

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БОРТОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Л.С. Ломакина (НГТУ им. Р.Е. Алексеева),
Н.В. Сильянов (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»)

Показана актуальность задачи увеличения глубины поиска структурных дефектов (коротких замыканий, обрывов или перепутывания цепей) на этапе разработки бортовых вычислительных систем. Для решения задачи целесообразна разработка диагностического обеспечения на основе списков соединений с применением технологии граничного сканирования. На этапе эксплуатации важна отказоустойчивость системы в условиях воздействия неблагоприятных факторов за счет внедрения избыточности, а также средств самодиагностики и реконфигурации. Для этого этапа разработано диагностическое обеспечение с формированием таблиц реконфигурации на основе алгебраических структур.

Ключевые слова: диагностическое обеспечение, бортовые вычислительные системы, список соединений, граничное сканирование, отказоустойчивость, реконфигурация.

Введение

Современные проблемы разработки бортовых вычислительных систем связаны с развитием элементной базы. Совершенствование электроники улучшает функциональность и массо-габаритные показатели модулей и систем. При этом часто ухудшается их приспособленность к диагностированию и обеспечение устойчивости к неблагоприятным воздействиям. Эти факторы являются причинами повышения техногенной опасности объектов применения и, соответственно, недопустимого риска причинения вреда людям, или окружающей среде, или существенных материальных потерь, или других неприемлемых последствий. Указанные проблемы имеют различный вес на различных стадиях жизненного цикла многофункциональных бортовых вычислительных систем (МБВС).

В связи с этим при проектировании и эксплуатации МБВС необходимо решение различных задач технической диагностики: проверки исправности, работоспособности, правильности функционирования, поиска места неисправности [1].

В процессе регулировки и отладки составных частей (электронных модулей, печатных плат) большое значение приобретает проверка их исправности с высокой полнотой контроля и большой глубиной поиска структурных неисправностей (дефектов), таких как короткое замыкание, обрыв или перепутывание цепи, неправильная установка или пропуск компонента. Поэтому при проектировании устройств и приборов необходимо обеспечение их приспособленности к диагностированию (контролепригодности).

При эксплуатации МБВС могут подвергаться воздействию различных неблагоприятных факторов. Сбои или отказы по этим причинам могут привести к тяжелым и непоправимым последствиям. Для минимизации этих рисков необходимо обеспечение

отказоустойчивости, например, за счет применения избыточности, проверки правильности функционирования (самодиагностики) и реконфигурации в случае обнаружения сбоя. На этом этапе подтверждение полной исправности или большая глубина поиска неисправности становятся не существенными.

Согласно ГОСТ 20911-89, комплекс взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта называется диагностическим обеспечением.

В настоящее время известно множество работ в области технической диагностики бортовой электроники. Однако, несмотря на накопленный опыт, формализация задач технической диагностики может оказаться затрудненной для перспективных бортовых вычислительных систем в связи с увеличением функциональности и усложнением структуры современных электронных компонентов, а также печатных плат и электронных модулей на их основе. Возможным выходом из данной ситуации является построение и анализ графовых моделей, ориентированных на решение задач конкретного этапа жизненного цикла прибора.

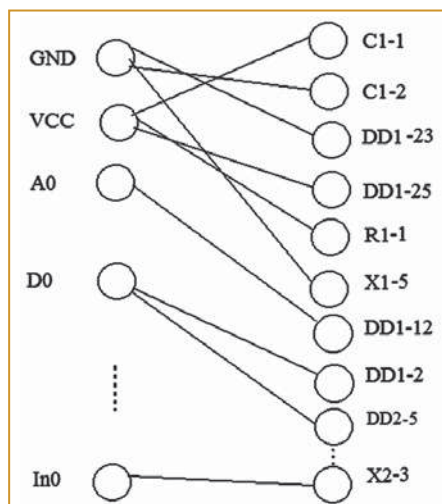


Рис. 1. Представление списка соединений в виде двудольного графа

Диагностическое обеспечение МБВС на этапе разработки

Для каждого электронного модуля разрабатывается индивидуальная электрическая принципиальная схема, по которой с помощью системы автоматизированного проектирования генерируется список соединений или список цепей. Список соединений однозначно характеризует электронный модуль и содержит в упорядоченном виде информацию об электрических цепях и соединяемых ими контактных площадках микросхем и других (активных или пассивных) элементов модуля.

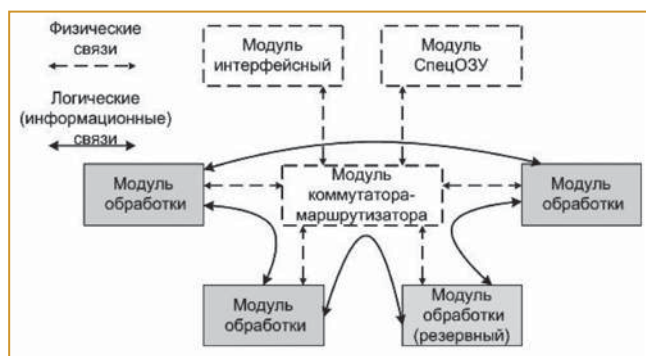


Рис. 2. Многомашинная структура с резервным модулем

Фактически этот список в текстовом формате описывает структуру электронного модуля и представляет собой базовую модель с точностью до контактной площадки. Согласно [2], базовая модель является результатом изучения системы и отображает ее поведение в различных состояниях.

