

Исследование эффективности захвата при инжекции пучка, сгруппированного на частоте ускоряющих резонаторов синхротрона

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

Опыт работы электронного синхротрона на большие энергии показывает, что эффективность захвата инжектируемых частиц значительно увеличивается при использовании группирователя, возбуждаемого на частоте работы ускоряющих резонаторов синхротрона [1—3]. Такая группировка позволяет заранее устранить частицы, входящие в ускоритель при фазах, существенно отличных от равновесной, и увеличить плотность частиц вблизи равновесной фазы. Благодаря этому снижаются нагрузка пучком высокодобротной ускоряющей системы и амплитуда когерентных радиально-фазовых колебаний, в результате чего уменьшаются потери частиц.

УДК 621.384.634

Для Ереванского электронного синхротрона был разработан и исследован на стенде группирователь пучка инжектора на частоте 132,79 МГц [4, 5]. В настоящей работе приведены результаты наладки группирователя в комплексе с инжектором и синхротроном. Двухрезонаторный одночастотный группирователь установлен на входе в инжекторную секцию линейного ускорителя.

Первый по ходу пучка резонатор (добротностью 1500) расположен на расстоянии 60 см от входа в секцию, а второй (добротность 2000) — на расстоянии 30 см. Питание группирователя осуществляется от трехкаскадного усилителя с анодной модуляцией мощностью 20 кет в импульсе, в выходном каскаде которого использовалась лампа ГИ-7Б. Возбуждение в непрерывном режиме при средней мощности 50 вт поступало от генератора, питающего ускоряющие резонаторы синхротрона.

Эффективность захвата частиц в синхротрон определялась сравнением импульсного тока пучка на первых оборотах при оптимальной настройке всех систем синхротрона и разных условиях группировки (без группирователя, с включенными поочередно первым и вторым резонаторами, а также при одновременном действии обоих резонаторов). Осциллограммы 19 первых оборотов пучка для этих режимов работы приведены на рис. 1. Разница действия первого и второго резонаторов связана с тем, что напряжение на зазоре первого резонатора значительно ниже. В таблице представлены результаты количественных измерений импульсного тока на различных оборотах по отношению к импульсу первого оборота. В ходе дальнейшей циркуляции пучка для случая работы двух резонаторов импульсный ток практически не меняется до конца цикла ускорения. При отсутствии группировки амплитуда импульсов уменьшается в дальнейшем примерно на 60%.

Ускоренный ток в синхротроне на первых оборотах

Номер оборота k	Относительная величина импульса тока k -го оборота			
	без группирователя	включен только первый резонатор	включен только второй резонатор	включены оба резонатора
1	1	1	1	1
2	0,64	0,75	0,76	0,83
3	0,58	0,75	0,75	0,83
4	0,46	0,75	0,75	0,83
5	0,41	0,68	0,72	0,83
6	0,39	0,62	0,65	0,8
7	0,32	0,62	0,65	0,77
10	0,3	0,53	0,62	0,73
19	0,23	0,36	0,5	0,7

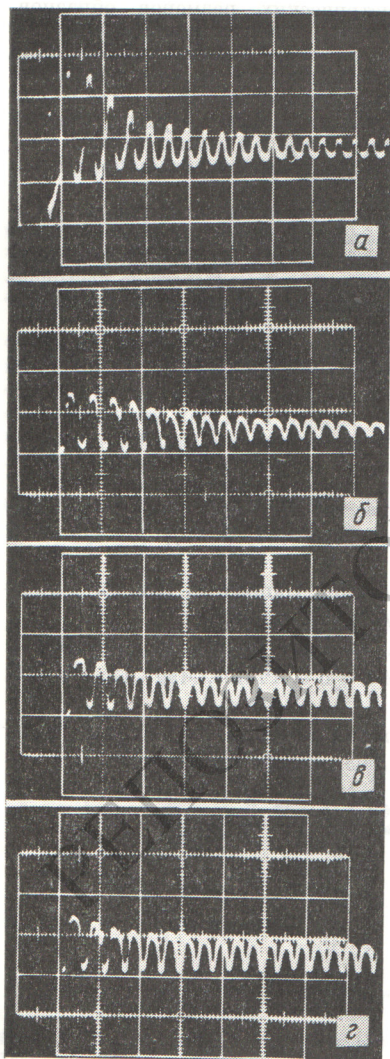


Рис. 1. Осциллограммы тока пучка на первых оборотах в синхротроне (вертикальный масштаб одинаков для всех осциллограмм и равен 15 нА/см):

а — без группирователя; б — включен только первый резонатор; в — включен только второй резонатор; г — включены оба резонатора.

