

10. Гусев О. З., Золотухин Ю. Н., Прохожев О. В., Ян А. П. Базовые конфигурации систем «Микро-КАМАК-лаб». — Там же.
11. Талов И. П. и др. Быстродействующий периферийный процессор «Электроника-МТ/70». — УСиМ, 1983, № 4.
12. Бродский И. И. и др. Высокопроизводительный периферийный векторный процессор А-12. — Автометрия, 1984, № 4.
13. Байцер Б. Архитектура вычислительных комплексов. — М.: Мир, 1974, т. 2.

Поступила в редакцию 13 апреля 1984 г.

УДК 681.323

К. И. БУДНИКОВ, А. Я. ИВАНЧЕНКО, П. М. ПЕСЛЯК
(Новосибирск)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА

Введение. Система цифрового частотного анализа «Енисей» [1] построена на базе локальной конфигурации «Микро-КАМАК-лаб» [2], включающей микро-ЭВМ «Электроника-60», накопитель на гибких магнитных дисках, алфавитно-цифровой дисплей (АЦД), плоттер, печатающее устройство с использованием прецизионной аналоговой аппаратуры в стандарте КАМАК и оборудования для цифровой обработки сигналов.

Комплекс математического обеспечения подразделяется на две части: программы сопровождения системы и программы автоматизации определенных процедур измерений. В первый раздел входят пакет тестов, предназначенный для проверки и настройки аппаратуры системы, а также программа «Исследовательский режим» (ИР), позволяющая в диалоговом режиме использовать все технические возможности системы «Енисей». Ко второму разделу относится программа «Режим контрольных измерений» (РКИ), обеспечивающая автоматизацию конкретной методики производственного контроля качества готовой продукции.

Языковые средства программирования. Программы, входящие в пакет тестов, написаны на языке SATY-M [3]. Этот язык имеет бейсикоподобный синтаксис, предназначен для программирования КАМАК-оборудования и особенно удобен при написании «инженерных» программ для тестирования и настройки аппаратуры.

Крупные программы (ИР, РКИ) были написаны на языке Паскаль операционной системы РАФОС. Эта версия языка Паскаль предоставляет дополнительные возможности для программирования работы внешних устройств.

Поскольку основные технические средства системы «Енисей» выполнены в стандарте КАМАК, то обеспечению эффективности программной работы с КАМАК-аппаратурой было уделено существенное внимание. При построении программного интерфейса использовался следующий метод: на основе примитивных операций (типа «КАМАК-операция записи в определенный регистр крейта», «Проверка сигнала Q на магистрали крейта» и т. п.) был реализован набор процедур для управления специализированным оборудованием системы.

Хорошие временные характеристики программного интерфейса с КАМАК-аппаратурой, выполненного на языке Паскаль, позволили отказаться от применения Макроассемблера, что существенно сократило сроки разработки программного комплекса.

В п. 1 приложения приведено формальное описание аппаратных средств КАМАК, входящих в состав системы «Енисей». Это описание использовалось в программе ИР и РКИ.

Пакет тестов. Программы пакета тестов служат для тестирования, настройки и калибровки оборудования системы «Енисей».

В пакет входят тесты частотного анализатора, обеспечивающие проверку цифровых трактов с помощью цифровых синусоид разных частот и проведение спектрального анализа сигнала со специальным отображением результатов, а также тесты КАМАК-модулей «Привод телевизора», «Привод плоттера».

Программа «Исследовательский режим». Программа ИР предназначена для обеспечения исследовательских работ, выполненных на основе системы «Енисей». Она позволяет проводить измерения частотных характеристик в интерактивном режиме.

Программа ИР используется в ситуациях, когда измерения для каждого объекта проходят по индивидуальной методике, а также как инструмент при создании и отладке программ автоматизации определенных процедур измерений.

При разработке программы ИР были поставлены следующие задачи: реализовать широкий набор режимов эксплуатации системы; обеспечить удобный интерактивный интерфейс с исследователем и развитый сервис для отображения результатов анализа; обеспечить возможность развития функций программы.

Ниже более подробно разбираются решения, использованные в программе ИР. При пояснении деталей используется синтаксис языка Паскаль.

В программе ИР были реализованы следующие команды:

«Анализ» — проведение частотного анализа с отображением в реальном времени падающих данных в виде спектра на экране цветного монитора.

Варьируя параметры этой команды, можно задавать метод усреднения (линейный или экспоненциальный), режим анализа (октавный, 1/3- или 1/12-октавный), выбирать любой из подключенных к системе датчиков, изменять коэффициент усиления аналоговых сигналов.

