

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

5835/83

9/11-83

P13-83-474

Г.Карраш, Г.Щорнак, В.Б.Дунин, Г.Музиоль,  
Г.Мюллер, Н.А.Невская, В.Шульце

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
КРИСТАЛЛ-ДИФРАКЦИОННЫМ СПЕКТРОМЕТРОМ  
С ПОМОЩЬЮ МИНИ-ЭВМ

1983

## ВВЕДЕНИЕ

В ОНМУ ОИЯИ разработан кристалл-дифракционный спектрометр /КДС/ в геометрии по Йоганссену. Этот спектрометр предназначен для проведения экспериментов по диагностике зарядового спектра ионов и их числа в электронно-ионных кольцах коллективного ускорителя тяжелых ионов на основе измерения характеристического рентгеновского излучения ионов, находящихся в этих кольцах.

Чтобы обеспечить высокую точность измерений в соответствии с требованиями условий применения прецизионных нормалей рентгеновского излучения  $\Delta E/E \leq 10^{-6}$ , разработан спектрометр в новой функциональной геометрии, где кристалл поворачивается только вокруг своей оси, а детектор и входная диафрагма являются подвижными. Угол Брэгга  $\theta$  устанавливается в диапазоне  $9^\circ \leq \theta \leq 83^\circ$  в порядке  $0,1''$ , что становится возможным с применением двухлучевого лазерного интерферометра и пьезоэлектрического привода для тонкого позиционирования кристалла. Положения детектора и входной диафрагмы относительно кристалла проверяются дополнительной оптической системой. Щели диафрагм управляются программой для получения оптимальных геометрических условий измерения. Температура кристалла стабилизируется на величину порядка  $0,05$  К. Все операции, в том числе кинематические процессы КДС, измерения, проверка и корректировка параметров КДС, а также измерение отраженных рентгеновских квантов происходят на линии с ЭВМ МЭРА60-30.

В данной статье описываются структура, принцип действия электроники контроля и управления, представляются некоторые узлы и блоки, специально разработанные для выполнения необходимых функций управления спектрометром.

Измерительная электроника и система программного обеспечения представлены в работе <sup>/1/</sup>.

## 1. ЭЛЕКТРОНИКА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

### 1.1. Общий принцип работы

Электроника контроля и управления осуществляет все механические операции и установку позиции, необходимые для работы спектрометра. При этом одновременно проводится оптический контроль наиболее существенных параметров, таких, как угловая позиция кристалла и движение входной диафрагмы, детектора и крис-

