

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1
СВЧ-ТЕХНИКА
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 3 (491)

2007

Издается с 1950 г.

Главный редактор
д.т.н. **А.Н. Королев**

Редакционная коллегия:

д.т.н. **С.И. Ребров** (зам. главного редактора),
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.)

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

СОДЕРЖАНИЕ

Выпуск 3(491)

2007

Твердотельная электроника

- 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 3

Комплексированные изделия

- Куприянов П.В.* – Разработка и производство комплексированных широкополосных приемных устройств СВЧ. Основные принципы и подходы 10

Автоматизированное проектирование

- 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 20

Краткие сообщения

- Кяргинский Б.Е.* – Генератор на двух транзисторах 26

К 65-летию ФГУП «НПП «Исток»

- Попов Р.М.* – Немецкий след в советской электронике 32

Журнал «Электронная техника», Сер. 1, «СВЧ-техника» 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.

Редакция июль 2007 г.)

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 3(491)

2007

Founded in 1950

Solid-state electronics

Gudkov V.A., Mokeev A.S., Zemlyakov V.E., Vasilyev V.I., Rastegaev V.P., Shapoval S.Yu. –
MESFET based on 4H-SiC and evaluation of its microwave characteristics..... 3

Complex devices

Kupriyanov P.V. – Development and production of complex microwave wideband receivers.
Main principles and approaches 10

Automated design

*Abakumova N.V., Vasilyev V.I., Zueva O.S., Mazanova O.N., Maltsev V.A., Mozhaev A.A.,
Potapova T.I., Samsonova I.V., Shcherbakov F.E.* – The designing of phase manipulator
on $p-i-n$ -diodes..... 20

Short information

Kyarginskij B.E. – Oscillator on two transistors 26

To the 65-th anniversary of FSUE RPC "Istok"

Popov R.M. – German trace in Soviet electronics 32

ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.382.323

ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С ЗАТВОРОМ ШОТКИ НА ОСНОВЕ 4H-SiC И ОЦЕНКА ЕГО СВЧ-ХАРАКТЕРИСТИК

В. А. Гудков, А. С. Мокеев, В. Е. Земляков, В. И. Васильев

ФГУП «НПП»Исток», г. Фрязино

В. П. Растегаев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

С. Ю. Шаповал

ИПТМ РАН, г. Черноголовка

На основе полуизолирующей подложки 4H-SiC, разработанной и изготовленной в СПГЭТУ «ЛЭТИ», созданы образцы полевых транзисторов с затвором Шотки. Проведена оценка статических характеристик полученных ПТШ и их быстродействия. На основании измерений S -параметров показано, что транзистор с длиной затвора 1...1,3 мкм и шириной 300 мкм при оптимальном согласовании способен работать в СВЧ-диапазоне и имеет $f_{\max} > 2,5$ ГГц.

Based on semi-insulating substrate 4H-SiC, developed and manufactured in "LETI", MESFET samples were made. The assessment of static characteristics of the obtained MESFETs and their speed of response was provided. On the basis of S -parameters measurement it was shown that the transistor with 1...1.3 mm gate length and 300 mm width when optimally matched is able to work in microwave range with $f_{\max} > 2.5$ GHz.

1. ВВЕДЕНИЕ

В течение последних 10 лет за рубежом наблюдается существенный прогресс в области разработки и изготовления приборов на основе карбида кремния, в том числе приборов СВЧ-диапазона [1-3]. Эти достижения стали возможны благодаря серьезному улучшению качества монокристаллов и эпитаксиальных структур карбида кремния, достигнутого за рубежом, и прежде всего фирмой «Cree Research» [4]. Эта фирма, ставшая основным производителем полупроводникового карбида кремния, имеет также большие успехи в разработке различного типа приборов на этом материале. В последнее время «Cree Research» начала активно продвигать свою продукцию на рынок в виде корпусированных приборов и полуфабрикатов – приборов на пластине или отдельных кристаллов – чипов. Идет поиск партнеров, в том числе и в России, для

организации «отверточного» производства – сборки готовых карбидокремниевых чипов в корпусе [5]. На рынке появились зарубежные промышленные образцы силовых диодов с барьером Шотки и мощных ПТШ СВЧ-диапазона из карбида кремния, которые используются в разработках СВЧ-устройств [6].

Значительное отставание качества отечественного полупроводникового карбида кремния и небольшие объемы его экспериментального производства определили не только более низкий уровень отечественных разработок полупроводниковых приборов на этом материале, но в ряде случаев привели к потере интереса к карбиду кремния как со стороны разработчиков полупроводниковых приборов, так и со стороны потенциальных заказчиков. Последнее связано также с успехами и еще более радужными перспективами в области разработок приборов на основе таких материалов, как нитрид галлия, алмаз и им подобных.

Тем не менее прогресс в области технологии изготовления монокристаллов карбида кремния имеет место и в России [7], и это позволяет продолжать работы по созданию различных приборов на этом материале.

Настоящее сообщение посвящено оценке возможности изготовления высокочастотного полевого транзистора с барьером Шотки на основе отечественного карбида кремния и определению его характеристик.

Хорошо известно, что среди большого количества политипов карбида кремния наиболее выгодным для изготовления ПТШ является политип 4Н, обладающий максимальной подвижностью электронов. А для изготовления высокочастотных ПТШ желательно иметь эпитаксиальные структуры, выращенные на полуизолирующих подложках.

Такие подложки были изготовлены в СПГЭТУ «ЛЭТИ». Пластины полуизолирующего 4Н-SiC имели удельное сопротивление более 10^5 Ом·см и диаметр 20...25 мм.

2. МЕТОДИКА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ПТШ

Для изготовления был использован тестовый вариант конструкции ПТШ с длиной затвора 1...1,3 мкм и общей шириной 300 мкм (два «пальца» по 150 мкм). Топология транзистора и его поперечное сечение приведены на рис. 1.

Эпитаксиальный слой *n*-типа был выращен на Si-границе полуизолирующих пластин 4Н-SiC из газовой фазы, содержащей метилтрихлорсилан с толуолом в водороде, при температуре около 1650 °С. Толщина слоя определялась шаровым шлифом и составляла 0,25...0,3 мкм. Концентрация носителей заряда в пленке была определена из вольт-фарадной характеристики напыленных никелевых барьеров и составила около $2 \cdot 10^{17}$ см⁻³. Характерный профиль легирования эпитаксиальной пленки приведен на рис. 2.

Мезаструктуры изготавливались путем плазмохимического травления в смеси CF₄+O₂. Маской служила напыленная пленка алюминия толщиной до 1 мкм. Полнота травления проводящей эпитаксиальной пленки контролировалась по току утечки между соседними мезаструктурами. Изменение тока утечки в процессе травления приведено на рис. 3.

С помощью фоторезистивной маски формировались окна под приконтактные *n*⁺-области стока и истока, в которые имплантировались ионы N⁺ с дозой 800 мкКл/см² и энергией 40 кэВ. Активационный отжиг проводился с защитной маской в инертной атмосфере быстрым нагревом до температуры 1750 °С [8].

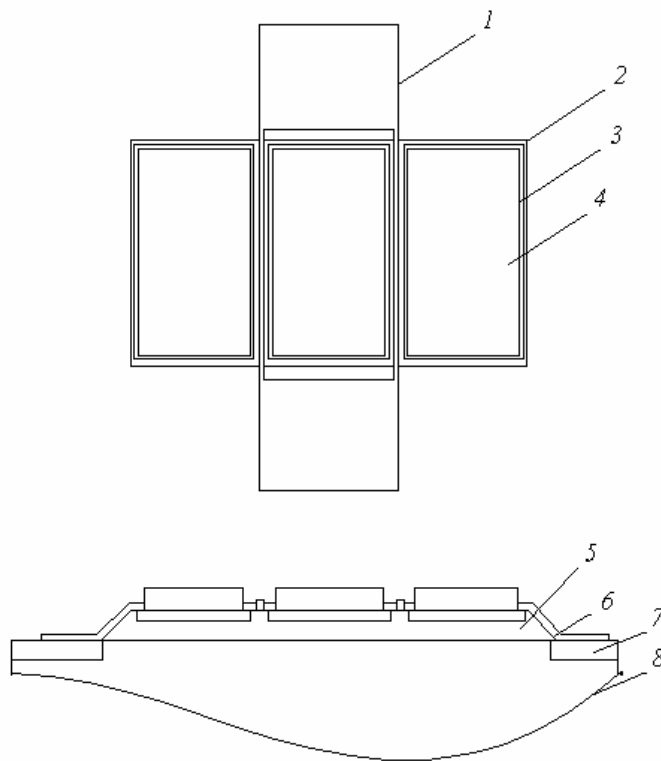


Рис. 1. Топология и сечение карбидокремниевого транзистора:
 1 – затворная металлизация; 2 – граница мезаструктуры; 3 – n^+ -область; 4 – металлизация истока; 5 – n -эпитаксиальная пленка; 6 – диэлектрическое покрытие; 7 – пассивированная область; 8 – полуизолирующая подложка

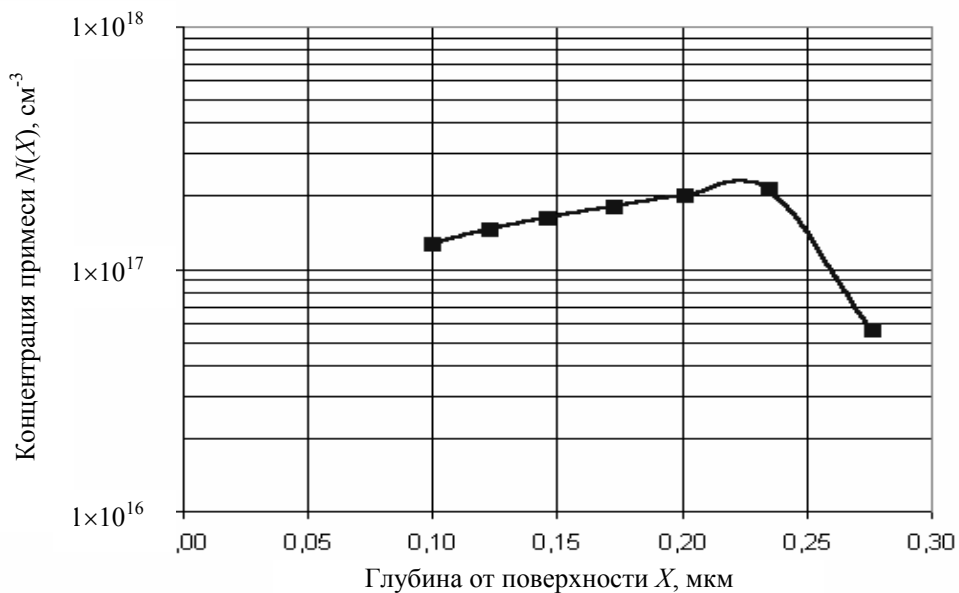


Рис. 2. Характерный профиль легирования n -эпитаксиальной пленки, выращенной на полуизолирующей подложке 4H-SiC

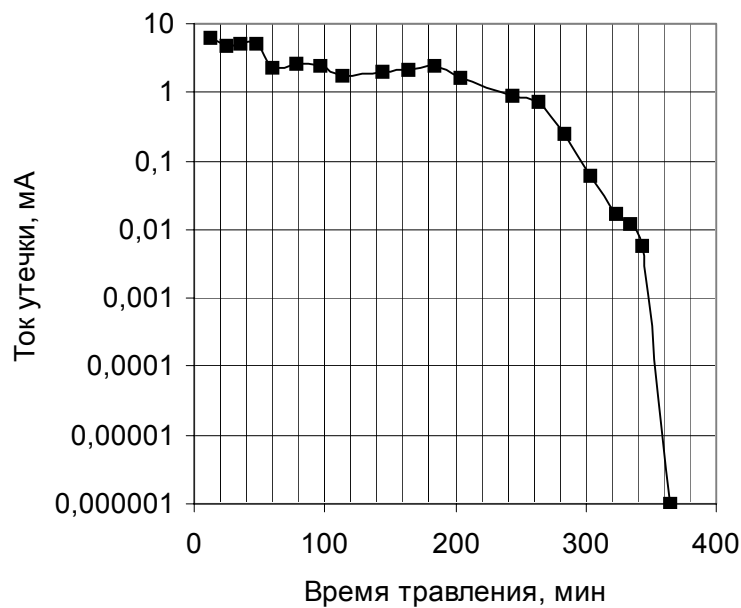


Рис. 3. Изменение тока утечки между соседними «мезами» в процессе травления мезаструктур

Омические контакты к n^+ -областям стока и истока были изготовлены из Al напылением и прямой фотолитографией. Дополнительному вжиганию контакты не подвергались. Было установлено, что ионное подлегирование обеспечивает на Si-границе омический контакт с рядом металлов, в том числе с Al, причем контактное сопротивление лишь немного уступает значениям, достигаемым за счет вжигания металлизации при температуре до 1000 °C.

После проведения активационного отжига между мезаструктурами появлялась заметная поверхностная проводимость. Для ее устранения площадь вокруг мезаструктур дополнительно подвергалась ионной пассивации с использованием небольшой дозы ионов B^+ через фоторезистивную маску.

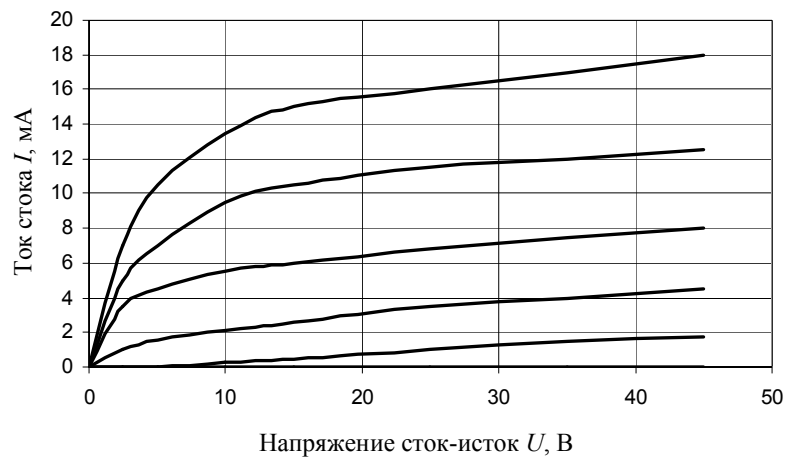
Никелевые затворы транзисторов формировались взрывной фотолитографией и имели ширину полос 1...1,3 мкм. Полученная конструкция закрывалась диэлектриком - слоем выращенного в плазме оксинитрида кремния, на который через соответствующие окна наносился слой более толстой Al-металлизации для последующего монтажа в корпус.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРА

Семейство статических характеристик транзистора приведено на рис. 4.

Наблюдаемая ВАХ показывает характерную особенность карбидокремниевых ПТШ – высокое напряжение пробоя (свыше 50 В). Пробивное напряжение затвора доходило до 150 В, а ток утечки при напряжении 100 В составлял единицы микроампер (рис. 5). Крутизна характеристики и ток насыщения соответствовали параметрам эпитаксиальной структуры и геометрическим характеристикам топологии транзистора. Ток отсечки не превышал 1 мкА, что подтверждает отсутствие заметной раскомпенсации материала подложки после воздействия технологических факторов в процессе изготовления прибора.

Рис. 4. Семейство статических ВАХ карбидокремниевого ПТШ (ступенчатое напряжение на затворе - 2 В/ступ.)



Предварительная оценка быстродействия транзистора проводилась по смещению фронтов входного и выходного сигналов (рис. 6) с использованием генератора импульсов Г5-53 и осциллографа С1-114/1.

Как видно из рис. 6, смещение переднего и заднего фронтов выходного импульса относительно входного составило 10 нс, что примерно совпадает с постоянной времени используемой измерительной схемы. Таким образом, полученный оценочный результат говорит о том, что быстродействие транзистора не превышает 10 нс.

Относительно небольшой ток насыщения, невысокая крутизна и значительное сопротивление открытого канала, включая контактные сопротивления стока и истока, не позволяют применять данный транзистор для усиления напряжения на высоких частотах. Тем не менее измерения S -параметров, проведенные на образце, смонтированном в стандартный корпус, показывают возможность реализации усилительных свойств транзистора в СВЧ-диапазоне при оптимальном согласовании (рис. 7).

