

### **Ценность решения**

Приложения бизнес-интеллекта позволяют лицам, принимающим решения, использовать сложное интегрированное решение, чтобы быстро «углубляться» в данные, рассматривать и анализировать их по-новому, работать с ключевыми бизнес-показателями, а также использовать его для прогнозирования, извлечения знаний, оценки рисков.

### **Литература**

1. Колин Уайт (Colin White). Интеграция данных: использование технологий ETL, EAI и EII для создания интегрированной корпорации (Data Integration. Using ETL, EAI, and EII Tools to Create an Integrated Enterprise). Ноябрь 2005
2. K. Parsaye New Realms of Analysis Surveying Decision Support // Database Programming & Design . - 1996. - N 4. - P. 26-33
3. W. Kim, B. Choi, E. Hong, S. Kim, D. Lee "A Taxonomy of Dirty Data", Journal of Data Mining and Knowledge Discovery, the Kluwer Academic-Publishers, 2003
4. W. Kim. "Business Intelligence at Top Speed", Intelligent Enterprise, Miller Freeman, Inc., 1998, Dec. 15

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ КРОССОВОГО КОММУТАТОРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

**Н.А. Коротаев, К.Э. Образцов**  
Беларусь, г. Минск

В настоящее время при проектировании различных узлов (блоков) и устройств цифровой техники (информационно-вычислительных систем, компьютерных и телекоммуникационных систем и сетей) выделяются задачи обеспечения их тестопригодности, отказоустойчивости и надежности.

В статье рассматриваются вопросы построения отказоустойчивых (живучих) элементов телекоммуникационной (транспортной) сети, в частности, кроссового коммутатора (XC-хcross Connects)[1]. Для обеспечения отказоустойчивости рассматриваемого элемента предлагается его построение на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), которые имеют в сравнении с другими схемами следующие основные преимущества: малое время изготовления требуемых заказных схем, широкий спектр рабочих частот и малое время задержки сигнала, что позволяет достичь высокой производительности при использовании таких микросхем. Кроме того, в настоящее время ПЛИС производит ряд отечественных и зарубежных фирм, среди которых лидерами являются компании AMD, Intel, Xilinx. ПЛИС имеют регулярную структуру и хорошие эксплуатационные характеристики, что позволяет им занимать передовые позиции в проектировании отказоустойчивых (живучих) кристаллов, на базе которых можно строить отказоустойчивые цифровые системы.

Отказоустойчивость ПЛИС обеспечивается применением средств функционального диагностирования и реконфигурации, предназначенных для проверки правильности функционирования контролируемой схемы, поиска неис-

правностей (дефектов) и самовосстановления схемы в случае обнаружения неисправности. Эти средства включают самопроверяемые схемы встроенного контроля (ССВК), обладающие свойством обнаруживать неисправности как в объекте диагностирования, так и в самих схемах контроля, блок управления (БУ) и коммутатор (К) [2].

Для синтеза элементов телекоммуникационной сети интерес представляют ПЛИС типа комбинационных программируемых логических матриц (ПЛИМ) [3]. Комбинационная ПЛИМ представляет собой упорядоченную структуру, образованную двумя матричными схемами (M1 и M2). Матрица M1 формирует конъюнкции (термы)  $m_j$  от  $i$  входных переменных или их отрицаний:

$$m_j = \bigwedge_{i \in A_j} x_i^{\alpha}$$

где  $i \leq n$ ;  $j \leq r$ ;  $\alpha \in \{0,1\}$ ;  $x_i^0 = \bar{x}_i$ ;  $x_i^1 = x_i$ ;  $A_j$  - множество индексов переменных, образующих конъюнкцию  $m_j$ ;  $n$  - число входных переменных;  $r$  - число термов. Матрица M2 формирует дизъюнкции  $y_k$  от конъюнкции  $m_j$ :

$$y_k = \bigvee_{j \in B_k} m_j$$

где  $k \leq l$ ;  $B_k$  - множество индексов конъюнкций  $m_j$ , образующих данную дизъюнкцию  $y_k$ ;  $l$  - число дизъюнкций.

