

УДК 519.714.2

Р.Ш. Валиев – кандидат технических наук (НИЛ КСА)

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ САМОПРОВЕРЯЕМЫХ СТРУКТУР ОТНОСИТЕЛЬНО СБОЕВ

В микроэлектронной аппаратуре железнодорожных систем автоматики около 50 % всех отказов приходится на сбои. Сбой – это кратковременная фиксация ложного сигнала 0 или 1 на выходе логического элемента. В логической схеме сбой ее элемента приводит к сбою на выходе только в том случае, когда на входе схемы присутствует тестовый набор. Зададимся экспоненциальным законом появления сбоев, характеризующимся свойствами стационарности, отсутствием последействия и ординарности. Если логическая схема входит в структуру, обнаруживающую ошибки, большое влияние на расчет надежности относительно сбоев оказывает вид этой структуры. В расчетах предположим, что все дополнительные (контролирующие) схемы являются абсолютно надежными.

Алгоритм 1 (для структуры дублирования).

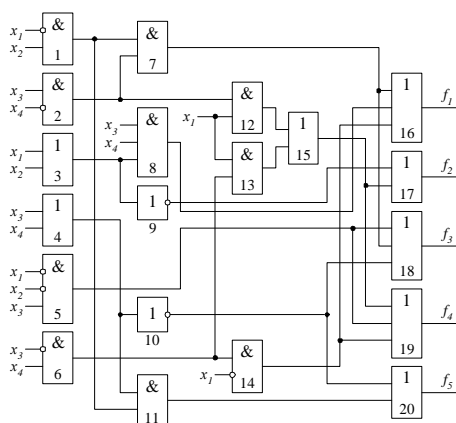


Рис. 1.

1. Определяются вероятности  $R_k$  появления входных наборов в момент времени  $t$ . В расчетах контрольной схемы (рис. 1) примем  $R_1 = \dots = R_4 = 0.0625$ .
2. Находятся значения функции ошибки  $\varphi_i^\alpha$ , равной  $\varphi_i^\alpha = f \oplus f_i^\alpha$  (где  $f_i^\alpha$  – функция, реализуемая неисправной схемой) для сбоев типа  $1 \rightarrow 0$  ( $\alpha = 0$ ) и  $0 \rightarrow 1$  ( $\alpha = 1$ ) всех элементов.
3. Определяются вероятности  $Q_i^\alpha$  – вероятности того, что в момент времени  $t$  произойдет сбой  $n_i^\alpha$  и это приведет к возникновению ошибки на выходах схемы:

$$Q_i^\alpha = q_i^\alpha \cdot \sum_{k=0}^{15} R_k, \quad (1)$$

где  $q_i^\alpha$  – вероятность возникновения в момент времени  $t$  сбоя  $n_i^\alpha$ . Примем  $q_i^\alpha = 0.001$ .

В сумму включаются вероятности всех тестовых наборов, поскольку в результате сбоя любого логического элемента контролируемого устройства в структуре дублирования, на выходе схемы сравнения будет обнаружена ошибка. Например, для сбоя типа  $0 \rightarrow 1$  логического элемента 6 тестовыми наборами являются: 0, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 15.

4. Определяется вероятность обнаружения сбоя, возникшего в момент времени  $t$ :

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i^0 + \sum_{i=1}^N Q_i^1, \quad (2)$$

где  $N$  – число логических элементов.

Для схемы (см. рис. 1), входящей в дублированную структуру  $Q = 176.97 \cdot 10^{-4}$ . Произведенные расчеты показали, что в дублированной структуре вероятность обнаружения сбоя  $i$ -го логического элемента возрастает с увеличением числа разветвлений его выхода, влияющих на различные выходы схемы.

Обратная вероятность ( $P = 1 - Q$ ) в расчетах структур, обнаруживающих ошибки, не рассматривается, поскольку она включает в себя вероятности двух противоречивых событий: отсутствия сбоя в логической схеме и того, что возникший сбой  $n_i^\alpha$  не будет обнаружен.

Алгоритм 2 (для паритетной структуры).

1. Выполняются пункты 1 – 2 алгоритма 1.
2. По формуле (1) определяются вероятности  $Q_i^\alpha$ . При рассмотрении паритетной структуры, не учитываются вероятности тех тестовых наборов, при поступлении которых на вход логической схемы в результате сбоя  $n_i^\alpha$  искажаются значения четного числа выходов. В этих случаях неисправности не будут обнаружены исходя из принципа паритета. К примеру, сбой типа  $0 \rightarrow 1$  первого логического элемента будет обнаружен на следующих тестовых наборах: 1, 3, 9, 10, 11, 13, 14, 15 и не проявится на наборе 2, исказив одновременно функции  $f_3$  и  $f_5$ .
3. По формуле (2) определяется вероятность обнаружения сбоя, возникшего в момент времени  $t$ . Для контрольной схемы (см. рис. 1)  $Q = 123.79 \cdot 10^{-4}$ .

