

Н - 379

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

13-92-24

НГУЕН НЬИ ДЬЕН

**РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ
И ИНТЕРФЕЙСОВ С ПЭВМ ТИПА IBM PC И ИХ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ОИЯИ**

**Специальность: 01.04.01. - техника физического
эксперимента, физика приборов,
автоматизация физических
исследований**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1992

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Тишин В.Г.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук,
профессор
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Цупко-Ситников В.М.

Гагунашвили Н.Д.

Ведущая организация:

Институт ядерных исследований АН Украины, г. Киев.

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1992 года в
"_____" час. на заседании специализированного совета Д 047.01.05
при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций
Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "_____" _____ 1992 года.

Ученый секретарь
специализированного совета

Таран Д.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность работы. Микропроцессорные комплекты и выполненные на их основе микроЭВМ при больших вычислительных и логических возможностях сочетают достоинства универсальных и специализированных устройств контроля, управления и обработки данных. Широкое применение микропроцессорной техники привело к фундаментальным сдвигам в области автоматизации, связи, приборостроения и вычислительной техники. Поэтому развитие и применение микропроцессоров (МП) и микроЭВМ оценивается как одно из важнейших направлений научно-технического прогресса.

Внедрение МП и микроЭВМ в практику физических исследований позволяет создавать аппаратуру для сложных и современных экспериментальных установок, облегчить работу пользователя за счет более простого проблемно-ориентированного программного обеспечения.

В настоящее время изучение структуры и свойств высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) проводится во многих научно-исследовательских лабораториях. Для таких экспериментов, как правило, требуется создание систем регулирования и стабилизации температуры исследуемых образцов в широком диапазоне с высокой точностью. Использование микропроцессорной техники для решения такой задачи значительно повышает эффективность научных исследований, увеличивает надежность и качество аппаратуры, снижает общую стоимость комплексов измерительных, вычислительных и управляющих систем.

Отсюда можно видеть, что задача разработки и создания автономных микропроцессорных контроллеров, функциональных электронных модулей и интерфейсов с микроЭВМ типа IBM PC-XT/AT, позволяющих построить автоматизированные системы контроля и управления тепловыми процессами на экспериментальных установках для научных исследований, является вполне актуальной задачей в области методики физического эксперимента.

Цель настоящей работы заключается в разработке аппаратуры и программного обеспечения микропроцессорных систем и специальных интерфейсов для решения научно-технической задачи в области экспериментальной физики в ОИЯИ. Важной задачей является решение проблемы перехода от приборов с ручным управлением для регулирования температуры объектов к программно-управляемым автоматизированным системам с помощью применения микропроцессорной техники.

Научная новизна и основные положения, защищаемые в диссертации:

1. Разработаны с применением новых схемных решений усилители

Объединенный институт
ядерных исследований
БМС ПИИЯИ

постоянного тока и усилители выходной мощности, включаемые в состав функциональных модулей для измерения, контроля и управления технологическими параметрами в экспериментальных установках.

2. Разработаны и внедрены в экспериментальные исследования различные микропроцессорные контроллеры: контроллер с удаленным управлением, контроллер в стандарте КАМАК, контроллер с пультом клавиатуры и цифровой индикацией, на основе которых созданы микропроцессорные системы автоматического регулирования и стабилизации температуры в установках для научных исследований в ОИЯИ.

3. Разработан восьмиразрядный коммутатор, при использовании которого и на основе автономных микропроцессорных контроллеров создана многопроцессорная система, управляемая по последовательному каналу от общего дисплейного терминала и предназначенная для управления температурными режимами в электропечи с трехсекционным нагревательным элементом и для регулирования тепловых процессов в многих независимых объектах.

4. Разработаны функциональные интерфейсы, подключаемые непосредственно к шине расширения персональных компьютеров типа IBM PC-XT/AT для сбора информации и управления оборудованием.

5. Разработано программное обеспечение измерительных и управляющих микропроцессорных систем, созданных на основе разработанных блоков и устройств и предназначенных для регулирования температуры объектов, сбора и обработки экспериментальных данных.

Практическая ценность диссертации заключается в том, что с помощью разработанных функциональных блоков (входные/выходные усилители, различные микропроцессорные контроллеры, многоканальный коммутатор и др.), дополнительных интерфейсов на шине расширения PC-XT/AT, а также программного обеспечения измерительных и управляющих систем, выполненных на их основе, были созданы и внедрены в экспериментальные исследования автономные системы на базе МП и микроЭВМ, удовлетворяющие требованиям автоматизации экспериментов на различных установках в ОИЯИ.

Наборы функциональных модулей и дополнительные интерфейсы созданы на основе выпускаемой в СССР серийной элементной базы.

Апробация и публикации работ. Основные результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на научно-методических семинарах ЛНФ ОИЯИ, на XIV Международном симпозиуме по ядерной электронике (г. Варшава, 1990 г.) и опубликованы в работах [1÷8], приведенных в списке литературы. Эти результаты получены автором в период с 1988 по 1991 гг. в ЛНФ ОИЯИ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем составляет 106 страниц машинописного текста, включая 37 рисунков, 10 таблиц и список литературы из 92 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы, сформулирована цель работы, отмечены научная новизна и основные положения, которые выносятся на защиту, и приведено краткое содержание диссертации по главам.

