

НЕКОТОРЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУШЕК, ФОРМИРУЮЩИХ ДИСКОВЫЕ ПУЧКИ

А. Ф. Гребенюк

Харьков

В последние годы в печати все чаще публикуются результаты исследований СВЧ приборов радиальной конструкции [1—4].

Как известно, одно из основных преимуществ таких приборов — возможность использования высокоперевансных электронных пучков, в связи с чем экономичность приборов радиальной конструкции намного выше обычного. Кроме этого у приборов радиальной конструкции с внутренним расположением катода плотность пространственного заряда уменьшается с ростом радиуса, в связи с чем уменьшается «расползание» пучка от влияния сил кулоновского расталкивания.

У приборов радиальной конструкции с внешним расположением катода плотность пространственного заряда растет, поэтому «расползание» пучка увеличивается, но вместе с тем в некоторых видах приборов увеличение плотности тока благоприятно сказывается на выходных характеристиках приборов (например, у отражательного клистрона — на диапазоне электронной перестройки).

Исследованию физических явлений в области формирования электронных пучков самой различной конфигурации посвящено много отечественных и зарубежных работ (Дж. Пирс, Тараненко, Алемовский, Тренева, Лукашов и др.) Однако формирование дисковых пучков электронов в этих работах не рассматривается. И только в работе [5] найдено выражение, описывающее распределение потенциала вне потока электронов для случая цилиндрического днода как с внутренним, так и с внешним расположением катода, позволяющее формировать прямолинейные дисковые пучки. В работе [6] выведены уравнения траектории крайнего электрона, места расположения и величины кроссовера дискового пучка электронов без учета влияния пространственного заряда на провисание потенциала в области катод — анод. Этими работами исчерпывается известная нам литература о формировании дисковых пучков электронов.

В данной статье сделана попытка произвести анализ теоретических соотношений [5, 6] и экспериментально проверить некоторые варианты пучек, формирующих высокоперевансные дисковые пучки электронов.

Если необходимо сформировать прямолинейный дисковый пучок электронов, для расчета угла наклона прикатодного фокусирующего электрода можно пользоваться следующими выражениями [5]:

$$V(r, \theta) = \frac{\pi}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_n \exp\left(\frac{1}{2} \gamma\right)}{\left(-n + \frac{4}{3}\right)! \left[\exp\left(-\frac{14i\pi}{3} - 1\right)\right]} \times \\ \times \int_b^r \frac{\exp(-\gamma y)}{\gamma^{n+\frac{4}{3}}} \cdot F\left(\frac{-\gamma + \frac{1}{2}}{2}; \frac{\gamma + \frac{1}{2}}{2}; \frac{1}{2}; \mu^2\right) dy, \quad (1)$$

где k_n — постоянный коэффициент;

μ, γ — параметры, зависящие от электрического режима работы прибора;

$\gamma = -\ln r$ — для электронной пушки с внутренним расположением катода, и

$$V(r, \theta) = \frac{\pi}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{u_n \exp\left(\frac{1}{2} \delta\right)}{\left(-n + \frac{4}{3}\right)! \left[\exp\left(-\frac{14i\pi}{3} - 1\right)\right]} \times \int_b \left[\frac{\exp(-\nu \delta)}{\nu^{n + \frac{4}{3}}} \cdot F\left(-\frac{\nu - \frac{1}{2}}{2}; \frac{\nu + \frac{1}{2}}{2}; \frac{1}{2}; \mu^2\right) d\nu \right], \quad (2)$$

где $\delta = \ln r$;

u_n — постоянный коэффициент для электронной пушки с внешним расположением катода.

