

С 345е3

Д-183

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р9-5208



В.И. Дакилов, И.Б. Енчевич, Е.И. Розанов,

В.И. Смирнов, А.В. Шестов

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
СИСТЕМЫ РАСТЯЖКИ ПУЧКА  
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

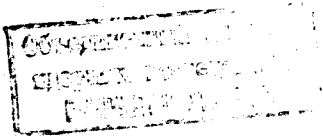
1970

P9-5208

В.И. Данилов, И.Б. Енчевич, Е.И. Розанов,  
В.И. Смирнов, А.В. Шестов

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
СИСТЕМЫ РАСТЯЖКИ ПУЧКА  
СИНХРОЦИКЛОТРОНА ОИЯИ

8482/2 чр



## В в е д е н и е

Увеличение длительности импульса пучка частиц обеспечивает большие преимущества при проведении физических экспериментов.

С 1964 года на синхроциклотроне ОИЯИ используется система растяжки пучка, основанная на локальном возмущении магнитного поля ускорителя в области конечных радиусов /1,2/. Переменное во времени магнитное поле создается катушками, питаемыми синусоидальными импульсами тока при разряде конденсаторных батарей синхронно с циклами ускорения.

Эффективность и надежность работы системы растяжки пучка определяются конструктивными особенностями катушек и эксплуатационными характеристиками источника питания.

Совершенствование системы растяжки пучка осуществлялось по двум основным направлениям:

1) создание генератора пилообразных импульсов тока, что позволило увеличить длительность импульса пучка частиц до 70% от периода модуляции;

2) повышение надежности работы катушек и источника питания.

В данной работе представлены результаты исследований по совершенствованию системы растяжки пучка, выполненные в 1965-1969 годах.

## Параметры системы растяжки пучка

При обычном выводе без растяжки длительность импульса вторичных частиц составляет 0,9 мсек (по основанию), т.е. 10% от длительности цикла ускорения. С учетом же высокочастотной микроструктуры с периодом 70 нсек и средней шириной микроимпульсов 15 нсек <sup>/3/</sup> длительность рабочего цикла равна всего 1+2% от периода ускорения.

Применение системы растяжки пучка с источником импульсов тока синусоидальной формы амплитудой 170 а и длительностью импульса 7,5+8мсек позволило увеличить рабочий цикл до 25+35% от периода ускорения (длительность импульса частиц 3+3,5 мсек по основанию и 2+2,5 мсек по полувывоте импульса), причем в пучке вторичных частиц отсутствует тонкая структура (рис. 1). Интенсивность растянутого мезонного пучка составляет 55% от интенсивности при обычном выводе без растяжки.

Время нарастания тока в импульсах синусоидальной формы и, следовательно, длительность импульса растянутого пучка не могут превышать 50% периода ускорения, т.е. 4,5 мсек.

Более эффективную растяжку можно получить при питании катушек импульсами тока пилообразной формы. Для этой цели был создан описанный ниже тиристорный генератор импульсов тока пилообразной формы. Он возбуждает в катушках пилообразные импульсы тока с временем нарастания 6+6,5 мсек, т.е. около 70% от периода ускорения пучка, и амплитудой 130 а. При этом достигнута длительность растянутых импульсов мезонного пучка прямоугольной формы 6+6,5 мсек, интенсивность растянутого мезонного пучка составляет 55% от интенсивности при выводе без растяжки (рис. 1,2).

Двойное увеличение времени растяжки при сохранении той же интенсивности, что и в режиме синусоидального тока, позволило:

- а) уменьшить вдвое время набора статистики в экспериментах с длительным протеканием физических процессов;
- б) уменьшить время набора статистики в экспериментах с ограниченным временным разрешением схем;
- в) уменьшить ошибки за счет фона случайных совпадений.

В рабочем режиме при оптимальной амплитуде тока первый импульс содержит  $20+25\%$  частиц ускоренного пучка, а в совокупности в обоих импульсах выводится  $70-75\%$  частиц. Остальные  $25+30\%$  частиц ускоренного пучка рассеиваются, в том числе и на катушках растяжки пучка. При увеличении амплитуды пилообразных импульсов тока до 170 а наблюдалось увеличение интенсивности растянутого пучка с  $55\%$  до  $70\%$ , а общей интенсивности до  $85+90\%$ .