«Калибровка», «Запись коэффициентов», «Чтение коэффициентов» позволяют вводить для каждого датчика поправочные коэффициенты, записывать и считывать их из файла.

«Тестирование», «Пуск БЗУ» реализуют внутри программы ИР два теста цифрового анализатора.

«Рамка», «График», «Печать» служат для создания твердой копии результатов анализа.

«Сонограмма» обеспечивает проведение частотного анализа с экспоненциальным усреднением в 1/3-октавном режиме с отображением результата в виде сонограммы с различным разрешением (диапазон отображаемых амплитуд может варьироваться).

Для организации интерфейса с пользователем была выбрана схема взаимодействия через «меню»: на экран алфавитно-цифрового дисплея (АЦД) выводится список параметров с их текущими значениями; пользователь с помощью клавиатуры АЦД может перемещать указатель по списку параметров, менять их текущие значения. По окончании ввода новых значений начинается исполнение задания, определяемое установленными значениями.

В программе ИР применялось «меню» двух уровней: команд программы и параметров команд.

Вся работа с «меню» параметров (команда — параметр программы) сосредоточена в «процедуре_выбора_параметров», которая использует структуру данных типа «Таблица_параметров».

Тип данных «Таблица_параметров» описывается следующим образом:

```

CONST МАКСИМАЛЬНОЕ_ЧИСЛО_ПАРАМЕТРОВ = 10;
TYPE ИНДЕКС_ПАРАМЕТРА = 1..МАКСИМАЛЬНОЕ_ЧИСЛО_ПА-
РАМЕТРОВ;
ТАБЛИЦА_ПАРАМЕТРОВ =
  RECORD
    ЧИСЛО_ПАРАМЕТРОВ,
    ТЕКУЩИЙ_ПАРАМЕТР : ИНДЕКС_ПАРАМЕТРА;
    ТАБЛИЦА : ARRAY [ ИНДЕКС_ПАРАМЕТРА ] OF ПАРА-
    МЕТР;
  END;

```

При такой организации таблицы любая команда программы может создать свою переменную типа «Таблица_параметров» и использовать «процедуру_выбора_параметров» для изменения внутренних параметров команды.

Тип данных «Параметр» был выбран исходя из множества значений реальных параметров работы системы «Енисей».

```

CONST МАКСИМАЛЬНОЕ_ЗНАЧЕНИЕ = 10;
TYPE ЗНАЧЕНИЕ = 1..МАКСИМАЛЬНОЕ_ЗНАЧЕНИЕ;
MESS = ARRAY [ 1..5 ] OF CHAR;
ТИП_ПАРАМЕТРОВ = (ЦЕЛЫЙ, ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ,
  ЛИТЕРАЛЬНЫЙ);
ПАРАМЕТР =
  RECORD
    ОБРАЗ : ARRAY [ 1..40 ] OF CHAR;
      (* СИМВОЛЬНАЯ СТРОКА, СОДЕРЖАЩАЯ
      НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА *)
    ТИП : ТИП_ПАРАМЕТРА;
    CASE ТИП OF
      ЦЕЛОЕ : ТЕКУЩЕЕ,
        МАКСИМАЛЬНОЕ,
        МИНИМАЛЬНОЕ : INTEGER;
      ЛИТЕРАЛЬНОЕ : ОБРАЗ_ЗНАЧ : ARRAY [ЗНАЧЕНИЕ]
        OF MESS;
        ЧИСЛ_ЗНАЧ : ARRAY [ЗНАЧЕНИЕ]
        OF INTEGER;
      (* СТРОКЕ СИМВОЛОВ ОБРАЗ_ЗНАЧ [ П
      СТАВИТСЯ В СООТВЕТСТВИЕ
      ЦЕЛОЕ ЧИСЛО ЧИСЛ_ЗНАЧ [ П. *)
      ТЕКУЩЕЕ : ЗНАЧЕНИЕ;
      ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ : ТЕКУЩЕЕ,
        МАКСИМАЛЬНОЕ,
        МИНИМАЛЬНОЕ : REAL;
    END; (* CASE *)
  END;

```

Для «процедуры_выбора_параметров» был зафиксирован порядок работы и набор функций для управления «Таблицей_параметров» (управление производится с помощью клавиатуры АЦД). Процедура начинает свою работу с инициации экрана АЦД в соответствии с состоянием «Таблицы_параметров». Представление экрана показано в таблице.

