

Состояние работ по созданию линейного индукционного ускорителя электронов СИЛУНД-21

И.И. Голубев, Г.В. Долбилов, И.Н. Иванов, В.В. Косухин, Н.И. Лебедев,
В.А. Петров, В.Н. Разувакин, А.А. Фатеев, В.С. Швецов, М.В. Юрков
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

В работе представлено состояние дел по реализации проекта линейного индукционного ускорителя электронов СИЛУНД-21. При реализации проекта предполагается использование оборудования, разработанного в ОИЯИ при создании линейного ускорителя электронных колец ЛУЭК-20. Имеющегося оборудования достаточно для создания ЛИУ с энергией до 10 МэВ при токе пучка 1 кА и длительности импульса 50 - 70 нс. В настоящее время ведутся работы по совершенствованию систем ускорителя ЛУЭК-20 и подготовке эксперимента по изучению возможности использования ЛСЭ для получения драйверного пучка для линейного коллайдера СЛС.

Введение

В настоящее время в CERN разрабатывается проект линейного коллайдера СЛС на энергию от 500 ГэВ до 2 ТэВ. В основном ускорителе коллайдера применяется традиционная ускоряющая структура с рабочей частотой 30 ГГц. Для обеспечения проектного темпа ускорения 80 МВ/м используется система СВЧ-питания, построенная по схеме двухпучкового ускорения. В этой схеме параллельно основному ускорителю в сверхпроводящем ускорителе движется так называемый драйверный пучок, имеющий энергию порядка 3 ГэВ. Драйверный пучок состоит из четырех последовательностей сгустков с полным зарядом 2,6 мкКл, разнесенных по времени на 2,84 нс. Внутри каждой последовательности находится по 22 сгустка длиной 0,6 мм, следующих на расстоянии в 1 см. Такой сгруппированный драйверный пучок последовательно проходит специальные электродинамические структуры, производя мощное СВЧ-излучение на частоте 30 ГГц, которое используется для возбуждения ускоряющих структур основного ускорителя [1].

Одной из возможностей получения драйверного пучка СЛС является применение техники лазеров на свободных электронах (ЛСЭ) [2]. Предварительные расчеты показывают, что получение сгруппированного пучка с параметрами, близкими к проектным для СЛС, возможны в ЛСЭ-усилителе, использующем пучок из линейного индукционного ускорителя с энергией около 10 МэВ и током порядка 1 кА [3].

Имея в виду задачу получения драйверного пучка СЛС, а также другие практические применения, мы начали реализацию проекта линейного ускорителя СИЛУНД-21 со следующими параметрами: энергия 10 МэВ; ток 1 кА; длительность импульса ~50-70 нс; частота повторения до 50 Гц.

1. Линейный индукционный ускоритель СИЛУНД-21

Ускоритель СИЛУНД-21 состоит из семи ускоряющих модулей, каждый из которых формирует импульс напряжения амплитудой 1,5 МВ при нагрузке пучком с током 1 кА. Внешний вид ускоряющего модуля показан на рис.1.

Индукционная секция (1) состоит из 36 пермаллоевых сердечников. Витки возбуждения сердечников соединены параллельно. Входной импеданс секции составляет приблизительно 0,5 Ом при номинальной пучковой нагрузке. Импульс напряжения формируется модулятором (2) с внутренним сопротивлением 0,5 Ом.

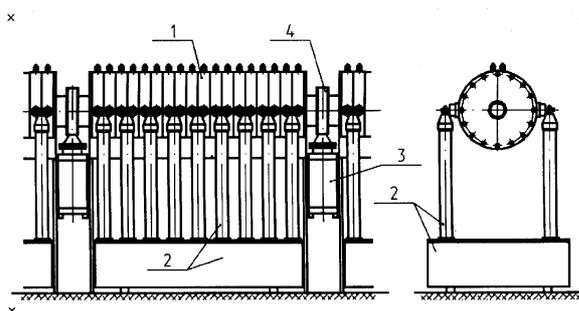


Рис. 1: Ускоряющий модуль.

Индуктор состоит из двух пермаллоевых сердечников, возбуждаемых четырьмя витками. Подвод импульсного питания к виткам осуществляется полосковыми линиями.

Ускорительная трубка имеет шесть ускоряющих зазоров, образованных диафрагмами. Амплитуда ускоряющего напряжения на каждом из шести ускоряющих зазоров составляет 250 кВ. Фокусировка электронного пучка осуществляется импульсным соленоидальным полем амплитудой до 1,4 Т и длительностью 0,8 мс, формируемым фокусирующими катушками.

Первый ускоряющий модуль отличается от других. Конструктивно он объединен с источником электронов. Ускоряющее напряжение источника электронов достигает 500 кВ, что составляет 1/3 от полного ускоряющего напряжения модуля. При малой частоте повторения импульсов предполагается использовать электронную пушку с графитовым катодом и сетчатым анодом [4]. При высокой частоте повторения импульсов (~50 Гц) будет использован плазменный источник электронов без анодной сетки [5].

Основными элементами модулятора (рис.2) являются 18 нелинейных двойных формирующих линий, расположенных вдоль ускоряющего модуля. Водородный тиратрон Т работает при длительности импульса 3 мкс и обеспечивает следующие параметры: напряжение $U=30$ кВ, ток $I=10$ кА. Пермалловый дроссель L2 и трансформатор Tr выполняют роль ферромагнитных ключей. Линии заряжаются за время ~1 мкс и формируют высоковольтный импульс ($U=42$ кВ, $I=84$ кА, длительность ~50-70 нс, фронт ~5 нс).

