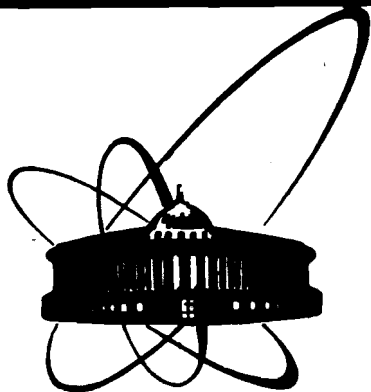


89-845



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

С 347

P9-89-845

**А.И.Сидоров, В.И.Казача, А.К.Красных,
В.П.Саранцев**

**ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА
ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ**

1989

В работе описаны узлы импульсной системы ЛИУ. Ее основным элементом является модулятор - генератор высоковольтных импульсов ускоряющего напряжения, разработанный в двух вариантах: с выходной мощностью 4,8 ГВт и 7,5 ГВт. Модуляторы выполнены с применением нелинейных звеньев усиления импульсной мощности путем сжатия электромагнитной энергии во времени и предназначены для запитки ускоряющей секции, состоящей из 36 индукторов, с целью получить напряженность ускоряющего поля в пучке с током 1 кА $E_z = 1$ МВ/м и длительностью плато импульса ~ 60 нс.

Для создания в индукционной ускоряющей системе электрического поля с $E_z = 1$ МВ/м требуется обеспечить погонную мощность модуляторов $2,5 \div 3$ ГВт/м в импульсе. При использовании традиционных схем формирования наносекундных импульсов напряжения^{/1/} требуется ~ 30 генераторов на метр длины ускорителя. Обеспечить такую плотность оборудования практически невозможно. Необходимо использовать либо мощные коммутаторы, например, разрядники, либо усилители мощности. Прогресс в развитии ЛИУ в последние 10 лет был достигнут в связи с применением в модуляторах нелинейных схем усиления импульсной мощности^{/2,3/}. Описываемая в этой работе импульсная система разработана в связи с созданием ЛИУ для ускорения электронно-ионных колец^{/4/}, а также для проведения экспериментов по генерации СВЧ-излучения^{/5/}.

СХЕМА И КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЯТОРА

Электрическая схема модулятора /рис.1/ и конструкция оконечного каскада изложены в работе^{/6/}. В дальнейшем эти аспекты будут частично затронуты для полноты картины. Конструкция модулятора показана на рис.2.

Каскад 3 /рис.2/, включающий элементы схемы, обозначенные пунктирным прямоугольником 3 на рис.1, размещен в отдельном баке /рис.2/, заполняемом трансформаторным маслом.

Каждый оконечный каскад 4 размещен в отдельном баке, заполняемом деионизованной водой и включает элементы схемы одной из параллельных ветвей, обозначенных пунктирным прямоугольником 4 на рис.1. Оконечные каскады 4 /по три с каждой стороны/

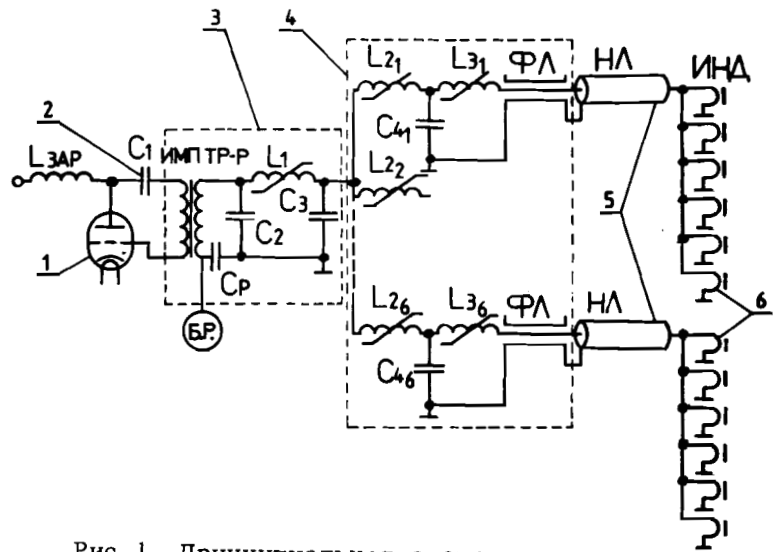


Рис.1. Принципиальная схема модулятора.

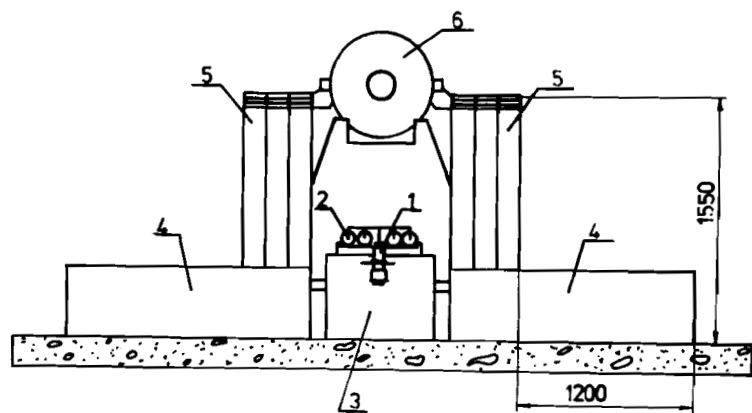


Рис.2. Конструкция модулятора: 1 - коммутатор, 2 - накопительная емкость, 3 - каскад предварительного усиления импульсной мощности в микросекундном диапазоне, 4 - шесть оконечных каскадов усиления импульсной мощности в наносекундном диапазоне и формирования выходных импульсов напряжения, 5 - нелинейные линии /обострители фронта/, 6 - индукторы.

