

УДК 681.32

**В. Ю. Скобцов**, канд. техн. наук,  
**Ю. А. Скобцов**, д-р техн. наук

### МНОГОЗНАЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕКРЕСТНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ИНДУЦИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСОВ

**Аннотация:** Рассматривается задача моделирования и тестовой диагностики неисправностей перекрестных индуцированных импульсов комбинационных цифровых устройств. Разработан метод логического моделирования в многозначный алфавит  $C_9$ , который позволяет моделировать схемы с неисправностями «индуцированные импульсы». Показана эффективность применения многозначного логического моделирования в сочетании с эволюционным подходом в задаче построения тестов для неисправностей данного типа.

**Ключевые слова:** перекрестные неисправности индуцированные импульсы, многозначное моделирование, многозначный алфавит

**V. Skobtsov**, PhD.,  
**Y. Skobtsov**, ScD.

### MULTIVALUED SIMULATION OF CROSSTALK INDUCED PULSES FAULTS

**Abstract.** It is considered the problem of simulation and test diagnosis of crosstalk induced pulses faults for combinational digital devices. There was developed a method of multivalued logic simulation in alphabet  $C_9$ , which allows to simulate circuits with “induced impulses” faults. It was shown the efficiency of a multi-valued logic simulation in conjunction with the evolutionary approach to the problem of test generation for this type of faults.

**Keywords:** crosstalk induced pulses faults, multivalued simulation, multivalued alphabet

**В. Ю. Скобцов**, канд. техн. наук,  
**Ю. О. Скобцов**, д-р техн. наук

### БАГАТОЗНАЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕКРЕСНИХ НЕСПРАВНОСТЕЙ ІНДУЦІЙОВАНИХ ІМПУЛЬСІВ

**Анотація:** Розглядається задача моделювання і тестової діагностики несправностей перехресних індукційованих імпульсів комбінатійних цифрових пристроїв. Розроблено метод логічного моделювання у багатозначному алфавіту  $C_9$ , який дозволяє моделювати схеми з несправностями «індукційовані імпульси». Показана ефективність застосування багатозначного логічного моделювання в поєднанні з еволюційним підходом в задачі побудови тестів для несправностей даного типу.

**Ключові слова:** перехресні несправності індукційовані імпульси, багатозначне моделювання, багатозначний алфавіт

**Введение.** По мере уменьшения в размере транзисторов и соединений современных микросистемных устройств, вследствие развития технологий производства сверхбольших интегральных схем (СБИС) и их миниатюризации, емкость самих линий устройств также уменьшается. Однако емкостная связь между линиями и отношение емкостной связи к общей емкости имеет тенденцию к росту в силу того, что линии становятся ближе друг к другу и минимальное расстояние между ними падает быстрее, чем их толщина. Кроме этого, развитие технологий ведет к повышению рабочих частот сигналов и, следовательно, к резкому уменьшению длительности времени переходов сигналов (переднего и заднего фронта).

Увеличение емкостной связи и сокращение длительности фронтов приводит к тому, что линия может индуцировать сигналы на соседних линиях (рис. 1). При отсутствии фронта на одной линии и наличии фронта на другой линии, на первой линии возможно возникновение индуцированных импульсов. Если фронты имеют место на обеих линиях, то могут изменяться времена переходов сигналов. Такие эффекты принято называть перекрестными (*cross*) эффектами.

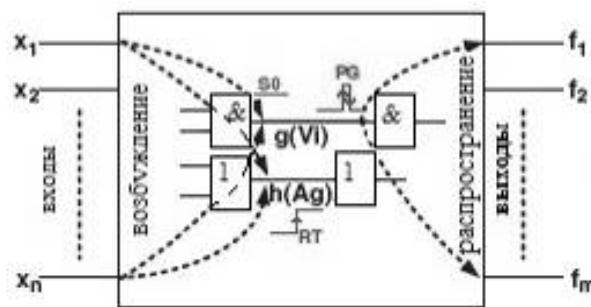


Рис.1. Неисправность «индуцированный импульс»

Для уменьшения *cross* эффектов можно применять специальные методы проектирования СБИС на этапах размещения и трассировки. Кроме этого, необходимо выполнять моделирование и тестирование подобных перекрестных неисправностей, которые позволяют анализировать их влияние и сводить его к минимуму. Работы по моделированию и тестированию неисправностей типа “crosstalk” ведутся с середины 90-х годов [1 – 6] и на данном этапе являются чрезвычайно актуальными.

