

## КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЯТОРАМИ ЛИНЕЙНОГО РЕЗОНАНСНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУ-7-2

### HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR REMOTE CONTROL OF RESONANCE LINAC LU-7-2 MODULATORS

*М. В. Сусяков, Г. Н. Пикулина, С. М. Придчин, А. В. Родигин*

*M. V. Suslyakov, G. N. Pikulina, S. M. Pridchin, A. V. Rodigin*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Russian Federal Nuclear Center –All-Russia Scientific Research Institute of Experimental Physics

Приводится описание комплекса технических и программных средств, обеспечивающего дистанционное управление модуляторами магнетрона (ММ) и электронной пушки (МЭП) линейного резонансного ускорителя ЛУ-7-2, эксплуатируемого во ВНИИЭФ [1-3]. Рассмотрены структура системы управления модуляторами и управляющего программного обеспечения. Система управления дистанционно включает/выключает модуляторы, контролирует текущее состояние и форму импульсных сигналов напряжения и тока на выходах модуляторов, задает высоковольтное напряжение на выходах, частоту следования сигналов запуска ММ и МЭП, их смещение относительно сигналов запуска ММ, длительность сигналов запуска ММ и МЭП, количество импульсов запуска МЭП.

There is described the hardware and software system for remote control of magnetron modulator (MM) and electron gun modulator (EGM) of resonance linac LU-7-2. This linac functions in RNFC-VNIEF [1-3]. The structures of modulators control system and control software are considered. The implemented system supports the modulators remote on/off switching, controls the current status and the output impulse current and voltage waveforms. The system assigns the high voltage values on modulator outputs, launch pulse-repetition frequency values for MM and EGM and their biases relative to MM launch pulses, a number of launch pulses for EGM.

В составе ЛУ-7-2 [1-3] используется модулятор высоковольтного импульсного питания (50кВ) магнетрона и электронной пушки, разработки Российского института мощного радиостроения (ОАО «РИМР», г. Санкт-Петербург). Использование в линейном резонансном ускорителе отдельного высоковольтного питания для магнетрона и инжектора электронов позволяет обеспечить оптимальный режим работы ускорителя [4]. Для расширения функциональных возможностей в состав ускорителя введен отдельный модулятор электронной пушки (МЭП), что позволило исключить нестабильность параметров пучка в момент включения модуляции, повысить стабильность работы магнетрона за счет устранения влияния токовой нагрузки инжектора на модулятор магнетрона (ММ), а также оперативно регулировать средний

ток пучка изменением скважности импульсов запуска модулятора электронной пушки [4].

Изменение в структуре высоковольтного питания СВЧ генератора на базе магнетрона МИ-456А и электронной пушки приводит к необходимости модернизации существующей системы управления ускорителя. При проведении модернизации важным аспектом является необходимость обеспечения электромагнитной совместимости пульта управления с установкой. Это обусловлено следующими факторами. Во-первых, пульт управления и установка размещены в разных помещениях, имеющих разные контуры заземления: помещение, в котором размещен ускоритель, связано с основным контуром заземления, а по цепям электропитания – с контуром защитного заземления; пультовая связана только с контуром защитного заземления [5]. Модуляторы, работающие совме-

стно с импульсными трансформаторами, являются источниками значительных электромагнитных помех, особенно при потере между ними электрического согласования. При работе других установок, входящих в состав комплекса, на проводящих поверхностях могут возникать импульсные токи за счет высасывания на них комптон-электронов, возникающих при формировании тормозного излучения [5]. При передаче аналоговой и цифровой информации между пультом и установкой по электрическим кабелям в условиях высокого уровня электромагнитных помех могут образовываться контуры с неэквипотенциальными поверхностями.

Для увеличения помехоустойчивости и обеспечения электромагнитной совместимости при управлении и контроле выходных напряжения и тока импульсных трансформаторов использовались следующие технические решения:

- использование оптических кабелей для передачи цифровой и аналоговой информации между пультом управления и средствами автоматизации;

- размещение в непосредственной близости устройств управления и контроля;

- использование высокочастотных сетевых фильтров при организации электропитания оборудования пульта управления и средств автоматизации, размещенных вблизи установки;

- организация радиального подвода электропитания к территориально распределенным компонентам систем управления;

- использование вторичных преобразователей напряжения с малой проходной емкостью;

- экранирование всех компонентов системы управления, размещенных в ускорительном зале.

Структурная схема комплекса показана на рис. 1.

