

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПОТОКА В МАГНЕТРОНАХ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

Воловенко М. В., Никитенко О. М.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина 14, Харьков – 61166, Украина
тел. 057-702-13-31 e-mail: mykola@kture.kharkov.ua

Аннотация – Приведены результаты расчетов по оптимизации размещения и режима работы первичноэмиссионного катода в магнетронах миллиметровых длин волн.

I. Введение

Отдельным классом среди генераторных систем М-типа являются системы, которые работают в миллиметровом диапазоне длин волн.

Для того, чтобы охарактеризовать особенности генераторных систем М-типа миллиметрового диапазона длин волн (ММДВ), проанализируем сначала отличие классических генераторных систем, от генераторных систем ММДВ. Оба принадлежат к одному и тому же классу генераторных систем бегущей волны, но ММДВ работают при $h^2 \approx 1,3 \pm 0,2$, в то время как классические генераторные системы М-типа при $h^2 \approx 6-8$, где $h = H/H_k$, где H_k – критическое, а H – рабочее магнитное поле. Сравнение по h^2 существенное, поскольку КПД для генераторных систем М-типа пропорционален величине h^2 [1-4].

II. Основная часть

Для генераторных систем ММДВ эмиссионная характеристика катода должна быть такой, чтобы в нестационарном режиме при включении анодного напряжения могло установиться однопоточное состояние в электронном облаке, иначе генераторная система ММДВ не будет работать в генераторном режиме. Для генераторных систем ММДВ анодный ток, по которому оценивают необходимую токовую нагрузку на катод, не является определяющей характеристикой.

Трехмерная модель позволяет учесть влияние торцевого катода с помощью решения уравнения Пуассона с соответствующими граничными условиями. Электроды большинства магнетронов близ торца имеют достаточно сложную геометрию, которая представлена катодными экранами, а в магнетронах миллиметрового диапазона – первично-эмиссионным катодом, экраном, анодным блоком и полюсными наконечниками магнитов. Такая геометрия может быть учтена алгоритмом расчета полей пространственного заряда в системах со сложной конфигурацией электродов. Алгоритм является универсальным и может применяться как в двумерных, так и в трехмерных системах координат.

Задача, поставленная в этой статье, состоит из двух подзадач:

1 – исследование влияния площади поверхности первично-эмиссионного катода на КПД и вольт-амперную характеристику,

2 – исследование влияния тока термоэмиссии на вышеупомянутые параметры.

Рассмотрим первую задачу. В качестве эмитирующей поверхности выбираем кольцо с радиусами от $0,1r_k$ до r_k . Изменение площади эмитирующей поверхности первично-эмиссионного катода может изменить КПД генератора. Хотя это изменение практи-

чески не изменяет суммарного заряда в магнетронной генераторной системе с вторично-эмиссионным катодом, но приводит к увеличению времени формирования электронного облака. Поэтому площадь первично-эмиссионного катода надо выбирать в каждом конкретном случае, оптимизируя исходные характеристики генераторной системы за двумя параметрами: КПД и время возбуждения.

Следующим следствием перехода от сплошного термоэмиссионного покрытия к кольцу есть изменение аксиального распределения мощности бомбардировки вторичного катода.

В режиме установления колебаний работа рассматриваемого генератора аналогична случаю слабой термоэмиссии как в классическом магнетроне, то есть при равномерном распределении тока термоэмиссии по плоскости катода, однако переходный процесс такого прибора имеет существенные отличия.

Первой особенностью переходного процесса в приборе с узким термокольцом есть то, что даже при сколько угодно большой эмиссионной способности катода и маленькой плоскости покрытия близ этих участков быстро срабатывает механизм самоограничения эмиссии прикатодным минимумом потенциала. Это вызовет, как уже упомянуто выше, существенное замедление переходного процесса. Отсюда вытекает, что к материалу покрытия термоэмиссионных колец нет смысла предъявлять более жесткие требования по плотности тока чем к материалу обычных термокатодов.

