

А.В. Сорокин

# ОПЕРАТИВНАЯ ПАМЯТЬ ЭВМ

Учебное пособие

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Байкальский государственный университет

А.В. Сорокин

**ОПЕРАТИВНАЯ ПАМЯТЬ ЭВМ**

Учебное пособие

Иркутск  
Научное издательство БГУ  
2020

УДК 004.33(075.8)  
ББК 32.971.32я7  
С65

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Байкальского государственного университета

Рецензенты канд. техн. наук, доц. М.М. Бусько  
канд. техн. наук, доц. С.В. Бахвалов

Сорокин А.В.

С65      Оперативная память ЭВМ : учеб. пособие / А.В. Сорокин. – Иркутск :  
Науч. изд-во БГУ, 2020. – 107 с. – URL: <http://lib-catalog.bgu.ru>.

Исследуются теоретико-методологические основы становления и развития системы оперативной памяти ЭВМ, ее характеристик и их влияние на быстродействие компьютера. Дается комплексная характеристика состояния рынка оперативной памяти. Приводятся рекомендации по обнаружению неисправностей и настройке оборудования.

Для студентов специальностей 38.03.05 Бизнес-информатика и 09.03.03 Прикладная информатика, магистрантов и аспирантов. Пособие будет полезно и для специалистов, связанных с современными информационными технологиями, и для широкого круга пользователей компьютеров.

УДК 004.33(075.8)  
ББК 32.971.32я7

© Сорокин А.В., 2020  
© Научное издательство БГУ, 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 5  |
| 1. Основные термины и определения.....                                     | 6  |
| 1.1. Классификация запоминающих устройств .....                            | 9  |
| 1.2. Иерархическая структура памяти.....                                   | 10 |
| 1.2.1. Регистры.....   | 11 |
| 1.2.2. Кэш-память .....  | 12 |
| 1.2.3. Организация микросхем памяти.....                                   | 16 |
| Контрольные вопросы .....  | 19 |
| 2. Виды памяти .....   | 20 |
| 2.1. Динамическая оперативная память .....                                 | 23 |
| 2.1.1. Устройство динамической оперативной памяти. ....                    | 23 |
| 2.1.2. Работа динамической памяти в состоянии покоя .....                  | 26 |
| 2.1.3. Работа динамической памяти при чтении данных<br>и регенерации ..... | 27 |
| 2.1.4. Работа динамической памяти при записи данных.....                   | 29 |
| 2.1.5. Этапы модернизации динамической оперативной памяти .....            | 31 |
| 2.1.6. Основные характеристики оперативной памяти .....                    | 40 |
| 2.1.7. Достоинства и недостатки динамической памяти.....                   | 47 |
| 2.2. Статическая оперативная память .....                                  | 48 |
| 2.2.1. Устройство триггера.....  | 48 |
| 2.2.2. Устройство ячейки статической памяти .....                          | 50 |
| 2.2.3. Устройство микросхемы статической памяти .....                      | 51 |
| 2.2.4. Достоинства и недостатки статической памяти.....                    | 54 |
| 2.3. Магниторезистивная оперативная память .....                           | 54 |
| Контрольные вопросы.....   | 57 |
| 3. История развития оперативной памяти .....                               | 58 |
| 3.1. Конденсаторы .....  | 58 |
| 3.2. Электронные лампы .....   | 59 |
| 3.3. Трубка Уильямса .....   | 59 |
| 3.4. Декатроны.....  | 60 |
| 3.5. Ртутные линии задержки .....  | 61 |
| 3.6. Селектрон.....  | 62 |
| 3.7. Магнитные барабаны .....  | 63 |
| 3.8. Ферритовые сердечники .....   | 64 |
| 3.9. Полупроводниковые устройства ОЗУ .....                                | 66 |
| Контрольные вопросы.....   | 72 |
| 4. Обслуживание оперативной памяти .....                                   | 73 |
| 4.1. Установка оперативной памяти.....                                     | 73 |
| 4.1.1. Одноканальный режим работы памяти .....                             | 77 |
| 4.1.2. Двухканальный режим работы памяти .....                             | 78 |
| 4.1.3. Трехканальный режим работы памяти.....                              | 79 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.4. Преимущества многоканального режима .....                 | 80  |
| 4.2. Разгон оперативной памяти .....                             | 81  |
| 4.2.1. Значение скорости работы оперативной памяти .....         | 81  |
| 4.2.2. Параметры, влияющие на разгон ОЗУ .....                   | 82  |
| 4.2.3. Производители модулей оперативной памяти.....             | 83  |
| 4.2.4. Разгон оперативной памяти с помощью XMP профиля.....      | 91  |
| 4.2.5. Пример быстрой настройки XMP для разгона компьютера ..... | 93  |
| 4.3. Программы для проверки оперативной памяти ЭВМ .....         | 98  |
| 4.3.1. Проверка памяти стандартным средством Windows 10 .....    | 100 |
| 4.3.2. Проверка оперативной памяти memtest86+ .....              | 104 |
| Контрольные вопросы.....   | 105 |
| Список рекомендуемой литературы .....                            | 106 |

## ВВЕДЕНИЕ

Память определяет быстродействие.

*Джон фон Нейман*

Основы учения об архитектуре вычислительных машин заложил выдающийся американский математик Джон фон Нейман. В середине 1946 г. фон Нейман совместно с Г. Голдстайном и А. Бёрксом написал статью «Предварительное изучение логических построений электронного вычислительного устройства». В работе были сформулированы общие принципы работы универсальных вычислительных устройств. Эти принципы, названные впоследствии «принципами фон Неймана», послужили созданию классической архитектуры электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Прежде всего, фон Нейман предложил принцип программного управления. Этот принцип позволяет полностью автоматизировать вычисления и создать на его основе ЭВМ. Принцип программного управления состоит в том, что программа должна размещаться в памяти ЭВМ и последовательно, в очередности следования команд, должна исполняться с помощью простых, однотипных действий. То есть программа должна объяснить вычислительной машине последовательность и характер действий, которые она должна выполнять.

Другим принципом, предложенным фон Нейманом, является принцип адресации. Этот принцип связан с работой памяти. Принцип адресации заключается в том, что каждой ячейке памяти ставится в соответствие номер, называемый адресом ячейки.

С тех пор прошло более 70 лет, но выдвинутые в ней положения сохраняют актуальность и сегодня.

В любой ЭВМ, вне зависимости от ее архитектуры, данные хранятся в запоминающих устройствах (ЗУ), которые, учитывая их характеристики, место расположения и способ взаимодействия с процессором, относят к внутренней или внешней памяти. Внутренняя память располагается частично на общем кристалле с процессором (регистры и кэш-память), а частично – на системной плате (оперативная память). Медленные ЗУ большой емкости (твердотельные, магнитные и оптические диски, магнитные ленты) называют внешней памятью, поскольку к ЭВМ они подключаются аналогично устройствам ввода/вывода.

Основными функциями ЗУ являются прием, хранение и выдача данных в процессе работы ЭВМ. Процесс приема данных, в ходе которого осуществляется их занесение в ЗУ, называется записью, процесс выдачи данных – чтением или считыванием, а совместно их определяют, как процессы обращения к ЗУ.

В данной работе приводятся основные термины и определения, относящиеся к ЗУ. Дается их классификация и иерархическая структура. Подробно описываются принцип работы динамической и статической оперативной памяти. Рассматриваются основные характеристики современной памяти и перспективы развития ЗУ. В учебном пособии приводятся данные об истории развития ЗУ с середины XX в. до наших дней.

Большой объем материала посвящен прикладным вопросам выбора, обслуживания и настройки оперативной памяти.

# 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Памятью ЭВМ** называется совокупность устройств, служащих для запоминания, хранения и выдачи информации. В этих устройствах хранятся программы и данные. Без памяти, откуда процессоры считывают и куда записывают информацию, не было бы современных цифровых компьютеров.

Отдельные устройства, входящие в эту совокупность, называются *запоминающими устройствами (ЗУ)* того или иного типа.

Термин «запоминающее устройство» обычно используется, когда речь идет о принципе построения некоторого устройства памяти (например, полупроводниковое ЗУ, ЗУ на жестком магнитном диске и т.п.), а термин «память» – когда хотят подчеркнуть выполняемую устройством памяти логическую функцию или место расположения в составе оборудования ЭВМ (например, оперативная память – ОП, внешняя память и т.п.). В тех вопросах, где эти различия не имеют принципиального значения, термины «память» и «запоминающее устройство» используются как синонимы.

**Характеристики запоминающих устройств внутренней памяти.** Перечень основных характеристик<sup>1</sup>, которые необходимо учитывать, рассматривая конкретный вид ЗУ, включает в себя:

- емкость;
- единицу пересылки;
- метод доступа;
- быстродействие;
- физический тип;
- физические особенности;
- стоимость.

*Емкость ЗУ* характеризуют числом битов, либо байтов, которое одновременно может храниться в запоминающем устройстве.

Основной единицей хранения данных в памяти является двоичный разряд, который называется битом. Бит может содержать 0 или 1. Эта самая маленькая единица памяти. Часто говорят, что применение двоичной системы счисления в компьютерах объясняется ее «эффективностью». При этом имеется в виду, что хранение цифровой информации может быть основано на отличиях между разными величинами какой-либо физической характеристики, например, напряжения или тока. Чем больше величин нужно различать, тем меньше отличий между смежными величинами и тем менее надежна память. В двоичной системе требуется различать всего две величины, следовательно, это – самый надежный метод кодирования цифровой информации<sup>2</sup>.

Байт – единица хранения и обработки цифровой информации; совокупность битов, обрабатываемая компьютером одновременно. В современных вычислительных системах байт состоит из 8 бит и, соответственно, может принимать одно из 256 (от 0 до 255) различных значений (состояний, кодов).

---

<sup>1</sup> Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем : учеб. для вузов. 2-е изд. СПб. : Питер, 2011. 688 с.

<sup>2</sup> Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. СПб. : Питер, 2013. 816 с.

В большинстве вычислительных архитектур байт – это минимальный независимо адресуемый набор данных.

На практике применяются более крупные единицы, а для их обозначения к словам «бит» или «байт» добавляют приставки: кило-, мега-, гига-, тера-, пета-, экса-, зетта-, йотта- (kilo, mega, giga, tera, peta, exa, zetta, yotta). Стандартно эти приставки означают умножение основной единицы измерений на  $10^3$ ,  $10^6$ ,  $10^9$ ,  $10^{12}$ ,  $10^{15}$ ,  $10^{18}$ ,  $10^{21}$  и  $10^{24}$  соответственно.

В вычислительной технике, ориентированной на двоичную систему счисления, они соответствуют значениям, достаточно близким к стандартным, но представляющим собой целую степень числа 2, т.е.  $2^{10}$ ,  $2^{20}$ ,  $2^{30}$ ,  $2^{40}$ ,  $2^{50}$ ,  $2^{60}$ ,  $2^{70}$ ,  $2^{80}$ .

Важной характеристикой ЗУ является *единица пересылки*. Для основной памяти (ОП) единица пересылки определяется шириной шины данных, т.е. количеством битов, передаваемых по линиям шины параллельно. Обычно единица пересылки равна длине слова, но не обязательно. Так, при пересылке информации между основной памятью и кэш-памятью данные передаются единицами, превышающими размер слова, и такие единицы называются блоками.

При оценке быстродействия необходимо учитывать применяемый в данном типе ЗУ метод доступа к данным.

Различают четыре основных *метода доступа*: последовательный, прямой, произвольный и ассоциативный, из которых для внутренней памяти характерны два последних.

В ЗУ с произвольным доступом ячейка имеет уникальный физический адрес. Обращение к любой ячейке занимает одно и то же время и может производиться в любой последовательности (произвольной очередности). Примером могут служить запоминающие устройства основной памяти. Ассоциативный доступ позволяет обращаться к ячейкам ЗУ в соответствии с признаками хранящихся в них данных, он обеспечивает поиск ячеек, содержащих такую информацию, в которой значение отдельных битов совпадает с состоянием одноименных битов в заданном образце. Сравнение осуществляется параллельно для всех ячеек памяти. По ассоциативному принципу построены некоторые блоки кэш-памяти.

*Быстродействие* ЗУ является одним из важнейших его показателей. Для количественной оценки быстродействия обычно используют четыре параметра:

1. Время выборки данных. Оно соответствует интервалу времени между началом операции считывания и выдачей считанных данных из запоминающего устройства.

2. Время хранения данных – интервал времени, в течение которого запоминающее устройство в заданном режиме сохраняет данные без регенерации.

3. Цикл обращения к ЗУ или период обращения. Им называют минимальный интервал времени между двумя последовательными доступами к данным запоминающего устройства. Период обращения включает в себя собственно время доступа плюс некоторое дополнительное время. Дополнительное время может требоваться для затухания сигналов на линиях, а в некоторых типах ЗУ,

где считывание информации приводит к ее разрушению, – для восстановления считанной информации.

4. Скорость передачи данных – количество данных, считываемых (записываемых) запоминающим устройством в единицу времени.

Говоря о *физическом типе* запоминающего устройства, необходимо отметить, что ЗУ внутренней памяти современных вычислительных машин базируются на полупроводниковой технологии. В зависимости от примененной технологии следует учитывать и ряд физических особенностей ЗУ. Так, для полупроводниковой технологии приходится учитывать фактор энергозависимости. В энергозависимой памяти информация может быть искажена или потеряна при отключении источника питания, в то время как в энергонезависимых ЗУ записанная информация сохраняется и при отключении питающего напряжения. Полупроводниковая память может быть, как энергозависимой, так и нет, в зависимости от ее типа. Помимо энергозависимости нужно учитывать, приводит ли считывание информации к ее разрушению.

*Стоимость ЗУ* принято оценивать отношением общей стоимости ЗУ к его емкости в битах, т.е. стоимостью хранения одного бита информации.

**Адреса памяти.** Память состоит из ячеек, каждая из которых может хранить некоторую порцию информации. Каждая ячейка имеет номер, который называется адресом. По адресу программы могут ссылаться на определенную ячейку. Если память содержит  $n$  ячеек, они будут иметь адреса от 0 до  $n - 1$ . Все ячейки памяти содержат одинаковое число битов. Если ячейка состоит из  $k$  бит, она может содержать любую из  $2^k$  комбинаций. На рис. 1 показаны три различных варианта организации 96-разрядной памяти. Отметим, что соседние ячейки по определению имеют последовательные адреса.

В компьютерах, в которых используется двоичная система счисления (включая восьмеричное и шестнадцатеричное представление двоичных чисел), адреса памяти также выражаются в двоичных числах. Если адрес состоит из  $m$  бит, максимальное число адресуемых ячеек составит  $2^m$ . Например, адрес для обращения к памяти, изображенной на рис. 1 (а), должен состоять по крайней мере из 4 бит, чтобы выражать все числа от 0 до 11. При устройстве памяти, показанном на рис. 1 (б) и 1 (в), достаточно 3-разрядного адреса. Число битов в адресе определяет максимальное количество адресуемых ячеек памяти и не зависит от числа битов в ячейке. 12-разрядные адреса нужны и памяти из 212 ячеек по 8 бит каждая, и памяти из 212 ячеек по 64 бит каждая.

**Ячейка** – минимальная адресуемая единица памяти. В последние годы практически все производители выпускают компьютеры с 8-разрядными ячейками, которые называются байтами (также иногда встречается термин «октет»). Байты группируются в слова. В компьютере с 32-разрядными словами на каждое слово приходится 4 байт, а в компьютере с 64-разрядными словами – 8 байт. Такая единица, как слово, необходима, поскольку большинство команд производят операции над целыми словами (например, складывают два слова). Таким образом, 32-разрядная машина содержит 32-разрядные регистры и команды для манипуляций с 32-разрядными словами, тогда как 64-разрядная ма-

шина имеет 64-разрядные регистры и команды для перемещения, сложения, вычитания и других операций над 64-разрядными словами (рис. 1).

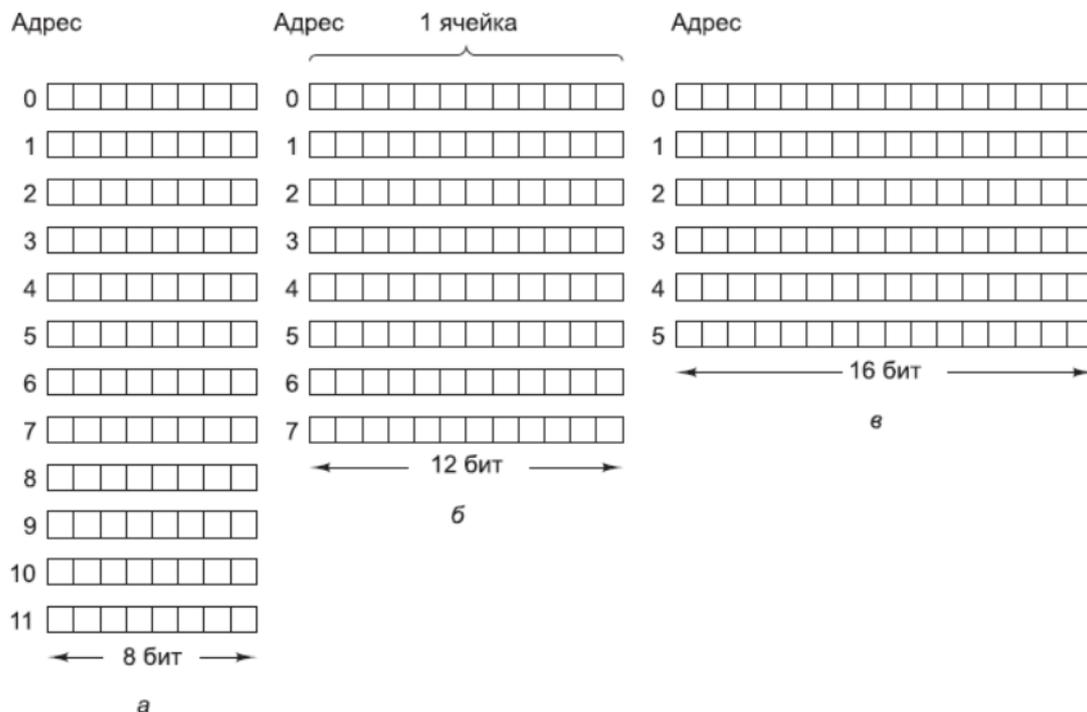


Рис. 1. Три варианта организации 96-разрядной памяти

### 1.1. Классификация запоминающих устройств

Запоминающие устройства можно классифицировать по целому ряду параметров и признаков. На рис. 2 представлена классификация по типу обращения и организации доступа к ячейкам ЗУ<sup>3</sup>.



Рис. 2. Классификация запоминающих устройств

<sup>3</sup> Архитектура, структура и организация вычислительного процесса в ЭВМ типа IBM PC / под ред. Г.Н. Соловьева. М. : МИФИ, 2002. 640 с.

По типу обращения ЗУ делятся на устройства, допускающие как чтение, так и запись информации, и постоянные запоминающие устройства (ПЗУ), предназначенные только для чтения записанных в них данных (ROM – read only memory). ЗУ первого типа используются в процессе работы процессора для хранения выполняемых программ, исходных данных, промежуточных и окончательных результатов. В ПЗУ, как правило, хранятся системные программы, необходимые для запуска компьютера в работу, а также константы. В некоторых ЭВМ, предназначенных, например, для работы в системах управления по одним и тем же неизменяемым алгоритмам, все программное обеспечение может храниться в ПЗУ.

В ЗУ с произвольным доступом (RAM – random access memory) время доступа не зависит от места расположения участка памяти (например, ОЗУ).

В ЗУ с прямым (циклическим) доступом благодаря непрерывному вращению носителя информации (например, магнитный диск – HDD) возможность обращения к некоторому участку носителя циклически повторяется. Время доступа здесь зависит от взаимного расположения этого участка и головок чтения/записи и во многом определяется скоростью вращения носителя.

В ЗУ с последовательным доступом производится последовательный просмотр участков носителя информации, пока нужный участок не займет некоторое нужное положение напротив головок чтения/записи (например, магнитные ленты).

Основные характеристики запоминающих устройств – это емкость и быстродействие. Идеальное запоминающее устройство должно обладать бесконечно большой емкостью и иметь бесконечно малое время обращения. На практике эти параметры находятся в противоречии друг другу: в рамках одного типа ЗУ улучшение одного из них ведет к ухудшению значения другого. К тому же следует иметь в виду и экономическую целесообразность построения запоминающего устройства с теми или иными характеристиками при данном уровне развития технологии. Поэтому в настоящее время запоминающие устройства компьютера строятся по иерархическому принципу.

## 1.2. Иерархическая структура памяти

Иерархическая структура памяти является традиционным решением проблемы хранения больших объемов данных<sup>4</sup> (рис. 3). На самом вершине иерархии находятся регистры процессора. Доступ к регистрам осуществляется быстрее всего. Далее идет кэш-память, объем которой сейчас составляет от 32 Кбайт до десятков мегабайт. Затем следует основная память, объем которой в настоящее время лежит в диапазоне от 1 Гбайт до сотен гигабайт. Затем идут магнитные диски (HDD) и твердотельные накопители (SSD) для долгосрочного хранения данных. Нижний уровень иерархии занимают накопители на магнитной ленте, оптические диски и USB-флеш-накопители для хранения архивов.

По мере продвижения сверху вниз по иерархии меняются три параметра. Во-первых, увеличивается время доступа. Доступ к регистрам занимает не-

---

<sup>4</sup> Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера.

сколько наносекунд, доступ к кэш-памяти – немного больше, доступ к основной памяти – несколько десятков наносекунд. Дальше идет большой разрыв: доступ к дискам происходит по крайней мере в 10 раз медленнее для твердотельных дисков и в сотни раз медленнее для магнитных дисков. Время доступа к магнитным лентам и оптическим дискам вообще может измеряться в секундах (поскольку эти накопители информации еще нужно взять и поместить в соответствующее устройство).



Рис. 3. Пятиуровневая организация памяти

Во-вторых, растет объем памяти. Регистры могут содержать в лучшем случае 128 байт, кэш-память – десятки мегабайт, основная память – гигабайты, магнитные диски – терабайты. Магнитные ленты и оптические диски хранятся автономно от компьютера, поэтому их совокупный объем ограничивается только финансовыми возможностями владельца.

В-третьих, увеличивается количество битов, которое вы получаете за один доллар. Стоимость объема основной памяти измеряется в долларах за мегабайт, твердотельных накопителей – в долларах за гигабайт, магнитных дисков и лент – в центах за гигабайт или еще дешевле.

Схематично и очень упрощенно модель памяти<sup>5</sup> представлена на рис. 4.

### 1.2.1. Регистры

Регистр процессора – блок памяти, расположенный прямо на кристалле процессора и образующий сверхбыструю оперативную память (СОЗУ). В x86\_64 размеры регистра, за исключением векторных, варьируются от 8 до 64 бит.

Программа может быстро работать только с памятью, находящейся в регистрах процессора. Даже для простого инкремента ячейки памяти из RAM (Random Access Memory) необходимо выполнить три операции: сначала загрузить эту ячейку из RAM или кэша в регистр, затем инкрементировать и после выгрузить ячейку из регистра обратно в RAM или кэш.

<sup>5</sup> Типичный программист. Низкоуровневая модель памяти. URL: <https://tproger.ru/articles/low-level-memory>.

Количество и специализация регистров зависят от архитектуры процессора, но типы регистров можно разделить на две группы: регистры общего назначения, необходимые для хранения и использования переменных, принадлежащих программам, и специализированные регистры, хранящие различную метаинформацию, которая может даже менять поведение процессора.

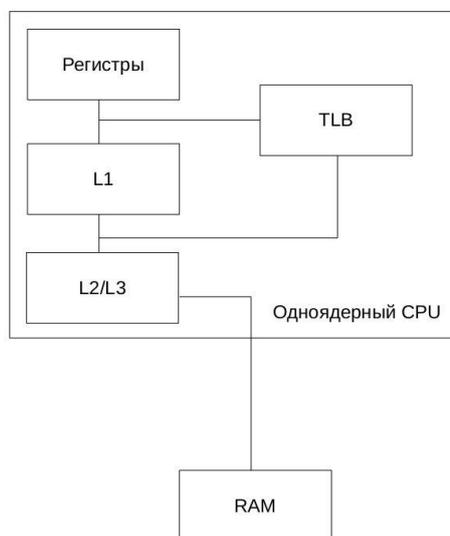


Рис. 4. Упрощенная модель памяти одноядерного CPU

Если с регистрами общего назначения все понятно, то вот некоторые специализированные регистры в x86\_64 и их назначение:

- *Instruction Pointer (IP)* – указатель на текущую инструкцию программы. После выполнения каждой команды IP увеличивается на длину этой команды (во многих архитектурах размер инструкции неконстантный), и тем самым начинает указывать на следующую команду;
- *Stack Pointer (SP)* – указатель на вершину стека;
- *регистр флагов (RFLAGS)* – содержит текущее состояние процессора и некоторую информацию о результате предыдущей команды (бит переполнения при сложении и умножении; бит нуля при вычитании и т.д.);
- *управляющие регистры (CR0 – CR15)* – основные регистры для управления поведением процессора;
- *регистры отладки (DR0 – DR15)* для отладки и сбора статистики работы процессора;
- *векторные регистры общего назначения (ZMM0 – ZMM31)*, необходимые для математических операций над несколькими числами (вектором) одновременно.

### 1.2.2. Кэш-память

Как известно, процессор работает с данными, хранящимися в оперативной памяти. Однако скорость работы оперативной памяти и процессора существенно различается: если бы процессор напрямую общался с оперативной па-

мятью (читал или записывал данные), то большую часть времени попросту простаивал бы. Именно для сокращения задержек доступа к оперативной памяти и применяется кэш-память, которая значительно более скоростная в сравнении с оперативной. Фактически если оперативная память используется для того, чтобы сгладить задержки доступа к данным на накопителе (HDD-диске, SSD-накопителе или флэш-памяти), то кэш-память процессора применяется для нивелирования задержек доступа к самой оперативной памяти. В этом смысле оперативную память можно рассматривать как кэш накопителя. Однако между оперативной памятью и кэшем процессора есть одно очень серьезное различие: кэш процессора полностью прозрачен для программиста, т.е. нельзя адресовать программным образом находящиеся в нем данные.

Понятно, что для того, чтобы кэш процессора мог выполнять свою основную задачу, т.е. сглаживать доступ к оперативной памяти, он должен работать гораздо быстрее, чем она. Так, если оперативная память представляет собой динамическую память с произвольным доступом (Dynamic Random Access Memory – DRAM), то кэш процессора выполняется на базе статической оперативной памяти (Static Random Access Memory – SRAM).

Статическая память SRAM без проблем работает на частоте процессора. Динамическая память DRAM функционирует на частотах существенно более низких, т.е. имеет очень большую задержку (около 230 тактов процессора), поэтому часть этой памяти кэшируется в самом процессоре. Кэширование многоуровневое, чем меньше память и непосредственно ближе к регистрам, тем проще ее адресовать и тем она быстрее.

*L1-кэш* находится в каждом ядре процессора, кэширует как данные, так и инструкции (которые, в свою очередь, тоже являются данными; один и тот же набор двоичного кода может быть интерпретирован и как данные, и как инструкции). Задержка минимальна – 4 такта на и размер 64 КБ (32 КБ на данные и 32 КБ на инструкции) на каждое виртуальное ядро.

*L2-кэш* также находится в каждом ядре, но кэширует только данные – 12 тактов и 1 МБ на ядро.

*L3-кэш* – общий для всего процессора, кэширует только данные – 36 тактов и 8 МБ. В последних процессорах Intel и AMD кэш третьего уровня существенно увеличился.

Задержка в тактах примерная и не отражает реального положения дел, цифры приведены на основе бенчмарков только для того, чтобы показать относительную разницу кэшей и DRAM.

*Принцип работы кэша процессора.* Кэш состоит из контроллера и собственно кэш-памяти<sup>6</sup>. Кэш-контроллер управляет работой кэш-памяти, т.е. загружает в нее нужные данные из оперативной памяти и возвращает, когда нужно, модифицированные процессором данные в оперативную память. Архитектурно кэш-контроллер расположен между процессором и оперативной памятью (рис. 5). Перехватывая запросы к оперативной памяти, кэш-контроллер опреде-

---

<sup>6</sup> Пахомов С. Что такое кэш процессора и как он работает. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=23541>.

ляет, имеется ли копия затребованных данных в кэше. Если такая копия там есть, то это называется кэш-попаданием (cache hit) – в таком случае данные очень быстро извлекаются из кэша (существенно быстрее, чем из оперативной памяти). Если же требуемых данных в кэше нет, то говорят о кэш-промахе (cache miss) – тогда запрос данных пере адресуется к оперативной памяти.



Рис. 5. Структура кэш-памяти процессора

Для достижения наивысшей производительности кэш-промахи должны происходить как можно реже (в идеале – отсутствовать). Учитывая, что по емкости кэш-память намного меньше оперативной памяти, добиться этого не так-то просто. А потому основная задача кэш-контроллера заключается в том, чтобы загружать кэш-память действительно нужными данными и своевременно удалять из нее данные, которые больше не понадобятся. Важно понимать, что кэш всегда «полон», так как оставлять часть кэш-памяти пустой нерационально. Новые данные попадают в кэш только путем вытеснения (замещения) каких-либо старых данных.

Загрузка кэша данными реализуется на основе так называемой стратегии кэширования, а выгрузка данных – на основе политики замещения.

*Политики замещения данных в кэш-памяти.* Как уже отмечалось, кэш всегда полон и новые данные попадают в него только путем замещения каких-либо старых данных. Алгоритмы, определяющие стратегию замещения данных, различны. Самый простой алгоритм, не наделенный интеллектом, – это алгоритм произвольного выбора, когда замещаемые данные выбираются случайным образом (Random). Понятно, что политика замещения на основе алгоритма произвольного выбора проста в реализации, однако неэффективна, а потому не используется в современных процессорах (рассматриваются только x86-совместимые процессоры).

Решение о замещении данных в кэше может приниматься также на основе частотного анализа обращений к данным (Least Frequently Used – LFU), когда в первую очередь замещаются те данные, у которых самая низкая частота обращений. Политика замещения на основе частотного анализа обращений требует наличия счетчиков в каждой строке кэша, обновляемых при каждом удачном запросе.

Следующий возможный алгоритм, определяющий политику замещения, – это алгоритм LRU (Least Recently Used), когда замещаются те данные, к которым дольше всего не обращались.

Возможен также алгоритм FIFO (First Input First Output) или LRR (Least Recently Replaced), когда замещаются те данные, которые были загружены раньше всех.

Отметим, что алгоритмы LRU и FIFO тоже требуют наличия счетчиков в каждой строке кэша и именно эти два алгоритма применяются во всех современных процессорах.

*Стратегии кэширования.* Были рассмотрены алгоритмы, на которых основаны политики замещения данных в кэш-памяти, а теперь поговорим об алгоритмах, лежащих в основе стратегии кэширования, т.е. об алгоритмах загрузки кэша данными. Напомним, что основная задача кэш-контроллера заключается в том, чтобы наполнить кэш актуальными данными и свести к минимуму количество кэш-промахов.

Фактически для этого кэш-контроллер должен знать или уметь предсказывать, какие данные потребуются процессору в будущем, и на основе этого заранее загружать их в кэш (упреждающая загрузка данных). Понятно, что «навверняка» кэш-контроллер ничего не знает и никаким сверхъестественным интеллектом не обладает, а потому хоть и редко, но случаются кэш-промахи.

Существует несколько стратегий помещения данных в кэш-память. Самая простая и неинтеллектуальная стратегия заключается в том, что обращение к оперативной памяти (с последующим помещением копии данных в кэш) происходит только в том случае, если затребованных процессором данных нет в кэше (возникает кэш-промах). Данная стратегия называется кэшированием по требованию (on demand). Однако при такой стратегии кэширования частота кэш-промахов достаточно высока – по этой причине она не используется.

Значительно более эффективна стратегия упреждающей спекулятивной загрузки данных в кэш, когда кэш-контроллер заранее загружает данные в кэш-память на основе прогнозируемых предположений о том, какие данные понадобятся процессору в ближайшем будущем.

Существует несколько алгоритмов упреждающей спекулятивной загрузки данных в кэш. Самый простой алгоритм основан на предположении, что данные из оперативной памяти обрабатываются последовательно, в порядке возрастания адресов. То есть кэш-контроллер попросту загружает в кэш из оперативной памяти не только затребованные процессором данные, но и соседние данные в порядке возрастания адресов. Если данные действительно обрабатываются последовательно, то последующие запросы процессора приведут к попаданию в кэш-память.

Описанный алгоритм упреждающей загрузки данных является самым простым, но не самым эффективным, поскольку далеко не всегда данные в программе обрабатываются последовательно. Более интеллектуальные алгоритмы упреждающей спекулятивной загрузки данных в кэш предсказывают адрес следующей запрашиваемой ячейки памяти на основе анализа предыдущих обращений.

Изучая последовательность кэш-промахов, кэш-контроллер пытается установить, когда может произойти следующий кэш-промах и производит упреждающую загрузку данных, чтобы избежать его. Интеллектуальная стратегия упреждающей спекулятивной загрузки данных в кэш имеет высокую эффективность и сводит частоту возникновения кэш-промахов к ничтожно малому значению.

Отметим, что в современных процессорах используются исключительно интеллектуальные стратегии упреждающей спекулятивной загрузки данных в кэш.

Загрузка данных из памяти может либо начинаться после фиксации кэш-промаха (стратегия Look Through), либо осуществляться параллельно с проверкой наличия соответствующей копии данных в сверхоперативной памяти и прерываться в случае кэш-попадания (стратегия Look Aside). При реализации алгоритма Look Aside сокращаются задержки доступа к памяти в случае кэш-промахов, однако при этом увеличивается энергопотребление процессора.

*Виртуальная адресация.* Это метод управления памятью компьютера, позволяющий выполнять программы, требующие больше оперативной памяти, чем имеется в компьютере, а также изолировать память процессов друг от друга.

Виртуальный указатель не соответствует физическому указателю на ячейку в RAM. Это сделано для того, чтобы виртуальная память могла быть больше реальной RAM-памяти, например, для файла подкачки (физическая память + подкачка явно больше, чем просто физическая память) или поблочного отображения файлов и устройств в память.

*TLB-кэш* внутренне сходен с LX-кэшами, только служит для трансляции виртуальных адресов и представляет собой таблицу из сетов, внутри которых записи: «виртуальный адрес ↔ физический адрес».

TLB первого уровня делится на ITLB (instructions) и на DTLB (data).

TLB второго уровня (STLB) – только для данных, задержка.

### 1.2.3. Организация микросхем памяти

Интегральные микросхемы памяти (ИМС) представляют собой массив запоминающих элементов (ЗЭ). Запоминающий элемент способен хранить 1 бит информации<sup>7</sup>. Для ЗЭ любой полупроводниковой памяти характерны следующие свойства:

- два стабильных состояния, представляющие двоичные 0 и 1;
- в ЗЭ (хотя бы однажды) может быть произведена запись информации, посредством перевода его в одно из двух возможных состояний;
- для определения текущего состояния ЗЭ его содержимое может быть считано.

В адресной памяти поиск информации происходит по указанию двоичного номера ячейки памяти, в которой находится информация.

Чаще всего используется матричный принцип адресации ячеек. При этом каждая ячейка адресуется при совпадении сигналов по строкам и столбцам запоминающего массива.

---

<sup>7</sup> Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем : учеб. для вузов.