Для передачи аналоговой информации в виде выходных напряжения и тока с блоков импульсных трансформаторов выбрана испытанная волоконно-оптическая система передачи (ВОСП) аналоговой информации [7]. В систему входит передатчик ПОМ-АС1-4К, преобразующий ток или напряжение в световой сигнал, и приемник ПРОМ-АФ1-4К, преобразующий световой сигнал в электрический. Передатчик ПОМ-АС1-4К име-

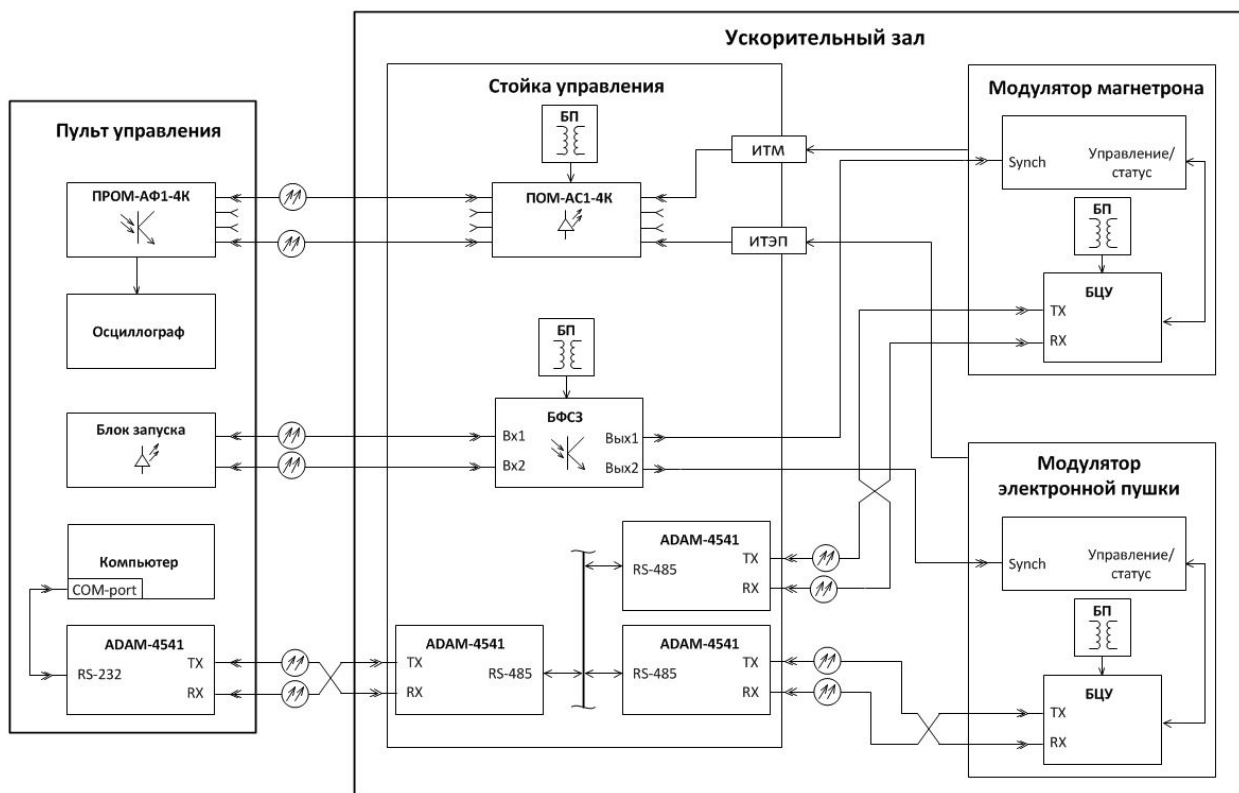


Рис. 1. Структурная схема комплекса управления модуляторами: ПРОМ-АФ1-4К – аналоговый фотоприёмник волоконно-оптической системы передачи; ПОМ-АС1-4К – аналоговый передатчик волоконно-оптической системы передачи; ADAM-4541 – оптический конвертер RS-485; БП – гальванически развязанный источник питания; БФС3 – блок формирования сигналов запуска; ИТМ – импульсный ток модулятора магнетрона; ИТЭП – импульсный ток модулятора электронной пушки; БЦУ – блок цифрового управления

ет гальванически развязанный источник питания и подключается к выходам измерителей тока ММ и ЭП. Преобразованные приемником ПРОМ-АФ1-4К световые сигналы в электрические поступают на вход осциллографа. Питание фотоприемного блока осуществляется от USB шины осциллографа. Данный способ позволяет в несколько раз снизить наводки от работы ускорителя и защитить входы осциллографа от воздействия импульсных наводок.

