

Марценюк Михаил Андреевич

*Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой компьютерных систем и
телекоммуникаций (КСиТ) Пермского государственного
национального исследовательского университета
(ПГНИУ).*

**Машкин Сергей Викторович**

*Кандидат технических наук, старший
преподаватель кафедры КСиТ ПГНИУ.*

**Сивков Владимир Григорьевич**

*Доцент кафедры общей физики
ПГНИУ.*

Физические основы хранения информации: три типа памяти

Мы воспринимаем компьютеры как данность и редко задумываемся о том, что в основе информационных процессов, протекающих в компьютере, лежат физические законы. Далеко продвинутые технические достижения современной информатики позволяют нам «забыть», что компьютеры – это, хотя и очень сложные, но всё-таки «всего лишь» физические приборы! Некоторые пользователи (вероятно, мало искушённые в физике) думают даже, что компьютеры – это живые существа. В сложных ситуациях они обращаются к компьютеру с ласковыми словами, как будто он может их услышать и помочь в разрешении трудностей. Не будем осуждать таких пользователей, а попробуем изучить те физические принципы, которые лежат в основе информационных процессов. В данной статье рассмотрены основные физические способы хранения информации.

Многие молодые люди, находясь под впечатлением больших достижений в области информационных технологий, могут подумать, что «всё уже сделано!». Но на самом деле это совсем не так! Нас ещё ждут здесь великие достижения! Мы готовили эту статью с надеждой, что изложенные в ней материалы помогут нашим молодым людям сделать

самый первый шаг к достижению новых вершин. Наша статья предназначена для школьников старших классов, которые смогут выполнить часть предложенной работы по моделированию и конструированию несложных физических систем самостоятельно, а другую часть – под руководством учителя.

От перфокарты к компакт-диску

Как известно, любая информация (буквы, слова, рисунки или звуки) представлена в компьютере в виде двоичного кода, то есть в виде чисел, записанных в двоичной системе счисления. При этом слова «*информация представлена*», обозначают, что она *представлена физически*, внутри компьютера существуют физические системы, которые могут находиться в состояниях, условно обозначаемых цифрами «0» или «1».

Например, когда мы говорим, что некоторый файл занимает в памяти компьютера 1 килобайт = 1024 байт, или, что то же самое, 8192 бит информации, это значит, что хранением данной информации заняты 8192 физических системы. На рис. 1

представлено изображение картонной перфокарты (перфорированной карты, т. е. карты, продырявленной в некоторых местах). Такая карта может хранить 960 бит информации (12 строк по 80 символов в строке), то есть 120 байт. Она имеет площадь $187,3 \times 82,6$ кв. мм. Роль «физической системы», хранящей один бит информации, здесь играет участок бумаги размером около 16 кв. мм. Если данный участок на перфокарте удалён (на рисунке такие участки показаны чёрным цветом), то считается, что он находится в состоянии «0». Если он не удалён – то в состоянии «1». Подобные перфокарты использовались для ввода информации в ЭВМ в то время, когда ещё не было современных технологий.

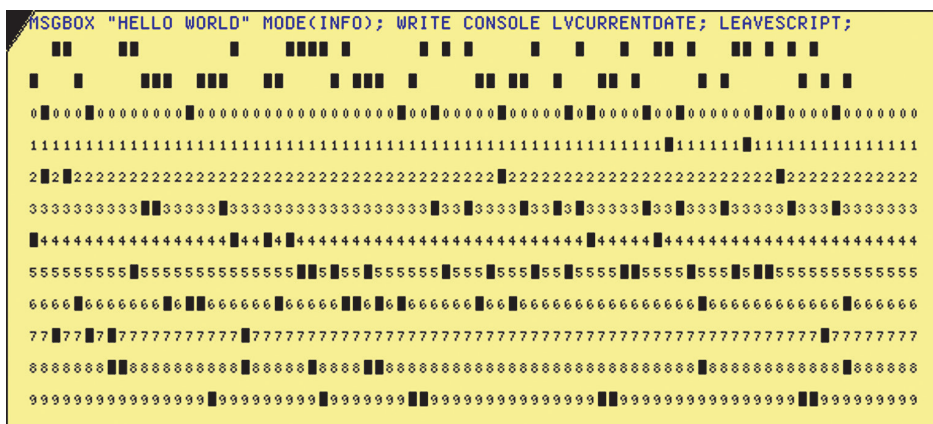


Рис. 1. Перфокарта имеет площадь $187,3 \times 82,6$ кв. мм и может хранить 960 бит информации (12 строк по 80 символов в каждой строке). Площадь на один бит составляет 16 кв. мм