Обе матрицы (M1 и M2) реализуют систему  $F$  булевых функций:

$$F : \{y_k = \bigvee_{j \in B_k} m_j (\bigwedge_{i \in A_j} x_i^{\alpha})\}$$

где  $k \leq l$ ;  $j \leq r$ ;  $i \leq n$ ;  $C$  - множество индексов функций системы  $F$ .

Структурная схема отказоустойчивой ПЛИС типа ПЛИМ в виде двухуровневой И-ИЛИ схемы со средствами функционального диагностирования и реконфигурации, которые также реализованы на ПЛИМ, рассмотрена в статье [2].

Кроссовый коммутатор ХС предназначен для соединения каналов, закреплённых за пользователями, путём организации перекрёстных соединений между ними (Рис. 1), обеспечивая коммутацию каналов различной пропускной способности (от 2 Мбит/с до 155 Мбит/с) [1]. На Рис. 1 показаны функции коммутатора ХС, где STM-1 - синхронный транспортный модуль (Synchronous Transport) со скоростью передачи 155,52 Мбит/с, RSOH (Regeneration Section Over Head) и MSOH (Multiplex Section Over Head) - заголовки STM-N, обеспечивающие передачу STM в пределах регенерационной и мультиплексорной секций, TM - терминальный мультиплексор.

Коммутация каналов обычно реализуется с помощью мультиплексоров и демultipлексоров. Структурная схема отказоустойчивого мультиплексора с  $n=4$  информационными и  $k=2$  управляющими входами, реализованного на ПЛИС типа ПЛИМ со средствами функционального диагностирования и самовосстановления, приведена в статье [2]. Ниже приведены функциональная схема асинхронного демultipлексора с одним информационным входом ( $x$ ),  $k=2$

управляющими входами и  $n = 4$  информационными выходами (рис. 2), построенного на основе таблицы истинности (табл.1), и его реализация на ПЛИС типа ПЛИМ со средствами функционального диагностирования и самовосстановления (рис. 3).

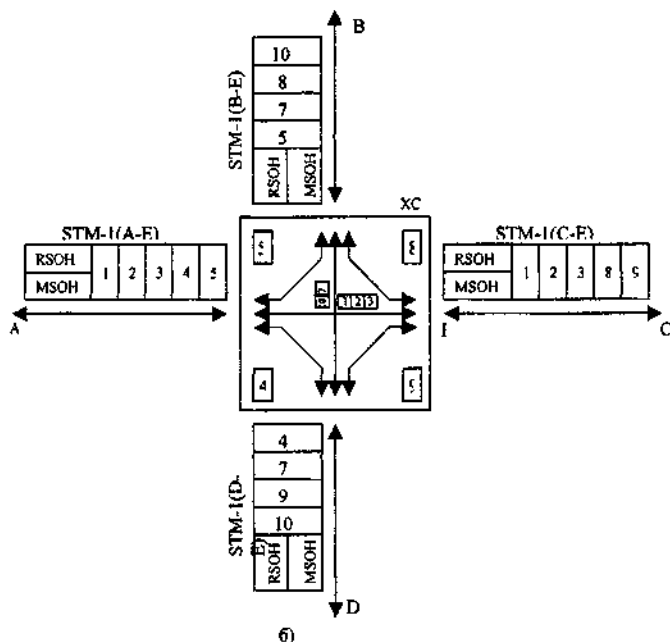
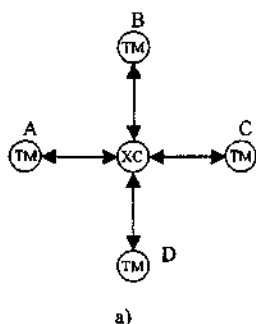
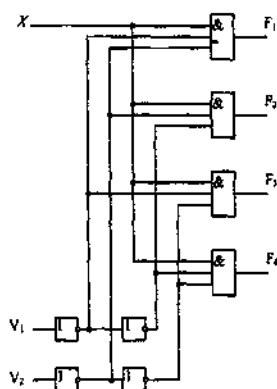


