

Взаимодействие релятивистского электронного потока, фокусируемого постоянным магнитным полем, с полем релятивистского генератора на сверхразмерном периодическом волноводе

А. И. Слепков,* О. В. Галлямова†

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр.2*

Представлены результаты численного моделирования взаимодействия РЭП, фокусируемого постоянным магнитным полем, с полем осесимметричного периодического волновода. Проведен теоретический и численный анализ резонансного воздействия фокусирующего магнитного поля, выявлены области резонансного усиления сигнала и циклотронного поглощения.

PACS: 84.40.Fe, 07.57.Hm

УДК: 621.385.69

Ключевые слова: релятивистский генератор, релятивистский электронный поток, циклотронный резонанс, циклотронное поглощение.

Разработка и анализ работы генераторов с длительным продольным взаимодействием электронного потока и электромагнитного поля периодической электродинамической системы вызывает интерес различных исследовательских групп как одно из перспективных направлений развития мощных источников когерентного электромагнитного излучения сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн [1]. Наибольшие мощности генерации могут быть получены при использовании взаимодействия релятивистских электронных потоков с полями сверхразмерных периодических волноводов. В частности, в многоволновом черенковском генераторе (МВЧГ) при уровне мощности микроволнового излучения до 15 ГВт в 3-сантиметровом диапазоне длин волн в экспериментах ИСЭ СО РАН [2] была получена эффективность до 50%. В таких генераторах существенную роль играет величина фокусирующего магнитного поля.

В работе представлены результаты численного моделирования взаимодействия когерентного черенковского излучения сильноточного электронного потока с полем сверхразмерного периодического волновода релятивистского генератора микроволнового излучения в условиях реализации циклотронного резонанса. В качестве замедляющей структуры рассматривался идеально проводящий волновод с периодическими неоднородностями в виде полуторов на пьедестале с периодом структуры 1.5 см. Численное моделирование проводилось с помощью многомодового метода [3], позволяющего описывать многоволновые механизмы взаимодействия потока и поля в генераторах на сверхразмерных периодических волноводах. Учитывалось возбуждение аксиально-симметричных полей периодического волновода. При анализе электромагнитных полей использовался метод Галеркина, электронный поток описывался моделью крупных частиц. При решении уравнений движения рассматривалось трехмерное движение электронов в приближении модели ведущих центров. Усло-

вие сверхразмерности (с отношением $D/l \sim 3-5$, где D — диаметр волновода, l — длина волны генерации) предполагает, что на частоте генерации открытыми являются 3–5 мод периодического волновода. Для реализации одночастотного режима генерации использовалась «электронная» селекция мод, основанная на взаимодействии электронного потока и электромагнитного поля на частотах в области π -вида колебаний границы полосы прозрачности нижней аксиально-симметричной моды периодического волновода. В рассматриваемой структуре электромагнитное поле может быть представлено в виде суперпозиции пространственных гармоник, и при исследовании влияния циклотронного резонанса необходимо рассматривать излучение циклотронных осцилляторов в соответствии как с нормальным (при котором происходит взаимодействие потока и поля с обратной волной системы), так и с аномальными эффектами Доплера (соответствующим взаимодействием потока и поля с «+1» пространственной гармоникой).

Как показывает анализ дисперсионных характеристик, в рассматриваемой системе существенную роль играет также взаимодействие потока с «-1» обратной пространственной гармоникой системы. В этих условиях самовозбуждение системы возникает как из-за внутренних обратных связей, так и обратных связей, определяемых отражениями волн от концов структуры, в результате чего в системе конечной длины определяющую роль играют резонансы, соответствующие возбуждению продольных мод.

Таким образом, представленная на рис. 1 зависимость мощности выходного излучения от нормированной циклотронной частоты (ω_c — значение циклотронной частоты, ω_0 — значение опорной частоты) является результатом наложения резонансов, соответствующих взаимодействию циклотронных осцилляторов потока на частоте генерации, с различными пространственными гармониками системы.

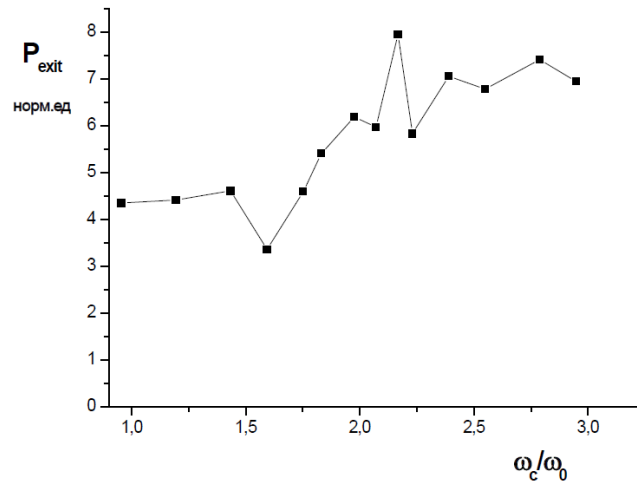


Рис. 1: Зависимость мощности выходного излучения от нормированной циклотронной частоты

- [1] Корниенко В.Н., Черепенин В.А. *УЗМУ*. №4, Р. 154308. (2015). [3] Слепков А.И. Известия РАН. Сер. Физ. **67**, №12. С.1678. (2003).
 [2] Бугаев С.П. и др. Релятивистские многоволновые СВЧ-генераторы. Новосибирск: «Наука», 1991.

Interaction between the relativistic electron beam focused by uniform magnetic field and the field of generator with periodic waveguide

A. I. Slepков^a, O. V. Gallyamova^b

Department of General Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.
E-mail: ^aslepkov@phys.msu.ru, ^bgallyamova@physics.msu.ru

The results of numerical simulation of the interaction between the relativistic electron beam focused by uniform magnetic field and the field of generator with axisymmetric periodic waveguide are reported. The theoretic and numerical analysis of resonance effect of focusing magnetic field were carried out. The range of resonance amplification and cyclotron absorption were revealed and studied.

PACS: 84.40.Fe, 07.57.Hm

Keywords: relativistic generator, relativistic electron beam, cyclotron resonance, cyclotron absorption.

Сведения об авторах

1. Слепков Александр Иванович — доктор физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: (495) 939-30-38, e-mail: slepkov@phys.msu.ru.
2. Галлямова Ольга Валерьевна — канд. физ.-мат. наук, ассистент; тел.: (495) 939-30-38, e-mail: gallyamova@physics.msu.ru.