Изучив структуру в форме списка соединений, можно отметить, что этот список устанавливает соответствие U между множеством цепей N в схеме и множеством контактных площадок P электронных компонентов схемы.

Тогда эту модель условно можно изобразить в виде двудольного графа $G = (N, P, U)$ (рис. 1). Вершины слева соответствуют элементам множества цепей электронного модуля $n_i \in N, i = 1, |N|$, вершины справа — элементам множества контактных площадок $p_j \in P, j = 1, |P|$. Ребра графа $u_k \in U, k = 1, |U|$ отображают соответствие цепей контактным площадкам согласно электрической принципиальной схеме.

Отношения между элементами графа могут быть выражены в матричном виде. Матрицей смежности называется матрица (2)

$$A = \|a_{ij}\|; i, j = \overline{1, |P|} \quad (2)$$

элементы которой будут определяться следующим образом: $a_{ij} = 1$, если p_i и p_j соединены цепью, $a_{ij} = 0$, — в противном случае.

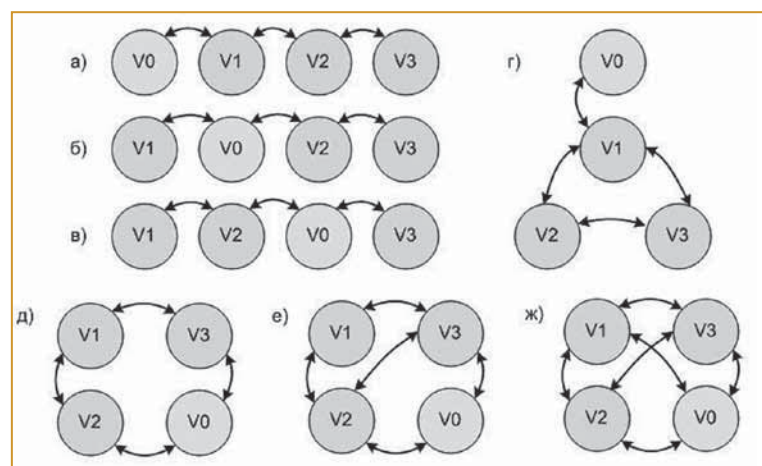


Рис. 3. Варианты реконфигурации структур с четырьмя модулями

Ключевым моментом для построения диагностической модели на этапах разработки, отладки и изготовления является наличие в схеме электронного модуля хотя бы одной микросхемы, поддерживающей технологию граничного сканирования по стандарту IEEE 1149.1. При использовании в электрической принципиальной схеме микросхем с поддержкой технологии граничного сканирования по стандарту IEEE 1149.1 определенная часть контактных площадок становится управляемой и наблюдаемой для получения диагностической информации о структуре модуля. В микросхему с поддержкой стандарта IEEE 1149.1 встраивается дополнительная тестовая логика, основой которой является последовательный сдвиговый регистр, располагающийся между функциональным ядром и контактами ввода/вывода микросхемы (на границе). Технология позволяет выставлять на контакты микросхемы загруженные через регистр граничного сканирования тестовые векторы и через этот же регистр считывать с контактов реакцию на воздействия. Сравнение этой информации с эталонными данными из списка соединений позволяет судить о наличии в структуре дефектов в виде обрывов или коротких замыканий цепей.

Для реализации диагностического эксперимента с технологией граничного сканирования можно использовать готовые инструменты или разработать собственные аппаратные и программные средства [3].

Диагностическое обеспечение МБВС на этапе эксплуатации

Исходная (без избыточности) структурная схема бортовой вычислительной системы состоит из модулей: обработки и управления, специализированного ОЗУ, интерфейсного и коммутатора-маршрутизатора.

Модуль коммутатора-маршрутизатора имеет резервные порты, которые целесообразно использовать для реализации структурной избыточности. Предполагается, что наименее надежными элементами являются входящие в состав модулей обработки микросхемы микропроцессоров и оперативных запоминающих устройств.

Также предполагается минимальная избыточность, а именно, позволяющая сохранить работоспособность при отказе только одного модуля. При этом в структурной схеме к основным модулям обработки добавляется только один резервный (рис. 2). Считается, что коммутационная сеть отказам не подвержена, то есть при отказе модуля обработки можно осуществить реконфигурацию системы.

В общем случае в [4] показано, что отказоустойчивость с минимально возможной избыточностью реализуема только в структурах, обладающих определенного рода математической симметрией. Замена отказавшего модуля на резервный в рамках применяе-

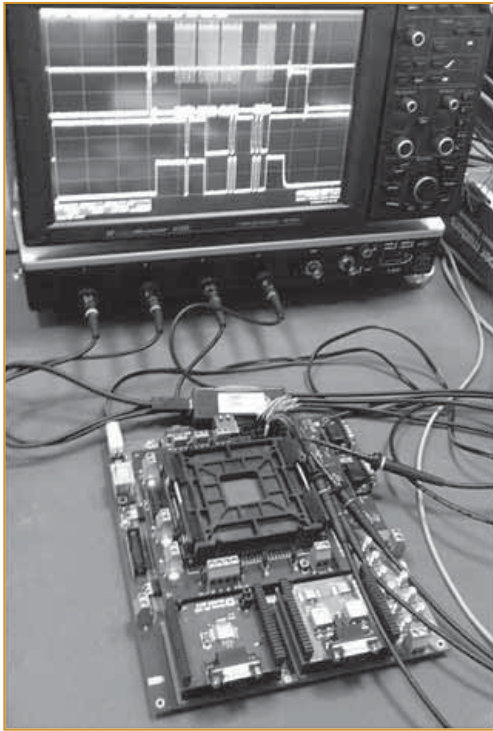


Рис. 4. Стенд для поиска структурных дефектов

мой модели означает переименование логических имен вершин графа таким образом, что избыточная вершина замещает отказавшую без изменения инцидентности между новыми логическими именами.

В качестве примера на рис. 3 показаны структуры с четырьмя модулями обработки. На рис. 3а-3г вершина V_0 не может заменить любую другую без нарушений инцидентности, то есть резервный модуль способен заменить только один из основных. Лучшие возможности по обеспечению отказоустойчивости в соответствии с рис. 3ж имеются у полносвязного графа. При дальнейшем росте размерности системы организация такой структуры будет становиться сложнее и дороже. Анализируя оставшиеся два примера, отметим, что заменить любой из основных модулей на резервный, не нарушив отношений инцидентности, можно лишь для случая на рис. 3д.

Формирование таблиц реконфигурации, используемых в эксплуатации модулем коммутатора-маршрутизатора, подробно рассматривается в [5]. Генерация таблиц осуществляется на основе таких алгебраических структур, как группы симметрии.

Изложенные теоретические положения реализованы в разработанном диагностическом обеспечении электронных модулей МБВС, предназначенном для те-

стирования цепей, а также для программирования и тестирования микросхем памяти на этапах разработки, отладки и изготовления. Диагностическое обеспечение включает аппаратное обеспечение для преобразования интерфейсов между диагностируемым модулем и инструментальной ЭВМ, методику проведения диагностики, алгоритмическое и программное обеспечение.

Для отработки диагностического обеспечения был собран стенд, включающий отладочный комплект ЭВМ, осциллограф и коммерчески доступный адаптер интерфейсов JTAG-Live (рис. 4).

Заключение

Диагностическое обеспечение многофункциональных бортовых вычислительных систем целесообразно разрабатывать на основе графовых моделей, ориентированных на решение задач конкретного этапа жизненного цикла.

Для этапа проектирования (разработки и отладки) МБВС необходимо применять диагностическое обеспечение на основе технологии граничного сканирования с использованием информации из списков соединений, что позволит увеличить глубину поиска структурных дефектов.

На этапе эксплуатации (применения) МБВС целью диагностического обеспечения является повышение отказоустойчивости с минимальными структурными и временными затратами. В состав такого диагностического обеспечения необходимо включение алгоритмов и программ формирования таблиц реконфигурации системы на основе алгебраических структур (групп симметрии).

Список литературы

1. Основы технической диагностики. Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. Под ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия. 1976. 464 с.
2. Ломакина Л.С. Математические модели и методы диагностики сложных систем // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. 1995. № 8. С. 31-33.
3. Сильянов Н.В. Разработка программно-аппаратного комплекса для записи исполняемого файла в диагностируемый модуль через интерфейс IEEE Std 1149.1//Системы управления и информационные технологии. 2016. № 4.1 (66). С. 179-184.
4. Каравай М.Ф. Применение теории симметрии к анализу и синтезу отказоустойчивых систем // Автоматика и телемеханика. 1996. № 6. С. 159-173.
5. Ломакина Л.С., Надежкин М.А., Сильянов Н.В. Проектирование отказоустойчивых бортовых вычислительных систем с применением групп симметрий как модели//Датчики и системы. 2017. № 8-9. С. 33-39.

Ломакина Любовь Сергеевна – д-р техн. наук, проф. кафедры вычислительных систем и технологий Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева (НГТУ);

Сильянов Николай Владимирович – начальник научно-исследовательской группы 95-30-32 филиала ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е. Седакова».

Контактный телефон (831) 436-82-28.

E-mail: llomakina@list.ru nSilyanov@niiis.nnov.ru