Рис. 1. Кроссовый коммутатор XC: а) фрагмент транспортной сети; б) функции коммутатора

Таблица 1. Таблица истинности демультиплексора



$$F_1 = \bar{V}_2 \bar{V}_1 x; \quad F_2 = \bar{V}_2 V_1 x; \quad F_3 = V_2 \bar{V}_1 x; \quad F_4 = V_2 V_1 x.$$

| Информационный вход | Управляющие входы |                | Информационные выходы |                |                |                |                |
|---------------------|-------------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                     | X                 | V <sub>2</sub> | V <sub>1</sub>        | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |
| 0                   | 0                 | 0              | 0                     | x              | x              | x              |                |
| 1                   | 0                 | 0              | 1                     | x              | x              | x              |                |
| 0                   | 0                 | 1              | x                     | 0              | x              | x              |                |
| 1                   | 0                 | 1              | x                     | 1              | x              | x              |                |
| 0                   | 1                 | 0              | x                     | x              | 0              | x              |                |
| 1                   | 1                 | 0              | x                     | x              | 1              | x              |                |
| 0                   | 1                 | 1              | x                     | x              | x              | 0              |                |
| 1                   | 1                 | 1              | x                     | x              | x              | 1              |                |

Рис. 2. Функциональная схема демультиплексора (n=4)

Высокий уровень надежного функционирования такой схемы достигается за счет комплексного анализа следующих факторов: 1) проектирование схем встроенного контроля в виде самопроверяемых; 2) увеличение вероятности достоверного функционирования ССВК, 3) сокращение дополнительной площади кристалла на реализацию ССВК; 4) оптимальное обеспечение самоконтролем сменных функциональных блоков (входные, промежуточные и выходные линии с инверторами; матрицы; коммутатор; блок управления; ПЛИС).

В ПЛИС типа ПЛИМ выделяются три основных типа неисправностей: константные, неисправности соединений линий (исчезновение нужных соединений или появление лишних соединений) и короткие замыкания (КЗ) смежных линий. Здесь рассматриваются одиночные неисправности каждого из трех видов как наиболее часто встречающиеся в процессе эксплуатации цифровых схем

Отказоустойчивость кроссового коммутатора, реализованного на ПЛИС типа ПЛИМ, обеспечивается следующим образом. Следует сначала отметить, что ПЛИС типа ПЛИМ несовместны, т.е. при правильном функционировании любое определенное входное слово активизирует только один терм (одну промежуточную линию  $q_i$ ). Кроме того, ПЛИС может иметь определенное количество запасных входных, промежуточных ( $q_3, q_4$ ) и выходных ( $F_i$ ) линий (может иметь запасные матрицы конъюнкций и/или дизъюнкций).

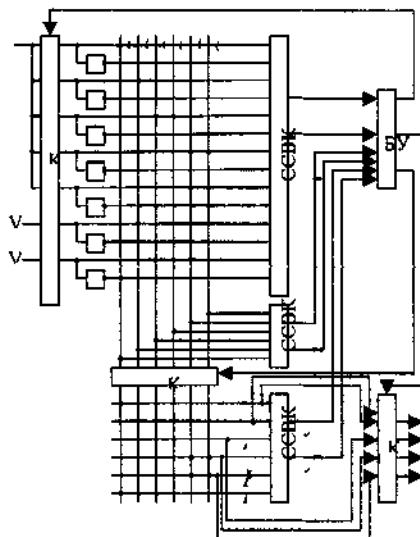


Рис. 3. Структурная схема отказоустойчивого демультиплексора на ПЛИС

Таким образом, при функционировании такой схемы каждая ССВК выполняет самопроверяемый контроль своей части аппаратуры и при обнаружении неисправности (сбоя или отказа) формирует на своих выходах  $f'_1, f'_2$  сигналы, поступающие в БУ, который выдает сигнал на соответствующий коммутатор, выполняющий реконфигурацию и самовосстановление работоспособной структуры ПЛИС путем переключения неисправной линии или матрицы на запасную (если локализуется неисправность с точностью до линии или матрицы). Для организации функционального самодиагностирования и самовосстановления в сложных цифровых устройствах на ПЛИС типа ПЛМ последние на этапе их проектирования с помощью методов декомпозиции разбиваются на составные части (подсистемы, функциональные устройства, блоки, узлы и т.п.), с точностью до которых желательно выполнять поиск неисправностей (дефектов). Эти составные части обычно называются сменными функциональными блоками (СФБ), состоящими из одного или нескольких съемных конструктивных узлов.

