

Энергонезависимое ЗУПВ с литиевыми батареями¹

Майкл Боулен

Фирма Mostek Corp.
(Карролтон, шт. Техас)

Описывается ЗУПВ типа Zeropower, способное после отключения основного питания сохранять записанную в нем информацию более 10 лет. В качестве резервного питания используются две литиевые батареи, размещаемые в верхней части корпуса ИС. В состав самой ИС входят все схемы, контролирующие напряжения источника питания и указанных батарей, а также работу схем переключения питания.

За последние годы изготовители ИС во всех отраслях электронной промышленности затратили, вероятно, не меньше 1 млрд. долл. на создание ЗУПВ, сохраняющих информацию при отключениях основного питания. Но ни капитал, с риском вложенный в новые предприятия, ни средства, выделенные на научно-исследовательскую работу известными компаниями по производству полупроводниковых приборов, не обеспечили ничего похожего на идеальное решение данной проблемы: создание компонента, который сохранял бы данные без внешнего питания, допускал бы считывание и запись данных в режиме, аналогичном чтению и записи для статических ЗУПВ, и конечно же, имел бы высокое быстродействие и плотность упаковки при малом потреблении мощности.

Ныне это «идеальное» решение достигнуто за счет сочетания в одном корпусе усовершенствованных К/МОП-схем и литиевых батарей с большим сроком службы. Созданное в результате трехлетних усилий статическое К/МОП ЗУПВ МК48Z02 объемом $2K \times 8$ бит сохраняет данные в отсутствие основного питания в течение более чем 10 лет. Его корпус с расположенными в два ряда 24 стандартными выводами имеет также стандартные размеры, и только высота его была увеличена на 4,2 мм.

Предлагаемое ЗУПВ характеризуется максимальным временем выборки или записи данных 200 нс и максимальной рассеиваемой активной мощностью 330 мВт. Схемы защиты запрещают запись информации, как только напряжение источников питания начинает падать, тем самым предотвращая потерю данных во время переходных явлений. Все эти компоненты размещены в одном корпусе, и ни в каких других элементах для работы с предложенным ЗУПВ необходимости нет. Такое ЗУПВ, названное Zeropower, фактически обладает всеми атрибутами статического ЗУПВ, за исключением того, что дан-

ные в первом из них не разрушаются при отключении питания.

До настоящего времени другие исследования были направлены на построение энергонезависимого ЗУПВ целиком в кремнии; в результате были разработаны десятки изделий, действующих на принципе захвата зарядов. Их изготовители, не добившись оптимального решения, были вынуждены пойти на ряд различных компромиссов, что и обусловило появление противоречивых описаний приборов и ограничение областей их применения.

Комбинация кремниевого кристалла с другими компонентами дает лучшее решение этой проблемы в целом. Однако обеспечение сочетания К/МОП-элементов в одном корпусе с литиевым источником питания для энергонезависимого автономного ЗУПВ требует многоплановых инженерно-технических исследований в таких областях, как К/МОП-технология, электрохимия, схемотехника, проектирование межсоединений и упаковка микросхем.

Схемы К/МОП-памяти не должны нагружать литиевую батарею, допуская лишь протекание диодного тока утечки, который следует весьма тщательно контролировать. Нужно было оптимизировать параметры литиевой батареи с целью обеспечения ее длительного нахождения в резерве. Кроме того, если необходимо исключить внешние компоненты, то кристаллу ЗУПВ требуются схемы интерфейса и защиты данных. Следовало также обеспечить надежное подключение кристалла к батарее при их монтаже в корпусе ИС, чтобы можно было автоматизировать их изготовление — условие, необходимое для организации массового производства недорогих элементов.

Опыт, приобретенный фирмой Mostek в процессе изготовления более чем 150 млн. динамических ЗУПВ с хранением заряда на конденсаторах с диодной изоляцией, был непосредственно использован для получения К/МОП ИС с малыми токами утечки. Работы по исключению поверхностных дефектов дали возможность

¹ Michael Bolan. RAM dons lithium-cell hat for convenient nonvolatility, pp. 147—150.

