

Томас Харви Джонс, управляющий компании Research Electronics International (REI).

«Обзор технологии нелинейной локации».

Локаторы нелинейностей (ЛН) используются для проведения поисковых мероприятий в течение многих лет. Часть специалистов по проведению подобных работ дают очень высокую оценку этой технике, в то время как другие (возможно из-за малого опыта при использовании ЛН) отзываются о них весьма сдержанно. Цель этой статьи- оказать помощь техническим специалистам в понимании ряда вопросов, которые могут возникнуть при использовании или приобретении локатора нелинейностей. *После того как технические проблемы становятся понятными для пользователя, ЛН может стать весьма полезным инструментом при проведении поисковых мероприятий.*

Для чего нужен локатор нелинейностей?

Большинство людей, которые не знакомы с возможностями технического шпионажа, в основном представляют себе подслушивающие устройства в основном как передатчики. Однако «специалисты» в данной области, используют массу электронных устройств, которые не имеют ничего общего с радиопередатчиками. Именно в этих случаях ЛН просто незаменим, так как может обнаруживать и определять местоположение любого электронного устройства, независимо от того включено оно или нет.

Ложные срабатывания ЛН.

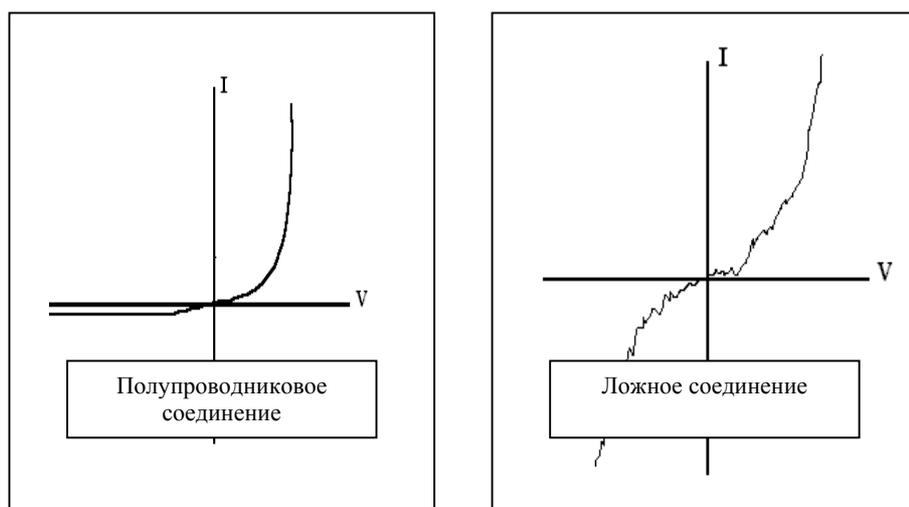
Наиболее распространенной проблемой, возникающей при использовании ЛН, являются ложные срабатывания. Обычные бытовые электронные приборы, такие как телефон или электронные часы, будут вызывать срабатывание ЛН, так как они состоят из электронных компонентов. На практике подобные срабатывания, вызванные бытовыми приборами легко различимы визуально, однако, ложные срабатывания могут вызываться металлическими объектами, не содержащими никаких электронных компонентов. Следовательно, качественный ЛН должен отличать полупроводниковые соединения от ложных. В этой статье будут рассмотрены всевозможные технические возможности и решения, позволяющие свести ложные срабатывания к минимуму.

В основном из-за неудачного использования ЛН, многие специалисты уверены, что для уменьшения ложных срабатываний подобные приборы необходимо использовать совместно с рентгеновской техникой или аппаратурой, позволяющей получить визуальные изображения исследуемых объектов. Использование рентгеновской техники часто связано со многими сложностями. Необходим доступ к обеим сторонам стен, существует опасность облучения, проблемы, связанные с транспортировкой. В большинстве случаев, я бы рекомендовал использовать эндоскоп. В этом случае, для того, чтобы заглянуть

во внутрь исследуемого объекта, необходимо лишь проверить маленькое, легко заделываемое отверстие. Воплощением одной из достаточно перспективных технологий, о которых мне известно, является прибор поверхностной локации «Раскан-2», разработанный в Москве. Это малогабаритное устройство, использующее радиоизлучение для получения глубинного поверхностного изображения, однако его разрешающая способность составляет всего около 2 см.

Теоретические основы нелинейностей локации.

