

C - 347

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

9-93-341

СИДОРОВ
Алексей Иванович

УДК 621.384.6

**ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА
ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ**

**Специальность: 01.04.20 — физика пучков заряженных
частиц и ускорительная техника**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1993

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
доктор физико-математических наук
профессор

В. П. Саранцев

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
профессор

А. Н. Мешков

доктор физико-математических наук

Р. Ц. Оганесян

Ведущее научно-исследовательское учреждение:


Московский радиотехнический институт РАН, г. Москва.

Защита диссертации состоится "____" _____ 199__ г.
в _____ час. на заседании Специализированного совета Д 047.01.06
при Лаборатории сверхвысоких энергий Объединенного института
ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

Автореферат разослан "____" _____ 199__ г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь
Специализированного совета
кандидат физико-математических наук


В. Г. Кривохижин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Актуальной задачей в области современной физики и техники ускорителей является проведение исследований по генерации и усилению мощного СВЧ-излучения миллиметрового и сантиметрового диапазона длин волн, предназначенного для запитки высокоградиентных ускоряющих структур. В эту задачу, в частности, входит формирование электронных потоков с необходимыми параметрами, создание компактного ускорителя — источника СВЧ-излучения. При проведении этих исследований в настоящее время широкое применение нашли линейные индукционные ускорители (ЛИУ), как источники мощных электронных пучков. С помощью ЛИУ проводятся исследования проблем инерциального термоядерного синтеза, лазеров на свободных электронах (ЛСЭ), мощных импульсных генераторов и усилителей СВЧ-излучения, исследование новых схем ускорителей будущего.

Расширяется применение ЛИУ в промышленности для стерилизации медицинских инструментов и обработки экологически вредных отходов ядерной энергетики.

Цель работы заключалась в разработке, исследовании и создании мощной импульсной системы индукционного ускорителя с высоким темпом ускорения (E_z до 10 кВ/см) электронных пучков (с током до 1,5 кА) и высокой однородностью ускоряющего электрического поля, предназначенного для проведения экспериментов по усилению СВЧ-излучения в черенковской ЛБВ, а также в исследовании новых схем импульсных систем ЛИУ.

Научная новизна

Впервые создана и экспериментально исследована импульсная система ЛИУ с выходной мощностью до 7,5 ГВт, позволяющая реализовать в индукционной секции темп набора энергии 10 кэВ/см при токах электронного пучка до 1,5 кА и длительности плато импульса ускоряющего напряжения ~ 60 нс.

Предложена и разработана новая конструкция звена сжатия, в которой увеличение КПД процесса усиления импульсной мощности достигается за счет компенсации предимпульса и использования его энергии. Получены аналитические выражения для расчета параметров элементов устройства компенсации предимпульса, найдены оптимальные значения этих параметров.

Впервые предложен и реализован способ усиления импульсной

Разработанная система
всесторонне исследована
Библиотека

мощности, в котором при сжатии во времени одновременно увеличиваются импульсные ток и напряжение. С помощью предложенной схемы генератора экспериментально показано, что высокий КПД такого процесса усиления мощности достигается за счет того, что в нем участвует только часть энергии первоначально накопленной в схеме генератора.

Предложен и разработан новый способ формирования импульса ускоряющего напряжения в ЛИУ с крутым фронтом и высокой однородностью плато импульса. Разработана новая концепция построения компактных импульсных систем ЛИУ. Предложены схемы для ее реализации, в которых для формирования мощных импульсов ускоряющего напряжения с крутым фронтом не требуются модуляторы мощных импульсов напряжения с крутым фронтом и генераторы размагничивания сердечников индукторов.