Каждый ЗЭ в микросхеме памяти имеет определенный адрес, на основании которого осуществляется доступ к данному ЗЭ. На физическую организацию массива однобитовых ЗЭ накладывается логическая организация памяти, т.е. разрядность микросхемы  $n$ . Разрядность микросхемы определяет количество ЗЭ, имеющих один и тот же адрес (такая совокупность запоминающих элементов называется ячейкой). Массив ЗЭ организован в виде совокупности из  $n$  матриц. Таким образом,  $i$ -й разряд всех ячеек хранится в  $i$ -й матрице массива. При матричной организации ИМС памяти (рис. 6) реализуется координатный принцип адресации ячеек. Адрес ячейки, поступающий по шине адреса ( $A_n \dots A_0$ ), пропускается через логику выбора, где он разделяется на две составляющих: адрес строки и адрес столбца.

Адреса строки и столбца запоминаются соответственно в регистре адреса строки и регистре адреса столбца микросхемы. Регистры соединены каждый со своим дешифратором. Выходы дешифраторов образуют систему горизонтальных и вертикальных линий, к которым подсоединены запоминающие элементы матрицы, при этом набор ЗЭ, образующий ячейку, расположен на пересечении одной горизонтальной и одной вертикальной линии. Запоминающие элементы, объединенные общим «горизонтальным» проводом, принято называть строкой (row). ЗЭ, подключенные к общему «вертикальному» проводу, называют столбцом (column). Кроме того, к каждому ЗЭ необходимо подключить линию, по которой будет передаваться считанная и записываемая информация.

Совокупность запоминающих элементов и логических схем, связанных с выбором строк и столбцов, называют ядром микросхемы памяти. Помимо ядра, в ИМС имеется еще интерфейсная логика, обеспечивающая взаимодействие ядра с внешним миром. В ее задачи, в частности, входят коммутация нужного столбца на выход при считывании и на вход – при записи.

Для уменьшения числа контактов ИМС адреса строки и столбца в большинстве микросхем подаются в микросхему через одни и те же контакты последовательно во времени (мультиплексируются) и запоминаются соответственно в регистре адреса строки и регистре адреса столбца микросхемы. Мультиплексирование обычно реализуется внешней по отношению к ИМС схемой.

Для синхронизации обработки адресной информации внутри ИМС адрес строки сопровождается сигналом RAS (Row Address Strobe – строб строки), а адрес столбца – сигналом CAS (Column Address Strobe – строб столбца). Вторую букву в аббревиатурах RAS и CAS иногда расшифровывают как Access – «доступ», т.е. имеется строб доступа к строке и строб доступа к столбцу. Чтобы стробирование было надежным, эти сигналы подаются с задержкой, достаточной для завершения переходных процессов на шине адреса и в адресных цепях микросхемы.

Сигнал выбора микросхемы CS (Chip Select) разрешает работу ИМС и используется для выбора определенной микросхемы в системах, состоящих из нескольких ИМС.

Вход WE (Write Enable – разрешение записи) определяет вид выполняемой операции (считывание или запись). Записываемая информация, поступаю-

щая по шине данных ( $D_m \dots D_0$ ), первоначально заносится во входной регистр данных, а затем – в выбранную ячейку.

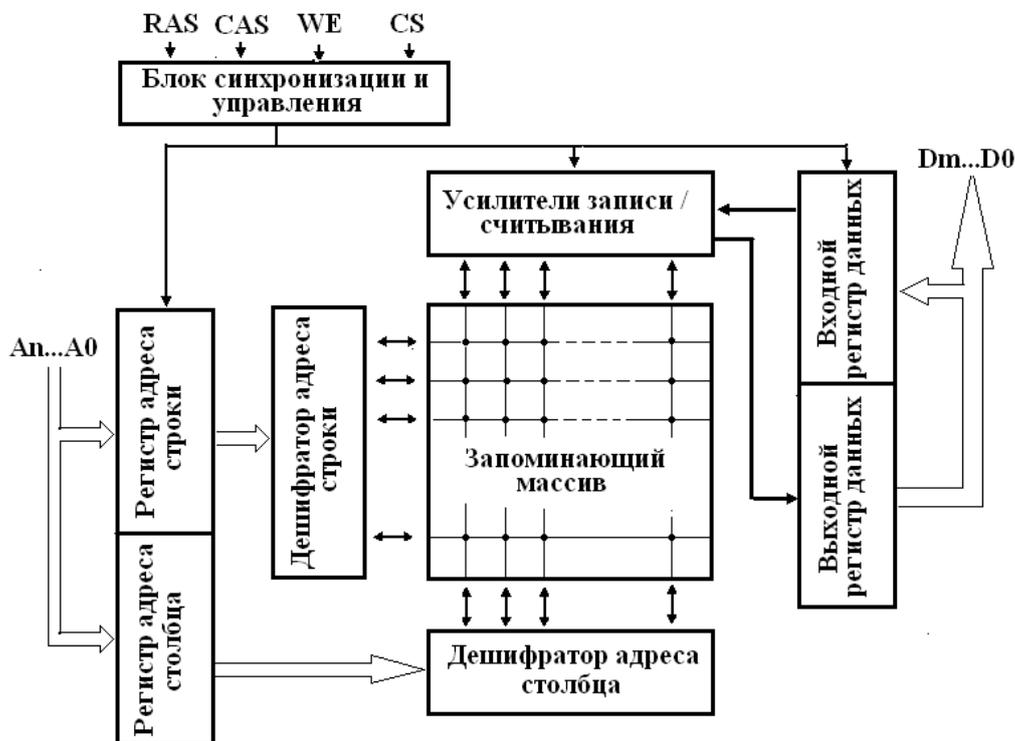


Рис. 6. Структура микросхемы памяти

Вход WE (Write Enable – разрешение записи) определяет вид выполняемой операции (считывание или запись). Записываемая информация, поступающая по шине данных ( $D_m \dots D_0$ ), первоначально заносится во входной регистр данных, а затем – в выбранную ячейку.

При выполнении операции чтения информация из ячейки до ее выдачи на шину данных буферизируется в выходном регистре данных. Обычно роль входного и выходного выполняет один и тот же регистр. Усилители записи/считывания (УЗС) служат для электрического согласования сигналов на линиях данных и внутренних сигналов ИМС. Обычно число УЗС равно числу запоминающих элементов в строке матрицы, и все они при обращении к памяти подключаются к выбранной горизонтальной линии. Каждая группа УЗС, образующая ячейку, подключена к одному из столбцов матрицы, т.е. выбор нужной ячейки в строке обеспечивается активизацией одной из вертикальных линий. На все время, пока ИМС памяти не использует шину данных, информационные выходы микросхемы переводятся в третье (высокоимпедансное) состояние, что эквивалентно отключению микросхемы от шины данных. Управление операциями с основной памятью осуществляется контроллером памяти, который может входить в состав центрального процессора либо реализуется в виде внешнего по отношению к памяти устройства. В последних типах ИМС памяти часть функций контроллера возлагается на микросхему памяти. Хотя работа ИМС памяти может быть организована как по синхронной, так и по асинхронной

схеме, контроллер памяти – устройство синхронное, т.е. срабатывающее исключительно по тактовым импульсам. По этой причине операции с памятью принято описывать с привязкой к тактам. В общем случае на каждую такую операцию требуется, как минимум, пять тактов, которые используются следующим образом:

1. Указание типа операции (чтение или запись) и установка адреса строки.
2. Формирование сигнала RAS.
3. Установка адреса столбца.
4. Формирование сигнала CAS.
5. Возврат сигналов RAS и CAS в неактивное состояние.

Данный перечень учитывает далеко не все необходимые действия, например, регенерацию содержимого памяти в динамических ОЗУ.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные характеристики запоминающих устройств внутренней памяти.
2. Что такое ячейка и адрес памяти?
3. Приведите классификацию запоминающих устройств по типу обращения доступа к ячейкам запоминающего устройства.
4. Опишите иерархическую структуру памяти.
5. Дайте определение регистра процессора.
6. Что такое кэш-память процессора? Предназначение.
7. Принцип работы кэша процессора.
8. Организация адресации микросхем памяти.
9. Для чего нужен сигнал RAS (Row Address Strobe) при работе с ячейкой памяти?
10. Для чего нужен сигнал CAS (Column Address Strobe) при работе с ячейкой памяти?

## 2. ВИДЫ ПАМЯТИ

Основная память (ОП) представляет собой единственный вид памяти, к которой ЦП может обращаться непосредственно (исключение составляют лишь регистры центрального процессора). Информация, хранящаяся на внешних ЗУ, становится доступной процессору только после того, как будет переписана в основную память. Основную память образуют запоминающие устройства с произвольным доступом. Такие ЗУ образованы как массив ячеек, а «произвольный доступ» означает, что обращение к любой ячейке занимает одно и то же время и может производиться в произвольной последовательности. Каждая ячейка содержит фиксированное число запоминающих элементов и имеет уникальный адрес, позволяющий отличать ее от других ячеек<sup>8</sup>.

Основная память может включать в себя два типа устройств:

- оперативные запоминающие устройства (ОЗУ);
- постоянные запоминающие устройства (ПЗУ).

Преимущественную долю основной памяти образует ОЗУ, допускающее как запись, так и считывание информации, причем обе операции выполняются однотипно, практически с одной и той же скоростью.

В англоязычной литературе ОЗУ соответствует аббревиатура RAM – Random Access Memory, т.е. «память с произвольным доступом», что не совсем корректно, поскольку памятью с произвольным доступом являются также ПЗУ и регистры процессора. Для большинства типов полупроводниковых ОЗУ характерна *энергозависимость* – даже при кратковременном прерывании питания хранимая информация теряется. Микросхема ОЗУ должна быть постоянно подключена к источнику питания и поэтому может использоваться только как временная память.

Оперативную память можно разделить на три типа:

1. Динамическая память (DRAM) – энергозависимая полупроводниковая память с произвольным доступом, в которой каждый разряд хранится в конденсаторе, требующем постоянной регенерации для сохранения информации.

2. Статическая память (SRAM) – энергозависимая полупроводниковая память с произвольным доступом, в которой каждый разряд хранится в триггере, позволяющем поддерживать состояние разряда без постоянной перезаписи.

3. Магниторезистивная оперативная память (MRAM) – это энергонезависимое запоминающее устройство с произвольным доступом, сохраняющее информацию при помощи магнитных моментов, а именно, направления намагниченности ферромагнитного слоя ячейки памяти.

Это деление будет верно, только если не учитывать устаревшие типы памяти, такие как память на ртутных линиях задержки, запоминающие электронно-лучевые трубки, память на магнитных сердечниках и т.д.

И перспективные разработки, такие как:

– FRAM (Ferroelectric Random Access Memory) – сегнетоэлектрическая память, основывающаяся на сегнетоэлектриках – диэлектриках, способных ме-

---

<sup>8</sup> Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем : учеб. для вузов. 2-е изд. СПб. : Питер, 2011. 688 с.

нять дипольный момент под действием температуры и внешнего электрического поля;

- PCM (Phase Change Memory) – память, основанная на изменении фазового состояния вещества (Халькогенида) с кристаллического на аморфный и обратно;

- PMC (Programmable Metallization Cell) – память на базе программируемой металлизации ячейки, основанной на изменении положения атомов под действием электрического заряда;

- RRAM (Resistive Random-Access Memory) – резистивная память, построенная на основе элементов, способных изменять свое сопротивление, в зависимости от величины пропущенного через них тока;

И множество других типов памяти, пока еще не вышедших на рынок в массовом порядке или вообще находящихся в стадии разработки или лабораторного тестирования.

Причем принцип работы многих из считающихся сегодня перспективными типами памяти был разработан десять и более лет назад, однако из-за дороговизны или сложности производства эти типы памяти не стали популярными, или их разработка вообще не была завершена. И только сейчас на них обратили пристальное внимание.

Вторую группу полупроводниковых ЗУ основной памяти образуют энергонезависимые микросхемы ПЗУ (ROM – Read-Only Memory). ПЗУ обеспечивает считывание информации, но либо вообще не допускает ее изменения, либо процесс такого изменения (запись) сильно отличается от считывания и требует значительно большего времени.

Микросхемы ПЗУ также построены по принципу матричной структуры накопителя, где в узлах расположены переключки в виде проводников, полупроводниковых диодов или транзисторов, одним концом подключенные к адресной линии, а другим – к разрядной линии считывания. В такой матрице наличие переключки может означать 1, а ее отсутствие – 0. В некоторых типах ПЗУ элемент, расположенный на переключке, исполняет роль конденсатора. Тогда заряженное состояние конденсатора означает 1, а разряженное – 0. Основным режимом работы ПЗУ является считывание информации, которое мало отличается от аналогичной операции в ОЗУ как по организации, так и по длительности. Именно это обстоятельство подчеркивает общепризнанное название постоянных ЗУ – ROM (Read-Only Memory – память только для чтения). В то же время запись в ПЗУ по сравнению с чтением обычно сложнее и связана с большими затратами времени и энергии. Занесение информации в ПЗУ называют программированием или «прошивкой». Последнее название напоминает о том, что первые ПЗУ выполнялись на базе магнитных сердечников, а данные в них заносились путем прошивки соответствующих сердечников проводниками считывания.

Полупроводниковые микросхемы ПЗУ по возможностям и способу программирования разделяют:

- на программируемые при изготовлении;

- однократно программируемые после изготовления;
- многократно программируемые.

С появлением многократно программируемых ПЗУ популярность первых двух групп существенно снизилась. Тем не менее для полноты картины в области технологий ПЗУ кратко рассмотрим и эти две группы.

MaskROM – масочные ПЗУ. Это наиболее старое семейство микросхем ЭП. Информация в такую память заносится в процессе изготовления кристалла и в дальнейшем не может изменяться. Многолетняя популярность MaskROM обуславливалась низкой ценой при крупносерийном производстве. В настоящее время, в связи с резким снижением цен на программируемую и перепрограммируемую память, применяются редко.

PROM – программируемые ПЗУ. Первыми программируемыми ПЗУ, пришедшими на смену MaskROM, стали микросхемы памяти на базе плавких перемычек. Возможность самостоятельной записи информации в них делало их пригодными для штучного и мелкосерийного производства. Наиболее существенными недостатками были большой процент брака и необходимость специальной длительной термической тренировки, без которой надежность хранения данных была невысокой. В настоящее время, также почти не применяются.

EPROM. Различные источники по-разному расшифровывают аббревиатуру EPROM – Erasable Programmable ROM или Electrically Programmable ROM (стираемые программируемые ПЗУ или электрически программируемые ПЗУ).

Основу этой серии составляют ПЗУ, стираемые ультрафиолетовым излучением. Корпуса таких микросхем имеют окно из кварцевого стекла. Данные хранятся в виде зарядов плавающих затворов МОП-транзисторов, упрощенно говоря, представляющих собой конденсаторы с очень низкой утечкой заряда.

Многие производители памяти выпускают серию 27xxx также в исполнении OTP – One Time Programmable – однократно программируемые (те же кристаллы, но в дешевом пластиковом корпусе без кварцевого окна).

Flash и EEPROM. Главной отличительной особенностью Flash (FlashROM, Flash-memory, Flash-память) и EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM – электрически стираемые ПЗУ) от других микросхем является возможность их перепрограммирования при подключении к стандартной системной шине микропроцессорного устройства. Для Flash перед записью требуется выполнить стирание (полное или поблочное), а для EEPROM стирание каждой ячейки выполняется автоматически при записи в нее новой информации, т.е. можно изменить данные в любой ячейке, не затрагивая остальных.

Non-volatile RAM (NVRAM), FRAM. Понятие «энергонезависимое ОЗУ» (Non-volatile RAM или NVRAM) включает в себя несколько подсемейств памяти. Все они отличаются от других видов ЭП моментальной записью. Поэтому вместо термина «программирование» по отношению к этим микросхемам обычно применяют термин «запись».

Первая разновидность NVRAM представляет собой обычные статические ОЗУ со встроенным элементом питания (чаще всего литиевым) и усиленной защитой от искажения информации в момент включения и выключения питания. Важным преимуществом этих микросхем является неограниченное коли-

чество циклов перезаписи (для EPROM, Flash и EEPROM оно обычно составляет от одной тысячи до 100 миллионов).

Другой разновидностью NVRAM являются микросхемы, содержащие на одном кристалле энергозависимое ОЗУ (RAM) и резервную EEPROM-память, с возможностью сохранения (копирования) содержимого ОЗУ в EEPROM и обратного восстановления данных из EEPROM в ОЗУ. Многие из этих микросхем имеют функцию автоматического восстановления данных из EEPROM в ОЗУ при включении питания. Подразделяются на последовательные и параллельные.

Новое поколение NVRAM, при изготовлении которых используются самые современные технологии с применением материалов – ферроэлектриков (FRAM), не требуют для хранения информации никакого элемента питания, сохраняя все остальные свойства обычных ОЗУ.

## **2.1. Динамическая оперативная память**

Динамическая оперативная память (DRAM – Dynamic Random Access Memory) – энергозависимая полупроводниковая память с произвольным доступом. На данный момент это основной тип оперативной памяти, используемый в современных персональных компьютерах и обеспечивающий наилучший показатель отношения цена-качество по сравнению с другими типами оперативной памяти. Однако, требования к быстродействию, энергопотреблению и надежности оперативной памяти постоянно растут, и динамическая оперативная память уже с трудом соответствует современным потребностям, так что в ближайшие годы стоит ожидать появления серийно выпускаемых конкурирующих типов оперативной памяти, таких как магниторезистивная оперативная память.

### **2.1.1. Устройство динамической оперативной памяти**

Динамическая оперативная память – энергозависимая память с произвольным доступом, каждая ячейка которой состоит из одного конденсатора и нескольких транзисторов<sup>9</sup>. Конденсатор хранит один бит данных, а транзисторы играют роль ключей, удерживающих заряд в конденсаторе и разрешающих доступ к конденсатору при чтении и записи данных. Если говорить непосредственно о конструкции памяти, то ее ячейками являются конденсаторы. Если заряд в конденсаторе есть, то процессор расценивает его как логическую единицу. Если заряда нет – как логический ноль. Такие ячейки памяти имеют плоскую структуру, а адрес каждой из них определяется как номер строки и столбца таблицы.

В каждом чипе находится несколько независимых массивов памяти, которые представляют собой таблицы. Их называют банками (рис. 7).

В единицу времени можно работать только с одной ячейкой в банке, однако существует возможность работы сразу с несколькими банками. Записываемая информация необязательно должна храниться в одном массиве. Зачастую она разбивается на несколько частей и записывается в разные банки, причем процессор продолжает считать эти данные единым целым. Такой способ записи назы-

---

<sup>9</sup> Динамическая оперативная память // Информационный сайт о высоких технологиях. URL: [http://all-ht.ru/inf/pc/mem\\_dram.html](http://all-ht.ru/inf/pc/mem_dram.html).

вается interleaving. В теории, чем больше в памяти таких банков, тем лучше. На практике модули с плотностью до 64 Мбит имеют два банка. С плотностью от 64 Мбит до 1 Гбит – четыре, а с плотностью 1 Гбит и выше – уже восемь.

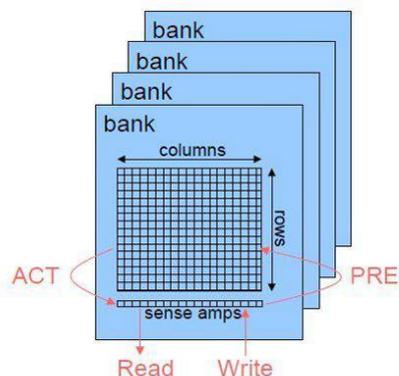


Рис. 7. Структура банков памяти

Однако транзисторы и конденсатор – неидеальные, и на практике заряд с конденсатора достаточно быстро истекает. Поэтому периодически, несколько десятков раз в секунду, приходится дозаряжать конденсатор. К тому же процесс чтения данных из динамической памяти – деструктивен, т.е. при чтении конденсатор разряжается, и необходимо его заново подзаряжать, чтобы не потерять навсегда данные, хранящиеся в ячейке памяти.

На практике существуют разные способы реализации динамической памяти. Упрощенная структурная схема одного из способов реализации приведена на рис. 8.

Как видно из рис. 8, основным блоком памяти является матрица памяти, состоящая из множества ячеек, каждая из которых хранит 1 бит информации.

Каждая ячейка состоит из одного конденсатора (С) и трех транзисторов. Транзистор VT1 разрешает или запрещает запись новых данных или регенерацию ячейки. Транзистор VT3 выполняет роль ключа, удерживающего конденсатор от разряда и разрешающего или запрещающего чтение данных из ячейки памяти. Транзистор VT2 используется для считывания данных с конденсатора. Если на конденсаторе есть заряд, то транзистор VT2 открыт, и ток пойдет по линии АВ, соответственно, на выходе Q1 тока не будет, что означает – ячейка хранит бит информации с нулевым значением. Если заряда на конденсаторе нет, то конденсатор VT2 закрыт, а ток пойдет по линии АЕ, соответственно, на выходе Q1 ток будет, что означает – ячейка хранит бит информации со значением «единица».

Заряд в конденсаторе, используемый для поддержания транзистора VT2 в открытом состоянии, во время прохождения по нему тока, быстро расходуется, поэтому при чтении данных из ячейки необходимо проводить регенерацию заряда конденсатора.

Для работы динамической памяти на матрицу должно всегда поступать напряжение, на схеме оно обозначено, как  $U_p$ . С помощью резисторов R

напряжение питания  $U_p$  равномерно распределяется между всеми столбцами матрицы.

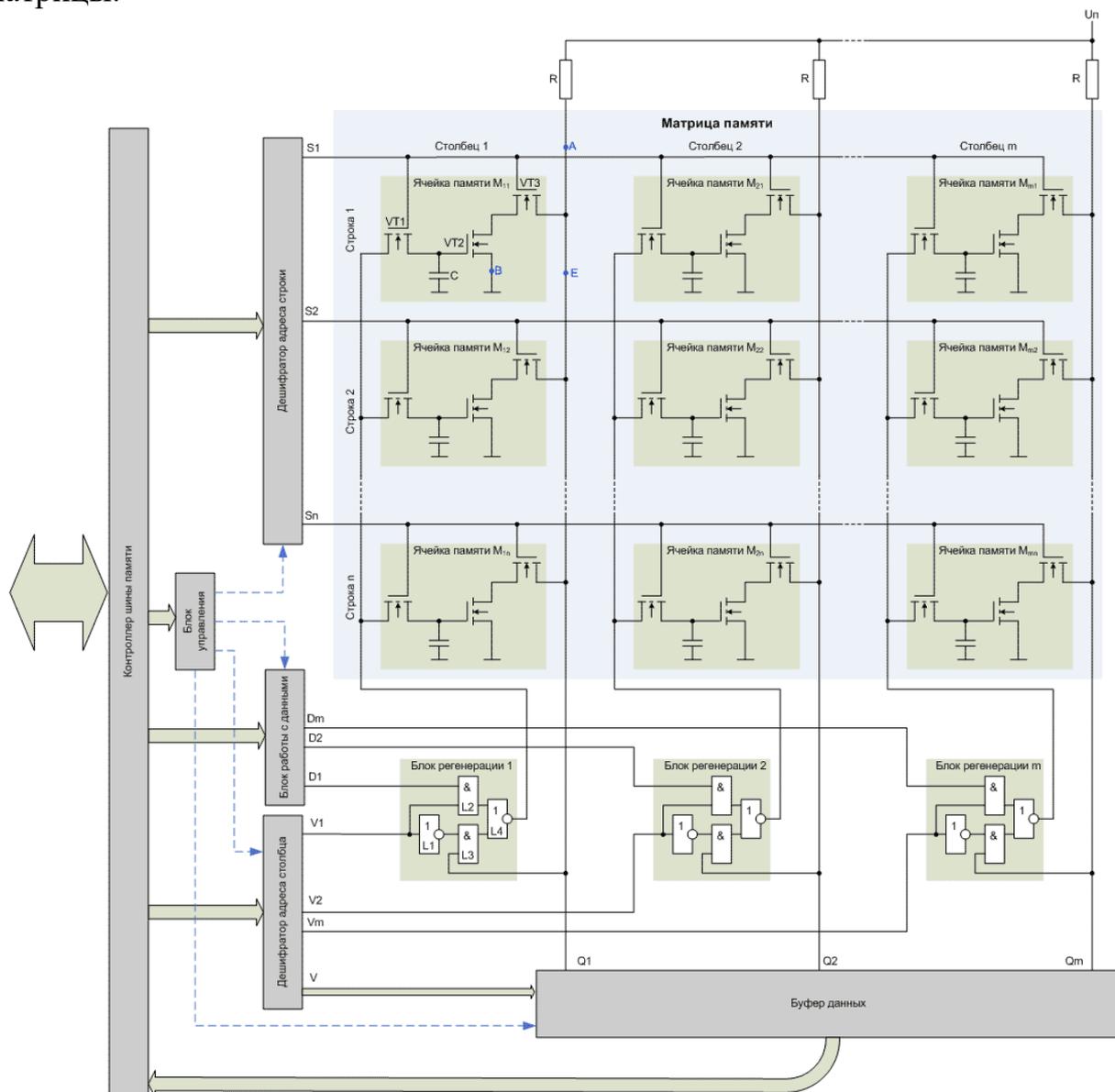


Рис. 8. Упрощенная структурная схема динамической оперативной памяти

Также в состав памяти входит контроллер шины памяти, который получает команды, адрес и данные от внешних устройств и ретранслирует их во внутренние блоки памяти.

Команды передаются в блок управления, который организует работу остальных блоков и периодическую регенерацию ячеек памяти.

Адрес преобразуется в две составляющие – адрес строки и адрес столбца, и передается в соответствующие дешифраторы.

Дешифратор адреса строки определяет, с какой строки надо провести чтение или запись, и выдает на эту строку напряжение.

Дешифратор адреса столбца при чтении данных определяет, какие из считанных бит данных были запрошены и должны быть выданы в шину памяти. При записи данных дешифратор определяет, в какие столбцы надо подать команды записи.

Блок работы с данными определяет, какие данные, в какую ячейку памяти требуется записать, и выдает соответствующие биты данных для записи в эти ячейки.

Блоки регенерации определяют:

- когда происходит чтение данных и надо провести регенерацию ячейки, из которой данные были считаны;
- когда происходит запись данных, а, следовательно, регенерацию ячейки производить не надо.

Буфер данных сохраняет всю считанную строку матрицы, так как при чтении всегда считывается вся строка целиком, и позволяет потом выбрать из считанной строки требуемые биты данных.

### **2.1.2. Работа динамической памяти в состоянии покоя**

Рассмотрим принцип работы динамической памяти на примере структурной схемы, приведенной на рисунке выше. Рассматривать будем работу с первой ячейкой (M11). Работа остальных ячеек памяти полностью идентична.

И так, первое что мы рассмотрим – это состояние покоя, когда к памяти отсутствуют обращения, и она не в стадии регенерации данных.

DRAM – память энергозависимая, поэтому работа с ней возможна только при подаче питания. На схеме подаваемое на плату питание обозначено, как Up. Подаваемое питание распределяется между всеми столбцами матрицы памяти с помощью транзисторов R.

Если память бездействует (от контроллера шины памяти не приходит никаких команд), то от дешифратора адреса строки не выдается сигнал ни на одну линию строк (S1-Sn) матрицы памяти. Соответственно, транзисторы VT1 и VT3 ячейки памяти M11 закрыты, также, как и аналогичные транзисторы всех остальных ячеек памяти.

Следовательно, ток от подаваемого питания проходит по линии AE для первого столбца и аналогично для всех остальных столбцов матрицы памяти. Далее попадает на выходы Q1 – Qm, на которых устанавливается «высокий» уровень напряжения, соответствующий значению логической «1». Но так как никаких команд от блока управления нет, то «Буфер данных» игнорирует получаемые сигналы.

Транзистор VT3 защищает конденсатор от разряда, когда к данной ячейки памяти нет обращения.

Ток по линии AE также попадает на «Блок регенерации 1», а именно, на нижний вход элемента L3 (логическое «И»), т.е. на нижний вход элемента L3 подается логическая единица.

Рассмотрим, как в этом случае будет работать блок регенерации. Так как от контроллера памяти нет никаких сигналов, то на входе элемента L1 (логическое «НЕ») будет логический ноль, а, соответственно, на выходе – логическая «1». Таким образом, на верхнем входе элемента L3 (логическое «И») будет логическая единица.

Имея на входах элемента L3 (логическое «И») две логические единицы, на выходе получим так же логическую единицу. На выходе элемента L2 (логическое «И») будет логический ноль, так как на обоих его входах напряжение отсутствует, так как от контроллера памяти нет никаких команд и данных.

В результате на входах элемента L4 (логическое «ИЛИ-НЕ») будет логический ноль и логическая единица, а соответственно, на его выходе будет логический ноль, т.е. напряжение будет отсутствовать. Так как напряжение отсутствует, то ни один конденсатор первого столбца матрицы памяти подзаряжен не будет. Хотя, даже если бы напряжение и присутствовало, все равно подзарядка была бы невозможна, так как транзисторы подзарядки (для ячейки M11 – это VT1) были бы закрыты, ведь ни на одну строку матрицы памяти (S1-Sn) напряжение не подается.

Точно такая же ситуация будет со всеми столбцами матрицы памяти. Таким образом, при бездействии памяти конденсаторы не подзаряжаются и хранят тот заряд (соответственно, и тот бит данных), который у них был с момента последней подзарядки. Однако долго это продолжаться не может, так как из-за саморазрядки конденсатор через несколько десятков миллисекунд разрядится, и данные будут утеряны. Поэтому необходимо постоянно проводить регенерацию памяти.

### **2.1.3. Работа динамической памяти при чтении данных и регенерации**

Будем рассматривать принцип чтения данных из динамической памяти на примере считывания данных из ячейки памяти M11:

1. Процессор запрашивает порцию данных (размер зависит от разрядности процессора, для 32-разрядного процессора минимальной единицей обмена, обычно, являются 32 бита) и выдает их адрес.

2. Контроллер шины памяти преобразует адрес в номер строки и номер столбца и выдает номер строки в дешифратор адреса строки. Дешифратор адреса строки выдает сигнал в соответствующую строку матриц памяти. Мы договорились, что в примере данные будем читать из первой ячейки памяти. Поэтому дешифратор адреса строки подаст напряжение на первую строку (S1).

3. Напряжение, поданное на строку S1, откроет транзисторы VT1 и VT3 первой ячейки памяти и соответствующие транзисторы всех остальных ячеек первой строки.

4. Дальнейшая работа памяти зависит от наличия или отсутствия заряда на конденсаторе. Рассмотрим отдельно два случая, когда на конденсаторе ячейки M11 есть заряд, и когда нет.

- 4.1. Вначале рассмотрим случай, когда заряд в конденсаторе есть (ячейка памяти содержит бит со значением ноль).

Так как на конденсаторе С ячейки памяти M11 есть заряд, то транзистор VT2 будет открыт, а, соответственно, ток, создаваемый входным напряжением  $U_{п}$ , пойдет по линии АВ. В результате, на выходе Q1 первого столбца тока не будет. А это означает, что с ячейки памяти M11 считан ноль. Со-

ответствующая информация о считанном бите с первого столбца будет записана в «Буфер данных».

Для поддержания транзистора VT2 в открытом состоянии и протекания тока по линии АВ расходуется заряд конденсатора С. В результате, конденсатор очень быстро разрядится, если не провести его регенерацию.

Так как на выходе Q1 тока нет, то он не будет поступать и в «Блок регенерации 1», а соответственно, на нижнем входе элемента L3 (логическое «И») будет логический ноль.

Так как мы рассматриваем случай чтения данных, то сигнал записи V1 и данные для записи D1 в «Блок регенерации 1» подаваться не будут. В остальные блоки регенерации соответствующие сигналы D1-Dm и V1 – Vm также подаваться не будут.

В результате на входе элемента L1 (логическое «НЕ») будет логический «0», а на выходе – логическая «1», поэтому на входах элемента L3 (логическое «И») будет логический «0» и логическая «1». Это значит, что на выходе этого элемента будет логический «0».

На выходе логического элемента L2 (логическое «И») будет логический ноль, так как на обоих его входах напряжение отсутствует, так как от контроллера шины памяти отсутствуют команды на запись и данные для записи.

Имея на обоих входах элемента L4 (логическое «ИЛИ-НЕ») логический «0», на его выходе будем иметь логическую «1», т.е. с блока регенерации пойдет ток подзарядки конденсатора С. Так как транзистор подзарядки VT1 ячейки памяти M11 открыт, то ток подзарядки беспрепятственно пройдет в конденсатор С. Остальные ячейки памяти первого столбца имеют закрытый конденсатор подзарядки, а следовательно, подзарядка их конденсаторов происходить не будет.

4.2.Теперь рассмотрим случай, когда в конденсаторе нет заряда (ячейка памяти хранит бит со значением «1»).

Ток, создаваемый входным напряжением Uп, пойдет по линии АЕ, так как транзистор VT2 будет закрыт. Следовательно, на входе Q1 «Буфера данных» будет ток, что означает – с ячейки памяти считана единица. Информация о считанном бите с первого столбца будет записана в «Буфер данных».

Так как в конденсаторе заряда не было, то и подзаряжать его надобности нет. Следовательно, с блока регенерации ток пойти не должен.

Так как на выходе Q1 ток есть, то он поступает и в «Блок регенерации». Следовательно, на нижний вход элемента L3 (логическое «И») подается логическая единица.

Так как мы рассматриваем случай чтения данных, то сигнала записи V1 и данных для записи D1 в «Блок регенерации 1» подаваться не будет. Так же в остальные блоки регенерации, соответствующие сигналы D1 – Dm и V1 – Vm так же подаваться не будут.

Следовательно, на входе элемента L1 (логическое «НЕ») будет логический ноль, а на выходе – логическая «1». Таким образом, на входах элемента L3 (логическое «И») будут две логические единицы. В результате на выходе получим так же логическую единицу.

На выходе логического элемента L2 (логическое «И») будет логический ноль, так как на обоих его входах напряжение отсутствует, так как от контроллера памяти нет команд на запись и данных для записи.

В результате на входах элемента L4 (логическое «ИЛИ-НЕ») будет логический ноль и логическая единица, а, соответственно, на его выходе будет логический ноль, т.е. напряжение будет отсутствовать. Так как напряжение отсутствует, то ни один из конденсаторов первого столбца матрицы памяти подзарядаться не будет.

5. Параллельно с чтением и регенерацией данных первого столбца происходит по такому же алгоритму чтение данных с остальных столбцов. В результате, в буфер данных будет записано значение всех ячеек памяти первой строки.

6. С контроллера памяти на дешифратор адреса столбца выдаются номера столбцов для считывания. За один такт номера считываются сразу с нескольких столбцов. Количество столбцов для считывания определяется разрядностью процессора и способом его взаимодействия с памятью. Для 32-разрядных процессоров минимальной порцией является считывание данных с 32 столбцов.

7. С дешифратора адреса столбцов номера столбцов передаются в «Буфер данных», откуда соответствующие данные считываются и передаются в процессор.

На этом цикл чтения данных заканчивается. Как вы заметили, при чтении данных считываются значения сразу со всей строки памяти данных, а потом из нее в «Буфере данных» выбираются нужные данные. Поэтому минимальной порцией чтения данных с динамической оперативной памяти является строка.

При чтении данных одновременно происходит и их регенерация. Однако не все данные ОЗУ постоянно нужны для работы, поэтому обращение к некоторым ячейкам памяти может быть очень редким. Для того чтобы данные в таких ячейках не были утеряны, их приходится считывать принудительно, не дожидаясь пока они потребуются процессору.

Поэтому «Блок управления» с определенной частотой, в моменты простоя памяти или между обращением к памяти процессора (или других устройств), регенерирует данные во всех ячейках памяти.

