

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА КОМПАКТНОГО УСКОРИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МАГНЕТРОНА

*А. В. Андрианов^{а,б,1}, А. М. Барняков^а, Р. В. Вахрушев^а, В. В. Колмогоров^а,
А. Е. Левичев^{а,б}, С. Л. Самойлов^а*

^а Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

^б Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Для проведения испытаний ускорительной и инжекционной частей прототипа компактного ускорителя в ИЯФ СО РАН создается стенд на базе магнетрона, циркулятора, структуры с параллельной связью, пушки, диагностического оборудования, а также модулятора. Установка работает в S-диапазоне с импульсной мощностью 3–3,5 МВт и средней мощностью магнетрона до 3 кВт. В работе приводятся описания и результаты предварительных включений стенда.

In order to test the accelerator and injection part of the prototype of a compact linear accelerator, a stand is constructed at BINP. It is based on a magnetron, a circulator, a parallel-coupled accelerating structure, an electron gun, diagnostic equipment, and a modulator. The accelerator operates in the S-band, with a pulse power of 3–3.5 MW and an average magnetron power of up to 3 kW. The paper presents the description of the equipment and the preliminary results of the work.

PACS: 84.40.Fe

ВВЕДЕНИЕ

Для работы с ускоренными пучками электронов с энергией до 10 МэВ в Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (ИЯФ СО РАН) создается компактный ускорительный стенд. Основными элементами стенда являются магнетрон МИ-456, модулятор, ускоряющая структура с параллельной связью, высоковольтная пушка электронов. Рабочая частота стенда 2856 МГц.

Один из ключевых элементов стенда — модулятор магнетрона. Данное изделие полностью разработано в ИЯФ СО РАН и ранее не изготавливалось. В настоящее время производится наладка модулятора при работе с магнетроном. В ближайшее время стоит задача достижения стабильной работы модулятора и получения мощности магнетрона.

Ускоряющая структура с параллельной связью, как и высоковольтный источник электронов, разработаны совместно с Институтом химической кинетики и горения СО РАН (ИХКиГ СО РАН). Прототип структуры с рабочей частотой 2450 МГц и источник электронов используются в ускорителе на основе клистрона КИУ-111 [1–3]. Настоящая

¹E-mail: veselyandrianov@mail.ru

структура в основном отличается от прототипа рабочей частотой 2856 МГц [4], работает в режиме стоячей волны и ранее не использовалась в работе с магнетронами. Одной из задач стенда является проверка возможности стабилизации частоты магнетрона при работе со структурой с параллельной связью.

В представленном докладе приводятся описания элементов стенда и первые результаты включения модулятора с магнетроном.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

На рис. 1 представлена принципиальная схема ускорительного стенда.

Магнетрон, запитанный от модулятора, генерирует СВЧ-мощность с длительностью импульса 6 мкс. С целью измерения отраженной и падающей мощности на волноводе прямоугольного сечения установлены ответвители до и после циркулятора с ослаблением 41,4 и 41,5 дБ соответственно. Оба ответвителя используются в диагностических целях. Для разделения сред вакуум/воздух в волноводном тракте используется СВЧ-окно, установленное перед ускоряющей структурой.

Характеристики магнетрона МИ-456 производства НПО ФАЗА [5] приводятся в табл. 1.

Модулятор установки изготовлен и разработан в ИЯФ СО РАН, функциональная схема работы показана на рис. 2. Параметры модулятора приведены в табл. 2. Принци-

