

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Региональный учебно-научный центр по проблемам информационной  
безопасности Восточной Сибири и Дальнего Востока  
в системе высшей школы

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

**ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
С ПОМОЩЬЮ НЕЛИНЕЙНОГО ЛОКАТОРА**

Руководство к практическим занятиям и лабораторным работам по курсам  
"Инженерно-техническая защита информации", "Технические  
средства защиты информации" для студентов специальностей  
075300, 075400, 075500, 075600

Разработчик:

к.т.н., доцент каф. РЗИ

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ А.П. Бацула



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Региональный учебно-научный центр по проблемам информационной безопас-  
ности Восточной Сибири и Дальнего Востока  
в системе высшей школы

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой РЗИ

\_\_\_\_\_ А.С. Задорин

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2007 г.

**ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
С ПОМОЩЬЮ НЕЛИНЕЙНОГО ЛОКАТОРА**

Руководство к лабораторной работе по курсу «Инженерно-технические средств-  
ва защиты информации» для студентов специальностей 075300, 075400, 075500,  
075600

Разработчик:

к.т.н., доцент каф. РЗИ

«\_\_» \_\_\_\_\_ А.П. Бацула

Данное учебное пособие рассчитано на студентов специальностей 075300 – “Организация и технология защиты информации” и 075400 – “Комплексная защита объектов информатизации”, 075500 – “Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем” и 075600 – “Информационная безопасность телекоммуникационных систем», а также специальностей радиотехнического направления. Пособие направлено на более глубокое освоение дисциплин «Инженерно-техническая защита информации» и «Технические средства защиты», связанных с комплексной защитой объектов информатизации.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ.....	4
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ЛОКАЦИИ.....	5
3. МЕТОДИКА РАБОТЫ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЛОКАТОРАМИ.....	10
4. КАТРАН» - ПОРТАТИВНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	11
5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	16
6. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С НЛ.....	19

## ОБНАРУЖЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЛИНЕЙНОГО ЛОКАТОРА

### 1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Основным фактором, препятствующим использованию радиолокационного метода для создания дистанционных средств поиска неподвижных малоразмерных объектов, является значительный уровень помех от окружающего фона. Практическое отсутствие нелинейных электромагнитных свойств у естественного фона (грунта, воды, растительности) позволяет регистрировать гармоники облучающего поля, возникающие за счет наличия объектов искусственного происхождения, находящихся в зоне поиска на поверхности грунта или в его верхнем слое. Нелинейными свойствами могут обладать некоторые горные породы с высокой концентрацией ферромагнитных включений, а также отдельные залежи сульфидных руд. Известно, что у реальных объектов наибольшими нелинейными свойствами обладают высокочастотные полупроводниковые радиодетали (транзисторы, диоды), а также точечные прижимные стальные контакты.

Таковыми объектами являются (таблица 1): различные радиоуправляемые устройства и устройства промышленного шпионажа, стрелковое оружие, обломки самолетов и вертолетов, переносные радиостанции (в том числе и выключенные) и т.д. Объектами поиска могут быть также специальные нелинейные метки, используемые для скрытого обозначения различных объектов и участков местности, а также людей (например, спасателей в труднодоступных местах).

**Таблица 1. Объекты поиска в нелинейной радиолокации**

Объекты поиска	Нелинейные элементы объектов поиска		Области применения нелинейной локации (варианты)
Устройства промышленного шпионажа	аудио	П/п радиодетали модулятора и УКВ микропередатчика	«Чистка» помещений от устройств коммерческой разведки конкурентов
	видео	Фотоприемники, п/п Радиодетали УВЧ (СВЧ) микропередатчика	
Радиоуправляемые устройства	П/п радиодетали схемы радиоприемника и блока управления состоянием объекта		Предотвращение террористических актов
Обломки самолетов и вертолетов	Точечные контакты отдельных металлических элементов и обломков между собой. Обломки радиоэлектронной аппаратуры		Дистанционное обнаружение обломков в труднодоступных местах (тайга, горы и т.д.)
Стрелковое оружие	Точечные и плоскостные металлические контакты деталей и патронов		Дистанционное обнаружение террористических групп с воздушных носителей

Переносные радиостанции и ЗРК	П/п радиодетали передатчика, приемника и системы наведения ЗРК	Дистанционное обнаружение террористических групп с воздушных носителей
Нелинейные маркеры	Полупроводниковые диоды, нагруженные на антенны-отражатели	Дистанционное маркирование подземных объектов, «черных ящиков» самолетов, участков местности и спасателей с земли и воздуха

## 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ЛОКАЦИИ

Антенна нелинейного локатора (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.

На рис.1 представлены вольт-амперные характеристики полупроводникового и ложного соединений.