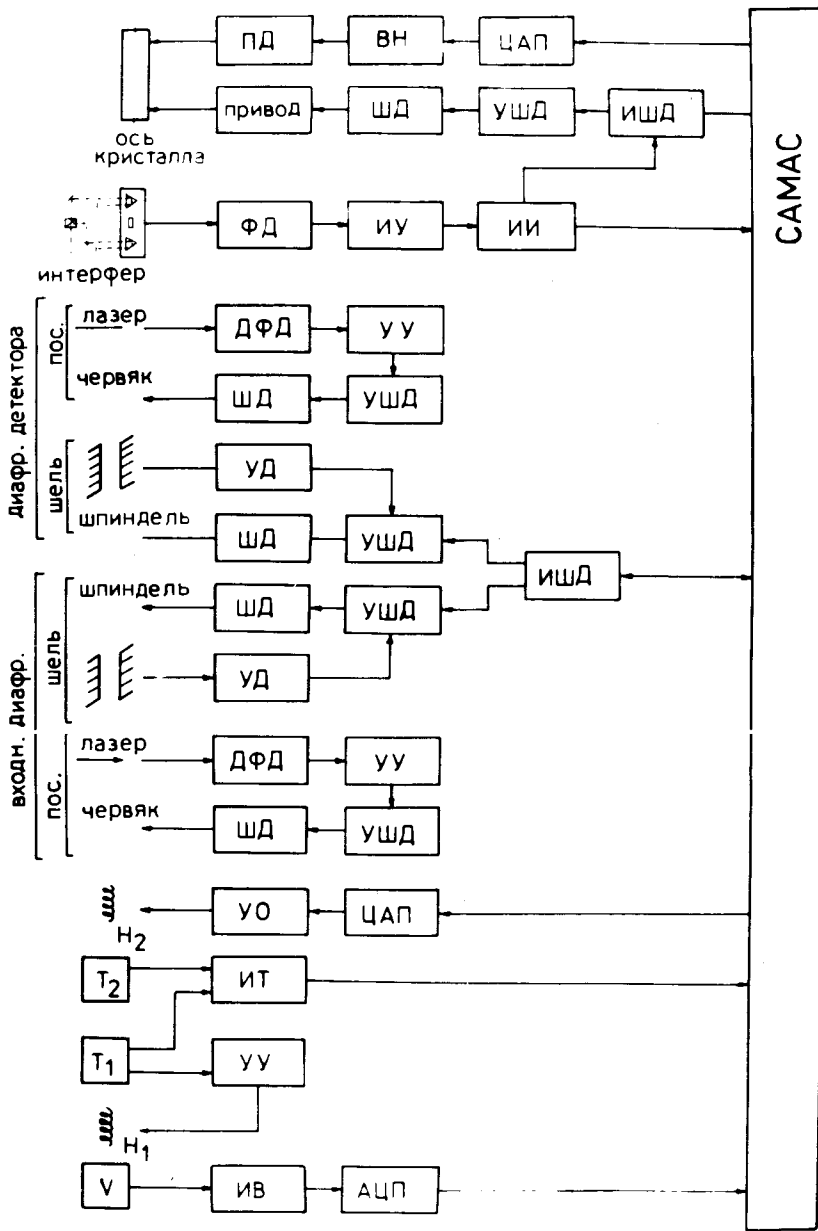


Рис.1. Блок-схема управляющей электроники.

талла по  $\theta-2\theta$ -закону. По полученным результатам измерений управляющая ЭВМ определяет величину коррекции для проверяемых параметров, передает их устройству точного позиционирования

и тем самым поддерживает параметры в пределах допустимых отклонений.

Далее контролируются и корректируются необходимые для работы спектрометра такие параметры, как температура и вакуум.

Блок-схема электронной контрольной и управляющей приведена на рис.1. Установка требуемой позиции для спектрометрических измерений в пределах необходимой точности производится с помощью привода, соединенного с шаговым двигателем IPS-5<sup>1/2</sup> /ШД/ через червячную передачу. Двигатель управляется от электроники ASE-2<sup>2/2</sup> заводского изготовления, которая посылает токи возбуждения для обмоток статора в соответствии с командами управления, получаемыми от ЭВМ через соответствующий интерфейс КАМАК /ИШД/<sup>3/</sup>. С помощью двухлучевого лазерного интерферометра измеряется угол поворота кристалла, совершаемого при движении двигателя, с точностью  $\Delta\theta < 1''$ . Отражением лазерных лучей у соответствующих трипелпризм, жестко связанных с кристаллом и движущихся противоположно направлению лучей, возникает доплеровское смещение частоты в каждом луче. Путем наложения отраженных и неотраженных лучей лазера каждый раз происходит биение, частота  $\Delta f$  которого соответствует разностям частот лучей лазера, и в одном случае складывается с частотой  $f_0$  лазера, а в другом вычитается из нее. Оба сигнала биения принимаются фотодиодами /ФД/ с последующей передачей их усилителями-формирователями /ИУ/ на входы цифрового измерителя фаз<sup>4,5/</sup> /ИИ/ для определения величины и направления поворота кристалла. Измеритель фаз выдает последовательные импульсы, количество которых соответствует прошедшим при повороте оптическим единицам  $\lambda/8$  / $\lambda$  - длина волны лазерного света; в нашем случае  $\lambda = 632,8$  мм/, а частота их пропорциональна скорости движения. Эти импульсы непосредственно поступают в интерфейс управления шаговым двигателем /ИШД/. В нем имеется реверсивный счетчик, куда заранее через блоки КАМАК записывается количество оптических единиц, на которые должен совершиться поворот кристалла. Позиция кристалла тем самым устанавливается с хорошей точностью. После остановки двигателя могут появляться кинематические помехи вследствие механических колебаний и инерционных явлений, приводящих к отклонению от желаемой позиции. Для корректировки позиции через блок КАМАК считываются показания интерферометра, хранящиеся в соответствующем реверсивном счетчике. ЭВМ определяет величину отклонения и выдает корректирующую величину, поступающую на пьезоэлектрический привод /ПД/ через ЦАП и источник высокого напряжения /ВН/. Это дает возможность изменить положение кристалла с точностью до угловой секунды в диапазоне  $\pm 2'$ . Система позиционирования включает в себя также корректировку позиции входной и детекторной диафрагм и управление шириной щели. Для контроля их позиции на дифференциальных фотодиодах /ДФД/, находящийся выше соответствующей диафрагмы, направляется лазерный луч, юстированный так, чтобы для него, так же как и для рентгенов -