Полученные результаты сравнимы с результатами работы [9], в которой карбидокремниевый СВЧ ПТШ изготовлен с использованием двух операций электронной

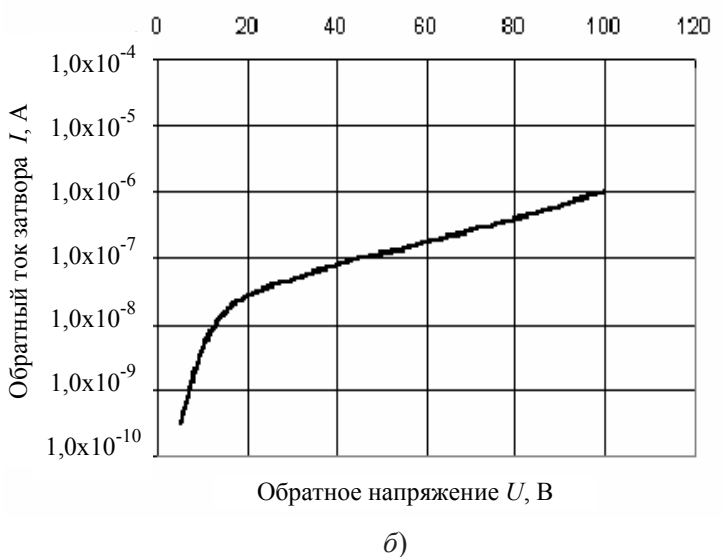


Рис. 5. Вольт-амперные характеристики затвора SiC ПТШ

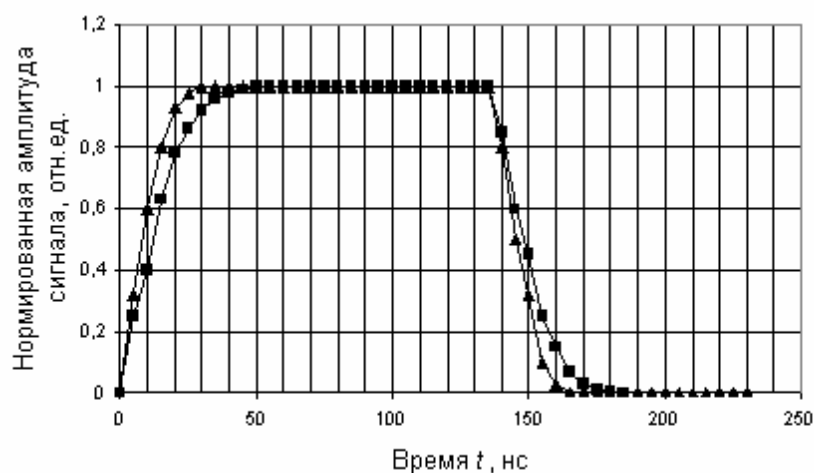


Рис. 6. Формы входного $U_{вх}$ (—▲—) и выходного $U_{вых}$ (—■—) импульсов при сопротивлении нагрузки в цепи стока $R_n = 300$ Ом и нормированной амплитуде импульсов

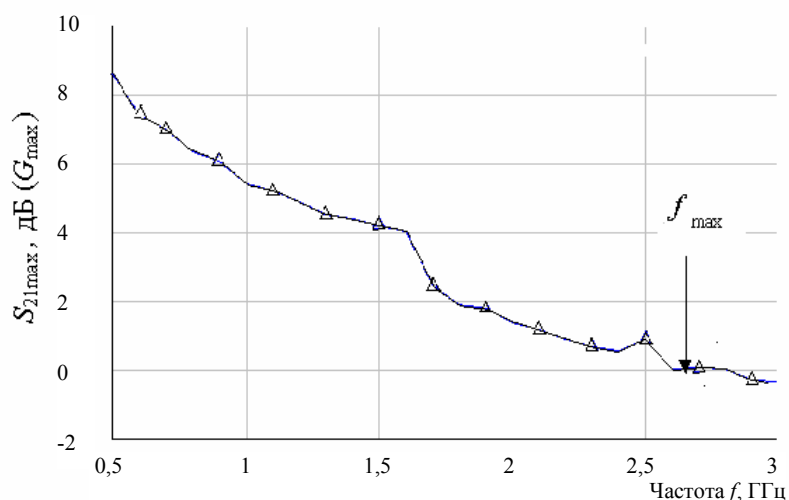


Рис. 7. Максимально возможное усиление SiC ПТШ (S_{21max}) в полосе частот при оптимальном согласовании

и четырех операций оптической литографий (в настоящей работе применялась только оптическая литография). Это позволяет сделать вывод о пригодности использованного отечественного полуизолирующего карбида кремния и разработанных технологических приемов для изготовления СВЧ ПТШ. Существующие возможности по улучшению конструкции и технологии транзистора относительно варианта, использованного в настоящей работе (например, четырехкратное уменьшение длины затвора), обеспечат создание карбидокремниевых ПТШ, сравнимых по своим параметрам с современными зарубежными образцами.

ЛИТЕРАТУРА

1. 4H-SiC MESFET with 2.8 W/mm power density at 1.8 GHz / *C.E. Weitzel, J.W. Palmour, C.H. Carter, K.J. Nordquist* // IEEE Electron Device Letters. – 1994. – Vol. 15, No 10. – P. 406-408.
2. 4H-SiC MESFETs with 42 GHz f_{\max} / *S. Sriram et al.* // IEEE Electron Device Letters. – 1996. – Vol.17, No 7. – P. 369-371.
3. Fabrication and characterization of 4H-SiC planar MESFETs / *H.J. Na, J.H. Moon, J.H. Yim et al.* // Microelectronic Engineering. – Vol.83. – P.160-164.
4. Silicon carbide substrates. Product Specifications. – www.cree.com.
5. Электронные компоненты «ПРОСОФТ» // Аналоговая, силовая и СВЧ электроника: Каталог. – 2006/07. – С. 27-32.
6. *Кищинский А.А.* Усилители мощности диапазона 0,8-2,5 ГГц на SiC-транзисторах // Microwave & Telecommunication Technology: Proc. of 16-th Int. Crimean Conference. – 2006. – P. 171-172.
7. *Reshanov S.A., Rastegaev V.P.* Photoconductivity of semi-insulating SiC (V,Al) // Diamond and Related Materials. – 2001. – Vol.10. – P. 2035-2038.
8. *Гудков В.А., Крысов Г.А., Макаров В.В.* Исследование влияния режимов ионной имплантации и отжига карбида кремния на кристаллическую структуру и сопротивление слоев *p*-типа проводимости // ФТП. – 1984. – Т.18, вып. 6. – С. 1098-1100.
9. Пат. 5270554 США. High power high frequency metal-semiconductor field-effect transistor formed in silicon carbide / *J.W. Palmour*. 1993.

Статья поступила 13 марта 2007 г.

=== НОВЫЕ КНИГИ ===

ПЕТУХОВ В.М. Взаимозаменяемые транзисторы. Справочник. - М.: ИП Радио-Софт, 2007. - 384 с.

Книга представляет собой исправленное и расширенное издание справочника «Аналоги отечественных и зарубежных транзисторов». Для удобства работы с изданием приводятся прямой (отечественный прибор - зарубежный аналог) и обратный (зарубежный прибор - отечественный аналог) перечни приборов, построенные в алфавитно-цифровой последовательности.

Для инженерно-технических работников, занимающихся разработкой, эксплуатацией и ремонтом радиоэлектронной аппаратуры.

КОМПЛЕКСИРОВАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

УДК 621.396.62.029.64

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ СВЧ. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ

П. В. Куприянов

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Представлены принципы проектирования, а также основные подходы к организации производства сложных многомодульных комплексированных изделий – широкополосных приемных устройств СВЧ. Особое внимание уделено проблеме оптимизации различных стадий разработки и производства комплексированных изделий СВЧ с целью повышения технико-экономической эффективности конечной продукции.

Both design principles and main approaches to arrange production of complex multimodule devices – microwave wideband receivers - are presented. The problem of optimization of different stages of development and production of complex microwave devices is being focused on in order to increase technical and economic effectiveness of the end product.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные широкополосные приемные устройства (ШПУ) СВЧ представляют собой сложные многомодульные радиоэлектронные изделия, характеризующиеся многооктавной полосой рабочих частот, большим динамическим диапазоном входных сигналов, малыми фазовыми шумами и рядом других параметров. В состав ШПУ входят усилительно-преобразовательные, генераторные, умножительные, коммутационные и другие модули СВЧ, а также источники вторичного электропитания, устройства управления и т.п. Более подробно ШПУ СВЧ с расширенным динамическим диапазоном рассмотрены в [1, 2].

Проблемы разработки и производства такой сложной, наукоемкой продукции представляют интерес как с научно-технической, так и с экономической точки зрения. Актуальность темы статьи обусловлена современными реальностями, которые диктуют необходимость создания высококачественной радиоэлектронной аппаратуры в короткие сроки при ограниченных финансовых и других ресурсах.

2. ИСТОРИЯ ВОПРОСА, ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Термин «комплексированные изделия» был впервые предложен более тридцати лет назад Э.А. Гельвичем и С.И. Ребровым в ходе проведения комплекса работ по снижению массогабаритных параметров бортовой СВЧ-аппаратуры [3]. В то время господствовала обезличен-

ная методология создания радиоэлектронной аппаратуры СВЧ, которая основывалась на том, что параметры входящих составных частей должны были обеспечивать требуемые параметры изделия в целом при их сопряжении по принципу «любой с любым», как принято в низкочастотной технике. На СВЧ, в условиях мелкосерийного производства это оказалось проблематичным по ряду причин физического и технологического характера:

- значительный разброс параметров входящих составных частей, приводящий к необходимости создания соответствующих конструктивно-технологических запасов;
- необходимость наличия дополнительных регулирующих элементов в составе аппаратуры;
- ограниченные возможности комплексной регулировки в составе аппаратуры, связанные с отсутствием механизма оптимизации параметров входящих СВЧ-приборов и устройств.

Следствием этого было неоправданное усложнение конструкций входящих составных частей и аппаратуры в целом. В результате пришло понимание целесообразности более глубокой функциональной и конструктивной интеграции СВЧ-приборов и узлов в составе изделия. Этот процесс получил название «комплексирование», а создаваемые в результате СВЧ-устройства – «комплексированные изделия», или сокращенно КИ.

Согласно приведенному в [4] определению, КИ СВЧ представляет собой взаимозаменяемое с однотипным устройство, состоящее из двух или более активных электронных приборов и пассивных СВЧ-элементов, функционально и конструктивно сопряженных между собой. За счет селективного согласования параметров приборов и элементов при производстве КИ достигается оптимальный режим работы, ведущий к повышению технических и эксплуатационных характеристик.

Такой подход существенно облегчил сопряжение СВЧ-устройств с радиоэлектронной аппаратурой и обеспечил существенный выигрыш в массогабаритных, надежности и других характеристиках соответствующих радиоэлектронных комплексов, и достаточно широко распространен до настоящего времени.

ШПУ СВЧ соответствуют приведенному выше определению КИ по формальным признакам, так как состоит из большого числа функционально и конструктивно сопряженных между собой модулей. Селективное согласование элементов является одним из способов достижения требуемых параметров изделия в целом. Модули, составляющие ШПУ, в общем случае не взаимозаменяемы в условиях эксплуатации, что также соответствует определению КИ СВЧ, приведенному в [4].

Таким образом, ШПУ СВЧ представляет собой не что иное, как твердотельное широкополосное КИ СВЧ.

3. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ШПУ СВЧ

Основной особенностью комплексирования, определяющей как достоинства метода, так и его недостатки, является индивидуальный подход к созданию каждого изделия. Вследствие этого увеличивается трудоемкость производства, появляются более высокие требования к квалификации производственного персонала и стендовому оборудованию, что, в свою очередь, приводит к существенному увеличению стоимости продукции. Далее будет показано, что ком-

плексирование наиболее оправдано при единичном производстве сложной, наукоемкой продукции, в частности КИ СВЧ с высокими требованиями назначения. При переходе к мелкосерийному производству применение методологии комплексирования также может быть эффективно. С одной стороны, при увеличении размера выборки элементов КИ увеличивается вероятность их оптимального сопряжения [4]. С другой стороны, дальнейшее увеличение серии может привести к тому, что преимущества комплексирования будут возмещены сопутствующими факторами, присущими индивидуальному подходу к производству каждого изделия. Кроме технико-экономической эффективности производства, которая должна оцениваться в каждом конкретном случае, применение методологии комплексирования может ограничиваться имеющимися ресурсами производственного персонала требуемой квалификации и необходимого стенового оборудования.

На современном этапе производство ШПУ СВЧ можно охарактеризовать как единичное или мелкосерийное неритмичное, притом, что требования назначения, и в т.ч. технические требования, достаточно высоки. В связи с этим применение методологии комплексирования при создании указанных устройств представляется вполне оправданным.

В отличие от КИ на основе вакуумных СВЧ-приборов, ШПУ СВЧ имеют некоторые существенные особенности. Входящие в состав ШПУ СВЧ твердотельные узлы и модули, как правило, не имеют внутренних регулировок, способствующих их селективному согласованию. При унифицированных стыках, например, по питанию и управлению это – важное положительное качество, позволяющее сосредоточить усилия в тех местах, где унификация затруднена. Прежде всего, речь идет о сопряжении модулей по широкополосным СВЧ-стыкам, где селективное согласование необходимо. Существующие конструктивные и технологические решения широкополосных КИ предполагают различные мероприятия по достижению требуемых параметров изделий в целом. В случае комплексирования многомодульных ШПУ СВЧ указанный процесс сводится к поиску вариантов согласования модулей между собой с помощью дополнительных буферных устройств. Это могут быть как активные, так и пассивные согласующие устройства, в том числе частотно-зависимые. Зачастую для получения требуемых параметров КИ вполне эффективна комбинаторика на уровне функционально законченных модулей, а также технологическая корректировка параметров отдельных СВЧ-элементов.

Важно отметить, что применение методологии комплексирования сдерживается несовершенством нормативной базы, регламентирующей процессы разработки и производства соответствующих изделий.

Понятно, что при проведении ОКР на **единичном** образце КИ в конструкторской и технологической документации отражаются соответствующие технические решения, обеспечившие параметры **конкретного опытного образца**. Выполнение такой разработки совершенно не гарантирует, что данные конкретные технические решения будут оптимальны для второго, третьего образца и тем более при организации даже мелкосерийного производства. Практикуемая на этапе комплексирования корректировка конструкции конкретного образца не предусматривается действующими стандартами. Внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам комплексирования каждого изделия не представляется разумным. Все сказанное выше в полной мере относится и к технологической документации.

Очевидно, что разработка достоверной документации возможна только после статистического анализа изготовления некоторого количества КИ. Также очевидно, что в ходе выполнения

ОКР изготовление необходимого количества опытных образцов КИ невозможно из-за высокой стоимости последних. В этой связи представляется целесообразным создание нормативной базы, регламентирующей порядок разработки и производства КИ. Основными отличиями новых стандартов должны стать следующие положения:

– выпуск КИ в ограниченных количествах может осуществляться до окончания разработки на основании минимально необходимой согласованной документации: технических условий, габаритного чертежа и паспорта изделия;

– до окончания разработки изготовитель несет ответственность перед потребителем за качество своей продукции на основании согласованных гарантийных обязательств;

– разработка считается завершенной после выпуска необходимого для получения достоверной статистической выборки количества поставленных изделий, достижения требуемой фактической наработки, а также завершения корректировки конструкторской и технологической документации.

Создание нормативной базы разработки и производства КИ СВЧ на указанных выше принципах поможет, по мнению автора, устранить имеющиеся противоречия, а также будет способствовать повышению технико-экономической эффективности расходования средств и других ресурсов. Это сложная и многогранная проблема, детальное исследование которой лежит за пределами данной работы.

Переходя к следующему разделу, отметим, что комплексирование ШПУ СВЧ нельзя рассматривать только как особенность процесса производства. В этом случае оно не будет оптимальным, а может свестись лишь к исправлению недостатков проектирования. С другой стороны, проектирование без учета последующего этапа комплексирования чревато заданием неоправданно жестких, зачастую невыполнимых требований на входящие узлы и модули ШПУ, что также не является оптимальным. Рассмотрим основные принципы проектирования комплексированных ШПУ СВЧ, ориентированные на создание изделий единичного и мелкосерийного, в том числе неритмичного, производства.

4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ШПУ СВЧ

Процесс проектирования ШПУ СВЧ имеет своей целью создание конструкции изделия, обеспечивающей возможность его тиражирования в требуемых для потребителя количествах с соответствующим качеством. Проектирование является частью процесса разработки и достаточно полно формализовано в существующей нормативной документации применительно к изделиям электронной техники и составным частям аппаратуры. Ниже изложены некоторые основные научно-технические подходы к проектированию как комплексированных ШПУ СВЧ в целом, так и входящих модулей, выработанные при создании ряда изделий в течение последних лет.

Перед началом проектирования конкретного устройства необходим **этап анализа требований потребителя** с точки зрения возможной перспективы их развития. С учетом длительного срока эксплуатации аппаратуры и постоянного роста тактико-технических требований этот этап имеет очень большое значение. Как правило, со временем у потребителей возникает необходи-

мость расширения рабочего диапазона частот, мгновенной полосы частот, динамического диапазона входных сигналов, а также улучшения фазовых шумов, неравномерности передаточных характеристик и т.п. После проведения указанного анализа проектирование ШПУ СВЧ должно вестись уже с учетом возможной модернизации устройства для выполнения перспективных требований, если это не препятствует достижению параметров, заданных потребителем конкретного устройства, в том числе массогабаритных и стоимостных.

Предпроектный анализ требований потребителя позволяет создать предпосылки для существенного продления срока эксплуатации сложных дорогостоящих радиоэлектронных изделий, к которым относятся ШПУ СВЧ. Другим важным результатом предпроектного этапа есть обобщение технических требований к широкополосной радиоприемной аппаратуре СВЧ с целью выработки собственной технической политики, продвигаемой с помощью изложенных ниже принципов.

Основной принцип проектирования ШПУ СВЧ, позволяющий оптимальным образом удовлетворять требования различных потребителей, можно определить как принцип **«открытой архитектуры»**. Это означает, что в каждую конкретную реализацию устройства на этапе проектирования закладывается возможность трансформации в сторону усложнения или упрощения конструкции. Такой подход оставляет и потребителю, и изготовителю возможность последующей модернизации устройства. Принцип открытой архитектуры реализован тем, что при разработках отдельных узлов и модулей, а также различных вариантов ШПУ предпринимаются меры по повышению степени унификации входящих компонентов всех уровней, как по конструктивному исполнению, так и по электрическим параметрам. В конструкцию модулей изначально закладывается некоторая разумная избыточность с учетом стоимостных и массогабаритных ограничений. При конструировании используется модульный принцип, с тем чтобы сохранить возможность модернизации ШПУ путем замены отдельных **функционально и конструктивно законченных** модулей.

