

# КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ

## ДРЕВОВИДНЫЕ КОМБИНАЦИОННЫЕ СХЕМЫ

Успешному диагностированию цифровых печатных узлов способствует высокий уровень их контролепригодности по отношению к константным неисправностям межсоединений. Такой уровень обеспечивает предлагаемый метод построения контролепригодных древовидных комбинационных схем, относящийся к концепции "константного" контролепригодного проектирования.

Опыт эксплуатации цифровых печатных узлов показывает, что, как правило, дефекты в них связаны с неисправностями межсоединений и контактов компонентов, среди которых значительную долю составляют константные неисправности [1]. Поэтому при проектировании контролепригодных цифровых печатных узлов целесообразно, в первую очередь, обеспечить необходимый уровень контролепригодности узла по отношению к константным неисправностям межсоединений и контактов. Уровень контролепригодности по отношению к неисправностям других типов не должен при этом заметно снижаться. В условиях существенного ограничения временных ресурсов на диагностирование электронной аппаратуры для выполнения этой задачи наилучшим образом подходит концепция "константного" контролепригодного проектирования [2–5].

К данной концепции относится рассматриваемый метод построения контролепригодных древовидных комбинационных схем, пригодных для реализации в виде печатных узлов. Метод основан на использовании логических схем "И" и "ИЛИ", двух модификаций каждая, к которым применен проверяющий тест из двух векторов (нулевого и единичного), т.е. тест длины 2, относительно одиночных константных неисправностей входов и выхода. Необходимые и достаточные условия 2-проверяемости одновыходных функциональных элементов относительно одиночных константных неисправностей их входов и выхода, а также древовидных схем из них были рассмотрены ранее [6,7].

Логические схемы, обладающие проверяющим тестом длины 2 относительно одиночных константных неисправностей входов и выхода, и их условные обозначения приведены на рис. 1 и 2, где  $x_1, x_2$  – основные входные переменные (входы),  $c_1, c_2, c_3, c_4$  – дополнительные входные переменные и  $y_1, y_2$  – выходные переменные (выходы). Схемы  $S_1$  и  $S_2$  реализуют функцию "ИЛИ" от двух пере-

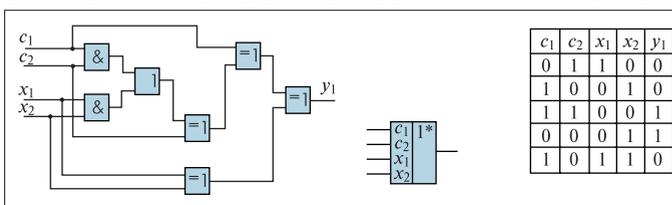


Рис.1. Логическая схема  $S_1$  2-проверяемого элемента "ИЛИ" первой модификации и состав теста для нее

А.Тимошкин

менных соответственно при  $c_1=0, c_2=0$  и  $c_1=0, c_2=0, c_3=0, c_4=0$ . Полные проверяющие тесты для данных схем относительно их одиночных константных неисправностей содержат по пять векторов. Составы этих тестов описываются соответственно таблицами на рис. 1 и 2.

Логические схемы 2-проверяемых элементов "И", первой и второй модификаций, и их условные обозначения приведены соответственно на рис.3 и 4 (здесь  $z_1, z_2$  – выходные переменные). Схемы  $S_3$  и  $S_4$  реализуют функцию "И" от двух переменных соответственно при  $c_1=1, c_2=1$  и  $c_1=1, c_2=1, c_3=1, c_4=1$ . Рассматриваемые схемы обладают проверяющим тестом длины 2 относительно одиночных константных неисправностей входов и выхода – нулевой и единичный входные векторы. Полные проверяющие тесты для этих схем относительно их одиночных константных неисправностей, как для  $S_1$  и  $S_2$ , содержат по пять векторов. Составы этих тестов описываются соответственно таблицами на рис.3 и 4.