ских лучей, отражающихся от кристалла, выполнялись одни и те же геометрические условия. Возникающий в диодах разностный сигнал вследствие отклонения положения диафрагм от положения луча лазера усиливается, интегрируется, и, если его величина пре-  
 взойдет установленный порог срабатывания, включается корректирующий шаговый двигатель /ШД/. Он работает до тех пор, пока отклонение находится за пределами 1 мкм. Установка размера щели входной и детекторной диафрагм производится одновременно с помощью шаговых двигателей. Электроника двигателей управляется интерфейсом /ИШД/, задающим количество необходимых шагов. При этом размер щелей изменяется от  $30 \pm 500$  мкм в шагах по 10 мкм. Чтобы предотвратить движение двигателей по достижении крайних открытых или закрытых положений, имеются оптические дискриминаторы. Стабилизация рабочей температуры спектрометра производится с помощью двух систем. Первая состоит из тиристорного терморегулятора /УУ/, где желаемая температура задается потенциометром. Эта система регулирует постоянную /до 0,1 К/ температуру на дне спектрометра. Датчиком служит терморезистор  $T_1$ , а элементом нагрева - спираль  $H_1$ . На месте стабилизации температуры находится второй терморезистор, позволяющий через блок измерения температуры /ИТ/ определять ее изменение во времени. Для термостабилизации самого кристалла служит вторая система, позволяющая получать постоянную температуру /до 0,05 К/. Здесь термосопротивление  $T_2$  совместно с блоком измерения температуры выдает с помощью команды КАМАК ее актуальные значения, и ЭВМ рассчитывает по нему величину коррекции, которая через ЦАП и усилитель мощности /УО/ подается на нагревательную спираль  $H_2$ . Если температура находится вне допустимого диапазона, то работа спектрометра прекращается до восстановления необходимого значения температуры. Измерение вакуума производится прибором ВИТ-3 /ИВ/ с соответствующим датчиком /V/. Его выходной сигнал преобразуется АЦП и поступает в ЭВМ через магистраль КАМАК. В качестве управляющей ЭВМ служит МЕРА 60-30. Внешние устройства, входящие в ее состав, показаны на рис.2.

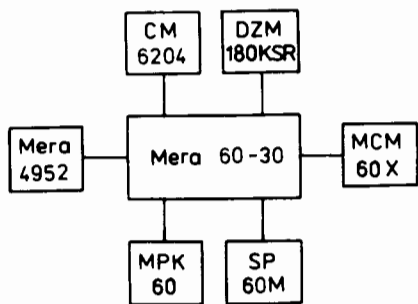


Рис.2. Внешние устройства ЭВМ МЕРА 60-30.

## 1.2. Управление шаговым двигателем

Блок управления шаговым двигателем был разработан для управления электроникой ASE-2 и двигателем IPS-5<sup>1/2</sup>. В спектрометре он также находит применение для регулирования размеров щелей входной и детекторной диафрагм.

Рабочий цикл двигателя IPS-5 изображен на рис.3. После включения /вкл./ статорных обмоток по команде "Старт" двигатель работает с частотой  $f_0$ , которая может быть увеличена до  $f_1$  сигналом "Разгон". Остановка двигателя требует торможения /торм./

Рис.3. Цикл движения /а/ и команд /б/ шагового двигателя.

