

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СЕТИ ГЕНЕРАТОРОВ НА ВИРТУАЛЬНОМ КАТОДЕ

Н.С. ФРОЛОВ¹, О.И. МОСКАЛЕНКО^{1,2}, А.А. КОРОНОВСКИЙ^{1,2},
А.Е. ХРАМОВ^{1,2}, А.А. КУРАЕВ³

¹*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
ул. Астраханская, 83, г. Саратов, 410012, Россия
phrolovns@gmail.com*

²*Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.
ул. Политехническая, 77, г. Саратов, 410054, Россия
hramovae@gmail.com*

³*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
kurayev@bsuir.by*

Проведена численная оптимизация параметров связи в сети генераторов на виртуальном катоде с помощью подходов, применяемых для диагностики синхронизации временных масштабов. Рассмотрены разные типы топологии связи в сети. В качестве элемента сети использовалась одномерная модель низковольтного виркатора. Показана возможность установления в такой сети эффекта под названием кластерная синхронизация. Изучено влияние степени связи генераторов на спектральные характеристики выходного СВЧ излучения.

Ключевые слова: виркатор, сложные сети, синхронизация, шумоподобный сигнал.

С развитием теории нелинейных антенн и созданием фазированных антенных решеток изучение нелинейной динамики сложных сетей связанных генераторов СВЧ диапазона приобретает особую значимость [1]. При создании и проектировании таких сложных структур как нелинейные антенны и фазированные антенные решетки необходимо учитывать, что подобные системы связанных элементов способны демонстрировать разнообразные нелинейные эффекты, в том числе в таких системах возможно установление синхронной динамики между взаимодействующими элементами [2]. Для большинства исследователей явление синхронизации имеет помимо чисто теоретической еще и колоссальную практическую значимость - она может быть использована для передачи информации, управления хаотическими системами, а также возможность генерации и приема сложных сигналов в гига- и терагерцовом диапазоне при создании нелинейных антенн. Поэтому понимание механизмов, ответственных за установление синхронизации, позволяет проводить оптимизацию параметров связи сети для достижения необходимых характеристик выходного СВЧ излучения.

В данном докладе проводится анализ сложной сети, составленной из связанных низковольтных генераторов на виртуальном катоде, с помощью методов диагностики синхронного поведения элементов. Такой анализ позволил выявить закономерности взаимодействия сети связанных виркаторов, выбрать оптимальные параметры связи и изучить влияние степени связи на спектральный состав выходного СВЧ сигнала.

Низковольтный виркатор, выбранный в качестве модуля для сложной сети, является перспективным источником широкополосного излучения среднего уровня мощности и представляет собой диодный промежуток, пронизываемый электронным потоком со сверхкритическим первеансом для образования в промежутке колеблющегося виртуального катода (ВК) [3]. Сверхкритический первеанс в данном случае достигается

за счет создания тормозящего поля между сеточными электродами диодного промежутка. Для численного моделирования нелинейной нестационарной динамики пучка в пространстве дрейфа использовалась квазиэлектростатическая одномерная PIC-модель неавтономного электронного потока, основанная на самосогласованном решении уравнений движения крупных частиц и уравнения Пуассона [4,5].

Оптимизация параметров связи была проведена на примере сети со случайно топологией связи, состоящей из 20 элементов [6]. Для оценки эффективности и других характеристик связи в рассмотренных сетях была проведена диагностика синхронизации временных масштабов между элементами сети. Такой подход позволил выявить механизмы изменения спектрального состава выходных колебаний элементов сети и характерные спектральные компоненты, возникающие при подобном взаимодействии связанных СВЧ генераторов

В данном случае, рост связи также приводит к хаотизации выходных колебаний низковольтных виркаторов, однако эти колебания характеризуются другим спектральным составом. При малом коэффициенте связи устанавливаются зашумленные колебания с единственной ярко выраженной частотой $f=0.752$ ГГц. Дальнейший рост приводит к исчезновению этой частоты в спектрах колебаний и появлению двух высокочастотных спектральных компонент ($f=2.67$ ГГц и $f=6.586$ ГГц) на фоне высокого уровня шума. Эти компоненты сохраняются с увеличением коэффициента связи в сети.

Исследования показали, что в сети со случайной топологией связи при различных матрицах связи всегда наблюдается синхронизация сети низковольтных виркаторов на двух характерных спектральных компонентах: низкочастотной $f=2.67$ ГГц и высокочастотной $f=6.586$ ГГц, проявившихся в ходе взаимодействия в сети. При оптимальных параметрах топологии сети генераторов при коэффициенте связи $\epsilon=0.25$ появляется первый синхронный кластер генераторов на частоте $f=2.67$ ГГц, а при $\epsilon=0.4$ наблюдается синхронизация временных масштабов на второй высокой частоте $f=6.586$ ГГц. Последующий рост параметра связи не изменяет характера синхронного поведения сети низковольтных виркаторов.

Использованные в данной работе параметры сетей являются типичными для построения фазированных антенных решеток и нелинейных антенн, поэтому можно утверждать, что с использованием описанного подхода возможно эффективное решение задач повышения частоты и расширения спектра у определенной группы генераторов с помощью подбора оптимальных параметров.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№14-02-31204, № 12-02-33071) и Совета по грантам Президента РФ (МД-345.2013.2).

Список литературы

1. Benford J., Swegle J.A., Schamiloglu E. High Power Microwaves. CRC Press, Taylor and Francis, 2007.
2. Pikovsky A.S., Rosenblum M.G., Kurths J. Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences. Cambridge University Press, 2001.
3. Калинин Ю.А., Короновский А.А., Храмов А.Е. и др. // Физика плазмы. 2005. №31. С. 938.
4. Birdsall C.K., Langdon A.B. Plasma physics, via computer simulation. NY: McGraw-Hill, 1985.
5. Фролов Н.С., Короновский А.А., Храмов А.Е. и др. // Изв. РАН. Сер. физическая. 2012. Т. 76, №12. СС. 1485-1488.
6. Moskalenko O.I., Phrolov N.S., Koronovskii A.A., Hramov A.E. // Eur. Phys. J. Special Topics.2013. Vol. 222, PP. 2571-2582.