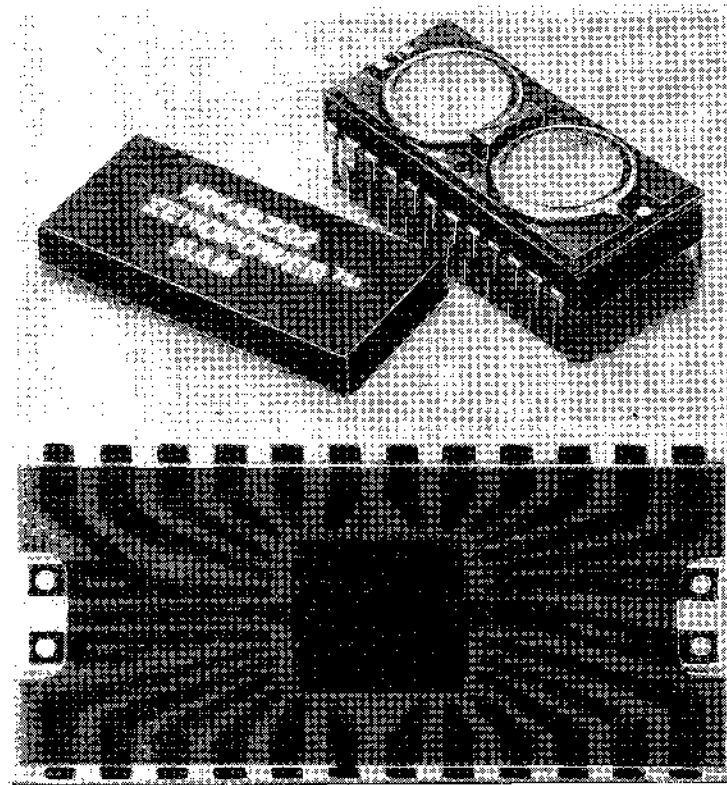


РИС. 1. В корпусе К/МОП ЗУ с произвольной выборкой размещаются литиевые элементы питания (на верхнем снимке), которые создают ток пассивного хранения данных при отказе основного питания. На рентгеновском снимке (внизу) основания такой микросхемы видны печатные контакты, расположенные по обоим краям основания и служащие для соединения собственно кристалла памяти с узлом литиевых батарей Top Bat.

уменьшить токи утечки через переходы до 10^{-16} А/мкм² при комнатной температуре. Кроме того, рассматриваемый К/МОП-процесс, без сомнения, обладает преимуществами, которые обуславливаются уменьшенными геометрическими параметрами, достигаемыми в динамических ЗУПВ за счет применения метода непосредственного пошагового репродуцирования уменьшенных схемных изображений на пластину кремния. Сейчас ведутся работы над процессом с 1,5-мкм проектными нормами, что позволит в ближайшее время изготовить ЗУПВ типа Zeropower емкостью 64 кбит.

Менее широко известны исследования, касающиеся техники батарейного питания. Хотя применимые на практике литиевые батареи появились еще в начале нынешнего столетия, большая часть исследований была нацелена на их высоконадежные приложения: осветительную аппаратуру, двигатели, усилители, индикаторы и т. п. Не удивительно, что батареи, которые были разработаны с целью питания электродвигателей, оказывались малоэффективными для микромощной электроники.

Однако в течение последних 10 лет бум в та-

ких областях техники, как производство электронных часов, калькуляторов, фотоаппаратов и кардиостимуляторов, способствовал резкому увеличению спроса на батареи малой емкости. Миниатюрные, размером с пуговицу, батарейки, предназначенные для вышеперечисленных устройств, сходят сейчас с поточных линий в количестве 800 млн. шт./год. За последние три года 40 миллионов из этого количества составили литиевые батареи размером с монету, что позволило добиться хорошо известной экономии за счет роста масштабов производства.

Литиевые батареи малой емкости обычно работают на токах менее 1 мкА, что более чем достаточно для обеспечения приемлемого тока пассивного хранения данных в ЗУПВ 48Z02, который при комнатной температуре должен, как правило, составлять лишь 5 нА. При емкости 35 мА·ч первоначального запаса энергии таких батарей хватает для создания тока пассивного хранения данных в течение сотен лет. Поэтому ни размер, ни емкость литиевых батарей не создают препятствий для их использования в качестве резервного питания К/МОП ЗУПВ. Более важными для таких приложений являются срок нахождения в резерве, температурный диапазон и плотность энергии.

