

УДК 621 385 633 24

О ВЛИЯНИИ КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ ЛУЧА НА СТАРТОВЫЕ УСЛОВИЯ ЛОВ ТИПА М

М. Н. Куликов, В. С. Стальмахов

Приведены результаты численных расчетов на ЭВМ стартовых условий ЛОВМ линейной конструкции с лучом конечной толщины. Показано, что влияние конечной толщины луча приводит к увеличению стартового тока и к смещению стартового значения параметра несинхронности в сторону его отрицательных значений.

В настоящее время имеются достаточно подробные данные о стартовых условиях ЛОВМ, полученные на основе анализа модели тонкого луча [1, 2]. Однако вопрос о влиянии конечной толщины луча на стартовые условия ЛОВМ до сих пор остается открытым. Приведенные в [3] результаты расчета для одного частного значения толщины луча получены для случая удаления потока на конечное расстояние от отрицательного электрода, тогда как учет пространственного заряда в исходном дисперсионном уравнении выполнен в предположении отсутствия влияния окружающих электродов. Результаты работы [4] получены методом последовательных приближений, и для оценки их правильности требуется сравнение с данными точного расчета.

В настоящей работе кратко изложены основные результаты численных расчетов стартовых условий ЛОВМ линейной конструкции с лучом конечной толщины, выполненных в широком диапазоне изменения пространственного заряда, толщины луча и его положения в пространстве взаимодействия.

Стартовые условия определялись из решения системы уравнений

$$(\delta + jb - d)(\delta^2 + 2ja_1S\delta - a_2S^2) = -(\delta + ja_3S); \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^3 (\delta_i^2 + 2ja_1S\delta_i - a_2S^2)(\delta_j - \delta_k)e^{2\pi DN\delta_i} = 0,$$

где δ_i — i -й корень первого уравнения системы; i, j, k — циклическая перестановка индексов 1, 2, 3; δ, b и d — нормированная постоянная распространения, параметр несинхронности и параметр потерь; D — параметр усиления; S — параметр пространственного заряда; N — число замедленных длин волн, укладываемых вдоль длины прибора l ; a_1, a_2, a_3 — коэффициенты, зависящие от толщины луча, его положения в пространстве взаимодействия (выражения для всех перечисленных параметров и коэффициентов даны в [5]).

Первое уравнение в (1) является дисперсионным уравнением замедляющей системы с пучком, а второе — условием обращения в нуль поля на коллекторном конце прибора. Для заданных значений d, S, a_1, a_2 , и a_3 решение системы (1) дает сочетания DN_{st} и b_{st} , определяющие стартовый ток и частоту колебаний в момент их возникновения. Вместо величин S и b удобнее использовать параметры

$h = S2\pi DN = 2\pi\alpha_0 N$ и $\Theta = b2\pi DN = (\Gamma_0 - \Gamma_{e0})l$, которые не зависят от D . Здесь α_0 — относительный сдвиг скоростей в луче [5], Γ_0 — «холодная» постоянная распространения волны в системе, $\Gamma_{e0} = \omega/u_{e0}$, u_{e0} — скорость электронов на оси луча.

При расчетах необходимо учитывать, что с изменением h , т. е. с изменением тока, меняется толщина луча $\Gamma_{e0}\Delta$. Так как эти величины связаны соотношением

$$\Gamma_{e0}\Delta = \frac{\omega_c^2}{\omega_p^2} \frac{\omega}{\omega_c} \frac{h}{2\pi N} = Ch, \quad (2)$$

где $C = \omega_c^2/\omega_p^2 \omega_c/2\pi N$, ω_c — циклотронная частота, ω_p — плазменная частота, то при расчетах стартовых условий в качестве параметра следует задавать значения величины C , которая не зависит от тока. Так как при заданном токе толщина луча пропорциональна C , то параметр C может быть назван параметром толщины луча.

Решение системы (1) проводилось на ЭВМ. На рис. 1 представлена полученная из решения системы (1) зависимость DN_{st} и Θ_{st} от h для основного вида колебаний в пренебрежении влиянием потерь системы ($d = 0$). Рис. 1 а соответствует случаю пренебрежения влиянием окружающих электродов, рис. 1 б — случаю, когда относительное расстояние от отрицательного электрода до оси луча $\Gamma_{e0}y_0 = 1$. Как показано в [6],

