

$$\text{Components description}_i \in \{\text{Pr eporties components}_i, \text{Component events on action}_i\} \quad (8)$$

Для опису властивостей множин $\text{Pr eporties components}_i$ і $\text{Component events on action}_i$ введемо параметр $pc_i \in \text{Pr eporties components}_i$; де $i = 1, \dots, n$ кількість параметрів, які описують властивості об'єкта pc_i , може приймати значення безлічі Z які описані вище. На відміну від Main properties_i , що єдиний для Form_i , то кількість $\text{Components description}_i \in \text{Components on Form}_i$ structure має бути $n \geq 1$ де $n = 1, \dots, m$, в іншому випадку при не виконанні даної умови спрацьовує теорема 1.

Висновки

Розроблений метод синтезу компонентів і елементів модельованого ПП або ПМ на базі формалізації моделі ЖЦ «Jump» для проектування КІС ТПВ. Дане рішення дозволяє зробити детальну декомпозицію всіх елементів ПП або ПМ, врахувати і виділити як необхідну структуру побудови і зв'язків кожного елемента всередині системи так і обґрунтувати їх необхідність існування, задати всі необхідні параметри і події.

УДК 621.37/39.019.3

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

К.т.н. Б.А. Шостак¹, к.т.н. В.А. Письменецкий², С.И. Теслюк²

1. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков
2. Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье приведены результаты исследований по диагностике аналоговых модулей радиоэлектронных систем посредством применения метода анализа единичных откликов.

В статті приведено опис і основні характеристики методу примусового діагностування аналогових модулів радіоелектронних систем.

The article is developed new method of the diagnostics, designed for the solving of the problems, intended for optimization of searching for failure analog element in module of any complication and functional types.

Ключевые слова: процесс диагностирования, аналоговый модуль, априорная неопределенность.

Введение

Для эффективного решения задачи обнаружения возникших в процессе эксплуатации дефектов, как правило, необходимо уже при проектировании обеспечить диагностируемость радиоэлектронных систем (РЭС). Но при этом возникают определенные трудности. Эти трудности обусловлены тем, что при моделировании

У майбутньому, на базі запропонованого математичного опису та подання буде розроблена методологія проектування і розробки ПП і ПМ для КІС ТПВ і реалізована у вигляді автоматизованої системи проектування і розробки САХ систем.

Основною метою автоматизованої системи проектування і розробки ПП для КІС ТПВ, що розробляється, є зменшення трудомісткості і ризиків, за рахунок автоматизації і часткової реалізації інтерфейсу користувача та програмного коду на ранній стадії складання ТЗ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О., Євсєєв В.В., Мілютіна С.С. *Основи САПР: технічна підготовка виробництва: Навчальний посібник/ І.Ш. Невлюдов.* - Київ: НАУ, 2014. – 360 с.
2. Черніков Ю.Г. *Системний аналіз і дослідження операцій.* - Москва, МДГУ, 2006.-370 с.). (ISBN 5-7418-0424-1)
3. К. Дейт *Руководство по реляционной СУБД DB2/Пер. С англ. И предисл. М.Р. Коголовского.* М.: Финансы и статистика, 1988. – 320 с. (ISBN 5-279-00036-9)
4. Волченков Е., *Стандартизація польовательского интерфейса Электронный ресурс.* / Евгений Волченков // Журнал «Открытые системы» № 4 / 2002 — Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2002/04/181312/>

сложных объектов действует фундаментальное положение кибернетики: при сложности объекта выше некоторого уровня его адекватная (полная модель) не может быть более простой. Поэтому фактически ни одна электронная система, содержащая модули, выполняющие преобразование аналоговых сигналов, не имеет исчерпывающего математического описания.

Наибольшее применение при решении задачи диагностики нашли следующие методы и технологии:

- DFT (Design for Test) или технология проектирования контролепригодных схем – технология, которая упрощает разработку и проведение производственных испытаний, а также обеспечивает диагностируемость электронного оборудования.

