

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С 345e 3
Ш - 35

13/x-75

13 - 9077

В.А.Швед

3971/2-75

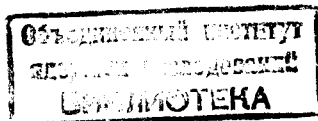
ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ
МОНОХРОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЛИУ

1975

13 - 9077

В.А.Швец

**ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ
МОНОХРОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЛИУ**



ВВЕДЕНИЕ

В работе ^{/1/} было отмечено, что в линейном индукционном ускорителе /ЛИУ/ электронный пучок имеет некоторую длительность фронта и спада, обусловленную недостатками инжектора. Эта длительность находится в пределах 100-500 нс и электроны, следующие на фронте и спаде ускоряемого сгустка частиц, будут теряться в процессе ускорения по всему тракту ЛИУ. Место бомбардировки стенок ускорительной камеры зависит от энергии, находящейся в диапазоне $0,9 E_{\text{НОМ}}$.

В работе ^{/2/} предложен способ устранения монохроматичных электронов из процесса ускорения, заключающийся в отклонении их импульсным магнитным полем. Это поле создается на коротком участке ускорительного тракта в импульсном дефлекторе, представляющем собой полый, разрезанный в осевом направлении и в одной из меридиональных плоскостей охлаждаемый цилиндр. Дефлектор должен удовлетворять ряду требований, определенных в работе ^{/1/}: длина его разреза должна быть достаточной для отклонения электронов на определенном участке, а конструкция - не искажающей наносекундные фронт и спад импульса тока монохроматизации.

Настоящая работа посвящена решению проблем, возникших при создании системы монохроматизации электронного пучка ЛИУ.

Для отклонения электронного пучка с током 250 А и энергией 700 кэВ на длине, например, 15 см, необходима амплитуда импульсов тока монохроматизации 950 А ^{/1/}. Длительности фронта и спада определяются

требованиями процесса ускорения без потерь электронов в тракте и должны составлять 1% или менее от общей длительности ускоряемого сгустка /0,5 мкс/. Длительность плоской вершины импульса монохроматизации - /0,4±0,6/ мкс /1/. Проблеме создания низкоомных обострителей, формирующих килоамперный перепад тока на активной нагрузке при приложенном напряжении в единицы киловольт, посвящена работа /3/. Шестьсот ячеек этой нелинейной квазикоаксиальной линии формируют перепад тока амплитудой до 1 кА на нагрузке 3,5 Ом длительностью 1 нс. Входное сопротивление линии равно 1,5 Ом, что потребовало разработки принципиально нового типа накопителя в классической схеме генератора: источник питания - накопитель - ключ /тиратрон/ - обостритель - нагрузка.

Для формирования импульса на активной нагрузке в качестве накопителя энергии обычно используются искусственные линии типа многозвенных фильтров, для наносекундных длительностей - системы параллельно включенных отрезков коаксиальных кабелей или полосковые линии. Если нагрузка составляет 1-2 Ом, а формируемый импульс - 0,5±1,0 мкс, то в таком накопителе индуктивность рассеяния конструкции $L_{\text{расс}}$ становится соизмеримой с собственной индуктивностью. Значение же $L_{\text{расс}}$ должно быть на один или несколько порядков меньше собственной индуктивности для устранения ее влияния на заваливание фронта импульса. Зарядные линии /накопителя энергии/ системы монохроматизации изготовлены следующим образом /рис. 1/: катушка индуктивности 1, имеющая на малые значения волновых сопротивлений небольшое количество витков /обычно 10±20/, наматывается широкой лентой на круглый жесткий каркас 2 с минимально возможным /1±2 мм/ зазором между витками. Ширина ленты выбирается равной /0,5±1,0/ диаметра конденсаторов 3. На витки образовавшегося соленоида навинчиваются /или прикрепляются/ одноименными выводами конденсаторы 3 /в данной конструкции КВИ-3 3300 пФ 10 кВ/. Они располагаются по спирали соленоида так, что другие выводы конденсаторов, помещенных на соседних витках через полный оборот спирали, оказываются на одной линии и соединены шинами. Шины

