

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ СИЛЬНОТОЧНОГО ЛУЭ

*В.Н. Борискин, В.Н. Верещака, М.В. Ивахненко, И.Б. Грибов¹, В.А. Ляховец²,
В.А. Момот, Л.К. Мякушко, Л.В. Репринцев, А.А. Сарвилов, А.Н. Савченко,
В.И. Солодовников, Д.Л. Стёпин, В.И. Татанов, Г.Н. Цебенко, А.С. Чепурнов¹,
А.Ф. Шамарин³, В.А. Шевченко*

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина;*

¹НИИЯФ МГУ, Москва, Россия;

²ХНУРЭ, Харьков, Украина;

³ООО «Марафон», Москва, Россия

Описаны система измерения тока и положение пучка сильноточного импульсного линейного ускорителя электронов (ЛУЭ), а также программируемые источники постоянного тока для питания магнитных элементов ускорителя. В системе используются специально разработанные АЦП с тактовой частотой 20 МГц. Микропроцессорное устройство, расположенное в модуле АЦП, осуществляет расчет потерь заряда ускоренного пучка электронов и в случае превышения заданной величины выдает в блок синхронизации ЛУЭ сигнал блокирования.

1. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ

Автоматизированная система контроля и управления (далее АСКУ) обеспечивает контроль тока, энергии, положения пучка электронов, регулирование положения пучка изменением величин токов в источниках питания магнитных элементов.

АСКУ представляет собой программно-аппаратный комплекс и включает в себя:

- персональную электронно-вычислительную машину (ПЭВМ) типа IBM PC;
- шкаф управления;
- стойку питания магнитных элементов ускорителя;
- программное обеспечение.

Структурная схема аппаратной части АСКУ представлена на Рис.1.

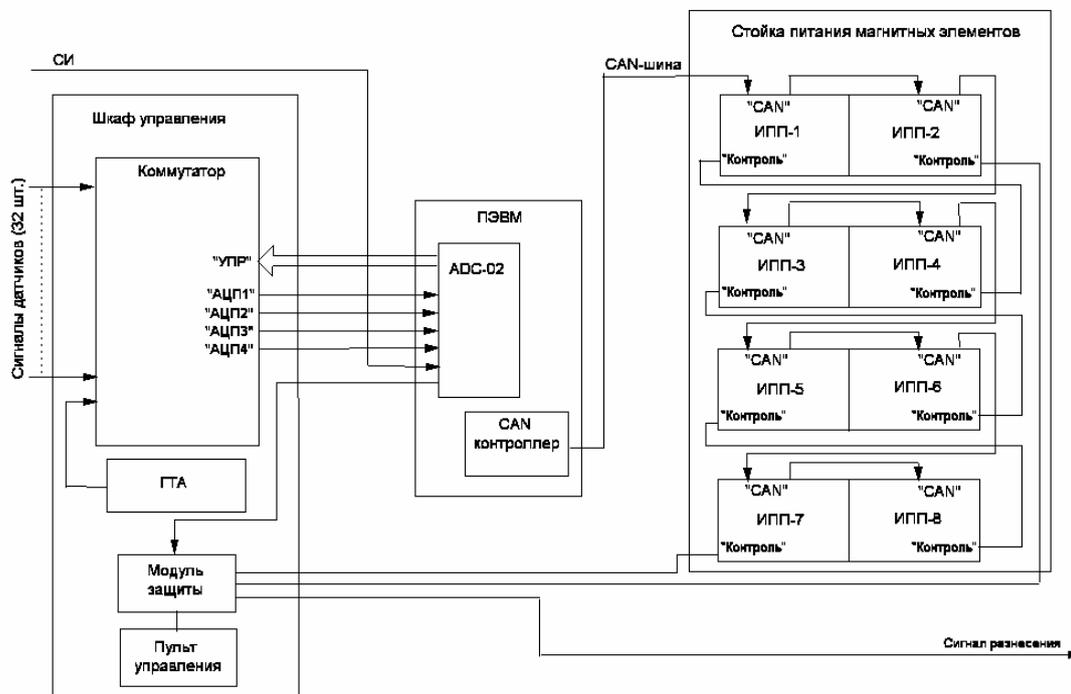


Рис.1. Структурная схема АСКУ сильноточного ускорителя

1. ЭВМ содержит в своём составе, кроме системных плат, плату специально разработанного 4-канального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) типа ADC-02 и CAN-контроллер шины

управления программируемыми источниками питания магнитных элементов ускорителя.