Функциональная и конструктивная законченность – другой, не менее важный принцип, использованный при проектировании ШПУ СВЧ. Этот принцип также, по возможности, применяется как в КИ, так и в компонентах всех уровней. Он состоит в унификации стыков различных устройств и модулей по управлению и питанию. Большое значение для реализации данного принципа имеет оптимальная функциональная схема, в которой отдельные модули рассматриваются не только с точки зрения обеспечения функционирования в составе данного конкретного устройства, но и как самостоятельные изделия. Собственно функциональная и конструктивная законченность отдельных узлов и модулей является необходимым условием построения комплексированных устройств с открытой архитектурой.

Для ШПУ СВЧ функциональная законченность предполагает минимизацию и унификацию внутренних и внешних стыков изделия. В данном случае под стыками понимаются входные и выходные разъемные соединения как входящих модулей (внутренние стыки), так и устройства в целом (внешние стыки). Что касается внутренних стыков, то там, где унификация невозможна или нецелесообразна, применяется методология комплексирования, особенности которой применительно к ШПУ СВЧ будут изложены ниже. Для внешних стыков проблема заключается в адекватном задании граничных условий, т.е. в правильном описании и затем подтверждении соответствия параметров устройства требованиям назначения. На основе сказанного выше можно сформулировать принцип **оптимальной стыковки**.

Необходимость проведения работ по проблеме стыков была вызвана сложившейся практикой проведения разработок. Начиная с формирования технических требований и до сдачи изделия в эксплуатацию наибольшую сложность вызывало согласование системы параметров и их конкретных значений, особенно по **широкополосным СВЧ-стыкам**. В том случае, когда количество отдельных устройств и, следовательно, стыков в системе было неоправданно завышено, у потребителей возникали проблемы при стыковочных и пусконаладочных работах. Проблема усугублялась отсутствием у потребителей необходимого контрольно-измерительного оборудования. Перенос основного объема стыковочных работ в технологический цикл изготовителя ШПУ СВЧ оказался целесообразным из-за того, что последний имел возможность селективного согласования, оперативной коррекции параметров и состава модулей для получения требуемых параметров КИ в целом.

Уменьшение количества внутренних и внешних стыков – одно из основных направлений оптимизации процессов разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры. Определение принципа оптимальной стыковки применительно к сложным радиоэлектронным устройствам и конкретно ШПУ СВЧ сформулировано следующим образом: **стыков в КИ должно быть минимально необходимое количество, стыки должны быть адекватно описаны и измерены, по возможности, унифицированы и защищены от нештатных ситуаций**.

Как отмечалось в начале данного раздела, проектирование КИ СВЧ должно вестись с учетом последующего этапа комплексирования. Только в этом случае создаваемое изделие может быть эффективным как с технической, так и с экономической точки зрения. Связь процесса проектирования с последующими стадиями изготовления изделия выражается через **принцип разумной достаточности** параметров входящих в состав КИ узлов и модулей.

Для иллюстрации данного принципа возьмем один из важнейших параметров широкополосных СВЧ-устройств – неравномерность коэффициента передачи в заданной полосе частот. Если предположить, что сигнальный тракт в ШПУ СВЧ состоит из N узлов и модулей, каждый из которых имеет неравномерность коэффициента передачи ΔS_{21i} и K_{crUi} , то суммарная неравномерность ΔS_{21} (дБ) при наличии в тракте развязывающих каскадов типа усилителей или вентилей может быть в первом приближении оценена по формуле [5]:

$$\Delta S_{21} < 10 \lg [N \Delta S_{21i}] + 10 \lg \frac{(1 + (N-1) |S_{11i}|^2)^2}{(1 - (N-1) |S_{11i}|^2)^2},$$

где модуль коэффициента отражения $|S_{11i}| = (K_{crUi} - 1) / (K_{crUi} + 1)$.

Если подставить в эту формулу близкие к реальным требования к элементам, а именно: $N = 5$, $\Delta S_{21i} = 1,0$ дБ и $K_{crUi} = 2,0$, то в этом случае суммарная неравномерность может составить до 13 дБ, что не удовлетворяет условиям применения. Понятно, что данная оценка неточна, она отражает предельный случай, т.к. не учитывает комплексную составляющую коэффициентов передачи и отражения. Реальные значения неравномерности по этой причине могут быть несколько меньше. Но верно также то, что требования на элементы широкополосного тракта необходимо задавать с учетом погрешностей измерительной аппаратуры, разброса параметров компонентов, необходимых конструктивно-технологических запасов и т.п., т.е. с учетом реализуемости указанных СВЧ-элементов. При этом расчетная суммарная неравномерность тракта,

как правило, существенно превосходит заданную на КИ в целом. Этим и обусловлена необходимость последующего процесса комплексирования, обеспечивающего возможность получения заданных технических параметров при требуемой экономической эффективности.

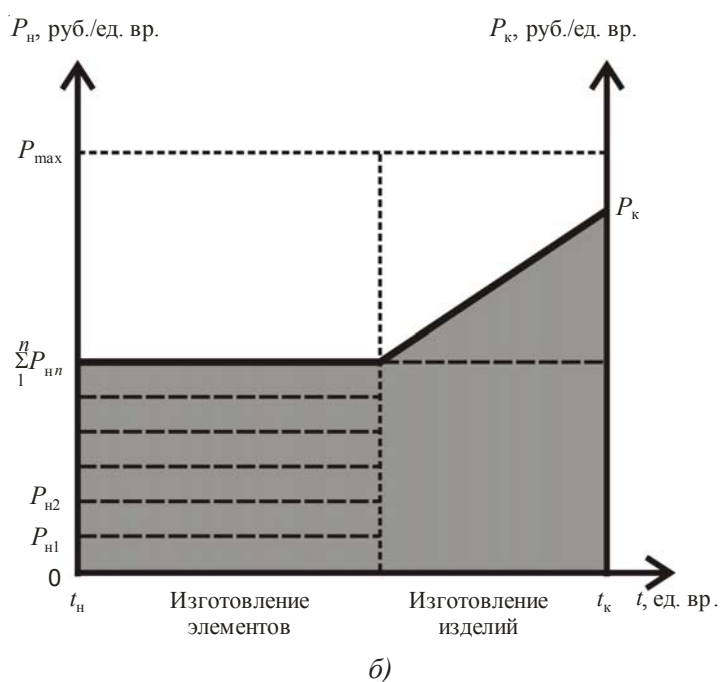
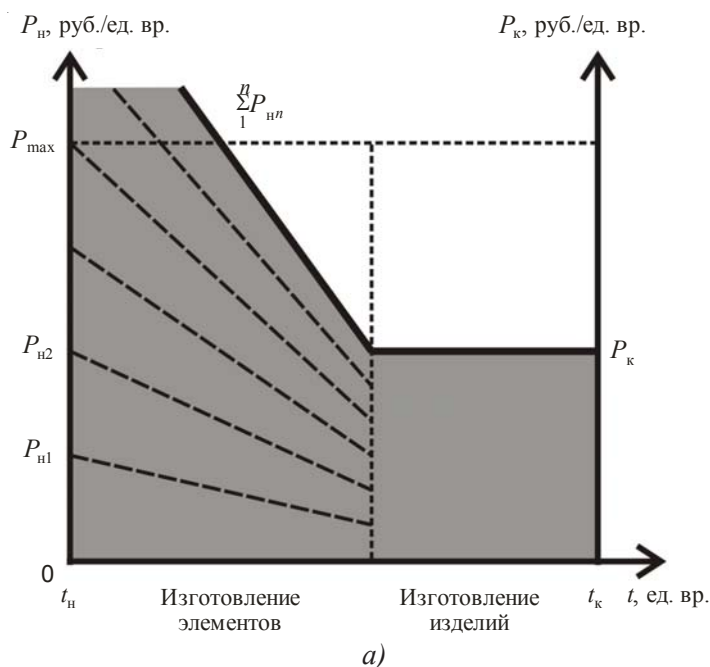


Рис. 1. Диаграммы затрат на единичное производство КИ СВЧ: а – при 1-м подходе; б – при 2-м подходе

Технико-экономическая эффективность разрабатываемой и изготавливаемой продукции – заключительный принцип проектирования комплексированных ШПУ СВЧ.

Рассмотрим технологический цикл изготовления КИ. Он начинается с выдачи технического задания и изготовления входящих СВЧ-элементов. Процесс изготовления элементов включает этапы сборки, комплексирования, испытаний и предъявления конечной продукции.

На рис. 1 и 2 показано эмпирическое графическое изображение приведенных ко времени затрат в течение технологического цикла изготовления продукции при единичном производстве, где T_n и T_k – начало и конец технологического цикла; $P_{n1}, P_{n2}, \dots, P_{nn}$ – приведенные затраты на изготовление элементов КИ; P_k – приведенные затраты на изготовление КИ в целом с использованием уже готовых элементов; P_{max} – предельные приведенные затраты, характеризующие возможности имеющегося производства, т.е. производственная мощность.

Анализ графиков показывает, что здесь изображены два крайних подхода к изготовлению изделий. Рис. 1, а иллюстрирует 1-й подход, при котором основное внимание уделяется качеству входящих элементов, их параметрам, конструктивно-технологическим запасам и т.п. с целью минимизации затрат на этапе комплексирования или полного исключения указанного этапа. Видно, что затраты на начальном этапе представляют собой сумму затрат на из-

готовление элементов КИ. Из-за большой номенклатуры элементов эти затраты могут быть достаточно велики. Возможно также превышение имеющейся производственной мощности, что, другими словами, означает нереализуемость КИ в заданные сроки.

На рис. 1,б проиллюстрирован 2-й подход, при котором затраты в начале изготовления сравнительно невелики, т.к. в элементах КИ не предусматриваются избыточные параметры. В этом случае простая стыковка элементов между собой, как правило, не обеспечивает требуемых параметров КИ в целом и появляются дополнительные затраты на комплексирование. Суммарные затраты на производство представляются площадью, очерченную графиками.

Рассмотрим аналогичные графики для серийного производства, приведенные на рис. 2. Для удобства сравнения затраты нормированы по размеру партии КИ и в графиках сохранен временной масштаб. Сравнение показывает тенденцию падения приведенных затрат на изготовление элементов при серийном производстве по сравнению с единичным (рис.2,а), а также тенденцию роста затрат на комплексирование при тех же условиях (рис.2,б). Это объясняется тем, что при увеличении количества элементов в серии возможно применение групповых технологий и других прогрессивных форм организации производства. Комплексирование по определению требует индивидуального подхода к каждому КИ, что влечет за собой сложение затрат при увеличении количества изделий в серии. При этом также возможно превышение имеющейся производственной мощности, но уже на заключительном этапе изготовления.

Из сравнительного анализа графиков можно сделать два основных вывода:

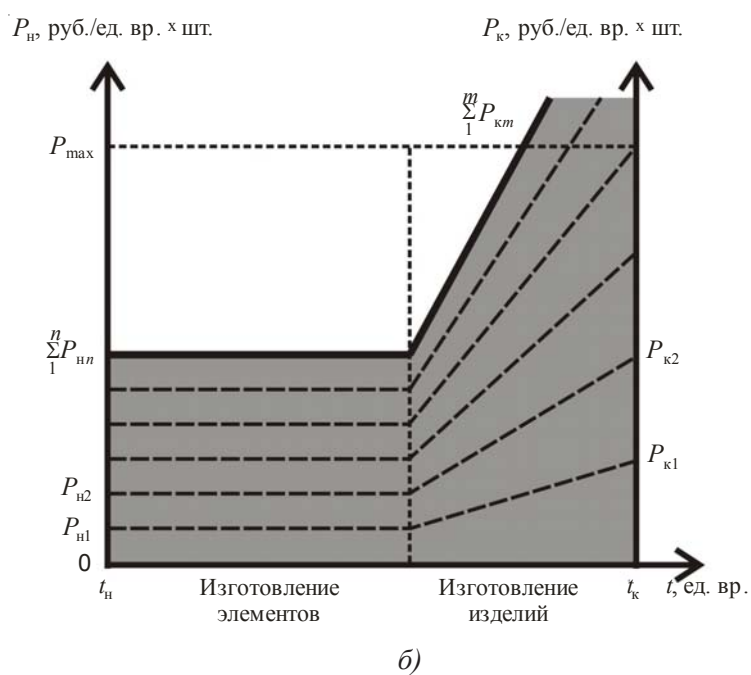
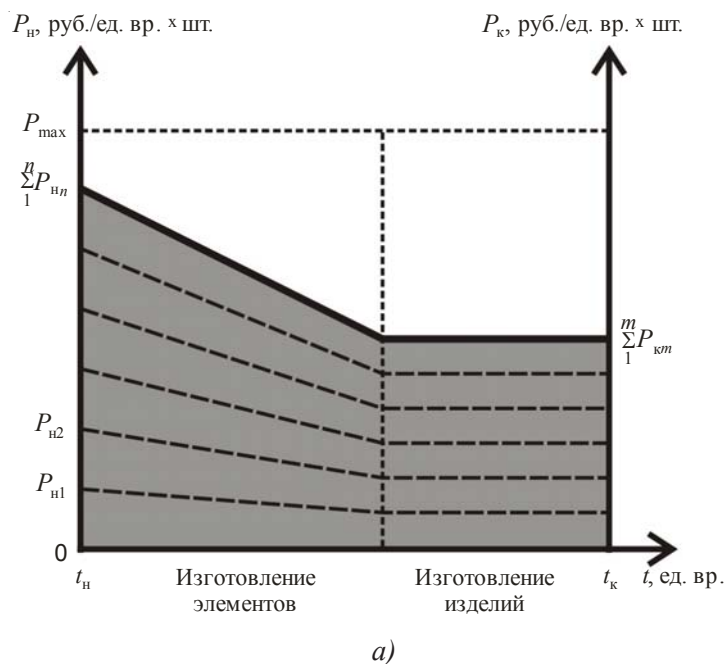


Рис. 2. Диаграммы затрат на серийное производство КИ СВЧ: а – при 1-м подходе; б – при 2-м подходе

1. При единичном производстве наиболее экономически эффективен 2-й подход, предусматривающий наличие этапа комплексирования.

2. По мере роста количества изготавливаемых изделий, т.е. при переходе к серийному производству, целесообразно использование 1-го подхода с постепенным исключением этапа комплексирования.

Таким образом, при организации разработки и производства КИ СВЧ независимо от их сложности и серийности необходимо соблюдение некоего баланса целесообразности затрат. Как превышение уровня целесообразности, так и недостаточные затраты на любом этапе технологического цикла в конце концов ведут к ухудшению технико-экономической эффективности.

Необходимо еще раз отметить, что приведенные выше диаграммы являются эмпирическими, а выводы по их рассмотрению - субъективными. Они отражают точку зрения автора на разработку и производство комплексированных ШПУ СВЧ. Для распространения представленных выше оценок технико-экономической эффективности на другие виды продукции требуется применение соответствующего математического аппарата. Необходимы математические модели различных этапов разработки и производства сложной наукоемкой продукции, связывающие техническую и экономическую эффективность количественно. Понятно, что построение строгих моделей процессов разработки и производства затрудняется сложностью математической интерпретации как самих процессов, так и их граничных условий. Тем не менее, аналогичные задачи решаются в смежных областях знаний, например в теории надежности ориентированного проектирования, и при реставрации мощных СВЧ-приборов [6], что говорит о необходимости продолжения работ в данном направлении.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в настоящей статье принципы проектирования, а также основные подходы к организации производства сложных многомодульных КИ – ШПУ СВЧ используются в течение последних лет при разработках и производстве нескольких типов изделий. Основные результаты проводимых работ изложены ниже.

Во-первых, это разработка ряда унифицированных по составу и схмотехническому исполнению комплексированных ШПУ СВЧ в интересах потребителей различной ведомственной принадлежности.

Во-вторых, организация мелкосерийного выпуска широкой номенклатуры указанной продукции с требуемой технико-экономической эффективностью.

В-третьих, формирование необходимых научно-технических заделов, дающих возможность разработчикам соответствующих радиоэлектронных систем и комплексов – потребителям ШПУ СВЧ – осуществлять новые разработки, а также проводить поэтапную модернизацию своей аппаратуры с минимальными затратами и в короткие сроки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Куприянов П.В.* Широкополосные приемные устройства СВЧ с расширенным динамическим диапазоном // Радиотехника. – 2006. – № 3. – С. 8-13.

2. *Куприянов П.В.* Широкополосные инфрадинные преобразователи СВЧ // Электронная техника. Сер. 1, СВЧ-техника. – 2003. – Вып.1(481). – С. 66-74.

3. Комплексированные устройства – новый вид электронных компонентов СВЧ (информация) // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1977. – Вып.2. – С. 128-134.

4. *Гельвич Э.А., Котов А.С.* Комплексированные изделия СВЧ: основные особенности и тенденции развития // Радиотехника. – 2004. – № 2. – С. 4-16.

5. *Силаев М.А., Брянцев С.Ф.* Приложение матриц и графов к анализу СВЧ-устройств. – М.: Сов. радио, 1970. – 64 с.

6. *Бакуменко А.В.* Научно-технические и производственно-экономические основы реставрации мощных СВЧ-приборов: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: МИРЭА, 2006. – 134 с.

Статья поступила 23 мая 2007 г.

