

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУХАЗОРНОГО ВИРКАТОРА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ В СРЕДЕ CST PARTICLE STUDIO

С.А. КУРКИН^{1,2}, А.О. РАК³, А.А. КУРАЕВ³, А.А. КОРОНОВСКИЙ^{1,2}, А.Е. ХРАМОВ^{1,2}

¹Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
ул. Астраханская, 83, г. Саратов, 410012, Россия
kurkinsa@gmail.com, hramovae@gmail.com, alexey.koronovskii@gmail.com

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
rak@bsuir.by, kurayev@bsuir.by

³Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина
ул. Политехническая, 77, г. Саратов, 410054, Россия

Работа посвящена численному исследованию и оптимизации двухазорного виркатора с электромагнитной обратной связью (виртода) в среде CST Particle Studio. Для различных рабочих частот определены оптимальные геометрические параметры данного прибора, при которых он демонстрирует максимальный КПД генерации. В области оптимальных значений изучены зависимости КПД двухазорного виркатора от его геометрических параметров. Исследованы физические процессы, происходящие в оптимизированном генераторе.

Ключевые слова: виркатор, обратная связь, виртод, оптимизация, CST Particle Studio, виртуальный катод.

Одним из важнейших направлений исследований в области сверхмощной вакуумной и плазменной электроники является изучение генераторов на виртуальном катоде (виркаторов). В последние десятилетия данные СВЧ устройства привлекают большое внимание научного сообщества [1-3], являясь перспективными источниками сверхмощных широкополосных СВЧ импульсов. Последнее обусловлено очевидными преимуществами виркаторов: высокой выходной мощностью СВЧ излучения, простой конструкции (в частности, виркаторы могут функционировать без внешнего фокусирующего магнитного поля), возможностью простой перестройки частоты и режима генерации [1,2,4]. Несмотря на это, главным недостатком виркаторов является типично низкий КПД, поэтому исследования нелинейной динамики генераторов, основанных на использовании виртуального катода (ВК), а также их оптимизация имеют значительную фундаментальную и прикладную ценность.

Двухазорный виркатор с электромагнитной обратной связью (ЭОС), приводящей к предмодуляции электронного потока, в настоящий момент является перспективной виркаторной модификацией [5]. Положительное влияние внешней ЭОС также обнаружено в работе [6], где было получено, что введение ЭОС позволяет увеличить КПД и стабильность частоты виркатора. Важной задачей в данном направлении является оптимизация конструкции виртода для достижения дополнительного прироста КПД и для улучшения выходных характеристик СВЧ излучения [7]. В настоящей работе средствами CST Particle Studio (CST PS) проведена численная оптимизация двухазорного виркатора с ЭОС (виртода).

Принципиальная схема исследуемого виртода и скриншот модели, созданной в CST PS, представлены на рис. 1. Внешнее магнитное поле отсутствует, ускоряющее напряжение – 500 кВ, ток пучка – 12 кА, что соответствует слабому превышению током

критического значения [7]. Для вывода электромагнитной энергии используется выходной волноводный порт *11*. Электронный поток проходит через первый короткий зазор, и ВК формируется во втором, более длинном.

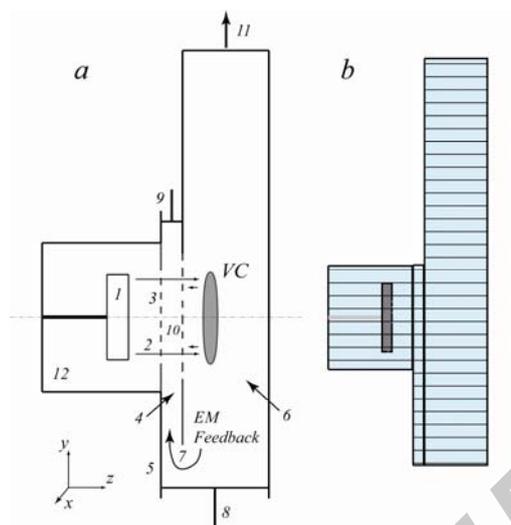


Рис. 1. Схема исследуемого виртода (а): 1 – катод электронной пушки, 2 – сплошной электронный поток, 3 – анодная сетка, 4 – первый зазор резонатора, 5 – прямоугольный резонатор, 6 – второй зазор резонатора, 7 – окно связи, 8 и 9 – подстроечные плунжера, 10 – вторая сетка, 11 – выводящий прямоугольный волновод, 12 – пушечная часть прибора, *VC* – схематическое обозначение области виртуального катода. Скриншот сечения модели виртода, созданной в CST PS (б)

Средствами оптимизатора CST PS была проведена оптимизация геометрических параметров виртода (расстояние катод-анод, радиус катода, размер окна связи, положения плунжеров и др.) с целью максимизации КПД прибора в одномодовом режиме. Был получен набор параметров виртода, при которых он демонстрирует максимальный КПД (4-6.3 %) для различных рабочих частот (1.8-13.5 ГГц). Исследованы физические процессы, происходящие в оптимизированных конструкциях виртода. Проведено также сравнение эффективностей продольного и поперечного выводов мощности прибора.

Выражаем благодарность проф. Я.Е. Красику, А.С. Шлапаковскому и Ю.П. Блюху за плодотворные обсуждения работы. Работа поддержана РФФИ (№ 12-02-00345, 12-02-33071, 13-02-90406) и Президентской программой поддержки молодых российских ученых (проекты МД-345.2013.2 и МК-818.2013.2).

Список литературы

1. Дубинов А.Е., Селемир В.Д. // РЭ. 2002. Т. 47, № 6. С. 575.
2. Benford J., Swegle J.A., Schamiloglu E. High Power Microwaves. CRC Press, Taylor and Francis, 2007.
3. Hramov A.E., Kurkin S.A., Koronovskii A.A. et al. // Physics of Plasmas. 2012. Vol. 19, № 11. P. 112101.
4. Kurkin S.A., Hramov A.E., Koronovskii A.A. // APL. 2013. Vol. 103. P. 043507.
5. Kitsanov S.A., Klimov A.I., Korovin S.D. et al. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2002. Vol. 30, № 1. P. 274-285.
6. Гадецкий Н.Н., Магда И.И., Найстетер С.И. и др. // Физика плазмы. 1993. Т. 19, № 4. С. 530.
7. Shlapakovski A. S., Queller T., Bliokh Yu.P. et al. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2012. Vol. 40, № 6. P. 1607-1617.