Если речь идёт просто о *хранении информации*, то это могут быть отметки на дереве, на камне или какие-нибудь знаки на бумаге. Но когда говорят о *компьютерной памяти*, то мы должны позаботиться о том, чтобы «чтение» и «запись» информации можно было поручить некоторому устройству, которое могло бы само «сделать запись» или «прочитать» написанное. Перфокарта на рис. 1 удовлетворяет этим условиям. Устройство под названием «перфоратор» может пробить дырочки в нужных местах, а другое устройство, «считыватель», может «прочитать» записанную информацию и ввести её в машину. Однако перфокарта имеет свои плюсы и минусы. Плюс состоит в том, что мы сами видим информацию, записанную на карте (а не только машина). Минус перфокарты в том, что один бит информации по нынешним меркам занимает огромную площадь, равную 16 кв. мм!

Рассмотрим в качестве второго примера компакт-диск (рис. 2). Компакт-диск (англ. compact disc) – оптический носитель информации, представляющий собой пластиковый диск диаметром 120 мм и толщиной 1,2 мм с отверстием в центре. Процесс записи и считывания информации осуществляется при помощи лазера. Нетрудно вычислить, что полезная площадь диска составляет около 9300 кв. мм – почти в полтора раза меньше, чем у перфокарты. При этом диск может хранить 700 Мбайт информации! Как можно подсчитать, на 1 Мбайт информации, записанной на диске, приходится около 13 кв. мм, то есть квадратик размером $3,6 \times 3,6$ кв. мм, а на 1 бит – площадка размером всего лишь $1,2 \times 1,2$ кв. микрон (напомним, что микрон – это одна тысячная доля миллиметра)! Таким образом, прогресс технологий выражается в значительном сокращении

места, которое занимает информация в памяти. Физическая система – участок на поверхности диска – настолько мал, что мы можем рассмотреть его только в микроскоп.



Рис. 2. Изображение компакт-диска. Полезная площадь диска составляет около 9300 кв. мм. Объём хранимой информации достигает 700 Мб. На один бит приходится $1,2 \times 1,2$ кв. микрон. Снизу показана поверхность компакт-диска в 416-кратном увеличении. Способ фотографии: световой микроскоп

Ещё больше уплотнена информация на дисках DVD. DVD диск, имеющий те же размеры, что и компакт-диск, может хранить в одном слое уже 4,7 Гб, что почти в 7 раз больше, чем на компакт-диске. При этом размер, занимаемый на диске одним битом информации, сокращён до $0,5 \times 0,5$ кв. микрон.

Попробуйте выполнить самостоятельно

1. Ещё большую плотность записи, чем на CD и DVD, удалось до-

стигнуть при записи информации на диски типа Blue-ray. Попробуйте самостоятельно подсчитать площадь на диске Blue-ray, занимаемую одним битом информации, если диск имеет те же размеры, что и обычный компакт-диск (рис. 2), но при этом хранит до 15 Гб информации.

2. Оцените, какова должна быть площадь, занимаемая одним битом, чтобы можно было разместить на перфокарте 1 Кб информации?

3. CD диск имеет несколько слоёв, нанесённых на основу диска. Пластмассовая основа диска – поликарбонат, обеспечивающий его жёсткость. Затем следует активный слой (цианин или фталоцианин), отражающий слой (алюминий) и защитный слой (специальный лак). Для записи используется луч инфракрасного лазера, который проникает через защитный слой, попадает на активный слой и изменяет его отражательные свойства. Образуется так называемый «пит» (углубление) – участок активного слоя с уменьшенной отражательной способностью. При чтении диска луч лазера, попадая на отражательный слой алюминия (ленд), возвращается обратно и, проходя через призму, попадает на фотодиод. На фотодиоде световое излучение преобразуется в электрический импульс, который трактуется как информационный «0». При попадании луча лазера в «пит» слабое отражённое электромагнитное излучение

трактуется как «1». Так производится оптическая запись информации в компакт-дисках.

Попробуйте рассмотреть в хороший оптический микроскоп поверхность компакт диска, на котором записана информация, или найдите это изображение в Интернете. Нетрудно увидеть, что прообразом компакт-диска является сильно уменьшенная перфокарта. А сама перфокарта – прообраз зарубок (отметок) на куске дерева или камня.

