

Таблица 12
Выборочные дисперсии результативного – S_p и факторного – S_O признаков, ошибки аппроксимации – σ , объясненные – $S_{об}$ и остаточные – $S_{ост}$ дисперсии без (числитель) и в процессе (знаменатель) ВС

$T_{имп}$, мкс	S_O	S_p	σ , %	$S_{об}$	$S_{ост}$
10	3956,1/ 4432,3	3086,8/ 2776,7	6,2/11	21661,2/ 15491,1	2118,8/ 2155,6
500	3567,2/ 3030,2	2942,2/ 2818,4	3,7/7	68476,6/ 52711,1	623,9/ 1074,9

Ошибки аппроксимации увеличиваются под воздействием ВС. Группа испытуемых сформирована на случайном образом. Естественно предположить, что ВС приводит к усилению различий в функциональном состоянии испытуемых, что находит отражение в увеличении дисперсии ошибки регрессии.

Заключение

Как осознаваемая, так и на неосознаваемая ВС человека-оператора с частотой 10 Гц приводит к повышению интегральных параметров зрительного

восприятия, – продуктивности P и скорости переработки информации C на 7–10%.

Влияние ВС на зрительное восприятие менее значимо, чем на ответную реакцию человека-оператора [2].

При неосознаваемой ВС эффект ВС более выражен, чем при видимых мерцаниях.

Литература

1. Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А. Энциклопедический словарь: Психология труда, управления, инженерная психология и эргономика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vocabulary.ru/dictionary/896/word/пропущена-СроСобноСт-оператора>. – 19.06.15.
2. Ахраров Н.М., Баранова Ю.А., Васильева М.В., Романовский М.Н. Ритмическая стимуляция пропускной способности человека-оператора // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. – 2015. – Т. 15, №5. – С. 60–63.
3. Сысоев В.П. Методика диагностики работоспособности. Тест Э. Ландольта. – СПб.: Импон, 1996. – 30 с.

УДК 621.317.79+658.562.4

А.Ю. Дракин, А.Н. Школин

Разработка автоматизированных измерительных комплексов для испытаний микросхем высокочастотных импульсных преобразователей напряжения

Рассматриваются вопросы, посвященные разработке автоматизированных измерительных комплексов для испытаний интегральных микросхем высокочастотных импульсных преобразователей напряжения. Описывается пример реализации тестового оборудования, в котором для минимизации объемов подготовительной нормативно-справочной информации применяется поведенческая модель испытуемой микросхемы.

Ключевые слова: тестер микросхем, импульсные преобразователи напряжения, поведенческая модель, VHDL-AMS.

Высокочастотные импульсные преобразователи напряжения (ИПН) широко используются во вторичных источниках питания, которые имеются практически во всех изделиях электротехнической и радиотехнической промышленности – в компьютерах, телевизорах, в различных автоматизированных устройствах и системах. В электрооборудовании современных технических объектов насчитывается до нескольких десятков таких микросхем. Выход из строя одной микросхемы может привести к тяжелым последствиям, что обуславливает необходимость организации сплошного входного контроля таких изделий. Кроме того, задача автоматизированного контроля параметров интегральных микросхем решается при их производстве на различных стадиях (на пластине, после корпусирования, и т.д.) и в зависимости от видов приемки.

В рамках решения этой задачи авторами разработан автоматизированный измерительный комплекс для испытаний микросхем высокочастотных импульсных преобразователей (далее по тексту – тес-

теров), разработанных на основе базовых кристаллов – серии импульсных понижающих стабилизаторов с регулируемым и фиксированными выходными напряжениями. Данные микросхемы предназначены для замены аналогов изделий иностранного производства, разрешенных к применению в радиоэлектронном оборудовании перспективных и модернизируемых образцов вооружения, военной и специальной техники наземного, воздушного, морского и космического базирования. Микросхемы представлены понижающими импульсными стабилизаторами на ток до 1–5 А и понижающе-повышающими импульсными стабилизаторами на ток до 5 А.

