

12

## **Исследование влияния разброса электронов по скоростям на выходные характеристики лабораторного макета низковольтного виркатора**

© Ю.А. Калинин, А.С. Фокин

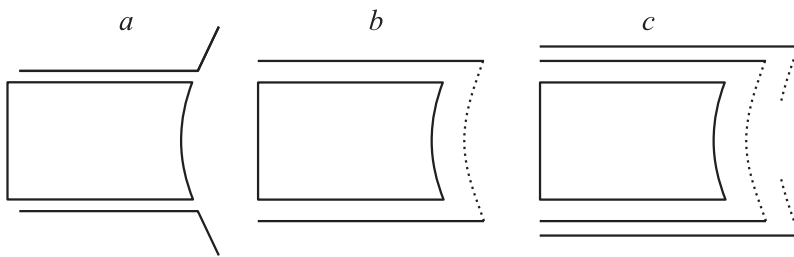
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
E-mail: alexander1989fokin@mail.ru

Поступило в Редакцию 23 июля 2013 г.

Рассмотрены некоторые способы создания многоскоростных электронных пучков, приведены экспериментальные зависимости интегральной выходной мощности и полосы генерации от величины скоростного разброса электронов в пучке, полученные на лабораторном макете низковольтного виркатора.

Широкая возможность применения источников широкополосного СВЧ-излучения породила новый интерес к исследованию факторов, обеспечивающих высокий уровень выходных шумов в широкой полосе частот. Одним из подходов является использование в качестве источника широкополосных СВЧ-колебаний принципиально неламинарных электронных пучков. В многоскоростном неламинарном пучке возникают интенсивные собственные паразитные колебания, вызванные колебаниями сгустков пространственного заряда. Кроме того, в таких пучках создаются условия для развития явлений, обусловленных электронно-волновым взаимодействием. В частности, интерес представляет исследование двухлучевого усиления в электронно-волновых лампах (ЭВЛ), основанного на двугорбом распределении электронов по скоростям. Для таких ламп характерен значительный рост выходной мощности и коэффициента усиления [1].

Данная работа посвящена исследованию влияния величины скоростного разброса электронов в пучке на выходные характеристики генератора. Рассмотрены основные подходы к формированию многоскоростных электронных пучков с функцией распределения по скоростям, позволяющей реализовать двухлучевое усиление (рис. 1).

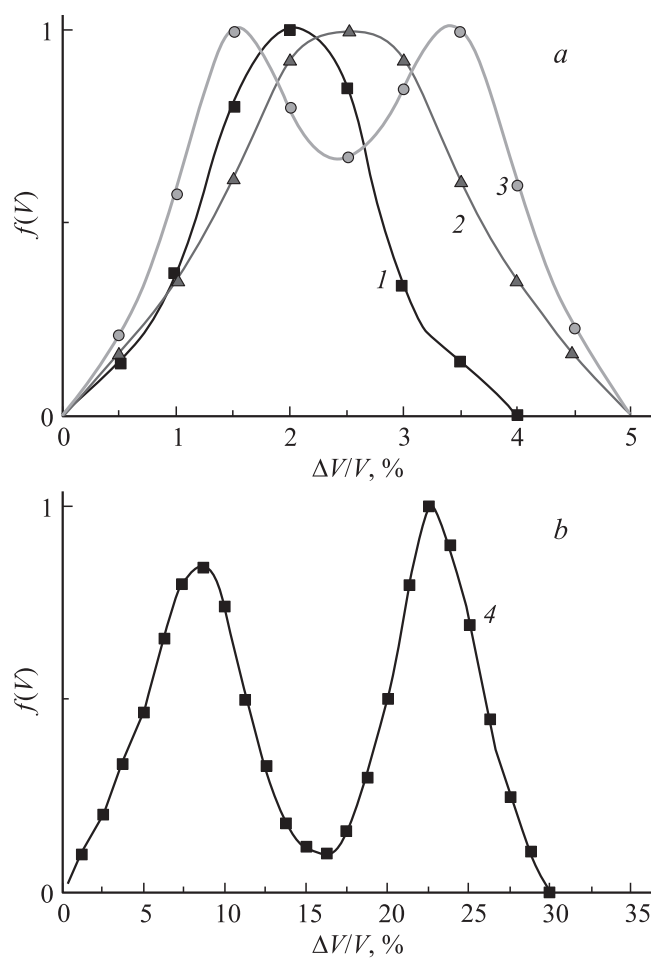


**Рис. 1.** Схемы, применяемые для формирования многоскоростных электронных пучков: *a* — использование фокусирующего электрода с отрицательным потенциалом, *b* — схема с модулирующей сеткой, *c* — схема с двумя сетками.

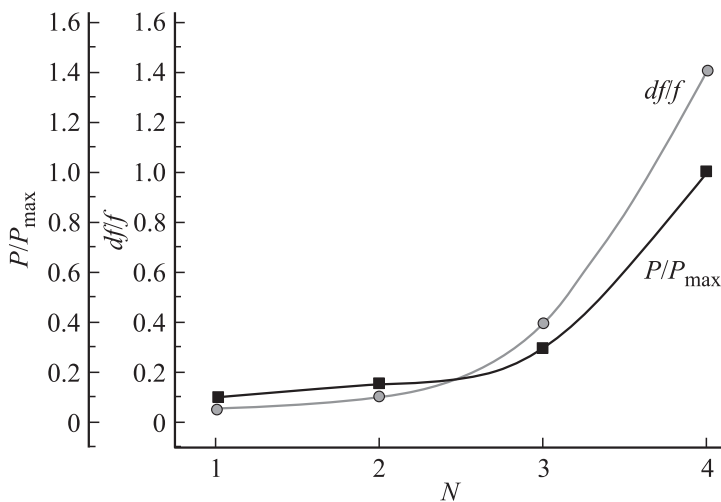
Исследования проводились на разборной вакуумной установке [2]. В качестве объекта экспериментального исследования был выбран макет низковольтного виркатора [3]. В рассмотренном режиме использовалось ускоряющее напряжение  $U = 700 \text{ V}$  при токе пучка  $I = 0.02 \text{ A}$ . Макет помещался в неоднородное периодическое магнитное поле амплитудой  $B = 0.01 \text{ T}$ . Для выходного сигнала измерялись интегральная выходная мощность и полоса генерации. Максимальная величина измеренной выходной мощности составляла  $P_{out} = 32 \text{ mW}$ .