В первой главе приведены история появления и тенденции развития МП и микроЭВМ, представлены основные применения микропроцессорной техники в создании автоматизированных систем для физических исследований, рассматриваются основные возможности 8-битной шины расширения персональных компьютеров семейства IBM PC, такие, как распределение адресного пространства ввода-вывода, распределение адресной зоны памяти и принцип работы системы прерывания, имеющие практическое значение при разработке дополнительных интерфейсов и их программного обеспечения для построения измерительных и управляющих систем на базе PC-XT/AT.

Первый микропроцессор — 4-разрядный монолитный 4004 фирмы Intel, поступил на рынок в 1971 г. С того времени начался стремительный рост производства МП, которые благодаря непрерывному улучшению их технических характеристик и дальнейшему снижению стоимости получают все более широкое распространение.

В 1972 г. фирмой Intel выпущен первый простейший 8-разрядный МП типа 8008, а в 1974 г. — более совершенный 8-разрядный однокристалльный МП типа 8080. К 1976 году, когда эта фирма выпустила 8-разрядный МП 8085, на рынке уже имелся большой выбор 8-разрядных МП. В том числе были Z-80 фирмы Zilog, 6802 фирмы MOS Technology, MC-6800 и MC-6809 фирмы Motorola и др.

В 1977 г. появились 16-разрядные МП. Первые из них — RASCЕ фирмы National Semiconductor, CP-1600 фирмы GIM и TMS-9900 фирмы Texas Instruments. Быстродействие 16-разрядного МП Intel 8086, изготавливаемого в 1978 г., в десять раз больше, чем у предыдущего 8080, а последующие 16-разрядные МП, такие, как MC-68000, MC-68010, Z-8000, TMS-99000, NS-16032, 80186, 80286 и др., имели все более высокое быстродействие.

Первые 32-разрядные МП появились на рынке в 1983-1984 гг. Это

были МП NS-32032 фирмы National Semiconductor и МП-комплект NCR/32. В начале 1985 года появился MC-68020 фирмы Motorola, а к его окончанию МП T-414 фирмы Inmos и Intel 80386. Впоследствии в 1986 г. был выпущен МП Z-80000 фирмы Zilog.

Наиболее популярными 32-разрядными МП с традиционной архитектурой являются следующие четыре: MC-68020, NS-32032, I-80386 и Z-80000. Эти микропроцессоры имеют ряд преимуществ по сравнению с 16-разрядными предшественниками.

Направление построения автономных систем на базе микропроцессоров можно разделить на два класса:

- микропроцессорные системы и контроллеры в разных стандартах — КАМАК, VME, MULTIBUS, FUTUREBUS, FASTBUS и др.;
- микропроцессорные приборы и регуляторы.

Большое значение с точки зрения разработки и создания электронной аппаратуры для физических экспериментов сыграл стандарт КАМАК. Использование МП в интеллектуальных контроллерах обеспечивает не только микропрограммирование основных команд КАМАК, но и дает возможность построения автоматизированных систем в стандарте КАМАК. В настоящее время широкое распространение для автоматизации физических исследований получили комплексы: персональный компьютер типа IBM PC-XT/AT и крейт КАМАК.

В главе приведена типичная блок-схема микропроцессорной системы автоматического контроля и регулирования температурного режима термостата, состоящей из программируемого контроллера, содержащего центральный процессор, памяти ПЗУ и ОЗУ, аналоговый мультиплексор, преобразователи сигналов АЦП и ЦАП, таймеры, пульт управления и индикации и др., входных и выходных усилителей. Надежность и возможность работы такой системы в большой степени зависят от характеристик применяемых функциональных электронных модулей и устройств. Поэтому разработка универсальных программируемых контроллеров и аналоговой электроники с высоким качеством является одним из основных требований при построении контрольно-измерительных и управляющих систем на базе МП для автоматизации научных исследований.

В начале 1982 г. фирмой IBM выпущен персональный компьютер типа PC-XT, в котором существуют пять незанятых разъемов расширения для будущего расширения системы дополнительными стандартными или нестандартными модулями (интерфейсами). Для разработки и создания таких интерфейсов на базе 8-битной шины расширения компьютеров семейства IBM PC необходимо знать ее электрическую и меха-

ническую спецификацию. Поэтому в первой главе также приведены основные данные шины расширения PC XT и AT с точки зрения разработки специальных интерфейсов для сбора информации и управления оборудованием эксперимента.

Во второй главе приведены основы теплового регулирования в экспериментальных установках. При этом рассматриваются уравнение теплового баланса и реальные динамические характеристики управляемых объектов с точки зрения создания автономных систем на базе МП и разработки алгоритмов программного обеспечения таких систем для решения задачи автоматического контроля и управления тепловыми процессами объектов.

Уравнение теплового баланса тепловых преобразователей при неизменном агрегатном состоянии среды и постоянной температуре тел определяется как:

$$q_{Эл} + q_{Тп} + q_{Конв} + q_{Ли} = 0, \quad (1)$$

где $q_{Эл} = I^2 R$ — теплота Джоуля-Ленца, выделяющаяся в преобразователе; $q_{Тп}$ — теплопроводность через окружающую среду; $q_{Конв}$ — конвекция; $q_{Ли}$ — лучеиспускание.

