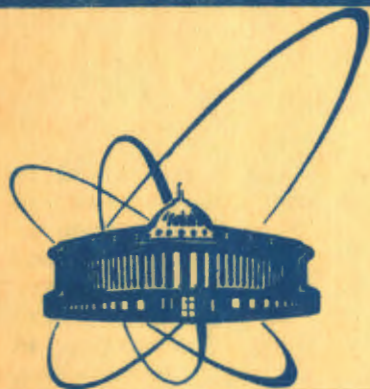


12/III-84



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

1361/84

9-83-838

**В.С.Александров, С.М.Бийский, В.И.Миронов,
В.П.Саранцев, А.С.Щеулин**

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ АДГЕЗАТОРА КУТИ-20**

1983

Для сжатия и вывода электронного кольца в адгезаторе коллективного ускорителя используется импульсное магнитное поле, которое создается бесжелезными многовитковыми катушками. Использование принципа последовательного сжатия кольца в нескольких ступенях позволяет оптимальным образом распределить в пространстве энергию магнитного поля. Достичь нужного распределения поля удастся поочередным включением токов в ступенях сжатия, геометрические параметры которых выбраны из условий устойчивого сжатия электронного кольца^{/1/}. Раздельный способ формирования токов для каждой из ступеней^{/2/} является достаточно простым и вместе с тем остается нерациональным. Это объясняется тем, что для формирования ведущего поля используется только поле, формируемое нарастающей частью импульса тока каждой ступени, при переходе энергии из конденсаторной батареи в индуктивную нагрузку, а все последующие процессы, происходящие в контуре /возврат реактивной энергии из индуктивности в емкостный накопитель и рекуперация энергии/ являются пассивными и необходимы только для подготовки системы к следующему циклу сжатия. Оказывается, что при некоторых условиях можно использовать и эти процессы в формировании ведущего магнитного поля.

1. К ВОПРОСУ О МНОГОКРАТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГИИ В СТУПЕНЯХ СЖАТИЯ АДГЕЗАТОРА

Исходя из временной последовательности включения токов в трех ступенях сжатия и примерного равенства их длительностей и амплитудных значений^{/1/} и рассматривая условие $L_{др} \gg L/3/$ в большой степени как условие применимости неуправляемого вентиля в цепях рекуперации, можно предложить один из возможных путей по оптимизации системы питания. Это путь многократного использования запасаемой энергии в одном цикле сжатия кольца. Одним из наиболее простых вариантов схемного решения этой задачи является использование управляемых вентилях с заранее запрограммированным порядком коммутации энергии из одной группы катушек в другую при уменьшенном числе емкостных накопителей. Рассмотрим это на примере двух ступеней сжатия. На рис.1а упрощенно показаны схемы питания и временные диаграммы их работы. На рис.1б те же ступени объединены на один емкостный накопитель. Особенностью работы этой схемы является использование перезарядного тока емкостного накопителя для формирования магнитного поля ступенью L_2 в отличие от раздельных схем питания на рис.1а,

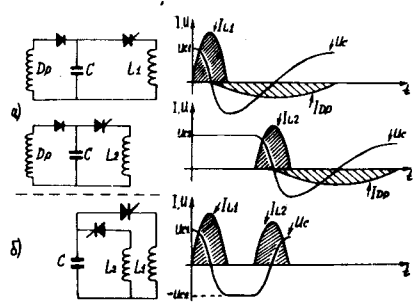


Рис. 1

где перезарядные токи i_{Dp} проходят по внешним цепям. Очевидно, что при тождественности параметров приведенных схем и начальных напряжений ($U_{C1} > U_{C2}$) для создания тех же напряженностей магнитного поля в случае использования схемы рис. 1б потребуется реактивная мощность только одной конденсаторной батареи. Сравнивая общие уровни запасаемой энергии для отдельных схем питания с объединенной, мы должны учесть, что при работе происходят активные потери энергии в элементах схемы. С учетом этого обстоятельства получаем, что для цепочек питания адгезатора выигрыш в запасаемой энергии составляет не 100%, а около 70%.

