

## УМЕНЬШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАЗБРОСА ПУЧКА ИНЖЕКТОРА ЕРЕВАНСКОГО СИНХРОТРОНА

С. К. ЕСИН, М. А. ПЕТРОСЯН, В. А. СЕРОВ

С целью уменьшения энергетического разброса на выходе линейного ускорителя исследована работа первой секции инжектора при разных уровнях В. Ч. мощности в секции и при разных энергиях инжекции электронов в линейный ускоритель. Расчеты показывают, что наиболее выгодно работать при заниженном значении энергии инжекции. Результаты экспериментальных исследований находятся в хорошем соответствии с расчетами.

При использовании линейных ускорителей на бегущей волне в качестве инжекторов синхротронов с сильной фокусировкой к ним предъявляются особые требования, в частности, требование малого энергетического разброса частиц. Так, например, допустимый разброс частиц по энергиям при инжекции в Ереванский синхротрон на энергию 6 Гэв составляет 0,5%.

В качестве инжектора здесь используется линейный ускоритель на бегущей волне с типом колебания  $\frac{\pi}{2}$  на энергию 50 Мэв, состоящий из трех ускоряющих секций: группирующей секции с переменной фазовой скоростью волны (рис. 1) и двух секций с постоянной фазовой скоростью, равной скорости света.

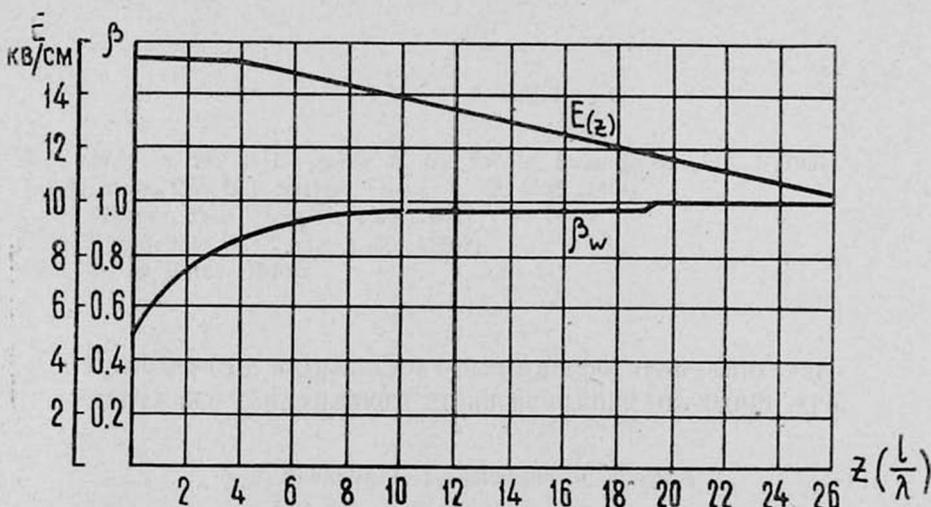


Рис. 1. Зависимость амплитуды напряженности ускоряющего поля  $E_z$  и фазовой скорости волны  $\beta_w$  от продольной координаты в волноводном группирователе (первая секция).

В связи с этим возникает необходимость выбора режима работы, соответствующего специальному назначению ускорителя. С этой целью

проводился анализ зависимости выходных параметров пучка электронов от режимов работы линейного ускорителя—инжектора.

Энергетический разброс  $\frac{\Delta W}{W}$  частиц в пучке инжектора зависит от фазовой протяженности сгустка и их энергетических спектров на выходе первой секции и для случаев, когда в секциях с  $\beta_b = 1$  центр сгустка расположен на вершине ускоряющей волны, и приблизительно выражается следующим образом [1]:

$$\frac{\Delta W}{W} \approx \frac{\Delta W_n + eE_0 z}{W} \cdot \frac{\Delta \varphi^2}{2}, \quad (1)$$

где  $\Delta W_n$  — энергетический разброс частиц на выходе первой секции,

$\Delta \varphi$  — фазовая ширина сгустков,

$E_0$  — амплитудное значение напряженности поля ускоряющей волны в секциях с  $\beta_b = 1$ ,

$e$  — заряд электрона,

$z$  — длина ускорителя,

$W$  — конечная энергия частиц.

