

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

УДК 681.32

Н. П. БАЙДА, д-р техн. наук,
В. И. МЕСЮРА, канд. техн. наук

Тенденции развития современных средств покомпонентного диагностирования РЭА и ЭВА

Приведен краткий анализ современного состояния средств покомпонентного диагностирования (СПД) радиоэлектронной и электронной вычислительной аппаратуры (соответственно РЭА и ЭВА). Отмечена актуальность развития анализаторов производственных дефектов и различных средств комбинированного диагностирования (СКД). Сформулированы основные принципы проектирования перспективных типов СПД.

Известные методы тестового диагностирования электронных устройств (ЭУ) РЭА и ЭВА можно разделить на три основные группы: общее (структурное), покомпонентное и комбинированное диагностирование.

Средства общего тестового диагностирования (СОД) обеспечивают проверку объекта в целом. На входы объекта (как правило, через краевой разъем) подаются тестовые воздействия, а с выходов проверяемого ЭУ, включая доступные внутренние контрольные точки (КТ), считываются отклики, на основании анализа которых проверяется правильность выполнения функции, реализуемой схемой. В связи с этим СОД иногда называют средствами функционального тестирования.

Иной подход к проверке ЭУ реализуется в СПД, последовательно проверяющих исправность каждого элемента, компонента или фрагмента схемы, но не контролирующих функционирование объекта в целом. При этом исходят из предположения о том, что правильно собранное ЭУ будет нормально работать во всех режимах [1].

Средства комбинированного диагностирования сочетают в себе возможности обоих подходов, обеспечивая существенные достоинства и гибкость при выборе стратегий контроля в зависимости от условий конкретного производства.

Методология тестового покомпонентного диагностирования (внутриклеммного контроля) основывается на трех основных принципах: 1) возможности принудительного наведения тестовых сигналов во внутренние точки объекта диагностирования (ОД); 2) инвариантности тестирования компонентов; 3) неповреждения компонентов в процессе диагностирования.

Доступ к внутренним точкам ОД обеспечивается использованием специальных игольчатых контактных устройств (ИКУ), выполняемых в виде матрицы из подпружиненных контактных щупов, контактных устройств типа «клипса» или специальных микрозажимов.

Принцип инвариантности тестирования достигается путем электрического разделения тестируемых пассивных электронных радиоэлементов (ЭРЭ) от примыкающих к ним в ОД компонентов либо принудительным наведением тестовых сигналов на входы активных компонентов.

Неповреждение компонентов при тестировании обеспечивается как организацией специальной последовательности элементарных проверок, так и дополнительной установкой начальных условий на входах тестируемых ЭРЭ.

Появление в начале 60-х годов СПД было вызвано стремлением к созданию относительно недорогих средств диагностирования РЭА и ЭВА, отличающихся невысокой трудоемкостью подготовки тестовых программ. Поскольку тестирование отдельных компонентов представляет более простую задачу, чем тестирование ЭУ в целом, первые СПД полностью отвечали названным условиям. Однако усложнение элементной базы, появление СБИС и заказных БИС специального назначения, сравнимых по сложности внутренней структуры и выполняемым функциям с отдельно взятыми ЭУ, привели к значительному усложнению современных СПД, функциональные возможности которых зачастую оказываются сравнимыми с возможностями СОД. Например, СПД 80X фирмы Marconi Instruments (Великобритания) обеспечивает контроль гибридных ЭУ с числом точек до 4096 на частотах до 16 МГц. Специальный блок служит для контроля БИС и ЭУ с шинной организацией. Возможность параллельной адресации ко всем разрядам шины

позволяет в дополнение к покомпонентному диагностированию осуществлять общее статическое тестирование ЭУ. Системы сер. 770 фирмы Factron (США) стали первыми СПД, предназначенными для обнаружения ошибок синхронизации. Их разрешающая способность во времени достигает 10 нс. Повышение частоты тестирования и решение задачи изоляции подключаемого контакта от влияния остальной схемы достигаются благодаря использованию специальной архитектуры «Pexrip», которая, однако, приводит к росту эксплуатационных расходов и стоимости СПД [2].

