



# ТЕХНОЛОГИЯ iRETENTION ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В СРЕДАХ С ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ

БЕНДЖАМИН ДЖОКЕЛА (BENJAMIN JOKELA)

Данные, хранящиеся в накопителях на основе памяти NAND-флэш, со временем будут медленно деградировать. Это связано с тем, что в каждой NAND-флэш-ячейке постепенно сокращается заряд. Кроме того, при высокой температуре также уменьшается способность ячеек к удерживанию данных. Решить эти проблемы можно с помощью периодического обновления данных с учетом значения температуры и числа циклов записи-стирания — для этого компания Innodisk разработала технологию iRetention.

## ВВЕДЕНИЕ

Способность к удерживанию данных означает свойство ячеек памяти NAND-флэш хранить записанные в них данные. Она уменьшается при повышении температуры и увеличении циклов записи-стирания. Это связано с тем, что оба данных фактора приводят к повышению скорости утечки заряда NAND-флэш-ячеек, поскольку более высокие температуры увеличивают подвижность заряженных частиц в ячейке, в то время как циклы записи-стирания, в свою очередь, наносят ущерб структурной целостности ячейки. Деграция ячеек оценивается через коэффициент деграции данных DF (degradation factor), при этом  $DF = 1$  является значением удержания данных при обычной температуре и увеличивается до 168 в диапазоне температур  $+80...+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. е. способность к удержанию данных в таких условиях уменьшается в 168 раз.

Проблема, связанная с деграцией флэш-ячеек, может быть решена путем периодического обновления данных с учетом значения темпе-

ратуры и числа циклов записи-стирания. Для этого используется обмен данными между блоками, подобно процедуре, которая осуществляется при выравнивании износа (технологии перемещения часто изменяемых данных по адресному пространству флэш-памяти). Тестирование показывает, что до тех пор, пока данные обновляются через алгоритмы выравнивания, они теоретически могут удерживаться в течение десятилетий даже при температуре, достигающей  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В большинстве отраслей основными устройствами для хранения данных стали твердотельные накопители (solid state drive, SSD). Это особенно справедливо для применений в агрессивных средах, поскольку SSD, как правило, более прочные, чем традиционные носители данных вроде жестких дисков (HDD). Тем не менее экстремальные температуры могут отрицательно повлиять на характеристики SSD в части хранения данных.

Способность памяти на основе NAND-флэш-ячеек удерживать запи-

санные в нее данные, образно говоря, — это таймер, который начинает отсчитывать время сразу после того, как данные были записаны в NAND-флэш-ячейку. Обратный отсчет продолжается до тех пор, пока данные не будут восстановлены, т. е. первоначальные данные считаны, стерты и на их место записаны новые. При нормальных температурных условиях время удерживания данных обычно достаточно длительное, причем настолько, чтобы оно не создавало риска для целостности данных (изготовители обычно указывают время удерживания данных до десяти лет). Однако с повышением температуры способность к удерживанию данных меняется.

Можно выделить три основные причины, по которым удерживание данных в ячейках NAND-флэш может стать проблемой. Во-первых, у флэш-ячейки такая структура, что более высокие температуры из-за увеличения утечки приводят к дегенерации данных с чрезвычайно большой скоростью. Во-вторых, жесткие условия эксплуатации при частых

циклах записи-стирания еще больше усугубляют проблему удерживания. По мере увеличения количества циклов записи-стирания ячейка все более ослабевает, что, соответственно, приводит к снижению ее способности удерживания данных. Наконец, по мере того как производители пытаются вместить как можно больше элементарных ячеек в каждую матрицу, физический размер такой ячейки уменьшается.

В связи с этим требуются функции, увеличивающие время удерживания данных, которые могут периодически обновлять данные во избежание их потери.

Решение данной проблемы актуально в любой среде, где наблюдаются высокие температуры, будь то автомобиль, системы промышленной автоматизации, оборудование аэрокосмической или оборонной отрасли.

### РАБОТА ЯЧЕЙКИ

Основной структурой ячейки NAND-флэш является МОП-транзистор с плавающим затвором (Floating Gate Transistor, рис. 1). Для программирования ячейки напряжение подается на управляющий затвор, что притягивает электроны вверх. Создается электрическое поле, позволяющее электронам проникнуть сквозь барьер из оксида к плавающему затвору. В случае если это многоуровневая MLC-ячейка (Multi-Level Cell), заряд представляет собой двоичное значение, например 00, 01, 10 и 11. Благодаря изоляции заряд остается на месте и после отключения питания от SSD, поэтому такая память является энергонезависимой.

Для стирания ячейки напряжение подается с другой стороны — на канал. При этом управляющий затвор заземляется, чтобы направить электроны от плавающего затвора через оксид обратно к каналу. Этот процесс также немного повреждает ячейку, поэтому все без исключения ячейки NAND-флэш-памяти имеют ограниченный срок службы.

### ПРОБЛЕМЫ

#### Температура

Способность NAND-флэш-ячейки к удерживанию данных, как правило, не подвержена изменениям при воздействии стандартных температур,

не превышающих +40 °С. Но как только температура становится более высокой, эта способность резко падает. Тестирование показывает, что в диапазоне температур +80...+85 °С коэффициент деградации данных, как уже было сказано выше, достигает 168 (рис. 2). Например, в том случае, если устройство с гипотетическим сроком гарантированного удерживания данных, равным одному году, окажется в рабочей среде с температурой +80 °С, до начала катастрофической потери данных оно проработает всего лишь два дня.

