

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1

СВЧ-ТЕХНИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 5 (493)

2007

Издается с 1950 г.

Главный редактор
д.т.н. А.Н. Королев

Редакционная коллегия:

к.т.н. **С.А. Зайцев** (зам. главного редактора),
д.т.н. **Б.Н. Авдонин** (зам. главного редактора, ОАО ЦНИИ «Электроника»),
к.т.н. **В.Н. Батыгин**, **Ю.А. Будзинский**, к.ф.-м.н. **А.В. Галдецкий**, **Б.Ф. Горбик**,
С.И. Гришин, д.ф.-м.н. **Б.Ч. Дюбуа**, д.т.н. **С.С. Зырин**, к.т.н. **Ю.А. Кондрашенков**,
к.т.н. **А.С. Котов**, к.т.н. **Е.А. Котюргин**, к.т.н. **П.В. Куприянов**,
к.т.н. **В.В. Лисс**, д.т.н. **М.И. Лопин**, **В.М. Малыщик**, **В.А. Мальцев**,
к.т.н. **П.М. Мелешкевич**, д.ф.-м.н. **А.Б. Пашковский**,
Е.Н. Покровский, к.т.н. **А.В. Потапов**, к.т.н. **С.Е. Рожков**,
д.т.н. **К.Г. Симонов**, **В.П. Стебунов** (ответственный секретарь),
к.т.н. **А.М. Темнов**, д.т.н. **Н.Д. Урсуляк**,
д.т.н. **М.М. Трифонов** (ЗАО НПП «Исток-Система»),
О.А. Морозов (ЗАО НПП «Магратеп»),
к.т.н. **А.Г. Михальченко** (МУП «ДПРН Фрязино»),
д.ф.-м.н. **А.И. Панас** (ИРЭ РАН),
к.т.н. **В.В. Абрамов** (ФГУП СКБ ИРЭ РАН),
А.А. Туркевич (ФГУП «НПП «Циклон-Тест»)

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77-24651 от 6 июня 2006 г.) и включен в перечень ВАК (перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; ред. июль 2007 г.)

© Федеральное государственное унитарное предприятие «НПП «Исток», 2007 г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Выпуск 5(493)

2007

Твердотельная электроника

- Мартынов Я.Б., Погорелова Э.В.* – Влияние качества подложки на характеристики субмикронных полевых транзисторов 3

Электровакуумные приборы

- Галдецкий А.В.* – О генерации сверхкоротких видеоимпульсов сгруппированным электронным пучком 11
- Галдецкий А.В., Голеницкий И.И., Духина Н.Г., Сапрынская Л.А.* – Многолучевая пушка, формирующая криволинейные электронные лучи с высокой сходимостью 17

Автоматизированное проектирование

- Дутышев И.Н.* – Проектирование и расчет фильтров на четвертьволновых короткозамкнутых шпилечных резонаторах 21

Медицинская электроника

- Казаринов К.Д.* – Определение диэлектрических характеристик водных растворов и суспензий клеток с помощью волноводно-диэлектрического резонатора 31

К 65-летию ФГУП «НПП «Исток»

- Попов Р.М.* – Лаборатория № 5 (Отрывок из книги «От НИИ-160 до «Истока») 39

- Тематический указатель** 50

- Алфавитный указатель** 53

ELEKTRONNAYA TEKHNIKA

(Electronic Engineering)

SERIES 1

SVCH-TEKHNIKA

(Microwave Engineering)

COLLECTION OF RESEARCH & TECHNICAL ARTICLES

Published by Federal State Unitary Enterprise “RPC “Istok”,

The Federal Agency on Industry, The Russian Federation

C O N T E N T S

Issue 5(493)	2007	Founded in 1950
--------------	------	-----------------

Solid-state electronics		
<i>Martynov Ya.B., Pogorelova E.V.</i> – The substrate quality effect on characteristics of submicron field-effect transistor		7
Electrovacuum devices		
<i>Galdetsky A.V.</i> – On generation of ultra short videopulses by bunched electron beam		11
<i>Galdetsky A.V., Golenitsky I.I., Dukhina N.G., Saprynskaya L.A.</i> – Multibeam electron gun forming curvilinear beams with a high convergence.....		17
Automated design		
<i>Dutyshev I.N.</i> – Design and calculation of filters on quarter-wave short-circuited pin resonators		21
Medical electronics		
<i>Kazarinov K.D.</i> – Defining dielectric characteristics of aqueous solutions and suspensions of cells using waveguide dielectric resonator		31
To the 65-th anniversary of FSUE “RPC “Istok”		
<i>Popov R.M.</i> – Laboratory № 5 (An abstract from the book “From NII-160 to “Istok”)		39
Subject index		50
Alphabetical index		53

УДК 621.382.323

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ПОДЛОЖКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБМИКРОННЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Я. Б. Мартынов, Э. В. Погорелова

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Уменьшение размеров транзисторов является причиной всё большего вытеснения тока из активного слоя в подложку. Это приводит, с одной стороны, к качественному изменению зависимостей параметров эквивалентной схемы транзистора от потенциала электродов, а с другой – к необходимости введения спейсера между активной пленкой и подложкой.

Shrinkage of MESFET leads to the increase of the substrate current part. This leads in turn to modification of the formulas for MESFET equivalent circuit parameters dependencies on electrode potentials.

1. ВВЕДЕНИЕ

Давно известно, что чистота подложки имеет немаловажное значение, так как из «грязной» подложки в активную пленку диффундируют примеси, рассеяние на которых уменьшает подвижность электронов. Однако интуитивно ясно, что только к этому влияние подложки сводиться не должно. Действительно, если взглянуть на поперечное сечение планарного ПТШ (рис. 1), то заметим, что планарный транзистор фактически состоит из двух параллельно соединенных приборов: из собственно транзистора, обведенного пунктирной линией, и планарного $n-i-n$ -диода, обведенного штрихпунктирной линией. Катодом $n-i-n$ -транзистора служит часть эпитакси-

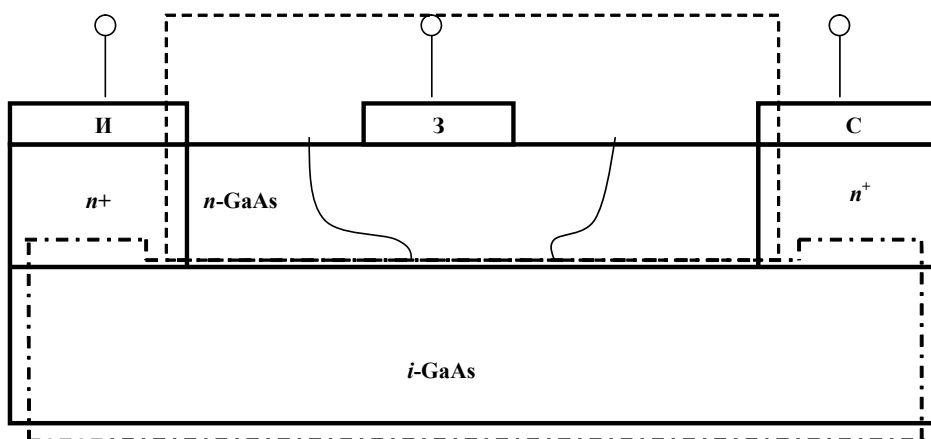


Рис. 1. Собственно транзистор (- -) и $n-i-n$ -диод (- • -) в сечении планарного ПТШ

альной пленки от истока до затвора, а анодом – часть пленки от затвора до стока. Телом диода является подложка, а расстояние от катода до анода должно быть порядка длины затвора транзистора. Поэтому, на первый взгляд, кажется, что ток через $n-i-n$ -диод должен расти с уменьшением длины затвора, а влияние этого тока на характеристики транзистора должно при этом возрастать.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для проверки этого предположения были получены численные решения уравнений двумерной квазигидродинамической модели:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{1}{q} \operatorname{div} j_n = G - R, \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} - \frac{1}{q} \operatorname{div} j_p = G - R, \quad (2)$$

$$j_n = -qp\mu_n(\epsilon_n)E + D_n(\epsilon_n)\operatorname{grad}(n), \quad (3)$$

$$j_p = -qp\mu_p(\epsilon_p)E + D_p(\epsilon_p)\operatorname{grad}(p), \quad (4)$$

$$\frac{\partial(n\epsilon_n)}{\partial(t)} + \operatorname{div} j_{\epsilon_n} = j_n E - \frac{n(\epsilon_n - \epsilon_0)}{\tau_{\epsilon_n}}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial(p\epsilon_p)}{\partial(t)} + \operatorname{div} j_{\epsilon_p} = j_p E - \frac{p(\epsilon_p - \epsilon_0)}{\tau_{\epsilon_p}}, \quad (6)$$

$$j_{\epsilon_n} = \gamma_n(\epsilon_n)\epsilon_n \vec{j}_n - \lambda_n \operatorname{grad}(\epsilon_n), \quad (7)$$

$$j_{\epsilon_p} = \gamma_p(\epsilon_p)\epsilon_p \vec{j}_p - \lambda_p \operatorname{grad}(\epsilon_p), \quad (8)$$

$$\operatorname{div} E = -\frac{q}{\epsilon_c}(n - p + N_a - N_d), \quad (9)$$

$$R = \frac{np - n_i^2}{\tau_n(p + n) + \tau_p(n + n_i)}, \quad (10)$$

$$G = \alpha_n |j_n|/q + \alpha_p |j_p|/q, \quad (11)$$

$$\lambda_n = \frac{2k\epsilon_n}{3q} \left(\frac{5}{2} + m \right) \mu_n n, \quad (12)$$

$$\lambda_p = \frac{2k\epsilon_p}{3q} \left(\frac{5}{2} + m \right) \mu_p p, \quad m = -\frac{1}{2}, \quad (13)$$

где j_n , j_p , j_{ϵ_n} , j_{ϵ_p} – плотности токов электронов и дырок, энергетические плотности потоков энергии, переносимой электронами и дырками; n , p , ϵ_n , ϵ_p – концентрации электронов и дырок и плотности энергии электронного и дырочного газа соответственно; q – элементарный заряд; ϵ_c – диэлектрическая проницаемость; μ_n , μ_p , D_n , D_p , $\gamma_n(\epsilon_n)$, $\gamma_p(\epsilon_p)$, τ_n , τ_p – подвижности, коэффициенты диффузии, дифференциальные термо-ЭДС, времена релаксации электронов и дырок соответственно; t – время; E – напряженность электрического поля; G – скорость генерации электронно-дырочных пар; R – скорость рекомбинации электронно-дырочных пар; α_n и α_p – коэффициенты ударной ионизации; k – постоянная Больцмана.

Свойства и особенности схемы, полученной в результате разностной аппроксимации этих уравнений, изложены в [1,2].

Найденные численные решения позволяют вычислять ток в любом сечении транзистора, в том числе текущий в подложку. Причем, для того чтобы оценить глубину проникновения этого тока в подложку, мы рассчитывали ток, протекающий через два сечения (рис. 2). Одно – это плоскость, проходящая по границе пленка–подложка, а второе – плоскость, лежащая параллельно первой на глубине от поверхности, в два раза большей. I_{n1} – ток, протекающий через 1-е сечение, а I_{n2} – через 2-е.

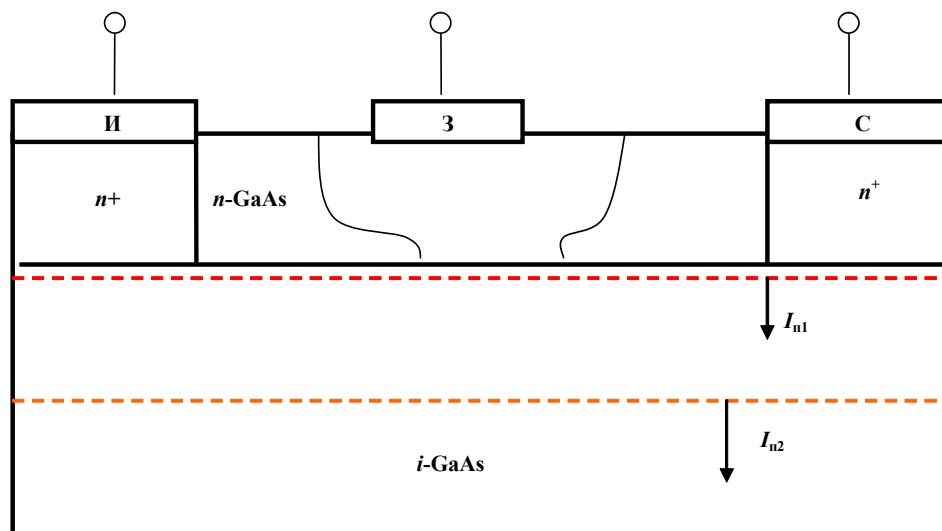


Рис. 2. Два сечения, для которых рассчитывались токи подложки I_{n1} , I_{n2}

Зависимость определенных выше токов от длины затвора, рассчитанная для транзистора с параметрами, указанными на рис. 3, представлена на рис. 4.

Результат оказался совершенно неожиданным. Как видно из этого рисунка, вопреки интуитивным представлениям, влияние подложки уменьшается с уменьшением длины затвора. Таким образом, оказывается, что уменьшать длину затвора ПТШ нужно не только потому, что это приводит к увеличению крутизны транзистора и уменьшению его входной емкости, но еще и потому, что это уменьшает влияние тока, текущего через подложку, – фактически тока утечки. Как видно из рис. 4, ток утечки проникает глубоко в подложку, величина его на двойной глубине меняется приблизительно в 1,3 раза.

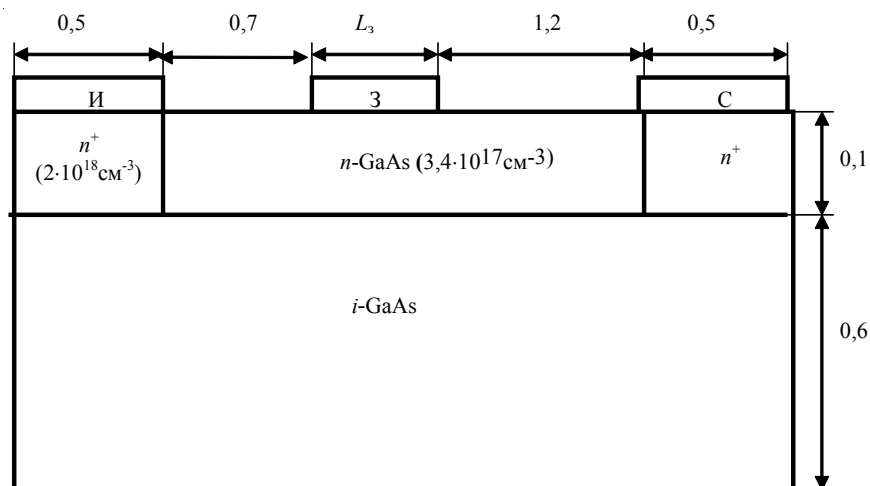


Рис. 3. Сечение и параметры моделируемого планарного ПТШ (размеры – в микрометрах)

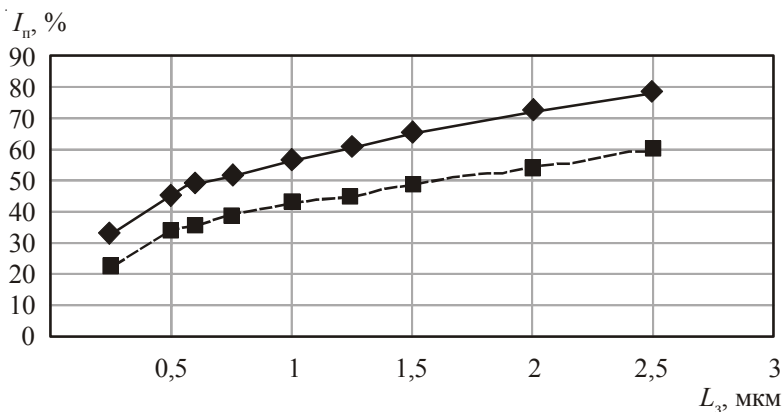


Рис. 4. Доля тока, текущего через подложку, от длины затвора:

—◆— I_{n1} ; —■— I_{n2}

Однако интуитивные представления оказались не совсем неверными. Абсолютная величина тока через планарный $n-i-n$ -диод все-таки растет с уменьшением размеров затвора, как видно из рис. 5. При этом ток через собственно транзистор растет еще быстрее, и относительный вклад подложки все же убывает.

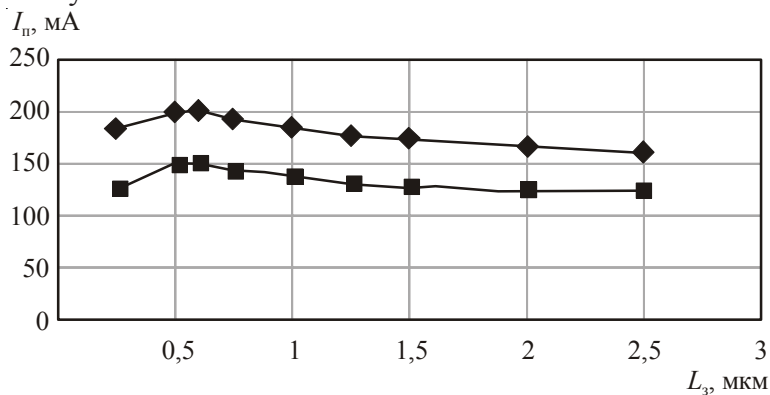


Рис. 5. Абсолютное значение тока, текущего через подложку, от длины затвора:

—◆— I_{n1} ; —■— I_{n2}

Таким образом, от 30 до 45% тока в полумикронном транзисторе течет через подложку. Заметим, однако, что до сих пор речь шла о токе, текущем через открытый транзистор. Ясно, что, закрывая транзистор, мы вытесняем ток в подложку. В действительности так и происходит (рис. 6).

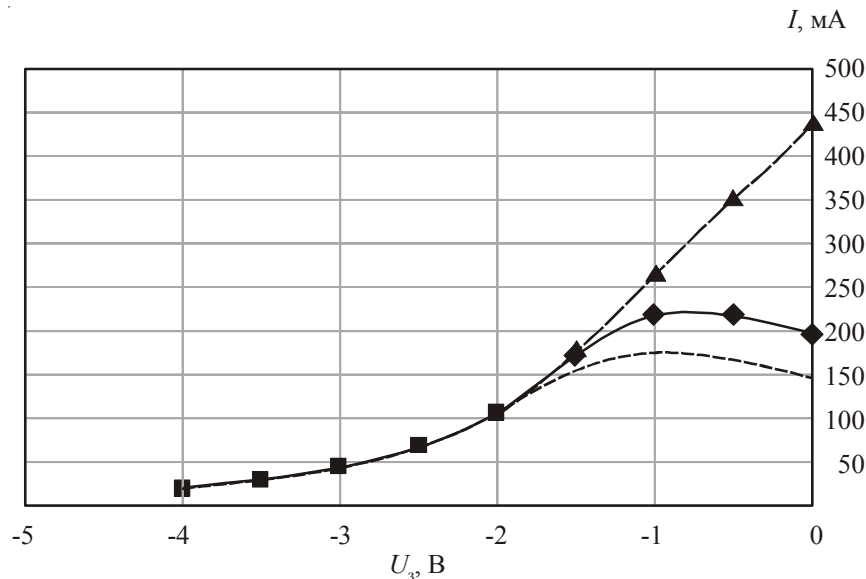


Рис. 6. Переходная характеристика ПТШ и соответствующие ей токи I_{n1} , I_{n2} :
 $\blacktriangle$ — I_C ; $\blacklozenge$ — I_{n1} ; --- — I_{n2}

Здесь построена обычная переходная характеристика ПТШ, т. е. ток стока от напряжения на затворе, а также токи I_{n1} и I_{n2} . Так как рабочая точка мощного транзистора находится в области токов стока, равных половине максимального, а рабочая точка маломощного транзистора вообще лежит вблизи напряжения отсечки, то можно утверждать, что в течение большей части рабочего цикла мощного транзистора и в течение всего рабочего цикла маломощного транзистора выходной ток течет через подложку.