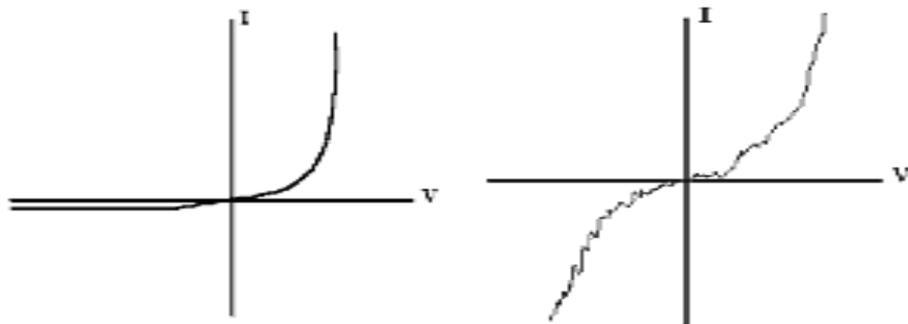


Рис.1. Вольт-амперные характеристики полупроводникового и ложного соединений

Из-за различия в нелинейных характеристиках полупроводникового и ложного соединений, отклики 2-й и 3-й гармоник будут иметь различную интенсивность. Когда НЛ 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.

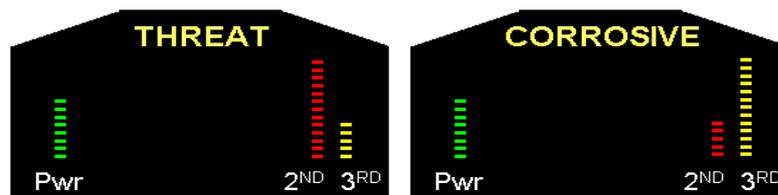


Рис.2. Сравнение уровней сигналов 2-ой и 3-ей гармоник при работе с НЛ (слева - полупроводник, справа - ложное соединение)

На основе накопленных экспериментальных и физических представлений процесс наблюдения в условиях нелинейной локации полностью аналогичен традици-

онной локации для случая наблюдения объектов с активным ответом в режиме опознавания, при этом уравнение нелинейной радиолокации будет иметь вид [1]:

$$P_{Nпр.} = \frac{P_{изл.} G_{изл.} G_{Nпр.} \lambda^2}{(4\pi r)^2} \cdot \frac{\lambda^2}{N^2} \cdot G_{НОпр.} G_{Nизл.} \cdot \xi_N(\omega, P_{изл.}) \cdot K_1(\omega) K_2(\omega_N), \quad (1)$$

где  $P_{Nпр.}$  - мощность отклика объекта на  $N$ -ой гармонике в месте расположения приемной антенны локатора,

$P_{изл.}$  - мощность излучения локатора,

$G_{изл.}$  - коэффициент усиления излучающей антенны локатора,

$G_{Nпр.}$  - коэффициент усиления приемной антенны локатора на  $N$ -ой гармонике,

$\lambda = c/f$  - длина волны излучения локатора (эквивалентна частоте, где  $c$  - скорость света,  $f$  - частота излучения локатора),

$r$  - расстояние до объекта,

$N$  - номер принимаемой локатором гармоники,

$G_{НОпр.}$  - коэффициент усиления эквивалентной приемной антенны нелинейного объекта,

$G_{Nизл.}$  - коэффициент усиления эквивалентной излучающей антенны нелинейного объекта,

$K_1(\omega)$  - частотно-зависимый коэффициент затухания зондирующего сигнала локатора в среде распространения,

$K_2(\omega_N)$  - частотно-зависимый коэффициент затухания сигнала  $N$ -ой гармоники от объекта в среде распространения,

$\xi_N(\omega, P_{изл.})$  - коэффициент нелинейного преобразования для  $N$ -ой гармоники, который, как будет показано ниже, зависит от частоты и мощности излучения локатора.

Анализ выражения (1) показывает, что мощность на гармониках, излучаемая объектом (а значит и эффективность обнаружения при прочих равных условиях), растет при увеличении мощности излучения локатора  $P_{изл.}$ , снижении частоты его излучения  $f$  и номера принимаемой гармоники  $N$ . Кроме того, чем ниже частота излучения локатора, тем меньшие значения имеют коэффициенты затухания  $K_1$ ,  $K_2$ , что также ведет к увеличению мощности сигнала от объекта.

Существенным отличием нелинейной локации от классического наблюдения (обнаружения) объектов с активным ответом является прямое преобразование падающей на объект энергии зондирующего сигнала в энергию высших гармоник.

В связи с этим модель радиолокационного наблюдения (обнаружения) в условиях нелинейной локации можно классифицировать как наблюдение с полуактивным ответом, что связано с отсутствием потребления энергии объектом от специального источника питания. Особенности его являются очень малое значение коэффициента нелинейного преобразования ( $\xi_N \ll 1$ ) и зависимость его от частоты и мощности зондирующего сигнала локатора.

Определим понятие нелинейного объекта.

Нелинейным объектом называется объект, обладающий нелинейной вольт-амперной характеристикой (ВАХ) (рис.1). К ним относятся диоды, транзисторы, микросхемы, контакты металл-окисел-металл (МОМ-диод). К простейшему нестабильному МОМ-диоду относится и классическая двуокись железа - ржавчина. Специально созданные МОМ-диоды до середины 60-х годов использовались как детекторные диоды сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

ВАХ любого нелинейного элемента разлагается в ряд Тейлора в виде аппроксимирующего степенного полинома. Тогда выходной ток на воздействие гармонического входного сигнала будет иметь вид:

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

где  $e_s(t)$  входной сигнал на нелинейном элементе.