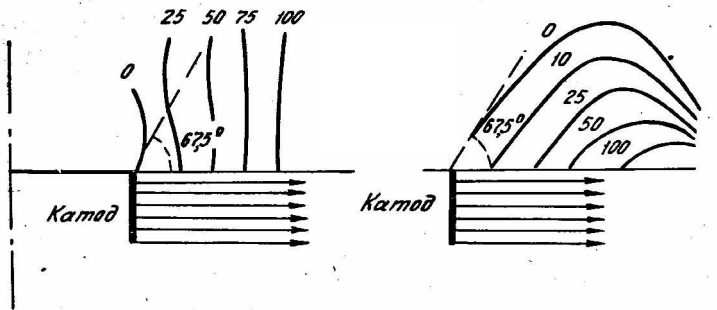


Рис. 1. Распределение потенциала вне электронного дискового пучка по работе [1].

На рис. 1. показано распределение потенциала вне электронного потока в соответствии с формулами (1) и (2). Из них следует, что для формирования прямолинейного дискового пучка электронов, как и в случае

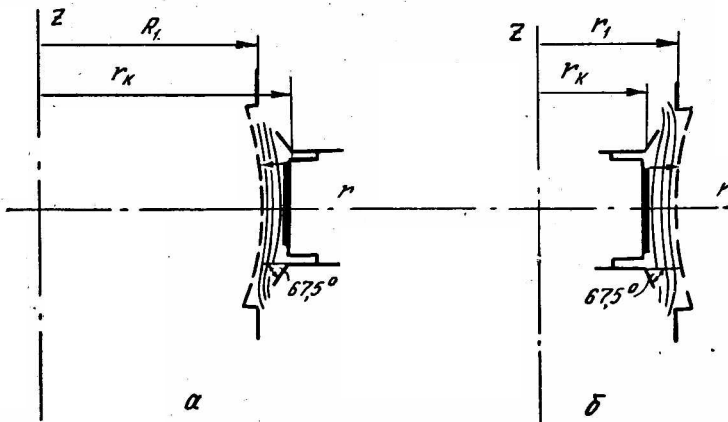


Рис. 2. Варианты электронных пушек, формирующих прямолинейный дисковый пучок электронов.

обычной пушки Пирса, прикатодный фокусирующий электрод необходимо располагать под углом $67^{\circ}30'$ по отношению к направлению движения электронов. Если нет щели в аноде, его форма не критична.

На рис. 2, а схематично представлен один из вариантов электронной пушки, формирующей прямолинейный дисковый пучок (расположение

катода внешнее). Электроды имеют следующие размеры (см): радиус катода $r_k = 1,86$; радиус ускоряющей сетки $R_1 = 1,38$; высота эмиттирующей части поверхности катода $2h_k = 0,4$.

При ускоряющем напряжении $U_0 = 150$ в пушка обеспечивает первеанс $p = 3,8 \cdot 10^{-4} a/b^{3/2}$.

Электронная пушка с внутренним расположением катода схематично показана на рис. 2, б. Прикатодный фокусирующий электрод для формирования прямолинейного дискового пучка поставлен под углом $67^\circ 30'$ по отношению к направлению движения электронов. Размеры электродов: $r_k = 0,3$; $2h_k = 0,8$; $r_1 = 0,8$. При ускоряющем напряжении $U_0 = 250$ в пушка обеспечивает первеанс $p = 4,0 \cdot 10^{-5} a/b^{3/2}$.

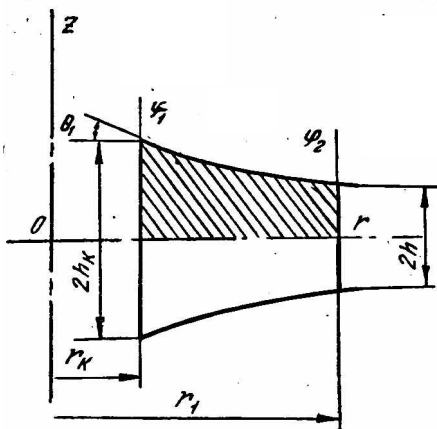


Рис. 3. Схематичное изображение электродов и траектория крайнего электрона дискового сходящегося пучка.

