

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Динамика электронного потока со сверхкритическим током в диоде
Пирса**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 421 группы
Направления 03.03.03. «Радиофизика»
Факультета нелинейных процессов
Аверьянова Кирилла Андреевича

Научный руководитель
Доцент, к.ф.-м.н.

_____ И.С. Ремпен

Заведующий кафедрой
Член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

_____ Д.И. Трубецков

Саратов 2019

Введение. В современной радиофизике, физической электронике и науке о колебаниях и волнах актуальной задачей является исследование сложного поведения распределённых динамических систем и управление динамикой таких систем.

Самым важным вопросом в изучении сложных динамических систем является вопрос управления их динамикой. На процессы в динамической системе можно оказывать некоторые управляющие воздействия. Одним из основных способов такого воздействия являются обратные связи. В добавку к ОС иногда можно отнести корректирующие или стабилизирующие связи.

Другим же методом управления хаосом является воздействие на систему внешнего сигнала. Ещё в 80-х годах прошлого столетия было показано, что при воздействии внешнего гармонического сигнала в системе возможен переход от сложной динамики к периодической (подавление хаоса). Поэтому управление хаосом посредством воздействия внешнего сигнала на автоколебательные системы СВЧ – электроники кажется очень перспективным направлением исследований, которые позволяют осуществлять эффективное управление электронно-волновыми системами наряду с методами, основанными на использовании различных типов управляемых ОС.

Особый интерес вызывают системы со сверхкритическим током, способные демонстрировать сложную пространственно-временную динамику. Данные системы характеризуются разнообразными режимами колебаний и допускают математическое описание на разном уровне сложности (гидродинамическое описание колебаний электронного потока со сверхкритическим током в диоде Пирса, приближённое описание с помощью метода Галёркина, дискретные модели типа клеточного автомата, метод частиц в ячейке для описания колебаний виртуального катода, формирующегося в пучке со сверхкритическим током).

Рассматривать процессы в диоде Пирса будем согласно численному моделированию системы методом «частиц в ячейке». Данный метод соответствует описанию колебаний электронного потока в режиме образования виртуального катода.

В рамках нашей работы рассмотрели влияние предварительной модуляции по скорости электронного потока с помощью внешнего сигнала на колебания виртуального катода, предварительно пронаблюдав за режимами колебаний виртуального катода в системе в зависимости от управляющего параметра α .

Структура работы:

Глава 1. Сверхвысокочастотные генераторы с виртуальным катодом (Обзор литературы). Обзорно рассмотрели научные статьи, где описываются приборы, работающие на виртуальном катоде. Осветили актуальность исследуемой проблемы.

Глава 2. Численное исследование динамики электронного потока со сверхкритическим током

2.1 Диод Пирса как модель плазменной СВЧ электроники

2.2 Численное моделирование. Динамика электронного потока в диоде Пирса

Описали исследуемую модель. Показали ход написания кода ограниченной плазмы, позволяющего исследовать систему методом PIC-моделирования. Пронаблюдали за изменением режимов колебаний виртуального катода в зависимости от параметра управления α .

Описали другие методы моделирования процессов в диоде Пирса; рассказали о возможности управления динамикой электронного потока с использованием управляемых обратных связей.

Глава 3. Влияние предварительной модуляции электронного потока на колебания виртуального катода.

В данной главе показано влияние внешнего периодического сигнала на динамические режимы виртуального катода.

Заключение.

Сделаны выводы.

Основное содержание работы. Диод Пирса является простейшей моделью в электронике сверхвысоких частот, которая при этом позволяет анализировать многие нелинейные явления, в том числе и хаотическую динамику. Исследование сложного, в том числе и хаотического, поведения распределённых динамических систем и управление их динамикой актуально в современной радиофизике по сей день. Помимо введения различных обратных связей, другим способом воздействия на динамику колебательных процессов является воздействие внешним сигналом.

