

# **FPGA-конструктор советских ЭВМ**

МС1201.03

МС1201.04

ДВК-3М

ДВК-4

## **Описание процессорного модуля**

## Содержание

1. Введение.....	3
2. Процессор 1801BM3.....	3
2.1. Режим HALT.....	3
2.2. Адресация памяти в HALT-режиме.....	3
3. Структура теневого адресного пространства.....	4
4. Интервальный таймер.....	5
5. Пультовый монитор.....	5
5.1. Монитор версии 134.....	6
5.1.1. Команды монитора 134.....	6
5.1.2. Резидентные загрузчики.....	6
5.2. Монитор версии 377.....	7
6. Подсистема Unibus Mapping.....	7
7. Результаты тестирования.....	8
8. Поддержка операционных систем.....	8

# 1. Введение

Процессорные платы MC1201.03 и .04 - это самые старшие и развитые платы из всего славного семейства MC1201. Они основаны на процессоре 1801BM3, работают с 22-битным физическим адресом и позволяют запускать практически любые операционные системы - RSX-11M, RSTS/E, ХМ-монитор RT-11. Платы выполнены в том же самом форм-факторе, что и предыдущие платы семейства MC1201, снаружи из них выходит все та же шина МПИ, и они спокойно встанут в ДВКшную корзину. На основе этих плат были построены персональные ЭВМ ДВК-3М и ДВК-4.

Отличие плат .03 и .04 - в установленном объеме памяти. Модификация .03 имеет на борту 256К ОЗУ, собранной из микросхем 565PY5, а модификация .04 - 1М ОЗУ из микросхем 565PY7. Соответственно, на обоих платах используется совершенно разная схема контроллера DRAM, в остальном отличий между платами нет. В данном проекте можно создать конфигурацию и с 256К, и с 1М ОЗУ, а также включить полный банк памяти объемом 4М, чего не встречалось в реальной жизни.

## 2. Процессор 1801BM3

ЦП 1801BM3 - это уникальная советская разработка, не имеющая аналогов от фирмы DEC. По системе команд процессор наиболее близок к PDP11/34, но его диспетчер памяти умеет работать с полным 22-битным адресом. Также, вместо микропрограммного ODT, как в F11, здесь реализован теневой режим и программная реализация теневого монитора, как и во всех предыдущих процессорах серии 1801.

1801BM3 не имеет в своем составе процессора плавающей точки FPP. Эта функциональность вынесена во внешнюю микросхему сопроцессора 1801BM4. Эта микросхема была выпущена очень малой партией и в реальной жизни мне не встречалось схем с ее использованием. На плате 1201.03/04 возможность установки сопроцессора не предусмотрена, поэтому вся математика с плавающей точкой требует программной реализации.

### 2.1. Режим HALT

Как и все предыдущие процессоры линейки 1801, в процессоре BM3 присутствует программная реализация теневого HALT-режима. В этот режим процессор попадает при выполнении команды HALT, при двойной ошибке шины (ошибка шины при попытке выборки вектора 4 из памяти), а также через внешнее прерывание по входу HALT, подключенное к переключателю «программа-пульт». В этом режиме процессор исполняет программу теневого пультового монитора, хранящуюся в ПЗУ. При этом схема адресации памяти существенно отличается от обычного режима процессора.

Выход из режима HALT производится после первой же инструкции RTI или RTT.

### 2.2. Адресация памяти в HALT-режиме

В режиме HALT основной диспетчер памяти отключается, и никакой защиты адресного пространства с помощью описателей страниц PDR не производится. Адресация 22-битного адресного пространства производится через специальные регистры PARH0-PARH3,

выполняющих функции регистров PAR обычного режима. Содержимое регистров PARH0,1 и 3 фиксировано, а регистр PARH2 доступен на шине по адресу 172512.

Выбор регистра производится двумя старшими битами виртуального адреса A14-A15. Адресный разряд A13 игнорируется. Таким образом, виртуальное адресное пространство делится на 4 части по 16К, но каждая из частей состоит из 2 повторяющихся сегментов по 8К.

Регистр	Содержимое	Виртуальные адреса	SEL	Физические адреса
PARH0	000000	000000-017777 020000-037777	*	00000000-00017777
PARH1	000000	040000-057777 060000-077777	*	
PARH2	произвольное	100000-117777 120000-137777		любые
PARH3	177600	140000-157777 160000-177777		17760000-17777777

При обращении к адресному пространству через регистры PARH0 и 1 (виртуальные адреса 000000-077777) процессор формирует внешний сигнал SEL, показывая этим, что обращение идет не к основному, а к теневому адресному пространству. В этом пространстве располагается ПЗУ с программой теневого пультового монитора, и ОЗУ, которое использует монитор для хранения своих данных. Теневое адресное пространство изолировано, и доступно только в режиме HALT. Обычные программы пользователя доступа туда не имеют.

### 3. Структура теневого адресного пространства

На плате MC1201.03/04 установлено ПЗУ размером 8К, хранящее в себе микропрограмму теневого монитора (прошивка 134 или 377), а также теневое ОЗУ размером 512 байт.