#### **2.1.4. Работа динамической памяти при записи данных**

Будем рассматривать принцип записи данных в динамическую память на примере записи данных в ячейку памяти M11:

1. Контроллер шины памяти получает команду на запись данных, данные и адрес, куда необходимо записать эти данные.

2. Контроллер шины памяти преобразует адрес на две составляющие – номер строки и номера столбцов, и передает полученные составляющие в «Дешифратор адреса строки» и в «Дешифратор адреса столбцов». А данные передает в «Блок работы с данными».

3. Дешифратор адреса строки выдает сигнал в соответствующую строку матрицы памяти. Мы договорились, что в примере данные будем записывать в

первую ячейку памяти. Поэтому дешифратор адреса строки подаст напряжение на первую строку (S1).

4. Одновременно с «Дешифратора адреса столбцов» выдаются сигналы V в столбцы, соответствующие полученному адресу. В эти же столбцы подаются сигналы D с «Блока работы с данными», уровень которых определяется значением битов записываемого слова.

5. Напряжение, поданное на строку S1, откроет конденсаторы VT1 и VT3 первой ячейки памяти и соответствующие конденсаторы всех остальных ячеек первой строки.

6. Если в ячейке M11 хранится бит со значением «0» (в конденсаторе есть заряд), то ток, создаваемый входным напряжением Uп, пойдет по линии АВ, иначе – по линии АЕ. Но нам это не важно, так как в ячейку M11 производится запись данных, а не их чтение, поэтому буфер данных будет игнорировать считанное с ячейки значение. А с выхода элемента L3 «Блока регенерации 1» будет всегда идти логический ноль, так как с дешифратора столбцов приходит сигнал (V1) на запись данных в первый столбец.

В результате на входе элемента L1 будет логическая единица, а на выходе – логический ноль. Соответственно, на верхнем входе элемента L3 мы всегда имеем логический ноль, что означает – независимо от значений на нижнем входе, на выходе элемента L3 будет логический ноль.

На нижнем входе элемента L2 будет логическая единица, так как с дешифратора адреса столбцов выдается сигнал V1, а на верхнем входе будет либо ноль, либо единица, в зависимости от того, какое значение имеет бит записываемой информации.

Если бит имеет значение «1», то на верхнем входе элемента L2 будет «1». Имея две единицы на входе, мы получим на выходе так же логическую единицу. Соответственно, на входах элемента L4 будет получена логическая «1» и логический «0». В результате на выходе будет логический «0», т.е. ток будет отсутствовать, а соответственно, зарядка конденсатора С идти не будет. Если до этого конденсатор С содержал заряд, то через несколько микросекунд он разрядится, пропуская ток по линии АВ. Таким образом в конденсатор С будет записан бит данных «1», соответствующий разряженному состоянию конденсатора.

Если бит имеет значение «0», то на верхнем входе элемента L2 будет «0». Имея на верхнем входе логический ноль, а на нижнем – логическую единицу, на выходе элемента L2 получим логический ноль. В результате на верхнем и нижнем входах элемента L4 имеем логические нули, что означает – на выходе элемента L4 будет логическая единица, т.е. пойдет ток зарядки конденсатора. Таким образом в конденсатор С будет записан бит данных «0», соответствующий заряженному состоянию конденсатора.

Аналогичным образом будут записаны данные в другие столбцы матрицы памяти. В тех столбцах, в которых запись данных не требуется, будет произведено чтение данных из ячейки памяти и ее регенерация. При этом данные в буфер памяти записаны не будут.

Запись данных во все требуемые ячейки строки матрицы памяти и чтение с регенерацией из оставшихся ячеек строки производятся параллельно.

Приведенная на рис. 8 структурная схема памяти и описанный принцип работы соответствуют одной из самых простых организаций динамической памяти. На практике такую память уже давно не используют. Со временем она претерпела ряд изменений, позволивших ей работать гораздо быстрее. Давайте рассмотрим эти улучшения.

### **2.1.5. Этапы модернизации динамической оперативной памяти**

Все усовершенствования в работе динамической памяти были направлены на увеличение скорости работы памяти, так как скорость оперативной памяти всю историю существования вычислительной техники являлась одним из факторов, сдерживающих рост производительности ЭВМ. Если обратиться к истории ЭВМ, то можно увидеть, что каждый прорыв в области организации оперативной памяти приводил к резкому скачку в быстродействии ЭВМ.

Естественно, скорость работы памяти увеличивалась, за счет повышения тактовой частоты и улучшения технологического процесса производства. Это был закономерный процесс, приводивший к плавному увеличению скорости работы. Но нас более интересуют изменения в принципиальном устройстве памяти, приводившие к появлению новых типов памяти.

*PM DRAM.* Один из первых видов оперативной памяти, используемой в персональных компьютерах, была простая динамическая оперативная память (PM DRAM – Page Mode DRAM), принцип работы которой описан выше. PM DRAM использовалась вплоть до середины 90-х гг.

Однако ее быстродействия катастрофически не хватало, поэтому на смену ей в 1995 г. пришла память FPM DRAM.

*FPM DRAM* (Fast Page Mode DRAM) – быстрая страничная память. Основное ее отличие от памяти PM DRAM заключалось в поддержке сохраненных адресов. То есть если новое считываемое из памяти слово находилось в той же строке, что и предыдущее слово, то обращение к матрице памяти не требовалось, а выборка данных осуществлялась из «Буфера данных» (см. рис. 8) по номерам столбцов. Это позволяло в случае чтения из памяти массивов данных значительно сократить время чтения.

Однако запись данных в память осуществлялась точно так же, как и в памяти PM DRAM. Да и далеко не всегда считываемые данные располагались в одной строке. В результате прирост производительности сильно зависел от типа программ, с которыми работала ЭВМ. Прирост мог быть как существенный, так и вовсе могло быть замедление работы из-за дополнительных накладных расходов на анализ номера строки предыдущей операции чтения.

*EDO-DRAM.* Следующий тип памяти, заменивший FPM DRAM, появился через год (в 1996 г.). EDO-DRAM (Extended Data Out DRAM) – динамическая память с усовершенствованным выходом. В этом типе памяти адрес следующего считываемого слова передавался до завершения считывания ли-

нии данных памяти, т.е. до того, как считанные данные из памяти были переданы процессору.

Приступить к считыванию нового слова данных, до завершения чтения предыдущего, стало возможным, благодаря вводу, так называемых, регистров – защелок, которые сохраняли последнее считанное слово даже после того, как начиналось чтение или запись следующего слова.

Сочетая в себе также новшества памяти FPM RAM, новый тип памяти давал прирост производительности в пике, достигавший 15–20 %.

Однако прогресс не стоял на месте, тактовые частоты работы процессоров, системной шины и естественно памяти росли. С повышением тактовой частоты все сложнее было добиваться стабильной работы памяти EDO-DRAM, так как из-за непредвиденных задержек чтение нового слова данных могло начаться прежде, чем предыдущее слово данных было сохранено с помощью регистров-защелок.

В результате на смену EDO-DRAM пришла память SDRAM.

*SDRAM* (Synchronous DRAM) – синхронная динамическая память с произвольным доступом. Как видно из названия, память работала синхронно, синхронно с контроллером памяти, что гарантировало завершение цикла чтения/записи строк в заданное время. Это позволяло выдавать новую команду на чтение до завершения считывания предыдущего слова данных, будучи уверенным, что считывание завершится верно, а чтение нового слова начнется с минимальной задержкой.

Однако тут возникали проблемы с чередованием чтения и записи. Когда подряд считывалось несколько слов данных – проблем не было никаких, а вот если до окончания записи приходила команда на чтение слова, которое записывалось, то это могло привести к считыванию неверных данных. Поэтому контроллер синхронной памяти дополнительно усложнился, обеспечивая защиту от таких ситуаций.

Также в SDRAM памяти было увеличено количество матриц памяти с одной до двух, иногда до четырех. Это позволило во время обращения к одной матрице памяти регенерировать строки другой матрицы, что, в свою очередь, позволило поднять тактовую частоту работы памяти, из-за уменьшения задержек на регенерацию.

Также это позволило считывать данные сразу из нескольких матриц памяти. То есть пока идет считывание из одной матрицы памяти, в другую уже передается адрес нового слова для чтения/записи.

Со временем развитие технологии производства и возможность работы сразу с несколькими матрицами памяти позволили значительно поднять внутреннюю скорость работы микросхем оперативной динамической памяти. Внешняя шина памяти стала узким местом и замедляла работу. В результате был разработан новый тип памяти DDR SDRAM. С появлением DDR SDRAM предшествующую память SDRAM стали называть SDR SDRAM (Single Data Rate DRAM).

*DDR SDRAM* (Double Data Rate SDRAM) – синхронная динамическая память с произвольным доступом и удвоенной частотой передачи данных.

В этом типе оперативной памяти обмен данными по внешней шине идет не только по фронту тактового импульса, но и по спаду. В результате без увеличения тактовой частоты внешней шины удваивается объем передаваемой информации.

Но подъема скорости работы внешней шины данных недостаточно, необходимо, чтобы и сама память поддерживала такую скорость. Так как увеличить частоту работы оперативной памяти довольно сложно, трудоемко и дорого, то производители пошли на хитрость. Вместо увеличения тактовой частоты памяти, они увеличили разрядность внутренней шины данных (от ячеек матриц памяти до буферов ввода-вывода) и сделали ее в два раза большей, чем разрядность внешней шины памяти (от контроллера памяти, встраиваемого в северный мост, или процессора до микросхемы памяти). То есть за 1 такт считывалось столько данных, сколько могло передаваться по внешней шине только за два такта. При этом ширина внешней шины данных составляла 64 бита, а внутренней – 128 бит.

В результате по фронту тактового импульса из чипа памяти передавалась первая часть данных, а по спаду – вторая. Аналогичная ситуация была и при записи данных в память. Сначала принималась первая часть данных, а затем – вторая, после чего они обрабатывались одновременно.

Однако из-за накладных расходов и необходимости применять мультиплексор, для объединения двух частей данных, передаваемых в оперативную память, и демultipлексор, для разделения считываемых данных из памяти на две части, сильно выросла латентность памяти.

Латентность – это время между запросом данных из памяти и временем, когда оперативная память начнет выдавать требуемые данные.

В результате, реальная производительность DDR памяти, по сравнению с SDR, возросла всего лишь на 30–40 %.

Наиболее популярные модели памяти DDR работали на тактовой частоте 200 МГц, но имели маркировку DDR400. 400 означало количество транзакций (обменов) в секунду. Действительно, при тактовой частоте 200 МГц и передаче данных по фронту и спаду тактового импульса, в секунду будет совершаться 400 МТр. При этом внутренняя частота чипа памяти также будет 200 МГц.

С появлением DDR памяти, одним из актуальных параметров работы чипа памяти стала латентность. В результате для примерной оценки производительности памяти ввели такое понятие, как тайминги памяти.

В табл. 1 приведены основные сертифицированные стандарты DDR SDRAM и их параметры.

Таблица 1

Параметры стандартов памяти DDR SDRAM

| Стандарт | Частота внутренней шины, МГц | Частота внешней шины, МГц | Количество транзакций в секунду, МТр | Стандартные тайминги | Теоретическая пропускная способность, Мб/с |
|----------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| DDR200   | 100                          | 100                       | 200                                  | 2-2-2-5              | 1600                                       |
| DDR266   | 133                          | 133                       | 266                                  | 2.5-3-3-7            | 2133                                       |

| Стандарт | Частота внутренней шины, МГц | Частота внешней шины, МГц | Количество транзакций в секунду, МТр | Стандартные тайминги | Теоретическая пропускная способность, Мб/с |
|----------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| DDR300   | 166                          | 166                       | 333                                  | 2.5-3-3-7            | 2667                                       |
| DDR400   | 200                          | 200                       | 400                                  | 2.5-3-3-8            | 3200                                       |

Поднять тактовую частоту чипа памяти выше 200 МГц на том этапе было крайне затруднительно. Естественно существовала память, работающая на тактовой частоте 233, 250 и даже 267 МГц, но это были несертифицированные стандарты, и стоили они дорого. В результате, разработчики памяти продолжили развивать архитектуру памяти DDR SDRAM. Логическим результатом этого развития стала память DDR2 SDRAM.

*DDR2 SDRAM.* В памяти DDR2 SDRAM ширина внутренней шины данных была увеличена еще в два раза и стала превосходить внешнюю шину данных в четыре раза. В результате, при одной и той же тактовой частоте внешней шины памяти у памяти DDR2 SDRAM внутренняя тактовая частота была в два раза меньше, по сравнению с памятью DDR SDRAM.

Для сравнения возьмем топовую память DDR (DDR400) и первую спецификацию памяти DDR2 (DDR2-400). Казалось бы, раз это новый тип памяти, то он должен работать быстрее, однако дело тут обстояло совсем не так. На практике память DDR2-400 была чуть ли не медленнее памяти DDR400.

Давайте разберемся, почему. Итак, первое – это тактовая частота внешней шины данных. Она была у обоих типов памяти одинаковая – 200 МГц, и ширина внешней шины данных тоже была одинаковая – 64 разряда. В результате и быстродействие у памяти DDR2-400 заметно выше, чем у памяти DDR400, быть не могло.

К тому же в памяти DDR400 ширина внутренней шины была всего в 2 раза больше внешней, тогда как у DDR2-400 – в четыре. В результате устройство мультиплексора и демультимплексора памяти DDR2-400 – сложнее. К тому же далеко не всегда считываемые/записываемые данные находятся в одной строке матрицы памяти, в результате, считать/записать все слова данных одновременно невозможно, эта особенность тем негативнее сказывается, чем больше ширина внутренней шины данных, а она, естественно, больше у памяти DDR2.

Так в чем же преимущество памяти DDR2-400? А преимущество – в тактовой частоте чипа памяти. Она была в 2 раза ниже, чем тактовая частота чипа DDR-400. Это давало огромный потенциал для увеличения производительности памяти и уменьшало энергопотребление.

В результате очень быстро появилась память с внешней шиной, работающей на тактовой частоте 400 МГц. А позже у топовых моделей памяти DDR2 тактовая частота внешней шины достигла 533 МГц, при тактовой частоте чипа памяти – 266 МГц, и пиковой теоретической пропускной способности – 9,6 Гб/с, что, несмотря на увеличившуюся латентность, значительно превосходило возможности памяти DDR.

В табл. 2 приведены основные стандарты DDR2 SDRAM и их параметры.

Таблица 2

Параметры стандартов памяти DDR2 SDRAM

| Стандарт  | Частота внутренней шины, МГц | Частота внешней шины, МГц | Количество транзакций в секунду, МТр | Стандартные тайминги | Теоретическая пропускная способность, Мб/с |
|-----------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| DDR2-400  | 100                          | 200                       | 400                                  | 3-3-3-12             | 3200                                       |
| DDR2-533  | 133                          | 266                       | 533                                  | 5-5-5-15             | 5300                                       |
| DDR2-667  | 166                          | 333                       | 667                                  | 2.5-3-3-7            | 2667                                       |
| DDR2-800  | 200                          | 400                       | 800                                  | 5-5-5-15             | 7100                                       |
| DDR2-1066 | 266                          | 533                       | 1066                                 | 5-5-5-15             | 8500                                       |
| DDR2-1200 | 300                          | 600                       | 1200                                 | 5-5-5-15             | 9600                                       |

На этом был практически достигнут предел возможности усовершенствования DDR2 памяти по частоте и латентности. Дальнейшее увеличение производительности приводило к значительному росту энергопотребления и тепловыделений, и снижения стабильности и надежности работы памяти.

В результате разработчики в 2005 г. представили прототипы нового поколения DDR SDRAM памяти – DDR3 SDRAM. Однако массовое производство этой памяти и экспансия рынка начались только в 2009 г.

*DDR3 SDRAM.* Основное направление развития памяти DDR3 SDRAM сохранилось таким же, как у DDR2 SDRAM. То есть снова была увеличена вдвое ширина внутренней шины данных памяти, что привело к снижению внутренней тактовой частоты памяти в два раза. К тому же при производстве памяти применялся новый технологический процесс, вначале – до 90 нм, затем – до 65 нм, 50 нм, 40 нм, и, видимо, это еще не предел.

Все это открыло разработчикам дальнейшие возможности по наращиванию тактовой частоты внешней шины памяти, тактовой частоты самого чипа памяти, снижению рабочего напряжения и увеличению объема памяти. Однако вместе с увеличением ширины внутренней шины данных увеличилась латентность памяти, усложнилось устройство мультиплексора/демультиплексора. В общем, все проблемы DDR и DDR2 памяти перешли в DDR3 память. Но, благодаря улучшению технологического процесса и архитектуры памяти, удалось снизить время цикла чтения/записи, что позволило несколько снизить влияние увеличившейся латентности на производительность памяти.

В табл. 3 приведены существующие стандарты DDR3 SDRAM и их основные параметры.

Таблица 3

Параметры стандартов памяти DDR3 SDRAM

| Стандарт  | Частота внутренней шины, МГц | Частота внешней шины, МГц | Количество транзакций в секунду, МТр | Стандартные тайминги | Теоретическая пропускная способность, Мб/с |
|-----------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| DDR3-800  | 100                          | 400                       | 800                                  | 6-6-6-18             | 6400                                       |
| DDR3-1066 | 133                          | 533                       | 1066                                 | 7-7-7-21             | 8533                                       |

| Стандарт  | Частота внутренней шины, МГц | Частота внешней шины, МГц | Количество транзакций в секунду, МТр | Стандартные тайминги | Теоретическая пропускная способность, Мб/с |
|-----------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|----------------------|--|
| DDR3-1333 | 166                          | 667                       | 1333                                 | 8-8-8-24             | 10667                                      |
| DDR3-1600 | 200                          | 800                       | 1600                                 | 8-8-8-24             | 12800                                      |
| DDR3-1866 | 233                          | 933                       | 1866                                 | 9-9-9-27             | 14930                                      |
| DDR3-2000 | 250                          | 1000                      | 2000                                 | 9-9-9-27             | 16000                                      |
| DDR3-2133 | 266                          | 1066                      | 2133                                 | 9-11-9-28            | 17066                                      |
| DDR3-2200 | 275                          | 1100                      | 2200                                 | 10-10-10-30          | 17600                                      |
| DDR3-2400 | 300                          | 1200                      | 2400                                 | 9-11-9-28            | 19200                                      |

Память DDR3 занимала главенствующие позиции на рынке, однако ей пришла на замену новое поколение памяти DDR – DDR4 SDRAM.

*DDR4 SDRAM.* Стандарты нового поколения памяти были представлены еще в 2008 г. в Сан-Франциско на форуме, организованном компанией Intel. В 2011 г. компания Samsung продемонстрировала свои первые прототипы памяти DDR4. Однако начало производства этого типа памяти началось в 2012 г., а окончательное завоевание рынка закончилось не ранее 2015 г. Такие поздние сроки начала массового производства, в основном, связаны с тем, что возможности памяти DDR3 были еще полностью не исчерпаны и позволяли удовлетворить требования большинства пользователей. А следовательно, выход на рынок с новым типом памяти был коммерчески не оправдан.

Внешне DDR4 такой же ширины, как и DDR3, но немного выше примерно на 9 мм. Разница между DDR3 и DDR4 в том, что DDR4 использует 288 контактов по сравнению с 240 на DDR3 и ключ находится в другом месте. Множество косметических изменений. Вот четыре основных улучшения DDR4 SDRAM:

- более низкое рабочее напряжение;
- увеличение энергосбережения;
- увеличение частоты (рис. 9);
- уплотнение микросхем.

Важным изменением в стандарте DDR4 стало использование интерфейса с топологией «точка-точка» вместо шины Multi-Drop, применяемой в DDR3. Зачем это нужно? Конструкция шины Multi-Drop предусматривает использование всего лишь двух каналов для связи модулей с контроллером памяти<sup>10</sup>.

При использовании сразу четырех портов DIMM каждые два модуля соединяются с контроллером посредством лишь одного канала, что само собой негативно сказывается на производительности подсистемы памяти (рис. 10).

В дизайне шины с топологией «точка-точка» для каждого DIMM-разъема предусмотрен отдельный канал, т.е. каждый модуль памяти будет напрямую связываться с контроллером и не делить ни с кем этот самый канал. Подобное изменение мы уже могли видеть при переходе от шины PCI к PCI Express. Ко-

<sup>10</sup> Коленченко О. Начало новой эпохи. Как работает оперативная память стандарта DDR4 / ferru.ru. URL: <https://www.ferra.ru/review/computers/ddr4-new-age-how-it-works.htm>.

нечно, у такого подхода есть и свои недостатки. Например, двухканальные системы будут ограничены двумя разъемами DIMM, четырехканальные – четырьмя. Однако, учитывая большие объемы модулей DDR4, это не должно никак ограничивать пользователей (рис. 11).

Модуль памяти DDR4 в форм-факторе DIMM имеет 288 контактов. Количество пинов было увеличено для возможности адресации как можно большего объема памяти. Максимальная емкость модуля памяти составляет 128 Гбайт – и это при использовании кристаллов объемом 8 Гбайт и технологии QPD (Quad Die Package – упаковка четырех чипов в один корпус). Вполне возможно и применение более емких 16-гигабайтных кристаллов и более плотной упаковки (до 8 кристаллов в один корпус). В таком случае емкость модуля памяти может составить до 512 Гбайт.

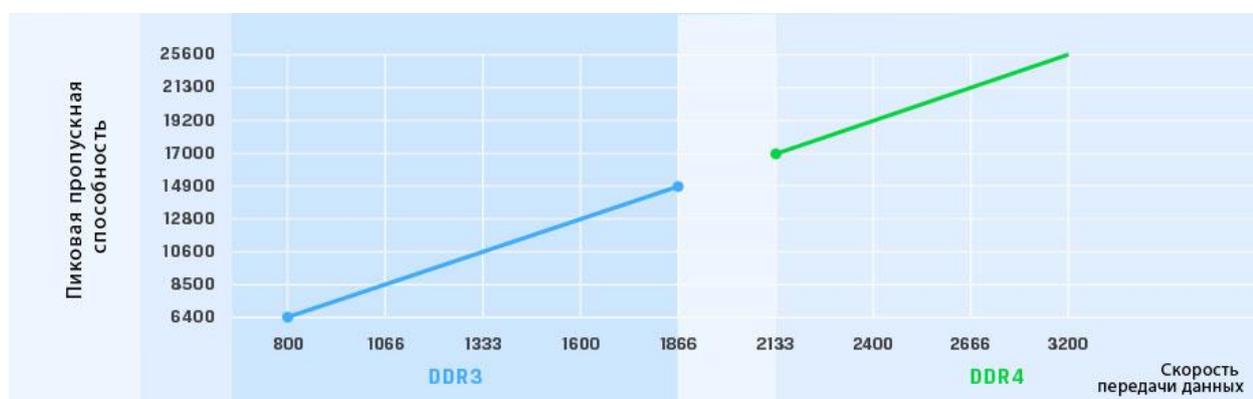


Рис. 9. Скорость передачи данных DDR4

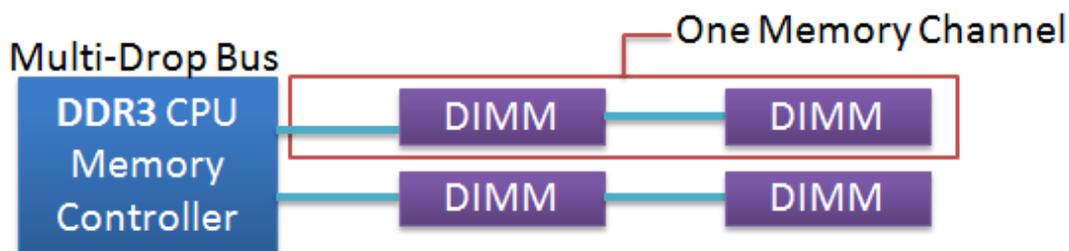


Рис. 10. Схема работы шины Multi-Drop

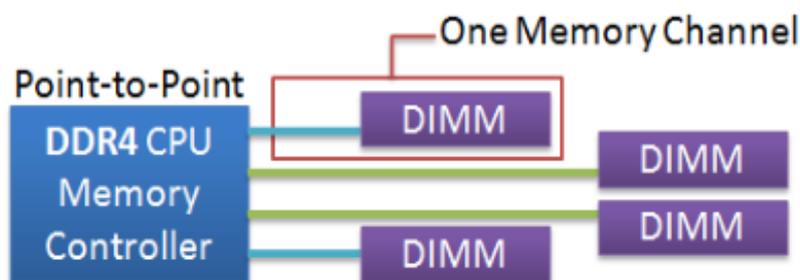


Рис. 11. Схема работы шины с топологией «точка-точка»

Увеличится не только объем модулей памяти, но и частота чипов. В рамках стандарта DDR4 реальная частота достигнет отметки 3200 МГц (реально некоторые производители модулей DDR4 перешагнули порог 4000 МГц).

Для снижения энергопотребления и тепловыделения стандарт DDR4 предусматривает очередное снижение рабочего напряжения, на этот раз до 1,2 В. Кроме этого, внутри чипа напряжение, наоборот, было увеличено, что позволило обеспечить более быстрый доступ и при этом снизить токи утечки. В теории энергопотребление DDR4 на 30 % ниже, чем у DDR3. Этот запас производители, скорее всего, будут тратить на увеличение частоты памяти.

Остальные изменения касаются надежности устройств. Например, чипы DDR4 умеют самостоятельно выявлять и исправлять ошибки, связанные с контролем четности адресов и команд. Также новый стандарт предусматривает поддержку режима тестирования соединений, благодаря которому системный контроллер может обнаружить ошибки без применения инициализирующих последовательностей DRAM. Кроме этого, был доработан регистр памяти. Теперь его можно сконфигурировать так, чтобы блокировать команды, содержащие ошибки контроля четности. Регистр памяти DDR3 не обладал такой функцией, и команды с ошибками контроля четности иногда доходили до чипов памяти, вызывая сбои в работе. Вдобавок к перечисленным возможностям стандарт DDR4 предусматривает еще несколько опциональных функций, направленных на улучшение надежности подсистемы памяти. Одной из них является проверка контрольных сумм перед записью в память.

В табл. 4 приведены существующие стандарты DDR4 SDRAM и их основные параметры.

Таблица 4

Параметры стандартов памяти DDR4 SDRAM

| Стандарт   | Частота внутренней шины, МГц | Частота внешней шины, МГц | Количество транзакций в секунду, МТр | Стандартные тайминги                         | Теоретическая пропускная способность, Мб/с |
|--|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|--|
| DDR4-1600J<br>DDR4-1600K<br>DDR4-1600L               | 200                          | 800                       | 1600                                 | 10-10-10<br>11-11-11<br>12-12-12             | 12800                                      |
| DDR4-1866L<br>DDR4-1866M<br>DDR4-1866N               | 233,33                       | 933,33                    | 1866,67                              | 12-12-12<br>13-13-13<br>14-14-14             | 14933,33                                   |
| DDR4-2133N<br>DDR4-2133P<br>DDR4-2133R               | 266,67                       | 1066,67                   | 2133,33                              | 14-14-14<br>15-15-15<br>16-16-16             | 17066,67                                   |
| DDR4-2400P<br>DDR4-2400R<br>DDR4-2400U               | 300                          | 1200                      | 2400                                 | 15-15-15<br>16-16-16<br>18-18-18             | 19200                                      |
| DDR4-2666T<br>DDR4-2666U<br>DDR4-2666V<br>DDR4-2666W | 333,33                       | 1333                      | 2666                                 | 17-17-17<br>18-18-18<br>19-19-19<br>20-20-20 | 21333                                      |

| Стандарт  | Частота внутренней шины, МГц | Частота внешней шины, МГц | Количество транзакций в секунду, МТр | Стандартные тайминги                         | Теоретическая пропускная способность, Мб/с |
|---|------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|--|
| DDR4-2933V<br>DDR4-2933W<br>DDR4-2933Y<br>DDR4-2933AA | 366,6                        | 1466,5                    | 2933                                 | 19-19-19<br>20-20-20<br>21-21-21<br>22-22-22 | 23466                                      |
| DDR4-3200W<br>DDR4-3200AA<br>DDR4-3200AC              | 400                          | 1600                      | 3200                                 | 20-20-20<br>22-22-22<br>24-24-24             | 25600                                      |

*DDR5 SDRAM* – синхронная динамическая память с произвольным доступом и удвоенной скоростью передачи данных пятого поколения – новый перспективный стандарт оперативной памяти. Новая спецификация обещает гораздо более высокую производительность, чем у последнего внедренного стандарта DDR4, а также пониженное энергопотребление. Что это будет означать для настольных ПК? Давайте проанализируем всё, что на сегодняшний день известно об этом пока неофициальном стандарте<sup>11</sup>.

Оперативная память DDR5 при своем появлении на рынке будет отличаться удвоенной емкостью и удвоенной производительностью по сравнению с модулями DDR4 первого поколения. По пропускной способности чипы DDR5-3200 будут в 1,36 раза превышать пропускную способность DDR4-3200. При этом ожидается, что серийные микросхемы будут обладать производительностью 4800 МТ/с, что в 1,87 раза выше пропускной способности DDR4-3200. Официальный предел скорости DDR5 – 6400 МТ/с, но некоторые чипы смогут преодолевать его с помощью разгона.

Компания SK Hynix работает над модулями памяти DDR5, оснащаемыми чипами емкостью по 16 Гбит (2 ГБ) и работающими на пониженном с 1,2 до 1,1 В напряжении, что благодаря фирменному техпроцессу обеспечивает пониженное энергопотребление по сравнению с модулями DDR4 этого же производителя. Пропускная способность таких чипов составляет 6,4 Гбит/с на контакт.

Среди прочих преимуществ памяти DDR5 необходимо назвать два независимых 40-битных канала на каждый модуль, повышенную эффективность управляющей шины и улучшенные схемы обновления.

В марте 2017 г. группа комитета стандартизации JEDEC, работающая над стандартами DDR и других типов памяти и накопителей, объявила о том, что спецификация DDR5 будет выпущена в 2018 г. В ноябре 2018 г. компания SK Hynix выпустила первый в мире модуль RAM, совместимый со стандартом DDR5, который должен был появиться на рынке в 2020 г. Однако позднее в SK Hynix заявили, что серийное производство модулей DDR5 начнется еще до конца 2019 г. В Samsung и Micron также говорили о намерении выпустить модули памяти DDR5, но они могут не полностью соответствовать стандарту.

По оценкам SK Hynix, в 2020 г. объемы продаж модулей памяти DDR5

<sup>11</sup> Редакция THG. Что нам известно о DDR5. URL: [http://www.thg.ru/mainboard/ddr5\\_novyj\\_stadart\\_ozu/index.html](http://www.thg.ru/mainboard/ddr5_novyj_stadart_ozu/index.html).

достигнут 25 % от общего рынка ОЗУ, а в 2021 г. они вырастут до 44 %. Внедрение памяти типа DDR5 может пойти еще быстрее на рынках мобильных устройств и центров хранения и обработки данных. Такие крупные производители смартфонов, как, например, Samsung, непременно захотят получить конкурентное преимущество благодаря использованию памяти DDR5 LPDRAM, а клиенты дата-центров будут приветствовать увеличение пропускной способности при доступе к данным.

Между тем мы всё еще не знаем точной даты появления на рынке памяти DDR5 для настольных ПК – очевидно, что она зависит от AMD и Intel, которые должны предложить поддержку нового типа памяти в своих процессорах, чип-сетах и массовых системных платах. К сожалению, о внедрении DDR5 пока не объявляли ни в AMD, и в Intel.

### 2.1.6. Основные характеристики оперативной памяти

При выборе оперативной памяти нужно обязательно учитывать следующие характеристики<sup>12</sup>:

- тип памяти;
- форм-фактор;
- объем модуля ОЗУ;
- тактовая частота;
- тайминги;
- коррекция ошибок.

*Тип памяти.* Скорость чтения/записи важный показатель оперативной памяти, именно поэтому идет постоянная борьба за производительность ОЗУ. Технологии не стоят на месте, периодически появляются новые стандарты оперативной памяти, как правило, превосходящие своих предшественников по скорости в 2 раза. Наибольшее распространение получила синхронная динамическая память с произвольным доступом (SDRAM), эволюционная линейка которой выглядит следующим образом: DDR, DDR2, DDR3, DDR4 и DDR5.

Практически все современные компьютеры используют SDRAM DDR4.

От выбора типа ОЗУ будет зависеть ключ модуля оперативной памяти (рис. 12). Модуль ОЗУ, на которой размещены чипы памяти, имеет специальный ключ (прорезь), в зависимости от типа SDRAM. Связано это с тем, что типы памяти не совместимы между собой.

*Форм-фактор модуля памяти.* Планки оперативной памяти имеют различный форм-фактор исполнения в зависимости от того, где будет эксплуатироваться ОЗУ: в ноутбуке или стационарном компьютере. Форм-фактор оперативной памяти для стационарных компьютеров именуется DIMM, а для ноутбуков – SO-DIMM (рис. 13).

---

<sup>12</sup> Оперативная память: характеристики // Онлайн справочник пользователя ПК.

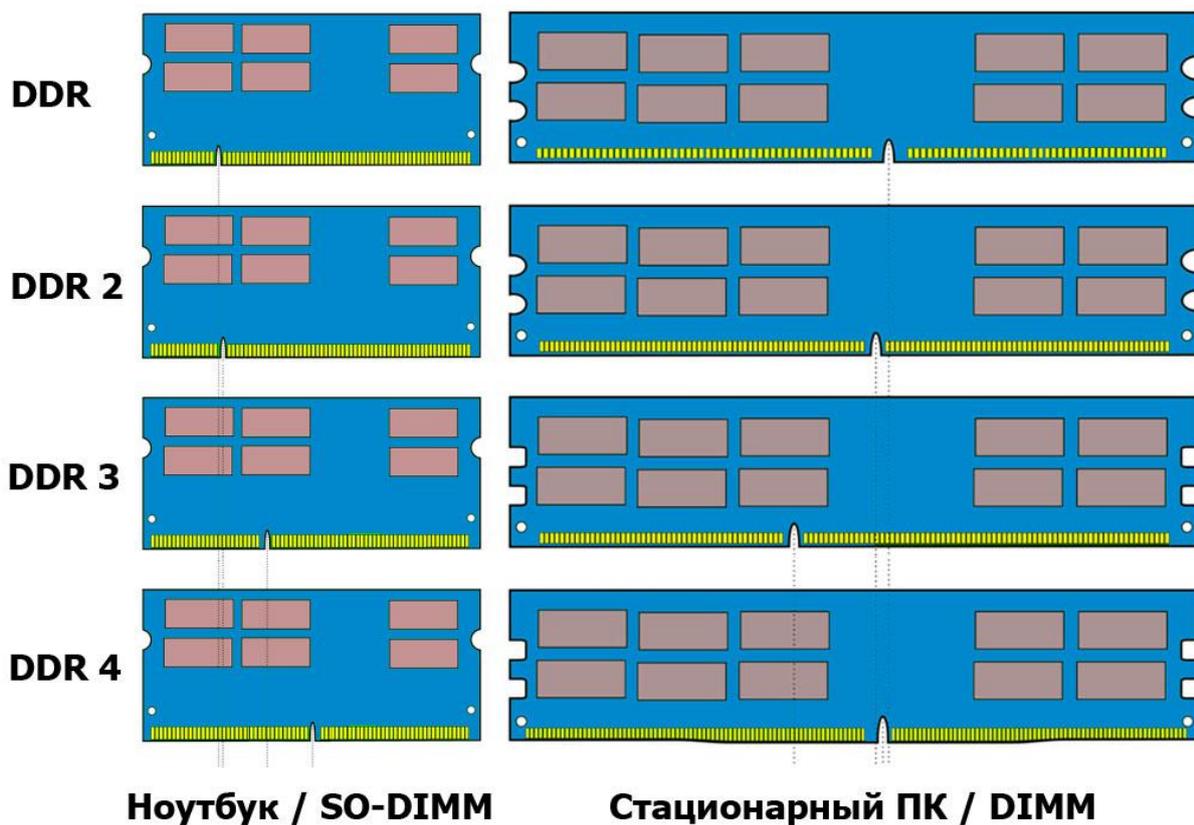


Рис. 12. Ключ модуля оперативной памяти SDRAM



Рис. 13. Форм-фактор модулей памяти

*Объем модуля памяти.* Объем оперативной памяти, наряду с характеристиками прочих комплектующих ПК, непосредственно влияет на производительность системы в целом. При достаточном объеме ОЗУ операционная система реже задействует файл подкачки, что исключает лишние операции чтения/записи, которые проходят на более низких скоростях. Объем одного модуля оперативной памяти зависит от типа памяти. У DDR4 минимальный объем памяти, одного модуля, составляет 4 ГБ, минимальный – 128 ГБ.