### Перекрестные неисправности, индуцированные импульсы

Выделяются два основных типа перекрестных неисправностей:

- 1) “crosstalk” индуцированные импульсы;
- 2) “crosstalk” индуцированные задержки.

В первом случае быстро переключающаяся линия – «агрессор» (aggressor) может индуцировать короткий импульс на статической линии – «жертве» (victim). В зависимости от амплитуды и ширины эти импульсы могут оказывать существенное влияние на характеристики схемы. Когда на «сильной» линии (агрессоре) происходит изменение сигнала, а на слабой линии (жертве) сохраняется постоянный сигнал, то вследствие емкостной связи на жертве может возникнуть кратковременный импульс (glitch) – положительный или отрицательный, что показано на рис. 2, а и б). Если этот импульс запоминается в элементе памяти, то он далее распространяется по схеме, что может привести к ее неправильному функционированию.

Второй случай (индуцированные задержки) имеет место тогда, когда на линиях «агрессоре» и «жертве» происходят (почти) одновременные изменения сигналов.

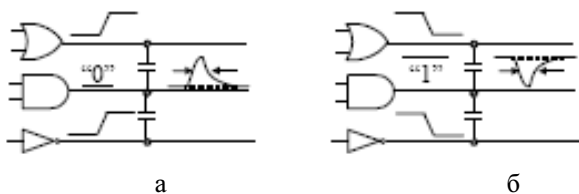


Рис. 2. Примеры кросс-эффекта:

а – положительный импульс; б – отрицательный импульс

**Постановка задачи.** При построении проверяющего теста для такой неисправности необходимо:

- 1) найти входные наборы, которые вызывают необходимый переход сигналов на линии-агрессоре;
- 2) найти входные наборы, обеспечивающие необходимый статический сигнал на линии-«жертве» и распространение возникшего импульса от жертвы до одного из внешних входов (рис. 1).

При этом можно использовать детерминированный подход, использующий механизмы «возврата назад» по схеме, требующий значительных вычислительных ресурсов. Можно пойти по пути, основанном на применении моделирования перекрестных неисправностей и не требующем использования механизма «возврата назад».

Как следствие – второй подход проще с вычислительной точки зрения и привлекательнее для современных устройств большой размерности. Для повышения эффективности и точности построения проверяющих тестов перекрестных неисправностей целесообразно использовать целеориентированный многозначный алфавит, который должен содержать символы, включающие передний (R) и задний (F) фронт, положительный (G1) и отрицательный (G0) импульс.

Пусть состояния линии-жертвы  $g$  и линии-агрессора  $h$  описываются двумя булевыми функциями от переменных, связанных с внешними входами,

$g = G(x_1, x_2, \dots, x_n)$  и  $h = H(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Аналогично на каждом внешнем выходе реализуется булева функция  $f_j = F_j(g, h, x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Для проверки перекрестной неисправности с положительным импульсом необходимы такие значения внешних входов, которые обеспечивают на линии-агрессоре передний фронт R ( $0 \rightarrow 1$ ), а на линии-жертве «статический 0»  $s0$  ( $0 \rightarrow 0$ ). Тогда проблема построения теста для данной перекрестной неисправности сводится к решению следующей системы логических уравнений

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = S0, \quad (1)$$

$$H(x_1, x_2, \dots, x_n) = R, \quad (2)$$

$$F_j(PG, R, x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus F_j(S0, R, x_1, x_2, \dots, x_n) = 1, \quad (3)$$

где решение (1) обеспечивает значение S0 на линии-жертве, (2) – значение R на линии-агрессоре и (3) обеспечивает распространение влияния неисправности от линии-жертвы до одного из внешних входов.

