

09;10

## Управление излучением виркатора с помощью осевой токонесящей нити

© А.Е. Дубинов, В.Д. Селемир, В.П. Тараканов

Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский  
научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров  
Институт высоких температур РАН, Москва  
E-mail: dubinov@ntc.vniief.ru

Поступило в Редакцию 21 мая 2001 г.

В окончательной редакции 26 июля 2001 г.

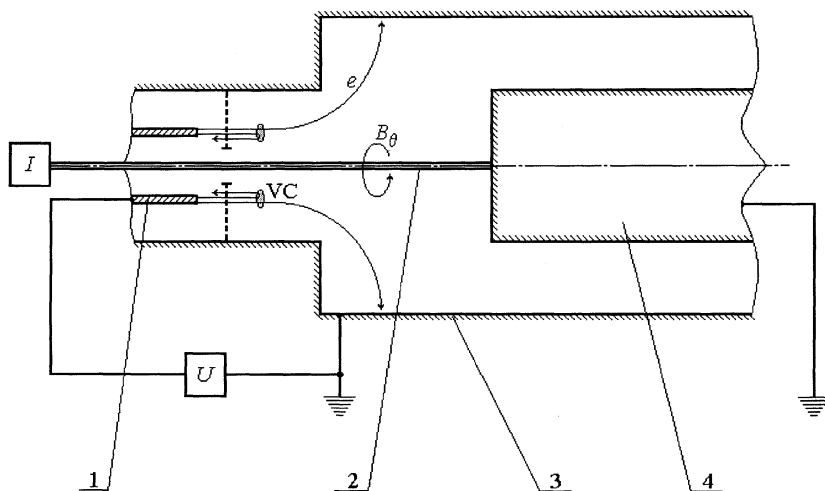
Проведено компьютерное моделирование виркатора с осевой токонесящей нитью. Показано, что с помощью правильно подобранной величины тока в нити можно так организовать динамику пучка в виркаторе, чтобы возбуждать выходной фидер оптимальным образом и обеспечить увеличение мощности в 4 раза.

В [1] было предложено для увеличения КПД генерации виркатора — релятивистского СВЧ-генератора на виртуальном катоде (ВК) — использовать внешнее азимутальное магнитное поле осевой токонесящей нити (см. также [2,3]). Эта идея основывалась на возможности обеспечения циклотронного вращения медленных электронов в ВК на частоте, равной частоте колебаний электронов в потенциальной яме "катод-ВК", за счет подбора тока в нити.

Однако эта конфигурация виркатора так и не была реализована экспериментально, и также не исследовалась теоретически.

В настоящей работе было проведено двумерное компьютерное моделирование виркатора с осевой токонесящей нитью. Для этого нами был выбран известный полностью самосогласованный релятивистский электромагнитный код "КАРАТ" (версия 80007 win-rz), описанный в [4] и реализующий "particle-in-cell" — разновидность метода крупных частиц.

Геометрия виркатора показана на рис. 1. Катод виркатора представляет собой полый проводящий цилиндр с внешним и внутренним диаметром 3 и 2 см соответственно. Анодный электрод представляет собой сочленение двух цилиндров — 6 см в диаметре (диодная и дрейфовая область) и 10 см (область вывода излучения). Последний



**Рис. 1.** Схема виркатора: 1 — катод, 2 — токнесущая нить, 3 — анодный электрод, 4 — коллектор,  $U$  — источник импульсного напряжения,  $I$  — источник тока,  $VC$  — ВК, стрелами показано направление движения электронов.

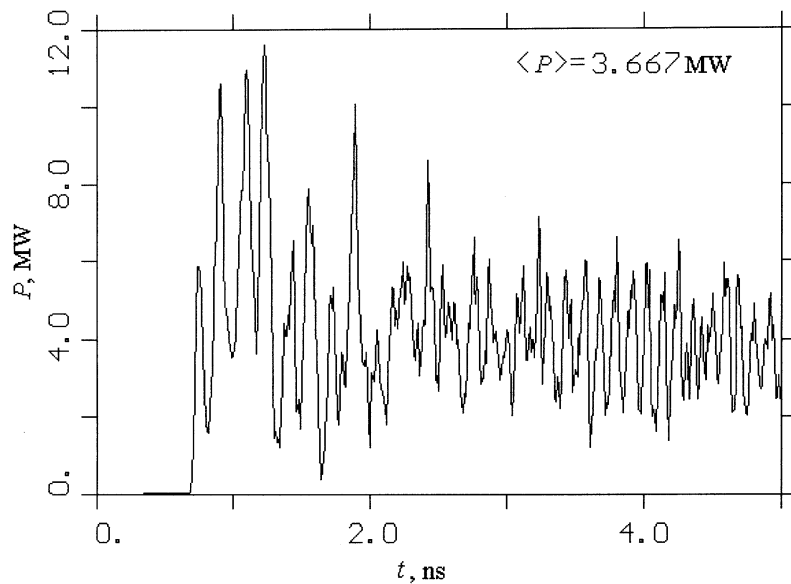
охватывает коллектор 6 см в диаметре, образуя тем самым выходной коаксиальный фидер с волновым сопротивлением  $\sim 30 \Omega$ .