Большинство вариантов DFT, применяемых сегодня, основаны на принципе структурного испытания. Структурное испытание не создает прямого воздействия для определения, все ли выходные функции схемы соответствуют норме. Вместо этого осуществляется проверка, что схема правильно собрана из некоторых низкоуровневых составных частей в соответствии со структурной таблицей соединений. При этом должно

соблюдаться следующее условие: если таблица соединений корректна, и структурная проверка подтверждает правильность сборки элементов схемы, тогда схема должна работать корректно [1]. Эта технология применяется для диагностики РЭС при производстве.

- JTAG (Joint Test Automation Group) или Boundary Scan – периферийное сканирование, используется для внутрисхемной проверки работоспособности плат. Эта технология предполагает отсутствие зондов, но при ее использовании преимущества традиционной внутрисхемной проверки сохраняются, то есть диагностируется работоспособность элементов схемы.

Периферийное сканирование предполагает преобразование внешних зондов с многозондового адаптера во внутренние, так называемые электронные зонды. Они предусмотрены на краю кристалла, откуда эта технология и получила свое название [2]. Одним из основных недостатков является включением в схему избыточной логики, а также связей, не являющихся необходимыми для функционирования. Также надо отметить, что эта технология в основном применяется для проверки цифровых схем. Возможность проверки схем смешанного или аналогового сигналов сейчас только обсуждается [3].

- ATPG или технология автоматической генерации образцов, используемая для электрической проверки полупроводников, где тестовый набор автоматически генерируется программой. Вектор последовательно применяется к проверяемым устройствам, и отклик устройства на каждый входной сигнал сравнивается с образцовым откликом от исправного устройства. Ошибка в отклике устройства означает, что оно неисправно. Эффективность ATPG оценивается полнотой проверки, то есть все ли неисправности удалось обнаружить с помощью набора тестов, а также ценой выполнения проверки. Основная сфера применения этой технологии – проверка работоспособности полупроводниковых устройств в цифровой схеме [4].

- BIST или встроенное самотестирование – технология проектирования дополнительного оборудования и программного обеспечения, содержащихся в интегральных схемах и позволяющих проводить проверку их работы с использованием их собственных схем. BIST уменьшает зависимость от внешнего автоматического тестового оборудования (АТО), однако ей свойственны недостатки (те же, что и у JTAG-технологии).

Перечисленные технологии реализованы в программных средствах создания контролепригодных РЭС и проверки их работоспособности на этапе проектирования и производства, например, таких как:

- onTAP Boundary Scan Software (Flynn Systems). Применяется для разработки и проведения диагностики печатных плат с помощью JTAG-технологии.

- ProntoTEST;FIXTURE software (UniSoft). Применяется для диагностики печатных плат с помощью АТО.

- Galaxy Design Platform (Synopsys). Пакет программ для проектирования, отладки и диагностирования цифровых интегральных микросхем.

- Design for Test (Mentor Graphics). Пакет программ для разработки, усовершенствования тестов и

диагностирования печатных плат с использованием технологий ATPG, BIST и JTAG.

Перечисленные выше методы и программные продукты ориентированы на применение для диагностики цифровых электронных средств, печатных плат и интегральных микросхем.

Для диагностирования аналоговых схем, как правило, используются следующие методы: метод справочников, параметрическая идентификация, методы контроля неисправностей, приближенные методы и т.д. Многие из этих методов обладают следующими недостатками: большой объем вычислений, необходимость доступа ко всем узлам схемы, чувствительность к погрешностям вычислений и, как следствие, трудность практической реализации.

Теоретические исследования

Для выхода из создавшейся ситуации при формировании диагностических моделей аналоговых систем, как правило, используют три уровня описания:

- алгоритмический;
- функциональный;
- узловой.