Антенна НЛ облучает объект для определения наличия в нем электронных компонентов. Когда ВЧ сигнал облучает полупроводниковые соединения (диоды, транзисторы и т.д.), он возвращается на гармонических частотах с определенными уровнями, благодаря нелинейным характеристикам соединения. Однако ложные срабатывания также могут иметь при этом место, из-за того, что места соединения двух различных металлов или коррозионные металлические конструкции также вызывают гармонический отраженный сигнал вследствие своих нелинейных характеристик. Такие соединения мы будем называть ложными. Графики вольтамперных характеристик для полупроводникового и ложного соединений показаны на Рис.1



Сравнение 2-ой и 3-й гармоник

Из-за различия в нелинейных характеристиках полупроводникового и ложного соединений, отклики 2-й и 3-й гармоник будут иметь различную интенсивность. Когда ЛН облучает полупроводник, отклик на второй гармонике сильнее, чем на 3-ей. При облучении ложного соединения наблюдается обратный эффект: отклик на 3-ей гармонике сильнее, чем на 2-ой. (См. Рис.2)

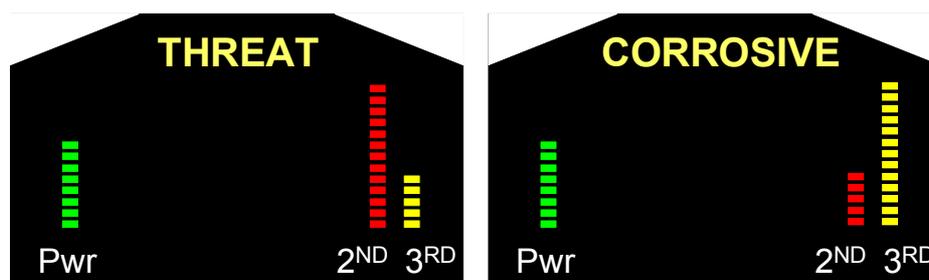


Рис.2. Сравнение уровней сигналов 2-ой и 3-ей гармоник при работе с НЛ ORION (А – полупроводник, В – ложное соединение).

Хороший ЛН должен обладать возможностью сравнивать интенсивность откликов на второй и третьей гармониках. Это позволяет пользователю отличить полупроводник от ложного соединения. Такая функциональная возможность приводит к удорожанию прибора, так как в этом случае он имеет два приемника. Для ЛН, анализирующего 2-ю и 3-ю гармоники, также очень важно, чтобы приемные тракты были хорошо частотно изолированы и не влияли друг на друга. В результате сравнения большого числа НЛ из разных стран мира, оказалось, что большинство из них не имеет хорошей радиочастотной изоляции в приемных трактах. Это означает, что чистый полупроводник может иметь более сильный отклик на 3-ей гармонике, в то время как ложное соединение – на второй. Следовательно, даже если прибор имеет возможность приема отклика обеих гармоник достаточно трудно отличить настоящее полупроводник от ложного соединения. Если ЛН анализирует 2-ю и 3-ю гармоники, очень важно, чтобы его приемные тракты были откалиброваны и не оказывали взаимного влияния на работу друг друга.

Специалисты фирмы «REI» разработали и запатентовали подобную технологию, реализованную в ЛН ORION. Это техническое решение позволяет полностью исключить влияние приемных трактов друг на друга при работе ORIONa.

Эффект затухания

Большинство специалистов основываются на «эффекте затухания» при распознавании полупроводникового и ложного соединения. Этот эффект проиллюстрирован на Рис.3.

Если вы слушаете демодулированный аудио отклик от настоящего полупроводника, то по мере приближения к нему антенны уровень шумов будет значительно понижаться. И напротив, по мере удаления от него уровня шума начнет возрастать и постепенно вернется к нормальному. Демодулированный аудио сигнал достигает наименьшего значения непосредственно над полупроводниковым соединением и увеличивается до нормы в стороне от него.

При приближении антенны ЛН к ложному соединению, аудио шум может усилиться и достигнуть своего максимального значения непосредственно над ним или в некоторых случаях слегка уменьшиться. По мере удаления антенны ЛН аудио шум вернется к обычной норме.

