

Швырев Б.А., М.В.Бердник, Гострый М.Б.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ РАДИОЗАКЛАДОК НА ЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ, ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ИНФОРМАЦИЮ

*Рассматривается влияние пассивного переизлучателя на электронный модуль обработки информации, обобщенной моделью которого приняли автогенератор. Модель АГ выбрана для учета влияния и оценки совместной работы как минимум двух нелинейных элементов и двух резонансных систем. Проведенные экспериментальные исследования показывают удовлетворительную их совместную работу.*

**Ключевые слова:** *пассивный переизлучатель, автогенератор, диод-диполь, туннельный диод.*

Shvyrev B.A., M.V.Berdnik, M.B.Gostriy

# INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PASSIVE RADIO BOOKMARKING ON ELECTRONIC MODULES THAT PROCESS INFORMATION

*The influence of the passive re-radiator on the electronic information processing module is considered, the generalized model of which was taken by the self-oscillator. The AG model was chosen to take into account the influence and evaluation of the joint work of at least two non-linear elements and two resonant systems. The conducted experimental studies show satisfactory their joint work.*

**Keywords:** *passive re-radiator, self-oscillator, diode-dipole, tunnel diode.*

Использование классического радиоканала для съема информации легко обнаруживается средствами контроля эфира и могут быть деактивированы. Альтернативным способом съема информации является пассивная радиозакладка использующая для создания информационного радиоканала падающее стороннее высокочастотное электромаг-

нитное излучение, при этом источник излучение может быть, как непосредственный участник этой схемы съема информации и сторонним источником на разрешенном частотном диапазоне. Развитие беспроводных технологий значительно повысили плотность радиоизлучения на контролируемом помещении. Обычно пассивный переизлучатель

используется для организации акустического канала утечки.

Работоспособность пассивной переизлучающей радиозакладки для снятия информации с электронных модулей обрабатывающих информацию не тривиальна, в силу особенности ее реализации.

Рассмотрим возможность реализации указанного канала утечки. В качестве модели модуля обрабатывающего информацию рассмотрим автогенератор гармонических колебаний, как наиболее чувствительная система к нештатным подключениям устройств и электронных компонентов.

Автогенераторами (АГ) называются устройства, в которых энергия источников питания преобразуется в энергию высокочастотных колебаний без внешнего возбуждения. АГ являются первичными источниками колебаний, частота и амплитуда которых определяется только собственными параметрами схемы и должны в очень малой степени зависеть от внешних условий. В состав АГ обязательно входит активный элемент (АЭ) и колебательная система (КС). АЭ может быть

кочастотной резонансной системы добавляет напряжение, поступающее на АГ, что может привести к искажениям работы АГ – уход частоты, в нашем случае можно трактовать как разрушение первичной информации, а так же срыв колебаний АГ, что можно трактовать как нарушение процесса обработки первичной информации электронного модуля в целом и в принципе не возможность реализации рассматриваемого канала утечки.

Существует много схем автогенераторов на различных активных элементах. К АГ на двухполюсниках относятся: АГ на туннельном диоде (ТД); АГ на лавинно-пролетном диоде (ЛПД); АГ на диоде Ганна. К автогенераторам на трехполюсниках относятся: АГ на биполярном транзисторе; АГ на полевом транзисторе; АГ на СВЧ транзисторах; АГ на лампах; АГ на клистроне; АГ на лампах бегущей волны (ЛБВ); АГ на лампах обратной волны (ЛОВ); АГ на магнетроне.