Из (2) следует, что за счет нелинейности ВАХ в выходном сигнале за счет детектирования появляется постоянная составляющая  $e_0$ , основная гармоника с амплитудой, умноженной на коэффициент  $\alpha$  и высшие гармоники основной частоты, амплитуды которых пропорциональны соответствующим коэффициентам. Определим физическое понятие этих коэффициентов. Из [6] следует, что  $\alpha$  есть крутизна ВАХ в рабочей точке.

$$\alpha = \left. \frac{d}{de} i \right|_{e=E_0} = S, \text{ ма/В}; \quad \beta = \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2}{de^2} i \right|_{e=E_0} = \frac{1}{2!} \left. \frac{d}{de} \alpha \right|_{e=E_0};$$

$$\gamma = \frac{1}{3!} \left. \frac{d^3}{de^3} i \right|_{e=E_0} = \frac{1}{3!} \left. \frac{d^2}{de^2} \alpha \right|_{e=E_0}.$$

Коэффициенты  $\beta, \gamma$  являются соответственно первой и второй производными от крутизны ВАХ в рабочей точке  $E_0$ .

Большинство полупроводниковых приборов, используемых в радиоэлектронных устройствах съема информации - транзисторы, диоды, микросхемы, обладают характеристиками, близкими к квадратичной. Что касается естественных МОМ-диодов - ржавых частей металла или их контактов, идентификация строится на предположении кубической зависимости их ВАХ, когда в (2) отсутствуют производные четного порядка. Данное предположение не имеет под собой физических оснований, поскольку даже искусственными технологическими приемами невозможно создать идеальные квадратичную или кубическую зависимости ВАХ.

Естественный контакт двух металлов или ржавчина представляют собой элемент с механически нестабильным "р-п переходом", а следовательно и с нестабильной ВАХ, которая в данном случае сильно зависит от всех параметров окружающей среды, что автоматически ведет к такой же чувствительности к внешним параметрам и крутизны и остальных ее производных.

## Эффект затухания

Большинство специалистов основываются на "эффекте затухания" при распознавании полупроводникового и ложного соединения. Этот эффект проиллюстрирован на рис.3. Если вы слушаете демодулированный аудиоклик от настоящего полупроводника, то по мере приближения к нему антенны уровень шумов будет значительно понижаться. И напротив, по мере удаления от него уровень шума начнет возрастать и постепенно вернется к нормальному. Демодулированный аудиосигнал достигает наименьшего значения непосредственно над полупроводниковым соединением и увеличивается до нормы в стороне от него.

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

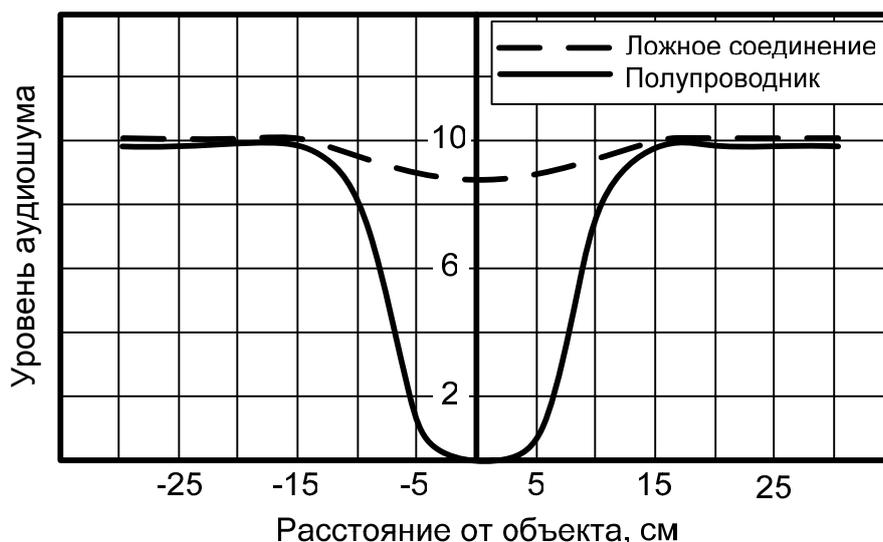


Рис.3. Кривая аудишума для полупроводника (красная линия) и ложного соединения (зеленая линия)

Фундаментальная теория "эффекта затухания" достаточно проста.

Если НЛ излучает немодулированный сигнал, то сигнал отклика на частотах гармоник также будет немодулированным и будет наблюдаться эффект затухания.

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

Существует несколько моделей НЛ российского производства, в которых реализован режим **"20К"**, который основан на "эффекте затухания" и используется как способ распознавания типов соединений. Большинство ложных соединений легко распознаются проявляя "эффект затухания".

В НЛ «Катран» используется обычная частотная модуляция непрерывного излучения, что является более эффективным способом, использующим "эффект затухания".

### Возможности применения аудиодемодуляции в НЛ

При применении НЛ 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 НЛ дает хорошую аудиодемодуляцию, 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".

Использование FM-модулированного тона значительно расширяет пространственный диапазон обнаружения НЛ, в том случае, если его приемный тракт обладает качественным аудиодемодулятором и хорошей изоляцией от передающего канала. Однако, этот режим тональной модуляции не позволяет различать полупроводники от ложных соединений.

