

Пассивные резонансные элементы в системе плавного регулирования энергии в линейных ускорителях ионов

В.А. Бомко, А.Ф. Дьяченко, А.Ф. Кобец, Ю.П. Мазалов, Б.И. Рудяк
ИНЦ ХФТИ, Харьков, Украина

Проблема плавного регулирования энергии частиц, ускоряемых на линейных ускорителях протонов и тяжелых ионов, ставилась ранее в теоретическом плане и нашла свое практическое решение в ускоряющей структуре типа объемного резонатора с трубками дрейфа, возбуждаемого на волне E_{010} [1]. Решение проблемы плавного регулирования энергии в линейных ускорителях ионов заключается в том, что в длинном резонаторе ускоряющее поле сохраняется на должном уровне только на необходимом пространстве с возможностью регулирования его протяженности без внесения металлических перегородок.

Эта методика была отработана ранее для ускоряющей структуры типа Альвареца [2]. В основе ее лежит процесс компенсации участков поля за счет междутиповых взаимодействий волн, частоты которых расположены на нижнем крае дисперсионного спектра $E_{01\ell}$ ($\ell=0,1,2,\dots$), с волной пассивной резонансной системы в виде, например, четвертьволнового штыря, укрепленного на выходной торцовой стенке резонатора вблизи его боковой стенки [3] или пассивных объемных резонаторов, связанных по магнитному полю с основным резонатором [4].

Описанный метод плавного регулирования энергии частиц успешно использовался на линейном ускорителе протонов с максимальной энергией 9 МэВ и линейном ускорителе многозарядных ионов с энергией 10 МэВ/нукл. В обоих случаях диапазон регулировки энергии находился в пределах 10÷100% от максимальной.

В последние годы в результате реконструкции линейного ускорителя многозарядных ионов (ЛУМЗИ) ускоряющая структура типа Альвареца основной и предобдирочной секций (ОС и ПОС) заменена встречно-штыревой ускоряющей структурой (ВШУС), возбуждаемой на волне типа H_{111} , которая является более эффективной по потребляемой ВЧ-мощности и темпу ускорения. Использование ее позволило также в резонаторе того же диаметра (1,5 м) увеличить рабочую длину волны с 2,1 до 6,3 м. Это упростило конструкцию и расширило диапазон масс ускоряемых ионов [5].

Модификация ВШУС, используемая в ОС ЛУМЗИ, приведена на рис.1. Основные характеристики ее приведены в таблице. Конструкция ускоряющей структуры основной секции позволяет в широких пределах перестраивать радиочастотные параметры ячеек и тем самым дает возможность управлять распределением ускоряющего поля. Вдоль боковой стенки в верхней стороне цилиндра резонатора основной секции установлена продольная несущая плита трапецеидального поперечного сечения, на которой закреплены нечетные трубки дрейфа. Каждая четная трубка, содержащая в себе квадрупольную линзу, соединена с резонатором тремя штангами, из которых одна установлена в юстировочном узле, расположенном снаружи вакуумного кожуха. Две другие штанги, токонесущие, расположены симметрично относительно установочной. Величина угла может регулироваться в широких пределах.

Таблица 1:

Энергия ионов на входе, МэВ/н	0,975
Энергия ионов на выходе, МэВ/н	8,5
Максимальное отношение массового числа к зарядовому	5
Длина резонатора, м	11,25
Диаметр резонатора, м	1,5
Рабочая длина волны, м	6,33
Количество трубок дрейфа	39
из них с линзами	19
Темп ускорения, МэВ/м	3,3
Мощность ВЧ-питания имп., МВт	2,5

