

09;10

Гибридный СВЧ-генератор на основе системы виркатор+ЛБВ — виртод

© В.Д. Селемир, А.Е. Дубинов, Е.Е. Дубинов,
И.В. Коновалов, А.В. Тихонов

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров

Поступило в Редакцию 13 ноября 2000 г.
В окончательной редакции 2 февраля 2001 г.

Исследованы различные схемы СВЧ-генераторов (ЛБВ, виркатор, виртод на основе гибридной системы "виркатор-ЛБВ") в одинаковых режимах запитки. Показано, что виртод является из них наиболее эффективным.

Известно, что осциллирующий виртуальный катод (ВК) модулирует пролетный ток электронного пучка [1]. Это обстоятельство позволяет использовать электронные пучки с ВК как для целей СВЧ-генерации [2,3], так и для целей коллективного ускорения ионов [4].

СВЧ-генераторы на основе ВК, получившие название виркаторов, в настоящее время являются одними из самых перспективных приборов в релятивистской электронике.

Одной из интересных идей в развитии СВЧ-генераторов с ВК является идея гибридного СВЧ-генератора [5], в котором промодулированный с помощью ВК пролетный ток электронов поступает в замедляющую систему, настроенную на режим лампы обратной волны (ЛОВ). Возбуждаемая в ЛОВ СВЧ-волна возвращается назад к ВК, чем осуществляется обратная связь, а вывод СВЧ-излучения производится вблизи ВК. Таким образом, этот гибридный генератор, получивший название виртод, представляет собой систему виркатор+ЛОВ.

В данной работе реализован гибридный СВЧ-генератор типа виртод на основе системы виркатор+лампа бегущей волны (ЛБВ). Идея такой схемы построения виртода основана на том, что в замедляющую систему поступает промодулированный электронный пучок и по сравнению с обычной ЛБВ накачка ее замедляющей системы происходит этим пучком и СВЧ-излучением виркатора с хорошей добротностью резонатора.

В качестве источника питания для виртода был использован двух-блочный линейный индукционный ускоритель И-3000, описанный в [6]. Параметры импульса электронного пучка в данной работе были следующие: энергия электронов — 2.4 MeV, ток пучка — 12 kA, длительность импульса — 20 ps.

Электродинамическая структура ЛБВ представляла собой открытый резонатор в виде отрезка гофрированного волновода круглого сечения с внешним диаметром 67 mm, с периодом гофры — 16 mm, глубиной гофрировки — 7 mm и количеством периодов — 18. Форма профиля гофры — пара сопряженных полуокружностей.

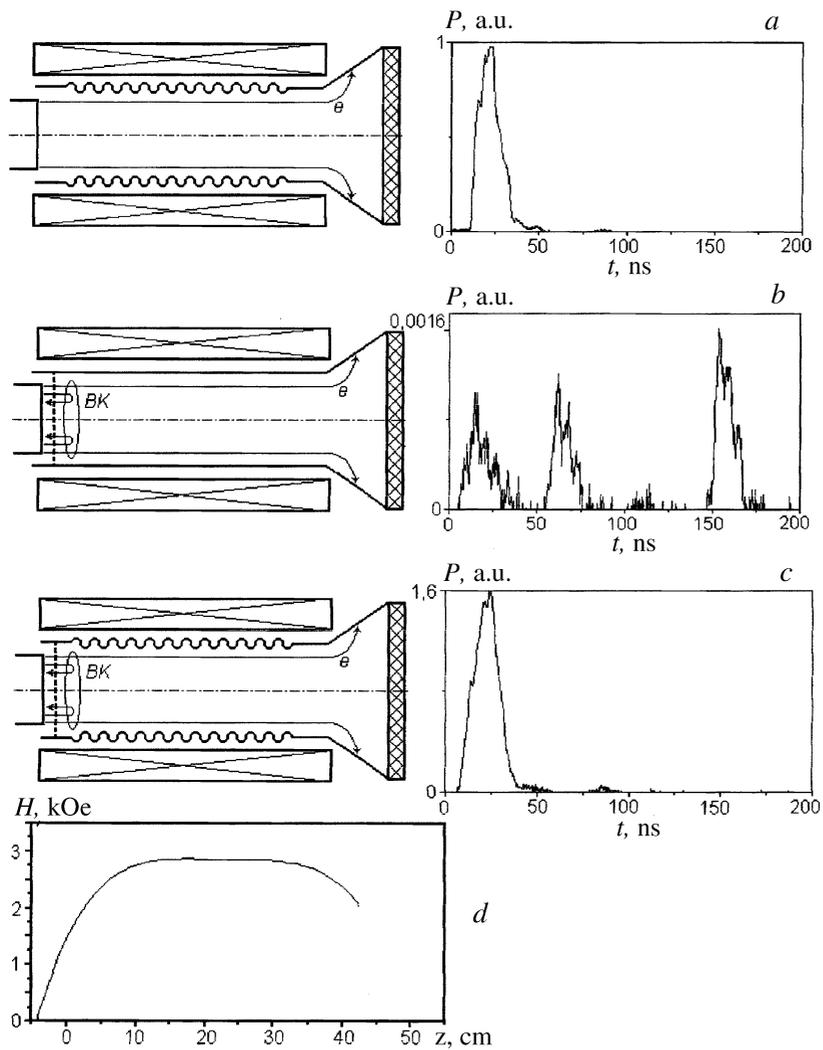
Электродинамическая структура помещалась в соленоид, создающий магнитное поле величиной до 3 kOe.