### **Импульсное или непрерывное излучение.**

Большинство моделей НЛ, производимых в мире, используют непрерывное излучение (CW), т.е. излучают непрерывный узкополосный сигнал. Однако существуют НЛ, 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, НЛ непрерывного излучения обязательно должен иметь высококачественные малошумящие усилители в приемном тракте и хороший демодулятор для обеспечения качественного аудио.

Еще одним методом аудиодемодуляции 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 НЛ импульсный или непрерывный, если он прост в обращении и обеспечивает хорошую аудио демодуляцию.

НЛ «Катран» позволяет прослушать АМ и ЧМ аудио, используя импульсное излучение для амплитудной демодуляции и непрерывное для частотной, что максимально использует "эффект затухания".

### **Важно понимать, что при работе с НЛ имеют место 2 процесса:**

1. Обнаружение нелинейного соединения.
2. Распознавание типа соединения (полупроводник или ложное).

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 «Катраном» уровень интеграции цифровой обработки сигнала) для достижения необходимой глубины обнаружения в исследуемом материале.

Однако, не менее важно использовать методы анализа демодулированного аудио, основанные на эффекте затухания и вибрационном физическом воздействии. Для максимальной надежности хороший НЛ должен иметь несколько способов определения различия между настоящим полупроводником и ложным соединением.

**В «Катране» 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.

### 3. МЕТОДИКА РАБОТЫ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЛОКАТОРАМИ

При проведении поисковых мероприятий вероятность обнаружения (или не обнаружения) закладных устройств напрямую зависит от возможностей используемого оборудования и наличия у поисковой бригады практического опыта по работе с ним.

**Первый и главный признак** – наличие электронной составляющей, или в упрощении **p-n** перехода, который является обязательным составным элементом любой электронной схемы. Транзистор, диод, микросхема – везде есть **p-n** переход.

При выполнении определенных требований (особенностей установки и изготовления) возможен пропуск закладного устройства при поиске его с помощью НЛ.

Например:

1. Изделие выполнено в корпусе, надежно изолирующем электронику от воздействий зондирующего сигнала. Если сигнал не получен элементом схемы, то соответственно, и откликов от него нельзя получить.

На сегодняшний день такие изделия не так часто встречаются, но все же они присутствуют на рынке специальных технических средств (СТС) и нельзя исключать возможность их применения.

Как пример можно привести несколько разработанных в России цифровых диктофонов в экранированных корпусах и уже появившиеся радио-закладки с исполнением фильтрации по антенному входу с экранированием корпуса.

2. Изделие установлено в электронное средство, легально размещенное в проверяемом помещении (например, радиозакладка в элементе питания кварцевых часов).

Способов обнаружения этих средств несколько:

- визуальный осмотр,
- рентгенография,
- сравнение с проверенным аналогом,
- контроль изменения различных физических параметров.

3. Изделие установлено в сложной помеховой обстановке. Например, в железобетонной стене за сеткой-рабицей (возможна установка электронного стетоскопа) выявление таких средств весьма сложно, так как НЛ получает смесь сигналов закладки и коррозии сетки-рабицы.

4. При определенной ширине металлических конструкций (например, балки) зондирующий сигнал может отразиться от нее и не дойти до закладки. Выявление металлодетектором покажет прямую из металла, проходящую вдоль стены. Объект идентифицируется как балка.

Способы выявления – контроль за строительством объекта, постоянный мониторинг возможных технических каналов утечки информации.

5. Отсутствие в закладном устройстве, расположенном в проверяемом помещении, электронной составляющей, расположенной в зоне действия НЛ (например, микрофон типа **СОМ**, звуковод на удаленном окончании которого расположен микрофон с высококачественным усилителем. Способы обнаружения – тщательный визуальный осмотр проверяемого помещения.

6. Использование естественных каналов перехвата информации (радиотелефоны, вентиляционные шахты, ПЭМИН электронных средств). Способ выявления–оценка эффективности защищенности контролируемого помещения.

Одной из наиболее важных характеристик НЛ является его мощность, а точнее возможности глубины регулировки мощности и чувствительности. Большой диапазон таких регулировок дает возможность эффективно проводить работы в различных условиях помеховой обстановки.

В большинстве случаев приходится уменьшать мощность, чтобы «не поймать», например, телевизор, расположенный за двумя стенами.

#### 4. «КАТРАН» - ПОРТАТИВНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

##### 4.1 Введение

Портативный обнаружитель полупроводниковых элементов «КАТРАН» (в дальнейшем обнаружитель) предназначен для поиска и обнаружения электронных устройств, находящихся как в активном, так и в выключенном состоянии.

Работа обнаружителя основана на свойстве полупроводниковых элементов излучать вторую и третью гармоники при облучении их зондирующим СВЧ сигналом. Максимальный отклик от полупроводниковых элементов наблюдается на второй гармонике зондирующего сигнала. При облучении окисных пленок, образованных естественным путем, максимальный отклик наблюдается на третьей гармонике зондирующего сигнала.

Обнаружитель «КАТРАН» проводит анализ откликов облучаемых объектов как по второй, так и по третьей гармоникам зондирующего сигнала. Это позволяет надежно идентифицировать электронные устройства и естественные окисные полупроводники.

«КАТРАН» проводит автоматическое нахождение наилучшего частотного канала приема, свободного от помех, что позволяет работать с данным прибором даже в сложной электромагнитной обстановке.