Временные диаграммы работы схемы рис. 1б представляют режим разнесенного запуска ступеней, т.е. момент включения тока в L_2 $t_{зап2} \geq T_1$, где T_1 - длительность импульса тока в L_1 . В таком режиме передача энергии в L_2 идет от емкостного накопителя. В режиме совмещенного запуска двух ступеней $T_1/2 < t_{зап2} < T_1$ часть энергии из L_1 передается непосредственно в L_2 , минуя емкость. В этом случае емкость "переполюсовывается" неполностью. На рис. 2 представлены осциллограммы с делителя на емкости, иллюстрирующие степень ее переполюсовки в зависимости от времени включения тока в L_2 в диапазоне $t_{зап2} = /0,55 \div 0,9/T_1$. Развертка по горизонтали - 250 мкс/дел, чувствительность по вертикали - 5 кВ/дел, $L_1 = 1,3$ мГ, $L_2 = 1,5$ мГ, $C = 100$ мкФ. Из осциллограмм видно, что минимальная глубина переполюсовки напряжения на емкости составляет ~30%. Получить еще меньшую переполюсовку с целью существенного снижения энергетических потерь в ней /4/ не представляется возможным без принятия дополнительных мер. Актуальность решения этого вопроса в значительной степени определяется тем обстоятельством, что для систем питания адгезатора на емкостный накопитель приходится более половины всех энергетических потерь в контуре. Уменьшить глубину переполюсовки напряжения на емкости можно за счет увеличения коэффициента связи $k = M / \sqrt{L_1 \cdot L_2}$ (M - взаимная индуктивность ступеней)^{5/}, либо уменьшением L_2 по отношению к L_1 .

В первом случае требуется значительная переделка магнитной системы сжатия, а требование устойчивой работы схемы ($L_2 \geq L_1$) устанавливает предел по уменьшению отношения L_2/L_1 . Следует также отметить, что коммутатор в цепи L_2 открывается не точно в $t_{зап2} = T_1/2$, а несколько позднее с задержкой ~75 мкс. Такое запаздывание обусловлено пороговым напряжением, минимально необходимым для открытия тиристорного столба. В данном случае для тиристорного столба, состоящего из 40 последовательно включен-

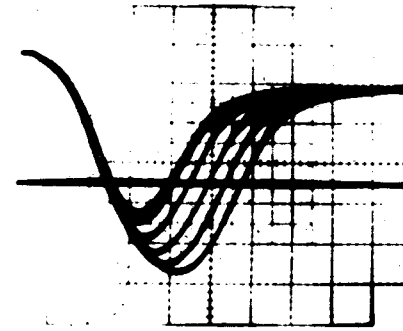


Рис. 2

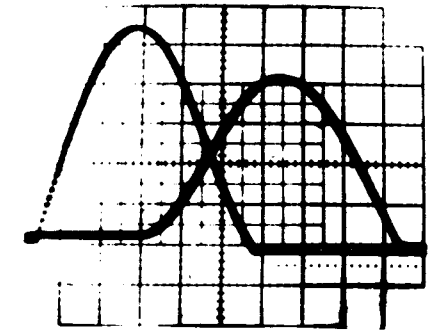


Рис. 3

ных тиристоров типа Т-500, требовалось ~600 В. Важным достоинством схемы совмещенного запуска является также возможность формирования начальной части токового импульса в L_2 по закону, близкому к $(1 - \cos \omega t)$. При таком нарастании тока значительно уменьшаются искажения п-траектории, связанные с переходными процессами в стенках камеры и приводящие к потерям электронов при перехвате кольца из одной ступени сжатия в другую. На рис. 3 представлены осциллограммы токов в L_1 и L_2 . Развертки по горизонтали - 230 мкс/дел., чувствительность по вертикали - 1 кА/дел. Таким образом, представляется возможным более эффективно использовать запасаемую энергию в емкостных накопителях в магнитной системе адгезатора при использовании рассмотренных схем питания.