Одним из способов формирования многоскоростных электронных пучков является неоднородность покрытия катода эмитирующей оксидной маской. Исследования показали, что разброс электронов по скоростям, достигаемый в таких катодах, составляет 2–4%, что существенно выше разброса, получаемого в случае равномерного покрытия оксидной пленкой и составляющего 0.1%, даже с учетом влияния теплового разброса электронов по скоростям. Функция распределения электронов по скоростям приведена на рис. 2, *a* (кривая 1).

Увеличить разброс по скоростям можно путем увеличения отрицательного потенциала фокусирующего электрода по отношению к потенциалу катода (рис. 1, *a*). При этом возникает так называемый „трансламинарный слой“ [4] и достигаются величины скоростного разброса порядка 3–5%. Соответствующая функция распределения приведена на рис. 2, *a* (кривая 2). Указанный подход интересен еще и тем, что получаемая функция распределения имеет несколько выраженных максимумов, что позволяет рассматривать такую схему как достаточно простую для реализации двухволнового усиления.



**Рис. 2.** Вид функции распределения по скоростям для различных схем катодных узлов: *a* — при использовании неравномерности покрытия катода (1), фокусирующего электрода с отрицательным потенциалом (2), сетки с потенциалом выше естественного (3); *b* — схемы с двумя сетками (4). Для их сопоставления по оси абсцисс отложены относительные величины скоростного разброса — отношение абсолютного скоростного разброса  $\Delta V$  к средней скорости электронов в пучке  $V$ .



**Рис. 3.** Интегральная выходная мощность и полоса генерации, достигаемые при различных способах формирования пучка,  $N$ : 1 — без скоростного разброса, 2 — сетка с „естественным“ потенциалом, 3 — „трансламинарный“ пучок, 4 — сетка с потенциалом выше „естественного“. Мощность отнесена к максимальной выходной мощности  $P = 32 \text{ mW}$ .

Разброс электронов существенно возрастает при использовании модулирующих сеток с потенциалами выше „естественного“ в 2–3 раза (рис. 1, *b*). Достижимая величина скоростного разброса составляет 3–5% (рис. 2, *a*, кривая 3).

Конструкция катодно-сетчатого узла с двойными сетками [5] позволяет получать пучки с еще большими разбросами скоростей — до 20–30%, тем самым может улучшить характеристики генерируемого сигнала. Кроме того схема оказывается перспективной для реализации двухлучевого усиления, поскольку за счет конструкции второй сетки (рис. 1, *c*) [6] обеспечивает двугорбый вид функции распределения (рис. 2, *b*, 4).

На рис. 3 приведены интегральная выходная мощность и полоса генерации для каждого из указанных случаев. Модулирующая сетка обеспечивает мощность выходного сигнала в 5–10 раз большую, чем другие рассмотренные конструкции. За счет сильнонеоднородного элек-

трического поля, создаваемого сеткой, электроны приобретают разброс продольных и поперечных скоростей. В результате пучок становится принципиально неламинарным.

Использование пучков с большим разбросом электронов по скоростям является необходимым условием работы низковольтного виркатора. Попадая в нарастающее магнитное поле, пучок сжимается, плотность пространственного заряда в месте сжатия возрастает, в результате чего возникают условия для появления отраженных электронов, представляющих собой более медленные электроны, неспособные преодолеть образовавшийся потенциальный барьер. Электронная обратная связь, осуществляемая отраженными электронами, является причиной широкополосной генерации.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показывают, что усложнение динамики электронного пучка, обусловленное повышением величины скоростного разброса благоприятно сказывается на выходных характеристиках низковольтного виркатора — росте ширины полосы генерируемых частот и уровня выходной мощности (рис. 3), что свидетельствует о возможности применения рассмотренных подходов в перспективных генераторных и усилительных лампах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-02-01209-а.

## Список литературы

- [1] *Шевчик В.Н., Шведов Г.Н., Соболева А.В.* Волновые и колебательные явления в электронных потоках на сверхвысоких частотах. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1962.
- [2] *Калинин Ю.А., Ессин А.Д.* Методы физического эксперимента в вакуумной СВЧ электронике. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1991.
- [3] *Калинин Ю.А., Храмов А.Е., Трубецков Д.И., Егоров Е.Н.* СВЧ-генератор на виртуальном катоде: Патент 46884 (РФ). Оpubл. в 27.07.05.
- [4] *Алямовский И.В.* Электронные пучки и электронные пушки. М.: Сов. радио, 1966.
- [5] *Kalinin Yu.A., Starodubov A.V., Fokin A.S.* // Physics of wave phenomena. 2012. V. 20. N 3. P. 193–198.
- [6] *Калинин Ю.А., Стародубов А.В.* Электронная пушка, формирующая многоскоростные неламинарные электронные пучки: Патент 128393 (РФ). Оpubл. в 25.05.13.