Примененная цифровая обработка сигнала, позволяет оптимизировать алгоритмы обработки сигналов и получить максимальную чувствительность.

В обнаружителе предусмотрены различные виды модуляции излучаемых сигналов:

- непрерывное излучение несущей частоты (рис.4.1а);
- частотная модуляция несущей частоты,  $F_M = 1$  кГц (рис.3.1б);
- импульсная модуляция несущей частоты со скважностью 3,  $f_T = 1$  кГц,  $\tau = 0,3$  мс (рис.3.1в).

Это даёт возможность не только обнаруживать электронные устройства, но и, при определенном навыке, определять их тип при прослушивании.

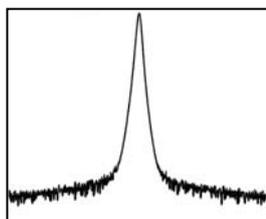


Рис. 4.1а

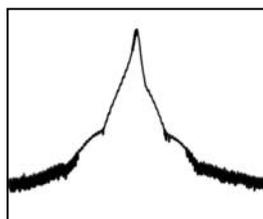


Рис. 4.1б

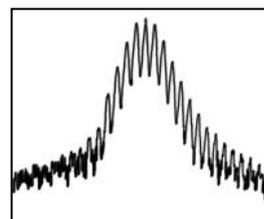


Рис. 4.1в

«КАТРАН» позволяет прослушивать работающие радиомикрофоны, в том числе и с прикрытием передаваемой информации, и использовать эффект акустозавязки для облегчения поиска.

## 4.2 Технические параметры

### 2.1. Виды излучаемого сигнала:

- непрерывное излучение несущей частоты фиксированная с шагом 0,5 МГц в диапазоне 890 895 МГц.

Выбор частоты осуществляется автоматически. Предусмотрена возможность излучения на несущей частоте, имеющей минимум помех в тракте приемника 2й гармоники

- импульсная модуляция несущей частоты со скважностью 3 ( $f_T = 1$  кГц,  $\tau = 0,3$  мс);

- частотная модуляция несущей частоты, FM = 1 кГц.

2.2. Максимальная мощность излучения в непрерывном режиме излучения не более 2 Вт.

2.3. Излучаемая мощность регулируется с помощью встроенного аттенюатора, имеющего четыре положения ..... 2 Вт; 0,6 Вт; 0,16 Вт; 0,08 Вт.

2.4. Реальная чувствительность радиоприемных устройств .....не хуже минус 130 дБм.

2.5. Частоты настройки радиоприемных устройств равны удвоенной и утроенной частотам передатчика.

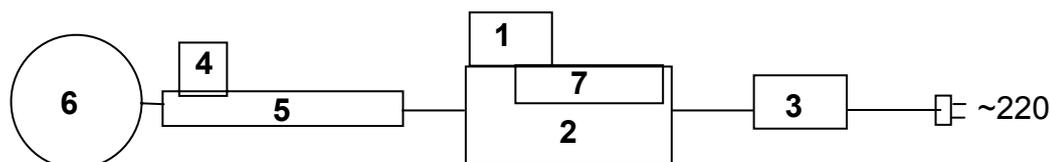
2.6. Динамический диапазон приемного тракта не менее..... 75 дБ.

## 4.3 Состав изделия и принадлежности.

Изделие состоит из блоков и устройств, перечисленных в таблице 1.

Наименование	Кол-во
Приемо-передающий блок с пультом управления, зарядным устройством и ремнем для переноски.	1
Антенный блок.	1
Телескопическая штанга.	1
Сетевой блок питания.	1
Кабель питания от сетевого блока.	1
Аккумулятор (находится внутри приёмно-передающего блока)	1

Блок-схема изделия приведена на рис. 4.2



1- пульт управления; 2- приемо-передающий блок; 3- сетевой блок питания; 4-блок индикации; 5-телескопическая штанга; 6-антенный блок; 7-аккумулятор.