2. ФОРМИРОВАНИЕ ТОКОВ В СТУПЕНЯХ СЖАТИЯ АДГЕЗАТОРА КУТИ-20

Инжекция и захват пучка на орбиту в коллективном ускорителе осуществляются на первом обороте в мягкофокусирующем магнитном поле первой ступени. Одним из основных требований к полю этой ступени является его азимутальная однородность. В связи с тем, что периферийная часть камеры адгезатора имеет сложную форму и содержит различные устройства /инъекции, захвата и т.д./, которые вносят искажения в поле на орбите, катушки первой ступени запитаны медленно меняющимся током с длительностью импульса $T \approx 15$ мс. При работе в частотном режиме энергетически более целесообразным оказалось применение трансформаторной схемы питания катушек от высоковольтной сети. Из-за индуктивной связи $M = 200$ мкГ/ катушек первой и второй ступеней в первой наводится ток, который приводит к уменьшению поля на орбите /и, как следствие, - к расхождению кольца/ и возникновению искажений магнитного поля на частоте более короткого импульса тока наводки.

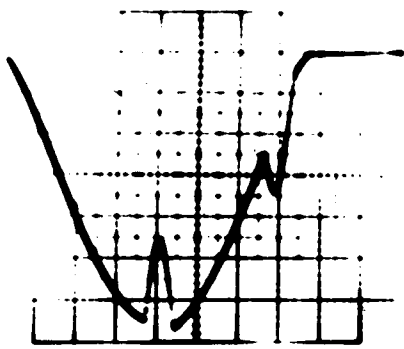


Рис. 4

Поэтому важна точная компенсация этой наводки. На рис.4 показана осциллограмма тока первой ступени с наводкой тока от второй ступени. Развертка по горизонтали - 2 мс/дел, чувствительность по вертикали - 0,45 кА/дел. Для компенсации наводки используется э.д.с. индукции, возникающая в индуктивно связанных между собой дросселях, установленных в цепочках питания первой и второй ступеней. Полная компенсация получена при индуктивности дросселя первой ступени ≈ 40 мкГ, второй

$\approx 1,5$ мГн и коэффициенте связи между ними $\approx 0,8$. На рис.5 в общей схеме питания эти дроссели показаны под индексом D_p ком. В таблице приведены основные параметры системы питания второй, третьей и четвертой ступеней сжатия адгезатора КУТИ-20.

Таблица

	Емкость батареи, мкФ	Максимальное напряжение, кВ	Индуктивность рабочих катушек, мкГ	Диапазон рабочего тока, кА
II ступень	100	30	2,2	4 ÷ 6
III ступень	100	30	1,2	5 ÷ 6
IV ступень	200	30	1,8	6 ÷ 8

Реализация принципа многократного использования энергии за цикл сжатия кольца с учетом конкретных параметров системы питания адгезатора КУТИ-20 приводит к уменьшению вдвое как емкостных накопителей, так и зарядных устройств типа ВТМ-200, и к полному сокращению диодных коммутаторов с дросселями перезарядки. На рис.5 представлена схема питания трех ступеней сжатия. В схеме включены две конденсаторные батареи $C_1 = C_2 = 100$ мкФ и подсоединенные к ним три ступени сжатия L_{H2} , L_{H3} и L_{H4} . В исходном состоянии конденсаторные батареи C_1 и C_2 заряжены до требуемых напряжений. С приходом управляющих импульсов на V_1 и V_2 батареи поочередно разряжаются, формируя токи в L_{H2} и L_{H3} соответственно. Через определенные моменты времени подаются управляющие импульсы на V_{2-4} и V_{1-4} , и емкостные накопители перезаряжаются практически одновременно через L_{H4} . Временная диаграмма токов в трех ступенях сжатия показана на рис.6. Развертка по горизонтали - 500 мкс/дел, чувствительность по вертикали - 1 кА/дел. В контур второй ступени включен дроссель компенсации