Структурная схема АЦП типа ADC-02 представлена на Рис.2.

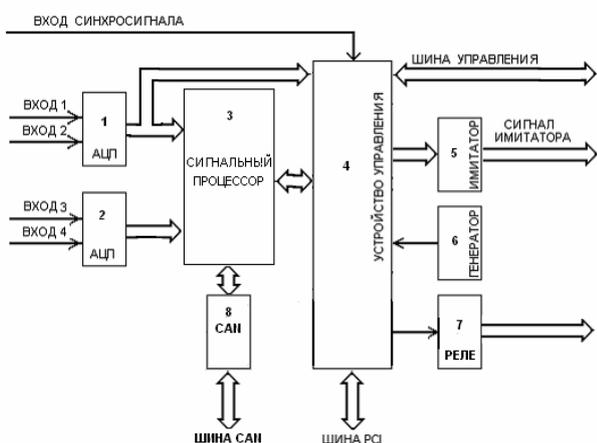


Рис.2. Структурная схема АЦП ADC-02

В схему ADC-02 входят такие основные элементы:

- АЦП первого-второго и третьего-четвертого каналов (1, 2) на элементах AD9281;
- сигнальный процессор (3) ADSP-2184N;
- устройство управления (4) на программируемой логической матрице ALTERA EPM3256ATC-44-10;
- управляющее реле (7);
- контроллер (8) CAN-интерфейса на микросхеме MCP2515.

Устройство предназначено для одновременного преобразования четырех аналоговых сигналов с амплитудой от 0 до 2 вольт в восьмиразрядные двоичные коды с частотой 20 МГц.

Для преобразования применяются два двухканальных АЦП (1 и 2). Двоичные восьмиразрядные коды с выходов АЦП переписываются в память программ сигнального процессора с частотой 20 или 40 МГц. После записи определенного числа отсчетов (от 16 до 512) производится вычисление площади импульсов по заданному алгоритму и, в зависимости от результата вычисления, выдача управляющего сигнала на твердотельное реле.

Внешний синхроимпульс, поступающий на вход синхронизации ADC-02, вызывает прерывание IRQ2 сигнального процессора. Программа обработки прерывания через программно установленное время задержки запускает процесс измерения.

После завершения прерывания основная программа сигнального процессора передает данные в оперативную память ПЭВМ через шину PCI. С приходом синхроимпульса процесс измерения повторяется.

Устройство имеет двунаправленную шину для управления внешним коммутатором аналоговых сигналов.

Внешний вид АЦП типа ADC-02 приведен на Рис.3.

Специальный контроллер CAN-шины, расположенный на материнской плате ПЭВМ, обеспечивает передачу команд управления на программируемые источники питания магнитных элементов ускорителя из ПЭВМ по CAN-шине.



Рис.3. Внешний вид АЦП ADC-02

2. Шкаф управления содержит в своём составе:

- коммутатор аналоговых сигналов (32×4);
- генератор точной амплитуды (ГТА);
- модуль защиты;
- панель ручного управления;
- блок питания.

Коммутатор выполнен на микросхемах ADG426 и обеспечивает прием сигналов с аналоговых импульсных датчиков одновременно по четырем выбранным каналам (из 32-х). Выбор каналов осуществляется программно. Код выбранного канала формируется в модуле ADC-02 по командам из ПЭВМ и поступает в коммутатор по шине управления. С выходов коммутатора выбранные импульсные сигналы по высокочастотным согласованным кабелям поступают на входы АЦП.

ГТА генерирует тестовые импульсы со стабильной амплитудой и предназначен для регулировки и контроля АЦП при обслуживании АСКУ.