Выражая соответствующими формулами все виды тепловых потерь, уравнение теплового баланса с учетом переходного процесса нагревания или охлаждения тела в стадии регулярного теплового режима можно представить в виде:

$$I^2 R - G_T (T - T_{Ср}) - \xi S (T - T_{Ср}) - C_{П} S [(T/100)^4 - (T_{СТ}/100)^4] - mc \frac{dT}{dt} = 0, \quad (2)$$

где член $mc \frac{dT}{dt}$ учитывает дополнительное тепло, идущее на повышение теплосодержания тела; T , $T_{Ср}$, $T_{СТ}$ — соответственно температура тела, среды, окружающей преобразователь, и стенок; G_T — тепловая проводимость среды; ξ — коэффициент теплоотдачи; $C_{П}$ — коэффициент лучеиспускания; S , m , c — поверхность, масса и удельная теплоемкость тела соответственно.

В случае работы с муфельной печью можно пренебречь потерями на излучение, при этом уравнение теплового баланса примет следующий приближенный вид:

$$I^2 R - \xi_{\Sigma} (T - T_{Ср}) - mc \frac{dT}{dt} = 0, \quad (3)$$

где ξ_{Σ} — суммарный коэффициент теплопередачи, определяемый теплопроводностью и конвекцией.

Таким образом, задание регулирования и стабилизации темпера-

туры объекта сводится к решению дифференциального уравнения первого порядка (3) для определения управляющих коэффициентов, связанных с величиной тока через нагревательный элемент.

В главе приводятся характеристики разных температурных датчиков (термопары, термометры сопротивления, термисторы и др.), обычно используемых в системах автоматического контроля и управления тепловыми процессами в физических экспериментах. На практике выбор типа датчиков температуры зависит от задачи эксперимента и требуемых параметров измерения.

Далее в этой главе рассматриваются проблема разработки усилителей постоянного тока (УПТ) и методы коррекции дрейфа нуля, являющегося важнейшим параметром УПТ. Радикальным методом борьбы с дрейфом нуля при усилении сигналов напряжения постоянного тока является использование усилителей с модулятором-демодулятором (МДМ). Описан разработанный УПТ с МДМ, в котором предложен новый метод управления ключами МДМ для исключения краевых эффектов, появляющихся из-за перезаряда емкостей ключей в модуляторе, что позволяет уменьшить выходную нелинейность до 0.2% на всех диапазонах его работы. УПТ имеет следующие характеристики [1]:

- минимальный входной сигнал - единицы мкВ;
- максимальный выходной сигнал - 10 В;
- коэффициенты усиления - 250, 500, 1000.

На одной плате КАМАК шириной 2м размещены два канала усиления.

В данной главе также рассматриваются методы обеспечения нагрузочного тока для управляемых объектов большой мощности. Дается описание разработанного тиристорного усилителя мощности (УМТ) [1], который обеспечивает:

- преобразование напряжения постоянного тока в выходную мощность, выделяемую на нагрузке, по линейной зависимости;
- гальваническое разделение входных цепей от силовых выходных, связанных с нагрузкой;
- возможность подключения к нему внешних тиристоров для управления объектами большой мощности до 6 кВт.

Усилитель мощности УМТ с напряжением питания ~ 220 В, 50 Гц имеет следующие основные характеристики:

- диапазоны входных сигналов - 0÷10 В, 0÷5 В, 0÷1 В;
- входное сопротивление усилителя - не менее 10 кОм;
- выходная мощность при использовании тиристоров КУ202Н - 2 кВт;
- нелинейность зависимости выходной мощности, выделяемой на нагрузке, от входного напряжения - не более 5%.

УМТ выполнен в виде одного блока в конструктиве "Вишня" с массой не более 3 кг.

В настоящее время в лабораториях ОИЯИ используются усилители УПТ и УМТ в составе микропроцессорных систем для автоматического регулирования и стабилизации температуры печей в разных экспериментальных установках. Кроме того, УМТ также применяется в качестве источника токовых импульсов для исследования диффузии кислорода в образце сверхпроводящей керамики [1,2,6,7].

Третья глава диссертации посвящена описанию разработанных автором различных микропроцессорных контроллеров и выполненных на их основе систем, предназначенных для регулирования тепловых процессов объектов исследования в различных экспериментах, проводимых в лабораториях ОИЯИ.

Описан автономный микропроцессорный контроллер (МК) с удаленным управлением по последовательному каналу [1]. МК изготовлен на основе МП-серии КР580, имеющей обширное программное обеспечение и получившей в настоящее время широкое распространение в СССР.

Использование в контроллере в качестве периферийных устройств преобразователей АЦП и ЦАП значительно расширяет его возможности. В контроллере МК размещены 12-разрядные АЦП и ЦАП.

В МК применен программируемый контроллер прерываний, запросы на прерывание на входы IRQ0 и IRQ1 которого поступают с выходов программируемых счетчиков. Это позволяет повысить гибкость программирования МК в режиме задания интервалов времени, что существенно при использовании МК для построения разных управляющих систем, в частности, системы регулирования тепловых процессов, где необходимо задавать скорость изменения температуры и время ее поддержания на заданных уровнях.

Контроллер МК с дистанционным управлением объектом (до 1000 м) имеет следующие технические характеристики:

- 8 аналоговых входов (входное напряжение - 0÷10 В);
- один аналоговый выход с напряжением - 0÷10 В;
- время преобразования АЦП - ~ 50 мкс;
- скорость асинхронного приема-передачи - 1200 бод;
- возможность задавать интервалы времени от 1 мин. до 96 часов.

