

МОДЕЛИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Деменковец Д.В., Петровская В.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ярмолик В.Н. – д.т.н., профессор

В работе представлены описания математических моделей неисправностей взаимного влияния ОЗУ в которой учувствуют две ячейки памяти. Также описывается характерное поведение ячеек памяти при данных неисправностях.

Быстрый рост объемов памяти, в первую очередь оперативной, привел к значительному уплотнению их запоминающих элементов. В зависимости от технологических особенностей производства появляются как классические, так и новые, современные типы, и разновидности физических дефектов. Для аналитического описания неисправного поведения ячеек или дефектов памяти применяются математические модели, которые описывают физические неисправности запоминающего устройства (ЗУ).

Первые модели неисправностей ЗУ, так называемые классические, были предложены более 40 лет назад. К ним относят неисправности, затрагивающие одну ячейку (константные, переходные), две и более ячеек [1,2]. Особо отмечают неисправности, затрагивающие две и более ячеек памяти, в силу достаточной сложности их обнаружения и диагностирования.

К классическим неисправностям в которых учувствуют две ячейки относят неисправности взаимного влияния (coupling fault - CF) [3]. В данной неисправности одна ячейка выступает в роли влияющей (aggressor cell), с адресом i , вторая выступает в роли зависимой (victim cell) имеет адрес j . Другими словами, одна ячейка имеет роль агрессора, и вызывает изменение логического состояния ячейки жертвы. Различают три типа неисправностей взаимного влияния: инверсные неисправности взаимного влияния, неисправности взаимного влияния прямого действия, статические неисправности взаимного влияния.

Инверсные неисправности взаимного влияния (inverse coupling faults – CF_{inv}). При данной неисправности изменение значения ячейки агрессора вызывает инвертирование значения ячейки жертвы. Возможны четыре вида неисправностей CF_{inv}: $\wedge(\uparrow, \overline{b_j})$, $\wedge(\downarrow, \overline{b_j})$, $\vee(\uparrow, \overline{b_j})$, $\vee(\downarrow, \overline{b_j})$. Символ $\wedge$ и символ $\vee$ задают взаимное расположение ячейки агрессора и ячейки жертвы. Первый символ $\wedge$ означает, что ячейка с меньшим адресом влияет на ячейку с большим адресом ($i < j$), а символ $\vee$ используется в случае, когда адрес ячейки агрессора больше адреса ячейки жертвы ($i > j$).

Неисправности взаимного влияния прямого действия (idempotent coupling faults – CF_{id}). При изменении значения ячейки агрессора с адресом i , происходит принудительная установка определенного логического значения 0 или 1 в ячейке жертвы с адресом j . Возможны восемь неисправностей прямого действия: $\wedge(\uparrow, 0)$, $\wedge(\uparrow, 1)$, $\wedge(\downarrow, 0)$, $\wedge(\downarrow, 1)$, $\vee(\uparrow, 0)$, $\vee(\uparrow, 1)$, $\vee(\downarrow, 0)$ и $\vee(\downarrow, 1)$.

Статические неисправности взаимного влияния (state coupling faults – CF_{st}). Переход ячейки жертвы в какое-либо состояние возможен только при определенном значении ячейки агрессора. Возможно восемь неисправностей CF_{st}: $\wedge(0, 0)$, $\wedge(0, 1)$, $\wedge(1, 0)$, $\wedge(1, 1)$, $\vee(0, 0)$, $\vee(0, 1)$, $\vee(1, 0)$ и $\vee(1, 1)$.

Однако в настоящее время в силу значительного увеличения объемов оперативной памяти и структурного расположения запоминающих элементов проявляются новые типы неисправностей взаимного влияния и возникает необходимость их описания с помощью математических моделей [4].

К таким неисправностям относят:

- нарушающие неисправности взаимного влияния;
- переходные неисправности взаимного влияния;
- неисправности взаимного влияния типа разрушающая запись;
- неисправности взаимного влияния типа разрушающее чтение;
- неисправность взаимного влияния типа некорректное чтение;
- неисправность взаимного влияния типа ложное разрушающее чтение.

