

10

## **Сверхнизковольтный генератор хаотических СВЧ-колебаний с вторичноэмиссионным катодом**

© Ю.А. Калинин, А.В. Стародубов

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

Поступило в Редакцию 12 апреля 2011 г.

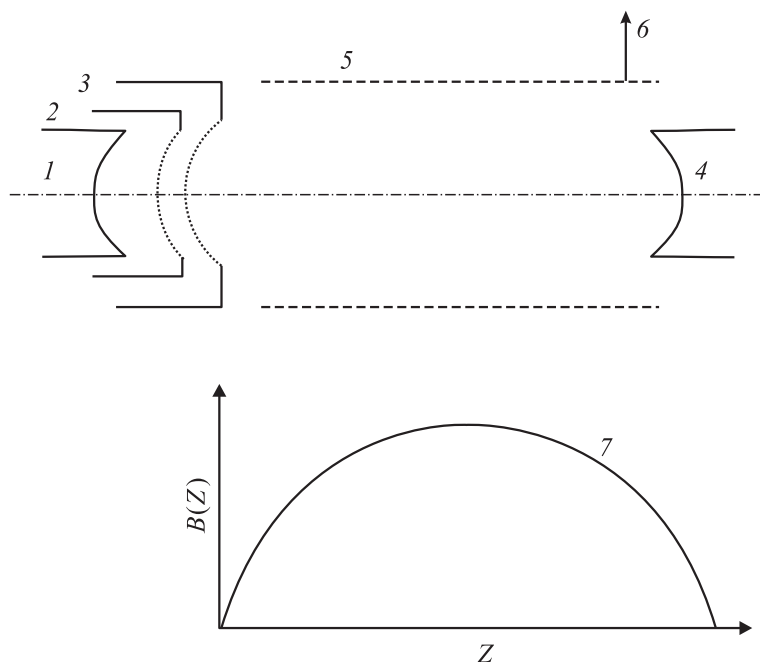
Рассмотрена новая энергоэффективная конструкция сверхнизковольтного генератора широкополосных хаотических СВЧ-колебаний, работа которого основана на использовании встречных турбулентных электронных пучков, источником одного из которых является вторичноэмиссионный катод. Рассмотрены основные закономерности по результатам экспериментального исследования различных режимов работы рассматриваемого генератора. Перспективность исследованной конструкции сверхнизковольтного генератора обусловлена малыми значениями требуемых ускоряющих напряжений (до 500 V), повышенными значениями КПД устройства по сравнению с аналогами (до 14–15%), широкой полосой генерируемых частот, высоким уровнем выходной интегральной мощности (до 35 W), возможностью быстрого и легкого управления режимами генерации, а также малыми геометрическими размерами генератора.

Источники хаотического широкополосного микроволнового излучения находят применение не только при решении классических задач радиопротиводействия и радиоподавления [1], но и в ряде перспективных практических приложений в системах передачи информации на основе динамического хаоса [2], в системах шумовой радиолокации [1], в обрабатывающей промышленности [3–4]. Одной из важных тенденций развития современных информационно-телекоммуникационных систем является улучшение энергоэффективности и мобильности компонентов, составляющих их основу — радиоэлектронных приборов и устройств.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования сверхнизковольтного генератора хаотических СВЧ-колебаний, работа которого основана на использовании встречных турбулентных электронных пучков. Следует отметить, что к настоя-