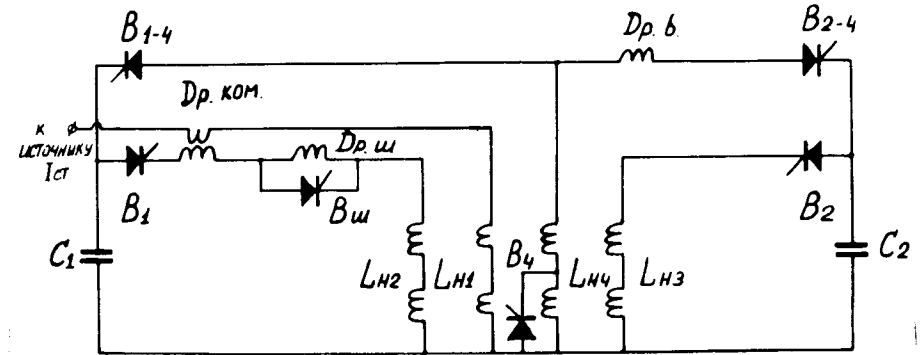


Рис. 5

наводки и управляемый дроссель $L_{др.ш}$, который служит для затяжки фронта тока с целью уменьшения потерь электронов при перехвате кольца из первой ступени во вторую. Как видно из временной диаграммы рис.6, ток в третьей ступени включается в максимуме тока второй ступени. Момент подачи управляющего импульса на V_{2-4} подбирается таким образом, чтобы коммутатор открылся в районе максимума тока третьей ступени. Тогда в L_{H4} будет формироваться ток по закону, близкому к $(1 - \cos \omega t)$, т.е. четвертая ступень по отношению к третьей работает в режиме совмещенного запуска. К этому моменту времени емкость C_1 оказывается практически полностью переполюсованной, в то время как в C_2 этот процесс только начинается, причем глюкоина переполюсовки ограничивается включением L_{H4} . Подача запускающего импульса на V_{1-4} в этот момент приводит к тому, что коммутатор V_{2-4} закрывается разрядным током C_1 на C_2 . Чтобы V_{2-4} не закрывался, в схему включен дроссель $D_{p.б}$, который ограничивает как скорость нарастания, так и амплитуду разрядного тока. Зависимость допустимого разбаланса напряжений между C_1 и C_2 от индуктивности $D_{p.б}$ показана на рис.7. В схеме рис.5 установлен дроссель $D_{p.б} \approx 400$ мкГ/ с несколько большей, чем требуется для устойчивой работы коммутаторов, индуктивностью, с тем, чтобы обеспечить возможность независимой регулировки U_{C1} и U_{C2} в пределах 20% для изменения условий сжатия кольца во второй и третьей ступенях. На рис.8 представлены осциллограммы перезарядных токов. Развертка по горизонтали - 500 мкс/дел, чувствительность по вертикали - 0,5 кА/дел. На верхней осциллограмме - перезарядный ток второй ступени, на средней - перезарядный ток третьей ступени, на нижней - разрядный ток между емкостями по-

