

4. Владимир В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1986.

УДК 378.681.3

Н.Т.Нечитайло, Б.А.Рыжков

РЕАЛИЗАЦИЯ АУИК НА ОСНОВЕ АНАЛОГОВЫХ
И ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

(г. Томск)

Автоматизированный учебно-исследовательский комплекс (АУИК) создается с целью повышения уровня подготовки специалистов в области автоматизации научных исследований. Комплекс строится на основе стандартных, аналоговых и цифровых средств вычислительной техники информационно-измерительных устройств и электронной аппаратуры различного функционального назначения. Комплекс должен обеспечить освоение типовых этапов выполнения научных исследований, ориентированных на вычислительный эксперимент. Вычислительный эксперимент обычно сопрягается с натурным экспериментом, что способствует более эффективному осуществлению цикла исследования. Выполнение натурального эксперимента связано с измерением, накоплением данных и их последующей обработкой.

Объектами исследования обычно являются сложные системы, математическое описание которых представляет обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных, интегральные и интегродифференциальные уравнения. Особенность таких задач в том, что их решение связано в основном с процессорной обработкой, а на работу периферийных устройств затрачивается мало процессорного времени. Другая особенность этих задач состоит в том, что они требуют решения в реальном времени.

При выборе средств вычислительной техники для моделирования сложных динамических систем обычно исходят из оптимального соотношения между стоимостью вычислений и быстродействием ЭВМ. Для этого рационально использовать аналого-цифровые машины. Преимуществом аналоговых машин является возможность непосредственного подключения реальной аппаратуры исследуемой системы в схему моделирования.

Возможность подключения реальной аппаратуры значительно повышает эффективность эксперимента в условиях сложности получения аналитического описания. Таким образом, сочетание измерительных приборов, аналоговой машины и компьютера открывает широкие возможности для проведения исследований. Для решения таких задач и используется аналого-цифровая вычислительная система, обобщенная структура которой представлена на рис. 1.

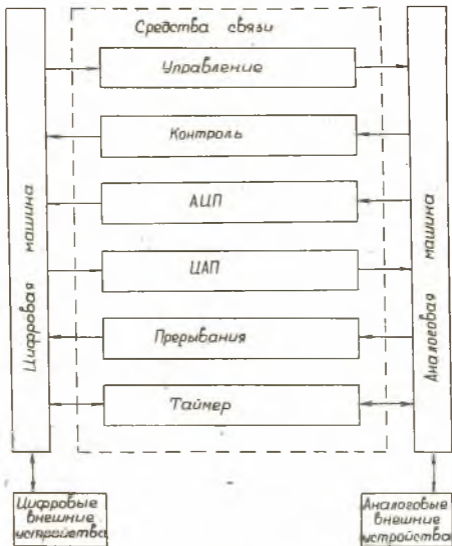
Аналого-цифровая вычислительная система формируется из стандартных средств вычислительной техники. В качестве цифровой машины используется управляющая мини или микроЭМ. Тип цифровой машины не зависит от сложности решаемой задачи, а определяется требуемой скоростью реакции на внешние события.

Тип аналоговой машины определяется сложностью и характерными особенностями решаемой задачи.

Средства связи обеспечивают программное управление АЭМ; передачу сигналов состояния АЭМ; передачу данных из АЭМ в ЦЭМ (АП); передачу данных из ЦЭМ в АЭМ (АП); передачу запросов на прерывание процессора; синхронизацию работы ЦЭМ и АЭМ.

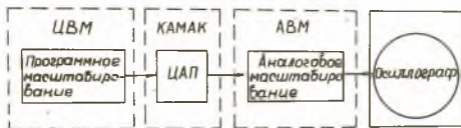
Для выполнения перечисленных требований хорошо приспособлена система КАМАК, в которой имеются стандартные функциональные модули, выполняющие все эти операции, по связи аналоговой и цифровой машин. Для передачи данных через систему КАМАК достаточно предусмотреть их масштабные преобразования до входа в систему и после выхода. Масштабные преобразования данных зависят от пределов изменения действительных значений и пределов их изменения, допустимых стандартом КАМАК.