Распределение нижней части адресного пространства теневого режима:

Адрес	Содержимое
000000-013777	ПЗУ 000000-13777
014000-017777	ОЗУ, 4 раза по 512 байт

Таким образом, из ПЗУ используется только 6К при полной емкости микросхемы 8К. А из ОЗУ - только 256 байт при полной емкости 2\*2К (на плате установлены 2 микросхемы 573РУ8 по 2К каждая).

Далее в адресном пространстве 020000-077777 еще 3 раза повторяется тот же самый блок - ПЗУ+ОЗУ. Такое бездарное использование емкости микросхем и адресного пространства сделано, согласно документации, для упрощения схемы дешифрации теневого адреса.

Пространство 100000-117777, адресуемое через регистр PARH2, используется для открытия окна в основное адресное пространство по любому адресу - через это окно теневой монитор получает доступ в основное ОЗУ.

И, наконец, пространство 160000-177777 используется монитором для доступа к странице ввода-вывода.

## 4. Интервальный таймер.

Процессор 1801BM3 имеет отдельный вход EVNT, через который внешняя схема может вызывать периодические прерывания по вектору 100 с приоритетом 6. Так организуется подсчет системного времени. На плате 1201.03/04 на этот вход подаются просто импульсы с частотой 50 Гц, программное отключение таймера невозможно. В данной разработке реализована подсистема Line Time Clock (LTC), такая же, какая используется в машинах, основанных на плате KDF11B. Это упрощенный вариант сетевого таймера KW11L, имеющий единственный регистр по адресу 17777546, через который прерывания можно отключить. Значимые биты регистра:

D6 - IE, разрешение прерываний

D5 - LTCMON, монитор импульсов таймера.

Бит D5 сбрасывается записью в него 0, а устанавливается фронтом импульса прерывания от таймера.

## 5. Пультовый монитор

Пультовый монитор выполняет функции аппаратного пульта (консольный ODT), и позволяет просматривать и модифицировать любые ячейки памяти, регистры процессора и периферии, а также запускать программы с любого адреса. Кроме того, монитор имеет в своем составе набор резидентных тестов процессора и периферии, а также набор загрузчиков с различных внешних устройств.

При включении питания ЭВМ монитор производит начальный набор тестов и выводит на терминал результаты тестирования и установленный объем ОЗУ. В остальных случаях при получении управления монитор выводит на терминал виртуальный адрес, который был в регистре РС перед входом в монитор. Если вход в монитор происходит по инструкции процессора HALT, то этот адрес будет адресом инструкции, следующей за HALT.

Затем монитор выводит на терминал промпт @, и переходит в режим ожидания команд.

Существует 2 версии прошивки монитора - 134 и 377. Версия 134 является стандартной для плат MC1201.03/04, а версия 377 устанавливалась на платы, поставляемые в составе ЭВМ ДВК-4. Монитор 377 имеет более развитый командный язык, но не содержит в себе загрузчик с диска DM:, а монитор версии 134 не имеет в своем составе загрузчика с дисков DX. В состав данного проекта входят обе версии монитора, а выбор монитора, включаемого в конфигурацию, производится в файле config.v.

## 5.1. Монитор версии 134

Это штатный пультовый монитор для плат MC1201.03/04. При первоначальном включении платы производит тест ОЗУ, выводит на экран его объем и промпт @.

### 5.1.1. Команды монитора 134

Во всех командах, использующих адресацию к памяти, используется полный 22-битный физический адрес. Монитор ничего не знает о виртуальных адресах и текущих настройках диспетчера памяти.

Монитор поддерживает набор команд, в основном являющийся подмножеством стандартного набора команд ODT. реализованы следующие команды:

**;** - отмена последнего введенного числа - можно вводить его заново

**/** - открывает ячейку по указанному или последнему использованному адресу.

**CR** - закрывает ячейку, если было введено новое значение - записывает его.

**LF** - открывает следующую ячейку (адрес+2)

**^** - открывает предыдущую ячейку (адрес-2)

**>** - открывает ячейку, используя младший байт текущей ячейки как смещение (адресация команды относительного перехода)

**\_** - открывает ячейку, адрес которой равен <адрес текущей ячейки> + <содержимое текущей ячейки> + 2 (относительная адресация).