Из анализа этих вариантов пушек видно, что можно получить высокопервеансные дисковые пучки. Однако при этом возникает трудность — нельзя максимально использовать большую эмиттирующую поверхность катода из-за недостаточно близкого расположения катода по отношению к ускоряющему электроду (в связи с применением прикатодных фокусирующих электродов).

Во многих случаях дисковый пучок электронов необходимо сфокусировать и направить в кольцевую щель ускоряющего электрода (резонатора, замедляющей системы и т. п.), как показано на рис. 3. С этой целью для расчета траектории крайнего электрона, величины кроссовера и его местонахождения можно пользоваться следующими выражениями [6]:

$$\frac{\ln R_2}{U_2 - 1} = S \left| \frac{\ln R_2}{U_2 - 1} \right| = sk^2, \quad (3)$$

где $s = \pm 1$ в зависимости от расположения катода (внутреннее или внешнее);

$$R_2 = \frac{r_1}{r_2};$$

$U_2 = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$, φ_1 и φ_2 = значения потенциалов соответствующих электродов;

$$\Xi = P \ln U_2, \quad (4)$$

где

$$P = \frac{1}{8\sqrt{2}\pi\epsilon_0 \sqrt{\frac{e}{m}}};$$

$$\Xi = \frac{\theta_1}{A}; \quad A = \frac{P \cdot I_0}{\varphi_1^{3/2}};$$

I_0 — величина постоянной составляющей тока с катода в а

$$H_k = 4k^3 e^{-sk^2} [S_s(k\sqrt{U_2} - S_s(k) - F_s(k) \ln \sqrt{U_2})], \quad (5)$$

где

$$H_k = \frac{h_k}{Ar_k},$$

а функции в квадратных скобках определяются по графикам работы [6].

Из уравнений (3) — (5) находим величину и место нахождения кольцевого кроссовера дискового электронного пучка.

Если построить траектории крайних электронов по предварительно снятой картине распределения потенциала с учетом пространственного заряда (плотность которого или уменьшается, или растет с изменением радиальной координаты), то убедимся, что полученные результаты мало отличаются от найденных по теоретическим формулам.

Однако следует отметить, что в работе [6] при выводе основных уравнений предполагалось, что пространственный заряд не влияет на картину распределения потенциала. Этого нет у приборов с внешним расположением катода, и здесь лучше конструировать пушки на основе данных моделирования с помощью электролитической ванны.

Нами изготовлены и экспериментально проверены электронные пушки, схематично показанные на рис. 4 и 5.

Электронная пушка (рис. 4, а) с размерами электродов: $r_k = 0,3$; $r_1 = 0,8$; $2h_k = 0,8$; $2h_{y.c} = 0,9$; $\theta_1 = 45^\circ$, при ускоряющем напряжении $U_0 = 250$ в обеспечивает первеанс $p = 4 \cdot 10^{-5}$ а/б^{3/2}. Кроссовер пучка равен 0,4 см и находится на расстоянии $r_2 = 2,9$ см. При этом обе сетки и анод (не показанный на рисунках) находятся под одним потенциалом.

При высоте второй щели $2h_{щ} = 0,4$ см, находящейся на расстоянии $r_{щ} = 1,2$ см, коэффициент токопрохождения составляет 0,35. Все остальные пушки конструировались для обеспечения кроссовера, равного 0,4 см.

Электронная пушка (рис. 4, б) при тех же геометрических размерах и электрических параметрах, что и предыдущая, обеспечивает такую же величину тока с катода, но за счет иного расположения фокусирующих электродов кроссовер находится на расстоянии $r_2 = 2,1$ см, а коэффициент токопрохождения второй щели составляет 0,5.

Электронная пушка (рис. 4, в), аналогичная предыдущим, но с иным расположением бортика фокусирующего электрода, обеспечивает прежнюю величину тока, но кроссовер находится на расстоянии $r_2 = 1,2$ см, чем обеспечивается почти стопроцентное прохождение электронов.