Практическая ценность

Проведенные исследования и эксперименты с созданной секцией ЛИУ позволили получить данные, которые используются при разработке и создании других ЛИУ (МИФИ, МРТИ), а также используются для разработки компактного ЛИУ следующего поколения (Дубна, ОИЯИ) с темпом набора энергии ~ 20 кэВ/см при токах электронного пучка $\sim (2-3)$ кА длительностью ~ 50 нс, с частотой посылок ~ 400 Гц. На ускорителях, собранных из созданных секций ЛИУ, проводятся эксперименты по релятивистской СВЧ-электронике, исследуется работа ЛСЭ, возбуждение магнитного циклотронного авторезонанса и др.

Публикации и апробация работы

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, изложены в 7 публикациях, приведенных в списке литературы.

Результаты работы докладывались на VI-ой Международной конференции по линейным ускорителям "LINAC-86" (Стенфорд, США, 1986 г.), на VII-ой Международной конференции по мощным пучкам частиц "Beams-88" (Карлсруэ, ФРГ, 1988 г.); на VIII-ой Международной конференции "Beams-90" (Новосибирск, 1990 г.); на II-ой Европейской конференции по ускорителям частиц (Ница, Франция, 1990 г.); на IX, X и XI Всесоюзных совещаниях по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 1984, 1986 и 1988 гг.); на XIII совещании по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 1992 г.), а также на семинарах ускорительного подразделения ЛСЭЗ ОИЯИ.

На защиту выносятся:

1. Разработка и реализация импульсной системы линейного

индукционного ускорителя с высоким уровнем выходной мощности, обеспечивающей ускорение сильноточных электронных пучков при большом градиенте ускоряющего электрического поля.

2. Новая схема звена сжатия, в которой увеличение КПД процесса усиления импульсной мощности достигается за счет компенсации предимпульса и использования его энергии.

3. Результаты теоретического и экспериментального исследования влияния перераспределения энергии между параллельными каналами на временной сдвиг выходных импульсов этих каналов в магнито-импульсных генераторах с многоканальным выходом. Обоснование и реализация метода синхронизации выходных импульсов параллельных каналов, питающих общую нагрузку.

4. Предложенный метод размагничивания нелинейных элементов модулятора и индукторов индукционной секции, при их последовательном соединении в цепи, одним двуполярным импульсом, в том случае, когда один из нелинейных элементов цепи требуется размагничивать импульсом одной полярности, а все остальные элементы - импульсом противоположной полярности.

5. Схема, реализующая один из способов усиления импульсной мощности, в котором при сжатии во времени одновременно увеличиваются импульсные ток и напряжение. Использование предложенной схемы в импульсных генераторах повышает их КПД.

6. Новый способ формирования импульса ускоряющего напряжения с крутым фронтом в ЛИУ за счет использования замкнутого цикла намагничивания сердечников индукторов при передаче энергии от накопителя электростатической энергии к пучку заряженных частиц.

Структура диссертации

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 63 наименования. Диссертация содержит 102 страницы машинописного текста, иллюстрируется рисунками в количестве 46.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении охарактеризован современный этап развития линейных индукционных ускорителей, обозначены проблемы, требующие решения при создании мощных импульсных систем ЛИУ, сформулирована цель работы, кратко изложено содержание всех глав, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

Глава I посвящена некоторым вопросам создания магнитоимпульсных генераторов с многоканальным выходом.

Обсуждается влияние предимпульса на процесс усиления импульсной мощности в звеньях сжатия. Процесс образования предимпульса является волновым процессом, альтернативным процессу усиления импульсной мощности и приводит к декомпрессии импульсной мощности. Из требования на процесс усиления импульсной мощности с учетом влияния предимпульса определены максимальное и минимальное значения для коэффициента сжатия (определяется как отношение времени заряда конденсатора в звене сжатия ко времени его разряда) в зависимости от относительной величины предимпульса.