== НОВЫЕ КНИГИ ==

МАКСФИЛД К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. - 408 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).

Эта книга является не только пособием по проектированию устройств на основе ПЛИС (FPGA), но и содержит поистине энциклопедические сведения. Кроме архитектурных особенностей последних поколений микросхем ПЛИС, здесь рассматриваются различные методы и средства проектирования. Проводится обзор и анализ схемотехнических подходов к проектированию (которые все еще находят применение), HDL-моделирования и логического синтеза, а также современных технологий проектирования, основанных на использовании языка C/C++. Рассматриваются специализированные вопросы, такие, как совместное проектирование программно-аппаратных систем и разработка систем цифровой обработки сигналов (ЦОС). Обсуждаются и технические новинки, например программируемые пользователем массивы узлов (FPNA).

Написанная в непринужденном, увлекательном стиле, книга будет хорошим пособием и для начинающих, и для опытных инженеров, разрабатывающих устройства на основе ПЛИС. Книга послужит весьма ценным источником информации и для специалистов, разрабатывающих устройства на основе заказных микросхем и переходящих на использование ПЛИС. А также, несомненно, привлечет внимание широкого круга читателей, в том числе технических работников, студентов и продавцов технической продукции.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

УДК 621.372.852.2.029.64

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО МАНИПУЛЯТОРА НА $P-I-N$ -ДИОДАХ

Н. В. Абакумова, В. И. Васильев, О. С. Зуева, О. Н. Мазанова, В. А. Мальцев,
А. А. Можяев, Т. И. Потапова, И. В. Самсонова, Ф. Е. Щербаков

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Обоснован выбор схемы фазового манипулятора (ФМ) на $p-i-n$ -диодах со скачкообразным изменением фазы сигнала на 180 град. Выполнена оптимизация параметров ФМ в полосе частот 16,8...17,2 ГГц с целью снижения прямых потерь. Разработана топология ФМ в гибридном интегральном исполнении и проведены ее экспериментальные исследования. Показано, что ФМ имеет потери не более 2,5 дБ и КСВН не более 1,3.

The choice of phase manipulator circuit (PM) on $p-i-n$ diodes with 180 deg. stepwise change of the signal phase has been proved. PM parameter optimization in 16.8 ...17.2 GHz frequency band was carried out to lower direct loss. PM topology in hybrid integrated design was developed with his experimental research. It was shown that PM has got loss 2.5 dB max and VSWR 1.3 max.

1. ВВЕДЕНИЕ

Фазовый манипулятор – фазовращатель с дискретным изменением фазы сигнала на заданную величину, обычно на 180 град. ФМ находят широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре различного назначения. В технике СВЧ для дискретного изменения фазы широко используются электронные ключи, выполненные на $p-i-n$ -диодах. Положения «открыто» и «закрыто» в электронных ключах достигаются путем изменения управляющих напряжений. Основными преимуществами таких ключей являются высокое быстродействие и высокая надежность. В то же время в электронных ключах принципиально не могут быть достигнуты идеальные режимы «короткого замыкания», что приводит к наличию остаточных сопротивлений приборов в режимах «открыто» и «закрыто», а значит, к нежелательным потерям. Твердотельные фазовращатели представляют собой гибридные интегральные схемы (ГИС) и $p-i-n$ -диоды, размещенные на поликоровой подложке. Для работы в высокочастотной части СВЧ-диапазона были разработаны специальные структуры кремниевых $p-i-n$ -диодов с низкими величинами емкостей (0,02...0,05 пФ) и сопротивлений потерь (1,5...2,5 Ом).

В настоящей работе проведено схемотехническое и топологическое проектирование ГИС ФМ на $p-i-n$ -диодах типа 2A553A-3.

2. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФМ

Проектирование ФМ на $p-i-n$ -диодах обычно основано на использовании эквивалентной схемы прибора, параметры которой либо рассчитываются, либо определяются по измеренным малосигнальным S -параметрам. В этой связи актуальной задачей является создание методики проектирования ФМ, основанной на измерении S -параметров и вольт-амперных характеристик полупроводникового прибора и известных геометрических размерах конкретного экземпляра прибора. Такая методика, позволяющая рассчитывать и оптимизировать параметры ФМ в гибридном интегральном исполнении, содержит следующие этапы.

1. Выбор и обоснование схемы ФМ.
2. Оценочный расчет элементов ФМ в случае идеальных ключей.
3. Измерение малосигнальных S -параметров в широком интервале частот.
4. Построение модели $p-i-n$ -диода на основе измеренных S -параметров и вольт-амперных характеристик.
5. Схемотехническое проектирование ФМ.
6. Расчет и оптимизация размеров ГИС ФМ с целью достижения заданного значения изменения фазы сигнала, снижения прямых потерь и КСВН при двух состояниях электронных ключей.
7. Топологическое проектирование ФМ.

3. ИЗМЕРЕНИЕ S -ПАРАМЕТРОВ $P-I-N$ -ДИОДОВ

Основным элементом ГИС ФМ является $p-i-n$ -диод. Не касаясь детально физики работы $p-i-n$ -диода, отметим, что в устройствах управления фазой используется уникальное его свойство изменять свое полное сопротивление при прямом и обратном смещениях. Диод имеет низкое сопротивление при прямом включении и высокое – при обратном включении. При проектировании ФМ применяются два вида модели диодов: эквивалентная схема диода, параметры которой (сопротивление при прямом смещении и емкость при обратном смещении) вычисляются по измеренным S -параметрам, и непосредственно S -параметры, измеренные для того положения диода, в котором он используется в ГИС ФМ. В настоящей работе применяется второй способ моделирования диодов.

Измеренные S -параметры $p-i-n$ -диода 2A553A-3 для случая последовательного его включения в 50-омную линию передачи в двух ключевых режимах ($U = 0$ и $U = 5$ В) приведены в таблице.

Частота, ГГц	Открытый диод		Закрытый диод	
	Mod S_{11}	Mod S_{12}	Mod S_{11}	Mod S_{12}
1	0,049	0,962	0,998	0,017
2	0,072	0,959	0,999	0,031

Частота, ГГц	Открытый диод		Закрытый диод	
	Mod S11	Mod S12	Mod S11	Mod S12
3	0,104	0,948	0,998	0,048
4	0,122	0,945	0,988	0,058
5	0,162	0,921	0,954	0,067
6	0,158	0,943	0,974	0,081
7	0,158	0,944	0,98	0,097
8	0,168	0,940	0,974	0,115
9	0,176	0,934	0,953	0,132
10	0,191	0,916	0,898	0,143
11	0,197	0,915	0,901	0,157
12	0,2	0,923	0,92	0,181
13	0,201	0,919	0,909	0,194
14	0,149	0,923	0,876	0,207
15	0,146	0,905	0,815	0,216
16	0,137	0,889	0,767	0,226
17	0,151	0,883	0,717	0,228

4. СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФМ

Эквивалентная схема ФМ на двух $p-i-n$ -диодах представлена на рис. 1. Диоды включены в линии передачи последовательно, то есть так, как и при измерении.

Если напряжение $V1 = 5$ В, а $V2 = 0$, то диод $D1$ откроется и будет иметь малое сопротивление, а диод $D2$ закроется и его емкостное сопротивление в рабочем диапазоне будет существенно больше, чем волновое сопротивление подводящих линий передачи (50 Ом). В этом случае СВЧ-сигнал от генератора распространяется по каналу, в котором включен диод $D1$ с малым сопротивлением. При этом фазовый набег будет равен $\Phi1$. Емкость $C1$ служит для развязки схемы и генератора по постоянному току, емкость $C2$ – для развязки диодов по постоянному току, а емкость $C3$ – для развязки СВЧ-сигнала и постоянного тока от источника питания $V1$. Предполагается, что емкости величиной 20 пФ включены в схему с помощью тонких проводников, имеющих индуктивности, равные 0,3 нГн. Короткозамкнутый четвертьволновый отрезок линии $l2$ замыкает цепь по постоянному току, в то же время для СВЧ-сигнала в рабочем диапазоне частот полное сопротивление отрезка должно быть настолько большим, чтобы он существенно не ухудшал ФЧХ и АЧХ ФМ.

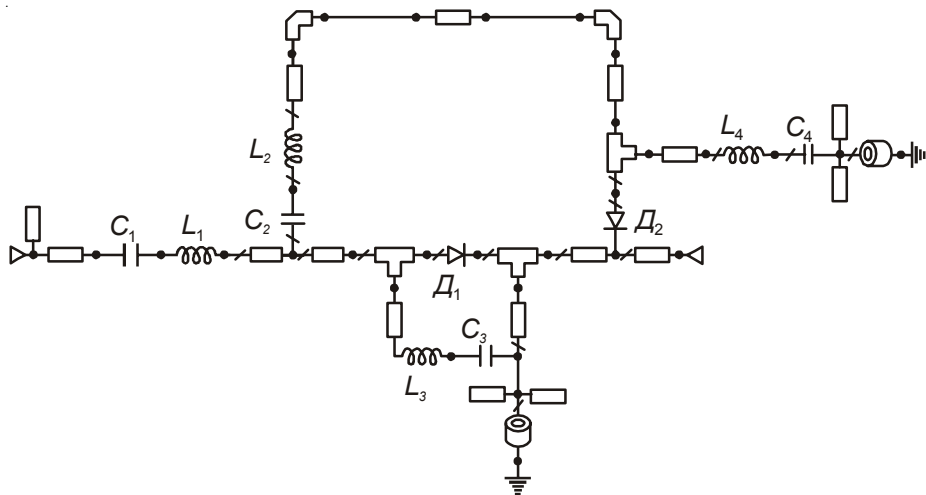


Рис. 1. Эквивалентная схема ФМ на двух $p-i-n$ -диодах

Если напряжение $V1 = 0$, а $V2 = 5$ В, то диод $D2$ откроется и будет иметь малое сопротивление, а диод $D1$, наоборот, закроется. В этом случае СВЧ-сигнал от генератора будет распространяться по каналу, в котором включен диод $D2$ с малым сопротивлением. При этом фаза прошедшего сигнала $\Phi2$ будет определяться длиной отрезка линии l . Для ФМ с изменением фазы, равным 180 град, длина этого отрезка равна примерно половине длины волны на центральной частоте рабочего диапазона. Емкость $C4$ служит для развязки СВЧ-сигнала и постоянного тока от источника питания $V1$. Разность фаз $\Phi = \Phi2 - \Phi1$ определяет фазу при переключении управляемых источников напряжений.

С помощью программы на ПЭВМ была проведена оптимизация длин. Расчетные частотные характеристики ФМ приведены на рис. 2-4. Видно, что изменение фазы в рабочем диапазоне частот равно (180 ± 5) град, прямые потери в обоих каналах не превышают 2,5 дБ, а КСВН – не более 1,4.

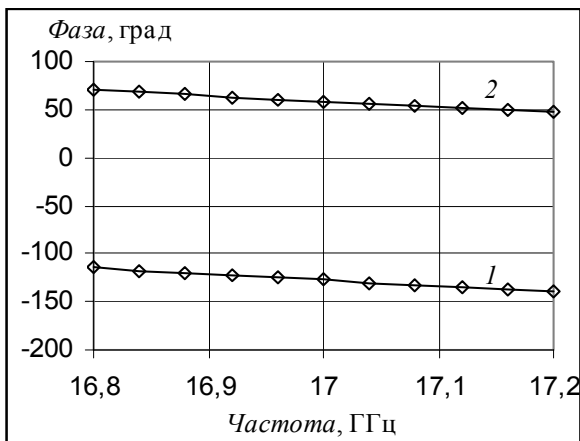


Рис. 2. Зависимости фазы сигнала от частоты

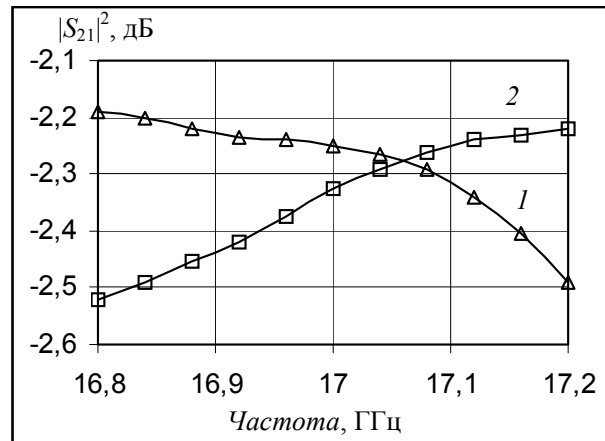


Рис. 3. Зависимости прямых потерь сигнала от частоты

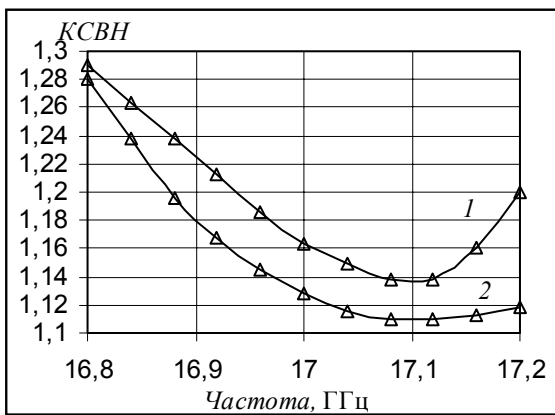


Рис. 4. Зависимости КСВН фазового манипулятора от частоты

5. ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИС ФМ

Один из возможных вариантов топологии гибридной интегральной схемы ФМ представлен на рис. 5. В процессе топологического проектирования ФМ предполагалось, что ГИС будет выполнена на поликоровой подложке толщиной 0,5 мм, а для развязки сигналов будут использованы миниатюрные конденсаторы с тонким диэлектрическим слоем из оксида кремния, которые соединяются с ГИС с помощью золотых проводников. В качестве $p-i-n$ диодов в ГИС ФМ рассматривались отечественные диоды 2А553А-3 с емкостью 0,05 пФ и сопротивлением потерь 2 Ом. Диоды имеют плоские золотые выводы. Размеры поликоровой подложки – 7×7,5 мм.

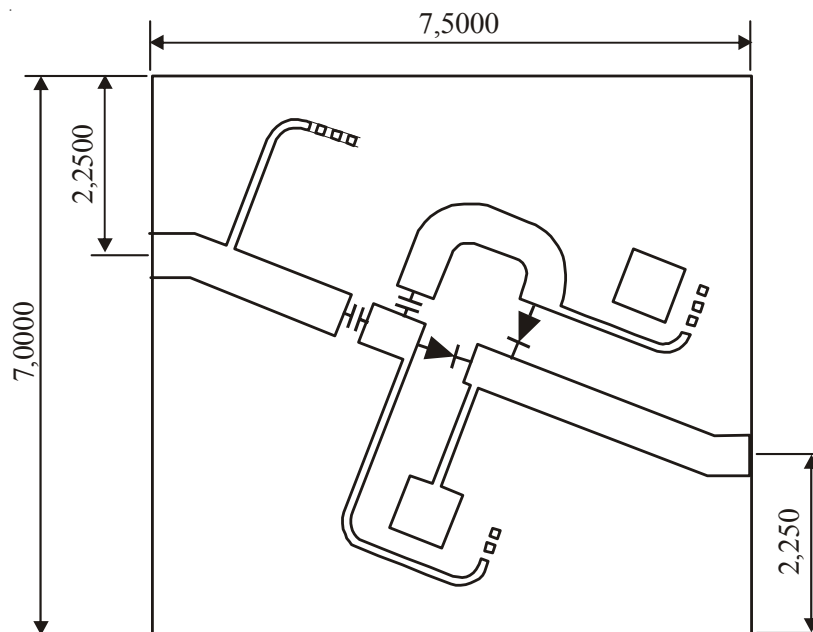


Рис. 5. Топология фазового манипулятора

6. ВЫВОДЫ

1. Предложена методика проектирования ГИС ФМ с заданной величиной изменения фазы 180 град.
2. Проведены измерения в широком интервале частот S -параметров $p-i-n$ -диодов 2A553A-3 в двух ключевых режимах («открыто» и «закрыто»).
3. Выполнено схемотехническое и топологическое проектирование ГИС ФМ.
4. Показано, что спроектированный ФМ в полосе частот 16,8...17,2 ГГц имеет следующие параметры: изменение фазы в рабочем диапазоне частот – (180 ± 5) град, прямые потери в обоих каналах – не более 2,5 дБ, а КСВН – не более 1,3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антенны и устройства СВЧ / Под ред. *Д.И. Воскресенского*. – М.: Радио и связь, 1981.
2. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Под ред. *Л.Г. Гасанова*. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Управляющие устройства СВЧ / *Н.Т. Бова* и др. – Киев: Техника, 1973.
4. *Вайсблат А.В.* Коммутационные устройства на полупроводниковых диодах. – М.: Радио и связь, 1987.
5. *Макаренко А.С.* Фазовые модуляторы СВЧ на полупроводниковых диодах // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1984. – Т. 27, № 1. – С. 3-9.
6. Активные широкополосные быстродействующие фазовые манипуляторы / *В.Г. Батура, Р.В. Киселев* и др. // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1985. – Т. 28, № 10. – С. 80-83.
7. Дискретные микрополосковые фазовращатели на $p-i-n$ -диодах: Обзоры по электронной технике. Сер. 2, Полупроводниковые приборы / *М.Э. Авербух, В.Н. Блохин, А.С. Мирошниченко*. – М.: ЦНИИ «Электроника». – 1976. – Вып.1. – 71 с.
8. Микроэлектронные устройства СВЧ / Под ред. *Г.И. Веселова*. – М.: Высшая школа, 1988.
9. *Дзехцер Г.Б., Орлов О.С.* $P-i-n$ -диоды в широкополосных устройствах СВЧ. – М.: Сов. радио, 1970.