На ЭВМ „Раздан-3“ было проведено решение системы уравнений движения для секции с переменной фазовой скоростью волны [2]:

$$\frac{d\gamma}{d\xi} V = -\alpha \sin \varphi, \quad (2)$$

$$\frac{d\varphi}{d\xi} = 2\pi \left( \frac{1}{\beta_{\Phi}} - \frac{\gamma}{\sqrt{\gamma^2 - 1}} \right).$$

Здесь введены обозначения:

$\alpha = \frac{eE\lambda}{m_0 c^2}$  — параметр напряженности ускоряющего поля ( $e$  — заряд электрона,  $m_0 c^2$  — его энергия покоя,  $\lambda$  — длина волны,  $E$  — амплитуда напряженности ускоряющего поля),

$\beta_{\Phi} = \frac{V_{\Phi}}{c}$  — относительная фазовая скорость волны,

$\gamma$  — полная энергия электрона в единицах энергии покоя,

$\varphi$  — фаза ускоряющего поля (максимум ускорения соответствует  $\varphi = -90^\circ$ ),

$\xi$  — продольная координата электрона, отсчитываемая от середины входного согласователя и измеряемая в единицах  $\lambda$ .

Решение сводилось к нахождению фазового и энергетического распределений частиц на выходе волноводного группирователя для различных значений энергии инжекции  $\frac{W_0}{m_0 c^2}$  и уровней высокочастотной мощности в группирующей секции. Полученные распределения позволили рассчитать зависимость ширины области захвата частиц  $\Delta \varphi$

в режим ускорения в линейном ускорителе и интервала входных фаз  $\Delta\varphi_{\text{н}}$ , для которого частицы на выходе секции заключены в заранее заданном интервале выходных фаз  $\Delta\varphi \leq 0,11 \text{ рад}$  и интервале энергий  $\Delta W_{\text{н}} \leq 0,4 m_0 c^2$ , от энергии инжекции. Эти зависимости приведены на рис. 2. В верхней части этого рисунка показано отношение  $\eta = \frac{\Delta\varphi_{\text{н}}}{\Delta\varphi_3}$ , которое характеризует эффективность инжектора. Частицы из интер-

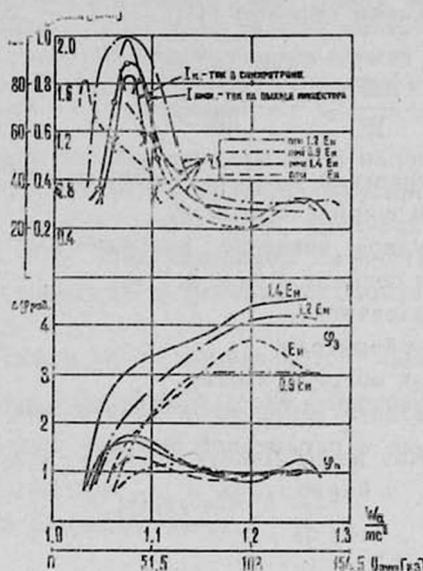


Рис. 2. Зависимость  $\varphi_3$ ,  $\varphi_{\text{н}}$ ,  $\eta$ , ускоренного тока в синхротроне  $I_k$  (в относительных единицах), тока на выходе линейного ускорителя от энергии инжекции в линейный ускоритель  $\frac{W_0}{m_0 c^2}$ , и от напряженности электромагнитной волны  $E_{\text{н}}$  в начале секции.

вала  $\Delta\varphi_{\text{н}}$  имеют энергетический разброс на выходе инжектора около  $\pm 0,3\%$  и в дальнейшем будут называться пригодными для ускорения в синхротроне.