На расстоянии 1 см от торца катода располагается анодная сетка, имеющая 100% прозрачность для электронов. В приосевой области анодная сетка имеет окно для проводки осевой токнесущей нити. Полная длина дрейфовой области от анодной сетки до торца коллектора составляет 7 см.

Наличие осевой токнесущей нити моделировалось заданием стационарного внешнего магнитного поля азимутального направления  $B_\theta$ , спадающего с заданной на поверхности нити величины по закону  $r^{-1}$  (диаметр нити составляет 2 мм).

Считалось, что к катоду прикладывается прямоугольный импульс напряжения амплитудой  $-120 \text{ kV}$  и длительностью 5 ns, а анод и коллектор заземлены.

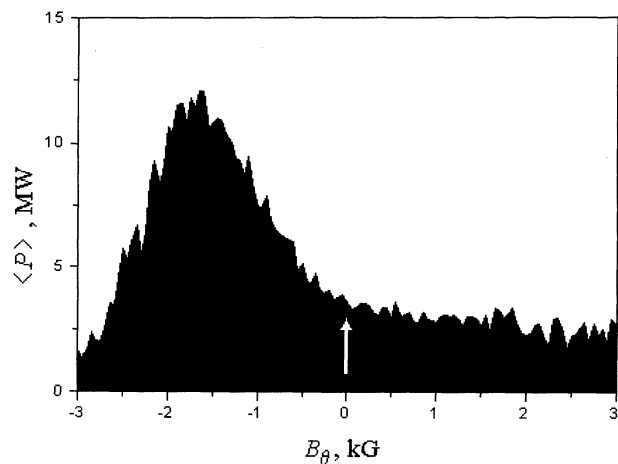
Рассчитывалась эволюция электромагнитного поля на правом конце фидера. Расчеты, выполненные при различных значениях внешнего



**Рис. 2.** Типичная расчетная осциллограмма мощности СВЧ-излучения (в верхнем углу — среднее за импульс значение мощности).

магнитного поля, показали, что частота СВЧ-излучения составляет примерно 3 GHz и слабо зависит от магнитного поля.

Вычислялись также эволюция потока вектора Пойнтинга в конце фидера, по которой определялась средняя за импульс мощность генерации. Типичная расчетная осциллограмма мощности СВЧ-излучения представлена на рис. 2. Оказалось, что в противоположность частоте средняя мощность излучения существенно зависит от величины внешнего азимутального магнитного поля. На рис. 3 представлена зависимость мощности СВЧ-излучения в зависимости от величины магнитного поля, причем положительное значение магнитного поля соответствует току в нити, совпадающему по направлению с током пучка в диоде (способствует пинчеванию пучка), а отрицательное значение — противоположному направлению (способствует дефокусировке пучка).



**Рис. 3.** Зависимость средней за импульс мощности СВЧ-излучения от величины азимутального магнитного поля (стрелкой отмечено значение мощности в обычном виркаторе без нити).

Анализ зависимости рис. 3 показал, что роль циклотронного резонанса, если и имеется, то она незначительна. Более важное значение, как оказалось, имеет то, в каком месте поглощаются пролетные электроны.

Так, при положительных значениях  $B_\theta$  пролетные электроны поглощаются коллектором и зависимость мощности от величины магнитного поля практически отсутствует. При  $B_\theta < -2$  кГс пролетные электроны садятся на цилиндр малого диаметра анодного электрода и мощность СВЧ-излучения здесь, как и в предыдущем случае, невелика. Но когда пролетные электроны попадают на цилиндр большого диаметра анодного электрода (показано на рис. 1 стрелкой), то возбуждение выходного фидера становится более эффективным и мощность возрастает примерно в 4 раза при  $B_\theta = -1.6$  кГс.

Известно, что ток пролетных электронов в виркаторе промодулирован по амплитуде, так что фактически коаксиальный фидер в оптимальном режиме возбуждается радиальным модулированным электронным пучком. Таким образом, с помощью правильно подобранной величины тока в нити можно так организовать динамику пучка в виркаторе, чтобы возбуждать выходной фидер оптимальным образом.

## Список литературы

- [1] Дубинов А.Е., Селемир В.Д. Патент РФ № 2068596, Н 01 J 25/68, 31.05.1991. БИ, 1996. № 30.
- [2] Павловский А.И., Босамыкин В.С., Селемир В.Д. и др. // Релятивистская высокочастотная электроника. Н.-Новгород: ИПФ АН. 1992. В. 7. С. 81.
- [3] Alyokhin B.V., Dubinov A.E., Selemir V.D. et al. // IEEE Trans. Plasma Sc. 1994. V. 22. N 5. P. 945.
- [4] Tarakanov V.P. // User's manual for code Karat, Berkley Research Associate Inc., Springfield, VA. 1992.