В таблице 1 приведены потребляемые мощности и напряжения питания для автогенераторов, выполненных на различных АЭ

Наиболее приемлемым автогенератором

Таблица 1

### Потребляемые мощности и напряжения питания автогенераторов

Схема автогенератора	Потребляемая мощность	Напряжение питания
АГ на ТД	порядка 1 мВт	десятки мВ
АГ на ЛПД	от сотен мВт до десятков Вт	от единиц до десятков В
АГ на диодах Ганна	от десятка мВт до нескольких Вт	единицы В
АГ на биполярных транзисторах	от десятков мВт до сотен Вт	от сотен мВ до десятков В
АГ на полевых транзисторах	от десятков мВт до сотен Вт	от единиц до десятков В
АГ на СВЧ транзисторах	от десятков до сотен Вт	десятки В
АГ на лампах	от единиц Вт до сотен кВт	от сотен В до десятков кВ
АГ на клистродах маломощные	от десятка мВт до 1 Вт	десятки В
АГ на клистродах мощные	порядка 20-30 МВт	250-300 кВ
АГ на ЛБВ	от единиц мВт до сотен кВт	порядка тысячи В
АГ на ЛОВ	от одного до 150 кВт	порядка тысячи В
АГ на магнетроне	от десятков до сотен кВт	от сотен до тысячи В

двухполюсником (туннельный диод, диод Ганна и др.) или трехполюсником (транзистор, лампа), который управляет поступлением порций энергии источников питания в КС для поддержания определенной амплитуды. КС задает частоту колебаний, обычно близкую к одной из ее собственных частот.

Критерием выбора схемы АГ для анализа влияния переотражателя на электронные системы обрабатывающую информацию выбрали минимальную потребляемую схемой мощностью и минимальное напряжение питания, так как подключение дополнительной высо-

из вышперечисленных является АГ на туннельном диоде. Его потребляемая мощность составляет порядка 1 мВт, напряжение питания десятки мВ.

Туннельный диод представляет собой соединение вырожденных полупроводников различной проводимости и отличается от обычного диода большой концентрацией примесей в полупроводнике ( $10^{18} \div 10^{19}$  атом/см<sup>3</sup>), весьма узким р-п-переходом ( $10^{-6}$  см), большой проводимостью в обратном направлении, наличием падающего участка на прямой ветви вольтамперной характеристики.

При использовании ТД в качестве автогенератора его собственная частота генерации составляет  $f_0 = 330 \text{ МГц} \div 2,6 \text{ ТГц}$ . При передаче тревожного извещения частота должна быть низкой (несколько  $\kappa\text{Гц}$ ), поэтому необходимо использовать колебательный контур (КК) для создания низкочастотного колебания. Расчет АГ на ТД с достаточной степенью точности приведен в справочной литературе. Максимальное значение мощности, отдаваемой нелинейным элементом в контур, составляет:

$$P_{1 \max} = \frac{3}{16} \Delta I \Delta U, \quad (1)$$

где  $\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$  и  $\Delta U = U_{\min} - U_{\max}$  – величина среднего значения тока и напряжения соответственно на ВАХ туннельного диода.

В согласованном режиме мощность, отдаваемая ТД в нагрузку, составляет 50% от потребляемой автогенератором мощности.

В оптимальном по мощности режиме амплитуда стационарных колебаний равна:

$$U_{1 \max} = \frac{\Delta U}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Имеющиеся в литературе расчеты выполнены для АГ с линейной нагрузкой в виде КК. При использовании же АГ нагруженного на пассивный переизлучатель дополнительной нагрузкой автогенератора выступает полупроводниковый диод, коммутирующий полуволновый диполь. Аналитическое описание работы такой схемы, содержащей два нелинейных элемента, достаточно сложное. Также затруднительно аналитически определить место подключения диода с монотонной ВАХ к автогенератору. Поэтому выбор осуществим на основании экспериментальных измерений<sup>7-9</sup>.

Эффективность экспериментальных исследований оценивалась по возбуждению и поддержанию колебаний и обеспечению максимальной глубины модуляции переизлученного поля.

Выберем схему подключения к автогенератору на туннельном диоде нагрузки, которой является германиевый диод-диполь. Критерием выбора является эффективность модуляции переизлученного поля при одинаковой потребляемой мощности. Анализу подвергались три схемы включения германиевого диода-диполя, подключенного к АГ, изображенные на рис. 2.

Экспериментальные измерения глубины модуляции переизлученного поля для различных схем включения нагрузочного диода-диполя в схему АГ на ТД проводились на лабораторной установке, изображенной на рис. 1.