Аналогично, проблема построения проверяющего теста перекрестной неисправности с отрицательным импульсом сводится к решению системы логических уравнений

$$G(x_1, x_2, \dots, x_n) = S1, \quad (4)$$

$$H(x_1, x_2, \dots, x_n) = F, \quad (5)$$

$$F_j(G0, F, x_1, x_2, \dots, x_n) \oplus F_j(S1, F, x_1, x_2, \dots, x_n) = 1, \quad (6)$$

Далее для решения этой системы можно использовать различные методы, из которых мы отдаем предпочтение эволюционному подходу [5 – 10] с применением метода моделирования перекрестных индуцированных импульсов в многозначном алфавите  $C_9$ , которые описаны ниже.

**Многозначный алфавит  $C_9$ .** В процессе решения задач моделирования и построения тестов для повышения эффективности целесообразно использовать многозначные алфавиты, которые позволяют описывать ситуации, возникающие в процессе моделирования и генерации тестов [7 – 8]. Рассмотрим детально 9-значный алфавит  $C_9$ , который позволяет описывать ситуации, возникающие в процессе моделирования и генерации тестов для перекрестных неисправностей. В табл. 1 представлены символы десятизначного алфавита  $C_9$  и их физическая интерпретация.

При моделировании и построении тестов перекрестных неисправностей переменные внешних входов могут принимать только четыре значения из приведенного выше алфавита  $C_9$ : «статический 0» S0 ( $0 \rightarrow 0$ ), «статический 1» S1 ( $1 \rightarrow 1$ ), передний фронт R ( $0 \rightarrow 1$ ) и задний фронт F ( $1 \rightarrow 0$ ).

Внутренние линии схемы кроме приведенных выше четырех значений могут принимать следующие: PG – положительный импульс; NG – отрицательный импульс; DR – увеличение задержки; DF – уменьшение задержки; U – неопределенное значение.

Из кодировки сигналов алфавита  $S_9$  и соответствующих каждому символу логических диаграмм (табл. 1) видно, что, по своей природе, исходные сигналы в каждом такте являются двоичными. Однако, с вычислительной точки зрения удобнее и эффективнее работать с символами многозначного алфавита, которые позволяют обрабатывать одновременно несколько тактов. Помимо комбинаций двоичных сигналов к множеству элементов алфавита добавлен девятый символ неопределенного значения  $U$ , необходимый в связи с особенностями моделирования цифровых устройств. Очевидно, что для возможности моделирования в алфавите  $S_9$ , необходимо определить функционирование логических элементов в данной девятизначной логике.

Построение системы многозначных функций  $\tilde{F}$  в новом алфавите  $\tilde{A}$  является основной проблемой при определении новой многозначной логики  $(\tilde{A}, \tilde{F})$ . В том случае, если построенная система функций замкнута относительно  $\tilde{A}$ , то в совокупности с алфавитом она образует новую многозначную логику  $(\tilde{A}, \tilde{F})$  [7 – 8].

Логические функции в многозначном алфавите обычно описываются двумя способами.

Первый способ – табличный. Он применяется для описания функционирования простых двухвходовых логических вентилях. Например, для вентилях И, ИЛИ, НЕ табличные модели в алфавите  $S_9$  представлены в таблицах 2; 3 и 4. Здесь строки соответствуют значениям сигнала первого входа, а столбец – сигналам второго входа. На пересечении соответствующих строк и столбцов стоит значение сигнала на выходе элемента, которое дает значение элемент при данных входных значениях. Эти таблицы получены на основании физического смысла символов алфавита  $S_9$  и логики функционирования элементов.

В табл. 5 в компактном виде представлены распределения сигналов для типовых ситуаций вентиля И. Аналогично, это можно выполнить для других логических элементов. Здесь для каждого входа и выхода вентиля для наглядности приведены символы алфавита  $S_9$  и соответствующие им временные диаграммы для вентиля И. Таким образом, можно получить в таблицах 2; 3 и 4, описывающие функционирование вентилях в многозначном алфавите  $S_9$ .