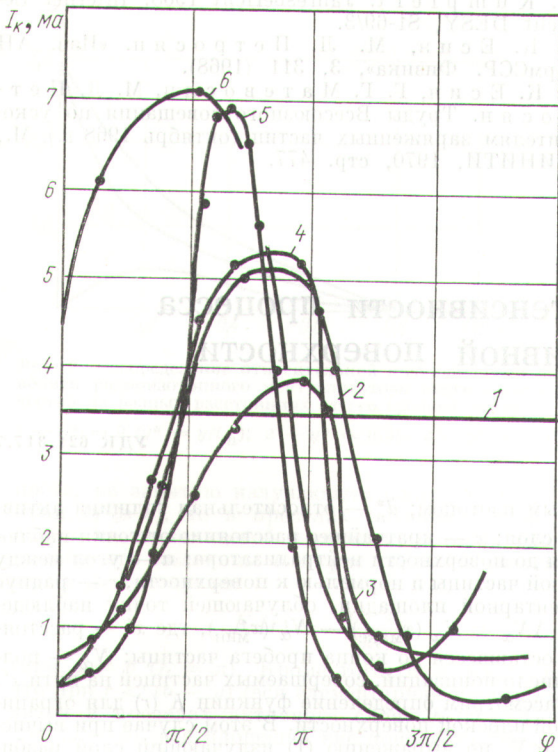


Рис. 2. Зависимость ускоренного тока в синхротроне от фазы напряжения группирователя по отношению к напряжению высокочастотного генератора синхротрона:

- 1 — $U_D = 0$, $U_{II} = 41,8$ кВ, $I_{II} = 30$ мкА, $P_{инж} = 0,8$ Мвт;
- 2 — $U_{P1} = 2$ кВ, $U_{II} = 20$ кВ, $I_{II} = 18$ мкА, $P_{инж} = 0,85$ Мвт;
- 3 — $U_{P2} = 5,1$ кВ, $U_{II} = 32$ кВ, $I_{II} = 21$ мкА, $P_{инж} = 0,83$ Мвт;
- 4 — $U_{P2} = 5,1$ кВ, $U_{II} = 24$ кВ, $I_{II} = 18$ мкА, $P_{инж} = 0,84$ Мвт;
- 5 — $U_{P2} = 9$ кВ, $U_{II} = 22$ кВ, $I_{II} = 15$ мкА, $P_{инж} = 0,84$ Мвт;
- 6 — $U_{P2} = 13$ кВ, $U_{II} = 22$ кВ, $I_{II} = 15$ мкА, $P_{инж} = 1,03$ Мвт.

Для исследования режимов работы группирователя были сняты семейства фазовых характеристик, показанные на рис. 2. Они представляют собой зависимость тока частиц I_k , ускоренных в синхротроне до конечной энергии, от сдвига фазы напряжения группирователя относительно напряжения высокочастотного генератора синхротрона. Ускоренный ток измерялся с помощью калиброванного резонатора. Перед снятием каждой кривой все системы ускорителя тщательно настраивались с тем, чтобы максимально ослабить вклад медленного изменения режимов отдельных систем. Кривая 1 условно показывает величину ускоренного тока при напряжении на двухэлектродной электронной пушке $U_{II} = 41,8$ кВ (что соответствует току эмиссии пушки $I_{II} = 30$ мкА) при выключенном группирователе. Кривая 2 получена при работе только первого резонатора при напряжении на его зазоре $U_D = 2$ кВ. Кривые 3, 4 и 5 сняты при работе только второго резонатора для трех напряжений U_D на его зазоре. Для постоянства энергии электронов, инжектируемых в первую секцию линейного ускорителя, по мере увеличения U_D снижалось напряжение на пушке U_{II} , что, в свою очередь, приводило к уменьшению тока эмиссии пушки