Для формирования сигналов запуска модуляторов используется блок запуска (БЗ) [6]. В его конструкции предусмотрены оптические выходы, позволяющие передавать оптические сигналы по волоконно-оптическим линиям связи с параметрами синхронизации, задаваемыми оператором при помощи органов управления БЗ. Данные выходы предусмотрены для совместной работы с блоком формирования сигналов запуска. Блок формирования сигналов запуска располагается в ускорительном зале в непосредственной близости от модуляторов. Принятые световые сигналы от БЗ с заданным смещением и длительностью импульса преобразуются в электрические и поступают на входы синхронизации модуляторов. Схематическое изображение одного канала блока формирования сигналов изображено на рис. 2. Питание

блока осуществляется от гальванически развязанного линейного источника питания.

Наиболее критичными являются аналоговый сигнал управления высоковольтным напряжением, его стабильность влияет на стабильность выходных параметров установки. Для максимального снижения влияния внешних электромагнитных воздействий на управляющий сигнал он формируется в месте, максимально приближенном к входной цепи управления модулятора. Для этого были разработаны и изготовлены универсальные блоки цифрового управления (БЦУ), предназначенные для контроля и управления ММ или МЭП. Схематичное изображение формирования аналогового сигнала управления высоковольтным напряжением показано на рис. 3.

Аналоговый выход БЦУ используется для задания выходного напряжения модуляторов, амплитуда выходного сигнала – от 0 до +5В. В случае использования блока совместно с ММ используется аналоговый вход для контроля за выходным током, диапазон входного напряжения – от 0 до +5В.

Дискретные входы/выходы БЦУ позволяют управлять и контролировать режимы работы модуляторов: управлять включением/выключением; контролировать сигналы готовности ошибок.

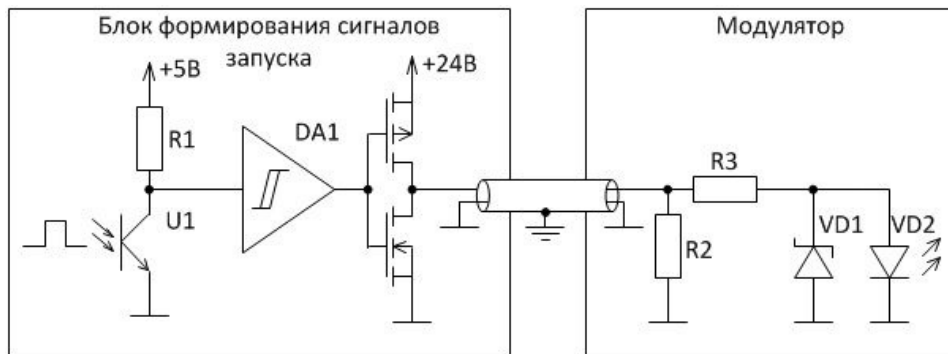


Рис. 2. Схематичное изображение одного канала блока формирования сигналов запуска

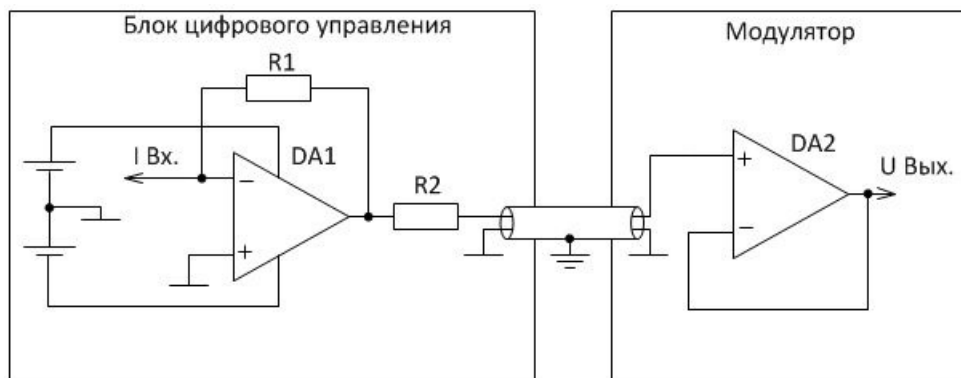


Рис. 3. Управление высоковольтным напряжением

Блок цифрового управления выполнен в металлическом корпусе для защиты от электромагнитных помех, корпус блока подключен к защитному заземлению установки в ускорительном зале. Для питания каждого устройства предусмотрен отдельный гальванически развязанный линейный источник питания, подключенный через сетевой фильтр. Подключение к модуляторам и источникам питания производится экранированными кабелями, подсоединенные к защитному заземлению через БЦУ. Для связи с управляющим компьютером в устройстве предусмотрен оптический трансивер на базе оптических модулей HFBR-2412TZ и HFBR-1414TZ, обеспечивающих возможность совместной работы с промышленными оптическими конверторами. Блоки цифрового управления подключены к существующей шине RS-485 через оптические конверторы ADAM-4541. Управление модуляторами по оптическим каналам связи позволяет уменьшить влияние электромагнитных помех на входные/выходные аналоговые цепи управления модуляторов.