Для проведения дифракционных экспериментов по изучению структуры вещества на нейтронном дифрактометре ДН-2 на импульсном реакторе ИБР-2 создана на основе МК автономная микропроцессорная система для регулирования и стабилизации температуры исследуемых образцов, включающая в себя набор функциональных электронных

блоков: УПТ, МК и УМТ, расположенных в экспериментальном зале реактора. Управление работой системы осуществляется с помощью дистанционного терминала (~ 600 м) типа VIDEOTON-52130 в измерительном центре ЛНФ [1].

Данная система на ДН-2 также применяется в экспериментах по изучению процессов синтеза некоторых ВТСП-материалов (иттриевых и висмутовых керамик). Представлены некоторые экспериментальные результаты синтеза ВТСП-керамик, например, тип 1-2-3 ($Y_1Ba_2Cu_3O_x$).

В настоящее время для управления экспериментом, анализа и обработки данных широко применяются разные типы микроЭВМ, например, на нейтронном дифрактометре ДН-2 в ЛНФ используется в режиме "on line" персональный компьютер класса PC/AT-286. Для этих же целей автором разработан в стандарте КАМАК микропроцессорный контроллер МКК (рис.1), входящий в состав аппаратуры дифрактометра ДН-2 и

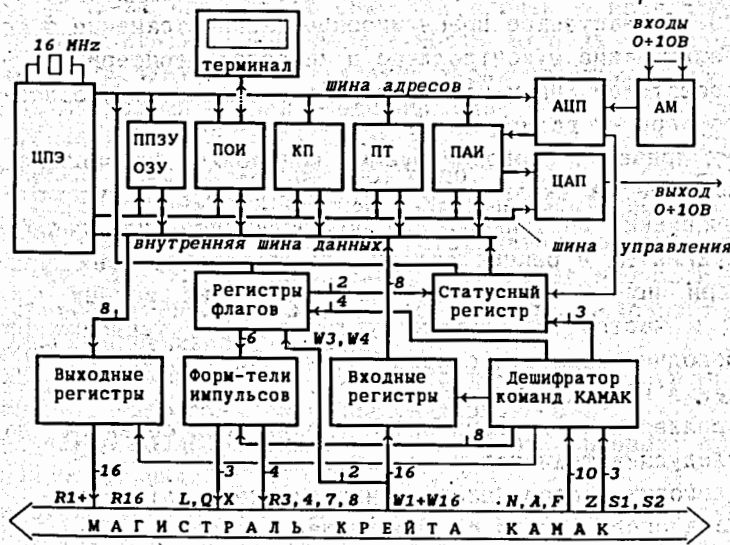


Рис.1. Блок-схема микропроцессорного контроллера в КАМАК (МКК).
 ЦПЭ - центральный процессорный элемент (КР580ИК80А, КР580ВК28, КР580ГФ24, 2 схемы К155ЛП10);
 ПОИ - последовательный интерфейс (КР580ВВ51А);
 КП - контроллер прерываний (КР580ВН59);
 ПТ - программируемые таймеры (2 схемы КР580ВИ53);
 ПАИ - параллельный интерфейс (КР580ВВ55А);
 АМ - 8-канальный аналоговый мультиплексор (МАН-08Ф).

управляемый персональным компьютером через крейт-контроллер [2-5]. При помощи такого комплекса: аппаратуры КАМАК и управляющей ЭВМ, проводятся эксперименты по исследованию переходных процессов в кристаллах ВТСП-материалов (фазовые переходы, переходные процессы малой длительности и др.), в которых необходимо измерение коррелированной информации (дифракционные спектры, температура и др.) и ее накопление в памяти ЭВМ.

В контроллере МКК (по сравнению с контроллером МК) увеличены емкость памяти ППЗУ до 24 кбайт и емкость ОЗУ до 8 кбайт; введена дополнительная схема, обеспечивающая программный переход к управлению контроллером или по параллельному каналу через шину КАМАК от РС, или по последовательному каналу типа RS-232 от автономного терминала и т.п., что позволяет увеличить возможность его работы.

Созданная на основе микроконтроллера МКК температурная система на дифрактометре ДН-2 позволяет:

- задавать скорость нарастания и уменьшения температуры объекта с минимальным шагом $1^\circ\text{C}/\text{мин}$.
- задавать температуру для регулирования в диапазоне от $+40^\circ\text{C}$ до 1100°C и поддерживать заданную температуру с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$;
- задавать период регистрации текущей температуры в память ОЗУ МКК в диапазоне от 200 мс до 3276 с с минимальным шагом 100 мс;
- вводить систему в режим стабилизации температуры в произвольный момент ручным путем от клавиатуры управляющего компьютера;
- задавать предельную температуру объекта, при достижении которой печь автоматически выключается.

Для управления экспериментом на нейтронном дифрактометре ДН-2 применена программа NDC.EXE на языке TURBO-PASCAL, позволяющая выполнять необходимые операции управления аппаратурой, в том числе и контроллером МКК температурной системы. Таким образом, осуществляется синхронность регистрации температурных графиков с регистрацией дифракционных спектров, что особенно важно в нейтронографических экспериментах в реальном масштабе времени при исследовании переходных процессов в кристаллах ВТСП-материалов [3-5].