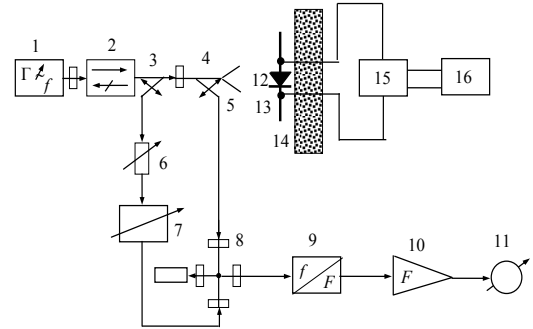


Рис. 1. Измерительная установка для измерения глубины модуляции переизлученного поля.

Цифрами на рисунке обозначены: 1 – генератор высокочастотных колебаний; 2 – вентиль; 3 – направленный ответвитель, создающий канал опорной волны; 4 – направленный ответвитель, отводящий сигнал в детекторную секцию; 5 – приемопередающая антенна; 6 – аттенюатор; 7 – фазовращатель; 8 – высокочастотный сумматор; 9 – детектор; 10 – усилитель; 11 – индикатор; 12 – р-п переход; 13 – цилиндрические проводники; 14 – поглотитель высокочастотных колебаний; 15 – автогенератор; 16 – источник постоянно напряжения.

Измерения проводились на частоте  $F = 8,4 \text{ ТГц}$ . Эффективность модуляции оценивали по амплитуде первой гармоники рассеянного поля и сравнивали с эффективностью модуляции короткозамкнутого (КЗ) вращающегося вибратора. Глубина модуляции вращающегося диполя принята за 100%, когда вибратор параллелен вектору напряженности электрического поля  $E$ , наведенный в нем ток, а, следовательно, и амплитуда рассеянного поля максимальна; если вибратор перпендикулярен вектору  $E$ , то наведенный ток и рассеянное поле отсутствуют. Для измерений использовалась установка подобная своей измерительной частью изображенной на рисунок 2. Отличие состоит в использовании вместо диода со схемой питания КЗ вибратора прикрепленного к диэлектрическому стержню, вращающемуся вдоль оси проходящей через центр вибратора и параллельно волновому вектору  $k$ . Вращение осуществлялось электродвигателем с частотой  $F_{\text{вп}} = 2 \text{ МГц}$ . Установки параметров схемы измерений в процессе выполнения эксперимента оставались

постоянными. Величина напряжения  $U_{изм}$ , фиксируемого измерителем 11, при вращающемся КЗ вибраторе была принята за 100%. Значения, полученные при использовании различных схем, сравнивались с опорной величиной. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что при различных

Таблица 2

### Сравнение полученных результатов с опорной величиной

Схема включения	Uизм, мВ	Pном, мВт	M, %
КЗ вибратор	12	-	100
Параллельный. КК	2	0,165	16
Последовательный. КК	0,5	0,165	4
Цепь	0,25	0,165	2

вариантах подключения диода-диполя потребляемая автогенератором мощность остается постоянной. Наибольшая эффективность модуляции рассеянного поля получена при включении управляющего диода по схеме параллельно КК. Эффективность модуляции составила 16% от опорного значения.

Проанализировав схемы включения нагрузочного диода в автогенератор, выберем схему включения диода параллельно КК (рисунки 3.а). выполним для данной схемы расчет.

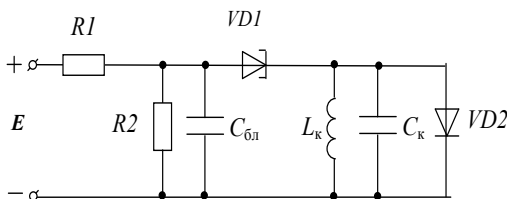


Рисунок 2 (а) – Схема подключения диода-диполя к АГ на ТД параллельно КК.

Буквами на рисунках обозначены:  $E$  - источник питания постоянного тока,  $R1$  и  $R2$  - резисторы, задающие режим работы ТД по постоянному току,  $C_{бл}$  - блокировочный конденсатор в цепи питания,  $VD1$  - туннельный диод,  $L_k$  и  $C_k$  - индуктивность и емкость колебательного контура,  $VD2$  - нагрузочный германиевый диод.