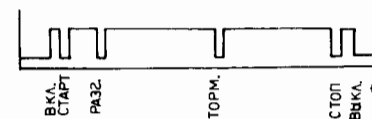
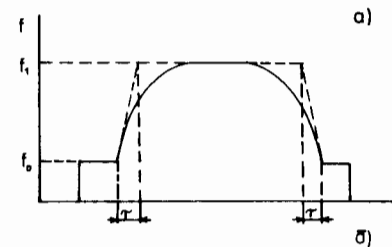
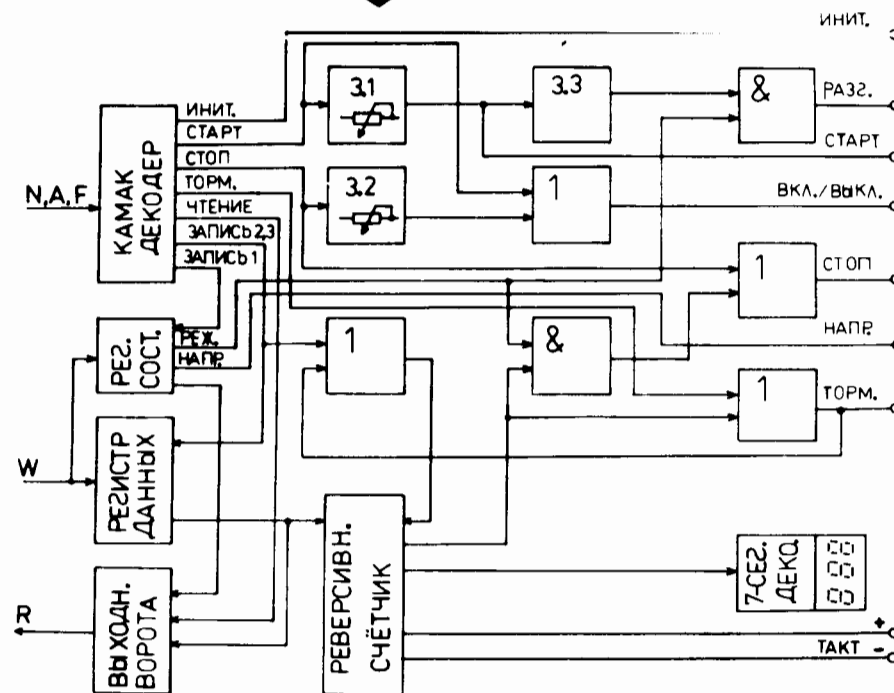


Рис.4. Блок-схема интерфейса управления шаговым двигателем.



после разгона до  $f_0$ , затем появляется возможность мгновенно остановить двигатель.

Блок-схема интерфейса представлена на рис.4. Интерфейс работает в двух режимах. В первом управление циклом движения двигателя производится командами КАМАК. Во втором режиме блок вырабатывает сам все необходимые сигналы после его первоначального программирования. Заданные условия /режим работы, направление движения и необходимость разгона/ записываются в регистр состояния. В регистр данных и реверсивный счетчик заносится количество тактов, определяющих во втором режиме работы момент торможения и остановки. Сигналы "Вкл.", "Старт", "Разгон" выдаются блоком с соответствующими задержками /3.1, 3.3/ после команды "Старт", а "Выкл." - после команды "Стоп" или перехода счетчика в состояние "0" с задержкой 3.2.

Эксплуатация интерфейса во втором режиме позволяет непосредственное управление двигателем от лазерного интерферометра, определяющего угол поворота кристалла. В этом случае счетные импульсы интерферометра, соответствующие оптическим единицам  $\lambda/8$ , поступают на тактовые входы блока. Более подробное описание блока дано в работе /3/.

### 1.3. Блок управления пьезоэлектрическим приводом

Пьезоэлектрический привод служит для того, чтобы после остановки шагового двигателя на заданной позиции устранить влияние механических отклонений и инерционных явлений на работу спектрометра. Пьезоэлектрический привод является устройством, состоящим из столбика определенного количества пьезокерамических шайб, помещенных в один корпус. Изменение длины столбика зависит от приложенного напряжения. Данная конструкция предназначена для управляющего напряжения от 0 до 1000 В.

Блок управления пьезоэлектрическим двигателем преобразует аналоговый сигнал с выхода ЦАП, представляющий собой сигнал коррекции угла поворота кристалл-анализатора, рассчитанного от ЭВМ по измеренному интерферометром отклонению его от заданной позиции, на напряжение управления двигателем в диапазоне от 0 до 1000 В.