4. Модель оптического запоминающего устройства приведена на рис. 3. В установке используются фотодиод ФДК-155, полупроводниковый лазер с излучением, длина волны которого лежит в красной области видимого диапазона света (лазерная указка). Бумажная лента с прорезями передвигается под оптическим блоком, и детектор (фотодиод) фиксирует наличие отражающей поверхности (прорезь-перфорация на ленте). Это логический «0». Если прорези нет, то на фотодиод попадает только рассеянное излучение меньшей интенсивности, что соответствует логической «1». Так читается информация в установке.

Попробуйте создать такую установку самостоятельно. Определите, какую плотность записи можно получить на вашей установке, меняя материал, из которого изготовлена лента, размер прорези и точность перемещения носителя.

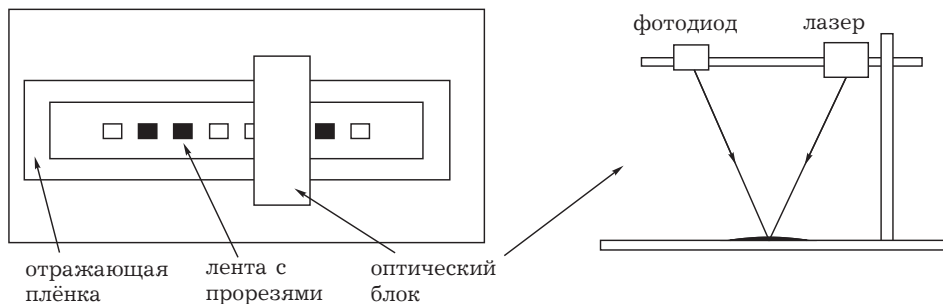


Рис. 3. Модель оптического устройства чтения информации

Компакт-диск – хорошо, а магнитный диск – лучше!

Компакт-диски всех разновидностей, рассмотренные выше, в настоящее время получили широкое распространение и стали одним из основных средств, служащих для обмена информацией. Они привлекают сравнительно небольшой платой за хранение 1 Гб информации. Однако эти диски имеют существенный недостаток, который ограничивает сферу их использования – это маленькая скорость записи информации и ограниченные возможности перезаписи (т. е. стирание старой информации и запись новой на уже заполненный диск). От этих ограничений свободен магнитный способ записи.

Физическая система, которая также может хранить информацию, – это намагниченный образец ферромагнитного материала. К ферромагнетикам относятся металлы – желе-

зо, кобальт, никель, – а также редкоземельные элементы. Магнитные материалы делятся на два класса – магнитожёсткие и магнитомягкие. Из магнитожёстких материалов изготавливают постоянные магниты, так как они обладают «сильным» магнетизмом, с трудом перемагничиваются внешними полями.

Для магнитной записи используют магнитомягкие материалы. Направлением намагничивания образца магнитомягкого материала можно управлять с помощью внешнего поля. На рис. 4 показано, что наложение внешнего поля по направлению вверх или вниз приводит к перемагничиванию образца в направлении поля. Справа показана информация, записанная на магнитной ленте. Запись и чтение информации производится с помощью магнитной головки.

Современное устройство, находящееся в компьютере и использу-

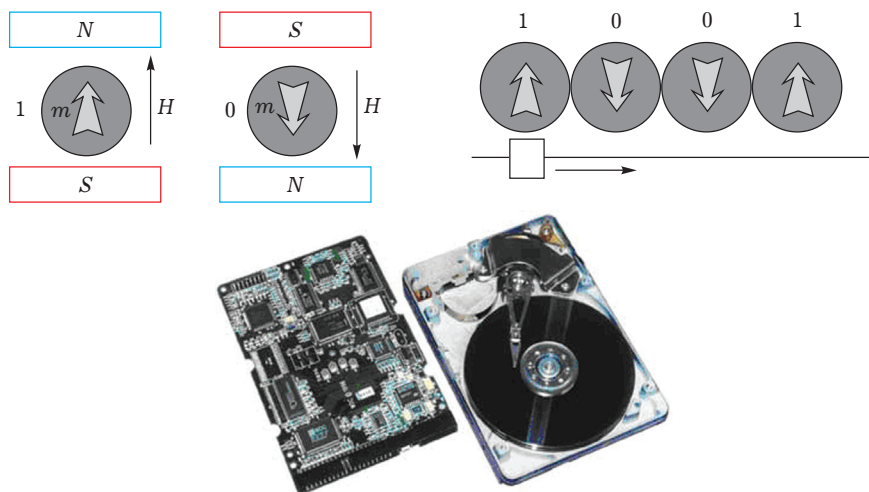


Рис. 4. Образец магнитного материала перемагничивается во внешнем магнитном поле. Магнитный момент образца m меняет направление: он ориентируется по полю и остаётся в этом состоянии даже при выключении поля. Справа показано несколько элементов магнитной памяти и движущаяся магнитная «головка», осуществляющая запись и чтение информации. Внизу показана фотография современного «жесткого» диска, использующего магнитный тип записи информации