В этом случае полное математическое описание строится по линейному принципу:

$$L = Luu + Lfy + Lay, \quad (1)$$

где Luu – язык узлового уровня;

Lfy – язык функционального уровня;

Lay – язык алгоритмического уровня.

Многоуровневая модель выглядит следующим образом:

$$L = Lay (Lfy (Luu)). \quad (2)$$

Такая последовательность создания многоуровневых диагностических моделей, как показала практика, является наиболее оптимальной с точки зрения снижения трудоемкости и уменьшения временных характеристик процесса диагностирования аналоговых устройств. Это связано с тем, что на каждом этапе создания тестовых наборов, тестовые алгоритмы осуществляют поиск неисправности с заданным уровнем детализации. Таким образом, происходит ступенчатое углубление детализации.

В соответствии с данным подходом по мере реализации процесса диагностирования происходит постепенное снятие неопределенности. При этом, чем больше информации получено, тем меньше степень неопределенности состояния объекта диагностирования.

Развитие теории информационных систем со временем выявило ряд несоответствий между классическим определением и получаемым результатом, которые в некоторых случаях оказываются значительно лучше, чем предсказывает существующая теория. Так, шенноновский подход совершенно не учитывает степени полезности и осмысленности информации, наличия априорных знаний о предмете и т.д., он направлен не на увеличение знания, а на уменьшение незнания, то есть в каком-то смысле является пассивным.

В статье предлагается решение задачи минимизации времени диагностики аналоговых модулей

посредством применения метода принудительной диагностики.

Суть метода принудительной диагностики заключается в подаче внешних тестовых воздействий на определенный исследуемый элемент объекта диагностики посредством специального зонда и анализе полученного с выходов элемента откликов.

При таком подходе работоспособность РЭС определяют, сравнивая ее динамические характеристики с аналитической моделью диагностируемого узла. Технические средства определения работоспособности при этом строятся по разным принципам в зависимости от формулировки условий работоспособности. Если условия работоспособности формулируются как ограничение на изменение показателей формы временной характеристики, то, как правило, осуществляют тестовое диагностирование, используя в качестве тестового воздействия единичное импульсное или ступенчатое напряжение.

Известно, что динамические свойства любой радиотехнической системы можно описать ее откликом $h(t)$, т.е. функцией веса. Если функцию $h(t)$ разложить в ряд Фурье и установить аналитическую зависимость между коэффициентами ряда для отклика $h(t)$ и параметрами диагностируемой аппаратуры, то на этой основе можно проводить диагностирование.

Известно, что передаточная функция системы есть преобразование по Лапласу ее отклика.

Производя с передаточной функцией аналогичные преобразования, можно определить коэффициенты a_n и b_n ряда Фурье.

Весовая функция $h(t)$ в общем случае зависит от всех параметров диагностируемого объекта

$$h(t) = f(x_1, x_2, \dots, x_k).$$

Пусть $h(t) = 0$ при $t \geq t_0$. Продолжим ее четным образом. Тогда четную периодическую функцию $h(t)$ можно разложить в ряд Фурье по косинусам:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi}{t_0} t, \quad (3)$$

$$\text{где } a_n = \frac{2}{t_0} \int_0^{t_0} h(t) \cos \frac{n\pi}{t_0} t dt$$

Между откликом диагностируемого объекта и действительной частью передаточной функции $\text{Re}(\omega)$ существует следующая зависимость:

$$\text{Re}(\omega) = \int_0^{\infty} h(t) \cos \omega t dt.$$

Учитывая (3), можно записать

$$\text{Re}(\omega, \{x\}) = \int_0^{\infty} h(t) \cos \omega t dt \quad (4)$$

Сравнивая (3) и (4) видим, что для фиксированных частот они отличаются только множителем $2/t_0$.