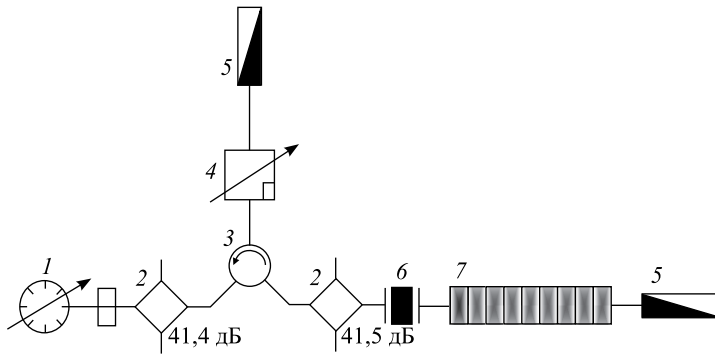


Рис. 1. Принципиальная схема установки: 1 — магнетрон; 2 — ответвитель; 3 — циркулятор; 4 — фазовращатель; 5 — нагрузка; 6 — СВЧ-окно; 7 — структура с параллельной связью

Таблица 1. Характеристики магнетрона МИ-456 АМ

Параметр, единица измерения	Значение
Частота, МГц	2851
Мощность импульсная выходная, МВт	3,5
Напряжение анода, кВ	55
Ток анода импульсный, А	100
Длительность импульса, мкс	6
КСВ	1,25
Скважность не менее	550

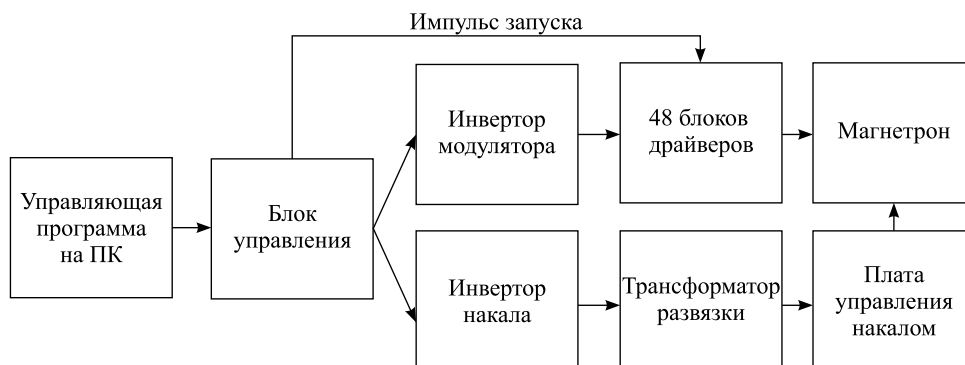


Рис. 2. Функциональная схема модулятора

Таблица 2. Параметры модулятора

Параметр, единица измерения	Значение
Частота повторения, Гц	1,200
Мощность импульсная выходная, МВт	2,2–24
Напряжение выхода, кВ	45–60
Выходной ток импульсный, А	50–400
Длительность импульса, мкс	3–8
Фронт импульса не менее, нс	200