Для большинства экспериментов необходимо обеспечить равномерный вывод частиц без высокочастотной микроструктуры, имеющейся в первом пике. При запираии регистрирующей аппаратуры электронными "воротами" на время прохождения первого импульса сохраняется фон от прохождения частиц по мезонному каналу.

Для уменьшения амплитуды первого импульса предложен и осуществлен способ его перекрытия нейтронным пробником, который вводился на несколько миллиметров глубже мезонной мишени (рис. 3). В конце высокочастотного ускорения частицы с большими амплитудами радиальных колебаний рассеиваются на мишени пробника и не попадают на мезонную мишень. Остальная часть пучка при включении катушек растяжки, как обычно, медленно наплывает на мезонную мишень, не попадая при этом на нейтронный пробник, который отстоит от катушек растяжки на  $120^\circ$  по азимуту. В результате в мезонный тракт попадает только растянутый импульс пучка без высокочастотной микроструктуры. Распределение частиц в этом импульсе зависит от начальных условий ускорения в центре синхроциклотрона <sup>/4/</sup>. Оно приближается к равномерному при питании катушек пилообразными импульсами оптимальной амплитуды (рис. 2) и имеет колоколообразную форму при питании катушек импульсами тока синусоидальной формы.

### *Генератор пилообразных импульсов*

Попытки получить пилообразные импульсы с рабочим ходом 6-7 мсек от тиратронного триггера не привели к успеху из-за большого времени деионизации тиратронов (свыше 250 мсек). Положительные результаты

были получены при использовании в качестве переключающих элементов тиристорov.

Генератор пилообразных импульсов тока собраны по схеме тиристорного триггера с емкостной коммутацией, в одно из плеч которого включены катушки растяжки пучка ( $L = 0,015$  гн,  $R = 0,3$  ом) и диод, отсекающий отрицательную полуволну тока, а в другое — резистор, обеспечивающий перезарядку коммутирующей емкости (рис. 4). Подобные схемы широко описаны в литературе /5/.

Рост тока в катушках происходит по экспоненциальному закону, причем линейность нарастания тока обеспечивается тем, что постоянная времени цепи в несколько раз превышает длительность импульса. Спад тока в нагрузке происходит по синусоидальному закону с начальной фазой не менее  $65^\circ$ , при этом возрастание тока в нагрузке (рис. 5) составляет не более 10% от амплитудного значения. Минимальное время спада тока в катушках определяется временем восстановления запирающих свойств тиристорov. В случае использования в схеме тиристорov ВКДУ-150 с временем восстановления 100 мксек спад тока в рассматриваемой схеме происходит за 1,2 мсек, при этом величина коммутирующей емкости равна 40 мкф.

Однако в этом случае для обеспечения амплитудного значения тока 180 а вентили и другие элементы схемы должны быть выбраны на напряжение 3500 в, т.к. ввиду малой коммутирующей емкости в схеме возникают большие перенапряжения, обусловленные переходом энергии магнитного поля, запасенной в катушках индуктивности, в энергию электрического поля колебательного контура, состоящего из катушек растяжки пучка и коммутирующей емкости (рис. 5).

Увеличение емкости до 115 мкф позволило снизить величину коммутационных перенапряжений до 2000 в при возрастании длительности заднего фронта импульса до 2 мсек, при этом время нарастания тока в катушках составляет 6+6,5 мсек.

Из-за временного отсутствия в нашем распоряжении тиристорov на напряжение 2+2,5 кв плечи триггера выполнены из нескольких последовательно включенных вентилях, которые для равномерного распределения напряжений, шунтированы резисторами и емкостями /6/.

Вследствие того, что постоянная времени нагрузки в несколько раз превышает длительность импульса тока, в схеме возможны перегрузки по току и недопустимо большие перенапряжения, возникающие при запаздывании поджигания гасящего тиристора. Защита от перегрузок вентилей по току осуществляется максимальной токовой защитой источника питания, а защита от аварийных перенапряжений - разрядником, подключенным параллельно коммутирующей емкости.