Вторая особенность связана с ощутимой зависимостью времени формирования электронного облака от расположения термоэмиссионного кольца.

Результаты расчетов.

Результаты вычислений показали, что при радиусе вылета первичных электронов от $0,1$ до $0,35 r_k$ первичные электроны попадают к торцу вторичного катода и таким образом не берут участия в процессе вторичной эмиссии. При увеличении радиуса первичного катода от $0,35 r_k$ до $1,65 r_k$ электроны попадают на поверхность вторичного катода, создавая условия для возникновения вторичной эмиссии. Первичные электроны с радиусом вылета $1,65 r_k$ к r_k попадают на анод. И как электроны с радиусом вылета от $0,1 r_k$ до $0,35 r_k$ не будут брать участия в процессе вторичной эмиссии.

Таким образом, целесообразно, чтобы эмитирующая поверхность первичного катода занимала кольцо с радиусами $0,35 r_k - 1,65 r_k$.

На рис. 1 изображены зависимости количества частиц, которые попадают на вторичный катод, анод и торцевые экраны при вылете с первичноэмиссионного катода.

Анализ рисунка 1 показывает, что электроны, которые оставляют катод в центральной части образуют облако заряда возле точки вылета. Электроны, которые вылетают возле торцовых областей ка-

тогда, осуществляют колебательное движение в аксиальном направлении, вследствие чего пространственный заряд, который они образуют, оказывается более "размазанным" по длине вторичного катода. Это приводит к более быстрому наполнению втулки, появлению вторичной эмиссии и сокращения времени формирования объемного заряда. Описанный эффект особенно заметен на начальной стадии переходного процесса в двухпоточном состоянии облака. Модельные частицы, которые вылетают в области анода и торца вторичного катода не берут участия в формировании электронного облака в пространстве взаимодействия и им отвечают нулевые значения по оси частиц (см. рис. 1)

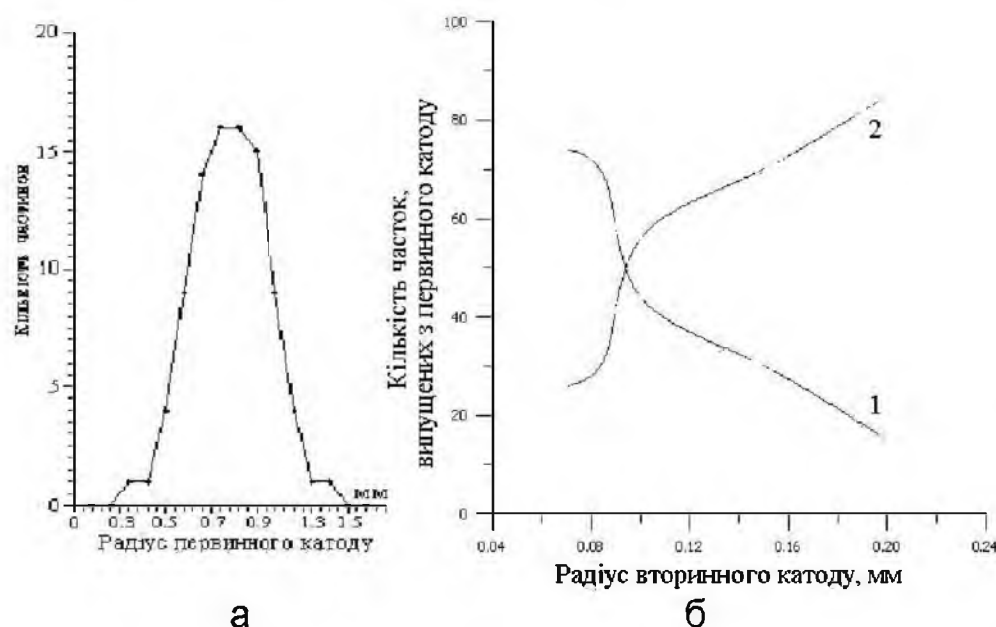


Рис. 1. Зависимость количества модельных частиц от радиуса первичного катода

а – зависимость количества частиц, которые попали на вторичный катод

б – зависимость количества частиц, которые попали на вторичный катод (1) и осели на аноде или торцевом экране (2)