I_{II} . Сравнение этих кривых показывает, что с увеличением напряжения на зазоре резонатора ускоренный в синхротроне ток увеличивается, а фазовая ширина пуга сгустков, инжектируемых из линейного ускорителя в синхротрон, уменьшается. При напряжениях U_D выше 3,8 кВ ускоренный ток изменяется практически на 100% в зависимости от фазы второго резонатора группирователя. Кроме того, с увеличением U_D заметно смещение фазы, вокруг которой происходит группировка, к нулю, что соответствует увеличению средней энергии инжектируемых частиц [4].

Очевидно, что эффективность группирователя зависит и от режима инжекционной секции линейного ускорителя. Поэтому была снята также кривая 6 для случая повышенной мощности в инжекционной секции $P_{инж}$. Увеличение $P_{инж}$ наряду с увеличением ускоренного тока I_k вызывает увеличение фазовой ширины пуга сгустков. На рис. 3 показана зависимость ускоренного в синхротроне тока при работе двух резонаторов (I, II) от изменения фазы между ними при постоянном фазовом сдвиге между ускоряющим напряжением синхротрона и напряжением второго резонатора, а также от изменения фазы между ускоряющим напряжением и напряжением на группирователе при постоянном сдвиге фаз между его резонаторами. Применение группирователя позволило увеличить максимальный ускоренный ток в 1,8 раза.

Следует заметить, что поскольку инжектор Ереванского синхротрона имеет двухэлектродную пушку, в которой напряжение, ток и фокусировка пучка взаимно зависимы, то подбор оптимального режима всего инжекционного комплекса затруднен. Эффективность группирователя может быть увеличена, если использовать для инжекции электронов в линейный ускоритель трехэлектродную пушку с постоянным анодным напряжением, поскольку пушка такой конструкции позволяет независимо регулировать энергию, ток и фокусировку пучка частиц и обеспечивает более узкий энергетический спектр.

Поступило в Редакцию 13/III 1972 г.

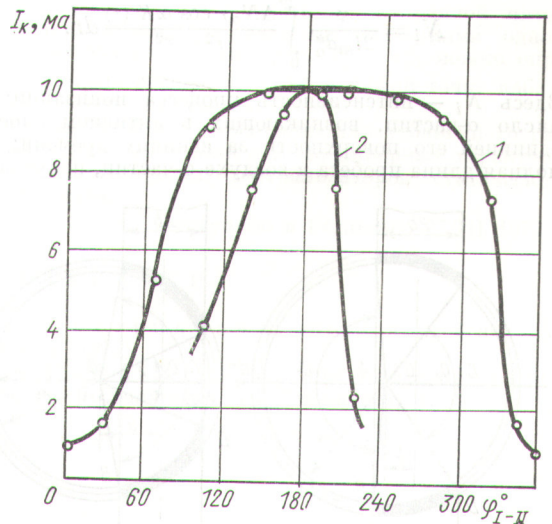


Рис. 3. Зависимость ускоренного тока от фазы напряжения между первым и вторым резонаторами (1) и между высокочастотной ускоряющей системой и группирователем при постоянном фазовом сдвиге между его резонаторами (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Nicholls, G. Voss. Proc. of First. Nation. Part. Acc. Conf. Nucl. Sci. NS-12, No. 3, 836 (1965).
 2. U. Timm. Vorbundelung des DESY-Injektorsauf 500 Mnz. DESY-Notiz A.2.91, Hamburg, 1962.

3. H. Kumpfert. Jahresbericht 1968. Interner Bericht DESY, S1-69/3.
 4. С. К. Есин, М. Л. Петросян. «Изв. АН АрмССР. Физика», 3, 311 (1968).
 5. С. К. Есин, Г. Г. Матевосян, М. Л. Петросян. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (октябрь 1968 г.). М., ВИНТИ, 1970, стр. 477.