Хорошо это или плохо? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно рассчитать частоту отсечки транзистора с подложкой и без подложки. Однако можно смоделировать более реалистичную ситуацию, а именно: испортить подложку. Известно, что нулевого суммарного примесного заряда в подложке можно добиться не очисткой ее от примесей, а компенсацией заряда доноров зарядом акцепторов. Примесное рассеяние при этом довольно заметно уменьшает подвижность электронов в слабых полях, оставляя насыщенную дрейфовую скорость электронов без изменения. Мы воспользовались простой полуэмпирической формулой, связывающей подвижность электронов с концентрацией легирующей примеси:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \sqrt{(N_d + N_a) / N_0}}. \quad (14)$$

Зависимость дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля меняется с изменением концентрации примесей (рис. 7).

Из рис.8 видно, что доля тока при открытом затворе полумикронного транзистора, текущего через подложку, падает с уменьшением электронной подвижности.

На рис. 9 приведена зависимость частоты отсечки от подвижности электронов в подложке.

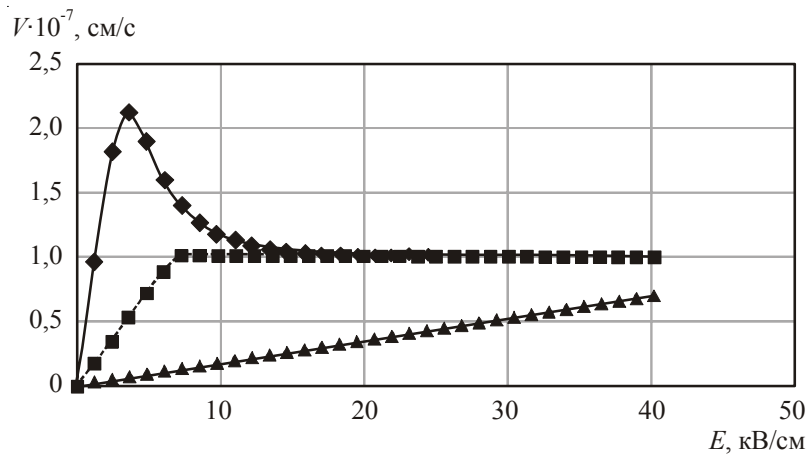


Рис. 7. Зависимость дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля в арсениде галлия для разных подвижностей электронов в подложке:
 —◆— $\mu_n = 8000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$; —■— $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$; —▲— $\mu_n = 500 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$

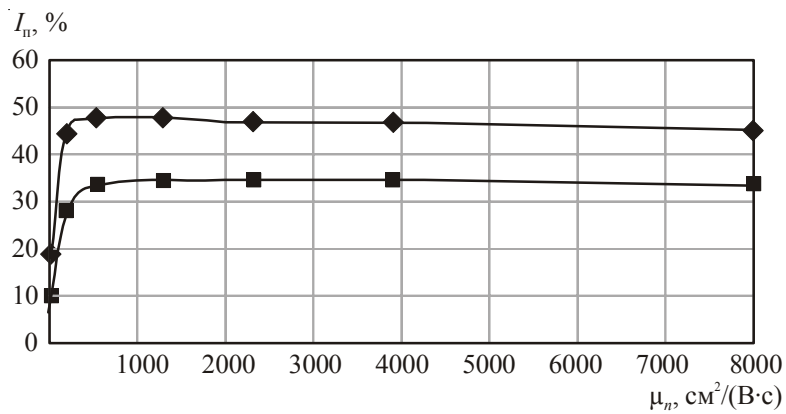


Рис. 8. Зависимость тока через подложку от подвижности электронов в ней:
 —◆— I_{n1} ; —■— I_{n2}

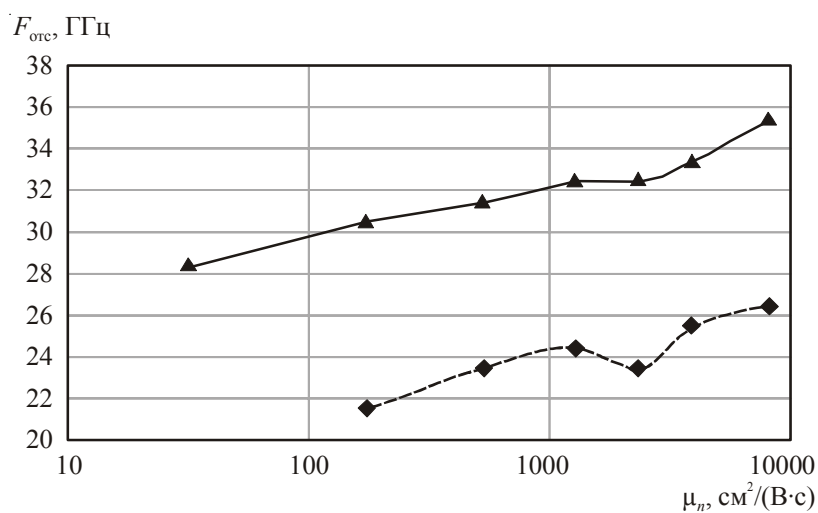


Рис. 9. Зависимость частоты отсечки от подвижности электронов в подложке:
 —◆— $N_c = 1,7 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; —▲— $N_c = 3,4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$

Видно, что чистая подложка все же лучше «грязной». Лучше, несмотря на то что с помощью «грязной» подложки мы концентрируем ток в канале собственно транзистора и уменьшаем, казалось бы, ток утечки. Оказывается, что нельзя добиваться уменьшения тока утечки, приближая область с плохой проводимостью к каналу собственно транзистора. Средняя пролетная скорость в сечении канала транзистора при этом падает, уменьшая пролетное время и, следовательно, частоту отсечки. Таким образом, «грязная», т. е. с плохой проводимостью, подложка ухудшает высокочастотные характеристики транзистора не только за счет диффузии из нее в активную пленку рассеивающих центров, но и непосредственно за счет уменьшения среднего пролетного времени.

Тот факт, что большая часть выходного тока транзистора течет через подложку, необходимо учитывать также при построении нелинейных эквивалентных схем, применяемых для анализа свойств этого прибора в режиме большого сигнала. Например, широко применяемая зависимость протекающего через нелинейный генератор тока от напряжения на затворе имеет вид:

$$I_c = I_0 \left(1 - \sqrt{\frac{U_{bi} - U_3}{U_p}} \right). \quad (15)$$

Здесь I_c – ток стока; I_0 , U_{bi} , U_p – коэффициенты, являющиеся функциями концентрации доноров в подложке. Подбирая свободные коэффициенты, можно довольно неплохо совместить аналитическую (15) и рассчитанную ранее переходную характеристики полумикронного транзистора с чистой подложкой (рис. 10).

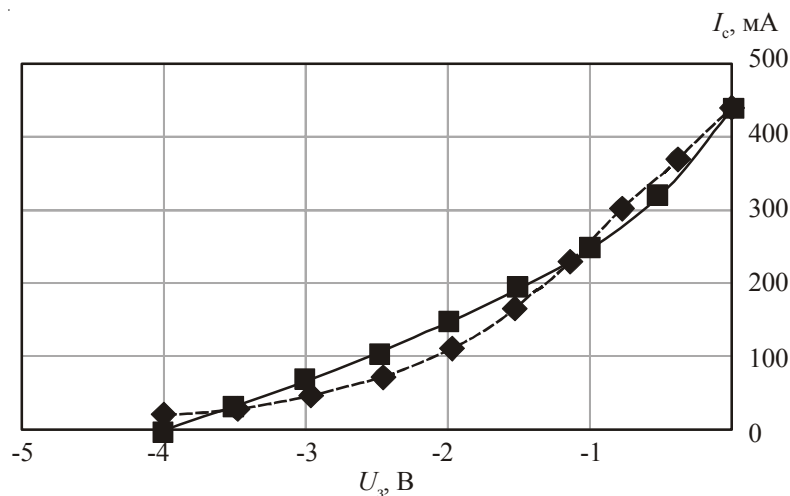


Рис. 10. Расчетная и аппроксимирующая её аналитическая переходные характеристики исследуемого ПТШ:

- ◆ - – расчет; —■— – эксперимент

Однако на высокочастотные характеристики влияет не столько абсолютная величина тока стока, сколько производная от него по напряжению затвора – величина, называемая крутизной. Из рис. 11 видно, что аналитическое и численные значения крутизны сильно не совпадают.

Причиной этого несовпадения является ток, текущий через подложку. Как видно из рис. 4, 6, от 30 до 100% тока стока может протекать через подложку. Поэтому предположения, при которых получается зависимость (15), в реальном субмикронном планарном ПТШ не выполняются.

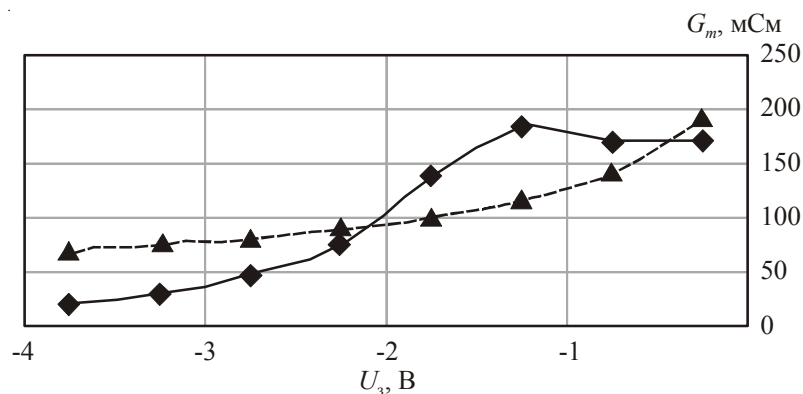


Рис. 11. Расчетная и аппроксимирующая её аналитическая зависимости крутизны ВАХ ПТМ от напряжения на затворе:
 —◆— расчет; —▲— эксперимент

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные численные расчеты показали, что представления о полевом транзисторе как о приборе с управляемой шириной проводящей части активной пленки давно устарели. Они были хороши для транзисторов с длиной затвора в 10 мкм и более, а в микронных и субмикронных приборах активная пленка обеднена электронами почти при всех напряжениях, соответствующих рабочему циклу, значительная доля тока течет в подложке. Прежде всего это должно привести к качественному изменению функциональных зависимостей параметров эквивалентной схемы полевых транзисторов от напряжений на электродах, поскольку сейчас такие зависимости обычно получают, основываясь на традиционных аналитических моделях.

Расчеты также показали, что понятное в общем-то стремление уменьшить протекающий по подложке ток (ток утечки) может привести к ухудшению высокочастотных характеристик транзистора, если действовать неправильно. Например, уменьшение проводимости подложки увеличивает среднее пролетное время. Более правильный способ уменьшения тока утечки – это увеличение барьера пленка-подложка с помощью гетероструктурных материалов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-02-01121).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартынов Я.Б. Специальный вид граничных условий для системы уравнений низкотемпературной полупроводниковой плазмы // ЖВМ и МФ. – 1999. – Т. 39, № 2. – С. 309-314.
2. Мартынов Я.Б., Голант Е.И. Полностью консервативная, абсолютно устойчивая разностная схема для решения нестационарных задач теории полупроводниковых приборов // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1992. – Вып. 2. – С. 59-63.

Статья поступила 18 октября 2007 г.

ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

УДК 621.385.6

О ГЕНЕРАЦИИ СВЕРХКОРОТКИХ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ СГРУППИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

А. В. Галдецкий

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Рассмотрены возможности создания источников сверхкоротких электромагнитных импульсов со сверхвысокой частотой повторения на основе клистронов.

Some possibilities of the development of sources of ultra short pulses having ultra-high repetition frequency on the basis of vacuum tube technology are considered. The predicted spectrum of pulses exceeds a decade. These sources can be used for particle acceleration and new radars.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для ряда применений представляет интерес создание источников сверхкоротких электромагнитных импульсов (СКИ), имеющих широкий спектр излучения. При этом в последнее время актуальным стало получение высокой средней мощности, а значит, высокой частоты повторения. Известные генераторы на основе искровых разрядников или полупроводниковых ключей, как правило, не способны обеспечить высокую среднюю мощность, к тому же они имеют низкую надежность и малый срок службы и способны создавать импульсы с длительностью не менее нескольких наносекунд.

Кажется естественным использовать электровакуумные приборы для создания коротких импульсов тока пучка и преобразования их в импульсы напряжения. В частности, клистронный группирователь способен создать импульсы тока пучка, следующие с сверхвысокой частотой входного сигнала и имеющие длительность около 0,1 от периода следования. Таким образом, электровакуумный источник сверхкоротких импульсов может состоять из обычного клистронного группирователя и выходной широкополосной секции преобразования сгустков электронов в импульсы напряжения. Именно эта секция является основной проблемой при создании прибора. Известно решение, когда пучок нагружен на широкополосную линию, например коаксиальную или полосковую [1-3], у которой импеданс постоянен в широкой полосе частот (рис. 1). Однако при напряжении питания прибора 10...20 кВ для уменьшения пролетных эффектов приходится выбирать узкий зазор взаимодействия (1...2 мм), что определяет большую концевую емкость коаксиальной линии. Концевая емкость сильно уменьшает амплитуды высших гармоник в выходном сигнале и нарушает их фазировку (см. рис. 1).

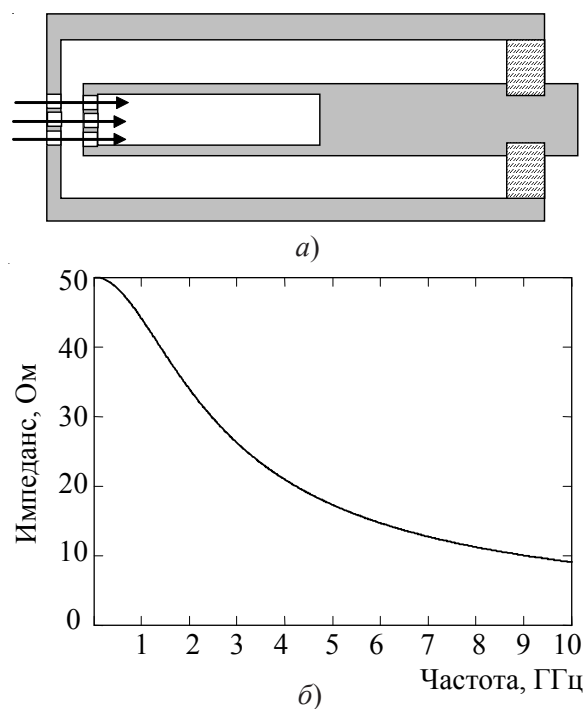


Рис. 1. Выходная секция с коаксиальной линией (а) и АЧХ ее нагрузочного импеданса (б)

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе предлагается в качестве выходной секции использовать многочастотный резонатор с модами колебаний, настроенными на частоты гармоник тока пучка. Проще всего построить такой резонатор с эквидистантным спектром на основе отрезка коаксиальной линии. На рис. 2 приведена схема конструкции резонатора, совмещающего в себе коллектор электронного пучка и элементы подстройки резонансных частот. Показано также распределе-

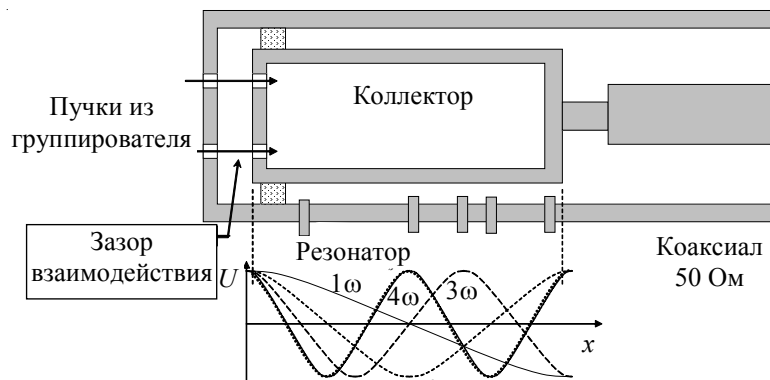


Рис. 2. Полуволновой резонатор и распределение ВЧ-напряжения по его длине для различных мод

ние ВЧ-напряжения вдоль длины резонатора для различных резонансных мод. Спектр напряжения и форма импульсов выходного сигнала повторяют в этом случае спектр и форму импульсов тока пучка.

Другой вариант резонатора показан на рис. 3. Здесь коаксиал замкнут на одном конце, так что резонансы существуют на частотах 1ω , 3ω , 5ω и т.д. Поэтому и в выходном напряжении будут присутствовать только нечетные гармоники, что приведет к генерации разнополярных импульсов, как показано на рис. 4.

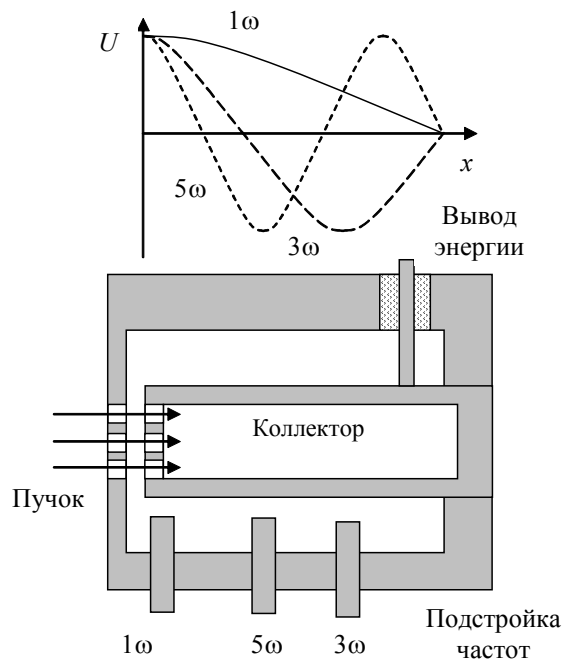


Рис. 3. Четвертьволновый резонатор и его резонансные моды

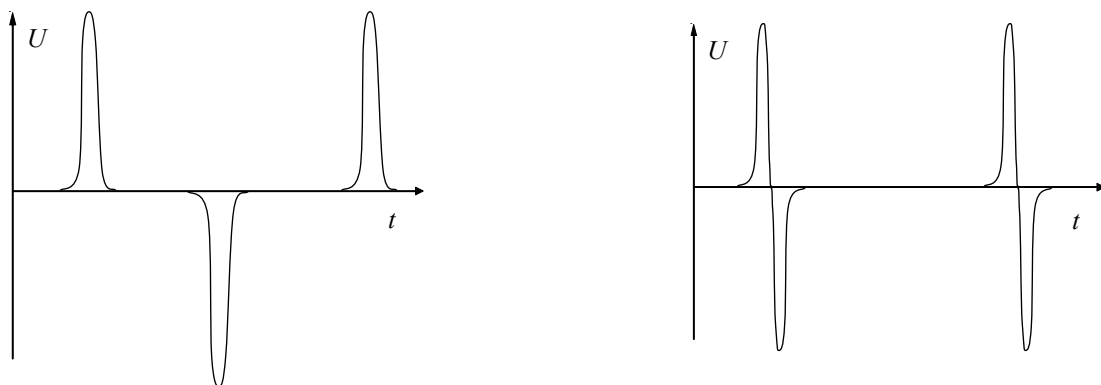


Рис. 4. Форма импульсов на выходе при различных вариантах съема выходного сигнала

Варьируя конструкцию вывода энергии, можно менять знак некоторых гармоник выходного сигнала, а значит, форму импульсов на выходе (см. рис. 4). При этом размах (и крутизна) фронта импульса может быть удвоен. Поскольку поле, излученное антенной, пропорционально производной фронта напряжения, такой режим удваивает амплитуду поля излучения (и учетверяет мощность). Четвертьволновый резонатор имеет также преимущество с точки зрения простоты охлаждения коллектора.

Разнополярные импульсы напряжения с удвоенной крутизной можно получить также в двухззорном резонаторе (рис. 5).

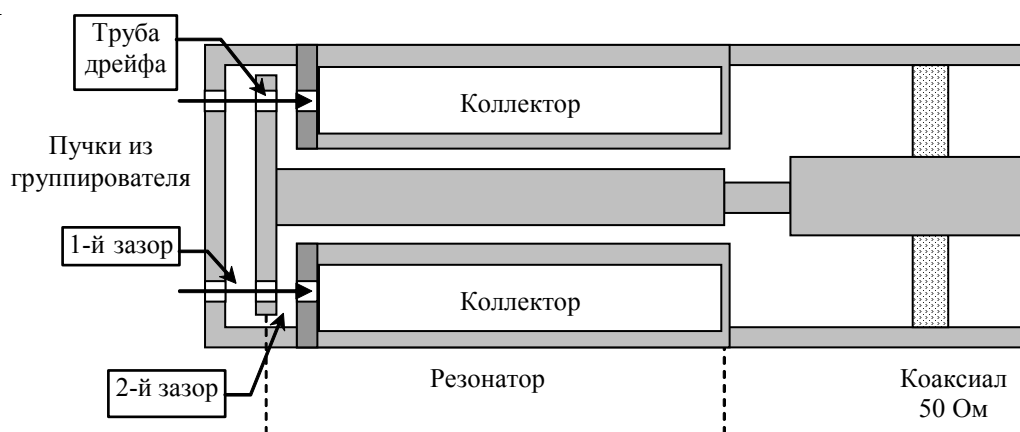


Рис. 5. Двухззорный коаксиальный резонатор

Мы промоделировали характеристики полуволнового резонатора (см. рис. 2) с учетом торцевой емкости и индуктивного сужения на основе модели длинных линий (рис. 6).