По результатам тестов<sup>13</sup> системные требования компьютерных игр в 2020 г. составляют 16 Гбайт ОЗУ, которых достаточно для игр на максимальных настройках в любом разрешении вплоть до Ultra HD. Кардинально ситуация в ближайшие год-два не изменится, хотя уже есть игры, которые подбираются к этому психологическому порогу. В предыдущие годы купить, что называется, про запас набор памяти объемом 32 Гб было слишком дорого. Сейчас нет ничего криминального в покупке такого комплекта (цены существенно упали) если речь идет о сборке нового ПК. Допустим, взяли вы сейчас игровую систему с видеокартой уровня GeForce RTX 2070 SUPER или выше. Очень может быть, что она будет радовать вас ближайшие 5–7 лет. Сначала на максимальных настройках, затем на высоких, а после – на средних. Мы видим, что существующие массовые платформы – AM4 и LGA1151-v2 (да и LGA1200 можно сюда отнести) – работают только с DDR4 памятью, а потому покупка сразу 32 Гбайт избавит вас от необходимости через три-четыре года (когда на рынке будет главенствовать память стандарта DDR5) выискивать комплект со сходными характеристиками.

*Тактовая частота оперативной памяти* Параметр зависит от типа оперативной памяти SDRAM. Чем выше тактовая частота, тем лучше. Необходимо учитывать характеристики процессора, который должен поддерживать соответствующую тактовую частоту ОЗУ и возможности материнской платы работать с профилями XMP. Обязательно стоит учитывать режим работы – одно- или двухканальный.

Стоит отметить тот факт, что оперативная память независимо от типа в процессе своей работы поддерживает весь диапазон тактовых частот, расположенных ниже своей максимальной частоты. К примеру, максимальная тактовая частота модуля памяти DDR 4 2400 МГц – ОЗУ может работать на следующих частотах: 2400, 2133, 1866, 1600. Частота, на которой запустится оперативная память (без учета разгона), зависит от характеристик процессора, чипсета материнской платы и установленной видеокарты. Если какой-то из компонентов системы будет «тормозить», то память не запустится на пределе своих возможностей.

Результаты тестов 3dnews.ru наглядно показали, что при выборе оперативной памяти нет особого смысла гнаться за сверхвысокой частотой комплектов DDR4. Рыночная стоимость DDR4-2666 и DDR4-3000 находится на сопоставимом уровне, поэтому целесообразнее взять более быстрый набор. Начиная со стандарта DDR4-3466, стоимость оперативной памяти резко увеличивается. Вот только высокие частоты оперативной памяти, как правило, влекут за собой и высокие задержки. Частота – не панацея, и очень часто настройка таймингов позволяет достичь схожего и даже лучшего результата. Если не видно разницы, то зачем платить больше? Пока такую память можно посоветовать разве что энтузиастам, рассматривающим свой ПК как плацдарм для всевозможных экспериментов.

---

<sup>13</sup> Плотников С. Какая оперативная память необходима игровому компьютеру в 2020 году (и в 2021-м – тоже) // 3DNews – Daily Digital Diges. URL: <https://3dnews.ru/1003916/gaming-pc-ram-2020>.

Тайминги оперативной памяти. Основными параметрами оперативной памяти, как известно, являются технология ее работы (например, DDR 1, 2, 3 и 4), ее объем, а также тактовая частота. Но помимо этих параметров довольно важным, хотя и не всегда учитываемым параметром являются характеристики латентности памяти или так называемые тайминги. Тайминги оперативной памяти определяются количеством времени, которое требуется микросхемам ОЗУ, чтобы выполнить определенные этапы операций чтения и записи в ячейку памяти и измеряются в тактах системной шины. Таким образом, чем меньше будут значения таймингов модуля памяти, тем меньше модуль будет тратить времени на рутинные операции, тем большее быстродействие он будет иметь и, следовательно, тем лучше будут его рабочие параметры. Тайминги во многом влияют на производительность работы модуля ОЗУ, хотя и не так сильно, как тактовая частота.

Тайминги состоят из группы цифр. На некоторых планках тайминги указаны полностью (рис. 14), а на других указывается только CL задержка.

Любая оперативная память DDR (1, 2, 3 и 4) имеет одинаковые принципы работы. Память имеет определенную частоту работы в МГц и тайминги. *Чем тайминги меньше, тем быстрее процессор может получить доступ к ячейкам памяти на микросхемах.* Соответственно получаются меньше задержек при считывании и записи информации в оперативную память<sup>14</sup>.



Рис. 14. Полное обозначение таймингов

Тайминги обозначаются группой цифр XX-XX-XX-XX (CAS Latency – RAS to CAS – RAS Precharge – Row Active Time).

<sup>14</sup> Ющенко А. Что такое тайминги оперативной памяти? // Обзоры компьютерного железа, гаджетов, программ и электроники. URL: <http://mstream.ru/что-такое-tajmingi-operativnoj-pamyati>.

Модули памяти, работающие на одной и той же частоте, но имеющие разные тайминги, в итоге могут иметь разную итоговую скорость работы. Например, DDR3 1866 МГц 9-9-9-10-28 будет быстрее, чем DDR3 1866 МГц 10-11-10-30.

Что же конкретно обозначают цифры таймингов? Обратимся к примеру, выше DDR3 1866 МГц 10-11-10-30.

Цифры по порядку:

**10 – это CAS Latency (CL).** Тайминг CAS Latency является одним из самых важных таймингов модуля оперативной памяти. Он определяет время, которое требуется модулю памяти, чтобы выбрать необходимый столбец в строке памяти после поступления запроса от процессора на чтение ячейки. От него в большей степени будет зависеть скорость работы оперативной памяти. *Чем меньше первая цифра из таймингов, тем память быстрее.*

CL указывает на количество тактовых циклов, необходимых для выдачи запрашиваемых данных. На рис. 15 приведен пример с CL=3 и CL=5.

В результате память с CL=3 на 40 % быстрее выдает запрашиваемые данные. Можно даже посчитать задержку в наносекундах (наносекунда = 0,000000001 с).

Чтобы вычислить период тактового импульса для оперативной памяти DDR3 1866 МГц, нужно взять ее реальную частоту ( $1866 \text{ МГц} / 2 = 933 \text{ МГц}$ ) и воспользоваться формулой  $T = 1 / f = 1 / 933 = 0,0010718113612004 \text{ секунды} \approx 1,07 \text{ нс}$ .  $1,07 \cdot 10(\text{CL}) = 10,7 \text{ нс}$ .

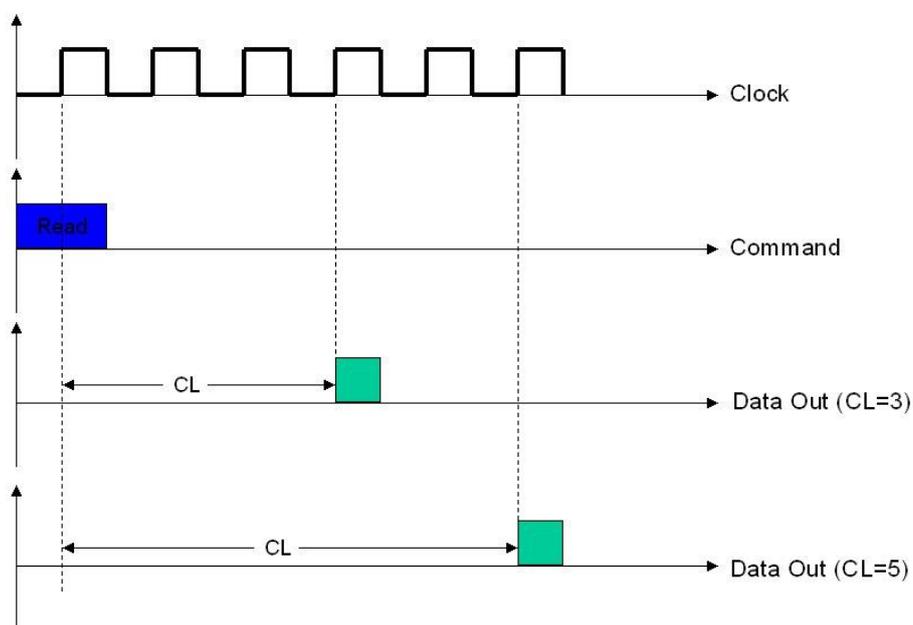


Рис. 15. Тайминги CAS Latency (CL)

Таким образом, для CL10 оперативная память задержит выдачу данных на 10,7 наносекунды. *Если последующие данные располагаются по адресу, следующему за текущим адресом, то данные не задерживаются на время CL, а выдаются сразу же за первыми.*

**11 – это RAS to CAS Delay (tRCD).** Этот тайминг определяет число тактов, которое проходит между снятием сигнала RAS, означающего выбор опре-

деленной строки памяти и подачей сигнала CAS, при помощи которого осуществляется выбор определенного столбца (ячейки) в строке памяти.

Сам процесс доступа к памяти сводится к активации строки, а затем столбца с нужными данными. Данный процесс имеет два опорных сигнала – RAS (Row Address Strobe) и CAS (Column Address Strobe).

Также величина этой задержки ( $t_{RCD}$ ) является числом тактов между включением команды «Активировать (Active)» и командой «Чтение» или «Запись» (рис. 16).

*Чем меньше задержка между первым и вторым, тем быстрее происходит конечный процесс.*

**10 – это RAS Precharge ( $t_{RP}$ ).** Этот параметр задает количество времени в тактах, которое проходит между сигналом на предварительную зарядку Precharge и открытием доступа к следующей строке данных.

После того как данные получены из памяти, нужно послать специальную команду Precharge, чтобы закрыть строку памяти из которой считывались данные и разрешить активацию другой строки с данными.  $t_{RP}$  время между запуском команды Precharge и моментом, когда память может принять следующую команду «Active» (рис. 17). Напомню, что команда «Active» запускает цикл чтения или записи данных.

*Чем меньше эта задержка, тем быстрее запускается цикл чтения или записи данных, через команду «Active».* Время, которое проходит с момента запуска команды «Precharge» до получения данных процессором, складывается из суммы  $t_{RP} + t_{RCD} + CL$ .

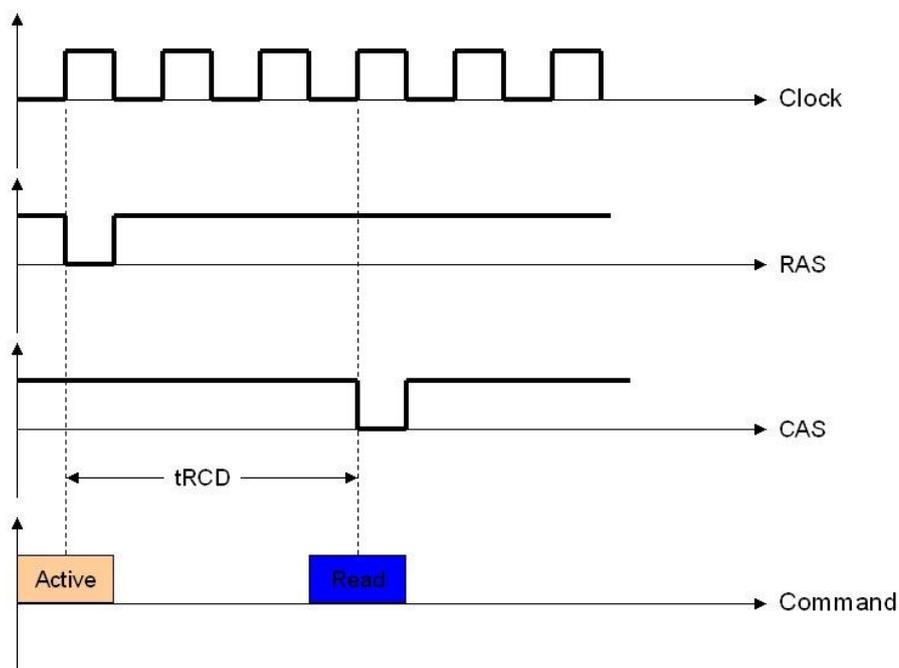


Рис. 16. Тайминги RAS to CAS Delay ( $t_{RCD}$ )

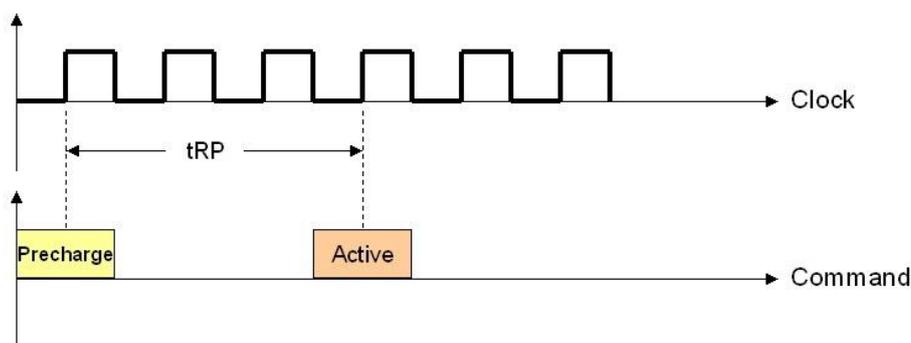


Рис. 17. Тайминги RAS Precharge

**30 – это Cycle Time ( $t_{RAS}$ ) Active to Precharge Delay.** Это тайминг определяет время, в течение которого является активной одна строка модуля памяти.

Если в память уже поступила команда «Active» (и в конечном итоге процесс чтения или записи из конкретной строки и конкретной ячейки), то следующая команда «Precharge» (которая закрывает текущую строку памяти, для перехода к другой) будет послана, только через это количество тактов. *То есть это время, после которого память может приступить к записи или чтению данных из другой строки (когда предыдущая операция уже была завершена).*

**Коррекция ошибок.** ECC-память (error-correcting code memory, память с коррекцией ошибок) – тип компьютерной памяти, которая автоматически распознает и исправляет спонтанно возникшие изменения (ошибки) битов памяти. Память, не поддерживающая коррекцию ошибок, обозначается non-ECC.

Для чего необходима коррекция? И почему в работе памяти возникают ошибки?

Перед ответом на эти вопросы следует разделить ошибки на два типа:

- аппаратные ошибки;
- случайные ошибки.

Причиной появления аппаратных ошибок является дефектная микросхема DRAM, а случайные ошибки возникают под воздействием электромагнитного излучения, альфа-частиц, элементарных частиц и прочего. Соответственно, первые в принципе неисправимы – если чип дефектный, то поможет только его замена; а вот вторые могут быть исправлены.

Почему же так необходима коррекция ошибок в рабочих станциях и серверах? Однобитовая ошибка в 64-битном слове меняет содержимое ячейки памяти, а в конечном итоге на жесткий диск может быть записано другое число, другие данные, при этом компьютер не зафиксирует эту подмену. А изменение бита в оперативной памяти может вызвать сбой программы, что для рабочей станции и сервера недопустимо.

Для обнаружения изменения битов памяти можно использовать метод подсчета контрольной суммы, но он позволяет лишь обнаруживать ошибки без их исправления.

В свое время было предложено много различных способов решения данной проблемы, но на сегодняшний день наибольшее распространение получил метод коррекции ошибок или ECC (Error-Correcting Code). Данный метод поз-

воляет автоматически исправлять однобитовые ошибки в 64-битном слове – SEC (Single Error Correction) и детектировать двухбитовые – DED (Double Error Detection).

Физическая реализация ECC заключается в размещении дополнительной микросхемы памяти на модуле ОЗУ – соответственно, при одностороннем дизайне модуля памяти вместо восьми чипов располагается девять, а при двустороннем вместо шестнадцати – восемнадцать. Таким образом, ширина модуля становится не 64 бита, а 72 бита.

Метод коррекции ошибок работает следующим образом: при записи 64 бит данных в ячейку памяти происходит подсчет контрольной суммы, составляющей 8 бит. Когда процессор обращается к этим данным и производит считывание, проводится повторный подсчет контрольной суммы и сравнение с исходной. Если суммы не совпадают – произошла ошибка. Если она однобитовая, то неправильный бит исправляется автоматически, если двухбитовая – детектируется и сообщается ОС.

Преимущество и недостатки ECC. Память с коррекцией ошибок защищает от некорректной работы компьютерной системы в связи с порчей памяти и уменьшает вероятность фатального отказа системы. *Однако такая память стоит дороже; материнская плата, чипсет и процессор, которые поддерживают память с коррекцией ошибок, тоже могут быть дороже, поэтому такая память используется в системах, в которых важна бесперебойная и корректная работа, таких как файловый сервер, научных и финансовых приложениях.*

Память с коррекцией ошибок работает на 2–3 % медленнее (часто для проверки сумм требуется один дополнительный такт контроллера памяти), чем обычная память, в зависимости от приложений. Дополнительная логика, реализующая подсчет, проверку ECC и исправление ошибок, требует логических ресурсов и времени на свою работу либо в самом контроллере памяти, либо в интерфейсе между CPU и контроллером памяти.

### **2.1.7. Достоинства и недостатки динамической памяти**

Преимущества динамической памяти:

- низкая себестоимость;
- высокая степень упаковки, позволяющая создавать чипы памяти большого объема.

Недостатки динамической памяти:

- относительно невысокое быстродействие, так как процесс зарядки и разрядки конденсатора, пусть и микроскопического, занимает гораздо больше времени, чем переключение триггера;
- высокая латентность, в основном, из-за внутренней шины данных, в несколько раз более широкой, чем внешняя, и необходимости использования мультиплексора/демультиплексора;
- необходимость регенерации заряда конденсатора, из-за его быстрого саморазряда, ввиду микроскопических размеров.

## 2.2. Статическая оперативная память

Статическая память (SRAM) – это энергозависимая полупроводниковая память с произвольным доступом, в которой каждый разряд хранится в триггере, позволяющем поддерживать состояние разряда без постоянной перезаписи. Для организации чтения и записи из ячейки памяти дополнительно используется три или более транзистора<sup>15</sup>.

### 2.2.1. Устройство триггера

Для того чтобы понять принцип работы статической памяти, обратимся к истокам схемотехники. И начнем с описания принципа работы триггера, изображенного на рис. 18.

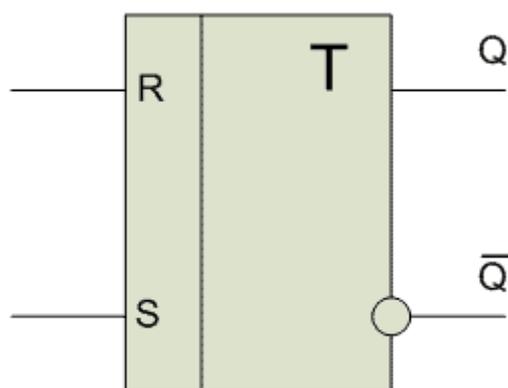


Рис. 18. Триггер

Триггер – это элемент памяти с двумя стабильными состояниями – «0» и «1». В установленном состоянии триггер сохраняется, пока на него подается питание.

Обычно триггер имеет два входа: R (Reset) – сбросить триггер (установить в состояние «0»), S (Set) – установить триггер в состояние «1», и два выхода: Q и инвертированное  $\bar{Q}$ .

Входы R и S используются для установки состояния триггера. Если на вход S подать напряжение, соответствующее логической единице (далее просто логическую единицу), а на вход R – напряжение, соответствующее логическому нулю (далее просто логический ноль), то триггер перейдет в состояние единицы и сохранит это состояние даже, если на вход S перестать подавать сигнал.

Если на вход S подать логический ноль, а на вход R – логическую единицу, то триггер перейдет в состояние сохранения нуля.

При подаче на оба входа логического нуля состояние триггера не изменится. При подаче на оба входа логической единицы в общем случае состояние триггера будет неопределенно, т.е. неизвестно, в какое состояние он перейдет.

На выходах Q и  $\bar{Q}$  можно прочесть установленное состояние триггера.

---

<sup>15</sup> Статическая оперативная память // Информационный сайт о высоких технологиях. URL: [http://all-ht.ru/inf/pc/mem\\_sram.html](http://all-ht.ru/inf/pc/mem_sram.html).

Рассмотрев логику работы триггера, давайте разберемся, как же он устроен. Структурная схема триггера приведена на рис. 19.

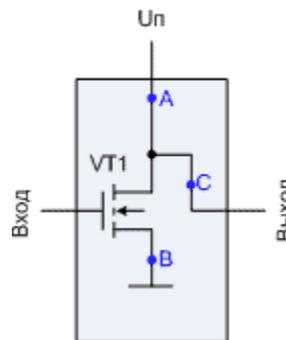
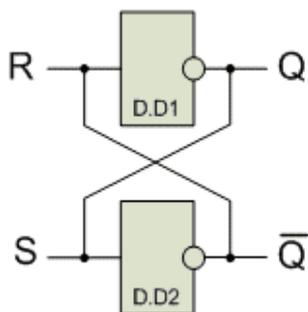


Рис. 19. Структурная схема триггера      Рис. 20. Структурная схема инвертера

Как видно из рис. 19, состоит он из двух инвертеров (логических элементов «НЕ»), причем выход одного инвертера замкнут на вход другого.

Давайте рассмотрим, как же работают эти инвертеры при подаче различных сигналов на вход.

Первый случай: на вход S подана логическая единица, а на вход R – логический ноль, т.е. установка триггера в единичное состояние. Итак, если на вход S подать логическую единицу, то, пройдя через инвертер D.D2, она примет значение логического нуля. Таким образом, на выходе  $\bar{Q}$  будет логический ноль. На вход R был подан логический ноль, в результате на выходе инвертера D.D1 будет логическая единица, соответственно, на выходе Q будет также логическая единица.

Если сигналы с входов снять (на вход S и R подать логический ноль), то состояние триггера не изменится. Логическая единица с выхода инвертера D.D1 пойдет на вход инвертера D.D2, а логический ноль с выхода D.D2 пойдет на вход инвертера D.D1, в результате чего на выходе инвертера D.D1 будет логическая единица. То есть мы замкнули цикл, который будет продолжаться до тех пор, пока на триггер будет подводиться питание. Зачем нужно питание, рассмотрим чуть позже, когда будем разбирать принцип устройства инвертера.

Рассмотрим второй случай, когда на вход S подан логический ноль, а на вход R – логическая единица, т.е. сброс триггера. Итак, если на вход S подать логический ноль, то, пройдя через инвертер D.D2, он примет значение логической единицы. Таким образом, на выходе  $\bar{Q}$  будет логическая единица. На вход R была подана логическая единица, в результате на выходе инвертера D.D1 будет логический ноль, а соответственно, на выходе Q будет тот же логический ноль.

Так же как и в первом случае, при снятии сигналов с входов R и S состояние триггера не изменится.

Давайте теперь более подробно рассмотрим принцип работы инвертера. Существуют различные способы организации инвертера, мы рассмотрим только один из них, самый простой. Этого будет вполне достаточно, чтобы понять принцип его организации.

На рис. 20 представлена простейшая схема реализации инвертера, состоящая из одного транзистора. Давайте рассмотрим, как он работает.

На элемент всегда подается питание  $U_n$ . В результате создаваемый ток может пойти либо по линии АВ, и в этом случае на выходе инвертера ток будет отсутствовать (будет логический ноль), либо по линии АС, и в этом случае на выходе инвертера ток будет присутствовать (будет логическая единица).

По линии АВ ток пойдет, если транзистор VT1 будет открыт, а для этого необходимо подать напряжение на вход инвертера.

По линии АС ток пойдет, если транзистор VT1 будет закрыт, а это произойдет при отсутствии напряжения на входе инвертера.

Таким образом, если на вход инвертера подается логическая единица, то на выходе будет логический ноль. И, соответственно, при подаче на вход инвертера логического нуля, на выходе будет получена логическая единица.

### 2.2.2. Устройство ячейки статической памяти

Теперь, зная, как работает триггер и инвертер, рассмотрим устройство ячейки статической памяти и принцип ее работы. Естественно, рассматривать мы будем простейшую ячейку памяти. На практике используют множество дополнительных ухищрений для повышения скорости работы статической памяти. Но, зная принцип работы элементарной ячейки статической памяти, вы без особого труда в дальнейшем разберетесь и в принципе работы других реализаций ячеек статической памяти.

На рис. 21 приведена упрощенная схема одного из способов организации ячейки статической памяти.

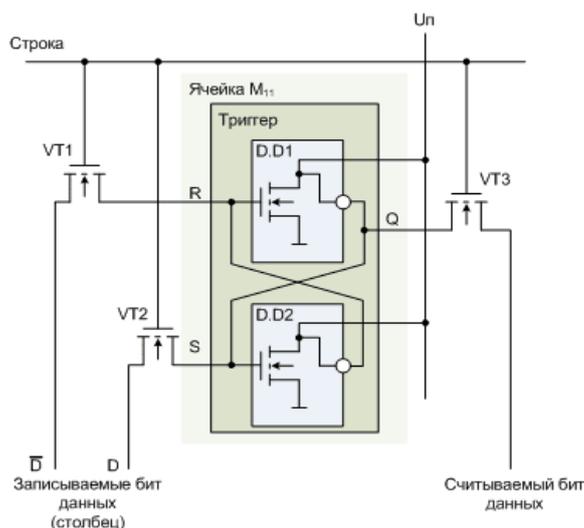


Рис. 21. Структурная схема ячейки статической памяти SRAM

Как видите, она состоит из одного триггера и трех транзисторов, выполняющих роль ключей, открывающих и закрывающих доступ к ячейке памяти. Транзисторы VT1 и VT2 используются для разрешения и запрета записи в ячейку, а транзистор VT3 – для разрешения и запрета чтения.

Для записи данных необходимо подать напряжение в линию строки, после чего транзисторы VT1, VT2 и VT3 откроются. Затем для записи единицы необходимо подать напряжение, соответствующее логической единице, на линию  $D$  и напряжение, соответствующее логическому нулю, на линию  $\bar{D}$ . Для переключения триггера в состояние хранения нуля необходимо подать напряжение, соответствующее логическому нулю, на линию  $D$  и напряжение, соответствующее логической единице, на линию  $\bar{D}$ .

В установленном состоянии триггер будет оставаться даже после снятия напряжения с линии строки и с линий  $D$  и  $\bar{D}$  до тех пор, пока на него будет подаваться питание  $U_{п}$ .

Для считывания данных необходимо на выходы  $D$  и  $\bar{D}$  подать напряжение, соответствующее логическому нулю, так как подача двух логических нулей на входы триггера не изменит его состояния, а затем подать напряжение на строку. В результате, транзистор VT3 откроется, и ток с триггера по линии Q пройдет в устройство считывания. Одновременно с транзистором VT3 откроются транзисторы VT1 и VT2. Но так как напряжение на линиях  $D$  и  $\bar{D}$  соответствует логическому нулю, то оно не повлияет на состояние транзистора.

Считывание данных с ячейки статической памяти, в отличие от чтения с ячейки динамической памяти, не приводит к потере сохраненного бита данных, поэтому, перезапись данных в ячейку статической памяти не требуется.

### 2.2.3. Устройство микросхемы статической памяти

Перейдем к следующему этапу изучения работы статической памяти и рассмотрим ее общую логику работы. Для этого обратимся к упрощенной структурной схеме статической памяти, изображенной на рис. 22.

Начнем с записи данных в статическую память и рассмотрим случай записи единицы в ячейку M11.

В контроллер шины памяти от контроллера памяти, встроенного в северный мост материнской платы или в процессор, приходит адрес ячейки памяти и данные для записи. Адрес ячейки преобразуется на две составляющие – номер строки и номер столбца. Номер строки передается в «Дешифратор адреса строки», откуда на нужную строку подается напряжение.

Так как мы рассматриваем запись в ячейку M11, то напряжение с дешифратора адреса строки подается на первую строку. В результате транзисторы VT1, VT2 и VT3 открываются. Аналогичные транзисторы других ячеек памяти, располагающихся в этой строке, также открываются.

Через транзистор VT3 первой ячейки и аналогичные транзисторы других ячеек памяти первой строки пойдет ток, соответствующий состоянию триггеров этих ячеек, в «Буфер данных». Однако «Буфер данных» получаемую информацию будет игнорировать, так как у него нет сигнала от «Блока управления» на сохранение считываемых данных.

Параллельно с подачей напряжения на строку матрицы памяти с «Блока работы с данными» будет выдано напряжение, соответствующее записываемым данным, в «Блоки записи 1 – m», а с «Блока дешифровки адреса столбца» на

соответствующие столбцы будет выдано разрешение (напряжение, соответствующее логической единице) на запись данных.

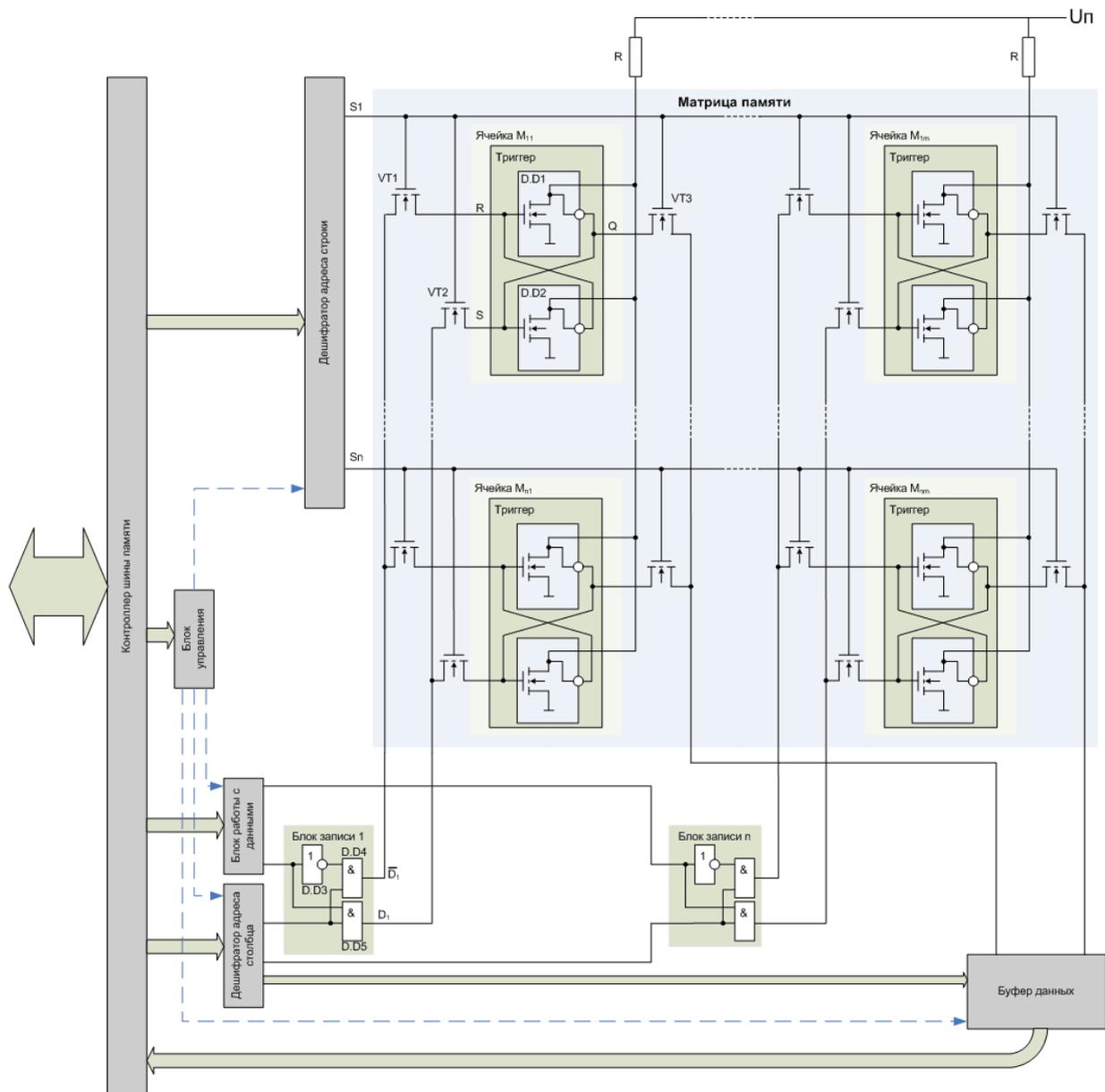


Рис. 22. Упрощенная структурная схема SRAM

Блоки записи используются для запрета выдачи тока в линии  $D$  и  $\bar{D}$  при чтении данных и преобразования из входящих сигналов данных их инвертируемых сигналов для переключения состояния триггеров, в которые необходимо сохранить данные.

В нашем случае запись проводится в ячейку M11, и записывается единица. Соответственно, с «Блока работы с данными» будет выдана логическая единица в «Блок записи 1», и с «Блока дешифровки адреса столбца» будет выдана логическая единица в «Блок записи 1».

Рассмотрим работу «Блока записи 1» при таких входных сигналах. И так, на входе элемента D.D3 будет логическая единица, а на выходе – логический

ноль, так как элемент D.D3 – инвертер (логический элемент «НЕ»). Соответственно, на входах элемента D.D4 (логический элемент «И») будут: логический ноль и логическая единица. В результате на выходе этого элемента будет логический ноль.

На входах элемента D.D5 (логический элемент «И») будут две логические единицы, в результате, на выходе этого элемента будет логический ноль.

Следовательно, на выходе  $D1$  «Блока записи 1» будет напряжение, соответствующее логическому нулю, а на выходе  $\bar{D}1$  будет напряжение, соответствующее логической единице. Эти напряжения будут поданы на все ячейки памяти первого столбца. Однако у всех ячеек, кроме первой, транзисторы, разрешающие запись, закрыты, а значит, подаваемое напряжение попадет только на триггер первой ячейки и переведет его в состояние хранения единицы.

После изменения состояния триггера первой ячейки напряжение с первой строки снимается, и транзисторы VT1, VT2 и VT3 закрываются, запрещая запись и чтение из ячейки.

При записи нуля в ячейку памяти все происходит по той же схеме, только с «Блока работы с данными» в «Блок записи 1» будет подано напряжение, соответствующее логическому нулю. Это значит, что на выходе  $D1$  «Блока записи 1» будет напряжение, соответствующее логической единице, а на выходе  $\bar{D}1$  будет напряжение, соответствующее логическому нулю. Эти значения напряжений переведут триггер первой ячейки памяти в состояние хранения нуля.

В установленном состоянии триггер первой ячейки останется, пока на него будет подаваться питание  $Uп$ .

Чтение записи происходит еще проще. От контроллера памяти приходит адрес ячеек памяти, с которых требуется считать данные, и команда на чтение.

В результате адрес преобразуется в номер строки, и на соответствующую строку будет подано напряжение, которое откроет транзисторы разрешения/запрета чтения/записи.