ющее магнитную память – это магнитный диск (рис. 4, внизу). Благодаря современным технологиям удаётся достигнуть огромной плотности магнитной записи. Один магнитный элемент на магнитном диске имеет размеры, равные десятой доле микрона. В устройстве магнитной головки использованы современные материалы с гигантским магниторезистивным эффектом, то есть материалы, которые сильно изменяют своё электрическое сопротивление при наложении магнитного поля.

Модель магнитной памяти

Для моделирования магнитной

записи в качестве магнитных элементов используем кусочки стальной проволоки диаметром 1 – 2 мм (подойдёт проволока, из которой сделаны небольшие гвоздики). Для ориентирования магнитного момента используется катушка, внутри которой находится магнитный элемент. Направление магнитного момента определяется направлением электрического тока в катушке (рис. 5). Таким образом, переключая направление тока, можно изменять намагничивание элементов памяти в ту или иную сторону, что и обеспечит запись информации.

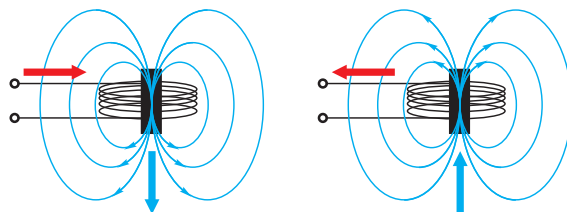


Рис. 5

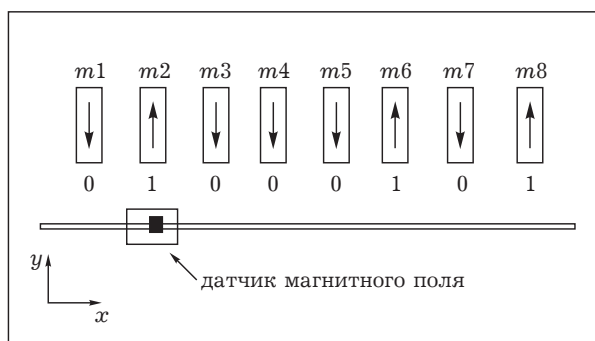


Рис. 6. Модель устройства записи и чтения информации для магнитной памяти

Для чтения записанной информации нужен датчик магнитного поля. Мы использовали двухосевой датчик Холла 2SA-10. Перемещая

датчик вдоль оси x , можно увидеть как намагничены элементы памяти и тем самым считать информацию (рис. 6).

Конденсаторная память.

Возможность произвольного доступа к ячейке памяти

Состояния («0» или «1») элементов памяти на магнитных и на компакт-дисках считываются последо-

вательно, по мере движения головки по дорожке на диске. Но для работы компьютера необходимо иметь та-

кую память, в которой мы могли бы обратиться к любой ячейке по её адресу (память с произвольным доступом, Random Access Memory, RAM). Одним из вариантов такой памяти является конденсаторная динамическая память (Dynamic RAM). Элементом памяти служит электрический конденсатор. Он состоит из двух металлических пластин, между которыми находится слой диэлектрика. Подавая на пластины напряжение, можно зарядить конденсатор в том или другом

направлении (рис. 7). Таким образом, возможны два направления поляризации P диэлектрика, которые и принимаются за состояния «0» или «1» конденсатора.

Зарядка конденсатора эквивалентна записи информации. Для чтения следует проследить за направлением тока разрядки конденсатора, как это показано на рис. 7 справа. Разряжаясь, конденсатор теряет информацию, поэтому позже следует восстановить (регенерировать) заряд, потерянный во время чтения.