Срок нахождения в резерве обязательно должен превышать время эксплуатации системы для того, чтобы не было необходимости в техническом обслуживании ЗУПВ. Большинство изготовителей систем считают приемлемым для литиевых батарей 10-летний срок нахождения в резерве. Литиевые батареи удовлетворяют также типовым температурным характеристикам коммерческих ИС, лежащим в диапазоне от 0 до 70 °С. И наконец, емкость литиевой батареи, равная 35 мА·ч, соответствует габаритам, составляющим менее половины объема 24-выводного корпуса типа DIP.

Тройное решение

Решение проблемы создания автономного энергонезависимого ЗУПВ состоит в обеспечении трех различных, но связанных между собой, режимов. Входные схемы ЗУПВ Zeropower (рис. 2) вместе с кристаллом собственно ЗУ образуют следующие три типа ЗУПВ в зависимости от величины напряжения основного питания V_{cc} : статическое, если $V_{cc} > 4,75$ В; с защитой записи при V_{cc} от 3 до 4,5 В; с резервным питанием, если $V_{cc} < 3$ В.

Непрерывный контроль напряжения V_{cc} в приборе 48Z02 осуществляется с помощью прецизионного детектора напряжений. Когда указанное напряжение падает ниже точки переключения, находящейся между 4,5 и 4,75 В (рис. 3), логика управления запрещает переход в актив-

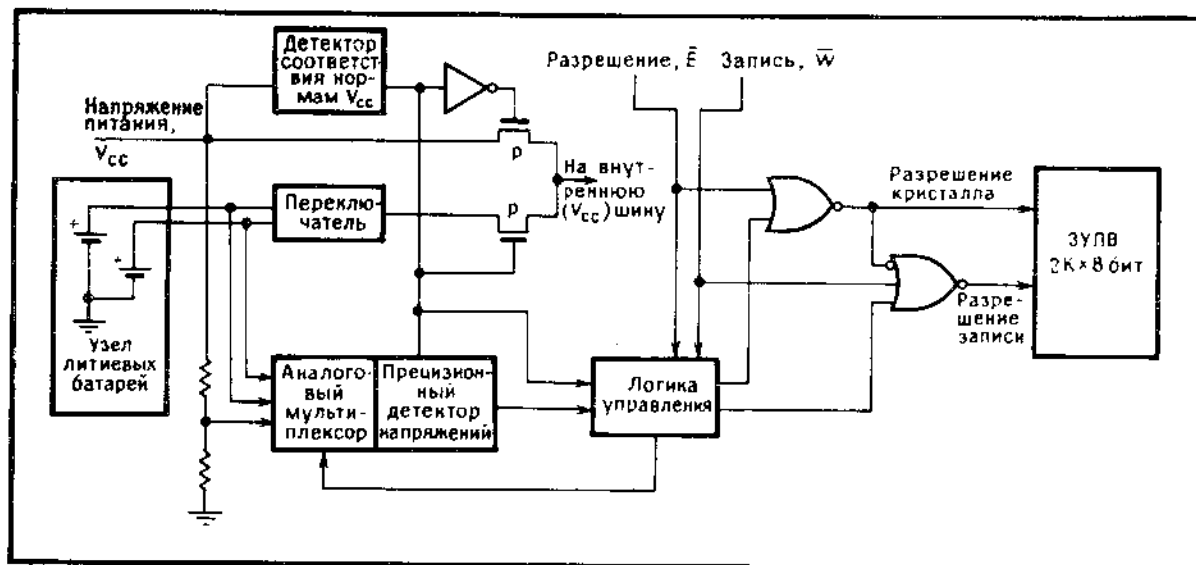


РИС. 2. Встроенный в кристалл ЗУПВ детектор напряжений контролирует состояния батарей и основного источника питания. Если напряжение основного питания падает ниже 3 В, вступают в действие резервные батареи, а на-

пряжение V_{CC} отключается. О снижении напряжения на выходе батарей до уровня 2 В и менее сигнализирует запрет следующего цикла записи.