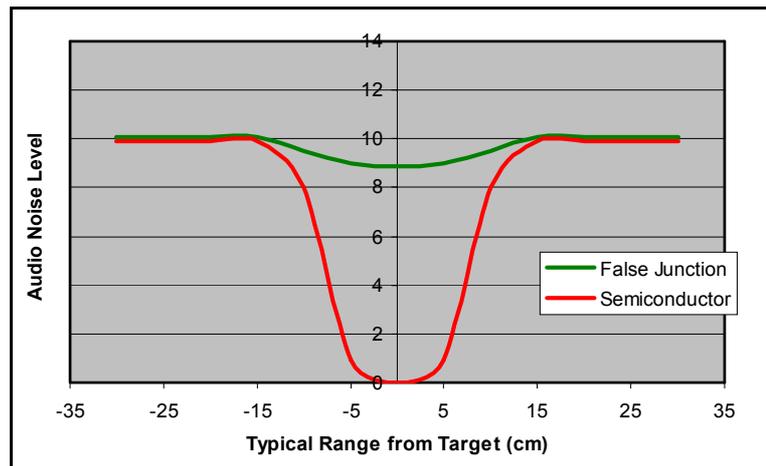


Рис.3. Кривая аудио шума для полупроводника и ложного соединения.

Очень важно понимать, что фундаментальная теория «эффекта затухания» достаточно проста. Если ЛН излучает немодулированный сигнал, то сигнал отклика на частотах гармоники также будет немодулированным и будет наблюдаться эффект затухания.

Аудио демодуляция, необходимая для «эффекта затухания» может быть реализована как в ЛН с непрерывным так и с импульсным излучением (об этом будет сказано далее).

Существует несколько моделей ЛН российского производства, в которых реализован режим «20К», который основан на «эффекте затухания» и используется как способ распознавания типов соединений. Опираясь на собственный опыт, я не считаю данный метод достаточно надежным для селектирования полупроводника и ложного соединения. Большинство ложных соединений легко распознаются проявляя «эффект затухания». В ЛН ORION реализован режим «20К», но фактически, обычная частотная модуляция непрерывного излучения является более эффективным способом, использующим «эффект затухания».

Другие возможности применения аудио демодуляции в ЛН.

При применении ЛН в поисковых мероприятиях возможно не только обнаружение электронных устройств, но и их классификация при помощи аудио демодуляции. Так, например, при обнаружении некоторых записывающих устройств, можно услышать аудио сигнал записывающей головки. Более того, если ЛН дает хорошую аудио демодуляцию, то зачастую возможно прослушивание синхронизирующих импульсов при обнаружении видеокамер. Используя частотную демодуляцию, иногда возможно прослушать характерные аудио сигналы в электронных устройствах, возникающих из-за фазовых сдвигов. Поэтому, очень важно иметь достаточный опыт работы с ЛН для распознавания электронных устройств по характерным аудио сигналам.

Кроме того, при обнаружении ложного соединения, можно без особого труда отличить его от полупроводника, прослушивая демодулированный аудио сигнал

и одновременно производя на него физическое вибрационное воздействие, постукивая по стене кулаком или резиновым молотком. Ложное соединение отреагирует на подобное воздействие треском в наушниках. Чистый полупроводник при этом будет «молчать».

Таким образом, локатор нелинейностей должен иметь хорошее качество аудио демодуляции как в АМ так и в FM режимах, чтобы полностью использовать возможности аудио селекции.

В ЛН ORION фирмы REI есть режим непрерывного излучения сигнала с 1 кГц частотной модуляцией. В этом режиме достигается наибольшая зона обнаружения, т.к. дает возможность пользователю обнаруживать электронные приборы, прослушивая тональный сигнал через высококачественный приемник. Если барографический дисплей отображает незначительный отклик, который может быть воспринят как шум, то прослушиваемый тональный сигнал позволяет безошибочно распознать нелинейное соединение. Использование FM-модулированного тона может значительно расширить пространственный диапазон обнаружения НЛ, в том случае, если его приемный тракт обладает качественным аудемодулятором и хорошей изоляцией от передающего канала. Однако, этот режим тональной модуляции не позволяет различать полупроводники от ложных соединений.

Импульсное или непрерывное излучение.

