флуктуаций амплитуды, по ним и происходит оценка фазового шума отраженного сигнала. Если фазовый шум значительно превышает фазовый шум опорного генератора, мы считаем, что полупроводник естественный, если нет – искусственный.

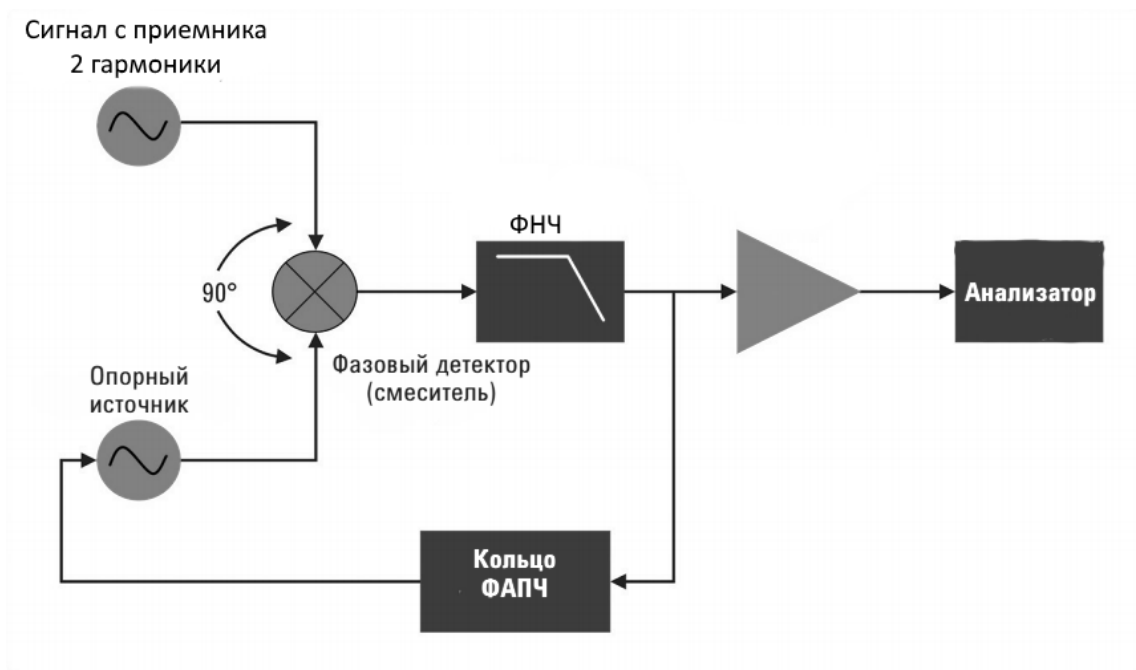


Рис. 2. Схема работы метода

Метод находится в стадии испытаний. Предполагаю, что он будет прост в реализации на ПЛИС и даст возможность верной идентификации нелинейных объектов близко к 100 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе проанализированы основные и перспективные методы нелинейной локации, дана их оценка. Нелинейная локация – мало проработанная область физики, которая нуждается в разработке и создании новых высокотехнологичных и дешевых методов распознавания нелинейных элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Панычев С. Н., Мусабеков П. М. Нелинейная радиолокация: методы, техника и области применения // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2000. № 5. С. 54–61.