ное состояние сигнала разрешения записи в матрицу памяти. В случае падения напряжения питания до уровня ниже 4,5 В все входы ЗУПВ блокируются, и тем самым информация в этом ЗУ сохраняется от нежелательных изменений.

Если напряжение V_{CC} становится ниже приблизительно 3 В, то схема переключения присоединяет один из двух литиевых элементов питания к распределительной шине питания ЗУПВ и при этом разрывает связь с внешним источником питания. В данном случае в качестве резервного источника выбирается тот из двух независимых элементов, который имеет наивысшее выходное напряжение. Повышению надежности рассматриваемого ЗУ способствует сохранение независимости батарей друг от друга и выбор их из различных производственных партий.

Когда V_{CC} при включении питания возрастает до значений, превышающих 3 В, вновь подается внешний источник питания, а литиевая батарея отключается. При изменении напряжения питания от 4,5 до 4,75 В выходы обеих литиевых батарей проверяются посредством детектора напряжений. Если на любой из них напряжение оказывается меньшим 2 В, устанавливается специальный разряд-флажок. Когда возобновляется нормальное функционирование ЗУПВ в случае $V_{CC} > 4,75$ В, этот флажок может контролироваться в первом же запрашиваемом цикле записи. Если флажок оказывается установленным, то данный цикл не выполняется, что служит предупреждением о скором выходе батарей из строя.

Модуль описываемого ЗУПВ состоит из двух

частей: основания с выводами, расположенными в два ряда, и узла батарей, названного Top Hat. Основание в целом отвечает общепринятым нормам, за исключением наличия у него двух наборов утопленных печатных контактов, которые размещаются по одному с каждого края основания и служат для подключения узла Top Hat. Размещение печатных контактов в углублениях предотвращает случайное касание посторонних

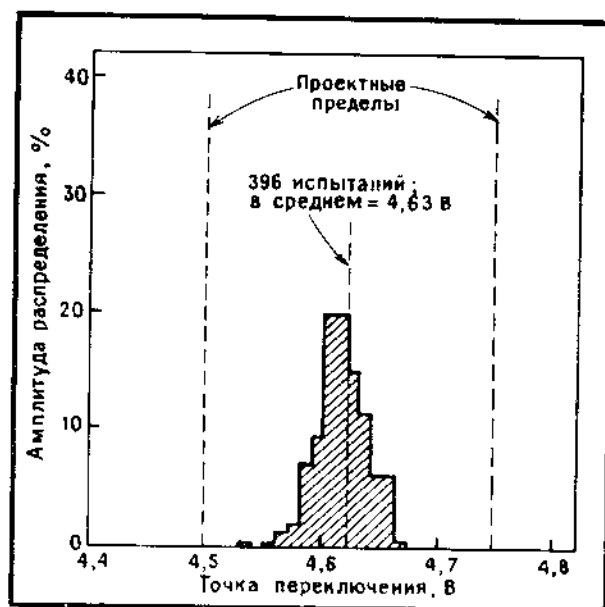


РИС. 3. Точка переключения детектора напряжений, показанного на рис. 2, лежит между 4,5 и 4,75 В. Когда напряжение V_{CC} падает ниже этой точки, логика управления блокирует схемы записи ЗУПВ, предотвращая случайные изменения данных. При V_{CC} , меньшем 3 В, ЗУПВ переключается на резервную батарею.

токопроводящих элементов, которое может привести к разряду батарей. Для соединения основания с узлом Top Hat используется хорошо зарекомендовавший себя метод, аналогичный тому, который применяется для установки одного корпуса динамического ЗУПВ на другой: для формирования механического и электрического соединений оба компонента проходят через ванну с припоем. Смонтированные таким образом модули загружаются в трубчатые упаковки, сходные с упаковками, применяемыми для отгрузки стандартных ИС заказчикам.

Разводка выводов

Общепринятые стандарты на разводку выводов ЗУ с байтовой организацией значительно облегчают работу системотехников. Стандарты Объединенного технического совета по электронным приборам (JEDEC) на элементы памяти с байтовой организацией, версия В, рассчитаны на повышение плотности упаковки ЗУ емкостью $32K \times 8$ бит и обеспечивают 100 %-ную взаимозаменяемость для ПЗУ, ЗУПВ, программируемых ПЗУ с ультрафиолетовым стиранием и ЭСППЗУ. Этим стандартам отвечает и ЗУПВ 48Z02 емкостью $2K \times 8$ бит, а также его будущие версии на $8K \times 8$ и $32K \times 8$ бит.