Рассмотрим возможные устойчивые режимы работы автогенератора, для этого воспользуемся эквивалентной схемой. Схема содержит два нелинейных элемента: туннель-

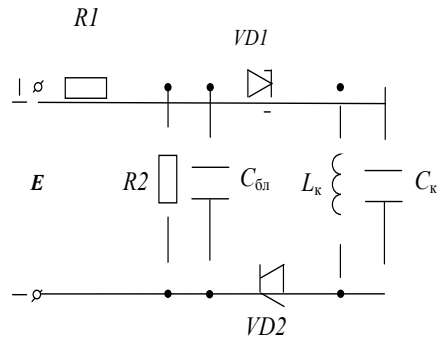


Рисунок 2 (б) – Схема подключения диода-диполя к АГ на ТД последовательно КК.

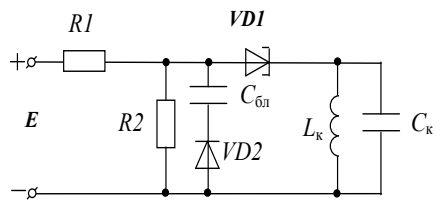


Рисунок 2 (в) – Схема подключения диода-диполя к АГ на ТД в цепь блокировочного конденсатора.

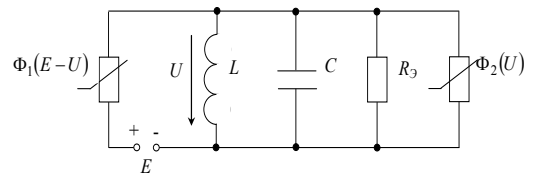


Рисунок 3 – Эквивалентная схема с двумя нелинейными элементами.

ный диод с вольтамперной характеристикой  $\Phi_1(u)$ , нелинейную нагрузку колебательного контура, в качестве которой будем понимать полупроводниковый диод с вольтамперной характеристикой  $\Phi_2(u)$ . ВАХ ТД аппроксимируем полиномиальной аппроксимацией:

$$i = a_1 u + a_3 u^3, \quad (3)$$

$$\text{где } a_1 = -\frac{3}{2} \frac{\Delta I}{\Delta U}, \quad a_3 = 2 \frac{\Delta I}{(\Delta U)^2}.$$

Определим вид аппроксимации диода нагрузки исходя из условия обеспечения максимальной точности оценки, простоты математических расчетов. Максимальная точность аппроксимации ВАХ полупроводникового диода является экспоненциальная аппроксимация вида:

$$i = I_0 (\exp(\beta u) - 1), \quad (4)$$

где  $I_0$  - ток ветви отрицательного смещения полупроводникового диода,  $\beta$  - коэффициент, определяющий скорость изменения тока.

Данный вид аппроксимации сложен в

аналитических расчетах. Наиболее простой вид аппроксимации, дающий грубое приближение является кусочно-линейная аппроксимация вида:

$$i = \begin{cases} 0; & u \leq U \\ S(u-U); & u \geq U \end{cases}; (5)$$

Для проведения анализа устойчивости составим дифференциальное уравнение (5), описывающее работу АГ по эквивалентной схеме (рисунок 4):

$$C \frac{du}{dt} + \frac{u}{R_3} + \frac{1}{L} \int u dt + \Phi_2(u) = \Phi_1(E-u), (6)$$

где  $u$  - падение напряжения на КК.

Принимая падение на ТД равным  $u$ , выражение (6) можно переписать в виде:

$$C \frac{d(E-u)}{dt} + \frac{(E-u)}{R_3} + \frac{1}{L} \int (E-u) dt + \Phi_2(E-u) = \Phi_1(u). (7)$$

Решение общего нелинейного дифференциального уравнения второго порядка (7), позволяет выявить все особенности АГ: условия самовозбуждения, форму, частоту и амплитуду (мощность) колебаний, устойчивость стационарных режимов и т.п. Однако численное решение нелинейного дифференциального уравнения второго порядка затруднительно из-за сложного переходного режима. Определим возможные состояния равновесия системы по нагрузочным характеристикам.