соединяются с центральным баком 3 через высоковольтные коаксиальные переходники, заполняемые деионизованной водой со стороны оконечных каскадов.

На входе каждого оконечного каскада 4 расположены 9 нелинейных линий 5 /НЛ/, которые соединяются с индукторами 6 через согласующее устройство /одно на пакет из девяти НЛ/. Два противоположных оконечных каскада, расположенных симметрично относительно оси ускоряющей секции, запитывают 1/3 секции, включающую 12 индукторов. В качестве коммутатора используется тиратрон ТГИ1-2500/50 с заземленной сеткой. Накопительная емкость - 6 параллельно соединенных конденсаторов типа UD-80 общей емкостью 570 нФ. Повышающий импульсный трансформатор намотан на сердечнике, состоящем из двух пермаллоевых колец размером 460x230x25 мм; первичная и вторичная обмотки состоят из 7 и 21 витков соответственно. Емкость первого звена сжатия C_2 представляет собой параллельное соединение двух конденсаторных каскадов, один из которых - последовательное соединение конденсаторов типа UD-80, другой - конденсаторов типа К-75-35. Общая емкость C_2 равна 60 нФ. Нелинейная индуктивность L_1 состоит из двух дросселей, соединенных параллельно, каждый из которых представляет собой обмотку из 6 витков на двух пермаллоевых сердечниках, каждый размером 460x230x25 мм. Емкость C_3 состоит из двух последовательно соединенных конденсаторов типа UD-80 общей емкостью 45 нФ. Параллельно емкости C_3 включена конструктивная емкость величиной $16 \div 18$ нФ шести высоковольтных коаксиальных переходников; поэтому суммарная емкость $C_3^1 = 61 \div 63$ нФ.

Нелинейная индуктивность $L_{2к}$ состоит из двух параллельных дросселей, каждый с обмоткой из 9 витков на сердечнике из 20 ферритовых колец марки 600 НН размером 125x80x12 мм.

Конденсаторы $C_{4к}$ / $k = 1, \dots, 6$ / и формирующие линии /ФЛ/ выполнены в виде двух параллельных пластин длиной 1 м, с той лишь разницей, что ширина пластин для конденсаторов $C_{4к}$ 0,3 м, а для формирующей линии - 0,15 м. Дроссели $L_{3к}$ /6/ расположены равномерно по всей длине как конденсатора $C_{4к}$, так и формирующей линии. Емкость конденсатора $C_{4к} = 10$ нФ, формирующей линии в совокупности с нелинейными линиями одного оконечного каскада - 12 нФ.

ГЕНЕРАТОР РАЗМАГНИЧИВАЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА

Принципиальная электрическая схема генератора приведена на рис.3. Указанная схема и способ ее подключения выбраны с той целью, чтобы одним импульсом размагничивать всю схему мо-

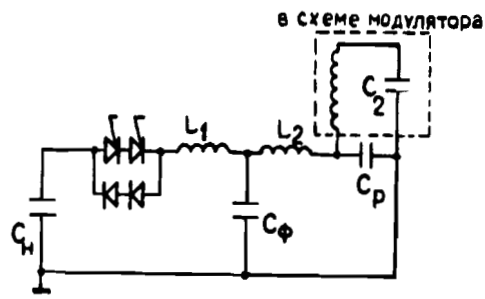


Рис.3. Принципиальная схема генератора размагничивания.

дьюлятора и индукторы. Генератор вырабатывает импульс размагничивающего тока обратной полярности с целью достичь максимального изменения индукции в переключающих дросселях

звеньев сжатия и сердечников индукторов. Выход схемы размагничивания подключается к вторичной обмотке импульсного трансформатора через разделительный конденсатор C_P для того, чтобы исключить замыкание генератора на самого себя. Величина емкости C_P выбирается с расчетом, чтобы при зарядке конденсатора C_2 в схеме модулятора амплитуда импульса напряжения на C_P , воздействующего на коммутатор генератора размагничивания, не превышала напряжения пробоя коммутатора. Величина C_P составляет ~ 8 мкФ.