Рассмотрим случай, когда данные считываются из первой ячейки. В этом случае напряжение с «Дешифратора адреса строки» будет подано в первую строку, что приведет к открытию транзисторов VT1, VT2 и VT3 ячейки M11 и всех остальных ячеек первой строки. Ток с триггера первой ячейки, через транзистор VT1, беспрепятственно пройдет в «Буфер данных». То же самое произойдет с остальными ячейками первой строки. Считанные с ячеек памяти первой строки данные сохранятся в «Буфере данных».

После того как информация в «Буфере данных» будет сохранена, «Дешифратор адреса столбцов» выдаст номера столбцов, данные с которых необходимо считать, в «Буфер данных». Соответствующие данные будут переданы из микросхемы памяти в контроллер памяти, располагающийся в материнской плате или непосредственно в процессоре.

Для того чтобы при чтении данных не происходила запись в эти же ячейки, ведь транзисторы, разрешающие запись, открыты, блоки записи выдают в линии  $D$  и  $\bar{D}$  всех столбцов матрицы памяти напряжение, соответствующее логическому нулю. Это происходит из-за того, что с блока дешифровки адреса

столбцов выдается напряжение, соответствующее логическому нулю на все «Блоки записи».

Как видите, работа статической памяти очень похожа на работу динамической памяти, однако процесс записи и чтения гораздо быстрее, так как не тратится время на заряд и разряд конденсаторов и не требуется регенерация ячеек. Однако необходимо обратить внимание, что рассмотренная нами схема сильно упрощена, и на практике используют гораздо более сложные механизмы записи и чтения из памяти, повышающие надежность и скорость работы статической памяти. Однако описанный выше принцип работы позволяет понять основы функционирования статической памяти, ее недостатки и преимущества.

#### **2.2.4. Достоинства и недостатки статической памяти**

Достоинства:

- высокая скорость работы;
- нет необходимости регенерации ячеек.

Недостатки:

- высокая цена;
- низкая плотность упаковки;
- небольшой объем;
- высокое энергопотребление.

В связи с перечисленными выше достоинствами и недостатками область применения статической памяти ограничивается в основном использованием ее в качестве кэш-памяти, что позволяет при небольшом увеличении стоимости уменьшить влияние недостатков динамической памяти на производительность ЭВМ. Однако это все лишь компромисс, позволяющий несколько сгладить разрыв в производительности процессора и памяти, и все вытекающие отсюда последствия.

Требуется кардинальное решение проблемы существующей с момента зарождения вычислительной техники. Существует множество экспериментальных разработок, позволяющих получить быструю и дешевую оперативную память, но многие из них пока существуют только в виде лабораторных образцов, многие имеют недостаточную надежность и т.д. Наиболее перспективный путь развития оперативной памяти – это использование магниторезистивной памяти, получающей все большее распространение.

### **2.3. Магниторезистивная оперативная память**

Магниторезистивная память – это один из перспективных типов оперативной памяти, пока еще не получивший широкого распространения, но обладающий рядом преимуществ, по сравнению с остальными типами оперативной памяти. В ближайшем будущем этот тип памяти, несомненно, приобретет большую популярность<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> Магниторезистивная оперативная память // Информационный сайт о высоких технологиях. URL: [http://all-ht.ru/inf/pc/mem\\_mram.html](http://all-ht.ru/inf/pc/mem_mram.html).

Давайте разберемся, как она работает. И начнем с устройства ячейки магниторезистивной памяти. Упрощенная структурная схема ячейки магниторезистивной памяти представлена на рис. 23.

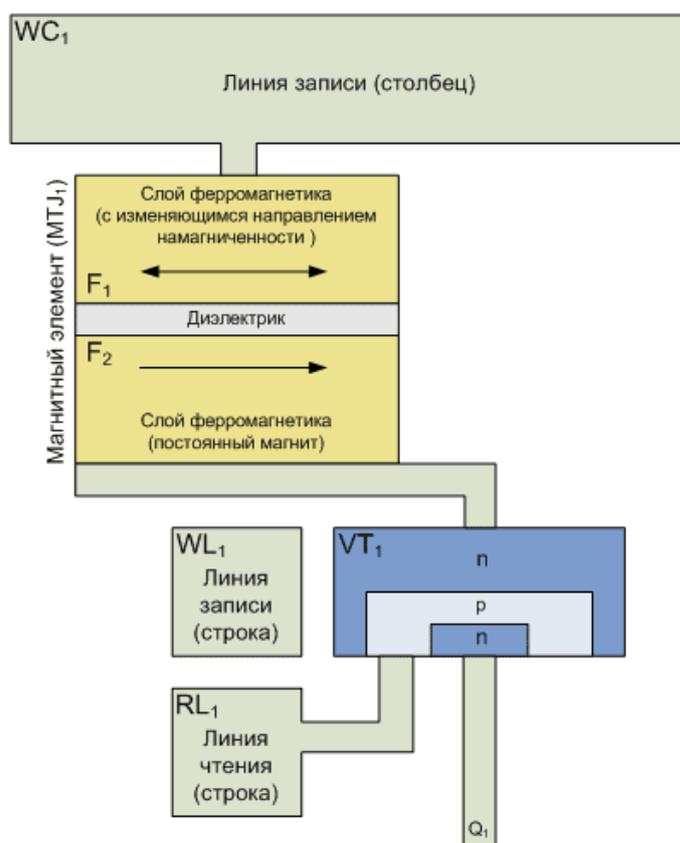


Рис. 23. Упрощенная структурная схема ячейки MRAM

Каждая ячейка магниторезистивной памяти хранит 1 бит данных в магнитном элементе (MTJ1), состоящем из двух ферромагнетиков, между которыми располагается тонкий слой диэлектрика.

*Ферромагнетик* – это вещество, которое обладает намагниченностью (при температуре ниже точки Кюри) даже в отсутствие внешнего магнитного поля.

*Диэлектрик* – это вещество, плохо проводящее электрический ток.

Причем один из ферромагнетиков (ферромагнетик F2) – это постоянный магнит, намагниченный в определенном направлении, а другой ферромагнетик (ферромагнетик F1) может изменять направление намагниченности под действием электрического поля. Если оба ферромагнетика имеют одинаковую направленность намагниченности, то считается, что в ячейке памяти храниться ноль. Если направления намагниченности ферромагнетиков встречны, то считается, что в ячейке памяти храниться единица.

Для изменения направления намагниченности ферромагнетика F1, необходимо подать ток в линии WC1 и WL1. В точке пересечения этих линий, как раз там, где располагается магнитный элемент, создается электрическое поле достаточной мощности, чтобы ферромагнетик F1 изменил направление намаг-

ниченности. Остальные ячейки магниторезистивной памяти, располагающиеся вдоль строки и столбца, на которые подан ток, не изменят направления намагниченности, так как мощность поля, создаваемого только током в линии  $WC_1$ , или только током в линии  $WL_1$ , недостаточна.

Такой способ изменения намагниченности (записи данных в ячейку памяти) очень похож на принцип работы памяти на магнитных сердечниках, широко используемой во втором поколении ЭВМ.

Схематически описанная ячейка магниторезистивной памяти изображена на рис. 24.

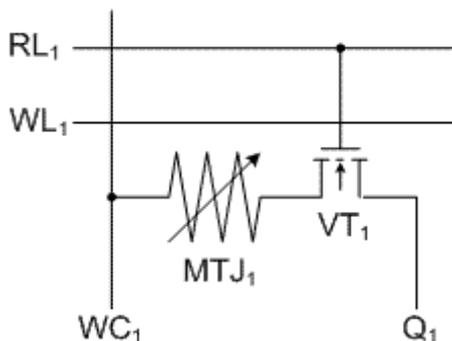


Рис. 24. Схематическое изображение ячейки MRAM

Однако запись данных в ячейки магниторезистивной памяти описанным выше способом требует создания мощного электрического поля, поэтому магнитные элементы соседних ячеек приходится располагать далеко друг от друга, следовательно, размер магниторезистивной памяти будет достаточно большим. Да и энергопотребление будет велико, особенно для применения такой памяти в мобильных вычислительных системах, даже с учетом того, что на хранение данных в ячейках магниторезистивной памяти энергия не расходуется.

По этой причине ведутся активные поиски альтернативных способов записи данных в магниторезистивную память, например, термическая запись, при которой ячейка памяти непосредственно перед записью нагревается, упрощая изменение направления намагниченности, или поэтапная запись с использованием антиферромагнетиков и многослойной ячейки памяти. Существуют и другие способы записи в магниторезистивную память, однако все они пока находятся на этапе создания опытных образцов и пока не готовы к использованию в массовом производстве.

Но в будущем этот тип памяти может вытеснить все остальные типы ОЗУ, так как потенциально обладает значительно лучшими характеристиками, как по скорости работы, так и по качеству и объемам хранимой информации. Хотя и сейчас эта память применяется, но в основном в больших научных и технических проектах. Так, в 2008 г. в японском искусственном спутнике SpriteSat была применена магниторезистивная память производства Freescale Semiconductor. А с апреля 2011 г. доступны первые коммерческие микросхемы MRAM емкостью 16 Мбит, и это только начало.

С чтением данных из магниторезистивной памяти всё проще. Здесь уже существует вполне приемлемый способ, основанный на изменении электрического сопротивления при протекании тока между двумя слоями ферромагнетика, разделенного тонким слоем диэлектрика. Общее сопротивление будет выше при перпендикулярной ориентации намагниченности слоев диэлектрика. По величине протекающего через ячейку тока можно определить ориентацию намагниченности и, соответственно, определить содержание ячейки памяти.

Если вернуться к рис. 24, то чтение данных из ячейки памяти будет организовано следующим образом:

- на линию RL1 подается ток, открывающий транзистор VT1 и разрешающий чтение данных из ячейки памяти;

- на линию WC1 подается ток, проходящий через магнитный элемент MTJ1, а далее, через открытый транзистор VT1, – в устройство чтения данных, где по величине тока будет определено значение, хранящееся в ячейке памяти.

Давайте рассмотрим основные преимущества и недостатки магниторезистивной памяти.

Достоинства:

- энергонезависимость;
- высокое быстродействие (быстрее DRAM, но медленнее SRAM);
- не требуется регенерация ячеек.

Недостатки:

- сложности с существующими способами записи;
- большой размер ячейки памяти, из-за технологии записи;
- высокое энергопотребление по той же причине.

На этом закончим обзор оперативной памяти. Естественно, существуют и другие типы памяти, и способы оперативного хранения информации, но они пока что мало распространены или вообще существуют только в теории.

## Контрольные вопросы

1. Виды памяти.
2. Виды оперативной памяти.
3. ПЗУ память.
4. Устройство динамической оперативной памяти.
5. Работа динамической памяти в состоянии покоя.
6. Работа динамической памяти при чтении данных и регенерации.
7. Работа динамической памяти при записи данных.
8. Этапы развития динамической оперативной памяти.
9. Отличие динамической оперативной памяти DDR4 от DDR3. Достоинства и недостатки.
10. Основные характеристики оперативной памяти.
11. Устройство триггера.
12. Достоинства и недостатки статической памяти.
13. Магниторезистивная оперативная память.

### 3. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ

Мы давно привыкли к тому, что модуль оперативной памяти выглядит как небольшая плата с микросхемами. Но так, конечно же, было далеко не всегда. На заре компьютерной эры существовало множество видов оперативной памяти, совершенно не похожих друг на друга. Достаточно сказать, что за время перехода от первого поколения ЭВМ (на электронных лампах) ко второму (на транзисторах) сменилось не менее пяти технологий ОЗУ<sup>17</sup>.

#### 3.1. Конденсаторы

Создателем первого компьютера в современном понимании этого слова принято считать немецкого инженера Конрада Цузе. Еще в 30-е гг., работая в одиночку, он сумел спроектировать и построить в гостиной родительского дома устройство, способное автоматически выполнять различные вычисления по заданной программе. Машина, получившая название Z1 (рис. 25), была электро-механической и потому не фигурирует в списках первых ЭВМ (электронных вычислительных машин). При этом она работала в двоичной системе счисления, как и современные компьютеры, а не в двоично-десятичной, как знаменитый ENIAC, созданный почти десятью годами позже.



Рис. 25. Электромеханическая машина Z1 Конрада Цузе

Оперативная память Z1 была организована на конденсаторах, причем не покупных, а разработанных самим изобретателем. Конструкция, в которой чередовались слои стекла и металлические пластины, позволяла хранить 64 вещественных числа, каждое из которых состояло из 14 бит мантиссы и 8 бит, отводившихся под знак и порядок. Стоит отметить, что эта вычислительная машина работала ненадежно из-за низкой точности изготовления деталей, и последующие свои конструкции (Z2–Z4) Цузе создавал на базе выпускавшихся промышленностью телефонных реле.

---

<sup>17</sup> BootSect История оперативной памяти. URL: [https://pikabu.ru/story/istoriya\\_operativnoy\\_pamyati\\_5431295](https://pikabu.ru/story/istoriya_operativnoy_pamyati_5431295).

### 3.2. Электронные лампы

Первые ЭВМ, например, вышеупомянутый ENIAC или отечественная БЭСМ, использовали электронные лампы как для вычислений, так и для промежуточной записи команд и операндов. Чтобы хранить один бит данных, нужна была одна запоминающая ячейка (триггер), собранная на двух триодах (рис. 26). В ЭВМ ставили двойные триоды, у которых в одном баллоне размещались, по сути, две независимые электронные лампы, поэтому можно упрощенно говорить, что для хранения  $N$  бит информации требовалось  $N$  электронных ламп (без учета обвязки).



Рис. 26. Запоминающая ячейка БЭСМ на 1 бит

Неудивительно, что эти машины имели огромный размер и потребляли колоссальное количество энергии. БЭСМ содержала около 4000 электронных ламп, а ENIAC – почти 18000.

### 3.3. Трубка Уильямса

Очень любопытный тип памяти, впервые использованный в английском компьютере SSEM (Manchester Small-Scale Experimental Machine, «Манчестерская малая экспериментальная машина»). Созданный в 1948 г., он оказался первым в мире электронным компьютером, построенным по принципу совместного хранения данных и программ в памяти (фон-Неймановская архитектура).

«Трубка Уильямса» – это, по сути, обычная электронно-лучевая трубка, на экране которой рисуется двумерный массив из точек или тире (рис. 27). В

зависимости от того, какой элемент был нарисован, на люминофоре образуются разные заряды. Чтобы прочитать информацию, на участки экрана, соответствующие ячейкам массива, нужно снова направить электронный луч. Все ячейки получают положительный заряд, но изменение заряда будет разным для точек и тире. Электрод на внешней стороне экрана позволяет отследить эту разницу и получить значение прочитанного бита. Если информацию не нужно менять, при следующем проходе луча по ячейкам их значения восстанавливаются. Таким образом, трубка Уильямса представляет собой динамическую (постоянно обновляемую) память. «Разрешение» составляло  $32 \times 32$  элемента (1024 бит памяти).

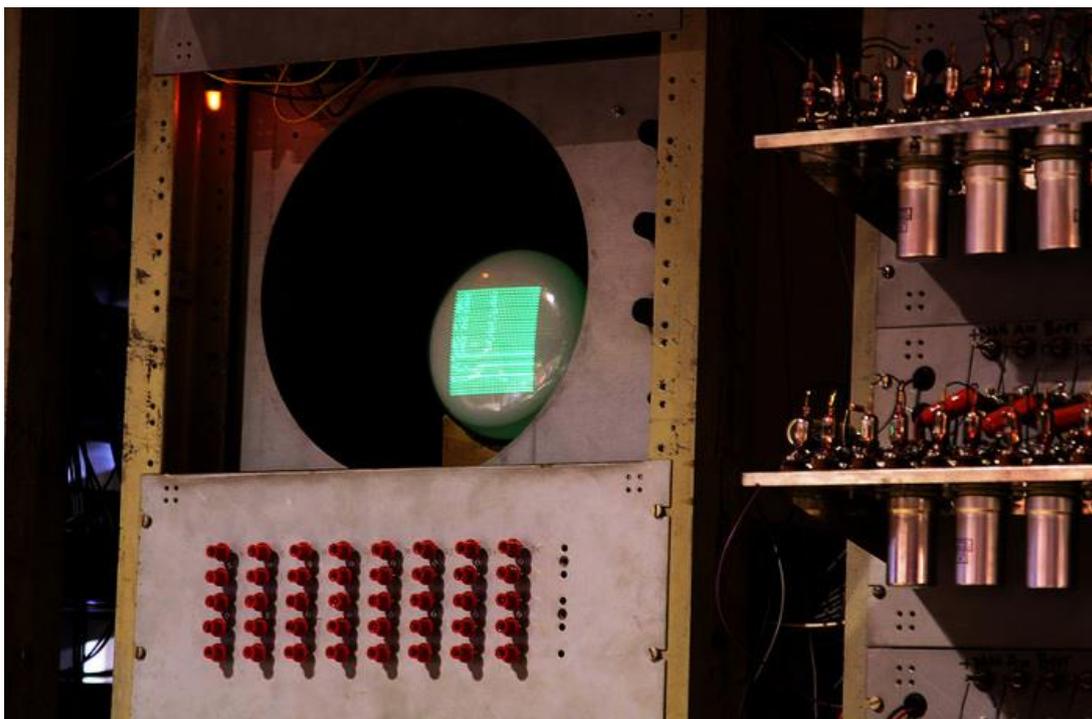


Рис. 27. Массив памяти на «Трубке Уильямса»

### 3.4. Декатроны

Harwell Dekatron, или WITCH, единственный компьютер первого поколения, сохранившийся до наших дней в рабочем состоянии. Он использует чисто десятичную систему счисления, и для хранения информации в нем используются декатроны – газоразрядные десятичные счетчики (рис. 28).

Колба декатрона заполнена инертным газом (обычно – неона, поэтому при работе они светятся оранжево-красным светом). Вокруг центрального дискового анода расположены десять изолированных индикаторных катодов, а между каждой парой соседних индикаторных катодов – два так называемых подкатода. Подавая в нужном порядке на анод и подкатоды импульсы напряжения, можно заставлять разряд либо «перескакивать» с катода на катод (что соответствует увеличению/уменьшению хранимого значения на 1, или операции записи), либо переходить с катода на анод (что соответствует операции чтения).

Поскольку разработчики компьютеров почти сразу отказались от десятичной системы счисления, оперативная память на декатронах быстро стала достоянием истории, хотя в других областях декатроны использовались еще много лет.

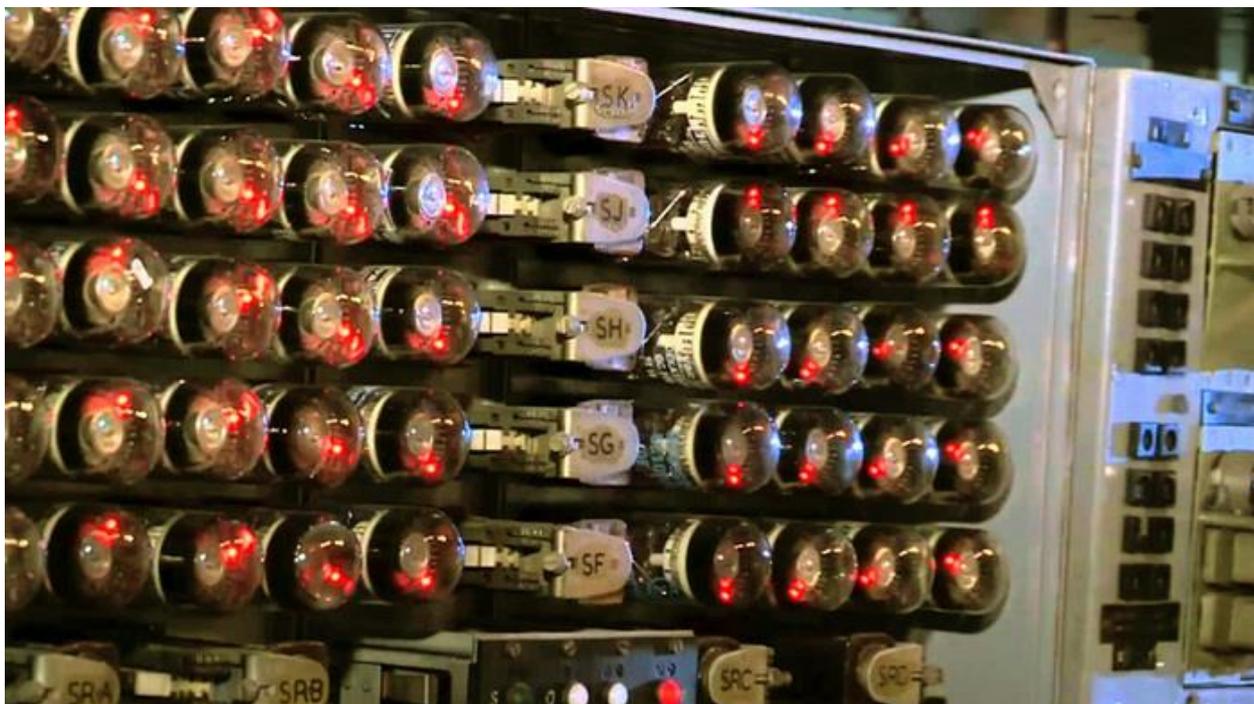


Рис. 28. Массив памяти на декатронах

### 3.5. Ртутные линии задержки

Такую линию задержки можно представить себе как длинную заполненную ртутью колбу, на концах которой расположены пьезоэлементы – передатчик и приемник. Передатчик возбуждает акустические колебания в ртути, и по ней бегут волны, как от камня, брошенного в воду. Когда колебания достигают приемника, они усиливаются, при необходимости изменяются и вновь подаются на вход той же линии. Таким образом получается, что по линии задержки постоянно циркулирует пакет данных, представленный в виде цепочки волн. Память на линиях задержки не является дискретной и может хранить как цифровую, так и аналоговую информацию, что использовалось, например, в первых радарах.

Ртуть была выбрана благодаря тому, что ее удельное акустическое сопротивление почти равно акустическому сопротивлению пьезокристаллов, а скорость распространения звуковых волн в ней выше, чем в других жидкостях.

Такая память была сложна в производстве, требовала тонкой настройки, представляла опасность в случае повреждения, нуждалась в системах поддержания постоянной температуры, а главное – предполагала только последовательный доступ (т.е. приходилось ждать, пока на выходе линии задержки появится нужная информация). Почему же при таком огромном наборе недостатков ее использовали? Всё дело в экономичности и надежности. Одна ртутная линия задержки могла хранить несколько сотен бит информации (скажем, 576 бит в компьютере EDSAC). Чтобы реализовать такой же объем памяти на

триггерах, понадобилось бы больше тысячи электронных ламп, которые занимали бы больше места и потребляли бы больше энергии, а главное, регулярно бы перегорали. Ртутные же линии, при всей их сложности, после грамотной настройки работали очень долго.

На фотографии (рис. 29) запечатлен один блок «ртутной» памяти компьютера UNIVAC I (1951 г., США). Этот барабан содержал 18 трубок, по каждой из которых постоянно циркулировало 120 бит данных, а всего барабанов было семь. Время доступа к памяти составляло 222 мкс.



Рис. 29. Массив памяти на ртутных линиях задержки

В 1953 г. оперативная память на ртутных трубках объемом 1024 слова (по 39 бит в каждом) появилась и у отечественной БЭСМ.

### 3.6. Селектрон

Если трубка Уильямса и ртутные линии задержки считаются прототипами динамической памяти (DRAM), то следующее устройство можно назвать одним из прототипов статической памяти (SRAM).

Селектрон, особая электронная лампа, разработанная компанией RCA (под руководством В.К. Зворыкина) в конце 40-х – начале 50-х гг. (рис. 30).

На фоне памяти на триггерах, где одна электронная лампа была способна хранить в лучшем случае один бит данных, возможности этого устройства казались фантастическими: один селектрон мог иметь внутри матрицу емкостью до 4096 бит! Время доступа к информации при этом было на порядок меньше, чем у ртутной памяти (называлась цифра в 16 мкс).

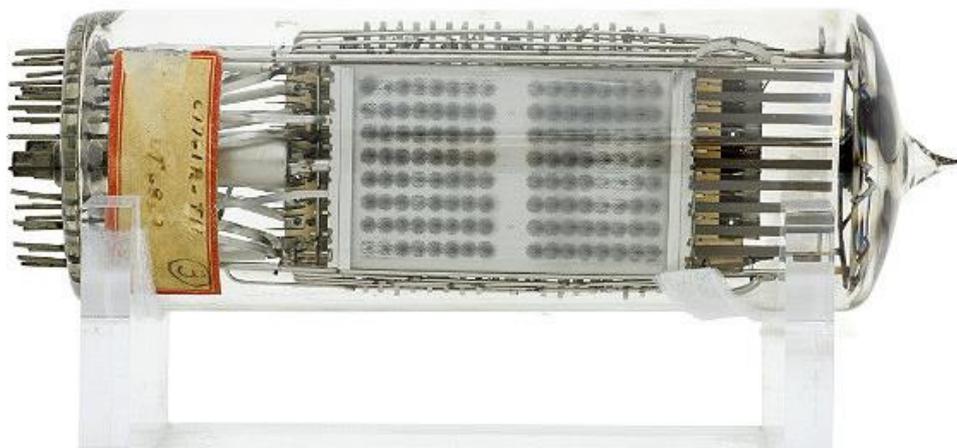


Рис. 30. Массив памяти на Селектроне

Селектрон сочетает в себе признаки электронно-лучевой трубки и обычной электронной лампы: у него есть покрытый люминофором экран и управляющие сетки, точнее решетки из скрещенных узких металлических полосок с отверстиями, образующих ряд «окон». Окно, к которому подводится напряжение, открывается для прохождения электронного луча к фосфорному экрану для записи или чтения информации.

### 3.7. Магнитные барабаны

Магнитные барабаны являются прародителями современных жестких дисков, только информация в них записывается не на основание, а на боковую поверхность цилиндра. Вы можете спросить, что же они тогда делают в списке технологий оперативной памяти. Действительно, мы привыкли к тому, что магнитные накопители используются для долговременного хранения данных. Тем не менее в некоторых ранних компьютерах (особенно относившихся к «бюджетному» классу малых ЭВМ) магнитные барабаны использовались и в качестве оперативки. Первым таким компьютером, судя по всему, был узкоспециализированный «Atlas» производства ERA, разработанный в 1950 г. В дальнейшем память на магнитном барабане встречалась в IBM 650, а также первой крупносерийной отечественной ЭВМ «Урал» (рис. 31).

Он позволял хранить всего 1024 36-разрядных слова, что в 10 раз меньше, чем у американского «Атласа». Емкость была принесена в жертву быстродействию: за счет высокой скорости вращения (100 оборотов в секунду) и крупного формата записи удалось получить среднее время обращения на уровне 8 мс. Впрочем, это всё равно было в разы больше, чем у других видов памяти – что поделаешь, ограничение системы с подвижными деталями. Поэтому в высокопроизводительных ЭВМ память на магнитных барабанах никогда не использовалась в качестве оперативной. Обычно ей отводилась роль буфера между оперативной и долговременной памятью.

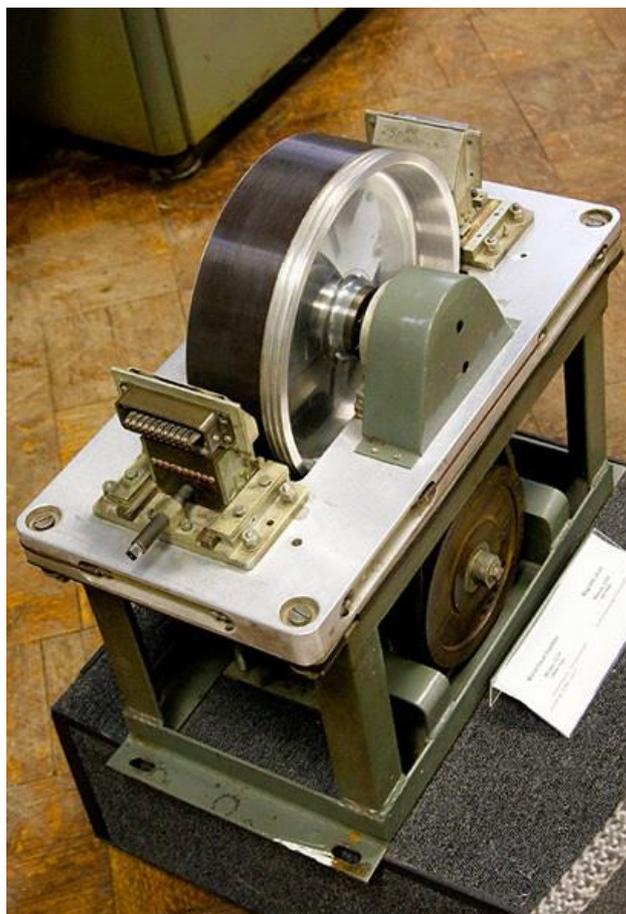


Рис. 31. Массив памяти на магнитном барабане

### 3.8. Ферритовые сердечники

Появление памяти на магнитных сердечниках, или ферритовой памяти, ознаменовало наступление новой эпохи. Идею такого ОЗУ предложил Джон Преспер Экерт (один из разработчиков ENIAC) в 1945 г., а первые практические реализации появились в начале 50-х. Патент на ферритовую память получили американские инженеры китайского происхождения Ван Ань и Во Вайдун в 1955 г. (рис. 32).

Внешне память на магнитных сердечниках представляет собой матрицу из ферритовых элементов (обычно колец), пронизанных проводочками.

Принцип ее работы основан на свойствах ферромагнитного материала, который может находиться в двух устойчивых состояниях намагниченности – «+В» и «-В». Чтобы перемагнитить такой элемент, необходимо в проводниках, на пересечении которых он находится, возбудить магнитное поле величиной не менее  $H$  (рис. 33). Для этого в «вертикальном» и «горизонтальном» проводниках возбуждается поле величиной  $H/2$ . Оно не может изменить состояние какого-либо иного элемента строки или столбца, кроме того единственного, который находится на пересечении этих проводников и для которого величина магнитного поля складывается, давая  $H$ .

Для считывания информации используется третий провод, который змейкой проходит через все сердечники.

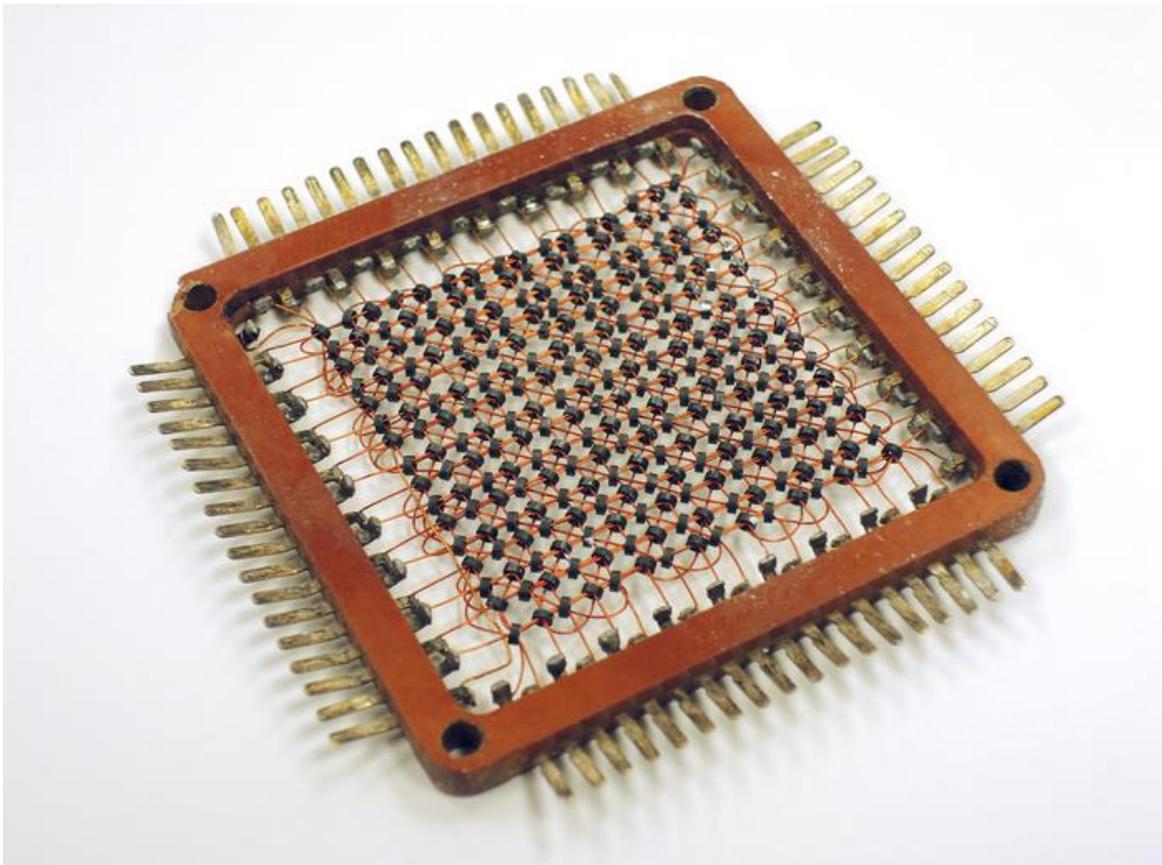


Рис. 32. Массив памяти на ферритовых сердечниках

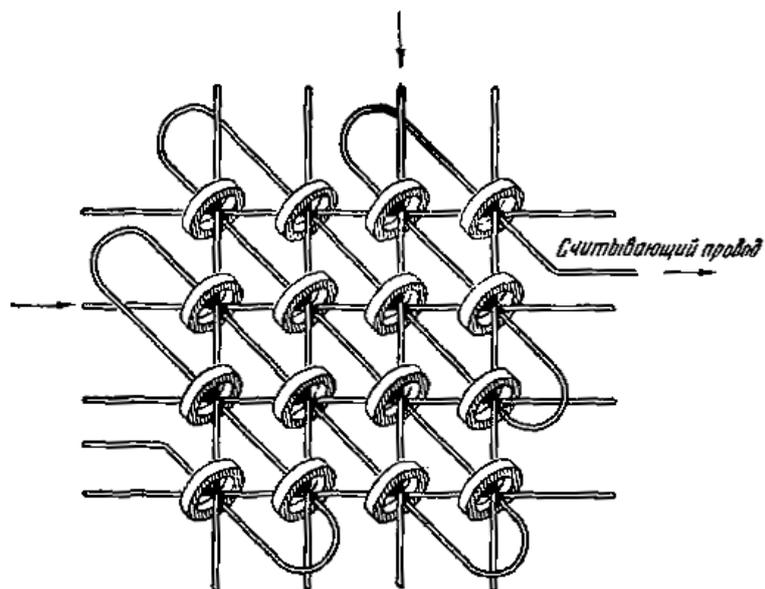


Рис. 33. Организация памяти на ферритовых сердечниках

Чтобы прочесть содержимое ячейки, в проводниках нужно возбудить отрицательное поле величиной  $H/2$ . Тогда кольцо, находившееся в состоянии «+В», перемагнитится в состояние «-В», и на считывающем проводе наведется ЭДС, соответствующая значению «1». А кольцо, находившееся в состоянии «-В», не перемагнитится, и на считывающем проводе никакого сигнала не появится, что компьютер истолкует как значение «0». Таким образом, чтение ин-

формации из памяти на ферритовых кольцах – разрушающее, т.е. после считывания какой-либо ячейки требуется ее регенерация.

По сравнению со всеми предшественниками ферритовая память была колоссальным шагом вперед в плане простоты, компактности и энергоэффективности. Неудивительно, что она применялась в компьютерах два десятилетия, а в отдельных системах, где требовалась стойкость к воздействию радиации (например, в космосе), применялась до 1990-х гг.