Для термической обработки материалов в стационарных условиях при проведении технологических операций изготовления керамических образцов и изделий из них широко применяют нагревательные устройства с непрерывной работой в течение нескольких суток с постоянной или медленно изменяющейся во времени температурой. Для этих и других целей автором разработан компактный программируемый терморегулятор (ПТ), состоящий из микропроцессорного контроллера (МК)

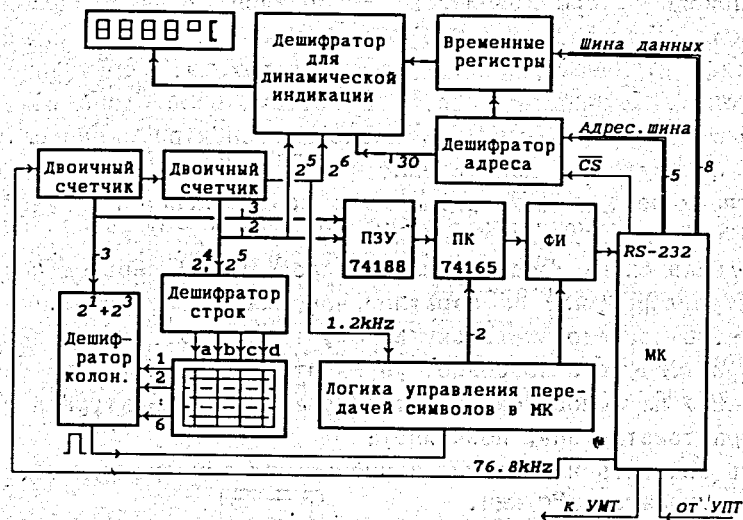


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорного контроллера с пультом клавиатуры и цифровой индикацией. ПК - преобразователь параллельного кода в последовательный код; ФИ - формирователь импульсов для передачи кода в МК.

с клавишным управлением и цифровой индикацией (рис. 2), усилителей УПТ и УМТ, блока питания БП, позволяющий вводить произвольную программу изменения температуры во времени и контролировать ее в процессе работы [6].

Особенность терморегулятора ПТ заключается в том, что кроме возможностей линейного нагрева и поддержания температуры на заданных уровнях аппаратные средства и программное обеспечение регулятора дают и возможность линейного уменьшения температуры объекта с малыми скоростями, что существенно в процессах приготовления образцов ВТСП. Кроме этого программное обеспечение терморегулятора ПТ также позволяет пользователю проверить и изменить заданные параметры в любой момент при выполнении программы.

Благодаря большим функциональным возможностям терморегулятора он получил широкое применение в различных экспериментальных установках. Например, в ЛФ ОИЯИ создана вакуумная система калибро-

ванного насыщения кислородом ВТСП-материалов при разных температурах, состоящая из системы откачки и измерения давления и системы регулирования температуры образца на основе терморегулятора ПТ. Эта вакуумная система позволяет учитывать изменение давления кислорода над порошком ВТСП с высокой точностью (после любых изменений температуры). Соответственно можно определять количество кислорода, поглощенного в порошке ВТСП-материалов.

Такой же регулятор применяется в ЛЯР ОИЯИ для автоматического управления тепловыми процессами печей при проведении термохромографических экспериментов по исследованию трансактинидных элементов, синтезированных на пучках тяжелых ионов.

Далее в этой главе рассматривается проблема связи по последовательному каналу одного дисплейного терминала с многими автономными микропроцессорными системами для создания многопроцессорной системы управления объектами. Эта задача решается с помощью 8-канального мультиплексорного блока (МБ), разработанного автором для этих же целей. Логика блока МБ позволяет работать как в ручном, так и в программно-управляемом режиме коммутации [7].

В ЛФ ОИЯИ в последнее время проводятся эксперименты по выращиванию монокристаллов из расплавов по методу градиента температуры при помощи электропечи с трехсекционным нагревательным эле-

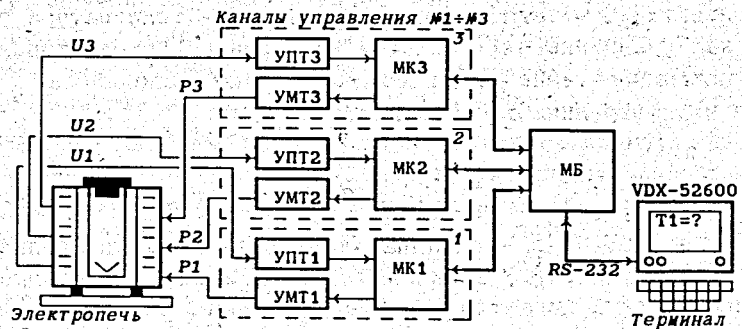


Рис. 3. Блок-схема многопроцессорной системы для регулирования температурных режимов в трехсекционной электропечи. УПТ1-УПТ3 - усилители постоянного тока; УМТ1-УМТ3 - усилители мощности; МК1 - МК3 - микропроцессорные контроллеры; МБ - восьмиканальный мультиплексорный блок.

ментом. Управление температурными режимами в такой печи осуществляется с помощью созданной нами многопроцессорной системы, состоящей из трех независимых программных температурных подсистем и блока коммутатора МБ, предназначенного для подключения этих подсистем к общему управляемому терминалу (рис. 3) [7].

