

Союз Советских
Социалистических
Республик



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 701493

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 03.04.78 (21) 2597374/18-25

с присоединением заявки —

(23) Приоритет —

(43) Опубликовано 07.09.82. Бюллетень № 33

(45) Дата опубликования описания 07.09.82

(51) М.Кл.³ Н 05 Н 7/08
Н 05 Н 13/04

(53) УДК 621.384.6
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

Е. В. Буляк и Н. И. Мочешников

(71) Заявитель

—

(54) СПОСОБ МНОГООБОРОТНОЙ ИНЖЕКЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

1

2

Изобретение относится к области ускорительной техники и может быть использовано в кольцевых ускорителях и накопителях со слабой фокусировкой.

Известно, что заряженные частицы, инжектированные в постоянное магнитное поле кольцевого ускорителя, гибнут на вводимом устройстве после нескольких оборотов и не захватываются в режим ускорения. Для вводного устройства, занимающего малую часть поперечного сечения вакуумной камеры ускорителя, число эффективных оборотов, под которым понимается число оборотов, совершаемых частицей от момента инжекции до момента попадания на вводное устройство, определяется формулой:

$$N_{эф} = D(I_x, I_z),$$

где D — наименьшее общее кратное I_x и I_z ;

$I_{x,z}$ — ближайшие к $(1 - v_{x,z})^{-1}$ целые числа;

$v_{x,z}$ — числа радиальных и вертикальных бетатронных колебаний соответственно.

Задачей многооборотной инжекции является отвод частиц от вводного устройства к моменту возврата их на последнее. Число обходов m вводного устройства (под которым понимается число возвратов час-

тиц на вводное устройство, когда удается избежать их гибели) зависит от способа инжекции. Число захваченных в режим ускорения оборотов равно произведению числа эффективных оборотов на число обходов.

Для обхода частицами вводного устройства обычно используют смещение всей равновесной орбиты или ее участка в месте расположения вводного устройства. Число захваченных оборотов выражается формулой:

$$N_{инж} = N_{эф} l / r_0,$$

где l — полуширина рабочей области камеры;

r_0 — радиальный размер пучка.

Этот способ применяется, когда нужно захватить в режим ускорения одну посылку ускорителя-инжектора. При накоплении нескольких посылок, что требуется для накопителей, орбиту с находящимися на ней частицами нужно вновь вернуть к вводному устройству. Это вызывает потерю частиц или даже всего уже захваченного пучка, что делает данный способ неэффективным.

Известны способы многооборотной инжекции без искажения равновесной орбиты, заключающиеся в использовании резонанса между радиальными и вертикаль-

30

ными бетатронными колебаниями. Частоты колебаний устанавливаются равными, между колебаниями вводят связь, которую снимают по окончании инжекции. Инжектируемым частицам вначале сообщают радиальные колебания. Амплитуда радиальных колебаний при резонансе со связью постепенно уменьшается, а вертикальных — увеличивается, при этом сумма квадратов амплитуд остается постоянной. Амплитуды колебаний имеют следующий вид:

$$X = X_0 \cdot \cos \Omega \theta,$$

$$Z = X_0 \cdot \sin \Omega \theta,$$

где Ω — частота биений;

θ — азимутальный угол;

X_0 — начальное отклонение частицы от орбиты.

При осуществлении связи квадрупольным полем/см [1] возможен отвод частиц от вводного устройства только в радиальном направлении, при связи продольным солонидальным полем отвод возможен и по вертикали/см [2]. Число отводов для обоих направлений отвода определяется выражением:

$$m_x = \pi \sqrt{X_0 / (2n)}$$

$$m_z = \pi X_0 / n.$$

Видно, что отвод по вертикали дает большее число обходов.

При равенстве частот вертикальных и радиальных колебаний, что необходимо для двух приведенных выше способов инжекции, число эффективных оборотов для ускорителей со слабой фокусировкой составляет три-четыре, что существенно ограничивает число захваченных оборотов, т. е. число захваченных в ускорение частиц.

