

УДК 535.8

Анодный модулятор электронно-лучевых источников многозарядных ионов

В. Г. Абдульманов

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера, г. Новосибирск, Россия

Для электронно-лучевых источников многозарядных ионов ИМИ-1 и ИМИ-2 был разработан экономичный анодный модулятор электронных диодных пушек, который обеспечивает включение и выключение интенсивного ионизирующего электронного пучка.

В электронно-лучевых ионных источниках (EBIS) ИМИ-1 [1–3] и ИМИ-2 [4–6] применены сферические короткофокусные диодные электронные пушки, параметры которых можно регулировать в пределах $1,6–1,9$ мкА/В^{3/2}. Катод электронной пушки находится под потенциалом рекуперации от -1 до -3 кВ. Электронный кол-

ллектор в этих установках имеет нулевой потенциал.

Для обеспечения предельной величины тока электронного пучка I_e до 3 А потенциал анода относительно катода должен быть $\sim +16$ кВ. В закрытом режиме $I_e = 0$ потенциал анода для надежного запирающего электронного пучка дол-

жен, быть ниже потенциала катода на ~ 2 кВ. Следовательно, напряжение анода в закрытом режиме должно быть до -5 кВ, в открытом режиме вплоть до $+15$ кВ.

Токооседание на анод с включенным электронным пучком незначительно $I_a < 10^{-3} I_c$.

Емкость высоковольтного анодного кабеля вместе с конструктивной емкостью анода составляет ~ 2 нФ, в дальнейшем — емкостная нагрузка. Длительность переднего и заднего фронтов импульсов анодного модулятора должна быть не более 100 мкс для обеспечения возможности работы ионного источника в широком диапазоне временных интервалов.

Время ионизации в закрытой ловушке электронно-лучевых источников может меняться в широких пределах — от сотен микросекунд до сотен миллисекунд. Частота повторения циклов ионизации от 0,1 до 50 Гц и выше.

Для обеспечения всех этих требований в БИЯФ был разработан надежный анодный модулятор АМ (рис. 1).

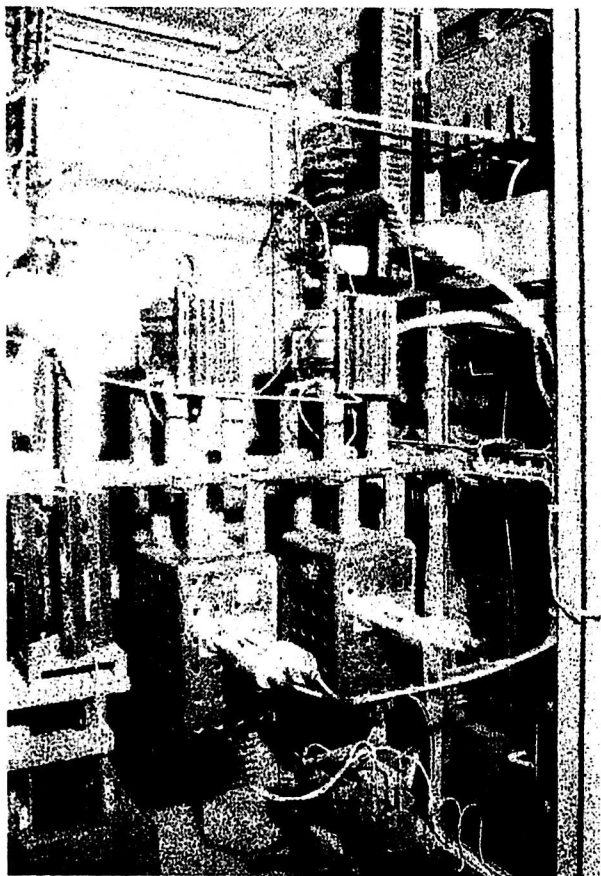


Рис. 1. Общий вид анодного модулятора

Работа анодного модулятора

На рис. 2, а приведена блок-схема анодного модулятора, который состоит из двух высоковольтных ключей K_1 и K_2 , выполненных на им-

пульсных модуляторных тетрадах ГМИ-14Б, включенных последовательно. Между ними подключен высоковольтный кабель, питающий анод электронной пушки ИМИ. В исходном состоянии ключ K_2 замкнут, и на анод электронной пушки подается запирающее напряжение $-U_a$.