**@** - закрывает текущую ячейку и открывает новую, адрес которой равен содержимому текущей ячейки (косвенная адресация)

**\$n** или **Rn** - открывает регистр процессора с номером n

**RS** - открывает текущее PSW

**G** - запуск программы по указанному адресу

**P** - продолжение прерванной программы, адрес запуска берется из PC

**B** - переход в режим начальной загрузки.

**M** - печатает причину перехода в пультовый режим

**Tn** - запускает тест под номером n (0..7)

### 5.1.2. Резидентные загрузчики

После ввода команды В монитор на новой строке выводит промпт \$, приглашая ввести двухбуквенное имя и номер устройства для загрузки. Поддерживаются следующие устройства:

**DKn** - диск RK-03 (DK:)

**DMn** - диск RK-06/07 (DM:)

**DBn** - диск RP06 (DB:)

**MXn** - дискета одинарной плотности (MX:)

**MYn** - дискета двойной плотности (MY:)

**DWn** - жесткий диск (DW:)

**MTn** - магнитная лента TM-11 (MT:)

**MMn** - магнитная лента двойной плотности (MM:)

**CTn** - кассетная магнитная лента (CT:)

**DPn** - диск RP02/03/04 (DP:)

**DUn** - диск MSCP

**RSn** - Диск RS04 (DS:)

И еще есть какой-то устройство RR, но что это такое я не разобрался.

В штатном ПЗУ 134 практически все загрузчики содержат в себе несколько грубых ошибок и неработоспособны. Нормально работают только загрузчики DW, MY и MX. Скорее всего, диски всех других типов никто никогда не подключал к плате MC1201.02/03 и работу загрузчиков никто не проверял.

Я исправил программный код всех загрузчиков, используемых в проекте. Теперь возможна загрузка со всех устройств, имеющихся в проекте, кроме гибких дисков DX.

## 5.2. Монитор версии 377.

Монитор 377, по сравнению с 134, имеет гораздо более развитые средства работы с памятью и отладки программ. Он позволяет работать не только с абсолютными физическими, но и с виртуальными адресами обоих пространств KERNEL и USER в соответствии с текущими настройками диспетчера памяти. Можно делать поиск слов в памяти, устанавливать точки останова программы, работать не только со словами, но и с байтами. Набор поддерживаемых загрузчиков с внешних устройств тоже расширен - имеются загрузчики VM,MY,DW,LL,LA,MX,DU,MT,DK,DP,DB,DS,DX.

Причем все загрузчики вполне работоспособны, в отличие от монитора 134. К сожалению, отсутствует загрузчик с диска DM. Поэтому я доработал монитор, заменив загрузчик DU на загрузчик DM, поскольку реализация поддержки MSCP-дисков не входит в планы развития проекта. Теперь монитор поддерживает все диски, входящие в проект.

Этот монитор подробно описан в штатной документации, находящейся в файле doc/377.pdf, здесь описание команд я приводить не буду.

## 6. Подсистема Unibus Mapping

Большинство устройств, используемых в проекте, в режиме DMA умеют формировать только 18-битный адрес. Только дискета MY и MSCP-диск RH70 умеют формировать полный 22-битный адрес.

Если в системе установлено только 256К ОЗУ (плата MC1201.03), то это не создает никаких проблем - адресное пространство укладывается в 18 бит. Однако при больших объемах памяти прямое использование 18-битных устройств становится невозможным. Для снятия этого ограничения фирмой DEC разработана подсистема Unibus Mapping (UMR), предназначенная для преобразования 18-битного адреса, выставяемого устройством на адресную шину при DMA, в полный 22-битный адрес. Подсистема работает аналогично диспетчеру памяти, но не имеет никаких средств защиты - любая программа, имеющая доступ к странице ввода-вывода, может запустить DMA-обмен с любым физическим адресом.

На платах MC1201.03/04 эта подсистема отсутствует. У MC1201.03 всего 256К ОЗУ, а к MC1201.04 никто никогда не подключал устройств, использующих 18-битный DMA. Но сам процессор ВМЗ имеет выход UMAP, предназначенный для включения UMR через регистр SR3. А раз так, то я эту подсистему в своем проекте реализовал - иначе работа с большинством диском становится невозможным.

## 7. Результаты тестирования

Полученная в результате аппаратная модель плат MC1201.03/04 полностью проходит тесты XXDP:

FKAA - базовый тест инструкции 11/34

FKAB - тест перываний и исключений 11/34

FKAC - тест EIS 11/34

FKTH - тест MMU 11/34 (18-битный режим)

JKDA - тест MMU KDF11 (22-битный режим)

Это, конечно, не доказывает, что в процессоре нет ошибок, поскольку эти тесты проходили изначально, еще на референсной схеме от VSLAV, а вот все ОС кроме RT-11SJ/FB и XXDP/SM отказывались грузиться. В результате в схеме процессора мной было выявлено 2 ошибки, которые VSLAV оперативно исправил. Возможно, есть еще ошибки, не влияющие на функционирование протестированного системного и прикладного ПО, которые буду выявлены в дальнейшем.

## 8. Поддержка операционных систем

Были протестированы следующие операционные системы:

XXDP

RT-11, включая XM-монитор

RAFOS, включая XM и TS-мониторы

TSX-11

RSX-11M

RSX-11M-PLUS

RSTS/E



Все системы работают практически без выявленных проблем. Единственная проблема, известная на данный момент - программа SAV систем RSX-11M и RSX-11M-Plus требует, чтобы контроллер диска RP06 (DB:) работал в режиме MSCP (RH70). В противном случае сохранение и восстановление системы работает неправильно. С причиной данной проблемы я пока не разобрался.