На рисунке 5 представлены ВАХ туннельного диода  $\Phi_1(u)$  и нагрузочная характеристика, складывающаяся из ВАХ диода и прямой нагрузочной характеристики эквивалентного сопротивления контура  $\frac{(E-u)}{R_3} + a_2(E-u)^2$ . ВАХ ТД и нагрузочная характеристика для постоянного тока в общем случае имеют три точки пересечения (А, В и С), соответствующие трем возможным состояниям равновесия.

Определим максимальное значение мощности, отдаваемой нелинейным элементом в контур для конкретного туннельного

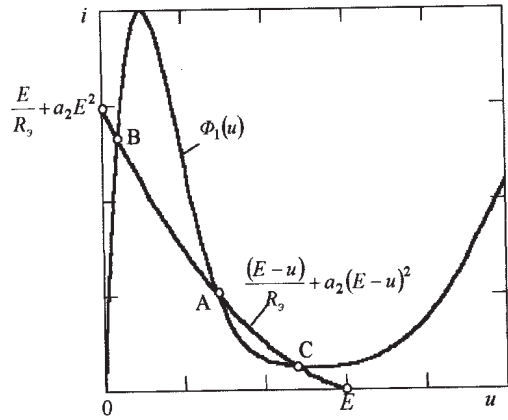


Рисунок 5 – Графическое определение состояний равновесия системы.

диода АИ101А. Данный тип диода определен по справочнику исходя из условий минимальных значений  $\Delta I$  и  $\Delta U$ . Используя формулу (2.12), полученная мощность в нагрузке, отдаваемая ТД на первой гармонике составила  $P_{1max} = 0,0464 \text{ мВт}$ . Тогда в согласованном режиме мощность, потребляемая АГ от источника питания составит:  $P_{nom} = 2P_{1max} = 0,0928 \text{ мВт}$ . Сравнивая полученный результат с экспериментальными значениями (таблица 2) получаем различие приблизительно в два раза. Это объясняется разбросом параметров элементов схемы АГ.

Как показали проведенные расчеты и экспериментальные исследования получение максимальной мощности и удовлетворение условий устойчивости по постоянному и переменному току удовлетворяются. Нелинейный элемент расширяет спектр поданного на него гармонического сигнала, что в свою очередь приводит к перераспределению мощности по гармоникам.

Проведенные измерения показали, что включение полупроводникового диода параллельно колебательному контуру АГ на туннельном (рисунок 3) не ухудшает эффективности работы последнего.

Таким образом определен канал утечки информации по пассивной радиозакладке подключенной к электронному модулю, обрабатывающему информацию.

**ШВЫРЕВ Борис Анатольевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и информационной безопасности. Кубанский государственный технологический университет. 350000 г. Краснодар, ул. Московская, д.2. E-mail: bor2275@yandex.ru

**БЕРДНИК Мария Викторовна**, доцент кафедры компьютерных технологий и информационной безопасности. Кубанский государственный технологический университет. 350000 г. Краснодар, ул. Московская, д.2. E-mail: marviktr@mail.ru

**ГОСТРЫЙ Максим Борисович**, студент кафедры компьютерных технологий и информационной безопасности, Кубанский государственный технологический университет. 350000 г. Краснодар, ул. Московская, д. 2. E-mail: maxim.gostriy@gmail.com

**SHVYREV Boris**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Technologies and Information Security. Kuban State Technological University. 350000 Krasnodar, Bld. 2 Moskovskaya street. E-mail: bor2275@yandex.ru

**MARIA Berdnik**, Associate Professor of the Department of Computer Technologies and Information Security. Kuban State Technological University. 350000 Krasnodar, Bld. 2 Moskovskaya street. E-mail: marviktr@mail.ru

**MAXIM Gostriy**, Student of the Department of Computer Technologies and Information Security. Kuban State Technological University. 350000 Krasnodar, Bld. 2 Moskovskaya street. E-mail: maxim.gostriy@gmail.com