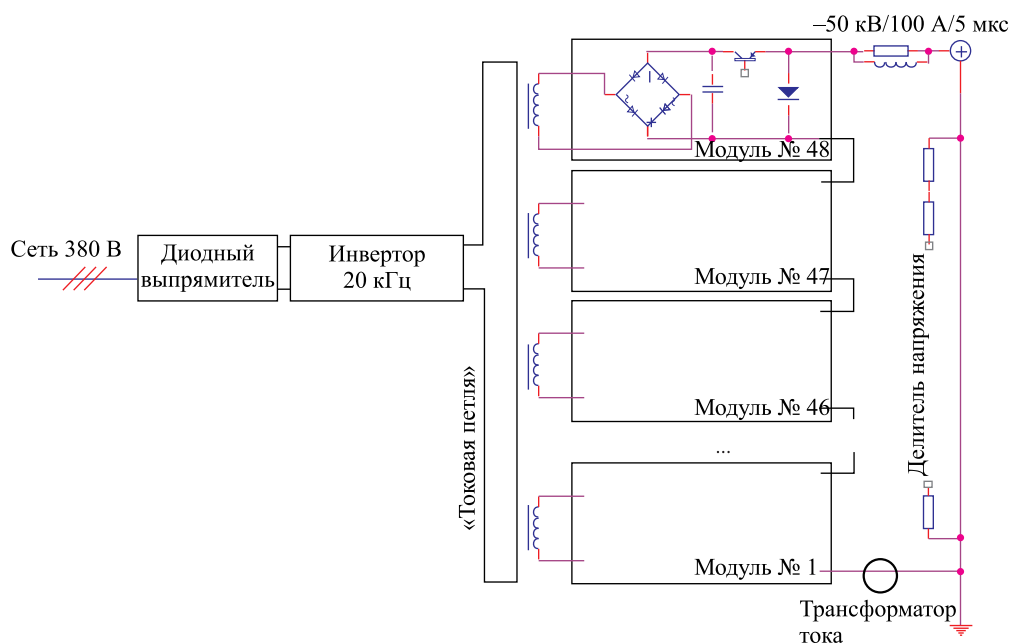


Рис. 3. Принципиальная схема модулятора и измерения выходных параметров (без блока управления)

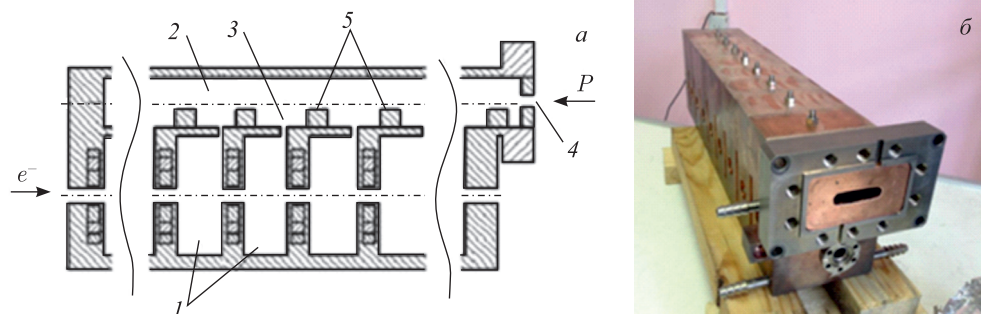


Рис. 4. а) Схема ускоряющей структуры с параллельной связью; б) изготовленная ускоряющая структура с параллельной связью

пиальная схема модулятора изображена на рис. 3. Управление модулятором и накалом магнетрона осуществляется с персонального компьютера.

Принципиальная схема структуры с параллельной связью [4] показана на рис. 4, а. Она представляет собой набор ускоряющих резонаторов 1, связанных с возбуждающим резонатором 2 через индивидуальные отверстия связи 3. Основой возбуждающего резонатора является прямоугольный волновод. Мощность от генератора через диафрагму 4 поступает в возбуждающий резонатор, затем ускоряющие резонаторы возбуждаются параллельно через индивидуальные отверстия связи. Для синхронизации длины волны в возбуждающем резонаторе с ускоряющими резонаторами на одну из стенок возбуждающего резонатора погружаются реактивные штыри 5. Изготовленная ускоряющая структура (см. рис. 4, б) полностью настроена и проверена на вакуум.

Изготовленный высоковольтный источник электронов изображен на рис. 5. Он представляет собой электронную пушку, работающую в диодном режиме на основе СВЧ-триода ГС-34 с напряжением до 50 кВ, током до 300 мА и длительностью импульса тока до 6 мкс.

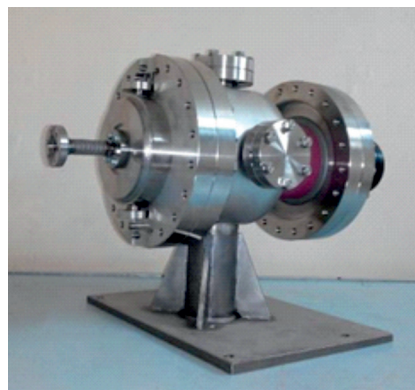


Рис. 5. Высоковольтный источник электронов

ИСПЫТАНИЯ

В настоящее время производятся первые запуски сборки модулятор–магнетрон–циркулятор–нагрузка для измерения параметров магнетрона, оценки потребляемых мощностей и КПД.