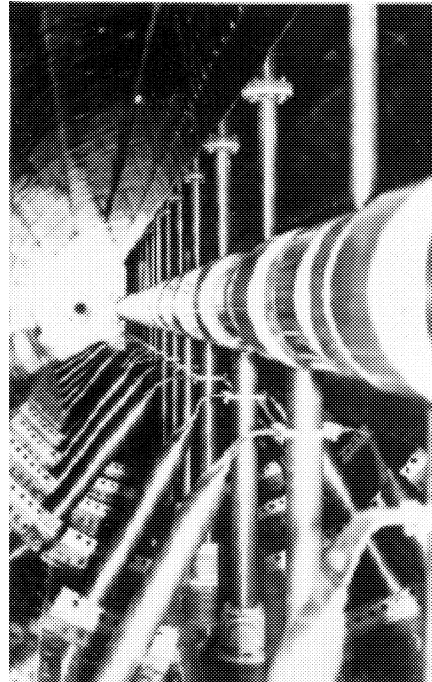


Рис. 1: Резонатор ОС ЛУМЗИ.

По аналогии с описанной выше методикой формирования требуемого для заданного значения энергии распределения ускоряющего поля в структуре, возбуждаемой на E_{010} -волне, в основной секции со встречно-штыревой структурой используется также пассивный резонансный элемент. В наибольшей степени задаче компенсации участков полей удовлетворяет четвертьволновое устройство в виде концевой резонансного элемента настройки (КРЭН), образованного из краевого участка плиты за счет подреза регулируемой глубины. Четвертьволновой вибратор в этом случае образуется участком плиты, отделенным подрезом с установленными на нем трубками дрейфа. Перемещение закоротки в подрезе позволяет регулировать собственную частоту КРЭН.

На рис.2 приведены настроечные характеристики частот 3 мод нижнего края спектра дисперсионной кривой модели резонатора основной секции со встречно-штыревой ускоряющей структурой, возбуждаемой на волне типа H_{111} . Здесь изображена зависимость собственной частоты мод резонатора от глубины подреза КРЭН, которая пропорциональна собственной частоте четвертьволнового пассивного элемента. Как видно, происходит трансформация волн более высокого порядка в более низкий, сопровождаемая компенсацией участков полей. Крутизна спада участка поля достигается путем изменения угла раствора симметричных токонесущих штанг.

На рис.3 приведены примеры участков полей, сформированных в ускоряющей структуре встречно-штыревого типа на модели основной секции ЛУМЗИ, выполненной в масштабе 1:6. Они соответствуют энергиям 8,5; 7,5; 6,1 и 4,9 МэВ/н.

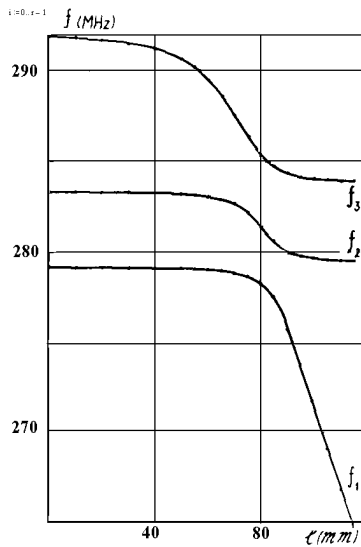


Рис. 2: Частотные характеристики процесса резонансного преобразования волн спектра $H_{11\ell}$ во ВШУС.

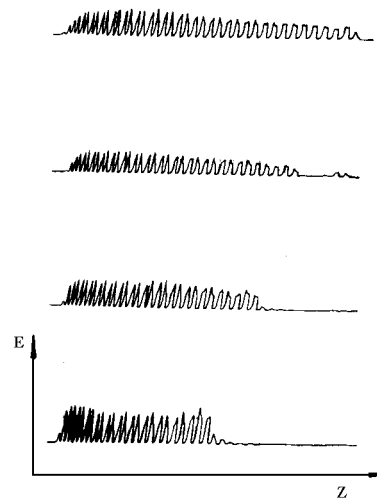


Рис. 3: Примеры распределения поля для различных значений энергии ускоренных частиц.