В связи с широким распространением байтовых ЗУ большинству разработчиков не составит труда заменить нынешние 16-кбит ЗУПВ непосредственно на энергонезависимые ЗУПВ из семейства 48Z02. Кроме того, программирование ЗУПВ Zeropower на месте эксплуатации осуществляется гораздо проще, чем стирание и программирование СППЗУ. Средства резервного питания в новой ИС также более совершенны, чем аналогичные схемы обычного типа; имеются и преимущества по сравнению с ЭСППЗУ.

ЗУПВ с резервным питанием от батарей известны уже не один год. Популярность такому методу построения ЗУ, несомненно, создало появление К/МОП ЗУПВ с высокой плотностью упаковки элементов. Тем не менее остается еще ряд трудностей, связанных с развязкой питания, детектированием напряжений, формированием последовательностей включения и выключения питания и монтажом резервных батарей. Даже предположив, что выбор К/МОП ЗУПВ, адресные и информационные линии которых стробируются внутренним сигналом разрешения кристалла, был верным, разработчики ЗУ еще осознают необходимость во внешних компонентах для создания законченного стандартного ЗУПВ с батарейным резервированием (рис. 4).

Предварительные характеристики

Введение таких добавочных компонентов приводит к ряду косвенных проблем. Во-первых, требуется надежная развязка для предотвраще-

ния разряда батарей, а необходимые при этом диоды (D_1 и D_2 на рис. 4) вносят падение напряжения, равное 0,6 В. Чтобы скомпенсировать такое падение, нужен нестандартный 5,6-В источник питания. Во-вторых, для сохранения данных в процессе включения или выключения питания должен формироваться сигнал безусловной блокировки кристалла в случае выхода питающего напряжения за допустимые рамки. Универсальная схема формирования такого сигнала требует наличия прецизионного детектора малых напряжений, в котором, как правило, должен устанавливаться подстроечный резистор (R_1). В-третьих, поскольку этот детектор функционирует постоянно, его следует подключать к резервной батарее, а не к основному источнику питания. Таким образом, критерии выбора батареи совершенно изменяются.

Поскольку сопутствующие схемы потребляют относительно высокий ток, для их питания необходимы перезаряжаемые батареи типа никель-кадмиевых аккумуляторов. Тем самым требуется установка схем перезарядки, что затрудняет получение нужного значения тока от 5-В источника питания. Дополнительное ухудшение характеристик возникает из-за того, что один элемент батареи обеспечивает напряжение всего лишь около 1 В, т. е. необходимы три подобных элемента, и, таким образом, вероятность отказа повышается втрое. Более того, высокая скорость разряда никель-кадмиевых аккумуляторов исключает возможность сохранения данных дольше одного года независимо от первоначальной емкости этих источников.

По сравнению с ЭСППЗУ, ЗУПВ Zeropower проще в эксплуатации и найдет более широкое применение. Область применений ЭСППЗУ сужается из-за ограничения числа возможных операций записи, а значительные длительности цикла записи (в среднем 10 мс) нередко приводят к большим трудностям в осуществлении внешней синхронизации. Кроме того, имеющиеся в настоящее время в продаже ЭСППЗУ характеризуются существенными недоработками в части средств защиты записи.

По отношению к «теневым» ЗУПВ, которые образуются путем присоединения ячеек ЭСППЗУ к матрице статических ЗУПВ, изделие Zeropower обладает двумя преимуществами. Оно характеризуется повышенной плотностью упаковки благодаря меньшим размерам ячеек статических ЗУПВ и содержит все необходимые схемы для контроля напряжения питания и запуска операций перехода на резервное питание.