С октября 1969 года в опытной эксплуатации находится генератор, собранный на тиристорах типа ВКУД-150-3,5 и диодах ПВКЛ-100-8, причем включающее плечо состоит из 6 последовательно включенных тиристоров, а отключающее плечо - из двух тиристоров и двух диодов.

Энергетические показатели генераторов двух типов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип генератора	Амплитудное значение тока а	Среднее значение тока а	Мощность, потребляемая генератором, кВт	Мощность, рас-сеиваемая в катушках, кВт	Перегрев охл. воды 0С при суммарн. расходе воды 5 л/мин	Интенсивность растянутаго пучка в % от максимальной интенсивности
Генератор синусоидального тока	170	90	115	4,5	15 + 18	55
Генератор пилообразного тока	130	65	30	2,5	> 10	55

Благодаря облегченному тепловому режиму катушек, при питании их от генератора пилообразных импульсов тока представляется возможным в дальнейшем осуществить постоянную работу с повышенной амплитудой пилообразных импульсов при условии замены существующих тиристоров со средними параметрами на мощные высоковольтные. При этом за счет сокращения числа последовательно включенных вентилях (до двух в плече при тиристорах на 1,5 кв) существенно повысится надежность генератора, а за счет повышения амплитуды импульсов тока до 170 а интенсивность в растянутом пике увеличится с 55% до 70%.

### *Повышение надежности работы катушек*

Срок службы катушек определяется тепловой и радиационной стойкостью заливочного эпоксидного компаунда.

Для улучшения охлаждения катушек последние имеют по две параллельные ветви по воде. Для предупреждения вибрации все три вывода свиваются вместе и армируются стеклолентой, пропитанной компаундом.

После непродолжительной тренировки новых катушек газоотделение компаунда К-156, отвержденного полиэтиленполиамином, практически отсутствует. Перегрев и пробой компаунда, наблюдавшийся ранее в зоне крепящих болтов, был устранен заменой металлической арматуры стеклотекстолитовыми втулками и прокладками.

Несмотря на то, что катушки отстоят на 70 мм от средней плоскости камеры ускорителя, обращенная к пучку поверхность катушек подвергается сильному радиационному воздействию. Примерно через полгода обнаруживается вздутие компаунда, а через год в наружном слое (толщиной около 10 мм) остается лишь наполнитель - кварцевый песок, который постепенно осыпается. Крайние витки оголяются, сохраняется лишь изоляция стеклолентой. Лучшие экземпляры катушек работают в течение 2 лет и подлежат замене ввиду нарушения механической связи между витками.

Повышение надежности катушек и источника питания позволило обеспечить работу системы растяжки до 2500 часов в год.



Авторы выражают благодарность В.С. Роганову за измерение параметров растянутого пучка и обсуждение полученных результатов, Э.А. Полферову за полезные дискуссии, К.А. Байчеру за активное участие в работах по повышению срока службы катушек, Н.П. Сеченову и Г.М. Сорокину за участие в монтаже и наладке генераторов.

### Л и т е р а т у р а

1. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич и др. Увеличение длительности импульсов пучков частиц синхроциклотрона ОИЯИ на 680 Мэв. Атомная энергия, 19, вып. 5, стр. 289-292, 1965.
2. В.И. Данилов, И.Б. Енчевич и др. Устройство системы растяжки пучка протонов синхроциклотрона на 680 Мэв. Препринт ОИЯИ, Р-2281, Дубна, 1965.
3. В.Г. Зинов и др. Временная структура пучков частиц, выведенных из синхроциклотрона ОИЯИ. Атомная энергия, 21, вып. 6, стр. 445-449, 1966.
4. В.И. Данилов, Е.И. Розанов и др. Спектры амплитуд радиальных и аксиальных бетатронных колебаний в синхроциклотроне ОИЯИ. Препринт ОИЯИ, Р9-3968, Дубна, 1968.
5. В.П. Рубцов, Л.А. Садовский, А.С. Филагов. Системы с силовыми шаговыми двигателями для металлургической промышленности. "Энергия", 1967.
6. Ф.Г. Амелин, В.Б. Братолобов и др. Кремниевые вентили. "Энергия", 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел

26 июня 1970 года.