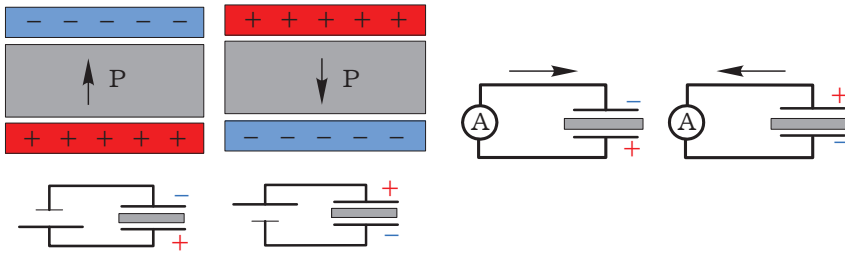


Рис. 7. Зарядка конденсатора производится приложением к его пластинам напряжения определённой полярности. Меняя полярность напряжения, можно изменить состояние конденсатора и тем самым записать информацию. Чтение информации производится по направлению тока разрядки конденсатора (рисунок справа)

Возможность произвольного обращения (random access) к каждой ячейке памяти обеспечивается созданием матрицы памяти, показанной на рис. 8. Система двух взаимно перпендикулярных проводников

(шин), обозначенных на рисунке красным и синим цветом соответственно, позволяет обратиться к любой ячейке памяти по её адресу, задаваемому адресами верхней и нижней шин.

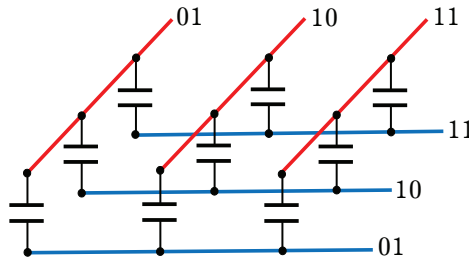


Рис. 8. Матрица конденсаторной памяти. Каждая ячейка памяти имеет адрес, который задаётся номером шины – верхней (для наглядности она показана красной) и нижней (синей). Подключая устройство чтения/записи по указанному адресу, можно считать/записать информацию в ту или иную ячейку памяти

Попробуйте самостоятельно определить адреса всех ячеек матрицы, показанной на рис. 8. Также попробуйте представить, как будет выглядеть матрица, содержащая 100 ячеек. Подумайте, как может выглядеть схема из двоичных (на два положения) переключателей, который позволит зарядить любой конденсатор в нужном направлении поляризации.

Модель конденсаторной памяти
Для моделирования конденсаторной памяти сначала следует выбрать ёмкостный элемент. В таблице 1 показано время разрядки τ конденсаторов различных типов. Оно определялось по времени, в течение которого напряжение заряженного конденсатора спадает в e раз (здесь e – основание натуральных логарифмов, равное приблизительно 2,718).

Таблица 1. Времена разряда конденсаторов различных типов

№	Тип конденсатора	Емкость, мкф	τ , с
1	K73П	0,5	5
2	МБГО	4	40
3	МБГО	20	200
4	K50-6	100	410

Схема устройства памяти показана на рис. 9. Информация записывается включением переключателя в положение «0» или «1». Тогда соответствующий конденсатор заряжается при включении кнопки ЗАПИСЬ и хранит заряд. При включении кнопки СЧИТЫВАНИЕ загорается светодиод, установленный в

гнезде ЧТЕНИЕ, и высвечивается информация в данной ячейке «0» или «1». Через некоторое время (несколько минут) конденсатор начинает разряжаться, и для того, чтобы информация сохранилась и дальше, необходимо нажать кнопку РЕГЕНЕРАЦИЯ. Происходит дозарядка конденсаторов.

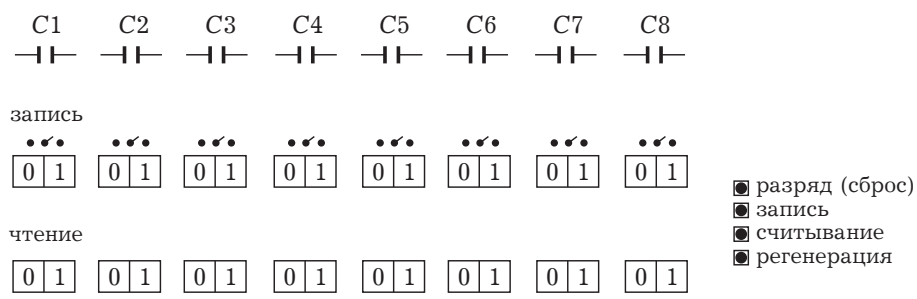


Рис. 9. Модель запоминающего устройства на конденсаторах

Заключение

Рассмотренные в данной статье методы хранения информации показывают, что «спрятанные» за фасадом интерфейсов устройства памяти имеют вполне понятную (постижимую) физическую природу. По нашему мнению макеты, подобные описанным в статье, могут быть созданы в

школьных кабинетах физики. Работа с ними приближит изучение школьной физики к современной жизни. Наибольший интерес представляет то, каким образом физические законы обеспечивают обработку (преобразование) информации и передачу её по каналам связи. Об этом будет рассказано в следующей статье.