

УСКОРЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ НАНОСЕКУНДНОЙ
ДЛИТЕЛЬНОСТИ В ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ЛУЭ-300

В.А.Ажиппо, Н.И.Айзацкий, С.Н.Дюков,
Г.М.Иванов, Л.А.Махненко, П.М.Рябка
Харьковский физико-технический институт АН УССР
Харьков, 310108

Аннотация

Характеристики процесса ускорения при малых длительностях импульса тока определяются величиной энергии высокочастотного поля, запасенной в отдельной ускоряющей секции. В связи с этим ее увеличение приобретает первостепенное значение. Одним из способов решения этой задачи является использование рекуперации СВЧ-мощности ¹⁻⁴.

Универсальный инжекторный комплекс
ускорителя ЛУЭ-300

В 1976 году были выдвинуты предложения по реконструкции ускорителя ЛУЭ-300 ХФТИ АН УССР и созданию на нем короткоимпульсного режима ускорения с длительностью токовой посылки $\tau = 3$ нс ⁵.

В ходе реализации этих предложений на ЛУЭ-300 был разработан и создан универсальный инжекторный комплекс (УИК), отличительной особенностью которого является то, что каждая из его четырех секций, в том числе и группирующая, имеет кольца обратной связи, обеспечивающие рекуперацию высокочастотной энергии (см. рис. 1). Экспериментальные исследования как высокочастотной системы ³, так и процесса ускорения пучка наносекундной длительности, проведенного в ходе физического запуска УИК, показали возможность практического использования рекуперации.

Кроме того, была проведена частичная реконструкция основного тракта ускорителя, направленная на улучшение электродинамических характеристик ускоряющих секций (из 8 ускоряющих секций основного тракта ЛУЭ-300 четыре первые имеют тонкие разрезы

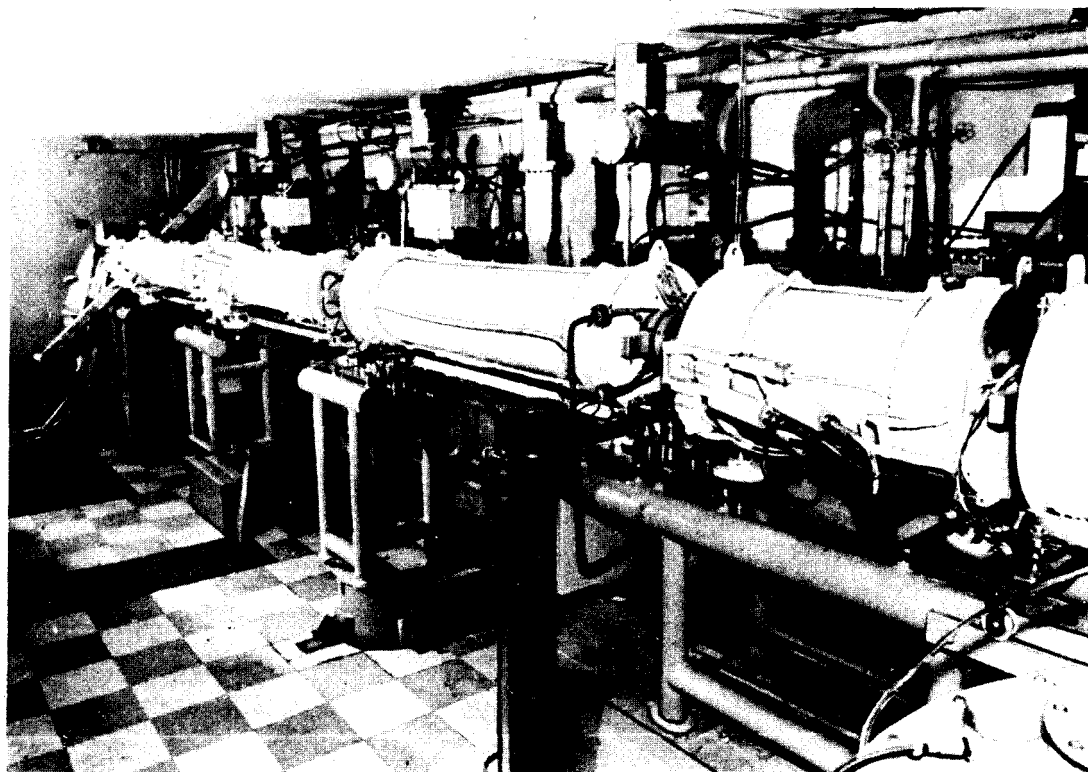


Рис. 1.