Модуль защиты при поступлении на него двух независимых аварийных сигналов осуществляет блокирование работы ускорителя путём разнесения импульсов управления модулятором ускорителя. Аварийные сигналы в виде “сухих” контактов реле поступают:

- из модуля ADC-02 с твердотельного реле при превышении разницы площадей импульсов тока с 2-х датчиков (установленных до и после коллиматора на пути пучка электронов ускорителя);
- из программируемых источников питания магнитных элементов ускорителя при возникновении неисправности в нагрузках.

На панели ручного управления расположены тумблер отключения модуля защиты для возможности проведения пучка при отладке ускорителя, кнопка сброса блокировки после устранения причины аварии и светодиодный индикатор состояния аварии.

3. Стойка питания магнитных элементов содержит восемь программируемых источников питания.

Несмотря на большой выбор на рынке, создание управляемых источников постоянного тока для магнитных элементов ускорителей является актуальной задачей в силу специфических требований и условий эксплуатации:

- источник тока должен работать с высокой стабильностью в условиях сильных электромагнитных помех;
- должна обеспечиваться возможность непрерывного измерения тока и напряжения в нагрузке;

- должно обеспечиваться централизованное управление несколькими источниками питания через систему управления ускорителем.

С использованием стандартных решений, созданных фирмой «МАРАФОН», были разработаны источники питания постоянного тока типа ИПП-1/100 и ИПП-4/35, отвечающие требованиям применения в ускорителях:

- рабочий диапазон по напряжению и току (± 100 В, 1 А) – (± 35 В, 4 А);
- шаг регулирования тока 1 мА, напряжения 1 мВ;
- стабильность по току и напряжению в рабочем диапазоне не хуже 0.0001;
- внешние интерфейсы CAN/CANopen, USB, RS-232;
- исполнение - 19-дюймовая евромеханика;

- выходы контактов реле защиты в случае неисправности в нагрузке.

Источники питания работают в режиме стабилизации тока. Нагрузками источников являются магнитные элементы (катушки) ускорителя. Установка параметров источников производится программно по командам с ПЭВМ по CAN-шине. Обобщенный аварийный сигнал формируется путём монтажного соединения выходов контактов реле всех источников в последовательную цепь и подключением концов этой цепи к модулю защиты, расположенному в шкафу управления.

Номер отказавшего источника фиксируется в ПЭВМ по CAN-шине.

Внешний вид блоков питания показан на Рис.4 и 5.



Рис.4. Вид блока питания постоянного тока типа ИПП-1/100 с передней панели



Рис.5. Вид блока питания постоянного тока типа ИПП-4/35 с передней панели

4. Программное обеспечение комплекса работает в среде Windows XP. Для его написания использована система визуально-ориентированного программирования СИ++Builder 5.

2. ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ТОКА И ПОЛОЖЕНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ

Информация о состоянии систем ускорителя и параметрах пучка электронов выводится на цветной графический дисплей (Рис.6).

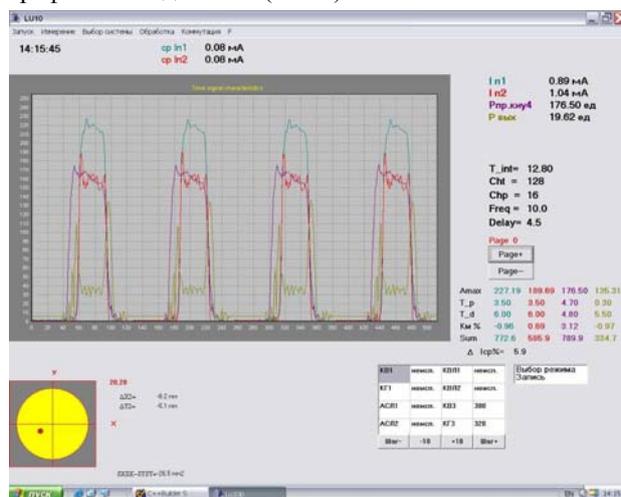


Рис.6. Вид окна управления с экрана ПЭВМ сильноточного линейного ускорителя электронов

Управление работой ускорителя оператор производит с клавиатуры ПЭВМ. Программные модули могут обеспечивать однократный и многократный кон-

троль параметров систем ускорителя и выдавать управляющие команды.