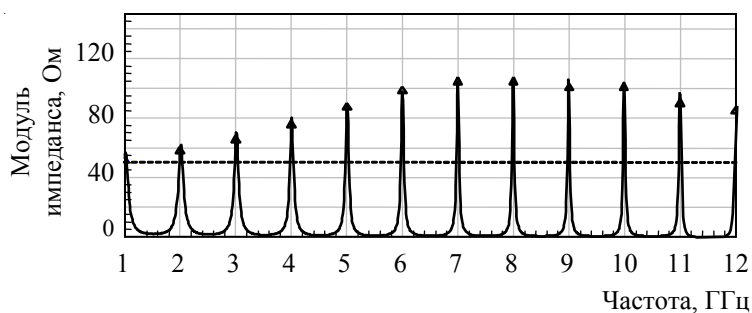


Рис. 6. АЧХ импеданса одноззорного резонатора

Временные зависимости выходного сигнала и его спектр показаны на рис. 7 и 8. Длительность импульса тока составляет здесь 100 пс.

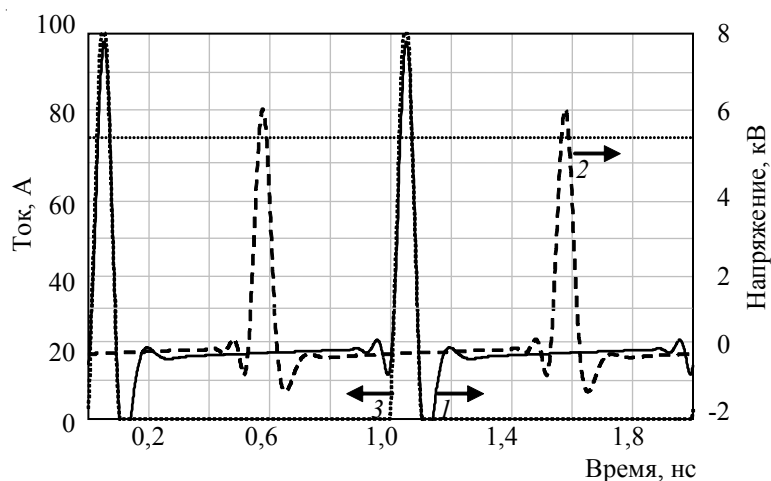


Рис. 7. Временные зависимости напряжения на зазоре взаимодействия (1), напряжения на выходе резонатора (2), наведенного пучком тока (3) для однозазорного резонатора

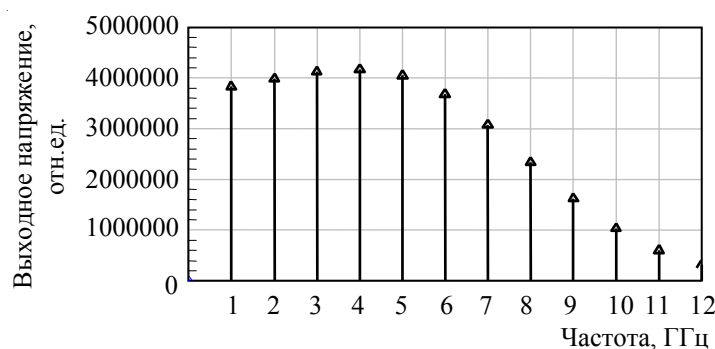


Рис. 8. Спектр гармоник выходного напряжения

3. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ

Ускорители со сверхкороткими импульсами

В традиционном линейном ускорителе ускоряемый сгусток имеет длину 3...4 мм, в то время как область, занимаемая электрическим полем, имеет длину, равную длине волны (около 30 см). Соответственно омические потери происходят даже там, где нет сгустка и где поле не нужно. Это предъявляет высокие требования к мощности запитки. Использование сверхкоротких импульсов (с n гармониками) позволяет в n раз уменьшить потери и, значит, понизить требования к мощности запитки ускорителя или уменьшить его длину и стоимость.

Радиолокация и связь на базе СКИ-сигналов

При одинаковой средней мощности СКИ-локаторы имеют гораздо более высокую импульсную мощность, чем у традиционных локаторов, что позволяет эффективнее выделять сигнал на фоне шумов (по сути – за счет использования широкого спектра). Фактически выигрыш связан с тем, что гармоники сигнала коррелированы между собой, а компоненты шумов приемника – не коррелированы.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, рассмотрены возможности модернизации многолучевого клистрона, позволяющие расширить спектр выходного сигнала до декады. Достоинством данного подхода является возможность управления фазой выходных импульсов за счет фазы слабого входного сигнала, что позволяет строить фазированные антенные решетки с повышенной мощностью и возможностью управления направлением луча.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2178947 РФ, МКИ⁷ Н 01 J 25/02. Устройство для генерирования электрических импульсов напряжения; опубл. 27.01.02.
2. А. с. 646783 СССР, МКИ² Н 01 J 25/00. Генератор наносекундных импульсов; опубл. 15.08.79.
3. А. с. 168752 СССР, МКИ Н 03 В 9/01. Электронный генератор наносекундных видеоимпульсов; опубл. 26.11.65.

Статья поступила 18 октября 2007 г.

МНОГОЛУЧЕВАЯ ПУШКА, ФОРМИРУЮЩАЯ КРИВОЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛУЧИ С ВЫСОКОЙ СХОДИМОСТЬЮ

А. В. Галдецкий, И. И. Голеницкий, Н. Г. Духина, Л. А. Сапрынская

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Приведены результаты расчёта многолучевой электронной пушки для мощных ЭВП, формирующей криволинейные электронные лучи с поворотом их на угол 90° . Пушка содержит восемь сферических катодных узлов, ориентированных под углом 90° к общей оси симметрии пушки. Поворот лучей и ввод их в пролетные каналы прибора осуществляется электростатическим полем между анодом и специальным отражающим электродом с пониженным потенциалом. Полный микропервеанс многолучевого потока составляет $7 \text{ мкА/В}^{3/2}$. Компрессия электронных лучей по площади – 100, плотность тока на катоде – $3,5 \text{ А/см}^2$.

The results of designing and simulation of multibeam electron gun for high power tubes forming curvilinear beams turning at 90° angle are given. The gun contains 8 spherical cathodes oriented at the right angle to the axis of the tube. Turning of the beams and directing them to drift tubes (canals) are implemented by electrostatic field of the special reflecting electrode having decreased potential. The total microperveance of multibeam flow is equal to $7 \mu\text{A/V}^{3/2}$. Area compression achieves – 100, current density on the cathode – $3,5 \text{ A/cm}^2$.

1. ВВЕДЕНИЕ

В мощных многолучевых СВЧ-приборах О-типа широко применяются многолучевые электронно-оптические системы с прямолинейными цилиндрическими электронными лучами, каждый из которых проходит сквозь отдельный пролетный канал [1]. Недостатком таких пушек является ограниченность размеров катодов, диаметр которых примерно равен диаметру пролетных каналов. Это не позволяет применять компрессию электронных пучков, поэтому при увеличении мощности прибора плотность тока, отбираемого с катода, и поле в пушке значительно возрастают. В результате резко сокращается срок службы катодов и надежность лампы. Этот недостаток устраняется в многолучевой пушке с криволинейными осями лучей и многорядным расположением катодов [2]. Поворот осей электронных лучей в такой пушке осуществляется на небольшой угол ($30 \dots 50^\circ$) с помощью магнитной системы, формирующей специальную топологию магнитного поля, в которой силовые линии магнитного поля совпадают с криволинейной осью каждого электронного луча. Сложность и нетехнологичность конструкции, низкий уровень компрессии и трудности проектирования трехмерной оптики не дали возможности применять такие пушки в многолучевых лампах.

В настоящей работе приведены результаты проектирования многолучевой электронной пушки с однорядным расположением катодов, формирующей криволинейные электронные лучи с отклонением их осей на угол 90° с помощью электростатического поля. Это значительно улучшает технологичность и точность изготовления пушки, а также позволяет исключить сложную систему поворота электронных лучей сопровождающим магнитным полем и обеспечить величину компрессии электронных лучей по плотности тока на уровне, достижимом в однолучевых СВЧ-приборах.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Многолучевая пушка радиального типа состоит из восьми индивидуальных катодных узлов, анода и отражателя. Обязательным условием работы такой пушки является ее полная экранировка от магнитного поля, создаваемого в пролетных каналах. Конфигурация электродов одной ячейки пушки показана на рис. 1.

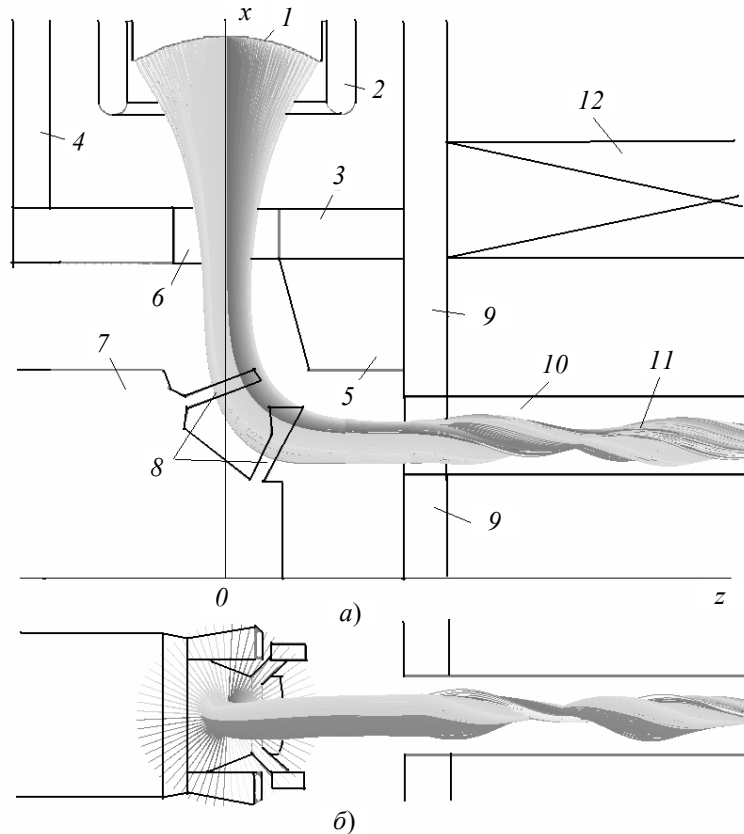


Рис.1 Конфигурация электродов одной ячейки многолучевой электронной пушки радиального типа в проекциях на плоскости xz (а) и yz (б)

Каждый катодный узел состоит из сферического катода 1, окруженного цилиндрическим фокусирующим электродом 2, находящимся под потенциалом катода. Катоды расположены на равном расстоянии друг от друга, на окружности, центр которой лежит на общей оси симметрии многолучевой пушки. Локальные оси симметрии каждого катодного узла направлены перпендикулярно общей оси симметрии многолучевой пушки, по направлению к центру окружности, на которой расположены катоды.

Входная часть анода представляет собой цилиндрическую трубу 3, ось которой совпадает с общей осью симметрии пушки. Торец трубы закрыт катодным полюсным наконечником 9 в виде диска с отверстиями, который является частью анода, примыкающей к резонаторной системе с пролетными каналами 10. На боковой поверхности цилиндрической анодной трубы

выполнены отверстия 6, центры которых расположены на локальных осях катодных узлов. Внутри анодной цилиндрической трубы 3, со стороны катодного полюсного наконечника 9, установлен кольцевой анодный электрод 5 с конусной боковой поверхностью. В анодной полости установлен также отражатель 7, ось которого совпадает с общей осью симметрии электронной пушки. Отражатель электрически изолирован от катода и анода. При подаче на отражатель 7 пониженного (по сравнению с анодным) потенциала в пространстве между отражателем 7 и электродом 5 создается электростатическое поле, отклоняющее электронные лучи на угол 90° и обеспечивающее оптимальное вхождение их в пролетный канал 10.

Расчет многолучевой электронной пушки проводился для одного сегмента в пределах азимутального угла 45° по методике, основанной на использовании двумерных и трехмерных моделей электронно-оптических и магнитных систем [3, 4]. На границах расчетного сектора ставились периодические условия симметрии электрического поля.

Наиболее сложной задачей оказался поиск оптимальной геометрии отражателя 7 и противолежащей поверхности кольцевого анодного электрода 5, между которыми формируется отклоняющее и фокусирующее электронные лучи электростатическое поле. В результате проведенных расчетов оказалось, что для искривления осей электронных лучей на угол 90° боковая поверхность кольцевого анодного электрода 5 и часть боковой поверхности отражателя 7 должны иметь вид боковой поверхности усеченных конусов. Для устранения «расплывания» лучей в азимутальном направлении и уменьшения разброса скоростей электронов отклоняющий электрод 7 должен иметь дополнительные выступы 8. Эти выступы могут иметь форму тонких сплошных пластин или разделенных тонких пластин в виде «крыльев». Форма «крыльев» выбиралась такой, чтобы их можно было изготовить с помощью электроэрозии. Достоинством данной конструкции является возможность электрической подстройки напряжением отражателя радиусов, на которых формируются лучи в каналах.

Спроектированная многолучевая электронная пушка имеет следующие геометрические и электрические параметры. Диаметры окружностей, на которых расположены центры катодов и пролетных каналов, составляют соответственно 39 и 11 мм, диаметр пролетных каналов – 3 мм. Потенциалы анода и отклоняющего электрода равны 15 и 0,6 кВ. Полный микропервеанс многолучевого потока – $7 \text{ мкА/В}^{3/2}$. Компрессия электронных лучей по площади – 100, плотность тока на катоде – $3,5 \text{ А/см}^2$. Величина однородного фокусирующего магнитного поля в пролетных каналах – 0,3 Тл.

Общий вид электронного потока в электронно-оптической системе с магнитно-экранированной многолучевой электронной пушкой радиального типа показан на рис. 2.

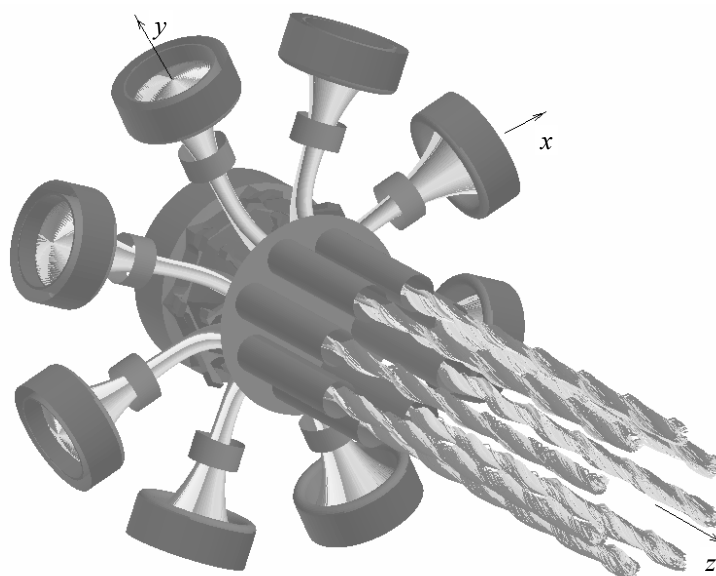


Рис. 2. Общий вид многолучевого электронного потока, формируемого многолучевой пушкой (показаны фрагменты электродов пушки)

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы показана возможность создания нового типа многолучевых электронных пушек с криволинейными электронными лучами и электростатическим отклонением лучей на угол 90° . В отличие от известных многолучевых пушек с поворотом электронных лучей за счет сопровождающего магнитного поля, пушки нового типа конструктивно проще и позволяют обеспечить компрессию пучков на уровне, достижимом в однолучевых пушках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Traditional and novel vacuum electron devices / *A.N. Korolev, S.A. Zaitsev, I.I. Golenitskij* etc. // IEEE Trans. Electron Devices. – Vol.48. – P. 2929-2937.
2. Pat. 1136666 US. Многолучевая электронная пушка / *О.Ю. Гаврилов, С.С. Дроздов, П.В. Невский*; опубл. 30.03.94.
3. *Голеницкий И.И., Куцевская Т.П., Румянцев С.А.* Программа для моделирования осесимметричных и плоских электронно-оптических систем // Электронная техника. Сер.1, СВЧ-техника. – 2001. – Вып.2 (478). – С. 65-70.
4. *Голеницкий И.И., Духина Н.Г., Каневский Е.И.* Комплексный расчет трехмерных электронно-оптических и магнитных фокусирующих систем // Электронная техника. Сер.1, СВЧ-техника. – 2003. – Вып.2 (482). – С. 55-65.

Статья поступила 18 октября 2007 г.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 621.372.543

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ НА ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ШПИЛЕЧНЫХ РЕЗОНАТОРАХ

И. Н. Дутышев

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Изложена методика расчета фильтров на диапазон 300...1600 МГц, имеющих значительно меньшие габариты, чем известные.

Methodology of filter calculation within 300...1600 MHz range having much lower dimensions as compared to the known ones is set forth.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для современных многоканальных радиосистем связи, на вход которых поступают помехи от соседних каналов, а также для радиосистем, использующих одно или несколько преобразований частоты, актуален вопрос об обеспечении электромагнитной совместимости. Требование высокой электромагнитной совместимости, жестких массогабаритных характеристик и низкой себестоимости для этих систем вынуждает разработчика создавать фильтры с малыми габаритами и высокими электрическими параметрами.

Использование современных дешевых композиционных материалов в качестве подложек, разработка методик расчета фильтров, анализ их характеристик с применением новейших компьютерных технологий позволили существенно улучшить массогабаритные характеристики и уменьшить себестоимость радиотехнической системы в целом.

Автором созданы оригинальные методики проектирования и расчета топологий микрополосковых фильтров, а также приведены результаты расчета и экспериментального измерения фильтров дм-диапазона на подложках с высокой диэлектрической проницаемостью (типа ФЛАН, RO3010, TMM10, поликор) на частотах от 0,3 до 2,5 ГГц.

2. СИНТЕЗ ТОПОЛОГИИ ФИЛЬТРА

Фильтр состоит из n шпилечных резонаторов, образованных отрезками микрополосковых линий $l_{\text{рез}}$ (рис. 1). Длина каждого резонатора равна четверти длины волны на средней частоте полосы пропускания фильтра. Один конец резонатора короткозамкнутый, а другой – разомкну-

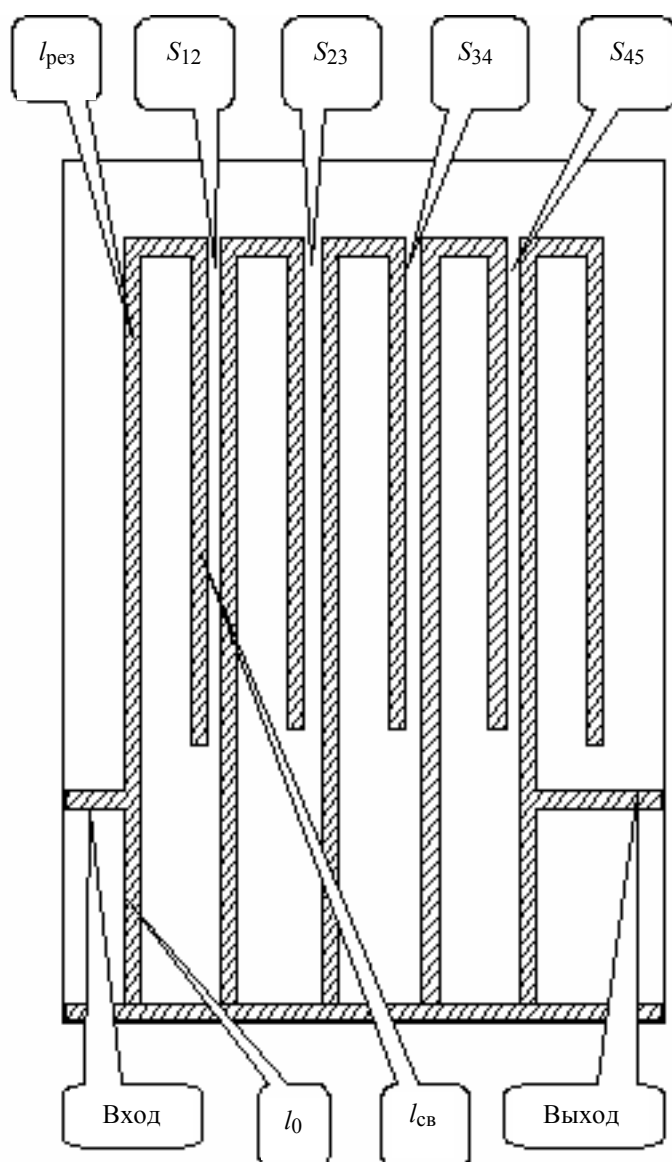


Рис. 1. Топология фильтра
на четвертьволновых короткозамкнутых шпилечных резонаторах

тый. Связь между резонаторами осуществляется за счет краевых полей между соседними частями резонаторов. Длина области связи $l_{св}$ составляет приблизительно $\lambda/8$. Ширина зазора между микрополосковыми линиями в области связи – $S_{к,к+1}$. Нагрузка и генератор подключены к части крайних резонаторов. Длина части резонатора от короткозамкнутого конца до места подключения нагрузки и генератора – l_0 .