Цель изобретения — увеличение числа захваченных оборотов за счет увеличения числа эффективных оборотов, что приведет к увеличению числа накопленных в камере и захваченных в ускорение частиц в кольцевых ускорителях и накопителях.

Это достигается тем, что частоту радиальных бетатронных колебаний, инжектированных в кольцевой ускоритель частиц, устанавливают равной удвоенной частоте вертикальных колебаний, связь между колебаниями устанавливают посредством секступольного магнитного поля, инжектированным частицам вначале сообщают как радиальные, так и вертикальные колебания. При этом отвод частиц от вводного устройства осуществляется по вертикали за счет уменьшения амплитуды вертикальных колебаний.

На чертеже представлены формы биений амплитуд колебаний в плоскости отвода для трех способов многооборотной инжекции: кривая 1 — для $v_x = v_z$, выражает связь колебаний квадрупольным полем; кривая 2 — для $v_x = v_z$, связь солонидальным полем; кривая 3 — для предлагаемого способа $2v_z - v_x \ll 1$, связь секступольным полем. По оси абсцисс отложен

азимутальный угол, выраженный в числе обходов, по оси ординат — амплитуда колебаний, штриховой линией обозначен край вводного устройства, расчеты выполнены для $X_0/r_0 = 10$.

Из сравнения кривых видно, что число обходов по предлагаемому способу примерно равно числу обходов, получаемых по способу [1], и значительно превосходит число обходов по способу [2].

Как указывалось выше, число захваченных оборотов равно произведению числа обходов на число эффективных оборотов. При инжекции по предлагаемому способу число эффективных оборотов равно 16—19, так как частоты вертикальных и радиальных колебаний различные. Следовательно, применение предлагаемого способа многооборотной инжекции для слабофокусирующих ускорителей и накопителей позволит повысить число захватываемых в режим ускорения (накопления) частиц в 4—5 раз по сравнению с наилучшим из известных способов [2].

Из решения системы уравнений бетатронных колебаний при наличии секступольного поля и соотношении частот бетатронных колебаний $2v_z - v_x \ll 1$ получено, что максимальная глубина биений получается, когда начальная амплитуда радиальных колебаний инжектируемого пучка удовлетворяет условию:

$$X_0 = (2v_z - v_x) / (LQ)$$

$$Q = \frac{e}{(2\pi)^2 \cdot P_0} \cdot \frac{\Pi K L}{v_z V v_x},$$

где P_0 — импульс частиц на равновесной орбите;

e — заряд частицы,

Π — длина орбиты ускорителя,

L — длина шестиполлюсной магнитной линзы, посредством которой осуществляется связь колебаний,

K — сила линзы.

В качестве примера осуществления предлагаемого способа можно рассмотреть инжекцию электронов в накопитель, например в накопитель на энергию 100 Мэв, имеющийся на предприятии-заявителе. Магнитная структура этого накопителя состоит из четырех поворотных магнитов, разделенных прямолинейными промежутками. Диапазон регулировки показателя спада магнитного поля ($n = 0,2—0,3$) позволяет осуществить предлагаемый способ многооборотной инжекции.

Размеры вакуумной камеры $10 \cdot 4$ см². Расчеты производятся для соотношения частот бетатронных колебаний $2v_z - v_x = 0,1$ и диаметра инжектируемого пучка 0,2 см. На один из прямолинейных промежутков нужно установить шестиполлюсную магнитную линзу длиной 30 см и силой K 1,15 Тл/м², а

инжекцию производить с начальными отклонениями от равновесной орбиты $X_0 = Z_0 = 2$ см. При выполнении этих условий в накопитель будет захвачено примерно 400 оборотов. По окончании инъекции линзу необходимо отключить.

Предлагаемый способ позволяет в 4—5 раз увеличить число захватываемых оборотов, что приводит к соответствующему увеличению интенсивности пучка на выходе кольцевого ускорителя, темпа накопления частиц в накопителе.

