

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Исследование системы с виртуальным катодом и источником
электронов в виде магнетронно-инжекторной пушки под влиянием
внешнего гармонического сигнала**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 421 группы
направления 03.03.03 Радиофизика
Факультета Нелинейных Процессов
Колбасова Леонида Валериевича

Научный руководитель

к.ф.-м. н., доцент

Е.Н. Егоров

Зав. кафедрой электроники, колебаний и волн

чл.-корр. РАН,

профессор

Д.И. Трубецков

Саратов 2018 г.

Введение

Генераторы на виртуальном катоде, чаще всего называемые виркаторы - представляют из себя класс приборов релятивистской электроники, которые используются для генерации импульсов сверхмощного СВЧ-излучения колебания виртуального катода (ВК). Виркаторы интересны тем, что они имеют простую конструкцию, и есть определенные возможности их модификации для повышения КПД и выходной мощности.

Одно из направлений, которому уделяют повышенное внимание – это изучение возможности формирования так называемого сжатого состояний пучка (ССП) в системе с ВК. Сжатое состояние пучка впервые было обнаружено в двухсекционном виркаторе [1]. Такие системы интересны тем, что при определенных условиях они могут выполнять роль усилительных приборов.

В последние годы был предложен определенный вид приборов на ВК – так называемые низковольтные виракаторы, в которых ВК формируется в нерелятивистском электроном потоке с дополнительным торможением.

Помимо перечисленных свойств виркаторов, так же следует отметить, что в данных системах существует возможность управления режимами колебаний и характеристиками генерируемого излучения за счет подачи внешнего сигнала [2]. Решение задачи эффективного управления характеристиками генерации виркаторной системы открывает широкие перспективы использования данного класса приборов в качестве модулей импульсных фазированных антенных решёток. Таким образом, исследование методов и механизмов управления характеристиками колебаний в потоке с виртуальным катодом представляет несомненный практический интерес.

Цель данной бакалаврской работы - исследование влияния внешнего гармонического сигнала на генерацию излучения в низковольтном виркаторе, с источником электронов в виде магнетронно-инжекторной пушки (СВЧ).

Основное содержание работы

В **первой части первой главы** описывается исследуемая модель в виде магнетронно-инжекторной пушки: приводится подробная схема установки и принцип работы.

Исследование влияния внешнего сигнала на генерацию излучения проводилось на примере низковольтного виркатора с источником электронов в виде магнетронно-инжекторной пушки (МИП).

Хорошо известно, что МИП обладает высоким первансом, характеризуется значительным разбросом электронов по скоростям и высоким уровнем собственных шумов электронного потока. В связи с этим МИП может быть перспективным источником электронного потока в низковольтном виркаторе.

Во **второй части первой главы** описывается модель системы с точки зрения математического языка - приводятся уравнения, описывающие поведение системы.

Исследуемая математическая модель описания формирования пучка с помощью МИП и динамики пространственного заряда винтового пучка представляет собой двумерную самосогласованную систему уравнений движения заряженных частиц и уравнения Пуассона.

В качестве внешнего сигнала подавался гармонический сигнал.

Ввод сигнала осуществляется с помощью короткого отрезка спирали, помещённой в область пучка вблизи катода пушки.

Во **Второй главе** описывается процесс составления алгоритма для численного моделирования данной системы: описан общий подход к моделированию выбранной системы и представлена численная схема

Для моделирования системы был выбран метод крупных частиц, т.к. данный метод широко применяются при решении задач в физике плазмы.

Метод крупных частиц представляют собой группу вычислительных методов, основанную на разбиении моделируемой среды на конечное количество модельных частиц. Метод конечных разностей дает возможность разбить расчетную область на сетку. Частицы потока при этом распределяются по узлам сетки и используются для расчета токов и плотности заряда либо потенциала. Данные действия помогают найти поле пространственного заряда, решая уравнение Пуассона.

Для численного решения задачи вводится пространственно-временная сетка с определенными шагами по продольной и радиальной координате. В нашем случае электронный поток представляется в виде совокупности крупных частиц, которые в цилиндрической системе координат имеют вид заряженных колец. На каждом временном шаге определенное заранее число заряженных частиц, имеющих одинаковый заряд, инжектируются в пространство взаимодействия через равные промежутки времени с постоянной начальной скоростью. Для каждой (k -ой) частицы решается уравнение движения.