1/3	: РЕЖИМ АНАЛИЗА	:
ЭКСП.	: РЕЖИМ УСРЕДНЕНИЯ	:
1/32 С	: ВРЕМЯ УСРЕДНЕНИЯ/УРОВЕНЬ ДОСТОВЕРНОСТИ :	:
АНАЛИЗ :	КОМАНДА (ПО КЛАВИШЕ RETURN)	:
1	: КАНАЛ ВХОДНОГО СИГНАЛА	:
100	: КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ	:
0.0	: УСИЛЕНИЕ ВНЕШНЕГО УСИЛИТЕЛЯ	:

После инициации процедура переходит в режим взаимодействия с клавиатурой, в котором в распоряжении пользователя имеется следующий набор функций:

а) функции, управляющие движением указателя по таблице параметров:

перейти к первому/последнему параметру в таблице (клавиша HOME);

перейти к следующему параметру в таблице (клавиша V);

вернуться к предыдущему параметру в таблице (клавиша ^)

(последние две функции обеспечивают циклическое движение по «Таблице параметров»);

б) функции, обуславливающие изменение значений параметров (для числовых и литеральных параметров эти функции различны):

стереть значение числового параметра (клавиша DL);

ввести значение числового параметра (набор числа с клавиатуры с возможным редактированием — клавиша DEL стирает последний введенный символ);

закончить ввод числового значения, проверить правильность значения (клавиша RETURN — программа проверяет, находится ли введенное число в диапазоне значений параметра, если нет, то принимается граничное значение; установленное значение выводится на экран);

перейти к следующему значению литерального параметра (клавиша →);

вернуться к предыдущему значению литерального параметра (клавиша ←)

(две эти функции обеспечивают циклическое движение по массиву значений литерального параметра);

в) функции общего управления:

«обновить» экран (клавиша ERASE — проводится инициация экрана в соответствии с текущим состоянием «Таблицы параметров»);

закончить редактирование (клавиша RETURN).

Исследование частотных характеристик объекта проходит в несколько этапов — от калибровки измерительной аппаратуры до документирования результатов исследования. Поэтому в программе ИР имеется набор процедур для отображения результатов тестирования и данных, накапливаемых во время исследования, а также для документирования.

В режиме тестирования результаты отображаются на экране АЦД в цифровой форме (в двоичном или десятичном формате).

Накапливаемая в ходе частотного анализа информация выводится на экран цветного монитора либо в виде спектра (команда «Анализ»), либо в виде сонограммы с различным разрешением (команда «Сонограмма»).

В команде «Анализ» предусмотрено дополнительное средство — курсор. С помощью курсора пользователь имеет возможность получить точное значение амплитуды сигнала в любом из каналов: курсор движется по шкале, и текущее значение амплитуды в канале, на который он указывает, выводится на экран монитора в цифровой форме. Управление движением курсора производится с клавиатуры АЦД.

Для получения твердой копии результатов в программу ИР включены процедуры вывода на АЦПУ и плоттер.

Во время эксплуатации системы может возникнуть необходимость в реализации дополнительных режимов в программе ИР. В этом случае компактность и гибкость «процедуры выбора параметров», а также прозрачность «главной» программы значительно облегчают задачу введения новой команды (структура «главной» программы ИР приведена в п. 2 приложения). В этом мы убедились, в частности, включая в ИР команду «Сонограмма».

Программа «Режим контрольных измерений». Программа РКИ позволяет использовать систему «Енисей» для снятия виброакустических характеристик объекта на испытательном стенде в производственных

условиях при контроле качества готовой продукции. В этом режиме обеспечиваются сбор и обработка сигналов от источников двух условных типов — датчиков вибрации и микрофонов. При этом датчики вибрации, в свою очередь, делятся на группы, которые обрабатываются отдельно, логически представляя одну из физических точек контролируемого объекта.

По полученным данным строятся среднеквадратичные спектры и спектры по огибающей для всех групп датчиков вибрации и микрофонов; делается сравнение с максимально допустимыми значениями мощности сигнала во всех полосах частот.

Необходимые параметры вводятся либо в диалоговом режиме, либо в виде пакета, физически представленного как файл с символьными данными. Интерфейс с пользователем построен так, что для обслуживания программы РКИ оператору необходимы минимальные познания в области электроники и вычислительной техники.

При реализации этого режима работы системы были решены следующие задачи:

- сбор и обработка большого количества данных;
- автоматический выбор режимов работы оборудования системы;
- создание простого и надежного интерфейса с неквалифицированным оператором;

- подготовка выходных данных и вывод их в удобной для просмотра и документирования форме;

- подготовка данных для дальнейшей систематизации и обработки вычислительными средствами более высокого уровня, на которых существуют базы данных, пакеты стандартной математической обработки.

