



УДК 681.32.019.3

А.В. ФЕДУХИН, Ар.А. МУХА

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ РЕЗЕРВИРОВАННОЙ ДВУХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Анотація. Стаття присвячена проблемі моделювання відмовостійких цифрових систем. Запропонована імітаційна модель двоканальної резервованої відмовостійкої системи з реконфігурацією.

Ключові слова: імітаційна модель, відмовостійкість, реконфігурація, функціональна безпека.

Аннотация. Статья посвящена проблеме моделирования отказоустойчивых цифровых систем. Предложена имитационная модель двухканальной резервированной отказоустойчивой системы с реконфигурацией.

Ключевые слова: имитационная модель, отказоустойчивость, реконфигурация, функциональная безопасность.

Abstract. The paper deals with the problem of modeling fault-tolerant digital systems. A simulation model of double-channel reservation fault-tolerant system with reconfiguration is proposed.

Keywords: simulation model, fault tolerance, reconfiguration, functional security.

1. Введение

Современные ЭВМ, вычислительные комплексы и сети являются мощными средствами исследования сложных систем с использованием технологий имитационного моделирования. Общими тенденциями, реализуемыми при разработке современных инструментальных средств и систем имитационного моделирования сложных динамических систем, являются:

- обеспечение визуального конструирования;
- совмещение средств и систем имитационного моделирования с интеллектуальными системами поддержки принятия решений (экспертными системами, САПР и т.п.);
- конструирование многоуровневых моделей систем в рамках методологии структурного системного анализа [1].

В работе рассматриваются возможности интегрированной инструментальной среды, построенной на основе Matlab Simulink, и применение ее для моделирования отказоустойчивой резервированной двухканальной системы. Описан способ изменения структуры моделей в процессе симуляции.

Целью работы является имитационное моделирование работы двухканальной отказоустойчивой системы с поблочным резервированием и способностью к реконфигурации.

2. Описание структуры системы

Для достижения поставленной задачи система [2] сконструирована таким образом, чтобы быть всегда остается готовой к работе при любых отказах или сбоях в работе функциональных блоков (ФБ) [3].

Такое свойство системы (рис. 1) достигается за счет организации двухканальной структуры с поблочным дублированием, перекрестными связями и восстанавливающим органом (ВО), выполняющим функцию И (&).

Для моделирования работоспособности данной структуры предлагается использо-

вать пакет математической логики Matlab Simulink + Stateflow. Этот математический аппарат, построенный на алгебраически-логических выражениях, можно применить для моделирования дискретной динамики реактивных систем, в том числе и рассматриваемой в данной работе. Выбранный аппарат моделирования повышает степень наглядности модели благодаря использованию анимации, отображающей изменения в системе, сопровождающиеся переходами от одного состояния к другому [4]. Для этого используются предложенные Д. Харелом [5] визуально форматизированные диаграммы – Statechart (диаграммы состояний и переходов). Основные неграфические компоненты таких диаграмм – это события и действия, основные графические компоненты – состояния и переходы.

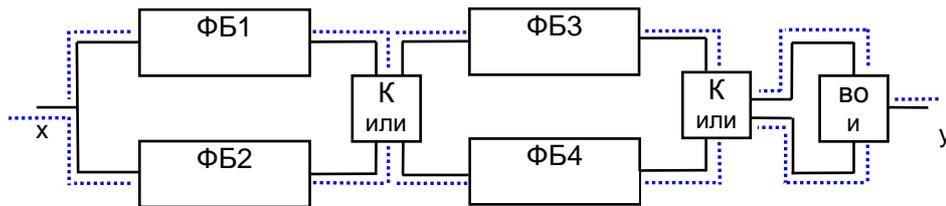


Рис. 1. Схема резервированной двухканальной системы с реконфигурацией

Напомним некоторые определения из этой области.

Событие – нечто, происходящее в системе и вне ее, а также некоторые ответные действия.

Действие – это реакция моделируемой системы на мгновенные события.

Состояние – условие, в котором моделируемая система пребывает некоторое время.

Переход – изменение состояния, обычно вызываемое событием.

Каждому переходу могут быть сопоставлены условия, при выполнении которых он осуществляется.

Таким образом, с использованием приведенной формализации была синтезирована следующая идеализированная имитационная модель двухканальной резервированной системы (рис. 2).

