

ЭЛЕКТРОННАЯ ПУШКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КЛИНООБРАЗНОГО И ЛЕНТОЧНОГО ПУЧКА БОЛЬШОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА

Б. М. Булгаков, А. И. Цвык

Харьков

1. Электронная пушка, предназначенная для получения клинообразного потока большой плотности, показана на рис. 1, а. Для формирования потока использовался оксидный катод, эмитирующая поверхность которого имеет форму сегмента эллиптического цилиндра, что обеспечивает достаточно хорошую сходимость пучка. Подбор требуемой формы катода и анода проводился экспериментально. За основу выбора формы катода брался катод модифицированной пушки Гейля для получения конусо-

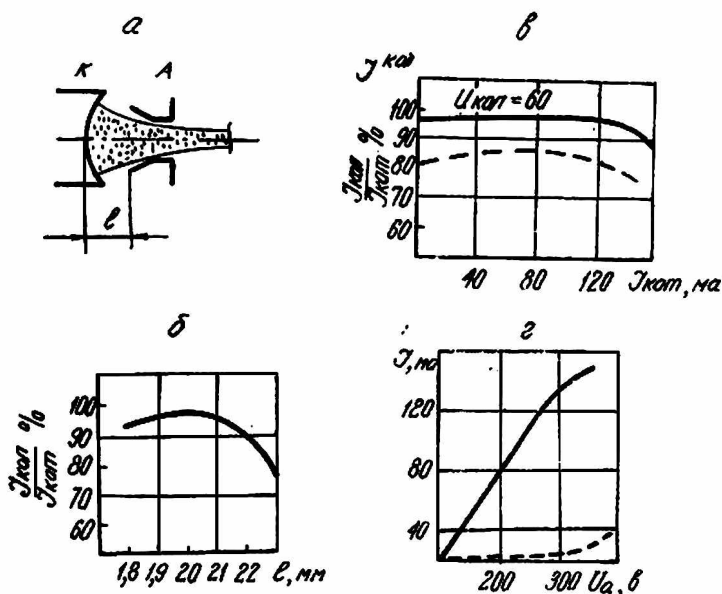


Рис. 1. Общий вид электронной пушки клинообразного потока и графики зависимости:

- а) К — катод;
 А — анод;
 l — расстояние между катодом и анодом;
 в) ——— клинообразный поток;
 - - - - - ленточный поток;
 г) ——— ток коллектора;
 - - - - - ток анода; $V_{kol} = 600$ в.

образного потока [1]. Затем экспериментально подбиралась форма второго электрода.

Катод пушки можно было передвигать в вакууме с точностью до 0,1 мм. Это позволяло исследовать токопрохождение при различных анодных щелях и расстояниях между катодом и анодом. Из рис. 1, б и рис. 1, в видно,