Управление БЦУ осуществляется специализированным программным обеспечением (ПО), основное окно которого приведено на рис. 4. Основные функции программы управления ММ и МЭП заключаются в следующем:

- задание параметров связи и обмен данными между ПК и аппаратной частью системы управления ММ и МЭП;
- настройка конфигурации аппаратной части системы управления ММ и МЭП;
- дистанционное управление состоянием системы: подача/снятия питания с модуляторного шкафа, включение/выключение ММ и МЭП, формирование команды «СБРОС» для ММ и МЭП. При подаче команд на включение/выключение и сброс имитируется ручное нажатие кнопок;



Рис. 4. Окно управления модуляторами

– управление подачей высокого напряжения на входы ММ и МЭП – изменение напряжения происходит со скоростью не более, чем 1000 В/с и не чаще, чем один раз в 200 мс;

– контроль состояния ММ, МЭП, модуляторного шкафа, высоковольтных напряжений на входах ММ и МЭП, силы тока на выходе ММ.

Программа управления ММ и МЭП построена по блочно-модульному принципу и представляет собой многопоточное приложение, которое состоит из трех параллельно выполняющихся потоков:

– основной поток, в котором функционирует пользовательский интерфейс программы, взаимодействие с пользователем через этот интерфейс, управление работой модуляторов и подача высокого напряжения на их входы. Этому потоку назначен обычный приоритет;

– поток, в котором отслеживается состояние аппаратной части системы управления и режимы работы ускорителя ЛУ-7-2, имеет наивысший приоритет;

– поток, в котором производится пошаговое изменение высокого напряжения на входах модуляторов, также имеет наивысший приоритет.

Главным достоинством такой организации является независимость потоков друг от друга, позволяющая высокоприоритетным потокам, которые ведут опрос аппаратуры и управляют подачей высокого напряжения, вытеснять, когда потребуется, низкоприоритетный поток визуализации, что необходимо для задач, выполняемых в реальном масштабе времени [8].

### Список литературы

1. Шориков И. В., Тельнов А. В., Девяткин И. В. и др. Проект транспортабельного линейного ускорителя электронов для гаммаграфии крупногабаритных объектов // Материалы XV Всесоюзного семинара по линейным ускорителям заряженных частиц. ВАНИТ. Сер.: Ядерно-физических исследований, 1997. Вып. 2,3 (29, 30)/ С. 42–44.
2. Шориков И. В., Завьялов Н. В., Иньков В. И. и др. Малогабаритный линейный ускоритель электронов для гаммаграфии // ВАНИТ. Сер. Ядерно-физических исследований. Вып. 39. С. 12–14.
3. Шориков И. В., Завьялов Н. В., Хохлов Ю. А. и др. Малогабаритный линейный ускоритель электронов для гаммаграфии крупногабаритных объектов. // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Вып. 3, Саров, 2002. С. 142–147.
4. Агапов А. А., Завьялов Н. В., Картанов С. А., Тельнов А. В. и др. Проект тамографического комплекса на базе линейного резонансного ускорителя

теля типа ЛУ-8-2 // Труды международной конференции XVII Харитоновские тематические чтения. 2016. С. 15–21.

5. Герасимов А. И., Горкунов В. С., Скрипка Г. М. Обеспечение электромагнитной совместимости при создании мощных электрофизических установок. Саров: Препринт. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»-97-2005. 1–34.

6. Сусяков М. В., Придчин С. М. Генератор запуска линейного резонансного ускорителя электронов // Труды международной конференции

конференции XVII Харитоновские тематические чтения. 2016. С. 277–227.

7. Родигин А. В., Тельнов А. В., Эльяш С. В. Помехоустойчивая многоканальная быстродействующая волоконно-оптическая система передачи аналоговой информации // Труды международной конференции XVII Харитоновские тематические чтения. 2016. С. 256–261.

8. Гелль П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс: Пер. с франц. 2-е изд., испр. Москва: ДМК, 1999. С. 144.