Рис. 4.2

#### 4.4 Конструкция изделия



Рис. 4.3

Внешний вид приёмно-передающего блока показан на рис. 4.4 и рис. 4.4а

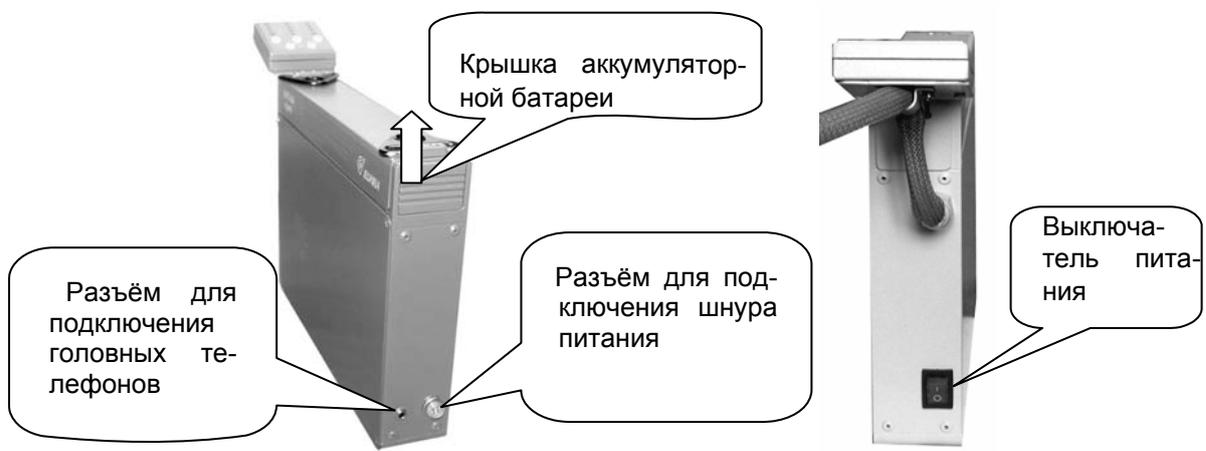


Рис. 4.4

Рис. 4.4а

Внешний вид сетевого блока питания показан на рис. 4.5 и рис. 4.6



Рис. 4.5



Рис. 4.6

#### 4.5 Назначение основных узлов и блоков обнаружителя.

##### Приемо-передающий блок осуществляет:

1. Проверку работоспособности системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) обнаружителя. При неисправности начинает мигать светодиод «**TEST**».

2. Анализ частотной загрузки радиоприемного устройства который проводится при каждом включении радиопередатчика обнаружителя. Поэтому во время работы при появлении мешающего сигнала (при работе в сложной электромагнитной обстановке) необходимо периодически выключать обнаружитель и включать его, тем самым осуществляя выбор оптимальной частоты излучения обеспечивающей наилучшую чувствительность и дальность обнаружения полупроводниковых элементов.

3. Формирование СВЧ-сигнала с выбранным видом модуляции.

4. Прием и цифровую обработку сигналов второй и третьей гармоники. Одновременная индикация уровней сигналов второй и третьей гармоник позволяет уверенно отличать сигналы искусственных полупроводников, входящих в состав электронных устройств, от естественных коррозионных, возникающих при окислении мест соединений различных металлов.

5. Демодуляцию откликов второй и третьей гармониках, усиление их до уровня, необходимого для прослушивания, как на наушники, так и на внутренний динамик. В обнаружителе предусмотрена возможность регулировки усиления на 20 дБ.

6. Прослушивание демодулированных сигналов осуществляется оператором поочередно.

7. Индикацию уровня сигналов второй и третьей гармоник.

8. Заряд и контроль функционирования внутренней аккумуляторной батареи.

Внешний вид блока индикации показан на рис. 4.7.

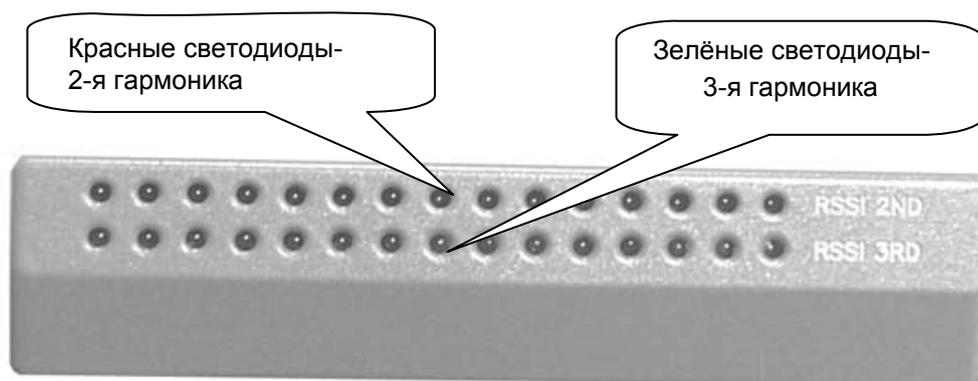


Рис. 4.7

**Пульт управления предназначен для выбора режимов работы обнаружителя.**



Рис. 4.8.

Пульт управления состоит из корпуса, в котором расположена плата управления, кнопок управления режимами работы и светодиодов индикации режима работы. Внешний вид пульта управления приведен на рис. 4.8.

Кнопки управления выполняют следующие функции:

**VOL** - регулировка уровня громкости демодулированного сигнала;

« + » - громче;

« - » - тише.

**MODE** - выбор режима работы передатчика и приемника:

**AM** – прослушивание демодулированного отклика второй

и третьей гармоники при зондировании объекта несущей с импульсной модуляцией;

**FM** – прослушивание демодулированного отклика второй и третьей гармоник при зондировании объекта несущей с частотной модуляцией;

**CW** – прослушивание демодулированного отклика второй и третьей гармоник при зондировании объекта немодулированной несущей;

**RSSI** – прослушивание в наушниках (динамике) щелчков, частота следования которых пропорциональна уровню сигнала от второй или третьей гармоники.

**RX** - выбор радиоприемного тракта.

**2ND** – радиоприемный тракт, анализирующий отклик 2 гармоники (включен если горит светодиод);

**3RD** - радиоприемный тракт, анализирующий отклик 3 гармоники (включен если горит светодиод);

 - дискретная регулировка выходной мощности передатчика (0, 0,8 Вт; 0,16Вт; 0,6 Вт; 2 Вт)

Состояние работы аппарата отражают светодиоды:

**TEST** – сигнализация о неисправности работы изделия (если замкнуто кольцо ФАПЧ гетеродинов светодиод не горит);

**BAT** – сигнализация о состоянии аккумуляторных батарей.

#### 4.6 Порядок работы

1. Для работы прибора от аккумуляторной батареи включить изделие «КАТ-РАН» выключателем питания на приеме-передающем блоке (см. рис. 4.4а).