Вычисление плотности пространственного заряда в узлах решетки необходимо для того, чтобы определить распределения потенциала в пространстве взаимодействия.

В **Третьей главе** обсуждаются результаты расчётов численного моделирования движения винтового электронного потока через рабочее пространство дрейфа магнетронно-инжекторной пушки при воздействии внешнего сигнала.

Математическая модель была описана в программной среде разработки Delphi 7 с дополнительным графическим пакетом Graph2D.

Сперва была определена частота собственных колебаний потенциала пространства дрейфа системы в отсутствии внешнего сигнала. Собственная частота колебаний системы f_0 , принимает значение (в нормированных

единицах) 0.0367.

В ходе эксперимента частота внешнего сигнала изменялась в диапазон от $f_{вн} = 0.014$ до $f_{вн} = 0.0620$. Данный диапазон справедлив для трех значений амплитуды внешнего сигнала: $sm = 0.3$, $sm = 0.5$, $sm = 0.7$

При отстройке частоты внешнего сигнала таким образом, чтобы она была близка к собственной частоте системы, происходит захват частоты системой. Захват частоты происходит на частоте $f_{вн} = 0.0270$ Это явление

Наглядно, разницу в частотах и границы синхронизации для трех значений амплитуды $sm = 0.3$, $sm = 0.5$, $sm = 0.7$ можно увидеть на графике зависимости амплитуды модуляции внешнего воздействия sm от частоты внешнего сигнала $f_{вн}$

Стало известно, что при увеличении амплитуды модуляции внешнего сигнала расширяются границы синхронизации.

Для амплитуды $sm = 0.3$ в диапазоне частоты внешнего сигнала [0.0272 – 0.0471] проявляется явление синхронизации колебаний в пучке.

Для амплитуды $sm = 0.5$ в диапазоне частоты внешнего сигнала [0.0235 – 0.0509] наблюдается синхронизация колебаний в пучке.

Для амплитуды $sm = 0.7$ в диапазоне частоты внешнего сигнала синхронизация колебаний наблюдается при значениях [0.0211 – 0.0620].

По форме такие диапазоны отдаленно напоминают «клюв синхронизации» [7,8] (область I). Вне области этой синхронизации (область II) наблюдаются режимы двухчастотных колебаний.

Заключение

В ходе выполнения работы было проведено большое количество численных расчётов. Был исследован случай, когда на систему с ВК и

источником электронов в виде МИП воздействует внешний гармонический сигнал.

Было исследовано явления синхронизма колебаний плотности пространственного заряда в пучке с ВК. Наглядно приведены графики спектров мощности колебаний потенциала в пространстве дрейфа. А так же график зависимости амплитуды модуляции внешнего воздействия SM для трех значений 0.3, 0.5, 0.7 от частоты внешнего сигнала $f_{вн}$ в диапазоне [0.0151-0.0620]. Было выяснено, что для разных величин амплитуды модуляции существует свой уникальный диапазон синхронизации колебаний в пучке

Список литературы

- [1] А.М. Ignatov, V.P. Tarakanov // Phys. Plasmas. 1994. V. 1, N 3. P. 741.
- [2] Е.Н. Егоров, А.Е. Храмов Возникновение сжатого состояния пучка в низковольтной системе с дополнительным торможением. // 2013. С. 2
- [3] Н.С. Фролов, А.А. Короновский, А.Е. Храмов // Влияние внешнего сигнала на выходную мощность генератора с электронной обратной связью, с. 78
- [4] Ю.А. Березин, В.А. Вшивков // Метод частиц в динамике разреженной плазмы // Новосибирск: Наука. 1980.
- [5] Ю.А. Калинин, И.С. Ремпен, А.Е. Храмов // Влияние внешнего сигнала на колебания в электронном потоке с виртуальным катодом // Изв. РАН. Сер. физ. 2005. 69, №12. С. 1736.
- [6] С.А. Пиковский, Л.М. Розенблюм, Г.Ю. Куртс // Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление // М. Техносфера. 2003. С. 78.
- [7] Д.И. Трубецков, А.Е. Храмов // Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков // 2. М.: Физматлит, 2004.
- [8] М.И. Рабинович, Д.И. Трубецков // Введение в теорию колебаний и волн // М.–Ижевск: РХД, 2000