Программа РКИ в отличие от программы ИП использует ограниченный, заранее определенный набор режимов работы аппаратуры системы «Енисей». Программа выполняет специфические функции, необходимые для конкретного варианта эксплуатации системы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Описание КАМАК-оборудования системы «Енисей».

```
TYPE UNSIGNED = 0..65535;
CAMACF = (F0, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12,
          F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F21, F22,
          F23, F24, F25, F26, F27, F28, F29, F30, F31);
CAMACMODULE =
  RECORD
    A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12,
    A13, A14, A15 : UNSIGNED;
  END;
JLSI10 = RECORD (* K-16 *)
  CSR,
  DMR,
  DHR : UNSIGNED;
  UNUSED : ARRAY [3..15] OF INTEGER;
END;
DIGBUFMEM = RECORD (* БЗУ *)
  DATAREG,
  ADDRREG,
  ENDREG : UNSIGNED;
  UNUSED : ARRAY [3..15] OF INTEGER;
END;
COMUT128 = RECORD
  CHANELREG : UNSIGNED;
  UNUSED : ARRAY [1..15] OF INTEGER;
END;
ADCCOMUT = RECORD
```

```

        DATAREG,
        CHANELREG : UNSIGNED;
        UNUSED : ARRAY [2..15] OF INTEGER;
    END;
ADC = RECORD
    DATAREG : UNSIGNED;
    UNUSED : ARRAY [1..15] OF INTEGER;
    END;
VAR   C3RF  ORIGIN 166000B : CAMACF;
      C3    ORIGIN 166000B :
        RECORD
            CONTROLER : JLSI10;
            UNUSED1T012 : ARRAY [1..12]
                CAMACMODULE;
            INT
            USED14 : CAMACMODULE;
            COMMUTATOR : COMMUTATOR128;
            USED16
            AMPLIF : CAMACMODULE;
            ADCCOM : ADCCOMUT;
            DIGITBUF : DIGBUFMEM;
            BUSSHOW
            TVCOLOUR
            TVWB
            PLOT : CAMACMODULE;
        END;

```

2. Структура программы ИР.

```

BEGIN
    ИНИЦИАЦИЯ_ВНУТРЕННИХ_ПЕРЕМЕННЫХ;
    REPEAT
        ПРОЦЕДУРА_ВЫБОРА_ПАРАМЕТРОВ (ТАБЛ_КОМАНД);
        CASE КОМАНДА. ТЕКУЩЕЕ OF
            АНАЛИЗ : ПРОВЕСТИ_АНАЛИЗ;
            КАЛИБРОВКА : ПРОВЕСТИ_КАЛИБРОВКУ;
            ЧТЕНИЕ_К : ПРОЧИТАТЬ_ПОПРАВОЧНЫЕ
                _КОЭФФИЦИЕНТЫ;
            ЗАПИСЬ_К : ЗАПИСАТЬ_ПОПРАВОЧНЫЕ
                _КОЭФФИЦИЕНТЫ;
            ГРАФИК : НАРИСОВАТЬ_СПЕКТР_НА
                ГРАФОПОСТРОИТЕЛЕ;
            ПЕЧАТЬ : ВЫВЕСТИ_СПЕКТР_НА_АЦПУ;
            ТЕСТИР : ПРОВЕСТИ_АНАЛИЗ_В_ТЕСТИРУЮЩЕМ
                _РЕЖИМЕ;
            ПУСК_БЗУ : ЗАПОЛНИТЬ_БУФЕРНОЕ_ЗУ_ТЕСТОВОЙ
                _СИНУСОИДОЙ;
            СОНОГРАММА : ПРОВЕСТИ_АНАЛИЗ_В_РЕЖИМЕ
                _СОНОГРАФИРОВАНИЯ;
            ВЫХОД : ЗАВЕРШИТЬ_РАБОТУ_АППАРАТУРЫ;
        END; (* CASE *)
    UNTIL КОМАНДА. ТЕКУЩЕЕ = ВЫХОД;
END;

```

ЛИТЕРАТУРА

1. Бредихин С. В. и др. Система цифрового частотного анализа сигналов.— Автометрия, 1984, № 4.
2. Гусев О. З., Золотухин Ю. Н., Прохожев О. В., Ян А. П. Базовые конфигурации систем «Микро-КАМАК-лаб».— Автометрия, 1984, № 4.
3. Бредихин С. В., Песляк П. М. САТУ-М: система для программирования аппаратуры КАМАК. (Модифицированный вариант).— Новосибирск, 1981. (Препринт/АН СССР, Сиб. отд-ние, ИАиЭ; № 166).

Поступила в редакцию 25 мая 1984 г.