Накопительная емкость C_H величиной 1,5 мФ состоит из конденсаторов типа ФСТ-2, 1-У-2-160. В качестве коммутатора используются 2 тиристора Т-500, соединенных последовательно. Параллельно тиристорам включены диоды В-500 для рекуперации энергии. Индуктивности L_1 и L_2 , каждая по 37 мкГн, в совокупности с индуктивностями дросселей /каскадов усиления/ в насыщенном состоянии задают длительность периода тока размагничивания и, в то же время, вместе с конденсатором C_P служат дополнительной защитой для тиристорно-диодного коммутатора от перенапряжения. На рис.4 приведена осциллограмма тока размагничивания, амплитуда тока положительной полуволны 3 кА при зарядном напряжении

$U_{зар} = 800$ В. Момент срабатывания модулятора виден как пик на отрицательном значении тока размагничивания. Выбор момента срабатывания тиратрона связан с тем, что импульсный

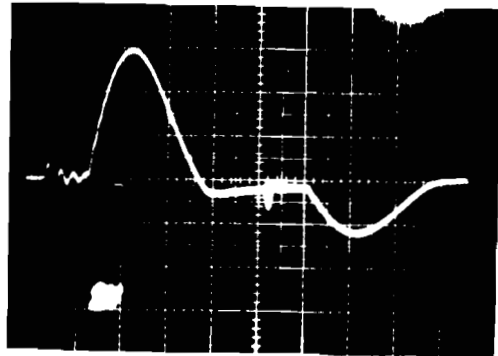


Рис.4. Импульс тока размагничивания. Развертка по горизонтали 500 мкс/дел.

трансформатор в схеме модулятора необходимо размагничивать током обратной полярности тока, размагничивающему нелинейные дроссели модулятора и индукторы; при этом размагничивающее действие отрицательной фазы тока на нелинейные дроссели в каскадах усиления и индукторы практически не сказывается на работе всей схемы.

СИСТЕМА ДЕИОНИЗАЦИИ ВОДЫ

В качестве диэлектрика для оконечного каскада /для конденсаторов $C_{дк}$ и формирующих линий/ используется обезгаженная деионизованная вода. Основной проблемой при использовании воды как диэлектрика является ее большая проводимость, которая способствует саморазрядке конденсаторов, заполненных водой. Постоянная времени саморазрядки τ_c приблизительно определяется следующим выражением:

$$\tau_c \approx RC = \frac{\epsilon \cdot \rho}{4\pi \cdot 10^{11}} , \quad /1/$$

где ρ - удельное сопротивление воды, Ом·см. При зарядке накопителя, заполненного водой, необходимо, чтобы время его зарядки было много меньше τ_c . С этой целью разработана система очистки воды /рис.5/. Для повышения электрической прочности воды в схеме используется специальное устройство /5/ для дегазации воды^{7/}; эффективность устройства $\sim 80\%$. Удельное сопротивление воды на выходе системы очистки $2 \cdot 10^6$ Ом·см и, соответственно, $\tau_c \approx 10^{-5}$ с, что существенно превышает длительность процессов зарядки конденсаторов в оконечном каскаде модулятора.

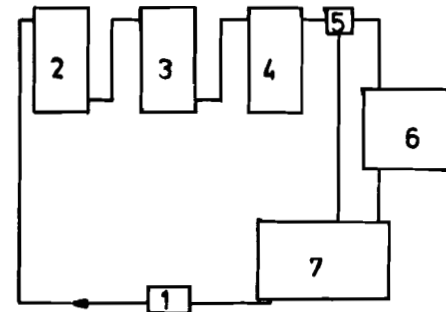


Рис.5. Структурная схема системы деионизации воды: 1 - насос; 2,4 - механические фильтры; 3 - ионообменный реактор; 5 - дегазатор; 6 - модуляторы; 7 - буферная емкость для деионизованной воды.

УСЛОВИЕ СИНХРОННОЙ ЗАПИТКИ ИНДУКТОРОВ

Основные соотношения, которые использовались при расчете параметров модулятора, приведены в работе /8/. Вместе с тем необходимо дополнить их условием синхронного срабатывания окончных каскадов. Условие синхронности является необходимым, но не достаточным условием для формирования прямоугольной формы импульса на индукторах ускоряющей секции. Разность фаз /или временной сдвиг/ возникает в точке разветвления схемы и определяется в основном процессом зарядки конденсаторов $C_{4к}$, конечным результатом которого является момент окончания зарядки и амплитуда напряжения на $C_{4к}$ в этот момент. Разница в амплитуде напряжения на $C_{4к}$ определяется разбросом величин индуктивностей $L_{2к}$ в насыщенном состоянии и емкостей $C_{4к}$ по каскадам, а момент окончания зарядки определяется в основном разницей в $(\Delta B \cdot S)$ сердечников $L_{2к}$, где ΔB - размах индукции в сердечнике, S - сечение сердечника.

Следует отметить, что в конструкции конденсатора $C_{4к}$ формирующей линии предусмотрена тонкая регулировка, позволяющая выставить значение их емкостей по каскадам с разницей в доли процента, поэтому далее предполагается, что емкости $C_{4к}$ одинаковы и не влияют на разность фаз.

