

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШТЫРЕВЫХ УСКОРЯЮЩИХ СТРУКТУР

Р. Г. КАМИНСКАЯ, В. В. БАРАБОШКИН

(Представлена семинаром сектора СВЧ и ТУ НИИ ЯФ).

В волноводных синхротронах в качестве ускоряющей структуры применялись гладкий или диафрагмированный изогнутые волноводы [1, 2]. Однако, как показано в работе [3], в качестве ускоряющих систем синхротронов на большие энергии могут быть использованы и штыревые структуры. Но данные структуры еще недостаточно изучены.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментального исследования электродинамических характеристик однорядной и двухрядной штыревых гребенок (рис. 1) методом малых возмущающих тел.

На рис. 2 представлены расчетные и экспериментальные дисперсионные характеристики. Для расчета дисперсионных кривых использовались выражения, приведенные в [4]. Большое расхождение экспериментальных и расчетных данных для  $\pi$ -вида колебания объясняется тем, что дисперсия рассчитывалась в предположении однородности поля между штырями.

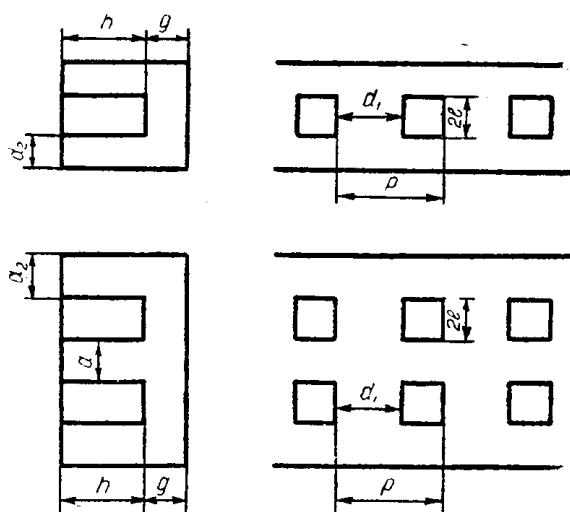


Рис. 1. Штыревые замедляющие системы: 1 — однорядная, 2 — двухрядная.

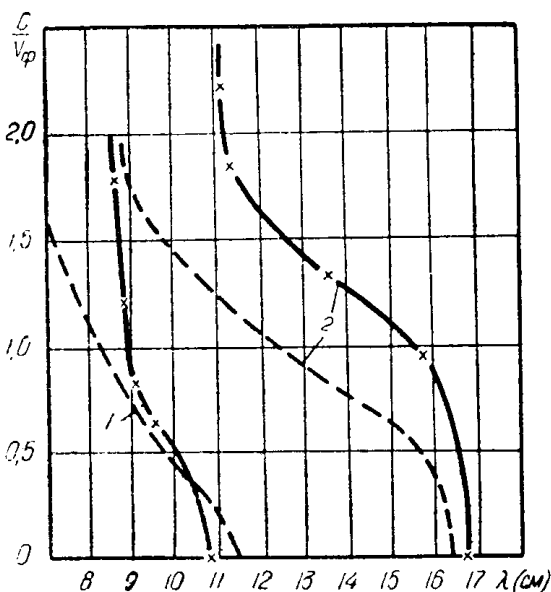


Рис. 2. Дисперсионные зависимости штыревой системы: 1 — однорядная, 2 — двухрядная.

На рис. 3, 4 представлены зависимости сопротивления связи и отношение шунтового сопротивления к добротности  $R_{ш}/Q$ , которое характеризует эффективность выбранной системы и зависит только от геометрических размеров, выраженных в длинах волн генератора.

Зависимости  $R_{св}$  и  $R_{ш}/Q$  приведены для  $\frac{\pi}{2}$ -вида колебания, так как вблизи этого вида колебания наблюдается максимум шунтового сопротивления [5]. Как следует из рисунка, сопротивление связи и  $R_{ш}/Q$  сильно зависит для однорядной гребенки от расстояния между боковой стенкой и штырем, а для двухрядной — от расстояния между штырями  $a/\lambda$  и значительно меньше зависит от других геометрических размеров.

