

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Р11-91-45

Ф. В. Левчановский, Т. Ф. Сапожникова

МИКРОПРОГРАММНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА  
И ПАМЯТИ В МКБ-8601

1991

В ЛВТА ОИЯИ создана вычислительная машина МКБ-8601 /1/ с микропрограммным принципом управления, для наладки и эксплуатации которой необходима эффективная система тестирования.

Если рассматривать архитектуру вычислительной машины как многоуровневую /2/, то окажется, что каждый очередной уровень зависит от функционирования предыдущего. В вычислительных машинах с аппаратной реализацией системы команд тесты пишутся на языке команд машины. В машинах с микропрограммным управлением на начальном этапе в процессе наладки аппаратуры возможно использование только микропрограммных тестов. Более того, некоторые режимы работы и отдельные блоки центрального процессора (ЦП) недоступны или труднодоступны на командном уровне (например, кэш или режим блочной передачи информации). Далее, после наладки аппаратуры и подготовки микропрограмм для исполнения команд уже могут реально использоваться и командные тесты. Однако назначение командных тестов в этом случае ограничено, т.к. они проверяют либо правильность исполнения команд, либо часть аппаратуры, которая не используется в процессе работы теста (например, свободная после записи теста часть ОЗУ или память и регистры внешних устройств), либо в принципе проверяют работоспособность всей машины, как правило, без локализации места неисправности.

В некоторых вычислительных машинах для организации тестов может использоваться пульт ЭВМ. Но архитектура МКБ-8601 такова, что для обеспечения доступа к регистрам и внутренней памяти ЦП с помощью пультового процессора (ПП) нужно, чтобы основная часть ЦП функционировала, что затрудняет использование ПП в тестах.

Поэтому при настройке и в дальнейшем в процессе эксплуатации для локализации места неисправности используются в основном микропрограммные тесты.

## Структура микропрограммных тестов и методика тестирования

Перечислим основные блоки МКБ-8601, используемые в микропрограммных тестах (рис.1):

- блок микропрограммного управления (БМПУ) – своего рода процессор уровня микромашины с ОЗУ микропрограмм;
- микропроцессор К580ВМ80 с собственной памятью, в которой находится программа-монитор, управляемая с дисплея и исполняющая простейшие функции (пуск с заданного адреса, просмотр памяти и т.д.). Все это необходимо для загрузки микропрограмм, запуска микропрограммных тестов и инициализации ЦП;
- блок обмена информацией с пультовым процессором (БОПП), представляющий из себя двухпортовую память (16 8-разрядных регистров), доступную как БМПУ, так и К580ВМ80. Эти регистры – часть собственной памяти К580ВМ80, поэтому их содержимое можно просмотреть на экране, используя стандартные команды монитора.

После загрузки теста в ОЗУ микропрограмм К580ВМ80 запускает заданный тест, подставляя его адрес в ОЗУ микропрограмм. Результат работы теста записывается в БОПП.

Все микропрограммные тесты в зависимости от объектов тестирования функционально делятся на 10 отдельно загружаемых частей. Каждая часть микропрограммных тестов состоит из независимых подпрограмм, проверяющих какой-либо функциональный блок.

Все тесты по мере возможности унифицированы (рис.2). Каждый из них имеет свой номер, который записывается в 0-й регистр БОПП. Индикация работы теста производится изменением кода в 3 регистре. При обнаружении ошибки во 2-й регистр записывается код ошибки, а в 1-й регистр – условный код, показывающий, при какой ситуации обнаружена ошибка (например, первое чтение или последующие и т.д.). В 8-15 рг. БОПП, как правило, данные, получаемые при чтении, в 4-7 регистрах – адрес. Содержимое регистров просматривается на дисплее командами монитора К580ВМ80. Такая организация тестов с

