



ISSN 0021-3470

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

ТОМ 41

5-6

ИЗДАНИЕ  
НАЦИОНАЛЬНОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
УКРАИНЫ  
«КИЕВСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ»

Україна  
Національний технічний університет  
Київська  
бібліотека  
Центральний зал № 4

1998

4. Никольский В. В. Электродинамика и распространение радиоволн.— М.: Наука, 1973.— 607 с.
5. Ахадов Я. Ю. Диэлектрические свойства чистых жидкостей.— М.: Изд-во стандартов, 1972.— 412 с.
6. Вайер У., Уорнер Ф. Л., Йелл Р. Э. Нормальные эталоны в области измерения амплитуды и мощности уровней сигналов // ГИИЭР.— 1986.— Т. 74.— № 1.— С. 53—61.
7. Рабинович Б. Е. Методика суммирования частных погрешностей в области радиотехнических измерений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиоизмерительная техника.— 1961.— Вып. 4.— С. 3—20.

Украинская инженерно-педагогическая академия,  
г. Харьков.

Поступила в редакцию 05.05.97.

УДК 621.385.6

БЕЛОУСОВ Е. В., ВОРОБЬЕВ Г. С., КОРЖ В. Г., НАГОРНЫЙ Д. А., ПУШКАРЕВ К. А.

### ФОТОМЕТОД ДИАГНОСТИКИ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ

Описана методика измерения статических параметров аксиально-симметричных электронных пучков приборов СВЧ, основанная на использовании свойств переходного излучения оптического диапазона, возникающего при падении электронов на металлическую мишень. Приводятся результаты измерений распределения плотности тока пучка по предложенной методике, для электронных пучков, используемых в электровакуумных приборах миллиметрового диапазона волн.

Информация о статических и динамических характеристиках электронного пучка (ЭП) в приборах СВЧ является основополагающей при их конструировании и оптимизации выходных параметров, а теоретические и экспериментальные работы обобщены в [1—4]. Из экспериментальных методов в длинноволновой области СВЧ диапазона широкое применение нашли методы, использующие диафрагмы, зонды и объемные резонаторы, однако их эффективность уменьшается по мере укорочения длины волны. За последние годы успешно развиваются методы, основанные на использовании радиационных эффектов, возникающих при переходе электронами границы двух сред, либо при движении ЭП вдоль периодических структур [5—7]. Однако описанный в [7] фотометод диагностики ленточных ЭП, основанный на анализе переходного излучения, не лишен недостатков, присущих методу диафрагмы. Это не позволяет использовать данный метод для диагностики аксиально-симметричных ЭП малого сечения и ограничивает верхний диапазон удельной мощности измеряемых пучков.

В данной работе описан новый метод [8] измерения статических параметров ЭП, который также основан на анализе переходного излучения электронов на металлической мишени, но свободен от недостатков, присущих фотометоду диагностики ленточных ЭП.

Для реализации описанных в [7] свойств переходного излучения при диагностике аксально-симметричных ЭП была разработана и создана экспериментальная установка, общий вид которой приведен на рис. 1. В вакуумную камеру 1 помещены электрически изолированные от корпуса неподвижная 2 и подвижная 3 мишени. Переменное родящее излучение осуществляется через синхронный узел 4, связанный с кареткой 5, на которой крепятся оптическая система и приемник излучения 6. Синхронное перемещение подвижной мишени и приемника излучения осуществляется с помощью микрометрического винта 7. Исследуемая электронная пушка 8, запитываемая от источника питания 9, формирует ЭП 10. При этом оптическая ось пушки расположена под углом  $\psi \geq \arcsin(L/R)$ , где  $L$  — длина рабочей поверхности мишени,  $R$  — радиус пучка. Излучение с подвижной мишени регистрируется через вакуумное окно 11, а токи на мишенях измеряются индикаторами 12, 13, подключенными через изолированные от корпуса системы выводы водяного охлаждения мишеней. Подробное описание анализатора ЭП и функционирование его основных узлов приведены в [9].