Пространственное распределение интенсивности процесса ионизации вблизи плоской радиоактивной поверхности конечных размеров

А. С. РОЗЕНКРАНЦ, И. Е. ШИШКОВА

УДК 621.317.7

Пространственное распределение интенсивности процесса ионизации оказывает существенное влияние на вольт-амперные зависимости и электрическое поле вблизи радиоизотопного нейтрализатора статического электричества. Однако в литературе [1] приводятся результаты расчета пространственного распределения интенсивности ионизации только вблизи плоской неограниченной излучающей поверхности. Поскольку активный слой нейтрализатора имеет конечные размеры, представляет интерес учитывать это при расчете пространственного распределения интенсивности ионизации.

Как указывалось ранее [1], учет влияния края активного слоя осуществляется введением в подынтегральное выражение функции (15) (см. работу [1]) коэффициента $K(r)$, зависящего от формы активной поверхности. В соответствии с этим выражение (15) принимает вид

$$N_i = \frac{\tau}{2lm d_a^*} \int_0^{r_m} \frac{\Delta N_{\alpha} r \cos \alpha K(r)}{r^2 + x^2} dr. \quad (1)$$

Здесь N_i — интенсивность процесса ионизации; τ — число α -частиц, возникающих в активном слое под единицей его поверхности за единицу времени; l_m — полная длина пробега в воздухе α -частиц, испускаемых

данным изотопом; d_a^* — относительная толщина активного слоя; x — кратчайшее расстояние от точки наблюдения до поверхности нейтрализатора; α — угол между трассой частицы и нормалью к поверхности; r — радиус элементарной площадки, облучающей точку наблюдения; $\Delta N_{\alpha} = N_{\alpha}(x'_{\max}) - N_{\alpha}(x'_{\min})$, где x' — расстояние, оставшееся до конца пробега частицы; N_{α} — полное число ионизаций, совершаемых частицей на пути x' .

Рассмотрим определение функции $K(r)$ для ограниченной плоской поверхности. В этом случае при вычислении N_i по выражению (1) излучающий слой разбивают на кольцевые элементарные площадки, каждая из которых создает в точке наблюдения ионизацию dN_i . Такая площадка показана на рис. 1. Ее центр смещен на расстояние y от средней линии слоя, а радиус r значительно превышает половину b продольного размера слоя (продольным назовем размер покрытия $2b$ вдоль направления движения технологического материала).

Коэффициент $K(r)$ численно равен той части всей элементарной кольцевой площадки, которая лежит в пределах активной поверхности и облучает точку наблюдения. Поэтому он может быть определен как отношение суммы дуг окружности радиуса r , лежащих в пределах активной поверхности, ко всей длине этой окружности. Если заменить отношение дуг окружности отношением соответствующих им центральных углов, получим выражение

$$K(r) = \frac{2\pi - Q_1 - Q_2}{2\pi}, \quad (2)$$

где

$$Q_1 = 2 \arctg \frac{\sqrt{r^2 - (b-y)^2}}{b-y} \quad (\text{см. рис. 1, а, } \triangle OAB), \quad (3)$$

$$Q_2 = 2 \arctg \frac{\sqrt{r^2 - (b+y)^2}}{b+y} \quad (\text{см. там же, } \triangle OCD). \quad (4)$$

В тех случаях, когда $r < b + y$, угол Q_2 принимается равным нулю.

Следует отметить, что выражение (2) справедливо только тогда, когда центр элементарной кольцевой площадки лежит в пределах активного слоя, т. е. $y < b$. Если же точка наблюдения проектируется на поверх

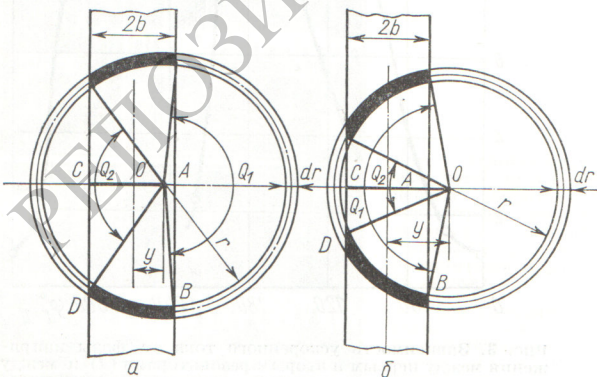


Рис. 1. К определению коэффициента $K(r)$