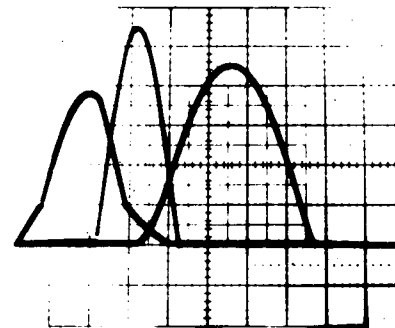


Рис. 6

дроссель $D_{p.б}$, который ограничивает как скорость нарастания, так и амплитуду разрядного тока. Зависимость допустимого разбаланса напряжений между C_1 и C_2 от индуктивности $D_{p.б}$ показана на рис.7. В схеме рис.5 установлен дроссель $D_{p.б} \approx 400$ мкГ/ с несколько большей, чем требуется для устойчивой работы коммутаторов, индуктивностью, с тем, чтобы обеспечить возможность независимой регулировки U_{C1} и U_{C2} в пределах 20% для изменения условий сжатия кольца во второй и третьей ступенях. На рис.8 представлены осциллограммы перезарядных токов. Развертка по горизонтали - 500 мкс/дел, чувствительность по вертикали - 0,5 кА/дел. На верхней осциллограмме - перезарядный ток второй ступени, на средней - перезарядный ток третьей ступени, на нижней - разрядный ток между емкостями по-

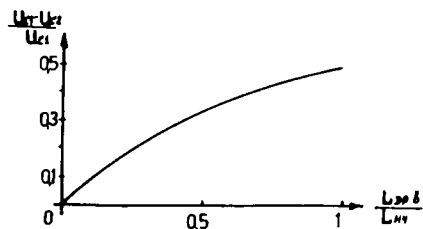


Рис. 7

казан с момента включения второй ступени с двойной амплитудой. В результате сложения двух перезарядных токов в L_{H4} формируется рабочий ток четвертой ступени, показанный на рис.6.

На рис.9 представлена оциллограмма сигнала с детектора тормозного излучения при сжатии электронного кольца полем четырех ступеней, запитанных по схеме рис.5.

Последний пик соответствует разрушению кольца при расжатии его на спадающей части тока IV ступени.

Таким образом, реализована схема, обеспечивающая формирование импульсного магнитного поля, пригодного для сжатия электронного кольца, при существенно меньшей энергоемкости системы питания адгезатора КУТИ-20.

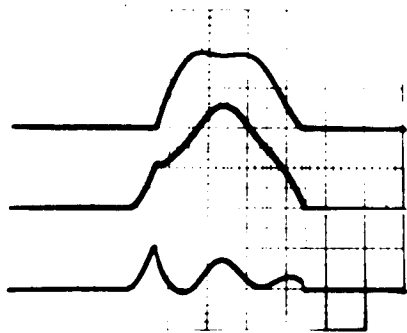


Рис. 8

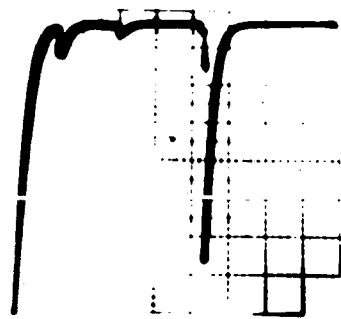


Рис. 9

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
2. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-8759, Дубна, 1975.
3. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7773, Дубна, 1974.
4. Труды научно-исследовательского института ядерной физики, электроники и автоматики, вып. 1, Атомиздат, М., 1971, с.35.
5. Труды научно-исследовательского института ядерной физики, электроники и автоматики, вып.2, Атомиздат. М., 1972, с. 41.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 декабря 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Александров В.С. и др.

9-83-838

Некоторые особенности системы питания адгезатора КУТИ-20

Рассмотрены схемы формирования токов в ступенях сжатия адгезатора коллективного ускорителя тяжелых ионов /КУТИ-20/. Экспериментально подтверждена возможность получения импульсных магнитных полей, пригодных для сжатия электронного кольца, при существенно меньших уровнях запасаемой энергии в емкостных накопителях. Анализ полученных результатов позволяет рационально подойти к построению схем питания для установок типа адгезатор.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Alexandrov V.S. et al.

9-83-838

Some Special Properties of KUTI-20 Adgezator Power Supply System

Schemes of current formation in compression stage of KUTI-20 adgezator are considered. The possibility of obtaining pulsed magnetic fields suitable for ring compression under the condition of the essentially less energy levels stored in the capacitors is experimentally confirmed. The analysis of the obtained results permits to proceed rationally to constructing power supply schemes for adgezator type installations.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.