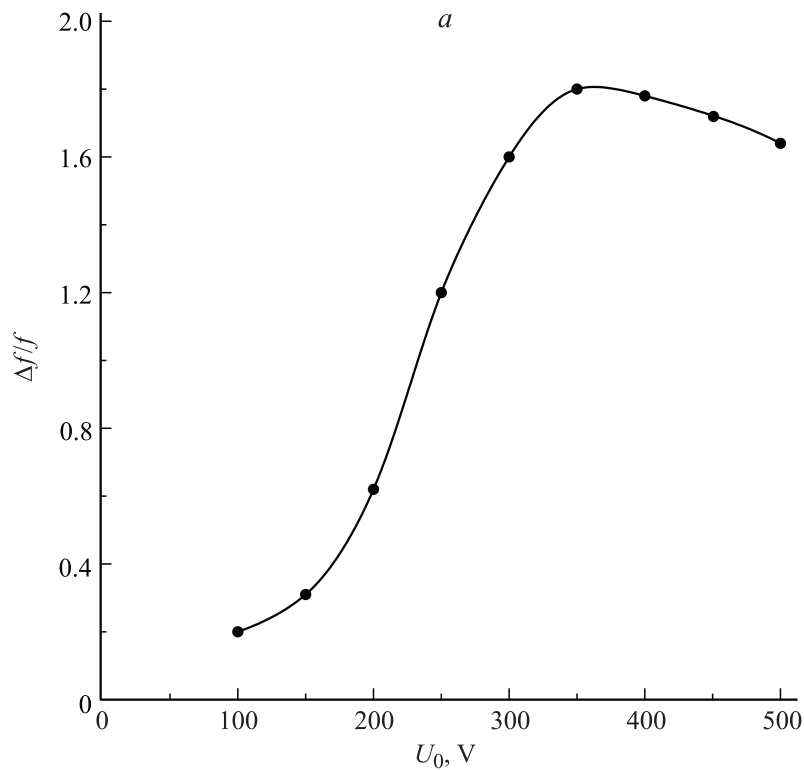
шему моменту известны конструкции генераторов хаоса, в которых формируются встречные электронные пучки [5–7]. Данные устройства позволяют генерировать широкополосные хаотические колебания, в том числе и при достаточно низких ускоряющих напряжениях [7]. Одной из особенностей данных устройств является наличие двух термокатодов, создающих встречные электронные пучки. В то же самое время необходимость обеспечивать работу одновременно двух термокатодов отрицательно сказывается на КПД устройства. Одним из возможных вариантов повышения КПД является замена одного из термокатодов на вторичноэмиссионный катод. Таким образом, в данной работе исследуется конструкция генератора на встречных электронных пучках, в которой используется один термокатод, а второй заменен вторичноэмиссионным катодом. В качестве вторичноэмиссионного катода был выбран оксидный катод без подогревателя. Проведенные по методике работы [8] исследования коэффициента вторичной эмиссии  $\gamma$  такого катода показали, что значение величины  $\gamma$  изменяется в пределах 14–17. Коэффициент вторичной эмиссии достигает значений  $\gamma \approx 17$  при скважности  $Q = 1000$  и длительности импульса  $\tau = 10 \mu\text{s}$  и уменьшается до 14 при уменьшении скважности до  $Q = 100$ . Описанный эффект связан с тем, что при скважности  $Q \approx 100$  возникает явление „усиленной термоэлектронной эмиссии“ [8]. Данное явление заключается в увеличении эмиссии во время модулирующего импульса вследствие увеличения температуры вторичноэмиссионного катода. Таким образом, термоэмиссия продолжается и после окончания модулирующего импульса.

Принципиальная схема исследуемого в данной работе устройства приведена на рис. 1. Катодно-сеточный узел устройства состоит из термокатада 1, экранирующей сетки 2 и управляющей сетки 3. Потенциал управляющей сетки является ускоряющим потенциалом  $U_0$ . Экранирующая сетка, которая находится под потенциалом катода, закрывает витки управляющей сетки и тем самым существенно уменьшает ток управляющей сетки, а следовательно, увеличивает ток в пространстве взаимодействия. Таким образом, в устройстве отсутствует анод, а ток с термокатада вытягивается с помощью управляющей сетки, на которую подается ускоряющее напряжение. Источником вторичной эмиссии служит сферический оксидный катод 4, потенциал которого равен  $U_0$ . Отрезок широкополосной электродинамической системы выступает в качестве съемника энергии. В пространстве между катодами создается



**Рис. 1.** Принципиальная схема конструкции сверхнизковольтного малогабаритного генератора хаоса на встречных пучках с вторичноэмиссионным катодом: 1 — катод; 2 — экранирующая сетка; 3 — управляющая сетка; 4 — вторично-эмиссионный катод; 5 — съемник энергии в виде отрезка электродинамической системы, 6 — вывод энергии; 7 — схематичное изображение распределения внешнего неоднородного магнитного поля.