Отсюда получаем формулы, выражающие коэффициенты Фурье через фиксированные значения

вещественной частотной передаточной функции диагностируемой системы:

$$a_n = \frac{2}{t_0} \text{Re}[\omega_n, \{x\}],$$

$$\text{где } \omega_1 = \pi/t_0; \omega_2 = 2\pi/t_0.$$

Тогда будем иметь

$$h(t) = \frac{2}{t_0} \sum \text{Re} \left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\} \right) \cos \frac{n\pi}{t_0} t \quad (5)$$

Известно, что для всякой ограниченной и кусочно-непрерывной функции, каковыми являются временные характеристики диагностируемой аппаратуры, ряд Фурье сходится в среднем к функции

$$\int [h(t) - S_n(t)]^2 dt = 0 \text{ при } n \rightarrow \infty,$$

где $S_n(t)$ – сумма членов ряда.

Из сходимости следует, что можно определить отклик системы, пользуясь дискретными значениями действительной части частотной передаточной функции $H(\omega)$.

С увеличением числа членов ряда точность аппроксимации $h(t)$ рядом (5) увеличивается, но при этом увеличивается и объем вычислений, так как растет число гармоник, которые нужно учитывать.

Для получения переходной характеристики достаточно проинтегрировать ряд (5) от 0 до t_0 .

Тогда

$$H(t) = \frac{2}{t_0} \sum_{n=0}^{\infty} \text{Re} \left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\} \right) \sin \left(\frac{n\pi}{t_0} t \right) \quad (6)$$

Или учитывая равенство (4),

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \sin \left(\frac{n\pi}{t_0} t \right).$$

На основании выражения (6) составляют систему уравнений, которая используется для нахождения уходов соответствующих параметров диагностируемого объекта:

$$H(t_1) = \frac{2}{t_0} \sum \text{Re} \left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\} \right) \sin \left(\frac{n\pi}{t_0} t_1 \right);$$

$$H(t_2) = \frac{2}{t_0} \sum \text{Re} \left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\} \right) \sin \left(\frac{n\pi}{t_0} t_2 \right);$$

$$H(t_k) = \frac{2}{t_0} \sum \text{Re} \left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\} \right) \sin \left(\frac{n\pi}{t_0} t_k \right),$$

где $H(t_1), \dots, H(t_k)$ – значения переходной характеристики для системы с номинальными параметрами, измеренными через интервалы $\Delta t = \pi/\omega_0$; $\omega_0 = 2\pi/t_0$.

Так как коэффициенты Фурье являются функциями всех параметров диагностируемой аппаратуры, можно определить текущие значения контролируемых параметров $\{x\}$ решением системы алгебраических уравнений:

$$a_0 = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re}(0, \{x\});$$

$$a_0 = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re}\left(\frac{\pi}{t_0}, \{x\}\right);$$

$$a_n = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re}\left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\}\right),$$

где a_0, a_1, \dots, a_n – текущие значения коэффициентов Фурье, снимаемых с анализатора, на вход которого подано напряжение, соответствующее отклику диагностируемого объекта; $\operatorname{Re}(n\pi/t_0, \{x\})$ – вещественная часть частотной передаточной функции.

Основной проблемой до последнего времени было значительный объем вычислений, выполняемый при анализе откликов. Но с появлением цифровых сигнальных процессоров основная нагрузка как раз ложится на такие устройства. При этом такой процессор позволяет достаточно просто реализовать процесс формирования различных тестовых сигналов.

Таким образом, система принудительной диагностики функционирует в три этапа:

- 1 – формирование тестового воздействия;
- 2 – считывание и анализ отклика диагностируемого узла;
- 3 – сравнение результатов расчета с аналитической моделью, хранящейся в базе данных.

Структура аппаратного обеспечения представлена на рис. 1.