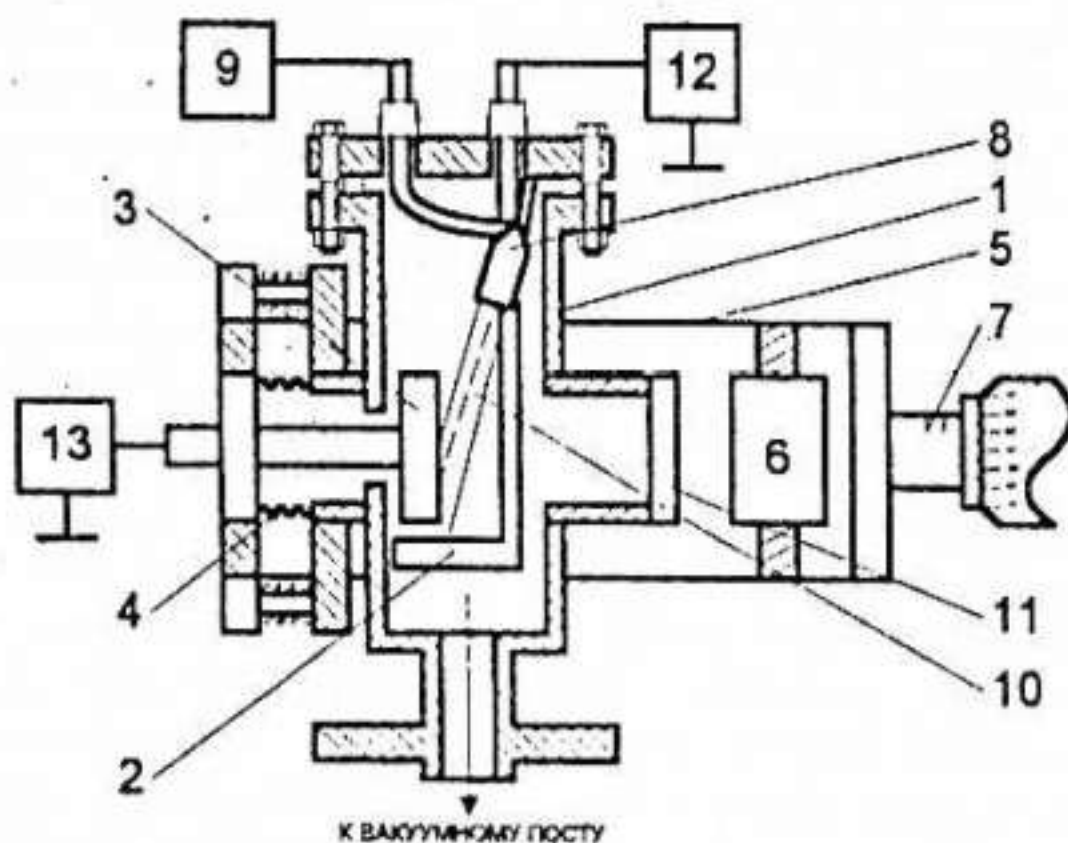


Рис. 1

Порядок проведения измерений на описанной выше установке заключается в следующем. Для заданного режима работы пушки 8 подвижная мишень 3 выставляется в исходное положение, определяемое равенством тока ЭП 10 на неподвижной 2 и подвижной 3 мишенях, что свидетельствует о расположении нижней границы мишени 3 на оси пушки 8. Начальное положение подвижной мишени фиксируется на отсчетном устройстве и является базовым при проведении дальнейших измерений. Установив подвижную мишень для заданных поперечных сечений ЭП, производят регистрацию следа свечения пучка

приемником 6 при параллельной регистрации токов на мишенях индикатора-ми 12, 13.

В качестве приемника излучения может быть использована фотокамера [7, 8], телевизионная камера, фотосъемочная установка или приборы с твердотельными датчиками изображения, например, приборы с зарядовой связью. Выбор приемника излучения определяется требованиями, предъявляемыми к анализу ЭП: точности измерений, скорости обработки данных, наглядности получения информации и т. д. Типом приемника излучения определяется также методика обработки следа свечения пучка на мишени в процессе проведения серии измерений по определению геометрических размеров поперечных сечений пучка и распределения плотности тока. Так, например, при использовании фотокамеры для проведения серии измерений изображение следа свечения пучка фиксируется на фотопленке и обрабатывается по методике, аналогичной [7]. Обработка пленки проводится стандартным проявителем. Для исключения влияния изменений характеристической кривой фотопленки, возникающих в процессе обработки, на каждой пленке фотографируется девятиступенчатый ослабитель. Обработка изображения ослабителя позволяет строить характеристическую кривую для каждой пленки. Для измерения плотности почернения изображения может быть использована любая стандартная фотометрическая аппаратура, позволяющая проводить запись зависимости плотности почернения изображения от координаты.