Статья поступила 24 ноября 2006 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.373.5

ГЕНЕРАТОР НА ДВУХ ТРАНЗИСТОРАХ

Б. Е. Кяргинский

ФирЭ РАН, г. Фрязино

Рассматриваются экспериментальные данные по вопросам генерации шумоподобных сигналов на основе полосно-пропускающих фильтров и двух транзисторов.

The experimental data on the issues of generating noise-like signals are considered here on the basis on bandpass filters and two transistors.

Генераторы хаотических сигналов известны давно. В частности, в СВЧ-диапазоне имеются твердотельные генераторы шумоподобных сигналов, где в качестве активных элементов используются транзисторы и диоды [1,2]. На рис. 1 приведена схема, обеспечивающая генерацию шумоподобных сигналов в различных диапазонах частот. Схема представляет собой кон-

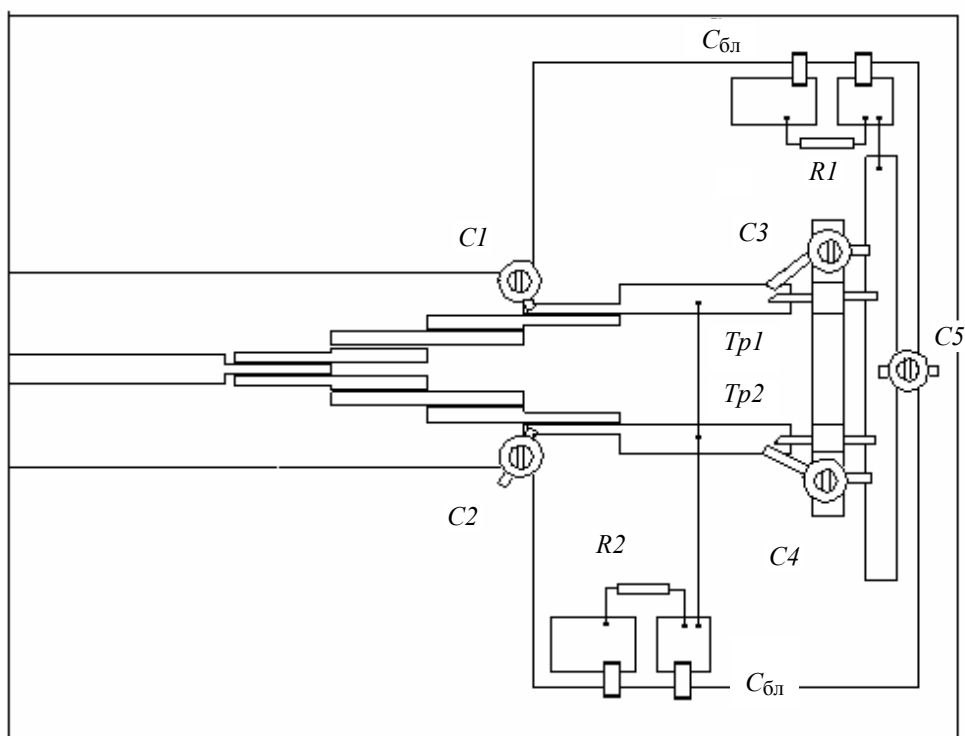


Рис. 1. Топология генератора

струкцию из микрополосковых линий на материале типа ФАФ ($\epsilon = 2,8$) толщиной 1 мм. Применяемые здесь фильтры могут работать в различных СВЧ-диапазонах с различными полосами пропускания. В данном случае полосно-пропускающие фильтры имеют четвертьволновые отрезки длиной $l = 12$ мм, количество звеньев n в каждом фильтре равно трем. Один выход у фильтров общий, а другие концы подключены каждый к коллектору своего транзистора. Эмиттеры транзисторов соединены вместе, базы находятся на земле. Эмиттеры и коллекторы транзисторов имеют связь через переменные емкости $C3$ и $C4$ величиной от 2 до 10 пФ. Общий вывод эмиттеров заземлен через переменный конденсатор $C5 = 3 \dots 15$ пФ. Фильтры подключены на землю через конденсаторы переменной емкости $C1$ и $C2$ величиной от 3 до 15 пФ. На коллекторы подается напряжение $U_{к.б} = 5$ В через сопротивление $R2 = 5$ Ом, которое заблокировано емкостями $C_{бл} = 0,01$ мкФ. На эмиттеры через сопротивление $R1 = 1$ Ом, заблокированное емкостями $C_{бл} = 0,01$ мкФ, подается смещение $U_{э.б} = -(0,7 \dots 0,75)$ В. Протекающий по транзисторам ток I_k составляет $0,1 \dots 0,2$ А. При небольших изменениях напряжений и перестройке конденсаторов $C1 \dots C5$ наблюдается генерирование широкополосного шумоподобного сигнала. Его полоса зависит от параметров фильтров. Так, для схемы на рис. 1 сигнал наблюдался в полосе от 4 до 5 ГГц по уровню 10 дБ от максимума (рис. 2) при $P_{\text{вых}} = 0,1$ мВт. В табл. 1 и 2 эта конструкция находится под номером 8.

Рис. 2. Спектр сигнала при $l = 12$ мм и $n = 3$

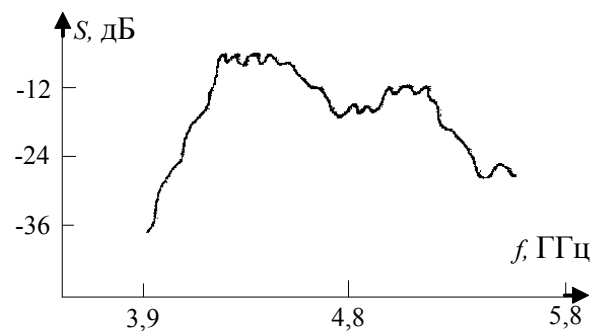


Таблица 1

Номер конструкции	n	f_0 , ГГц	δf , МГц	$P_{\text{вых}}$, мВт	ϵ	l , мм	Тип транзистора
1	1	0,95	100	4,5	10	30	КТ938А-2
2		2,48	30	0,1	2,8	19,5	
3	2	2,35	400	1		20	
4		2,5	200	2,6	10	12	
5		4	1000	0,5	2,8	9	КТ647А-2
6		3,25	1500	0,7		16	
7		2,5	100	0,2		20	КТ938А-2
8	3	4,5	1000	0,1	2,8	12	КТ647А-2
9		8,25	500			5	

Таблица 2

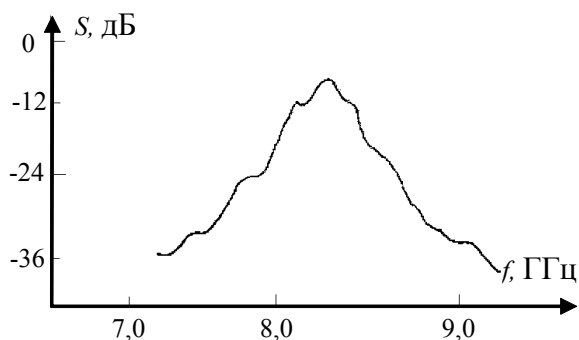
Номер конструкции	l , мм	$s1$, мм	$b1$, мм	$s2$, мм	$b2$, мм	f_0 , ГГц	δf , МГц	ϵ
1	30	0,5	0,5	-	-	0,95	50	10
2	19,5	0,6	1,5	-	-	2,48	60	2,8
3	20	0,2	1,3	1	1,6	2,35	300	
4	12	0,3	0,5		0,5	2,5	200	10
5	9	0,1	1,05	0,3	1,3	5,5	700	2,8
6	16			0,2		3,5		
7	20	0,6	1,6	3	1,6	2,5	100	
8	9	0,1	1	0,3	1,3	4,5	1000	
9	5					8,25	500	

Для конструкции с $n = 3$ и $l = 5$ мм спектр наблюдался (рис. 3) от 8 до 8,5 ГГц по уровню 10 дБ от максимума. При этом $U_{к.б} = 3$ В, $U_{э.б} = -0,8$ В, $I_k = 0,1$ А, $P_{вых} = 0,1$ мВт. В обоих случаях использовались транзисторы 2Т647А-2. Данные по этой конструкции приведены в табл. 1 и 2 под номером 9.

Следующее устройство изготовлено на основе материала ФЛАН ($\epsilon = 10$) толщиной 1 мм и состоит из однозвенных фильтров с длиной звена $l = 30$ мм и двух транзисторов КТ938А-2, остальные элементы аналогичны приведенным на рис. 1. При подаче питания и подстройке конденсаторов наблюдалась генерация шумоподобного сигнала в полосе 900...1000 МГц по уровню 10 дБ от максимума с $P_{вых} = 4,5$ мВт (табл. 1 и 2, номер 1).

В другой конструкции, также изготовленной на материале ФЛАН, были использованы фильтры с $n = 2$, $l = 12$ мм и транзисторы КТ938А-2. Генерация шумоподобных сигналов наблюдалась в полосе 2,2...2,4 ГГц при $P_{вых} = 2,6$ мВт (табл. 1 и 2, номер 4).

В табл. 1 приведены данные экспериментов для нескольких случаев при различных количествах звеньев фильтров n , разных полосах пропускания δf и разных центральных частотах f_0 ; l – длина звена, равная четверти длины волны с учетом эффективной диэлектрической проницаемости на центральной частоте.

Рис. 3. Спектр сигнала при $l = 5$ мм и $n = 3$

При расчете фильтров [3-5] за основу были использованы центральная частота и полоса пропускания. Выбирались количество звеньев n , тип фильтра (максимально плоский или чебышевский), находились коэффициенты элементов фильтра. По ним вычислялись несимметричные и симметричные сопротивления, а потом размеры каждой пары звеньев фильтра и зазоры между ними. В табл. 2 приведены размеры фильтров на основе микрополосковых линий для подложек из материала ФАФ и ФЛАН. Здесь $s1$ и $s2$ – зазоры между полосковыми линиями; $b1$ и $b2$ – значения ширины линий; l – четвертьволновая длина каждого звена фильтра. Топология фильтра приведена на рис. 4.

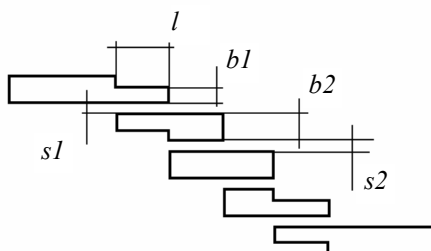


Рис. 4. Топология фильтра

Для получения большей мощности на выходе можно применять транзисторы с согласующими цепями. Усилитель на транзисторе КТ938А-2, сконструированный в микрополосковом исполнении на материале ФАФ толщиной 1 мм, имел по малому сигналу усиление 10 дБ в полосе 400 МГц с центральной частотой 2,4 ГГц, по большому сигналу усиление уменьшалось до 7 дБ. Размеры (мм) входной и выходной топологий приведены в табл. 3 под номером 1, а импедансы – в табл. 4 под номером 1. Сама топология дана на рис. 5. Под номером 2 в табл. 3 и 4 представлен усилитель с полосой 670 МГц при центральной частоте 1,6 ГГц и усилении 10 дБ по малому сигналу.

Таблица 3

Номер конструкции	Z1		Z2		Z3		Z4		Z5	
	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l
1	1	23,5	6	8	2,5	5	7	6,5	3,5	14
2	1,5	28	10	14	5	14	6,5	28	-	-

Таблица 4

Номер конструкции	$Z_{вх}$	$Z_{вых}$	δf , МГц	f_0 , ГГц
1	$10,5 + j32,1$	$22,4 - j5,2$	400	2,4
2	$5,8 + j18,3$	$18,4 - j18,6$	670	1,6

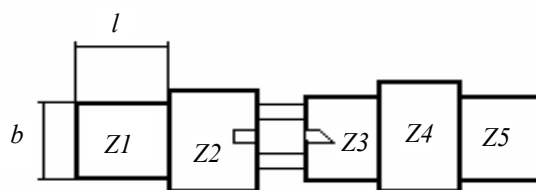


Рис. 5. Топология усилителя с согласующими цепями

В следующих устройствах два одинаковых усилителя с согласующими элементами через полосно-пропускающие фильтры соединялись между собой по коллекторной топологии, для каждого диапазона частот были использованы соответствующие фильтры. Так, для усилителей с центральной частотой 2,4 ГГц применялись фильтры с $n = 2$ и $l = 20$ мм. Первая пара микрополосковых линий имела размеры: ширина – 1,1 мм, расстояние между линиями – 0,15 мм. Для другой пары ширина линий составила 1,5 мм, расстояние между ними – 0,5 мм. Для такого фильтра центральной была частота 2,5 ГГц, полоса пропускания – 600 МГц. Входные топологии транзисторов через переменные емкости величиной от 5 до 20 пФ соединялись с землей. Коллекторные топологии также через переменные емкости соединялись $U_{к.б} = 7$ В, $U_{э.б} = -0,77$ В при токе 0,2 А. При перестройке переменных конденсаторов и подстройке режимов генерации на выходе наблюдалась генерация шумоподобного сигнала мощностью 24 мВт в полосе от 2 до 2,8 ГГц по уровню 10 дБ от максимума (рис. 6).

Для других усилителей в такой же схеме включения полосно-пропускающие фильтры имели также по два звена с теми же размерами, только длина каждого звена увеличилась до 30 мм. Такой фильтр имел полосу пропускания 390 МГц при центральной частоте 1,67 ГГц. Сконструированное устройство при перестройке конденсаторов и питания $U_{к.б} = 5,15$ В, $U_{э.б} = -0,7$ В при токе 0,28 А генерировало сигнал в полосе от 1,5 до 2,3 ГГц мощностью 10 мВт (рис. 7).

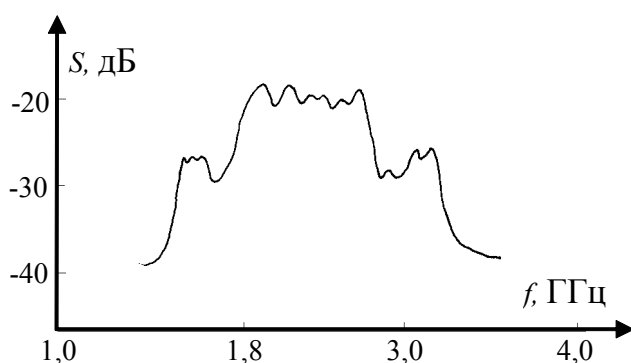


Рис. 6. Спектр сигнала генератора с согласующими цепями (табл. 3, номер 1)



Рис. 7. Спектр сигнала генератора с согласующими цепями (табл. 3, номер 2)

рукциях генераторов шумоподобных сигналов центральные частоты и полосы генерации зависят как от характеристик фильтров, так и от типов применяемых транзисторов. Применение согласующих цепей по входу и выходу транзисторов позволяет получать более высокую мощность выходного сигнала.

Работа проведена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 04-02-16536.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективы создания прямохаотических систем связи в радио и СВЧ диапазонах / *А.С. Дмитриев* и др. // Радиотехника. – 2000. – № 3.
2. Автостохастическая система связанных генераторов СВЧ / *Р.В. Беляев* и др. // Прикладная нелинейная динамика. – 1999. – Т. 7, № 2-3.
3. *Фуско В.* СВЧ цепи. – М.: Радио и связь, 1990.
4. *Седых В.М.* Полосковые линии и устройства сверхвысоких частот. – Харьков, 1974.
5. *Маттей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т.* Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 1 и 2. – М.: Связь, 1971.

Статья поступила 25 октября 2006 г.

≡ НОВЫЕ КНИГИ ≡

ЕВСТИФЕЕВ А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Tiny. Руководство пользователя. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 432 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).

Книга посвящена однокристалльным микроконтроллерам AVR семейства Tiny фирмы ATMEL. Рассмотрена архитектура микроконтроллеров AVR, ее особенности, приведены основные электрические параметры. Подробно описано внутреннее устройство микроконтроллеров, система команд, периферия, а также способы программирования. Основой данного издания послужила популярная книга «Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega», материал которой был существенно переработан и дополнен описаниями новых моделей.

Предназначена для разработчиков радиоэлектронной аппаратуры, инженеров, студентов технических вузов.

К 65-ЛЕТИЮ ФГУП «НПП «ИСТОК»

УДК 621.38(09)

НЕМЕЦКИЙ СЛЕД В СОВЕТСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Р. М. Попов

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

ФГУП «Научно-производственное предприятие «Исток» было образовано на основании постановления Государственного Комитета Обороны СССР от 4 июля 1943 года как Электровакуумный институт с опытным заводом. Институту было присвоено наименование НИИ-160. Вниманию читателей предлагается отрывок из книги сотрудника научно-информационного отделения предприятия Рудольфа Михайловича Попова «От НИИ-160 до «Истока».

FSUE “Research & Production Corporation “Istok” was founded as Electrovacuum Institute with experimental plant on the basis of a resolution of the USSR State Defense Committee dated July 4, 1943. The Institute was named Scientific & Research Institute-160. A fragment from the book «From Scientific & Research Institute-160 to “Istok”» by R.M. Popov, an employee of the company information department, is offered to the attention of the readers.

