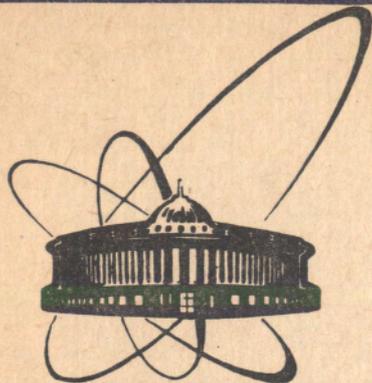


90-296

+



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

0-345

P13-90-296

В. П. Овсянников, М. И. Шелаев

**УПРАВЛЕНИЕ ИОННОЙ ЛОВУШКОЙ
ИОНИЗАТОРА "КРИОН-С"**

1990

ВВЕДЕНИЕ

В электронно-лучевых источниках многозарядных ионов типа "Крион" ионизация происходит при бомбардировке электронным пучком атомов рабочего вещества^{1,2}. При этом зарядность образующихся ионов зависит от

- 1) параметров электронного пучка;
- 2) времени воздействия пучка на рабочее вещество.

Параметры электронного пучка, такие как плотность тока и энергия E , определяются электронно-магнитной оптикой источника. В настоящее время на источнике "Крион-С" достигнута плотность $j = 300 \text{ А/см}^2$ и энергия $E = 80 \text{ кВ}$. Увеличение этих параметров реально, но технически сложно.

Время воздействия электронного пучка на захваченные ионы в общем случае определяется устойчивостью системы заряженных частиц: ионизирующих электронов, ионов, электронов ионизации и др., но в любом случае необходимо создавать соответствующее распределение потенциалов вдоль электронного пучка достаточно длительное время — время ионизации τ_i .

Этой цели служит электронный коммутатор напряжений, который позволяет удерживать ионы в пучке необходимое для многократной ионизации время, а затем "вытолкнуть" многозарядные ионы^{1,4}.

ИОННАЯ ЛОВУШКА

На рис. 1 показана схема процесса, по которому происходит ионизация. Трубка дрейфа состоит из 27 секций из нержавеющей стали, каждая из которых гальванически связана с соответствующим выходом коммутатора (рис. 2). Электронный пучок, рождаясь на катоде электронной пушки, проходит сквозь секции и высаживается на электронный коллектор. Процесс ионизации происходит непосредственно в электронном пучке, в котором положительно заряженные ионы в радиальном направлении удерживаются отрицательным зарядом электронного пучка.

В аксиальном направлении ионы удерживаются "ионной ловушкой" (см. рис. 1). На секции №3 и №19 подается положительный потенциал,

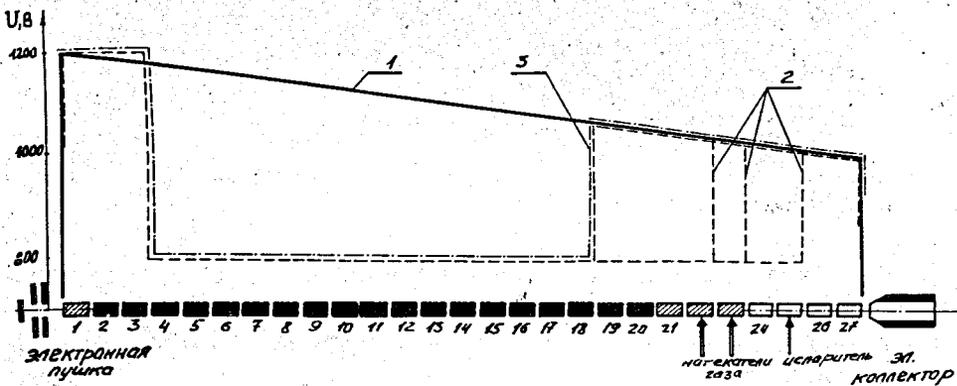


Рис. 1. Распределение потенциалов вдоль трубки дрейфа: 1 — экстракция ионов, 2 — инжекция рабочего вещества, 3 — ионизация.