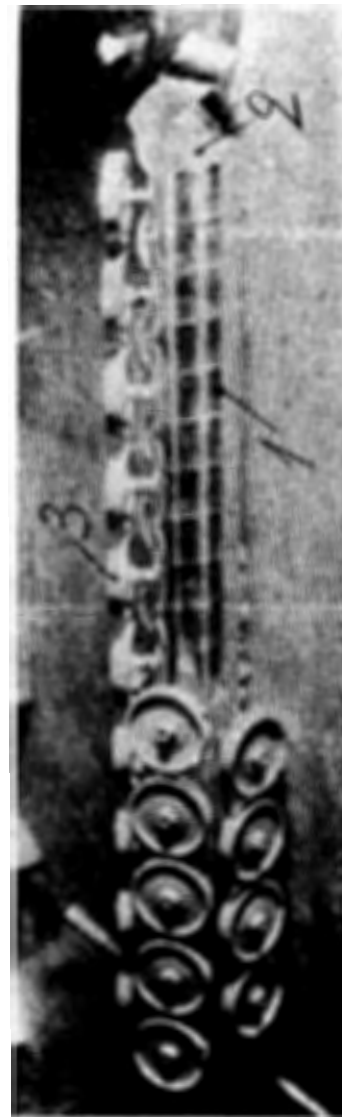


Рис. 1. Накопитель системы монохроматизации.

пропаиваются между собой и образуют сплошной экран, осесимметричный с соленоидом и имеющий минимальную собственную индуктивность. Магнитное поле рассеяния сведено до минимума за счет соленоидальной намотки катушки индуктивности и коаксиального экрана. Все эти меры позволяют получить при низком зарядном напряжении тиратрона ТГИ1-1000/25 / $U_{зар.} = 5 \div 6$ кВ/ длительность фронта 80 нс при работе на обостритель / $\rho_0 = 1,5$ Ом/. Накопитель конструктивно соединен с тиратроном. Для волнового сопротивления $\rho_0 = 1,5$ Ом и длительности импульса $\tau_{и} = 0,6$ мкс необходимы суммарная емкость $0,2 \cdot 10^{-6}$ Ф и индуктивность $0,45 \cdot 10^{-6}$ Н. Соленоид наматывается лентой шириной 47,5 мм с зазором между витками 1-1,5 мм на каркас диаметром 50 мм; при количестве конденсаторов КВИ-3 55 шт. длина линии получается 550 мм, наружный диаметр - 110 мм. На рис. 2 приведена осциллограмма импульса тока длительностью 1,5 мкс амплитудой 2 кА в нагрузке 1,5 Ом.

Схемы формирования прямоугольного импульса с фронтом и спадом в единицы наносекунд длительностью от 10 до 100 нс обычно представляют собой тройниковые разветвления, плечи которых составлены из нелинейного обострителя, короткозамкнутого линейного кабеля и нагрузки /4/. Сложение импульсов разной полярности с крутым фронтом от двух линий, включенных фазоинвертно, позволяет также получить короткий импульс $10 \div 100$ нс при длительностях исходных импульсов в $400 \div 600$ нс /5/. В нашем же случае нужна длительность импульса отсечки спада и фронта ускоряемого сгустка не менее 0,4 мкс.

Система монохроматизации электронного пучка ЛИУ состоит из двух однотипных каналов /рис. 3 и 4/. Каждый канал включает регулируемый источник питания, описанный выше накопитель 1, коммутатор 2 /тиратрон ТГИ1-1000/25/ и схему формирования импульса. Большую трудность представляет формирование импульса отсечки фронта ускоряемого сгустка, т.к. колебания, возникшие в схеме, попадают на рабочую часть его. Требуется очень тщательное согласование элементов конструкции дефлектора 3 /рис. 3 и 4/ с трактом, состоящим из нелинейных обострителей 4 и тройников 5 и 6. В ре-