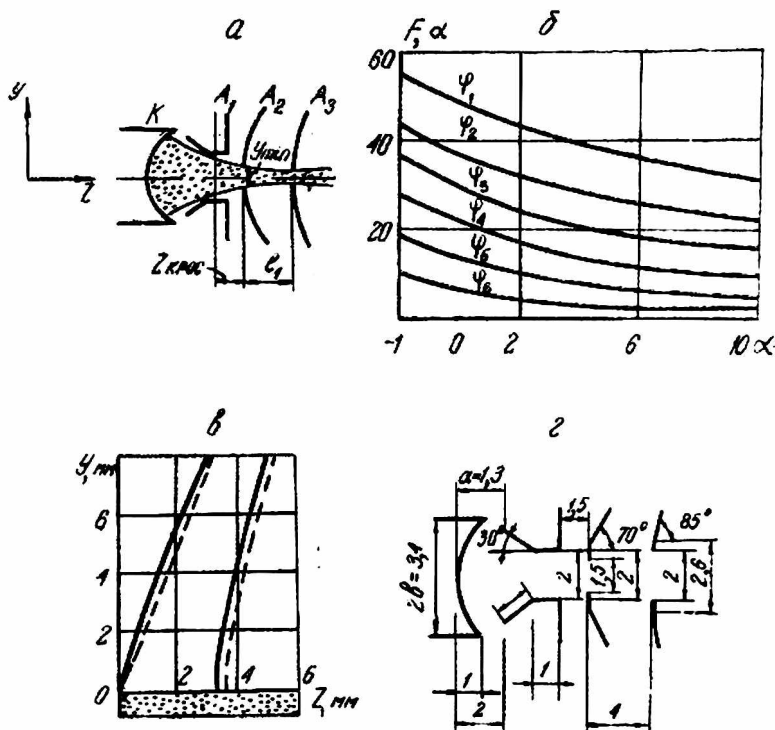


Рис. 2. Электронная пушка ленточного потока и графики зависимости:

- а) К — катод;
- A₁ — управляющий электрод;
- A₂ — фокусирующий электрод;
- A₃ — ускоряющий электрод;
- б) φ₁ = 14; φ₂ = 12; φ₃ = 10;
- φ₄ = 8; φ₅ = 6; φ₆ = 4;
- в) — — — V₂ = 1000 в;
- - - - V₂ = 600 в;
- 1) а — малая полуось эллипса;
- 2) б — большая ось эллипса.

что максимальное токопрохождение пушки составляет 98—99% с первансом пучка на единицу ширины $P = 6,25 \cdot 10^{-4} \frac{a}{l^{3/2} M}$ для анодной щели $1,5 \times 20$ мм, расстояния катод—анод $l = 2$ мм и площадью эмиттирующей поверхности катода $S = 75,6$ мм². Зависимость тока выхода ($I_{кол}$) от анодного напряжения показана на рис. 1, а. Из графика видно что ток коллектора до 115 ма имеет прямо пропорциональную зависимость от анодного напряжения при незначительных значениях анодного тока (0 — 3 ма).

2. Электронная пушка, дающая клинообразный поток, может быть использована для разработки пушки, предназначенной для получения ленточного пучка с большой плотностью тока (рис. 2, а).

Принцип работы электронной пушки заключается в следующем. В области $K-A_1$ формируется клинообразный электронный поток рассмотренным в п. 1 методом, а в области A_2-A_3 ($V_2 < V_1$) электростатически фокусируется ленточный пучок. Фокусирующий электрод A_2 ($V_2 \geq V_1$) расположен в кроссовере сформированного клинообразного потока, что позволяет: во первых, увеличить токопрохождение пушки и, во-вторых, в зависимости от толщины пучка в кроссовере, сформировать в области A_2-A_1 ленточный пучок определенной толщины. Форму электродов A_2, A_1 можно приближенно рассчитать с учетом начальной скорости влета электронного потока в пространство A_2-A_1 .

Рассмотрим плоский ленточный поток электронов, входящий в область A_2-A_1 с начальной скоростью, определяемой потенциалом V_2 фокусирующего электрода A_2 . Предполагается, что ширина потока во много раз превышает толщину, а плотность потока во всех точках одинакова.

Если электроны пучка движутся по параллельным траекториям в направлении z , то зависимость между потенциалом, расстоянием и плотностью тока устанавливается уравнением Пуассона

$$\frac{d^2V}{dz^2} = \frac{j}{\epsilon_0 v 2r_1} V^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где

j — плотность тока пучка; V — потенциал пучка; ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума; $r_1 = \frac{e}{m}$.

После интегрирования (1) получим соотношение для распределения потенциала в пучке вдоль оси z с учетом начальной скорости электронного потока

$$F(\varphi, \alpha) = x \sqrt{j} \tau, \quad (2)$$

где введены обозначения

$$\begin{aligned} F(\varphi, \alpha) &= (\varphi + \alpha)^{\frac{1}{2}} (\varphi - 2\alpha) - (1 + \alpha)^{\frac{1}{2}} (1 - 2\alpha); \\ \varphi &= \sqrt{\frac{V}{V_2}}; \quad \alpha = \frac{\epsilon_0 v 2r_1}{4j \sqrt{V_2}} \left(\frac{dV}{dz} \right)_{V=V_2}^2 - 1; \\ \tau &= \frac{z}{V^{\frac{3}{2}}}; \quad x = \frac{1.5}{\sqrt{2r_1 \epsilon_0}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Из (3) следует, что при всех $\alpha < -1 \left(\frac{dV}{dz} \right)_{V=V_2}^2 < 0$, поэтому необходимо брать только значения $\alpha \geq -1$.