Фотометрирование по одной из координат фотографического изображения, несущего информацию о пучке, позволяет получить в относительных единицах распределение плотности тока пучка в данном сечении, аналогично измерению методом диафрагмы с малым отверстием [2]. Роль малого отверстия здесь выполняет измерительная щель микрофотометра. При этом достаточно легко обеспечить основное требование метода — малый размер измерительного отверстия по сравнению с размерами исследуемого пучка. Это достигается за счет увеличения изображения как при фотосъемке, так и при фотометрировании. Для получения полного распределения плотности тока по сечению пучка обрабатывается 10000 точек изображения (100 строк по 100 измерений). Погрешность работы фотометрического узла не более  $\pm 0,02D$ , где  $D$  — оптическая плотность фотоматериала. При определении реальных геометрических размеров поперечного сечения пучка используется масштабный коэффициент и значение угла  $\psi$ . При этом легко определяются поперечные размеры пучка как вдоль его оси, так и на любом уровне относительной величины плотности тока.

С целью повышения оперативности обработки экспериментальных данных, отображенных на фотопленке, и существенного увеличения объема получаемой информации о структуре ЭП может быть использован измерительный комплекс, включающий в себя микроденситометр, управляющую ЭВМ и блок сопряжения с микроденситометром, что позволяет идентифицировать плот-

ность почернения фотоматериала с плотностью тока исследуемого пучка путем применения пакета программ для обработки фотоизображений ЭП.

В качестве объекта исследований были выбраны аксиально-симметричные ЭП, используемые в усилителях миллиметрового диапазона СВЧ с мощностью. В таких устройствах пучок формируется трехэлектродной пушкой со сходящейся оптикой и вводится в замедляющую систему, где фокусируется периодическим магнитным полем. В исследуемой пушке катод был выполнен в виде керна из вольфрам-рениевой смеси с активированной поверхностью. Пушки такого типа позволяют формировать ЭП с диаметром в кроссовере порядка 0,3...0,5 мм и током пучка  $I = 5...30$  мА при ускоряющих напряжениях 2...6 кВ. Поскольку для оптимальной фокусировки пучка ввод его в магнитную систему должен осуществляться в области кроссовера, то информация о статических параметрах ЭП за вторым анодом является важной при конструировании прибора.

Проведенные исследования распределения плотности тока ЭП показали, что она существенно неоднородна по площади поперечного сечения пучков. Причиной такой неоднородности являются поперечные скорости электронов, которые могут быть вызваны тепловыми эффектами, эффектами линз анодных отверстий, пространственным зарядом, перекосом электродов пушки, неоптимальным режимом ее работы. В частности, на рис. 2 приведены измерения в относительных единицах распределения плотности тока  $j/j_{\max}$  по диаметру пучка ( $d$ ) в пяти поперечных сечениях (с интервалом 5 мм) для следующих режимов работы пушки:  $I = 30$  мА, напряжение фокусирующего электрода  $U_{\phi} = -40$  В, первого анода  $U_{a1} = 80$  В, второго анода  $U_{a2} = 2400$  В, при первичном пучке  $P = 0,04$  А/В<sup>3/2</sup>. График (а) соответствует сечению ЭП, расположенному на расстоянии 4,4 мм от второго анода пушки. Остальные характеристики построены для сечений, расположенных с интервалом 5,5 мм от первого сечения. Как видно из графиков, плотность тока на заданном сечении пучка неоднородна. Эта неоднородность проявляется как в общей асимметрии плотности тока по диаметру, так и в локальных неоднородностях. Подобные явления наблюдаются как при работе катода в режиме ограничения тока пространственным зарядом, так и в режиме полного отбора тока. Следовательно, неоднородность распределения плотности тока по сечению пучка может быть обусловлена как неоднородностью эмиссии катода, так и расслоением пучка в пространстве дрейфа, усиливающимся с ростом плотности тока. Этот факт указывает на то, что в тонких пучках с высокой плотностью тока одним из основных факторов, определяющих структуру пучка, являются силы пространственного заряда.