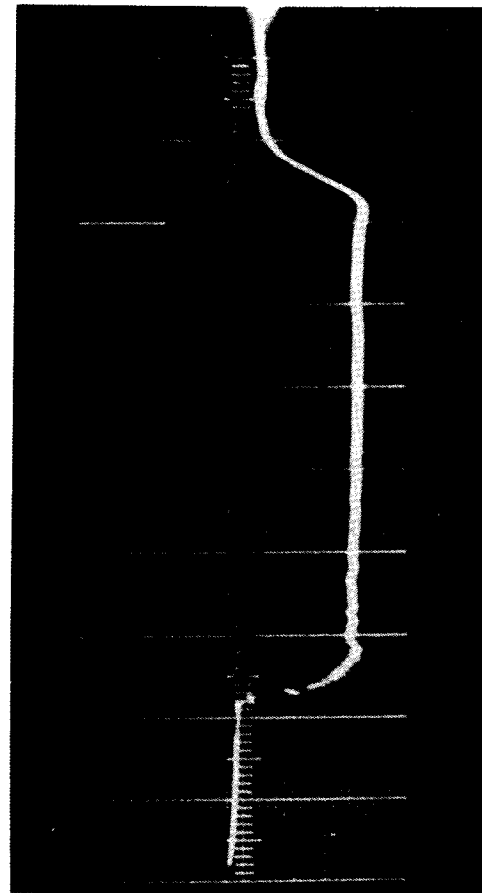


Рис. 2. Осциллограмма импульса тока амплитудой 2 кА в нагрузке 1,5 Ом /развертка 250 нс/см/.

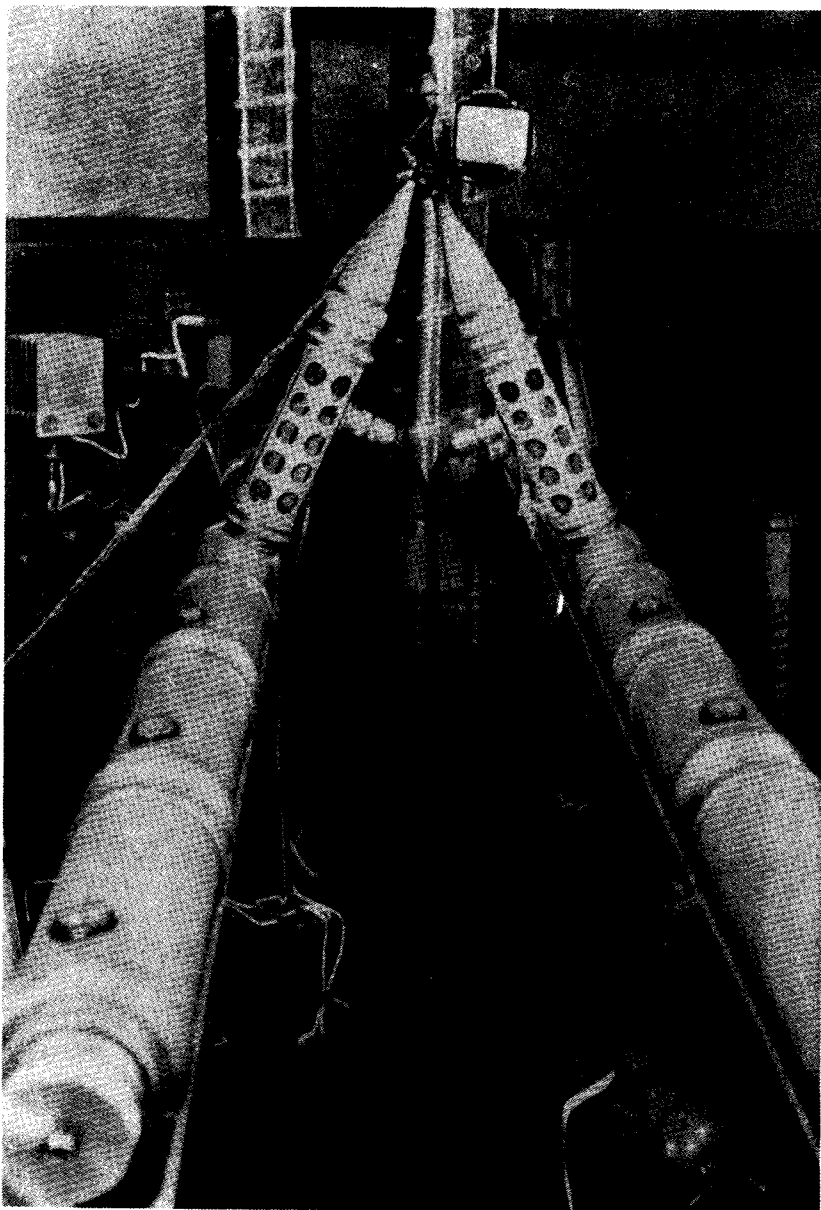


Рис. 3. Система монохроматизации на стенде.

