УДК 519.725, 625.7, 681.3

Комплексная оценка компактного тестирования цифровых схем на основе минимальных полиномов

В.О. Дяченко, О.Н. Дяченко
Донецкий национальный технический университет
do@donntu.org

Дяченко В.О., Дяченко О.Н. Комплексная оценка компактного тестирования цифровых схем на основе минимальных полиномов. *Выполнен анализ эффективности компактного тестирования цифровых схем при предположении, что генератор тестовых последовательностей и анализаторы тестовых реакций - РСЛОС с минимальными порождающими полиномами. На основе такого анализа предложена комплексная оценка для различных вариантов сочетания минимальных порождающих полиномов для исчерпывающего тестирования комбинационных схем.*

Ключевые слова: *минимальные полиномы, генератор тестовых последовательностей, анализатор тестовых реакций, порождающий полином.*

Введение

Признанный классик теории постиндустриализма Д. Белл выделяет три технологических революции: изобретение паровой машины в XVIII веке; научно-технологические достижения в области электричества и химии в XIX веке; создание компьютеров в XX веке [1].

Современная цивилизация XXI века переживает очередную революцию – информационную. Стремительные темпы разрастания всемирной паутины приводят к формированию цифровой цивилизации: если в 2000 году было 359 млн. пользователей сети Интернет, то в марте 2017 года количество пользователей уже 3732 млн. – это половина населения земного шара. В средствах массовой информации все чаще объявляют грядущую (а некоторые – уже наступившую) зеттабайтную эпоху развития человечества. По оптимистическим прогнозам – в период с 2012 по 2020 годы ежегодно будет происходить удвоение объема данных и на конец этого периода он составит примерно 37 ЗБ [2]. Достоинства информизации и роботизации трудно переоценить. В последние десятилетия достижения в области внедрения информационных технологий являются одним из определяющих факторов экономического потенциала общества. В результате появляется и развивается информационная инфраструктура, которая предоставляет новые услуги, такие как дистанционное образование, телеработа, телемедицина, электронная торговля, заказ билетов для транспорта, интернет-банкинг, оплата счетов, и др. Вместе с тем, увеличение количества информации, которая передается, хранится и обрабатывается, приводит к требованиям обеспечения ее достоверности и надежности используемых аппаратных и программных средств. От успешного решения этих задач, с одной стороны, зависит процветание нынешней цивилизации, или, с другой стороны – ее саморазрушение, например, из-за случайного или намеренного сбоя в военных приложениях. Кроме того, необходимо учитывать такие явления, как солнечная активность и жесткое космическое излучение. Например, солнечный "супершторм" 1859 года привел к геомагнитной буре, известной как Событие Кэррингтона. Она стала причиной сбоя телеграфной сети в Европе и США. Другой пример - в 1998 году неисправность на одном из спутников привела к тому, что 90% из 50 миллионов пейджеров в США перестали работать. С высокой вероятностью подобная вспышка на солнце произойдет до конца XXI века, в результате чего выйдут из строя орбитальные спутники, пассажиры самолетов получат высокие дозы радиации, а также нарушится работа энергосистем и систем охлаждения на ядерных электростанциях. Широкое распространение получили такие явления, как блэкаут и кибератаки. Например, 13 июля 1977 – «Ночь страха» в Нью-Йорке. Вплоть до 2003 года эта авария считалась самым крупным ЧП в мировой электроэнергетике. Из-за попадания молнии в линию электропередачи на 25 часов была прервана подача электричества в Нью-Йорк и 9 млн. жителей оказались без электроснабжения. 14 августа 2003 – сбой электросети США и Канады — «Великий блэкаут-2003». Одна из причин этого сбоя – ошибка в компьютерной системе.

23 августа в США запланировано проведение широкомасштабных учений "EarthEX2017", связанных с действиями специальных служб и различных ведомств для выработки взаимодействия при «широкомасштабных отключениях электроэнергии». По сценарию учений сбой энергосистемы будет иметь «субконтинентальный масштаб, длительный перерыв в электропитании с каскадными отказами всех других инфраструктур». Учения "EarthEX2017", будут проведены для выработки действий на случай мега землетрясения, кибертерроризма или больших электромагнитных импульсных атак.