2. Проконтролировать включение прибора по загоранию светодиодов, расположенных на пульте управления.

3. При необходимости прослушивания сигнала отклика на телефоны вставить в гнездо (см. рис. 4.4), расположенное на приеме-передающем блоке, штекер головных телефонов (телефоны в комплект поставки не входят).

4. Направить антенну в сторону от оператора.

5. Включить кнопкой **ТХ** минимальную мощность излучения. При этом автоматически выбирается канал приема с минимальным уровнем помех.

6. Установить на пульте управления необходимую мощность передатчика, режим излучения и режим работы радиоприемного устройства.

7. При наличии в контролируемом помещении электросети 220 вольт, рекомендуется подводить электропитание к изделию «КАТРАН» от сетевого блока, входящего в комплект поставки. Для этого одним концом (любым) присоединить кабель питания к разъёму питания сетевого блока (см. рис. 4.6), а другим концом присоединить кабель питания к разъёму питания приема-передающего блока (см. рис.4.4).

8. Включить в электросеть 220 вольт сетевой блок питания.

9. Включить сетевой блок питания сетевым выключателем (см. рис. 4.5) и приеме-передающий блок выключателем питания (см. рис. 4.4а). При этом будет происходить автоматическая зарядка аккумуляторной батареи. Дальнейшую работу проводить согласно пунктам 2 ... 6.

### 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

#### 5.1 Расчетное задание

Оценить величину нелинейных искажений гармонического сигнала в нелинейном элементе, вольтамперная характеристика которого задается выражением

$$i_{\text{ВЫХ.}}(t) = \alpha e_s(t) + \beta e_s^2(t) + \gamma e_s^3(t),$$

где  $\alpha, \beta, \gamma$  – параметры нелинейности элемента (см. таблицу 5.1);

$$e_s = U_0 + U_m \cos(2\pi t).$$

При расчете принять уровень постоянного напряжения  $U_0 = 2$  В, амплитуду переменного напряжения  $U_m = 2$  В.

Таблица 5.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha, 10^{-9}$	1	10	10	10	5	5	10	2
$\beta, 10^{-9}$	1	1	10	10	5	5	2	6
$\gamma, 10^{-7}$	1	1	1	5	5	0	0	1

Рассчитать коэффициент гармоник [6], воспользовавшись выражением

$$\alpha_{\Gamma} = 20 \log \left( \frac{I_1}{\sqrt{I_2^2 + I_3^2}} \right),$$

где  $I_1, I_2, I_3$  – амплитуды 1,2,3 гармоник тока  $i_{\text{ВЫХ}}$ .

Рассчитать нормированное затухание нелинейности по второй и третьей гармонике, воспользовавшись выражениями

$$\alpha_{\Gamma 2} = 20 \log \left( \frac{I_2}{I_1} \right), \quad \alpha_{\Gamma 3} = 20 \log \left( \frac{I_3}{I_1} \right).$$

## 5.2 Содержание экспериментальной части работы

1. Убрать, по возможности, из контролируемого помещения, имеющиеся электронные устройства. Если этого сделать нельзя, то обследование необходимо вести при пониженной мощности излучения.

2. Установить максимальную выходную мощность и один из режимов работы приемника.

3. Расположить антенный блок параллельно обследуемой поверхности на расстоянии не более 10 см.

4. Медленно перемещая антенный блок, параллельно обследуемой поверхности и изменяя ориентацию антенн, проанализировать характер изменения принимаемого сигнала по второй и третьей гармоникам.

(В режимах ЧМ и АМ уровень громкости должен быть максимальным, в режиме «RSSI» частота повторения щелчков должна быть максимальной).

5. Анализ уровней принимаемого отраженного сигнала по второй и третьей гармоникам осуществляется по количеству зажженных светодиодов на соответствующей индикаторной шкале.

6. Удалите антенный блок от исследуемой поверхности или уменьшите выходную мощность и повторите измерения, изложенные в п.4. настоящей инструкции.

7. При обнаружении искусственного **p-n** перехода, как правило, наблюдается устойчивое свечение светодиодов индикатора по второй гармонике отраженного сигнала. При простукивании предполагаемого места нахождения **p-n** перехода, показания светодиодов не изменяются.

8. При обнаружении естественного **p-n** перехода, наблюдается устойчивое свечение светодиодов индикаторов по третьей гармонике отраженного сигнала. При интенсивном постукивании по исследуемой поверхности показания индикаторов по третьей гармонике, как правило, изменяются.

Предложенная методика поиска не отражает всех нюансов, возникающих в конкретных случаях, и носит рекомендательный характер.

**Основными задачами оператора при работе с НЛ являются, обнаружение, локализация и идентификация.**

1. При проверке больших площадей рекомендуется предварительно начертить на листах план-схему стен, потолка, пола, разбив его на квадраты (например, 50x50 см). Обнаружив отклик, отметьте на листе точку, где он наблюдался.

