

### 5. Запоминающие устройства

Наибольший удельный вес по числу микросхем и суммарной их стоимости в современных МПС имеет система памяти. Наряду с резидентной памятью, к которой процессор обращается непосредственно по системной шине, используется внешняя, обладающая большим объемом памяти на магнитных и магнитно-оптических носителях информации. В настоящем разделе рассматривается только резидентная память.

Основной элементной базой резидентной системы памяти являются БИС запоминающих устройств (ЗУ). По способу занесения информации они делятся на оперативные/Random Access Memory (ОЗУ/RAM) и постоянные/Read Only Memory (ПЗУ/ROM), по режиму работы - на статические и динамические, по технологии изготовления - на биполярные и униполярные (МОП). Классификация БИС ЗУ приведена на рис. 5.1.

ОЗУ статического типа получили наибольшее применение в специализированных системах, так как они обладают большим быстродействием и надежностью. Системы памяти универсальных устройств строятся, как правило, с использованием БИС ОЗУ динамического типа, обладающих большим объемом памяти.

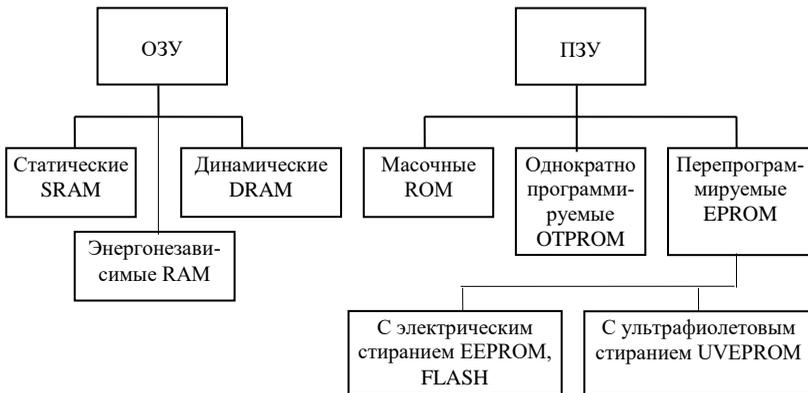


Рис. 5.1. Классификация БИС запоминающих устройств

Блоки постоянной памяти МПС состоят из ПЗУ масочного типа, информация в которые заносится при их изготовлении. На этапах отладки программного обеспечения или при малых тиражах систем используются БИС электрически программируемых (ППЗУ) и репрограммируемые ПЗУ (РПЗУ) с электрическими записью и стиранием (EEPROM), или стиранием ультрафиолетовым излучением (UVEPROM).

Основными характеристиками ЗУ являются емкость и быстродействие. ЗУ содержит некоторое число ячеек  $N$ , в которых может храниться слово с определенным числом разрядов  $n$ . Ячейки памяти последовательно нумеруются двоичными числами, номер ячейки называется адресом. Количество информации, которое может храниться в ЗУ, определяет его емкость. Емкость может выражаться либо числом ячеек  $N$  с указанием разрядности  $n$  хранимых в них информации:  $N \times n$ , либо произведением в битах, например, 512К x 8 или 4М.

Быстродействие ЗУ характеризуется двумя параметрами: временем выборки  $t_b$ , представляющим собой интервал времени между моментом подачи сигнала выборки и появлением считанных данных на выходе; и циклом записи  $t_z$ , определяемым минимально допустимым временем между подачей сигнала выборки при записи и моментом, когда возможно следующее обращение к памяти.

БИС РПЗУ дополнительно характеризуются временем хранения записанной в них информации и допустимым количеством циклов перезаписи.

На рис. 5.2 изображена типичная структура запоминающего устройства. Информация хранится в накопителе, который представляет собой матрицу, составленную из элементов памяти (ЭП), расположенных по строкам и столбцам. Элемент памяти может хранить бит информации (0 либо 1). Кроме того, ЗУ имеет устройство управления, которое обеспечивает его работу в режимах чтения, записи и хранения данных.