Комплекс является универсальным средством динамических процессов, поэтому его технологический состав зависит от решаемых задач. Эффективность использования вычислительных машин, особенно при исследовании динамических процессов, во многом зависит от способов представления результатов. С точки зрения анализа результатов наилучшим является их геометрическое представление на графических носителях. Для этого в комплексе используются как цифровые - графический дисплей, телевизор, так и аналоговый - осциллограф. Недостатком цифровых графических носителей является малая разрешающая способность. Для передачи данных используется один байт, поэтому рабочее поле экрана разбивается на 256x256 точек, а результаты на осциллографе отображаются только в процессе их вычисления.



Р и с. 1. Обобщенная структура аналого-цифровой вычислительной системы

Особенностью комплекса, в этом отношении, является способность расширения технических возможностей графического представления результатов. Вычисляемые данные накапливаются в памяти ЦВМ и, по необходимости, через цифроаналоговый преобразователь подаются на экран осциллографа. При этом разрешающая способность экрана соответствует разрядности ЦАП. Использование 12-разрядного ЦАП позволяет разбить экран осциллографа на 4096×4096 точек. Согласно скорости передачи данных и времени остаточного послесвечения экрана, получим эффективное средство анализа результатов. Схема построения такой системы представлена на рис. 2 /1/.



Р и с. 2. Схема построения эффективного средства анализа результатов

Для организации работы аналого-цифровой вычислительной системы используется программное обеспечение. По характерным особенностям программное обеспечение разделяется на системное стандартное, системное специальное и прикладное.

Системное стандартное программное обеспечение осуществляет общее управление работой комплекса в реальном масштабе времени и должно содержать все программные средства для разработки рабочих программ и их выполнения. Для работы комплекса использована дисковая операционная система РАТОС с различного типа мониторами. Тип монитора операционной системы определяется составом используемых аппаратных средств и ограничивается объемом оперативной памяти.

Системное специальное программное обеспечение (ПО) предназначено для освобождения пользователей от необходимости изучения элементарных операций и функционирования устройств. Специальное ПО представляет собой библиотеку макроопределений и набор служебных подпрограмм, ориентированных на передачи данных через систему КА-

МАК, управление режимами работы аналоговой машины, контроль за состоянием АМ, синхронизацию работы аналоговых и цифрового процессов во времени. Библиотека макроопределений содержит декларативные операторы, операторы одиночного действия, операторы системного действия.

Служебные подпрограммы организуют взаимную передачу аналоговых и цифровых величин, обмен логическими сигналами, таймерные операции. Построение специального программного обеспечения производится в соответствии с соглашениями о связи подпрограмм, принятыми в алгоритмическом языке ФОРТРАН СМ ЭВМ. Содержимое регистров процессора при обращении к подпрограммам не сохраняется. Подпрограммы — функции передают вычисленное значение через регистр *RO*. Подпрограммы общего вида передают параметры через блок памяти, на который указывает регистр *RB*.

Прикладное программное обеспечение (ППО) обеспечивает функционирование программно управляемых элементов комплекса в соответствии с алгоритмом исследования и зависит от предметных областей использования комплекса. ППО представляет собой набор рабочих программ по организации разнообразных исследований, выполняемых в интерактивном режиме, а также набор программных модулей, обеспечивающих управление экспериментом, накопление информации, обработку информации, представление результатов на носителях информации, тестирование. Программные модули используются для компоновки рабочих программ типовых экспериментов в зависимости от заданных алгоритмов. Программное обеспечение наращивается в соответствии с ростом состава технологического оборудования и расширением предметных областей применения аналого-цифрового вычислительного комплекса.

Комплекс сопровождается информационно-методическим обеспечением. В его состав входит описание технологического оборудования, программного обеспечения и предметных областей исследования. Описание технологического оборудования содержит информацию, необходимую для его программного управления.

Описание программного обеспечения содержит информацию о операционной системе комплекса, особенности языковых средств мини-, микроЭВМ, методике программирования аналоговых машин, организации обмена данными между элементами комплекса.