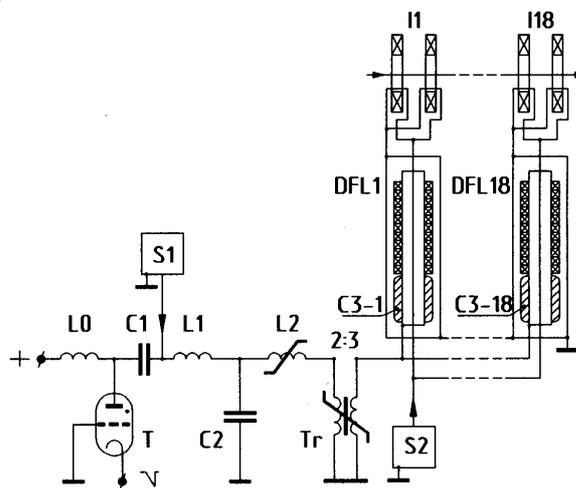


Рис. 2: Схема модулятора.

2. Параметры электронного пучка

Проектные параметры электронного пучка ускорителя СИЛУНД-21 следующие: энергия 10 МэВ, ток 1 кА, длительность импульса ~50-70 нс, мгновенный энергетический разброс меньше 1%, средний по длительности импульса энергетический

разброс $\sim 2\text{-}3\%$. Предполагается, что на выходе ускорителя эмиттанс пучка будет $0,4\pi$ см \times рад; $0,15\pi$ см \times рад и $0,1\pi$ см \times рад для 90; 70 и 50% номинальной величины тока пучка соответственно.

3. Использование техники ЛСЭ для получения драйверного пучка

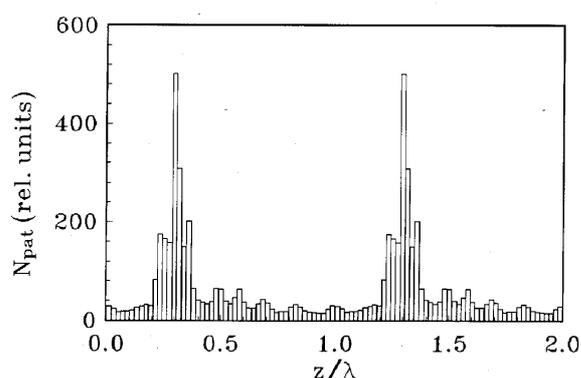


Рис. 3: Гистограмма группировки пучка в ЛСЭ-усилителе в режиме насыщения (режим работы с отрицательной массой продольного движения).

Таблица 1: Параметры первой очереди эксперимента по получению драйверного пучка для CLIC.

Энергия электронов	3 МэВ
Ток пучка	500 А
Радиус пучка в ондуляторе	0.25 см
Период ондулятора	12 см
Длина ондулятора	250 см
Радиус волновода	1.45 см
Длина волны излучения	0.82 см
Входная мощность излучения	20 кВт

4. Состояние дел

При создании ускорителя СИЛУНД-21 используется оборудование ускорителя ЛУЭК-20, часть которого должна быть модернизирована. Всего имеется оборудование для семи ускоряющих модулей. Модернизации подлежат: ускорительный тракт, частично индукторы (с целью уменьшения волнового сопротивления подводящих плосковых линий), модуляторы и вакуумные межсекционные камеры. Система питания фокусирующих магнитных полей остается без изменений.

Для проведения экспериментов по получению драйверного пучка для CLIC будет создаваться ЛСЭ-усилитель со спиральным ондулятором, круглым волноводом и продольным ведущим магнитным полем. Предварительные исследования показали, что такая система позволяет получить параметры сгруппированного пучка, близкие к проектным параметрам CLIC (см. рис. 3.) [3, 6].

Для проведения демонстрационного эксперимента по генерации СВЧ-излучения в CERN изготавливается специальная электродинамическая структура, работающая на частоте 35 ГГц.

При проведении первого цикла экспериментов предполагается использовать пучок с энергией 3 МэВ и током до 500 А (см. табл. 1). В последующем энергия пучка будет поднята до 10 МэВ, а ток — до проектной величины 1 кА, что позволит провести полномасштабный эксперимент. В дальнейшем планируется проведение детальных исследований с целью согласования разработанного оборудования с проектом коллайдера CLIC и включения группирователя на основе ЛСЭ в проект.

В настоящее время имеется конструкторская документация на модернизацию ускорительного тракта, индукторов и межсекционных камер. Произведены принципиальная проработка выходного каскада модуляторов и испытания опытного образца нелинейной формирующей линии. Начато изготовление одной секции индукторов. С целью отработки различных вариантов источников электронов и систем диагностики пучка был произведен запуск двух немодернизированных секций ускорителя. На выходе получен пучок электронов с током 850 А и энергией 2,5 МэВ.

Список литературы

- [1] B.Autin et al. Preprint CERN/PS 94-16 (LP), CERN, Geneva, 1994.
- [2] H.D.Shay et al. // Nucl. Instrum. and Methods. **A304**(1991)262.
- [3] G.V.Dolbilov et al. // Nucl. Instrum. and Methods. **A375**(1996)100.
- [4] Г.В.Долбилов и др. Коррекция пучка электронов ускорителя СИЛУНД-20. — ОИЯИ, 9-89-154, Дубна, 1989.
- [5] G.V.Dolbilov, A.A.Fateev, N.I.Lebedev and V.A.Petrov. Proc. Intern. Workshop on e^+e^- Sources and Pre-Accelerators for Linear Colliders (Schwerin, Germany, 1994), p.495.
- [6] E.L.Saldin, E.A.Schneidmiller and M.V.Yurkov. // Nucl. Instrum. and Methods. **A375**(1996)241.