### 1. Девятизначный алфавит

| Символ $S_9$ | Интерпретация         | Логические диаграммы | Двоичные значения |   |     |
|--------------|-----------------------|----------------------|-------------------|---|-----|
|              |                       |                      | t-1               | t | t+1 |
| S0           | Статический 0         |                      | 0                 | 0 | 0   |
| S1           | Статическая 1         |                      | 1                 | 1 | 1   |
| R            | Передний фронт        |                      | 0                 | 1 | 1   |
| F            | Задний фронт          |                      | 1                 | 0 | 0   |
| PG           | Положительный импульс |                      | 0                 | 1 | 0   |
| NG           | Отрицательный импульс |                      | 1                 | 0 | 1   |
| DR           | Увеличение задержки   |                      | 0                 | 0 | 1   |
| DF           | Уменьшение задержки   |                      | 1                 | 1 | 0   |
| U            | Неопределенность      |                      | -                 | - | -   |

### 2. Функция элемента И в девятизначном алфавите

| И  | S0 | S1 | R  | F  | PG | NG | DR | DF | U  |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| S0 | S0 | S0 | S0 | S0 | S0 | S0 | S0 | S0 | S0 |
| S1 | S0 | S1 | R  | F  | PG | NG | DR | DF | U  |
| R  | S0 | R  | R  | S0 | PG | DR | DR | PG | U  |
| F  | S0 | F  | S0 | F  | S0 | F  | S0 | F  | U  |
| PG | S0 | PG | PG | S0 | PG | U  | S0 | S0 | U  |
| NG | S0 | NG | DR | F  | S0 | NG | DR | F  | U  |
| DR | S0 | DR | DR | S0 | S0 | DR | DR | S0 | U  |
| DF | S0 | DF | PG | F  | PG | F  | S0 | S0 | U  |
| U  | S0 | U  | U  | U  | U  | U  | U  | U  | U  |

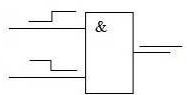
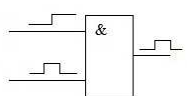
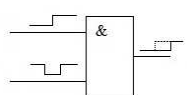
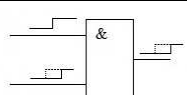
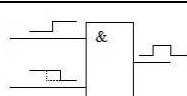
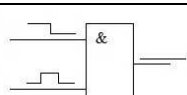
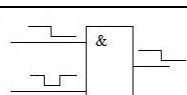
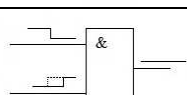
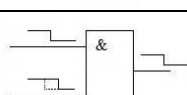
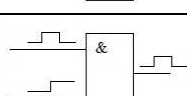
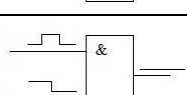
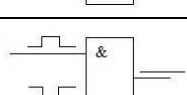
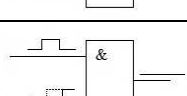
### 3. Функция элемента ИЛИ в девятизначном алфавите

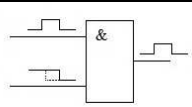
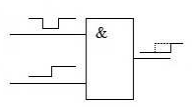
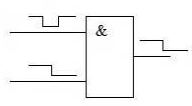
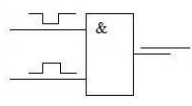
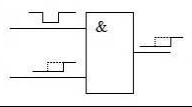
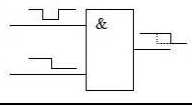
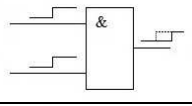
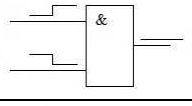
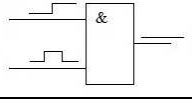
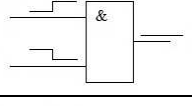
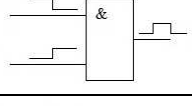
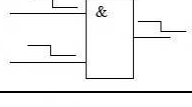
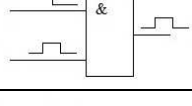
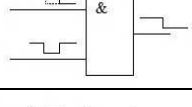
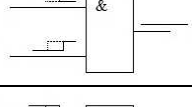
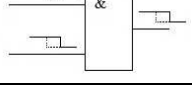
| ИЛИ | S0 | S1 | R  | F  | PG | NG | DR | DF | U  |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| S0  | S0 | S1 | R  | F  | PG | NG | DR | DF | U  |
| S1  | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 | S1 |
| R   | R  | S1 | R  | S1 | R  | S1 | R  | S1 | U  |
| F   | F  | S1 | S1 | F  | DF | NG | NG | DF | U  |
| PG  | PG | S1 | R  | DF | PG | S1 | R  | DF | U  |
| NG  | NG | S1 | S1 | NG | S1 | NG | NG | S1 | U  |
| DR  | DR | S1 | R  | NG | R  | NG | DR | S1 | U  |
| DF  | DF | S1 | S1 | DF | DF | S1 | S1 | DF | U  |
| U   | U  | S1 | U  | U  | U  | U  | U  | U  | U  |

