



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,

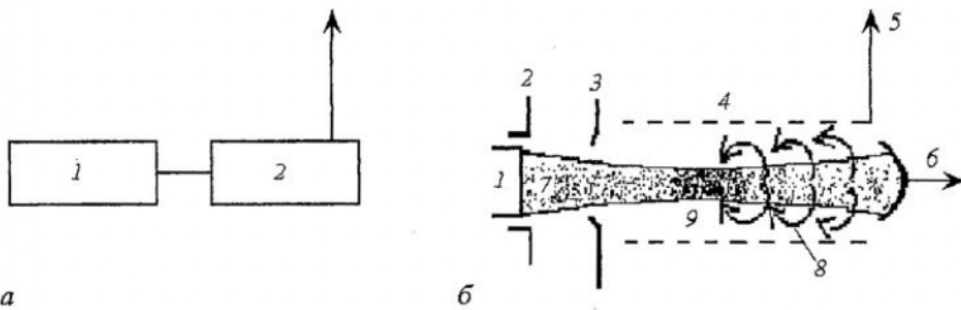


Рис. 1. Схема генерации шумоподобных колебаний в цепочке генератор - усилитель: *a* - генератор шумоподобных колебаний 1, СВЧ-усилитель 2; *б* - устройство, генерирующее шумоподобные колебания: 1 - катод, 2 - фокусирующий электрод, 3 - анод, 4 - отрезок спиральной замедляющей системы, 5 - ВЧ-вывод энергии, 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%.

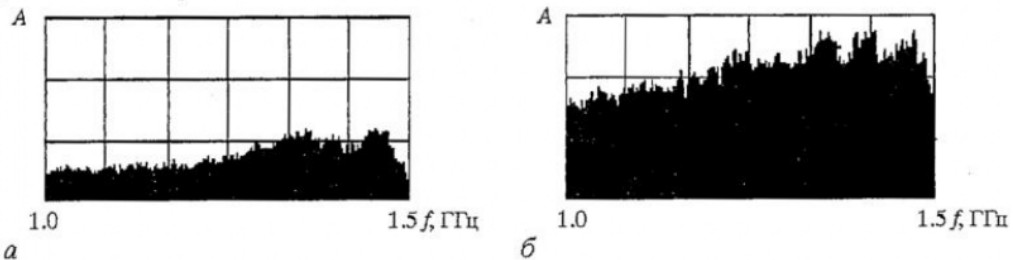
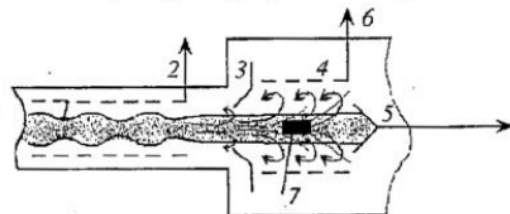


Рис. 2. Типичные спектральные характеристики устройства с виртуальным катодом в области отрезка спиральной замедляющей системы: спектр на выходе генерирующего устройства (*a*), на выходе усилительной цепочки (*б*)

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



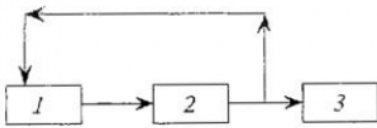


Рис. 4. Усиление шумоподобных колебаний широкополосным усилителем. 1 - СВЧ-усилитель, 2 - виртуальный катод в коллекторной области, 3 - анализатор спектра шумоподобных колебаний

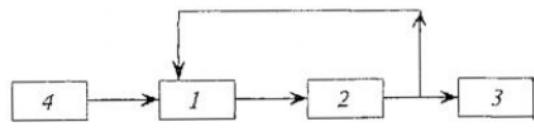


Рис. 5. Усиление шумоподобных колебаний широкополосным усилителем при условии подачи на его вход гармонического сигнала основной частоты. 1 - СВЧ-усилитель, 2 - виртуальный катод, 3 - анализатор спектра, 4 - генератор гармонических СВЧ-сигналов

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.