Из рис. 2 видно, что с ростом энергии инжекции увеличивается ширина области захвата  $\varphi_3$ , тогда как область  $\varphi_{\text{н}}$  имеет оптимальное значение в диапазоне энергий инжекции

$$1,05 \leq \frac{W_0}{m_0 c^2} \leq 1,1.$$

На основании проведенных расчетов были выполнены экспериментальные исследования по выбору режима работы, обеспечивающего эффективный захват частиц в синхротрон. При этом для каждого значения энергии инжекции  $\frac{W_0}{m_0 c^2}$  проводилась тщательная настройка линейного ускорителя и синхротрона.

На рис. 2 показана экспериментальная зависимость тока пучка, циркулирующего в синхротроне  $I_k$ , от напряжения на электронной пушке. Зависимость тока на выходе линейного ускорителя в энергетическом интервале  $\pm 0,3\%$  (кривая  $I_{\text{инж}}$  на рис. 2) от энергии инжекции в первую секцию была получена с помощью магнитного анализатора и находится в хорошем соответствии с расчетами. Максимум циркулирующего тока совпадает с максимумом расчетной эффективности инжектора и максимумом значения  $\Delta\varphi_n$  и соответствует напряжению на источнике  $\approx 40$  кВ.

Найденный таким образом режим работы инжектора позволил увеличить эффективность захвата частиц в синхротрон приблизительно в 2 раза.

Ереванский физический институт

Поступила 4.II.1971

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С. П. Ломнев, Волноводный группирователь линейного ускорителя электронов. Ускорители. Сб. статей. Выпуск III. Атомиздат, 1962.
2. О. А. Вальднер, Линейные ускорители электронов. Атомиздат, 1966.

### ԵՐԵՎԱՆԻ ՍԻՆՔՐՈՏՐՈՆԻ ԻՆՃԵԿՏՈՐԻ ՓՆՋԻ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿ ՑՐՎԱՆՈՒԹՅԱՆ ՓՈՔՐԱՑՈՒՄԸ

Ս. Կ. ԵՍԻՆ, Մ. Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Մ. Լ. ՍԵՐՈՎ

Կոշտ ֆոկուսացումով սինքրոտրոններում դժային արագացուցիչները որպես ինժեկտոր օգտագործելու դեպքում, նրանց առաջ դրվում է հատուկ պահանջներ, մասնավորապես, մասնիկների էներգիայի փոքր ցրվածության պահանջը: Ուսումնասիրված է ինժեկտորի առաջի սեկցիայի աշխատանքը դեպի դժային արագացուցիչ տարբեր էներգիաներով էլեկտրոնների ինժեկցիայի դեպքում և սեկցիայում Բ. Հ. հզորության տարբեր մակարդակների դեպքում: «Հրազդան 3» հաշվիչ մեքենայով կատարված հաշվարկները ցույց են տալիս, որ ավելի շահավետ է աշխատել դժային արագացուցիչ ինժեկցիոն էլեկտրոնների ցածր էներգիաների դեպքում: Այդ դեպքում հոսանքը դժային արագացուցիչի ելքում էներգիաների նեղ տիրույթում աճում է: Փորձնական ուսումնասիրությունները համապատասխանում են հաշվարկին:

### REDUCING THE ENERGY SPREAD OF THE EREVAN SYNCHROTRON INJECTOR

S. K. YESIN, M. L. PETROSIAN, V. L. SEROV

A special demand arises to the traveling wave linear accelerators which are used as injectors for alternating gradient synchrotrons. The minimum of the energy spread is an item of the greatest importance. Operation of the first accelerating section is studied in dependence on injection energy and level of H. F.—excitation of this section. Computer calculations which were performed by using „Razdan-3“ show the preference low injection energy operation. In this case the beam current in the narrow energy interval grows. Experimental results are in good agreement with theoretical calculations.