Fig. 1. Model particles vs primary-emission cathode radius:

a – model particles arriving at the secondary-emission cathode;

b – model particles arriving at the secondary-emission cathode (1) and depositing on the anode or cathode shield (2)

III. Заключение

Из приведенного выше вытекает, что для минимизации времени переходного процесса в системах с холодным катодом, которые имеют узкое термоэмиссионное кольцо, надо размещать последнее по возможности более близко к торцу пространства взаимодействия, поскольку при этом максимальная плоскость этого пространства будет "открыта" для первичных электронов.

IV. Список литературы

- [1] Левин Г. Я. О зависимости свойств электронного облака в магнетроне от эмиссионной способности катода. – В сб.: Физика и техника миллиметровых и субмиллиметровых волн. – Киев: Наук.думка, 1963, с. 36–44.
- [2] Левин Г. Я. Вопросы теории подобия и моделирования явлений в электровакуумных СВЧ приборах М-типа. – Харьков, 1982. – 25 с. – (Препринт / АН УССР. ИРЭ; №197).
- [3] Левин Г. Я. Прикладная электроника миллиметрового диапазона Учебное пособие. Харьков; Изд-во ХГУ, 1982. – 104 с.
- [4] Левин Г. Я. О новых аспектах проблемы "Теория магнетронного диода". – Харьков, 1978. – 45 с. – (Препринт / АН УССР. ИРЭ; № 96).

FEATURES OF SIMULATING SPATIAL INTERACTION OF ELECTRON STREAM IN MM-WAVE MAGNETRONS

Volovenko M. V., Nikitenko O. M.

Kharkiv National University of Radio Electronics

14 Lenin Ave., Kharkiv, Ukraine, 61166

Ph.: 057-7021331, e-mail: mykola@kture.kharkov.ua

Abstract – Calculation results of optimizing the position and operation mode of primary-emission cathodes in mm-wave magnetrons are presented.

I. Introduction

In [1–4] the differences in the operation of classical and mm-wave magnetrons were discussed. Both systems are of the same class of traveling-wave generators, however, mm-wave generators operate at $h^2 \cong 1.3 \pm 0.2$, while classical ones – at $h^2 \cong 6-8$, where $h = H/H_K$ (H_K – critical and H – working magnetic field). For mm-wave generator systems the non-steady state cathode emission features must provide a single-beam condition in an electron cloud.

II. Main Part

A 3D model allows the influence of an end cathode to be calculated by solving the Poisson equation with respective boundary conditions. In most magnetrons the electrodes have a complex end-face layout presented by cathodes and shields. This problem involves two subproblems:

1. Investigating the influence of the primary-emission cathode area on the efficiency and current-voltage characteristic;
2. Investigating the influence of thermoemission current on the above parameters.

For emitting surface, rings with radii between $0.1r_K$ and r_A have been selected.

Results of calculations.

We have achieved three principal results:

1. If the radius of the primary-emission cathode ring is between 0.1 and $0.35r_K$, electrons travel to the secondary-emission cathode shield.
2. If the radius of the primary-emission cathode is between 0.35 and $1.65r_K$, electrons travel to the secondary-emission cathode.
3. If the radius of the primary-emission cathode is between $1.65r_K$ and r_A , electrons travel to the anode unit.

These results are shown in Fig. 1.

III. Conclusion

The calculation results of optimizing the position and operation mode of primary-emission cathodes in mm-wave magnetrons are presented. To minimize the time of the transition process, the rings with the radii between $0.35r_K$ and $1.65r_K$ for the primary-emission cathode have been selected.