Большинство моделей ЛН, производимых в мире, используют непрерывное излучение (CW continuous wave), т.е. излучают непрерывный узкополосный сигнал. Однако существуют ЛН, которые работают в импульсном режиме, что дает ряд преимуществ. Одно из них – меньшее потребление тока аккумуляторных батарей при хорошей конструкции передатчика. Таким образом, приемник принимает сигналы с частотой, приемлемой для восприятия человеческого слуха и зрения, в то время как передатчик выключается на значительные интервалы времени. Это позволяет уменьшить габариты и энергоемкость аккумуляторных батарей и источников питания. Кроме того, для использования эффекта затухания, описанного выше, ЛН непрерывного излучения обязательно должен иметь высококачественные малошумящие усилители в приемном тракте и хороший демодулятор для обеспечения качественного аудио. Еще одним методом аудио демодуляции сигналов является импульсное излучение. Если частота следования импульсов выше порога частотного диапазона слышимости, то в этом случае для качественной демодуляции аудио сигнала достаточно простейшего АМ демодулятора. Не имеет значения, какой тип излучения использует ЛН импульсный или непрерывный, если он прост в обращении и обеспечивает хорошую аудио демодуляцию. ЛН ORION фирмы REI позволяет прослушать АМ и ЧМ аудио, используя импульсное излучение для амплитудной демодуляции и непрерывное для частотной, что максимально использует «эффект затухания».

Частотная совместимость.

Большинство ЛН имеют фиксированную частоту излучения, однако в некоторых реализована возможность выбора из нескольких каналов. Из-за все возрастающего числа средств радиосвязи и правительственного регулирования

радиодиапазона, ЛН с ограниченным частотным диапазоном часто конфликтуют с другими электронными средствами. Если частоты, на которых работает ЛН уже используются другими передатчиками, то в такой ситуации показания ЛН будут случайными и ненадежными. Это общая проблема для большинства больших городов, и по моему мнению решена она лишь в ORIONE. Таким образом, ЛН должен работать в широком частотном диапазоне и автоматически находить свободный рабочий канал, чтобы избежать частотного наложения от других передатчиков.

Уровень мощности и чувствительность

При сравнении ЛН, многие берут за основу мощность передатчика, так как данная характеристика относительно легка для восприятия. Однако, чувствительность приемника не менее важная характеристика для сравнения при оценке обнаружительной способности вообще. Также необходимо уяснить, что ЛН с небольшой мощностью, но качественным приемником может обладать более высокими обнаружительными характеристиками и проявить себя в работе гораздо эффективнее, чем прибор с большой мощностью и плохим приемником. Важно иметь в виду, что мощный ЛН может вывести из строя другие электронные приборы и нанести вред человеческому здоровью. Мне объясняли, что многие модели российских импульсных ЛН используют дополнительную мощность для активации полупроводниковых соединений. Это неправильный подход. Диод, например, представляет собой простейшее полупроводниковое соединение, рассматриваемое в большинстве теорий по нелинейной локации. Инженеры-электронщики часто моделируют его, как совершенный переключатель, позволяющий течь току только в положенном направлении. Однако это слишком грубое упрощение, чтобы использовать его при анализе теории нелинейной локации. Полупроводниковое соединение не просто выполняет функцию «вкл-выкл», это определенная функция, изображенная на Рис.1 и описываемая формулой:

$$I \equiv I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U}{k \cdot T}} - 1 \right)$$

Где I_0 – ток утечки

q – заряд электрона

k – постоянная Больцмана

T – температура

U – напряжение, приложенное к диоду

Таким образом, при наличии высокочувствительного приемника, ЛН с небольшой мощностью может быть гораздо эффективнее, чем мощный прибор.

По моему мнению, ORION практически единственный в мире прибор, в котором для повышения чувствительности приемника используется цифровая обработка сигнала (DSP processing). Орион позволяет значительно повысить эффективность обнаружения за счет хорошего входного тракта приемника и

интегрирования результатов измерений. Для оптимизации использования прибора пользователь может вручную устанавливать уровень интеграции при цифровой обработке сигнала.

Более того, ORION единственный в своем роде прибор, в котором использованы алгоритмы для автоматического контроля уровня излучения. В том случае, если сигнал на входе приемника слишком велик и возникает перегрузка, прибор автоматически снижает мощность излучения для более точных измерений. Когда уровень принимаемого сигнала возвращается к норме, мощность увеличивается до первоначального значения автоматически.

Эти особенности значительно облегчают работу с ORIONом при проведении поисковых мероприятий, исключая необходимость постоянной регулировки.

Эргономические характеристики.