Анализ системы уравнений, описывающих процессы зарядки двух одинаковых емкостей от одной емкости через индуктивности, отличающиеся по величине /что в нашем случае может быть связано как с различием в геометрии контура соединения $C_3 - L_{2к} - C_{4к}$, так и с различием в токах размагничивания по каскадам/ показывает, что разность фаз между двумя каскадами, работающими на общую нагрузку, можно приближенно определить так:

$$\Delta \tau = \frac{\Delta L}{L_{\min}} \cdot t_{\min C_{4к}}, \quad /2/$$

где ΔL - разность между индуктивностями $L_{2к}$ двух каскадов в насыщенном состоянии; L_{\min} - индуктивность одного из двух каскадов, равная наименьшему значению в насыщенном состоянии; t_{\min} - время зарядки $C_{4к}$ одного из двух каскадов через индуктивность L_{\min} .

Заметим, что формула /2/ получена для случая, когда параметры дросселей $L_{2к}$ имеют одинаковые значения как в насыщенном, так и в ненасыщенном состоянии.

Разница в величине $(\Delta B \cdot S)$ для сердечников $L_{2к}$ по каскадам приводит к более существенному сдвигу во времени между выходными импульсами окончных каскадов. Связано это с тем, что временной сдвиг в данном случае определяется процессом зарядки C_3 , длительность которого превосходит время зарядки $C_{4к}$.

При разнице в величине $(\Delta B \cdot S)$ для сердечников $L_{2к}$ двух каскадов, равной $\delta(\Delta B_0 \cdot S_0)$, сдвиг фазы в первом приближении определяется следующим выражением:

$$\Delta \tau_{\delta} \approx k \cdot \frac{\delta(\Delta B_0 \cdot S_0)}{\Delta B_0 \cdot S_0} \cdot t_{C_{4к}}, \quad /3/$$

где k - коэффициент усиления мощности в контуре $C_3 - L_{2к} - C_{4к}$; $\Delta B_0 \cdot S_0 = U_0 \cdot t_0 / 2N$; U_0 , t_0 - амплитуда напряжения и время зарядки C_3 в отсутствие $L_{2к}$; N - количество витков в дросселях $L_{2к}$; $t_{C_{4к}}$ - время зарядки $C_{4к}$.

Экспериментально зарегистрированная максимальная величина временного сдвига между каскадами в том случае, когда дроссели $L_{2к}$ без специального отбора устанавливались в окончные каскады, составила ~50 нс. Основной способ борьбы с временным сдвигом заключается в подборе дросселей $L_{2к}$ с идентичными параметрами настолько, чтобы временной сдвиг не превышал $5 \div 7$ нс, тогда форма огибающей суммарного импульса на нагрузке незначительно отличается от формы импульса на выходе каждого из каскадов. На рис.6 приведены осциллограммы огибающей импульса на омической нагрузке, запитываемой двумя окончными каскадами: при временном сдвиге 10 нс, 40 нс и синхронном срабатывании окончных каскадов.

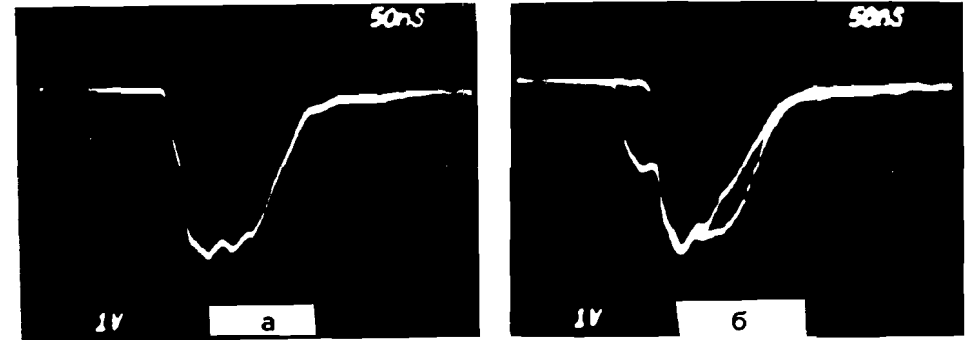
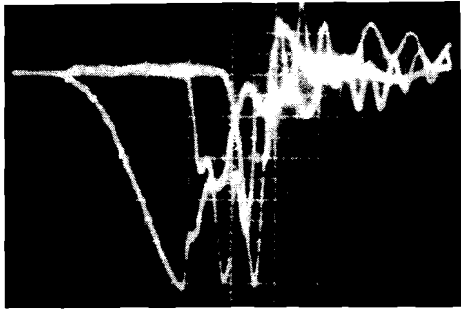


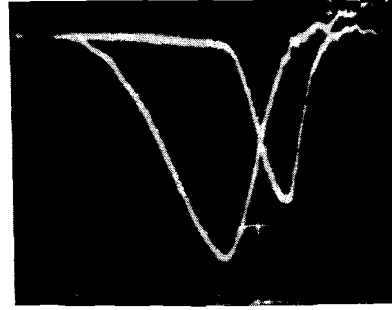
Рис.6. Влияние временного сдвига на форму выходного импульса: а/ $\Delta \tau = 10$ нс; б/ $\Delta \tau = 40$ нс, $\Delta \tau = 0$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для иллюстрации работы модулятора на рис.7 приведены осциллограммы импульсов напряжения в соответствующих точках его схемы: а/ на C_2 , C_3 и $C_{4к}$ /одного из окончных каскадов/; на огибающей напряжения емкости C_3 видны наложенные колебания, связанные с паразитной конструктивной емкостью, включенной па-



а



б



в

Рис.7. Осциллограммы импульсов напряжения, иллюстрирующие процесс передачи энергии по каскадам модулятора: а/ слева направо - на C_2 , C_3 (чувствительность 28 кВ/дел) и $C_{4к}$ (чувствительность 23 кВ/дел); развертка по горизонтали - 500 нс/дел; б/ слева направо - на $C_{4к}$ и формирующей линии (чувствительность 24 кВ/дел) в одном из окончных каскадов; развертка по горизонтали - 100 нс/дел;

в/ огибающая импульса напряжения модулятора на согласованной омической нагрузке 0,75 Ом, чувствительность 18 кВ/дел, развертка по горизонтали 20 нс/дел.