Функциональная схема блока показана на рис.5. Его работу можно описать следующим образом: поступившее от ЦАП напряжение  $0 \div 5$  В на входе Е сравнивается с напряжением на выходе А, деленным на соответствующий уровень. Операционный усилитель регулирует разность напряжений и соответственно открывает или закрывает управляющий транзистор, который пропускает колебания генератора на первичную обмотку повышающего трансформатора. Во вторичной цепи трансформатора находится схема удвоения напряжения, которая также его выпрямляет.

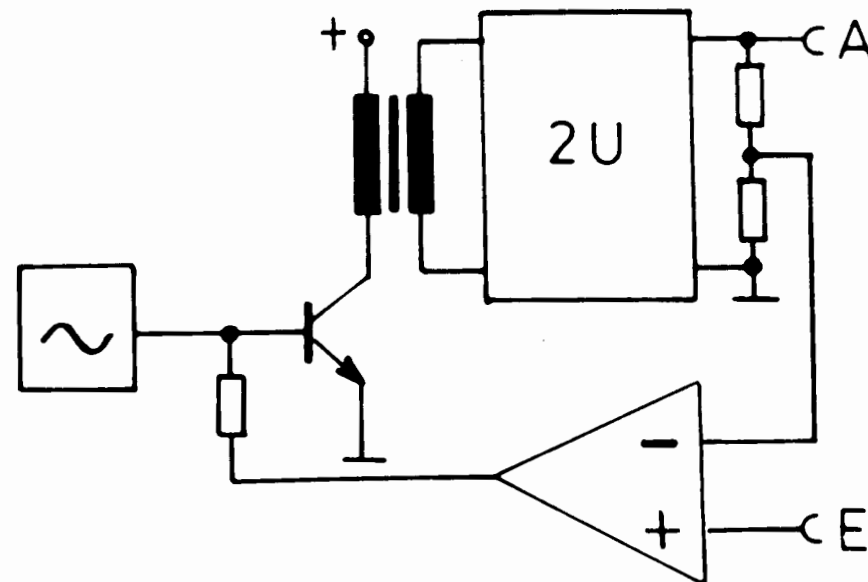


Рис.5. Блок управления пьезоэлектрическим приводом.

### 1.4. Электроника контроля и позиционирования входной и детекторной диафрагм

Эта электроника состоит из двух одинаковых для каждой из диафрагм систем, работающих независимо друг от друга /см. рис.1/. Луч лазера, запараллеленный и юстированный таким образом, чтобы для него, так же как и для рентгеновского луча, выполнялись те же геометрические условия, задает позиции, на которых должны находиться центры входной и детекторной диафрагм. У входной диафрагмы луч лазера делится, попадает на дифференциальный фотодиод /ДФД/, расположенный симметрично по отношению к центру входной диафрагмы, а другая его составляющая переходит к детекторной диафрагме, где она также попадает на соответственно юстированный дифференциальный фотодиод /ДФД/. В зависимости от направления и величины отклонения диафрагм от центра луча лазера дифференциальные фотодиоды выдают сигнал соответствующего размера и полярности. Этот сигнал усиливается и интегрируется последующим усилителем /УУ/. Выходной сигнал управляющего усилителя /УУ/ поступает к двум дискриминаторам /УШД/, где разность порогов срабатывания определяет допустимое отклонение диафрагм от центрального положения. Срабатывает соответствующий дискриминатор, включается шаговый двигатель, корректирующий через червячную передачу движение диафрагмы в нужном направлении до тех пор, пока выходной сигнал усилителя

не достигнет уровня, определяющего допустимое отклонение диафрагм. Передаточное отношение червячной передачи выбрано таким образом, чтобы один шаг двигателя  $/3,75^\circ/$  соответствовал смещению  $0,20 \text{ мкм}$ . Измерения показали, что схема срабатывает при отклонении не больше  $1 \text{ мкм}$  от желаемой позиции.

### 1.5. Управление щелью диафрагм

Каждому угловому расположению спектрометра должна соответствовать определенная, одинаковая для входной и детекторной диафрагм, ширина щели. Она устанавливается с помощью шаговых двигателей, их оси жестко связаны со шпинделями, при повороте которых на один инкремент двигателя меняется размер щелей на  $10 \text{ мкм}$ . Каждый шаговый двигатель управляется блоком мощных ключей и формирователей импульсов /УШД/, которые, в свою очередь, синхронно работают от интерфейса управления шаговым двигателем, описанного в разделе 1.2. Оптические дискриминаторы /УД/ /см. на рис.1/ фиксируют крайние /открытое или закрытое/ состояния щелей и останавливают двигатели. Дискриминаторы /рис.6/ состоят из генератора, модулирующего свет светодиода, проходящий через щель и поступающий на фотодиод, находящийся на противоположной стороне щели, усилителей демодуляторов /УВ/ и дискриминаторов. Демодулятор выпрямляет усиленный переменный сигнал, а два дискриминатора срабатывают при превышении заданных нижнего и верхнего уровней.