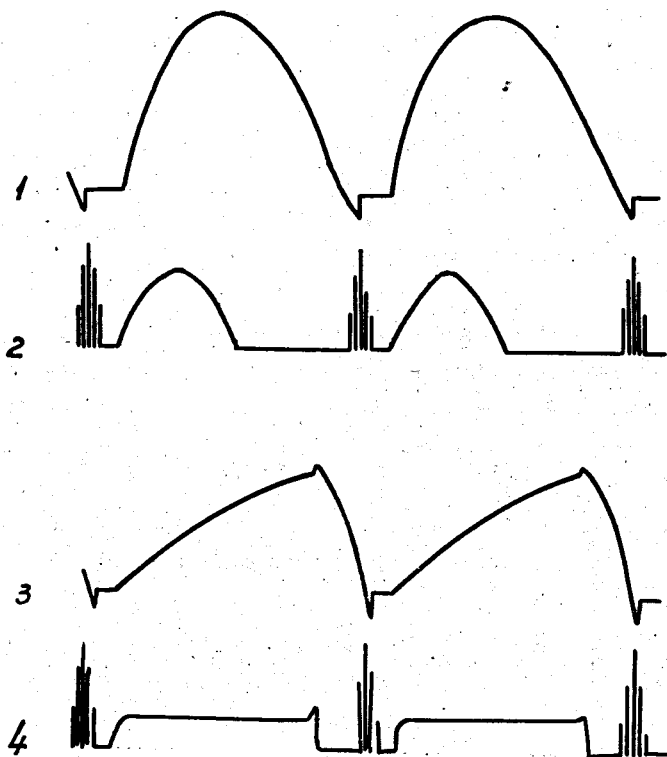


Рис. 1. Импульсы тока синусоидальной формы в катушках растяжки пучка (1), растянутый мезонный пучок при синусоидальном токе (2), импульсы тока пилообразной формы (3), растянутый мезонный пучок при пилообразном импульсе тока (4). Пунктиром показан первый импульс с ВЧ микроструктурой.



Рис. 2. Осциллограмма растянутого мезонного пучка при питании катушек пилообразными импульсами тока.

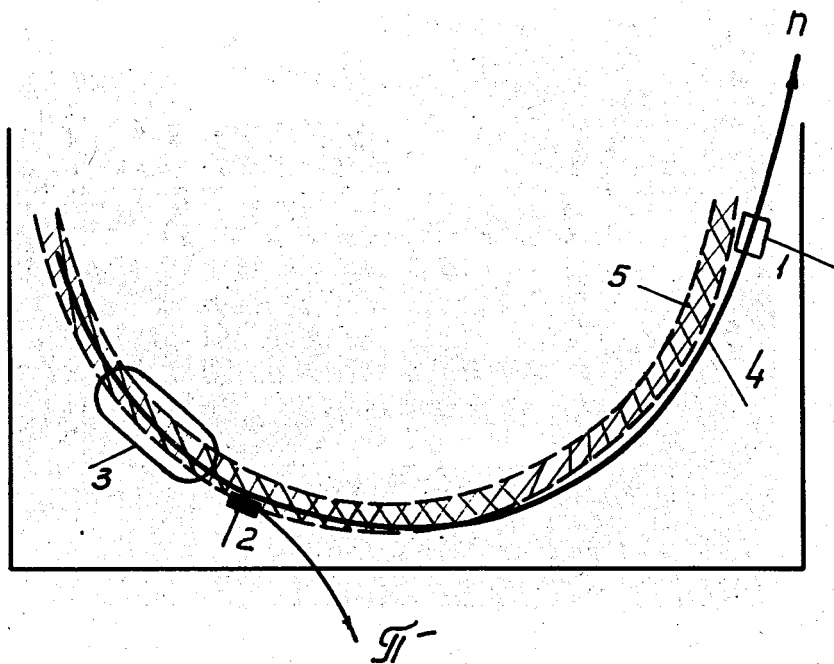


Рис. 3. Схема коррекции структуры растянутого пучка мезонов нейтронным пробником.

