

Изв. вузов «ПНД», т.10, № 5, 2002

УДК 621.385

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ШУМОПОДОБНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ИНТЕНСИВНЫХ ПУЧКАХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В РЕЖИМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО КАТОДА

*Ю.А. Калинин, Н.Н. Кузнецов, Т.Н. Украинская*

Приводятся результаты экспериментального исследования шумоподобных колебаний в различных схемах, реализующих виртуальный катод в интенсивных пучках заряженных частиц. Сравниваются энергетические и спектральные характеристики различных схем.

### Введение

Источниками широкополосных шумоподобных колебаний (ШПК) в электронных устройствах с пучками заряженных частиц могут быть диод Пирса [1], две сетки с тормозящим потенциалом [1], многоэлектродная электронная пушка [2]. Исследования показали, что все эти устройства генерируют широкополосные (1-2 октавы) шумоподобные колебания малой мощности (1.0-10 мкВт). В качестве выводов энергии таких систем используются отрезки замедляющих систем или отрезки коаксиальных линий, расположенные за областью виртуального катода. Для того чтобы этот сигнал имел большую амплитуду, необходим СВЧ-усилитель с коэффициентом усиления 40-80 дБ.

Ниже приведены результаты исследования схем, наиболее оптимальных по спектральным и энергетическим характеристикам.

### 1. Усилительная цепочка: генератор шумоподобных колебаний - СВЧ-усилитель

Наиболее оптимальной для практического использования является схема, содержащая источник ШПК и СВЧ-усилитель (рис. 1). В качестве источника ШПК используется устройство, состоящее из электронной пушки, коллектора-отражателя и отрезка замедляющей системы с СВЧ выводом энергии.

Особенностью такой схемы является образование виртуального катода в области отрезка замедляющей системы, что существенно увеличивает уровень выходного сигнала (10-100 мВт). Использование отрезка широкополосной нерезонансной замедляющей системы необходимо для обеспечения вывода большого набора спектральных компонент широкополосного сигнала,

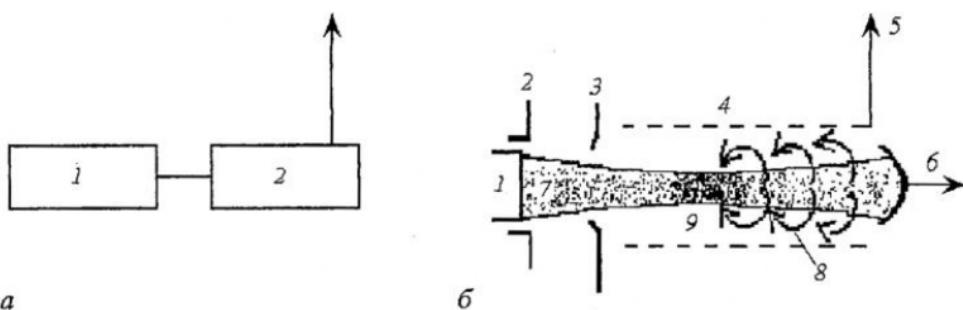


Рис. 1. Схема генерации шумоподобных колебаний в цепочке генератор - усилитель: а - генератор шумоподобных колебаний 1, СВЧ-усилитель 2; б - устройство, генерирующее шумоподобные колебания: 1 - катод, 2 - фокусирующий электрод, 3 - анод, 4 - отрезок спиральной замедляющей системы, 5 - ВЧ-вывод энергии, 6 - коллектор-отражатель, 7 - электронный пучок, 8 - отраженные электроны, 9 - виртуальный катод

характерного для режима виртуального катода. Виртуальный катод в генераторе ШПК образуется в результате торможения и возврата электронов от коллектора. В принципе этому генератору не требуется внешнее магнитное поле, так как используется длиннофокусная электронная оптика. Однако для повышения эффективности устройства необходимо увеличить время пребывания электронов в области отрезка замедляющей системы, для чего может быть применена дополнительная фокусировка пучка неоднородным магнитным полем. Спектры сигналов на выходе генератора ШПК и выходе СВЧ-усилителя в полосе  $\Delta f=1.5$  ГГц качественно показаны на рис. 2. КПД такой цепочки невелик. Так, приблизительное значение электронного КПД первого каскада 0.05%, технического - 0.2%. Во втором каскаде электронный КПД 7%, технический КПД - 12%. Общий КПД цепочки: электронный - 3%, технический - 5%.

