

Т.В. ГЛАДКИХ, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков),
С.Ю. ЛЕОНОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РИСКОВ СБОЕВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В статье рассматриваются вопросы использования системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления совместно с нейронной сетью для определения возможных мест сбоев и типов сбоев при проектировании вычислительных устройств. Это дает возможность выявлять "узкие" места при автоматизированном проектировании и выдавать количественную информацию насколько эти места опасны. Рис.: 3. Табл.: 6. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: система, K -значное дифференциальное исчисление, нейронная сеть, риски сбоев.

Постановка задачи. Существующие вычислительные устройства характеризуются частотой работы в несколько гигагерц и большой степенью интеграции элементов. Это приводит к тому, что даже небольшие отклонения при переключательных процессах на входах и выходах элементов могут вызывать сбои в работе устройств. В связи с этим достаточно актуальным становится вопрос исследования формы переключательных процессов в вычислительных устройствах и влияние на их работоспособность всплесков и провалов напряжений логических сигналов. Процесс обнаружения и поиска неисправностей в них становится все более трудоемким и длительным как в статических, так и в динамических режимах.

Анализ литературы. Одной из первых работ, посвященной моделированию цифровых устройств на основе анализа переключений в логических элементах с помощью дифференциальных соотношений, была работа Д. Бохмана и Х. Постхофа [1]. В этой работе заложены основы булевого дифференциального исчисления. С помощью вычисления булевой производной описывалось наличие или отсутствие переключения логического сигнала из одного устойчивого состояния в другое. Однако булево дифференциальное исчисление лишь немного расширило рамки стандартного двузначного анализа цифровых схем.

Многозначное моделирование для тестирования электронных схем развивалось многими авторами, в частности, в работах Ю.А. Скобцова [2, 3]. Им же для тестирования использовалось многозначное моделирование. Однако использование многозначного моделирования как формы представления переключательного процесса из одного устойчивого состояния в другое несколько ограничивало возможности использования многозначного алфавита.

Для наиболее полного анализа работоспособности радиоэлектронных устройств в дальнейшем были разработаны методы анализа, которые позволяли, с одной стороны, адекватно описывать процессы в цифровых

системах, математическое описание которых содержит дифференциальные и интегральные операторы, а с другой – позволяли выполнить численный анализ процессов в цифровых и гибридных системах с допустимыми затратами. Для этого был разработан математический аппарат K -значного дифференциального и интегрального исчисления и система моделирования на его основе [4], позволяющие исследовать квантованные на $(K-1)$ ступеньку по амплитуде переключаемые процессы, где K – значность входного алфавита.

Основная часть. В системе моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления [5] используется многозначность, которая отличается от многозначных алфавитов, приводимых в литературе [6, 7]. Наиболее информативным в традиционной интерпретации многозначной логики является алфавит Фантози [8], который позволяет при уже моделировании дифференцировать статические и динамические риски сбоев, поскольку к трем базовым состояниям алфавита Ейхельбергера [9] ("1" – статическая единица, "0" – статический ноль и "X" – неопределенность), добавляются те, которые обозначаются как плавный переход из "0" в "1" (E), плавный переход из "1" в "0" (H), статический риск сбоя в "0" (P), статический риск сбоя в "1" (V), динамический риск сбоя из "0" в "1" (F), динамический риск сбоя из "1" в "0" (L). Кроме этого в алфавит вводятся еще четыре символа: переход из "X" в "0" (O), переход из "X" в "1" (I), переход из "0" в "X" (A) и переход из "1" в "X" (B), что позволяет различать фазы неопределенности и устойчивости. Применение многозначных алфавитов дает возможность идентифицировать риски сбоев, гонки и соревнования сигналов, что весьма существенно для комбинационных устройств, где необходимо находить критические места в целях последующей модификации схем и устранения соревнований.

Несмотря на то, что суть многозначного представления сигналов в математическом аппарате на основе K -значного дифференциального исчисления не является некоторой разновидностью многозначного алфавита, этот метод позволяет с успехом идентифицировать все разновидности сигналов, описываемых тринадцатизначным алфавитом Фантози. При этом помимо качественной оценки, которую могут дать многозначные алфавиты, при использовании данного подхода, можно оценить амплитуду, длительность и форму импульса. Так, на рис. 1 проиллюстрировано представление всех тринадцати видов сбоев в K -значном виде при использовании семизначного алфавита.

В соответствии с приведенным рисунком при использовании тринадцатизначного алфавита сигнал "_0" соответствует статическому сигналу нулевого уровня, сигнал "_1" – значению уровня статической "единицы". Далее "_A" соответствует переходу из нуля в неопределенность, "_B" – переходу из единицы в неопределенность, "_E" – гладкому переходу из нуля в единицу, "_F" – динамическому риску сбоя из нуля в единицу, "_H" – гладкий переход из единицы в ноль, "_I" – переходу из неопределенности в единицу,

" L " – динамическому риску сбоя из единицы в ноль, " P " – статическому риску сбоя в нуле, " O " – переходу из неопределенности в ноль, " V " – статический риск сбоя в единицу, " X " – неопределенности.

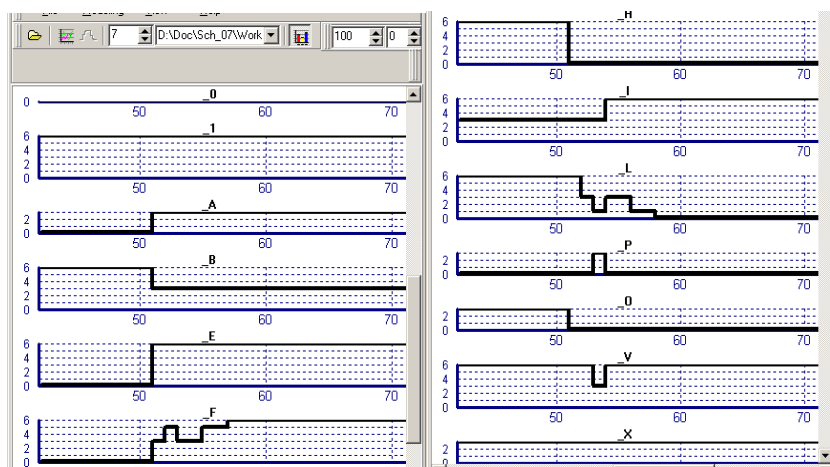


Рис. 1. Представление тринадцати видов сбоев в K -значном виде при использовании семизначного алфавита

Рассмотрим результат моделирования элемента полного сумматора в представленной системе на основе K -значного дифференциального исчисления, схема которого в системе на основе K -значного дифференциального исчисления и результаты его моделирования в этой системе показаны на рис. 2. На этом рисунке можно увидеть сигнал сбоя в "1", который в алфавите Фантози соответствует статическому риску сбоя в "1". Сбой в устойчиве может быть из-за из-за "провала" выходного сигнала на выходе S , который имел место в момент времени 430 нс, аналогичного вида сбой на выходе переноса P в момент времени 630 нс, а также сбыйный "всплеск" выходного сигнала на выходе переноса P в момент времени 230 нс. Такие сбои в выходных сигналах сумматора могут приводить к ошибочной работе устройств, входы которых используют для своей работы выходные сигналы сумматора.

Использование системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления позволяет в данном случае получать более полную качественную и количественную характеристику сбоев по сравнению с существующими системами многозначного моделирования, в которых нет возможности представлять квантованный по амплитуде логический сигнал в K -значном алфавите.

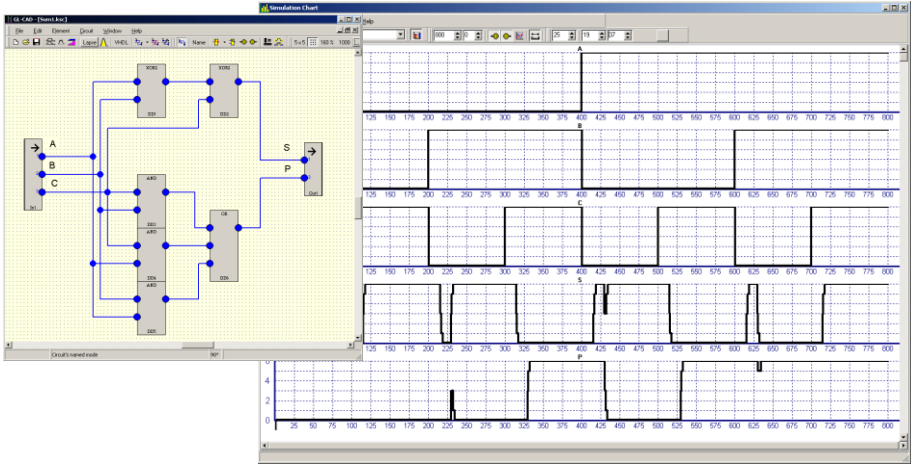


Рис. 2. Демонстрация работы сумматора с индикацией рисков сбоя

Основным недостатком модели основного элемента [5] является отсутствие возможности автоматизации определения сбоев при его функционировании. В подобном случае идентификация сбоя выявляется проектировщиком на окончательном этапе проектирования устройства при получении временных диаграмм функционирования. Для получения возможности автоматизации процесса выявления ошибочных ситуаций при проектировании, модель такого элемента дополняется устройством анализа накопленных значений выходных сигналов, которые накапливаются в выходных буферах. Размер такого буфера определяется значениями задержек в отдельных логических элементах. Роль такого устройства может играть нейронная сеть, число сенсорных нейронов которой определяется размером буферного элемента, а число нейронов на выходе – количеством сбоев, которые идентифицируются. Введение нейронной сети в структуру такого элемента позволит усовершенствовать процес его диагностики и уменьшить влияние "человеческого фактора" при определении его работоспособности и уменьшить время анализа работоспособности. На рис. 3 представлена расширенная модель элемента вычислительной техники в системе K -значного моделирования с добавлением нейронной сети для распознавания сигналов на выходе:

Приведенная модель имеет входы $U_{вх_1}(t_i) - U_{вх_n}(t_i)$ и управляющие сигналы $Ctrl$ и $Ctrl-Sb$ для управления состоянием модели элемента вычислительной техники и управления блоком формирования входных сигналов для нейронной сети. Выходными являются сигналы $U_{вых_1}(t_i) -$

$U_{\text{Вых}_n}(t_i)$, которые являются входными для блока формирования входных данных для нейронной сети.

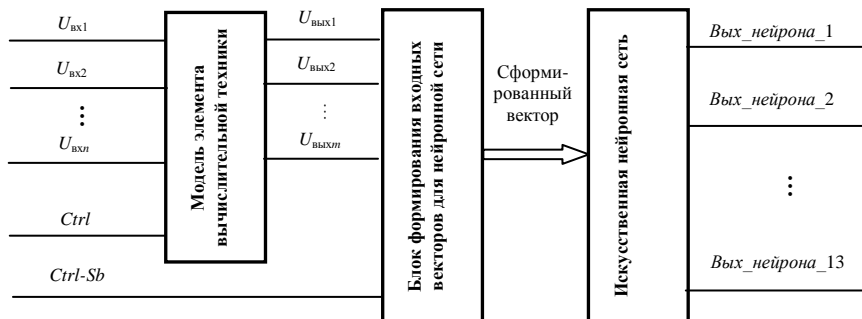


Рис. 3. Схема взаимодействия модели элемента вычислительной техники и нейронной сети

Таким образом, наша задача сводится к разработке некоторой системы классификации сигналов, полученных с выхода элемента проектируемого устройства, которая должна сигнализировать проектировщику о возможной проблеме. Задача усложняется тем, что сбои одного и того же класса не только могут представлять собой сигналы различной формы, но и быть распределенными по времени.

Наиболее естественным методом решения подобных задач является использование аппарата искусственных нейронных сетей. В качестве среды разработки нами был выбран инструментарий NNTool среды MatLab. Из предлагаемых в MatLab возможных вариантов нейронных сетей, наиболее подходящей для решения нашей задачи оказалась нейронная сеть обратного распространения ошибки (Back Propagation) с архитектурой FeedForward Propagation

Для решения задачи классификации возможных сбоев на выходе отдельного элемента, сеть должна иметь тринадцать выходов, срабатывание каждого из которых соответствует одному из тринадцати видов сбоев, которые могут диагностироваться. Все тринадцать видов сбоев распределены по временной оси длительностью 15 тактов времени. Например, это может быть 15 нс, что соответствует принятой длительности задержки логических элементов. Например, сигнал, соответствующий динамическому риску сбоя типа " F " представляется следующим образом:

«_F»														
0	0	0	0	0	0	3	3	5	3	3	5	5	6	6

Поскольку в промежутке времени 15 тактов сбойная ситуация может возникнуть в любой момент времени, поэтому сформированы векторы на которых в различные моменты времени на протяжении интервала 15 тактов появляется сбой типа "_F" (табл. 1).

В этой таблице представлены восемь вариантов сбоя вида "_F" смещенных по временной оси. Видно, что это максимально возможное число комбинаций, которое можно "вписать" в отведенный временной интервал, и, как показал эксперимент, использование меньшего числа вариантов смещения по временной оси сбоя типа "_F", оказывается недостаточным для корректной настройки нейронной сети.

Таблица 1

«_F»														
0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6
0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6
0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6
0	0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6
0	0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6
0	3	5	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6
0	0	0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6	6
0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	3	3	5	5	6

Аналогично формируются векторы и для других видов сбоев, с той лишь разницей, что сбой вида "_1" и "_0" нет необходимости перемещать по временной оси, поскольку они от этого не меняются, а сбой вида "_A" пришлось смещать большее количество раз в виду того, что интересующая нас динамика занимает лишь три временных шага, что, соответственно, привело к 14-ти возможным вариантам этого сигнала.

Таким образом, было получено 114 векторов обучающей последовательности, каждый из которых подразумевает под собой один из вариантов сбоя из алфавита Фантози. Каждому из этих векторов был поставлен в соответствие вектор размерностью 1x13, позиция единственного активного разряда которого равен порядковому номеру соответствующей входной комбинации (табл. 2):

Таблица 2

№	1	2	3	4	5	6	7
Вид сбоя	«_0»	«_1»	«_A»	«_B»	«_E»	«_F»	«_H»
№	8	9	10	11	12	13	
Вид сбоя	«_I»	«_L»	«_O»	«_P»	«_V»	«_X»	

Нейронная сеть была успешно настроена за 300 эпох и ошибка распознавания составила 10^{-7} .

После настройки нейронной сети необходимо было убедиться, что она способна идентифицировать сбои даже в том случае, если они по форме и длительности отличаются от тех, которые использовались при ее настройке. Для этого при формировании тестовой последовательности случайным образом выбирались сигналы из обучающей последовательности, форма которых впоследствии модифицировалась. Так, для примера приведем четыре экземпляра тестовой последовательности (сбои типа "_A", "_B", "_H" и "_I"), что показано в табл. 3.

Таблица 3

Сигнал	Имя	«_A»													
Исходный		0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 1	A1	0	0	0	0	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 2	A1	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
Сигнал	Имя	«_B»													
Исходный		6	6	6	6	6	6	6	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 1	B1	6	6	6	6	6	5	5	3	3	3	3	3	3	3
Измененный 2	B1	6	6	6	6	6	5	5	4	3	3	3	3	3	3

Сигнал	Имя	«_H»													
Исходный		6	6	6	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0	0
Измененный 1	C1	6	5	6	6	6	6	6	1	1	0	0	0	0	0
Измененный 2	C1	6	5	6	6	6	6	6	3	3	1	0	0	1	0
Сигнал	Имя	«_I»													
Исходный		3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Измененный 1	D1	3	3	3	3	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Измененный 2	D1	3	3	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6

После моделирования нейронной сети приведенных восьми измененных вариантов были получены следующие результаты (табл. 4):

Таблица 4

Сигнал	№ класса (тип сбоя)	Вероятность распознавания	Сигнал	№ класса (тип сбоя)	Вероятность распознавания
A1	3 ("_A")	0.9933	C1	7 ("_H")	0.9999
A1	3 ("_A")	0.9901	C1	7 ("_H")	0.9998
B1	4 ("_B")	0.9997	D1	8 ("_I")	0.9900
B1	4 ("_B")	0.9978	D1	8 ("_I")	0.9879

По результатам проведенного тестирования работы нейронной сети можно сделать выводы о том, что она работает корректно и результаты распознавания тестовых сигналов вполне удовлетворительны. Причем, при подаче на вход нейронной сети последовательности, отличающейся от тестовой, нейронная сеть ее распознает и относит к наиболее близкой по виду

тестовой последовательности. Это дает возможность исследовать переходные процессы переключения не только для жестко запрограммированных форм.

Достаточно интересной, на наш взгляд, является попытка проверить работу спроектированной нейронной сети на сигналах, которые являются результатами работы некоторого реального устройства (например, сумматора, приведенного на рис. 2), а не искусственно сформированной тестовой последовательности. Для этого результаты, представленные на рис. 2, были разбиты на временные промежутки длительностью 15 нс. Например, в интервале 15 нс на выходах сигналов суммы S и переноса P устройства можно выделить следующие комбинации (табл. 5):

Таблица 5

№	Имя	Интервал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	P	[325, 340]	0	0	0	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	S	[312, 327]	6	6	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	P	[325, 340]	0	0	3	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	S	[425, 440]	6	6	6	3	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6
5	P	[323, 338]	0	0	0	0	0	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6
6	S	[310, 325]	6	6	6	6	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	P	[323, 338]	0	0	0	0	3	3	3	1	1	0	0	0	0	0	0
8	S	[423, 438]	6	6	6	6	6	3	3	3	5	5	6	6	6	6	6
9	P	[320, 335]	0	0	0	0	0	0	0	3	5	5	6	6	6	6	0
10	S	[307, 322]	6	6	6	6	6	6	6	3	1	1	0	0	0	0	6
11	P	[320, 335]	0	0	0	0	0	0	3	3	3	1	1	0	0	0	0
12	S	[420, 435]	6	6	6	6	6	6	6	3	3	3	5	5	6	6	6

При подаче на вход нейронной сети этих последовательностей были получены результаты, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

№	№ сбоя	Вероятность распознавания	№	№ сбоя	Вероятность распознавания	№	№ сбоя	Вероятность распознавания
1	5	0.9974	5	5	0.9994	9	5	0.9898
2	7	0.9997	6	7	0.9997	10	7	1.0000
3	11	0.9999	7	11	1.0000	11	11	0.9999
4	12	0.9214	8	12	0.9106	12	12	0.9215

Номера 5, 7, 11 и 12 соответствуют сбоям " $_E$ ", " $_H$ ", " $_P$ " и " $_V$ " соответственно.

Выводы. Таким образом, разработанная нейронная сеть совместно с системой моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления с большой степенью вероятности может определить вид имеющихся в проектируемом устройстве сбоев. Проведенная серия тестов

демонструє, що спроектована нейронна мережа працює адекватно не тільки з штучно сформованими вхідними даними, але й з реальними даними, отриманими при моделюванні комбінаційного пристрою. Все це говорить на користь того, що впровадження такої нейронної мережі в склад базового елемента системи моделювання на основі K -значного диференціального числення, допоможе помітно удосконалити процес перевірки спроможності пристроїв на етапі їх проектування.

Список літератури: 1. Бохман Д. Двоичні динамічні системи / Д. Бохман, Х. Постхоф. – М.: Енергоатоміздат, 1986. – 400 с. 2. Барашико А.С. Моделювання і тестування дискретних пристроїв / А.С. Барашико, Ю.А. Скобцов, Д.В. Сперанський. – К.: Наукова думка, 1992. – 288 с. 3. Скобцов Ю.А. Логічне моделювання і тестування цифрових пристроїв / Ю.А. Скобцов, В.Ю. Скобцов. – Донець: ИПММ НАН України, ДонНТУ, 2005. – 436 с. 4. Дмитриченко В.Д. Моделювання передачі даних з допомогою K -значних диференціальних моделей / В.Д. Дмитриченко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких // Вестник НТУ "ХПИ". – 2005. – Вип. 46. – С. 67 – 76. 5. Гладких Т.В. Верифікація динамічних параметрів електронних пристроїв на основі K -значного диференціального числення: дис. канд. техн. наук: 05.13.05 / Т.В. Гладких. – Харків, 2007. – 341 с. 6. Lee C.K. Single-electron-based flexible multivalued logic gates / C.K. Lee, S.J. Kim, S.J. Shin, J.B. Choi, Y. Takahashi // Applied physics letters. – V. 92. – 2008. 7. Vasundara Patel Arithmetic operations in Multi-Valued logic / Patel Vasundara, Gurumurthy // International Journal of VLSI design & Communication Systems (VLSICS). – Vol. 1. – № 1. – March 2010. – P. 21 – 32. 8. Aktouf C. A complete strategy for testing an on-chip multiprocessor architecture / C. Aktouf // IEEE Design & Test of Computers. – 2002. – Issue:1. – P. 18 – 28. 9. Хаханов В.И. Технічна діагностика елементів і улов персональних комп'ютерів / В.И. Хаханов. - К.: ИЗМН, 1997. – 308 с

Стаття представлена д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Дмитриченко В.Д.

УДК 681.3

Автоматизація виявлення ризиків збоїв за допомогою нейронної мережі / Т.В. Гладких, С.Ю. Леонов // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2010. – № 31. – С. 65 – 73.

У статті розглядаються питання використання системи моделювання на основі K -значного диференціального числення спільно з нейронною мережею для визначення можливих місць збоїв і типів збоїв при проектуванні обчислювальних пристроїв. Це дає можливість виявляти "вузькі" місця при автоматизованому проектуванні і видавати кількість інформації, наскільки ці місця небезпечні. Рис.: 3. Табл.: 6. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: система, K -значне диференціальне числення, нейронна мережа, ризики збоїв.

UDC 681.3

Automation of exposure risks of failures by neuron network / T.V. Gladkikh, S.Yu. Leonov // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 31. – P. 65 – 73.

In the article the questions of the use of the design system are examined on the basis of K -value differential calculation jointly with a neuron network for determining the possible location failures and type failures at planning of computing devices. It enables to expose "bottlenecks" at the automated planning and give out quantitative information as far as these places are dangerous. Figs.: 3. Table.: 6. Refs.: 9 titles.

Keywords: system, K -value differential calculation, neuron network, risks of failures.

Поступила в редакцію 05.05.2010