Разряды кода адреса делятся на две группы: одна группа из  $s$  разрядов определяет двоичный номер строки, в которой в накопителе расположен ЭП, другая группа из  $k$  разрядов - номер столбца. Каждая группа разрядов адреса подается на соответствующий дешифратор, который вырабатывает управляющий сигнал ( $S_i, K_i$ ), выбирающий адресованный ЭП.

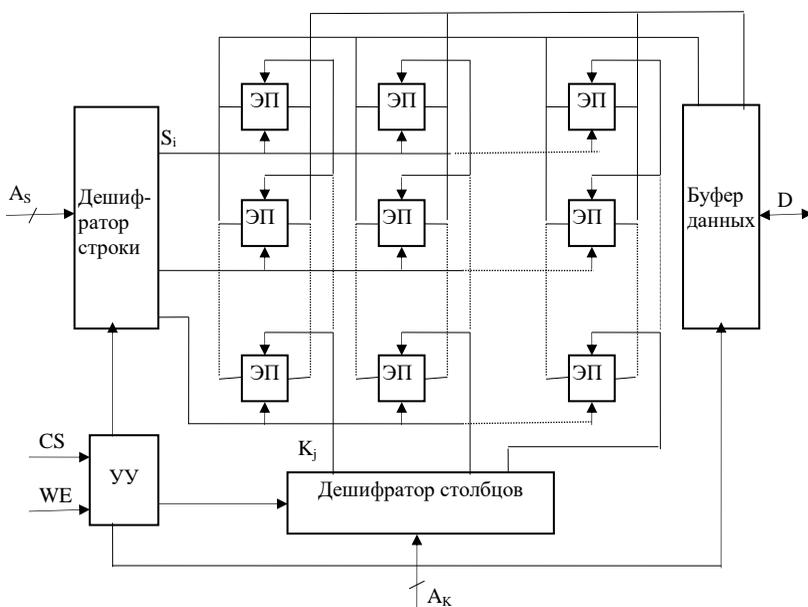


Рис. 5.2. Структура БИС запоминающего устройства

При чтении, когда на БИС памяти подается сигнал выбора кристалла CS, содержимое ЭП выдается в буфер данных. При записи, кроме того, в устройство управления УУ посылается сигнал разрешения записи WE, и в результате, бит информации из буфера данных поступает в ЭП. При отсутствии сигнала выбора кристалла буфер данных переходит в высокоимпедансное состояние.

### Оперативные запоминающие устройства

**Статическое ОЗУ.** В качестве элементов памяти используются триггеры с непосредственными связями (см. рис. 4.3.а), которые могут неограниченно долго хранить информацию при включенном питании. Они очень просты в эксплуатации, обладают высокой надежностью и не требуют сложных схем обслуживания. При интегральной реализации памяти используются два вида запоминающих матриц: накопители высокого быстродействия со средней степенью интеграции без схем дешифрации (время цикла может достигать 3 нс) и накопители с по-

вышенной информационной емкостью со схемами дешифрации (максимально до 64М, минимальное время цикла до 10 нс).

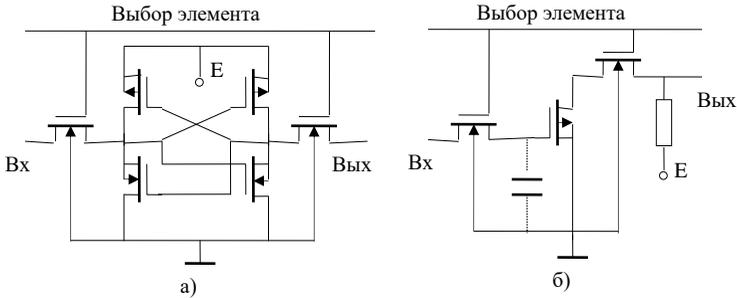


Рис. 4.3. Элемент памяти ОЗУ: а) статического, б) динамического типа

Временные диаграммы обмена данными с действующими временными ограничениями изображены на рис. 5.4. Из рисунка видно, что для статических ОЗУ длительность цикла записи равна времени выборки.