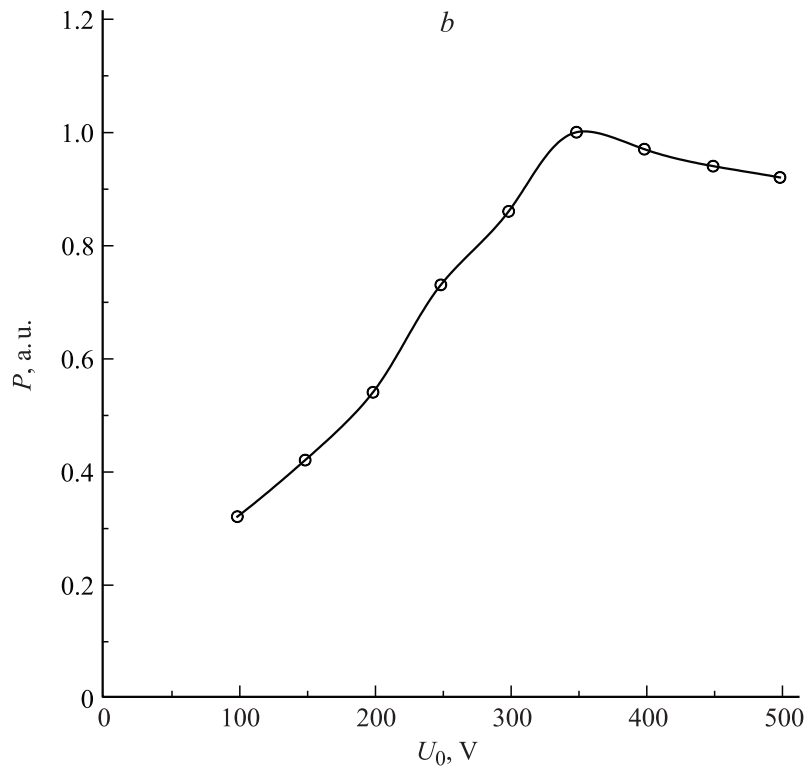
неоднородное магнитное поле 7, присутствие которого приводит к перераспределению величин модулей компонент скоростей у электронов: продольные компоненты скорости уменьшаются, а поперечные и азимутальные компоненты увеличиваются, что ведет к торможению электронных пучков. Таким образом, наличие неоднородного магнитного поля способствует формированию и усилению развитой турбулентности в электронном пучке, что ведет к образованию большого количества сгустков пространственного заряда, совершающих интенсивные



**Рис. 2.** *a* — зависимость полосы частот генерации  $\Delta f/f$  от величины ускоряющего напряжения  $U_0$ , *b* — зависимость относительной величины интегральной мощности  $P$  от величины ускоряющего напряжения  $U_0$ .

пространственно-временные колебания, которые являются источниками широкополосного хаотического микроволнового излучения [9–10].

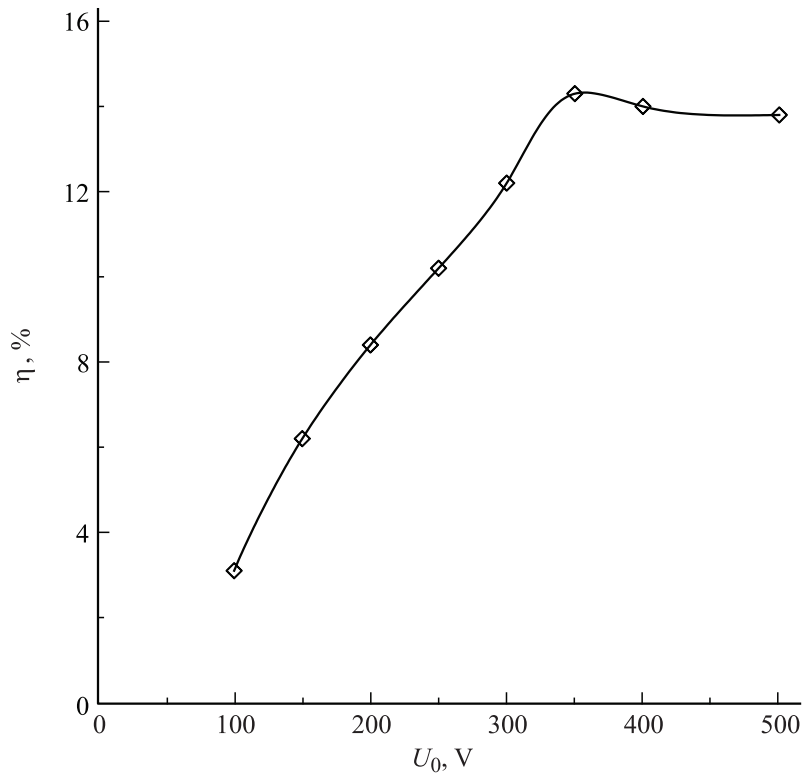
Перейдем к рассмотрению результатов экспериментальных исследований. Исследования рассматриваемого генератора широкополосных хаотических колебаний проводились в импульсном режиме при длительности импульса  $\tau = 5\text{--}50\ \mu\text{s}$  и величины скважности  $Q = 1000$ . Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3. На рис. 2 представлена зависимость ширины полосы генерации (рис. 2, *a*) и относительной