При расчете надежности ЗУПВ Zeropower отдельно рассматривались соответствующие показатели для кристалла и батарей. Применявшийся при создании рассматриваемого 16-кбит ЗУПВ К/МОП-процесс с 3-мкм проектными нор-

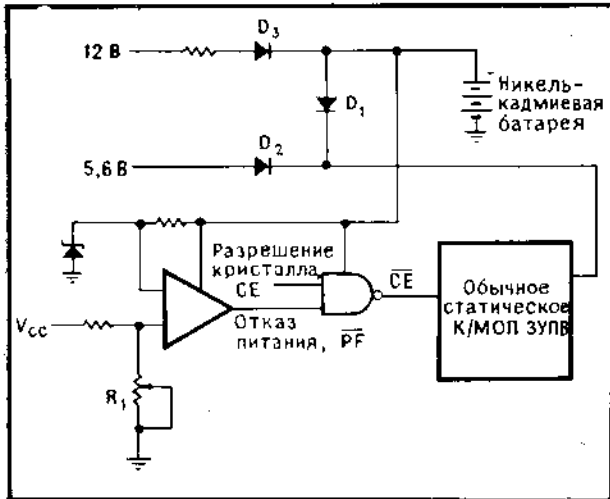


РИС. 4. Общепринятая схема резервного батарейного питания ЗУПВ требует наличия дополнительных компонентов, показанных на рисунке, а именно нестандартного 5,6-В источника питания и никель-кадмиевого аккумулятора для питания собственно ЗУ и сопутствующих схемных элементов.

мами аналогичен процессу, используемому для серийного производства вентильных матриц и других компонентов. Ускоренные испытания по определению срока службы таких компонентов показывают, что частота отказов в описываемом К/МОП-кристалле не будет превышать 200 единиц наработки на отказ при температуре 55°C (одна единица наработки на отказ равна 10^{-6} за 1000 часов эксплуатации).

Карбен-монофторидная электрохимическая структура литиевого элемента прошла восьмилетние испытания на установление реального срока службы батареи, которые выявили, что потери электроемкости при 25°C составили в среднем 0,5 % в год. Если первоначальная емкость каждого из двух элементов составляла 35 мА·ч (4000 нА·год), и ИС ЗУПВ Zerower потребляет ток 5 нА в режиме пассивного хранения данных, то предполагаемый срок службы первого элемента будет 320 лет, а второй эле-

мент позволит сохранять данные в течение еще 118 лет (см. таблицу). На срок эксплуатации такого рода компонентов, несомненно, будут накладываться ограничения, связанные с долговечностью материалов, из которых изготовлен корпус ИС.

Испытания и применения

Продолжаются испытания по определению предполагаемого срока службы элементов питания при высоких температурах. Один из недавно завершенных тестов показал, что выдержка таких элементов в течение четырех месяцев при температуре 85°C приводит к потере ими своей первоначальной энергоемкости в размере всего 6 %. Если считать, что снижение емкости за один год при 85°C равно в среднем 17 %, то полное время хранения информации все-таки составит почти девять лет.

Применение ЗУПВ 48Z02 в какой-то степени стирает различия между ЗУПВ, ПЗУ и СППЗУ. В качестве примера можно привести одну систему, в которой были использованы Универсальная сменная плата памяти фирмы Mostek (MDX-UMC2) и плата с восемью гнездами для ЗУ с байтовой организацией, совместимая с шиной STD. Первоначально вторая из указанных плат была укомплектована четырьмя СППЗУ 2716 с записанной в них операционной системой и четырьмя статическими ЗУПВ емкостью 2К×8 бит каждое в качестве рабочего пространства пользователя. Теперь же на этой плате монтируются ЗУПВ Zerower. Модификации программного обеспечения сейчас производятся без привлечения специального обслуживающего персонала, а оперативные данные пользователей защищены от сбоев основного питания. В структуру аппаратных средств не потребовалось вносить никаких изменений, за исключением непосредственной замены компонентов памяти.

РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ЗУПВ ZEROWER С БАТАРЕЙНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

$t = \frac{1}{a} \ln \left(1 + \frac{aE_0}{I_L} \right)$				t = время хранения данных a = потеря емкости батарей		E_0 = начальная емкость батарей I_L = ток утечки батарей	
Темпер., °C	I_L , нА	E_0 , нА·год	a , 1/год	Время хранения: первый элемент	Время хранения: второй элемент		Полное время хранения $t_1 + t_2$, лет
				t_1 , лет	Емкость в момент t_1 , нА·год	t_2 , лет	
25	5	4000	0,005	320	800	118	438