ЛАБОРАТОРНО-КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО

Вторая мировая война близилась к концу. В феврале 1945 года в Ялте состоялась Крымская конференция руководителей трех союзных держав – СССР, США и Великобритании. 13 февраля было опубликовано коммюнике, подписанное И. Сталиным, Ф. Рузвельтом и У. Черчиллем, в котором, в частности, говорилось о разрушении военно-промышленного потенциала Германии. Это означало, что все разработки военного характера, обнаруженные в лабораториях, научно-исследовательских учреждениях, конструкторских бюро, предприятиях, должны быть изъяты, а документация и соответствующие оборудование, приборы, опытные образцы – уничтожены или вывезены в страны-победительницы.

Еще в ноябре 1944 года секретарю ЦК ВКП(б) Г.М. Маленкову дается поручение – приступить к формированию при Совнаркоме СССР Особого комитета по Германии. Наряду с вопросами репараций, в задачи комитета входило изучение немецкой техники и использование научно-технического и промышленного опыта Германии для послевоенного восстановления и развития народного хозяйства Советского Союза. Маленков предложил всем наркоматам и учреждениям, заинтересованным в получении из Германии тех или иных материалов, присылать в Особый комитет уполномоченных с надлежащим штатом помощников.

Для комплектации специальных бригад тысячи гражданских лиц, работающих в оборонной промышленности, вызывались в военкоматы, где им выдавали обмундирование, а в военном билете после записи «рядовой необученный» сразу писали – инженер-майор или полковник. К маю 1945 года таких бригад создается несколько десятков.

5 июля 1945 года ГКО принял Постановление о создании Комиссии по вопросам изучения немецкой радиолокационной техники. Руководителем группы инженерно-технических и научных работников назначается будущий министр электронной промышленности инженер-капитан 1-го ранга Александр Иванович Шокин. Комиссия должна была заниматься изучением промышленных предприятий, сбором образцов приборов и изделий, технической документации, поиском и привлечением к работе немецких специалистов. Но главное – собирать оборудование для оснащения отечественной радиотехнической промышленности.

12 июля комиссия прилетела в Берлин. В ее составе были высококвалифицированные специалисты А.Н. Щукин (в дальнейшем академик), профессора Невяжский, Богородицкий, Подгурский, Попов, генерал Угер и др. Всего около 20 человек. Первым делом комиссия приступила к объединению разрозненных групп радиоспециалистов, которые собирали материалы, систематизировали их и представляли отчеты в Москву, в Совет по радиолокации.

Радиотехническая отрасль в Германии до войны бурно развивалась, успешно конкурируя на европейском рынке с продукцией США. Фирмы «Гартман и Браун», «Телефункен», «Аншюгц», «Сименс», «Лоренц», АЭГ, «Роде-Шварц», «Аскания» еще задолго до второй мировой войны пользовались большой известностью во многих странах.

К 1939 году в Берлине сосредоточивается около половины всей электротехнической промышленности Германии. Здесь действовало более двух с половиной тысяч предприятий с численностью работающих почти 250 тыс., что составляло пятую часть от общего числа занятых в остальных производственных отраслях. За исключением юго-запада, Берлин со всех сторон был окружен промышленными окраинами и пригородами. На севере, в районе г. Шпандау, находились заводы концерна «Сименс», занимающие целый городок (Сименсштадт), заводы Всеобщей компании электричества (АЭГ), электроламповые заводы «Осрам», предприятия слаботочной промышленности «Телефункен» и др.

Поиски нужного оборудования, материалов и технической документации велись в трудных условиях. Во время войны предприятия радиотехнической промышленности были рассредоточены на бывших мануфактурных и трикотажных фабриках, в подземных бункерах, в небольших строениях и т.д. С подобными трудностями сталкивались и специалисты других отраслей. Иногда пути бригад различных ведомств пересекались.

Б.Е. Черток, ближайший помощник С.П. Королева, в своей книге «Ракеты и люди» пишет о посещении одного из заводов фирмы «Лоренц» в Темпельгофе: «Сам завод уже до нашего посещения был освоен «профсоюзными» (такое название, а также «цивильные» и «трофейные» получили в Германии гражданские майоры и полковники. – *Р.П.*) офицерами московских радиозаводов... Мы около двух часов проговорили с немецкими специалистами. Нам показали передатчики для радиолокаторов трех- и десятисантиметрового диапазонов. Интересно, что лаборатория, специализировавшаяся на разработке телевизионных приемников, была быстро перепрофилирована на приборы с большими электронно-лучевыми трубками радиолокационного наблюдения... В начале войны вся радиолокационная техника немцев ориентировалась на дециметровый диапазон. Немецкие инженеры посетовали: "Наше соревнование с англичанами было войной не только на поле боя и в воздухе, но и в лабораториях. Они еще в 1942 году добились больших успехов, благодаря смелому переходу на сантиметровый диапазон. Мы в это время не имели такой ламповой техники"».

После длительного общения с немецкими специалистами мы, покидая радиозавод «Лоренца», зашли доложить полковнику, который дал нам разрешение на осмотр и общение с немцами. Формальное представление перешло в длительный разговор и обмен впечатлениями. Полковник оказался таким же «профсоюзным», как и мы. Это был уполномоченный Совета по радиолокации при ГКО Александр Иванович Шокин. Тогда в Берлине он с горечью говорил, что наша радиотехническая и электронная промышленность, несмотря на серьезные научные достижения, по сравнению с тем, что мы видим здесь, безусловно, является слаборазвитой».

Сразу же после войны создается Комитет по демонтажу немецкой промышленности, который возглавил Г.М. Маленков.

Многие влиятельные ведомства боролись, чтобы получить как можно больше оборудования. Для рассмотрения возникающих конфликтов создается комиссия во главе с А. Микояном. Она вынесла неожиданное решение: прекратить вообще демонтаж немецкой промышленности и наладить производство товаров для СССР в Германии в качестве репарации. Это решение было утверждено на Политбюро, несмотря на возражения Кагановича и Берии.

Первыми совместно с немецкими специалистами стали налаживать в их лабораториях и цехах производство необходимой продукции ракетчики. Уже в середине июля 1945 г. они организовали институт «Рабе» (расшифровывается как «ракетенбау» – строительство ракет). Еще через месяц создается институт «Берлин» для изучения зенитных управляемых ракет. В начале марта 1946 года организуется институт «Нордхаузен» по восстановлению документации и изготовлению ракет ФАУ-2. В нем работало около 7000 немецких специалистов.

В научных организациях и ОКБ, организованных в г. Дессау на базе заводов «Юнкерса», где немцы выполняли задания Министерства авиационной промышленности СССР, в 1945–1946 гг. работало до 8000 человек.

В мае 1946 года Комиссия по изучению немецкой радиолокационной техники закончила свою работу. Результаты ее деятельности сыграли значительную роль в дальнейшем развитии советской радиоэлектроники. По предложению Комиссии для разработки и выпуска различных электровакуумных приборов в Берлине создается Лабораторно-конструкторское бюро (ЛКБ) с опытным производством, к работе в котором привлекаются немецкие инженерно-технические специалисты и высококвалифицированные рабочие. В состав этого бюро вошли также советские инженеры и ученые из разных институтов, КБ и заводов радиотехнической промышленности, в том числе и из НИИ-160 (в настоящее время ФГУП «НПП «Исток»), организованного по постановлению ГКО от 4 июля 1943 г. в поселке Фрязино Московской области (в настоящее время – наукоград Фрязино).

Бюро разместили в пятиэтажном корпусе электролампового завода «Обершпрее», принадлежащего компании АЭГ. Его производственная площадь составляла 18 000 м². Рядом находилось небольшое здание (2000 м²) катодного завода. Хорошо сохранившееся станочное и специальное оборудование составляло более 700 единиц. При формировании штата ЛКБ очень помогли списки участников технических совещаний, протоколы которых были найдены сотрудниками НИИ-160 А. Федосеевым и Н. Девятковым, прибывшими в Берлин в составе бригады радиоспециалистов в июне 1945 г.

Возглавить Бюро предложили одному из крупнейших специалистов электровакуумной отрасли Германии, доктору математики (физику) Карлу Иоганну Штеймелю. Руководителем всей

технологической части назначили видного немецкого ученого в области физико-химической технологии, доктора естественных наук Курта Рихтера. Главным инженером стал дипломированный инженер-радиотехник Шпигель.

С советской стороны ЛКБ возглавил Г.С. Вильдгрубе – опытный специалист электровакуумной промышленности, долгое время работавший на ленинградском заводе «Светлана» в Отраслевой вакуумной лаборатории (ОВЛ) под руководством С.А. Векшинского. Техническое руководство Бюро было возложено на сотрудника ОВЛ – начальника ее опытной мастерской, которая занималась мелкосерийным производством приемоусилительных и генераторных ламп, электронно-лучевых трубок (ЭЛТ) и газоразрядных приборов, Ю.Д. Болдыря.

К концу 1946 года немецкий состав ЛКБ был полностью сформирован. Он состоял из 51 доктора, 588 инженеров, техников и конструкторов и 1118 рабочих. Всего в ЛКБ работало 2271 человек. В структуре ЛКБ было 30 лабораторий. В семи самых крупных из них, занимавшихся разработкой специальных электровакуумных приборов, измерительных ламп, детекторов, ЭЛТ, деталей (резисторы, конденсаторы и др.), было занято 150 специалистов. Над проведением различных научно-исследовательских работ в шести лабораториях трудились 140 ИТР. На серийном выпуске ЭВП и различных типов катодов для поставки в СССР было занято 100 инженеров. Столько же ИТР разрабатывали и изготавливали специальное технологическое оборудование и инструмент. Четверо – конструировали устройства для радиолокации, навигации и связи.

Советских специалистов в ЛКБ, которые работали постоянно, было 14 человек, хотя штатным расписанием предусматривалось 38. Кроме того, в разное время в Бюро проходили стажировку 87 инженеров и техников с предприятий Министерства промышленности средств связи (МПСС). Советские сотрудники в основном занимались разбором и изучением немецкой технической документации, составлением отчетов и обзоров, написанием статей для издававшихся в Бюро информационно-технических бюллетеней и т.д. Кроме того, каждый из сотрудников контролировал разработку каких-либо ЭВП. Так, под наблюдением старшего инженера НИИ-160, впоследствии академика, Н.Д. Девяткова находилось 22 работы.

Представляют интерес условия, созданные для немцев на советско-германских предприятиях. Немецкий историк Манфред Борнеманн, оценивая совместную деятельность советских и немецких специалистов в Германии, в своей книге «Секретный проект срединной стройки. История фау-оружия» писал: «Атмосфера во время работ между немцами и русскими была исключительно дружелюбной: русские показали себя с лучшей стороны... Зарплата немецких специалистов была относительно высокой. Их материальное обеспечение находилось на уровне, которого уже давно не было в Германии. Так, например, дипломированный инженер получал так называемый паек 1-й категории, что составляло на 14 дней: 60 яиц, 5 фунтов масла, 12 фунтов мяса, неограниченно хлеб, вдосталь растительное масло, мука, сигареты и табак. Для других категорий служащих эти нормы были ниже, но по тогдашней ситуации тоже сравнительно очень высокими».

О роли ЛКБ в послевоенном развитии отечественной радиоэлектроники и, в частности, на начальном этапе становления НИИ-160, говорят несколько примеров.

Как известно, для покрытия экранов электронно-лучевых трубок применяются люминофоры. До 1948 г. их промышленное производство в СССР отсутствовало. Приходилось пользоваться импортными – немецкими и американскими – люминофорами. В период с 1949 по

1951 г. в НИИ-160 была выполнена работа по созданию и освоению промышленного производства люминофоров. За этот период их изготовили около 3000 кг, что освободило СССР от импорта и полностью обеспечило потребность электровакуумной промышленности страны. В 1951 г. сотрудники НИИ-160 Григорьев Н.В., Волков В.А. и Лобашова Н.И. за разработку и производство люминофоров были удостоены Сталинской премии.

Эта работа начиналась не на пустом месте. ЛКБ в адрес МПСС направило большое количество материалов, связанных с производством люминофоров в Германии. В 1946 году – пять отчетов немецких специалистов с завода в Штейнбахе. В начале 1947 года – проект люминофорного завода, составленный доктором М. Вольфом, бывшим сотрудником фирмы «Ауспрезельшафт» в г. Берлине. Доктора Камм, Крессин, Функ и др. из фирмы «Лейхтштоф» в Тюрингии сделали проект люминофорной фабрики с подробнейшим описанием всех технологических процессов. Эта техническая документация, переработанная под отечественные условия, несомненно, помогла реализовать в НИИ-160 промышленный выпуск 15 типов люминофоров, три из которых нашли применение в производстве кинескопов для первых отечественных телевизоров.

Другой пример. В начале 1947 года радиолокационная промышленность Советского Союза оказалась в весьма сложном положении из-за отсутствия кристаллических детекторов, пригодных для применения в радиолокационных станциях (РЛС) сантиметрового диапазона. В наличии имелись лишь небольшие запасы (несколько сотен штук) американских детекторов типа 1N21 и незначительное количество трофейных немецких. В связи с этим по постановлению Совмина СССР от 17 июля 1947 года в НИИ-160 была открыта тема «Разработка и внедрение в производство серии кристаллических детекторов сантиметрового диапазона волн, предназначенных для использования в РЛС и измерительной аппаратуре».

Начиная с 1946 года в ЛКБ велись работы по производству 11 типов кристаллических детекторов, среди них – ED704 на длину волны 10 см и ED707 на волну 3 см. К середине 1947 года было поставлено в СССР ED704 около 8000 шт., а ED707 – 6000 шт. Кроме того, в МПСС были отправлены отчеты по этим работам и статья советского инженера Татариновой по технологии производства кристаллических детекторов. После изучения в НИИ-160 присланных образцов и документации было принято решение использовать немецкий опыт. При проведении разработки не применялся метод слепого копирования, а во многих случаях использовались свои оригинальные пути решения возникавших проблем. За 2 года производство кристаллических детекторов было освоено на опытном заводе НИИ-160, который начал выпускать 14 типов детекторов. За 10 месяцев 1949 года их было изготовлено более 14 000 шт. Сотрудники НИИ-160 Красилов А.В. и Мельников А.И. за эту работу были удостоены Сталинской премии.

Это только два примера использования немецкого опыта в НИИ-160 в первые послевоенные годы. А таких примеров можно привести много.

В 1945 году в ЛКБ приступили к обследованию ряда ЭВП, выпускавшихся в Германии различными фирмами во время войны. Задача состояла в том, чтобы выявить приборы, в которых в первую очередь нуждалась отечественная радиопромышленность. Среди них были и приборы СВЧ-диапазона, разработки которых с середины 1943 года проводились немцами по американским и английским образцам.

Обследовались 8 типов отражательных клистронов в диапазоне длин волн от 0,9 до 12 см с выходной мощностью от 7 до 100 мВт и 5 типов клистронов от 3 до 30 см с мощностью от 10 до 60 Вт; 10 типов импульсных магнетронов на волну от 1,4 до 14 см и мощностью от 100 до 1000 кВт и 3 типа магнетронов для непрерывной генерации от 3 до 6 см и мощностью от 2 до 6 Вт.

В результате проведенных работ для дальнейшего воспроизведения были отобраны металлические клистроны типа 723А/В на длину волны 3,2 см и 726А на волну 10,5 см, а также импульсный магнетрон типа 730, работающий в 3-см диапазоне с мощностью 55 кВт.

Тематический план ЛКБ на 1946–1947 гг. состоял из 167 тем, среди них:

- разработка электровакуумных приборов (магнетронов, клистронов, резонаторных разрядников, импульсных генераторных и высокочастотных приемоусилительных ламп) для метрового, дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн;
- катодно-лучевых трубок (телевизионных, осциллографических, трубок для высоких скоростей записи, а также с темновой записью и длительным послесвечением);
- газоразрядных приборов (стабилитронов, тиратронов, игнитронов, низковольтных газовых выпрямителей и различного рода газосветных ламп);
- высокочастотных радиодеталей (кристаллических детекторов, колебательных кварцев и слоевых резисторов).

Кроме перечисленных выше основных направлений, в 1946–1947 гг. выполнялось большое количество тем по разработке радиоизмерительной аппаратуры для дециметрового и сантиметрового диапазонов длин волн (волномеры, измерительные линии, измерители мощности, анализаторы спектра частот, компенсаторы для подстройки и согласования линий, модулометры и осциллографы); по проектированию и изготовлению оборудования для вакуумного производства и его инструментального оснащения и т.д. Одновременно с проектно-конструкторскими работами проводились технологические и теоретические исследования.

В 1947 году в ЛКБ было изготовлено 450 шт. клистронов 723А/В и 726А, при этом выход годных изделий не превышал 20 %. По окончании работ была оформлена техническая документация, изготовлен полный комплект инструментов и деталей примерно на 1000 шт. приборов, специальная измерительная аппаратура для их испытаний. Все это было направлено в МПСС. Серийный выпуск клистронов под шифрами 2К25 и 2К48 был начат на ленинградском заводе «Светлана».

В конце октября 1946 г. из ЛКБ в НИИ-160 направили около 200 немецких специалистов: докторов, инженеров, техников, технологов, механиков, квалифицированных рабочих и т.д. Среди 18 докторов наук были и руководители Бюро Штаймель и Рихтер.