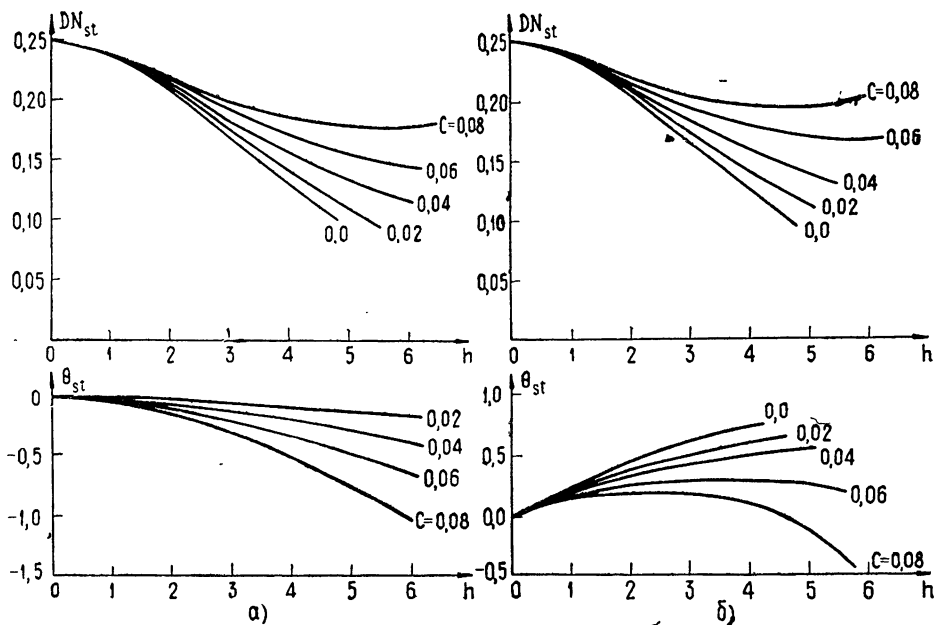


Рис. 1. Зависимость DN_{st} и Θ_{st} от обобщенного параметра пространственного заряда h при различных значениях параметра толщины луча $C = (2\pi N)^{-1} \times (\omega_c^2/\omega_p^2) (\omega/\omega_c)$ для случая

[а] пренебрежения влиянием окружающих электродов, б) конечного расстояния от оси луча до отрицательного электрода ($\Gamma_{e0}y_0=1$).

введением эквивалентных параметров задачу о расчете постоянных распространения с учетом влияния окружающих электродов можно свести (в случае симметричного расположения между электродами электрон-

ного потока) к случаю пренебрежения влиянием окружающих электродов, а в случае асимметричного расположения луча — к случаю учета влияния только одной плоскости. Поэтому приведенные на рис. 1 результаты являются достаточно общими.

Как видно из рис. 1, увеличение параметра толщины луча (при фиксированном h) приводит к увеличению DN_{st} , т. е. к уменьшению влияния пространственного заряда. Тот же эффект дает и приближение к границе луча отрицательного электрода. Рис. 1 показывает также, что увеличение толщины луча приводит к смещению Θ_{st} в сторону его отрицательных значений. При отсутствии влияния окружающих электродов или при симметричном расположении луча между ними влияние толщины луча приводит к тому, что колебания возникают при $\Theta_{st} < 0$, что соответствует $u_{\phi} > u_{e0}$. При смещении луча от среднего положения к отрицательному электроду Θ_{st} может иметь любой знак в зависимости от соотношения параметров C и h .

Расчеты влияния толщины луча на стартовые условия ЛОВМ проводились также в [3,4]. Однако данные этих работ не могут быть непосредственно сравнены с результатами, приведенными на рис. 1, так как в [3,4] не учтена связь $\Gamma_{e0}\Delta$ и h . В целях проверки правильности результатов работ [3,4] были проведены специальные расчеты для значений параметров, приведенных в [3,4]. Эти расчеты показали, что полученные в [3] для одного частного случая зависимости DN_{st} и Θ_{st} от h точно совпадают с данными решения системы уравнений (1), хотя в дисперсионном уравнении работы [3] неправильно учтено влияние отрицательного электрода (см. [5,6]). Результаты работы [4], полученные методом последовательных приближений, хотя и дают качественно правильную зависимость DN_{st} от толщины луча, однако приводят к отличной от получаемой из решения системы (1) зависимости Θ_{st} от $\Gamma_{e0}\Delta$.

Значение DN , при котором в приборе возникнут колебания, будет определяться из условия пересечения приведенных на рис. 1 кривых зависимостей DN_{st} от h с кривыми $DN = \sqrt{Ah}$ [7], где $A = 2\epsilon_0\gamma fNR_{св} \operatorname{cth}(\Gamma_{e0}y_0)$, ϵ_0 — диэлектрическая постоянная вакуума, γ — ширина луча в направлении магнитного поля, f — частота колебаний, $R_{св}$ — сопротивление связи на оси луча. Если значения DN и h , при которых возникнут колебания в приборе, определены, то из зависимостей Θ_{st} от h определяется и соответствующее условиям возникновения колебаний значение Θ .

ЛИТЕРАТУРА

1. R. W. Gould, J. Appl. Phys., 28, 599 (1957).
2. J. E. Row, R. Y. Lee, J. Appl. Phys., 33, 185 (1962).
3. M. de Bennetot, Ann. Radioelectr., 11, 230 (1956).
4. Д. В. Соколов, Т. М. Сокольская, сб. Вопросы электроники сверхвысоких частот изд. Саратовского ун-та, вып. 3, 39 (1967).
5. М. Н. Куликов, В. С. Стальмахов, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 7, № 6, 1002 (1964).
6. М. Н. Куликов, В. С. Стальмахов, сб. Вопросы электроники сверхвысоких частот, изд. Саратовского ун-та, вып. 1, 81 (1964).
7. В. С. Стальмахов, Основы электроники сверхвысокочастотных приборов со скрещенными полями, изд. Сов. радио, М., 1963.

THE EFFECT OF THE BEAM OF A FINITE THICKNESS ON STARTING
CONDITIONS OF *M*-TYPE BW-TUBE

M. N. Kulikow, V. S. Stal'makhov

The starting conditions of *M*-type BW-tube of a linear construction with the beam of a finite thickness are calculated on an electron computer. The effect of the beam with the finite thickness is shown to lead to increasing the starting current and to shifting the starting value of the nonsynchronization parameter to its negative values.