Описание предметных областей исследования содержит их физико-математические особенности, требования к эксперименту, принципы раз-

работки алгоритмов и рабочих программ, организации и проведения эксперимента. Комплекс является универсальным средством для исследования динамических процессов. К данному типу относятся задачи ускорительной техники, связанные с их конструированием, совершенствованием эксплуатационных характеристик и автоматизацией их управления. Исследования, при этом, сводятся к решению нелинейных, неоднородных дифференциальных уравнений. Предметом анализа является пространственное и временное распределение пучков заряженных частиц в зависимости от параметров реальных объектов, которые определяют коэффициенты и возмущения решаемых уравнений. Решение таких задач связано с оценкой адекватности математической модели реальным процессам, а также определением закономерности влияния параметров на пучок и формированием пучков, отвечающих требованиям целевого назначения. В частности, такими задачами являются исследования динамики пучков электронов в бетатроне на этапах инжектирования, ускорения, вывода из камеры, а также транспортировки к месту эксперимента.

Исследование перечисленных задач сводится к многократному решению нелинейного дифференциального уравнения с различными начальными параметрами движения, коэффициентами и внешними возмущениями. Начальные параметры движения электронов определяются на основе физической структуры объекта, на этапе инжекции. Коэффициенты уравнения определяются на основе экспериментальных измерений магнитных полей. Внешние возмущения, являющиеся искомыми величинами, определяются на основе возможности их реального осуществления по скорости нарастания и пространственному распределению. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле, в общем случае, описывается равенством вида /2/

$$\frac{d}{dt} (m\vec{v}) = q\vec{E} + \frac{q}{c} [\vec{v}H]. \quad (1)$$

Применительно к бетатрону траектории движения электронов в медленной плоскости описываются уравнением

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = m \frac{v^2}{z} - eVB_z(z). \quad (2)$$

Для удобства решения уравнение (2) преобразуется к виду

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha x - \beta x^3 = f(t, \theta, z). \quad (3)$$

Преобразование заключается в переходе к отклонению от равно-весной орбиты $x = z - z_0$ и выделении параметров основного магнитного поля бетатрона α, β и наложенного магнитного поля системы вывода $f(t, \theta, z)$.

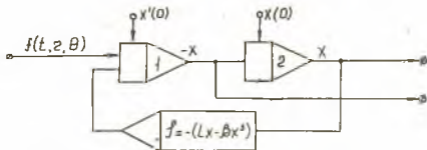
Переход к отклонениям приводит как к повышению точности решения, так и удобству представления пучка электронов. Характерной особенностью данной задачи является многократное решение уравнения (3) для множества частиц пучка, различающихся начальными параметрами движения, и определение характера влияния на пучок внешнего воздействия f в зависимости от его временного и пространственного распределения.

Целью исследования является определение таких параметров системы вывода, которые обеспечивают наилучшие или удовлетворительные требования к характеристикам пучка введенных частиц, таких как эффективность, равномерность плотности распределения, монохроматичность. Решение задачи должно учитывать высокие требования к скорости расчета траекторий, возможности оперативного управления и контроля за проведением вычислений и наглядности представления результатов. Исходя из этих требований и выбираем гибридный вариант вычислительного комплекса, дополненного графическими носителями информации. Непосредственное решение дифференциального уравнения (3) выполнялось на аналоговой машине, а подготовку его параметров, управление решением и необходимую обработку результатов выполняла цифровая машина.

Специализированный аналого-цифровой вычислительный комплекс (АЦБК) разработан на основе стандартного оборудования. В аналоговую часть входит АВК-31 и двухкоординатный осциллограф, обеспечивающий оперативное представление результатов. Цифровая часть основана на вычислительном комплексе МЕРА-1300, в состав которого входят необходимые внешние устройства. Связь между аналоговой и цифровой частью осуществляется системой КАМАК, содержащей все функциональные модули, обеспечивающие нормальную работу АЦБК.

Система КАМАК обеспечивает передачу аналоговых величин из АВМ в ЦВМ, передачу цифровых данных из ЦВМ в АВМ и на осциллограф, передачу управляющих сигналов из ЦВМ в АВМ, передачу логических сигналов, характеризующих состояние АВМ, в ЦВМ.