4. Функция элемента НЕ в девятизначном алфавите

|    |    |    |   |   |    |    |    |    |   |
|----|----|----|---|---|----|----|----|----|---|
| HE | S0 | S1 | R | F | PG | NG | DR | DF | U |
|    | S1 | S0 | F | R | NG | PG | DF | DR | U |

5. Типовые ситуации вентиля И в алфавите  $C_9$

| №  | Диаграммы   | Значения входов |    | Значения вы-<br>хода |
|----|---|-----------------|----|----------------------|
|    |   | x               | y  |                      |
| 1  |    | R               | F  | S0                   |
| 2  |    | R               | PG | PG                   |
| 3  |    | R               | NG | DR                   |
| 4  |    | R               | DR | DR                   |
| 5  |   | R               | DF | PG                   |
| 6  |  | F               | PG | S0                   |
| 7  |  | F               | NG | F                    |
| 8  |  | F               | DR | S0                   |
| 9  |  | F               | DF | F                    |
| 10 |  | PG              | R  | PG                   |
| 11 |  | PG              | F  | S0                   |
| 12 |  | PG              | NG | S0                   |
| 13 |  | PG              | DR | S0                   |

|    |   |    |    |    |
|----|---|----|----|----|
| 14 |    | PG | DF | PG |
| 15 |    | NG | R  | DR |
| 16 |    | NG | F  | F  |
| 17 |    | NG | PG | S0 |
| 18 |    | NG | DR | DR |
| 19 |    | NG | DF | F  |
| 20 |    | DR | R  | DR |
| 21 |   | DR | F  | S0 |
| 22 |  | DR | PG | S0 |
| 23 |  | DR | DF | S0 |
| 24 |  | DF | R  | PG |
| 25 |  | DF | F  | F  |
| 26 |  | DF | PG | PG |
| 27 |  | DF | NG | F  |
| 28 |  | DF | DR | S0 |
| 29 |  | DF | DF | DF |

Покажем, что алфавит  $C_9$  можно получить формально из стандартного двоичного алфавита. В [7] разработан универсальный многозначный алфавит  $V_{16}$ , который позволяет решать основные задачи диагностики цифровых схем, включая моделирование и построение тестов. Он строится из двоичного алфавита  $\{0,1\}$  с помощью двух операций. При первом способе новый алфавит  $A'$  получается как подмножество некоторого декартового произведения исходного алфавита  $A$ :  $A' \subseteq A \times A \times \dots \times A$ . Например, таким образом, четырехзначный алфавит  $V_4$ , используемый в [7 – 8], получен из двоичного алфавита  $V_2$ :  $V_4 = V_2 \times V_2 = \{00, 01, 10, 11\} = \{0, D', D, 1\}$ .

Второй способ заключается в том, что новый алфавит  $A'$  является некоторым множеством подмножеств элементов исходного алфавита:  $A' \subseteq 2A$ . Произвольный элемент  $\tilde{a}_i$  алфавита  $\tilde{A}$  образуется как неупорядоченное подмножество элементов алфавита  $A$ :  $\tilde{a}_i = a_{i1} \cup a_{i2} \cup \dots \cup a_{ij}$ , где  $a_{ij} \in A$ . Например, таким способом 5-значный алфавит  $E_5 = \{0, 1, E, H, u\}$  получается из рассмотренного выше четырехзначного алфавита  $V_4 = \{0, D', D, 1\}$ . При этом  $0 = \{0\}$  – статический ноль,  $1 = \{1\}$  – статическая единица,  $E = \{0 \cup D' \cup 1\}$  – изменение сигнала из 0 в 1,  $H = \{0 \cup D \cup 1\}$  – изменение сигнала из 1 в 0,  $u = \{0 \cup D' \cup D \cup 1\}$  – неопределенное значение сигнала.