Нарушающие неисправности взаимного влияния (disturb cell coupling Faults – CF_{ds}) характеризуются переходом состояния ячейки жертвы при применении любой операции чтения или записи к ячейке агрессору, что «пробуждает» зависимую ячейку, заставляя её сделать определённый переход. Например, неисправность $(r0, \uparrow)$, характеризуется тем, что чтение значения нуля из ячейки агрессора приводит к переходу состояния ячейки жертвы из нуля в единицу. В случае неисправности $(\uparrow, 0)$, переход состояния ячейки агрессора из нуля в единицу устанавливает значение нуля в ячейке жертвы.

Возможны 24 неисправности CF_{ds}: восемь, связанных с операцией чтения, $\vee(r0, \uparrow)$, $\vee(r0, \downarrow)$, $\vee(r1, \uparrow)$, $\vee(r1, \downarrow)$, $\wedge(r0, \uparrow)$, $\wedge(r0, \downarrow)$, $\wedge(r1, \uparrow)$, $\wedge(r1, \downarrow)$ (отображены на рисунке 1 без учета физического расположения ячеек агрессора и жертвы), и шестнадцать, связанных с операцией записи. Восемь для непереходных: $\vee(w0, \uparrow)$, $\vee(w0, \downarrow)$, $\vee(w1, \uparrow)$, $\vee(w1, \downarrow)$, $\wedge(w0, \uparrow)$, $\wedge(w0, \downarrow)$, $\wedge(w1, \uparrow)$, $\wedge(w1, \downarrow)$. Для случая переходной записи, возможно восемь неисправностей данного типа: $\wedge(\uparrow, 0)$, $\wedge(\uparrow, 1)$, $\wedge(\downarrow, 0)$, $\wedge(\downarrow, 1)$, $\vee(\uparrow, 0)$, $\vee(\uparrow, 1)$, $\vee(\downarrow, 0)$ и $\vee(\downarrow, 1)$.

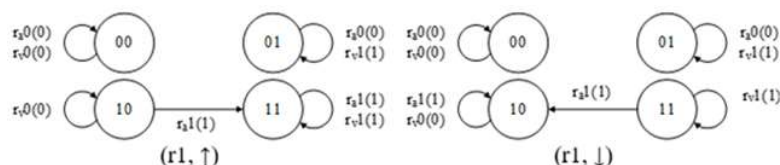


Рисунок 1 – Диаграмма состояний ячеек памяти, связанных нарушающей неисправностью взаимного влияния

Переходные неисправности взаимного влияния (transition coupling faults - CFtr) характеризуются невозможностью переходной записи состояния зависимой ячейки при определенном состоянии ячейки агрессора. Например для неисправности $(0, !0w1)$ значение нуля в ячейке агрессоре, приводит к невозможности записи состояния из нуля в единицу ячейки жертвы. Знак «!» в описании неисправности обозначает невозможность выполнения операции переходной записи в ячейку. Возможны восемь неисправностей CFtr: $v(0, !0w1)$, $v(1, !0w1)$, $v(0, !1w0)$, $v(1, !1w0)$, $\wedge(0, !0w1)$, $\wedge(1, !0w1)$, $\wedge(0, !1w0)$, $\wedge(1, !1w0)$.

Неисправности взаимного влияния типа разрушающая запись (write destructive coupling faults - CFwd) характеризуется тем, что запись без изменения значения, примененная к ячейке жертве, инвертирует эту ячейку, при условии, что ячейка агрессор находится в определенном состоянии. Например, неисправность $(0, 0w0=1)$ обозначает, что в случае если значение ячейки агрессора равно нулю, операция записи в ячейку жертву подтверждающего значения нуля приводит к установке значения единицы в этой ячейке. Возможны восемь неисправностей CFwd: $v(0, 0w0=1)$, $v(1, 0w0=1)$, $v(0, 1w1=0)$, $v(1, 1w1=0)$, $\wedge(0, 0w0=1)$, $\wedge(1, 0w0=1)$, $\wedge(0, 1w1=0)$, $\wedge(1, 1w1=0)$.