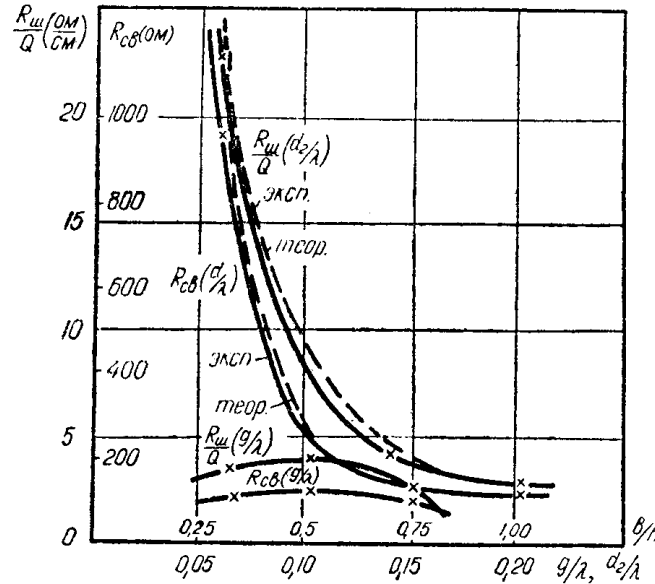


Рис. 3. Зависимость  $R_{св}$  и  $R_{ш}/Q$  от геометрических размеров для однорядной штыревой структуры.

При увеличении надштыревого зазора как в однорядной, так и в двухрядной структуре в случае  $b < h$  наблюдается очень слабая зависимость, в случае же  $b \geq h$  происходит падение эффективности структуры, и штыри не оказывают заметного влияния на замедление волны, а структура ведет себя, как гладкий волновод с дополнительными потерями.

Как видно из дисперсионных кривых, штыревые структуры обладают большой широкополосностью, что позволяет использовать их для ускорения частиц в большом диапазоне частот без перестройки. Но увеличение широкополосности приводит к увеличению групповой скорости  $\beta_{гр}$ , которая становится значительно больше, чем для круглых диафрагмированных волноводов, применяемых в ускорителях.

Зависимости групповой скорости  $\beta_{гр}$  для однорядной и двухрядной гребенок показаны на рис. 5. Для сравнения на этом же рисунке помещена зависимость  $\beta_{гр}$  для круглого диафрагмированного волновода от размеров пространства взаимодействия, построенная по данным [6].

Так как сопротивление связи и  $R_{ш}/Q$  связаны соотношением  $R_{ш}/Q = \frac{2\pi}{\lambda} R_{св} \beta_{гр}$ , то при одинаковых  $R_{ш}/Q$  для штыревых гребенок и круглого диафрагмированного волновода сопротивление связи  $R_{св}$  для штыревых гребенок всегда меньше, чем для круглого диафрагмированного волновода.

Групповая скорость и затухание в волноводе связаны соотношением  $\alpha = \frac{\pi}{\lambda \beta_{\text{гр}} Q}$ . Поэтому увеличение групповой скорости соответствует уменьшению затухания. А это, в свою очередь, приведет к уменьшению прироста энергии частиц при прохождении волновода, которое, как известно, определяется по формуле

$$V = \sqrt{2\alpha R_{\text{ш}} P_0}$$

и с учетом нагрузки пучком

$$V = \sqrt{\frac{2 R_{\text{ш}} P_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha L}) - I R_{\text{ш}} L \left( 1 - \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha L} \right)},$$

где  $P_0$  — подводимая высокочастотная мощность,  $I$  — ток частиц.

А теперь рассмотрим, как скажется увеличение  $\beta_{\text{гр}}$  на приросте энергии в волноводной системе, которая имеет кольцо с обратной связью. В этом случае прирост энергии частиц выразится, согласно [7], выражением

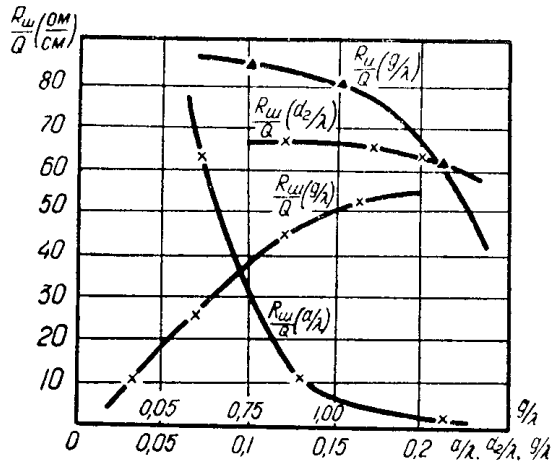


Рис. 4. Зависимость  $R_{\text{ш}}$  и  $R_{\text{ш}}/Q$  от геометрических размеров для двухрядной штыревой структуры