раллельно дросселю L_1 ; б/ напряжение на $C_{4к}$ и формирующей линии /ФЛ/; в/ огибающая суммарного импульса напряжения модулятора на согласованной омической нагрузке, равной 0,75 Ом, эквивалентной нагрузке из 36 индукторов. Осциллограммы сняты при зарядном напряжении 47 кВ, на длине измерительного кабеля ~60 м.

Из осциллограмм на рис.7 видно, что задержка между моментом срабатывания тиратрона и появлением импульса напряжения на нагрузке составляет ~2,5 мкс. Амплитуда напряжения на конденсаторах в каскадах сжатия практически постоянна.

Нагрузочная характеристика модулятора приведена на рис.8 /точками нанесены результаты измерений/. Характеристика снималась при зарядном напряжении $U_3 \approx 47$ кВ. Нагрузка на выходе модулятора изменялась с помощью подбора резисторов ТВ0-60. Ре-

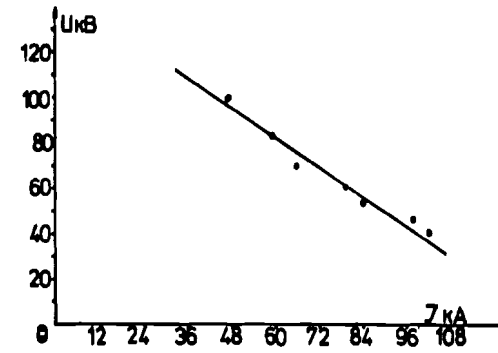


Рис.8. Нагрузочная характеристика модулятора.

гистрировалось напряжение на нагрузке. Для согласования по мощности модулятора с ускоряющей секцией были разработаны согласующие устройства /рис.9/ /по одному на каждый пакет из 9 нелинейных линий/. Согласующее устройство состоит из 3 неоднородных симметричных параллельно работающих полосковых линий /по одной на 3 нелинейные линии/, каждая с монотонно изменяющимся волновым сопротивлением от 39 до 13,50 Ом. На рис.10 приведена осциллограмма огибающей импульса напряжения на вводах части ускоряющей секции, состоящей из 12 индукторов и запитываемых двумя оконечными каскадами; без подгрузки пучком, амплитуда напряжения 62 кВ. КПД модулятора, рассчитанный по осциллограммам напряжения на омической нагрузке, эквивалентной нагрузке ускоряющей секции из 36 индукторов, составляет 75%, мощность 4,8 ГВт.

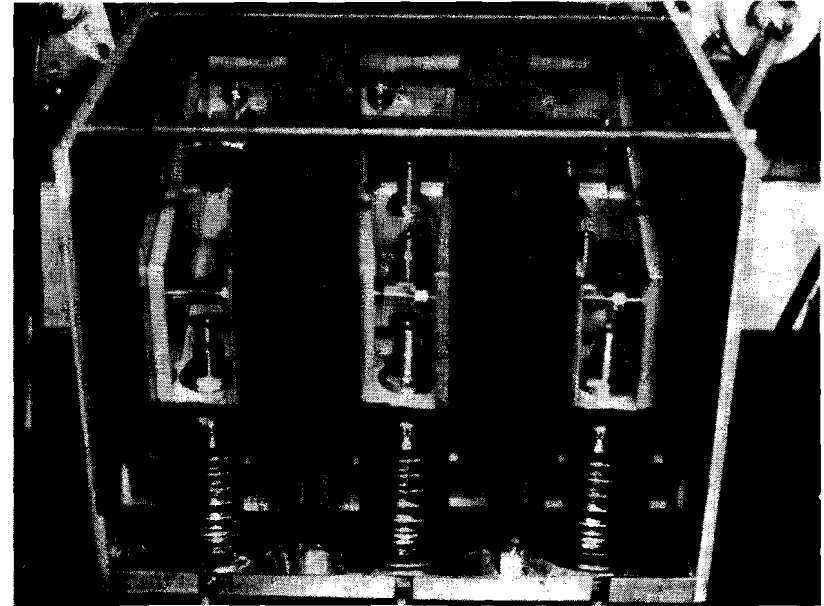


Рис.9. Общий вид согласующего устройства.