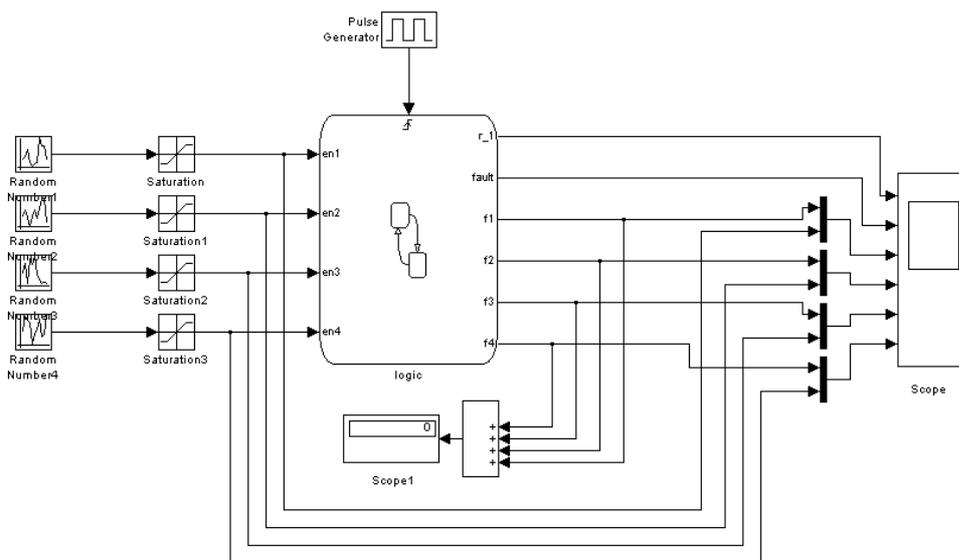


Рис. 2. Имитационная модель системы

каз всей системы в целом;

Pulse generator – задание тактов логических вычислений;

Saturation – ограничение сигналов в пределах [0,1].

На рис. 2 имеются следующие обозначения:

Random Number – нормальное распределение;

Scope1 – отображение количества отказов в системе;

Scope – отображение отказов ФБ во времени при воздействии влияющих факторов, а также от-

Блок logic (рис. 3) отображает логику системы, где b1, c1, b2, c2 – состояния ФБ системы.

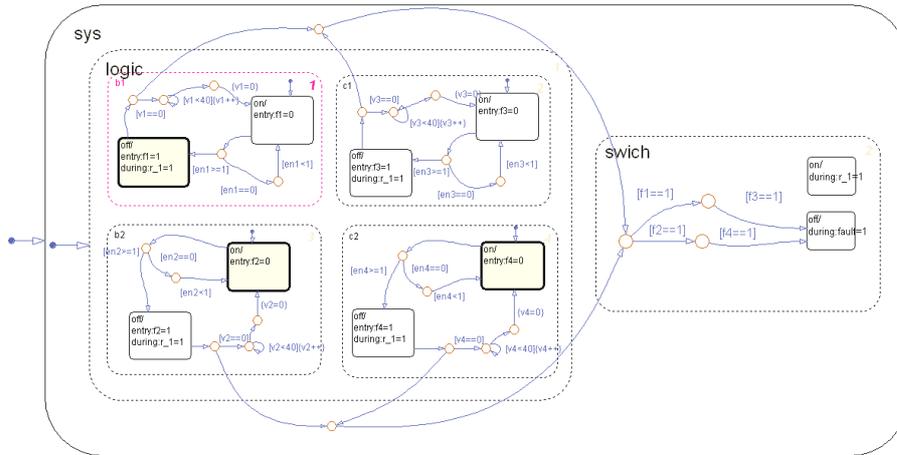


Рис. 3. Блок логики

Каждый ФБ имеет два состояния on и off – работоспособен и неработоспособен соответственно. По умолчанию ФБ выполняет безусловный переход в состояние on. Переход из состояния on в состояние off происходит при выполнении условия [en1= =1].

Одновременно происходит проверка другого условия [en1= =0] и [en1<1], при истинности которого система, не выполняя действий, подтверждает работоспособное состояние.

Для каждого состояния системы возможно предписать определенные действия, которые будут выполняться:

- entry – при входе в состояние;
- during – в течение нахождения в состоянии.

В данном случае на примере ФБ1 entry:f1=1 – при входе ФБ1 в состояние off на выход f1 подается сигнал со значением 1, что свидетельствует об отказе ФБ. В свою очередь, during:r_1=1 – при входе ФБ1 в состояние off на выход r_1 подается сигнал со значением 1, что в общем случае означает наличие отказа в системе. Восстановление отказавшего блока длится 0,4 с, время задержки регулируется счетчиками v1, v2, v3, v4. Состояние switch описывает логику отказа всей системы. Далее, используя возможности Simulink, диаграмма Stateflow может быть интегрирована в любую сложную систему обработки сигналов. При этом могут использоваться источники сигналов Simulink для входов диаграмм, средства отображения и анализа значений выходов, средства преобразования сигналов и другие многочисленные инструменты.