Представлена новая конструкция звена сжатия с компенсацией предимпульса /1/ рис.1. Идея устройства заключается в том, что нелинейный дроссель L_n содержит дополнительную обмотку L_d , с помощью которой заряд предимпульса в процессе намагничивания дросселя L_n передается в дополнительный конденсатор C_d , а затем, после насыщения L_n , энергия из основного конденсатора C_{n-1} и дополнительного C_d передается в конденсатор C_n следующего звена сжатия. Если количество витков в дополнительной обмотке L_d меньше

чем в основной L_n , то при заряде конденсатора C_{n-1} в основной обмотке L_n кроме тока намагничивания i_μ возникает ток i_1 , а в дополнительной обмотке - ток i_2 , превышающий по амплитуде i_1 . Выбирая соответствующее значение емкости дополнительного конденсатора C_d , можно добиться выполнения условия

$$i_2 - i_1 \cong i_\mu \quad (1)$$

Рис.1. Схема звена сжатия с компенсацией предимпульса.

соответствующего компенсации предимпульса по заряду.

Теоретически найдено выражение, определяющее зависимость параметров элементов устройства компенсации от относительной величины предимпульса.

На рис.2 приведены осциллограммы импульсов напряжения на конденсаторах C_{n-1} и C_n в звене сжатия, нелинейный дроссель которого выполнен на ленточном пермаллоевом сердечнике, при длительности процесса сжатия < 300 нс.

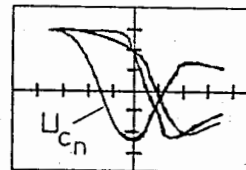


Рис.2. Импульсы напряжения на C_{n-1} и C_n с компенсацией и без компенсации предимпульса. Чувствительность по вертикали 6 кВ/дел., по горизонтали - 100 нс/дел.

Рассмотрен порядок расчета параметров элементов звена сжатия с компенсацией предимпульса. Обсуждается вопрос о методе синхронизации выходных импульсов в магнитоимпульсных генераторах с многоканальным выходом /2/. Этот вопрос возникает при запитке параллельными каналами нескольких нагрузок или одной протяженной распределенной нагрузки совпадающими или сдвинутыми во времени импульсами. Перераспределение энергии между параллельными каналами возникает в точке разветвления схемы и приводит к временному сдвигу между выходными импульсами этих каналов. Теоретически исследуется влияние разброса величин индуктивностей $L_{нас.}$ нелинейных дросселей при насыщении, а также величин $\Delta(BS)$ их сердечников параллельных звеньев сжатия, соединенных с точкой разветвления схемы и принадлежащих разным каналам, на величину временного сдвига между выходными импульсами этих каналов. Показано, что величина временного сдвига при разбросе параметра $\Delta(BS)$ превышает аналогичную величину при разбросе $L_{нас.}$, кроме того, суммарный временной сдвиг при одновременном существовании разброса в $L_{нас.}$ и $\Delta(BS)$ обладает свойством аддитивности. На основании проведенного исследования предложен способ регулировки временного сдвига между выходными импульсами параллельных каналов за счет изменения $\Delta(BS)$ сердечников нелинейных дросселей в параллельных звеньях сжатия, непосредственно соединенных с точкой разветвления схемы.

В главе II дается описание основных узлов импульсной системы созданного ЛИУ. Определяются основные требования к импульсной системе ЛИУ: величина E_z (~10 кВ/см), амплитуда ($U_{xx} \cong 60$ кВ) и длительность ($\Delta t = 60 \div 70$ нс) ускоряющего напряжения на индукторах; выходная мощность (~5 ГВт); амплитуда (~3кА) и длительность (полупериода ~1,2 мс) тока размагничивания и т.д. Приводится общая структурная схема импульсной системы.

Приведены результаты исследования и разработки мощного модулятора /3/ рис. 3.

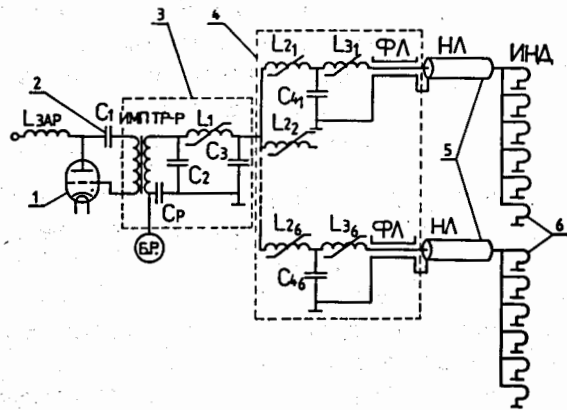


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема модулятора.

Для размагничивания нелинейных элементов модулятора и сердечников индукторов необходимо несколько генераторов. С целью сокращения количества оборудования и упрощения системы синхронизации найдено решение, позволяющее одним генератором, вырабатывающим двуполярный импульс напряжения, размагничивать все нелинейные элементы импульсной системы. Показано, что при выбранных параметрах двуполярного импульса и схемы подключения генератора размагничивания к модулятору выходные параметры импульсной системы не ухудшаются.

Проведены исследования по формированию импульса напряжения, по форме близкого к прямоугольному, на нелинейной нагрузке в схеме с формирующей линией и распределенным магнитным коммутатором, испытывающим воздействие предимпульса. Для формирования плоской вершины импульса время заряда формирующей линии должно превышать длительность нарастания напряжения на ней. При этом амплитуда предимпульса, воздействующего на распределенный магнитный коммутатор, не должна превышать допустимой величины, при которой время нарастания напряжения на формирующей линии в два раза превышает длительность плато формируемого импульса. В целом, как показали исследования, на нелинейной нагрузке формируется импульс по форме близкий к прямоугольному, если время заряда формирующей линии в три раза превышает длительность плато импульса.

Дается подробное описание конструкции модулятора, его элементов и их параметров. Модулятор выполнен в двух модификациях. Они имеют одинаковую конструкцию и отличаются параметрами отдельных элементов.

Приведено описание схемы и конструкции генератора размагничивания. Его схема, параметры выбраны с той целью, чтобы одним двуполярным импульсом размагничивать нелинейные элементы импульсной системы и осуществлять рекуперацию остаточной энергии. Длительность полуволны ($\sim 1,2$ мс) и амплитуда (~ 3 кА) размагничивающего тока соответствуют условиям, при которых отсутствует эффект перефазировки индукторов при воздействии на них импульса напряжения модулятора. В качестве диэлектрика в формирующих линиях модулятора используется деионизованная вода. Для повышения электрической прочности воды в схеме ее очистки используется устройство дегазации центробежного типа. Эффективность устройства $\sim 80\%$. Удельное сопротивление воды на выходе системы деионизации воды $\sim 2 \cdot 10^6$ Ом·см, соответственно время саморазрядки $\tau_c - \sim 10^{-5}$ с, что существенно превышает длительность процессов в модуляторе.

Дается описание конструкции индукционной секции. Представлены результаты измерения динамических кривых приведенного динамического сопротивления крупногабаритных пермалловых сердечников марки 50НП. Представлены результаты наладки импульсной системы ЛИУ. Дается описание режимов работы модуляторов, выполненных в двух модификациях (модулятор I и модулятор II), генератора размагничивания, системы деионизации воды. Отмечаются результаты эксплуатации узлов импульсной системы за несколько лет. Приведены осциллограммы, иллюстрирующие процесс передачи энергии в модуляторах. Измерены их нагрузочные характеристики. Для создания высокого темпа ускорения мощных электронных пучков в ЛИУ необходимо обеспечить эффективную передачу импульсной мощности модулятора в индукционную секцию. В созданной импульсной системе эта задача решена с помощью разработанного специального устройства полоскового типа, согласующего шестиканальный выход модулятора с распределенной по длине нагрузкой - индукционной секцией. На рис. 4 приведена осциллограмма импульса напряжения на вводах индукторов части индукционной секции, состоящей из 6 индукторов (12 сердечников), запитываемых двумя параллельными каналами модулятора I. Выходная мощность модуляторов (I, II) определялась по осциллограммам

импульсов напряжения на нагрузке (0,7-0,8) Ом, соответствующей расчетной нагрузке индукционной секции, включающей 18 индукторов и составляет для модулятора I - до 5 ГВт (КПД ~ 75%); для модулятора II - до 7,5 ГВт (КПД ~ 60%).

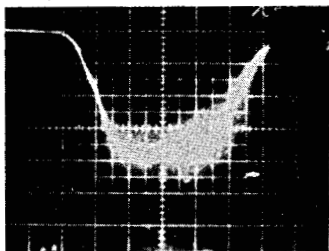


Рис.4. Импульс ускоряющего напряжения на вводах 6 индукторов. Развертка по горизонтали - 20 нс/дел. Чувствительность по вертикали - 18 кВ/дел.

Представлены результаты исследования по синхронизации выходных импульсов параллельных каналов в полномасштабном модуляторе. Они подтвердили вывод I главы об эффективности предложенного способа синхронизации выходных импульсов параллельных каналов за счет изменения $\Delta(BS)$ сердечников дросселей в параллельных звеньях сжатия, соединенных с точкой разветвления схемы. Экспериментально достигнутая точность синхронизации импульсов $\sim(1\pm 2)$ нс. На рис.5 показан общий вид созданной ускоряющей секции.



Рис.5. Общий вид ускоряющей секции ЛИУ.

Представлены экспериментальные результаты по формированию трубчатого пучка электронов, полученные на одной секции созданного ЛИУ (рис.6 и 7) /4/. Ускоряющее напряжение на индукторах индукционной секции формировалось с помощью модулятора II. Измеренная максимальная энергия ускоренных в секции электронов составляет 1,5 МэВ, максимальная полученная мощность в пучке $w=2$ ГВт.

Глава III посвящена предложенным новым схемам импульсных систем ЛИУ.

К настоящему времени во многих лабораториях созданы и используются для решения прикладных задач и проведения фундаментальных исследований ЛИУ. Для некоторых задач (например, для реализации схемы двухпучкового ускорения) важно, чтобы ЛИУ генерировал мощные высокоэнергетические пучки электронов и обладал небольшими габаритами. Проблема состоит в том, что с ростом погонной мощности, передаваемой пучку электронов в ЛИУ, увеличиваются габариты его импульсной системы. Как показывает анализ схем импульсных систем созданных ЛИУ, эта проблема

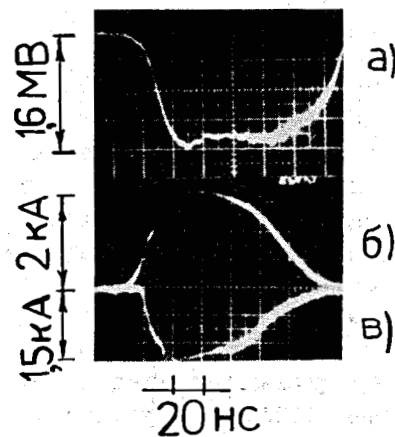


Рис.6. а) импульс суммарного напряжения на ускоряющей секции; б) осциллограмма тока в диоде; в) осциллограмма тока ускоренного пучка на выходе секции.

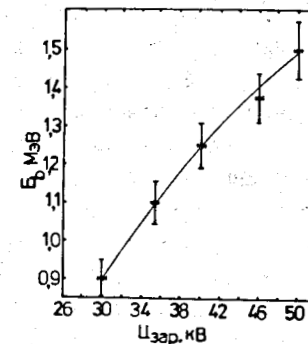


Рис.7. Зависимость энергии пучка от напряжения на накопительной емкости модулятора II.

является следствием традиционного подхода к построению импульсной системы ЛИУ. В главе III рассматривается новая концепция ее

построения. В рамках этой концепции импульсная система представляет собой двухступенчатую схему. Первая ступень преобразует электростатическую энергию в импульсную и питает вторую ступень. Вторая ступень содержит индукционную секцию, в которой индукторы соединены в определенной последовательности с емкостными накопителями энергии. Индукторы являются одновременно и коммутаторами и преобразователями энергии, передаваемой пучку заряженных частиц. Представлены схемы, разработанные для реализации предложенной концепции. Дается описание схемы генератора импульсов высокого напряжения (рис.8), реализующей один из способов усиления импульсной мощности, в котором при сжатии во времени одновременно увеличивается импульсный ток и напряжение ^{15/}. Генератор содержит: коммутатор (К), накопительный конденсатор (С₁), насыщающийся трансформатор (Тр-р), и два последовательно соединенных конденсатора С₂ и С₃. Нелинейный дроссель L₁ образует цепь заряда конденсатора С₂. Процессы в схеме протекают в два этапа. На первом этапе происходит заряд конденсаторов С₂ и С₃. По окончании заряда С₂ и С₃ при насыщении сердечника трансформатора происходит перезаряд конденсатора С₃ за время в несколько раз меньше, чем время его заряда. Конденсатор С₂ не перезаряжается, поэтому на выходе генератора (в точке б) напряжение в два раза выше, чем в точке (а) при заряде конденсаторов С₂ и С₃. Экспериментально показано ^{16/}, что высокий КПД схемы достигается за счет того, что только часть первоначально запасенной энергии в ней участвует в процессе усиления импульсной мощности. На рис.9 показаны осциллограммы напряжения в точках (а) и (б) в схеме на рис.8. Схема может использоваться в качестве первой ступени импульсной системы ЛИУ.

Обсуждается новый способ формирования импульса ускоряющего напряжения в ЛИУ. Одна из возможностей реализации предложенной концепции основана на этом способе. Идея способа ^{17/} заключается в том, что передача энергии от электростатического накопителя энергии к пучку заряженных частиц осуществляется при замкнутом цикле намагничивания по петле гистерезиса ферромагнитных сердечников через дополнительный емкостной накопитель энергии. В отличие от традиционного способа, в новом способе при первичном возбуждении индуктора энергия передается в дополнительный емкостной накопитель энергии. При этом сердечник индуктора намагничивается в прямом направлении. При разряде дополнительного емкостного накопителя энергии индуктор возбуждается вторично. При

этом сердечник индуктора намагничивается в направлении обратном первоначальному, а на его обмотке формируется импульс ускоряющего напряжения с крутым фронтом.

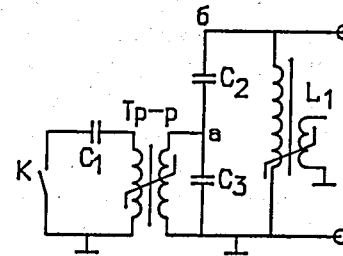


Рис.8.Схема генератора импульсов высокого напряжения.

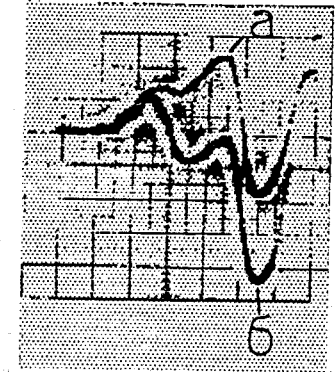


Рис.9.Осциллограммы напряжения в точках (а) (верхний луч) и (б) в схеме на рис.8.

Чувствительность по вертикали - 10 кВ/дел.; длительность раз-вертки - $\tau_p = 1$ дкс/дел.

Представлены схемы импульсных систем ЛИУ, разработанные на основе предложенного способа. Одна из них, схема импульсной системы ЛИУ с перезарядкой дополнительного емкостного накопителя энергии, представлена на рис.10.

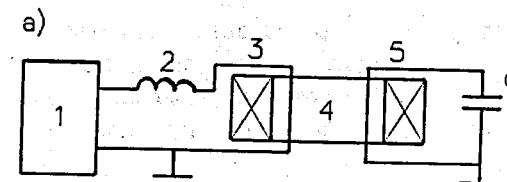


Рис.10.Принципиальная схема импульсной системы ЛИУ с перезарядкой дополнительного емкостного накопителя энергии.

- 1 - преобразователь электростатической энергии в импульсную;
- 2 - дроссель; 3 - первичная обмотка; 4 - сердечник индуктора;
- 5 - дополнительная обмотка; 6 - дополнительный емкостной накопитель энергии.

В этой схеме импульсы ускоряющего напряжения формируются с помощью дополнительной обмотки 5 при разряде конденсатора 6. Импульс ускоряющего электрического поля фиксировался измерительной обмоткой (на рис.10 не показана), которая охватывала сердечник индуктора и, с одной стороны, землилась, а, с другой стороны, подсоединялась к высоковольтному делителю.

Экспериментально показано (рис.11 для схемы на рис.10), что схемы формируют импульсы ускоряющего напряжения с крутым фронтом и высокой однородностью плато импульса. При этом не требуется модулятор импульсов напряжения с крутым фронтом и генератор размагничивания сердечников индукторов.

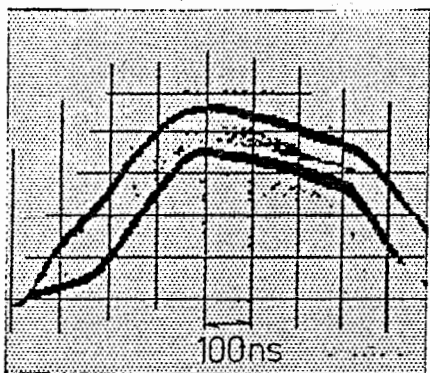


Рис.11. Импульсы ускоряющего напряжения (верхний луч) и ускоряющего электрического поля. Оба импульса имеют одинаковую амплитуду - 10 кВ, но для ясности картины амплитуда импульса ускоряющего электрического поля при осциллографировании специальным образом уменьшена. Развертка по горизонтали $\tau_p = 100$ нс/дел.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертации.

1. Предложена, разработана и реализована импульсная система линейного индукционного ускорителя с выходной мощностью до 7,5 ГВт. Импульсная система обеспечивает ускорение электронных пучков с током до 1,5 кА и длительностью ~ 60 нс при темпе набора энергии до 10 кэВ/см.

2. Разработаны и созданы генератор, вырабатывающий двуполярный импульс напряжения, и схема его подключения к модулятору. С помощью генератора и схемы его подключения к модулятору осуществлен процесс, в котором сердечник импульсного трансформатора размагничивается отрицательной частью, а сердечники остальных нелинейных элементов модулятора и индукционной секции — положительной частью двуполярного импульса. Для осуществления этого процесса нелинейные элементы, кроме

импульсного трансформатора, необходимо размагничивать первой полувольтной двуполярного импульса, а их магнитные сопротивления должны быть значительно меньше магнитного сопротивления импульсного трансформатора.

3. Для обеспечения максимально эффективной передачи импульсной мощности модулятора в индукционную секцию разработано и создано специальное устройство полоскового типа, согласующего шестиканальный выход модулятора с распределенной по длине нагрузкой — индукционной секцией. Экспериментально показано, что согласующее устройство обеспечивает мощность в пучке ~ 2 ГВт при ускорении электронного пучка с током $\sim 1,5$ кА.

