

А.М.ЕГОРОВ, докт. физ.-мат. наук; **В.Б.ЮФЕРОВ**, докт. техн. наук;
О.С.ДРУЙ; **В.А.СЕРОШТАНОВ**; **С.В.ШАРЫЙ**;
В.В.ЕГОРЕНКОВ; **Е.В.РЫБАС**; **Р.С.ПРОСКУРНЯ**; Национальный
научный центр «Харьковский физико-технический институт»

ИМПУЛЬСНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ С ПЛАЗМОЭРОЗИОННЫМ РАЗМЫКАТЕЛЕМ ТОКА ДИН-2КМ

Проведено попередні дослідження імпульсного електронного прискорювача з плазмовим перебивачем струму. Отримано осцилограми струму розряду ГІС та електронного пучка. Проведено розрахунок напруги розмикання струму ГІС.

Preliminary experiments have been carried out on the impulse accelerator with plasma circuit breaker of current. The oscillograms of discharge current of GCI and electron beams are released. The calculation of voltage breaking by GCI current are made.

Постановка проблемы. В работе [1] проведены исследования сильноточного плазменного коммутатора. На его основе созданы СВЧ-генераторы [2] и ускорители мощных наносекундных импульсов. Для различных научно-технических задач требуются малогабаритные ускорители. В свете этого проведена модернизация наносекундного сильноточного электронного ускорителя ДИН-2КМ. Модернизация проводится с целью снижения его массогабаритных параметров, повышения стабильности и улучшения рабочих характеристик [3, 4], в частности, повышения величины токового импульса, а также с целью перехода с электронной на ионную компоненту.

Целью данной работы является проведение предварительных экспериментов для определения рабочих характеристик ускорителя после его модернизации.

Описание установки. Импульсный ускоритель ДИН-2КМ представляет собой коаксиальный ускоритель с плазменным размыкателем тока (рис. 1). Цилиндрическая вакуумная камера выполнена из нержавеющей стали, внутри которой расположен полый катод 1. На расстоянии 8 мм от катода находится сетка-анод 3 (сетка из нержавеющей стали с прозрачностью 80 %). По внешнему радиусу вакуумной камеры, в средней ее части, расположен блок плазменных пушек 2. Он включает шесть 4-х электродных плазменных пушек планарного типа, размещенных по цилиндрической образующей с диаметром около 20 см и длиной 15 см, создающих плазму с помощью одновременного разряда и инъекции по радиусу в середину цилиндра. Разряд проходил по поверхности диэлектрика – оргстекла.

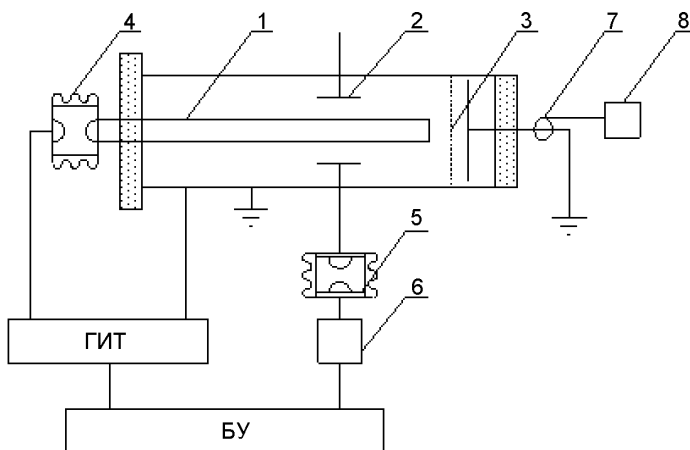


Рисунок 1 – Структурная схема ДИН:

1 – катод; 2 – плазменные пушки; 3 – анод-сетка; 4 – разрядник ГИТ;
 5 – разрядник плазменных пушек; 6 – конденсаторная батарея плазменных
 пушек; 7 – пояс Роговского; 8 – осциллограф

При подаче запускающего импульса на разрядник, конденсаторы, предварительно заряженные до одинакового напряжения разряжаются каждый через свою пушку. Суммарный ток – около 150 кА, длительность импульса – 7 мкс. Схема включения пушек и осциллограмма разряд представлены на рис. 2. Плотность плазмы в зазоре коаксиала при этих условиях, во время инъекции, была на уровне $(3-4) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