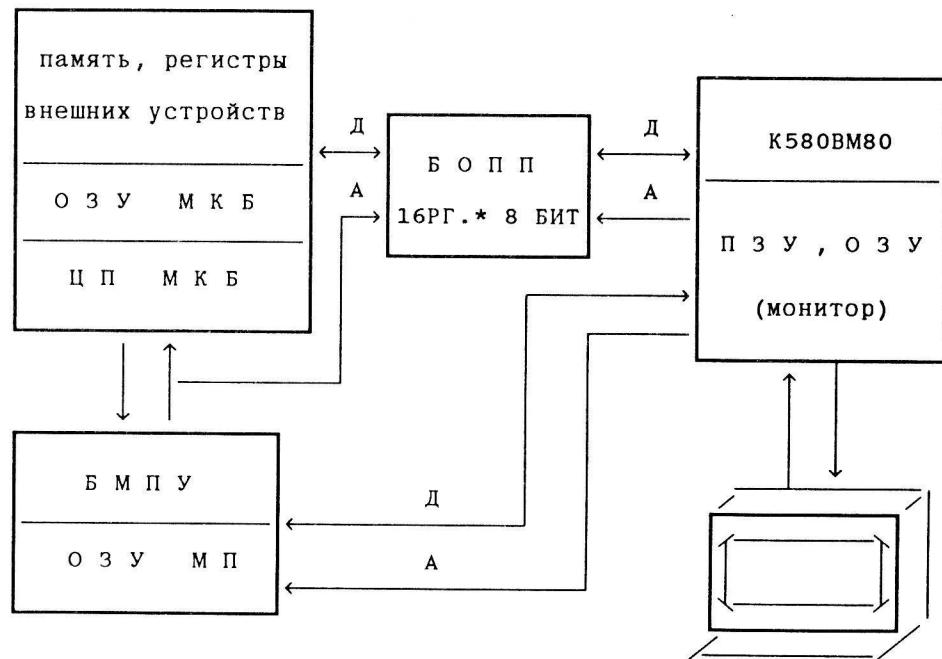


Рис.1.Основные функциональные узлы МКБ-8601, используемые в микропрограммных тестах. А - адрес, Д - данные.

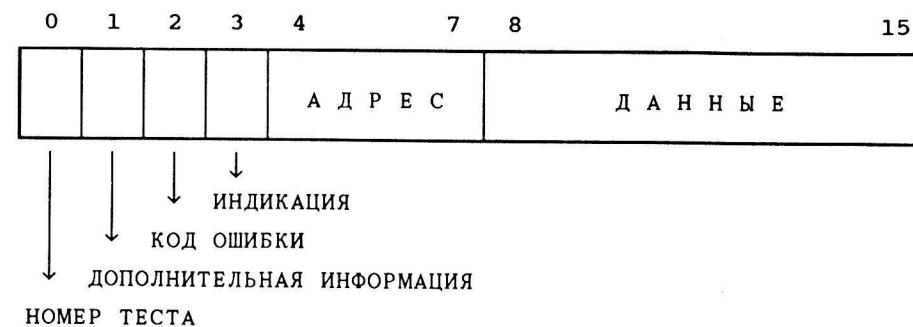


Рис.2.Назначение регистров БОПП при микропрограммном тестировании.

записью результатов в БОПП позволяет следить за их исполнением без анализирующей аппаратуры.

#### Тесты центрального процессора

Тесты ЦП построены по методике "расширяющегося ядра" /3/. Сначала проверяются блоки ЦП, без нормальной работы которых невозможна работа более сложных тестов. Это - БМПУ, где проверяется правильность исполнения микрокоманд и формирование признаков условий; регистры БОПП, используемые для записи информации о работе тестов; микропроцессорные секции, состоящие из внутренних регистров и АЛУ; выходные признаки АЛУ для анализа результатов.

После проверки этих блоков ЦП, и используя их в качестве эталонных выполняется тестирование следующих более сложных и независимых блоков:

- блок работы с командным словом, включающий регистр командного слова, адрес команды, код операции и индекс-регистр; регистры операнда, результата и тега;

- арифметические блоки: сдвигатель, блок поиска левой единицы;

- блок индекс-регистров или модификаторов, состоящий из регистра номера группы и групп индекс-регистров;

- блок формирования физического адреса, в состав которого входят регистры приписки, регистры номера процесса, исполнительного адреса, физической страницы и т.д.

Порядок проверки регистров и памяти, входящих в состав этих блоков, следующий:

- запись заданного числа (для тестов памяти - запись по заданному адресу);

- запись констант "0" или "1";

- запись переменного числа;

- запись home-адреса и инвертированного адреса (для тестов памяти).

После успешного завершения тестов для внутренних блоков ЦП проверяются ОЗУ МКБ-8601 (см. ниже), специальные режимы работы памяти, кэш команд и operandов, схема исправления ошибочных разрядов памяти.

Последняя и самая большая часть тестов - проверка прерываний, возникающих при формировании исполнительного адреса и при обращениях к ОЗУ, условий их формирования и приоритетов.

#### Тесты ОЗУ МКБ-8601

Один из наиболее сложных моментов при работе МКБ-8601, также, как и любой другой машины, - это взаимодействие ЦП и ОЗУ. Поэтому для проверки ОЗУ подготовлен отдельный большой пакет тестов.

Все тесты ОЗУ можно поделить на несколько групп:

- так называемые линейные тесты, где данные по каждому адресу ОЗУ проверяются независимо от всех остальных. Скорость их исполнения пропорциональна емкости ОЗУ  $N$ . Они используются прежде всего для наладки блока управления памятью, проверки адресных шин и шин данных, а также для предварительной проверки самой памяти. Это тесты попеременной записи в память "0" и "1", запись шахматного кода, запись данных, равных адресу, перемещаемому в пределах длины слова, тест типа "крест" /4/ и т.д.