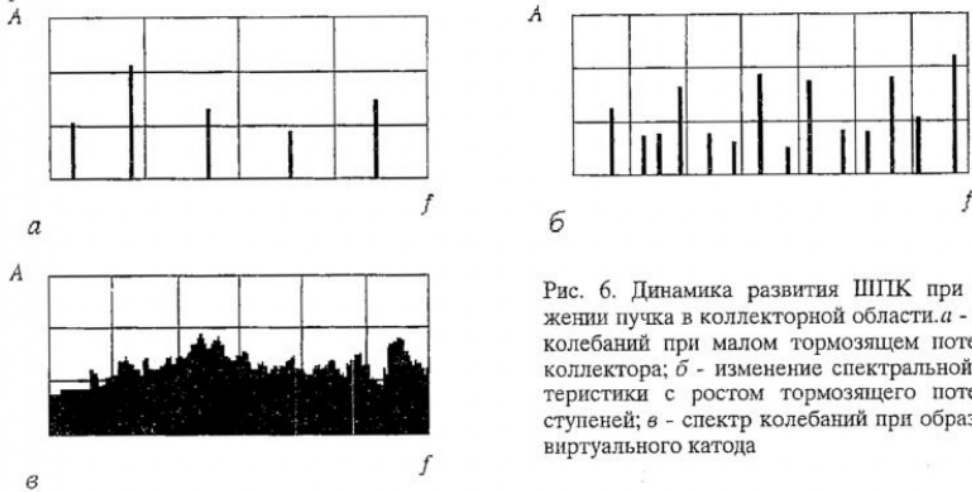


Рис. 6. Динамика развития ШПК при торможении пучка в коллекторной области. а - спектр колебаний при малом тормозящем потенциале коллектора; б - изменение спектральной характеристики с ростом тормозящего потенциала ступеней; в - спектр колебаний при образовании виртуального катода

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 съёмнике 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

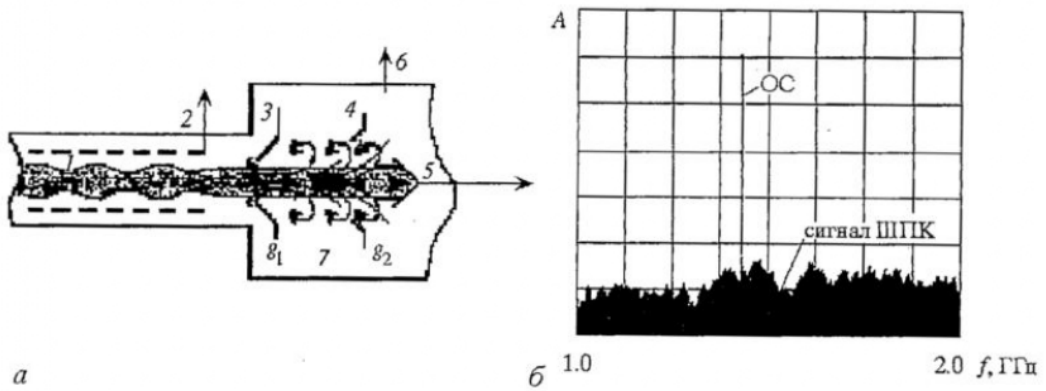
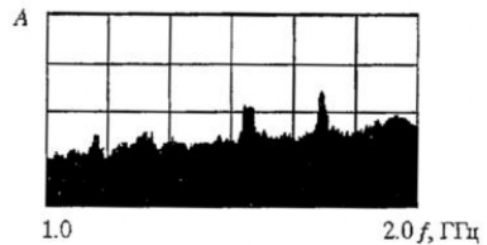


Рис. 7. Генерация ШПК с виртуальным катодом в коллекторной области. *а* - образование виртуального катода в коллекторной области: 1 - электронный пучок; 2, б - выходы СВЧ-сигнала; 7 - виртуальный катод. *б* - спектр на выходе СВЧ-усилителя при подаче на его вход дополнительного сигнала ШПК с виртуального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

Рис. 8. Спектральная характеристика шумоподобных колебаний в схеме с подачей на вход усилителя дополнительного сигнала с виртуального катода 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.

ФГУП НПП «Алмаз», Саратов
Саратовский государственный
университет

Поступила в редакцию 18.05.02

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, β -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.