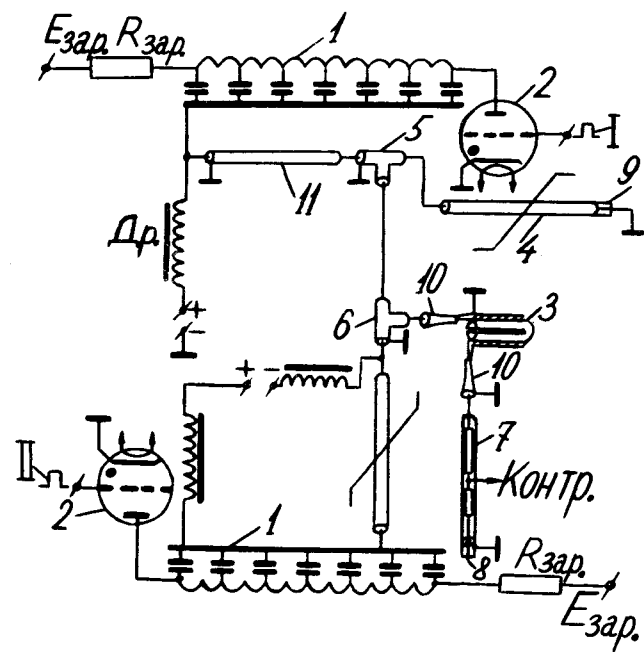


Рис. 4. Схема формирования импульсов монохроматизации.

зультате экспериментов было выяснено, что дефлектор нельзя ставить между нагрузкой 7 /рис. 3/ и короткозамыкателем 8, т.к. короткое замыкание должно быть безиндуктивным. В противном случае возникают колебания, в несколько раз превосходящие амплитуду импульса.

Расчет погонных параметров L и C дефлектора /1/, а также его емкости C_1 на корпус дефлекторной секции позволил решить задачу согласования его волнового сопротивления с волновым сопротивлением тракта формирования и сопротивления нагрузки. Регулирование волнового сопротивления дефлектора осуществляется изменением емкости C_1 , которая находится из известного выражения:

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0\ell}{\ell_n \frac{D_1}{D}} \quad /1/$$

где ℓ - длина корпуса секции /длина дефлектора/,
 ϵ - диэлектрическая проницаемость изоляции в зазоре

$\frac{D_1 - D}{2}$ между корпусом и дефлектором, $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\Phi}{M}$, D_1 и D - диаметры корпуса и дефлектора.

Определив погонную индуктивность L /1/, подбираем емкость C_1 ($C_1 \gg C$) такой, чтобы волновое сопротивление дефлекторной секции было равно сопротивлению нагрузки.

Работа схемы формирования осуществляется следующим образом: после прохождения линейного плеча 11 /33 параллельно включенных кабеля РК-50-2-11/ импульс попадает на тройниковое разветвление 5 /рис. 4/. Здесь он делится между последовательно включенным дефлектором и нагрузкой и вторым плечом. На нагрузке появляется фронт формируемого импульса. Второе плечо на свободном конце короткозамкнуто /9/ и состоит из нелинейных обострителей. Длина второго плеча выбирается с учетом времени прохождения возникшей в результате распространения по нелинейному участку ударной волны