Поэтому для устранения возможных ошибок из-за естественных природных явлений, либо искусственных причин, или дефектов аппаратных информационных средств, для защиты от разрушений, возникающих под действием жесткого космического излучения, используются современные технологии помехоустойчивого кодирования при проектировании микросхем памяти, весь спектр методов и средств встроенного самотестирования цифровых систем [1-20].

Одним из способов повышения надежности и тестопригодности СБИС микропроцессоров, устройств на ПЛИС является применение встроенных средств контроля, реализующих методы компактного тестирования. Метод сквозного сдвигового регистра (LSSD - level sensitive scan design) - другой широко известный способ снижения трудоемкости тестирования дискретных устройств. Метод LSSD сводит задачу тестирования к проверке нескольких регистров сдвига и комбинационных схем. Наиболее совместимым с методом LSSD из широкого ряда методов компактного тестирования является сигнатурный анализ, поскольку основой анализатора тестовых реакций (АТР) в этом случае является регистр сдвига с линейными обратными связями (РСЛОС). С помощью незначительных аппаратных затрат сдвиговые регистры преобразуются в РСЛОС, которые выполняют роль генераторов тестовых последовательностей (ГТП) и АТР для тестирования комбинационных схем (КС).

Реализация методов компактного тестирования ставит задачу определения достоверности результатов контроля. В одной из первых работ, посвященных вопросу зависимости тестируемости схемы в зависимости от вида ГТП и АТР, предлагается синдромное тестирование [7]. В этом случае в качестве ГТП используется любой счетчик, АТР – двоичный счетчик. В работах [9-12] рассматривается сигнатурно-синдромное исчерпывающее тестирование, при котором ГТП - двоичный счетчик, АТР – РСЛОС. В работах [4, 6, 9, 10, 15, 16] рассматриваются вопросы комплексной оценки достоверности тестирования КС при применении ГТП и АТР в виде РСЛОС, которая учитывает не только обнаруживающие способности АТР, но также структуру ГТП и характер тестовых реакций объекта диагностики. В частности, получен вывод о значительной зависимости эффективности сигнатурного анализа от выбора того или иного сочетания порождающих полиномов РСЛОС ГТП и АТР. Данная работа представляет собой продолжение исследований в этом направлении для случая тестирования на основе минимальных полиномов.

Цель статьи

Целью статьи является анализ эффективности компактного тестирования цифровых схем при предположении, что ГТП и АТР - РСЛОС с минимальными порождающими полиномами. На основе такого анализа выполнить комплексную оценку наиболее оптимального сочетания порождающих полиномов для исчерпывающего тестирования комбинационных схем.

Самотестирование в СБИС и ЭВМ

Применение принципов псевдослучайного тестирования позволило эффективно диагностировать типовые элементы замены (ТЭЗ) и модули серийно выпускаемых в СССР ЭВМ серии ЕС, таких как: ЕС-1036, ЕС-1061, ЕС-1130, ЕС-1842 и др. Высокая эффективность компактного тестирования с использованием псевдослучайных тестовых воздействий и синтезированных генераторов псевдослучайных исчерпывающих тестов позволила применить его для реализации тестирования всех типовых элементов замены ЭВМ ЕС-1130. [9]

Анализ диагностического обеспечения микропроцессорных СБИС ведущих зарубежных фирм: IBM (S/390, метод LSSD); Hewlett Packard (сигнатурный анализ); альянс компаний Apple, IBM и Motorola (Power PC); Motorola (MC 202-206); Intel Corporation (микропроцессоры 80386, Pentium Pro); Advanced Micro Devices (AMD-K6), показывает, что 5-8 % площади кристалла СБИС занимают встроенные схемы тестирования, которые позволяют обнаружить практически 100% дефектов. Например, диагностическое обеспечение микропроцессора S/390 включает: ОЗУ, кэш, память, схемы их управления со встроенными схемами самотестирования; триггеры, регистровые сети, образующие в режиме тестирования сканируемый путь по методу LSSD; встроенные ГТП; встроенный АТР

- многоканальный сигнатурный анализатор; порт JTAG в соответствии со стандартом IEEE 1149.1.

Методы исчерпывающего тестирования КС и сканирования позволяют вместе обнаруживать 95% неисправностей. Применение разных псевдослучайных последовательностей, обеспечивает 99,9 % покрытия всех неисправностей СБИС.

