

### Список литературы

- 1 **Модин, Н. К.** Безопасность функционирования горючих устройств / Н. К. Модин. – М.: Транспорт, 1994. – 173 с.
- 2 **Модин, Н. К.** Модель безопасности сложных технических систем / Н. К. Модин // Надежность и безопасность технических систем: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. – Мн.: Белоргстанкинпроиздат, 1997. – С. 51–54.
- 3 **Модин, Н. К.** Безопасность функционирования транспортных систем: Пособие по выполнению контрольной работы / Н. К. Модин. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 34 с.

ты / Н. К. Модин. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 34 с.

- 4 **Михайлюк, В. Б.** Нормирование уровня безопасности движения поездов: проблемы и решения / В. Б. Михайлюк, Н. К. Модин // Проблемы безопасности на транспорте: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2002. – С. 50–52.
- 5 Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1994. – 173 с.

Получено 10.02.2005

**N. K. Modin, T. N. Modina.** The some problems of the ensuring of the responsible technological process safety.

The main proposition of the methods of the safety management, rate fixing of it's level and demonstration of technical facilities compliance with the safety demands based on the working out the model of the development of the responsible technological process functioning safety breach is given.

---

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2005. № 1(10)

---

УДК 656.25:620.16

## ИМИТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИ СЕРТИФИКАЦИИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

*С. Н. ХАРЛАП, кандидат технических наук; О. А. ШМЫГОВСКАЯ, ассистент; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Раскрыта роль имитационных испытаний в процессе доказательства функциональной безопасности микроэлектронных систем железнодорожной автоматики. Обоснована необходимость применения систем схемотехнического моделирования для проведения имитационных испытаний на безопасность функционирования. Дан краткий обзор наиболее распространенных программных средств для схемотехнического моделирования.

**М**икроэлектронные системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики в соответствии с действующими нормативными документами подлежат обязательной сертификации на безопасность функционирования [1, 2]. Целью сертификации на безопасность функционирования является подтверждение уровня обеспечения безопасности, заявленного разработчиком [3]. Это наукоемкий, сложный и длительный процесс, регламентированный международными [4–7] и национальными стандартами [8–10], важнейшими элементами которого являются техническая экспертиза схемных решений, имитационные и лабораторные испытания аппаратных средств и программного обеспечения [11].

Техническая экспертиза предполагает выполнение анализа безопасности функционирования человеком-экспертом. Однако современные микроэлектронные устройства содержат большое количество элементов, в том числе программируемых, имеют расширенные функции обеспечения эффективности и безопасности движения поездов и, вследствие этого, более сложные алгоритмы функционирования. Это затрудняет экспертизу алгоритмических и схемных решений. Кроме того, необходимость анализа работы устройства во всех режимах и на всем множестве существенных по

влиянию факторов (некорректных входных воздействий, отказах элементов системы и датчиков входной информации) делает невозможным проведение экспертизы без привлечения средств имитационного моделирования [12].

Методы имитационного моделирования предполагают создание модели реального объекта и проведение всего спектра обязательных испытаний на данной модели посредством воспроизведения на ЭВМ (имитации) процесса функционирования исследуемой системы, соблюдая логическую и временную последовательность протекания процессов. Имитационная модель в этом случае замещает материальный объект. Модель всегда проще объекта. Она отражает только некоторые его свойства, необходимые для проведения определенного анализа. Адекватность, универсальность и экономичность являются наиболее важными требованиями, предъявляемыми к модели.

Модель можно назвать адекватной объекту, который она замещает, если в исследуемых ситуациях она воспроизводит с необходимой полнотой и точностью все свойства объекта, существенные для целей данного исследования. Универсальность модели определяет область ее возможного применения. Однако повышение универсальности ведет к увеличению сложности данной модели и, следо-

вательно, к росту стоимости. Экономичность модели оценивается двумя факторами: затратами машинного времени на прогон модели, затратами машинной памяти, необходимой для размещения модели и результатов ее использования. Таким образом, если объемы памяти, используемые в настоящее время, позволяют не задумываться о том, где разместить модель и полученные результаты, то время, затрачиваемое на проведение испытаний, может оказаться очень большим. Поэтому в данном вопросе необходимо найти «золотую середину». Модель должна удовлетворять поставленным требованиям: быть адекватной, по мере возможности универсальной и простой.

Имитационное моделирование предусматривает применение системного подхода, который рассматривает объект как сложно организованную систему, состоящую из множества взаимодействующих элементов. Только такой подход может гарантировать хорошее качество проекта, что является необходимым условием качественного проведения экспертизы на безопасность функционирования [13].

Для проведения имитационного моделирования необходимы определенные инструменты. В настоящее время такими инструментами являются системы моделирования [1, 12].

Современные устройства включают в себя узлы, реализованные на микроэлектронной элементной базе. Для моделирования таких устройств необходим инструмент, учитывающий все особенности функционирования микроэлектронных элементов, а также осуществляющий имитацию достаточно сложных схем. Такими свойствами обладают системы схемотехнического моделирования. Схемотехническое моделирование предполагает анализ электронных и электрических схем в различных режимах работы (моделирование статического режима работы, переходных процессов в цепях), а также анализ в частотной области.