Диаграмма работы анодного модулятора приведена на рис. 2, б. Включение положительного напряжения осуществляется в два этапа: вначале закрывается ключ K_2 , затем через 5 мкс включается ключ K_1 , который подает на анод ИМИ положительное рабочее напряжение $+U_a$.

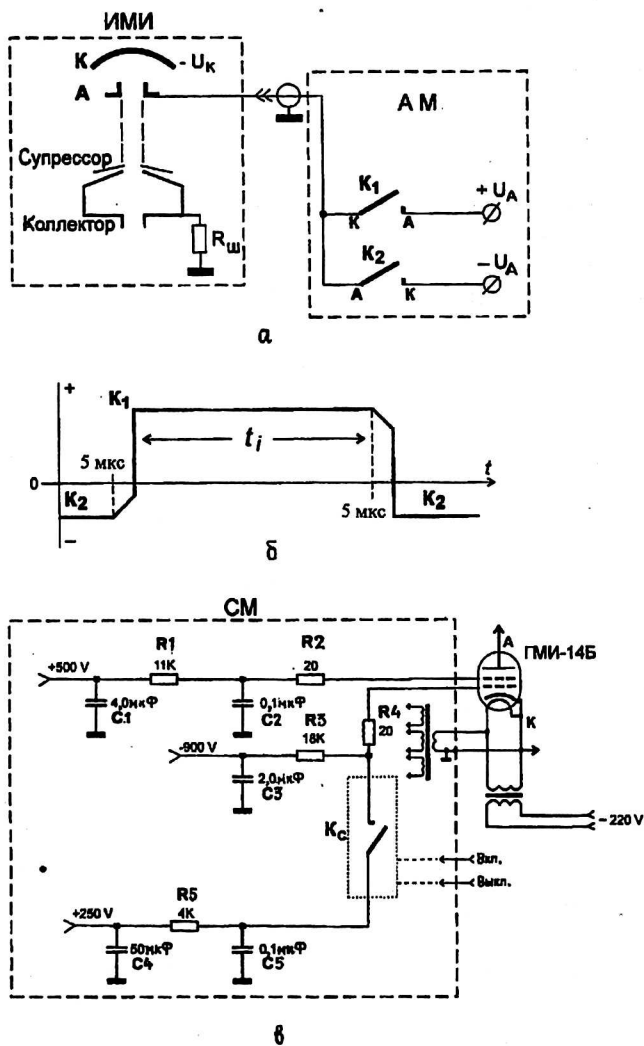


Рис. 2. Работа анодного модулятора: а — блок-схема анодного модулятора; б — временная диаграмма работы анодного модулятора; в — блок-схема сеточного модулятора

По истечении заданного времени ионизации t_i электронный пучок в ионном источнике выключается. При этом вначале выключается ключ K_1 , затем через 5 мкс включается ключ K_2 , подающий на анод электронной пушки ИМИ запирающее напряжение $-U_a$.

Задержка 5 мкс между переключением ключей K_1 и K_2 предусмотрена для исключения возможности прохождения сквозных токов через ключи в переходном процессе.

Токооседание на анод электронной пушки в ИМИ мало: $I_a < 10^{-3} I_e$. Выходной ток анодного модулятора при включенном электронном пучке $I_{\text{вых}} = I_a + I_{\text{изм}} \leq 10^{-3} I_e$. Ток цепей измерения $I_{\text{изм}} < 10^{-4} I_e$. В закрытом режиме $I_{\text{вых}} = I_{\text{изм}}$.

Управление ключами K_1 и K_2 , которые выполнены на импульсных тетрадах ГМИ-14Б, осуществляется сеточными модуляторами СМ.