Из табл.1 видно, что исходные сигналы в каждом такте являются двоичными, поэтому девятизначный алфавит  $C_9$  принадлежит декартовому произведению двоичных алфавитов  $C_9 \subseteq V_2 \times V_2 \times V_2$ .

#### Моделирование индуцированных импульсов

Рассмотрим моделирование перекрестных неисправностей индуцированных импульсов на основе событийного [7 – 8] логического моделирования в многозначном алфавите  $C_9$ . При этом фактически логическое моделирование в двоичном алфавите на трех тактах модельного времени заменяется моделированием одной схемы в многозначном алфавите  $C_9$ .

Событийный алгоритм моделирования представляется следующей последовательностью шагов. После подачи входного воздействия на модель схемы с заданной неисправностью (индуцированным импульсом) поочередно вычисляются значения на выходах всех элементов по значениям на их входах, что составляет одну итерацию. В результате вычислений значения некоторых сигналов могут измениться. В этом случае необходимо выполнить вторую итерацию (т.е. вычислить значения на выходах всех элементов по новым значениям на их входах), затем третью итерацию и так далее до тех пор, пока все сигналы не примут установившиеся значения. В этом случае процесс моделирования (на одном входном наборе) сходится естественным образом.

Когда значения сигналов на некоторых линиях периодически изменяются, говорят, что моделирование не сходится из-за генерации модели цифровой схемы. Такая ситуация может быть, например, в схеме, содержащей контур обратной связи с нечетным числом инверсий. В этом случае применяется девятый

символ алфавита  $C_9$ , неопределенное значение  $U$ . Укрупненный алгоритм событийного моделирования представлен ниже в виде псевдокода.

#### Алгоритм А1

*Моделирование схемы с индуцированным импульсом (схема, входная последовательность T, пары линий (агрессор, жертва))*

```
{
  Чтение описания схемы;
  Инициализация_схемы ();
  Чтение входной последовательности T;
  Внесение неисправности индуцированного импульса;
  FOR для каждого моделируемого входного набора последовательности T
  {
    Формирование многозначного входного набора;
    Моделирование_входного_набора();
    Внесение влияния неисправности для заданной пары (агрессор, жертва);
  }
  End.
```

*Моделирование\_набора();*

```
{
  Инициализация();
  while(есть события)
  {
    if(есть изменение сигнала)
    {
      Занесение нового значения в текущий массив;
      Запоминание номера контакта первого последователя;
      while(циклический список последователей не пуст)
      {
        Занесение элемента-последователя в очередь QJ;
      }
      while(очередь QJ не пуста)
      {
        Выбор элемента-последователя из очереди QJ;
        Подготовка данных для моделирования элемента;
        Моделирование элемента в алфавите  $C_9$  ();
        /* цикл по выходным контактам */
        while(есть необработанный выход элемента)
        {
          if(новое значение  $\neq$  старому значению)
          {
            занесение события в очередь QJ;
          } /* конец цикла по выходным контактам */
        } /* конец цикла по событиям */
      }
    }
  }
```

Здесь основной является функция «моделирование набора». В ней реализован событийный алгоритм моделирования в многозначном алфавите, который также представлен псевдокодом. Напомним, что поскольку моделирование выполняется в многозначном алфавите  $C_9$ , то естественно используются многозначные модели логических элементов  $C_9$ , в данном случае табличного вида, которые представлены таблицами 2; 3 и 4.