Аналогичная конфигурация системы с применением блока МБ может быть использована для регулирования тепловых процессов в двух или более независимых объектах, управляемых автономными микропроцессорными контроллерами типа МК.

Видно, что при создании автоматизированных систем на базе МП и микроЭВМ для управления процессами, а также для сбора и обработки данных в физических экспериментах реализация поставленной задачи решается не только аппаратными, но и программными средствами. В связи с этим в данной главе рассматривается программное обеспечение микропроцессорных систем для регулирования и стабилизации температуры в экспериментальных установках [1, 2, 6].

Как показано во второй главе, уравнение теплового баланса регулируемого объекта в большинстве случаев можно приближенно описать следующим видом:

$$c \frac{dT}{dt} + A(T - T_0) = Q, \quad (4)$$

где $Q = KI^2$ - тепло, выделяемое нагревательным элементом; A - коэффициент пропорциональности, связанный с коэффициентом теплопередачи объекта; T - температура объекта; T_0 - температура среды.

Так как уравнение (4) является уравнением первого порядка, то для стабилизации температуры объекта можно использовать только линейное и дифференциальное звенья:

$$I = K_1 \Delta T + K_2 \frac{d\Delta T}{dt}, \quad (5)$$

где $\Delta T = T - T_{CT}$ (T_{CT} - заданная температура для стабилизации); K_1, K_2 - коэффициенты, величины которых зависят от температуры T_{CT} и динамических характеристик регулируемого объекта.

Программное обеспечение микропроцессорных систем для регулирования тепловых процессов объектов исследования состоит из четырех взаимосвязанных частей: программы линейного разгона и снижения температуры с разными скоростями, программа для ввода системы в установившийся режим (программа в переходном режиме), программа поддержания заданной температуры и сервисные функции (обмен

информацией с внешней ЭВМ, вывод параметров системы на дисплей, изменение заданных параметров и т.д.). Каждая из них требует различного математического решения и влияет друг на друга.

Так как практически невозможно обеспечить мгновенное изменение температуры при действии тока через нагреватель, то для получения маленьких отклонений регулируемой величины от ее оптимального значения действие входного тока производится в момент, когда регулируемая величина достигает заранее выбранных значений. Для этого необходимо вводить в процессы регулирования производную $\Delta T(t)$ и знак этой производной.

В этой же главе приведены разные алгоритмы работы управляющей программы, а также дано описание конкретных методик при написании каждой из разных частей программного обеспечения.

В четвертой главе описаны разработанные автором интерфейсы на шине расширения персональных компьютеров семейства IBM PC, предназначенные для построения информационно-измерительных и управляющих систем на базе PC-XT/AT.

Существуют различные методы преобразования аналог-код. Для ввода данных в микропроцессоры наиболее целесообразно использовать АЦП по методу последовательного приближения, имеющие малое время преобразования, одинаковую скорость формирования N -разрядного слова и обеспечивающие высокую точность при относительной простоте схемного решения и т.д.

Для этого разработан интерфейс многоходового 12-разрядного АЦП последовательного приближения. АЦП изготовлен на основе 12-битного ЦАП типа К594ПА1, 12-битного регистра последовательного приближения на К155ИР17, аналогового компаратора на КР597СА3 и других дополнительных элементов. На входе АЦП установлен восьми-канальный аналоговый коммутатор, обеспечивающий коммутацию одного из 8-ми каналов сигнала. АЦП обеспечивает преобразование входных сигналов в диапазоне 0÷10 В, время преобразования порядка 50 мкс и интегральную нелинейность не хуже 0,2%.

Этот интерфейс может быть применен для создания многоканальной системы сбора экспериментальных данных на базе PC-XT/AT. Например, при проведении выращивания кристаллов ВТСП по способу задания в растворе градиента температур, как правило, необходимо наблюдать изменение температуры в рабочем объеме печи, где находится образец. Для этого нужно установить несколько температурных датчиков в этом объеме и снимать информацию с них одновременно.

В главе дается описание интерфейса ввода-вывода аналоговой

информации (рис. 4), предназначенного для построения управляющей системы на базе PC-XT/AT [8].

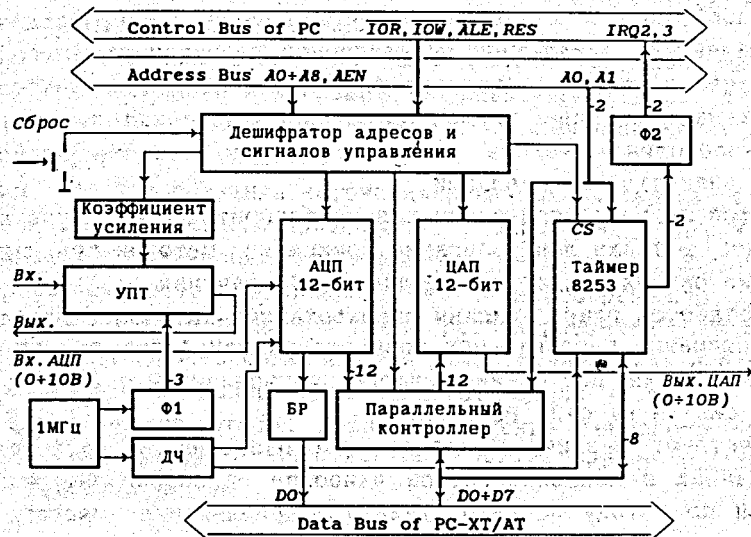


Рис. 4. Блок-схема интерфейса ввода-вывода аналоговой информации. Ф1 - формирователь импульсов управления ключами МДМ; Ф2 - формирователь сигналов запросов на прерывание; ДЧ - делитель частоты; БР - буферный регистр.