Работая с ЛН очень важно иметь хороший обзор его дисплея для более точной оценки показаний. В некоторых приборах дисплей расположен на блоке приемопередатчика, который переносится при помощи ремня на шею или плечо пользователя. По-моему, это самый малоэффективный метод отображения информации, т.к. оператор должен одновременно следить за показаниями прибора и перемещать антенну ЛН. В других моделях дисплей помещен на рукоятку прибора. Это решение лучше, но если дисплей невыразительный (типа ЖКИ), то достаточно сложно следить за его показаниями во время работы. Наилучшей моделью является достаточно яркий дисплей, размещенный на антенном блоке, следить за показаниями которого можно под разными углами зрения. Дисплей, вмонтированный в антенный блок, позволяет пользователю одновременно следить и за его показаниями и за положением антенны. Если у оператора нет возможности легко считывать информацию с дисплея, это может плачевно отразиться на эффективности поисковых мероприятий, т.к. способность оценивать и интерпретировать показания прибора пользователем в этом случае весьма низка.

ЛН с самого начала были тяжелыми и объемными устройствами. За исключением ORIONa, все известные мне приборы имеют блок приемопередатчика, который переносится при помощи ремня на шею или плечо оператора, в то время как антенна находится в его руках. Подобный блок достаточно тяжелый и соединен с антенной несколькими кабелями. Кабели часто переплетаются, задевают за мебель, предметы, сильно мешая работе. После обсуждения эргономических аспектов со специалистами по проведению поисковых мероприятий из разных стран, я пришел к выводу: если прибор неудобен в работе (трудно считывать информацию, тяжелый, громоздкий и т.д.), то не имеют значения его технические параметры (дальность, мощность и т.д.), т.к. с его мощностью оператор не сможет провести эффективный поиск. Для проведения поисковых мероприятий на высоком уровне ЛН должен быть прост и удобен в работе.

Заключения.

Важно понимать, что при работе с ЛН имеют место 2 процесса: (1) обнаружение нелинейного соединения; (2) распознавание типа соединения (полупроводник или ложное). Мнение о ЛН складывается из оценки его эффективности обнаружения и селективных возможностей.

На мой взгляд, более важной характеристикой для локатора является дальность обнаружения, т.е. глубина проникновения сигнала в предметы, находящиеся в обследуемом пространстве. Однако, данная концепция должна пониматься правильно и использоваться лишь для сравнения приборов, работающих в одинаковых условиях. *Более того, большая дальность обнаружения, не всегда положительное качество для локатора, т.к. вы просто можете обнаруживать электронные устройства, находящиеся в соседней комнате (такие как компьютеры или телефоны). При работе локатор должен иметь не только значительную дальность обнаружения, но и возможность регулировки его основных параметров (как правило мощность излучения или, как в случае с ORIONом уровень интеграции цифровой обработки сигнала) для достижения необходимой глубины обнаружения в исследуемом материале.*

Американские модели ЛН при определении типа соединения, в основном, используют сравнение уровней сигналов по 2-ой и 3-ей гармоникам. Однако, не менее важно использовать методы анализа демодулированного аудио, основанные на эффекте затухания и вибрационном физическом воздействии. Для максимальной надежности хороший ЛН должен иметь несколько способов определения различия между настоящим полупроводником и ложным соединением.

Как уже говорилось ранее, существует множество различных мнений по вопросу использования ЛН. В США, например, часть специалистов уверена, что для проведения поисковых мероприятий просто необходимо использовать ЛН, в то время как другая часть уверяет в нецелесообразности использования локаторов из-за большого числа ложных срабатываний и других технических сложностей. Мнения расходятся, в основном, из-за различного опыта в использовании ЛН, по причинам, описанным в данной статье. ЛН ORION, разработанный компанией REI является своеобразным ответом на технические и эргономические проблемы, освещенные в данной статье.

В ORIONe реализованы: режимы импульсного и непрерывного излучения, позволяющие достичь максимальной дальности обнаружения; сравнение уровней сигналов 2-й и 3-й гармоник; а также различные способы, позволяющие отличить полупроводник от ложного соединения. Благодаря малым размерам, ORION легко умещается в обычный атташе-кейс, а его вес составляет всего 1,6 кг. В конструкции нет никаких внешних соединительных цепляющихся кабелей или тяжелых модулей, висящих на плече оператора и вызывающих усталость.

Как автор этой статьи, я постарался быть максимально объективным при описании технических особенностей ЛН, играющих роль при его выборе и использовании. Как управляющий компанией REI, я, конечно же, сторонник

ORIONa. Тем не менее, я надеюсь, что вы нашли немало интересного в этой статье о проблемах нелинейной локации.