

## Электронные пучки высокой интенсивности в ускорительных трубках с жесткой фокусировкой

Е. А. АБРАМЯН, В. В. ВЕЧЕСЛАВОВ, В. А. ГАЙОНОВ, А. М. РЕЗАКОВ

УДК 621.384.653

Резкое увеличение интенсивности электронного пучка, получаемого при помощи ускорителя прямого действия, может быть достигнуто в трубках обычных размеров, если внутри нее установлена система сильно-фокусирующих магнитов. Приведен расчет системы формирования электронного пучка с током 50 а в шнуре диаметром не более 16 мм. Результаты расчета и схемы конструкции даны для энергии 1 Мэв, так как транспортировка пучка при дальнейшем ускорении обеспечивается аналогично. Средний градиент потенциала по трубке равен 13 кв/см.

Для токов пучка в канале 50 а и более необходима энергия инжекции  $W_0 \geq 300$  кэв; эту энергию частицы приобретают в электронной пушке со сферическим катодом и тремя электродами Пирса. Рассмотрены два варианта фокусирующих систем: с квадрупольными и аксиально симметричными линзами, выполненными из постоянных магнитов.

Внутренний радиус каждой квадрупольной линзы  $r_{\text{л}} = 12,5$  мм, длина  $l_{\text{л}} = 26$  мм, структура — ФОДО с равными промежутками и периодом  $L_0 = 77$  мм. Распределение градиента поля  $g(s)$  на оси линзы принято колоколообразным. Используется система относительных единиц, в которой масса электрона, его заряд и скорость света равны единице. Траектория «крайнего» электрона ламинарного потока с равномерным распределением плотности тока по сечению в линейном приближении по поперечным отклонениям  $y_1$  и  $y_3$  описывается уравнениями

$$\left. \begin{aligned} & y_1'' + y_1' \frac{d}{ds} \ln \mathcal{P} + \left[ \frac{g(s)}{\sqrt{\varphi(2+\varphi)}} + \frac{1+\varphi}{2\varphi(2+\varphi)} \varphi'' \right] y_1 = \\ & = \frac{4J}{\mathcal{P}^3} \cdot \frac{1}{|y_1| + |y_3|} \cdot \frac{y_1}{|y_1|}; \\ & y_3'' + y_3' \frac{d}{ds} \ln \mathcal{P} - \left[ \frac{g(s)}{\sqrt{\varphi(2+\varphi)}} - \frac{1+\varphi}{2\varphi(2+\varphi)} \varphi'' \right] y_3 = \\ & = \frac{4J}{\mathcal{P}^3} \cdot \frac{1}{|y_1| + |y_3|} \cdot \frac{y_3}{|y_3|}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} & - \left[ \frac{g(s)}{\sqrt{\varphi(2+\varphi)}} - \frac{1+\varphi}{2\varphi(2+\varphi)} \varphi'' \right] y_3 = \\ & = \frac{4J}{\mathcal{P}^3} \cdot \frac{1}{|y_1| + |y_3|} \cdot \frac{y_3}{|y_3|}, \end{aligned} \right\}$$

где  $\mathcal{P}$ ,  $\varphi$ ,  $J$  — продольный импульс, энергия и ток пучка соответственно, выраженные в относительных единицах.

Анализ уравнений (1) позволил выбрать требуемые величины градиентов линз и численно рассчитать огибающие пучка. Для того чтобы избежать установки между инжектором и каналом согласующей системы, градиенты первых четырех линз определялись методом поиска по минимуму поперечных размеров пучка в канале.

Во втором варианте использованы аксиально симметричные линзы, одна из которых объединена с третьим анодом инжектора. Первые линзы канала экранированы для уменьшения рассеянных полей и имеют апертуру 14 мм, апертуры остальных линз 17 мм, шаг расстановки 38,5 мм.

Уравнение движения крайней частицы в этом случае имеет вид

$$\left. \begin{aligned} & y'' + y' \frac{d}{ds} \ln \mathcal{P} + \left[ \frac{b^2(s)}{4\varphi(2+\varphi)} + \frac{1+\varphi}{2\varphi(2+\varphi)} \varphi'' \right] y = \\ & = \frac{2J}{\mathcal{P}^3} \cdot \frac{1}{|y|}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $b(s)$  — индукция магнитного поля на оси канала.

Описанные системы могут быть использованы в принципе как для импульсных, так и для стационарных пучков. Их достоинством является сравнительно небольшая апертура и малый пробег вторичных частиц.

(№ 217/4535. Статья поступила в Редакцию 26/IX 1967 г., аннотация — 5/V 1968 г. Полный текст 0,5 а. л., 2 рис., 7 библиографических ссылок.)

## Вторичноэлектронные характеристики ускорительных трубок с жесткой фокусировкой

В. В. ВЕЧЕСЛАВОВ, В. И. КОНОНОВ

УДК 621.384.653

Высокая электрическая прочность ускорительной трубки, по которой проходит интенсивный пучок протонов, должна обеспечиваться специальными мерами. Необходимо, в частности, чтобы фокусирующая система не только формировала основной пучок, но и эффективно удаляла из области ускорения вторичные частицы, в первую очередь вторичные электроны. Прямая связь между уменьшением длин свободного пробега вторичных частиц и повышением электрической прочности трубки (подавление «эффекта полного напряжения») установлена в работах [1,2].

При ускорении интенсивных протонных пучков наиболее удобны магнитные или электростатические

[3] системы жесткой фокусировки. Определение вторичноэлектронных характеристик этих систем проводится на основе анализа расчетных траекторий случайных частиц. На электродах трубки или в зоне прохождения основного пучка при помощи датчиков случайных чисел имитировалось возникновение вторичных электронов с энергией, равномерно распределенной в интервале 100—900 эв, и случайным направлением вектора скорости. По этим начальным данным и уравнениям движения вычислялась траектория каждого электрона вплоть до его попадания на стенку канала или выхода из трубки. Это позволило получить распределение  $p(\lambda)$  вторичных электронов по длинам свободного пробега