Отъезд большой группы специалистов не очень сказался на количестве научно-исследовательских работ в ЛКБ. Из запланированных на 1946–1947 гг. 167 тем в 1946 году были выполнены темы по 36 типам электровакуумных приборов, среди которых – 2 магнетрона, 1 клистрон, 2 генераторные лампы, 7 приемоусилительных ламп, 6 электронно-лучевых трубок. Кроме этого – 21 тема по конструированию и изготовлению радиоизмерительных приборов. В 5-е (бывшее 7-е) Главное управление МПСС по разработанным в ЛКБ 45 типам приборов было отправлено 44 отчета, 40 статей немецких специалистов и 25 советских, а также 7 номеров выпус-

кавшихся в ЛКБ информационно-технических бюллетеней. Из 45 типов приборов, разработанных в ЛКБ, НИИ-160 предстояло освоить серийный выпуск 8. Они предназначались для комплектации бомбоприцела «Кобальт», который выпускал завод № 283 МАП для бомбардировщика Ту-4.

К середине 1946 года «добрососедские» отношения между союзниками ухудшились. Раньше американцы и англичане более или менее лояльно относились к действиям русских по созданию совместных с немцами промышленных и исследовательских организаций для изучения и выпуска продукции военного характера. Теперь же они стали требовать неукоснительного выполнения решений Крымской конференции, по которым существование подобных заводов и КБ в советской зоне оккупации могло рассматриваться как нарушение принятых соглашений.

В системе Технического отдела МПСС при Управлении советской военной администрации в Германии (СВАГ) по изучению достижений немецкой науки и техники кроме ЛКБ были организованы Техническое бюро по радиоизмерительной аппаратуре в г. Радеберге, Техническое бюро физико-технических приборов в г. Тальгейме и Светотехническое бюро в г. Берлине. В декабре 1946 г., согласно приказу Главноначальствующего СВАГ Маршала Советского Союза Соколовского, они ликвидируются. Все задания, утвержденные МПСС по этим Бюро на 1947 г., включаются в тематический план ЛКБ, причем ни оборудование, ни немецкие специалисты переданы в него не были. В связи с постановкой новых задач Лабораторно-конструкторское бюро в начале 1947 года преобразуется в Электровакуумное техническое бюро МПСС. Для ЛКБ начались трудные времена. Помимо расширения поставленных перед ним задач, начался демонтаж оборудования.

В связи с этим количество тем на 1947 г. сократилось до 131. Но серийный выпуск электровакуумных приборов продолжался. Из 47 типов разрабатываемых ЭВП к середине 1947 года в МПСС были направлены: 2 типа (725А и 730) магнетронов в количестве 257 шт., 10 типов генераторных ламп – 1424 шт., 14 типов приемоусилительных ламп – 11 282 шт., 8 типов электронно-лучевых трубок – 1727 шт., 11 типов детекторов – 96 044 шт.

С начала 1947 года объем производства начал сокращаться. Постепенно пустели отделы и лаборатории. Из 764 единиц различных измерительных приборов из ЛКБ было вывезено 540. Только из Отдела радиоизмерительной аппаратуры – более 70 %.

Союзники, в свою очередь, не очень «грабили» побежденную Германию, многие не разрушенные войной предприятия в Западной Германии быстро вступили в строй. Это явилось одним из факторов того, что ФРГ значительно опередила ГДР в экономическом развитии.

Советские специалисты перенимали немецкий опыт не только в технологии электровакуумного производства, но и в проведении научно-исследовательских работ. Постепенно миф о германском организационном гении начал улетучиваться. Если вначале кое-кто верил, что, по крайней мере, в военных науках немцы обладали поразительной способностью к хладнокровному, дальновидному и эффективному планированию и к выполнению своих планов, то в дальнейшем им пришлось испытать глубокое разочарование. У немцев имелась масса всяких картотек, бланков, классификаций, бюро и департаментов. В исследовательских отчетах и протоколах совещаний, как правило, содержалось много полезной информации. Все это отлично отпечатано и удобно классифицировано для пользования. Но, когда предстояло выполнить конкретную работу, немцы вовсе не являлись первоклассными исполнителями.

Бюро функционировало до конца 1948 года. По крайней мере, его деятельность упоминается в приказе министра промышленности средств связи от 28 декабря 1948 года, в котором указано, что образцы и техническая документация должны поступать от Бюро только в адрес НИИ-160.

Каковы же итоги пребывания советских специалистов в ЛКБ. В первую очередь, это изучение передовой немецкой технологии в электровакуумной промышленности. Сбор и отправка в СССР большого количества оборудования и приборов. Разработка и выпуск ряда ЭВП, деталей, инструмента, оборудования, измерительной техники, необходимых для Союза в первые послевоенные годы.

Все это оказало существенное влияние на развитие СВЧ электронной техники в СССР.

НЕМЕЦКИЕ СПЕЦИАЛИСТЫ В НИИ-160

В кабинете начальника отдела генераторных ламп и магнетронов А.П. Федосеева шла оживленная дискуссия. В небольшой комнате находилось человек десять, среди них из немецких специалистов - доктора Карл Штаймель, Курт Рихтер и Гасс Шааф, из советских – С.А. Зусмановский, А.В. Красилов, Б.М. Царев и несколько сотрудников отдела. Вопрос шел о возможности создания импульсной модуляторной лампы на очень большие мощности. Работа выполнялась согласно 3-летнему плану развития радиолокации на 1946–1948 гг.

В этом плане предусматривалось создание первой РЛС дальнего обнаружения и наведения в сантиметровом диапазоне волн. В комплект ламп для сверхмощного по тем временам локатора входила и модуляторная лампа с длительностью импульса 10 мкс, анодным напряжением 40 кВ и импульсной мощностью 2,5 МВт. Ничего подобного (по мощности) мировая ламповая техника тогда не знала. Разумеется, с какой целью разрабатывается подобная лампа, немцам не докладывали. Спор шел чисто по теоретическим вопросам, так как А.П. Федосеев собирался использовать в лампе оксидный катод. Немцы в один голос утверждали, что при анодном напряжении 40 кВ катод выдержит не более нескольких минут.

Ссылаясь на работы в этой области своих соотечественников Г. Германа и С. Вагенера, они утверждали, что анодное напряжение более 20 кВ для оксидного катода недопустимо. Крупнейший из немецких специалистов доктор К. Штаймель совершенно искренне убеждал, что техническая задача, которую взяли на себя русские, невыполнима. Он утверждал, что при таком напряжении оксидный катод создаст вокруг себя газовую среду, которая приведет к электрическим пробоям. Это мнение поддерживали и некоторые из присутствующих сотрудников НИИ. В какой-то мере они были правы.

Высокое анодное напряжение ставило перед разработчиками ряд проблем, которые невозможно было решить при состоянии технологического и технического уровня электровакуумной промышленности тех лет. Не было достаточно чистых катодных материалов, устройств для получения высокого вакуума, технологии обезгаживания деталей и оболочки приборов и т.д. Для осуществления поставленной задачи необходимо было найти какое-то оригинальное решение. И разработчики новой лампы А.П. Федосеев и Л.Н. Квасникова нашли его. Они предложили выполнить лампу «вывернутой» конструкции – с центральным анодом и окружающими

ми его сетками и оксидным катодом. Это значительно увеличивало площадь катода и позволяло, в свою очередь, уменьшить плотность отбираемого тока в импульсном режиме и тем самым значительно снизить влияние несовершенства существовавшей технологии. Вполне возможно, что разработчиков на такую конструкцию модуляторной лампы натолкнуло устройство магнетрона, в котором катод находился в центре цилиндрического анода, только в предлагаемой конструкции катод и анод поменялись местами.

Разработанная лампа Г-485 явилась базовой конструкцией мощных высоковольтных импульсных модуляторных ламп. На ее основе была создана в 1954 году (гл. конструктор Л.Я. Таланов) первая металлокерамическая вибропрочная лампа ГМИ-4Б, предназначенная для использования в космической аппаратуре.

Не умаляя теоретических и практических знаний немецких специалистов, можно сказать, что, несмотря на высокую квалификацию, они работали не эффективнее наших, а часто и хуже. Довлеющие над ними догмы и правила часто не позволяли им принимать оригинальные решения. Так было с ошибочным заключением немецких ученых о том, что волны короче 20 см непригодны для радиолокации. Так было, когда они работали над атомной бомбой и посчитали практически невозможным получение в чистом виде изотопа урана – 235 и использование для бомбы плутония. Они очень ошиблись и в том, что представляли себе атомную бомбу как взрывающийся реактор.

Большим недостатком немецких ученых было распространенное в их среде самомнение. Уверенность в превосходстве германской науки заставляла их считать, что ни одна нация не может сравниться с ними и никто не может иметь успеха там, где не сумели добиться его они. Немцы считали себя исключительно хорошо образованными, но, как оказалось, они не знали всего – они просто многое знали лучше. С этими немецкими «достоинствами и недостатками» боролись наши инженеры и ученые. Немцам, как правило, не поручались самостоятельные работы. Каждого из них контролировал наш специалист, направляющий их творчество в нужном направлении. Основная задача сотрудничества с немцами состояла в том, чтобы как можно шире использовать в промышленности их опыт и знания.

Часть наиболее квалифицированных немецких специалистов использовалась в качестве консультантов при копировании тех работ, которые они проводили у себя в Германии. Производственные и исследовательские работы остальных играли вспомогательную роль. Поставки вооружения по ленд-лизу, множество добытых в Германии трофеев, вагоны доставленной оттуда же производственной документации – все это открыло для наших инженеров и ученых неизвестную техническую планету, полную идей, опыта и знаний. Так, по секретному постановлению ГКО № 9780 в СССР была привезена Берлинская государственная патентно-техническая библиотека. На ее материалах – патентах на изобретения – были созданы десятки союзных научно-исследовательских лабораторий. Но, к сожалению, все это богатство в СССР не спешили использовать.

В сентябре 1947 г. МПСС направило в НИИ-160 около 400 патентов различных радиоэлектронных фирм Германии. Разумеется, это была только небольшая часть трофейной документации, находящейся в министерстве. Удивляет и то, что эти патенты появились спустя почти 2 года с момента окончания войны. Очевидно, они где-то лежали и пылились. Как это случилось, например, в НИИ-160, в котором начальнику бюро трофейного оборудования Портнову, в соответствии с приказом МПСС за № А-193 сс от 16 июля 1947 г., было дано указание:

«1. Проверить все склады и другие помещения в НИИ-160, где могла бы находиться трофейная техническая документация, на предмет выяснения, учтена она или нет. Научную техническую документацию немедленно учесть.

2. Всю трофейную техническую документацию... немедленно распределить и отправить в адрес тех организаций, коим она предназначена. ...Моему заместителю тов. Зусмановскому С.А. немедленно организовать просмотр и классификацию неизданных патентов, прибывших с трофейной документацией, для чего подобрать и поручить выполнение этой работы высококвалифицированным инженерам и закончить ее к 30-му сентября сего года. Отобрать наиболее интересные патенты на предмет их использования в НИИ-160 или для передачи их в другие организации...»

Спустя два месяца после выхода приказа по НИИ «немедленно» была организована во главе с Н.И. Струтинским бригада специалистов в количестве 9 человек, знающих немецкий язык, которой было предписано: «... в 2-месячный срок закончить просмотр всех обнаруженных документов с кратким (в несколько строчек) аннотированием важных для работ института патентов». Но не успела бригада приступить к работе, как через неделю из МПСС поступают 400 вышеназванных патентов. В бригаду добавили еще троих и решили не спешить, а рассмотреть и написать заключение по всем патентам сразу, но уже к маю 1948 года. Так важная для развития отечественной электровакуумной промышленности работа была проведена только спустя почти три года после окончания войны.

Совсем по-другому распорядились этим богатством наши союзники. Американский журнал «Харпере мэгэзин» писал, что «военные патенты, привезенные из Германии в Соединенные Штаты, составляют 750 тысяч отдельных единиц; использование знаний и опыта немцев сэкономило американскому налогоплательщику 750 миллионов долларов только в одной области – использовании ракет». Журнал утверждал, что в Америке «жадно проглатывают все бывшие немецкие секреты» и, разумеется, используют их.

Советское правительство пошло еще дальше, оно приняло решение: не начинать создание новой техники, требующей больших материальных затрат, «с чистого листа», а полностью скопировать некоторые зарубежные образцы и на полученном опыте «подтянуть» отечественную промышленность до более высокого уровня.

Первая группа немецких специалистов электровакуумщиков, среди которых доктора К. Штаймель, Роттгард, К. Рихтер, Фоги и др., была доставлена в СССР на самолете 21 октября 1946 года. В НИИ-160 их зачислили консультантами в различные отделы и цеха. Остальные немцы прибыли с эшелонам в конце октября.

Из 215 специалистов собственно в институте работало 199 человек: 18 докторов, 58 инженеров, 20 инженеров-конструкторов, 12 техников, 2 технолога, 30 механиков, 8 мастеров, 3 лаборанта и 48 квалифицированных рабочих. В состав ИТР входили: 28 дипломированных инженеров и 60 инженеров-практиков, а рабочих, имеющих 7-8 разряд, – 59 человек, 5-6 разряд – 16, 3-4 разряд – 2. Спустя некоторое время руководство НИИ констатировало, что из 199 иностранных специалистов «являются действительно высококвалифицированными, могущими самостоятельно решать сложнейшие проблемы вакуумной промышленности и создавать техническую политику только 8 человек... Кроме них имеется еще 16 человек (доктора, инженеры, механики), выполняющих сложные разработки. Остальные иноспециалисты – 173 человека – представляют из себя просто рабочую силу».

Значительная часть немецких специалистов (98 человек) работала в научной части института: в конструкторском бюро – 45 человек и в цехах опытного завода – 56 человек. (В разных документах приведенные выше данные незначительно расходятся.)

В докладе комиссии МПСС по обследованию в июне 1947 года деятельности НИИ-160 отмечается: «Особо важно отметить, что специалистов, по мнению руководства научной части, способных самостоятельно вести темы, оказалось не менее 26 советских и 27 немецких».

В тематическом плане НИР на 1948 год значится 108 тем, в 49-ти из них главными конструкторами и ответственными исполнителями были немецкие ИТР – 29 человек. На остальные темы приходится такое же число советских. Это равновесие соблюдается и на количестве тем, приходящихся на одного руководителя. Так, например, по одной теме вели 14 наших и 15 немцев, по две соответственно – 10 и 9, по три – 3 и 4, по 4 – никто не вел, по 5 – по одному. «Рекорд» принадлежит сотруднице НИИ Х.Г. Хенкиной: она вела сразу девять тем. На втором месте (по 5 тем) у нас – П.А. Тарасов, у немцев – Гасс Шааф (оба в области электронно-лучевых трубок). Кому-то этот «бухгалтерский подсчет» покажется малоинтересным, но он в какой-то мере характеризует тот вклад, который немецкие специалисты внесли в научную и производственную деятельность НИИ-160. Их опыт работы был больше, чем у наших ИТР, третья часть которых в конце 1946 года имела стаж работы в электровакуумной промышленности менее 3-х лет, а 71 сотрудник, работающий на инженерной должности, не имел высшего образования. Но со временем, с приобретением опыта (не без помощи немецких специалистов) наши начали теснить их, а во многих случаях и заменять.

Еще в 1949 году в некоторых отделах НИИ процент НИР, ведущихся немцами, был достаточно высок. Так, в теоретическом отделе (110) из 17 тем они вели 8, в отделе измерений (120) из 6-ти – 4, в отделе электронно-лучевых трубок (130) из 13-ти – 7. Но к 1951 году положение резко изменилось. В отделе 110 из 10-ти тем немцы вели уже только 4, в отделе 120 – одну, а в отделе 130 – вообще ни одной. Со временем сокращалось и общее количество немецких специалистов, ведущих научно-исследовательские работы: в 1947 году их было 37 человек, в 1948 году – 29, в 1949 году – 16, а в 1951 году – всего трое. Среди них двое сотрудников теоретического отдела, которые по праву являются «долгожителями». Они вели темы на протяжении всего периода своего пребывания в НИИ: доктор Ганс Розенстэйн занимался исследованиями высокочастотного спектра магнитного поля, а Вальтер Пробст – разработкой устройств и установок для электронно-оптических исследований.

В начале 1947 года при решении некоторых научных и производственных задач немецких ИТР было больше, чем наших. Так, среди специалистов, способных вести самостоятельные темы, в теоретическом отделе работало 2 советских, 2 немецких, в лаборатории электронно-лучевых трубок – соответственно 1 и 5, в радиофизической лаборатории – 2 и 6, в лаборатории новой технологии – 1 и 3 и т. д.

Немецкие сотрудники за 5 лет своей работы в НИИ-160 приняли участие самостоятельно или совместно с ИТР института в разработке нескольких важных проблем, в основном носящих теоретический характер. При разработке электровакуумных СВЧ-приборов, в частности магнетронов, они испытывали детали катодов и мембран, изготавливали схемы для модуляции, исследовали с помощью спектров-анализаторов нестабильность частоты, проектировали различные измерительные приборы для сантиметровых волн и т.д.

В отделе электронно-лучевых трубок они проводили расчеты и разработку конструкций трубок с электростатической фокусировкой и отклонением луча АСR-10-D(ЛО-247), VCR-112-D (ЛО-249) и АСR-1-D(ЛО-248). В области технологии немцы осваивали и налаживали методы катодорезного покрытия: карбоната на вольфрамовую проволоку, окиси алюминия на проволоку, изготавливали припои для пайки при температуре от 500 до 750 °С. Ими выполнялись и другие работы практически во всех подразделениях предприятия.

К научной и производственной деятельности немецких специалистов в институте относились по-разному. Так, Н.Д. Девятков, который в 1948 году вернулся из Германии и был назначен заместителем главного инженера по научной части, считал, что «немецкие специалисты внесли значительный вклад в развитие института».