диафрагм для подавления процесса возбуждения аксиально-несимметричных колебаний), параметров модуляционных устройств и системы транспортировки пучка.

Схема универсального инжекторного комплекса представлена на рис. 2. Источником электронов является трехэлектродная пушка (1) с инпрегнированным катодом диаметром 20 мм. В качестве источника анодного напряжения используется линейный модулятор с выходным импульсным напряжением до 180 кВ, при длительности 4 мкс. Пушка обеспечивает импульсный ток до 50 А в наносекундном и до 5 А в микросекундном режимах.

Предгруппирователь (2) состоит из двух

тороидальных резонаторов, каждый из которых запитывается от источника мощности через направленный ответвитель на 14,7 дБ и два двойных Т-образных моста импульсной мощностью до 100 кВт. В волноводных линиях (72х34 мм) запитки резонаторов установлены диэлектрические фазовращатели и в качестве аттенуаторов регулируемые делители мощности. Предгруппирователь позволяет увеличить ток пучка на выходе инжектора более чем в три раза.

Инжекторный комплекс состоит из одной группирующей (3) ($L_1 = 83$ см) и трех ускорительных (4) ($L_2 = 172$ см) секций, замкнутых в резонансные кольца.

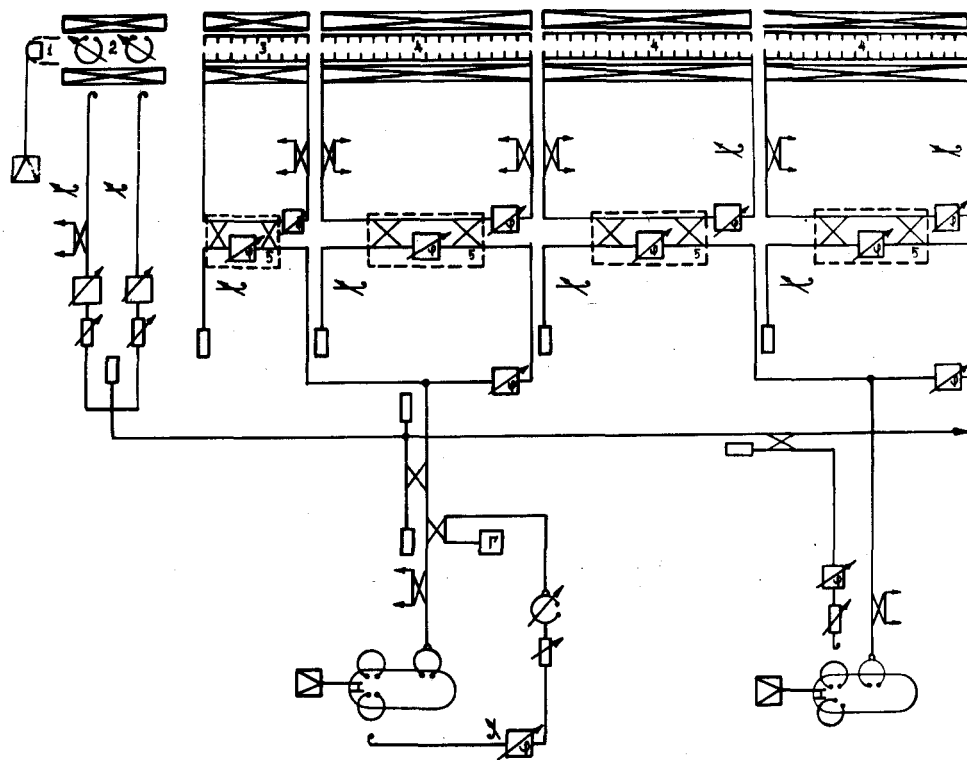


Рис. 2.

Для подавления возбуждаемой пучком поперечной высокочастотной волны в секциях произведены разрезы диафрагм. В каждом кольце установлены четырехшлейфные подстроечные элементы для согласования (получения минимальных отражений), фазовращатель для настройки кольца в резонанс, индикатор высокочастотного сигнала. Секции попарно через двойной Т-образный мост запитываются от одного высокочастотного источника мощности. Особенностью запитки колец является применение направленного ответвителя с переменной связью (5), позволяющего при заданной нагрузке кольца пучком устанавливать оптимальную связь для передачи высокочастотной мощности в кольцо. В нагрузке ответвителя установлен индикатор высокочастотного сигнала, по минимальному уровню которого настраивается ответвитель на оптимальную связь. Все элементы колец и линий запитки настроены по коэффициенту стоячей волны до величины меньше 1,1.

