

## ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩАЯ АНТЕННА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.И. Казьмин, П.А. Федюнин, Л.В. Ткачёва

*ФГКВОУ ВПО «Военный авиационный инженерный университет»  
Министерства обороны Российской Федерации, г. Воронеж*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор И.В. Милосердов*

**Ключевые слова и фразы:** апертурная антенна; влажность; генератор СВЧ-диапазона; диэлектрическая проницаемость; контроль; СВЧ-излучение; электромагнитное поле.

**Аннотация:** Предложено использование специальной приемно-передающей апертурной антенны для осуществления неразрушающего контроля параметров твердых диэлектрических материалов при одностороннем доступе. Разработанная антенна позволяет реализовать метод измерения влажности, обеспечивает высокую локальность измерений, согласование электромагнитных волн с объектом контроля при полной безопасности персонала от СВЧ-излучения.

Для реализации неразрушающего микроволнового метода контроля параметров тонкопленочных диэлектрических материалов и структур разработана измерительно-вычислительная система контроля поверхностной



**Рис. 1.** Общий вид комплексированной приемно-передающей апертурной антенны со снятой крышкой генератора

влажности и среднеинтегральной влажности по объему взаимодействия, основным элементом которой является специальная приемно-передающая апертурная антенна [1].

Комплексированная приемно-передающая апертурная антенна обеспечивает высокую локальность измерений параметров материала, согласование электромагнитных волн (ЭМВ) с объектом контроля при полной безопасности персонала от СВЧ-излучения (рис. 1).

Конструктивно специальная приемно-излучающая антенна (рис. 2)

Казьмин Александр Игоревич – кандидат технических наук, преподаватель; Федюнин Павел Александрович – доктор технических наук, начальник кафедры, e-mail: fpa1@yandex.ru; Ткачёва Любовь Владимировна – инженер, ФГКВОУ ВПО «Военный авиационный инженерный университет» Министерства обороны Российской Федерации, г. Воронеж.

состоит из комплексной передающей антенной решетки, представляющей собой четыре излучающих волноводно-щелевых антенны (ВВЩА) 1, расположенных симметрично с четырех сторон конуса [2].

Конус образует круговую синфазную приемно-передающую рупорную антенну с углом раскрытия, обеспечивающим удовлетворительное согласование со свободным пространством. По краям раскрытия синфазной приемно-передающей рупорной антенны расположен поглотитель затекающего тока 2. Металлическая «прыгающая» диафрагма 3 обеспечивает работу измерительно-вычислительной системы в двух режимах: в первом режиме – для формирования «вытекающей» поверхностной волны, формируемой синфазной приемно-передающей рупорной антенной (диафрагма закрыта); во втором режиме – для измерения параметров материала по углу полного преломления падающей волны, формируемой ВВЩА (диафрагма открыта). Рупорная антенна наполовину заполнена диэлектриком (пенопласт) 4, на котором крепится диафрагма на определенном расстоянии от края рупора. Все излучающие элементы, составляющие ВВЩА, одинаковы и представляют собой отрезок волновода с прорезанными в узкой стенке наклонными щелями с переменофазной связью и согласованной поглощающей нагрузкой 5 для обеспечения режима бегущих волн.

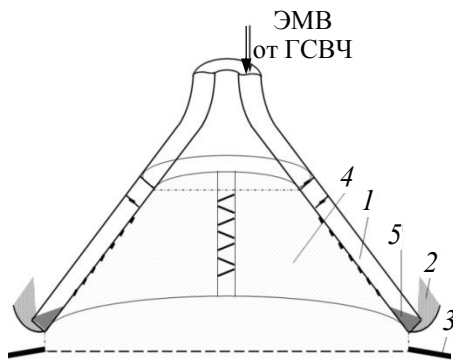
Широкие стенки волноводов ВВЩА образованы латунными пластинами (размер пластин  $a = 0,003$  м), расположенными между внутренней и внешней поверхностями рупорной антенны (см. рис. 2). Возбуждение ЭМВ  $H_{10}$  в волноводах (согласно принципа взаимности) осуществляется с помощью возбуждающих щелей в торцевых стенках ВВЩА. Изменяя расстояние до питающего волновода, добиваются синфазной запитки ВВЩА.

Отличительной особенностью комплексированной антенны является совмещение антенны с диодным генератором СВЧ (см. рис. 1). Такое конструктивное решение позволяет свести к минимуму использование линий передачи электромагнитной энергии от генератора СВЧ к антенне, что значительно уменьшает потери мощности СВЧ-генератора.

Для системы неразрушающего контроля электрофизических параметров тонкопленочных диэлектрических материалов выбран маломощный СВЧ-генератор с электронной перестройкой частоты.

Основные требования к генератору продиктованы поставленными задачами:

- возможностью работы и электронной перестройки частоты в диапазоне длин волн 5...6 мм;
- генератор должен обладать выходной мощностью порядка 10 мВт;
- диапазон перестройки генератора по частоте  $\Delta f$  должен быть достаточным для проведения измерений параметров в заданных пределах.



**Рис. 2. Специальная приемно-передающая антенна:**

- 1 – излучающие ВВЩА; 2 – поглотитель затекающего тока; 3 – металлическая «прыгающая» диафрагма; 4 – пенопласт; 5 – согласованная поглощающая нагрузка ВВЩА

При конструировании генератора использован СВЧ-диод с межодлинным переносом электронов (МПД), называемый иногда диодом с переносом электронов, или диодом Ганна [3].