который "запирает" ионы, не давая им уйти по пучку в обе стороны от ловушки. Если при этом секции №4-18 имеют равный потенциал, то электронный пучок на протяжении этих секций будет равномерно заселяться ионами до тех пор, пока не наступит компенсация при равенстве пространственного заряда электронного пучка пространственному заряду накопившихся ионов.

При этом емкость ионной ловушки составит^{1/1}:

$$C^+ = 3,36 \cdot 10^{11} I_e L E_e^{1/2},$$

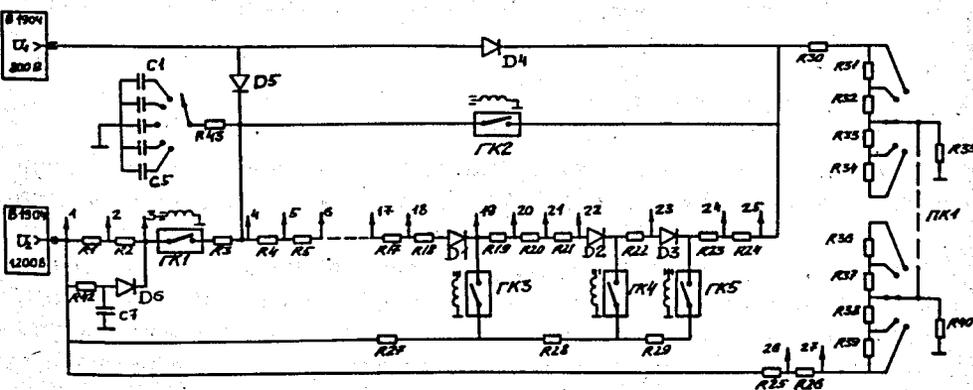


Рис. 2. Принципиальная схема коммутатора напряжений.

где C^+ — емкость электростатической ионной ловушки (число элементарных зарядов), I_e — ток пучка (А), L — длина ловушки (м), E_e — энергия электронов (кэВ).

При достигнутых параметрах "Крион-С" сможет произвести $C^+ = 3,36 \cdot 10^{11} \cdot 300 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot \sqrt{80} = 9 \cdot 10^{10}$ элементарных зарядов.

Это соответствует $3 \cdot 10^9$ ионам Kr^{+30} . Рассчитанная величина C^+ является предельной, и на практике на ионном коллекторе можно собрать 10^8 ионов за импульс. Увеличению C^+ способствует качество расчета и сборки ионной оптики, а также способ формирования ионной ловушки.

ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР НАПРЯЖЕНИЙ (ЭКН)

Значительный прогресс в росте зарядности ионов был получен при применении ЭКН, в которых функцию коммутации напряжений выполняют герконы типа КЭМ-1, так как стало возможным получать любое требуемое τ_i при условии постоянного электронного пучка.

Схема коммутатора приведена на рис. 2. В его основе — резисторный делитель напряжения, гальванически связанный с секциями трубки дрейфа. Необходимое перераспределение потенциалов на секциях осуществляется посредством подачи токовых импульсов на катушки герконов с блока длительности, в свою очередь управляемым таймером.

Меняя заданную таймеру программу и величины напряжений на блоках питания ЭКН, можно получить различные комбинации напряжений на секциях трубки дрейфа.

Процесс получения ионов можно разбить на четыре части:

- 1) исходное состояние (экстракция ионов),
- 2) инжекция рабочего вещества в область ионизации,
- 3) ионизация,
- 4) экстракция ионов и возврат в исходное состояние.

Исходное состояние

В этом состоянии ГК1 замкнут, остальные — разомкнуты. Ток от источника U_2 проходит по резисторному делителю, создавая равномерный градиент в 200 В вдоль трубки дрейфа (рис. 1, распределение потенциала РП1).

При этом происходит образование в основном однозарядных ионов, так как под действием выталкивающего электрического поля ионы за время меньше, чем 100 мкс, уходят на ионный коллектор. Вероятность многократной ионизации за такое время мала.