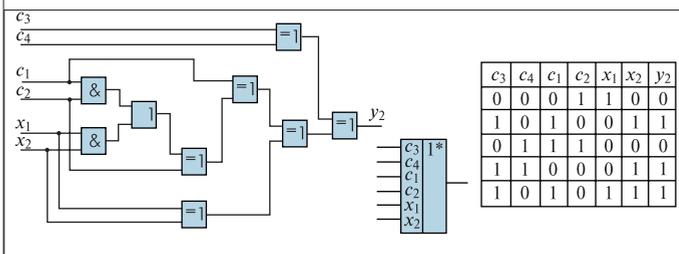


Рис.2. Логическая схема  $S_2$  2-проверяемого элемента "ИЛИ" второй модификации и состав теста для нее

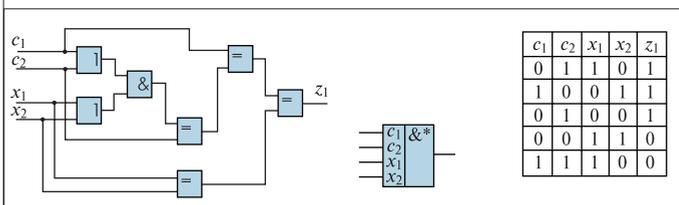


Рис.3. Логическая схема  $S_3$  2-проверяемого элемента "И" первой модификации и состав теста для нее

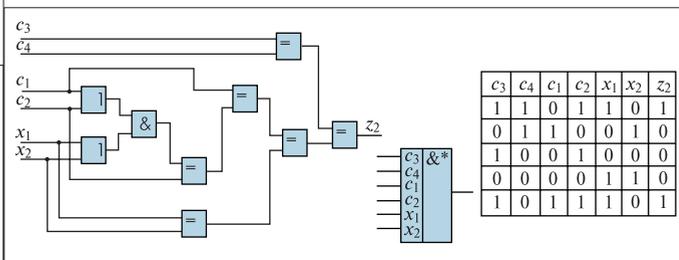


Рис.4. Логическая схема  $S_4$  2-проверяемого элемента "И" второй модификации и состав теста для нее

## Представляем автора статьи

**ТИМОШКИН Андрей Иванович.** Кандидат физ.-мат. наук. Ассистент Ростовского государственного университета путей сообщения. Автор 24 научных работ. Сфера научных интересов – методы диагностирования и контролепригодного проектирования цифровых устройств. Контактный тел.: (8632) 726-302, e-mail: rek@rgups.ru

Теперь обратимся к самому построению контролепригодных древовидных комбинационных схем. Пусть имеется класс древовидных комбинационных схем из двухвходовых элементов "И" и "ИЛИ", каждая из которых реализует некоторую монотонную функцию [8]. Метод построения контролепригодной древовидной схемы для любой исходной схемы из этого класса заключается в замене обычных двухвходовых элементов "И" и "ИЛИ" на соответствующие 2-проверяемые элементы "И" и "ИЛИ" той или иной модификации с одновременным построением полного проверяющего теста, состоящего из пяти векторов. При этом 2-проверяемые элементы "И" и "ИЛИ" выполняются в виде отдельных монолитных ИС [9], а контролепригодная древовидная схема – в виде печатного узла.

Допустим, из некоторой исходной схемы путем описанной выше замены получается контролепригодная схема. Покажем, каким образом строится полный проверяющий тест для этой схемы относительно ее одиночных константных неисправностей, а также как определяется модификация того или иного элемента схемы. Пусть на выходе данной схемы имеется последовательность из пяти значений, содержащая не менее двух нулей и не менее двух единиц (три нуля для конечного элемента "ИЛИ" и три единицы для конечного элемента "И"). Этой последовательности на выходе соответствует определенная последовательность из пяти векторов, подаваемых на входы конечного элемента схемы (элемента ранга  $r$ , где  $r$  – максимальное число элементов между входами и выходом древовидной схемы) и образующих полный проверяющий тест этого элемента (конечным или выходным элементом контролепригодной схемы всегда в целях простоты является элемент первой модификации). При этом, независимо от типа выходного элемента (модифицированный 2-проверяемый элемент "И" или "ИЛИ"), на один из основных его входов подается последовательность, содержащая три нуля и две единицы, а на другой – последовательность, содержащая два нуля и три единицы. Если основной вход (здесь первый) связан с выходом модифицированного 2-проверяемого элемента "И" ( $(r-1)$ -ранга, то данный элемент должен быть элементом "И" второй модификации. Любая последовательность, содержащая три нуля и две единицы, которая подана на этот вход, может быть получена подачей определенной комбинации двух последовательностей из пяти векторов соответственно на его входы  $x_1, x_2, c_1, c_2$  и  $c_3, c_4$ . Эти последовательности образуют полный проверяющий тест элемента "И".

Если рассматриваемый вход выходного (или конечного) элемента связан с выходом модифицированного 2-проверяемого элемента "ИЛИ" ( $(r-1)$ -ранга, то последний должен быть элементом "ИЛИ" первой модификации. Любая последовательность, содержащая три нуля и две единицы, которая подана на этот вход, может быть получена при подаче на входы  $x_1, x_2, c_1, c_2$  модифицированного элемента "ИЛИ" соответствующей последовательности из пяти векторов, образующих его полный проверяющий тест.

Если другой основной вход конечного элемента (элемента ранга  $r$ ) связан с выходом модифицированного 2-проверяемого элемента

"И" ( $(r-1)$ -ранга, то последний должен быть элементом "И" первой модификации. Произвольная последовательность, содержащая два нуля и три единицы, которая подана на рассматриваемый вход, может быть получена при подаче на входы  $x_1, x_2, c_1, c_2$  модифицированного элемента "И" соответствующей последовательности из пяти векторов, образующих его полный проверяющий тест. Если же рассматриваемый вход конечного элемента связан с выходом 2-проверяемого элемента "ИЛИ" ( $(r-1)$ -ранга, то последний должен быть элементом "ИЛИ" второй модификации. При этом произвольная последовательность, содержащая два нуля и три единицы, которая подана на этот вход, может быть получена подачей определенной комбинации последовательностей из пяти векторов соответственно на входы  $x_1, x_2, c_1, c_2$  и  $c_3, c_4$ . Эти последовательности образуют полный проверяющий тест элемента "ИЛИ".

Далее следует последовательно рассматривать основные входы элементов ( $r-1$ -ранга. В зависимости от подаваемой на вход последовательности и от типа связанного с ним элемента ( $r-2$ -ранга определяется модификация этого элемента. Затем, исходя из последовательности на выходе данного элемента, формируется соответствующая последовательность из пяти тестовых векторов на его входах. После рассмотрения всех основных входов элементов ( $r-1$ -ранга переходят к основным входам элементов ( $r-2$ -ранга и т.д. Действуя таким образом, можно для любой схемы из упомянутого выше класса построить древовидную контролепригодную схему с соответствующим полным проверяющим тестом из пяти векторов. При этом полученная контролепригодная схема будет также обладать проверяющим тестом длины 2 относительно одиночных константных неисправностей межсоединений и контактов ее печатного узла.

Последнее свойство печатных узлов, реализующих контролепригодные схемы отмеченного типа, может оказаться весьма полезным при разработке различных стратегий диагностирования этих узлов на этапе эксплуатации. Так, диагностирование отказавшего печатного узла, реализующего древовидную схему, целесообразно начинать с подачи на его внешние входы теста, состоящего из двух векторов: нулевого и единичного (т.е. теста длины 2). Если реакцией на выходе печатного узла на нулевой входной вектор будет логический ноль, а на единичный входной вектор – логическая единица, то это означает, что печатный узел не имеет одиночной константной неисправности какого-либо межсоединения или контакта. В таком случае следует либо переходить к проверке компонентов печатного узла внутрисхемными методами [10], либо подавать на его входы тест, обнаруживающий короткие замыкания межсоединений. Если же реакция на рассматриваемый тест длины 2 состоит из двух нулей или двух единиц, то в этом случае существует большая вероятность того, что печатный узел имеет одиночную константную неисправность межсоединения или контакта [1]. При этом логично переходить к поиску проводника или контакта, имеющего обрыв.

Простым примером контролепригодной схемы, полученной по вышеописанному методу, может служить схема  $S_0$  (рис.5), реализующая при  $(c_1 \div c_{12}) = 1, c_{13} = 0, c_{14} = 0$  монотонную функцию (здесь  $w$  – выходная переменная). Проверяющий тест длины 2 относительно одиночных константных неисправностей реализующего ее печатного узла образуют нулевой и единичный входные векторы. Полный проверяющий тест для схемы  $S_0$  относительно одиночных константных неисправностей состоит из пяти векторов и описывается таблицей на рис.5.

В заключение следует отметить, что рассмотренный метод с небольшими изменениями может быть распространен на древовид-

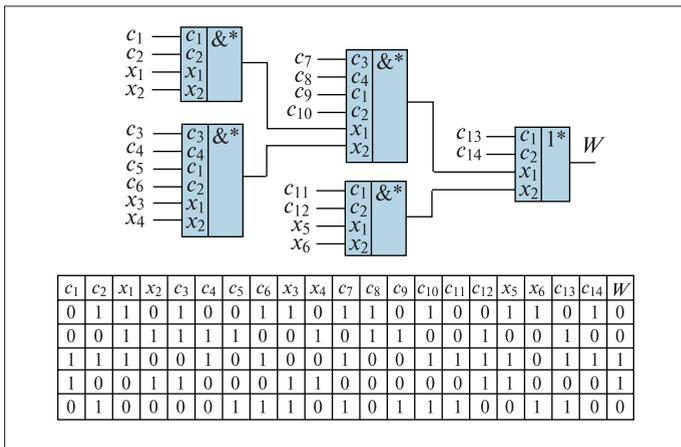


Рис.5. Схема S0 и состав теста для нее

ные схемы, реализующие юнатные функции [11]. Однако в этом случае проверяющие тесты длины 2 относительно одиночных константных неисправностей реализующих их печатных узлов могут состоять из векторов, отличных от нулевого и единичного. Кроме того, можно сократить число дополнительных входов контролепригодной схемы путем объединения некоторых из них (что представляет собой отдельную задачу). Так, для схемы S<sub>0</sub> можно объединить входы c<sub>5</sub> и c<sub>9</sub>, c<sub>6</sub> и c<sub>10</sub>; c<sub>1</sub> и c<sub>11</sub>, если в таблице состава теста поменять местами четвертый и пятый подвекторы, соответствующие входам c<sub>11</sub>, c<sub>12</sub>, x<sub>5</sub>, x<sub>6</sub>, т.е. подвекторы (0,1,1,0) и (1,0,0,1). Но при этом придется ввести два дополнительных выхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горяшко А.П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. – М.: Наука, 1987.
2. Friedman A.D. Easily testable iterative systems. – IEEE Trans. on computers, 1973, № 12, p.1061–1064.
3. Saluja K.K., Reddy S.M. On minimally testable logic networks. – IEEE Trans. on computers, 1974, № 5, p.552–554.
4. Горяшко А.П. Некоторые результаты теории синтеза легко тестируемых схем. – Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1982, №2, с.139–150.
5. Qiao T., Jha N.K. Design of C-testable DCVS binary array dividers. – IEEE J.of Solid-state circuits, 1991, v.26, №2, p.134–141.
6. Тимошкин А.И. О необходимых и достаточных условиях существования проверяющего теста длины 2 для одновыходных функциональных элементов. – Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки, 1996, №4, с.18–20.
7. Тимошкин А.И. Математические модели и методы построения контролепригодных схем для ранних стадий проектирования цифровых систем: – Автореферат диссертации. – Саратов: Саратовский государственный университет, 1996.
8. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику. – М.: Наука, 1986.
9. Мурог С. Системное проектирование сверхбольших интегральных схем. – М.: Мир, 1985.
10. Лихтциндер Б.Я. Внутрисхемное диагностирование узлов радиоэлектронной аппаратуры. – Киев: Техника, 1988.
11. Фридмен А., Менон П. Теория и проектирование переключательных схем. – М.: Мир, 1978.