Альтернативный метод вычисления сигнатур

Предположим, что ГТП и АТР реализованы в виде РСЛОС с внутренними сумматорами в цепях обратной связи с порождающими полиномами соответственно h(X) и g(X), причем оба полинома примитивные, а их корни связаны равенством $\beta=\alpha^{\gamma}$, m=degh(X)=degg(X).

Тестовые наборы, которые поступают на входы исследуемой КС, представляют собой ненулевые элементы поля $GF(2^m)$, являющегося расширением поля GF(2) над полиномом h(X). Эти элементы поля могут быть представлены в двоичном, полиномиальном и степенном обозначениях. Каждому ненулевому элементу α^{γ} поля $GF(2^m)$ соответствует минимальный полином, причем, если минимальный полином примитивный, то его степень равна m. Если в качестве порождающего полинома РСЛОС АТР выбрать минимальный полином, соответствующий элементу α^{γ}, то между корнями полиномов h(X) и g(X) будет выполнено равенство $\beta=\alpha^{\gamma}$. Анализ таблицы минимальных полиномов [14] показывает, что для любой степени m<5 существует только два примитивных полинома, причем $\beta=\alpha^{-1}$, т. е. эти полиномы являются двойственными (взаимообратными). Поэтому для примеров будем рассматривать h(X) степени m=12.

Основное отличие предлагаемого метода расчета сигнатур от известного [4] заключается в выборе степенного обозначения тестовых наборов вместо двоичного. В этом случае значение сигнатуры для конъюнкции с рангом m может быть вычислено согласно следующему выражению: $S=M_{\gamma}X^{-A\gamma}$, где X^A - степенное обозначение тестового набора, M - матрица для перехода от значений РСЛОС ГТП к значениям РСЛОС АТР.

Комплексная оценка эффективности компактного тестирования

В общем случае для $\gamma=-1$ сигнатура конъюнкции с рангом r=m-1 равна произведению матрицы M_{-1} и X^i , где i - индекс отсутствующей переменной, уменьшенный на единицу; сигнатура конъюнкции с r<m-1 равна нулю.

Аналогично, для произвольных примитивных полиномов h(X) и g(X) степени m, корни которых связаны равенством $\beta=\alpha^{-3}$, для конъюнкции с рангом r<m-2 $S=M_{-3}(0)=0$. Сигнатура равна нулю в следующих случаях: $\gamma=-5$, r<m-3; $\gamma=-7$, r<m-4; $\gamma=-9$, r<m-3; $\gamma=-11$, r<m-4; $\gamma=-13$, r<m-4; для произвольного γ r<m-1-w, где w - вес двоичной записи $-\gamma$.

Если рассматривать полученный результат при конкретных значениях m, условие равенства сигнатуры нулю можно сформулировать иначе: $r<w[(\gamma_o)]$, где $w[(\gamma_o)]$ - вес двоичной записи γ в обратном коде.

Утверждение 1. Пусть h(X) - примитивный полином, g(X) - неприводимый полином, degh(X)=m, degg(X)=r, причем m/r=j, j-натуральное число. Тогда вес $w(-\gamma)$ числа $-\gamma$ принимает максимальное значение, равное m-j при $\gamma=(2^m-1)/(2^r-1) = 2^{(j-1)r}+2^{(j-2)r}+\ldots+2^r+1$; сигнатура конъюнкции с рангом r<j равна нулю; $w(-\gamma)$ принимает минимальное значение, равное j при $\gamma=-(2^m-1)/(2^r-1)$, сигнатура конъюнкции с рангом r<m-j равна нулю.

Доказательство. Поскольку r делит m нацело, поле $GF(2^r)$ является подполем $GF(2^m)$, поэтому корни полиномов h(X) и g(X) связаны между собой соотношением $b=a^{\gamma}$.

Число $w(-\gamma)$ представляет собой вес числа $-\gamma$, поэтому, чем меньше количество единиц в двоичном представлении γ, тем w больше. Минимальное значение числа γ равно при максимальном значении показателя полинома g(X). Максимальный показатель g(X) соответствует примитивному полиному и равен (2^r-1).

Прежде всего докажем, что

$$\gamma=(2^m-1)/(2^r-1) = 2^{(j-1)r}+2^{(j-2)r}+\ldots+2^r+1 \qquad (1),$$

при r>1 (случай при r=1 рассмотрим отдельно). В соответствии с методом математической индукции, вначале проверим выполнение этого равенства при j=2 (при j=1 равенство (1) очевидно): m=2r; $(2^{2r}-1)/(2^r-1)=2^r+1$; $(2^{2r}-1)=(2^r-1)(2^r+1)=2^{2r}-1$, таким образом, равенство выполняется.