При определении диаметра ЭП в различных поперечных сечениях предполагалось, что в пределах определяемого размера содержится 95% тока пучка. Для указанных выше поперечных сечений и рабочих режимов диаметр пучка

изменялся от 0,5 до 2 мм. Построение границ ЭП по полученным значениям диаметров, указывает на то, что кроссовер пучка расположен в области пролетного канала второго анода. Полученные экспериментальные результаты качественно согласуются с траекториями движения электронов в поле исследуемой электронно-оптической системы пушки, проведенным по типовой программе моделирования двумерных потоков заряженных частиц в статическом режиме.

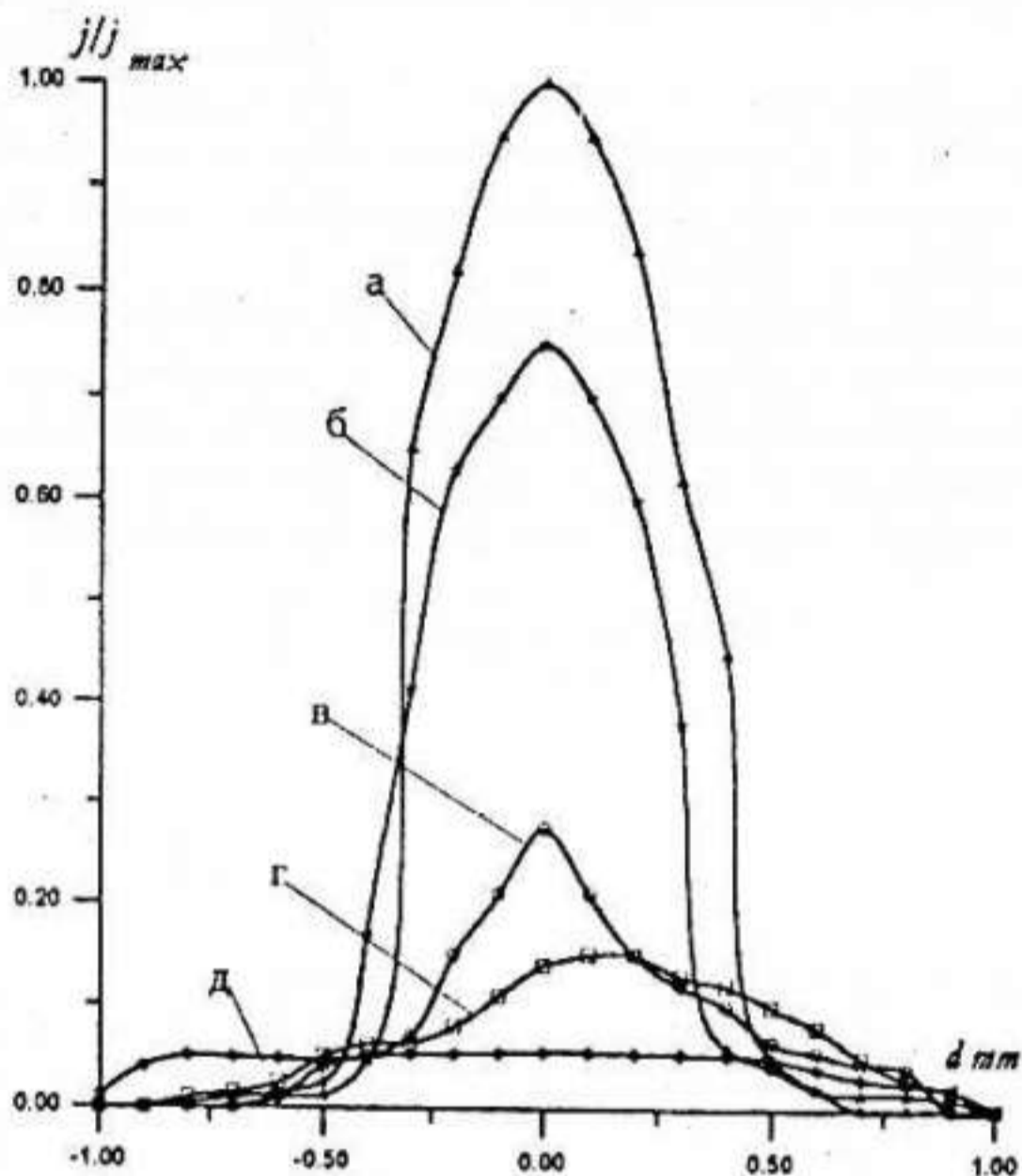


Рис. 2

Таким образом, проведенные исследования указывают на то, что предложенный метод позволяет исследовать ЭП диаметром порядка 0,1 мм при удельной мощности от единиц Вт/см<sup>2</sup> до 100 кВт/см<sup>2</sup>. При этом для фотометода нижний предел обусловлен временем экспонирования, не превышающим минуты и может быть существенно снижен увеличением светосилы оптической системы и использованием высокочувствительных фотоматериалов. Верхний предел связан с нарушением однородности излучения, вызванным появлением микрофакелов, и может быть расширен до 1000 кВт/см<sup>2</sup> за счет рассеяния мощности ЭП на большой площади мишени при наклонном движении электронов относительно ее плоскости.

1. Шевчик В. Н., Шведов Г. Н., Собалева А. В. Волновые и колебательные явления в электронных потоках на сверхвысоких частотах.— Саратов : Госуниверситет, 1962.— 335 с.
2. Обзоры по электронной технике / Г. И. Александров, Б. М. Заморозков, Ю. А. Калпачин и др. // Радиотехника и электроника.— 1981.— Т. 26.— № 10.— С. 2048—2051.
4. Генераторы дифракционного излучения / Под ред. Шестопалова В. П.— Киев : Наукова думка, 1991.— 320 с.
5. Еремка В. Д., Кириченко А. Я., Лысова Л. А. Применение переходного излучения для исследования динамических характеристик электронного потока // Радиотехника и электроника.— 1977.— Т. 22.— № 1.— С. 153—158.