Комплекс выполнен с использованием оборудования National Instruments [1] и включает в себя:

- модули PXIe-4139 – источники / измерители;
- модуль PXIe-4142 – четыре источника / измерителя;
- модуль PXIe-5114 – АЦП;
- модуль PXIe-2567 – 64-канальный модуль для управления внешними реле;

- модуль PXIe-6230 – таймер / генератор и управление внешними устройствами;
- модуль PXIe-1078 – PXI шасси (корзина);
- модуль PXIe-8821 – контроллер 2,6 GHz intel Core i3 – 4110E dual core processor;
- тест-адаптеры с контактными устройствами под различные типы корпусов микросхем;
- блок подключения многозондовой установки для контроля параметров на пластине.

Комплекс (тестер) обеспечивает измерение ряда статических и динамических параметров в нескольких поддиапазонах, а также управление внешними устройствами (зонд, сортировщик, камера тепла / холода). Контроль параметров проводится, как в режиме с измерением значения параметра, так и в режиме разбраковки по принципу «Брак/Годен». Тестер обеспечивает возможность задания типа ИС, плана классификации, режимов тестирования.

В связи с тем, что ряд измеряемых параметров является температурно-зависимыми, а испытания производятся при широкой номенклатуре температур нами предлагается подход, позволяющий минимизировать объемы подготовительной нормативно-справочной информации (НСИ), содержащей нормативные значения величин измеряемых параметров, необходимой для обеспечения различных режимов измерений. Это достигается за счет отказа от использования таблиц величин норм технических данных для каждого возможного набора условий внешней среды и вида испытаний. Возможность такого отказа обусловлена использованием поведенческой модели тестируемого изделия в качестве источника

НСИ. Поведенческая модель позволяет в компактной форме описать любые внешние воздействия и условия и возможные реакции описываемой интегральной микросхемы.

Поведенческие модели можно реализовать с помощью высокоуровневого языка описания аппаратуры VHDL (от англ. Very-High-Speed Hardware Description Language). В частности, в данной работе применялась разновидность языка VHDL-AMS в соответствии со стандартом IEEE 1076.1 [2]. Данный язык позволяет описать смешанные поведенческие модели AMS (от англ. Analog and Mixed Signal), также реализовать описание мультидисциплинарных моделей. Что позволяет моделировать взаимосвязь электрических и тепловых параметров микросхем импульсных преобразователей напряжения [3–7].

В целях повышения скорости вычислений предлагается минимизировать расчетную полную электрическую схему интегральной микросхемы (ИМС) посредством организации аналоговой части только для электрических интерфейсов по конкретным выводам ИМС. Задание внешнего теплового воздействия предлагается организовать посредством дополнительного интерфейса модели, не имеющего физического аналога в качестве конкретного вывода ИМС. Подключенная к указанным интерфейсам внутренняя функциональная модель должна быть описана большей частью алгоритмически.

В качестве примера для анализа была выбрана микросхема ИПН LM2596 фирмы Texas instruments [8]. Внутренняя структура данной микросхемы согласно справочным данным приведена на рис. 1.