Отмеченная тенденция интеграции ряда традиционных черт СОД в области тестирования цифровых ЭУ практически лишила современные СПД высшего уровня их основных достоинств: низкой стоимости и малой трудоемкости подготовки тестовых программ. В то же время СПД по-прежнему уступают СОД в возможностях комплексной проверки ЭУ. В связи с этим СПД наиболее интенсивно разрабатываются в двух основных направлениях: 1) расширение в них возможностей общего тестирования ЭУ (создание СКД); 2) возврат к разработке низкостоимых высокопроизводительных СПД, получивших название анализаторов производственных дефектов (АПД).

Преимущества СКД заключаются в упрощении процедуры подготовки тестов (по сравнению с тестами для СОД) и локализации дефектов, обусловленных взаимным влиянием компонентов. Кроме того, в зависимости от конкретных условий производства (типа ОД и преобладающего вида дефектов) пользователь может выбрать наиболее эффективный метод тестирования и определенную последовательность общих и покомпонентных тестов, обеспечивающих минимальные затраты и максимальную производительность.

Каждый контакт в СКД типов L-210 и L-280 фирмы Teradyne (США) обладает точностью синхронизации, необходимой для общего тестирования, и возможностью перегрузки, что требуется для подачи тестовых сигналов во внутренние КТ объекта, осуществляемой при его покомпонентном диагностировании. Меняя платы каналов, пользователь может манипулировать переменными параметрами (глубиной памяти, числом контактов и каналов и т. д.) в целях приведения конфигурации СКД в соответствие с испытываемым ЭУ. Обеспечение высоких технических характеристик СКД типа L-210, позволяющих обнаруживать практически любые дефекты в аналоговых, гибридных и цифровых объектах, приводит вместе с тем к высокой стоимости СКД, изменяющейся в зависимости от конфигурации в пределах 0,7—1,2 млн. дол.

В связи с этим большую популярность приобретают менее дорогие для большинства применений модульные тестеры. Примером здесь могут служить СКД «Checkmate» фирмы Marconi Instruments, обладающие возможностями поэлементного и общего тестирования аналоговых и цифровых ЭУ. Каждая из 13 измерительно-функциональных плат этого СКД содержит микропроцессор Z-80 и специализированные микропрограммы, повышающие скорость тестирования и упрощающие калибровку. На платах реализованы генератор функций, счетчик/таймер, цифровой мультиметр, логический анализатор, микропроцессорный эмулятор, программируемые источники питания, универсальная плата ввода-вывода и набор интерфейсов для любых контрольно-измерительных приборов. В зависимости от решаемой задачи тестер комплектуется необходимым в данный момент набором модулей [3].

Свойствами СКД обладают отечественные системы внутриклеммного и функционального контроля 1029 и комплекс функционально-динамического контроля КФК-4 АМЦ 05321, подготовка которых к производству закончена в 1990 г. [4].

Однако наибольший рост сбыта сейчас наблюдается в области АПД, в основу которых положена идея о том, что перед тестированием ЭУ на сложных системах поэлементного или общего тестирования целесообразно просмотреть их с помощью более дешевой системы, позволяющей обнаружить наиболее «грубые» дефекты. Тем самым уменьшился нагрузка дорогостоящего оборудования, среднее время тестирования одного ЭУ и средние затраты на обнаружение одного дефекта. Эффективность АПД оказалась столь высока, что очень быстро АПД, используемые, как правило, на этапе, предшествующем общему тестовому диагностированию ЭУ, сумели во многих случаях полностью вытеснить СПД из цикла контроля.

Главной причиной высокой популярности АПД является

возможность с небольшими затратами обнаруживать и быстро устранять основную массу дефектов, неизбежно возникающих при серийном изготовлении ЭУ: короткие замыкания и обрывы проводников; неверно ориентированные, ошибочно установленные и пропущенные при сборке ЭУ компоненты; пассивные двухполюсники со значениями параметров, вышедшими за пределы допусков; отказавшие *p-n*-переходы активных ЭРЭ. Невысокая стоимость АПД (30 000—80 000 дол.) достигается благодаря ограничению их функций обнаружением только перечисленного класса дефектов, получившего название производственных.