2. После обследования всего помещения займитесь идентификацией обнаруженных откликов. Рекомендация связана с тем, что необходимость постоянно прерывать локацию для визуального обследования объекта быстро утомляет оператора (если он работает один), утомляемость ведет к ухудшению внимания, а следовательно к возможному пропуску полученного отклика.

3. Для точного определения местоположения объекта используется метод постепенного уменьшения мощности и чувствительности НЛ.

4. Поймав отклик объекта, добейтесь получения максимального уровня принимаемого сигнала, плавно перемещая антенну.

После этого уменьшите мощность НЛ. При уменьшенной мощности повторите поиск точки с максимальным уровнем сигнала. В некоторых случаях возможно определение с точностью до 2–5 см, что вполне достаточно для последующего визуального обнаружения объекта.

4. После получения отклика от объекта необходимо принять решение, помеховый это сигнал или отклик **p-n** перехода.

Информация воспринимается из двух источников – на слух (из наушников) и визуально (две шкалы с уровнем сигналов на второй и третьих гармониках).

Если в наушниках прослушивается чистый тональный сигнал, и на шкале видно сильное превышение сигнала второй гармоники над третьей, то объект идентифицируется как **p-n** переход.

5. После этого необходимо включить «**выключенная модуляция**» позволяет в случае работы закладного средства услышать характерные признаки (работу двигателей диктофонов, акустику проводного диктофона и т.д.).

Радиозакладка без закрытия канала передачи информации слышна не хуже, чем на обычном приемнике.

6. После обследования всего помещения необходимо идентифицировать обнаруженные отклики.

Следуя вышеописанной методике, произвести обследование макета на наличие нелинейных элементов и металлических изделий. Составить схему расположения обнаруженных элементов.

Наиболее сложным является поиск в неблагоприятной помеховой обстановке. Большое количество проводников, металлических изделий могут привести к обнаружению «коррозийного диода» или МОМ-диода (металл-окисел-металл).

### ***Как отличить коррозионный диод или МОМ-диод от p-n перехода?***

Если при простукивании объекта наблюдается треск, что нехарактерно при получении сигнала **p-n** перехода, то обнаружен МОМ-диод (например, ключи, скрепки, или монеты, положенные одни на другие). Для более качественно получения отклика рекомендуется использовать резиновый молоток.

Иногда после удара молотком МОМ-диод разрушается и сигнал пропадает. Например, часто в местах пересечения направляющих подвесных потолков происходит образование МОМ-диода. Достаточно легкого удара, чтобы его разрушить.

Еще одной сложностью при нелинейной локации, является наличие в помещении электронных средств. В некоторых случаях нет возможности вынести из помещения оборудование и его переносят из угла в угол. В таких условиях может появиться так называемый «призрак».

Вы наводите антенну на стену и получаете четкий отклик, который идентифицируется по всем признакам как **p-n** переход. Для убедительности обнаружения направьте антенну НЛ на обнаруженный объект под другим углом. Если сигнала нет, то возможной причиной его появления может стать компьютер, стоящий в трех метрах позади.

**Внимание!** Несмотря на направленную антенну, у всех НЛ существует задний лепесток диаграммы направленности. В некоторых случаях могут быть захвачены электронные средства, расположенные в четырех метрах позади. Передвиньте электронику в другое место, и, если сигнал пропал, то это «призрак», то есть прием сигнала полученного из-за наличия обратного лепестка диаграммы направленности. Направив антенну на объект, с двух разных точек, можно определить, находится он непосредственно за стеной или на удалении.

Возможно, получение сигнала отклика при наводке зондирующего сигнала на проводные линии, в окончании которых находятся электронные средства.

Например, Вы можете поймать ретранслятор или телевизор, в который вставлена антенна, и сигнал наводится по коаксиальному кабелю. Достаточно выдернуть проводник из электронного устройства и сигнал пропадет.

## **6. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С НЛ**

1. Не направлять антенную систему в сторону глаз.
2. Избегать длительного пребывания людей в зоне главного лепестка диаграммы направленности антенной системы.
3. Не рекомендуется направлять НЛ на пожарные или охранные датчики, на работающие электронные средства, тем более возможные взрыватели, содержащие электронные схемы, так как возможно ложное срабатывание датчиков, выходу из строя электронных схем.

## **Литература**

1. Вернигоров. Н.С. Принцип обнаружения объектов нелинейным радиолокатором. “Конфидент”, 1998, № 4, с.67.
2. Вернигоров Н.С. Нелинейный локатор - эффективное средство обеспечения безопасности в области утечки информации. // Конфидент. 1996, №1, с.67.
3. Щербаков Г Н. Применение нелинейной радиолокации для дистанционного обнаружения малоразмерных объектов. // Специальная техника. [http://sms-security.ru/antiterroristicheskoe\\_oborudovanie/aktualno/](http://sms-security.ru/antiterroristicheskoe_oborudovanie/aktualno/).
4. Хорев А.А. Способы и средства защиты информации. М.:МО РФ, 1998.– 316с.
5. Джонс. Т. Обзор технологии нелинейной радиолокации. Специальная техника. № 3, 1999 г.
6. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых устройств: Учебник для вузов – 2-е изд., исправ. – М.:Горячая линия-Телеком, 2001. – 320 с.