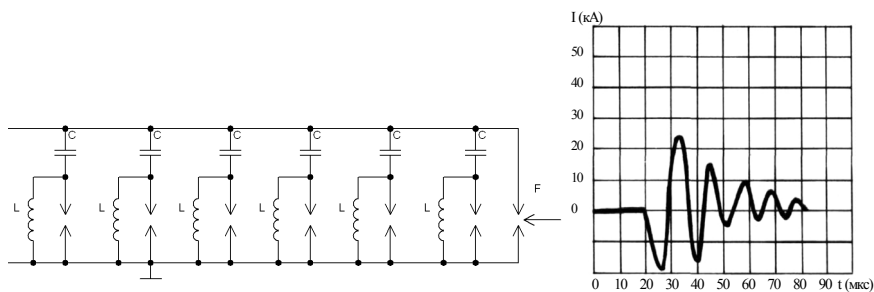
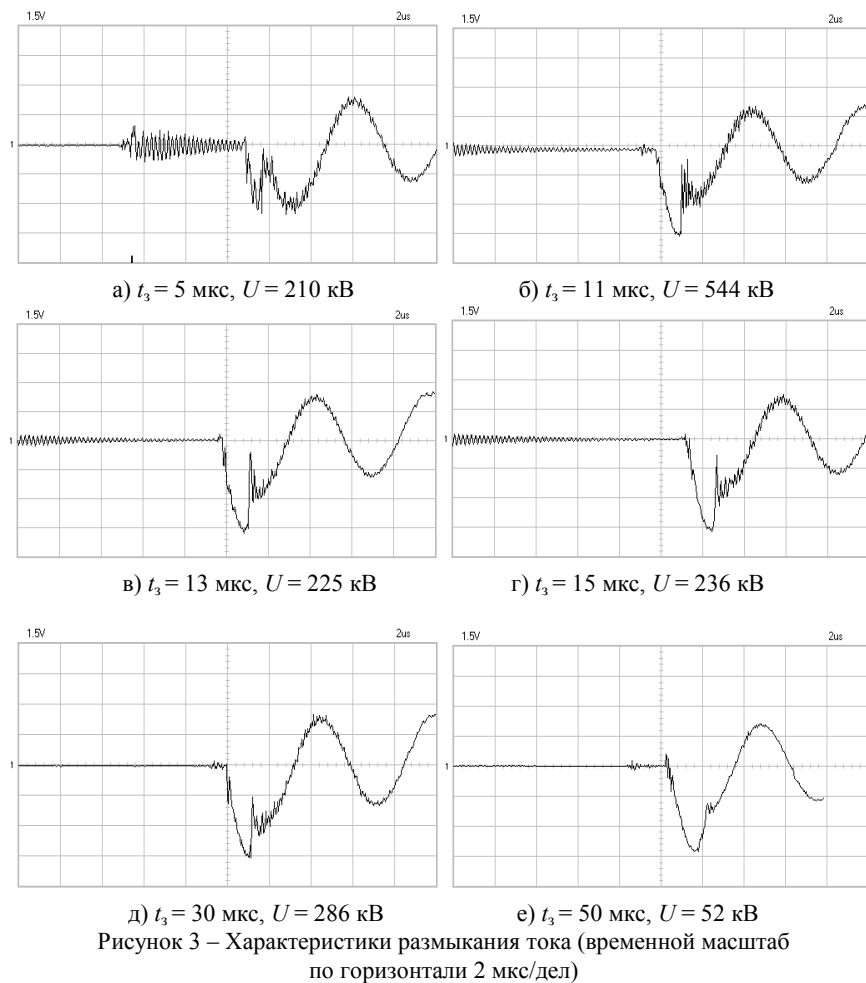


Рисунок 2 – Электрическая схема включения пушек в разрядный контур
 и осциллограмма тока одной пушки

В процессе модернизации установки была устранена система ведущего магнитного поля на коаксиале и увеличено число плазменных пушек.

Принцип работы. Плазма инжектируется в коаксиал через который с задержкой в несколько микросекунд пропускается ток ГИТа. При достиже-

нии максимальной величины тока ГИТа и, соответственно, накоплении энергии в индуктивном накопителе, срабатывает плазменный размыкатель тока и энергия, запасенная в индуктивности, переключается на вакуумный диод. Из-за высокой скорости разрыва тока появляется перенапряжение, превышающее первоначально приложенное в 3÷15 раз, при этом генерируется электронный пучок с током около 100 кА, диаметром около 3 см, напряжением около 300 кВ и длительностью тока пучка – 30÷70 нс.



Экспериментальные данные. На рис. 3 показаны типичные осциллограммы размыкания тока через плазменный ключ с различными задержками.

Для каждого графика указано так же максимальное напряжение U размыкания плазменного ключа.

На всех осциллограммах вблизи максимума тока наблюдается вертикальный сброс, характеризующий процесс размыкания плазменного ключа.