На рисунке, *a* представлена конфигурация релятивистской ЛБВ, подобная той, которая исследовалась в [6]. В частности, при ее оптимизации путем варьирования геометрических параметров генератора, импеданса диода и конфигурации магнитного поля в [6] удалось вывести ЛБВ в режим СВЧ-генерации с эффективностью более 10% на частоте 10 GHz. При этом, как показали результаты измерений пространственно-временной структуры выведенного в дальнюю зону излучения, оно имеет узкополосный и когерентный характер. Оптимальная конфигурация ЛБВ в данной работе была использована в качестве эталона.

На рисунке, *b* представлена конфигурация виркатора с гладкой трубой дрейфа диаметром, совпадающим с внутренним диаметром гофрированной структуры ЛБВ. Диодная область виркатора была отделена от трубы дрейфа металлической сеткой с геометрической прозрачностью 90%, выполненной из танталовой проволоки диаметром 0.1 mm. Ширина промежутка катод–сетка составляла при этом 60 mm. Этот виркатор был также использован нами для сравнения.

На рисунке, *c* показана геометрия виртода на основе гибридной системы ”виркатор+ЛБВ”. Подчеркнем, что и ЛБВ, и виркатор, и виртод были реализованы в режиме СВЧ-генераторов, т.е. в отличие от СВЧ-усилителей внешний СВЧ-сигнал на вход этих приборов не подавался. Поэтому их сравнение по величине генерируемой мощности методически оправдано.

На рисунке, *d* представлено пространственное распределение магнитного поля.



Исследованные конфигурации (слева) и нормированные осциллограммы огибающих СВЧ импульсов (справа): *a* — ЛБВ; *b* — виркатор; *c* — виртод; *d* — совмещенный с конфигурациями пространственный профиль магнитного поля.

Была также исследована конфигурация с гладким волноводом, но в отличие от виркатора — без сетки.

Все перечисленные конфигурации исследовались при одинаковых режимах высоковольтного питания ускорителя и одинаковом магнитном поле.

Для измерения потока мощности СВЧ-излучения в дальней зоне (~ 10 m) использовались германиевые детекторы "на горячих носителях", размещенные в волноводах 23×10 mm.

Типичные нормированные осциллограммы огибающих СВЧ-импульсов показаны на рисунке справа от соответствующих конфигураций, причем пиковая плотность мощности ЛБВ принята нами для удобства сравнения за единицу. Мощность излучения виркатора существенно мала по сравнению с мощностью ЛБВ, однако мощность виртода заметно превышает суммарную мощность ЛБВ и виркатора. В конфигурации с гладким волноводом без сетки СВЧ-излучение зафиксировано не было. Таким образом, виртод является наиболее эффективным СВЧ-генератором из рассмотренных.

Обращает на себя внимание то, что виркатор генерирует три последовательных СВЧ-импульса, причем третий из них является наибольшим по мощности. Наличие нескольких импульсов объясняется тем, что в режиме рассогласования нагрузки в ЛИУ на основе линий с распределенными параметрами формируется последовательность затухающих высоковольтных эхо-импульсов. Такой многоимпульсный режим работы ранее наблюдался и в релятивистской ЛБВ на ускорителе И-3000 [6]. Но то, что третий импульс в виркаторе имеет наибольшую мощность, еще раз подтверждает то, что виркатор наиболее эффективно излучает при напряжениях питания 100–500 kV, а при ультрарелятивистской энергии электронов его эффективность резко падает.

Последнее обстоятельство не имеет место для виртода, в котором ВК играет роль только модулятора пучка.

Таким образом, при размещении в ЛБВ, подобной [6], анодной сетки эффективность генерации может достигать 16% за счет вывода СВЧ-генератора в режим виртода. Отметим, что произвольное размещение сетки в ЛБВ не всегда приводило к увеличению эффективности генерации. Для этого необходимо подобрать положение сетки так, чтобы, во-первых, в трубе дрейфа мог сформироваться ВК, и во-вторых, частота колебаний ВК была равной собственной частоте генерации ЛБВ.

Список литературы

- [1] *Курилко В.И., Файнберг Я.Б.* // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2. В. 9. С. 397.
- [2] *Селемир В.Д., Алехин Б.В., Ватрунин В.Е., Дубинов А.Е., Степанов Н.В., Шамро О.А., Шибалко К.В.* // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 7–8. С. 689.
- [3] *Дубинов А.Е., Селемир В.Д.* // Зарубежная радиоэлектроника. 1995. № 4. С. 54.
- [4] *Балакирев В.А., Горбань А.М., Магда И.И., Новиков В.Е., Онищенко И.Н., Пушкарев С.С.* // Физика плазмы. 1994. Т. 23. № 4. С. 350.
- [5] *Гадецкий Н.П., Магда И.И., Найстетер С.И., Прокопенко Ю.В., Чумаков В.И.* // Физика плазмы. 1993. Т. 19. № 4. С. 530.
- [6] *Павловский А.И., Босамыкин В.С., Селемир В.Д., Гордеев В.С., Дубинов А.Е., Иванов В.В., Клементьев А.П., Корнилов В.Г., Ватрунин В.Е., Жданов В.С., Коновалов И.В., Приходько И.Г., Суворов В.Г., Шибалко К.В.* Релятивистская высокочастотная электроника. Сб. науч. тр. Н.Новгород: ИПФ АН, 1992. В. 7. С. 81.