Основная надёжностная характеристика отказоустойчивого демультиплексора на ПЛИС (рис. 3) – вероятность безотказной работы  $P(t)$  вычисляется с помощью выражения [2]:

$$P(t) = P_5^2(t)P_5^{2\gamma}(t) + 2P_5^2(t)P_5^\gamma(t)[1 - P_5^\gamma(t)] + 2P_5^{2\gamma}(t)P_5(t)[1 - P_5(t)] + 2P_5^\gamma(t)P_5^\gamma(t)[1 - P_5(t)][1 - P_5^\gamma(t)],$$

где  $P_5^\gamma(t)$  - вероятность безотказной работы ССВК,  $\gamma = \frac{l}{n}$  - отношение числа элементов  $l$  ССВК к числу элементов  $n$  СФБ,  $P_5(t)$  - вероятность безотказной

работы СФБ,  $1 - P_B(t)$  - вероятность неработоспособного состояния СФБ за время  $t$ ,  $1 - P_B'(t)$  - вероятность неработоспособного состояния ССВК за время  $t$ .

Графическая зависимость  $P(t)$  от  $P_B(t)$  для различных значений  $\gamma$  приведена на рис. 4.

Анализ графиков показывает, что изменение  $\gamma$  значительно влияет на изменение значения  $P(t)$  при значениях  $P_B(t) = 0.7 - 1$ . При этом значение  $P(t)$  существенно увеличивается при наименьших значениях параметра  $\gamma$ , т.е. когда аппаратные затраты на ССВК значительно меньше аппаратных затрат на СФБ (ПЛИС). Следует также отметить, что переход от мультиплексоров (демультиплексоров) к ПЛИС типа ПЛМ позволяет почти в 3 раза сократить число необходимых элементов и соответственно взаимных соединений, т.е. повысить надёжность проектируемых элементов телекоммуникационной сети на ПЛИС.

Таким образом, для решения проблемы создания надёжных и отказоустойчивых телекоммуникационных систем и сетей предлагается их построение на новой элементной базе – ПЛИС типа ПЛМ со встроенными средствами функционального самодиагностирования, самореконфигурации и самовосстановления [3,4].

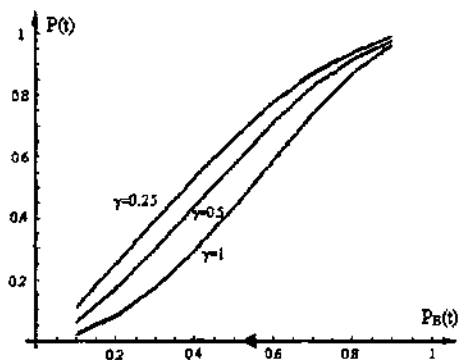


Рис. 4. Графики зависимости  $P(t)$  от  $P_B(t)$  для  $\gamma = 1$ ;  $\gamma = 0.5$ ;  $\gamma = 0.25$

### Литература

1. Крук Б.И., Папантопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии.- М.: Горячая линия – Телеком, 2004.
2. Коротаев Н.А., Образцов К.Э. Обеспечение отказоустойчивости элементов телекоммуникационной сети. – Сетевые компьютерные технологии: Сб. трудов II Междунар. науч. конф. (21-23 сентября 2005 г.). – Мн.: БГУ, 2005. – С.153-160.
3. Согомонян Е.С., Слабаков Е.В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Додонов А.Г., Кузнецов М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем. – Киев: Наук. думка, 1990.