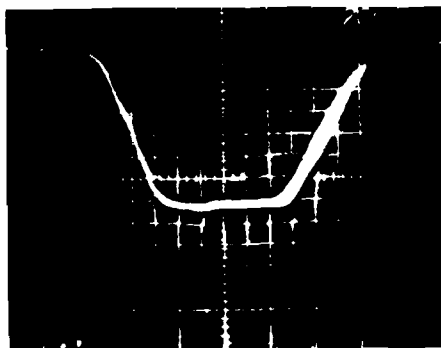


Рис.10. Импульс напряжения на вводах индукторов. Развертка по горизонтали 20 нс/дел., чувствительность 18 кВ/дел.

Для проведения экспериментов по генерации СВЧ-излучения/5/, суть которых заключалась в том, что энергия, приобретаемая пучком в индукционной ускоряющей секции, преобразуется специальной структурой в энергию излучения, потребовалось увеличить выходную мощность модулятора. Анализ схемы /рис.1/ показывает, что увеличить мощность модулятора в рамках существующих схемы и конструкции можно за счет увеличения амплитуды напряжения на формирующей линии. Для этого при неизменном коэффициенте трансформации, равном 3, увеличиваются значения емкостей C_1, C_2, C_3 , а повышение амплитуды напряжения на $C_{4к}$ и, соответственно, на формирующей линии достигается за счет разбаланса емкостей

в контуре $C_3 - L_{2к} - C_{4к}$, где $C_3 > \sum_{k=1}^6 C_{4к}$.

Принципиальная схема и конструкция соответствуют указанным на рис.1, 2, изменены лишь параметры некоторых элементов схемы. Зарядная емкость увеличена до 840 нФ. Импульсный трансформатор намотан на сердечнике, состоящем из трех пермалловых колец, типоразмером 460x230x25 мм, с количеством витков в первичной и вторичной обмотках соответственно 7 и 21. Емкость C_2 первого звена сжатия, равная 96 нФ, состоит из двух параллельно соединенных конденсаторных каскадов, каждый из них представляет собой последовательное соединение двух конденсаторов типа UD-80. Нелинейная индуктивность L_1 - два параллельных дросселя, каждый с обмоткой из 7 витков на пермалловом сердечнике /того же размера 460x230x75 мм/. Конденсатор C_3 аналогичен конденсатору C_2 с той лишь разницей, что его емкость больше на величину конструктивной емкости 6 высоковольтных коаксиальных переходников, описанных выше, и равна ~110 нФ. В дросселях индуктивности $L_{2к}$ количество витков в обмотках увеличено с 9 до 12. Емкость конденсатора $C_{4к}$ для одного оконечного каскада составляет ~11 нФ.

Осциллограммы напряжения, иллюстрирующие процесс передачи энергии по каскадам схемы модулятора, приведены на рис.11. Колебания на огибающей напряжения на C_3 /рис.11а/ существуют

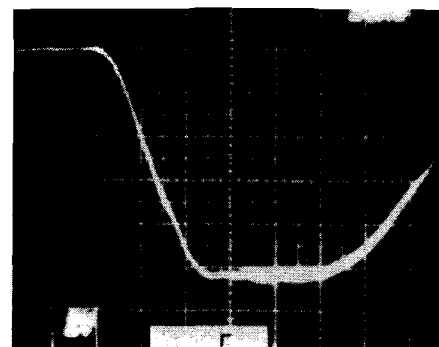
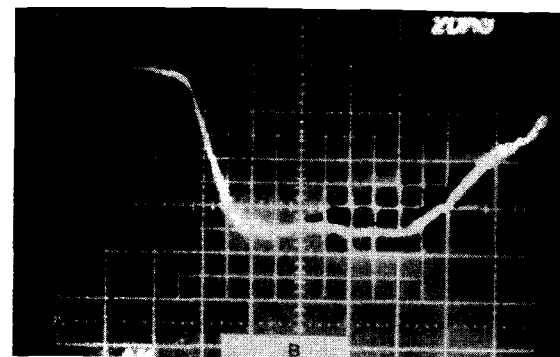
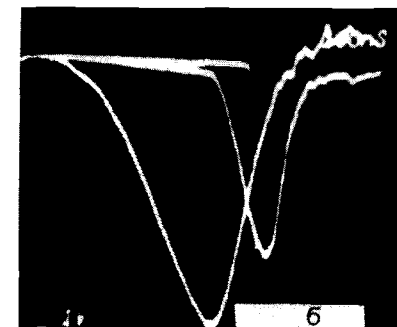
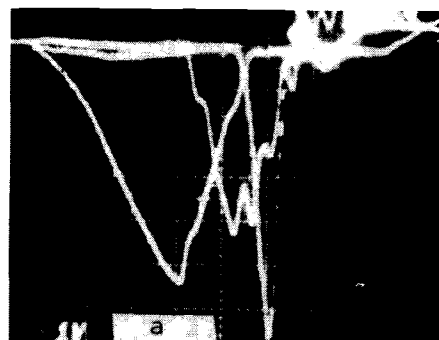


Рис.11. Осциллограммы импульсов напряжения, иллюстрирующие процесс передачи энергии по каскадам модулятора: а/ слева направо - на C_2, C_3 (чувствительность 28 кВ/дел) и $C_{4к}$ (чувствительность 24 кВ/дел), развертка по горизонтали 500 нс/дел.; б/ на $C_{4к}$ и формирующей линии (чувствительность 26 кВ/дел.) в одном из оконечных каскадов; развертка по го-

ризонтали 100 нс/дел.; в/ на выходе согласующего устройства /одного из оконечных каскадов/, нагруженного на согласованное омическое сопротивление 4,5 Ом; чувствительность 22 кВ/дел.; развертка по горизонтали 20 нс/дел.; г/ огибающая суммарного импульса напряжения модулятора на согласованной омической нагрузке 0,75 Ом, показывающая синхронность срабатывания оконечных каскадов модулятора; чувствительность 14 кВ/дел.; развертка по горизонтали 20 нс/дел.