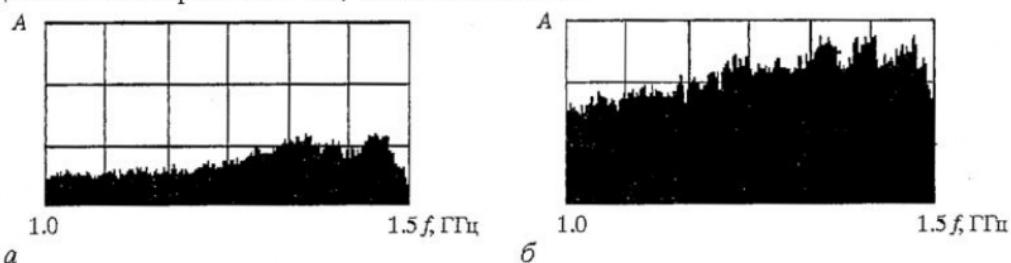


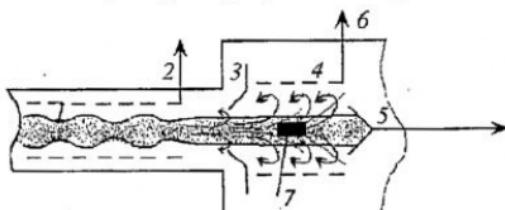
Рис. 2. Типичные спектральные характеристики устройства с виртуальным катодом в области отрезка спиральной замедляющей системы: спектр на выходе генерирующего устройства (а), на выходе усилительной цепочки (б)

## 2. Схема с виртуальным катодом в области коллектора СВЧ-прибора

Практический интерес представляет схема генерирования ШПК с виртуальным катодом в области коллектора СВЧ-прибора (рис. 3). Виртуальный катод образуется в коллекторной области СВЧ-прибора в результате торможения пучка в области ступеней коллектора.

Сигнал ШПК снимается с помощью

Рис. 3. Схема образования виртуального катода в коллекторной области СВЧ-прибора: 1 - пучок; 2, 6 - вывод СВЧ-сигнала; 3, 5 - электроды коллектора; 4 - отрезок ЗС; 7 - виртуальный катод



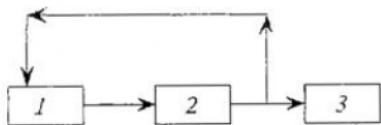


Рис. 4. Усиление шумоподобных колебаний широкополосным усилителем. 1 - СВЧ-усилитель, 2 - виртуальный катод в коллекторной области, 3 - анализатор спектра шумоподобных колебаний

отрезка замедляющей системы и подается на вход усилителя СВЧ-колебаний (например, широкополосной ЛБВО), что упрощает образование виртуального катода. При этом возможно использование двух вариантов схемы (рис. 4, 5).

В первом варианте статический пучок попадает в коллектор, образуя виртуальный катод при торможении электродами коллектора. Динамика развития ШПК в зависимости от тормозящего потенциала ступеней коллектора показана на рис. 6.

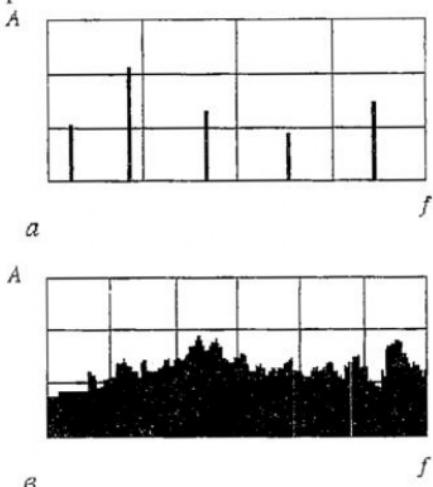


Рис. 5. Усиление шумоподобных колебаний широкополосным усилителем при условии подачи на его вход гармонического сигнала основной частоты. 1 - СВЧ-усилитель, 2 - виртуальный катод, 3 - анализатор спектра, 4 - генератор гармонических СВЧ-сигналов