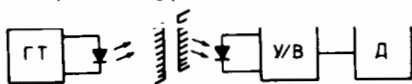


Рис.6. Блок-схема оптического дискриминатора.

### 1.6. Электроника обработки сигналов лазерного интерферометра

Электроника обработки сигналов с лазерного интерферометра, предназначенного для измерения углов Брэгга  $\theta$ , была разработана на основе лазерной измерительной системы ИПЛ-10<sup>14</sup>. Интерферирующие световые сигналы двух каналов регистрируются светодиодами и усиливаются. С помощью автоматического регулирования коэффициента усиления и схемы симметризации, позволяющей иметь постоянный, независимый от фазовых отношений регистрируемых сигналов уровень переменной составляющей, нормируется выходной сигнал усилителей по отношению к порогам срабатывания последующих дискриминаторов.

Дальнейшая обработка нормированных импульсов производится в блоке, содержащем схему "учетверения" /дифференциаторы, формирователи/, схему определения разности частот и ее знака. Одновременно производится синхронизация чтения импульсов разност-

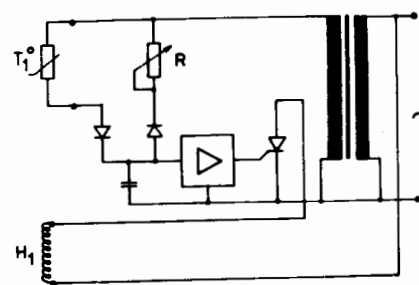
ной частоты с периодом пьезомодулятора интерферометра. Эти импульсы записываются в реверсивный счетчик емкостью 24 бит, актуальное значение которого пропорционально  $\sin \theta$ . В счетчик может быть предварительно записано его начальное значение. Так как запись в счетчик не синхронизирована с циклом КАМАК, имеется схема синхронизации чтения, предотвращающая чтение ложных значений при переходе счетчика в другие состояния. Более подробное описание дается в <sup>14,5/</sup>.

### 1.7. Измерение и стабилизация температуры

Чтобы исключить влияние изменения постоянной решетки кристалл-анализатора от температуры на результат измерения, требуется поддержание постоянной его температуры в пределах  $\leq 0,05 \text{ К}$ .

Изменение температуры места прикрепления кристалла зависит главным образом от изменения температуры за счет теплопроводности передаточных механизмов спектрометра. Поэтому первая система стабилизации находится на месте прикрепления этого механизма к корпусу спектрометра. Здесь поддерживается постоянная температура в пределах  $0,1 \text{ К}$ , что ограждает механизм от влияния изменения температуры внешней среды и от тепла, выделяемого шаговым двигателем главного привода.

Вторая система стабилизации расположена вблизи кристалла и дает возможность более точно и быстро влиять на его температуру. Первая система регулирования температуры включает в себя датчик температуры /термосопротивление/, усилитель тока нагрева и нагревательную спираль  $H_1$ . Блок-схема системы приведена на рис.7<sup>16/</sup>. Величина термосопротивления сравнивается с устанавливаемым /задающим температуру стабилизации/ сопротивлением (R) путем заряда емкости /C/. Уровень напряжений на конденсаторе является мерой разницы этих сопротивлений. После усиления он используется для отпираания или запираания тиристора, управляющего током нагрева спирали  $H_1$ . Максимальная выделяемая мощность составляет  $600 \text{ Вт}$ . На рис.8 приведен результат измерения изменения температуры на месте стабилизации. Измерение проводилось при окружающей температуре  $292,35 \text{ К} /19,2^\circ \text{ С} /$ , а температура стабилизации была установлена на  $300,4 \text{ К}$ . В течение  $6,5 \text{ ч}$



наблюдалось максимальное отклонение температуры в  $0,12 \text{ К}$ . В систему стабилизации температуры кристалл-анализатора входят блок измерения температуры, ЦАП, усилитель мощности, датчик температуры  $T_2$ , нагревательная спираль  $H_2$ .