4. Предложен и теоретически обоснован способ регулировки временного сдвига между выходными импульсами в магнито-импульсном генераторе с многоканальным выходом, позволяющий путем изменения величины ($\Delta B S$) сердечников дросселей в параллельных звеньях сжатия, соединенных с точкой разветвления схемы генератора, эффективно регулировать его величину. Экспериментально показано, что точность синхронизации выходных импульсов параллельных каналов при таком способе не превышает (1-2) нс.

5. Определены условия формирования импульса, близкого по форме к прямоугольному, на нелинейной нагрузке в схеме с формирующей линией и распределенным магнитным коммутатором, испытывающим воздействие предимпульса. Экспериментально показано, что на нелинейной нагрузке формируется импульс почти прямоугольной формы, если время заряда формирующей линии в три раза превышает длительность плато формирующего импульса.

6. Предложена новая схема звена сжатия с компенсацией предимпульса. Получены выражения для расчета параметров элементов схемы. Найдены оптимальные значения этих параметров.

Новая схема:

а) повышает КПД устройства за счет передачи энергии предимпульса в последующее звено сжатия;

б) в последующем звене сжатия исключает прямое импульсное магнитное смещение сердечника нелинейного дросселя, что позволяет сократить его габариты и увеличить коэффициент сжатия звена.

7. Предложена и реализована новая схема, которая может использоваться как генератор импульсов высокого напряжения. С помощью этой схемы осуществлен один из способов усиления импульсной мощности, в котором за счет сжатия во времени одновременно увеличиваются импульсные ток и напряжение.

Использование предложенной схемы в импульсных устройствах повышает их КПД.

8. Предложен новый способ формирования импульса ускоряющего напряжения в ЛИУ, в котором крутой фронт импульса формируется при замкнутом цикле намагничивания ферромагнитного сердечника индуктора, осуществляемом в процессе передачи энергии через его обмотку в дополнительный емкостной накопитель энергии и его последующем разряде, за счет изменения направления тока в обмотке индуктора.

9. Разработана новая концепция построения импульсных систем ЛИУ. Использование ее при разработках схем импульсных систем ЛИУ позволяет сократить количество функциональных элементов и повысить качественный уровень выходных параметров этих схем. Предложены две схемы для реализации новой концепции. При формировании импульса ускоряющего напряжения в ЛИУ с помощью этих схем не требуется генератор размагничивания сердечников индукторов и модулятор мощных импульсов напряжения с крутым фронтом.

Литература

1. А. И. Сидоров. Звено сжатия с компенсацией предимпульса. Труды XIII совещания по ускорителям заряженных частиц, т. I, Дубна, 1993, с. 339.
2. А. И. Сидоров, В. И. Казача, А. К. Красных, В. П. Саранцев. Импульсная система линейного индукционного ускорителя. Сообщение ОИЯИ, Р9-89-845, Дубна, 1989.
3. Г. В. Долбилов, В. И. Казача, В. П. Саранцев, А. И. Сидоров. Модулятор линейного индукционного ускорителя электронно-ионных колец ЛУЭК-20. ПТЭ, №5, 1987, с. 41.
4. О. В. Архипов, Л. В. Бобылева, В. И. Казача, Г. И. Коннов, А. К. Красных, И. В. Кузнецов, А. Ю. Никитский, Э. А. Перельштейн, А. И. Сидоров. Формирование и ускорение сильноточного трубчатого пучка электронов в модифицированной секции ЛИУ. Сообщение ОИЯИ, Р9-89-613, Дубна, 1989.
5. А. И. Сидоров. Генератор импульсов. А. с. №1748233. БИ, № 26 от 15.07.92 г.
6. А. И. Сидоров. Генератор импульсов высокого напряжения на индуктивно связанных контурах. Труды XIII совещания по ускорителям заряженных частиц, т. I, Дубна, 1993, с. 309.
7. А. И. Сидоров. Новый способ формирования импульса ускоряющего напряжения в ЛИУ. Препринт ОИЯИ, Р9-93-93, Дубна, 1993.

Рукопись поступила в издательский отдел

14 сентября 1993 года.