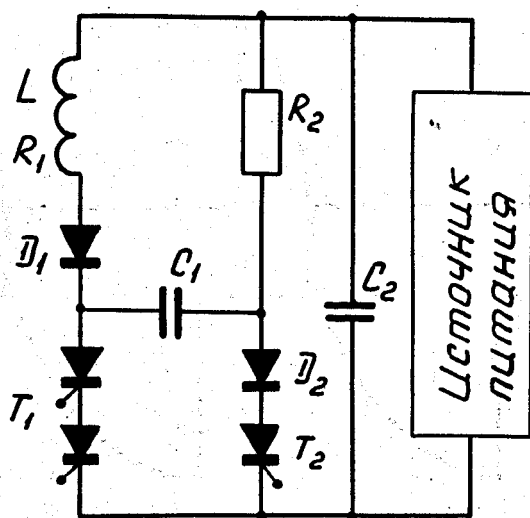


Рис. 4. Принципиальная схема генератора пилообразных импульсов тока.

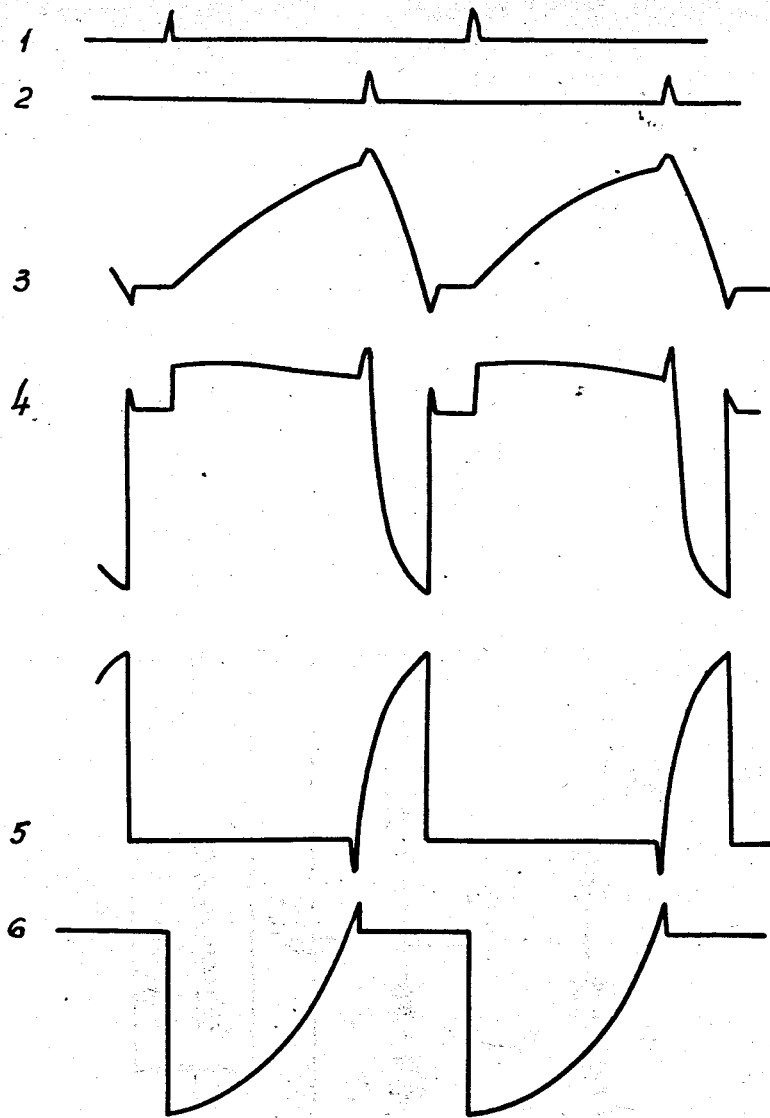


Рис. 5. Включающие управляющие импульсы (1), выключающие управляющие импульсы (2), импульсы тока в катушках (3), напряжение на катушках (4), напряжение на первом плече триггера (5), напряжение на втором плече триггера (6).