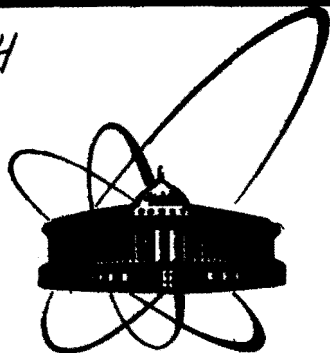


Д 64



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P9-86-290

Г.В.Долбилов, В.А.Петров, А.А.Фатеев

**ЛИНЕЙНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ
ЭЛЕКТРОНОВ СИЛУНД-20**

1986

Линейный индукционный ускоритель электронов СИЛУНД-20^{1/1} предназначен для использования в качестве инжектора коллективного ускорителя тяжелых ионов. Ток пучка на выходе ускорителя достигает 1 кА, энергия 2 МэВ, частота повторения импульсов 50 Гц. Конструктивные особенности ускорителя представлены на рис.1.

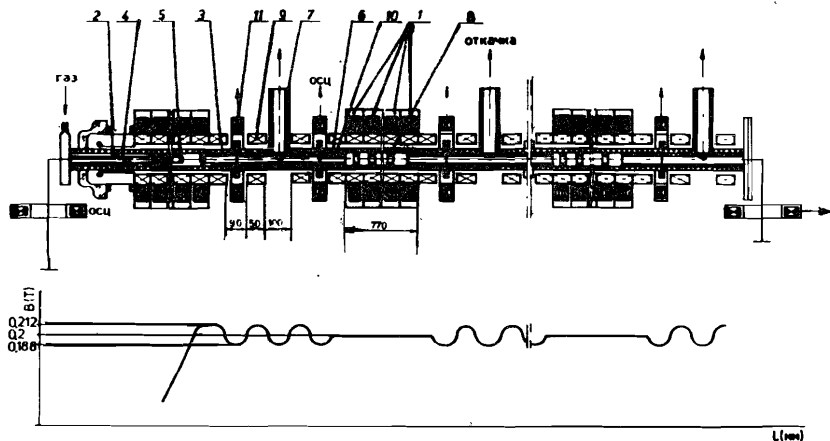


Рис.1. Конструкция ускоряющей системы и распределение магнитного поля по длине ускорителя.

ИМПУЛЬСНАЯ УСКОРЯЮЩАЯ СИСТЕМА

Конструкция индукторов /1, рис.1/ показана на рис.2. Индукторы выполнены на кольцевых ферритовых сердечниках 1 марки 200 НН2. Размер сердечников 250x170x25 мм. Ускоритель содержит 120 индукторов, объединенных в 5 ускоряющих секций по 24 индуктора в каждой. Индукторы по два заключены в общий металлический корпус 2. Подвод напряжения от двух диаметрально расположенных высоковольтных вводов 3 к первичным виткам индукторов осуществляется полосковыми линиями 4. Фокусирующая катушка ленточного типа 5 фиксируется с помощью 4 упоров 6, одновременно обеспечивающих контакт с диафрагмами ускорительного тракта. Ввод 7 на рис.2 предназначен для контроля напряжения. Корпуса индукторов, объединенные в секции, заполнены трансформаторным маслом.

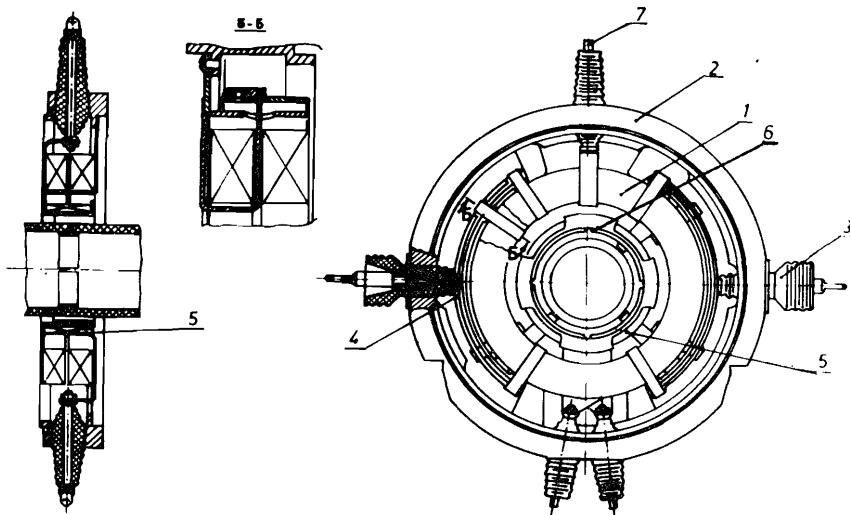


Рис.2. Конструкция индуктора.

