

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО КАТОДА В РЕЛЯТИВИСТСКОМ ЭЛЕКТРОННОМ ПОТОКЕ С ПРИЛОЖЕННЫМ НЕОДНОРОДНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В ПРОГРАММЕ CSTPARTICLESTUDIO

**А.А. Короновский (мл.), С.А. Куркин, А.Е. Храмов**

*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского*

*Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина*

*E-mail: alexander.koronovskiy@gmail.com*

Интерес к исследованию образования и нелинейной динамики виртуального катода (ВК) обусловлен как фундаментальной важностью исследований сложного поведения распределенных пучково-плазменных и электронно-волновых систем, так и прикладным значением, связанным с разработкой мощных источников электромагнитного излучения.

К примеру, высокомошные релятивистские электронные потоки в настоящее время находят широкое применение в ряде задач, связанных с нагревом плазмы, ядерного синтеза с инерционным удержанием плазмы, генерации мощного СВЧ излучения [1].

Цель данной работы состоит в исследовании формирования и нелинейной динамики виртуального катода в зависимости от управляющих параметров электронного пучка, приложенного внешнего магнитного поля и параметров пространства дрейфа электронов. Численное моделирование проводилось в среде CST PS.

Виртуальный катод образуется в области пространства дрейфа большего радиуса при выполнении условия  $I_{кр2} < I_0 < I_{кр1}$ , где  $I_{кр1}$  – величина критического тока в области пространства дрейфа меньшего радиуса,  $I_{кр2}$  – величина критического тока в области пространства дрейфа большего радиуса,  $I_0$  – значение величины тока, эмитируемого с катода.

Такой тип реализации формирования виртуального катода был применен в вакуумных плазменных генераторах для создания сжатого состояния пучка [2].

Новые способы формирования виртуального катода связаны с изменением радиуса электронного пучка, который движется в цилиндрическом пространстве дрейфа, имеющем постоянный радиус.

Изменить радиус электронного пучка позволяет приложенное внешнее неоднородное статическое магнитное поле, заданное на оси.

Образование виртуального катода при сжатии пучка может достигаться как за счет плавного изменения радиуса электронного пучка, так и эффекта "магнитной ловушки", образующейся за счет сильной неоднородности статического магнитного поля.

Плавное изменение величины магнитного поля на оси постепенно сжимает электронный пучок, уменьшая значение его внешнего радиуса. При таком задании магнитного поля эффект "магнитной ловушки" не проявляется, в области изменения внешнего магнитного поля колебания энергии частиц значительно меньше энергии пучка для значений тока порядка 3000 А.

Виртуальный катод, сформированный за счет сильной неоднородности

магнитного поля, образуется для величины тока сильно ниже значения, при котором образуется ограничивающий пространственный заряд при постоянном магнитном поле.

Рассматриваемая система, изображенная на рисунке 1, представляет коаксиальное пространство дрейфа. Радиус цилиндрического пространства дрейфа – 75 мм, длина – 200 мм, радиус внутреннего проводника – 10 мм, внешний радиус кольцевого эмиттера – 50 мм, внутренний радиус кольцевого эмиттера – 48 мм. Инжектируемое напряжение – 500 кВ. Значение предельного вакуумного тока в системе – 9400 А, при постоянном внешнем магнитном поле, равном 0.5 Тл.

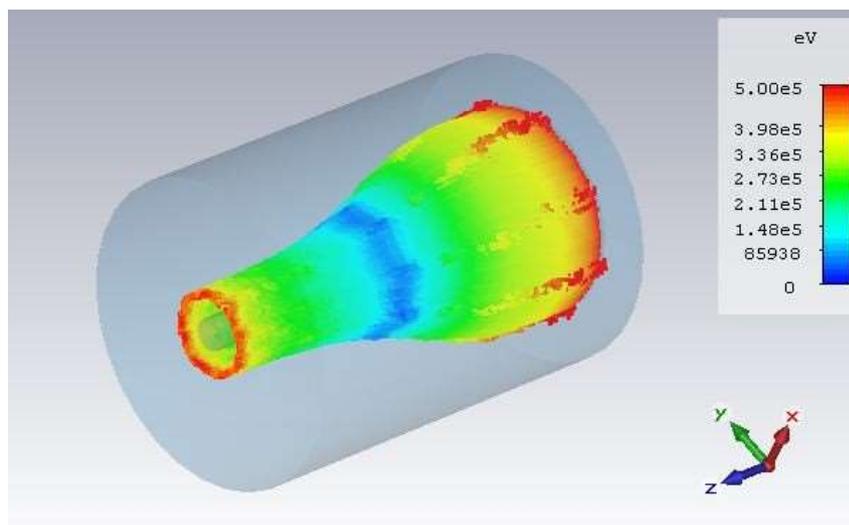


Рис. 1. Виртуальный катод, полученный за счет изменения радиуса релятивистского электронного пучка магнитным полем в коаксиальном цилиндрическом пространстве дрейфа в программе CSTParticleStudio

В данной работе рассмотрены способы формирования виртуального катода за счет приложенного внешнего неоднородного магнитного поля. Установлены параметры внешнего магнитного поля, при котором не проявляется эффект "магнитной ловушки", и электронный пучок плавно выводится на новый радиус. Проведено численное моделирование виртуальных катодов, образованных за счет "магнитной ловушки" и за счет изменения радиуса релятивистского электронного пучка внешним магнитным полем в коаксиальном цилиндрическом пространстве дрейфа постоянного радиуса при значении тока равном 6000 А.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых российских ученых-кандидатов наук (проект № МК-5426.2015.2), РФФИ (проекты № 15-32-20299, №16-32-60059).*

#### Библиографический список

1. Калинин Ю.А. и др // Физика плазмы. 2005. Т. 31, № 11. С. 1009.
2. Петрик А.Г. // Изв. Вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2014. Т. 22, № 6. С.35-41.