На рис. 2, в приведена блок-схема ключа на лампе ГМИ-14Б. Ключ (ГМИ-14Б) управляется по первой сетке с помощью сеточного модулятора СМ. Питание СМ, находящегося под потенциалом катода лампы, осуществляется от цепи накала ГМИ-14Б. В сеточном модуляторе относительно катода лампы на первую сетку поступает запирающее напряжение -900 В с емкости С3. На емкости С5 положительное $+250$ В напряжение, которое через электронный ключ Кс может быть подано на первую сетку ГМИ-14Б. Вторая сетка подключена через цепь R2, С2, R1 к емкости С1, находящейся под напряжением $+500$ В.

При отключенном ключе K_c лампа заперта по первой сетке, на которую напряжение -900 В подается с С3 через R3 и R4. На второй сетке потенциал $+500$ В.

При включении ключа K_c емкость С5 с напряжением $+250$ В подключается через R4 к первой сетке. Лампа ГМИ-14Б открывается (соответствующий ключ АМ включен). Емкость С5 разряжается током первой сетки. Емкость С2, находящаяся в исходном состоянии под напряжением $+500$ В, разряжается током второй сетки. В момент открытия лампы (включения соответствующего ключа АМ) ток перезарядки емкостной нагрузки достигает нескольких десятков ампер. Постоянная времени перезарядки емкостной нагрузки на фронте $\tau \sim 1$ мкс.

Через $t \sim 60$ мкс после разрядки емкостей С5 и С2 на первой и второй сетках лампы устанавливается стационарный режим открытого ключа АМ. Напряжение на первой и второй сетках при этом не более $+50$ В, что достаточно для коммутации тока до 50 мА.

Реально при включенном ключе K_1 выходной ток АМ (ток в цепи K_1) не превышает 3 мА, при этом падение напряжения на ключе (лампа ГМИ-14Б) не превышает 400 В. На рис. 3 показано выходное напряжение анодного модулятора при частоте 50 Гц.

На рис. 4 приведен выходной ток анодного модулятора, обеспечивающий перезарядку емкостной нагрузки анодного модулятора.