Инжекция рабочего вещества

Посредством общей команды ГК1 размыкается, ГК2 — замыкается. Происходит быстрое и одновременное понижение потенциалов секций 4 ÷ 25 до напряжения, задаваемого источником U1. Гальваническая связь 4 и 25 секций посредством ГК2 идеально уравнивает потенциалы всех секций 4 ÷ 25. В результате вновь образованные ионы не уходят на ионный коллектор, а равномерно заполняют электронный пучок (РП2).

Ввод рабочего вещества осуществляется в области 21 ÷ 25 секций.

Ионизация

ГК2 размыкается, а один из ГК3, ГК4, ГК5 замыкается, что соответствует РП3 на рис. 1. Наличие трех герконов позволяет менять длину области ионизации, отсекая находящуюся при комнатной температуре область дрейфовой структуры с заметным количеством остаточного газа. Также имеется возможность получать ионы смеси газов в результате последовательного отсечения соответствующих областей ввода этих газов.

При образовании РП3 (замыкании ГК3) вновь образующиеся ионы в области секций 19 ÷ 27 уходят на ионный коллектор, в то время как ионы в области секций 4 ÷ 18 попадают в ионную ловушку. Причем глубина ловушки легко варьируется напряжением источника U1. Оказавшиеся здесь ионы претерпевают под действием быстрых электронов дальнейшую ионизацию вплоть до образования голых ядер. Время ионизации τ_i зависит от номера химического элемента и выставляется при программировании таймера.

Экстракция ионов

ГК1 замыкается, все остальные — разомкнуты. Это состояние аналогично исходному, за исключением того, что в начальный момент, при замыкании ГК1, высокозарядные ионы в области секций 4 ÷ 18 устремляются к ионному коллектору. Формируется ионный импульс длительностью 150-200 мкс.

Подключение емкостей С1-С5 дает более плавное нарастание выталкивающего напряжения и, соответственно, более растянутый ионный импульс.

Сдвоенным потенциометром ПК1 можно менять градиент выталкивающего поля, добываясь желаемой формы импульса.

Характерной особенностью данного типа геркона является "дребезг" его контактов при замыкании. Однако собственная емкость секций дрейфовой трубки сглаживает появляющиеся при этом скачки напряжения.

ПОВЕДЕНИЕ ИОНОВ В ИОННОЙ ЛОВУШКЕ

При измерении времени ионизации τ_i от 1 мс до 5 с сняты зависимости пикового ионного тока J_i ($\tau_{\text{ввода}}/\tau_i$) (рис. 3), где $\tau_{\text{ввода}}$ — время ввода ионов из области инжекции рабочего газа. Газ вводится от накатателя в район секций №№24-27, давление в которых 10^{-6} Торр. Ионная ловушка создается в районе секций №№2 ÷ 19, находящихся при температуре жидкого гелия.

Как и ранее, мы имеем потери ионов из ловушки. В течение 5 с ионизации остается 10-процентная компенсация электронного пучка. Это иллюстрируют кривые 2 — J_i (5 мс/ τ_i) и 3 — J_i (10 мс/ τ_i). Кроме того, мы имеем диффузию газа из области ввода в ионную ловушку — кривая 1 — J_i (0/ τ_i).

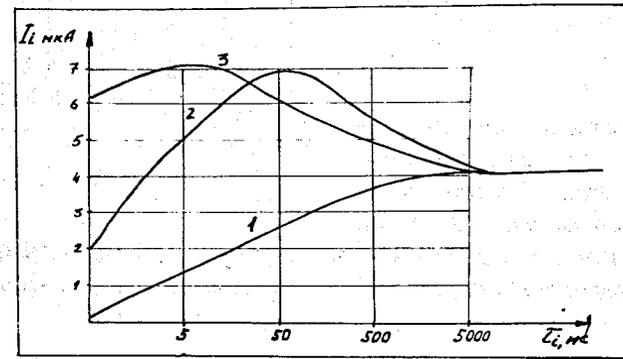


Рис. 3

ИОНИЗАЦИЯ АТОМОВ АЗОТА И АРГОНА

С использованием описанного ЭКН был проведен ряд экспериментов^{13/1} по получению ядер N^{+7} и Ar^{+18} . Идентификация ионов осуществлялась на однометровом масс-спектрометре по времени пролета