Структурная схема исследуемой модели возмущенного движения заряженных частиц на замкнутой орбите представлена на рис. 3 /3/.

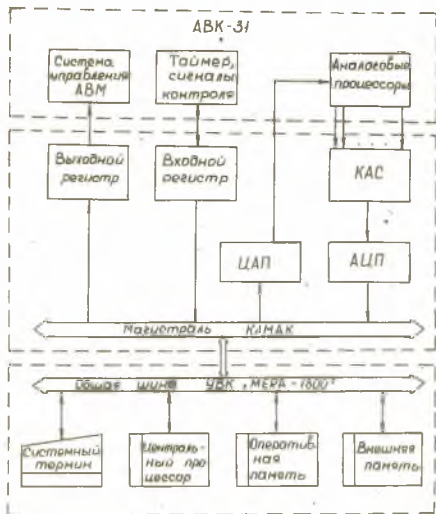


Р и с. 3. Структурная схема исследуемой модели возмущенного движения заряженных частиц на замкнутой орбите

Результаты решения $x(t)$ и $x'(t)$ снимаются с интеграторов и хранятся в памяти ЦЕМ. Начальные значения параметров движения $x(0)$, $x'(0)$ и внешнее возмущение $f(t, z, \theta)$ формируются в ЦЕМ и периодически поступает в АВМ. Синхронизация вычислений может осуществляться таймерами как цифровой, так и аналоговой машин. Результаты вычислений из памяти ЦЕМ через цифроаналоговый преобразователь выводятся на осциллограф, остаточное послесвечение которого позволяет анализировать поведение пучка электронов по их отдельным траекториям, хранящихся в памяти ЦЕМ.

Структура специализированного АЦКВ представлена на рис. 4. Выходной регистр системы КАМАК осуществляет программное управление режимами работы АВК-ЗІ: "Исходное положение", "Пуск", "Останов". Аналоговые сигналы, снимаемые с соответствующих процессоров, через коммутатор аналоговых сигналов (КАС) последовательно преобразуются в цифровой код модулей АЦЦ и после масштабных преобразований хранятся в памяти ЦЕМ. Цифроаналоговые преобразователи используются для установки начальных значений интегралов и передачи сформированных сигналов внешнего возмущения. Входной регистр используется для организации аварийных и программных прерываний /4/.

Работа комплекса осуществляется под управлением операционной системы РАТОС с использованием /5/ РВ - монитора, обеспечивающего фоновый-оперативный режим. Создание программ осуществляется экраным редактором USED. В качестве языковых средств используются трансляторы с языков программирования ФОРТРАН, АССЕМБЛЕР, как вспомогательный-КВЕЙСИК. Библиотека специального программного



Р и с. 4. Структура специализированного АЦБК

обеспечения содержит программные модули, обеспечивающие управление аналоговой машиной АК-3И и функциональными модулями системы КАМАК в соответствии со схемой рис. 2. Прикладное программное обеспечение содержит программы решения дифференциальных уравнений, основанных на численных методах, программы тестирования, программы тестирования аналоговых и цифровых решений, используемых при отладке работы комплекса, а также ряд программ для накопления данных, их анализа, преобразований и представления на внешних носителях информации.

Библиографический список

1. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления. М.: Мир, 1984. 464 с.
2. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. М.: Наука, 1978. 224 с.
3. Анисимов В.Б., Голубкин В.Н. Аналоговые вычислительные машины. М.: Высшая школа, 1986. 320 с.
4. Певчев Ю.Ф., Финогенов К.Г. Автоматизация физического эксперимента. М.: Энергоатомиздат, 1986. 367 с.
5. Валикова Л.И. и др. Операционная система СИ ЭВМ РАБОС. М.: Финансы и статистика, 1984. 207 с.

УДК 62:506.1

В.В.Матросов, В.П.Пономаренко

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

(г. Горький)

В процессе подготовки высококвалифицированных специалистов в различных областях науки и техники все большее место занимает вычислительный эксперимент и математическое моделирование на ЭВМ. Для обеспечения процесса моделирования признано перспективным создание учебно-исследовательских программных комплексов, ориентированных на соответствующие дисциплины специализации. В данной работе рассма-