### Циклы записи-стирания

Как уже было сказано ранее, для стирания ячейки напряжение подается с другой стороны — на канал, при этом повреждая ячейку. По мере накопления дефектов ячейка будет постепенно утрачивать возможности по удерживанию данных. Это означает, что твердотельные накопители, которые ранее интенсивно эксплуатировались в условиях высокой нагрузки по циклам записи-стирания, станут непригодны для длительного удерживания данных.

### Уменьшение физических размеров ячеек NAND-флэш

Одно из физических следствий уменьшения размеров ячеек NAND-флэш-памяти заключается в том, что меньшая масса ячейки затрудняет удерживание заряда, который будет стекать быстрее, чем в более ранних вариантах ячеек. Хотя эта проблема, так или иначе, не может быть нивелирована, важно помнить об этом при изучении вопроса сохранения целостности данных.

### РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ

Чтобы решить проблему удерживания данных в SSD, можно добавить на плату температурный сенсор. В таком случае накопитель



РИС. 1. ▲ Транзистор с плавающим затвором

будет иметь информацию о температурных изменениях в виде полного непрерывного профиля. Этот профиль и количество циклов записи-стирания будут постоянно подаваться в алгоритм прошивки, который, в свою очередь, позволит SSD самостоятельно контролировать ситуацию с удерживанием данных (рис. 3). Он сможет определять оптимальную частоту обновлений, при этом требования к функционированию такой микропрограммы будут минимальные. Иными словами, данные сохраняются в безопасности, практически не влияя на производительность самого накопителя.

Функция обновления данных работает на блочном уровне, где состояния блоков, находящихся под угрозой, будут перенесены в виде данных в новые блоки. При этом таймер удерживания данных сбрасывается и запускается снова, сохраняя безопасность удерживания данных

РИС. 2. ▼ Изменение коэффициента деградации при повышении температуры

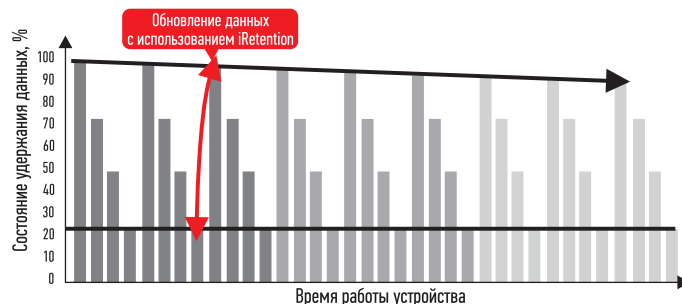
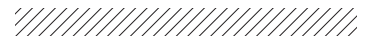
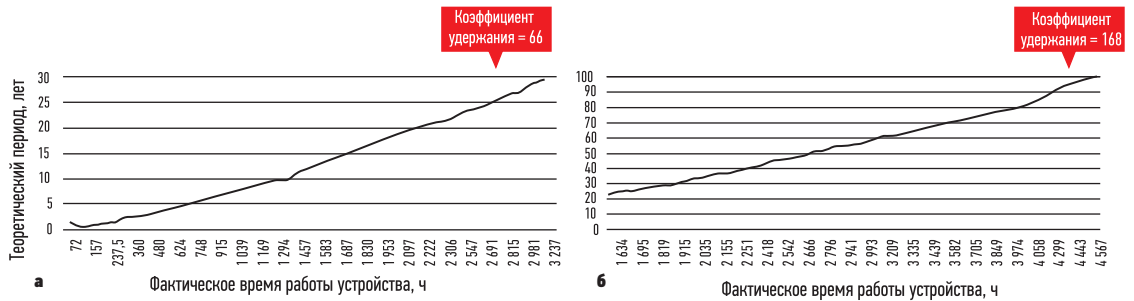


РИС. 3. ◀ Когда уровень удерживания данных падает, SSD инициирует операцию обновления данных



**РИС. 4. ►**  
 Двойной тестовый прогон  
 с твердотельными  
 накопителями:  
 а) при коэффициенте  
 удержания 66;  
 б) при коэффициенте  
 удержания 168



до тех пор, пока SSD не решит, что пора начать следующий цикл обновления.

На рис. 3 показана работа iRetention — интеллектуальной технологии, созданной компанией Innodisk. Эта быстрая и гибкая функция в виде программной прошивки SSD способна обеспечивать удержание данных в условиях деградации ячеек NAND-флэш-памяти и повышения температуры. Благодаря свойствам такой прошивки время удерживания накопителя, по сравнению со стандартными спецификациями памяти на основе ячеек NAND-флэш, значительно возрастает.

Как видно из рис. 4, проведенное тестирование наглядно показывает, что алгоритм функционирования твердотельных накопителей, с учетом температуры окружающей среды и количества циклов записи-стирания, теоретически может продлить срок удерживания данных на многие десятилетия. Например, даже в диапазоне температур +80...+85 °С (при коэффициенте удержания, равном 168) SSD будет удерживать данные при их обновлении в течение более 80 лет.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Удержание данных не является проблемой при обычных условиях

эксплуатации твердотельных накопителей. Однако при их использовании в устройствах, работающих в жестких условиях окружающей среды, т. е. с повышенной температурой и частыми циклами записи-стирания, необходимо учитывать опасность потери данных и иметь полную информацию о том, как скоро этот сбой может произойти. Данную проблему можно легко устранить путем мониторинга температуры и оптимизации программной прошивки твердотельного накопителя, что может спасти пользователя SSD от больших проблем, связанных с повреждением и потерей данных. ●