Для расчета такой конструкции рассмотрим структуру, показанную на рис. 2. Резонаторы состоят из индуктивной $l_{1L} \dots l_{5L}$ и емкостной $l_{1C} \dots l_{5C}$ частей и связаны емкостными J -инверторами $C_{к,к+1}$. В фильтре используется частичное включение нагрузки и генератора в индуктивности первого и последнего контуров с коэффициентом включения $k = l_{1L}/l_0 = l_{5L}/l_0$.

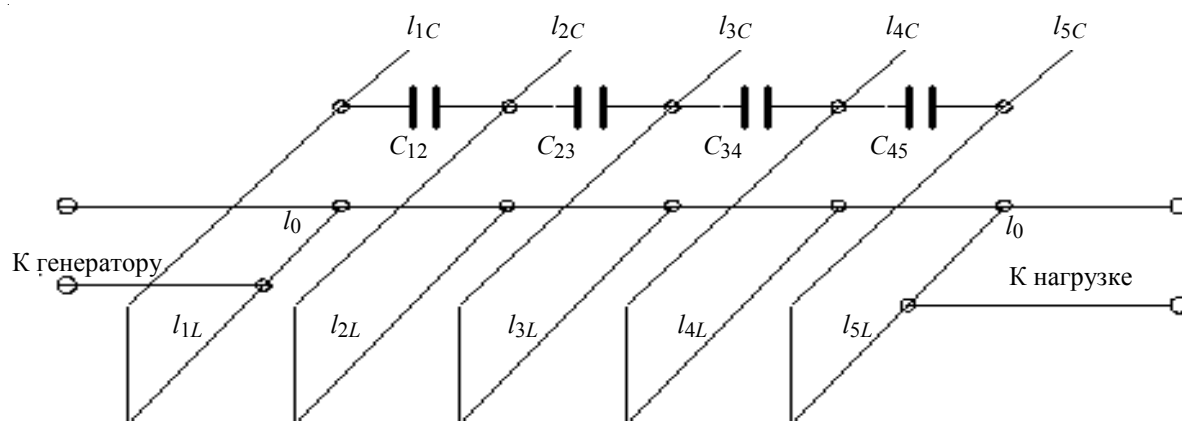


Рис. 2. Структура пятизвенного фильтра с короткозамкнутыми шпилечными резонаторами длиной $\lambda/4$ и длиной связи $\lambda/8$

Эквивалентная схема фильтра, соответствующая рассматриваемой структуре, приведена на рис. 3.

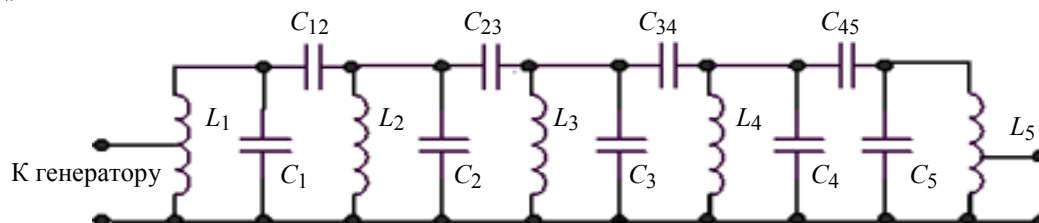


Рис. 3. Эквивалентная схема фильтра

Далее приведем методику расчета для пятизвенного фильтра.

3. РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ

Из [1] находим элементы прототипа чебышевского пятизвенного фильтра нижних частот с неравномерностью в полосе пропускания $\Delta A = 0,28$ дБ:

$$G_1 = 1,456; G_2 = 1,307; G_3 = 2,283; G_4 = 1,307; G_5 = 1,456.$$

Расчет элементов эквивалентной схемы (рис. 3) ведется по формулам [1] с учетом частичного включения генератора и нагрузки:

$$C_{r1} = C_{r2} = C_{r3} = C_{r4} = C_{r5} = \frac{G_1}{(\omega_2 - \omega_1)k^2 R_n}, \quad (1)$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = \frac{1}{\omega_0^2 C_{r1}}, \quad (2)$$

$$C_{12} = C_{45} = \frac{\omega_0}{\omega_1 \omega_2} \sqrt{\frac{(\omega_2 - \omega_1) C_{r2}}{k^2 R_n G_1}}, \quad (3)$$

$$C_{23} = C_{34} = \frac{\omega_0(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_1\omega_2} \sqrt{\frac{C_{r2}C_{r3}}{G_2G_3}}, \quad (4)$$

где ω_2, ω_1 – верхняя и нижняя граничные частоты полосы пропускания; k – коэффициент включения в контур; $C_1, \dots, C_5$ – емкости параллельных контуров;

$$C_1 = C_5 = C_{r1} - C_{12}; \quad (5)$$

$$C_2 = C_4 = C_{r2} - C_{12} - C_{23}; \quad (6)$$

$$C_3 = C_{r3} - C_{23} - C_{34}; \quad (7)$$

$L_1, \dots, L_5$ – индуктивности параллельных контуров; $\omega_0 = (\omega_2 + \omega_1)/2$ – центральная частота полосы пропускания фильтра.

4. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

Общая длина резонатора определяется из следующего выражения [2]:

$$l_{\text{рез}} = \frac{\theta_1 v_0}{\omega_0 \sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}}, \quad (8)$$

где $\theta_1 = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\Delta\omega}{2} \right)$; $\Delta\omega = (\omega_2 - \omega_1)/\omega_0$ – относительная полоса пропускания фильтра; $\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}$ – коэффициент укорочения волны (для подложки с $\epsilon = 9,5$ и $Z_0 = R_{\text{н}} = 50$ Ом $\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}} = 2,57$ [3, рис. 1.18]); v_0 – скорость света в пустоте.

Будем предполагать, что часть резонатора от короткозамкнутого конца до начала области связи является индуктивностью, а оставшаяся часть – емкостью параллельного контура (далее покажем, что такое допущение не дает больших ошибок при расчете топологии фильтров). Тогда

$$l_{\text{кС}} = \alpha l_{\text{рез}}, \quad (9)$$

$l_{\text{кЛ}} = (1-\alpha)l_{\text{рез}}$, $l_{\text{св}} = l_{\text{кС}}$ где $\alpha < 1$ (величину α определим позже).

Учитывая принятые допущения, можно рассчитать геометрические размеры фильтра.

Геометрическую длину емкости и индуктивности параллельного контура можно рассчитать из формул [1, табл. Д. 2.2]:

$$C_{\text{к}} = \frac{\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}} l_{\text{кС}}}{Z_0 v_0}, \quad (10)$$

$$L_{\text{к}} = \frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_{\text{эф}}} l_{\text{кЛ}}}{v_0}, \quad (11)$$

где Z_0 – волновое сопротивление микрополосковой линии.

Найдем коэффициент включения k . Для этого в выражение (5) подставим значение C_{r1} из (1) и значение C_{12} из (3). Тогда получим:

$$C_1 = \frac{1}{k^2 R_H} \left(\frac{G_1}{\omega_2 - \omega_1} - \frac{\omega_0}{\omega_1 \omega_2} \right). \quad (12)$$

Воспользуемся формулой (10) для определения емкости микрополосковой линии, учитывая при этом, что $l_{кC} = \alpha l_{рез}$ для узких полос пропускания составляет не более 20 %. Получим:

$$\frac{\theta \alpha}{Z_{св}} = \frac{1}{k^2 R_H} \left(\frac{\sqrt{G_1 G_2}}{\Delta \omega} - \frac{\omega_0}{\omega_1 \omega_2} \right),$$

где $Z_{св}$ – волновое сопротивление связанных микрополосковых линий. $Z_{св}$ для подложки с $\epsilon = 9,5$ находится из зависимости [3, рис. 2.15] (для фильтров с полосами пропускания 5... 20 % $Z_{св}$ изменяется в пределах 25...45 Ом). Из последнего выражения, предполагая, что для узких

полос пропускания $\frac{\omega_0^2}{\omega_1 \omega_2} \approx 1$, находим k^2 :

$$k^2 = \frac{Z_{св}}{R_H} \frac{\left(\frac{\sqrt{G_1 G_2}}{\Delta \omega} - 1 \right)}{\theta \alpha}. \quad (13)$$

Далее необходимо учесть укорочение емкостных частей средних резонаторов $\Delta l_2 = \Delta l_4$ и Δl_3 , связанное с тем, что емкости параллельных контуров C_k отличаются от C_{rk} на величину емкости связи $C_{k,k+1}$. Для этого найдем $C_{23}/C_1 \approx \Delta l_2/l_{1C} = \delta_2$ и $(2 C_{23} - C_{12})/C_1 \approx \Delta l_3/l_{1C} = \delta_3$. Из соотношений (1), (3) и (4) для узких полос пропускания имеем:

$$\delta_2 = \delta_4 \approx \frac{\Delta \omega}{\sqrt{G_1 G_2}}, \quad (14)$$

$$\delta_3 \approx \Delta \omega \left(\frac{2}{\sqrt{G_1 G_2}} - \frac{1}{G_1} \right), \quad (15)$$

$$\delta_1 = \delta_5 = 0.$$

С учетом укорочения для длин емкостных и индуктивных частей резонатора получим следующие выражения:

$$l_{кC} = \frac{\theta v_0}{\omega_0 \sqrt{\epsilon_{эф}}} \alpha (1 - \delta_k), \quad (16)$$

$$l_{кL} = \frac{(1 - \alpha) \theta v_0}{\omega_0 \sqrt{\epsilon_{эф}}}, \quad (17)$$

$$l_0 = \frac{l_{кL}}{k}. \quad (18)$$

Величина α определяет соотношение между емкостной и индуктивной частями резонатора. При малом значении α емкостная часть резонатора может быть слишком мала (см. формулу (16)), что приведет к значительному уменьшению длины области связи, так как $l_{\text{св}} = l_{\text{КС}}$ и уменьшению зазора между резонаторами. Для того чтобы зазоры между резонаторами оставались в допустимых технологических пределах (более 0,1 мм), необходимо правильно выбрать величину α . При большом значении α (более 0,5) область связи больше половины длины резонатора, что приведет к трудностям в реализации топологии фильтра. Поэтому необходимо произвести несколько вариантов расчета фильтра при различных значениях α , а затем выбрать оптимальный вариант.

Зазоры между резонаторами находятся из зависимости нормированной емкости связи $C_{\text{к,к+1}}/l_{\text{св}}$ от относительной ширины зазора $S_{\text{к,к+1}}/h_0$ (рис. 4), полученной на основе [3, рис. 2.17], где h_0 – толщина подложки. Зависимость приведена для подложки с $\epsilon = 9,5$ и резонаторов с волновым сопротивлением $Z_0 = 50$ Ом. Емкость связи $C_{\text{к,к+1}}$ измеряется в пикофарадах, длина области связи $l_{\text{св}}$ – в сантиметрах.

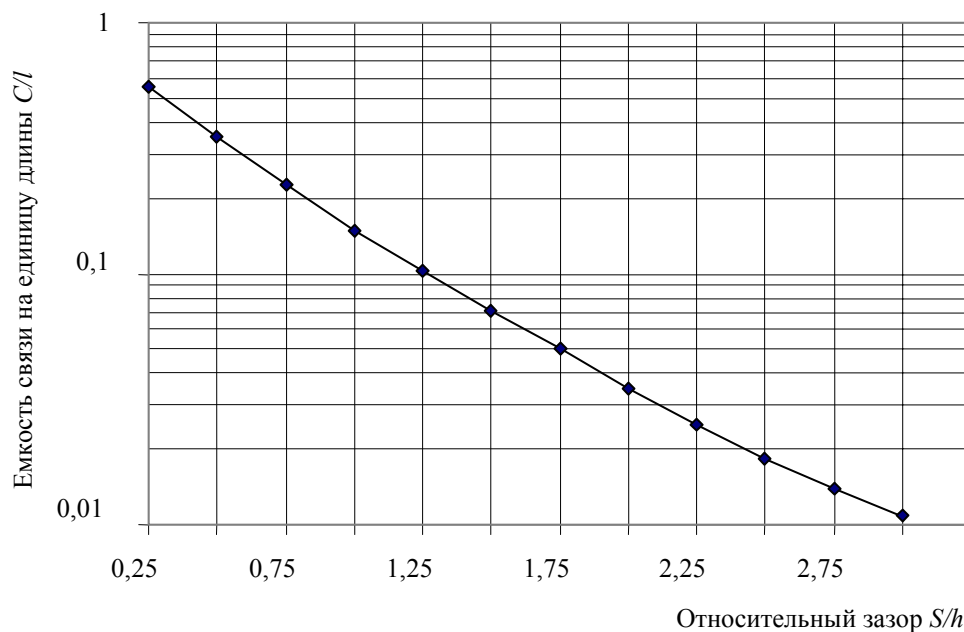


Рис. 4. Зависимость нормированной емкости связи $C_{\text{к,к+1}}/l_{\text{св}}$ от относительной ширины зазора $S_{\text{к,к+1}}/h_0$

Таким образом, для расчета пятизвенного фильтра необходимо выполнить следующие вычисления.

1. Находим коэффициент включения генератора и нагрузки в контур из выражения (13), при этом величину α (согласно экспериментальным данным) берем в диапазоне 0,3...0,4.
2. По формулам (14), (15) вычисляем укорочения емкостной части средних резонаторов.
3. Определяем длины емкостной и индуктивной частей резонаторов по формулам (16), (17).
4. Вычисляем длину части резонатора от короткозамкнутого конца до места подключения нагрузки и генератора l_0 по формуле (18).

5. Вычисляем емкости связи между резонаторами $C_{k,k+1}$ по формулам (3), (4).

6. По рис. 4 находим зазоры области связи $S_{k,k+1}$.

7. Если зазоры слишком малы или мала длина области связи, необходимо изменить величину коэффициента α и расчет произвести заново.

Примечание. При расчете фильтра следует задавать полосу пропускания 10...20 %. Это связано с тем, что резонаторы на микрополосковых линиях имеют низкую добротность, а это приводит к уменьшению коэффициента прямоугольности и сужению полосы пропускания.

5. РАСЧЕТ ФИЛЬТРА С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для удобства и быстрого расчета топологии пятизвенных фильтров рассмотрим рис. 5, составленный на основе экспериментальных данных, по которому можно определить коэффициент включения генератора и нагрузки в контур и величину емкостных зазоров в области связи. Зависимости приведены для подложки с $\epsilon = 9,5$, резонаторов с волновым сопротивлением $Z_0 = 50$ Ом и $\alpha = 0,35$. Ширина микрополосковой линии вычисляется по формуле:

$$W = h_0 \left(\frac{300}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right) [1], \text{ где } h_0 - \text{толщина подложки. Длины емкостных и индуктивных частей}$$

резонаторов находятся по формулам (16)-(18). Укорочение средних резонаторов – по формулам (14), (15).

Приведем пример расчета фильтра.

Требуется рассчитать пятизвенный фильтр на подложке из материала ТММ10 ($\epsilon = 9,2$; $h = 0,64$ мм) со следующими параметрами: $f_0 = 880$ МГц, $\Delta f = 50$ МГц. Используя вышеприведенную методику расчета, находим коэффициент включения. Далее выполняем пункты 2...5 для $\alpha = 0,35$. При этом увеличиваем полосу пропускания до 60 МГц (см. примечание к методике расчета). Диэлектрическая проницаемость ϵ материала ТММ10 отличается от значения 9,5, для которого приведена зависимость (рис. 5), приблизительно на 3 %. Поэтому после расчета зазоров по рис. 5 их необходимо уменьшить на 3 %. Данные расчета сведены в таблицу.

Номер резонатора	W , мм	k	α	l_0 , мм	l_{KC} , мм	l_{KL} , мм	$S_{k,k+1}$, мм
1	0,6	4,56	0,35	4,7	11,55	21,45	0,48 0,61 0,61 0,48
2		—		—	10,98	21,45	
3					10,95	21,45	
4					10,98	21,45	
5		4,56		4,7	11,55	21,45	

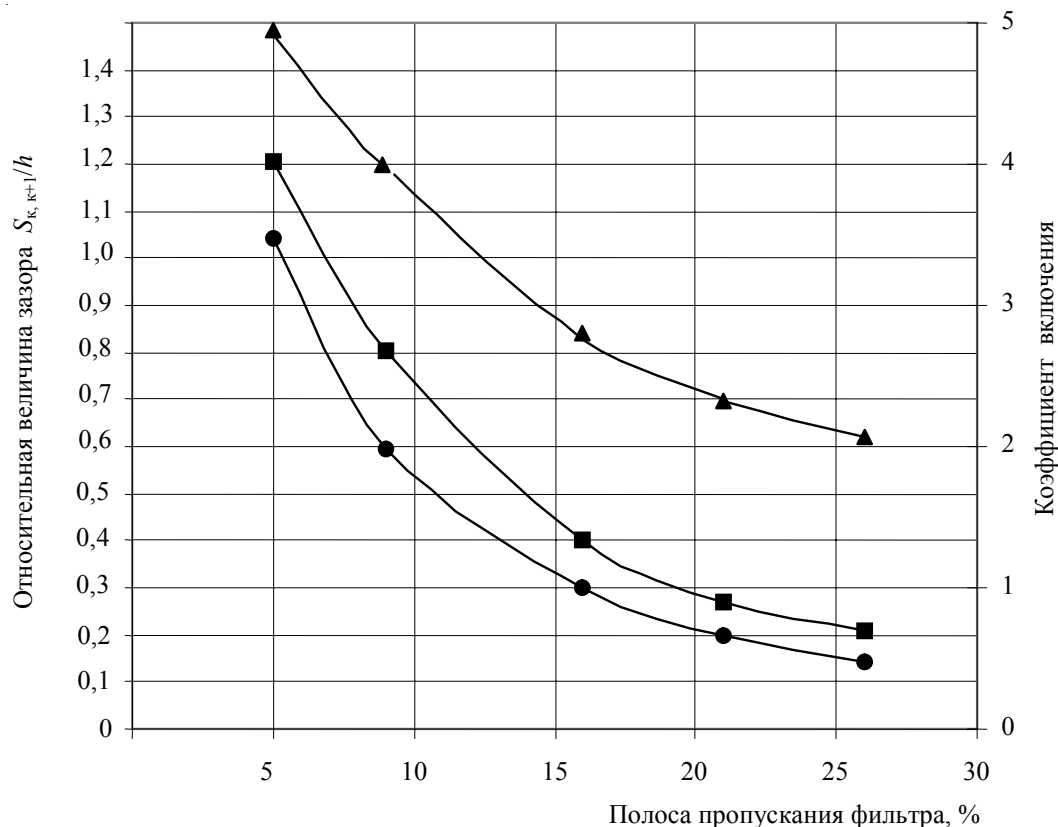


Рис. 5. Зависимости коэффициента включения и относительной величины зазоров между резонаторами от полосы пропускания фильтра:
 ● — зазор S_{12} ; ■ — зазор S_{23} ; ▲ — коэффициент включения

По данным расчета изготовлен фильтр и проведены его экспериментальные измерения. Параметры фильтра следующие:

Центральная частота f_0	896 МГц
Полоса пропускания Δf по уровню -0,5 дБ	48 МГц
Потери в полосе пропускания	-4,5 дБ
Заграждение на частоте 826 МГц	-35 дБ

Проведена подстройка фильтра на заданную частоту путем удлинения резонаторов. При этом полоса пропускания не изменилась, потери увеличились до 4,8 дБ, заграждение на частоте 810 МГц составило 35 дБ.