При построении логических схем, контроль которых осуществляется по паритету, необходимо стремиться к нечетности числа разветвлений на выходах логических элементов, поскольку в этом случае вероятность обнаружения сбоев элементов внутренней структуры увеличивается.

Алгоритм 3 (для структуры с суммированием).

1. Выполняются п. 1 – 2 алгоритма 1.
2. Находятся значения функции направленности ошибки  $\psi_i^\alpha$ , которая существует только на тех входных наборах, на которых  $\varphi_i^\alpha = 1$ , и равная:  $\psi_i^\alpha = \varphi_i^\alpha \oplus f = \bar{f}$ .  $\psi_i^\alpha$  определяет тип произошедшего сбоя:  $1 \rightarrow 0$  или  $0 \rightarrow 1$ .
3. По формуле (1) определяются вероятности  $Q_i^\alpha$ . В сумму (1) включаются вероятности тех тестовых наборов, на которых функция направленности ошибки либо имеет одинаковое значение на разных выходах, либо разные значения, но на разных по числу выходах. К примеру, сбой элемента 3 (см. рис.1) неодинаково влияют на выходы логической схемы и искажают значение функции  $f_1$  с 1 на 0, одновременно с этим функцию  $f_2$  – с 0 на 1 и наоборот, поэтому обнаружены не будут.
4. Определяется вероятность обнаружения сбоя, возникшего в момент времени  $t$  по формуле (2). Для логической схемы (см. рис. 1)  $Q = 168.85 \cdot 10^{-4}$ .

Вероятность обнаружения сбоя  $i$ -го элемента логической схемы, контролируемой по числу единиц на выходе, напрямую зависит от четности числа инверсий в пути прохождения сигнала с выхода этого элемента до различных выходов логической схемы.

Особенность самодвойственных структур заключается в том, что тестовый набор может поступить на вход схемы в одном из двух случаев. Во-первых, в информационном такте, то есть когда логическое значение входного сигнала соответствует тестовому набору. Во-вторых, в том случае, когда в информационном такте на вход схемы поступает обратный набор, а в контрольном – непосредственно сам тестовый. Поэтому,

вероятность появления на входе логической схемы тестового набора увеличивается в два раза, при условии продолжительности сбоя не менее одного периода самодвойственного сигнала.

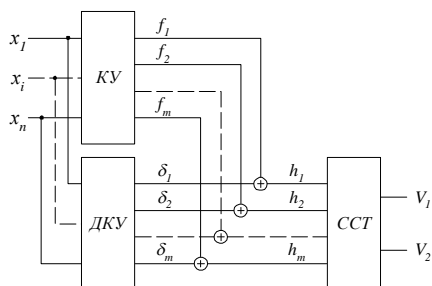


Рис. 2.

Общая структура самодвойственного дублирования [1] приведена на рис. 2. Для каждого выхода  $f_1, f_2, \dots, f_m$  логической схемы строятся соответственно функции  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m$ , дополняющие функции выходов логической схемы до самодвойственного вида. Если в логической схеме возникает неисправность, то одна или несколько контрольных функций  $h_j$  становятся несамодвойственными и это обнаруживается на выходах CCT. Класс необнаруживаемых неисправностей в схеме самодвойственного дублирования состоит из неисправностей, для которых выполняется следующее условие: на всех наборах тестовых пар  $(X, \bar{X})$  неисправность либо не искажает значения всех сигналов  $f_j$ , либо вызывает искажение некоторых из них на обоих наборах тестовой пары  $(X, \bar{X})$ .

Алгоритм 4 (для структуры самодвойственного дублирования).

1. Выполняются п. 1 – 2 алгоритма 1.
2. По формуле (1) определяются вероятности  $Q_i^\alpha$ . В расчетах не должны учитываться пары инверсных тестовых наборов, искажающих функцию одного и того же выхода. Для сбоя типа  $n_4^0$  по выходу  $f_3$  тестовыми наборами являются: 1, 5, 7, 9, 10, 11, 13, 14 и 15, а по выходу  $f_5$  – 1, 2, 3, 9, 10, 11, 13, 14. Функция  $f_3$  не исказится на парах инверсных наборов 1, 14 и 5, 10, а для функции  $f_5$  подобными являются наборы 1, 14 и 2, 13.
3. Определяется вероятность обнаружения возникшего в момент времени  $t$  сбоя по формуле (2). Для схемы (см. рис. 1)  $Q = 218.75 \cdot 10^{-4}$ .

Как и в дублированной структуре, вероятность обнаружения сбоя возрастает с увеличением числа разветвлений по выходу логических элементов внутренней структуры, влияющих на различные выходы логической схемы.