Интерфейс обеспечивает:

- усиление сигналов напряжения микровольтового диапазона с различными коэффициентами усиления: 150, 250, 500 и 1000, устанавливаемыми программным путем;
- преобразование аналоговых сигналов в диапазоне от 0 до 10 В в 12-битные цифровые данные с временем преобразования - 50 мкс.;
- преобразование 12-битных цифровых данных в аналоговое напряжение для управления исполнительным элементом;
- задание интервалов времени при помощи программируемого таймера и возможность обслуживания в режиме прерывания.

Далее в настоящей главе описывается система, созданная на базе интерфейса ввода-вывода и PC-XT/AT и используемая для регулирования температурных режимов в муфельной печи. К достоинствам такой

системы относится возможность находить оптимальное решение задачи стабилизации температуры печи с помощью программного обеспечения на языке высокого уровня. Кроме того, применение таблично-ориентированных (или таблично-управляемых) методов программирования на языке ASSEMBLY заменяется математическими функциями, которые быстро решаются на языке высокого уровня TURBO-PASCAL.

Следует отметить, что кроме задачи сбора данных и регулирования температуры печи можно использовать такую систему для проведения измерений других параметров внешнего объекта, представляемых в аналоговом виде, а также и для управления различными технологическими процессами.

В заключении приводятся основные результаты выполненной работы, которые выдвигаются на защиту:

1. Сформулированы основные требования к управляющей системе на основе МП для автоматического регулирования тепловых процессов в экспериментальных установках, включающей в себя набор функциональных электронных блоков: усилители сигналов с температурных датчиков, программируемый контроллер управления работой системы в целом, усилитель мощности для питания нагревательного элемента управляемого объекта и др.

2. Разработаны и созданы входные и выходные усилители, входящие в состав измерительных и управляющих микропроцессорных систем для автоматизации экспериментальных исследований.

Усилители постоянного тока УПТ с модулятором-демодулятором (МДМ) предназначены для усиления сигналов напряжения микровольтового диапазона. Для исключения краевых эффектов в модуляторе предложен новый метод управления ключами МДМ, что позволяет получить выходную нелинейность меньше 0.2% в диапазоне его работы.

Усилители мощности УМТ с фазовым управлением тиристорами, выполняющие с линейной зависимостью преобразование входного напряжения постоянного тока в выходную мощность, выделяемую на нагрузке. В УМТ обеспечивается гальваническое разделение входных от выходных силовых цепей, связанных с нагрузкой. Предусмотрена возможность подключения внешних тиристоров для увеличения выходной мощности до 6 кВт.

3. Разработана серия микропроцессорных контроллеров, предназначенных для решения различных задач управления установками:

- Контроллер МК с удаленным управлением объектом (до 1000 м) по последовательному каналу, в состав аппаратуры которого входят 12-разрядный АЦП с мультиплексором входных сигналов, 12-разрядный

ЦАП, программируемые таймеры, программируемый контроллер прерываний, ППЗУ емкостью 16 Кбайт, ОЗУ емкостью 4 Кбайт и др.

- Контроллер МКК в стандарте КАМАК управляется микроЭВМ через крейт-контроллер и магистраль КАМАК. Разработка МКК обусловлена требуемой организацией процессов автоматизации экспериментов на основе комплексов: персональный компьютер типа IBM PC и аппаратура КАМАК, которые в последнее время получили широкое применение в научных исследованиях, в частности, на физических установках ЛНФ.

- Автономный компактный контроллер с клавишным управлением и цифровой индикацией, имитирующими функции стандартного дисплейного терминала, используемый в составе аппаратуры экспериментальных установок для автоматического управления тепловыми или другими процессами в стационарных условиях.

4. На базе разработанных контроллеров и аналоговых электронных модулей созданы различные системы для регулирования температуры объектов, удовлетворяющие требованиям автоматизации экспериментов в конкретных условиях ОИЯИ:

- Автономная система на базе набора блоков: МК, УПТ и УМТ в течение 1989 года позволила дистанционно (около 600 м) управлять электропечью для проведения дифракционных экспериментов по изучению структуры и свойств ВТСП-керамик на нейтронных пучках импульсного реактора ИБР-2. При этом электронная аппаратура управления экспериментом, накопления и обработки данных находилась в измерительном центре ЛНФ, а датчики измерения и управляемые объекты - в экспериментальном зале реактора ИБР-2.

- Система управления печью на базе набора блоков: МКК, УПТ и УМТ включена в состав комплекса аппаратуры дифрактометра ДН-2, управляемого персональным компьютером PC/AT-286. Система обеспечивает как управление работой печи, так и накопление температурных графиков в его ОЗУ синхронно с накоплением дифракционных спектров в блоках памяти основной установки, что необходимо для обработки результатов измерения в экспериментах по исследованию переходных процессов в кристаллах ВТСП-материалов. Данная система используется в ряде нейтронографических экспериментов в реальном масштабе времени на импульсном реакторе ИБР-2.