Разработанная методика позволяет рассчитывать конструкции и топологии пятизвенных фильтров на четвертьволновых короткозамкнутых шпилечных резонаторах на частотах от 0,3 до 2,5 ГГц с полосой пропускания от 3 до 25 %. При этом ошибка по частоте составляет не более 5 %, по полосе пропускания – не более 10%. Точность выхода на частоту экспериментального образца зависит также от разброса диэлектрической проницаемости подложки (в одной партии разброс может составлять несколько процентов). Поэтому после изготовления фильтра необходима его подстройка или коррекция топологии. Подстройку фильтра рекомендуется

выполнять следующим образом. Для увеличения центральной частоты нужно припаять пластинки из тонкой фольги одинакового размера на резонаторы вблизи заземления, размер пластинок подбирается экспериментально. Для уменьшения центральной частоты пластинки устанавливаются в области связи резонаторов. Изменения полосы пропускания можно достичь только путем коррекции топологии (изменения зазоров). Отметим также, что после подстройки при помощи пластинок фильтр будет иметь большие потери из-за неоднородностей, возникших в местах пайки настроечных пластин.

Габариты девятизвенного фильтра на подложке из материала ТММ10 с $f_0 = 845$ МГц и полосой пропускания 40 МГц составляют 20×60 мм. Фильтр обеспечивает подавление гетеродина на частоте 775 МГц на 70 дБ. На рис. 6 приведены фотографии фильтров на различные частоты.

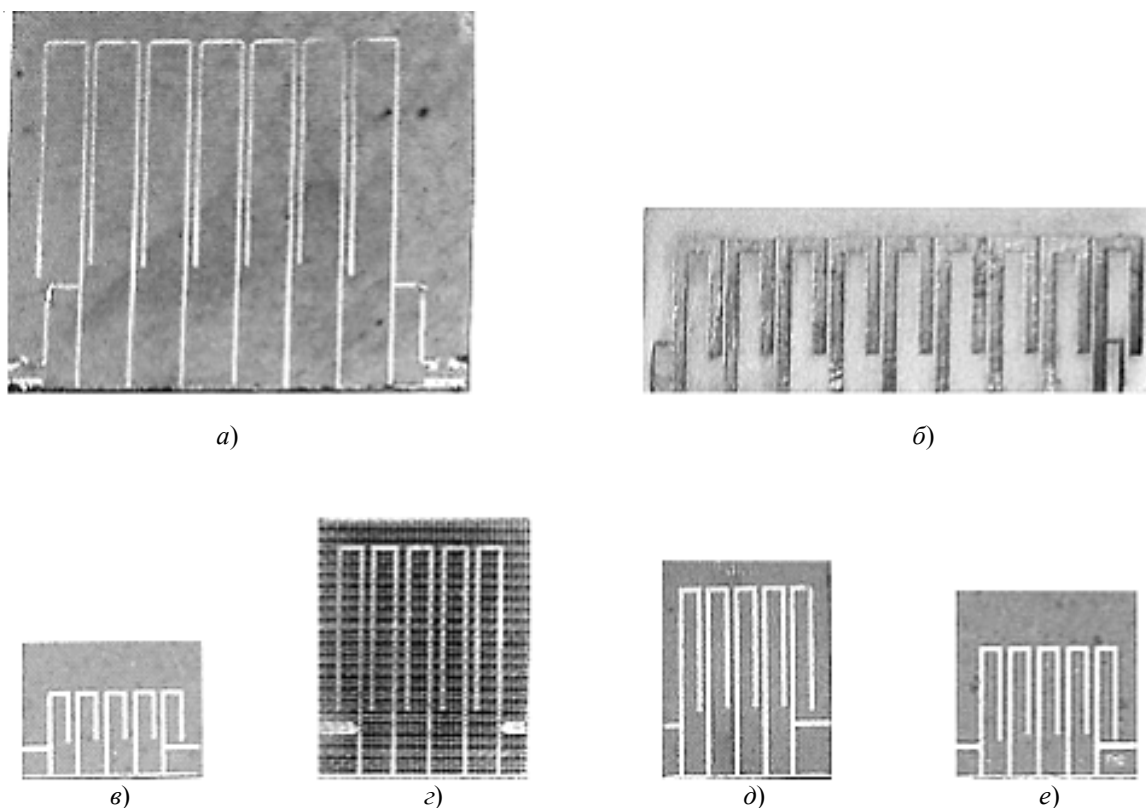


Рис. 6. Фотографии фильтров:

a – фильтр из 7 звеньев, $f_0 = 370$ МГц, $\Delta f = 15\%$, потери – 4 дБ, материал – ФЛАН10, габариты – 52×42 мм;
б – 9 звеньев, $f_0 = 845$ МГц, $\Delta f = 4,5\%$, потери – 7 дБ, материал – ТММ10, габариты – 60×20 мм;
в – 5 звеньев, $f_0 = 1640$ МГц, $\Delta f = 3,2\%$, потери – 4,7 дБ, материал – ТММ10, габариты – 22×15 мм;
г – 5 звеньев, $f_0 = 845$ МГц, $\Delta f = 4,5\%$, потери – 5 дБ, материал – ФАФ, габариты – 24×38 мм;
д – 5 звеньев, $f_0 = 700$ МГц, $\Delta f = 5\%$, потери – 4,2 дБ, материал – ТММ10, габариты – 20×24 мм;
е – 5 звеньев, $f_0 = 880$ МГц, $\Delta f = 5\%$, потери – 4,8 дБ, материал – ТММ10, габариты – 22×20 мм

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фильтры на четвертьволновых короткозамкнутых шпилечных резонаторах могут применяться в трактах ПЧ, а также в приемных и передающих трактах устройств, работающих в дм-диапазоне. Разработанная конструкция фильтра в отличие от известных: на полуволновых шпилечных резонаторах с длиной связи $l_{\text{св}} \approx 1/4$ и на короткозамкнутых четвертьволновых резонаторах с длиной связи $l_{\text{св}} \approx 1/4$ – имеет малые габариты. В этой конструкции четвертьволновые резонаторы имеют форму шпилек, а связь между резонаторами осуществляется за счет краевых полей между соседними частями резонаторов, длина области связи приблизительно равна $1/8$. Согласование с линией передачи в разработанной конструкции фильтра осуществляется путем частичного включения нагрузки в крайние резонаторы. Разработаны методика расчета таких фильтров и методика быстрого расчета при помощи экспериментальных зависимостей. Фильтры данной конструкции имеют хорошие электрические параметры, расчет их прост и дает достаточно точные результаты, совпадающие с экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ханзел Г. Справочник по расчету фильтров: Пер. с англ. Старостина В.А. /Под ред. Знаменского Е.А. – М.: Сов. радио, 1974.
2. Д.Л. Маттей, Л.Я. Янг, Е.М.Т. Джонс. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. – М.: Связь, 1972.
3. Справочник по элементам полосковой техники / Мазепова О.И., Мещанов В.П. и др.; Под ред. Фельдштейна А.Л. – М.: Связь, 1979.

Статья поступила 27 июля 2007 г.

УДК 621.385.6.029.64

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ РАСТВОРОВ И СУСПЕНЗИЙ КЛЕТОК С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВОДНО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА

К. Д. Казаринов

ФИРЭ РАН, г. Фрязино

Предлагается методика определения диэлектрических характеристик водных растворов и суспензий, основанная на температурной зависимости коэффициента поглощения водных растворов, с помощью одной из модификаций волноводно-диэлектрического резонатора.

A method defining dielectric characteristics of aqueous solutions and suspensions based on temperature dependence of aqueous solution absorption factor using one of waveguide dielectric resonator modifications has been proposed.

Основной вопрос разработки метода и создания СВЧ-устройства для анализа диэлектрических характеристик материалов заключается в выборе диапазона длин волн электромагнитного поля (ЭМП), в котором будут осуществляться измерения. При этом необходимо учитывать физико-химические особенности объекта измерения, технологические возможности и технико-экономическое обеспечение разработки.

Вода, составляющая значительную часть живых организмов, является неременным участником практически всех биологических процессов. Важная роль воды в биологических системах обусловлена ее уникальными физико-химическими свойствами. По современным представлениям, вода является неотъемлемым структурным компонентом биологических мембран. Благодаря взаимодействиям в воде, отдельные липидные и белковые молекулы удерживаются вместе и формируют сложный надмолекулярный ансамбль, каким является биологическая мембрана [1].

Строение молекул воды хорошо известно. Электронное облако молекулы заполняет объем неправильного тетраэдра. Атом кислорода оказывается при этом в центре, а два атома водорода – в противоположных углах одной из граней. Два из восьми электронов атома кислорода расположены около ядра, два других связаны с атомами водорода, а две неразделенные пары электронов образуют ветви, расположенные в противоположном направлении по отношению к электронным орбиталиям водородов. Эти ветви являются областями сосредоточения отрицательных зарядов и обуславливают водородную связь между молекулами воды и другими веществами [1].

При распределении заряда происходит образование большого дипольного момента молекулы (1,84 дебая), определяющего свойство ее ориентационной поляризации при действии электрических полей.

Для молекул воды характерно специфическое взаимодействие, называемое водородной связью. Особенность такого взаимодействия состоит в том, что атом водорода, входящий в состав одной молекулы, образует вторую связь с атомом другой молекулы, в результате чего обе молекулы объединяются в комплекс, обладающий большой устойчивостью. Известны также модели устойчивых комплексов, состоящих из трех, пяти и более молекул воды. Между неструктурированной частью воды и кластерами постоянно существует обмен молекулами. В работе [2] определено время жизни кластера – порядка $10^{-10} \dots 10^{-11}$ с, что соответствует времени релаксации процессов в воде.

Органические соединения, имеющие полярные группы и способные вступать в диполь-дипольные взаимодействия с молекулами воды или образовывать с ними водородные связи, хорошо растворяются в воде.

Плохая растворимость неполярных веществ в воде связана с уменьшением энтропии, так как они вытесняют неструктурированную воду из полости внутри тетраэдрических ячеек кластеров. Вытесненная вода образует новые кластеры, и упорядоченность системы увеличивается, а следовательно, энтропия уменьшается.

Поглощение СВЧ-излучения в водных растворах связано с механизмом ориентационной поляризации молекул. Электрическое поле вызывает поворот молекул воды таким образом, чтобы их дипольные моменты ориентировались по направлению этого поля. Этому препятствуют тепловое движение и взаимодействие соседних молекул. В результате появляется сдвиг фазы поляризации среды относительно поля, что и определяет диэлектрические потери [3]. В мм-диапазоне длин волн диэлектрические характеристики воды (γ -дисперсия) удовлетворительно описываются уравнениями Дебая [1].

Экспериментально установленные значения коэффициента поглощения электромагнитного излучения для воды в области мм-волн составляют 20...30 дБ/мм.

Диэлектрические свойства растворов солей физиологических концентраций в мм-диапазоне длин волн тождественны свойствам воды с точностью до небольшой поправки на величину ионной проводимости. Только при концентрации растворенного вещества выше 0,5 моль наблюдается изменение коэффициента поглощения раствора по сравнению с чистой водой. На измерении этой разницы основано использование миллиметровой спектроскопии для исследования гидратации различных веществ, а также межмолекулярных взаимодействий [4].

В таких исследованиях обычно используются устройства, принцип работы которых заключается в сравнении резонансной частоты и добротности резонатора, измеренных сначала без исследуемого образца, а затем с образцом, помещенным в полость резонатора [5]. Основным ограничением, которым приходится руководствоваться при выборе конструкции и размеров резонатора, а также способа введения диэлектрического образца в резонатор, является условие квазистационарности. При нарушении условия квазистационарности размеры системы могут быть сравнимы с длиной волны электромагнитного излучения и учет «полезного» сигнала на фоне «паразитных» параметров может оказаться невозможным.

Для решения поставленной задачи большей частью пользуются методом малых возмущений [6], который позволяет установить связь между мощностью, поглощаемой внутри полости резонатора, и энергией, поступающей в эту полость за единицу времени.

Следует отметить, что кюветы в виде диэлектрической трубки, заполненной жидкостью и помещенной в центре прямоугольного волновода перпендикулярно его широким стенкам, довольно часто использовались при химических анализах [7,8], а также в биофизических исследованиях [9,10]. Такая система проста в изготовлении, удобна в эксплуатации и обеспечивает эффективное взаимодействие объекта с СВЧ-излучением, так как трубка с жидкостью располагается в области максимального электрического поля низшего типа волны H_{01} .

В работе [11] кювета в волноводе сечением $5,2 \times 2,6$ мм² с тонкостенной тефлоновой трубкой использовалась для исследования водных растворов с коэффициентом поглощения около 20 дБ/мм.

В отличие от рассмотренных выше и широко применяемых в измерительной технике полых резонаторов с поглощающим образцом (для которых измерения основаны на эффекте малого возмущения образцом поля в резонаторе), в данном случае исходная измерительная система с пустым капилляром не обладает резонансными свойствами, а резонанс возникает только в присутствии исследуемого образца. Эта особенность рассматриваемого волноводного резонатора и определяет высокую чувствительность параметров регистрируемого резонанса к диэлектрическим свойствам образца.

В то же время оказалось, что условие резонансного отражения поверхностных волн от широких стенок волновода недостаточно для обеспечения высокодобротного резонанса в системе.

Предложенная в [12] конструкция резонансной измерительной камеры отличается возможностью перестройки и подбора оптимальной связи резонатора с волноводным трактом. Широкие стенки волновода раздвигают два цилиндрических поршня, через осевые отверстия которых проходит капиллярная трубка, изготовленная из радиопрозрачного диэлектрика. Поршни регулируются по высоте в резонаторной камере с помощью винтового механизма перемещения.

Настройка резонанса на максимальную добротность для измеряемой жидкости осуществляется последовательно верхним и нижним поршнями, которые отличаются по диаметру. Чувствительность настроенного таким образом резонатора к изменению диэлектрических параметров жидкости достаточно высока, что позволяет его использовать в простых СВЧ-схемах регистрации прошедшего сигнала.

В своей работе за основу мы взяли опробованную в лабораторных условиях идею создания волноводно-диэлектрического резонатора [12] с очень высокой чувствительностью к изменению диэлектрических свойств анализируемого материала, как с большими, так и с малыми потерями.

Дальнейшее ознакомление с техническим исполнением устройства показало необходимость его всесторонней доработки для конкретной задачи, а также с учетом последующей эксплуатации в промышленных условиях.

В исследованиях мы пользовались традиционной блок-схемой СВЧ измерительного устройства с панорамным индикатором ослабления Я2Р-67, представленной в работе [13]. В состав установки также вошли: генератор качающейся частоты Р2-66; направленные ответвители СВЧ-сигнала и детекторные головки с диодами типа 2А203А. Измерения основаны на выделении детекторами падающего на исследуемый объект и прошедшего сигналов. Выделенные сигналы преобразуются детекторными головками и подаются на индикатор. Падающий сигнал на выходе детекторной головки поддерживается постоянным за счет системы АРМ

(автоматической регулировки мощности) генератора. Прошедший сигнал на выходе детекторной головки при условии квадратичного детектирования пропорционален квадрату коэффициента ослабления измеряемого образца по напряжению.

Шкалы панорамного индикатора градуированы в значениях ослабления и позволяют производить непосредственный отсчет измеряемой величины. Работа детекторов в квадратичном режиме обеспечивается низким уровнем мощности в измерительном тракте детекторов.

В процессе выполнения данной работы была осуществлена существенная доработка конструкции волноводной резонансной камеры (рис. 1).

Прежде всего изменениям подвергся механический привод перемещения поршней. Из-за низкого передаточного отношения системы гайка-винтовая резьба не удавалось достаточно точно и плавно устанавливать положение поршней в резонаторе. Кроме того, наблюдалось смещение поршня после его установки и при фиксации крепежным болтом. В результате проведенных конструктивных изменений механический привод был выполнен в виде дифференциального винта 8 с минимально возможным шагом резьбы для выбранной геометрии и используемых материалов.

Дифференциальный винт снабжен зубчатым колесом достаточно большого диаметра для удобства вращения рукой, а также для возможной стыковки с редуктором шагового двигателя на дальнейшем этапе автоматизации процесса измерений. Фиксирующий болт был исключен из данной конструкции, ввиду указанных выше осложнений при его использовании, а также недопустимости такого технического решения при автоматической корректировке положения поршня.

Новое решение заключалось во введении упругого элемента – спиральной пружины 5 для фиксации положения поршней 3,4 в резонаторе.

Доработана была также конструкция короткозамыкающего поршня, который имел ненадежный контакт с поверхностью резонатора, что приводило к нестабильности геометрических размеров резонатора, а следовательно, и результатов измерений. Наиболее отчетливо эти недостатки проявлялись при механических воздействиях, например при деформациях капилляра, пронизывающего поршни. В конструкцию поршней были введены канавки, выполняющие функции дросселей, в которые вставляются фторопластовые шайбы, предотвращающие механический контакт поршня с поверхностью резонатора. В результате были получены дроссельные поршни, минимизирующие волновое сопротивление в плоскости эффективного короткого замыкания и обеспечивающие стабильность процесса измерений СВЧ-параметров.

На одной паре стоек (10, 15) крепежной арматуры резонаторной камеры 1 была нанесена шкала перемещений поршней внутри резонатора, что позволило лучше ориентироваться на начальном этапе настройки при измерении контролируемого вещества, а в дальнейшем калибровать положение поршней для известных продуктов контроля.

В процессе оптимизации конструкции резонаторной камеры были испытаны диэлектрические трубки (капилляры) из различных диэлектриков с незначительным поглощением СВЧ-излучения: полистирола, капрона, полиэтилена, фторопласта. В итоге предпочтение было отдано трубкам из фторопласта – материала, подходящего по своим физико-химическим характеристикам, а также из технологических соображений.

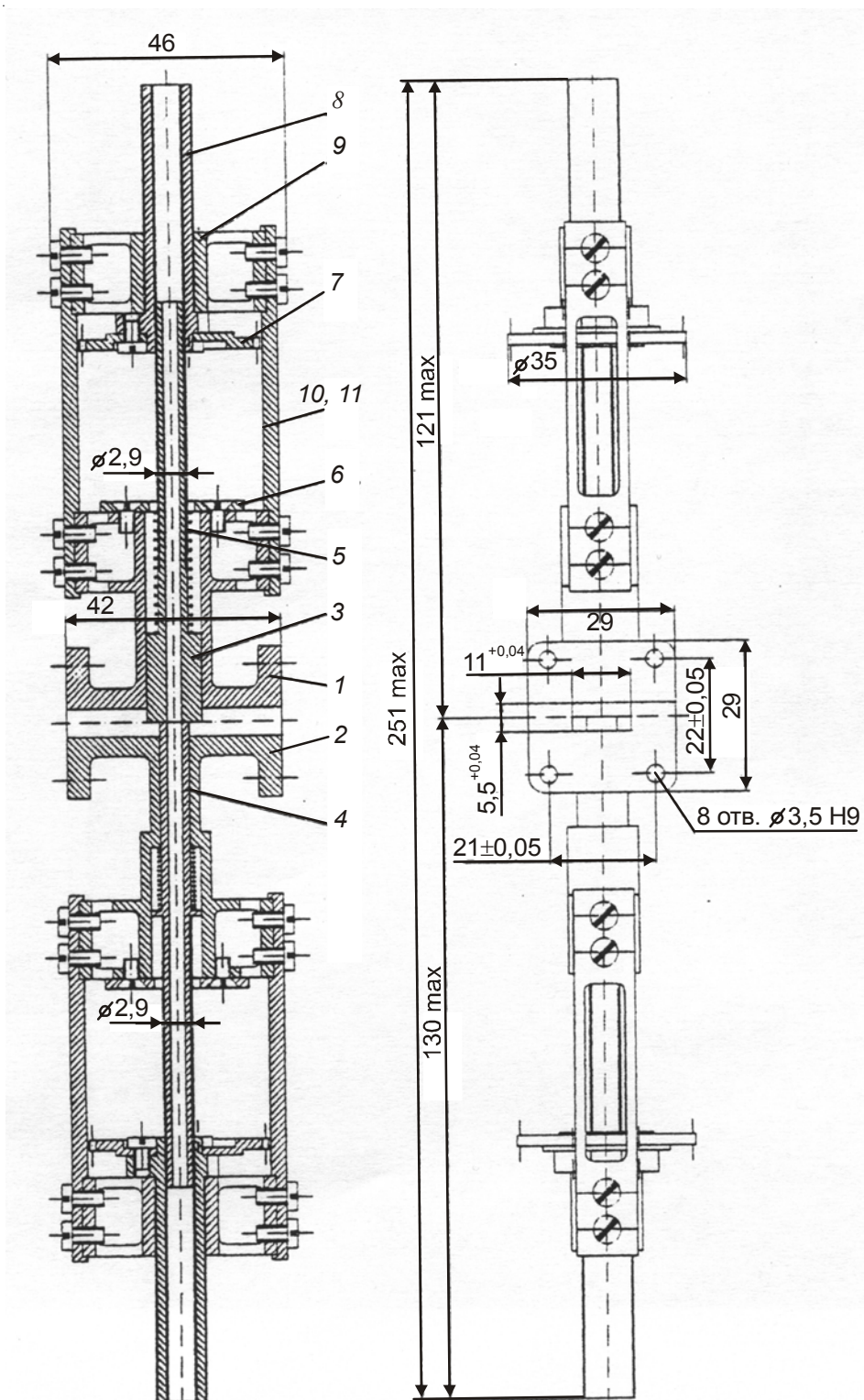


Рис. 1. Чертеж резонаторной камеры:

1,2 – составной волновод; 3,4 – большой и малый поршни; 5 – пружина; 6 – фланец;
7 – зубчатое колесо; 8 – дифференциальный винт; 9 – брусок; 10,11 – крепежные стойки

Внутренний диаметр капилляра выбирался из ряда размеров в интервале 2,2...2,7 мм. Испытывались также диэлектрические трубки с различной толщиной стенки: 0,1...0,5 мм.