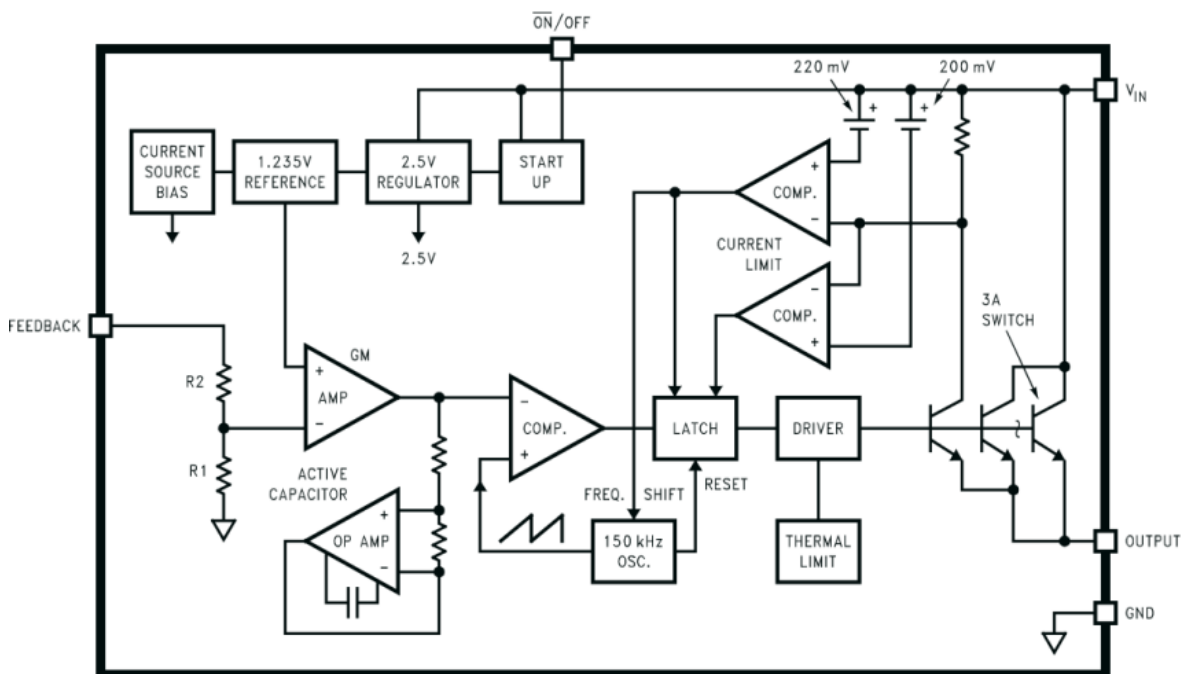


Рис. 1. Структура микросхемы LM2596

Для этой микросхемы фирмой-производителем разработана макромодель на языке PSPICE, которая использовалась для верификации предлагаемой поведенческой модели. Функциональная схема модели

приведена на рис. 2, в ней представлены следующие функциональные блоки:

- коммутирующий выходной ключ на основе идеализированного ключа с температурно-зависи-

мыми параметрами его дифференциального сопротивления и напряжения насыщения в открытом состоянии;

- блок усилителя ошибки, реализованный на базе блока с передаточной функцией, описанной с помощью преобразования Лапласа;
- блоки ограничения входного и выходного сигналов усилителя ошибки;
- блок функционального генератора пилообразного и стробирующего сигналов;
- блоки ограничений работы микросхемы по току и температуре.

Временные зависимости выходного напряжения и тока в момент запуска преобразователя, приведенные на рис. 3, 4, имеют хорошее совпадение с PSpice-моделью даже при низких точностных настройках решателя среды моделирования.

Для практической реализации поведенческой модели на языке VHDL-AMS была выбрана среда моделирования SystemVision фирмы Mentor Graphics [9]. Данный продукт имеет реализацию в виде интернет-сервиса на базе облачных технологий. Внешний вид модели в указанной среде моделирования приведен на рис. 5.

Результат влияния температуры можно отследить на примере напряжения на выводе микросхемы VOUT. Полная осциллограмма данного напряжения приведена на рис. 6. Учитывая, что напряжение питания микросхемы по выводу VIN равно 12 В, недостающая разница в максимуме напряжения VOUT как раз обусловлена остаточным падением напряжения на силовой части микросхемы. Изменение этого остаточного напряжения и частоты коммутации под действием температуры приведено на рис. 7.