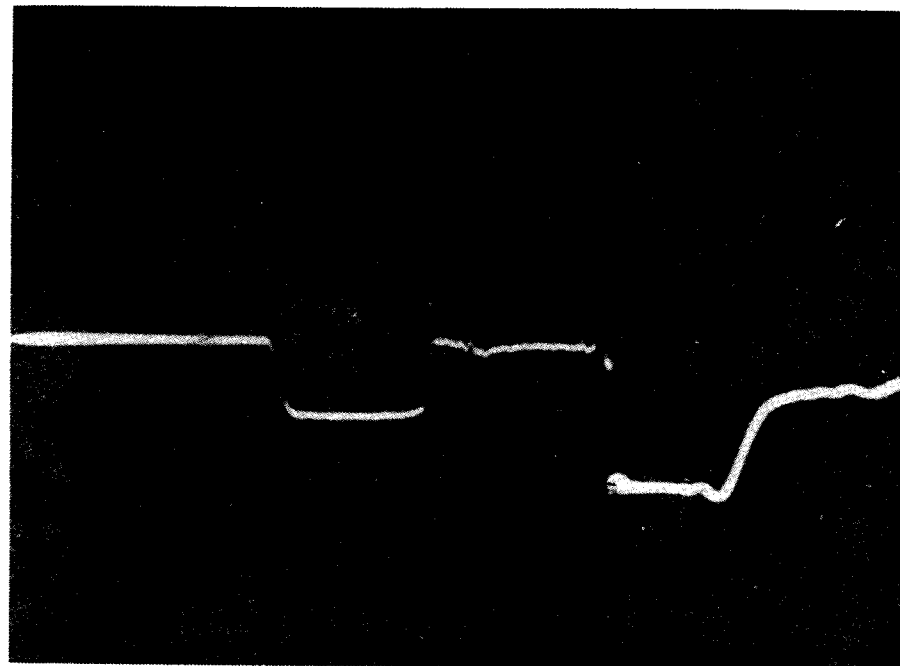


Рис. 5. Оциллограмма импульсов монохроматизации амплитудой 400 А и 600 А /развержка 250 нс/см/.

до короткого замыкания и обратно и электрически ($\ell = t \cdot v$) равна требуемой длительности вершины импульса монохроматизации. В отличие от линейного кабеля^{4/}, здесь поддерживаются стационарные условия существования ударной электромагнитной волны, и фронт импульса, несколько затянувшись при прохождении короткозамкнутого отрезка в одном направлении, обостряется при прохождении нелинейного плеча 4 в обратном направлении. Регулированием величины нагрузки и волнового сопротивления дефлекторной секции подбирают полное отсутствие отражений в схеме. Сложение волн в нагрузке дает спад импульса монохроматизации, длительность которого - от 1 до 5 нс в зависимости от длины плеча 4. Длина плеча 11 выбирается такой, чтобы послепоследние импульсы, возникшие в схеме, при отражении от генератора вернулись к нагрузке не менее, чем через 0,5 мкс /длительность плоской вершины ускоряемого сгустка электронов в ЛИУ-30/ /рис. 5/.

Второй канал подключен /рис. 4/ через тройник 6 к последовательно соединенным дефлектору 3 и нагрузке 7. Так как после окончания ускоряемого сгустка следует пауза \approx в 20 мс, то спад второго импульса монохроматизации формировать не нужно. Обостряется только его фронт до 2 нс /рис. 5/. Соединение обострителей и дефлектора с накопителем и нагрузкой происходит с помощью ввода /вывода/ импульса 10 /рис. 4/, который представляет собой переход с коаксиала на полосковую линию без изменения волнового сопротивления.

Коаксиал на волновое сопротивление 3,5 Ом с учетом $U_{\text{раб}} = 8 \text{ кВ}$ имеет диаметры внутреннего и наружного проводника 37,5 и 41 мм /толщина диэлектрика 1,75 мм/. Плавный переход на полосковую линию осуществлен постепенным сжатием его в одной из плоскостей, и изменением ширины пластин так, что конечные размеры линии удовлетворяют $\rho_{\text{вых}} = 3,5 \text{ Ом}$. Размеры полосковой линии вычисляются по формуле:

$$\rho = \frac{30\pi\epsilon K(k)}{K(k')}, \quad /2/$$

где $K(k)$ и $K(k')$ - полные эллиптические интегралы первого рода с модулями $k = \text{sch}(\pi D_2/4h)$ и $k' = \text{th}(\pi D_2/4h)$, ρ - волновое сопротивление, D_2 - ширина центральной пластины полосковой линии, h - толщина диэлектрика.

Для $\rho = 3,5 \text{ Ом}$, $2h + d = 3,6 \text{ мм}$, $d = 0,1 \text{ мм}$ - толщина материала пластин расчет по формуле /2/ дает значение $D_2 = 64,28 \text{ мм}$. Расстояние от торцов центральной пластины до экрана должно быть в 10-20 раз больше ее толщины.

Литература

1. В.А.Швец. ОИЯИ, 13-8844, Дубна, 1975.
2. И.М.Матора и др. ОИЯИ, Р9-5268, Дубна, 1970.
3. Р.В.Харьюзов, В.А.Швец. ОИЯИ, 13-8709, Дубна, 1975.
4. И.Г.Камаев. "Ударные электромагнитные волны", М., Сов. радио, 1963.
5. А.Н.Мешков. ПТЭ, №5, 1965, стр. 63.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июля 1975 года.