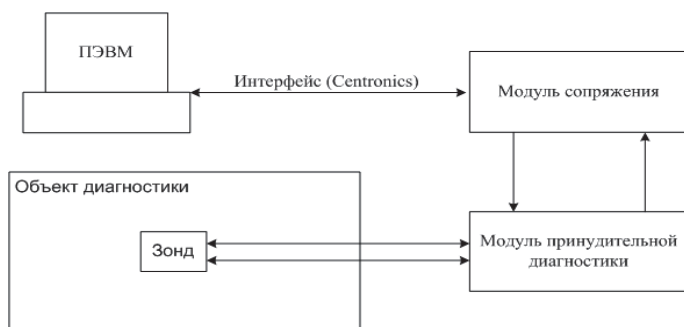


Рис. 1. Схема подключения аппаратных узлов

Основным элементом модуля принудительной диагностики является цифровой одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi. Связь микрокомпьютера с управляющей ЭВМ выполняется посредством модуля сопряжения, обеспечивающего согласование уровней сигнала и гальваническую развязку системы.

Разработанная на основе описанного метода система принудительной диагностики СПД позволяет производить диагностику аналоговых микросхем, не выпаивая их из платы.

Общая методика функционирования СПД заключается в следующей последовательности действий:

1. В исследуемом объекте диагностики (ОД) аппаратно блокируются все внутренние генераторы
2. На исследуемый элемент (например, аналоговую микросхему) устанавливается зонд;
3. На ОД подается напряжение питания;
4. Активируется программа динамической инициализации, которая производит формирование управляющих воздействий определенной длительности и формы;
5. Проверяется динамический функционал путем сравнения с прототипом из базы знаний;
6. Если динамические функционалы совпадают, то элемент считается исправным, и переходят к исследованию следующего элемента, если нет – то производится аналогичный контроль сопряженных с выходными цепями элементов.

Таким образом, проверяются функциональная исправность всех элементов, прототипы (функциональные модели) которых содержатся в базе знаний. Время проверки одного элемента в среднем составляет 3 минуты. Подача внешних импульсов на выходные выводы микросхем не приводит к выходу из строя выходных каскадов в связи с малым временем воздействия и ограничениях максимального импульсного тока ($I_{\max} = 50$ мА). Ограничение по току необходимо также и для проверки аналоговых микросхем (например, компараторы), входные цепи которых соединены либо с выходными каскадами с открытым коллектором, либо с цепями питания.

Выводы

Проведены теоретические исследования применения метода принудительной диагностики для реализации процесса диагностирования аналоговых модулей РЭС в условиях частичной неопределенности. В результате исследований предложены программные и аппаратные средства, обеспечивающих реализацию разработанного метода. Результаты исследования показывают, что применение метода принудительной диагностики позволяет производить диагностику аналоговых элементов, не выпаивая их из платы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gray K. *Electronics Testing into the 21st Century: Success in Test Is in Capabilities, Not Specifications* / K. Gray, W. Tustin. // *Test and Measurements World*. №2/2007.
2. IEEE Std 1149.1 (JTAG/Boundary Scan). Tutorial. – GWPEL electronic GmbH, 2006.
3. Kacand U., Novak F., Azas F. *Extending IEEE Std. 1149.4 Analog Boundary Modules to Enhance Mixed-Signal Test* // *Test and Measurements World*. №12/2006.
4. Kabisatpathy P. *Fault detection and diagnosis in analog integrated circuits using artificial neural network in a pseudorandom testing scheme* / Kabisatpathy P., Barua A., Sinha S. / *3rd International Conference on Electrical & Computer Engineering ICECE 2004, 28-30 December 2004, Dhaka, Bangladesh*, – pp. 52-55.
5. Воловикова В.Е. Уйвасов С.У. *Диагностика аналоговых схем с учетом тепловых режимов электрорадиоэлементов*. // *Теория и практика контроля, измерений, испытаний и диагностики*. №3/2009 .с.23-28. Гуляев В. А. *Техническая диагностика управляющих систем*. – Киев.: “Наукова думка”, 1983. – 208 с.