### 3.9. Полупроводниковые устройства ОЗУ

Следующий скачок в развитии компьютерной памяти произошел, когда были придуманы интегральные микросхемы и транзисторы. Индустрия пошла по пути миниатюризации компонентов с одновременным повышением их производительности. В начале 1970-х полупроводниковая промышленность освоила выпуск микросхем высокой степени интеграции – на сравнительно малой площади теперь умещались десятки тысяч транзисторов. Появились микросхемы памяти емкостью 1 Кбит (1024 бит), небольшие чипы для калькуляторов и даже первые микропроцессоры. Случилась самая настоящая революция.

В 1968 г. маленькая группа специалистов, отколовшаяся от Motorola, создала компанию Intel<sup>18</sup>. В 1969 г. новоиспеченная компания выпустила высокоскоростной 64-битный полупроводниковый чип ОЗУ, модель 3101 (рис. 34).

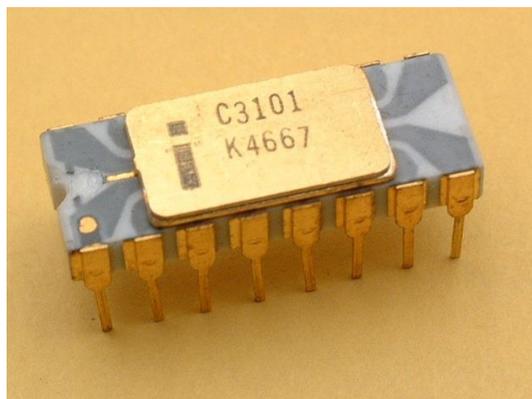


Рис. 34. Полупроводниковый чип ОЗУ, модель Intel 3101

Полупроводники на тот момент уже не являлись чем-то новым, но Intel использовала диод Шоттки и биполярные технологии в своем чипе, что позволило резко поднять скорость работы памяти.

Позднее, в 1969 г., Intel представила 256-битный чип памяти, модель 1101 – первый в мире чип памяти МОП (англ. MOS – Metal Oxide Semiconductor) (рис. 35).

Несмотря на то что 1101 был сложным чипом, имел малый объем памяти и потому не мог эффективно конкурировать с памятью на ферритовых сердечниках, его МОП основа нашла применение в сдвиговых регистрах.

---

<sup>18</sup> Kunstkamera Краткая история ОЗУ // techno-mind.ru. URL: <https://techno-mind.ru/kunstkamera/kratkaya-istoriya-ozu.html>.

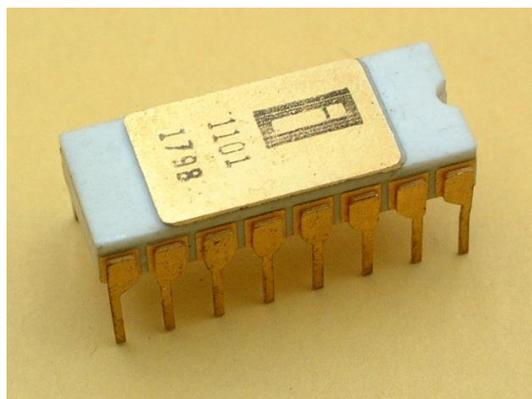


Рис. 35. Полупроводниковый чип ОЗУ, модель Intel 1101

С 1970 по 1971 г. Intel активно работала над чипами 1102 и 1103 – два чипа с 1Кб динамической ОЗУ, использующей три транзистора на одну ячейку памяти. 1102 так и не вышел на рынок. Зато представление 1103 широкой публике было поворотным моментом в истории ОЗУ: наконец большой объем данных мог быть эффективно сохранен на одном чипе. 1103 стал стремительно замещать старые модули памяти на ферритовых сердечниках и вскоре стал стандартом (рис. 36).

Конечно, по сегодняшним стандартам 1103 очень примитивный чип. Он медленный, сложный в производстве и эксплуатации. Но он доказал, что полупроводниковая память не только жизнеспособна, но и намного более эффективна предшественников.



Рис. 36. Полупроводниковый чип ОЗУ, модель Intel 1103

В отличие от энергонезависимых носителей информации, предназначенных среди прочего для ее долговременного хранения, разработчики оперативной памяти могли себе позволить сразу значительно большие скорости, ведь их неоспоримым преимуществом являлось наличие питания устройств данного типа, но и там даже при наличии технологий многое упиралось в цену решения, поэтому оперативной памяти постоянно не хватало, и эта тенденция сохраняется до сих пор. Ее стандарты менялись, а скорости и объемы росли на протяжении последних десятилетий. Тем не менее внешнее исполнение остается неиз-

менным, и каждый без труда отличит плату оперативной памяти от любой другой платы, даже если она была выпущена до его рождения<sup>19</sup> (рис. 37–39).

Далее ОЗУ продолжала развиваться на полупроводниковых технологиях, постоянно удваивая скорость и объем, и так до наших дней. Первая эра ОЗУ длилась около 10 лет, вторая около 20. Сейчас мы уже перешли 50-летний рубеж использования полупроводников.

*SIMM*. Модули на 30 pin применялись в персональных компьютерах с процессорами от 286 до 486. SIMM на 72 контакта была двух видов: FPM (Fast Page Mode) и EDO (Extended Data Out). Тип FPM использовался на компьютерах с процессорами 486 и в первых Pentium до 1995 г. DIMM. Так называли тип памяти SDRAM (Synchronous DRAM). Начиная с 1996 г. большинство чипсетов Intel стали поддерживать этот вид модулей памяти, сделав его очень популярным вплоть до 2001 г. Большинство компьютеров с процессорами Pentium и Celeron использовали именно этот вид памяти.

*RIMM (Rambus)*. Появился на рынке в 1999 г. Он основан на традиционной DRAM, но с кардинально измененной архитектурой. Работала на частотах 400, 600 и 800 МГц с временем полного доступа до 30 нс и временем рабочего цикла до 2,5 нс. В персональных компьютерах этот тип оперативки не прижился и применялся очень редко. Такие модули применялись еще в игровых приставках Sony Playstation 2 и Nintendo 64.

*DDR*. Относительно устаревший тип памяти, сменивший DIMM. Рабочие частоты памяти типа DDR SDRAM – 100, 133, 166 и 200 МГц, время полного доступа – 30 и 22,5 нс, а время рабочего цикла – 5, 3,75, 3 и 2,5 нс. Так как частота синхронизации лежит в пределах от 100 до 200 МГц, а данные передаются по 2 бита на один синхроимпульс, как по фронту, так и по спаду тактового импульса, то эффективная частота передачи данных лежит в пределах от 200 до 400 МГц. Модули памяти, работающие на таких частотах, обозначают «DDR200», «DDR266», «DDR333», «DDR400».

*DDR2*. (Double Data Rate 2) – более новый вариант DDR, который теоретически должен быть в два раза более быстрым. Впервые память DDR2 появилась в 2003 г., а чипсеты, поддерживающие ее – в середине 2004-го. Основное отличие DDR2 от DDR – способность работать на значительно большей тактовой частоте, благодаря усовершенствованиям в конструкции.

*DDR3*. Дает сокращение потребления энергии на 40 % по сравнению с модулями DDR2, благодаря применению 90-нм технологии производства, что позволяет снизить эксплуатационные токи и напряжения.

*DDR4*. Основное отличие заключается в удвоенном до 16 числе банков (в двух группах банков, что позволило увеличить скорость передачи). Пропускная способность памяти DDR4 в перспективе может достигать 25,6 ГБ/с.

---

<sup>19</sup> Модули оперативной памяти: история и будущее в картинках // pro-spo.ru. URL: <http://pro-spo.ru/vse-o-kompyuterax-i-noutbukax/5279-moduli-operativnoj-pamyati-istoriya-i-budushhee-v-kartinkax>.



200 pin SIMM



124 pin DEC ALPHA SIMM



168 pin DIMM



144 pin MICRODIMM  
PC100/133



144 pin SO-DIMM  
PC100/133



168 pin SDRAM "PC100"



200 pin SDRAM "PC100"



208 pin SDRAM "ECC-PC100"

Рис. 37. Модули памяти: SIMM (200 pin), DEC SIMM (124 Pin), DIMM (168pin), MicroDIMM (144 pin) PC100/133, SO DIMM (144 pin) PC100/133, SDRAM (168, 200 pin) PC100, SDRAM (208 pin) ECC PC100

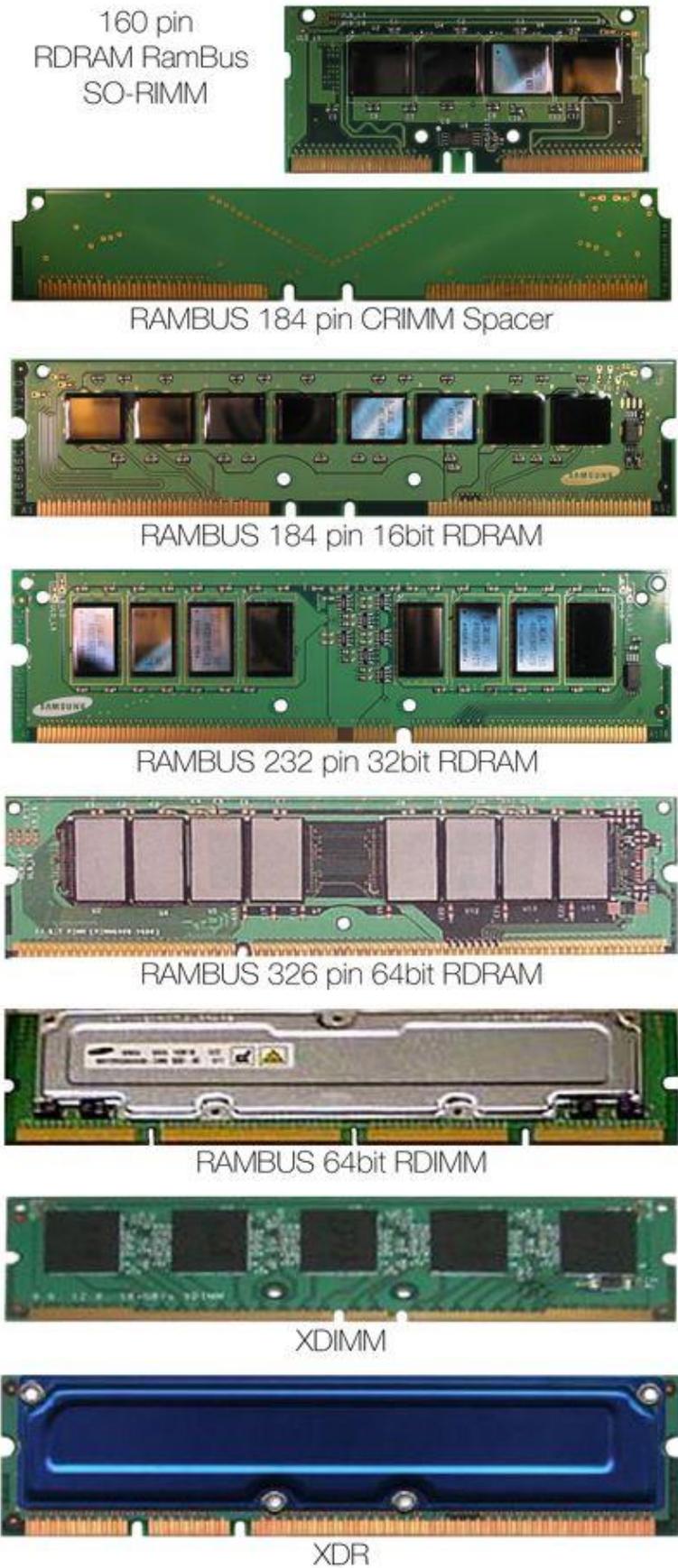


Рис. 38. Модули памяти: RDRAM RamBus (160, 184, 232, 326 pin), RDRIMM, XDIMM, XDR



184 pin DDR



214 pin DDR2  
MICRODIMM



200 pin DDR2  
SO-DIMM



240 pin DDR2



240 pin DDR2 FB-DIMM



240 pin DDR3



204 pin DDR3 SO-DIMM



260 pin DDR4 SO-DIMM



288 pin DDR4

Рис. 39. Модули памяти: DDR (184 pin), MICRODIMM DDR2 (214 pin), SO-DIMM DDR2 (200 Pin), DDR2 (240 pin) FBDIMM DDR2 (240pin), DDR3 (240 pin), SO-DIMM DDR3 (204 Pin), SO-DIMM DDR4 (260 Pin), DDR4 (288 pin)

## Контрольные вопросы

1. История развития оперативной памяти. Конденсаторы.
2. История развития оперативной памяти. Электронные лампы.
3. История развития оперативной памяти. Трубка Уильямса.
4. История развития оперативной памяти. Декатроны.
5. История развития оперативной памяти. Ртутные линии задержки.
6. История развития оперативной памяти. Селектрон.
7. История развития оперативной памяти. Магнитные барабаны.
8. История развития оперативной памяти. Ферритовые сердечники.
9. История развития оперативной памяти. Полупроводниковые устройства.

## 4. ОБСЛУЖИВАНИЕ ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ

### 4.1. Установка оперативной памяти

Один из самых простых способов повысить производительность компьютера – это увеличить объем оперативной памяти, установленной в нем. С каждым годом программы требуют все больше ресурсов, и даже браузеры становятся более «прожорливыми». Оперативную память стандартного офисного компьютера можно истратить, если открыть десяток вкладок в Google Chrome, а ведь имеются еще и другие приложения, к примеру, которые действуют в фоновом режиме.

Благодаря невысокой стоимости, приобрести дополнительный модуль памяти может любой желающий. Верно выбрав новый компонент для компьютера, необходимо его установить в системный блок, с чем и могут возникнуть проблемы<sup>20</sup>.

Заменить (установить) оперативную память в ПК очень просто. Для этого не надо нести системный блок в сервисный центр или же вызывать ремонтника на дом.

Для начала необходимо определить, какой тип оперативной памяти используется в вашем компьютере. Например, вы хотите нарастить объем, установив в материнскую плату еще один модуль. Лучше всего в дополнение к уже имеющимся планкам установить точно такую память. В таком случае потенциальная проблема несовместимости вас не коснется. Как узнать, какая используется оперативная память в вашем компьютере<sup>21</sup>?

Вариант № 1. Снять боковую крышку и изучить маркировку модуля. Смотрим на пять параметров: тип, частоту, тайминги, объем и напряжение. На фотографии ниже (рис. 40) приведен пример модуля типа DDR3 с эффективной частотой 1600 МГц, таймингами CL9 и объемом 8 ГБ, функционирующий при напряжении 1,5 В. Следовательно, ищем память со сходными параметрами.



Рис. 40. Модуль G.SKILL типа DDR3

<sup>20</sup> Как правильно установить оперативную память в компьютер? // OkeyGeek. Ваш IT-помощник. URL: <https://okeygeek.ru/kak-pravilno-ustanovit-operativnuyu-pamyat-v-kompyuter>.

<sup>21</sup> Как установить оперативную память // Ferra.ru. URL: <https://www.ferra.ru/lifehack/computers/install-dram.htm>.

Вариант № 2. Скачать приложение CPU-Z. Во вкладках Memory и SPD вы найдете даже больше информации (рис. 41). Главное – это тип, частота (в CPU-Z указана реальная, она в два раза меньше эффективной), тайминги, объем и напряжение.

Установка оперативной памяти – дело пары минут, но перед тем как к ней приступить, необходимо подобрать порты на материнской плате, в которые новые компонент можно вставить. Здесь у многих пользователей компьютеров возникает вопрос, почему слоты для оперативной памяти разного цвета, и имеется ли разница, куда ее устанавливать? Ответ на этот вопрос очень простой: разработчики материнских плат предусмотрели в своей модели возможность работы оперативной памяти в режиме нескольких каналов. Пример: Вы купили две планки оперативной памяти по 8 Гб и планируете установить их в компьютер. Обе они работают на одинаковой частоте и, желательно, выпущены одной фирмой. В такой ситуации, чтобы компьютер определял модули памяти в качестве единого блока на 16 Гб, их необходимо установить в слоты одного цвета.

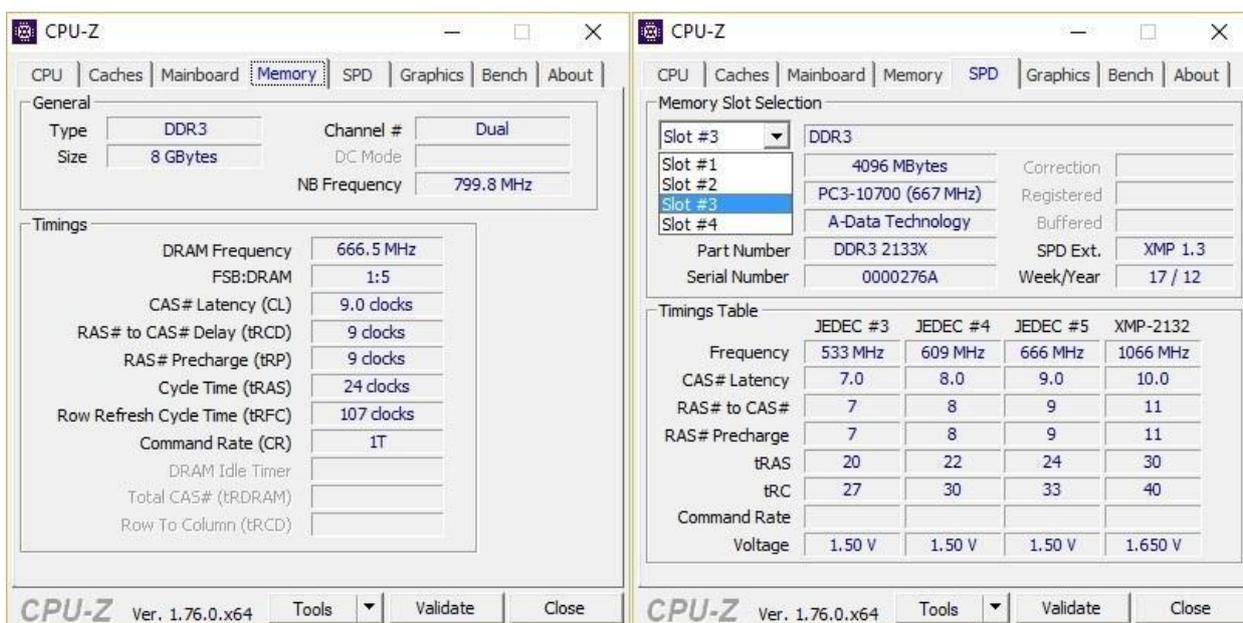


Рис. 41. Результаты работы программы CPU-Z

Если в компьютер устанавливается память разной частоты или с разным объемом, нет никаких отличий, в какие слоты она будет помещена. Если описывать ситуацию с технической точки зрения, то нужно сказать, что технология, применяемая в материнских платах для ускорения параллельной работы одинаковых планок памяти, называется Dual DDR. В большинстве домашних компьютеров материнская плата способна поддерживать только двухканальный режим работы с памятью, тогда как на рынке присутствуют и более профессиональные решения, рассчитанные на 3 или 4 канала.

Перед тем как приступить непосредственно к установке нового модуля, необходимо получить доступ к соответствующим слотам на материнской плате. Для этого достаточно снять крышку системного блока и найти требуемые разъемы. Получив доступ к разъемам для оперативной памяти на материнской пла-

те, определитесь с их количеством и поддержкой многоканальной работы. Если вы намерены вставить один модуль памяти, нет разницы, куда он будет установлен, а как устанавливать два модуля описано выше.

Далее на разъеме для оперативной памяти сбоку отогните защелки (рис. 42), чтобы подготовить слоты к установке нового компонента. После этого достаньте модуль памяти из коробки и постарайтесь не касаться электронных элементов на нем. Внимание: держать оперативную память рекомендуется за грани, чтобы случайно не ударить статическим электричеством по уязвимым компонентам.



Рис. 42. Подготовка слота к установке модуля памяти

Убедитесь, что ваша оперативная память подходит к разъему на материнской плате. Для этого достаточно сравнить местоположение выреза на контактной части модуля и специального выступа-ключа в разъеме.

Наиболее распространена на сегодняшний день память типов DDR3 и DDR4. Физически слоты DIMM, в которые устанавливаются модули, снабжены так называемой защитой «от дурака». Это значит, что вы не сможете, скажем, модуль DDR3 установить в материнскую плату с DDR4. Не получится у вас и установить модули другой стороной. Поэтому перед установкой приложите память к разъему и убедитесь, что ключи (выемка на планке памяти и бороздка на слоте материнской платы) совпадают. Различное положение ключа у модулей представлено на рис. 43. Важно, чтобы оперативная память была совместима с процессором и материнской платой. Самый надежный способ – зайти на сайт производителя материнской платы и изучить список поддерживаемых модулей. Если тот или иной комплект присутствует, то это дает 100-процентную гарантию того, что кит запустится. Если комплекта в списке нет, то с вероятностью 99 % ОЗУ запустится (если память подходит по основным параметрам), но 1 % никто не отменял.

Если память подходит, можно приступить непосредственно к ее установке. Визуально совместив вырез на оперативной памяти и перемычку в слоте, вставьте новый модуль в разъем. Вдавливать ничего силой не следует – планка должна входить спокойно, и лишь на финальном этапе на нее потребуется нажать чуть сильнее, чтобы зафиксировать ее в разъеме (рис. 44). После того как плата установлена, защелкните два боковых фиксирующих «ключа», которые будут удерживать модуль от выпадения. Память устанавливается до ярко выраженного щелчка пластиковой защелки. Иногда защелка присутствует только на одной стороне слота DIMM. Это сделано для того, чтобы разъем для оперативной памяти не конфликтовал с близстоящим железом. Например, с видеокартой. Слегка пошатывайте установленный модуль – если он не движется,

значит, его установка проведена правильно, и компьютер сможет определить новую планку с оперативной памятью. Следует отметить, что после установки нового модуля с оперативной памятью, компьютер самостоятельно его определит и начнет с ним работать.

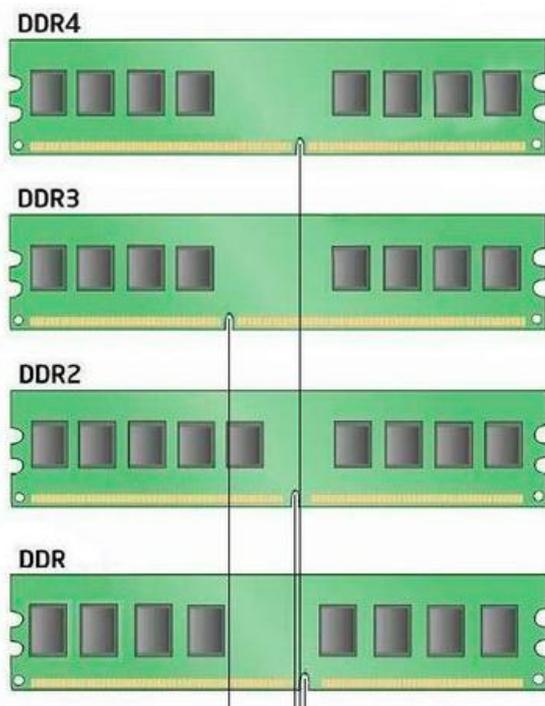


Рис. 43. Различное положение ключа у модулей DDR, DDR2, DDR3 и DDR4

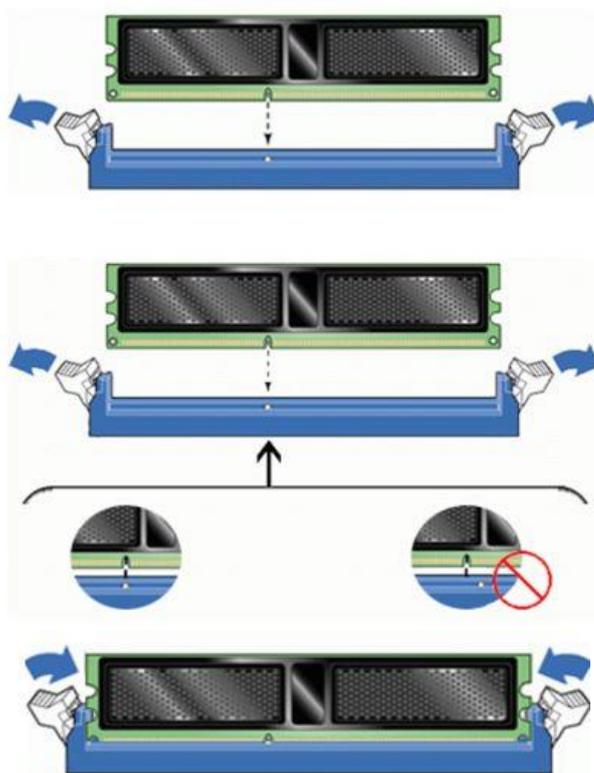


Рис. 44. Установка модуля памяти

*Режимы работы оперативной памяти и преимущества данных режимов.* В современных (и не очень) системах, многие стремятся заставить работать память в двухканальном и трехканальном режимах<sup>22</sup>.

Принцип работы двухканального и трехканального режима работы памяти заключается в использовании соответственно двух и трех каналов для объединенного доступа к банку памяти.

В обычном одноканальном режиме для доступа памяти используется один канал и нету того параллелизма, который присутствует в режимах, указанных выше.

Для установки памяти в многоканальном режиме (двух или трех) следует соблюдать следующие общие правила:

1. Необходимо устанавливать модули памяти с одинаковой частотой. Все планки будут работать на частоте наименее медленного модуля памяти.
2. Желательно устанавливать модули одинакового объема памяти.
3. Требуется подбирать планки от одного производителя.
4. Желательно, чтобы у планок памяти были одинаковые тайминги.

Хотелось бы отметить, что, на данный момент, вышеуказанные пункты не являются обязательным условием работы памяти в двухканальном или трехканальном режиме. Но для полной уверенности и снижения процента каких-либо сбоев лучше их соблюдать.

Гораздо более важным является правильная установка модулей памяти непосредственно в разъемы на материнской плате.

#### 4.1.1. Одноканальный режим работы памяти

Одноканальный режим работы памяти (single mode). Это базовый режим, при котором планки памяти можно устанавливать в любой последовательности и с различными параметрами (производитель, объем, частота и т.д.).

Для одного модуля (рис. 45).



Рис. 45. Одноканальный режим работы памяти для одного модуля памяти

Для нескольких модулей (рис. 46).

<sup>22</sup> Режимы работы оперативной памяти и преимущества данных режимов // we-it.net. URL: <http://we-it.net/index.php/zhelezo/khranenie-dannykh/162-rezhimy-raboty-operativnoj-pamyati-i-preimushchestva-dannykh-rezhimov>.

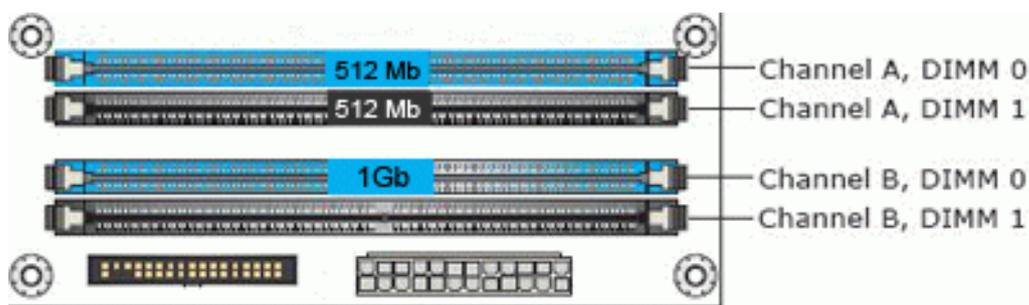


Рис. 46. Одноканальный режим работы памяти для двух модулей памяти

#### 4.1.2. Двухканальный режим работы памяти

Двухканальный режим работы памяти (Dual mode). В двухканальном режиме 1 и 3 модуль работают параллельно с 2 и 4. То есть возможны вариации установки двух модулей памяти в двухканальном режиме, и четырех – также в двухканальном режиме (по 2).

Для удобства производители материнских плат с поддержкой многоканальности окрашивают разъемы DIMM в разные цвета (рис. 47).



Рис. 47. Материнская плата

Для работы двух модулей памяти в двухканальном режиме необходимо установить их в разные по цвету разъемы (зачастую, но лучше уточнить в инструкции к материнской плате). Таким образом устанавливаем модули в канал А и канал В (рис. 48).

Для четырех модулей все точно также. Таким образом получается «два двухканальных режима» (рис. 49).



Рис. 48. Установка двух модулей памяти в двухканальном режиме

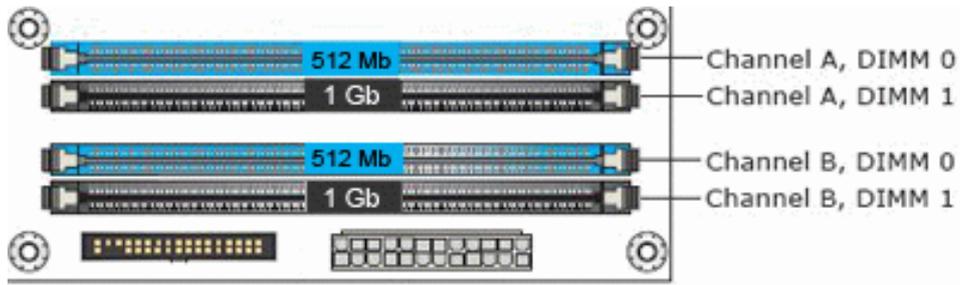


Рис. 49. Установка четырех модулей памяти в двухканальном режиме

#### 4.1.3. Трехканальный режим работы памяти

Трехканальный режим работы памяти (triple mode). Все идентично с двухканальным режимом, но тут уже идут вариации с тремя и шестью модулями памяти (рис. 50).

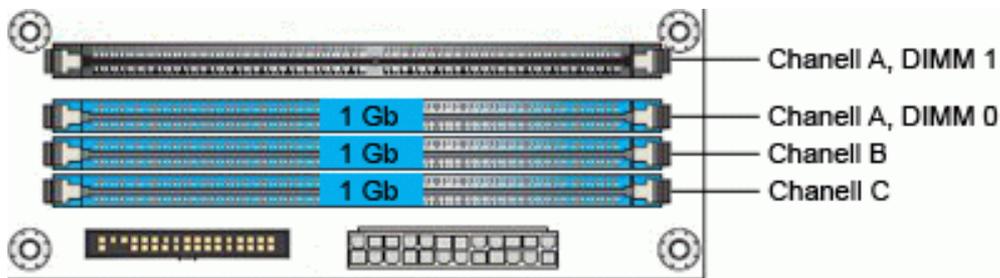


Рис. 50. Установка трех модулей памяти в трехканальном режиме

Вид слотов памяти материнской платы, поддерживающей трехканальный режим представлен на рис. 51.

Также существуют платы поддерживающие четырехканальный режим работы памяти. Данные «монстры» имеют 8 разъемов для установки памяти. Пример такой материнской платы (рис. 52).



Рис. 51. Материнская плата, поддерживающая трехканальный режим



Рис. 52. Материнская плата, поддерживающая четырехканальный режим

#### 4.1.4. Преимущества многоканального режима

Главным преимуществом многоканального режима является повышение результирующей производительности всей системы. Вот только какой будет реальный прирост? В играх и большинстве обычных задач прирост будет составлять не более 5–10 %. Если же речь заходит относительно более специфических задач (например, рендеринг), то здесь уже повышение производительности будет более значительным – возможно 30 % и более, особенно при прорисовке сложных проектов, требующих предельную пропускную способность оперативной памяти.

## 4.2. Разгон оперативной памяти

Любая программа на ПК использует для работы оперативную память, RAM. RAM работает на определенной скорости, заданной производителем, но несколько минут копания в BIOS могут вывести ее за пределы стандартных спецификаций.

### 4.2.1. Значение скорости работы оперативной памяти

Каждая запускаемая вами программа загружается в память с вашего SSD или жесткого диска, скорость работы которых гораздо ниже, чем у памяти. После загрузки программа обычно остается в памяти некоторое время, и CPU получает к ней доступ по необходимости<sup>23</sup>.

Улучшение скорости работы памяти может напрямую улучшить эффективность работы CPU в определенных ситуациях, хотя существует и точка насыщения, после которой CPU уже не в состоянии использовать память достаточно быстро. В повседневных задачах несколько дополнительных наносекунд не принесут вам особой пользы, но, если вы занимаетесь обработкой больших массивов чисел, вам может помочь любое небольшое увеличение эффективности.

В играх скорость RAM может ощущаться гораздо сильнее. У каждого кадра есть только несколько миллисекунд на обработку кучи данных, поэтому если вы играете в игру, зависящую от скорости CPU, ускорение памяти может увеличить частоту кадров.

Средняя частота кадров вырастает на несколько процентов с увеличением скорости RAM, когда большую часть работы делает CPU. Сильнее всего скорость памяти проявляется на минимальном показателе частоты; когда загрузка новой области или нового объекта должна произойти за один кадр, он будет прорисовываться дольше обычного, если будет ожидать загрузки данных в память. Это называется «фриз», и игра может производить впечатление заторженности даже при хороших показателях средней частоты кадров.

В связи с ростом доли процессоров AMD Ryzen на рынке компьютерного железа потребность в разгоне памяти резко увеличилась. Процессоры Ryzen очень чувствительны к частоте ОЗУ из-за новой шины Infinity Fabric, которая связывает две четырехядерные части кристалла между собой. Старая шина Hyper Transfer не была столь требовательна к памяти. То же самое касается и других старых процессоров. Их пропускная способность и возможности взаимодействия с памятью зачастую ограничивались производителем. Поэтому учитывайте, что максимальный прирост от разгона будет зависеть от нескольких факторов: тип ОЗУ, архитектура процессора, возможности материнской платы<sup>24</sup>.

Если постараться привести какие-то конкретные цифры, то получим, что максимальный прирост производительности будет ощущаться на платформах со свежими моделями Ryzen на борту, от 20 % и выше. Что же касается Intel, то

---

<sup>23</sup> Anthony Heddings Why You Should Overclock Your RAM (It's Easy!) // How-To Geek. URL: <https://www.howtogeek.com/438671/why-you-should-overclock-your-ram-its-easy>.

<sup>24</sup> Выжимаем соки из ПК: разгон памяти // CHIP. URL: <https://ichip.ru/sovety/ekspluatatsiya/vyzhimaem-soki-iz-pk-razgon-pamyati-629242>.

для них частота оперативной памяти не так важна, но 10-процентную разницу вы, скорее всего, заметите. На старых материнских платах с типами памяти DDR2, DDR3 – прирост будет еще меньше, но это не повод от него отказываться. Конечно, увеличение производительности зависит от степени самого разгона, но если говорить совсем обобщенно и усредненно, то вы, вероятно, увидите вышеописанные цифры.

Разгонять память совсем не так страшно, как разгонять CPU или GPU. Разгоняя CPU, вы должны следить за его охлаждением, за тем, справится ли охлаждение с увеличением частоты. Память не особенно перегревается, поэтому разгонять ее довольно безопасно. Даже на нестабильных частотах худшее, что может произойти – это выявление ошибки при тесте на стабильность. Однако если вы проводите эти эксперименты на ноутбуке, вам нужно убедиться, что вы сможете очистить CMOS (восстановив настройки в BIOS по умолчанию), если что-то пойдет не так.