Измерения коэффициента увеличения высокочастотной мощности в каждом резонансном кольце производились на уровне входной мощности 6 МВт по приращению амплитуды высокочастотного сигнала при изменении коэффициента связи ответвителя от 0,98 до оптимального (0,53). Амплитуда сигнала в кольце измерялась с помощью направленного коаксиального ответвителя. Для кольца группирующей секции коэффициент усиления по мощности равен 4,4, для остальных трех секций 4.

В качестве источника высокочастотного питания первых двух секций использован клистрон типа КИУ-53, третьей и четвертой секций – клистрон КИУ-12А. Первый клистрон может работать в режиме автогенератора или запитываться от задающего генератора основной части ускорителя.

На выходе УИК установлены: магнитный анализатор для измерения энергетических спектров пучка, пролетный датчик для измерения формы импульсов тока наносекундного диапазона, цилиндр Фарадея для регистрации среднего тока пучка и формы импульса тока пучка в длинноимпульсном режиме, сцинтиллирующий экран для определения поперечных размеров.

Предгруппирователь и секции помещены в соленоиды с магнитным полем до 0,25 Тл.

На выходе УИК в короткоимпульсном режиме был получен импульсный ток $I = 12$ А при длительности $\tau = 3$ нс ($W = 35$ МэВ, $\Delta W/W = 30\%$).

Ускорение короткоимпульсных пучков в ЛУЭ-300

Наладка и исследование универсального инжекторного комплекса, а также разработка и создание выходных устройств позволили перейти к исследованию режима работы ЛУЭ-300 с новым инжектором. При сочленении универсального инжекторного комплекса с ЛУЭ-300 диодная пушка последнего демонтировалась и с помощью специального электропровода осуществлялось подсоединение выхода комплекса к основному тракту. После завершения сеанса совместной работы восстанавливалась прежняя схема, при которой два ускорителя работали на разные программы. Было проведено четыре сеанса совместной работы (сентябрь 1984 г.; январь, май, декабрь 1985 г.), в ходе которых были проведены как исследования характеристик ускорения, так и ядерно-физические исследовательские работы.

В короткоимпульсном режиме на выходе ускорителя ЛУЭ-300 были зарегистрированы следующие параметры⁵: импульсный ток $I = 4,5$ А при длительности $\tau = 3$ нс и энергии $W = 310$ МэВ. Энергетический разброс при этом $\Delta W/W = 5\%$. Измерения импульса тока пучка проводились наносекундным датчиком тока на основе полосковой линии, установленным перед входом в последнюю секцию ускорителя.

Максимально ускоренный ток, зарегистрированный на входе в последнюю секцию, равен $I = 6,3$ А. Однако, при таких параметрах в последней секции ускорителя происходит сильная раскачка аксиально-несимметричных колебаний, приводящих к выбросу ускоряемых частиц на диафрагмы волновода. Аксиально-несимметричные колебания регистрировались приемником. Детальные исследования этого явления показали, что развал короткоимпульсного пучка в последней секции имеет пороговый характер и начинает проявляться при $I = 4,7$ А.

Поскольку развитие поперечной неустойчивости в наносекундном диапазоне длительности при токах в несколько ампер не ожидалось, то получение таких экспериментальных данных ставит задачу более тщательного изучения влияния данного процесса на ускорение короткоимпульсных пучков.

Литература

1. Душин Л.А., Хижняк Н.А. Применение рекуперации в линейных ускорителях. - УФЖ, 1957, т.2, вып.2, с.106-113.

2. Диденко А.Н., Фоменко Г.П. Влияние интенсивных потоков ускоряемых частиц на параметры сверхпроводящих резонаторов бегущих

и стоячих волн. - Радиотехника и электроника, 1971, т.16, вып.6, с.1017-1023.

3. Крамской Г.Д., Муфель В.Б. Ускоряющая ячейка с оптимальным использованием мощности СВЧ-колебаний. - ЖТФ, т.52, вып.3, с.465-468.

4. Крамской Г.Д., Махненко Л.А. Ускоряющая ячейка с оптимальным использованием мощности источника СВЧ-колебаний. - ЖТФ, 1982, т.52, вып.6, с.1117-1121.

5. Ажиппо В.А., Айзацкий Н.И., Гончар В.П. и др. Физический запуск ЛУЭ-300 в режиме наносекундных длительностей токового импульса. - Письма в ЖТФ, т.11, вып. 22, с.1387-1389.