На данный момент на рынке программных продуктов представлен большой спектр систем моделирования, таких как Micro-Cap V-VII, PSpice A/D, DesignLab и др.

Программа Micro-Cap позволяет моделировать аналоговые, цифровые и аналого-цифровые электронные устройства. Как для аналоговых, так и для цифровых компонентов используются математические модели, принятые в известной программе PSpice. Допускается одновременно варьировать до 10 переменных и строить графики зависимостей характеристик схемы от варьируемых параметров, например, построить графики зависимостей резонансной частоты и коэффициента усиления от сопротивления нагрузки усилителя. Введен режим построения 3-мерных графиков. Достаточно обширная библиотека компонентов включает модели более 10 тыс. электронных компонентов ведущих фирм.

По своим функциональным возможностям Micro-Cap находится между профессиональной программой моделирования аналогово-цифровых устройств PSpice A/D, входящей в состав пакетов DesignLab и OrCAD, и более дешевым базовым вариантом с ограниченными возможностями PSpice A/D Basics+ [14].

APLAC 7.0 – предназначена для проектирования и моделирования электрических схем и систем во временной и частотной областях [15]. В их состав могут входить как цифровые, так и аналоговые компоненты, в том числе устройства диапазона СВЧ. Выполняются следующие виды расчетов: режим по постоянному току, частотные характеристики, спектральная плотность и коэффициент шума, чувствительность и параметрическая оптимизация, переходные процессы, спектры сигналов, анализ периодических режимов, статистический анализ по методу Монте-Карло. В основном этот набор довольно стандартен. Однако аналогичные расчеты проводятся обычно с помощью нескольких разных программ, а здесь они доступны в одной. Другая важная особенность APLAC – наличие большого набора библиотек элементов принципиальных схем и отдельных блоков, применяемых в аналоговых и цифровых системах связи. По своему функциональному составу эти библиотеки превосходят библиотеки других систем. Кроме того, в состав APLAC входит подпрограмма расчета трехмерных электромагнитных полей микрополосковых конструкций и других устройств диапазона СВЧ.

DesignLab 8.0 – интегрированный программный комплекс корпорации MicroSim для сквозного проектирования аналоговых, цифровых и смешанных аналого-цифровых устройств, синтеза устройств программируемой логики и аналоговых фильтров [16].

HyperSignal Block Diagram 4.0 – программа моделирования аналоговых и цифровых устройств, заданных функциональными схемами [16].

В настоящее время стандартом для систем схемотехнического моделирования стал язык программы SPICE [12]. Наиболее распространенной модификацией программы SPICE можно считать программу PSPICE. В настоящее время данная программа является системой аналого-цифрового моделирования с достаточно точными моделями полупроводниковых приборов. Достоинствами системы схемотехнического моделирования, построенной на базе PSPICE, являются [17]:

- большое количество библиотек с моделями электронных элементов;
- доступный формат хранения имитационных моделей, возможность редактирования и создания новых моделей;

– возможность анализа схемных решений в различных режимах (анализ переходных процессов, моделирование статического режима работы, частотный анализ, температурный анализ и т. д.);

– удобное представление результатов моделирования (графический и текстовый формат).

Однако поставляемые с программой PSPICE библиотеки импортных и отечественных приборов не включают ряд часто используемых в сертифицируемых устройствах элементов. Кроме того, база данных электронных компонентов отечественного производства недостаточно обширна, а зарубежные аналоги часто не являются полностью эквивалентными. И хотя открытый формат библиотек элементов и представление их в виде текстовых файлов делает возможным простое добавление новых элементов и редактирование стандартных библиотек, актуальной остается проблема обеспечения адекватности моделей компонентов, применяемых в современных ответственных устройствах.

Ряд недостатков, присущих сегодня методу имитационного моделирования, не позволяет говорить о том, что данный метод является наилучшим, и рекомендовать его как метод, достаточный для проведения всего комплекса имитационных испытаний на безопасность функционирования [18].

Одним из таких существенных недостатков является отсутствие системы схемотехнического моделирования, позволяющей проводить имитацию всех регламентированных видов неисправностей, описанных в «Каталоге возможных повреждений и отказов элементов устройств СЦБ» [19]. В этом документе перечислены отказы электронных компонентов, которые должны учитываться при анализе схемных решений на безопасность функционирования. Например, для резистора предусматривается пять видов возможных неисправностей, для транзистора – восемь видов таких неисправностей. Однако далеко не каждую неисправность позволяют моделировать существующие системы схемотехнического моделирования. Так, например, если имитация обрыва или короткого замыкания реализуется достаточно просто путем введения дополнительных перемычек и резисторов, имитация уменьшения или увеличения коэффициента усиления по току для транзистора невозможна без доступа во внутреннюю структуру модели электронного компонента. Таким образом, создание новых моделей электронных компонентов с возможностью доступа в их внутреннюю структуру представляется важной и перспективной задачей.