#### 4.2.2. Параметры, влияющие на разгон ОЗУ

*Частота и тайминги.* Это самые главные характеристики ОЗУ. Тайминги отображают, какой промежуток времени необходим модулю RAM для доступа к битам данных при выборке из таблицы массивов памяти. Если говорить простым языком, то чем они ниже, тем лучше. Однако именно частота всё же является самой важной характеристикой и в большей степени влияет на производительность памяти.

*Вольтаж.* Как и при разгоне процессора, память, работающая на высокой частоте, потребует и увеличенного напряжения, подаваемого на чипы. Для ОЗУ с типом DDR2, 1,8 В – нормальное напряжение. Для DDR3 – уже 1,5 В. А для современной DDR4 – 1,2 В. Соответственно, для каждого типа существует определенный уровень напряжения, через который не рекомендуется переступать, чтобы память работала стабильно и не вышла из строя. Для DDR2 значение 2,2 В считается пиковым. Для DDR3 – 1,7 В. Для DDR4 – 1,4 В.

*Ранг памяти.* Существует два основных типа: двухранговая и одноранговая ОЗУ. Если плата содержит набор из восьми 8-битных чипов (в общей сложности получается 64 бита) то это один ранг (single rank). Если плата содержит шестнадцать восьми битных чипов, то она, соответственно, двухранговая (dual rank). С точки зрения разгона, single rank намного выгоднее. Он не только дешевле по цене, но и позволяет планке взять более высокую частоту. Dual rank же на стоковых частотах показывает себя, как более мощное устройство, однако покоряет далеко не самые высокие вершины частоты. Поэтому двухранговая память лучше подойдет в стоковые сборки, где не планируется оверклокинг.

Узнать, сколько рангов имеет ваша память, очень просто. Для этого нужно воспользоваться любой утилитой, которая мониторит технические характеристики ваших комплектующих. Например, с этой задачей хорошо справляется программа CPU-Z. На вкладке SPD, в графе Ranks, вы найдете то, что вам нужно (рис. 53).

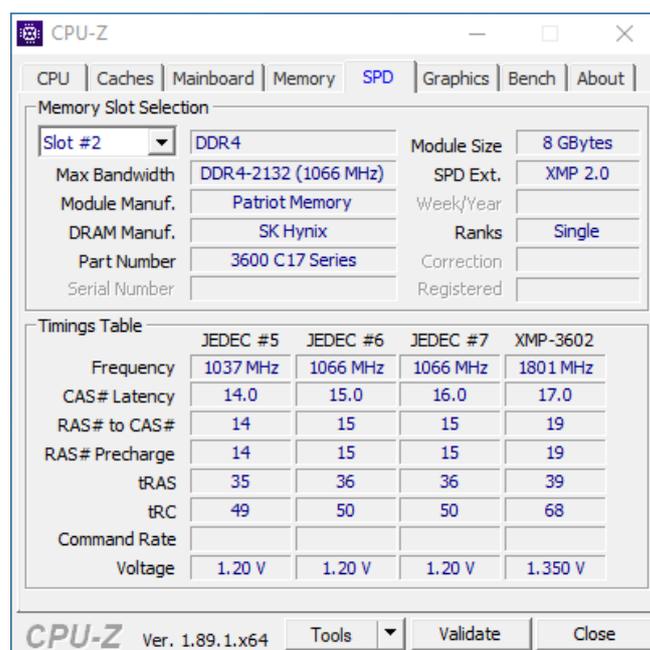


Рис. 53. Определение ранга ОЗУ

Еще можно взглянуть на маркировку на самой планке. Однако производитель не всегда наносит на маркировку подобные данные. Одноранговые модули помечаются буквой S. Двухранговые – буквой D. Пример:

- KVR21N15S8/8 – одноранговая;
- KVR21N15D8/8 – двухранговая.

### 4.2.3. Производители модулей оперативной памяти

Основными производителями чипов оперативной памяти являются три компании – Samsung, SK Hynix и Micron. Суммарно они занимают более 90 % мирового рынка<sup>25</sup> (рис. 54).

**Figure: 2Q19 Global Branded DRAM Revenue Ranking** Unit: Million USD

| Ranking | Company      | Revenue       |               |              | Market Share  |               |
|---------|--------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
|         |              | 2Q19          | 1Q19          | QoQ          | 2Q19          | 1Q19          |
| 1       | Samsung      | 6,783         | 6,968         | -2.7%        | 45.7%         | 42.7%         |
| 2       | SK Hynix     | 4,261         | 4,877         | -12.6%       | 28.7%         | 29.9%         |
| 3       | Micron       | 3,041         | 3,760         | -19.1%       | 20.5%         | 23.0%         |
| 4       | Nanya        | 400           | 369           | 8.4%         | 2.7%          | 2.3%          |
| 5       | Winbond      | 149           | 149           | 0.1%         | 1.0%          | 0.9%          |
| 6       | Powerchip    | 83            | 98            | -15.3%       | 0.6%          | 0.6%          |
|         | Others       | 127           | 110           | 15.8%        | 0.9%          | 0.7%          |
|         | <b>Total</b> | <b>14,844</b> | <b>16,332</b> | <b>-9.1%</b> | <b>100.0%</b> | <b>100.0%</b> |

Рис. 54. Компании, занимающиеся производством чипов ОЗУ

<sup>25</sup> Будиловский С. Ситуация на рынке памяти: цены чипов DRAM – падают, а NAND – стабилизировались // GECID.com. URL: [https://ru.gecid.com/news/situaciya\\_na\\_rynke\\_pamyati\\_ceny\\_chipov\\_dram\\_padayut\\_a\\_nand\\_stabilizirovalis](https://ru.gecid.com/news/situaciya_na_rynke_pamyati_ceny_chipov_dram_padayut_a_nand_stabilizirovalis).

Samsung Electronics Co., Ltd – южнокорейская компания, одна из мировых лидеров в области производства электроники, бытовой техники, средств мобильной связи, полупроводников, телекоммуникационного оборудования, чипов памяти, ЖК-дисплеев. Подразделение Device Solutions производит чипы памяти и процессоры.

SK Hynix Inc – южнокорейская компания, специализирующаяся на производстве и продаже полупроводниковой продукции. Компания создает динамическую память с произвольным доступом, флэш-память, дополнительный датчик полупроводниковых изображений с металлическим оксидом и т.д. Продукция компании разделена на сегменты: DRAM (оперативная память), NAND (флэш-память), SSD (твердотельные накопители), датчики изображения CMOS.

Micron Technology – американская транснациональная корпорация, известная своей полупроводниковой продукцией, основную часть которой составляют чипы памяти DRAM и NAND, флеш-память, SSD-накопители, а также датчики CMOS. Продукция для потребительского рынка продается под торговой маркой Crucial Technology, и малая часть продукции выходит под маркой Micron.

Однако обычные пользователи покупают не чипы, а готовые модули, и здесь соотношение сил совсем другое. Профильный сайт DRAMeXchange опубликовал анализ продаж за 2018 г. (рис. 55).

С огромным отрывом от конкурентов лидирует американская компания Kingston. Под этим брендом выпускаются почти 3/4 продаваемых в мире модулей. Стоит отметить, что Kingston занимает первое место уже 16 лет подряд. Безусловно, это огромный успех. Особенно ценным его делает то обстоятельство, что компания не является производителем полного цикла.

| <b>2018 Ranking</b> | <b>Company</b>             | <b>Shipment Market Share</b> | <b>DRAM Revenue (Million USD)</b> |
|---------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1                   | Kingston Technology        | 72.17%                       | 11,954                            |
| 2                   | SMART Modular Technologies | 5.07%                        | 839                               |
| 3                   | Ramaxel                    | 4.68%                        | 775                               |
| 4                   | ADATA Technology           | 3.89%                        | 644                               |
| 5                   | tigo                       | 2.08%                        | 345                               |
| 6                   | POWEV                      | 2.05%                        | 340                               |
| 7                   | Transcend Information      | 1.04%                        | 172                               |
| 8                   | Apacer Technology          | 0.96%                        | 159                               |
| 9                   | Team Group                 | 0.87%                        | 144                               |
| 10                  | Innodisk                   | 0.67%                        | 111                               |
|                     | Others                     | 6.53%                        | 1,082                             |
|                     | <b>Total</b>               | <b>100%</b>                  | <b>16,564</b>                     |

Note: Module Makers have diverse business operations. However, this ranking is based solely on their annual DRAM module revenues.  
Source: TrendForce, Aug. 2019

Рис. 55. Доля рынка ОЗУ различных фирм

Для ознакомления представлен рейтинг лучших производителей оперативной памяти, составленный редакцией журнала «Экспертология»<sup>26</sup>. Результаты рейтинга представлены в табл. 5. *Данный рейтинг носит субъективный характер, не является рекламой и не служит руководством к покупке.*

Таблица 5

Рейтинг лучших производителей оперативной памяти, составленный редакцией журнала «Экспертология»

| Место в рейтинге | Производитель | Рейтинг |
|------------------|---------------|---------|
| 1                | Corsair       | 5,0     |
| 2                | Adata         | 4,9     |
| 3                | Crucial       | 4,8     |
| 4                | HyperX        | 4,7     |
| 5                | Samsung       | 4,6     |
| 6                | AMD           | 4,5     |
| 7                | G.Skill       | 4,4     |
| 8                | Goodram       | 4,3     |
| 9                | Transcend     | 4,2     |
| 10               | Kingston      | 4,1     |



**Corsair.** Рейтинг: 5.0. В мире есть крайне небольшое количество компаний, специализирующихся только на производстве компьютерной памяти. Американская Corsair на первых порах была одной из таких. Однако сейчас ее ассортимент значительно расширился. Это объясняется постепенным снижением спроса на традиционные компьютерные комплектующие – нынче многие люди отказываются от настольных ПК и ноутбуков в пользу более компактных устройств.

Corsair – это частная компания, штаб-квартира которой располагается в американском штате Калифорния. Она была зарегистрирована в январе 1994 г. В магазинах легко можно найти разные виды памяти, продающейся под брендом Corsair. В частности, американцы стараются зарекомендовать себя на рынке твердотельных накопителей. Также эта торговая марка хорошо известна геймерам, так как специально для них выпускаются гарнитуры, кресла, клавиатуры, компьютерные мыши и корпуса для ПК. Вся эта продукция имеет агрессивный и запоминающийся дизайн.

Что касается оперативной памяти, то к ней зачастую нет никаких претензий. Компания продолжает практиковать выпуск модулей, легко поддающихся разгону – для этого нужно лишь изменить несколько цифр в BIOS. Любопытно, что сейчас уже даже самые дешевые планки оснащаются радиатором, пусть и совсем простеньким. Это значит, что оперативная память не склонна к перегреву, как бы серьезно вы ее не нагружали. Такая оперативная память отлично подойдет для решения любых задач, предоставляя пользователю высокую частоту. Продукция под брендом Corsair вызывает только уважение. Вы

<sup>26</sup> Самошкин В. 10 лучших производителей оперативной памяти // Экспертология. URL: <https://expertology.ru/10-luchshikh-proizvoditeley-operativnoy-pamyati>.

можете спокойно брать такую оперативную память, вряд ли вы в ней разочаруетесь.



**ADATA.** Рейтинг: 4.9. Бренд Adata знаком многим владельцам компьютеров. Под ним выпускается множество мелкой электроники. В частности, вы легко можете найти в магазинах соответствующие USB-флэшки, карты памяти, пауэрбанки и многое другое. Складывается впечатление, что компания существует много лет. Но это не так. Ее основание произошло в не таком уж и далеком 2001 г. Тайваньский производитель начал свою историю с выпуска твердотельных накопителей, USB-флэшек, модулей DRAM и разнообразных мобильных аксессуаров. Эта продукция сразу же начала пользоваться спросом. Но отнюдь не из-за ее качества! Просто руководство компании решило сразу же сделать ставку на низкую стоимость. Впрочем, в дальнейшем кое-какие продукты все-таки перестали быть максимально дешевыми. В частности, это касается оперативной памяти.

В магазинах, торгующих компьютерной техникой, можно найти огромное количество разнообразных модулей DRAM от ADATA. До сих пор успешно продаются даже устаревшие планки, принадлежащие к типу DDR3. Такие модули могут стоить весьма недорого. Гораздо больше придется потратить на планки DDR4, обладающие радиатором и повышенной частотой. Интересно, что некоторое время назад тайваньский производитель зарегистрировал суб-бренд XPG. Именно под ним сейчас распространяется практически вся оперативная память, предназначенная для установки в ПК. Таким образом компания хочет добиться того, чтобы потребитель позабыл о низкой стоимости продукции ADATA.

Стоит ли покупать модули DRAM от тайваньской компании? А почему нет? Если речь идет о не самых дешевых планках, то они точно порадуют и мощностью, и долговечностью. Такие модули активно тестируются, а при их производстве наблюдается строгий контроль качества. Чего не скажешь о бюджетных планках. Они чаще всего не могут подвергаться разгону, также такой модуль спокойно может оказаться бракованным. Впрочем, проблемы вылезают в первые же часы использования компьютера, выявить их можно без особого труда. Стало быть, при покупке брака вы сдадите его обратно по гарантии.



**Crucial.** Рейтинг: 4.8. Crucial специализируется исключительно на производстве компьютерной памяти. Должно быть, именно поэтому об этой компании никогда не слышало большинство пользователей. На самом деле Crucial – это лишь бренд, торговая марка. Компания же называется Micron Technology. Ее штаб-квартира расположена на территории США.

Оперативную память Crucial можно найти в большинстве магазинов, торгующих компьютерной техникой. При этом не стоит искать модули стандарта DDR3. Эта компания уже полностью отказалась от производства таких планок. Ее заводы сконцентрировались на выпуске модулей типа DDR4, отличающихся высокой частотой. Иногда даже сверхвысокой! Сейчас в ассортименте компании

имеется ОЗУ, продающееся под суббрендом Ballistix. Такие планки предназначены для игровых компьютеров. Именно они бьют рекорды по скорости. Модули оперативной памяти Crucial отличаются не только высокой скоростью, но и долговечностью. Производитель настолько уверен в своем продукте, что он решился на предоставление пожизненной гарантии! Не действует она только в тех случаях, когда планка выходит из строя из-за неудачной попытки разогнать ПК.

**HYPERX** HyperX. Рейтинг: 4.7. А этот уже тот бренд, с которым знакомо большинство пользователей ПК. По крайней мере, тех из них, которые хотя бы раз в своей жизни собирали себе компьютер. Продукция под этой торговой маркой отличается замечательным соотношением цены и качества. Так было раньше, такой же ситуация остается сейчас, вряд ли что-то изменится в будущем. Фактически HyperX является подразделением американской компании Kingston Technology, о которой мы еще поговорим. Изначально под брендом HyperX выпускалась только оперативная память. Это были планки типа DDR2 и DDR3 со средней рабочей частотой.

В дальнейшем начался выпуск модулей типа DDR4, которые стали постепенно вытеснять собою планки устаревающего стандарта. Ну а потом компания Kingston стала позиционировать HyperX в качестве бренда, под которым продаются товары для геймеров. Ну а на прилавках магазинов начали появляться гарнитуры, SSD-накопители и всяческие игровые аксессуары – в частности, мыши, коврики для них и клавиатуры.

Если говорить о продающейся сейчас оперативной памяти, то ассортимент способен удивить любого человека, знакомого со сборкой ПК лишь понаслышке. Наибольшим спросом пользуются недорогие планки, которые можно приобрести всего за полторы-две тысячи рублей. Но, как уже говорилось выше, этот бренд позиционирует себя в качестве игрового. В связи с этим вы можете обнаружить в прайс-листах торговых сетей удивительные комплекты, оцененные в 34 или даже 56 тысяч рублей! Последний включает в себя восемь модулей DDR4, суммарный объем которых достигает впечатляющих 128 Гб.

**SAMSUNG** Samsung. Рейтинг: 4.6. О южнокорейской компании Samsung знают все. Однако многие потребители думают, что ею производятся лишь телевизоры, смартфоны и прочая подобная техника. Даже о существовании ноутбуков Samsung подозревают не все. А ведь южнокорейцы еще и комплектующие для ПК выпускают! В частности, они производят очень быструю память. Речь идет не о жестких дисках, а о твердотельных накопителях. Именно Samsung в свое время одной из первых начала снижать стоимость такого вида памяти, в связи с чем SSD стали доступны многим рядовым владельцам компьютеров. Ну а теперь дешеветь модули типа M.2, способные похвастать еще большей скоростью.

Оперативная память производится компанией Samsung достаточно давно. В свое время это была реальная альтернатива планкам DDR3 от именитых конкурентов, являющаяся значительно более дешевой. При этом брак в этой продукции встречался достаточно редко. Проблема же заключалась в стандартной

скорости модулей памяти, южнокорейцы не стремились выпускать планки с повышенной частотой. Впрочем, ситуация не изменилась до сих пор. Компания перешла на тип DDR4, но особо высокими параметрами ее творения не отличаются. Но зато подобная оперативная память – лучший выбор для установки в офисный ПК. Такие планки даже не имеют радиатора, так как они практически не нагреваются. Недостаток продукции Samsung – в отсутствии ассортимента. Весь он представляет собой буквально пару-тройку моделей. Покупателю банально не из чего выбирать. А еще эта оперативная память постепенно пропадает из магазинов. По всей видимости, южнокорейцы решили сконцентрироваться на SSD.



**AMD.** Рейтинг: 4.5. О компании AMD знают многие. Она уже достаточно давно успешно составляет конкуренцию Intel, выпуская не менее мощные, но чуть более доступные чипсеты для ПК. Но на самом деле в ассортименте Advanced Micro Devices – отнюдь не только компьютерные процессоры. Американский производитель появился на свет в далеком 1969 г.

Фактически история AMD началась с создания клона процессора Intel 8080. В дальнейшем же компания начала разрабатывать собственные продукты. Это дело получилось невероятно успешным. В 2006 г. дошло до того, что AMD поглотила одного из главных своих конкурентов – ATI Technologies. Примерно в то же время компания начала выпуск двухъядерных чипсетов. В этот момент стало ясно, что в будущем упор будет делаться не на повышение тактовой частоты, а на увеличение количества ядер.

Как уже говорилось выше, ассортимент AMD составляют не только процессоры. На прилавках магазинов легко можно обнаружить ее видеокарты. Они успешно конкурируют с продукцией NVIDIA, являясь менее дорогим аналогом, пусть и заодно менее функциональным. Примерно те же слова можно произнести и в отношении оперативной памяти AMD. Компания до сих пор выпускает планки типа DDR3, имеющие очень невысокую стоимость. Впрочем, всё чаще покупатели смотрят в сторону DDR4. Такие планки располагают радиатором, но лишь для улучшения дизайна, ведь подобный модуль практически не нагревается.

Продвинутые геймеры обычно покупают что-то из линейки Performance Series. Такие модули, конечно же, позволяют себя разгонять.



**G.Skill.** Рейтинг: 4.4. Производством оперативной памяти занято всего несколько стран. Одной из них является Тайвань. В частности, здесь базируется G.Skill. Эта компания основана в 1989 г., во времена активного развития компьютерной техники. Основатели предприятия сразу же решили, что ими будут производиться исключительно компьютерные комплектующие, так или иначе связанные с памятью. Никаких видеокарт, никаких гарнитур, никаких веб-камер. Вот почему сейчас на прилавках магазинов можно обнаружить лишь следующие устройства, продающиеся под брендом G.Skill: оперативная память – тайванцы начинали с DDR2, постепенно дойдя до современного высоко-

скоростного типа DDR4; твердотельные накопители – в их пользу делают свой выбор те, кому хочется значительно ускорить запуск операционной системы и установленных программ; флэш-память – какое-то время компанией производились карточки форматов MMC и SD. Также в некоторых магазинах можно найти карты памяти microSD.

В 2015 г. тайваньская компания все-таки решила выйти на рынок периферийных устройств. Так на свет появились игровая клавиатура и аналогичная компьютерная мышь. Но нельзя сказать, что компания делает серьезный упор на подобных девайсах – многие люди даже не знают об их существовании.

Что касается оперативной памяти G.Skill, то она предназначена исключительно для геймеров. Под этим брендом попросту не продаются сколь-либо дешевые модули. Более того, компания практически забыла о типе DDR3, а ведь во многих странах живет огромное количество людей, в компьютерах которых установлены материнские платы, поддерживающие именно такую память. И эти люди зачастую не собираются менять свой ПК.

Практически все модули ОЗУ, выпускаемые компанией G.Skill, оснащены радиатором. Такие планки не боятся высокого нагрева, к которому приводит разгон. Максимально тайванцы готовы предложить модули, частота которых доведена до 4400 МГц. Их покупка обойдется дорого – в России за комплект из двух планок по 8 Гб попросят свыше 21 тыс. рублей.



Goodram. Рейтинг: 4.3. Многие думают, что оперативная память всегда производилась всего в двух-трех странах. Такие люди не подозревают о существовании компании Wilk Elektronik. Ее штаб-квартира находится в Польше. Здесь же находится и завод, с конвейера которого сходят модули оперативной памяти. Это единственный завод такого типа, расположенный в Восточной и Центральной Европе.

Польская компания была основана в 1991 г. Первое десятилетие ее существования она занималась лишь дистрибуцией RAM, реализовывая до 70 % поставляемых в Польшу модулей памяти. На большее же предприятие замахнулось в 2000 г. Именно тогда был построен завод, на котором запустили производство оперативной памяти под брендом Goodram. На первых порах модули соответствовали всем требованиям компьютерных пользователей. По некоторым характеристикам они даже превосходили конкурентов! Однако сейчас планки соответствуют своему названию: это просто «хорошая память», не более того. И дешевая, что немаловажно. Вы легко можете найти скромные модули типа DDR3, продающиеся за 1000 рублей, а иногда и дешевле. Кстати, обладатели совсем стареньких компьютеров до сих пор могут найти в интернет-магазинах оперативную память Goodram типа DDR2.

Сейчас выпускается память стандарта DDR4. Однако это все-таки не продукция для энтузиастов. Хотя некоторых геймеров характеристики всё же устроят, ведь слабыми их назвать точно нельзя. Например, сейчас приличным спросом пользуются планки объемом 8 Гб, обладающие частотой 3000 МГц. Комплект из двух таких модулей, оснащенных радиатором голубого цвета,

обойдется всего в 6 тыс. рублей. Есть в ассортименте компании и 16-гигабайтные планки, но их рабочая частота – чуть меньше. Но зато в пересчете на 1 Гб такая оперативная память стоит значительно дешевле. Это делает их лучшим выбором для установки где-нибудь в компьютерном сервере.

Продукция Goodram заслуживает потраченных на нее денег. Зачастую весьма небольших, что не может не радовать.

 **Transcend**<sup>®</sup> Transcend. Рейтинг: 4.2. Когда кто-то слышит о бренде Transcend, чаще всего ему на ум приходят USB-флэшки и карты памяти этого производителя. Действительно, он выпускает их в больших количествах. Но на самом деле данная компания производит и более серьезную продукцию. Transcend – это тайваньский производитель разнообразной электроники, основанный в 1988 г. Главный офис компании находится в Тайбэе, по соседству со множеством других IT-гигантов.

Сейчас этот бренд хорошо известен. При этом нельзя сказать, что распространяющаяся под ним продукция имеет какие-то неоспоримые достоинства. Даже карты памяти не способны похвастать какими-то невероятными скоростными характеристиками. Но зато они частенько получают пожизненную гарантию. Ее имеют и некоторые флэш-накопители.

Можно подумать, что производство оперативной памяти Transcend запустилось совсем недавно. Но это не так. Она выпускает ее не первый год, о чем свидетельствует наличие в ассортименте модулей типа DDR3. Впрочем, сейчас покупатели всё чаще останавливают свой выбор на планках DDR4. Ими компания тоже располагает, но в очень ограниченном количестве. По сути ею выпускаются всего несколько моделей, отличающихся по достижимой рабочей частоте. И ни одну из них нельзя назвать подходящей для игрового компьютера. Чаще всего планки оперативной памяти Transcend получают объем 8 Гб, особенно принадлежащие к типу DDR4. Что касается частоты, то максимально тайваньский производитель добился 2666 МГц. Такую память нельзя назвать медленной, однако и быстрой она не является. Неспроста модуль даже не имеет радиатора, он толком не нагревается.

Рекомендуется покупать оперативную память Transcend для установки в сервере или обычном офисном компьютере. В первом случае вас могут заинтересовать 16-гигабайтные модули, их тайваньский производитель тоже выпускает. Однако стоимость такой планки отнюдь не низкая, она равняется примерно 13 тыс. рублей.

 **Kingston** Kingston. Рейтинг: 4.1. Заканчивает подборку еще один американский производитель оперативной памяти. Основание Kingston Technology произошло в 1987 г. Тогда чувствовалась нехватка чипов памяти, в связи с чем Джон Ту и Дэвид Сан решили запустить их производство. С тех пор компания успела представить самые разные устройства. В частности, некоторое время ею создавались MP3-плееры.

Впрочем, попытки выйти в другие сегменты рынка электроники вряд ли можно назвать удачными. Следует признать, что сейчас бренд Kingston ассоциируется исключительно с компьютерной памятью.

Сейчас американская компания стремится продвигать собственные твердотельные накопители. Они радуют сравнительно невысокой ценой и приличным объемом.

Что касается оперативной памяти, то покупателя ждет очень широкий ассортимент. Какие-то модули предназначены для серверов, другие устанавливаются в ноутбук, третьи найдут себе место в офисном и маломощном ПК, ну а четвертые планки должны устроить бывалых геймеров.

С конвейера заводов Kingston сходят модули оперативной памяти самого разного объема. В магазинах можно найти даже двух гигабайтные планки, которые сейчас почти не пользуются спросом. Такие модули принадлежат к типам DDR2 и DDR3, а их рабочая частота редко превышает 1333 МГц. Что касается более производительных решений, то складывается впечатление, что компания забыла о геймерах. Да, под брендом Kingston продаются 16-гигабайтные планки типа DDR4, но рабочая частота 2400 МГц говорит о том, что это все-таки вариант не для игрового, а для обычного компьютера. Всё объясняется тем, что игровые решения продаются под отдельной торговой маркой. Это NuregX – бренд, уже упомянутый в нашем рейтинге производителей оперативной памяти.

Несмотря на то что Kingston замыкает этот рейтинг, мы смело рекомендуем его продукцию к приобретению. Она отличается долгим сроком службы и полным соответствием заявленным характеристикам. Это отличный вариант для обычного домашнего ПК, использующегося для запуска игр лишь в редких случаях.

*Заключение.* Продукция рассмотренных в этом рейтинге компаний не вызывает особых опасений. Хотя нельзя забывать о том, что абсолютно каждый производитель допускает определенный процент брака. Но он проявляет себя исключительно в первый день использования купленных планок, так что проблемы с возвратом товара в любом случае не возникнут. И именно поэтому оперативная память частенько снабжается чрезвычайно длительным гарантийным сроком – вплоть до десяти лет.

#### **4.2.4. Разгон оперативной памяти с помощью XMP профиля**

*Профиль XMP.* XMP или Extreme Memory Profiles – это технология, разработанная компанией Intel®, которая позволяет изменять множество параметров работы оперативной памяти за счет простого переключения профиля. Благодаря чему вы можете в полной мере воспользоваться всеми преимуществами более быстрой работы RAM. Если вы когда-либо задумывались о разгоне памяти, но подбор частоты, напряжения и таймингов кажется вам слишком сложным или затянутым, то вам определенно стоит познакомиться с XMP.

При установке памяти в систему существует набор стандартных скоростей (таймингов), с которыми будет работать ваша память. Этот стандарт назы-

вается JEDEC. Память DDR4 бывает DDR4-2133, DDR4-2400, DDR4-2666, DDR4-3000 и DDR4-3200 (цифра показывает тактовую частоту, на которой может работать модуль памяти, МГц). Это стандартные скорости, которых придерживаются все производители памяти.

Помимо JEDEC, есть еще один стандарт, который может определить скорость работы вашей памяти. Это экстремальный профиль памяти (XMP) изначально был создан компанией Intel® и теперь используется всеми производителями, выпускающими высокопроизводительную память для настольных ПК. В отличие от JEDEC, скорости в профиле XMP выше и обычно настраиваются под конкретные потребности памяти. Бывают модули памяти DDR4 рассчитанные на работу при повышенных частотах: 3466, 3600, 3733, 4000, 4133, 4266, 4400 и 4600 МГц (предельная частота непрерывно увеличивается производителями памяти).

При покупке памяти, совместимой с XMP, необходимы также материнская плата, совместимая с XMP, и центральный процессор, который поддерживает указанные скорости. Как правило, профиль XMP должен включаться в настройках BIOS вручную.

Если вы устанавливаете оперативную память XMP на материнскую плату, отличную от XMP, или если профиль XMP не включен, память будет работать в штатном режиме по таймингам JEDEC, установленным в вашем компьютере, это часто означает работу памяти на самой низкой скорости. Например, при выключенном XMP, пара модулей DDR4-3000 может запуститься со скоростью DDR4-2400, которую определит процессор.

*Как работает технология XMP.* При включении компьютера производится самопроверка всех устройств. Частью этого процесса является автоматическое конфигурирование установленного оборудования, в том числе и оперативной памяти. Компьютеру необходимо знать модель памяти, а также частоту и тайминги, которые необходимо установить. Для этого BIOS обращается к специальному чипу, находящемуся в RAM модулях. Он называется SPD (Serial Presence Detect или схема последовательного детектирования) и содержит информацию для правильной установки таймингов и частот. XMP, в свою очередь является расширением для SPD и содержит информацию о работе памяти на более высоких частотах и более коротких таймингах. Помимо этого, XMP также предоставляет данные для повышения напряжения, если это необходимо.

XMP профили по существу позволяют корректно настроить высокопроизводительные RAM модули в вашей системе, при условии, что они отвечают спецификациям DDR.

*Как и где настраиваются профили XMP.* Доступ к XMP профилям можно получить из BIOS (UEFI) вашей материнской платы. К сожалению, не всегда можно указать где конкретно вы можете найти эти настройки, поскольку BIOS различных производителей сильно отличается. Попробуйте найти пункты содержащие слова Memory, Overclocking, Speed или XMP.

#### 4.2.5. Пример быстрой настройки XMP для разгона компьютера

Чтобы использовать простые настройки XMP, ПК должен обладать следующими характеристиками:

1. ЦП Intel.
2. Материнская плата и чипсет с поддержкой XMP.
3. XMP – совместимая оперативная память.

Каждый производитель материнских плат использует свой способ доступа к XMP, однако все они обычно схожи и последовательны<sup>27</sup>. В нашем примере используется ASUS Z97 PRO.

Войдите в BIOS. Для этого обычно вход осуществляется путем удерживания или многократного нажатия клавиши DEL, в редких случаях – F2. Обычно нужная клавиша указывается на экране до вывода информации об операционной системе. Сообщение выглядит примерно так: «Press F1 to continue, DEL to enter setup», «Press DEL to run setup» или «Please press DEL or F2 to enter UEFI BIOS settings». Нажать указанную клавишу нужно именно в момент вывода такого сообщения. Для верности нажимать можно несколько раз. Но если вы всё же не успеете, подождите, пока Windows запустится, и перезагрузите ПК, чтобы попытаться снова. При каждой загрузке пробуйте только одну клавишу. Проверить несколько вариантов вы может просто не успеть.

Перед загрузкой XMP частота по умолчанию для 16 ГБ установленной памяти DDR3 в нашем примере составляет 1600 МГц, как показано в красной рамке (рис. 56).

*Загрузка XMP: метод А.* В красной рамке на приведенном ниже скриншоте показано раскрывающееся меню включения / отключения XMP (рис. 57). Оно отобразится или будет активным только при наличии XMP совместимой материнской платы в сочетании с памятью, поддерживающей XMP.

Исходя из параметров XMP, поддерживаемых установленной памятью, вы можете загрузить доступные наборы XMP, такие как Profile 1 (Профиль 1), как показано на скриншоте, с помощью раскрывающегося меню (рис. 58).

Выбрав Профиль 1, вы увидите его характеристики. В нашем примере это частота 2999 МГц, синхронизация 12-14-14-36 и т.д. (рис. 59).

Если вас устраивают эти значения и настройки, и вы хотите применить их, нажмите клавишу F10 для их сохранения и перезапуска ПК, чтобы настройки XMP вступили в силу.

Снова войдите в BIOS, чтобы убедиться, что изменения применены: прежде всего, частота должна возрасти с 1600 до 3000 МГц (или 2999 МГц) (рис. 60).

---

<sup>27</sup> Быстрые настройки XMP для разгона компьютера // adata.com. URL: <https://www.adata.com/upload/faq/RU-XMP.pdf>.



Рис. 56. Определение действующей частоты модулей памяти



Рис. 57. Раскрывающееся меню включения / отключения XMP

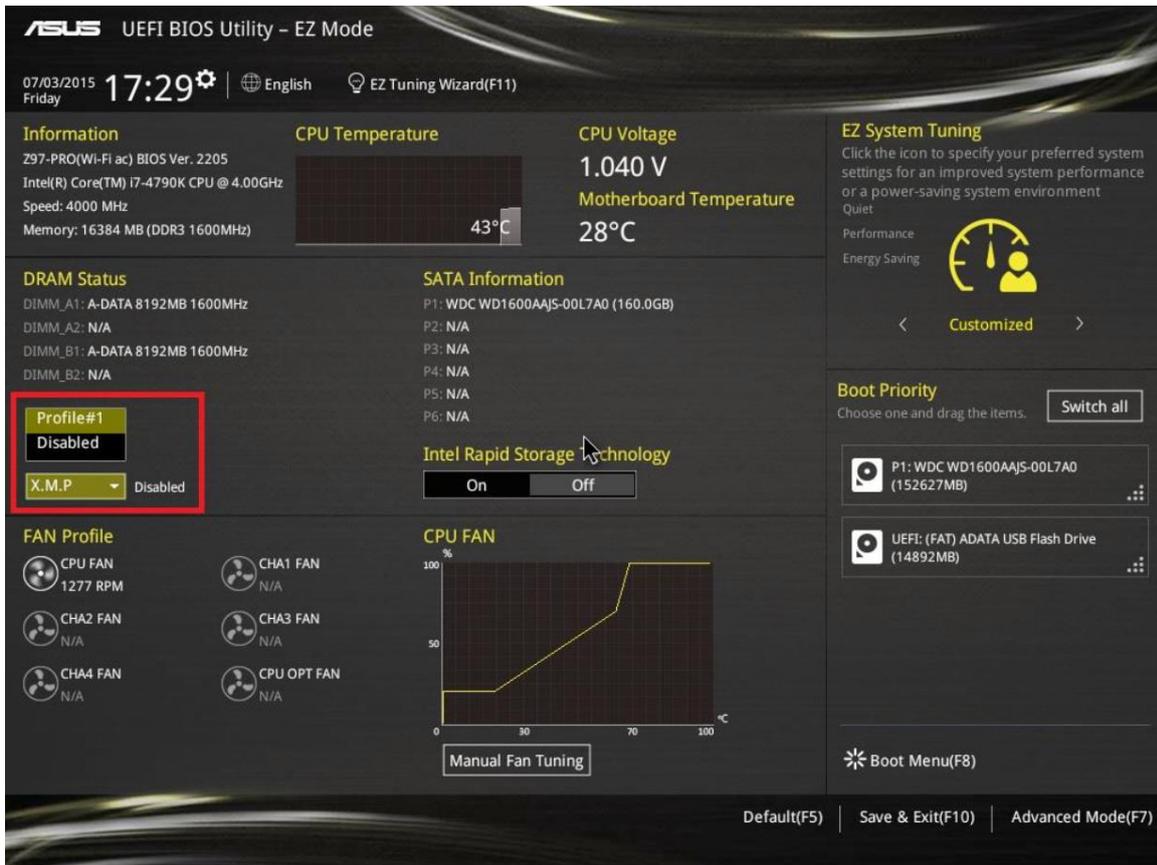


Рис. 58. Раскрывающееся меню включения / отключения XMP



Рис. 59. Характеристики XMP профиля 1



Рис. 60. Проверка применения XMP профиля 1

*Загрузка XMP: метод Б.* Для используемой в примере материнской платы мы можем применить утилиту ASUS Ai Tweaker для включения XMP. Войдите в BIOS и перейдите к разделу Ai Tweaker (либо нажмите клавишу F7 для быстрого перехода). В подразделе Ai Overclock Tuner перейдите к параметру XMP и выберите профиль для включения (рис. 61).