Рис.7. Схема регулятора температуры.

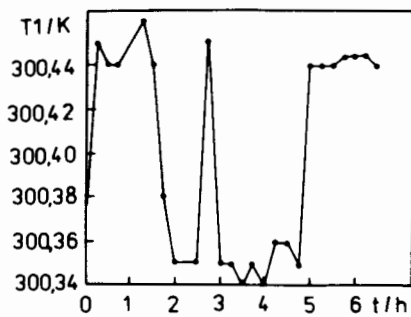
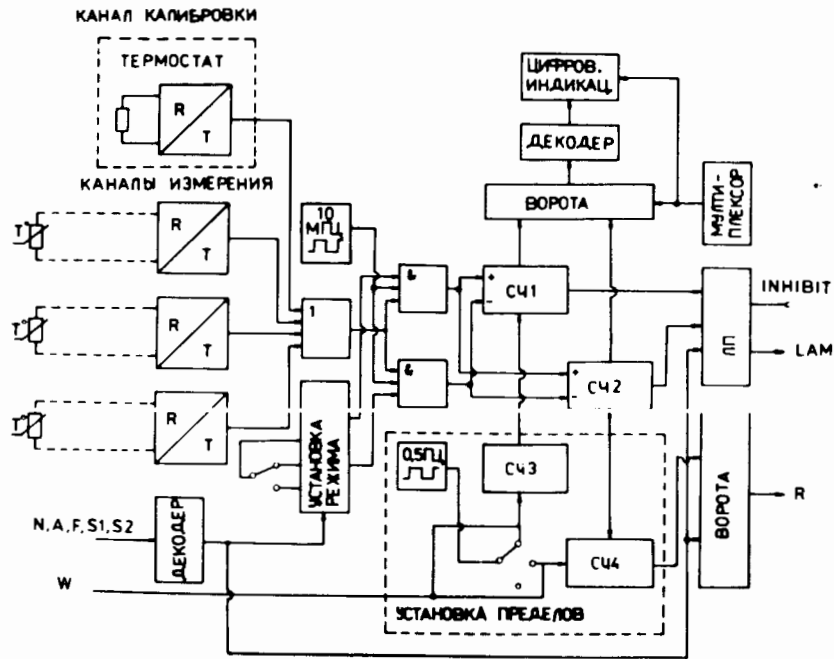


Рис.8. Диаграмма изменения регулируемой температуры.

Рис.9. Блок измерения и контроля температуры.



Для измерения разности температур с высокой чувствительностью, был разработан блок измерения и контроля, описанный в работе [7]. На рис.9 представлена схема. Он работает по методу дигитализации зависящего от температуры временного интервала. В качестве датчиков температуры используются термосопротивления. Для преобразования величины сопротивления во временной интервал применяются одновибраторы типа SN 74121/K 155 АГ1/. Они располагаются в термостате, их напряжение питания стабилизируется. Временной интервал, однако, может быть задан извне. Рабочий режим блока устанавливается с помощью команды КАМАК либо вручную с передней панели блока. Результат измерения выводится на магистраль КАМАК и одновременно на светодиодный дисплей.

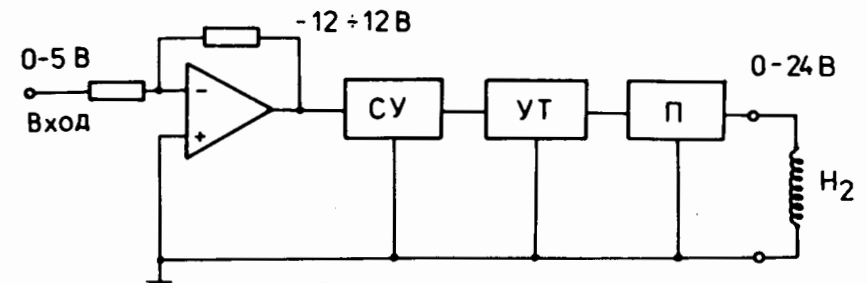


Рис.10. Усилитель нагрева.