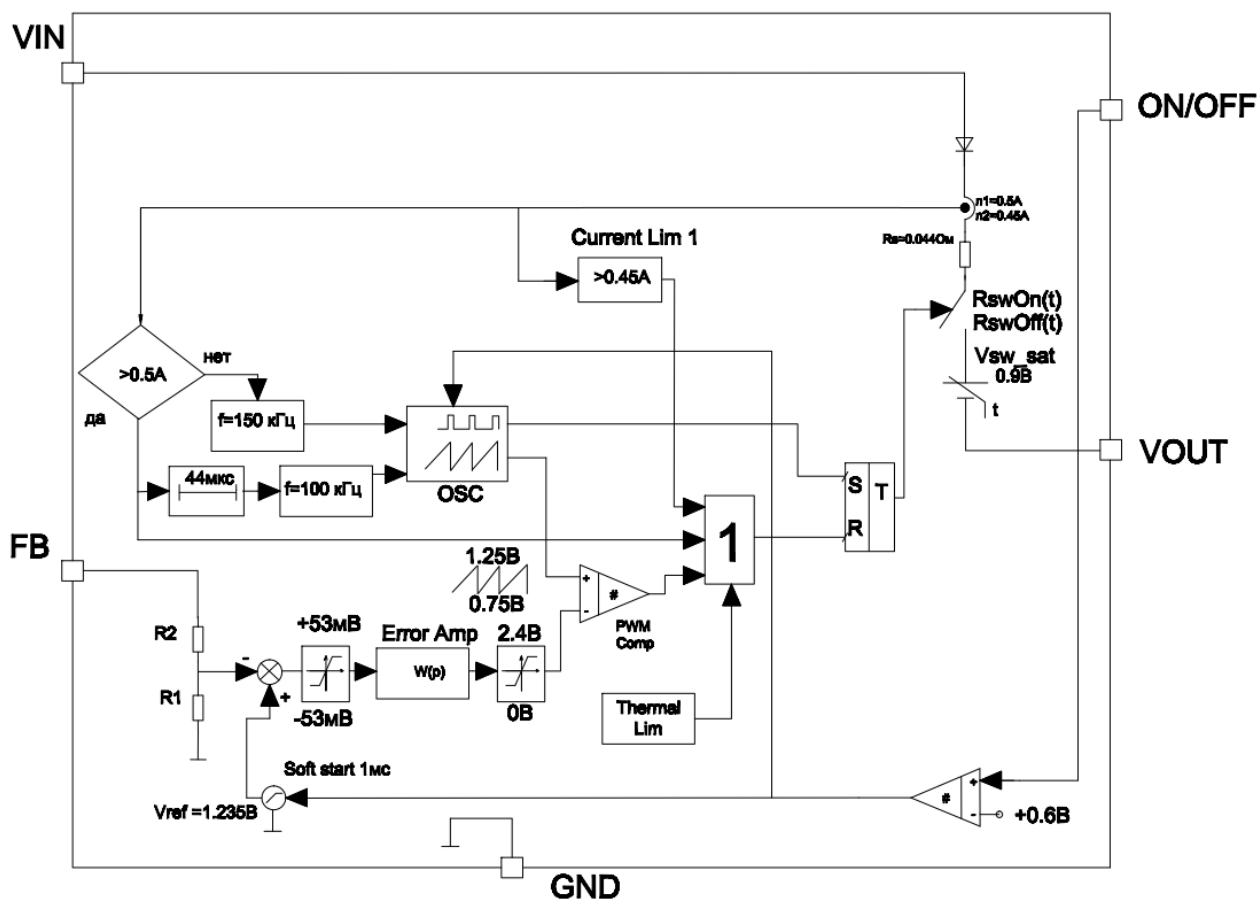


Рис. 2. Функциональная схема поведенческой модели

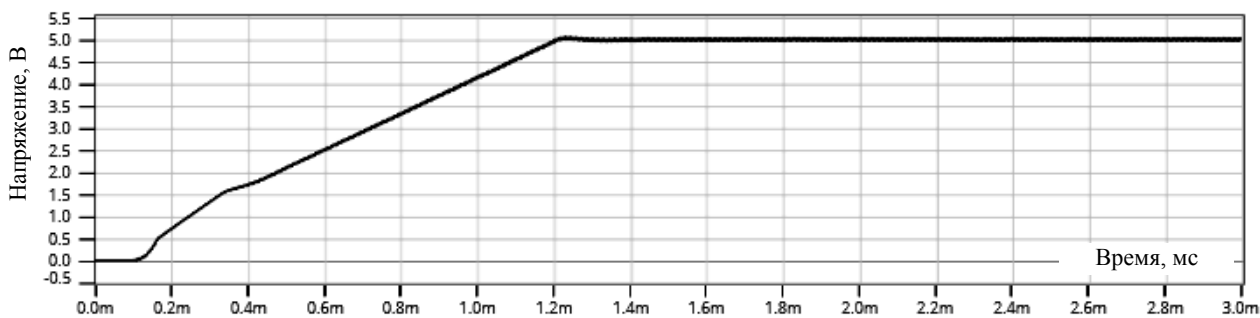


Рис. 3. График выходного напряжения ИПН в момент начала работы

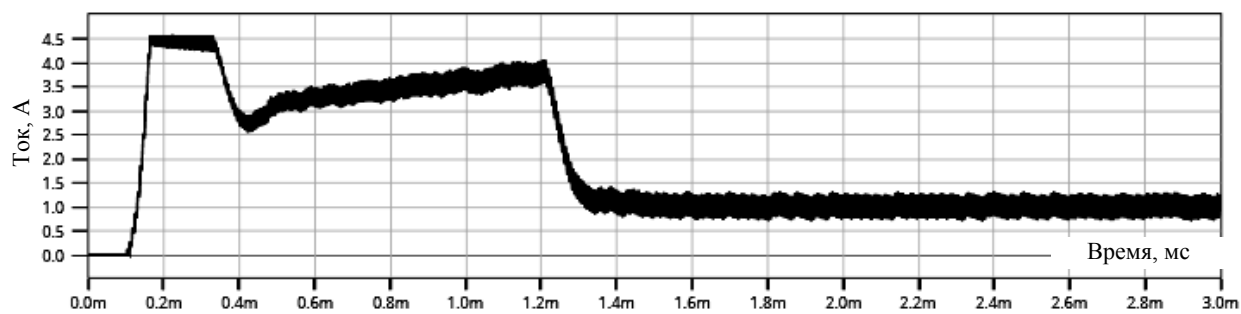


Рис. 4. График тока дросселя ИПН в момент начала работы

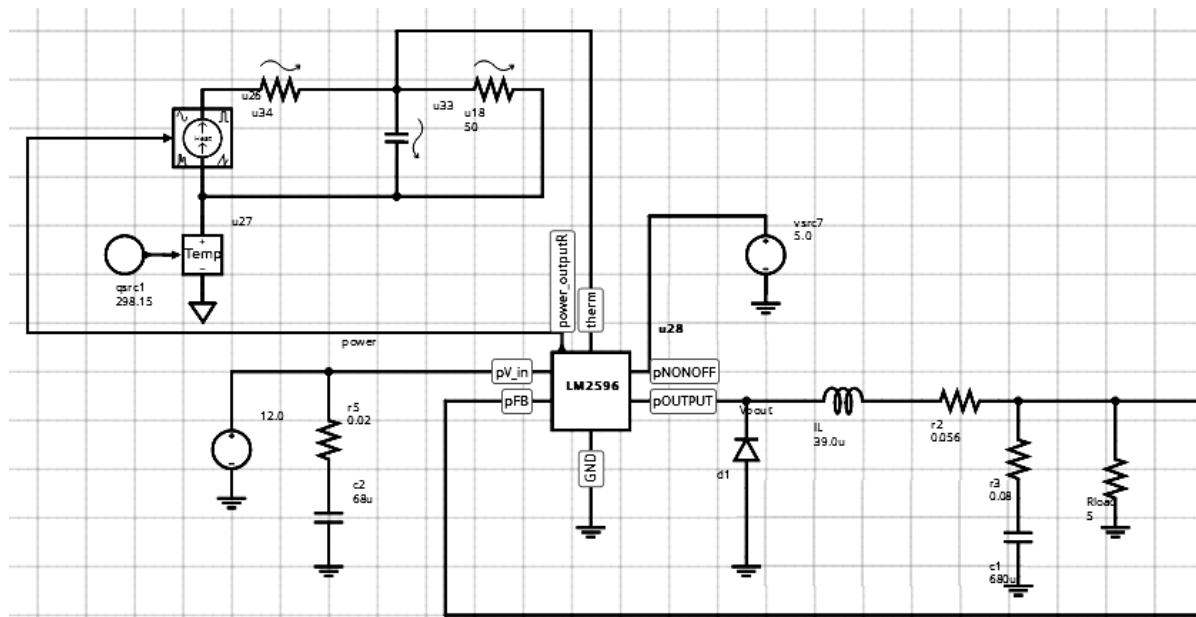


Рис. 5. Внешний вид тестовой модели ИПН в среде SystemVision

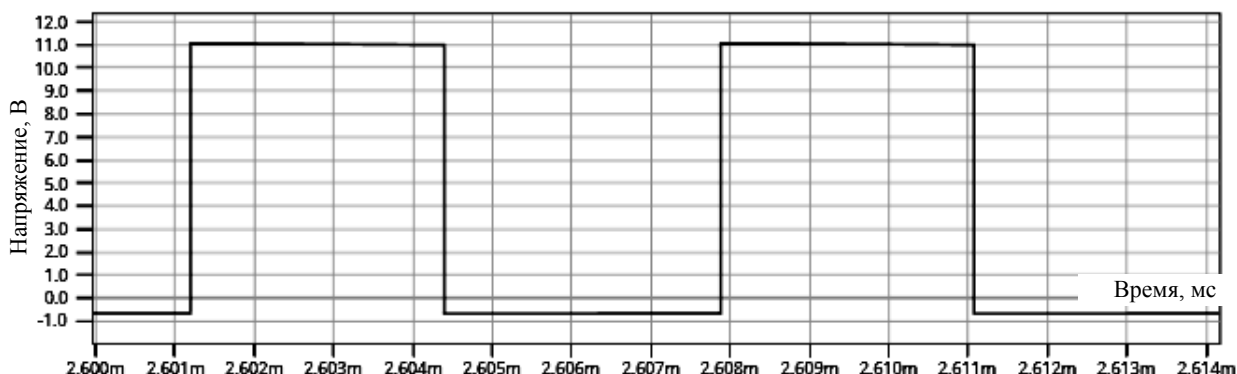