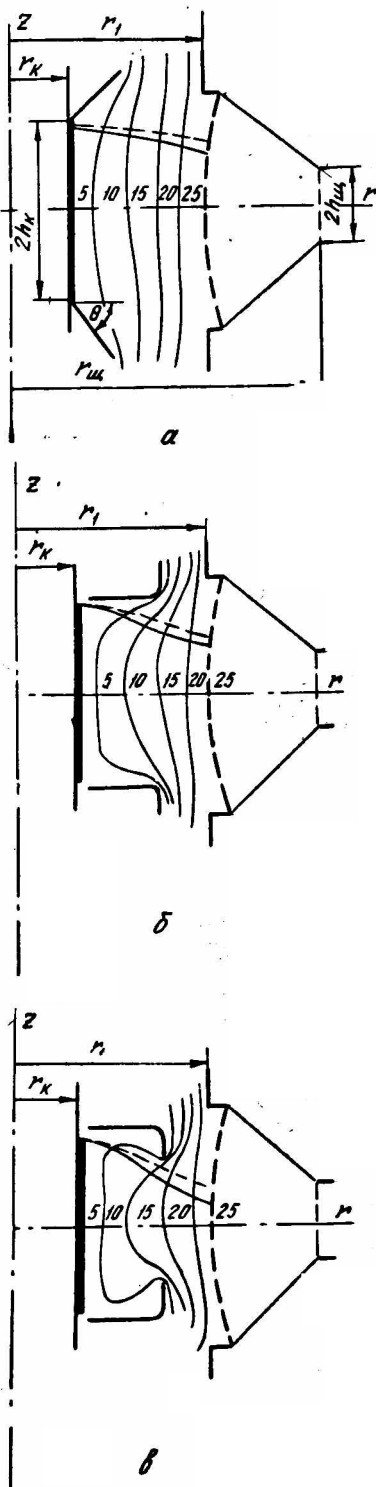


Рис. 4. Некоторые варианты пушек, формирующих сходящийся дисковый пучок электронов.

БИБЛИОТЕКА
520026

Рассмотренные варианты электронных пушек обеспечивают довольно большой первеанс с хорошей сходимостью пучка, однако для получения соответствующих величин тока, ввиду большего расстояния катод — ускоряющий электрод, необходимы большие ускоряющие напряжения, что нежелательно.

На рис. 5 показаны варианты электронных пушек, позволяющие обеспечить еще больший первеанс за счет увеличения эмиттирующей поверхности катода и уменьшения расстояния до ускоряющего электрода.

Так, электронная пушка (рис. 5, а) с геометрическими размерами $r_k = 0,5$; $r_1 = 0,8$; $2h_k = 0,8$; $2h_{y.c.} = 0,9$ при ускоряющем напряжении $U_0 = 250$ в обеспечивает первеанс $p = 9 \cdot 10^{-6}$ а/б^{3/2}. Кроссовер пучка расположен на расстоянии $r_2 = 2,0$ см, и токопрохождение второй щели с $r_m = 1,2$ см составляет 60%.

Электронная пушка (рис. 5, б) имеет диаметр катода $2r_k = 1,3$ см, а остальные размеры такие же, как и у предыдущих вариантов пушки.

При ускоряющем напряжении $U_0 = 250$ в первеанс $p = 1,4 \cdot 10^{-4}$ а/б^{3/2}, кроссовер находится на расстоянии $r_2 = 2,8$ см, коэффициент токопрохождения составляет 0,35.

Наилучшими значениями первеанса и сходимости пучка обладает пушка, схематично показанная на рис. 5, в (аналогичная пушке Миллера). Ее размеры: $r_k = 0,65$ см; $r_1 = 0,8$; $2h_k = 0,9$; $2h_{y.c.} = 0,9$.

При ускоряющем напряжении $U_0 = 250$ в первеанс $p = 1,6 \cdot 10^{-4}$ а/б^{3/2}. Кроссовер находится на расстоянии $r_2 = 1,4$ см. Коэффициент токопрохождения составляет $\approx 0,9$. Радиус вогнутости керна катода ($R_k = 8,0$ см) выбран экспериментально.