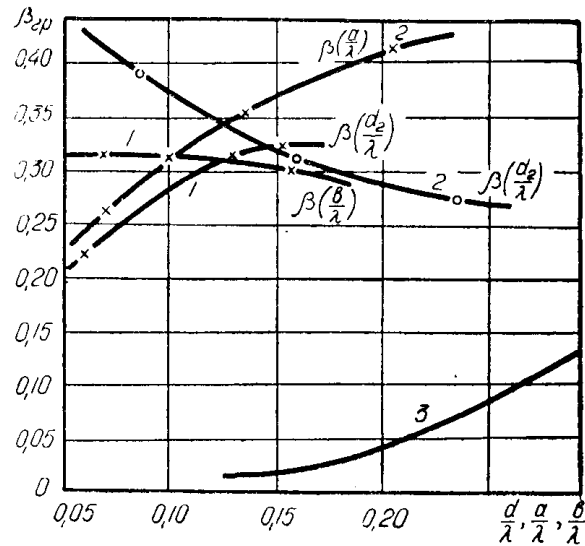


Рис. 5. Зависимость групповой скорости  $\beta_{\text{гр}}$  от геометрических размеров: 1 — однорядная, 2 — двухрядная, 3 — круглый диафрагмированный волновод.

$$V = \sqrt{\frac{2 R_{\text{ш}} P_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha})} \frac{k}{1 - \sqrt{1 - k^2} e^{-\tau}} - \frac{I R_{\text{ш}}}{\tau} \left[ \frac{(1 - e^{-\tau})^2 e^{-\tau} \sqrt{1 - k^2}}{1 - \sqrt{1 - k^2} e^{-\tau}} + \alpha - 1 - e^{-\alpha} \right],$$

где  $\tau = \alpha + \gamma$  — общее затухание в ускоряющем волноводе  $\alpha$  и в системе обратной связи  $\gamma$ ,  $k$  — коэффициент связи.

Для случая  $\alpha \ll 1$  и  $\tau \ll 1$  имеем

$$V = \frac{\sqrt{2\alpha R_{\text{ш}} P_0} k - I R_{\text{ш}} \alpha \sqrt{1 - k^2}}{1 - \sqrt{1 - k^2} (1 - \tau)}.$$

Первый член в этом выражении описывает прирост энергии частиц при пролете через ускоряющий волновод, второй — наведенное пучком поле.

Из этого выражения видно, что уменьшение затухания  $\alpha$  при возрастании  $\beta_{гр}$  приводит к уменьшению прироста энергии, который пропорционален  $\sqrt{\alpha}$ . В то же время уменьшается наведенное пучком поле в  $\alpha$  раз. Следовательно, системы с большой групповой скоростью эффективно использовать в системах с обратной связью для сильноточных ускорителей.

Итак, полученные результаты экспериментального исследования электродинамических характеристик однорядной и двухрядной штыревых гребенок показали, что штыревые структуры обладают меньшим затуханием, значительно широкополоснее круглых диафрагмированных волноводов. Они могут быть эффективно использованы в качестве ускоряющих систем с обратной связью для сильноточных ускорителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Воробьев [и др]. Труды IV Межвузовской конференции по электронным ускорителям. М., «Вышая школа», 1964.
  2. А. А. Воробьев [и др]. Сб. «Электронные ускорители». Труды VII Межвузовской конференции по электронным ускорителям. М., Госатомиздат, 1970.
  3. А. А. Воробьев, А. Н. Диденко. «Атомная энергия», 12, 242, 1962.
  4. Л. Н. Безматерных. Диссертация. Томск, 1964.
  5. П. И. Госьков. Изв. вузов, «Радиотехника», VII, 5, 398, 1964.
  6. О. А. Вальднер, Н. П. Собенин, В. В. Зверев, И. С. Щедрин. Справочник по диафрагмированным волноводам. М., Атомиздат, 1969.
  7. А. Н. Диденко, Г. П. Фоменко. «Радиотехника и электроника», XVI, 6, 1017, 1971.
-