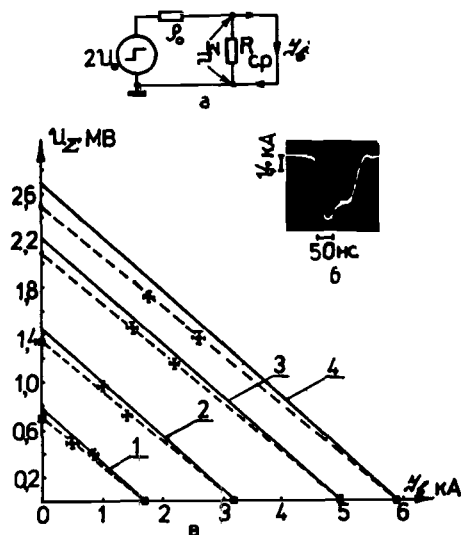


Рис.12. Нагрузочные характеристики модулятора при разных значениях напряжения на зарядной емкости модулятора: 1 - $U = 20$ кВ; 2 - $U = 30$ кВ; 3 - $U = 40$ кВ; 4 - $U = 50$ кВ. Пунктирная линия - измерения, сплошная линия - расчеты.

по той же причине, что и в описанном выше варианте модулятора. Из осциллограмм /рис.11/ видно, что амплитуда напряжения на емкости последнего звена сжатия увеличилась на ~30%.

Нагрузочная характеристика второго модулятора /рис.12/

измерялась на ускоряющей секции /модулятор соединен с индукционной секцией через согласующее устройство/ с помощью резисторов, которые образовывали вторичный виток индукторов; на нем же располагался пояс Роговского для измерения тока нагрузки. Ускоряющее напряжение вычислялось перемножением измеренного поясом тока на соответствующее сопротивление, включенное во вторичный виток. На рис.12 также приведена характерная осциллограмма тока короткого замыкания /сопротивление вторичного витка равно нулю/ и схема для расчета нагрузочной характеристики модулятора.

Отличие измеренной нагрузочной характеристики импульсной системы от расчетной связано с тем, что суммарное динамическое сопротивление индукционной секции, состоящей из 36 индукторов, оказалось меньше выходного сопротивления модулятора, равного 0,75 Ом.

Максимальная мощность модулятора, рассчитанная по осциллограммам напряжения на омической нагрузке ~0,75 Ом /рис.11/, составляет 7,5 ГВт, КПД модулятора ~60%.

Возможное значение мощности, рассчитанное из измеренной нагрузочной характеристики, для темпа ускорения 10 кВ/см /точка на графике соответствует 1,8 МВ, длина индукционной секции 1,8 м/, составляет 2,9 ГВт.

Эксперименты по измерению энергии электронов^{/5/} в одной ускоряющей секции показали, что мощность в пучке с током 1,3 кА соответствует 2 ГВт.

На рис.13 приведены осциллограммы огибающей суммарного импульса напряжения на вводах индукторов в одном из режимов уско-

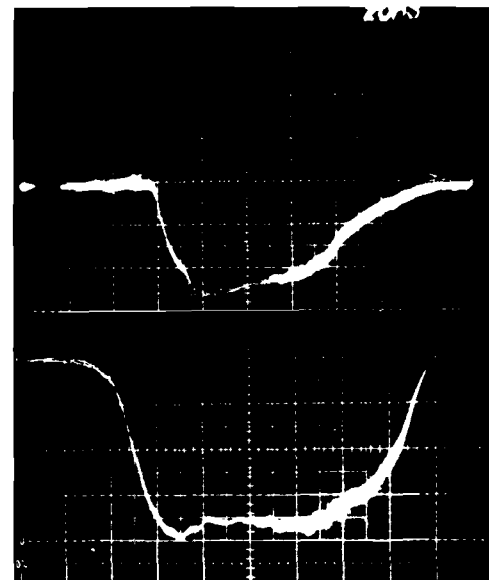


Рис.13. Осциллограммы импульсов: сверху - тока пучка ускоренных электронов на выходе ускоряющей секции, чувствительность - 600 А/дел; внизу - напряжение на вводах индукторов, чувствительность 300 кВ/дел. Развертка по горизонтали 20 нс/дел.

рения электронов на одной ускоряющей секции и тока пучка на выходе секции ЛИУ.

Опыт разработки и эксплуатации модуляторов с применением каскадов

усиления импульсной мощности позволяет сделать следующие выводы.