Наименьшими ограничениями на геометрические размеры при приемлемых волновых сопротивлениях для создания резонансных систем на гибридных интегральных схемах (ГИС) СВЧ обладают планарные разновидности полосковых линий передач – щелевая и компланарная. Эти линии характеризуются наличием металлических проводников, нанесенных на одну поверхность диэлектрической подложки и разделенных щелями, причем ЭМВ распространяются вдоль щелей. Диоды монтируются на проводник полосковой линии и связываются с ней посредством петли связи, образованной проводником, пересекающим ее зазор. Потери в этих линиях ниже по сравнению с другими и сосредоточены на большой поверхности [3].

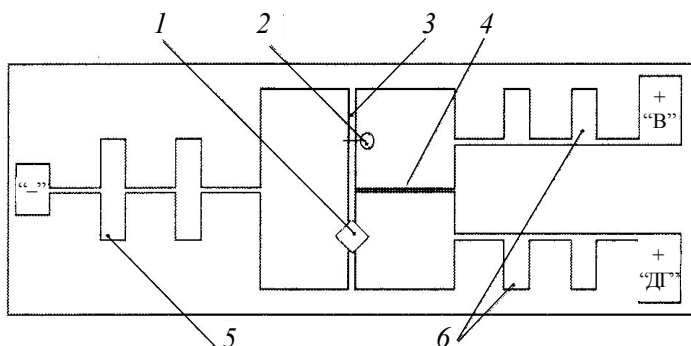
Генераторные ГИС СВЧ, в которых в качестве элемента перестройки использованы варикапы (В), имеют, как правило, узкую полосу перестройки, но отличаются малыми габаритами и простотой настройки. Классическим схемотехническим решением ГИС с электронной перестройкой являются однорезонаторная схема, где диодный генератор (ДГ) и варикап включены в общий резонансный контур, а также схема на связанных резонаторах.

Применение отрезка щелевой полосковой линии в резонаторе ГИС позволяет реализовать одноконтурную схему включения ДГ и варикапа. Конструкция ГИС изображена на рис. 3. В гибридных интегральных схемах СВЧ на микрополосковых линиях используется, как правило, конструкция на связанных резонаторах, что обусловлено необходимостью гальванической развязки контуров ДГ и варикапа.

Подложка ГИС с вмонтированными двухмезовой мезапланарной ганновской структурой (ММПГС) и варикапом устанавливается на металлическое основание – теплоотвод. Аналитическая оценка диапазона перестройки может быть проведена с помощью соотношения

$$\frac{\Delta f}{f} = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta C_B}{C_B} \left( 1 + \frac{Q P_\Sigma}{Q_B P_B} \right)^{-1},$$

где  $\Delta f$  – диапазон перестройки;  $f$  – начальная частота диапазона перестройки;  $\Delta C_B$  – диапазон изменения емкости варикапа при изменении



**Рис. 3. Топология ГИС СВЧ с перестройкой частоты «Тигель-8»:**

1 – активный элемент на ММПГС; 2 – варикап; 3 – резонатор;  
4 – развязка по цепям питания; 5, 6 – фильтры нижних частот

напряжения смещения в допустимых пределах;  $C_B$  – емкость варикапа;  $Q$  – нагруженная добротность колебательной системы без варикапа;  $Q_B$  – добротность варикапа;  $P_{\Sigma}$  – суммарная мощность, выделяемая ДГ в структуре ГИС и нагрузке;  $P_B$  – мощность, теряемая в варикапе.

*Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.741.12.0150 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

#### *Список литературы*

1. Пат. 2338179, МПК<sup>7</sup> G 01 N 9/36, 22/04. СВЧ-способ определения поверхностной влажности диэлектрических покрытий на металле и устройство, реализующее способ / Д.А. Дмитриев, П.А. Федюнин, С.А. Дмитриев, А.А. Панов (РФ) ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2006147026 ; заявл. 27.12.06 ; опубл.10.11.08, Бюл. № 31. – 10 с.
2. Федюнин, П.А. Антенны, приемные и передающие тракты СВЧ-методов контроля параметров твердых материалов : монография / П.А. Федюнин, С.А. Дмитриев. – Воронеж : ВАИУ, 2010. – 144 с.
3. Давыдова, Н.С. Диодные генераторы и усилители СВЧ / Н.С. Давыдова, Н.С. Данюшевский. – М. : Радио и связь, 1986. – 184 с.

---

### **Receiving-Transmitting Antenna for Nondestructive Testing of Parameters of Solid Dielectric Materials**

**A.I. Kazmin, P.A. Fedyunin, L.V. Tkacheva**

*Military Aviation Engineering University, Voronezh*

**Key words and phrases:** aperture antenna; control; dielectric permeability; electromagnetic field; microwave generator; microwave radiation; moisture; solid material.

**Abstract:** This paper presents the use of special receiving-transmitting aperture antenna for nondestructive testing of solid dielectric material parameters for one-way access. The developed antenna enables to implement the developed method of moisture measurement; it provides high locality of measurements, coordination of electromagnetic waves with the object of control, ensuring maximum microwave radiation safety for the personnel.

---

© А.И. Казьмин, П.А. Федюнин, Л.В. Ткачёва, 2011