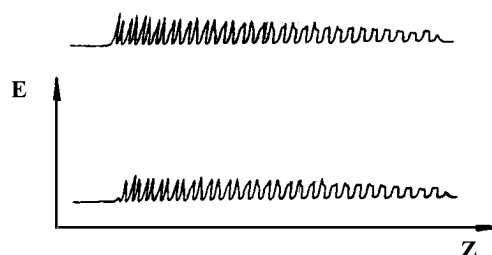
Заложенная в конструкции структуры возможность сильной перестройки позволяет также получать распределение поля, аналогичное приведенному на рис.3, прямо перестройкой волны H_{111} , не прибегая к трансформации волны H_{112} . Каждый раз участки равномерного распределения поля любой протяженности соответствуют приблизительно одной и той же собственной частоте резонатора, а величины добротности и шунтового сопротивления остаются примерно одинаковыми.

Кроме назначения плавного регулирования энергии ускоренных частиц путем выключения участков поля в выходной части резонатора, появилась необходимость компенсации поля в начальной части структуры с целью увеличения энергии ионов на входе в основную секцию с нынешней 0,975 до 1,5 МэВ/н. Такое повышение энергии необходимо для расширения диапазона масс ускоряемых ионов. Более высокая энергия позволяет осуществить более глубокую обдирку ионов и более эффективное ускорение на основной секции ЛУМЗИ.

Для решения этой задачи необходимо компенсировать поле в первых шести зазорах ускоряющей структуры ОС. Эта цель была достигнута путем закорачивания этих зазоров. Устранение происходящей при этом деформации распределения поля в остальной части осуществлялось перестройкой конечного резонансного элемента настройки, расположенного в начальной части структуры, с дальнейшей регулировкой угла раствора токонесущих штанг (рис.1).

На рис.4 приведены два распределения поля, полученные на модели ОС, которые удовлетворяют требованию увеличения энергии ионов на входе до 1,5 МэВ/н. Первое получено путем удлинения полутрубки до размера, равного суммарной длине начальных шести трубок и зазоров между ними; второе — когда оставлены четные трубки дрейфа с квадрупольными линзами и системой настройки и крепления, а вместо трех удаленных нечетных трубок и зазоров поставлены закорачивающие экраны. В последнем варианте можно использовать квадрупольные линзы, расположенные в четных трубках дрейфа, для транспортировки пучка к первому ускоряющему зазору.

Рис. 4: Примеры распределения поля, рассчитанного на увеличение энергии ионов на входе с 0,975 до 1,5 МэВ/н.



Результаты приведенных исследований показывают, что в ускоряющей структуре типа ВШУС так же, как и в структуре типа Альвареца, имеется возможность гибкого формирования участков ускоряющего поля регулируемой протяженности, что решает проблему регулирования энергии ускоренных ионов в одной секции — новое качество линейных ускорителей.

Список литературы

- [1] Bomko V.A., Klyucharev A.P., Rudiak B.I., Khizniak N.A. A method for energy variation on heavy particle beams in linacs. // Particle Accelerators. 1974. V.6. P.1-5.
- [2] Бомко В.А., Ключарев А.П., Рудяк Б.И. Линейный ускоритель протонов с плавной регулировкой энергии ускоренных частиц. // Атомная энергия. 1971. 31(2). С.123.
- [3] Бомко В.А., Ключарев А.П., Рудяк Б.И. Исследование перерождения волн в резонаторе с трубками дрейфа под действием резонансного штыря. // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика высоких энергий и атомного ядра. 1974. Вып.2(11). С.11-12.
- [4] Бомко В.А., Рудяк Б.И. Методика формирования полей регулируемой протяженности в резонаторе большой электрической длины. // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика высоких энергий и атомного ядра. 1975. Вып.1(13). С.8-10.
- [5] Бомко В.А., Рудяк Б.И., Скоромный Г.М., Хижняк Н.А. Завершающие работы на ускорителе многозарядных ионов ЛУМЗИ-10. — Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. — М.: Наука. 1985. Т.1. С.68-71.