Автоматизация процесса проведения имитационных испытаний также является задачей первой необходимости [20]. Сейчас внесение неисправностей и анализ результатов, полученных в ходе испытания, осуществляется вручную, что влияет не

только на значительное увеличение времени, необходимого на проведение имитационных испытаний, но и увеличивает вероятность ошибки. Таким образом, автоматизация проведения имитационных испытаний должна решить две основные задачи: снизить вероятность ошибки и уменьшить время, затрачиваемое на проведение имитационных испытаний.

Несмотря на это, метод имитационного моделирования уже сейчас позволяет решить задачи, которые невозможно решить ни одним из других доступных методов. Это подтверждают и результаты испытаний в лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость технических средств» Белорусского государственного университета транспорта. Методы имитационного моделирования использовались при проведении испытаний на функциональную безопасность таких устройств, как блок автоматического регулирования скорости поездов метрополитена БАРС, блоки телесигнализации и телеуправления ТС-16Б и ТУ-8Б процессорно-релейной централизации стрелок и сигналов, микропроцессорной светооптической светодиодной системы мачтового железнодорожного светофора ССС-200-60 и некоторых других.

Применение имитационного моделирования при экспертизе и испытаниях позволило обнаружить ряд неисправностей, приводящих к опасному отказу устройства в целом. Некоторые из них, например ряд отказов в микропроцессорной системе ССС-200-60, не были обнаружены при использовании других методов экспертизы и испытаний. Опасные отказы в блоке телеуправления ТУ-8Б с помощью системы имитационных испытаний были выявлены на стадии разработки схемных решений еще до изготовления опытного образца, что позволило внести изменения в конструкцию блока с минимальными затратами. Лабораторные испытания модифицированного блока подтвердили правильность внесенных изменений и его соответствие требованиям функциональной безопасности.

Таким образом, можно констатировать, что методы имитационного моделирования являются перспективным средством технической экспертизы и испытаний на безопасность функционирования и при устранении вышеперечисленных недостатков могут занять доминирующее положение при доказательстве безопасности функционирования сложных микроэлектронных систем.

#### Список литературы

- 1 Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1997.
- 2 РД РБ БЧ 50.007-97. Сертификация продукции и услуг на железнодорожном транспорте. Основные положения. – Мн., 1997.
- 3 Сертификация сложных технических систем / Л. Н. Александровская [и др.]; под ред. В. И. Круглова. – М.: Логос, 2001.

4 IEC Standard 61508, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.

5 EN 50126 Draft European Standard: Railway applications – The Specification and Demonstration of Dependability, Reliability, Maintainability and Safety (RAMS).

6 EN 50128 Draft European Standard: Railway applications – Software for railway control and protection systems.

7 EN 50129 Draft European Standard: Railway applications – Hardware for railway control and protection systems.

8 СТБ 972-2000. Разработка и постановка продукции на производство. Общие положения.

9 РД РБ БЧ 19.057-99. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие положения, порядок и методы доказательства безопасности систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

10 РД РБ БЧ 19.062-99. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Порядок разработки и общие требования к содержанию программ обеспечения безопасности.

11 РД РБ БЧ 19.055-99. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие положения, порядок и методы проведения испытаний на безопасность.

12 **Гавзов, Д. В.** Методы и средства для проведения работ по сертификации систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Гавзов [и др.]. //Ж.-д. транспорт. Сер. «Сигнализация и связь» / ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС. – 1999. – Вып. 1–2.

13 Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л. Н. Александр-

овская [и др.]: учеб. пособие. – М.: Логос, 2003.

14 **Гаврилов, Л.** Системы автоматического проектирования (САПР) аналоговых и аналогово-цифровых устройств / Л. Гаврилов // Электронные компоненты. – 2000. – № 5.

15 **Разевиг, В. Г.** Универсальная программа проектирования электронных устройств ALPAC / В. Г. Разевиг // Компьютерная неделя. – № 26 от 8.07.1997.

16 **Разевиг, В. Г.** Программы для разработки электронных схем / В. Г. Разевиг // Компьютерная неделя. – № 37 от 23.09.1997.

17 **Петраков, О.** Создание аналоговых PSpice-моделей радиоэлементов / О. Петраков // «Софт». – 2001. – № 2–12.

18 **Харлап, С. Н.** Особенности методики проведения имитационных испытаний на безопасность функционирования микросистем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость: труды 2-го Междунар. семинара. – Гомель: БелГУТ, 2003.

19 Р801/1 Памятка ОСЖД «Каталог возможных повреждений и отказов элементов устройств СЦБ».

20 **Харлап, С.Н.** Автоматизация имитационных испытаний микросистем на безопасность функционирования / С. Н. Харлап, О. А. Шмыговская // Актуальные проблемы развития транспорта России: стратегические, региональные, технические: сб. трудов междунар. науч. конф. – Ростов н/Д: РГУПС, 2004.

Получено 29.06.2005

**S. N. Kharlap, V. A. Shmyhouskaya.** Imitating tests of certification of microelectronic systems of railway automatics

The article proves the needs to application of modeling systems for imitating tests for functional safety. It shows the role of simulated tests during the proof of functional safety. It got the brief review of the main software for modeling.