**Рис. 2** (продолжение).

выходной интегральной мощности (рис. 2, *b*) от величины ускоряющего напряжения  $U_0$ . Из рисунка отчетливо видно, что максимальное значение мощности достигается при величине ускоряющего напряжения, лежащей в диапазоне 300–400 В. Максимальное значение ширины полосы генерации также приходится на диапазон ускоряющих напряжений 300–400 В.

На рис. 3 представлена зависимость КПД устройства от ускоряющего напряжения. Как следует из рисунка, максимальное значение КПД  $\eta \approx 14\%$  достигается при значении ускоряющего напряжения  $U_0 = 350$  В.



**Рис. 3.** Зависимость величины КПД  $\eta$  от величины ускоряющего напряжения  $U_0$ .

Таким образом, подводя итог проведенным исследованиям, можно сказать, что предлагаемая схема генератора обладает следующими достоинствами:

- оптимальный диапазон ускоряющих напряжений  $U_0 = 300\text{--}400$  В;
- суммарный ток электронных пучков  $I = 700\text{--}1000$  мА;
- возможность простой и быстрой перестройки режима генерации колебаний за счет изменения значения ускоряющего напряжения;
- выходная интегральная мощность при оптимальных значениях ускоряющего напряжения — до 35 Вт;

- максимальное значение КПД  $\eta = 14\%$ ;
- полоса частот  $\Delta f / f = 1.6-1.8$ ;
- уменьшенные габариты устройства за счет замены второго катодно-сеточного узла вторичноэмиссионным катодом.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-02-00256-а, президентской программы поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (проект НШ-3407.2010.2) и аналитической ведомственной целевой программы „Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2011 годы)“ (РНП 2.1.1./235).

## Список литературы

- [1] *Залогин Н.Н., Кислов В.В.* Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. М.: Радиотехника, 2006.
- [2] *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос: новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит, 2002.
- [3] *Трубецков Д.И., Храмов А.Е.* Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 1, 2. М.: Физматлит, 2003, 2004.
- [4] *Калинин Ю.А., Стародубов А.В., Березин С.В.* // Наука и технологии в промышленности. 2009. № 3. С. 45–48.
- [5] *Филатов Р.А., Храмов А.Е., Калинин Ю.А.* Патент на полезную модель N 59323, 10.12.2006 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. М.: ФИПС, 2006. Бюллетень № 34.
- [6] *Филатов Р.А., Храмов А.Е., Калинин Ю.А.* Патент на изобретение № 2325724, 2008 // Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. М.: ФИПС, 2008. Бюллетень № 15.
- [7] *Калинин Ю.А., Стародубов А.В.* // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. В. 1. С. 32–39.
- [8] *Бекк А.* Электронные лампы. Теория и конструирование / Пер. с англ. М.: Сов. радио, 1958. 628 с.
- [9] *Калинин Ю.А., Стародубов А.В.* // ЖТФ. 2010. Т. 80. В. 12. С. 80–85.
- [10] *Kalinin Ju.A., Starodubov A.V.* // Physics of wave phenomena. 2011. V. 19. N 1. P. 18–23.