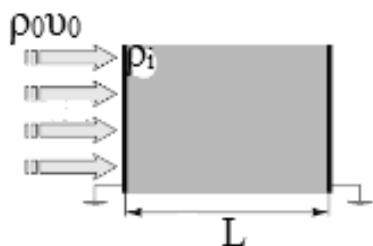


Рис.1 Схематическое изображение диода Пирса

Как было сказано выше, прежде чем приступить к рассмотрению влияния внешнего сигнала на систему, в автономной системе наблюдали за изменением режимов колебаний виртуального катода в зависимости от

значений параметра Пирса.¹ Покажем таблицу режимов колебаний ВК в зависимости от значений параметра управления α

Режимы колебаний ВК	Нерегулярные колебания	Регулярный режим, но в узком диапазоне значений α	Нерегулярные колебания	Нерегулярность резко уменьшается	Хаотический режим, наблюдаются шумоподобные колебания
Значения параметра α	$\alpha \in (\pi; 1.3\pi)$	$\alpha > 1.3\pi$	$1.86\pi > \alpha > 1.4\pi$	$\alpha > 1.86\pi$	$\alpha > 2.50\pi$

При параметре $\alpha = 2\pi$ в системе наблюдаются регулярные колебания. Именно при таком значении параметра Пирса строилась карта динамических режимов электронного потока с виртуальным катодом под действием внешней предварительной модуляции по скорости.

Влияние предварительной модуляции электронного потока на колебания виртуального катода.

В данном разделе продемонстрировали характеристики колебаний электронного потока для различных режимов и постарались дать качественное описание физическим процессам для каждого динамического режима колебаний электронного потока с ВК. В качестве более детального объяснения процессам в электронном потоке показали пространственно-временные диаграммы для хаотического режима колебаний, регулярного режима, режима квазисинхронизации и двухчастотных колебаний потока электронов.

¹ Анфиногентов В.Г. Хаотические колебания в электронном потоке с виртуальным катодом // Изв. Вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1994. Т.2, №5. С.69.

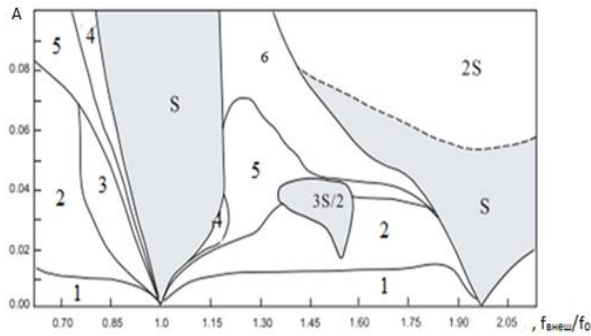


Рис.2 Карта динамических режимов электронного потока с виртуальным катодом под действие предварительной скоростной модуляции; при $\alpha=2\pi$

На карте режимов области с более тёмным оттенком цвета соответствуют характерным «клювам» синхронизации в диапазонах, где частоты внешнего сигнала и колебаний ВК близки. Область 1 соответствует малой амплитуде управляющего сигнала; область 2 слабохаотическим колебаниям ВК (этому сопутствует большая отстройка частот и увеличение глубины модуляции). В зависимости от соотношения частот и увеличением глубины модуляции возможно попадание в область квазипериодических колебаний (области 3,4). Далее было замечено расширение области синхронизации и появление режима, где над невысоким шумовым фоном доминирует частота внешнего сигнала (область квазисинхронизации 5). Наконец добиваемся двухчастотных периодических колебаний, которым на карте соответствует область 6.

Заключение. В данной работе было рассмотрено влияние предварительной модуляции по скорости электронного потока на колебания виртуального катода в диоде Пирса. Как уже отмечалось, на динамику электронного потока в простейшей модели СВЧ-электроники (диоде Пирса) можно воздействовать несколькими способами, а именно введением различных управляемых обратных связей. Такие способы управления широко применяются и хорошо многим известны. Менее известен метод воздействия на электронный поток посредством внешнего сигнала. Такой метод мы показали в рамках нашей работы и постарались дать качественное описание процессам, происходящим в распределённой системе при различных значениях управляющих параметров. Отметим, что в системе после разного рода переходных процессов возможно добиться двухчастотных периодических колебаний.

Исследование сложной динамики в приборах СВЧ-электроники, способы управления хаотической динамикой являются очень актуальной задачей в современной электронике сверхвысоких частот, вакуумной СВЧ-электронике, в областях науки о колебаниях и волнах, а также во многих других сферах радиофизики.