Все названные дефекты выявляются путем измерения значений импедансов в определенных КТ объекта и соответствующей обработки полученных данных. Контроль проводится без подачи напряжений питания на ОД, что обеспечивает неповреждающий характер проверок. Использование несложных измерительных средств позволяет существенно упростить и процедуру подготовки тестовых программ, которая легко поддается автоматизации (вплоть до генерации программ в режиме самообучения) путем автоматического изучения АПД электрических характеристик эталонного (исправного) объекта [5].

Анализатор производственных дефектов 440 Z фирмы *Fastrop* обеспечивает получение последовательности сигнатур узловых импедансов с незапитанного ОД. Сигнатуры узловых импедансов определяются как функции времени. Время проверки одного ЭУ не превышает 10—15 с. Для минимизации сообщений о ложных дефектах используется специальная процедура, обнаруживающая плохо контактирующие с ОД штыри ИКУ. Отдельный пакет программ обеспечивает подготовку тестовых программ в режиме самообучения. Соответствующее программное обеспечение (ПО) улучшает точность тестовых программ, усредняя измеренные в режиме самообучения значения по заданному числу изучаемых ЭУ, уменьшает время, затрачиваемое на программирование и на подготовку ИКУ.

Программное обеспечение монитора обработки анализирует сбои, происшедшие по вине персонала, и анализирует о появлении тревожных тенденций к возникновению дефектов в масштабе реального времени, позволяя определять наиболее узкие места технологического процесса, на преодоление которых необходимо направлять основные усилия.

Высокой точностью измерений отличаются АПД мод. LVA фирмы *Test System Incorporation* (США). До 16 384 точек могут подключаться к АПД «*Kryterion-550*» фирмы *Everett/Charles Equipment* (США), до 65 535 — к мод. 3200 В фирмы *John Fluke* (США). Анализатор производственных дефектов мод. AFLIQU итальянской фирмы *SPEA* оснащен универсальным ИКУ с сетчатым полем на 16 384 точки в центрах, расположенными через 2,54 мм.

Ряд последних моделей АПД обладает некоторыми возможностями проведения общего (структурного) статического тестирования ЭУ. К ним относятся АПД *KS-2002* фирмы *Biddle* (США), *NITS 789* фирмы *ABC Digital Electronics* (США), *M3003* немецкой фирмы *Robotron* и некоторые другие [6, 7]. Среди отечественных следует отметить мод. АПД-2, разработанную в Винницком политехническом институте [8]. Объявлено о подготовке к выпуску в НИИ «Контрольприбор» (Пенза) АПД мод. АМЦ 05501, обладающей свойствами общего тестового диагностирования [4].

Высокую эффективность сочетания методов общего и покомпонентного диагностирования ЭУ демонстрируют настольные и портативные тестеры, используемые на этапе сервисного обслуживания РЭА и ЭВА. Проверка исправности отдельных компонентов ЭУ осуществляется в них с помощью контактного устройства типа «клипса» или микрозажимы. Тестовые воздействия могут подаваться на объект также через торцовый разъем.

Система 635 фирмы *Shlumberger* (США) благодаря развитию ПО и обширной библиотеке ЭУ позволяет пользователю писать до 10 тестовых программ в течение 1 ч. В случае отсутствия принципиальной электрической схемы объекта имеется возможность ее автоматического распознавания (при этом пользователь в соответствии с указаниями системы устанавливает «клипсу» и микрозажимы в определенные точки изучаемого ЭУ). Специальный программный пакет осуществляет автоматическое построение ясных и легко читаемых схем электрических цепей изучаемого объекта.

Одними из первых отечественных систем, предназначенных для проверки исправности отдельных компонентов в составе ЭУ, явились мод. АМЦ 15204 и ТЕКОД (НИИ «Контрольприбор», Пенза).

Анализ современного состояния СПД позволяет отметить следующие тенденции их развития.

1. Реализация магистрально-модульного принципа по-

строения систем диагностирования, позволяющего гибко наращивать разрядность памяти, число измерительных каналов, без труда осуществлять сопряжение модулей системы между собой и т. д. При этом из имеющегося набора модулей можно при необходимости комплектовать системы общего, покомпонентного и комбинированного диагностирования.