Пример многозначного логического моделирования в многозначном алфавите  $S_9$  для схемы C17 схемы международного каталога ISCAS85 представлен на (рис. 5). Рассмотрим перекрестную неисправность типа «положительный импульс» между линией-агрессором 19GAT(7) и линией-жертвой 16GAT(8), показанную на рис. 5. Отметим, что на этом рисунке представлены значения сигналов исправной и неисправной схемы для одной тестовой пары, проверяющей указанную неисправность.

Данные многозначного моделирования показывают, что индуцированный импульс между линией-агрессором 19GAT(7) и линией-жертвой 16GAT(8) проверяется на обоих выходах этой схемы на входном наборе многозначного алфавита  $1_{gat}=S0, 2_{gat}=S1, 3_{gat}=S0, 6_{gat}=S1, 7_{gat}=F$ , который соответствует входной тестовой паре  $1_{gat}=0, 2_{gat}=1, 3_{gat}=0, 6_{gat}=1, 7_{gat}=0 \rightarrow 1$ .

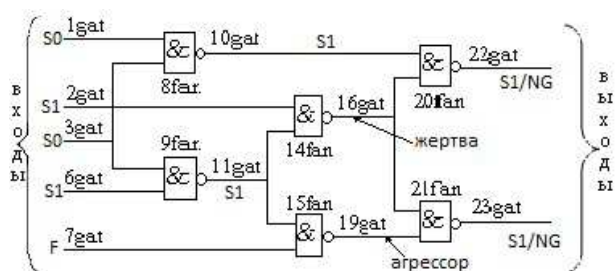


Рис. 5. Моделирование индуцированного импульса схемы C17

**Выводы.** В работе рассмотрена задача моделирования и тестирования неисправностей перекрестных индуцированных импульсов комбинационных цифровых устройств. Построен многозначный алфавит  $S_9$  и многозначные модели стандартных логических элементов, которые позволяют эффективно моделировать неисправности «индуцированные импульсы». Разработан метод логического моделирования в многозначном алфавите, который позволяет моделировать схемы с неисправностями «индуцированные импульсы».

#### Список использованной литературы

1. Rubio Itazaki N., Xu X., and Kinoshita K., (1994), An Approach to the Analysis and Detection of Crosstalk Faults in Digital VLSI Circuits, *IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol. 13, No. 3, pp. 387 – 394, March 1994.
2. Chen W.Y., Gupta S.K., and Breuer M.A., (1997), Analytic Models for Crosstalk Delay and Pulse Analysis under Non-Ideal Inputs, *Proc. of the Int'l. Test Conf.*, pp. 809 – 818, Nov.1997.
3. Chen W.Y., Gupta S.K., and Breuer M.A., (2002), Test Generation for Cross-Induced Faults: Framework and Computational results, *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications*, Vol. 16, pp. 17 – 28, Feb.2002.
4. Sunghoon Chun, Yongjoon Kim, Myuang-Hoon Yang, and Sungho Kang, (2008), XPDF-ATPG: An Effi-

cient Test Pattern Generation for Crosstalk-Induced Faults, *17th Asian Test Symposium*, pp. 83 – 88.

5. Palit A.K., Duganapalli K.K., and Anheier W., (2003), Test Pattern Generation for Crosstalk Faults in DSM chips using Modified PODEM, *Electronics System Integration Technology Conference, Greenwich, 1-4 Sept. 2003, proceedings, Los Alamitos: IEEE-2003*, pp.393 – 398. DOI:10.1109/ESTC.2008.4684311.

6. Chun S., Kim Y., Yang M.-H., and Kang S., (2008), XPDF-ATPG: An Efficient Test Pattern Generation for Crosstalk-Induced Faults, *Asian Test Symposium, Sapporo, Japan. 23-24 November 2008, proceedings, Los Alamitos, IEEE*, pp. 83 – 88.

7. Скобцов Ю. А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / Ю. Скобцов, В. Ю. Скобцов. – 2005. – Донецк : ИПММ НАНУ, ДОННТУ, – 436 с.

8. Скобцов Ю. А. Моделирование, тестирование и диагностика цифровых устройств / Ю. А. Скобцов, Д. В. Сперанский, В. Ю. Скобцов. – 2012. – М. : Национальный открытый университет «ИНТУИТ», – 439 с.