1. Известно, что с увеличением числа каскадов сжатия КПД схемы уменьшается. В исследованном модуляторе с помощью одного тиратрона и трех каскадов сжатия получен достаточно высокий КПД ~75% при выходной мощности ~4,8 ГВт /на эквивалентной нагрузке $R_H = 0,75$ Ом/. Длительность плато импульса 60 нс.

2. Путем изменения параметров каскадов сжатия мощности в исследованной схеме без существенной переделки конструкции модулятора достигнута выходная мощность 7,5 ГВт /на той же R_H /. КПД модулятора в этом случае составляет ~60%.

3. Для создания высокого темпа ускорения мощных электронных пучков в ЛИУ необходимо обеспечить максимально эффективную передачу импульсной мощности из модулятора в индукционную систему. В настоящей работе эта задача решена путем создания специального устройства полоскового типа, согласующего вход модулятора с ускоряющей секцией. Постоянная времени нарастания переднего фронта перепада мощности на входе в индукторы при токах пучка до 2 кА не превышает 7 нс.

4. В схемах с разветвлением на параллельные каналы, содержащие каскады усиления мощности, запитывающие общую нагрузку, для обеспечения наименьшего временного сдвига между выходными импульсами этих каналов точку разветвления необходимо выбирать на конденсаторах с наименьшим временем зарядки. Экспериментально показано, что допустимый разброс моментов срабатывания па-

раллельно работающих каскадов не должен превышать 5% от $\Gamma_{\text{имп}}$. Следует учитывать, что абсолютное значение временного сдвига уменьшается с ростом уровня действующего в схеме напряжения.

5. Для сокращения количества каскадов усиления мощности емкость первого каскада следует заряжать настолько быстро, насколько это возможно практически.

6. Для формирования импульса прямоугольной формы на нелинейной нагрузке "индукторы + пучок" с помощью однородной формирующей линии /ФЛ/, соединенной последовательно с нелинейными линиями /НЛ/, время зарядки формирующей линии целесообразно выбирать из условия:

$$\Gamma_{\text{задержки Н.Л.}} < \Gamma_{\text{зарядки Ф.Л.}} < \Gamma_{\text{задержки Н.Л.}} + \Gamma_{\text{импульса}}$$

7. Эксперименты с модулятором и индукционной системой ЛИУ показали также, что разработанная схема позволяет получать импульсы тока с амплитудой ~ 6 кА, длительностью по основанию 100 нс /режим КЗ/ в распределенной по длине индуктивности ~ 30 мкГн. Такой режим работы модулятора может найти применение в системах ввода /вывода/ современных ускорителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гитт В.Д. и др. - Сообщение ОИЯИ, Р9-5601, Дубна, 1971.
2. Долбилов Г.В. и др. - Сообщение ОИЯИ, 9-82-339, Дубна, 1982.
3. Birx L. et al. - IEEE Trans. Nucl. Sci., 1983, NS-30, No.4, p.27.
4. Александров В.С. и др. - В кн.: Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. ОИЯИ, Дубна, 1985, т.2, с.151.
5. Архипов О.В. и др. - Сообщение ОИЯИ, Р9-89-613, Дубна, 1989.
6. Долбилов Г.В. и др. - Сообщение ОИЯИ, Р9-86-156, Дубна, 1986.
7. Деге К. и др. Авт. свид. СССР № 1400639, ОИ, 1988, № 21, с.25.
8. Долбилов Г.В. и др. - ПТЭ, 1987, № 5, с.38.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 декабря 1989 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

| | | |
|----------------|---|-------------|
| Д9-87-105 | Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома) | 13 р. 45 к. |
| Д7-87-68 | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986. | 7 р. 10 к. |
| Д2-87-123 | Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986. | 4 р. 45 к. |
| Д4-87-692 | Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987. | 4 р. 30 к. |
| Д2-87-798 | Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987. | 3 р. 55 к. |
| Д14-87-799 | Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987 | 4 р. 20 к. |
| Д17-88-95 | Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987. | 5 р. 20 к. |
| Д14-88-833 | Труды рабочего совещания "Современные направления в активационном анализе ОИЯИ". Дубна, 1988 | 2 р. 40 к. |
| Д13-88-938 | Труды XIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1988 | 4 р. 30 к. |
| Д10-89-70 | Труды Международной школы по вопросам применения ЭВМ в физических исследованиях. Дубна, 1988. | 2 р. 60 к. |
| Р2-89-138 | Труды семинара "Гравитационная энергия и гравитационные волны". Дубна, 1988 | 1 р. 10 к. |
| Д19-89-143 | Труды рабочего совещания по генетическому действию корпускулярных излучений. Дубна, 1988 | 4 р. 30 к. |
| Д4-89-221 | Труды рабочего совещания по разработке и созданию излучателя и детектора гравитационных волн. Дубна, 1988 | 1 р. 60 к. |
| Д9-89-52 | Труды XI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1988 (2 тома) | 14 р. 35 к. |
| Д4,6,15-89-638 | Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра. Дубна, 1989 | 3 р. 76 к. |
| Д9-89-708 | Труды II Международного совещания по циклотронам и их применению. Бехин, ЧССР, 1989 | 4 р. 00 к. |

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