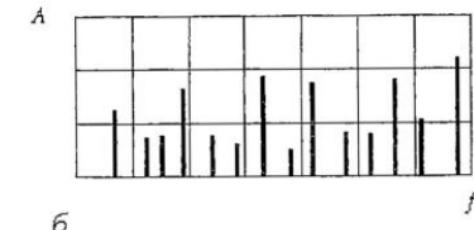


Рис. 6. Динамика развития ШПК при торможении пучка в коллекторной области. а - спектр колебаний при малом тормозящем потенциале коллектора; б - изменение спектральной характеристики с ростом тормозящего потенциала ступеней; в - спектр колебаний при образовании виртуального катода

Во втором варианте на вход усилителя подается СВЧ-сигнал заданной частоты, который усиливается, модулируя по скорости и плотности электронный пучок, образующий виртуальный катод в области коллектора. Сигнал ШПК с коллектора, так же как и в первом варианте, подается на вход СВЧ-усилителя. В спектре выходного сигнала наблюдаются моносигнал и сигнал ШПК (рис. 7).

Последняя схема опробована на типичной ЛБВ со следующими параметрами:  $U=3.0$  кВ,  $I=100$  мА, мощность пучка  $P_0=30.0$  Вт,  $f=1-2$  ГГц, с коэффициентом токопрохождения  $k/k_0=95\%$  в статическом режиме и  $k/k_0=90\%$  в режиме рекуперации  $U_{g1}=U_{g2}=0.7U_0$ . В одночастотном режиме при  $f=1.5$  ГГц электронный КПД составлял 23 %, технический - 32.8 %. При уменьшении потенциала диафрагмы  $g_2$  до 0.3-0.4  $U_0$  токопрохождение на последнюю ступень коллектора уменьшилось до 60-70 %, сигнал на съемнике составлял 20-100 мВт. Сигнал имел шумоподобную форму (рис. 8). При больших потенциалах  $U_{g2}$  в спектре сначала появлялись отдельные частоты.

В оптимальном режиме работы цепочки «генератор ШПК - СВЧ-усилитель» мощность в диапазоне 1-2 ГГц составляет 30 Вт, при этом величина электронного КПД - порядка 10 %, а технического 15-17 %. Отметим, что путем изменения потенциала диафрагмы в коллекторной области можно реализовать

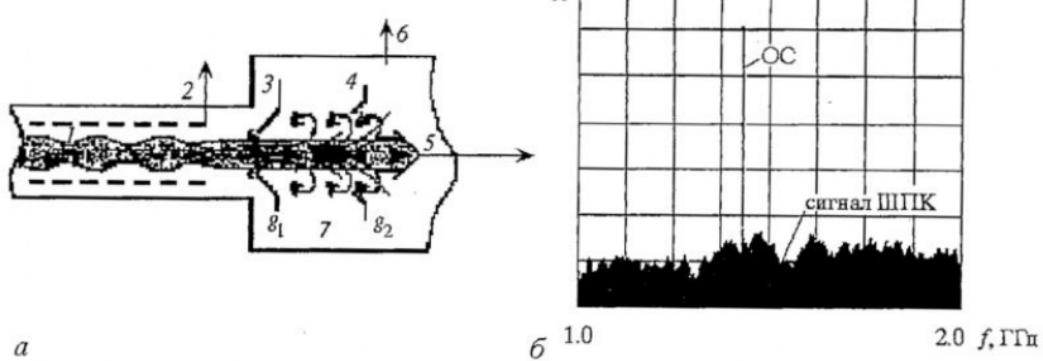
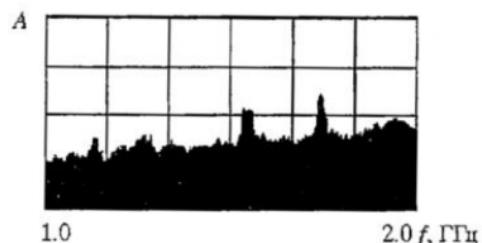