9. Скобцов Ю. А. Эволюционные вычисления / Ю. А. Скобцов, Д. В. Сперанский. – М. : Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2015. – 331 с.

10. Skobtsov Y.A., and Skobtsov V.Y., (2011), Evolutionary Test Generation Methods for Digital Devices, In Design of Digital Systems and Devices (Eds. Marian Adamski, Alexander Barkalov, and Marek Wegrzyn), *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol. 79, pp.331 – 361.

Получено 30.05.2015

#### References

1. Rubio Itazaki N., Xu X., and Kinoshita K., (1994), An Approach to the Analysis and Detection of Crosstalk Faults in Digital VLSI Circuits, *IEEE Trans. on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol. 13, No. 3, pp. 387 – 394, March 1994.
2. Chen W.Y., Gupta S.K., and Breuer M.A., (1997), Analytic Models for Crosstalk Delay and Pulse Analysis under Non-Ideal Inputs, *Proc. of the Int'l. Test Conf.*, pp. 809 – 818, Nov.1997.
3. Chen W.Y., Gupta S.K., and Breuer M.A., (2002), Test Generation for Cross-Induced Faults: Framework and Computational Results, *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications*, Vol. 16, pp.17 – 28, Feb.2002.
4. Sunghoon Chun, Yongjoon Kim, Myuang-Hoon Yang, and Sungho Kang, (2008), XPDF-ATPG: An Efficient Test Pattern Generation for Crosstalk-Induced Faults, *17<sup>th</sup> Asian Test Symposium*, pp.83 – 88.
5. Palit A.K., Duganapalli K.K., and Anheier W., (2003), Test Pattern Generation for Crosstalk Faults in DSM chips using Modified PODEM, *Electronics System Integration Technology Conference, Greenwich, 1-4 Sept. 2003, proceedings, Los Alamitos: IEEE-2003*, pp.393 – 398. DOI:10.1109/ESTC.2008.4684311.
6. Chun S., Kim Y., Yang M.-H., and Kang S., (2008), XPDF-ATPG: An Efficient Test Pattern Generation for Crosstalk-Induced Faults, *Asian Test Symposium*,

Sapporo, Japan 23-24 November 2008, *proceedings, Los Alamitos: IEEE*, pp. 83 – 88.

7. Skobtsov Y.A., and Skobtsov V.Y. Logicheskoe modelirovanie i testirovanie tsifrovyykh ustroystv, [The Logical Simulation and Testing of Digital Devices] (2005), Donetsk, Ukraine, *IAMM NASU*, 436 p.

8. Skobtsov Y.A., Speransky D.V., and Skobtsov V.Y., Modelirovanie, testirovanie i diagnostika tsifrovyykh ustroystv [Simulation, Testing and Diagnostics of Digital Devices], (2012), Moscow, Russian Federation, *National Open University "INTUIT"*, 439 p.

9. Skobtsov Y.A., and Speransky D.V. Evolyutsionnyye vychisleniya [Evolutionary Computation], (2015), Moscow, Russian Federation, *National Open University "INTUIT"*, 331p.

10. Skobtsov Y.A., and Skobtsov V.Y., (2011), Evolutionary Test Generation Methods for Digital Devices, In Design of Digital Systems and Devices (Eds. Marian Adamski, Alexander Barkalov, and Marek Wegrzyn), *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol. 79, pp. 331 – 361.



Скобцов  
Вадим Юрьевич,  
к.т.н., доцент, ведущий научный  
сотрудник лаборатории проблем  
защиты информации Объеди-  
ненного  
ин-та проблем информатики  
НАН Беларуси, ул. Сурганова 6.  
Минск, 220012, Беларусь,  
тел.: +375 29 9126205.  
E-mail: vasko\_vasko@mail.ru



Скобцов  
Юрий Александрович,  
д.т.н, профессор, приглашенный  
профессор Санкт-  
Петербургского политехниче-  
ского ун-та Петра Великого, ул.  
Политехническая, 29, Санкт-  
Петербург, 195251, Россия,  
тел.: +793 15805059.  
E-mail: ya\_skobtsov@list.ru