Рис. 6. Напряжение на выводе микросхемы VOUT

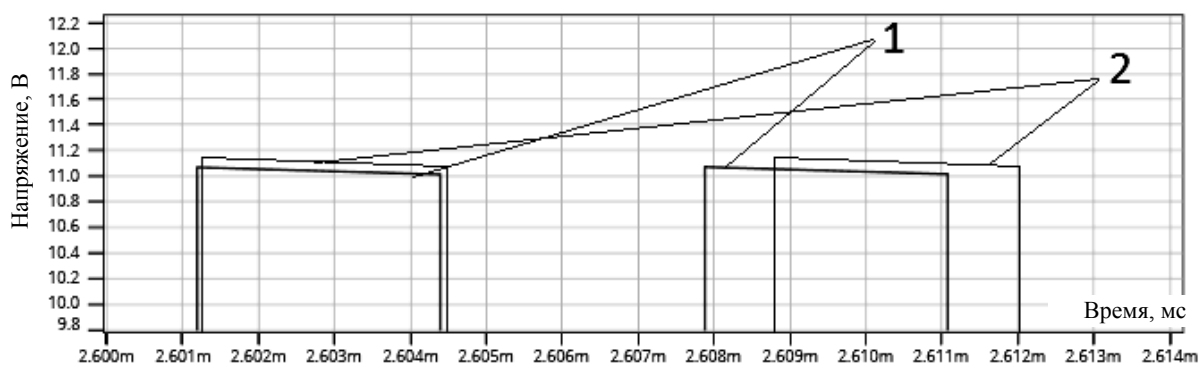


Рис. 7. Влияние температуры на напряжение на выводе микросхемы VOUT ($t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $2 - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Выводы

Созданная поведенческая модель позволяет получить адекватные результаты моделирования при сравнении со значительно более сложной SPICE-моделью, обеспечивая при этом значительный выигрыш в производительности и экономии вычислительных ресурсов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования поведенческих моделей в качестве основы для получения нормативно-справочной информации для процесса тестирования электронных компонентов, что позволяет значительно сократить объем подготовительных работ при организации автоматизированного тестирования изделий микроэлектроники.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 8.1729.2017/4.6).