На рис. 6, а приведена фотография установки. Термостабилизация и охлаждение осуществляются с помощью водяных контуров с использованием лабораторных термостатов.

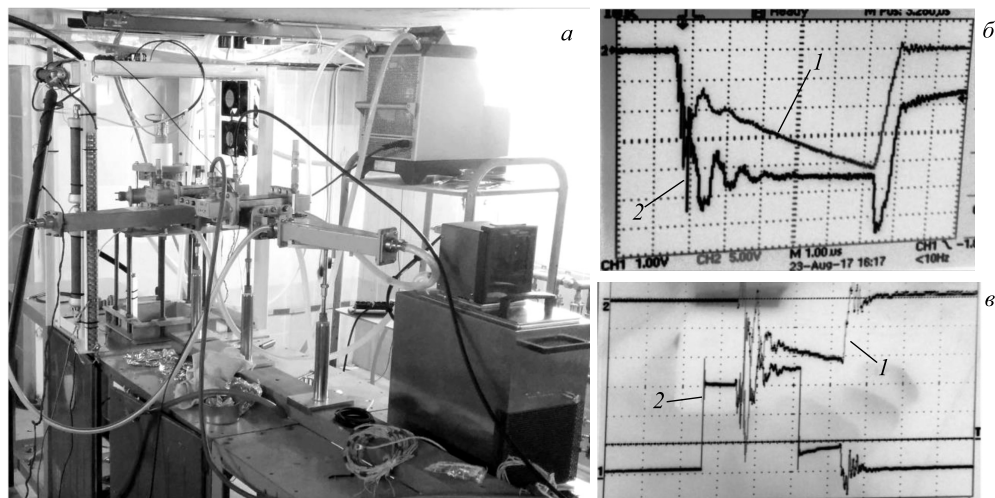


Рис. 6. Испытательный стенд (а) и осциллограммы основных сигналов (б, в): б) напряжение (2) (вертикальная шкала 10 кВ, горизонтальная — мкс) и полный ток (1) модулятора, нагруженного на клистрон и параллельно с ним включенные варисторы (вертикальная шкала 5 А, горизонтальная — мкс); в) 1 — полный ток, отраженный от нагрузки (вертикальная шкала 200 мВ), 2 — полный ток, падающий с магнетрона в нагрузку (вертикальная шкала 2 В, горизонтальная шкала — 2 мкс)

Также на рис. 6, б приведены сигналы с выхода модулятора, а на рис. 6, в — огибающие сигналов с диодных головок ответвителей, показывающие первую генерацию магнетрона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные испытания предварительно показали работоспособность магнетрона. Для дальнейших измерений необходима стабильная работа модулятора с постоянной частотой повторения для оценки спектральных характеристик сигнала. После чего будут произведены монтаж ускоряющей структуры с параллельной связью и измерение параметров отраженного сигнала.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00080) с использованием уникальной научной установки «Комплекс ВЭПП-4–ВЭПП-2000», получившей финансовую поддержку государства в лице Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61917X0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Levichev A. E., Pavlov V. M., Ivannikov V. I., Shebolaev I. V., Chernousov Yu. D. // Proc. of LINAC 2012. JACoW Publication. P. 282–284.
2. Черноусов Ю. Д., Иванников В. И., Шеболаев И. В., Левичев А. Е., Павлов В. М. Ускоряющая структура с параллельной связью. Патент на изобретение № RU2472244C1. Б. и. 10.01.2013. № 1.

3. *Chernousov Yu. D., Shebolaev I. V.* Specifics of the Microwave-Breakdown Mode in an Accelerating Structure with Parallel Coupling // *Tech. Phys. Lett.* V. 43, No. 4. P. 325–327.
4. *Andrianov A. V., Barnyakov A. M., Levichev A. E., Maltseva M. V., Nikiforov D. A., Samoylov S. L.* Development and Low Power Test of the Parallel Coupled Accelerating Structure // *JINST.* 2016. V. 11. P. 06007.
5. <http://faza-don.ru/>