- Программируемый терморегулятор ПТ в виде переносного прибора, содержащий микропроцессорный контроллер с пультом клавиатуры и цифровой индикацией, усилители УПТ и УМТ, используемый в различных установках. Например, регулятор ПТ является частью аппаратуры вакуумной системы калиброванного насыщения кислородом ВТСП-ма-

териалов при разных температурах. Такой регулятор также применяется для управления температурными режимами печей при проведении термохроматографических экспериментов по исследованию трансактионидных элементов, синтезированных на пучках тяжелых ионов и т.д. Особенность терморегулятора заключается в том, что кроме возможностей линейного нагрева и стабилизации температуры на заданных уровнях он позволяет и линейно уменьшать температуру объекта с малыми скоростями (до 1°С за несколько минут), что существенно в процессах приготовления образцов и синтеза ВТСП-материалов.

5. Исходя из уравнения теплового баланса и реальных динамических характеристик объектов с тепловой инерционностью разработано программное обеспечение микропроцессорных систем на языке ASSEMBLY для автоматического контроля и управления тепловыми процессами в таких объектах. В программное обеспечение входят программа монитора, сервисная программа и программа регулирования температуры печи с различными алгоритмами (линейное изменение температуры с разными скоростями, поддержание заданной температуры и др.).

6. Разработан восьмиканальный мультиплексорный блок (МБ) для связи по последовательному каналу одного терминала с многими автономными микропроцессорными системами. При помощи этого блока и на основе разработанных контроллеров типа МК создана многопроцессорная система управления работой трехсекционной электропечи для выращивания кристаллов ВТСП по методу градиента температуры. Разработано удобное для пользователей программное обеспечение для эксплуатации системы, что позволяет оперативно вмешиваться в процесс стабилизации температуры, нагрева или охлаждения образца. Такая конфигурация системы может быть использована для управления температурой в многих независимых объектах.

7. Разработаны функциональные интерфейсы, установленные непосредственно на 8-битной шине расширения микроЭВМ типа PC-XT/AT для построения измерительных и управляющих систем: интерфейс многоходового АЦП, интерфейс ввода-вывода аналоговой информации и др. Интерфейс ввода-вывода, содержащий усилитель постоянного тока с программно-управляемым коэффициентом усиления, 12-разрядный АЦП, 12-разрядный быстрый ЦАП, программируемый таймер, позволяет усиливать сигналы низкого напряжения (например, термо-э.д.с. термопар), преобразовывать аналоговые сигналы в диапазоне 0÷10 В, преобразовывать цифровые данные в выходное напряжение в диапазоне 0÷10 В и имеет возможность обслуживания в режиме прерывания.

8. На базе разработанных интерфейсов созданы разные экспери-

ментальные системы на базе РС-XT/AT, такие, как система для сбора данных из многих внешних источников (до 8 аналоговых сигналов), система регулирования температуры муфельной печи для термообработки разных материалов и др. Разработано программное обеспечение таких систем на языке высокого уровня TURBO-PASCAL, что позволяет удобно их использовать в физических экспериментах.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Нгуен Нь Дьен, Родионов К.Г.: Микропроцессорная система регулирования и стабилизации температуры: Сооб. ОИЯИ, P10-89-454. Дубна, 1989.
2. Нгуен Нь Дьен, Родионов К.Г.: Микропроцессорный контроллер в стандарте КАМАК для регулирования и стабилизации температуры: Препр. ОИЯИ, P10-90-398. Дубна, 1990.
3. Нгуен Нь Дьен, Островной А.И., Родионов К.Г., Тишин В.Г.: Микропроцессорный контроллер регулирования температуры в системе автоматизации экспериментов на нейтронном дифрактометре // XIV Международный симпозиум по ядерной электронике, г. Варшава, 25-28.09.90. Сб.: ОИЯИ, D13-90-600. Дубна, 1990. С. 287-292.
4. Балагуров А.М., Барабаш И.П., Жиронкин Г.Ф., Дьен Н.Н. и др. Аппаратура регистрации и автоматизации многодетекторного нейтронного дифрактометра по времени пролета // XIV Международный симпозиум по ядерной электронике. Сб.: ОИЯИ D13-90-600. Дубна, 1990. С. 283-286.
5. Балагуров А.М., Барабаш И.П., Жирокин Г.Ф., Дьен Н.Н. и др. Измерительно-вычислительный модуль нейтронного дифрактометра ДН-2 на реакторе ИБР-2: Препр. ОИЯИ P10-91-155. Дубна, 1991.
6. Нгуен Нь Дьен, Морозов И.В., Родионов К.Г., Тишин В.Г., Фьонг Д.Х. Программируемый регулятор температуры с клавишным управлением: Сооб. ОИЯИ, 13-90-491. Дубна, 1990.
7. Нгуен Нь Дьен, Родионов К.Г.: Коммутатор связи терминала с автономными микропроцессорными системами: Сооб. ОИЯИ, P10-90-346. Дубна, 1990.
8. Нгуен Нь Дьен, Родионов К.Г., Тишин В.Г.: Блок ввода-вывода в системе РС-XT/AT для регулирования температуры: Сооб. ОИЯИ, P10-89-766. Дубна, 1989.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 января 1992 года.