Рис. 7. Генерация ШПК с виртуальным катодом в коллекторной области. *а* - образование виртуального катода в коллекторной области: 1 - электронный пучок; 2, 6 - выводы СВЧ-сигнала; 7 - виртуальный катод. *б* - спектр на выходе СВЧ-усилителя при подаче на его вход дополнительного сигнала ШПК с виртуальным катодом в коллекторной области

Рис. 8. Спектральная характеристика шумоподобных колебаний в схеме с подачей на вход усилителя дополнительного сигнала с виртуальным катодом в области коллектора и управлением плотностью пучка в виртуальном катоде потенциалами на электродах коллектора



усиление одно- и многочастотных СВЧ-сигналов, а также генерацию шумоподобных СВЧ-сигналов. Управление характеристиками шумоподобных колебаний существенно упрощается при использовании в таких схемах многоскоростных (отработанных) электронных пучков.

### Заключение

Таким образом, наиболее эффективной схемой генерации шумоподобных колебаний является схема с виртуальным катодом в области коллекторной системы. Путем изменения потенциала ступеней коллектора в такой схеме возможна реализация различных режимов работы СВЧ-устройства - усиление одно- и многочастотных сигналов и генерирование шумоподобных колебаний.

### Библиографический список

1. Анфиногентов В.Г., Калинин Ю.А. Хаотические колебания в гидродинамической модели диода Пирса // Лекции по СВЧ электронике и радиофизике. 10-я зимняя школа-семинар. 1996. Кн. 2. С. 83-88.
2. Калинин Ю.А., Украинская Т.Н. Экспериментальное исследование развития стохастических колебаний в многосекционных системах с интенсивным электронным потоком // Современные проблемы электроники и радиофизики СВЧ. Материалы научной конференции. Саратов, 4-8.09.1997. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1997. С. 30-31.

# INVESTIGATION OF WIDE-BAND STOCHASTIC OSCILLATIONS PRODUCED BY VIRTUAL CATHODE IN INTENSIVE BEAMS OF CHARGED PARTICLES

*Yu. A. Kalinin, N.N. Kuznetsov, T. N. Ukrainskaya*

Results of experimental study of stochastic oscillations produced by the virtual cathode in different schemes, containing the source of intensive beams of charged particles - are presented. Power characteristics and spectrum characteristics of these schemes are discussed.



*Калинин Юрий Александрович* родился в Саратове (1937), окончил физический факультет (кафедра электроники) Саратовского государственного университета (1959), защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (1968) и доктора технических наук (1981). С 1983 года - профессор СГУ, с 1994 - зам. директора, а с 1999 - директор НИИ механики и физики СГУ. С 2001 года - зам. директора НОИ «Открытые системы» СГУ. Сфера научных интересов - исследования в области вакуумной СВЧ-электроники и радиофизики; исследования структуры интенсивных пучков заряженных частиц. В настоящее время научная деятельность связана с изучением колебательных явлений в интенсивных пучках заряженных частиц. Автор большого числа статей и изобретений в области СВЧ-электроники.



*Кузнецов Николай Никифорович* родился в Саратове (1938), окончил физический факультет Саратовского государственного университета (1961). Работал в НИИ машиностроения, с 1965 года - сотрудник НИИ механики и физики СГУ. В настоящее время - ведущий программист СГУ. Область научных интересов - импульсная техника, вопросы эмиссии электронов,  $\beta$ -спектроскопия, электродинамика систем с распределенным взаимодействием. Автор большого числа публикаций.



*Украинская Татьяна Николаевна* родилась в Молдавии (1950), окончила физический факультет Саратовского государственного университета (1973), работала в НИИ «Волна», в настоящее время - начальник сектора ФГУП НПП «Алмаз». Область научных интересов - вакуумная СВЧ-электроника, экспериментальные исследования пучков заряженных частиц, изучение колебательных явлений в системах со сложными и стохастическими сигналами. Имеет около 50 публикаций.