Устанавливаются 3 режима работы:

- режим калибровки для проверки постоянства температуры в термостате и условий работы одновибраторов,
- режим измерения для периодического определения температуры одного из адресуемых датчиков,
- режим контроля для сравнения измеряемого значения температуры с заранее установленным нижним и верхним пределами, по достижении которых выдаются сигналы запрета I и LAM.

С помощью блока измеряется изменение сопротивления с точностью 15 Ом. Это значит, что при использовании термосопротивлений с номиналом, например, 10 кОм и температурным коэффициентом 10% на К /типа СТ6-1Б/, возможно определение изменения температуры в 0,015 К. С помощью этого блока периодически измеряется температура кристалл-анализатора. ЭВМ считывает результаты ее изменения, определяет разность между действительным и желаемым значениями температуры и вычисляет корректирующее воздействие на нагревательный элемент. Оно подается на ЦАП, выходное напряжение которого изменяется в пределах от 0 до 5 В. Это напряжение поступает на вход усилителя мощности, который выдает пропорционально входному сигналу напряжение нагрева от 0 ÷ 20 В. Максимально выделяемая мощность на спирали H<sub>2</sub> составляет 10 Вт. Блок-схема усилителя представлена на рис.10, где СУ - "сместитель" уровня, УТ - усилитель тока, П - электронный предохранитель.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная система контроля и оптимизации параметров кристалл-дифракционного спектрометра является основной модульной системой, блоки которой можно использовать для решения подобных задач у аналоговых спектрометров. Выполнение блоков в стандарте КАМАК позволяет без труда подключать электронику через магистраль КАМАК к любой ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карраш Г. и др. ОИЯИ, P13-83-473, Дубна, 1983.
2. Inkrementaler Positionssteller IPS-A/ Ansteuerelektronik ASE2-A, Gebrauchsanleitung, VEB Carl Zeiss Jena, DDR, Jena 1970.
3. Карраш Г., Щорнак Г. ОИЯИ, 13-82-104, Дубна, 1982.
4. Ведерников В.М. и др. Лазерные интерферометры. Изд. Института автоматизации и электроники СО АН СССР, Новосибирск, 1978, с. 10.
5. Мюллер Г., Карраш Г., Щорнак Г. ОИЯИ, P13-83-55, Дубна, 1983.
6. Боерис И., Титов А. "Радио", 1977, 12, с. 26.
7. Дунин В.Б., Карраш Г., Щорнак Г. ОИЯИ, P13-83-287, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 июля 1983 года.

Карраш Г. и др. P13-83-474  
Автоматизированное управление кристалл-дифракционным спектрометром с помощью мини-ЭВМ.

Для проведения экспериментов по диагностике зарядового спектра ионов в электронно-ионных кольцах коллективного ускорителя ОНМУ ОИЯИ на основе измерения характеристического рентгеновского излучения ионов разработан кристалл-дифракционный спектрометр. Описывается электроника управления, обеспечивающая установку угла Брэгга в диапазоне  $9^\circ \leq \theta \leq 83^\circ$  с точностью порядка  $0,1''$ , что становится возможным благодаря применению лазерного интерферометра, системы грубого и точного позиционирования кристалл-анализатора, входной и детекторной диафрагм. Рассматривается система стабилизации температуры на величину порядка  $0,05$  К, необходимая для точных измерений. Для автоматизации управления система сопряжена через блоки КАМАК с ЭВМ типа МЭРА 60-30.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Karrasch G. et al. P13-83-474  
Automatical On-Line Mini-Computer Control of a Crystal Diffraction Spectrometer

For experiments to analyze the ion charge spectrum in electron-ion rings of the collective electron-ring accelerator of the Division of New Acceleration Methods of the JINR, based on the measurement of the characteristic X-rays of ions, a crystal diffraction spectrometer has been developed. The control electronics of the spectrometer is described, that guarantees the Bragg angle set-up in the region of  $9^\circ < \theta \leq 83^\circ$  with  $0.1''$  accuracy. This is possible due to the use of a laser Interferometer in connection with a system for ground and fine adjustment of the analyzer crystal and for the adjustment of the radiation entrance slit and the detector. A system for control and stabilization of the temperature to  $0.05$ K, necessary for accurate measurements, is described. For automatization of the control the electronics is connected via CAMAC with a Mera 60-30 computer.

The investigation has been performed at the Department of New Methods and Acceleration, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой