

Одна, но важная деталь.

Память FRAM объемом 1 Мбит в производстве

Илья ЗАЙЦЕВ
ilya.zc@eltech.spb.ru

Нечасто публикации посвящаются одному компоненту. Для этого он должен быть либо очень сложным, как, например, процессор, либо уникальным, как FRAM FM20L08, о свойствах которой пойдет речь в этой статье.

Ключевые преимущества FRAM

Преимущества технологии ферроэлектрической памяти уже признаны российскими производителями, многие сотни тысяч компонентов FRAM уже установлены в электронных приборах, произведенных в России и странах содружества. Системы учета расхода ресурсов (электросчетчики, теплосчетчики, расходомеры жидкости и газа), автоэлектроника, промышленные контроллеры, удаленные и мобильные системы сбора данных, кассовые аппараты, регистраторы геофизических данных, медицинское оборудование, научно-исследовательская аппаратура, игровые и торговые автоматы далеко не исчерпывают перечень областей применения FRAM. В них используются преимущества FRAM, совокупность которых не обеспечивает никакая другая технология запоминающих устройств. Только во FRAM они нашли уникальное сочетание:

- Высокое быстродействие и простой алгоритм обращения, характерные для асинхронной статической памяти; нет необходимости в предварительном стирании и за-

держке перед записью, которые свойственны EEPROM и Flash.

- Реальная энергонезависимость, без необходимости подключать резервный источник питания или конденсатор.
- Мгновенное запоминание записываемых данных, нет секторов и буферных страниц, адресация полностью линейная.
- Низкое энергопотребление, одинаковое в режимах записи и чтения.
- Устойчивость работы в жестких условиях эксплуатации и электромагнитных помех.
- FRAM с последовательными интерфейсами I²C и SPI являются прямой аппаратной заменой стандартных EEPROM.

Перспективы развития технологии

Главные направления развития технологии, принятые Ramtron на ближайшую перспективу, — это увеличение объема памяти на кристалле, увеличение быстродействия, развитие семейств многофункциональных интегральных схем с FRAM и расширение номенклатуры компонентов стандартных семейств.

Увеличение степени интеграции и быстродействия в микроэлектронике достигается совершенствованием архитектуры и уменьшением размеров минимального топологического элемента на кристалле. За годы развития технологии FRAM архитектура ячейки памяти претерпела изменения. От схемы 2Т/2С (два транзистора и два ферроэлектрических конденсатора для каждой ячейки) произошел переход к архитектуре 1Т/1С.

Уменьшение числа элементов на ячейку стало возможным благодаря усовершенствованной технологии комбинирования КМОП-транзистора и конденсатора с высокой повторяемостью электрических параметров каждой ячейки в массиве. В настоящее время инженеры Ramtron работают над внедрением в промышленное производство модификации структуры 1Т/1С. В ней ферроэлектрический конденсатор будет размещен не как отдельный элемент в одной плоскости с КМОП-ключами, а сформирован в трехмерной конструкции непосредственно на стоке полевого транзистора. Это позволит повысить плотность массива.

В этом году анонсированы новые компоненты, производимые по проектным нормам 150 нм (FM25256, интерфейс SPI, объем массива 32 кбайт). Эта технология будет также применена в уже многие годы производимых FM1608, FM1808 и других FRAM с диапазоном питающего напряжения 5 В. Ресурс циклов обращения к FRAM 5 В был ограничен 10 миллиардами или 1 триллионом циклов.

С внедрением новых проектных норм их выносливость увеличится до 100 трлн циклов, что является практически неограниченным ресурсом в большинстве приложений, так как позволит обращаться к каждой ячейке 300 тысяч раз в секунду на протяжении 10 лет.

Срок гарантированной сохранности данных без питания и регенерации во всем диапазоне условий эксплуатации будет увеличен до 45 лет и более. Подобный параметр востребован в оборудовании для атомных электростанций и приборов подобных областей при-

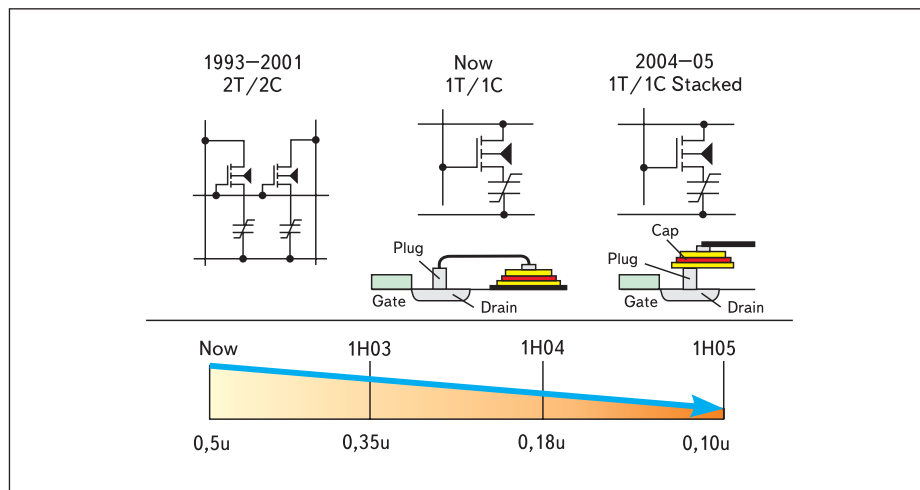


Рис. 1. Развитие технологии FRAM

менения, требующих гарантированной работоспособности в течение длительного срока, вне зависимости от характера эксплуатации.

Планы по расширению номенклатуры. Новые серии Processor Companion, новые корпуса DFN

В развитие семейства Processor Companion компания Ramtron планирует начать выпуск нескольких серий многофункциональных устройств с быстрым последовательным интерфейсом SPI и усовершенствованной архитектурой. Компоненты семейства Processor Companion объединяют на одном кристалле целый ряд функциональных узлов, востребованных практически в каждом микроконтроллере устройства: массив памяти, часы реального времени, монитор питания, сторожевой таймер, счетчик событий, регистр серийного номера.



Рис. 2. Малогабаритные корпуса DFN

В новых сериях SPI Processor Companion предполагается ввести схему генерации прерывания-тактирования, работающую в одном из двух режимов: генерирующую прерывание по временной метке (Clock Alarm) либо вырабатывающую тактовые сигналы с частотой, кратной долям 32,768 кГц. Отличия от серий FM31xxx затрагивают также монитор питания и режимы работы сторожевого таймера. Подробнее о новых сериях SPI Processor Companion FM33xxx-FM36xxx мы планируем написать в будущем.

Энергонезависимость и низкое энергопотребление — преимущества FRAM, востребованные в мобильных приложениях, для которых важны также и минимальные габариты. В этом году Ramtron начал производство FRAM в новых типах корпусов с уменьшенными размерами — DFN (Dual Flat No-lead). Эти корпуса занимают на плате на 30% меньшую площадь по сравнению со стандартным корпусом SOIC и имеют толщину всего 0,75 мм.

В направлении увеличения объема памяти Ramtron в этом году начал предоставление инженерных образцов первой FRAM емкостью 1 мегабит с восьмиразрядным параллельным интерфейсом. FM20L08 полно-

стью совместима по выводам со стандартными SRAM в корпусах TSOP, но поддерживает целый ряд новых, уникальных свойств. Эти свойства были заложены разработчиками исходя из опыта применения FRAM предыдущих поколений многими потребителями. Рекомендации экспертов, особенности эффективного использования преимуществ FRAM в каждой из областей применения, компенсация общих недостатков различных типов энергонезависимой памяти нашли реализацию в новой ИС.

Структура FM20L08. Коротко об особенностях

Структура ИС FM20L08 типична для статической памяти с произвольным доступом: собственному массиву памяти, декодеры адреса строк и столбцов массива, шинные формирователи и узел логики управления. Уникальность архитектуре FM20L08 придают дополнительные узлы: регистр-защелка адреса, монитор питания и механизм защиты данных от случайной записи и низковольтных операций.

Массив памяти в FM20L08 полностью линейно адресуемый, время доступа к каждой ячейке при любом типе операций одинаково (в рамках каждого режима адресации, о режимах адресации см. ниже). Но вместе с тем он логически разделен на 8 блоков по 16 кбайт. Каждый блок индивидуально может быть защищен от случайной модификации. Таким образом, в одном кристалле можно хранить постоянные и оперативные данные, не используя для этого внешние компоненты.

Механизм установки и снятия защиты чисто программный, не требует аппаратных затрат и режимов питания, отличных от нормального. Он включает 8 последовательных операций — 6 пустых операций чтения и 2 операции записи по фиксированным адресам.

Уникальная последовательность адресов в операциях чтения задает переключение в режим модификации статуса защищенности блоков, вероятность повторения следования таких же адресов в обычных операциях составляет $0,2 \times 10^{-30}$. Конфигурация защищаемых блоков сохраняется в энергонезависимом FRAM-регистре.

Вторая ступень защиты данных обеспечивает сохранность данных при напряжениях питания вне нормированного диапазона. Вероятно, многие разработчики сталкивались с искажением данных в энергонезависимой памяти различных технологий — EEPROM, Flash, NVSRAM, когда данные в младших (для некоторых наименований xhPROM — в старших) адресах, по непонятным поначалу причинам, искажаются. Виновником явления в подавляющем большинстве случаев оказывается микроконтроллер.

Многие типы микроконтроллеров в момент включения или выключения питания, когда напряжение далеко от номинального диапазона, не могут удерживать свои порты адреса, данных и управления в статичном состоянии. Хаотичное изменение уровней на шине может вызвать случайные операции записи в память.

А так как большинство микросхем памяти имеют встроенную схему сброса-при-включении (Power-On-Reset), с помощью которой все регистры устанавливаются в 0h-состояние (в некоторых типах xhPROM — в Fh), то искажению подвергаются данные в ячейках именно младших (или старших) адресов. В редких случаях (но такие факты имеют место на практике) возможно также защелкивание буферных шинных формирователей, после которого микросхема становится полностью заблокированной для чтения и записи до выключения питания.

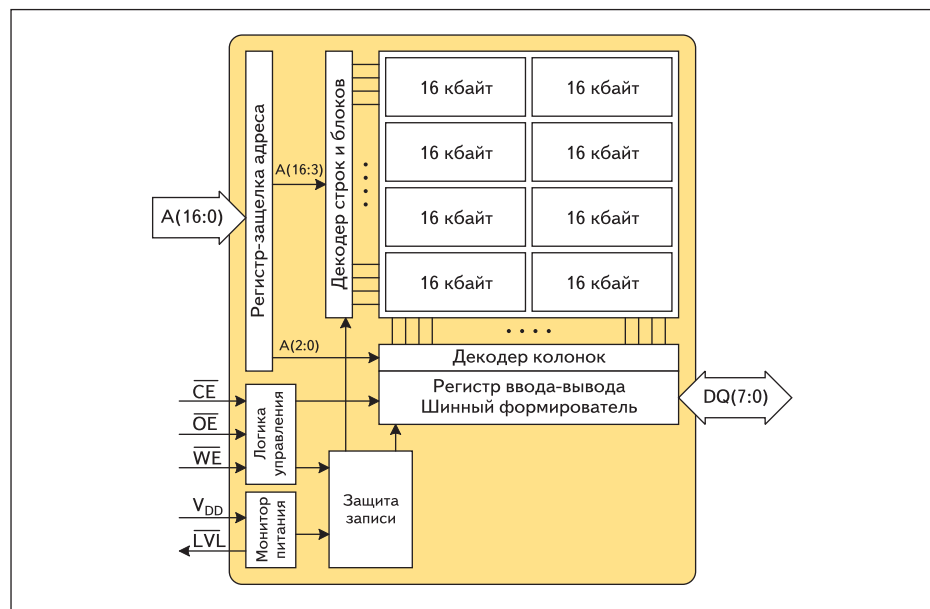


Рис. 3. Структурная схема FRAM FM20L08

Проблема может разрешаться в двух направлениях: использованием монитора питания микроконтроллера или подсистемы памяти.

При всей простоте функции некоторые характеристики взаимозаменяемых мониторов питания от разных производителей могут различаться существенно. Важнейшей из таких характеристик можно назвать минимальное напряжение питания, при котором монитор начинает генерировать корректный уровень Reset. Порог начала работы монитора должен быть как можно ниже, чтобы минимизировать возможный «ущерб» от хаотичной смены выходных напряжений на портах микроконтроллера.

Монитор питания подсистемы памяти блокирует доступ к массиву при напряжениях питания ниже заданного диапазона. Типовое решение — установка монитора в разрез линии выборки кристалла (CE — Chip Enable). При низком напряжении он блокирует сигнал CE от микроконтроллера, а при нормальном транслирует. Супервизоры памяти обычно недешевы, их стоимость порядка — \$3–4, поэтому их применение ограничено.

FM20L08 содержит встроенный монитор питания, выполняющий две функции: блокирует массив FRAM от низковольтного доступа и генерирует внешний сигнал /LVL при снижении напряжения питания ниже 2,9 В с точностью $\pm 0,09$ В. Порог включения монитора при подаче питания составляет 1,2 В.

Встроенный регистр-защелка адреса использовался и в ранних поколениях FRAM (FM1608, FM1808, FM18L08). Его назначение — сохранить за короткий интервал времени от спада сигнала /CE адрес текущей операции и стать нечувствительным к изменению уровней на адресных входах до следующего цикла обращения.

Эта особенность позволяет использовать FRAM с параллельным интерфейсом на мультиплексированных шинах адрес-данные без дополнительной внешней логики демultipлексирования. В FM20L08 механизм работы регистра изменен, чтобы обеспечить режим полной совместимости с алгоритмом работы стандартной асинхронной SRAM.

В FM1608, FM1808 и FM18L08 адрес каждой очередной операции запоминался только по спаду сигнала /CE, что отличается от режима работы стандартной SRAM и заставляет микроконтроллер постоянно управлять этим выводом. При потоковом обращении к SRAM сигнал /CE может оставаться в постоянном активном уровне.

В FM20L08, если /CE остается в постоянном активном уровне, регистр-защелка автоматически переходит в режим потокового обращения, запоминает адрес в течение 60 нс и готов воспринять новый адрес с шины через 150 нс. В этом режиме работа FM20L08 аналогична SRAM с временем доступа 150 нс.

Режимы адресации

FM20L08 может работать в трех режимах адресации:

- В режиме потокового обращения (режим совместимости со SRAM, описанный выше); адрес должен удерживаться на входах в течение 150 нс.
- В режиме, аналогичном прежним поколениям FRAM, когда каждый новый адрес защелкивается по спаду /CE. Время доступа в этом режиме составляет 60 нс, длительность цикла — 150 нс; по истечении 60 нс входы адреса нечувствительны к изменению уровней и линии могут использоваться для данных (встроенная поддержка демultipлексирования шины).
- В режиме быстрого страничного обращения, когда обращение осуществляется по 8 последовательным адресам при постоянном активном уровне /CE. В этом режиме время доступа к первому байту составляет 60 нс, а к семи последующим — 25 нс.

Области применения FM20L08

Наиболее эффективными для FM20L08 являются те области применения, в которых будут использоваться ее преимущества:

- неограниченный ресурс циклов перезаписи и энергонезависимость;
- индивидуальная защита блоков данных от случайной модификации;
- режим быстрого страничного обращения — до 33 Мбайт/с;
- низкое энергопотребление в активном режиме и режиме ожидания;
- высокая надежность в условиях электромагнитных помех;
- малогабаритный корпус TSOP-32.

Примеры приложений

Регистрация и сбор данных

Под эти наименования подпадает очень широкий спектр задач, предъявляющий разные требования к подсистеме памяти. Во многих FM20L08 может стать идеальным решением.

Носимый терминал сбора данных (складской терминал)

Современные торговые предприятия оперируют номенклатурой в тысячи и даже десятки тысяч наименований на площадях в сотни и тысячи квадратных метров. Элементы рентабельности торговли — эффективная внутренняя логистика и покупательский сервис — немислимы без оперативного учета. Каждая ячейка на товарном стеллаже в торговом зале должна содержать достаточный оперативный запас товара, а покупатель — тратить на покупку минимум времени при максимуме сервиса. Носимые складские терминалы упощают выполнение рутинных операций, сокращают затраты времени, предоставляют нужную информацию о товаре на месте и, в конечном итоге, помогают повысить эффективность работы.

Объем параметров, характерный для каждого наименования товара, может занимать многие десятки и сотни байт, что выливается в мегабайтные базы данных. Запись о товаре состоит из неизменных и модифицируемых полей.

Неизменные поля — это, например, наименование, штрих-код, сведения о норме упаковки, цена, коды ячеек хранения на складе и в торговом зале, служебные индексы и т. п. Они составляют большую часть объема записи. Для их хранения в носимом терминале сегодня удобно использовать Flash, так как эта информация может обновляться достаточно редко — единицы раз за смену, и удельная стоимость байта достаточно низка.

А вот динамичная информация о движении товара, остатках, совершенных продажах изменяется существенно чаще, хотя и занимает существенно меньший объем. Но потеря этой информации может вызвать существенные проблемы. Для ее хранения идеальным решением является FRAM, так как обеспечивает надежное энергонезависимое хранение, быстрое действие, неограниченный ресурс модификаций и низкое энергопотребление, столь важное для мобильных устройств.

Удаленный терминал сбора данных распределенной системы

Многие промышленные объекты огромной протяженности (как нефте- или газопроводы, линии электропередачи) или большой площади (электростанции, автоматизированные производства) имеют множество узлов, состояние которых необходимо регистрировать для контроля общего состояния системы, но постоянное обслуживание человеком или обеспечение постоянно действующего канала связи к центральной системе нецелесообразно.

Контроль параметров такого узла осуществляет удаленный терминал сбора данных. Его функция — регистрировать и накапливать данные о состоянии узла. Малые габариты, низкое энергопотребление, устойчивость к помехам и жестким климатическим условиям, а также долгий срок службы могут стать критическими требованиями при создании такого прибора. FRAM, как устройство хранения регистрируемых данных, является наиболее эффективным решением, так как удовлетворяет всем перечисленным требованиям.

Как вариант реализации подобного терминала для протяженных магистральных линий, можно предложить структуру, построенную на микропотребляющих компонентах фирм Xemics и Ramtron. Оцифровка и первичная обработка измеряемых параметров может осуществляться контроллерами XE88LC02 или XE88LC05 со встроенным многоканальным АЦП. Однокристалльные микропотребляющие трансиверы XE1203F или XE1205, работающие в диапазонах 433, 868 или 915 МГц, свободных от лицензирования, обеспечат беспроводной двусторонний обмен между терминалом и базовой станцией на дистанциях в сотни метров.

Однокристалльное хранение постоянной и изменяемой информации

Практически любая микроконтроллерная система работает с информацией двух типов — динамически изменяемой (оперативные данные) и статичной, редко изменяемой (код программы, константы, коэффициенты и т. п.).

Основное требование к оперативной памяти — быстрый и простой алгоритм обращения в операциях записи и чтения. Для этой цели обычно используются микросхемы SRAM или DRAM.

Основное требование для хранилищ статичных данных — энергонезависимость и защита от случайной модификации. Типовая реализация этих требований — PROM, EEPROM, Flash.

Свойства FM20L08 удовлетворяют одновременно требованиям обеих групп памяти: она обеспечивает быстрый и простой доступ при любом типе операций, энергонезависимость и низкое энергопотребление. Таким образом, FM20L08 позволяет хранить в одном кристалле как оперативную, так и постоянную информацию.

Энергонезависимый буфер

FRAM позволяет накапливать данные, обеспечивая быструю запись, малое энергопотребление и энергонезависимое хранение до передачи в другую подсистему. Эта функ-

ция востребована, например, в распределенных системах сбора данных, где каждый удаленный модуль может записывать порции данных в локальный буфер, выполненный на FM20L08, а по его заполнению передать весь пакет в центральный узел по проводному или радиоканалу. После передачи нет необходимости очищать массив — данные, записываемые в ячейку FRAM, замещают предыдущие значения так же, как в ОЗУ. Таким образом, с помощью FRAM можно организовывать кольцевой буфер с функцией энергонезависимого хранения.

Применение FRAM в таких приложениях эффективно по энергопотреблению. FRAM одинаково мало потребляет при записи и при чтении и может быть выключена без риска потерять данные. Например, удаленный модуль представляет собой измерительный прибор, регистрирующий параметры медленного (например, теплового) процесса, и для анализа состояния объекта достаточно осуществлять периодический контроль параметров. Тогда, после очередного сеанса измерения, контроллер модуля может записать результаты в память и перевести весь модуль в спящий режим до следующего сеанса, активируемого таймером реального времени, внешним событием или командой по линиям связи.

Особенно важной является неизменность режима потребления при записи. Хорошо из-

вестен коварный недостаток EEPROM и Flash, которые потребляют в полтора-два раза больший ток при стирании и записи: если источник питания недостаточно мощный (например, батарея разряжена), то данные могут быть записаны и сверены, но время их сохранности может быть очень коротким.

Режим потребления FRAM одинаков при записи и чтении, физические процессы в ячейке очень быстры и не связаны с преодолением энергетических порогов. Поэтому записанные и сверенные данные гарантированно могут храниться более 10 лет во всем специфицированном диапазоне условий эксплуатации.

Заключение

Технология ферроэлектрической памяти успешно развивается. FM20L08 знаменует собой начало серии новых энергонезависимых запоминающих устройств с большими объемами массивов памяти. В настоящее время близка к воплощению в производство FRAM объемом 4 Мбит, начало поставок инженерных образцов которой ожидается в следующем году.

Можно предположить, что FM20L08 объемом 1 Мбит найдет наиболее широкое применение в системах с 8- и 16-разрядными микроконтроллерами в мобильном и стационарном исполнении, так как наилучшим образом отвечает их требованиям. ■