УДК 519.714

В.П. Іващенко, Г.Г. Швачич, А. И. Тимошкин

О НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЯХ 2 – ПРОВЕРЯЕМОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДВУХКАНАЛЬНОЙ ЛОГИКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ОДИНОЧНЫХ КОНСТАНТНЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ВХОДОВ И ВЫХОДОВ

Анотация. О необходимых и достаточных условиях 2-проверяемости функциональных элементов двухканальной логики относительно одиночных константных неисправностей входов и выходов.

Ставится проблема существования проверяющего теста длины 2 для функциональных элементов в отношении константных неисправностей их входов и выходов. Проблема рассматривается в отношении двухканальных функциональных элементов. Получены необходимые и достаточные условия 2-проверяемости для функциональных элементов двухканальной логики относительно одиночных константных неисправностей на их входах и выходах.

Ключевые слова: двухканальный функциональный элемент, одиночная константная неисправность, проверяющий тест.

Введение

Разработка и использование математических моделей сложных технических систем, а также методов анализа, синтеза и распознавания составляют теоретическую основу приложения математики в техническом диагностировании, теории управления, проектирования и т.п.

Развитие технической базы, изменение требований к техническим системам и условий их эксплуатации приводят к возникновению новых задач технического диагностирования. Математический аппарат стал необходимым средством тестирования, разработки контролепригодных схем и повышения контролепригодности технических систем.

С ростом сложности цифровых устройств и систем обеспечение их контролепригодности становиться одной из важнейших задач процесса проектирования и производства этих устройств и систем. К настоящему времени выявлены два альтернативных подхода к проблеме улучшения показателей контролепригодности:

1) контролепригодное проектирование – организация контрольных точек и LSSD-цепей в готовых проектах схем, а также их модификация;

2) синтез контролепригодных схем – обеспечение контролепригодности на ранних этапах проектирования.

Существенными недостатками многочисленных обособленных друг от друга методов контролепригодного проектирования [1-9] являются их малая эффективность и отсутствие достаточно точного прогнозирования результата. Эти недостатки обусловлены тем, что контролепригодное проектирование не позволяет в полной мере применять мощный аппарат дискретной математики.

Именно при втором подходе к проблеме улучшения показателей контролепригодности возможно широкое внедрение математических моделей и методов, необходимость которого подчеркивалась в работе [10]. Второй подход позволяет изначально задавать такие важнейшие показатели контролепригодности, как длина контрольного (проверяющего) теста, трудоемкость его построения и полнота контроля этим тестом.

Общая постановка задачи

Среди различных концепций второго подхода видное место занимает концепция синтеза С – контролепригодных функциональных элементов и схем из них (т.е. функциональных элементов и схем, обладающих проверяющим тестом постоянной длины, не зависящей от их сложности).

В работах [11-20] рассматриваются условия существования проверяющих тестов заданной длины, в том числе проверяющих тестов минимально возможной длины (длины 2), для функциональных элементов относительно константных неисправностей на их входах и выходах. Данные условия являются достаточными условиями существования проверяющих тестов заданной длины, но не являются необходимыми. Следовательно, эти условия сформулированы для частных случаев.

Очевидно, что всесторонний подход к проблеме разработки математических моделей и методов построения контролепригодных ци-

 ISSN 1562-9945

фровых схем требует поиска более общих условий, а именно необходимых и достаточных условий существования проверяющих тестов определенных (заданных) длин для функциональных элементов, включая длины, близкие к минимально возможной, и минимально возможную длину. Таким образом, актуальной является следующая задача. Задан класс I константных неисправностей на входах и выходах функциональных элементов. Требуется определить необходимые и достаточные условия существования проверяющего теста длины 2 для любого функционального элемента относительно данного класса неисправностей. Функциональный элемент, обладающий проверяющий тестом длины 2 относительно этого класса неисправностей в дальнейшем будем называть 2-проверяемым.

На протяжении ряда лет существует устойчивый интерес разработчиков интегральных микросхем к принципам организации самосинхронизирующихся схем и, в частности, к использованию парафазных кодов [21-28]. В связи с этим целесообразно рассмотреть поставленную задачу для случая функциональных элементов двухканальной логики.

Основное содержание

Пусть имеется множество U функциональных элементов двухканальной логики, каждый из которых имеет 2n входов, два выхода $y, \hat{y}$ и реализует систему булевых уравнений

$$y = f^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, x_2, \hat{x}_2, \dots, x_n, \hat{x}_n)$$
$$\hat{y} = \hat{f}^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, x_2, \hat{x}_2, \dots, x_n, \hat{x}_n)$$

либо систему булевых уравнений

$$y = \hat{f}^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, x_2, \hat{x}_2, \dots, x_n, \hat{x}_n)$$
$$\hat{y} = f^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, x_2, \hat{x}_2, \dots, x_n, \hat{x}_n)$$

При этом функции $f^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, \dots, x_n, \hat{x}_n)$ и $\hat{f}^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, \dots, x_n, \hat{x}_n)$ существенным образом зависят от всех своих $2n$ различных аргументов. Необходимые и достаточные условия 2 − проверяемости функционального элемента F из U относительно одиночных константных неисправностей на его входах и выходах дает следующая теорема:

Теорема 1. Функциональный элемент двухканальной логики F из U обладает проверяющим тестом длины 2 относительно одиночных константных неисправностей на входах и выходах тогда и только тогда, когда существуют входные вектора $b_1 = (\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)$ и $b_2 = (\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)$, где для каждого $i \in \{1, \ldots, n\}$ $\beta_i^1, \hat{\beta}_i^1, \beta_i^2, \hat{\beta}_i^2 \in \{0,1\}$, удовлетворяющие следующим условиям:

$$(\forall i \in \{1,2,\ldots,n\})(\forall \beta \in \{0,1\})$$

$$\begin{aligned}
&\{\sum_{s=1}^{2}(\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right| + \\
&+\left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right|) > \\
&> 0 \;\&\; \sum_{s=1}^{2}\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \beta, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s,\right. \\
&\left.\hat{\beta}_n^s)\right| + \left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \beta, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s,\right. \\
&\left.\hat{\beta}_n^s)\right|) > 0\}
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} &f^{\varepsilon}(b_1) \neq f^{\varepsilon}(b_2) \\ &\hat{f}^{\varepsilon}(b_1) \neq \hat{f}^{\varepsilon}(b_2) \end{aligned} \tag{2}$$

Доказательство. Для обнаружения любой константной неисправности $\beta \in \{0,1\}$ на каком либо входе из произвольной пары входов $(i, \hat{i})$ двухканального функционального элемента $F \in U$ проверяющим тестом длины 2 необходимо существование по крайней мере одной пары входных векторов $b_1 = (\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)$ и $b_2 = (\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)$, где $\beta_i^1, \hat{\beta}_i^1, \beta_i^2, \hat{\beta}_i^2 \in \{0,1\}$, такой, что

$$\begin{aligned}
&(\forall i \in \{1,2,\ldots,n\})(\forall \beta \in \{0,1\})\{(f_{i/\beta}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1) \neq f^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)) \vee \\
&\vee(\hat{f}_{i/\beta}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1) \neq \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)) \vee (f_{i/\beta}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2) \neq \\
&f^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)) \vee (\hat{f}_{i/\beta}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2) \neq \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2))\}
\end{aligned}$$

и

ISSN 1562-9945

$$(\forall \hat{i} \in \{\hat{1}, \hat{2}, \dots, \hat{n}\})(\forall\beta \in \{0,1\})\{(f^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^1, \beta_{\hat{1}}^1, \dots, \beta_n^1, \beta_{\hat{n}}^1) \neq f^{\varepsilon}(\beta_1^1, \beta_{\hat{1}}^1, \dots, \beta_n^1, \beta_{\hat{n}}^1)) \vee$$

$$\vee(\hat{f}^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^1, \beta_{\hat{1}}^1, \dots, \beta_n^1, \beta_{\hat{n}}^1) \neq \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \beta_{\hat{1}}^1, \dots, \beta_n^1, \beta_{\hat{n}}^1)) \vee (f^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^2, \beta_{\hat{1}}^2, \dots, \beta_n^2, \beta_{\hat{n}}^2) \neq$$

$$f^{\varepsilon}(\beta_1^2, \beta_{\hat{1}}^2, \dots, \beta_n^2, \beta_{\hat{n}}^2)) \vee (\hat{f}^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^2, \beta_{\hat{1}}^2, \dots, \beta_n^2, \beta_{\hat{n}}^2) \neq \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \beta_{\hat{1}}^2, \dots, \beta_n^2, \beta_{\hat{n}}^2))\}$$

Для определенности будем считать, что на пару входов i и $\hat{i}$ подается пара сигналов x_i и $\hat{x}_i$. При этом если сигнал x_i поступает на вход i, а $\hat{x}_i$ – на вход $\hat{i}$, то $(\forall s \in \{1,2\})$

$$\{f^{\varepsilon}_{i/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s),$$

$$f^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s),$$

$$\hat{f}^{\varepsilon}_{i/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s),$$

$$\hat{f}^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s)\}$$

Если сигнал x_i поступает на вход $\hat{i}$, а $\hat{x}_i$ – на вход i, то $(\forall s \in \{1,2\})$

$$\{f^{\varepsilon}_{i/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s),$$

$$f^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s),$$

$$\hat{f}^{\varepsilon}_{i/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s),$$

$$\hat{f}^{\varepsilon}_{\hat{i}/\beta}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_i^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s) = \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta, \beta_{\hat{1}}^s, \dots, \beta_n^s, \beta_{\hat{n}}^s)\}$$

Следовательно, независимо от способа подачи сигналов x_i и $\hat{x}_i$ на входы i и $\hat{i}$ необходимо чтобы для b_1 и b_2 выполнялось условие

$$
\begin{aligned}
&(\forall i \in \{1,2,\ldots,n\})(\forall \beta \in \{0,1\})\{(\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1) - f^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_i^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots,\right.\\
&\left.\beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)\right| + \left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_i^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)\right| + \left|f^{\varepsilon}(\beta_1^2,\right.\\
&\left.\hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2) - f^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_i^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)\right| + \left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta, \hat{\beta}_1^2, \ldots,\right.\\
&\left.\beta_n^2, \hat{\beta}_n^2) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_i^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)\right| > 0) \,\&\, (\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_i^1, \beta, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1) -\right.\\
&\left.-f^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_i^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)\right| + \left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_i^1, \beta, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_i^1,\right.\\
&\left.\hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)\right| + \left|f^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_i^2, \beta, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2) - f^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_i^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)\right| +\\
&+\left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_i^2, \beta, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_i^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)\right| > 0)\}
\end{aligned}
$$

или условие

$$(\forall i \in \{1,2,\ldots,n\})(\forall \beta \in \{0,1\})$$

$$
\begin{aligned}
&\{\sum_{s=1}^{2}(\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta, \hat{\beta}_1^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_1^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right| +\\
&+\left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta, \hat{\beta}_1^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_1^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right|) >\\
&> 0 \,\&\, \sum_{s=1}^{2}\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \beta, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_1^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s,\right.\\
&\left.\hat{\beta}_n^s)\right| + \left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \beta, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \hat{\beta}_1^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s,\right.\\
&\left.\hat{\beta}_n^s)\right|) > 0\}
\end{aligned}
$$

Кроме этого для обнаружения любой константной неисправности $\beta \in \{0,1\}$ на выходах $y, \hat{y}$ функционального элемента $F \in U$ тестом из двух рассматриваемых векторов b_1 и b_2 необходимо чтобы

$$(f^{\varepsilon}(b_1) \neq f^{\varepsilon}(b_2)) \,\&\, (\hat{f}^{\varepsilon}(b_1) \neq \hat{f}^{\varepsilon}(b_2))$$

Действительно, предположим противное, т.е. что из двух данных неравенств хотя бы одно не выполняется. Пусть для определен-

 ISSN 1562-9945

ности на выходе функционального элемента $F \in U$ формируется выходной сигнал $f^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, \ldots, x_n, \hat{x}_n)$, а на выходе $\hat{y}$ – выходной сигнал $\hat{f}^{\varepsilon}(x_1, \hat{x}_1, \ldots, x_n, \hat{x}_n)$. Тогда если $f^{\varepsilon}(b_1) = f^{\varepsilon}(b_2)$, то неисправность $y / \beta = f^{\varepsilon}(b_1)$ не будет обнаруживаться тестом, состоящим из векторов b_1 и b_2. Если $\hat{f}^{\varepsilon}(b_1) = \hat{f}^{\varepsilon}(b_2)$, то неисправность $\hat{y} / \beta = \hat{f}^{\varepsilon}(b_1)$ не будет обнаруживаться тестом из векторов b_1 и b_2. Таким образом, необходимость условий (1) – (2) доказана. Достаточность условий (1) – (2) очевидна. Теорема доказана.

Следствие 1. Если функциональный элемент двухканальной логики $F \in U$ проверяем двумя векторами $b_1 = (\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)$ и $b_2 = (\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)$, относительно одиночных константных неисправностей на входах и выходах, то $\beta_i^1 \neq \beta_i^2, \hat{\beta}_i^1 \neq \hat{\beta}_i^2$ для $\forall i \in \{1, 2, \ldots, n\}$.

Доказательство. Пусть имеется противное предположение, т.е. существует пара входов $(i, \hat{i})$ функционального элемента $F \in U$ такая, что для подаваемых на входы этой пары сигналов x_i и $\hat{x}_i$ на входных векторах b_1 и b_2 выполняется равенство $\beta_i^1 = \beta_i^2$ либо равенство $\hat{\beta}_i^1 = \hat{\beta}_i^2$. Тогда

$$\sum_{s=1}^{2}\Big(\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right| +$$

$$+\left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta, \hat{\beta}_i^s, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right|\Big) = 0$$

если неисправность $\beta \in \{\beta_i^1, \beta_i^2\}$ и $\beta_i^1 = \beta_i^2$, или

$$\sum_{s=1}^{2}\Big(\left|f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \beta, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - f^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right| +$$

$$+\left|\hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \hat{\beta}_{i-1}^s, \beta_i^s, \beta, \beta_{i+1}^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s) - \hat{f}^{\varepsilon}(\beta_1^s, \hat{\beta}_1^s, \ldots, \beta_i^s, \hat{\beta}_i^s, \ldots, \beta_n^s, \hat{\beta}_n^s)\right|\Big) = 0$$

если неисправность $\beta \in \{\hat{\beta}_i^1, \hat{\beta}_i^2\}$ и $\hat{\beta}_i^1 = \hat{\beta}_i^2$.

Следовательно, функциональный элемент F двухканальной логики не является проверяемым двумя векторами $b_1 = (\beta_1^1, \hat{\beta}_1^1, \ldots, \beta_n^1, \hat{\beta}_n^1)$ и $b_2 = (\beta_1^2, \hat{\beta}_1^2, \ldots, \beta_n^2, \hat{\beta}_n^2)$. Получено противоречие. Следовательно, противное предположение неверно и $\beta_i^1 \neq \beta_i^2, \hat{\beta}_i^1 \neq \hat{\beta}_i^2$ для любой пары входов $(i, \hat{i})$, где $i \in \{1,\ldots,n\}$. При этом очевидно, что $\beta_i^1 = \overline{\beta}_i^2, \beta_i^2 = \overline{\beta}_i^1$ и $\hat{\beta}_i^1 = \overline{\hat{\beta}_i^2}, \hat{\beta}_i^2 = \overline{\hat{\beta}_i^1}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе сформулированных условий проверяемости функциональных элементов двухканальной логики двумя векторами относительно одиночных константных неисправностей могут быть разработаны различные методы синтеза легко тестируемых и самоконтролирующихся схем. Представляют интерес также условия проверяемости двумя векторами цифровых функциональных элементов из других классов, а также схем из них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беннеттс Р.Дж. Проектирование тестопригодных логических схем: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 176с.
2. Меренков А.М., Панфилов А.П. Проектирование БИС со встроенными средствами тестирования и самотестирования. – М.: Препринт МИФИ, 1989. – 24 с.
3. Убар Р. Проектирование контролепригодных дискретных систем. – Т.: Издательство Таллиннского политехнического института, 1988. – 68 с.
4. Feng S., Malaiya. Optimization of test parallelism with limited hardware overhead// Microelectronics and Reliability, v.31, №2/3, 1991. – p. 271-276.
5. Ha D.S., Reddy S.M. On the design of pseudo-exhaustive testable PLA's// IEEE Trans. on computers, v.37, №4, 1988. – p. 468 - 472.
6. Oosdikj S., Beenker F., Thijssen L. A model for test-time reduction of scan testable circuits// Proceedings of 2-nd European Test Conference, Munich, 1991. – p. 243-252.
7. Pradhan D., Nori S., Swaminathan I. A methodology for partial scan design// Proceedings of 2-nd European Test Conference, Munich, 1991. – p. 263-271.

 ISSN 1562-9945

8. Reddy S.M., Ha D.S. A new approach to the design of testable PLA's// IEEE Trans. on computers, v.C-36, №2, 1987. – p. 201-211.
9. Schwederski T., Buchner T., Leenstra I., Roos G.,Spaanenburg L. Built – In pad test with boundary scan// Proceedings of 2-nd European Test Conference, Munich, 1991. – p. 385-392.
10. Твердохлебов В.А. Логические эксперименты с автоматами. – С.: Издательство Сарат. ун-та, 1988. – 184с.
11. Горяшко А.П. Некоторые результаты теории синтеза легко тестируемых схем// Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. №2,-1982.- с.139-150.
12. Варданян В.А. Об одном методе синтеза легко тестируемых схем// Автоматика и телемеханика. №7,-1987.- с.136-139.
13. Шевченко В.И. Синтез схем с минимальной трудоёмкостью тестирования//VII Всесоюзная. конференция «Проблемы теоретической кибернетики». Тез. докл. Ч.1, Иркутск, 1985.-с.202-203.
14. Hayes J.P. On realization of Boolean functions requiring a minimal or near minimal numbers of test// IEEE Trans. on computers. №6, 1971, p. 1506-1513.
15. Lombardi F., Huang W.K. Fault detection and design complexity in C-testable VLSI arrays // IEEE Trans. on computers, v.39, №12, 1990, p.1477-1481.
16. Saluja K.K., Reddy S.M. On minimally testable logic networks // IEEE Trans. on computers, №5, 1974, p.552-554.
17. Huang W.K., Lombardi F. On the constant diagnosability of baseline interconnection networks // IEEE Trans. on computers, №12, 1990, p.1485-1488.
18. Hayes J.P. On modifying logic networks to improve their diagnosability// IEEE Transactions on computers, №1, 1974.-p.56-63.
19. La Paugh A.S., Lipton R.J. Total fault testing using the bipartite transformation//International Test Conference, 1983.-p.428-434.
20. Vergis A., Steiglitz K. Testability conditions for bilateral arrays of combinational cells.//IEEE Transactions on computers, Vol. C-35, N1, 1986.-p.13-22.
21. Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах/ Под ред. В.И.Варшавского. – М.: Наука, 1986. – 400с.
22. Ангер С. Асинхронные последовательностные схемы: Пер. с англ./ Под ред. П.П.Пархоменко. – М.: Наука, 1977. – 400с.
23. Апериодические автоматы/ Под ред. В.И.Варшавского. – М.: Наука, 1976. – 424с.
24. Варшавский В.И., Мараховский В.Б., Песчанский В.А., Розенблюм Л.Я. О возможности реализации асинхронного интерфейса, использующего самосинхронизирующийся код с идентификатором// Автоматика и вычислительная техника, №5, 1981. – с.84-88.

25. Варшавский В.И., Розенблюм Л.Я., Таубин А.Р. Полностью самопроверяемые асинхронные комбинационные схемы и свойство индицируемости// Автоматика и телемеханика, №5, 1982. – с.138-146.
26. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Дискретные автоматы с обнаружением отказов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 112с.
27. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Самопроверяемый фиксатор ошибок для парафазных сигналов// Автоматика и телемеханика, №2, 1992. – с.197-199.
28. Corsini P. Self-synchronising asynchronous arbiter//Digital Processes, v.1, №1, 1975. – p. 67-73.

 ISSN 1562-9945