Неисправности взаимного влияния типа разрушающее чтение (read destructive coupling faults - CFrd) характеризуются тем, что операция чтения, примененная к ячейке жертве, вызывает инверсию и возвращает измененное значение в случае, если ячейка агрессор была в определенном состоянии. Например, неисправность $(0, 0r0=1,1)$ обозначает, что если ячейка агрессор находилась в состоянии нуля, и ячейка жертва также находилась в состоянии нуля, то операция чтения из ячейки жертвы того же значения нуля, приводит к изменению значения на единицу, затем при последующем чтении из этой ячейки будет возвращено неверное значение единицы. Также возможны восемь неисправностей: $v(0, 0r0=1,1)$, $v(1, 0r0=1,1)$, $v(0, 1r1=0,0)$, $v(1, 1r1=0,0)$, $\wedge(0, 0r0=1,1)$, $\wedge(1, 0r0=1,1)$, $\wedge(0, 1r1=0,0)$, $\wedge(1, 1r1=0,0)$.

Неисправность взаимного влияния некорректного чтения (incorrect read coupling faults – CFir). Данные неисправности характеризуются тем, что операция чтения, примененная к ячейке жертве, не вызывает ее перехода, но возвращает некорректное значение при последующем чтении, в случае если ячейка агрессор была в определенном состоянии. Например, неисправность $(0, 0r0=0,1)$ обозначает, что если ячейка агрессор находилась в состоянии нуля, и ячейка жертва также находилась в состоянии нуля, то операция чтения из ячейки жертвы того же значения нуля, не приводит к изменению значения, но при последующем чтении из этой ячейки будет возвращено неверное значение единицы. Возможны восемь неисправностей данного типа: $v(0, 0r0=0,1)$, $v(1, 0r0=0,1)$, $v(0, 1r1=1,0)$, $v(1, 1r1=1,0)$, $\wedge(0, 0r0=0,1)$, $\wedge(1, 0r0=0,1)$, $\wedge(0, 1r1=1,0)$, $\wedge(1, 1r1=1,0)$.

Неисправность взаимного влияния типа ложного деструктивного чтения (deceptive read destructive coupling faults - CFdrd). Данные неисправности характеризуются тем, операция чтения, примененная к ячейке жертве, инвертирует ее значение, при этом последующая операция чтения, возвращает первоначальное значение, при условии определенного состояния ячейки жертвы. Возможны восемь неисправностей данного типа: $v(0, 0r0=1,0)$, $v(1, 0r0=1,0)$, $v(0, 1r1=0,1)$, $v(1, 1r1=0,1)$, $\wedge(0, 0r0=1,0)$, $\wedge(1, 0r0=1,0)$, $\wedge(0, 1r1=0,1)$, $\wedge(1, 1r1=0,1)$.

В итоге, на основе описанных моделей неисправностей взаимного влияния могут быть описаны модели более сложные модели неисправностей, в которых учувствует более двух ячеек запоминающих устройств. Например, такими сложными неисправностями являются модели кодочувствительные неисправности и связанные неисправности (linked faults) [5].

Список использованных источников:

1. Goor A. J. *Testing Semiconductor Memories: Theory and Practice* / A. J. Goor. – Chichester, UK : John Wiley & Sons, 1991. – 536 p.
2. Goor, A.J. *Functional Memory Faults: A Formal Notation and a Taxonomy* / A.J. Goor, Z. Al-Ars // In *Proceedings 18th International IEEE VLSI Test Symposium (VTS'00) IEEE Computer Society*. – Montreal, Canada, 2000. – P. 281–289.
3. Ярмолик, В. Н. *Контроль и диагностика вычислительных систем : [моно-графия]* / В. Н. Ярмолик. – Минск : Бестпринт, 2019. – 387 с. : ил. 75.
4. *Memory fault models and testing by Abhilash Kaushal*. June 29, 2015 [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.edn.com/memory-fault-models-and-testing/> Дата доступа: 27.03.2024
5. *Формальная модель описания и условия обнаружения связанных неисправностей взаимного влияния запоминающих устройств* / В. Н. Ярмолик [и др.] // *Информатика*. – 2023. – № 4 (20). – С. 7–23.