- квадратичные тесты, у которых проверяются все попарные передачи информации между любыми двумя элементами памяти. Скорость их исполнения пропорциональна  $N^2$ . Как правило, эти тесты используются для производственного тестирования микросхем памяти. Это тесты типа "галоп", "попарная запись - считывание с полным перебором" /4/. Скорость их исполнения и эффективность поиска ошибок невелики, поэтому при наладке они использовались достаточно редко.

- тесты, скорость исполнения которых пропорциональна  $N^{3/2}$ , занимающие промежуточное положение между линейными и квадратичными тестами. Поскольку каждая микросхема памяти есть матрица размером  $\sqrt{N} * \sqrt{N}$ , данные по выбранному адресу для повышения эффективности алгоритма проверяют с передачей информации не по всем адресам, а только по тем, при обращении к которым по предположению возникает максимальное количество помех. Например, данные по выбранному адресу

проверяют с пересылками данных по адресам, пересекающим выбранный адрес по строке или столбцу. Эти тесты наиболее приемлемы, т.к. позволяют достаточно хорошо проверить всю память за разумное время. Это тесты "бегущий столбец", "баттерфляй" /4/.

- специальные тесты - это тесты, учитывающие специфику озу прежде всего как динамической памяти. Например, для проверки процесса регенерации в тестах после цикла записи перед контрольным считыванием делается пауза, превышающая по времени цикл регенерации. В другом случае перед контрольным считыванием делается обращение по соседним адресам памяти, вносящее дополнительные помехи в цикл регенерации по выбранному адресу. Это тест "возбуждение накопителя многократным считыванием" /4/.

В состав аппаратуры управления памятью входит генератор кода Хемминга, исправляющего однократные ошибки /5/. Для более эффективной проверки памяти необходимо отключить на время прогонки любого теста схему исправления ошибок, либо во время работы теста следить за изменением синдрома, исправляющего ошибки, и по его коду определять номер ошибочного разряда.

#### Микропрограммные тесты других об'ектов (регистров и памяти пультового процессора)

Кроме озу на общую шину МКБ-8601 выходит пультовой процессор (ПП). Часть его регистров и памяти доступна ЦП через адреса внешних устройств /1/. Проверка этих узлов машины возможна тестами, написанными на командном уровне. Но поскольку в процессе исполнения команд используются дополнительные сигналы (выборка командного слова, чтение и запись операнда), они затрудняют изучение ситуации. Поэтому лучше поступать последовательно и на первых этапах наладки использовать микропрограммные тесты.

Для этих целей были созданы тесты, проверяющие память двойного доступа ПП, часы и таймер астрономического времени и т.д.

Комплекс микропрограммных тестов позволил настроить

практически все узлы МКБ-8601, доступные микропрограмме. Кроме того, полный или упрощенный вариант этих тестов может использоваться при регулярной проверке аппаратуры и для поиска неисправностей при неполадках.

Суммарный об'ем тестов - более 100К байт.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1.Давыдов А.Л., Емелин И.А., Кадыков В.М., Ломидзе О.Н., Левчановский Ф.В., Попов М.Ю., Сапожников А.П., Сапожникова Т.Ф., Силин И.Н., Принципы организации и архитектура процессора-эмулатора МКБ-8601. - Дубна, ОИЯИ, Б1-11-88-442, 1988
- 2.Э.Таненбаум, Многоуровневая организация ЭВМ. - Москва, Мир, 1979
- 3.Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ, 1982, вып.16, стр. 31-38
- 4.Полупроводниковые БИС запоминающих устройств. Справочник., под ред. Гордонова А.Ю., Дьякова Ю.Н. - Москва, Радио и связь, 1986
- 5.Р.Блейхут, Теория и практика кодов, контролирующих ошибки. - Москва, Мир, 1986

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 января 1991 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогенника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Левчановский Ф.В., Сапожникова Т.Ф.  
Микропрограммное тестирование центрального  
процессора и памяти в МКБ-8601

P11-91-45

Представлены структура микропрограммных тестов и методика тестирования ЭВМ МКБ-8601, построенная на принципе "расширяющегося ядра". Тесты проверяют работоспособность функциональных узлов центрального процессора, кэш-память и оперативную память машины. Тестированию ОЗУ удалено особое внимание – разработано несколько типов тестов с вариациями скорости и эффективности.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

Levchanovskij F.V., Sapozhnikova T.F.  
Microprogram Testing of the Central Processor  
and the MKB-8601 Memory

P11-91-45

The microprogram test structures and methods for the MKB-8601 computer based on "expensive kernel" principle are presented. These tests check capacities of the central processor functional units, cache memory and the main memory. Memory tests have been taken into particular consideration, some test types with different performance are developed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991