Как видно из графика рис. 2, б, $F(\varphi, \alpha)$ уменьшается с увеличением α при постоянных значениях φ , что соответствует меньшим значениям тока. Максимальному значению тока соответствует $\alpha = -1$.

Для примера рассмотрим случай $\alpha = 0$. Тогда распределение потенциала на границе потока

$$V(z) = (x \sqrt{j} z + V_2^{\frac{3}{4}})^{\frac{4}{3}}. \quad (4)$$

Воспользовавшись граничными условиями — непрерывностью потенциала и равенством нулю нормальной составляющей электрического поля на границе пучка, находим

$$V(y, z) = \left[\left(z + \frac{V_2^{\frac{3}{4}}}{x \sqrt{j}} \right)^2 + y^2 \right]^{\frac{2}{3}} (x \sqrt{j})^{\frac{4}{3}} \cos \frac{4}{3} \theta, \quad (5)$$

где

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{y}{z \sqrt{jz + V_2^2}} \cdot \sqrt{j},$$

Формула (5) дает распределение потенциала вне пучка, позволяющего компенсировать расталкивающую силу пространственного заряда. Легко заметить, что в случае $V_2 = 0$ формула (4) переходит в распределение потенциала для пушки Пирса [2] без начальной скорости.

Из (5) определяем форму второго, третьего электрода и расстояние между ними

$$\cos \frac{4}{3} \operatorname{arctg} \frac{y}{z - \frac{V_{2,3}^{1/4}}{z \sqrt{j}}} = \frac{V_{2,3}^{1/4} (z \sqrt{j})^{1/2}}{\left[\left(z - \frac{V_{2,3}^{1/4}}{z \sqrt{j}} \right)^2 + y^2 \right]^{3/2}}; \quad (6)$$

$$l_1 = \frac{V_3^{3/4} - V_2^{3/4}}{z \sqrt{j}}, \quad (7)$$

где $V_{2,3}$ — потенциал фокусирующего и ускоряющего электрода.

На рис. 2, в показана форма электродов, рассчитанная при различных напряжениях V_2 и $V_3 = 5$ кВ для тока пучка $I = 100$ мА. Чертеж пушки, которая исследовалась экспериментально, приводится на рис. 2, г (размеры даны в мм). Результаты измерений представлены на рис. 1, б. Из графика видно, что максимальное токопрохождение пушки соответствует $85 \div 88^\circ$, при ширине пучка 18 мм и толщине $l = 1,5$ мм.

В заключение следует отметить, что токопрохождение пушки сильно зависит от места расположения фокусирующего электрода A_2 . Его необходимо устанавливать как можно точнее в кроссовере клинообразного потока.

Экспериментальное исследование электронной пушки показало, что ее можно применять в высоковольтных электронных приборах СВЧ и миллиметрового диапазона (от 5 кВ и выше). Управляющий электрод A_1 позволяет регулировать ток пушки в широких пределах (от 0 до 80 мА), не изменяя напряжения на A_2 , A_3 и токопрохождения, что дает возможность использовать его как модулирующий электрод.

Кроме того, положительным качеством пушки является то, что подбором потенциалов электродов A_2 и A_3 и их формы при малой толщине пучка в кроссовере клинообразного потока можно добиться формирования тонких ленточных пучков с высоким первансом.

Авторы благодарны В. Н. Герасимову за техническую помощь при изготовлении электронных пушек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сб. «Миллиметровые и субмиллиметровые волны». Изд-во иностр. лит-ры, 1959.
2. М. В. Алямовский. Электронные пучки и электронные пушки. Изд-во «Советское радио», 1966.