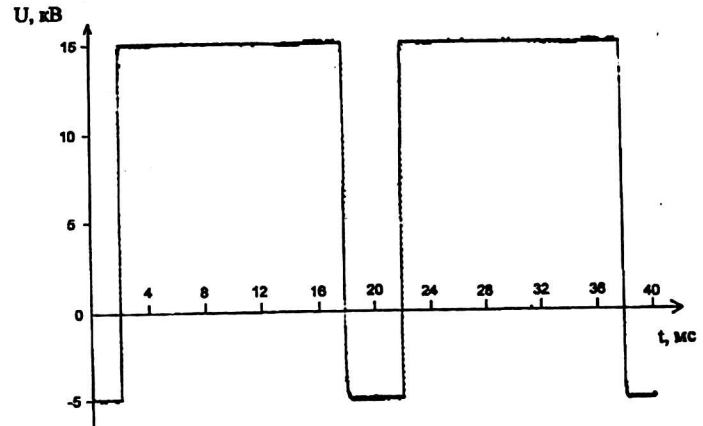


Рис. 3. Выходное напряжение анодного модулятора на частоте 50 Гц

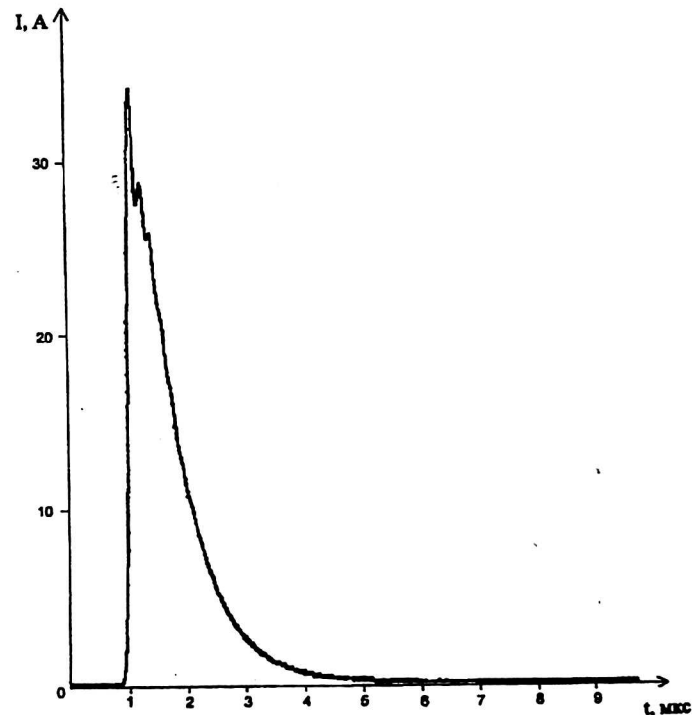


Рис. 4. Выходной ток анодного модулятора на фронте переключения потенциала на аноде электронной пушки ИМИ

Заключение

Первый анодный модулятор этой модификации успешно работал на электронно-лучевом источнике многозарядных ионов ИМИ-1 [1–3]. Второй анодный модулятор надежно работает более 10 лет на установке ИМИ-2 в БИЯФ [4–6]. При этом получены параметры:

длительность импульсов электронного пучка в ИМИ-2 может быть от 100 мкс до сотен мс и более;

рабочая частота в зависимости от длительности рабочего импульса и экспериментальных задач может быть от $0,1$ до 100 Гц;

выходное напряжение анодного модулятора регулируется:

запирающее напряжение от -2 до -10 кВ;
рабочее напряжение от $+2$ до $+20$ кВ.

Электронные высоковольтные ключи выполнены на тетродах ГМИ-14Б, для которых были разработаны специальные сеточные модуляторы. Управление сеточными модуляторами осуществляется через высоковольтные оптронные развязки.

Специальный режим работы высоковольтных электронных ключей обеспечивает длительность фронтов импульса менее 5 нс и экономичный режим ключа в стационарном открытом режиме от $0,5$ до 50 мА.

Данный режим работы высоковольтных электронных ключей обеспечивает значительный ресурс работы тетродов ГМИ-14Б и высокую надежность работы анодного модулятора в целом.

Автор благодарит за помощь в реализации данных анодных модуляторов В. С. Манакова, В. Г. Потапова, В. В. Шенцова, Ю. М. Колокольникова.

Литература

1. Абдулманов В. Г., Ауслендер В. Л., Колокольников Ю. М., Мешков И. Н., Потапов В. Г., Тутин Г. А., Эйсмонт В. П. Электронно-лучевой источник многозарядных ионов ИМИ-1// Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Т. 2. Дубна. 1987. С. 51—54.
2. Абдулманов В. Г., Колокольников Ю. М., Мешков И. Н., Шарана А. Н. Электронно-оптическая система источника многозарядных ионов ИМИ-1// Там же. С. 79—83.
3. Абдулманов В. Г., Авербух И. И., Ауслендер В. Л. и др. Ускорительный комплекс синхротрона Б-5 Радиевого института// Труды XII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Т. 2. Дубна. 1992. С. 106.
4. Абдулманов В. Г., Демёнтьев Е. Н., Мигинская Е. Г., Мироненко Л. А., Пирогов О. В., Томилов В. П., Цуканов В. М. Электронно-лучевой источник многозарядных ионов ИМИ-2// Прикладная физика. 2000. № 2. С. 144.
5. Abdul'manov V. G., Dement'ev E. N., Miginskaya E. G., Mironenko L. A., Pirogov O. V., Tomilov V. P., Tsukanov V. M. Electron-Beam Multicharge Ion Source IMI-2// Proceedings of SPIE. 2000. V. 4187.
6. Абдулманов В. Г. Анодный модулятор электронно-лучевых источников многозарядных ионов// V Всероссийский семинар "Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики". Тез. докл. — М., 2001. С. 73.

The anode modulator of electron-beam sources of multiply charged ions

V. G. Abdulmanov

Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia

The costeffective anode modulator of electron diode guns was designed for the IMI-1 and IMI-2 electron-beam sources of multiply charged ions. The modulator ensures turning the power on and of for an intensive ionizing electron beam.