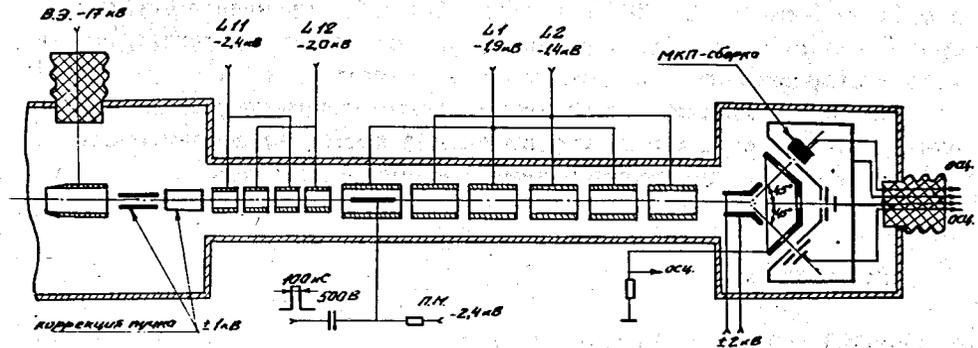


Рис. 4

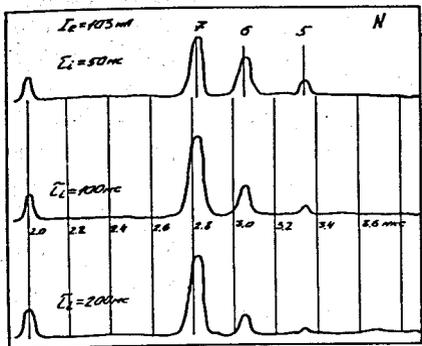


Рис. 5

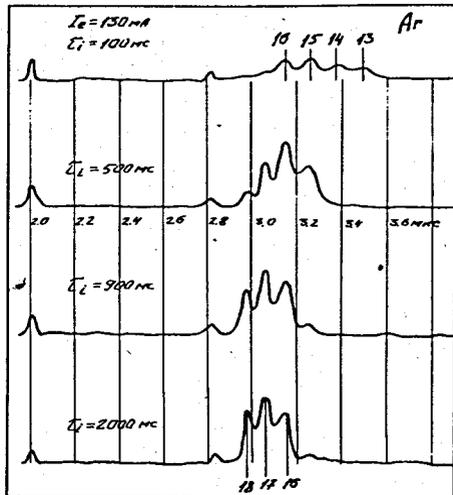


Рис. 6

(рис. 4). Сравнительно высокое разрешение спектра достигнуто благодаря использованию в качестве детектирующей части МКП-сборки и последующему просмотру на осциллографе. Из рис. 5 и 6 видна эволюция зарядностей ионов в процессе ионизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа коммутатора на установке "Крион-С" продемонстрировала его надежную эксплуатацию. Несмотря на характерный "дребезг", присущий герконам, коммутатор выводит ионные импульсы правильной колоколообразной формы с полушириной 100 мкс и амплитудой 5 мкА.

Коммутатор прост в эксплуатации — для его работы требуется два блока питания В 1904 стандарта КАМАК. Управление осуществляется всего по трем оптоволоконным линиям связи, что важно, так как коммутатор находится на высоковольтном терминале^{15 1}.

Заложенная в схему коммутатора возможность удержания запирающего ионы барьера сколь угодно долгое время позволяет проводить ионизацию любых химических элементов вплоть до урана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Донец Е.Д. — ОИЯИ, 7-80-466, Дубна, 1980.
2. Донец Е.Д., Овсянников В.П. — ОИЯИ, Р7-9799, Дубна, 1976.

3. Донец Е.Д., Овсянников В.П. — ОИЯИ, Р7-10438, Дубна, 1977.
4. Дудников В.Г. — ОИЯИ, Р7-11011, Дубна, 1977.
5. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-83-478, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 апреля 1990 года.