В процессе экспериментальной работы нам пришлось столкнуться с неожиданным обстоятельством. Оно заключалось в том, что даже при минимальном уровне мощности генератора СВЧ-сигнала (0,1 мВт), обеспечивающем устойчивую работу устройства, наблюдалось существенное изменение амплитуды резонанса в зависимости от продолжительности облучения, свидетельствующее о СВЧ-нагреве исследуемого экспериментального образца водного раствора.

Изменение амплитуды резонанса при СВЧ-облучении образца в течение нескольких минут достигало в некоторых случаях 9 дБ, что свидетельствует о недопустимой погрешности измерений.

Такая ситуация указывает на необходимость надежного термостатирования измерительной резонаторной кюветы в процессе измерений. Обеспечить условия термостатирования в данных условиях довольно сложно из-за того, что облучаемая часть диэлектрической трубки, в которой находится исследуемый раствор, расположена внутри полого волновода. В случае «проточной» измерительной кюветы такого нагрева не наблюдается, так как движущаяся жидкость в диэлектрической трубке не успевает нагреться в зоне СВЧ-облучения. Однако для дорогостоящих биологических препаратов такой «проточный» режим работы измерительной ячейки неприемлем из-за непомерно высоких материальных затрат на проведение эксперимента.

Удачное решение данной проблемы мы почерпнули из опыта специалистов нефтяной компании «British Petroleum Co LTD», которые предложили определять диэлектрические характеристики углеводородных смесей с водой следующим способом [14].

Учитывая высокий уровень поглощения водой СВЧ-излучения, авторы [14] предлагают в анализируемой водной многокомпонентной смеси измерять повышение температуры контролируемого объекта при его СВЧ-облучении, которое, оказывается, пропорционально концентрации воды в объекте (например, в сырой нефти).

Температурная зависимость диэлектрических свойств воды и водных смесей хорошо изучена в диапазоне от низких частот до миллиметровых волн [15].

Следует отметить недостаток метода, связанный с необходимостью экранировки термодпары при СВЧ-облучении, а также влияние самих термодпар на температуру объекта в капиллярной трубке, что не может не сказаться на точности измерений.

Было решено заменить в данном способе сложную процедуру измерения температуры анализируемого образца на регистрацию изменения его коэффициента поглощения СВЧ-излучения при нагревании за фиксированный промежуток времени.

Предложенный новый способ измерения диэлектрических характеристик водных растворов хотя и уступает несколько по чувствительности прежнему способу измерений с помощью волноводной резонаторной камеры, но зато свободен от необходимости термостатировать измерительную ячейку, что не всегда представляется возможным. По сравнению со способом, предложенным в [14], наш подход отличается простотой измерительной установки, процедуры измерений и отсутствием влияния датчиков измерителя температуры на контролируемый объект. В связи с тем, что расчетные количественные соотношения между параметрами резонанса и диэлектрическими параметрами образца установлены с большим приближением, для определения последних удобно пользоваться методом сравнения, калибруя измерительную систему по эталонным растворам.

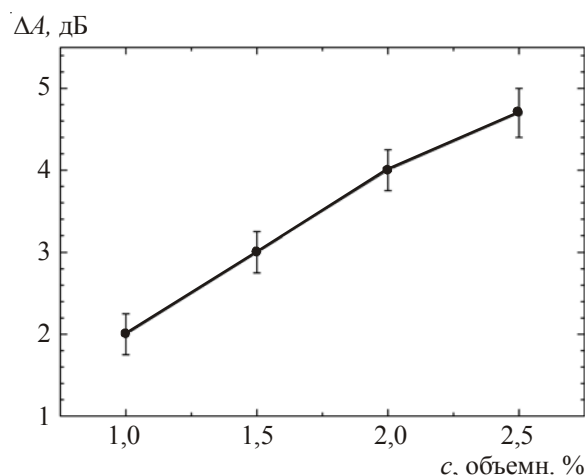


Рис. 2. Зависимость изменения поглощения СВЧ-сигнала на частоте 21,7 ГГц от концентрации воды в диэтиленгликоле при нагревании образца в течение 2 мин

Как видно из рис. 2, изменение концентрации воды в смеси на 1% приводит, по нашим предварительным данным, к изменению поглощения СВЧ-сигнала приблизительно на 2 дБ. Это позволяет даже при довольно невысокой стабильности амплитудных и частотных характеристик используемых серийных панорамных измерительных установок измерять концентрацию воды с необходимой точностью. Следует отметить, что данная методика приемлема для сравнительно небольших изменений содержания воды в углеводородных смесях (около 1...7 %), так как в этом случае наблюдается линейная зависимость изменения амплитуды СВЧ-сигнала от концентрации раствора.

Результаты дальнейшей экспериментальной проверки предложенного метода будут представлены в следующей публикации.

Таким образом, в процессе экспериментальной работы проведена конструктивная доработка резонансной измерительной камеры. Просматривается определенная перспектива по разработке автономного автоматизированного прибора для измерения диэлектрических характеристик водных растворов в условиях промышленного применения.

Предложена методика определения диэлектрических характеристик водных растворов и суспензий, основанная на температурной зависимости коэффициента поглощения водных растворов, с помощью одной из модификаций волноводно-диэлектрического резонатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. – М.: Наука, 1990. – 117 с.
2. Hasted J.B. Aqueous dielectrics. – London: Chapman and Hall, 1973. – 289 p.
3. Pathig R. Dielectric and electronic properties of biological materials. – Chichester: Jonn Wiley & Sons, 1979. – 279 p.
4. Девятков Н.Д. // Радиотехника и электроника. – 1978. – Т. 23, № 9. – С. 1882-1890.
5. Брандт А.А. Исследования диэлектриков на сверхвысоких частотах. – М.: Физматгиз, 1963. – 403 с.

-
6. Гвоздовер С.Д. Теория электронных приборов сверхвысоких частот. – М.: Гостехиздат, 1956. – 527 с.
 7. Волноводные и квазиоптические устройства для измерения поглощения СВЧ-излучения в органических жидкостях / А.М. Храпко, В.И. Гайдук, Г.Ф. Бакаушина и др. // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1976. – Вып. 10. – С. 69-78.
 8. Мухтаров Р.Г. Волноводные измерительные ячейки для СВЧ-влажномеров жидких материалов // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1991. – Вып. 7(441). – С. 45-48.
 9. А.с. 1101750 СССР, МКИ G 01 P21/04. Способ измерения мощности СВЧ-излучения / О.В. Бецкий, К.Д. Казаринов, А.В. Путвинский и др.; опубл. 1984, Бюл. N 25. – С. 120.
 10. Ольшанский Д.И., Любимов Ю.А., Хургин Ю.И. Тепловые эффекты при измерении поглощения водой КВЧ-излучения // Миллиметровые волны в медицине и биологии: Сб. докладов: – М.: ИРЭ РАН, 1995. – С. 217-218.
 11. Беляков Е.В. Высокодобротный резонанс в волноводе с сильнопоглощающим диэлектриком // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1986. – Вып. 9(393). – С. 3-5.
 12. Беляков Е.В. Перестраиваемый СВЧ-резонатор для измерения поглощающих жидкостей // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1989. – Вып. 10(424). – С. 59-61.
 13. Беляков Е.В., Храпко А.М. СВЧ-установка миллиметрового диапазона длин волн для исследования и контроля концентрации водных растворов // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1986. – Вып. 10(394). – С. 34-36.
 14. BP (British Petroleum). Measurement of water content of liquids using microwave. Claim. 24.03.1980, GB 7910431. G1N Int Cl (G01N22/04).
 15. Submillimetre absorption and dispersion of liquid water / J.E. Chamberlain et al. // Nature. – 1966. – Vol. 210, No 5038. – P. 1003.

Статья поступила 12 ноября 2007 г.

К 65-ЛЕТИЮ ФГУП «НПП «ИСТОК»

УДК 621.38(09)

ЛАБОРАТОРИЯ № 5

(Отрывок из книги «От НИИ-160 до «Истока»)

Р. М. Попов

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

10 февраля 1942 г. по постановлению ГКО СССР в Москве был организован завод № 465 по копированию английской станции орудийной наводки (СОН) GL-MkII. На заводе была создана лаборатория, в составе которой было несколько небольших групп, разрабатывающих различные детали, узлы, блоки станции и радиолампы к ним. Копированием английских радиоламп занималась вакуумная группа, позже ставшая лабораторией № 5. Постановлением ГКО от 4 июля 1943 г. предусматривался перевод лаборатории № 5 во Фрязино и создание Электровакуумного института (НИИ-160).

On the 10th of February 1942 according to the resolution of the USSR State Defence Committee there was founded plant №465 for doubling the English weapon guidance system GL-MkII in Moscow. A laboratory was formed at the plant which consisted of several small groups developing different parts, modules and units of the station and radiolamps to them. A vacuum group which later became Laboratory №5 was dealing with English radiolamp doubling. The State Defence Committee resolution dated July 4, 1943 envisaged the transfer of Laboratory №5 to Fryazino and foundation of Electrovacuum Institute (NI-160)

21 марта в Москву пришел эшелон с вывезенными из блокадного Ленинграда сотрудниками завода «Светлана», среди которых были специалисты по производству радиоламп В.И. Егиязаров, Н.Л. Артемьев, Г.З. Гурвич, В.А. Трегубенко, А.И. Салтыков и др. После 20-дневного пребывания в стационаре, организованном при Институте питания, их направили на завод № 465, в лабораторию № 5 (тогда – это вакуумная группа, ставшая лабораторией в сентябре 1942 г.), где уже трудились командированные из Свердловска для организации завода специалисты по электровакуумным приборам из ленинградского НИИ-9 Н.Д. Девятков, С.М. Никифоров и М.Д. Гуревич. С прибытием ленинградцев в лаборатории создается несколько групп, в которых назначаются ответственные за разработку определенного типа электровакуумных приборов: Г.З. Гурвич и В.А. Трегубенко – за разработку приемно-усилительных ламп, Н.Д. Девятков и С.Н. Никифоров – генераторных и выпрямительных, Н.Л. Артемьев – электронно-лучевых трубок. Первокласный слесарь-инструментальщик А.И. Салтыков изготавливал детали и узлы радиоламп. Позднее в лаборатории начали работать инженеры С.Н. Виноградов и В.Б. Бродский. В 1943 г. из действующей армии в нее были откомандированы К.Г. Кнорре и Г.А. Зысин. Все они в дальнейшем будут работать в НИИ-160. Начальником лаборатории № 5 был назначен В.И. Егиязаров, который на «Светлане» руководил лабораторией приемно-усилительных ламп. Ему вместе с немногочисленным коллективом предстояло создать самое сложное по технологическому циклу и применяемому оборудованию, вакуумное производство. За весну и лето 1942 года эта задача в основном была решена. Директор завода № 465

А.А. Форштер вспоминает: «...надо было создать вакуумное производство, потому что рассчитывать на получение ламп для новых изделий было нельзя. Заводы находились в эвакуации, им только бы хорошо справиться с тем, чтобы обеспечить связь, страну теми лампами, которые были освоены до войны. Поэтому нам пришлось освоить выпуск 29 типов вакуумных приборов: генераторных, приемно-усилительных и кинескопов...»

Учитывая тот факт, что в дальнейшем серийное производство английских электровакуумных приборов, разработанных в лаборатории № 5, придется осваивать на опытном заводе НИИ-160, хотелось бы подробнее рассказать о том, как шло копирование и выпуск этих приборов до передачи в производство. Воспользуемся данными, приведенными М.В. Давыдовым в сборнике «Годы и люди», который выпустил НИЭМИ к своему 60-летнему юбилею. В этом сборнике М.В. Давыдов пишет: «Из первой партии прибывших по ленд-лизу английских станций один комплект сразу же был выделен заводу и использован в качестве прототипа СОН-2. ...В течение дня 17 мая комиссия приняла станцию. На следующий день ее разобрали по блокам...» Тут же мы читаем, что «разработка конструкторской документации на отечественные радиолампы проводилась следующим образом: все английские прототипы, изъятые из ЗИПа английской станции, с величайшей предосторожностью разрезали, тщательно промерили все внутренние элементы и, составив чертежи, изготовили».

Таким образом, первые радиолампы для разработки конструкторской документации были взяты из ЗИПа станции, поступившей на завод 17 мая, а уже в конце октября первый образец станции был готов к полигонным испытаниям. Выходит, что 29 типов электровакуумных приборов были изготовлены всего за 5 месяцев (с конца мая по октябрь 1942 г.). По мнению разработчиков ЭВП, это невозможно ни практически, ни теоретически. Но, так или иначе, в конце октября, в канун 25-й годовщины Октябрьской революции, завод рапортовал о готовности первой станции к испытаниям.

За образцовое выполнение оборонного задания указом Президиума Верховного Совета СССР от 21 декабря 1942 года 113 инженеров, техников, рабочих и служащих были награждены орденами и медалями Советского Союза. Среди них – 49 работников завода № 465. Здесь есть несколько необъяснимых моментов. Во-первых, к тому времени станция была только представлена к полигонным испытаниям, но еще их не прошла. Ее комплексные испытания закончатся только в мае 1943 г., и в момент награждения еще не были известны их результаты. Во-вторых, среди награжденных нет В. И. Егiazарова – начальника одной из основных лабораторий. Только спустя год, в ноябре 1943 г., В. И. Егiazаров будет награжден орденом Трудового Красного Знамени за создание нового вида вооружения. А его заместитель Н.Д. Девятков получит орден Красной Звезды в 1944 году.

15 ноября 1942 г. за успешное выполнение задания Государственного комитета обороны (ГКО) приказом Народного комиссариата электротехнической промышленности (НКЭП), в ведении которого находился завод № 465, был отмечен ряд сотрудников завода, и в том числе лаборатории № 5. В. И. Егiazаров был награжден значком «Отличник социалистического соревнования НКЭП» и премией в размере 2-х месячных окладов, а Н. Д. Девятков – таким же значком и премией в размере месячного оклада. Позднее приказом по заводу от 1 декабря 1942 г. была объявлена благодарность и выдана премия С.М. Никифорову, М.В. Любимову и Б.В. Линдквисту (здесь приведены фамилии только тех сотрудников лаборатории № 5, которые в дальнейшем работали в НИИ-160). Почему же за выполнение одного и того же правительственного задания фактически в одно и то же время одних награждали орденами, а других – только

значками и премиями? Можно предположить, что в тот период работа лаборатории № 5 была не совсем удовлетворительной, не всё ладилось с производством прототипов английских ламп. Но станция была предъявлена к испытаниям, а это значит, что все ее блоки были укомплектованы радиолампами. Как же это удалось?

Вот несколько выдержек из вышеназванного сборника: «...монтаж и сборку первого комплекта СОН-2 начали в августе... Изготовленные с особой тщательностью свежескрашенные шаровой краской блоки с лампами из ЗИПа английского прототипа станции почти не отличались от оригиналов». Таким образом, в первом образце отечественной СОН использовались английские радиолампы, а не изготовленные в лаборатории № 5. Но дальше не все понятно. В конце октября, когда приступили к полигонным испытаниям станции, оказалось, что «...наибольшие неприятности в первом образце изделия доставляла нестабильная работа радиоламп. Они были изготовлены в полукустарных условиях, и никто этому не удивлялся. Важно было научиться определять, какая из ламп в каждом конкретном случае выводит станцию из строя». В январе 1943 г. первый образец станции был отправлен на Научно-исследовательский зенитный артиллерийский полигон Главного артиллерийского управления (ГАУ) на комплексные испытания. «Контрольное включение показало нормальную работоспособность аппаратуры. Но затем одна за другой пошли неисправности. В принципе этого ожидали. Пугало другое: неисправности возникали одна за другой и чаще всего из-за изменения характеристики радиоламп. Конечно, у руководства полигона не вызывало энтузиазма положение, когда все блоки извлекались и ремонтировались по несколько раз». В связи с этим возникает очередной вопрос: если в испытываемой станции стояли лампы из английского ЗИПа, тогда почему же неисправности возникали по их вине? Может быть, англичане поставляли нам некачественные радиолампы? А может быть, причина в том, что не соблюдались технические условия и условия эксплуатации?

Наивыгоднейший режим работы лампы зависит от большого количества различных пассивных элементов: резисторов, конденсаторов, индуктивных катушек и др., которые решают задачи дифференцирования и интегрирования входного сигнала, полосовых и заградительных фильтров, делителей напряжения и т.д. Качество этих элементов влияет на питающие анод и сетки напряжения, которые для одного и того же экземпляра радиолампы могут существенно изменять ее параметры. Возможно, что именно поэтому английские лампы не хотели нормально работать с русскими элементами, изготовленными без строгого соблюдения технологических процессов, без необходимого оборудования, приборов и материалов. Кроме того, существенное влияние на работу радиоламп оказывает и некачественный монтаж радиотехнических схем и блоков. Претензии специалистов завода к радиолампам, изготовленным полукустарным способом, не совсем обоснованы, ведь лампы-то были английские и частые их отказы, очевидно, связаны с несовершенством технологии изготовления блоков станции.

Справедливости ради следует заметить, что копирование английской станции было далеко не простым делом. 16 марта 1943 г. представители Научно-испытательного исследовательского института связи на основе отчетных материалов Ленинградского физико-технического института сделали заключение, что «конструирование аппаратуры по типу английской станции орудейной наводки GL-MkII или отечественной СОН-2от ввиду их сложности приведет к уменьшению количества выпускаемых промышленностью станций».

20 декабря 1942 г. постановлением ГКО первый образец станции был принят на вооружение под названием СОН-2от (от – отечественная). Был намечен ее выпуск в 1943 г. в количестве

10 комплектов. Во второй половине 1943 г. завод должен был ежемесячно выпускать по две станции. Согласно утвержденной программе по серийному производству СОН-2от, в 1944 г. надо было выпустить 41 комплект, причем к концу года заводу предстояло довести производство станций до 5 комплектов в месяц, а в первой половине 1945 г. изготовить еще 30. Таким образом, за годы войны завод должен был по плану дать армии 81 комплект станций оружейной наводки.

Разработка прототипов английских ламп была связана с рядом трудностей. Например, особенностью импульсной лампы UT-98-D было то, что в СССР до этого не применялся торированный катод в столь высоковольтных (20 кВ) лампах с медным анодом. Эта работа потребовала проведения ряда исследований для получения устойчивой эмиссии с катода, а также освоения некоторых технологических процессов, которые ранее в радиотехнической промышленности были неизвестны. Серьезных исследований потребовала и разработка других типов радиоламп. По признанию сотрудников завода, в вакуумной лаборатории довольно долго не удавалось получить серию стабильных радиоламп, идентичных английским прототипам. Рассчитывать на полное соответствие отечественных радиоламп прототипам было трудно. Их удалось воспроизвести с небольшими отклонениями от характеристик. Специалисты знают, что мало разработать электровакуумный прибор. В дальнейшем, при его серийном производстве, как правило, выявляются дефекты, связанные с различными недоработками в его технологическом процессе. На устранение этих дефектов и окончательную доводку прибора иногда уходят месяцы. Руководство завода № 465 это прекрасно понимало, и, очевидно, поэтому оно решило снять с себя ответственность за качество «капризных» радиоламп и возложить ее на какое-либо другое предприятие.