В импульсной ускоряющей системе используется модулятор /генератор импульсов ускоряющего напряжения/ с усилением импульсной мощности. Усиление мощности осуществляется путем временного сжатия энергии /уменьшение длительности импульса при сохранении его энергии/ с помощью специальных магнитных схем сжатия. Модулятор формирует импульсы длительностью 30 нс с амплитудой напряжения 17 кВ и тока 35 кА. Импульсная мощность $P \cong 600$ МВт, что достаточно для запитки 24 индукторов, т.е. одной секции ускорителя. В качестве коммутаторов используются тиристоры ТГИ1-2500/50 /по одному на каждый модулятор/, работающие в паспортном режиме по длительности и амплитуде импульсов тока.

ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОНОВ

Источник электронов ускорителя СИЛУНД-20^{/2/}, работающий с частотой до 50 Гц, конструктивно объединен с первой секцией /рис.1/. Катодом является вольфрамовая игла 2. Катод и сегментированный медный анод 3 с проходным отверстием $\phi 70$ мм установлены на расстоянии 80 см друг от друга. При подаче на катод импульса напряжения происходит эмиссия электронов с катода и образование прикатодной плазмы, концентрация которой возрастает в течение импульса тока. Когда плотность прикатодной плазмы достигнет величины 10^{13} см⁻³, напряжение оказывается приложенным не к катоду, а к границе расширяющегося "облака"

плазмы. С этой границы и будет происходить эмиссия. Для устойчивой и стабильной эмиссии электронов с катода давление остаточного газа в области катода должно превышать $4 \cdot 10^{-2}$ Тор. Для устойчивого формирования электронного пучка необходимо в области анода иметь давление, не превышающее 10^{-3} Тор. Такой перепад давлений формируется с помощью керамической разрядной трубки 4, установленной внутри керамической разрядной камеры. Через разрядную трубку осуществляется натекание газа. Образующаяся под действием напряжения плазма с градиентом плотности от анода к катоду постепенно заполняет разрядный промежуток. При включении индукторов ускоряющей секции напряжение сосредоточивается в узком слое, который делит плазменный шнур на две области: анодную, имеющую потенциал анода, и катодную, находящуюся под потенциалом катода. Слой образуется под воздействием магнитного поля фокусирующих катушек в районе анода. В этом слое происходит формирование электронного пучка.

УСКОРИТЕЛЬНЫЙ ТРАКТ

Ускорительный тракт /рис.1/ СИЛУНД-20^{/3/} образован разрядной камерой 5, ускорительными трубками 6 и переходными камерами 7 на стыках секций.

Ускорительная трубка содержит 12 сегментированных диафрагм 8, имеющих контакты с вторичными витками индукторов. Внутренний диаметр апертуры ускорительного тракта составляет 70 мм. Переходная камера представляет собой тройник, размеры которого соответствуют размерам ускорительных трубок. Два патрубка тройника, образующие пролетный участок, пристыковываются к концам ускорительной трубки или разрядной камеры. Третий патрубок тройника служит для откачки ускорительного тракта. Используются переходные камеры двух типов. В одном случае материалом является керамика, в другом - листовый титан толщиной 0,5 мм.

ФОКУСИРУЮЩАЯ СИСТЕМА

Фокусирующая система^{/3/} создает соленоидальное магнитное поле напряженностью до 4 кЭ. Магнитное поле в области индукционного ускорения формируется при помощи коротких катушек /9, рис.1/, расположенных в индукторах в зазоре между ускорительной трубкой и ферритовыми сердечниками. Катушки запитаны импульсным током, имеющим форму половины периода синусоиды с амплитудой до 2 кА и длительностью полупериода 50 мкс^{/4/}. Для ослабления скин-эффекта катушки намотаны медной лентой толщиной 0,5 мм. Магнитное поле в межсекционной области формируется при помощи катушек, аналогичных индукторным, и сегментированных медных полых цилиндров /10, рис.1/ с толщиной

стенки, большей, чем величина скин-слоя, расположенных на внутренних стенках переходных камер и ускорительных трубок. Распределение фокусирующего поля на оси по тракту ускорителя показано на рис.1. Неоднородность поля не превышает $\pm 6\%$. Измерение коэффициента токопрохождения показало практическое отсутствие потерь пучка.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА

Исследования характеристик пучка электронов ^{15/} показали, что на выходе источника пучок с током 1 кА и энергией 400 кэВ имеет диаметр $d \cong 8$ мм. В процессе ускорения величина тока практически не меняется, а диаметр возрастает до ~ 20 мм. Измерение величины эмиттанса непосредственно за источником показало, что эмиттанс $\epsilon \cong 100$ п мрад·см для 60% тока пучка. Замагниченность плазменного катода источника электронов практически отсутствует. Эмиттанс электронного пучка ускорителя с током ~ 500 А не превосходит 20 п мрад·см. После ~ 1500 ч работы ускорителя с частотой до 50 Гц изменение характеристик не наблюдалось. Нестабильность тока источника по амплитуде не превосходит 1% /при частоте 50 Гц/. При уменьшении частоты нестабильность тока источника увеличивается и достигает 3% при частоте 3 Гц /рис.3/.

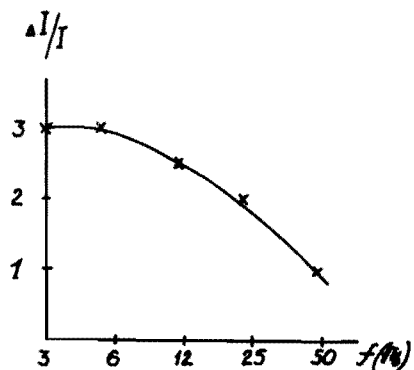


Рис.3. Зависимость нестабильности тока источника электронов от частоты.

В процессе ускорения амплитудная нестабильность тока пучка несколько возрастает. Достигнутый в настоящее время уровень нестабильности тока ^{15/} на выходе из ускорителя должен быть снижен после завершения работ по стабилизации всех систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-83-307, Дубна, 1983.
2. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-84-631, Дубна, 1984.
3. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, 9-82-339, Дубна, 1982.
4. Горинев Б.Г. и др. ОИЯИ, 9-12148, Дубна, 1979.
5. Долбилов Г.В. и др. ОИЯИ, Р9-84-631, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 мая 1986 года.

Долбилов Г.В., Петров В.А., Фатеев А.А.
Линейный индукционный ускоритель электронов СИЛУНД-20

Р9-86-290

Описан линейный индукционный ускоритель электронов СИЛУНД-20. Ток пучка на выходе ускорителя достигает 1 кА, энергия 2 МэВ, частота повторения импульсов 50 Гц. Пять ускоряющих секций содержат 120 индукторов, выполненных на ферритовых сердечниках. В импульсной ускоряющей системе используется модулятор с усилением импульсной мощности путем временного сжатия энергии. Модулятор формирует импульсы длительностью 30 нс с амплитудой напряжения 17 кВ и тока 35 кА, что достаточно для запитки одной секции. В качестве коммутаторов применены тиратроны ТГ11-2500/50. В источнике электронов для формирования пучка используется разряд в газе между игольчатым эмиттером и цилиндрическим анодом, расположенными в первой секции. Ускорительный тракт в основном изготовлен из керамики. Импульсное фокусирующее поле напряженностью до 4 кЭ формируется при помощи коротких катушек ленточного типа и выравнивающих экранов. Неоднородность поля на оси не превышает $\pm 6\%$. Приведены результаты исследований характеристик пучка.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Dolbilov G.V., Petrov V.A., Fateev A.A.
SILUND-20 Electron Linear Inductive Accelerator

Р9-86-290

The SILUND-20 electron linear induction accelerator is described. The beam current at the exit of the accelerator is as high as 1 kA, the energy 2 MeV, the repetition frequency 50 Hz. Five accelerating sections contain 120 inductors made of magnetic cores. A modulator with pulse power strengthening by means of time energy compression is used in the pulse system. The modulator forms 30 ns pulse duration with 17 kV voltage amplitude and 35 kA current amplitude that is sufficient for one section supply. The tiratrons TG11-2500/50 are applied as commutators. The gas discharge between needle cathode and cylindrical anode that are placed in the first section is used in the electron source for the beam forming. The accelerating path on the whole is made of ceramics. The pulse focusing fields with the intensity up to 4 kE formed with the help of short foil-type coils and smoothing down screens. The field non-uniformity on the axis does not exceed $\pm 6\%$. The results of the beam characteristics investigations are given.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986