Литература

1. National Instruments: тестирование, измерения и встраиваемые системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ni.com/ru-ru.html>, свободный (дата обращения: 05.08.2017).
2. IEEE standard VHDL analog and mixed-signal extensions: approved 18 March 1999. – New York: Inst. of Electrical and Electronics Engineers, 1999. – 303 p.

3. Ashenden P.J. The system designer's guide to VHDL-AMS: analog, mixed-signal, and mixed-technology modeling / P.J. Ashenden, G.D. Peterson, D.A. Teegarden. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002. – 800 p.

4. Advances in design and specification languages for SoCs: selected contributions from FDL'04 / ed. by P. Boulet. – Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005. – 305 c.

5. Cooper S. Introduction To The VHDL-AMS Modeling Language / S. Cooper, Mentor Graphics / Denver Chapter IEEE Power. Electron. Soc. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.denverpels.org/Downloads/Denver_PELS_20071113_Cooper_VHDL-AMS.pdf, свободный (дата обращения: 05.08.2017).

6. Karimi G.R. Behavioral modeling and simulation of semiconductor devices and circuits using VHDL-AMS / G.R. Karimi, S. Mirzakuchaki // Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering. – 2008. – Vol. 4, № 4. – PP. 165–175.

7. Pecheux F. Modeling and simulation of multi-discipline systems using bond graphs and VHDL-AMS / F. Pecheux et al. // Proceedings of the International Conference on Bond Graph Modeling and Simulation (ICBGM). – New Orleans, Louisiana. – 2005. – PP. 149–155.

8. LM2596 Simple switcher Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator. Texas Instruments. [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://www.ti.com/product/lm2596>, свободный (дата обращения: 20.07.2017).

9. SystemVision Cloud.The Free Cloud-Based Simulation Tool. Mentor Graphics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://systemvision.com>, свободный (дата обращения: 20.08.2017).

УДК 621.315.592

А.А. Томашевич, С.Г. Еханин, С.Л. Аржаков, К.К. Слепцов

Исследование изменений обратных вольт-амперных характеристик светодиодов на основе нитрида галлия в зависимости от режимов и времени испытаний

Проведены теоретические и экспериментальные результаты исследования вольт-амперных характеристик светодиодов на основе нитрида галлия. Описаны результаты исследования изменений вольт-амперных характеристик светодиодов в зависимости от режимов и времени испытаний. Представлены графики изменения прямой и обратной ветвей вольт-амперных характеристик, изменения плотности тока в зависимости от режимов и времени испытаний. Описан эффект восстановления параметров светодиодов при многочасовом «отдыхе». Предлагается метод контроля за динамикой накопления дефектов в структуре светодиода в процессе испытаний при разных режимах. Обсуждены полученные результаты.

Ключевые слова: светодиод, вольт-амперная характеристика, механизмы деградации, туннельная электролюминесценция, кристаллические поля.

В настоящее время светодиоды на основе GaN (далее – СИД) являются перспективными элементами приборов освещения и индикации. Они имеют множество плюсов в сравнении с другими источниками света.

Однако долговечность СИД напрямую зависит от конкретного производителя и разброса параметров. Также в СИД протекают процессы деградации, которые являются одной из главных проблем современной светодиодной светотехники.

Существуют методы ранней диагностики деградации СИД, известные из уровня техники, некоторые из них довольно требовательны к оснащению

лабораторий современным дорогостоящим оборудованием. В связи с этим становится актуальным разработка методик, которые позволяли бы проводить раннюю диагностику деградации и выбирать оптимальный режим работы СИД. Данная работа посвящена исследованию ранней диагностики деградации СИД на основе GaN с помощью измерений ВАХ в области микро- и нанотоков в зависимости от режимов и времени испытаний.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования выбраны СИД фирмы «SemiLEDs», модель «SL-V-B24AD», они созданы на основе кристаллов GaN без люминофор-