2. Обеспечение совместимости по используемым методам и ПО систем различных уровней (от сложных дорогостоящих СКД, размещаемых на крупносерийных заводах и в больших центрах сервисного обслуживания, до малогабаритных, переносных и даже портативных средств диагностирования со встроенным микропроцессорным управлением и возможностью сопряжения с персональными ЭВМ), предназначенных для поиска дефектов в ЭУ определенных типов непосредственно в местах эксплуатации РЭА и ЭВА.

3. Разработка принципов и создание технических средств фрагментного диагностирования ЭУ, наиболее полно сочетающих в себе достоинства методик общего и покомпонентного тестирования РЭА и ЭВА.

4. Исследование и разработка методов и средств бесконтактного диагностирования ЭУ, а также развитие портативных средств контроля ЭУ, обеспечивающих доступ к ЭРЭ через контактные устройства типа «клипса» или микрозажимы, позволяющих отказаться от применения массивных ИКУ и облегчающих задачу покомпонентного контроля печатных узлов после покрытия их поверхности защитным лаком. В ряде случаев, например для проверки ЭУ, выполненных по технологии поверхностного монтажа, перспективно сочетание средств контактного и бесконтактного тестирования ЭУ.

5. Автоматизация процедуры синтеза тестовых программ вплоть до полного перехода на режим самообучения СПД. Интеллектуализация средств диагностирования путем использования в них при контроле ЭУ наряду с объективными знаниями об объекте и его математической модели субъективных знаний экспертов (инженеров-регулирующих высшей квалификации), выраженных в эвристических правилах поиска неисправностей, а также реализации способности автоматического выбора системой наиболее эффективных диагностических процедур в каждой конкретной ситуации. Обладая элементами экспертных систем, такие СПД наряду с ускорением процедуры нахождения дефектов должны обеспечивать и быстрое обучение обслуживающего персонала. На этих принципах построена система PRO-1990 фирмы *Protech* (США).

6. Разработка аппаратных и программных средств для включения СПД и СКД в состав локальных сетей гибкого автоматизированного производства РЭА и ЭВА, осуществляющих вместе с диагностическими операциями сбор и статистическую обработку информации о состоянии технологических процессов в целях уменьшения (по цепи обратной связи) априорной вероятности появления брака и повышения качества изготавливаемой продукции, а также в целях индивидуального прогнозирования параметров надежности каждого выпускаемого изделия.

Работа выполнена в Винницком политехническом институте в лаборатории диагностирования электронной аппаратуры. Телефон: 4-68-48.

Список литературы.

1. Байда Н. П., Кузьмин И. В., Шпилевой В. Т. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА. М.: Радио и связь, 1987. 256 с.
2. *Still Alive and Testing*. In-Circuit ATE Reference // *Evaluation Engineering*. 1985. Vol. 24. № 2. P. 20—32.
3. *In-Circuit McTesters? Or the Future of In-Circuit Test* // *Evaluation Engineering*. 1987. Vol. 26. № 2. P. 8—15.
4. *Контроль и диагностика радиоэлектронной аппаратуры и изделий электронной техники*: Тез. докл. Всес. научн.-техн. конф. Пенза: Пенз. Дом научн.-техн. пропаганды, 1990. 153 с.
5. Байда Н. П., Месюра В. И. Организация самообучающейся системы поиска производственных дефектов в узлах РЭА // *Механизация и автоматизация управления*. 1990. № 1. С. 1—5.
6. *Manufacturing Defect Analyzers*. The MDA Niche Widens // *Evaluation Engineering*. 1988. Vol. 27. № 8. P. 26—30.
7. *Manufacturing Defect Analyzers*. MDA's Growing Fast in a Hungry Market // *Evaluation Engineering*. 1987. Vol. 26. № 8. P. 105—107.
8. Байда Н. П., Месюра В. И., Роук А. М. Настольные тестеры для поэлементного диагностирования печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры // *Механизация и автоматизация управления*. 1988. № 4. С. 31—35.