На основании сопоставления рассмотренных вариантов электронных пушек, формирующих дисковые пучки, можно сделать вывод, что если в качестве главного требования выдвигается хорошая сходимости пучка, то наилучшей будет конструкция рис. 4, в. Если же необходимо получить высокий первеанс, то следует применять вариант рис. 5, в.

На рис. 4 и 5 приведены траектории крайних электронов для случая радиальной конструкции пушки (сплошные линии)

и траектории крайних электронов пучка для случая обычного ленточного пучка с первеансом, равным первеансу дискового пучка. Из рисунков видно, что расплывание дискового расходящегося пучка электронов за счет

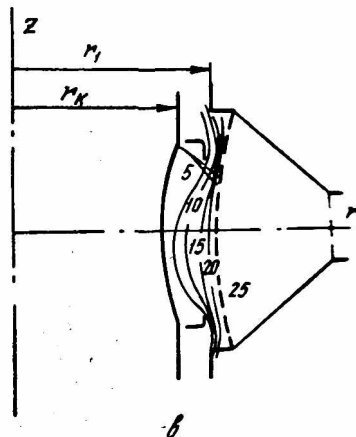
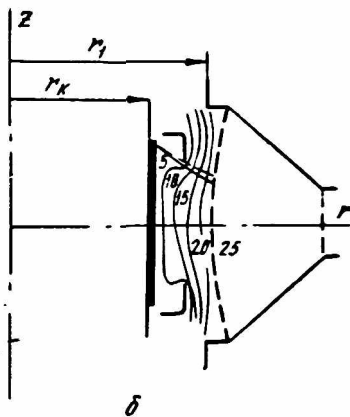
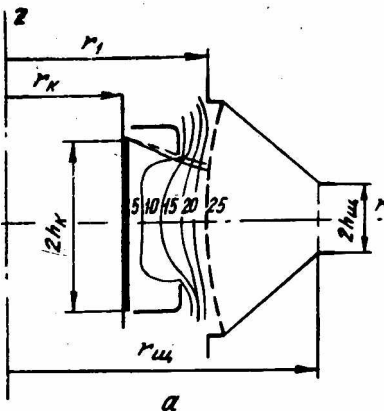


Рис. 5. Некоторые варианты пушек, формирующих высокопервеансные дисковые пучки электронов

сил кулоновского расталкивания намного меньше, чем для случая ленточного пучка.

Конструктивно приведенные варианты пушек достаточно просты (за исключением варианта рис. 5, в) и мало чем отличаются от катодных узлов обычных цилиндрических магнетронов.

В заключение следует отметить, что в случае применения цилиндрических катодов без формирующих электродов при близком расположении поверхности катода к ускоряющему электроду можно использовать эффект автоэлектронной эмиссии (так называемый «холодный» катод). В этом случае могут быть получены высокоперевансные пучки при довольно экономичных режимах работы катода.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Терещенко. Экспериментальные исследования радиального отражательного клистрона. Сб. «Радиотехника», вып. 3. Изд-во ХГУ, Харьков, 1966.
2. А. И. Терещенко, А. Ф. Гребенюк. Зависимость параметров радиального отражательного клистрона от кривизны электродов. Сб. «Радиотехника», вып. 9. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.
3. В. С. Савельев, Г. П. Куценко. ЛБВ с радиальным электронным потоком. «Электронная техника», серия I, «Электроника СВЧ», вып. 6. Изд-во МЭП СССР, 1969.
4. Л. П. Коротун. Волны плотности заряда в радиальном электронном потоке. «Изв. вузов, Радиофизика», т. IX. Изд-во Горьк. ун-та, 1966.
5. Radley, *Lounal Electronics and Control*, v. 15., 5, 1963.
6. С. Л. Мельников. Дисковый пучок в электростатическом поле. «Радиотехника и электроника» Изд. АН СССР, т. XII, № 10, 1967.