Таким образом, приняв во внимание процессы, протекающие во всей системе, в блоке scope можно посмотреть результаты моделирования (рис. 4).

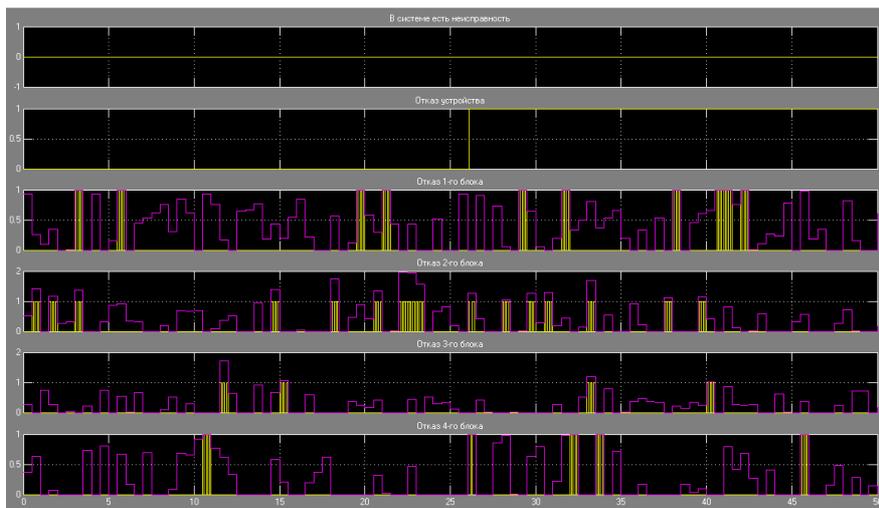


Рис. 4. Результаты моделирования системы

Для удобства анализа поведения системы графики входных воздействий отображаются в одном поле с графиками реакции системы на них. Таким образом, черным цветом изображены сигналы, которые приводят к отказу ФБ при достижении им уровня 1.

Серым цветом изображены графики отказов блоков и системы в целом (значение 0 – ФБ работает, значение 1 – ФБ отказал).

Так, например, в ФБ1 отказы начинаются на 4 секунде, когда уровень воздействия превышает значение 1. При этом на графике реакции ФБ1 приобретает значение 1, которое свидетельствует о его отказе. Затем происходит сброс счетчика, выполняется регенерация, которая длится до тех пор, пока значение сигнала воздействия не снизится и ФБ вернется в рабочее состояние (на сером графике уровень 0).

Из результатов моделирования видно, что система остается в работоспособном состоянии до тех пор, пока одновременно не откажут ФБ1 и ФБ4 или ФБ2 и ФБ3-блоки. Возможность быстрого восстановления ФБ значительно увеличивает время безотказной работы системы.

Необходимо также отметить, что, подставив в данную имитационную модель реальные данные о надежности составных частей системы и характеристиках процессов, протекающих в них, возможно получение прогнозируемых параметров работоспособности всей системы в целом.

5. Выводы

Синтезированная имитационная модель представляет собой обобщенную структуру резервированной двухканальной системы с реконфигурацией. Данная модель может быть использована для детального моделирования работоспособности системы, построенной на основе предложенной в работе [4] схемы. В ходе синтеза установлено, что инструментальная среда Matlab + Simulink + Stateflow имеет неоспоримый потенциал для моделирования сложных реактивных систем и применима для моделирования надежности отказоустойчивых систем различной структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сирота А.А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем / А.А. Сирота // Учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Прикладная информатика (по обл.)". – М.: Техносфера, 2006. – 279 с.
2. [http:// automation-drives.ru/as/.../doc/.../01_Fault-TolerantPLC_r.pdf](http://automation-drives.ru/as/.../doc/.../01_Fault-TolerantPLC_r.pdf).
3. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing / A. Avizienis, J.-C. Laprie, B. Randell [et al.] // IEEE Transactions on dependable and secure computing. – 2004. – Vol. 1, N 1. – P. 4.
4. Федухин А.В. К вопросу об аппаратной реализации избыточных структур: резервированная двухканальная система с реконфигурацией / А.В. Федухин, Ар.А. Муха // Математичні машини і системи. – 2010. – № 3. – С. 100 – 113.
4. Harel D. Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems / D. Harel // Science of Computer Programming. – 1987. – N 8. – P. 231 – 274.
5. Рогачев Г.Н. Гибридно-автоматный метод анализа и синтеза систем автоматического управления / Г.Н. Рогачев // Вестник Сам. гос. техн. ун-та. – (Серия «Технические науки»). – 2006. – № 41. – С. 43 – 47.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2011