В марте 1943 г. представители завода и ГАУ обратились в ЦК ВКП(б) с предложением об объединении под одним началом разрозненных предприятий, так или иначе связанных с производством радиолокационной техники. 4 июля при ГКО был создан Совет по радиолокации, а 27 сентября соответствующим постановлением ГКО определил профиль и направление развития НИИ-160.

В результате этих постановлений вакуумная лаборатория № 5 переводилась в НИИ-160. Таким образом, вся ответственность за производство электровакуумных приборов для станций оружейной наводки СОН-2от была возложена на коллектив института и его опытный завод.

* * *

Где-то в конце июля 1943 г. к дому, находившемуся недалеко от московского электролампового завода, подкатила старенькая, довоенного выпуска «эмка» (М-1). Из нее вышел директор фрязинского завода № 747 И.И. Каминский и направился в подъезд здания. На втором этаже он постучал в дверь квартиры, где в небольшой комнате проживал начальник НИИ-160 С.А. Векшинский. Через несколько минут они спустились к машине, и та двинулась в сторону Ленинградского шоссе. Они ехали знакомиться с производством радиоламп на заводе № 465.

На 3-й Миусской улице «эмка» остановилась у здания Физического института Академии наук СССР имени П.Н. Лебедева (ФИАН). Сам институт был эвакуирован еще в ноябре 1941 г., затем в нем хотели разместить один из московских заводов. Но тот, успев только отремонтировать помещения, также был эвакуирован на Восток. Таким образом, заводу № 465 досталось

вполне приличное здание. В нем разместились общезаводская лаборатория, вакуумное и макетное производство. Для организации основного серийного выпуска станций заводу были переданы корпуса и здания эвакуированного авиационного завода № 305, который располагался на развилке Ленинградского и Волоколамского шоссе. Под научную часть завода были арендованы помещения Ветеринарного института экспериментальной медицины, расположенного около станции метро «Сокол». В начале 1943 г. сюда из ФИАН переселили отдел главного конструктора и ряд лабораторий. В результате вакуумщикам фактически досталось почти все здание ФИАН.

Когда Векшинский и Каминский прошли на территорию института, их сразу поразило то, что она вся была перекопана под огороды. Здесь хлебнувшие лиха ленинградцы на своих грядках выращивали овощи. У входа с величественными ребристыми колоннами их встретил начальник лаборатории № 5 В.И. Егиазаров. Много лет они работали на «Светлане». Война разбросала бывших сослуживцев: кого в Новосибирск, кого в Ташкент, а кто-то остался в блокаде Ленинграде. После недолгих взаимных расспросов все отправились на второй этаж, где размещалось опытное производство лаборатории. Здесь было много знакомых ленинградцев, которые радостно приветствовали гостей. Переходя от участка к участку, где в основном работали парни и девчата школьного возраста, Векшинский опытным взглядом подмечал множество недостатков в проведении различных технологических операций. Он прекрасно понимал, что большинство этих нарушений происходит не по вине руководства и рабочих, а оттого, что нет опытных вакуумщиков, необходимого оборудования, приборов, инструментов и т.д. На испытательных стендах провода, подводящие напряжение к электродам радиоламп, из-за отсутствия ламповых панелей просто прикручивались. Девочки-монтажницы обыкновенными ножницами вырезали из слюды детали, требующие особой точности. Откачные посты были изготовлены из какого-то металлолома, и стоило только удивляться, как они вообще работают. Все это скорее напоминало какую-то кустарную мастерскую, а не опытное производство завода. И вот из всего этого надо было организовать серийный выпуск специальных радиоламп.

Егиазаров – опытный разработчик с почти 15-летним стажем – знал все недостатки и недочеты своего производства. Под его руководством лаборатория № 5 делала все возможное и невозможное. Но брак был велик. С большим трудом удавалось хотя бы приблизиться к параметрам английских прототипов. А тут еще при копировании блоков станции в других лабораториях постоянно вносились поправки, связанные с их переводом на отечественную элементную базу, параметры радиодеталей которой зачастую не соответствовали английским. Все это сказывалось на работе радиоламп. Векшинский с Каминским хорошо понимали коллегу и очень сочувствовали ему. Но в то же время мысль о том, что все это производство со всеми его многочисленными трудностями и недостатками передадут в НИИ-160, не давала им покоя.

Приняв на себя ответственность за выпуск электровакуумных приборов для радиолокации, никто из сотрудников НИИ-160 не думал и не предполагал, что этот факт со временем приведет к рождению флагмана отечественной СВЧ-электроники – НПП «Исток». Когда вопрос о переводе лаборатории был фактически решен, Векшинский активно подключился к подготовке постановления ГКО, которое вышло 23 сентября 1943 г., с целью «выбить» как можно больше «благ» для института. И это ему удалось. Правда, некоторые из них так и остались на бумаге. 29 сентября Векшинский в своем приказе предупреждает о неукоснительном выполнении всех мероприятий, предусмотренных постановлением ГКО.

П Р И К А З № 2 *

ПО СОЮЗНОМУ ИНСТИТУТУ № 160 И ОПЫТНОМУ ЗАВОДУ № 747

от 29 сентября 1943 г.

Указаниями Государственного Комитета Оборона на решающее значение уровня техники и производства электронных приборов для всех видов связи, телемеханики и радиолокации, на важность всемерного развития этой отрасли техники – установлены профиль и направление развития Союзного Института № 160 и его Опытного Завода № 747, а также определены средства, формы и сроки этого развития на ближайшее время;

Приказом Народного Комиссара Электропромышленности СССР от 27 сентября с/г. № 562/с исчерпывающе определены конкретные мероприятия, обеспечивающие решение поставленной перед нами большой и ответственной задачи.

Предупреждая всех инженерно-технических и административно-хозяйственных работников Института и Опытного Завода о безоговорочной обязательности выполнения заданий Государственного Комитета Оборона и всех мероприятий, указанных Народным Комиссаром Электропромышленности СССР,

П Р И К А З Ы В А Ю :

1. Всем инженерно-техническим и административно-хозяйственным работникам Института и Завода, приглашенным ознакомиться с приказом НКЭП № 562/с, изучить этот приказ Народного Комиссара, как основную программу, которой должна быть и будет подчинена их работа ради выполнения постановления ГКО.

2. Всем работникам Института и Завода, получившим 27/IX мои поручения по реализации отдельных частей постановления – немедленно приступить к их выполнению и во всех случаях затруднений или задержек в выполнении, – немедленно докладывать мне лично, либо моему Заместителю – Директору Опытного Завода т. КАМИНСКОМУ, – в любое время суток и независимо от моей занятости другими делами.

3. Моим Заместителям т. КАМИНСКОМУ и т. ЗУСМАНОВСКОМУ и моему помощнику т. ЕГИАЗАРОВУ личным руководством и вмешательством, каждому в своей области, помочь полному и точному выполнению плана мероприятий.

Тов. ЕГИАЗАРОВУ не реже одного раза в пять дней производить полную проверку выполнения мероприятий.

Начальник института № 160

С.А. Векшинский

Как видим, в этом приказе Егiazаров уже фигурирует как помощник Векшинского, хотя в это же время он еще числится руководителем лаборатории № 5 и официально получит назначение помощника начальника НИИ-160 только спустя 6 месяцев, 20 марта 1944 года. Вместе с Егiazаровым 20 марта в штат НИИ-160 были оформлены и остальные сотрудники лаборатории. Эти полгода существования на территории завода № 465 так называемого московского филиала НИИ-160 наводят на некоторые размышления. Очевидно, даже после выхода постановления в лаборатории продолжали надеяться и предпринимать различные действия, чтобы остаться в Москве. И это вполне понятно. Кому захочется из столицы переезжать в какую-то деревню. Но чтобы этого не произошло, нужны веские причины. Одной из них было отсутствие в НИИ площадей для лаборатории. Хотя в то же время на его территории имелось три больших корпуса, оставшихся от эвакуированного завода № 191, в которых при желании мож-

* В приведенных приказах сохранены стиль и орфография оригиналов.

но было бы разместить не одну лабораторию. Но почему-то вся проблема «уперлась» в недостроенный 8-й корпус.

В 1940-м году на территории завода № 191 началось строительство металлургического цеха (корпус 4). К началу войны удалось построить только его «коробку». В связи с переводом на завод №747 из Новосибирска Отраслевой вакуумной лаборатории (ОВЛ), согласно приказу НКЭП от 16 июня 1943 года (еще до того, как было принято решение об организации НИИ-160), необходимо было изыскать площади для ее размещения. Директор завода И.И. Каминский 7 июля издал приказ, по которому начальник технического отдела А.Г. Мишкин совместно с начальником ОВЛ С.А. Зусмановским до 12 июля должны были «составить проект размещения ОВЛ в металлургическом корпусе завода, план магистральных энергетических проводок и планировку установки оборудования первой очереди. Весь документаж по мере его выпуска передавать через ОКС заводу УВСП 30». По проектному заданию Гипроэнергопром спроектировал лабораторный корпус научной части, известный на «Истоке» как «старая наука». По этому проекту Главвоенпромстрой должен был закончить достройку и реконструкцию корпуса №8 в конце 1943 года. Но этого не произошло. В первом квартале 1944 г. темп работ еще более снизился. В результате лабораторный корпус и в 1945 г. считался одним из основных объектов строительства. В 1944 г. из его четырех этажей был сдан в эксплуатацию 4-й этаж и под монтаж технологического оборудования 3-й, 2-й этаж был подготовлен к окраске, а на 1-м еще велись строительные работы. К зиме корпус не успели подготовить. Из-за отсутствия у подрядчика стекла окна имели одинарное остекление и, как следствие, на трех этажах были разморожены все трубопроводы, водопровод и канализация. Только к середине 1944 г. появилась возможность перевести лабораторию № 5 во Фрязино. Но это произошло уже без Векшинского и Каминского. В мае они передали все дела В.И. Егiazарову - новому начальнику НИИ-160 и одновременно директору опытного завода № 747, назначенному на эту должность приказом наркома электропромышленности от 7 апреля 1944 года. С чем была связана эта замена руководства института?

Относительно С.А. Векшинского здесь все более или менее ясно. В конце 30-х годов он отошел от работ в области электровакуумных приборов и организовал лабораторию по исследованию сплавов переменного состава, которая в начале войны была эвакуирована из Ленинграда сначала во Фрязино, на завод № 191, а затем в Новосибирск. Соглашаясь на должность начальника НИИ-160, он думал перевести свою лабораторию во вновь организуемый институт. Но места на заводе № 747 не было. С большим трудом удалось найти несколько квадратных метров только для ОВЛ, а лабораторию, которой руководил Векшинский, временно приютил Московский электроламповый завод (МЭЛЗ). Для расширения научной части НИИ предполагалось включить в состав ОВЛ лабораторию генераторных ламп с МЭЛЗа. Все три лаборатории должны были разместиться в 8-м корпусе. Но достройка его затягивалась, а когда наконец был готов один этаж, его заняла лаборатория № 5. В результате все планы нарушились. В связи с этим Векшинский посчитал, что его функции как организатора научной части закончились, и он обращается в наркомат с просьбой о возвращении в свою лабораторию, из которой спустя некоторое время он создает Научно-исследовательский вакуумный институт.

Причины, по которым ушел с занимаемой должности И.И. Каминский, менее ясны. С одной стороны, его могли направить на восстановление «Светланы», так как в середине января 1943 г. была прорвана блокада Ленинграда, что позволило обеспечить город надежными коммуника-

циями со страной, а в конце февраля 1944 г. Ленинград был уже полностью освобожден от блокады. С другой стороны, в личном деле Каминского И.И. имеется справка, выданная заведующей амбулаторией завода № 747 Доброхотовой, о том, что «гражданин Каминский И.И. по состоянию своего здоровья может находиться в длительной командировке». В деле также находится автобиография, написанная Каминским 12 ноября 1943 года. Обычно подобные документы оформляются перед выездом за границу. 5 мая 1944 года Каминский и Векшинский подписывают приемосдаточный акт, в котором, в частности, говорится о том, что НКЭП, согласно постановлению ГКО от 23 сентября 1943 г., разрешает командировать в 1944 г. в Америку шестерых и в Англию четырех специалистов из НИИ-160 и опытного завода № 747, но в воспоминаниях А.Г. Мишкина среди командированных в Америку Каминского нет. Вполне возможно, он был туда направлен с другой группой.

Пришедший им на смену В.И. Егiazаров объединил в своем лице сразу две должности. В том, что начальник лаборатории с коллективом работающих менее 100 человек сразу стал руководителем такого крупного предприятия (если в 1944 г. на заводе № 465 работали 1581 человек, то в НИИ-160 с опытным заводом их было 2088) нет ничего удивительного. В то время это было в порядке вещей. Так, Д.Ф. Устинов, директор завода «Большевик», в 33 года (в 1941 г.) назначается наркомом вооружения. В 1940 г. секретарь Горьковского обкома ВКП(б) А.И. Шахурин назначается наркомом авиационной промышленности. Таких примеров можно привести множество. 7 апреля 1944 года 35-летний В.И. Егiazаров становится вторым в истории «Истока» директором. Владимир Иванович армянин, родился в 1908 г. в Ленинграде в семье служащего. В 1926 г. поступил в Ленинградский электротехнический институт имени В. Ульянова (Ленина), который окончил в 1930 году. С этого времени работал на заводе № 211 («Светлана»), сначала в качестве лаборанта, затем инженера и начальника лаборатории. В 1936 г. в составе группы специалистов завода «Светлана» был направлен в Америку на фирму RCA для ознакомления с производством электровакуумных приборов. Возвратился в СССР в 1937 году. В 1942 г. он руководит лабораторией № 5, а с апреля 1944 г. по октябрь 1945 г. работает начальником НИИ-160 и одновременно директором опытного завода. В дальнейшем В.И. Егiazаров был главным инженером 5-го Главного управления Министерства промышленности средств связи (МПСС).

Одним из первых приказов нового начальника был приказ о переводе лаборатории № 5 на территорию НИИ-160.

Секретно
Экз. № 1

П Р И К А З

ПО ИНСТИТУТУ №160

от 16 июля 1944 г.

Во исполнение приказа Народного Комиссариата Электропромышленности СССР за № Б-375с от 13 июля с/г.

П Р И К А З Ы В А Ю :

§ 1

Моему заместителю по научной части т. Зусмановскому С.А. 17/7 с/г представить мне на утверждение график перевода лаборатории № 5 на территорию Института № 160 со сроком с 20/7 сего года по 1/8 сего года.

§2

Представить 17/7 сего года перечень всех мероприятий, необходимых для обеспечения перевода лаборатории № 5 в указанные сроки и ее работы в институте в августе месяце с/г.

§3

По вопросу автотранспорта, горючего и смазочного для него договориться с зам. нач. 8-го Главного Управления НКЭП т. Гусевым А.Т.

§4

При выполнении перевода лаборатории № 5 на территорию НИИ-160 обеспечить полное выполнение производственной программы июля месяца по лаборатории № 5.

§5

Организовать размещение и пуск лаборатории № 5 в Институте № 160 с таким расчетом, чтобы выполнить план августа месяца сего года по локационным лампам.

Начальник института № 160
и директор опытного завода № 747

В.И. Егиазаров

За несколько дней все оборудование, материалы и полуфабрикаты для производства радиоламп были перевезены во Фрязино. Из переведенной лаборатории был образован цех, который вошел в структуру опытного завода как цех радиолокационных ламп. Одновременно в цехе приемно-усилительных ламп № 33 (создан в декабре 1943 г.) была организована одна линейка по производству локационных ламп. Начальнику цеха И.Е. Роговину в 1944 г. «за хорошую работу по налаживанию локационных ламп» была объявлена благодарность и выдана денежная премия. Два типа ламп выпускались также в цехе мощных генераторных ламп № 39. Когда руководитель опытного цеха Н.Д. Девятков в связи с болезнью вернулся в Москву, начальником цеха назначается И.Е. Роговин, который в январе 1946 г. был переведен в научную часть. В 1947 г. в составе цеха № 33 организуется опытно-экспериментальный цех № 4. К этому времени выпуск радиолокационных ламп был распределен по другим цехам опытного завода, а цех № 33 начал изготавливать электронно-лучевые трубки.

Производство опытного цеха разместили на четвертом этаже 8-го корпуса, но из-за отсутствия в поселке жилой площади сотрудники московского филиала НИИ-160 (около 65 человек) продолжали проживать в Москве. Тогда прямого сообщения Фрязино – Москва не было, и поэтому, как вспоминает Н.Д. Девятков: «...приходилось ехать на электричке до станции Болшево и там пересаживаться на кукушку – поезд из нескольких железнодорожных вагонов третьего класса, который ходил от Фрязино до Болшево и обратно четыре раза в сутки. Ходил он так: паровоз тащил состав до Ивантеевки, там ставил его в тупик, отцеплялся, перемещался, маневрируя по рельсам, к заднему вагону, который становился первым, прицеплялся и тащил поезд до станции Фрязино-Товарная. Все это делалось не торопясь, и поэтому на езду на «кукушке» от Болшево до Фрязино уходило не менее полутора часов». (Такая процедура продолжалась почти 20 лет, до середины 60-х годов, только вместо «кукушки» была электричка.) Утомительные, по четыре-пять часов, поездки во Фрязино и обратно не все могли выдержать. Спустя всего три месяца 58-летний откатчик лаборатории П.Е. Фетисов в заявлении на уволь-

нение, ссылаясь на плохое состояние здоровья из-за длительных поездок, пишет: «...прошу войти в мое положение, т. е. уволить меня не позднее числа 5-го ноября месяца, а иначе при таких условиях мои силы окончательно истекают». Руководство НИИ пошло навстречу просьбе Фетисова, и в конце ноября он был переведен в Москву, в НИИ-108. Транспортная проблема так же остро стояла и перед другими москвичами.

Эта и другие причины привели к тому, что всего через три года в НИИ-160 не осталось фактически ни одного сотрудника из бывшей лаборатории № 5. Из тех, кто работал в те годы на предприятии, удалось установить только 12 человек, не считая известных В.И. Егiazарова и Н.Д. Девяткова. В этот список вошли: Артемьев Н.Л., Бродский В.Б., Виноградов С.Н., Гурвич Г.З., Зысин Ю.А., Кнорре К.Г., Линдквист Б.В., Любимов М.Л., Никифоров С.М., Салтыков А.И., Трегубенко В.А., Фетисов П.Е. Из «долгожителей», помимо Н.Д. Девяткова, следует назвать М.Л. Любимова, который проработал на «Истоке» до своего выхода на пенсию в 1981 году. В 1967 году по собственному желанию был уволен с предприятия в порядке перевода А.И. Салтыков. В лаборатории на заводе № 465 он работал слесарем-механиком 7-го разряда.

Сотрудники «Истока» старшего поколения наверное помнят начальника лаборатории отд. 130 кандидата технических наук Н.Л. Артемьева. В январе 1956 г. он подает заявление, в котором пишет, что «в связи с отказом в предоставлении квартиры и учитывая создавшиеся взаимоотношения с начальником отдела Петренко (что делает для меня невозможным дальнейшую работу в отделе) прошу разрешение на перевод в НИИ п/я 4064 г. Москвы».

Вышеназванные сотрудники лаборатории № 5 оказались самыми стойкими, остальные же под тем или иным предлогом постарались перебраться в Москву. Двое: Бродский и Зысин – поступили в докторскую аспирантуру при ФИАН. Остальные устроились на различных предприятиях столицы. Только один – С.М. Никифоров вернулся в Ленинград на завод № 211. Таким образом, за какие-то два года производство радиоламп для станции орудийной наводки лишилось почти всех своих инженерно-технических работников, а также и первых его организаторов и руководителей. Через восемь месяцев покинет НИИ-160 Н.Д. Девятков по причине, как он сам пишет: «...в конце февраля у меня появились признаки экземы на лице. В марте врачи запретили мне ездить во Фрязино, так как я проходил курс лечения в Институте физиотерапии». Три года он будет работать в Лабораторно-конструкторском бюро в Берлине и вернется в НИИ-160 только в мае 1948 года. Чуть больше полутора лет будет начальником НИИ В.И. Егiazаров. В октябре 1945 г. он отправится в длительную командировку. Таким образом, весь состав разработчиков, производивших копирование английских радиоламп, дружно покинет НИИ-160, предоставив другим право решать все проблемы, связанные с их серийным производством. А проблемы были, и не малые. Вот что говорят некоторые документы о производственной деятельности НИИ в то время.