Формула изобретения

1. Способ многооборотной инъекции заряженных частиц в кольцевой слабофокусирующий ускоритель от внешнего ускорителя-инжектора с последующим накоплением частиц в камере кольцевого ускорителя путем изменения параметров орбиты при помощи электрического или магнитного поля, отличающийся тем, что, с целью повышения числа частиц, захватываемых в режим ускорения, частоту радиальных бетатронных колебаний устанавливают равной удвоенной частоте вертикальных колебаний при помощи дополнительного фокусирующего поля, вводят связь между колебаниями посредством секступольного магнитного поля, а инъекцию пучка производят с начальными отклоне-

ниями от равновесной орбиты как в радиальном, так и в вертикальном направлениях.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что амплитуда начальных радиальных колебаний инжектируемых заряженных частиц должна удовлетворять условию

$$X_0 = \frac{2\nu_z - \nu_x}{LQ}, \quad Q = \frac{e}{(2\pi)^2 P_0} \cdot \frac{PKL}{\nu_z \sqrt{\nu_x}},$$

где $\nu_{x,z}$ — частоты радиальных и вертикальных бетатронных колебаний соответственно,

P_0 — импульс частицы на равновесной орбите;

e — заряд частицы,

Π — длина орбиты кольцевого ускорителя,

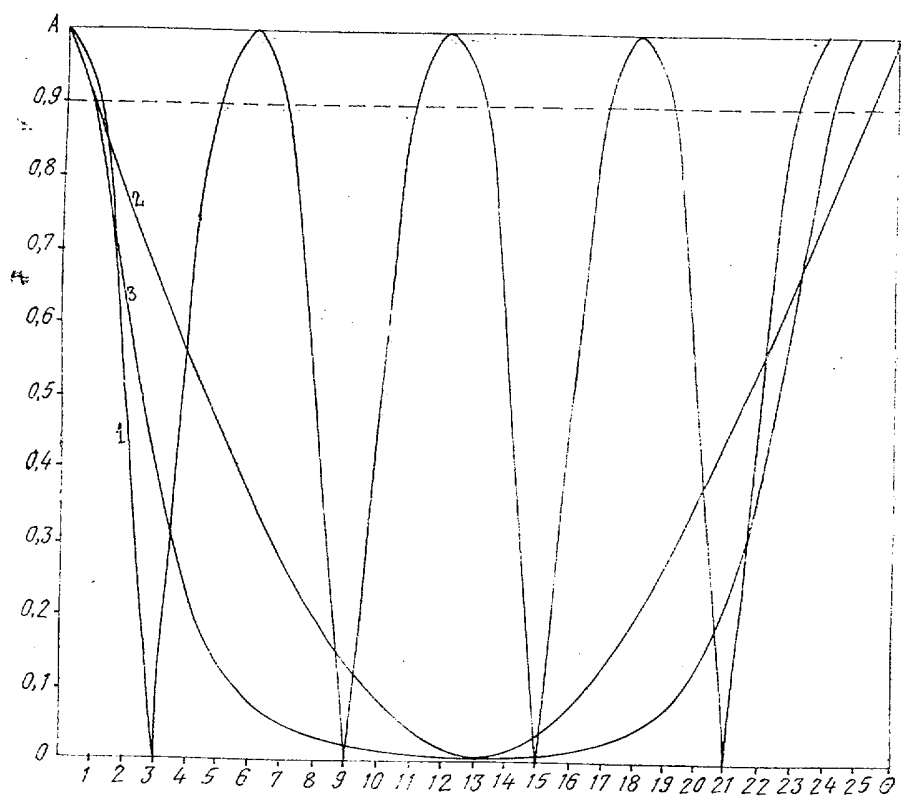
L — длина шестипольной магнитной линзы, посредством которой осуществляется связь колебаний,

K — сила линзы.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе:

1. Титов В. А., Шукейло И. А. Резонансная инъекция по двум степеням свободы в синхротроне с сильной фокусировкой. ЖГФ, т. 38, вып. 10, с. 1752, 1968.

2. Авторское свидетельство СССР № 344609, кл. Н 05 Н 7/08, 1970 (прототип).



Редактор П. Горькова Техред И. Пенчко Корректор И. Осиновская
Заказ 909/682 Изд. № 220 Тираж 856 Подписное
НПО «Поиск» Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Тип. Харьк. фил. пред. «Патент»