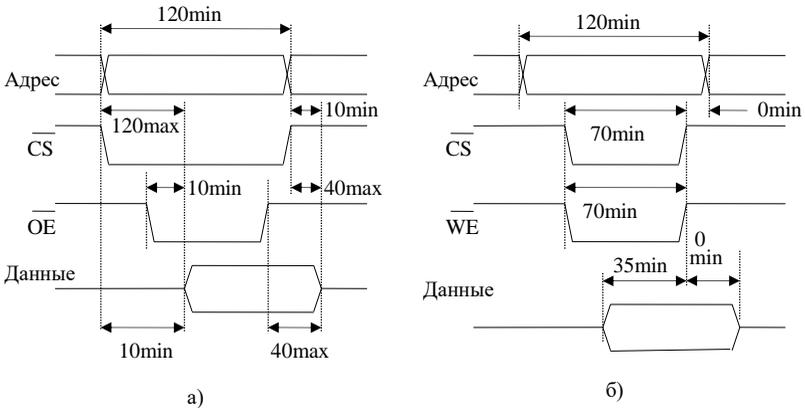


Рис. 5.4. Обмен данными с ОЗУ, имеющим быстродействие 120 нс: а) цикл чтения, б) цикл записи

В цикле записи на рисунке присутствует сигнал OE' низкого уровня, который открывает буфер данных, а сигнал CS' низкого уровня фиксирует, в данном случае, адрес элемента памяти.

Варианты микросхем могут иметь общие и отдельные выводы для входов и выходов, два порта доступа и то или иное внешнее оформление (SIP, SIMM (Single In-line Memory Module)). В качестве примера можно привести быстродействующий БИС 3У (FAST SRAM) типа М628008-10: 8Кх8, с быстродействием 10 нс, питанием 5 В, потреблением в активном состоянии 140 мА, в холостом - 20 мА, имеет 28 выводов.

**Динамические ОЗУ.** Увеличение емкости памяти связано с сокращением площади, занимаемой элементом памяти. Это достигается при использовании динамических ячеек, в которых информация хранится в виде заряда емкости конденсатора. Элемент динамической памяти на МОП структурах показан на рис. 4.2б., он представляет собой один МОП-транзистор, в котором роль конденсатора выполняет емкость затвор-подложка. Ток утечки накопителя составляет не более  $10^{-10}$  А, а емкость - 0,1 пФ, следовательно, постоянная разряда конденсатора  $t_{RC} > 1$  мс. Поэтому для сохранения заряда необходимо периодическое восстановление информации (регенерация) с периодом  $t_r < 2$  мс.

Главные отличия динамических БИС ОЗУ от статических заключается в следующем:

необходимо устройство, обеспечивающее регенерацию памяти в моменты, когда к ней нет обращений;

обращение к БИС требует дополнительных схем;

максимальная простота накопителя для обеспечения минимально занимаемой площади;

меньшая потребляемая мощность, так как динамический элемент не потребляет тока, когда к нему не обращаются.

Сравнивая два элемента памяти на рис. 5.2, можно считать, что емкость БИС статических и динамических ОЗУ находится в пропорции 1 : 4. Следовательно, максимальная емкость динамической БИС на уровне современной технологии составляет 256 Мбит, что может потребовать 28 выводов на ее корпусе только для адресации ячейки памяти. Поэтому, для этих микросхем при обращении к ним применяется мультиплексирование адреса, которое также позволяет за меньшее время выполнять регенерацию памяти.

На рис. 5.5 показан нормальный цикл обмена данными с динамическим ОЗУ.

Адрес, содержащий, например, для ОЗУ в 1 Мбайт 20 бит, разделяется на две группы и мультиплексируется на вдвое меньшее число выводов, сначала адрес строки, стробируемый сигналом RAS' (Row Address Strobe), а затем адрес колонки, стробируемый сигналом CAS' (Column Address Strobe). Данные записываются или читаются в соответствии с состоянием входа направления R/W' вслед за установкой CAS'. Перед началом следующего цикла памяти должно пройти некоторое время "выдержки RAS", поэтому длительность цикла записи больше времени доступа. Например, динамическое ОЗУ может иметь время доступа 120 нс и длительность цикла 210 нс. Цикл регенерации выглядит также, но без сигнала CAS. Регенерация памяти выполняется при обращении к строкам, адреса которых вырабатывается отдельным счетчиком в устройстве регенерации, там же вырабатываются и управляющие сигналы.

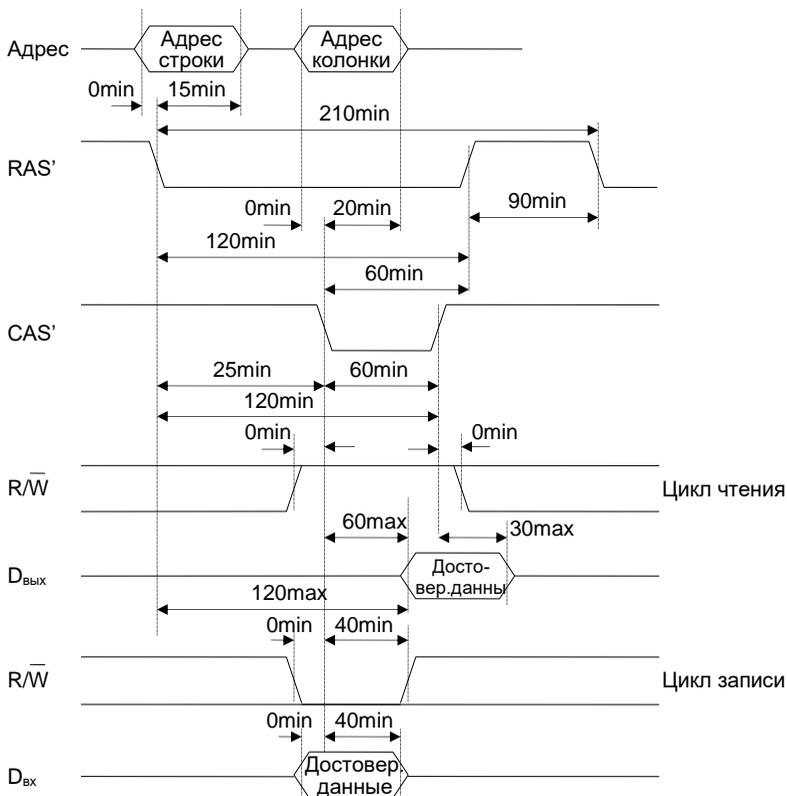


Рис. 5.5. Циклы чтения и записи динамического ОЗУ (Motorola, 120 нс)

Для управления динамическим ОЗУ существуют специальные микросхемы, например AM2968, которые берут на себя не только мультиплексирование адресов и образование сигналов RAS/CAS, но также и арбитражу регенерации вместе с образованием адресов строк, кроме того, они включают в себя мощные усилители и демпфирующие резисторы, которые нужны для подключения больших матриц микросхем памяти.

### Постоянные запоминающие устройства

ПЗУ относятся к не разрушаемой памяти, которая необходима в МПС для постоянного хранения информации в том числе и при отключении питания. В ней может быть находиться программа начальной загрузки и инициализации системы, программа функционирования специализированного микропроцессорного контроллера, или же только данные, например, таблицы поправок для линеаризации функции отклика измерительной системы. Основными требованиями к ПЗУ являются не разрушаемое считывание, высокая надежность и энергонезависимость хранения информации.

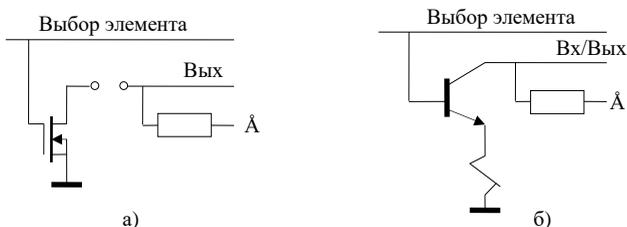


Рис. 5.6. Элементы памяти ПЗУ: а) масочного типа; б) с плавкими перемычками

**Масочные ПЗУ.** Масочно-программируемые ПЗУ относятся к категории заказных микросхем. В них информация записывается на стадии изготовления БИС при металлизации межсоединений в соответствии с выданной спецификацией, по которой создается маска (фотошаблон). Такие ПЗУ выгодны только при изготовлении больших партий для массового производства микропроцессорных устройств, например, калькуляторов, часов и тому подобное. В качестве элементов памяти в них используются диоды, биполярные и полевые транзисторы. Наибольшее распространение получили ПЗУ на МОП-транзисторах (см. рис. 5.6а), ввиду технологической простоты изготовления и связанной с этим возможностью получения высокой степе-

ни интеграции, а также малой потребляемой мощностью. Преимуществом ПЗУ, выполненных на биполярных транзисторах, является их более высокое быстродействие.

**Однократно программируемые ПЗУ.** К ним относятся ПЗУ с плавкими перемычками, элемент памяти которых изображен на рис. 4.6б. При выпуске все биты ПЗУ установлены и для сброса требуемых бит требуется подвергнуть элементы памяти действию электрического тока. Наибольшее распространение получили перемычки в виде плавких вставок из нихрома и поликремния, которые можно избирательно пережигать с помощью внешнего источника тока. Для программирования таких ПЗУ требуются специальные устройства - программаторы. Программируемые ПЗУ выпускаются на базе биполярных и КМОП структурах.

В настоящее время в качестве однократно программируемых ПЗУ (ОТПРОМ - One Time Programming ROM) используются дешевые варианты РПЗУ с ультрафиолетовым стиранием без предназначенных для облучения кварцевых окон. Производители гарантирует сохранность информации в них в течение не менее 10 лет.

**Перепрограммируемые ПЗУ.** БИС с ультрафиолетовым стиранием (UVEПРОМ) получили наибольшее распространение. Они созданы на основе лавинно-инжекционных МОП-транзисторах с плавающим затвором (см. рис. 5.7а), в которых запись информации осуществляется электрическим способом, а для стирания информации требуется облучение ультрафиолетовым излучением.

Элемент памяти РПЗУ изображен на рис. 5.7. Правый транзистор служит для выбора элемента, а левый, структура которого показана на рис. 5.7а, - для хранения информации. Особенность его в том, что он имеет изолированный со всех сторон затвор, который можно зарядить с помощью лавинной инжекции - процесса пробоя слоя, изолирующего затвор, при приложении напряжения свыше 20 В. Отрицательный заряд (около  $10^6$  электронов) в затворе, который можно рассматривать как конденсатор с постоянной времени порядка столетий, создает в подложке проводящий канал, тем самым переводя транзистор в состояние логической 1. Поскольку затвор электрически недоступен, стереть заряд можно лишь облучив его интенсивным потоком излучения с длиной волны менее 400 нм в течение 10 - 30 мин. При взаимодействии квантов с электронами в затворе энергия квантов передается электронам, которые преодолевая потенциальный барьер, уходят в подложку кристалла. Вследствие этого отдельные байта РПЗУ выбо-

точно стереть нельзя. Количество циклов перезаписи у РПЗУ ограничено.

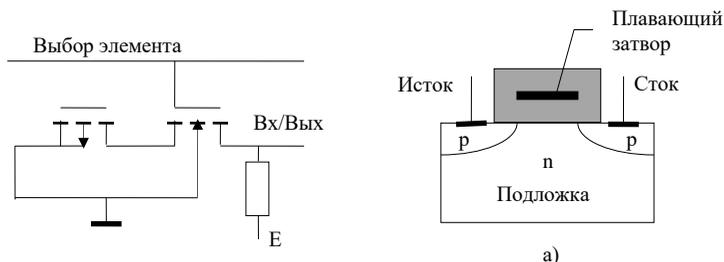


Рис. 5.7. Элемент памяти РПЗУ с ультрафиолетовым стиранием: а) МОП-транзистор с плавающим затвором

Современные РПЗУ имеют емкость до 16 Мбит, например, M27C160-120, время доступа обычно составляет 100 - 250 нс, хотя фирма Cypress предлагает ПЗУ небольшого объема с быстродействием 25 нс. Наиболее распространены микросхемы с емкостью 512 Кбит. Например, БИС M27C512-12 имеет организацию памяти 64Кx8, быстродействие 120 нс, напряжение питания 5 В, потребление в активном состоянии 30 мА, в холостом - 200 мкА, имеет 28 выводов. Чтобы запрограммировать РПЗУ, к нему надо приложить повышенное напряжение (обычно 12,5 или 21 В) и увеличить цикл записи до нескольких миллисекунд. Используя специальные алгоритмы записи, время записи значительно сокращается. Так, программирование всей микросхемы M27C160-120 с помощью алгоритма PRESTO II занимает всего 10 с.

**Электрически стираемые РПЗУ (ЭРПЗУ, EEPROM)** могут быть выборочно стертые и запрограммированы непосредственно в устройстве, где они используются как память. Они необходимы в том случае, когда требуется хранить и корректировать данные, поступающие в процессе работы МПС, например, при хранении констант конфигурации системы или параметров калибровки. При изготовлении ЭРПЗУ также, как и для РПЗУ, используется технология МОП с плавающим затвором.

Современные ЭРПЗУ не требуют внешнего повышенного напряжения питания и работают практически так же, как и статическое ОЗУ - можно перезаписать любой байт с помощью одного цикла записи. В БИС предусмотрены внутренние схемы для генерации повышенного

напряжения при программировании, а также увеличения длительности цикла записи до нескольких миллисекунд.

В качестве примера рассмотрим ЭРПЗУ фирмы Xicor типа X28C256. БИС имеет организацию памяти 32Кх8, время доступа 150 нс, единственное напряжение питания 5 В, низкое потребление мощности в активном состоянии - 80 мА, в холостом - 200 мкА, циклов записи до 100000, сохранность данных в течении 100 лет. Корпус имеет 28 выводов, совместимых с промышленным стандартом ОЗУ.

БИС поддерживает 64-байтную страничную операцию записи, обеспечивая цикл записи в 78 мкс/байт, и тем самым запись всей микросхемы меньше, чем за 2,5 с. Для ранней индикации окончания цикла записи используется опрос инвертированных данных или специального статусного бита. Дополнительно к аппаратной защите данных по выбору пользователя добавляется и программная защита данных.

Страничная запись позволяет записать последовательно от 2 до 64 байт до начала внутреннего автоматического программирующего цикла, если каждый цикл записи байта будет начинаться не позже 100 мкс после предыдущего цикла. Для определения конца цикла записи можно опрашивать на шине данных старший бит, который до завершения операции имеет инвертированное значение, или следующий после него, который не будет менять свое значение при последовательном его опросе.

Аппаратная защита заключается в автоматическом запрещении записи в том случае, если длительность сигнала разрешения записи меньше, чем 20 нс, или если напряжение питания не больше, чем 3,5 В, или если во время включения или выключения питания любой из сигналов находится в состоянии: разрешения чтения OE' - в низком, разрешения записи WE' и выбора кристалла CE' - в высоком.

Программная защита записи данных устанавливается после применения специального алгоритма последовательной записи кодов в ячейки с определенными адресами. Другая последовательность кодов снимает программную защиту записи.

**Моментальная память (FLASH)** - разновидность РПЗУ с электрическим стиранием, которая была разработана как альтернатива дисковой памяти для портативных ЭВМ. В отличие от современных ЭРПЗУ они требуют при записи и стирании повышенного напряжения (12 В), а также стирание информации осуществляется блоками, а не отдельными байтами.

Новые изделия флэш-памяти, например, БИС 28F008 фирмы Intel, имеют однотранзисторную ячейку с двухслойным поликремневым затвором и блочную структуру накопителя - 16 блоков по 64К байт каждый с организацией памяти 1Мх8 бит. Они выдерживают не менее 100000 циклов записи/стирания. Запись данных в память производится побайтно за 9 мкс, при чтении максимальное время доступа составляет 85 нс. Стирание каждого блока выполняется независимо от остальных блоков за 1,6 с.

Автоматика записи байта и стирания блока позволяет записывать байт и стирать блок, используя командную двухтактную последовательность, посылаемую в командный интерфейс пользователя. Внутренний автомат записи автоматически выполняет алгоритм записи байта и стирание блока с последующей проверкой результата, освобождая от этих операций ресурсы процессора.

Микросхема поставляется в 40-выводном корпусе со стандартным и реверсивным расположением ножек для упрощения разводки платы с несколькими корпусами флэш-памяти.

Неудобство в потребности второго источника питания для выполнения операций записи и стирания частично снимается наличием большого количества микросхем преобразователей напряжения. Например, фирма Maxim выпускает ИС MAX732 с входным напряжением 4 - 7,5 В и выходным 12 В, позволяющую подключать до 9 внешних компонентов.

Среди других вариантов ППЗУ следует отметить последовательные электрически перепрограммируемые КМОП ЗУ (EEPROM) фирмы Microchip. Отличительной их особенностью является последовательный доступ к данным. Они имеют одно напряжение питания, аппаратную защиту записи, 2-х проводной последовательный интерфейс I<sup>2</sup>C, внутреннее тактирование циклов записи и стирания, страничный буфер, 1 млн циклов записи/чтения, время сохранения данных - не менее 40 лет. Микросхемы выпускаются емкостью от 1К бит до 64К бит с байтовой организацией шины данных в 8- и 14-выводных корпусах.

Фирма Xicor выпускает электрически стираемый потенциометр (EEPOT). В этой микросхеме имеется 99 последовательно соединенных, равных по величине резисторов, а положение отвода от них задается программно, сохраняя это положение в энергонезависимой памяти, входящей в эту же микросхему.

Среди прочих применений РПЗУ с электрическим стиранием их удобно использовать при разработке встроенного программного обеспечения, так как они могут быть так же, как и другие РПЗУ, запрограммированы в программаторе, но при этом им не требуется много времени на стирание в процессе отладки программ.

**Энергонезависимые ОЗУ.** Иногда существует потребность в энергонезависимой памяти с доступом к данным в темпе, характерным для ОЗУ, при неограниченном числе циклов чтения/записи.

Данную проблему можно решить, если применить статическое КМОП ОЗУ с резервным батарейным питанием. Для этой цели выпускаются микросхемы, например, фирмой Maxim MAX703, которая предназначена в качестве супервизора микропроцессора, где помимо других полезных функций она выполняет переключение ОЗУ на питание от литиевой батарейки, если основное питание снижается до 4,65 В. Некоторые фирмы, например Dallas Semiconductor, выпускают энергонезависимые ОЗУ, размещая в обычном корпусе вместе с КМОП ОЗУ литиевую батарейку, которая автоматически подключается при снижении напряжения питания. Однако при такой “энергонезависимости” данные исчезают при выходе из строя батарейки, срок службы которой не превышает 10 лет.

Другая возможность - в использовании энергонезависимого ОЗУ NOVRAM (NOVolatile RAM) фирмы Xicor, в котором на одном кристалле объединены статическое ОЗУ и ЭРПЗУ. Входной сигнал STORE' переносит содержимое ОЗУ в ЭРПЗУ при полной длительности цикла записи 10 мс, извлекаются данные быстрее чем за 1 мкс. Для выработки управляющего сигнала можно использовать одну из микросхем фирмы Maxim MAX690, предназначенную для контроля питающих напряжений. Объявлено, что NOVRAM выдерживают 10000 операций сохранения и неограниченное число операций записи/чтения в ОЗУ.