Декабрь 1944 года. Из отчетного доклада заместителя директора НИИ-160 К.И. Григорьева: «...план в ассортименте систематически не выполняется, и особенно по спецлампам. Брак за это время по заводу составил 3 млн рублей, или 13% к выпуску валовой продукции».

Февраль 1945 года. Из протокола партийного собрания: «Бюро ГК ВКП(б) считает необходимым поставить вопрос перед Народным Комиссаром электропромышленности СССР о замене главного инженера т. Бухарина, как не обеспечивающего техническое руководство, более сильным и подготовленным для этой работы товарищем».

Апрель 1945 года. Из протокола: «Есть успехи в области укрепления переведенной из Москвы лаборатории №5, теперь именуемой опытным цехом, который является пока единственным

цехом, в основном выпускающим локационные лампы. Вместе с переводом этой лаборатории во Фрязино институт принял на себя большую ответственность по освоению и выпуску новых изделий, выход которых был чрезвычайно низким. В 1944 году и в настоящее время мы еще не достигли нужного процента выхода».

Май 1945 года. Из постановления партийного собрания: «НИИ-160 ухудшил свою работу по сравнению с IV кварталом 1944 года по всем элементам производственных показателей. Брак вырос на 6,3%».

Октябрь 1945 года. Из приемосдаточного акта: «Производство новых локационных ламп не оснащено необходимым современным оборудованием. Изготовление их кустарно-ручное».

Февраль 1946 года. Из выступления заместителя Наркома электропромышленности СССР на собрании партхозактива: «За 1945 год – убытки, расходы по зарплате и брак такие, каких нет ни на одном заводе. Мы потеряли 11 млн рублей, а количество выпускаемых изделий очень незначительно. Производство работ значительно хуже, чем на других предприятиях наркомата...»

Работа НИИ-160 в 1945 г. была признана неудовлетворительной. План по готовым изделиям был выполнен всего на 71,6%, по ассортименту – на 62%. Себестоимость изделий превысила план на 34%, а потери от брака составили 35%. Так сказался на производственную деятельность НИИ перевод из Москвы лаборатории № 5 вместе с ее «сырыми» прототипами английских радиоламп.

В 1943 г. лаборатория должна была по плану обеспечить радиолампами 10 комплектов СОН, для чего в IV квартале она изготовила 6000 шт. приемно-усилительных и 400 генераторных ламп, 350 электронно-лучевых трубок, 2500 газоразрядных приборов. До конца же 1944 г. опытному заводу НИИ надо было выпустить 1,1 млн шт. ПУЛ, 60 тыс. генераторных ламп, 10 тыс. ЭЛТ, 6 тыс. газоразрядников. Из 55 типов ЭВП, выпускавшихся в 1944 году, 29 были предназначены специально для радиолокации. При этом многие из них требовали существенной доработки. Так, в плане НИР и ОКР на 1945 г. имелись темы, связанные с усовершенствованием конструкций и технологий ряда ЭВП этих типов, такие, как разработка технологии для серийного производства NT-99-D (генераторная лампа); то же для высокочастотных пентодов VR-136 и VR-137; усовершенствование технологии диода D-1-D; работы по усовершенствованию электронно-лучевой трубки ACR-1-D и т. д.

Пройдет почти два года напряженной работы опытного цеха совместно с другими подразделениями предприятия, прежде чем в июле 1947 г. комиссия МПСС в своем отчете напишет: «Значительную часть номенклатуры завода составляют радиолампы, предназначенные для радиолокационных установок устаревших типов (СОН-2от). План выпуска по этим лампам, за исключением электронно-лучевых трубок, опытным заводом перевыполняется, и уже в настоящее время имеется затоваривание на складе готовой продукции. Особенно это имеет место по типам NT-99-D, VT-98-D и Z-62-D». Последние сведения о станции орудийной наводки относятся к 1954 году, когда директор НИИ М.М. Федоров своим приказом ставит на вид начальнику цеха № 11 А.И. Овчинникову и начальнику по оборудованию Г.И. Грачеву за некомплектную отправку установки СОН-2, которая в качестве образца находилась на территории предприятия. Но фактически история станции закончилась в НИИ значительно раньше. Радиолокация уже давно перешла в область СВЧ-диапазона, ЭВП которого были значительно сложнее метровых радиоламп. И эти приборы должен был разрабатывать и выпускать НИИ-160.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

статей, опубликованных в течение 2007 г. в “СВЧ-технике” – первой серии научно-технического сборника “Электронная техника”

К 100-летию академика Николая Дмитриевича Девяткова. – Вып. 1(489). – С. 5-8.

Памяти Вадима Федоровича Коваленко. – Вып. 1(489). – С. 9-10.

Памяти Сергея Ивановича Реброва. – Вып. 4(492). – С. 4-6.

I. Автоматизированное проектирование

1. Абакумова Н.В., Васильев В.И., Зуева О.С., Мазанова О.Н., Мальцев В.А., Можяев А.А., Потапова Т.И., Самсонова И.В., Щербаков Ф.Е. – Проектирование фазового манипулятора на $p-i-n$ -диодах. – Вып. 3(491). – С. 20-25.

2. Бережнова П.В., Паиковский А.Б., Ратникова А.К., Лукашин В.М. – Оценка области нелокального тепловыделения в мощных гетероструктурных полевых транзисторах. – Вып. 4(492). – С. 21-24.

3. Дутышев И.Н. – Проектирование и расчет фильтров на четвертьволновых короткозамкнутых шпилечных резонаторах. – Вып. 5(493). – С. 21-30.

4. Красник В.А., Манченко Л.В., Паиковский А.Б., Потапова Т.И., Пчелин В.А. – Нелинейная модель полевых транзисторов с субмикронным затвором на гетероструктурах с селективным легированием. – Вып. 4(492). – С. 25-28.

II. Измерительная аппаратура

1. Абакумова Н.В., Пчелин В.А., Мальцев В.А., Зуева О.С., Мишук Е.В., Щербаков Ф.Е., Самсонова И.В. – Общий подход к измерению комплексных параметров двухполюсников и четырехполюсников на СВЧ. – Вып. 2(490). – С. 16-25.

III. Комплексированные изделия

1. Куприянов П.В. – Разработка и производство комплексированных широкополосных приемных устройств СВЧ. Основные принципы и подходы. – Вып. 3(491). – С. 10-19.

IV. Краткие сообщения

1. Иовдальский В.А., Федоров В.Ф., Григорьев С.В., Стренина Т.В., Лисицин А.А., Моргунов В.Г. – Улучшение электрических характеристик элементов приемопередающего модуля СВЧ-диапазона. – Вып. 2(490). – С. 42-47.

-
2. *Королев А.Н., Абакумова Н.В., Зуева О.С., Мальцев В.А., Морозов В.С., Самсонова И.В., Сафонова Е.О.* – Способ извлечения ртути из ртутных ламп. – Вып. 1(489). – С. 109-110.
 3. *Королев А.Н., Абакумова Н.В., Мицук Е.В., Мальцев В.А., Морозов В.С., Самсонова И.В., Сафонова Е.О.* – Очистка текстильных материалов с помощью СВЧ-энергии. – Вып. 1(489). – С. 107-108.
 4. *Кяргинский Б.Е.* – Генератор на двух транзисторах. – Вып. 3(491). – С. 26-31.

V. К 65-летию ФГУП «НПП «Исток»

1. *Попов Р.М.* – Лаборатория № 5 (Отрывок из книги «От НИИ-160 до «Истока»). – Вып. 5(493). – С. 39-49.
2. *Попов Р.М.* – Немецкий след в советской электронике. – Вып. 3(491). – С. 32-47.
3. *Попов Р.М.* – Под шифром «Кобальт». – Вып. 4(492). – С. 42-55.

VI. Медицинская электроника

1. *Андреев В.Е., Полников И.Г., Казаринов К.Д.* – Использование в биохимическом эксперименте явления межфазной конвекции в водных растворах при поглощении КВЧ-излучения. – Вып. 2(490). – С. 35-41.
2. *Борисенко Г.Г., Полников И.Г., Казаринов К.Д.* – Биологические мембраны – первичные мишени рецепции электромагнитных полей в медико-биологическом эксперименте. – Вып. 4(492). – С. 29-41.
3. *Борисенко Г.Г., Полников И.Г., Казаринов К.Д.* – Использование гидродинамической неустойчивости при микроволновом облучении жидких сред в биохимическом эксперименте. – Вып. 1(489). – С. 98-106.
4. *Казаринов К.Д.* – Определение диэлектрических характеристик водных растворов и суспензий клеток с помощью волноводно-диэлектрического резонатора. – Вып. 5(493). – С. 31-38.

VII. Применение электронных приборов

1. *Белугин В.М., Ветров В.В., Елян В.В., Мищенко А.В., Пироженко В.М., Розанов Н.Е., Ситников В.М., Сычев Б.С., Королев А.Н., Симонов К.Г., Кокоровец Ю.Я., Свищ В.М., Шумейко Н.А., Яценко С.Я., Рыжиков В.Д.* – Рентгенографический комплекс «Полискан-3» для контроля содержимого морских контейнеров и большегрузных автомобилей. – Вып. 1(489). – С. 11-19.
2. *Духновский М.П., Гагарин С.В., Петров А.И., Федоров Ю.Ю.* – Влияние на стойкость к воздействию дозы гамма-излучения электрического режима полевых переключательных транзисторов. – Вып. 1(489). – С. 20-24.
3. *Урсуляк Н.Д., Семенов М.Г., Василевский В.А., Мясников А.В., Яркин А.В.* – Ферритовые волноводные и микрополосковые СВЧ-приборы с дополнительными требованиями. – Вып. 2(490). – С. 26-34.

VIII. Твердотельные приборы

1. *Аверин В.В., Гудкова Н.Б., Мицук Е.В., Темнов А.М.* – Модернизация бескорпусных диодов СВЧ. – Вып. 1(489). – С. 46-49.
2. *Бабинцев Д.В., Королев А.Н., Красник В.А., Климова А.В., Лапин В.Г., Малыщук В.М., Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б., Язан В.Ю.* – Транзисторный импульсный усилитель с выходной мощностью 9...11 Вт в диапазоне частот 15,9...16,4 ГГц. – Вып. 1(489). – С. 25-32.
3. *Богданов Ю.М., Красник В.А., Лапин В.Г., Лукьянов В.А., Темнов А.М., Петров К.И., Самсонова И.В.* – Ряды устройств для преобразования частоты на основе многофункциональной GaAs МИС. – Вып. 1(489). – С. 50-57.
4. *Богданов Ю.М., Лапин В.Г., Темнов А.М., Щербаков Ф.Е.* – Монолитный двухпозиционный переключатель для диапазона частот 0,5...18 ГГц, согласованный по всем каналам. – Вып. 1(489). – С. 33-37.
5. *Васильев Я.О., Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б.* – Усилители мощности для АФАР X-диапазона в ГИС-исполнении. – Вып. 4(492). – С. 13-16.
6. *Гудкова Н.Б., Зуева О.С., Самсонова И.В., Юсупова Н.И., Мазанова О.Н., Мальцев В.А., Балыко А.К.* – Методика определения параметров модели диодов СВЧ. – Вып. 1(489). – С. 80-86.
7. *Гудков В.А., Мокеев А.С., Земляков В.Е., Васильев В.И., Растегаев В.П., Шаповал С.Ю.* – Полевой транзистор с затвором Шотки на основе 4H-SiC и оценка его СВЧ-характеристик. – Вып. 3(491). – С. 3-9.
8. *Дутышев И.Н.* – 100-ваттный усилитель мощности с уменьшенным уровнем интермодуляционных искажений и защитой выходных транзисторов от пробоя при работе в двухсигнальном режиме. – Вып. 4(492). – С. 7-12.
9. *Иовдальский В.А.* – Концепция применения металлических вставок в диэлектрической подложке ГИС СВЧ. – Вып. 1(489). – С. 58-69.
10. *Иовдальский В.А., Пелипец О.В., Зубков Н.П., Ковалев В.И.* – Исследование состава алмазоподобных пленок углерода, используемых в изделиях микроэлектроники. – Вып. 1(489). – С. 70-79.
11. *Иовдальский В.А.* – Эволюция конструкции типовых фрагментов ГИС СВЧ-диапазона. – Вып. 1(489). – С. 38-45.
12. *Мартынов Я.Б., Погорелова Э.В.* – Влияние качества подложки на характеристики субмикронных полевых транзисторов. – Вып. 5(493). – С. 3-10.
13. *Пашковский А.Б.* – Квантовые переходы между расщепленными уровнями симметричных трехбарьерных структур в неоднородных полях. – Вып. 4(492). – С. 17-20.

IX. Электровакуумные приборы

1. *Галдецкий А.В., Голеницкий И.И., Духина Н.Г., Сапрынская Л.А.* – Многолучевая пушка, формирующая криволинейные электронные лучи с высокой сходимостью. – Вып. 5(493). – С. 17-20.
2. *Галдецкий А.В.* – О генерации сверхкоротких видеоимпульсов сгруппированным электронным пучком. – Вып. 5(493). – С. 11-16.

-
3. Плешанов С.А., Журавлева О.В., Иванов А.В., Курносов В.Д., Курносов К.В., Мустафин И.Р., Симаков В.А., Чернов Р.В. – Спектрально-модовые закономерности генерации компактного одночастотного излучателя, перестраиваемого в области D_2 -линии цезия. – Вып. 2(490). – С. 3-15.
4. Плешанов С.А., Самарцев И.И., Турутин Ю.А. – Цезиевая атомно-лучевая трубка с оптической селекцией атомных состояний на входе в СВЧ-резонатор. – Вып. 1(489). – С. 87-92.
5. Щелкунов Г.П. – Группа новых СВЧ-приборов для генерации рентгеновского излучения и их применение. – Вып. 1(489). – С. 93-97.
-

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

авторов, опубликовавших свои работы в “СВЧ-технике” - первой серии научно-технического сборника “Электронная техника” в течение 2007 г.

Цифры, стоящие рядом с фамилией автора, показывают: первая (римская) – номер раздела тематического указателя, в котором помещена статья, вторая (арабская) – порядковый номер статьи в соответствующем разделе.

Абакумова Н.В. I.1; II.1; IV.2, 3

Аверин В.В. VIII.1

Андреев В.Е. VI.1

Бабинцев Д.В. VIII.2

Балыко А.К. VIII.6

Белугин В.М. VII.1

Бережнова П.В. I.2

Богданов Ю.М. VIII.3, 4

Борисенко Г.Г. VI.2, 3

Василевский В.А. VII.3

Васильев В.И. I.1; VII.7

Васильев Я.О. VIII.5

Ветров В.В. VII.1

Гагарин С.В. VII.2

Галдецкий А.В. IX.1, 2

Голеницкий И.И. IX.1

Григорьев С.В. IV.1

Гудкова Н.Б. VIII.1, 6

Гудков В.А. VIII.7

Дутышев И.Н. I.3; VIII.8

Духина Н.Г. IX.1

Духновский М.П. VII.2

Елян В.В. VII.1

Журавлева О.В. IX.3

Земляков В.Е. VIII.7

Зубков Н.П. VIII.10

Зуева О.С. I.1; II.1; IV.2; VIII.6

Иванов А.В. IX.3

Иовдальский В.А. IV.1; VIII.9, 10, 11

Казаринов К.Д. VI.1, 2, 3, 4

Климова А.В. VIII.2

Ковалев В.И. VIII.10

Кокоровец Ю.Я. VII.1

Королев А.Н. IV.2, 3; VII.1; VIII.2

Красник В.А. I.4; VIII.2, 3

Куприянов П.В. III.1

Курносов В.Д. IX.3

Курносов К.В. IX.3

Кяргинский Б.Е. IV.4

Лапин В.Г. VIII.2, 3, 4

Лисицин А.А. IV.1

Лукашин В.М. I.2

Лукьянов В.А. VIII.3

Мазанова О.Н. I.1; VIII.6

Мальшиц В.М. VIII.2
Мальцев В.А. I.1; II.1; IV.2, 3; VIII.6
Манченко Л.В. I.4; VIII.2, 5
Мартынов Я.Б. VIII.12
Мицук Е.В. II.1; IV.3; VIII.1
Мищенко А.В. VII.1
Можжаев А.А. I.1
Мокеев А.С. VIII.7
Моргунов В.Г. IV.1
Морозов В.С. IV.2, 3
Мустафин И.Р. IX.3
Мясников А.В. VII.3
Паиковский А.Б. I.2, 4; VIII.13
Пелипец О.В. VIII.10
Петров А.И. VII.2
Петров К.И. VIII.3
Пироженко В.М. VII.1
Плешанов С.А. IX.3, 4
Погорелова Э.В. VIII.12
Полников И.Г. VI.1, 2, 3
Попов Р.М. V.1, 2, 3
Потапова Т.И. I.1, 4
Пчелин В.А. I.4; II.1; VIII.2, 5
Растегаев В.П. VIII.7
Ратникова А.К. I.2
Розанов Н.Е. VII.1
Рыжиков В.Д. VII.1

Самарцев И.И. IX.4
Самсонова И.В. I.1; II.1; IV.2, 3; VIII.3, 6
Сапрынская Л.А. IX.1
Сафонова Е.О. IV.2, 3
Свиц В.М. VII.1
Семенов М.Г. VII.3
Симаков В.А. IX.3
Симонов К.Г. VII.1
Ситников В.М. VII.1
Стренина Т.В. IV.1
Сычев Б.С. VII.1
Темнов А.М. VIII.1, 3, 4
Трегубов В.Б. VIII.2, 5
Турутин Ю.А. IX.4
Урсуляк Н.Д. VII.3
Федоров В.Ф. IV.1
Федоров Ю.Ю. VII.2
Чернов Р.В. IX.3
Шаповал С.Ю. VIII.7
Шумейко Н.А. VII.1
Щелкунов Г.П. IX.5
Щербаков Ф.Е. I.1; II.1; VIII.4
Юсупова Н.И. VIII.6
Язан В.Ю. VIII.2
Яркин А.В. VII.3
Яценко С.Я. VII.1

КАТАЛОГ
информационных изданий на 2008 г.

Проводится подписка на следующие виды изданий:

- «Электронная техника», серия 1 «СВЧ-техника» (4 вып. в год). Стоимость подписки – 1180 руб., включая НДС (18 %).

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77-24651 от 6 июня 2006 г.) и включен в перечень ВАК (перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук)

- «Новости СВЧ-техники» – информационный сборник (12 вып. в год). Стоимость подписки – 1180 руб., включая НДС (18 %).

Для оформления подписки необходимо произвести оплату по указанным ниже банковским реквизитам:

ФГУП «НПП «Исток», ИНН 5052002576, р/с 40502810640480100019,
«Сбербанк России» г. Москва, БИК 044525225, к/с 30101810400000000225,
ОКПО 07622667, ОКОНХ 95120, КПП 509950001, ОСБ 2575 г. Щелково

и выслать копию платежного поручения и бланк-заказ по адресу:

141190, г. Фрязино, Московская обл., ул. Вокзальная, 2а,
ФГУП «НПП «Исток», НИО-100; тел./факс: (495)465-86-12.

Счет-фактура высылается заказчику после получения оформленных документов на подписку.

ЗАКАЗ

Прошу принять подписку на «_____» на 2008 г. и направлять по адресу:

Куда _____
(почтовый индекс, адрес)

Кому _____
(название организации)

Заказ оплачен платежным поручением № _____ дата _____
на сумму _____ за _____ экз.

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1

«СВЧ-ТЕХНИКА»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Редактор Хоточкина Л.Н.

Компьютерная верстка Земскова Л.А.

Коррекция рисунков Лазарева Т.В.

Подписано к печати	Усл. п. л. 6,75	Формат 60×88 ^{1/8}
26.12.2007 г.	Уч.-изд. л. 7,25	Тираж 200
Заказ № 590	Индекс 36292	6 статей

ФГУП «НПП «Исток» 141190, г.Фрязино, Московская обл., ул.Вокзальная, 2а
Тел.: (495)465-86-12. Факс: (495)465-86-12
E-mail: istok-info@flexuser.ru