Предположим, что выражение (1) справедливо при j. Покажем, что оно выполняется при (j+1):

$$(2^{(j+1)r}-1)/(2^r-1)=2^{jr}+2^{(j-1)r}+2^{(j-2)r}+\ldots+2^r+1,$$

или $(2^{(j+1)r}-1)/(2^r-1)=2^{jr}+(2^{jr}-1)/(2^r-1)$;

$$2^{(j+1)r}-1=2^{jr}(2^r-1)+2^{jr}+1;$$

$$2^{(j+1)r}-1=2^{(j+1)r}-2^{jr}+2^{jr}-1=2^{(j+1)r}-1.$$

Таким образом, число γ в двоичном представлении при максимальном показателе g(X) 2^r-1 содержит j единиц. Это количество единиц является минимальным. Поскольку показатель полинома вычисляется согласно выражению [14]: $e=(2^m-1)/НОД(2^m-1, \gamma)$, то другие значения показателей g(X) получаются при делении 2^r-1 на простые сомножители числа 2^r-1. Поэтому, числа γ, соответствующие этим показателям, равны числу $(2^m-1)/(2^r-1)$, умноженному на соответствующее простое число j. В результате такого умножения количество единиц в двоичном представлении числа γ только увеличивается и равно jw(j), где w(j)- вес числа j в двоичном представлении.

Поскольку $(2^m-1)/(2^r-1)$ в двоичном представлении содержит минимальное количество единиц, то $-(2^m-1)/(2^r-1)$ содержит максимальное количество единиц. При этом $w(-\gamma)$ принимает минимальное значение.

Рассмотрим случай, когда r=1. При этом $\gamma=(2^m-1)=0$, что соответствует полиному X+1. В этом случае w принимает два значения: если γ считать равным (2^m-1), $w(-\gamma)=0$, если γ считать равным 0, $w(-\gamma)=m$. Это соответствует особому поведению полинома X+1: сигнатура конъюнкций с рангом $0<r<m$ равна нулю.

Таким образом, число w (вес двоичной записи $-\gamma$) представляет собой параметр, с помощью которого можно оценить эффективность сигнатурного анализа при применении в качестве ГТП и АТР РСЛОС с порождающими примитивными полиномами одинаковой степени. Параметр w принимает минимальное значение 1 при $\gamma=-1$, и максимальное значение m-1 при $\gamma=1$.

Несмотря на трудоемкость операций, предлагаемый метод аналитического расчета значений сигнатур позволяет сформулировать важный вывод: при любом начальном состоянии РСЛОС ГТП и РСЛОС ГТП и АТР с порождающими примитивным полиномом h(X) и неприводимым полиномом g(X), корни которых связаны равенством $b=a^{\gamma}$, degh(X)=m, degg(X)=r, значение сигнатуры конъюнкции с рангом r<m-w, где w - вес m-разрядного двоичного числа $-\gamma$, равна нулю.

Сравнительная оценка различных сочетаний порождающих полиномов

На основании приведенных утверждений можно выполнить простую сравнительную оценку различных сочетаний порождающих полиномов РСЛОС ГТП и АТР.

Например, для $h(X)=X^{12}+X^6+X^4+X+1$ при $g(X)=X^{12}+X^6+X^4+X+1$ j=1, сигнатура конъюнкции с рангом r<1 равна нулю; при $g(X)=X^6+X^5+1$, j=2, $\gamma=(2^{12}-1)/(2^6-1)=65$, поэтому w принимает максимальное значение для degg(X)=6 и degh(X)=12, равное 12-2=10, сигнатура конъюнкции с рангом r<2 равна нулю.

Эти и другие результаты анализа для различных сочетаний минимальных полиномов, выбранных из таблицы неприводимых полиномов для степени 12 [14], приведены в таблице 1, а в таблице 2 аналогичные результаты для соответствующих двойственных полиномов.

Выводы

Из приведенных вариантов сочетаний порождающих полиномов наилучшим с точки зрения обеспечения максимальной эффективности сигнатурного анализа является первый из таблицы 1 и наихудшим - из таблицы 2, при этом разрядность РСЛОС АТР равна 12. При разрядности РСЛОС АТР равной 6 из рассмотренных девяти вариантов минимальных полиномов наихудшими являются пятый, седьмой (табл. 1), причем все варианты являются хуже второго (разрядность РСЛОС АТР равна 6) и четвертого (разрядность РСЛОС АТР равна 4).

Таблица 1. Результаты анализа для различных сочетаний минимальных полиномов

γ	γ, 2 с/с	g(X), 8 с/с	g(X)	m-w(-γ)=r<
1	1	10123	$X^{12}+X^6+X^4+X+1$	12-11=1
65	1000001	00141	X^6+X^5+1	12-10=2
195	11000011	00165	$X^6+X^5+X^4+X^2+1$	12-8=4
273	100010001	00023	X^4+X+1	12-9=3
455	111000111	00111	X^6+X^3+1	12-6=6
585	1001001001	00013	X^3+X+1	12-8=4
715	1011001011	00133	$X^6+X^4+X^3+X+1$	12-6=6
819	1100110011	00037	$X^4+X^3+X^2+X+1$	12-6=6
1365	10101010101	00007	X^2+X+1	12-6=6

Таблица 2. Результаты анализа для сочетаний двойственных минимальных полиномов

γ	γ 2 с/с	$g^*(X)$ 8 с/с	$g^*(X)$	m-w(-γ)=r<
-1	1	14501	$X^{12}+X^{11}+X^8+X^6+1$	12-1=11
-65	1000001	00103	X^6+X+1	12-2=10
-195	11000011	00127	$X^6+X^4+X^2+X+1$	12-4=8
-273	100010001	00031	X^4+X^3+1	12-3=9
-455	111000111	00111	X^6+X^3+1	12-6=6
-585	1001001001	00013	X^3+X+1	12-4=8
-715	1011001011	00155	$X^6+X^5+X^3+X^2+1$	12-6=6
-819	1100110011	00037	$X^4+X^3+X^2+X+1$	12-6=6

-1365	10101010101	00007	X^2+X+1	12-6=6

Как правило, для минимальной аппаратной реализации порождающие полиномы для РСЛОС ГТП и АТР выбирают с минимальным количеством ненулевых коэффициентов. Такие полиномы, в частности, в таблице неприводимых полиномов [14] расположены на первом месте. Рассмотренный пример показывает, что для разрядности РСЛОС ГТП и АТР соответственно 12 и 6, выбор первых минимальных полиномов (табл. 1) для исчерпывающего тестирования КС является наиболее эффективным, а выбор первых двойственных минимальных полиномов (табл. 2) является наихудшим. Эти и другие варианты выбора порождающих полиномов были проверены с помощью имитационного моделирования на основе САПР Active-HDL.

Уменьшение топологических норм проектирования СБИС памяти увеличивает чувствительность ИС к локальным радиационным эффектам. При этом может не просто увеличиваться количество ошибок, но и меняться их характер. При этом задача повышения отказоустойчивости памяти с помощью помехоустойчивых кодов становится особенно актуальной [6].

Полученные результаты могут найти применение при реализации самотестирования цифровых схем, проектировании схем встроенного контроля и диагностирования, например, для ПЛИС, при компактном тестировании КС, в том числе, при сочетании с методом сквозного сдвигового регистра.

Литература

1. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования: Пер. с англ. 2-е изд., испр. и доп. - М.: Academia, 2004. - 788 с.

2. Гладких А.А., Климов Р.В., Чилихин Н.Ю. Методы эффективного декодирования избыточных кодов и их современные приложения. – Ульяновск : УлГТУ, 2016. – 258 с.

3. Richard E. Blahut. Algebraic Codes for Data Transmission / Cambridge University Press, 2012. – 498p.

4. Дяченко О.Н., Дяченко В.О. Альтернативный метод укорачивания циклических кодов // Электронные информационные системы. 2017. № 1 (12). С.94–100.

5. Ярмолик В.Н., Калоша Е.П. Эффективность сигнатурного анализа в самотестирующихся СБИС // Электрон. моделирование.- 1992.- 14,N3. - С.51-56.

6. Ершов А.Н., Петров С.В., Пятошин Ю.П., Коханько Д. В., Зяблов В.В. и др. Улучшение радиационной стойкости памяти с помощью помехоустойчивых кодов // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2014, том 1, выпуск 4. - С.42–49.

7. Дяченко В.О., Дяченко О.Н. Циклическое кодирование цифровой информации на основе двойственных полиномов // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы II Международной научно-практической конференции (Азов, 19 мая 2015 г.) – Ростов н/Д, ДГТУ, 2015. – С. 71-76.

8. Savir J. Syndrome-testable design of combinational circuits / Savir J. // IEEE Trans. Comput. – 1980. – C-29. – P. 442-451.

9. Ярмолик В.Н. Тестовое диагностирование аппаратного и программного обеспечения вычислительных систем / Ярмолик В.Н., Иванюк А.А. // Доклады БГУИР, № 2 (80), 2014. – С.127-142.

10. Дяченко О.Н. Сравнительная оценка эффективности методов компактного тестирования комбинационных схем // Сборник трудов факультета вычислительной техники и информатики. Выпуск 1. Донецкий государственный технический университет. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – С.103-110.

11. Дяченко О.Н. Анализ сигнатурной тестируемости комбинационных схем // Автоматика и вычислительная техника. – 1990. – № 5. С.85-89.

12. Дяченко О.Н.. Тарасенко А.Н. Спектральный метод компактного тестирования в области сигнатурного анализа // Электрон. моделирование. – 1992. – 14, N6. – С.60-65.

13. А.с. 1829035 СССР, МКИ[5] G06F 11/00. Сигнатурно-синдромный анализатор / О.Н.Дяченко (СССР) № 4864016/24; Опубл. 23.07.93.Бюл. № 27. – 2с.

14. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М.:Мир, 1976. – 594с., ил.

15. Дяченко В.О., Дяченко О.Н. Циклическое кодирование цифровой информации на основе двойственных полиномов // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы II Международной научно-практической конференции (Азов, 19 мая 2015 г.). – Ростов н/Д, ДГТУ, 2015. – С. 71-76

16. Дяченко В.О., Дяченко О.Н. Особенности применения двойственных полиномов для аппаратной реализации циклических кодов // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг в рамках форума “Инновационные

перспективы Донбасса” (ИУС КМ-2015): VI Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 20-22 мая 2015, г.Донецк: / Донец. национал. техн. ун-т; сост.: К.Н.Маренич (председатель) и др. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – С. 130–136.

17. Дяченко В.О., Дяченко О.Н. Альтернативный способ построения укороченных кодов Файра // Компьютерная и программная инженерия. Сборник материалов международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных 15-16 декабря 2015 года. – Донецк: ДонНТУ, 2015. – С. 86–89.

18. Дяченко О.Н., Дяченко В.О. Укорачивание циклических кодов на основе альтернативного деления полиномов // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы III Международной научно-практической конференции (Азов, 25 мая 2016 г.). – Азов: Изд-во: ООО "АзовПечать", 2016. – С. 45-50

19. Дяченко О.Н., Дяченко В.О. Альтернативный метод укорачивания циклических кодов // Электронные информационные системы. 2017. № 1 (12). – С. 94–100.

20. Дяченко О.Н., Дяченко В.О. Аппаратная реализация кодов БЧХ и кодов Рида-Соломона // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы IV Международной научно-практической конференции (Азов, 25 мая 2017 г.). – Ростов н/Д, ДГТУ, 2017. – С. 30-34.

Дяченко В.О., Дяченко О.Н. Комплексная оценка компактного тестирования цифровых схем на основе минимальных полиномов. *Выполнен анализ эффективности компактного тестирования цифровых схем при предположении, что генератор тестовых последовательностей и анализаторы тестовых реакций - РСЛОС с минимальными порождающими полиномами. На основе такого анализа предложена комплексная оценка для различных вариантов сочетания минимальных порождающих полиномов для исчерпывающего тестирования комбинационных схем.*

Ключевые слова: *минимальные полиномы, генератор тестовых последовательностей, анализатор тестовых реакций, порождающий полином.*

Dyachenko V.O., Dyachenko O. N. Complex evaluation of compact testing of digital circuits based on minimal polynomials. *The efficiency of compact testing of digital circuits is analyzed under assumption that the test sequence generator and test response analyzers are LFSR with minimal generator polynomials. On the basis of such analysis, a complex evaluation is proposed for various combinations of minimal generator polynomials for exhaustive testing of combinational circuits.*

Keywords: *minimal polynomials, test sequence generator, test response analyzer, generator polynomial.*

Статья поступила в редакцию 20.03.2018
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук В.Н. Павлышом