Информация о параметрах пучка ускорителя передается на файл-сервер компьютерной сети научно-исследовательского комплекса «Ускоритель».

Для измерения амплитуды и формы импульсного тока пучка ускоритель оснащен двумя магнитоиндукционными пролетными датчиками, установленными на входе и выходе коллиматора выходной ускоряющей секции [2]. Внешний вид блока коллиматора с датчиками приведен на Рис.7.



Рис.7. Внешний вид блока коллиматора с двумя пролётными датчиками

Сигналы с датчиков используются в системе управления для оценки амплитудного и среднего

значения тока (см. Рис.3). Калибровка датчиков периодически проводится с помощью тестовых серий импульсов от специального генератора тока [3]. На выходе ускоряющей секции, кроме пролетных датчиков тока, установлен 4-обмоточный датчик положения, позволяющий с погрешностью не хуже 0.5 мм определять положение центра пучка [4]. Для контроля энергии используется магнитный анализатор [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. K.I. Antipov, M.I. Ayzatsky, Yu.I. Akchurin, et al. S-Band Electron Linac with Beam Energy of 30...100 MeV // *Problems of Atomic Science and Technology. Ser. "Nuclear Physics Investigations"*. 2004, №5, p.135-138.

2. Ю.В. Авдеев, В.Н. Борискин, Э.С. Злуницын и др. *Метрологические исследования средств измерения параметров электронного излучения ускорителей ЛУ-10 и ЛУ-40 ХФТИ*: Препринт ХФТИ 91-6, Харьков, 1991.
3. V.L. Uvarov, et al. A Beam Monitoring & Calibration System for High-Power Electron Linacs / *Bulletin of the American Physical Society*. May 1997, v.42, №3, p.1367.
4. V.N. Boriskin, V.N. Savchenko, V.I. Talanov, et al. Monitoring of the electron beam position in industrial linacs // *Proc. Int. Particle Acceleration Conf. (PAC-99)*. New York, 1999, v.2, p.753-755.

Статья поступила в редакцию 15.09.2009 г.

THE MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR THE ELECTRON BEAM POSITION TEST IN THE POWER LINAC

V.N. Boriskin, V.N. Vereshchaka, M.V. Ivahnenko, I.B. Gribov, V.A. Lyahovets, V.A. Momot, L.K. Myakushko, L.V. Reprintsev, A.A. Sarvilov, A.N. Savchenko, V.I. Solodovnikov, D.L. Stepin, V.I. Tatanov, G.N. Tcebenko, A.S. Chepurnov, A.F. Shamarin, V.A. Shevchenko

The system of the current measurement and the beam position control for the pulse electron linac is described. The programmable direct current sources for the linac magnet element supply are also described. The measurement system uses special ADC with analogue-to-digital conversion frequency 20 MHz. The microprocessor device in the ADC module calculates the charge change of the electron beam. If the prescribed limit is exceeding the blocked signal is sending to the linac synchroization module.

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ ПУЧКА ЕЛЕКТРОНІВ СИЛЬНОСТРУМНОГО ЛПЕ

В.М. Борискін, В.М. Верещака, М.В. Івахненко, І.Б. Грибов, В.О. Ляховець, В.О. Момот, Л.К. М'якушко, Л.В. Репрінцев, О.А. Сарвілов, А.М. Савченко, В.І. Солодовников, Д.Л. Стєпін, В.І. Татанов, Г.М. Цебенко, О.С. Чепурнов, О.Ф. Шамарін, В.А. Шевченко

Описано систему вимірювання струму та положення пучка сильнострумного імпульсного лінійного прискорювача електронів (ЛПЕ), а також програмуємі джерела постійного струму для живлення магнітних елементів прискорювача. У системі використовуються спеціально розроблені АЦП з тактовою частотою 20 МГц. Мікропроцесорний пристрій, який розташовано у модулі АЦП, здійснює розрахунок збитків заряду прискореного пучка електронів і у разі перевищення заданої величини видає у блок синхронізації ЛПЕ сигнал блокування.