На рис. 4 представлена растянутая по времени осциллограмма, позволяющая определить величину dI/dt и рассчитать величину появляющегося на индуктивности напряжения U .

Методика расчета приведена для сигнала с задержкой 13 мкс, рис. 3.в. Напряжение на плазменных пушках – 13 кВ. Конденсаторная батарея ГИТ заряжалась до 25 кВ. Период разряда – 6 мкс. Максимальный ток ГИТ и индуктивность катода определяются:

$$I_{\max} = \frac{2\pi U_0 C}{T}; \quad L = \frac{T^2}{4\pi^2 C},$$

где U_0 и C – зарядное напряжение и емкость батареи; T – период разряда.

Для данного сигнала $I_{\max} = 78,5$ кА, $L = 300$ нГн. Отношение максимального тока к току разрыва дает $dI = 0,66 \cdot I_{\max}$.

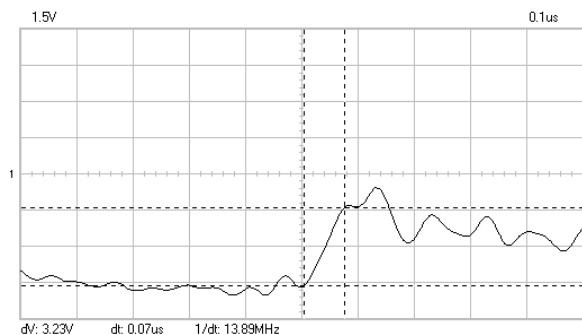


Рисунок 4 – Размыкание тока с задержкой 13 мкс (временной масштаб по горизонтали 0,1 мкс/дел)

Таким образом, напряжение на катоде $U = L \frac{dI}{dt} = 225,6$ кВ. Коэффициент умножения – 9.

На рис. 5 представлены осциллограммы тока разряда и дифференциальный сигнал на коллектор (см. рис. 1 поз. 7) с пояса Роговского. Как видно ток пучка появляется в момент размыкания плазменного ключа при появлении скачка напряжения на индуктивности.

Выводы. Проведенная модернизация ускорителя ДИН-2КМ позволила

уменьшить массогабаритные параметры без ухудшения его рабочих характеристик а также повысить плотность плазмы и ток пучка. Ускоритель подготовлен для проведения работ с многозарядными ионами.

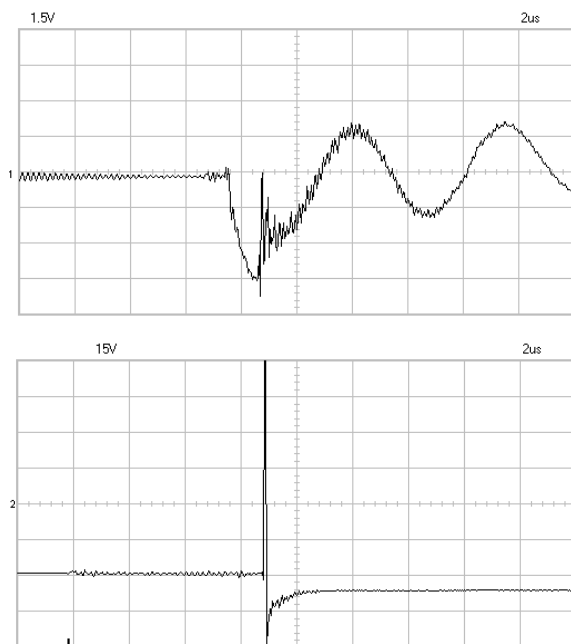


Рисунок 5 – Сигналы разряда ГИТ и тока пучка

Список литературы: 1. В.Г.Артюх, Е.И.Скибенко, Ю.В.Ткач, В.Б.Юферов Исследования сильного плазменного коммутатора // Препринт ХФТИ 89 - 28. – Москва ЦНИИ Атоминформ, 1989. 2. Б.М.Ковальчук, Г.А.Месяц Генератор мощных наносекундных импульсов с вакуумной линией и плазменным прерывателем тока // Препринт № 23. – Томск. Томский филиал СО АН СССР, 1995. 3. В.Г.Артюх, Е.И.Скибенко, Ю.В.Ткач, В.Б.Юферов Плазменно-вакуумные характеристики быстродействующего коммутатора тока // Препринт ХФТИ 94 - 12. – Харьков, 1994. 4. В.Г.Артюх, Е.И.Скибенко, Ю.В.Ткач, В.Б.Юферов Исследование возможности стабилизации характеристик быстродействующего плазменного коммутатора тока // УФЖ. – 1995. – Т. 40, № 8. – С. 805.

Поступила в редколлегию 25.10.2006.