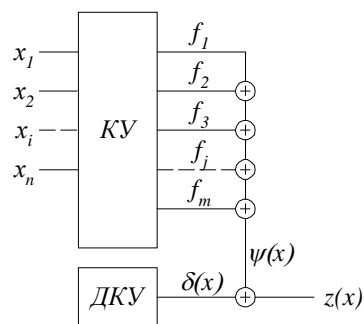


Рис. 3.

При организации функционального контроля методом самодвойственного паритета (рис. 3) основной блок КУ реализует систему  $m$  функций  $f_1, f_2, \dots, f_m$ . Выходы КУ объединяются с помощью свертки по модулю два для расчета бита четности  $\psi(x)$ . Блок ДКУ реализует функцию  $\delta(x)$ , дополняющую  $\psi(x)$  до самодвойственной функции  $z(x)$ . В структуре самодвойственного паритета неисправность в блоке КУ не обнаруживается, если искажается значение сигналов на одинаковом по четности числе выходов схемы на каждой паре инверсных наборов  $(X, \bar{X})$  [2].

Алгоритм 5 (для структуры самодвойственного паритета).

1. Выполняются п. 1 – 2 алгоритма 1.
2. По формуле (1) определяются вероятности  $Q_i^\alpha$ . При этом не учитываются инверсные пары тестовых наборов  $(X, \bar{X})$ , при поступлении которых искажаются значе-

ния одинакового по четности числа выходов логической схемы. Сбой  $n_5^1$  в схеме (см. рис. 1) будет обнаружен только на наборах 0 (15), 2 (13), 4 (11) и 7 (8) и не проявится на выходе  $z(x)$  на наборах 1, 5, 6, 9, 10, 12, 14, являющихся тестовыми для этой неисправности.

3. Определяется вероятность обнаружения сбоя в момент времени  $t$  по формуле (2):  $Q = 161.25 \cdot 10^{-4}$ . Вероятность обнаружения сбоя  $i$ -го элемента, зависит также как и в паритетной структуре от четности числа разветвлений.

По алгоритмам 1 – 5 были произведены расчеты десяти контрольных примеров, построенных случайным образом. В таблице 1 указано увеличение, либо уменьшение в процентах вероятности обнаружения сбоя в структурах контроля по сравнению с дублированием.

Структура самодвойственного дублирования обеспечивает наибольшую вероятность обнаружения возникшего сбоя (в среднем больше на 26 %, чем дублирование), хотя и имеет избыточность при отдельной реализации равную схемам дублирования. Но не следует забывать о возможности совместной реализации контрольной и контролируемой схем, хотя, возможно, при этом обнаруживающая способность незначительно уменьшится.

Самодвойственный паритет уменьшает избыточность на 77 %, а по обнаруживающей способности на 50 % хуже схем полного самодвойственного дублирования, хотя в целом вероятность обнаружения сбоев логических элементов выше на 13 % аналогичного показателя схем обычного дублирования.

Таблица 1

№ схемы	Паритетная структура	Схема с суммированием	Самодвойственный контроль	Самодвойственный паритет
1.	– 30	– 5	+ 24	– 8
2.	– 8	– 2	+ 12	+ 2
3.	– 8	– 6	+ 17	+ 29
4.	– 10	– 4	+ 33	+ 21
5.	– 13	– 1	+ 60	+ 35
6.	– 8	– 8	+ 38	+ 25
7.	– 19	– 5	+ 20	+ 3
8.	– 5	– 1	+ 25	+ 14
9.	– 6	– 3	+ 12	+ 8
10.	– 9	– 4	+ 19	+ 2
Среднее	– 11.6	– 3.9	+ 26	+ 13.1

К основным недостаткам самодвойственных структур можно отнести появление необнаруживаемых сбоев. Сбои такого рода появились в двух из десяти контрольных схем. Их процент оказался несущественным (5 %) и не превысил такого же показателя для схем контроля по паритету.

Появление необнаруживаемых сбоев возможно и в структуре дублирования в случае появления неразрешенных входных наборов, которые могут оказаться тестовыми для данной неисправности. В этом случае самодвойственные структуры имеют значительное преимущество.

## **Литература**

1. Гессель М., Мошанин В.И., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Обнаружение неисправностей в самопроверяемых комбинационных схемах с использованием свойств самодвойственных функций // Автоматика и телемеханика. 1997. № 12. С. 193 – 200.
2. Гессель М., Дмитриев А.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Самотестируемая структура для функционального обнаружения отказов в комбинационных схемах // Автоматика и телемеханика. 1999. № 11. С. 162 – 174.

## **Статья опубликована**

Валиев Р.Ш. Анализ надежности самопроверяемых структур относительно сбоя // Scientific proceeding of Riga technical university. Transport and engineering. Railway transport. Riga, 2003. P.162–166.