Иного мнения придерживался начальник отдела 140 А.П. Федосеев, который утверждал, что лично для него контакты с немецкими специалистами были полезны, но в целом (из-за несовершенства социалистической системы) немцы, «вытащенные» поодиночке из высокоорганизованного и весьма эффективного хозяйства Германии, в котором «предусматривалось и соответствующее техническое обеспечение, и соответствующая комбинация способностей и свойств людей, а также соответствующие стимулы, когда эффект может быть максимальным, не могли работать с полной отдачей. Использование их без всего этого привело только к всеобщему разочарованию и в способностях, и в квалификации немецких специалистов не только со стороны наших специалистов, но и рабочих».

Такие противоположные оценки, очевидно, связаны с тем, что заместитель главного инженера видел общую картину участия немцев в разработках НИИ, а начальник отдела – частную, оценивая их роль только по работам в его подразделении. Но в одном они сходились, что зарплату немцы за свою работу получали значительно большую, чем сотрудники НИИ. Научный консультант доктор К. Штаймель получал 7000 рублей в месяц, в то время как заместитель главного инженера – всего 1400 рублей. Правда, А.П. Федосеев получал 5000 рублей (больше, чем директор института), но только потому, что в 1948 году ему за успешную разработку серии ЭВП для мощных РЛС правительством был назначен персональный оклад.

Руководство НИИ никак не могло добиться справедливости в этом вопросе, так как зарплата немецких специалистов регламентировалась распоряжением Совета Министров СССР от 9-го декабря 1946 г.:

«1. Для имеющих ученое звание профессоров или ученую степень доктора наук и приравненных к ним – от 4000 до 7000 рублей в месяц.

2. Дипломированным инженерам – от 2500 до 5000 рублей.

3. Инженерам и инженерам практикам – от 1500 до 3000 рублей.

4. Прочим инженерно-техническим работникам – от 1300 до 2500 рублей».

В то же время наши ИТР имели зарплату, значительно меньшую, а передовые рабочие, такие, как И. Мотов, В. Волк, Н. Калмыков, К. Линеv, получали не больше 1500 рублей, хотя регулярно перевыполняли производственные задания на 300...350 %.

Уже спустя всего три месяца после начала работы немецких специалистов в институте выявилось несоответствие между их заработной платой и производственной деятельностью. Дело в том, что при определении ставок исходили из мнения немецких руководителей, а не дирек-

ции НИИ. Начальник института В.А. Гольцов неоднократно обращался в МПСС с просьбой предоставить НИИ право самому определять ставки немецких специалистов, но положительного решения так и не добился. Со временем мнение о неправильно установленных окладах и группах питания для немцев в институте еще более укрепилось. Начальники подразделений стали требовать от дирекции, чтобы немцев перевели на сдельную оплату труда, так как «некоторые из них по своей квалификации не оправдывают получение ими высоких спецставок и даже просто не представляют ценность для института».

В научной части института с прибытием немцев создалось резкое несоответствие в количестве наших и немецких специалистов. Особенно это было заметно в ОКБМ и в ряде лабораторий (радиофизической, электронно-лучевых трубок и др.). Такое положение, когда на двух-трех немецких приходился один наш инженер, не только не позволяло более полно перенимать их опыт, но и эффективно осуществлять контроль за их работой. Весьма малочисленный состав русских ИТР оказался фактически на положении обслуживающего персонала при немецких специалистах.

В решении одного из собраний, проходившего в феврале 1947 года, записано: «В связи с наличием большого количества высококвалифицированных немецких специалистов, считать необходимым привлечение к работе в институте некоторого числа крупных русских ученых специалистов по тематике института. Начальнику института т. Гольцову войти с соответствующим ходатайством в МПСС и Президиум Академии Наук СССР» (протокол № 16 от 5.02.47 г.).

НИИ-160 запросил для успешного выполнения всех поставленных перед ним задач передать в 1947 году институту, по крайней мере, 162 дипломированных инженера 10-ти специальностей. Больше всего было затребовано радистов – 35, вакуумщиков – 49 и конструкторов – 26 человек. Надо заметить, что в это же время в Лабораторно-конструкторском бюро МПСС в Берлине работало 599 немецких ИТР (докторов наук – 51, дипломированных инженеров – 21, инженеров – 155, техников – 317 и конструкторов – 95). В НИИ-160 к 1950 году было запланировано иметь в составе научной части хотя бы 480 ИТР.

В трудные послевоенные годы невозможно было полностью обеспечить производственные потребности немецких сотрудников. Их эффективной работе мешала и большая нехватка инструмента, приспособлений, деталей ламп и даже простых канцелярских и чертежных принадлежностей. Ощутимо сказывалось и взаимное незнание языка. Условия работы осложнялись еще и тем, что у немцев были свои, выработанные еще в Германии научные и технические взгляды, привычки, методики. И нашим инженерам надо было к ним приспособливаться.

Имелась еще одна проблема – сохранение государственной тайны от бывшего врага. Спецорганами, поднаторевшими во время войны на поиске и разоблачении шпионов, были выработаны правила по охране от немцев промышленных и научных секретов, связанных с производством военной техники. Они были обязательными для всех оборонных предприятий страны, где работали немцы. Некоторые сведения об этих правилах имеются в воспоминаниях Главного конструктора авиационного завода № 1, находившегося недалеко от города Кимры, в поселке Подберезье. В них С.М. Алексеев пишет: «...на следующий день утром ко мне зашел Бааде (руководитель КБ-1 на заводе) и попросил без посторонних выслушать его. Он явно волновался: "Скажите, господин Алексеев, зачем нас привезли в Советский Союз, почему такую организацию нельзя было создать в Германии, на территории, занятой советскими вой-

сками? Почему нас содержат под арестом и мы не можем выйти из поселка? Какую опасность мы можем представлять для вашей страны сейчас, после войны? Знаете ли вы, что за нами ведется тайная слежка? Что к этому привлечены немцы, сами немцы? Их вызывают в спецкомнату и дают задания. Один из немецких инженеров, часто посещающий мою квартиру, признался мне, что обязан сообщать в спецорганы все, о чем мы говорим. Порой ему поручают задавать мне провокационные вопросы и точно, в письменном виде передавать спецслужбам. Делают они это очень грубо и неумело. Я знаю, что в Германии во время войны тоже существовали спецорганы, но об этом немцы только догадывались”» («Крылья родины», № 11, 1993 г.). Утверждать, что подобное было и в НИИ-160 нельзя, хотя А.П. Федосеев в своих воспоминаниях, рассказывая о совместной работе над магнетроном с молодым и очень энергичным доктором Фоги, пишет: «...но вскоре доктор Фоги и с ним еще несколько немцев вдруг исчезли. По слухам, оказалось, что они арестованы по подозрению в шпионаже и не то расстреляны, не то сидят в лагерях. Я был весьма этим поражен, так как ничего предосудительного со стороны доктора Фоги не видел. Да и какой смысл было ему шпионить? Все наше хозяйство он и так видел. И в чью, собственно, пользу шпионить? Один из немцев в разговоре как-то сказал, что доктора Фоги могли оговорить свои. Я уже говорил, что среди немцев тоже были группировки, враждовавшие между собой и, как утверждают, весьма сильно – вплоть до жалоб и доносов». Оставим эти заметки на совести автора, который в 1971 году, сбежав за границу, ратовал за капиталистическую систему хозяйствования и всячески поносил социалистическую. Со временем он поменял свое мнение на противоположное (см. «Огонек», № 14, 1998 г.).

В июне 1947 г. парторг ЦК ВКП(б) в НИИ-160 В.А. Березкин пишет в адрес директора института В.А. Гольцова докладную записку. Здесь, для справки, уместно напомнить, что с 1933 по 1961 гг. на крупных предприятиях страны, имеющих большое народнохозяйственное значение, были парторги ЦК, которые подчинялись непосредственно аппарату Центрального Комитета. В первичных организациях они избирались по рекомендации ЦК. И имели большие полномочия, являясь «недремлющим оком» партии, следящим за политической и хозяйственной деятельностью предприятия.

Вот некоторые выдержки из докладной, состоящей из 16 пунктов (орфография подлинника сохранена):

«...для лучшего использования специалистов и обеспечения большого контроля за их работой и сохранение максимума секрета от их, считаю необходимым провести следующие мероприятия:

– Изолировать всех немецких специалистов от всех итоговых работ, т.е. от работ, которые полностью закончены или заканчиваются.

– Изолировать всех иноспециалистов от всех работ, которые ведутся нашими специалистами и представляют собой новшество или оригинальность в решении вопроса.

– Считать целесообразным каждому иноспециалисту давать задания изолированно от других, чтобы они работали самостоятельно независимо от других и гарантировать им, что другие не будут знать, над чем он работает, так как они боятся друг друга, чтобы их в будущем не упрекали, что они активно работали в СССР...

– Во все группы, где работают иноспециалисты, обязательно подставить своих людей, которые бы обеспечили контроль за их работой, т.е., чтобы они не могли ничего взять в карман из

чертежей и записок. Это обязан обеспечить весь коллектив, где работают иноспециалисты, по одному человеку специально выделить в каждой группе...

– Запретить пропускать на территорию института и с территории института специалистов с узлами, папками, свертками...»

На основании этой докладной записки в августе 1947 года был издан приказ по НИИ и проведено совещание начальников подразделений.

Но, очевидно, не все руководители добросовестно выполнили предписание приказа, так как в декабре 1950 года издается новый приказ «Об отстранении иноспециалистов от выполнения секретных работ», а в феврале 1951 года создается комиссия по проверке его выполнения, которая «обнаружила», что «неудовлетворительно приказ № 35 выполняется в отделе № 108 (начальник т. Азриель М.Т.), где иноспециалисты хотя и не выполняют секретных работ, однако, находясь в общем помещении, могут иметь доступ к спецработам. Не выполнен приказ в отделе № 170 (начальник отдела т. Коваленко В.Ф.), где иноспециалисты даже не отстранены от выполнения секретных работ...». В последующем приказе В.Ф. Коваленко за то, что на день проверки немецкие специалисты работали над выполнением закрытых тем, был объявлен выговор. Коваленко, ссылаясь на то, что имел лично от Гольцова, Сорокина и Девяткова указание об использовании немецких специалистов на этих работах, на приказе пишет: «Я это указание выполнил и считаю, что поступил правильно. Давать же за выполнение указаний дирекции выговор считаю издевательством».

Методы сохранения государственных тайн, опробованные в первые послевоенные годы на немецких специалистах, были в дальнейшем перенесены и на сотрудников режимных предприятий. С одной стороны, это было крайне необходимо в условиях «холодной войны», а с другой – нередко тормозило решение тех или иных научных и технических проблем.

Прошел всего год, как в НИИ начали работать немцы, а бдительные партийные органы уже рассматривали вопрос о взаимоотношениях между нашими и немецкими сотрудниками. Все началось с того, что в сентябре 1947 года «активный борец» с проявлениями буржуазной идеологии член Политбюро ЦК ВКП(б) А.А. Жданов выступил на совещании представителей некоторых коммунистических партий, которое проходило в Польше. В свойственной ему разгромной манере, известной по знаменитой критике писателей, печатающихся в ленинградских журналах «Звезда» и «Ленинград», «которые тянули советскую литературу в болото безыдейности, беспринципности, формализма, низкопоклонства перед гниющей, упадочной буржуазной культурой», он призвал собравшихся к беспощадной борьбе с идеологическими происками империализма.

По итогам этого совещания в конце октября 1947 года в НИИ состоялось партийное собрание, на котором выступил представитель Щелковского ГК ВКП(б) Никашев. Он сказал: «Нас призвали руководить массами, наша партия вдохновляющая, а мы отмахиваемся от воспитания людей. В вашем институте имеются факты преклонения перед немецкими специалистами. Такое позорное явление наблюдается за товарищами Красиловым и Мишкиным. ... К этим людям надо присматриваться. Люди, которые недооценивают себя, могут быть легкой добычей диверсии...» За «диверсантов» заступился парторг института В.А. Березкин: «... в отношении критики Мишкина и Красилова. Я за критику. Но критиковать за то, что он в дверь входит по-американски, было бы неверно. Приведенные факты неконкретны...»

Это было время борьбы с космополитизмом и преклонением перед Западом, которая продолжалась несколько лет. Выступая на заключительном заседании XIX съезда КПСС в октябре 1952 г., И.В. Сталин сказал: «...знамя национальной независимости и национального суверенитета выброшено (буржуазией) за борт. Нет сомнения, что это знамя придется поднять вам... и понести его вперед, если хотите быть патриотами своей страны... Его некому больше поднять».

Еще в ноябре 1949 года вышло закрытое письмо ЦК ВКП(б) о мерах преодоления тлетворного влияния Запада во всех областях общественной и политической жизни страны. В ответ на это письмо партбюро института поручило группе сотрудников НИИ просмотреть техническую литературу по электровакуумным приборам, выпускаемую советскими издательствами, на предмет правильно ли в ней освещается и защищается приоритет советской науки. В результате обследования комиссия пришла к заключению, что «учебники и книги печатаются с зарубежных и приоритет советской науки в них не защищается». Эти выводы и предложения были доведены до сведения ЦК. В частности, в них предлагалось «поручить Академии наук издать сборник о роли русской науки в области электровакуумных приборов, а также запретить выпуск отечественной и перепечатку иностранной литературы по этому вопросу без предварительного просмотра и заключения авторитетной комиссии МПСС».

Подводя черту в рассказе о научной и производственной деятельности немецких специалистов в НИИ-160, можно сказать, что, с одной стороны, их вклад в развитие первого в стране электровакуумного института был незначителен, но в то же время немцы передали свои знания и опыт, показали примеры проведения научных работ. Наши специалисты увидели организацию труда, во многом более передовую, чем на предприятии. Невозможно определить, как это все сказало на дальнейшей деятельности НИИ, но то, что иной подход к производственным проблемам, передача знаний молодым сотрудникам новорожденного института, творческие дискуссии с немецкими докторами наук и многое другое принесло со временем свои плоды – это несомненно.

В начале 1952 года немецкие специалисты отправляются на родину. Во фрязинском городском клубе на прощальном вечере обеими сторонами в адрес друг друга было сказано немало добрых слов.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ СБОРНИКЕ «СВЧ-ТЕХНИКА»

1. Статья должна иметь официальное направление от учреждения, в котором выполнена работа, и документ, подтверждающий возможность открытого публикования (акт экспертизы).

2. Статья должна содержать:

- соответствующий индекс универсальной десятичной классификации литературы (УДК);
- инициалы и фамилии авторов;
- название;
- реферат;
- текст статьи;
- список литературы;
- краткие сведения об авторах, включающие фамилию, имя, отчество (полностью), город, место работы, домашний и электронный адрес, телефон.

Объем публикуемой статьи, как правило, до 12 стр., включая иллюстрации.

3. Статья должна быть подготовлена в текстовом редакторе MS Word для Windows и передана в виде файла (формат DOC или RTF), записанного на магнитном (FDD 3,5") или оптическом (CD) носителе, и двух экземпляров распечатки.

4. Статья должна быть сформатирована через 1 интервал с выравниванием по ширине. Абзацный отступ - 0,7 см. При наборе текста используются только стандартные True Type шрифты - Times New Roman и Symbol. Размер шрифта основного текста - 12 пунктов, примечаний и ссылок - 10 пунктов. Устанавливаемый размер бумаги - А4 (210 × 297 мм).

Сложные формулы набираются только в "Редакторе формул" Word. Непосредственно в Word допускается использование только простых формул (символы с индексами, подстрочными и/или надстрочными). Не принимаются формулы, выполненные в виде рисунков. Расшифровка буквенных обозначений формул в тексте должна быть набрана в текстовом редакторе. Таблицы выполняются в формате Word.

5. Иллюстрации к статье представляются в виде отдельных файлов.

Рисунки выполняются в соответствии со следующими требованиями:

- растровые рисунки - в формате TIFF, разрешение 300 точек/дюйм (для полутонных фотографий допускается формат JPEG, для рисунков - формат GIF); векторная графика - в формате CorelDRAW, WMF;
- размер рисунка — не более 17 × 20 см;
- буквенные и цифровые обозначения на рисунках должны соответствовать обозначениям в тексте, причем начертание греческих и русских букв - прямое, а латинских букв и цифр, обозначающих номера позиций, - курсивное;
- текстовая информация, не являющаяся неотъемлемой частью рисунка, и условные обозначения выносятся в текст статьи или в подпись к рисунку.

Фотографии принимаются в оригиналах (не более 17 × 20 см) или в электронном виде.

На весь иллюстративный материал должны быть ссылки в тексте.

6. Следует строго соблюдать единообразие терминов, размерностей, условных обозначений, сокращений. Единицы измерения должны соответствовать системе СИ.

7. Формулы следует нумеровать в круглых скобках, например (2), литературные ссылки — в прямых, например [2], подстрочные замечания отмечаются звездочками *.

8. Таблицы должны иметь тематические заголовки. Все слова в заголовках граф даются без сокращений и в единственном числе.

9. Библиография составляется в соответствии с ГОСТ 7.1 — 2003 и дается общим списком в конце статьи.

10. Итоговое решение об одобрении или отклонении представленных в редакцию материалов принимается редакционной коллегией, о чем авторы ставятся в известность.

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. 13,75	Формат 60×88 ^{1/8}
23.07.2007 г.	Уч.-изд. л. 14,25	Тираж 200
Заказ № 145	Индекс 36292	17 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