6. Г. С. Воробьев, А. Я. Кириченко, А. И. Цвык и др. Метод определения коэффициента редукиции плазменной частоты электронного потока // Радиотехника и электроника.— 1991.— Т. 36.— № 10.— С. 2048—2051.
7. Фотометод исследования электронных пучков с высокой удельной мощностью / И. М. Балаклицкий, Е. В. Белоусов, В. Г. Корж и др. // Радиоэлектроника.— 1982.— Т. 25.— № 5.— С. 38—42. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Пат. 4086 (Украина). 5Н019/42, 01Т 1/29. Спосіб визначення статичних характеристик електронних пучків малого перерізу та пристрій для його здійснення / Білоусов Е. В., Воробйов Г. С., Корж В. Г., Пушкарьов К. О., Чабань В. Я.— Оpubл. Промислова власність, № 6.— 1/94 от 27.12.94.
9. Белоусов Е. В., Воробьев Г. С., Корж В. Г. и др. Анализатор электронного пучка // Приборы и техника эксперимента.— 1996.— № 6.— С. 137—138.

Сумской госуниверситет.

Поступила в редакцию 13.10.97.

УДК 621.391

КАРПОВ И. Г.

## ОБОБЩЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Предложен подход к классификации законов распределения дискретных и непрерывных случайных величин, позволяющий производить их аппроксимацию ограниченным числом обобщенных аналитических моделей.

Современные радиотехнические системы функционируют в сложной и непрерывно изменяющейся помеховой обстановке. Эффективность моделирования алгоритмов обработки сигналов в этих системах в значительной мере определяется гибкостью и общностью самих математических моделей, применяемых для аппроксимации распределений флюктуирующих негауссовских сигналов и помех. В настоящее время эти модели аппроксимируются большим числом одномерных законов распределения как дискретной, так и непрерывной случайных величин [1—4]. Поэтому определенный интерес представляет получение обобщенных аналитических моделей этих законов.

В известных работах обычно не дается систематизации или классификации законов распределения случайных величин. Приводятся примеры распре-