Убедившись, что настройки отвечают вашим требованиям, нажмите клавишу F7, чтобы покинуть раздел Ai Tweaker, а затем нажмите клавишу F10 для сохранения новых настроек и перезапуска ПК, что необходимо для вступления настроек XMP в силу. Как и в предыдущем методе, при перезапуске снова войдите в BIOS и убедитесь, что настройки разгона компьютера применены.

Если система стартовала успешно, то нужно запустить стресс-тест. С этой задачей справится встроенный бенчмарк в AIDA64. Но лучше воспользоваться специализированным софтом MemTest86.

В современных материнских платах присутствует настройка XMP профиля в двух вариантах.

*Разница между двумя профилями.* Модули памяти, поддерживающие XMP, содержат два профиля – «Profile 1» и «Profile 2». Первый содержит настройки разгона, которые позволят работать вашей памяти с настройками, указанными на коробке. Как правило, этот профиль предоставляет немного более скромный разгон, но в то же время и наиболее стабильный. Второй профиль содержит информацию для экстремального разгона и достижения максимальной производительности. Наличие двух профилей позволит вам быстро пере-

ключаться между ними для достижения максимальной производительности в тех случаях, когда это необходимо. Просто выберите один из двух профилей, сохраните настройки и перезагрузитесь.

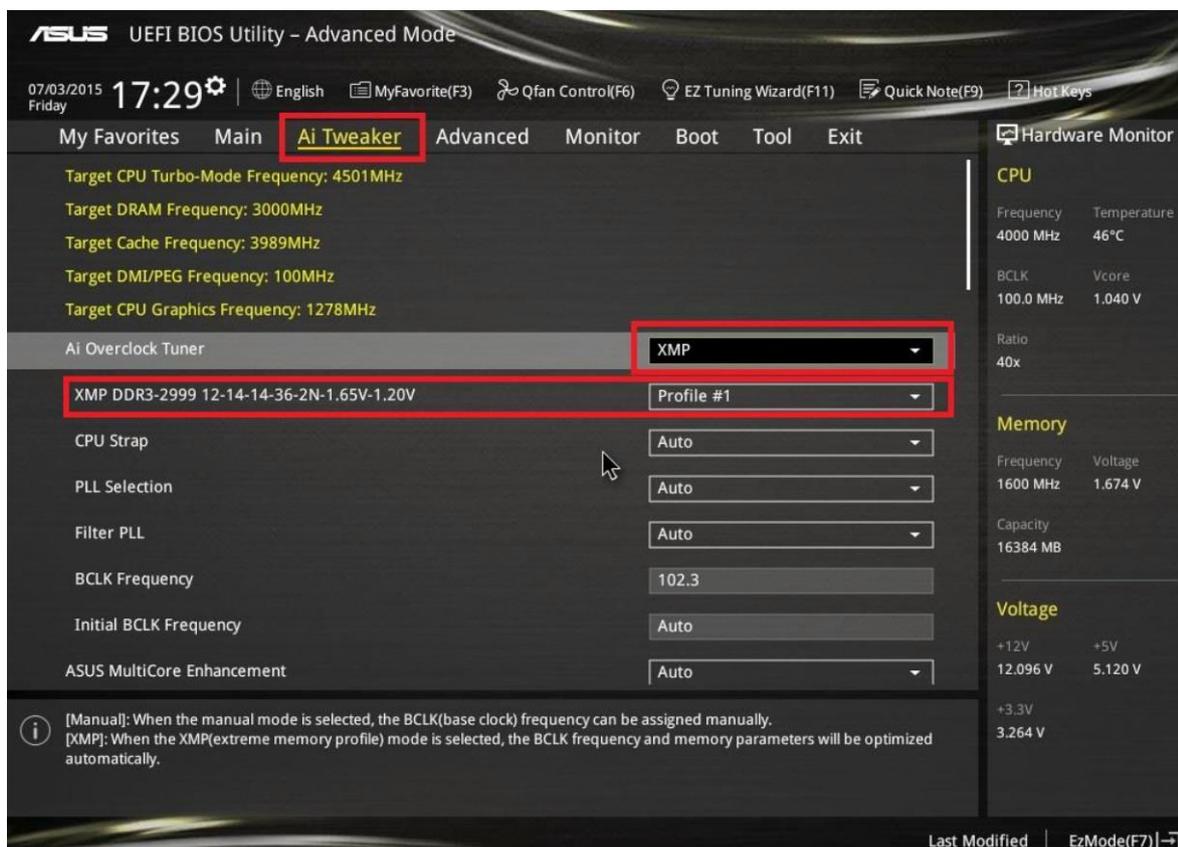


Рис. 61. Настройка XMP профиля 1 через утилиту ASUS Ai Tweaker

*Проверка характеристик памяти CPU-Z.* Вы можете использовать бесплатную утилиту CPU-Z, чтобы проверить многочисленные параметры ПК, включая частоту работы памяти. Это позволит вам узнать скорость памяти, фактически фиксируемую вашей операционной системой, за пределами BIOS. Имейте в виду, что значение, полученное при помощи утилиты CPU-Z, должно быть удвоено для памяти DDR3 для расчета фактической скорости (в нашем примере  $1500 \times 2 = 3000$  МГц) (рис. 62).

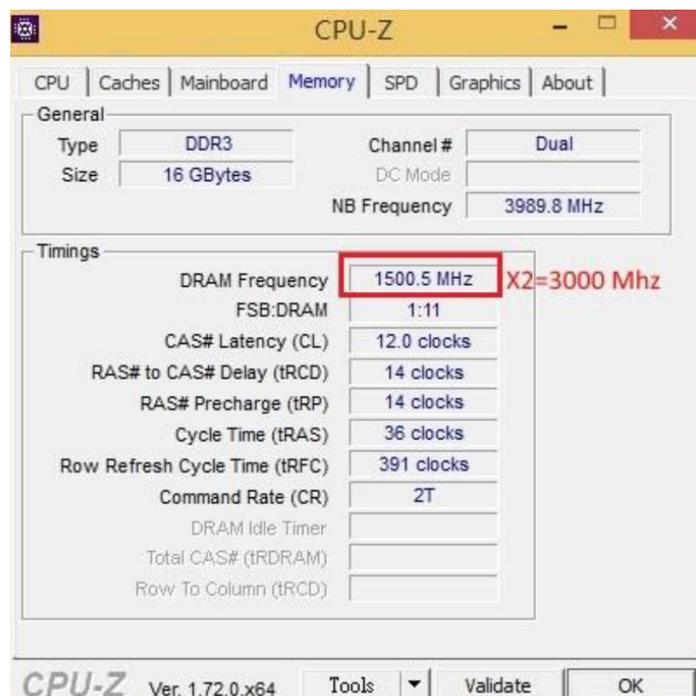


Рис. 62. Определение с помощью утилиты CPU-Z настройки памяти

### 4.3. Программы для проверки оперативной памяти ЭВМ

Существует значительное число симптомов ошибок оперативной памяти, среди наиболее часто встречающихся признаков можно выделить следующие<sup>28</sup>:

- частое появление BSOD – синего экрана смерти Windows. Не всегда связано с оперативной памятью (чаще – с работой драйверов устройств), но ее ошибки могут быть одной из причин;
- вылеты во время интенсивного использования RAM – в играх, 3D приложениях, видеомонтаже и работе с графикой, архивации и распаковке архивов (например, ошибка unarc.dll часто бывает из-за проблемной памяти);
- искаженное изображение на мониторе – чаще является признаком проблем видеокарты, но в некоторых случаях вызвано ошибками RAM;
- компьютер не загружается и бесконечно пищит. Можно найти таблицы звуковых сигналов для вашей материнской платы и узнать, соответствует ли слышимый писк сбоям памяти.

Наличие любого из этих симптомов не означает, что дело именно в RAM компьютера, но проверить ее необходимо.

Зачастую некорректная работа *нового модуля ОЗУ* проявляется сразу же после ее установки. Причиной возникновения этих проблем служат следующие ситуации<sup>29</sup>:

- не до конца установлен модуль в гнезде материнской платы;

<sup>28</sup> Как проверить оперативную память компьютера или ноутбука // remontka.pro. URL: <https://remontka.pro/test-ram>.

<sup>29</sup> Программы для проверки ОЗУ (оперативной памяти) на ошибки // ConfigPC – Copyright. URL: <https://configpc.su/hardware/ram/programmy-dlja-proverki-ozu-operativnoj-pamjati-na-oshibki-1759>.

- окисление поверхности контактов памяти по причине долгого хранения, в результате чего они становятся темнее и матовыми;
- несовместимость планок ОЗУ друг с другом (при установке двух и более одновременно);
- неисправность планки ОЗУ по причине заводского брака;
- несовместимость с контроллером памяти центрального процессора компьютера;
- неработоспособность разъема для модуля на материнской плате.

Меры, к которым стоит прибегнуть, чтобы диагностировать и устранить неполадки:

- удостовериться, что модуль вставлен правильно. Боковые защелки должны плотно фиксировать ОЗУ и предотвратить ее выпадение из гнезда;
- необходимо очистить окисленные контакты, для этого достаточно протереть по ним обычным ластиком (но аккуратно);
- сделать сброс настроек BIOS на стандартные (достаточно обесточить компьютер и извлечь батарейку с материнской платы на несколько минут, в случае с ноутбуком дополнительно извлечь аккумулятор);
- переставить планку в другой слот (при условии, что их несколько);
- дабы исключить вероятность несовместимости модулей оперативной памяти, сперва следует включить компьютер с одним из модулей, затем в разных вариациях с несколькими;
- произвести обновление BIOS, запустив ПК с использованием исправной ОЗУ.

Виновниками нарушения работоспособности оперативной памяти, в ситуации, когда компьютер исправно работал некоторое время, могут служить следующие причины:

- редактирование частот и таймингов ОЗУ в BIOS;
- разгон и выбор несоответствующего профиля XMP;
- заводской брак (порой проявляет себя спустя какое-то время использования);
- выпадение планки из разъема (преимущественно наблюдается в ноутбуках);
- нарушение в работе компонентов подсистемы памяти;
- окисление контактов.

В такой ситуации стоит предпринять следующее:

- проверить, что планки вставлены корректно;
- сделать сброс параметров BIOS на стандартные;
- произвести ластиком чистку контактов ОЗУ от возможно появившихся окислов;
- провести тестирование оперативки на наличие ошибок.

*Проверка оперативной памяти на ошибки утилитами.* Для большей уверенности в правдивости результатов тестирования, проверку следует делать по следующему алгоритму:

- производить тест спустя 30 минут после включения компьютера, не раньше;
  - по возможности, проверку производить при той же ситуации, когда происходят нарушения в работе памяти;
  - если ПК оснащен несколькими планками, выполняется проверка всех модулей сразу. При обнаружении проблем, следует повторить операцию над каждой планкой по очереди, до выявления неисправной;
  - рекомендуемое количество циклов (повторений) проверки около 15-ти.
- В большинстве случаев ошибки проявляются на первых циклах, другие могут дать о себе знать спустя многочисленное количество повторений теста.

*Что делать при выявлении ошибок?* Обнаружение даже единственной ошибки обозначает проблему в работе оперативной памяти. Но не стоит грешить исключительно на нее. Порой неисправность может находиться в самом слоте или системе питания, а также нарушения в работе линий передачи данных. Бывают случаи, когда сбои происходят от неправильно установленных таймингов. В этой ситуации необходимо сбросить настройки BIOS по дефолту.

#### 4.3.1. Проверка памяти стандартным средством Windows 10

Запуск стандартного средства проверки памяти Windows можно осуществить нажатием сочетания клавиш (Win + R), а в появившемся окне ввести имя утилиты (mdsched) (рис. 63).

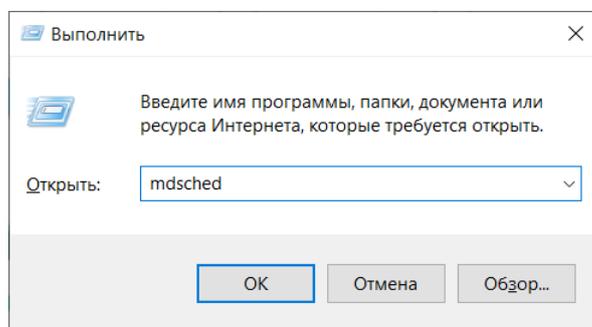


Рис. 63. Вызов окна запуска средств диагностики памяти Windows

Также, как альтернатива, возможно использовать поиск Windows 10, вводя фразу «диагностика проблем оперативной памяти компьютера» (рис. 64).

После запуска утилиты вам будет предложено перезагрузить компьютер для выполнения проверки памяти на ошибки (рис. 65). Выбирается время, когда будет проводиться проверка. Для немедленного запуска теста необходимо выбрать первый вариант, а для отложенного (при следующем включении ПК) второй.

После процесса перезагрузки (который в данном случае занимает больше времени чем обычно) начнется выполнение сканирования (рис. 66).

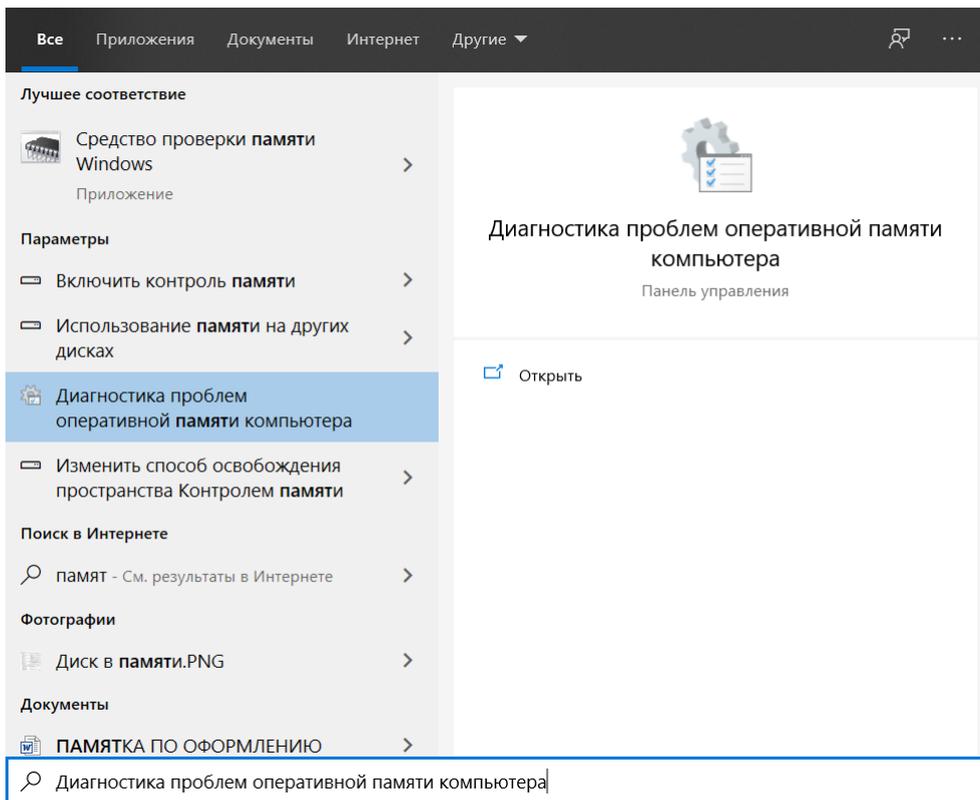


Рис. 64. Вызов средств диагностики памяти Windows через меню поиск

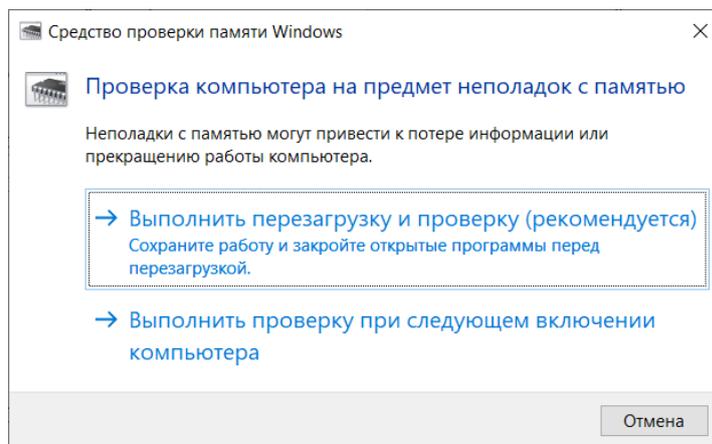


Рис. 65. Выбор варианта перезагрузки

Изначальные настройки довольно неоднозначны и поэтому их стоит изменить. Приостановка текущего тестирования и переход к параметрам, осуществляется нажатием одной клавиши F1. Предоставляется возможность изменить следующие настройки (рис. 67):

- тип проверки – базовый, обычный или широкий;
- использование кэша (Вкл., Выкл.);
- количество проходов теста.

Переход к очередному параметру осуществляется клавишей Tab. Сохранение указанных параметров и старт проверки оперативной памяти выполняется нажатием клавиши F10.

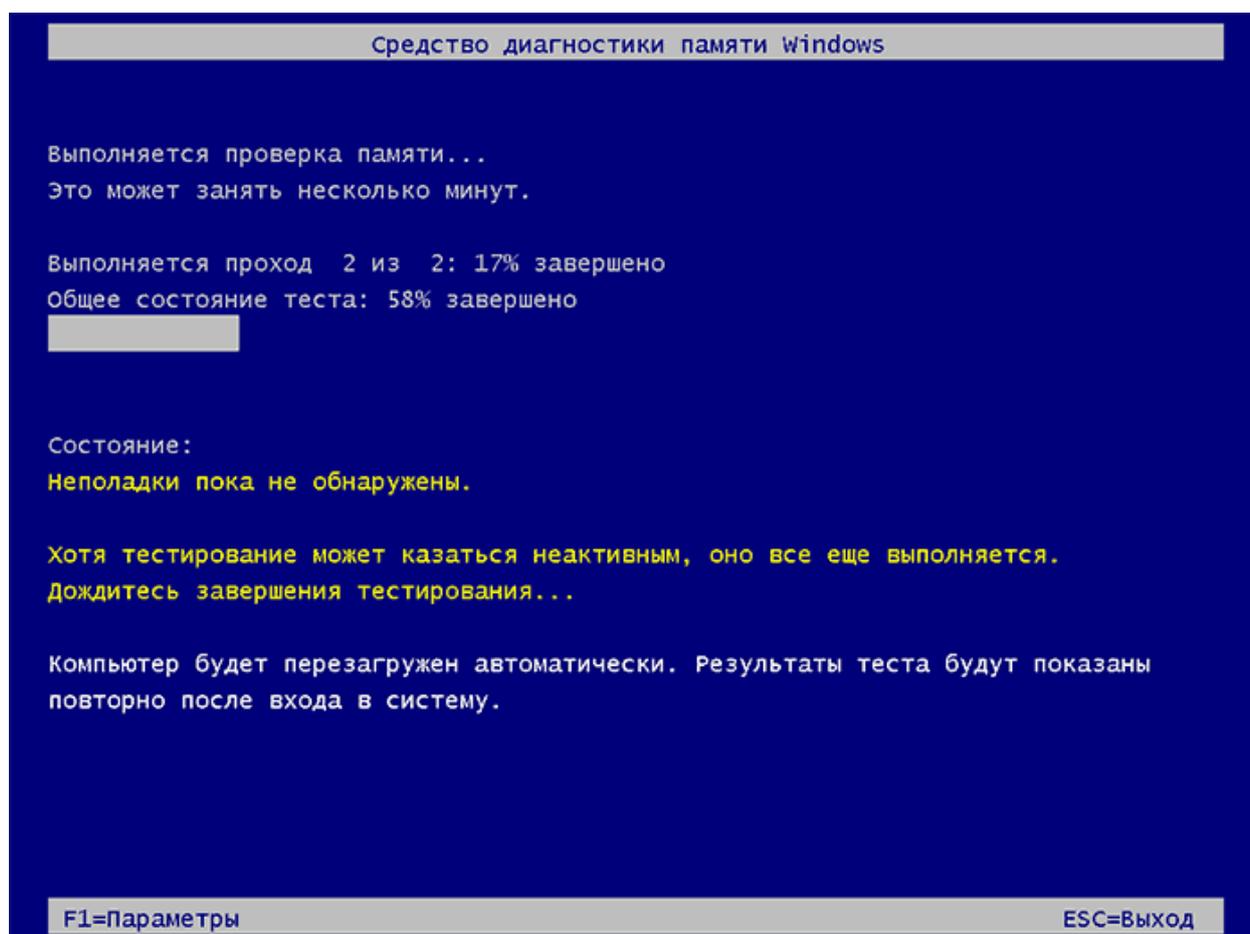


Рис. 66. Процесс сканирования, заданный по умолчанию

В процессе теста найденные ошибки отобразятся в разделе «Состояние». Не необходимости, непрерывно наблюдать весь процесс, нет. По завершению проверки оперативной памяти, компьютер загрузиться в обычном режиме, а пользователю будет выведено сообщение о результатах теста.

Однако есть один нюанс – результат может появиться спустя несколько минут после загрузки компьютера в виде короткого уведомления, но некоторые пользователи также сообщают, что иногда он вообще может не появляться. В этой ситуации вы можете использовать утилиту «Просмотр событий» Windows (используйте поиск для ее запуска).

В Просмотре событий выберите «Журналы Windows» – «Система» и найдите сведения о результатах проверки памяти – MemoryDiagnostics-Results (в окне сведений по двойному клику или внизу окна вы увидите результат, например, «Память компьютера проверена с помощью средства проверки памяти Windows; ошибок не обнаружено» (рис. 68).

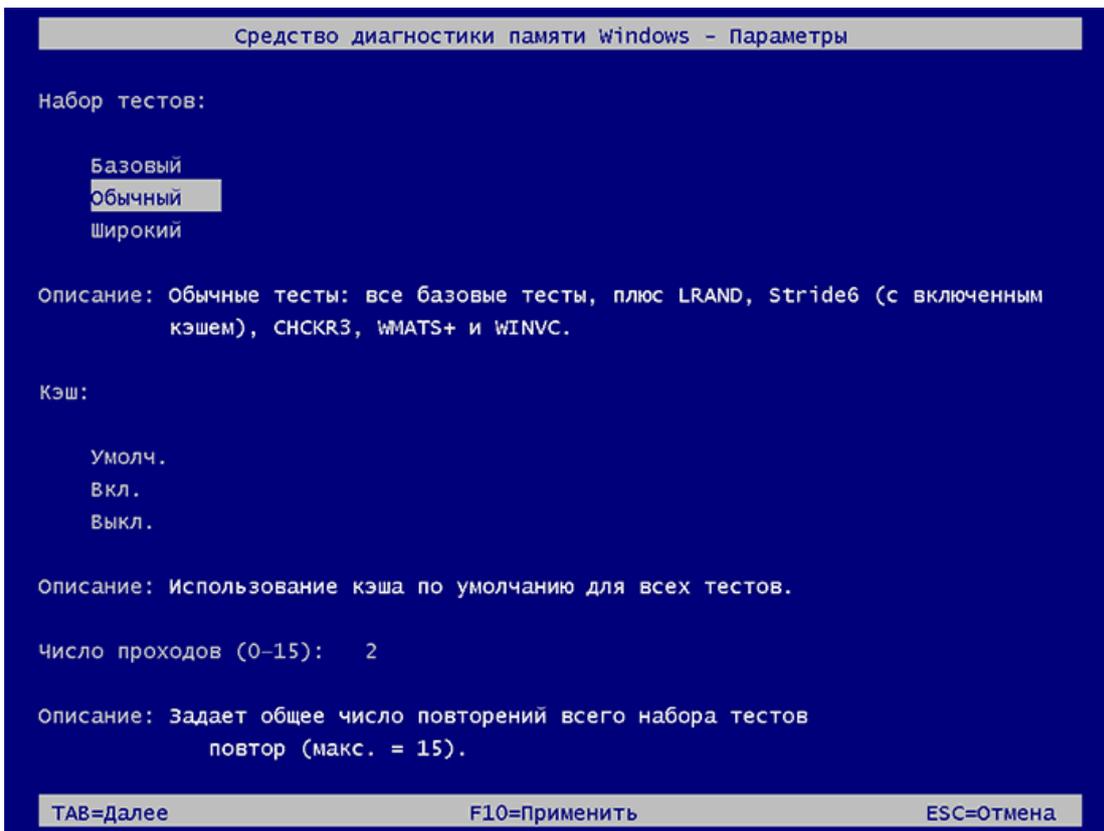


Рис. 67. Настройка процесса сканирования ОЗУ

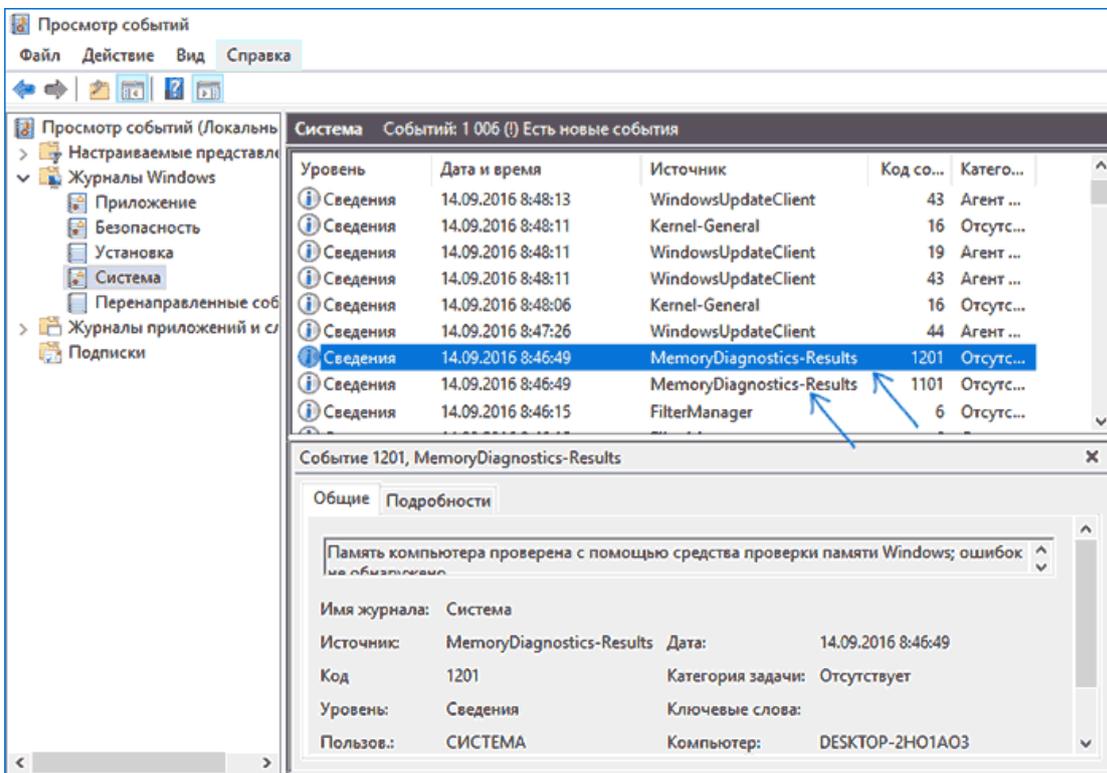


Рис. 68. Результаты сканирования ОЗУ

### 4.3.2. Проверка оперативной памяти memtest86+

Скачать бесплатно программу memtest вы можете с официального сайта. Лучше всего загрузить ISO файл в ZIP архиве. Здесь будет описан именно этот вариант.

Следующий шаг – записать образ ISO с memtest на флешку (предварительно распаковав его из ZIP архива) на диск. Если вы хотите сделать загрузочную флешку с memtest, то на сайте имеется набор для автоматического создания такой флешки.

Лучше всего, если проверять память вы будете по одному модулю. То есть открываем компьютер, извлекаем все модули оперативной памяти, кроме одного, выполняем его проверку. После окончания – следующий и т.д. Таким образом можно будет точно выявить сбойный модуль.

После того, как загрузочный накопитель готов, вставьте его в привод для чтения дисков в BIOS установите загрузку с флешки и, после сохранения настроек, загрузится утилита memtest.

Каких-то действий с вашей стороны не потребуется, проверка начнется автоматически (рис. 69).

После того, как проверка памяти завершится, вы сможете увидеть, какие ошибки памяти RAM были найдены. При необходимости, запишите их, чтобы потом найти в Интернете, что это такое и что с этим делать. Прервать проверку вы можете в любой момент, нажав клавишу Esc.

```
Memtest86 5.01 | Intel(R) Core(TM) i5-3317U CPU @ 1.70GHz
CLK: 1649 MHz (X64 Mode) | Pass 2%
L1 Cache: 32K 82470 MB/s | Test 15% ##### ← Общий прогресс
L2 Cache: 256K 35856 MB/s | Test #5 [Moving inversions, 8 bit pattern]
L3 Cache: 3072K 27039 MB/s | Testing: 0K - 32M 32M of 2048M
Memory : 2048M 12401 MB/s | Pattern: fdfdfdfd R | Time: 0:00:10
-----
Core#: 0 (SMP: Disabled) | RAM: 0 MHz (DDR3- 0) - BCLK: 0
State: - Running... | Timings: CAS 0-0-0-0 @ 64-bit Mode
Cores: 1 Active / 1 Total (Run: All) | Pass: 0 Errors: 0
-----
<€ €<
(ESC)exit (c)configuration (SP)scroll_lock (CR)scroll_unlock
```

Рис. 69. Вид интерфейса программы memtest86

В случае если ошибки нашлись, это будет выглядеть как на картинке ниже (рис. 70). Пользоваться Memtest86 куда проще, чем стандартным средством

Windows 10. Программа по умолчанию имеет оптимальные настройки, поэтому достаточно просто запустить тест и наблюдать за процессом на экране. Обнаруженные ошибки будут подсвечиваться красным цветом.

Что делать, если в результате теста обнаружены ошибки оперативной памяти? Если сбой серьезно мешает работе, то самый дешевый способ – это заменить проблемный модуль DRAM, к тому же цена не так высока. Хотя иногда помогают средства, приведенные выше.

Надежность тестов достаточна для проверки оперативной памяти на большинстве компьютеров, однако, как и в случае с любым другим тестом, в правильности результата нельзя быть уверенным на все 100 %.

```

Memtest86 v2.11 : Pass 25% #####
Intel Core 2 2400 MHz : Test 73% #####
L1 Cache: 32K 19675 MB/s : Test #4 [Moving inversions, random pattern]
L2 Cache: 4096K 15192 MB/s : Testing: 132K - 512M 512M
L3 Cache: None : Pattern: 6f3990d4
Memory : 512M 6170 MB/s :-----
Chipset : Intel i440BX

WallTime  Cached  RsvdMem  MemMap  Cache  ECC  Test  Pass  Errors  ECC  Errs
-----
0:02:24  512M    200K  e820-Std  on  off  Std    0    42    0

Tst  Pass  Failing Address  Good  Bad  Err-Bits  Count  Chan
-----
3    0  0000fcd22e0 - 252.1MB  fdfdfdfd  73616673  8e9c9b8e  34
3    0  0000fcd22e4 - 252.1MB  fdfdfdfd  73616664  8e9c9b99  35
3    0  0000fcd22e8 - 252.1MB  fdfdfdfd  fdfd6664  00009b99  36
3    0  00011314a78 - 275.2MB  fdfdfdfd  61666461  9c9b999c  37
3    0  00011314a7c - 275.2MB  fdfdfdfd  61666473  9c9b998e  38
3    0  00011314a80 - 275.2MB  fdfdfdfd  fdfdfd73  0000008e  39
3    0  00011314aac - 275.2MB  fdfdfdfd  647361fd  998e9c00  40
3    0  00011314ab0 - 275.2MB  fdfdfdfd  64736166  998e9c9b  41
3    0  00011314ab4 - 275.2MB  fdfdfdfd  fdfdfd66  0000009b  42
(ESC)Reboot (c)configuration (SP)scroll_lock (CR)scroll_unlock

```

Рис. 70. Ошибки оперативной памяти, выявленные в результате теста

### Контрольные вопросы

1. Процедура установки оперативной памяти.
2. Одноканальный режим работы оперативной памяти.
3. Двухканальный режим работы оперативной памяти.
4. Трехканальный режим работы оперативной памяти.
5. Преимущества многоканального режима работы ОЗУ.
6. Утилита CPU-Z.
7. Значение скорости работы оперативной памяти.
8. Параметры влияющие на разгон ОЗУ.
9. Производители модулей оперативной памяти.
10. Разгон оперативной памяти с помощью XMP профиля.
11. Проверка памяти стандартным средством Windows 10.
12. Проверка оперативной памяти memtest86.

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Баранникова, И.В. Вычислительные машины, сети и системы. Функционально-структурная организация вычислительных систем : учеб. пособие / И.В. Баранникова, А.Н. Гончаренко. – Москва : Изд. дом МИСиС, 2017. – 103 с. – ISBN 978-5-906846-93-8. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/78550.html> (дата обращения: 03.06.2020).

Буцык, С.В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации : учеб. пособие по дисциплине «Вычислительные системы, сети и телекоммуникации» для студентов, обучающихся по направлению 09.03.03 Прикладная информатика (уровень бакалавриата) / С.В. Буцык, А.С. Крестников, А.А. Рузаков ; под ред. С.В. Буцык. – Челябинск : Челяб. гос. ин-т культуры, 2016. – 116 с. – ISBN 978-5-94839-537-1. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/56399.html> (дата обращения: 03.06.2020).

Гельбух, С.С. Архитектура и организация сетей ЭВМ и телекоммуникаций : учеб. пособие / С.С. Гельбух. – Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т им. Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2015. – 193 с. – ISBN 978-5-7433-2966-3. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/76477.html> (дата обращения: 03.06.2020).

Гуров, В.В. Архитектура и организация ЭВМ / В.В. Гуров, В.О. Чуканов. – 2-е изд. – Москва : Интернет-ун-т информ. технологий (ИНТУИТ), 2016. – 183 с. – ISBN 5-9556-0040-X. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/73706.html> (дата обращения: 03.06.2020).

Догадин, Н.Б. Архитектура компьютера : учеб. пособие / Н.Б. Догадин. – 4-е изд. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 272 с. – ISBN 978-5-00101-662-5. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/6474.html> (дата обращения: 03.06.2020).

Кузьмич, Р.И. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации : учеб. пособие / Р.И. Кузьмич, А.Н. Пупков, Л.Н. Корпачева. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. – 120 с. – ISBN 978-5-7638-3943-2. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/84333.html> (дата обращения: 03.06.2020).

Орлов С.А. Организация ЭВМ и систем : учеб. для вузов / С.А. Орлов, Б.Я. Цилькер. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2011. – 688 с.

Таненбаум Э. Архитектура компьютера / Э. Таненбаум, Т. Остин. – 6-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2013. – 816 с.

Учебное издание

**Сорокин Александр Васильевич**

**Оперативная память ЭВМ**

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

ИД № 06318 от 26.11.01.

Подписано в пользование 05.06.20.

Научное издательство Байкальского государственного университета.

664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11.

<http://bgu.ru>.