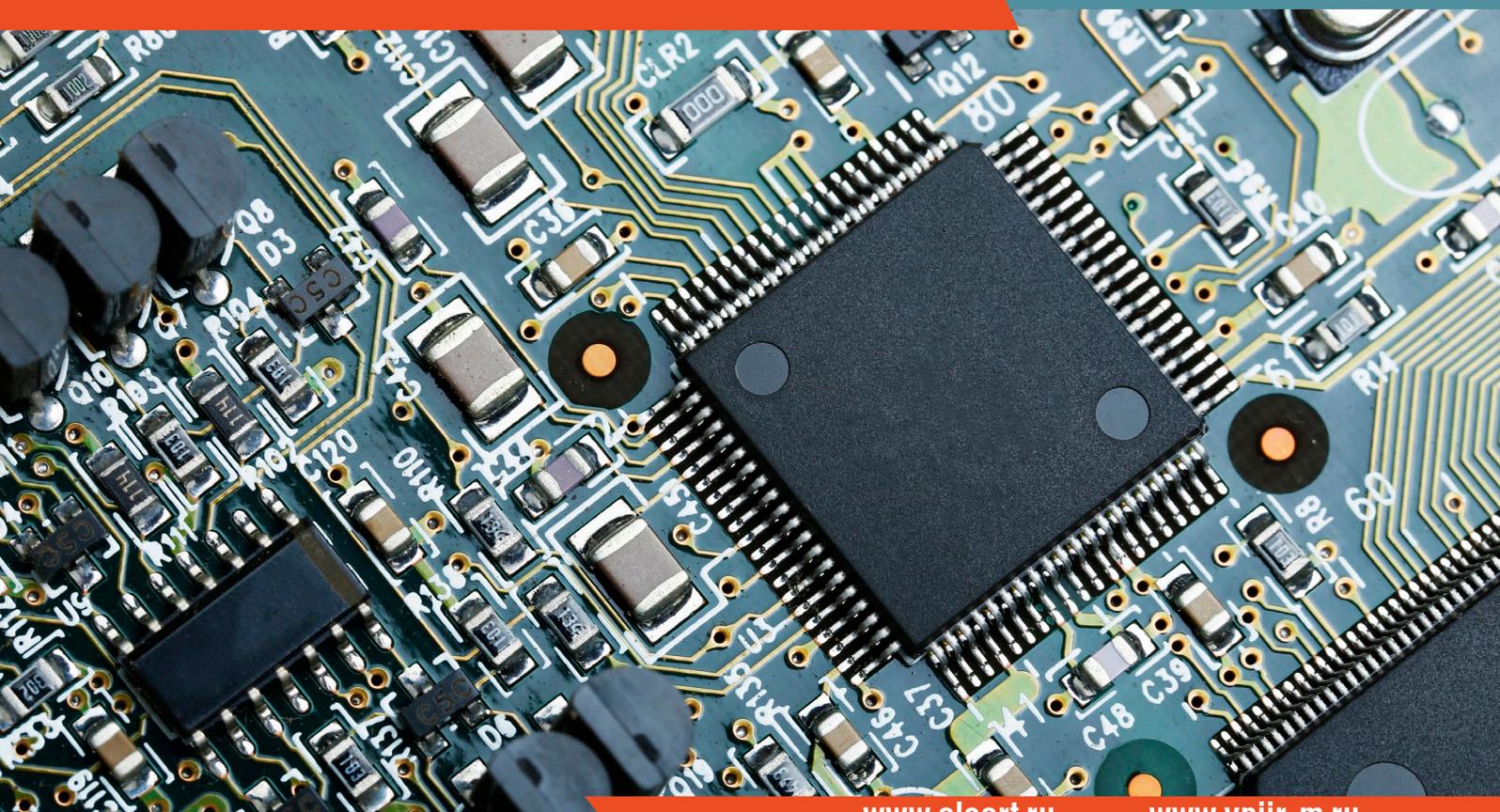


2 (6) | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2022 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



www.elsert.ru

www.vniir-m.ru

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИНФОРМАЦИЯ
РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ
КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ
СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ, ИХ АКТУАЛИЗАЦИЯ И ПОДДЕРЖКА В ТЕЧЕНИЕ СТАДИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

THE ORDER OF DEVELOPMENT OF MODELS OF INNOVATIVE ELECTRONIC COMPONENT BASE, THEIR UPDATING AND SUPPORT DURING THE STAGES OF THE LIFE CYCLE

Дормидошина Д. А., заместитель генерального директора АО «ЦКБ «Дейтон», эксперт по стандартизации;
+7 (925) 104–77–96, dormidoshina@deyton.ru

Dormidoshina D. A., deputy General Director of JSC «Central Design Office «Deyton», expert on standardization;
+7 (925) 104–77–96, dormidoshina@deyton.ru

Аннотация. *Одной из составляющих обеспечения правильности применения ЭКБ является автоматизация разработки РЭА. На этапе разработки РЭА крайне важно получать качественный результат по итогам первого цикла проектирования. Применение моделей в САПР позволяет сократить число итераций проектирования, проанализировать и оптимизировать поведение отдельных частей РЭА на ранних этапах проектирования, что существенно снижает сроки и затраты на разработку РЭА.*

Модели обеспечивают системное единство САПР, определяющих объект проектирования в целом – РЭА, а также комплекс системных интерфейсов, обеспечивающих указанную взаимосвязь.

Модели относят к компонентам математического обеспечения САПР в совокупности с методами математического моделирования и процессами проектирования РЭА, алгоритмами решения задач в процессах проектирования. Взаимосвязи между компонентами математического обеспечения должны формализовывать процессы проектирования и их целостность.

Annotation. *One of the components of ensuring the correct application ECB is the automation of the development of electronic equipment. At the stage of development of electronic equipment, it is extremely important to obtain a high-quality result based on the results of the first design cycle. The use of models in computer-aided design makes it possible to reduce the number of design iterations, analyze and optimize the behavior of individual parts of electronic equipment at the early stages of design, which significantly reduces the time and cost of developing electronic equipment.*

Models provide the system unity of computer-aided design that determine the design object as a whole – electronic equipment, as well as a set of system interfaces that provide the specified interconnection.

Models are classified as components of computer-aided design software in conjunction with mathematical modeling methods and electronic equipment design processes, algorithms for solving problems in design processes. Relationships between software components should formalize the design processes and their integrity.

Ключевые слова: электронная компонентная база, стадии жизненного цикла, модель, система автоматизированного проектирования, радиоэлектронная аппаратура.

Keywords: electronic component base, life cycle stages, model, computer-aided design system, electronic equipment.

Введение

Модели разрабатываются, начиная с этапа подготовки к выпуску опытного образца электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), актуализируются и поддерживаются на всех стадиях жизненного цикла (далее – СЖЦ). Для одного изделия может быть разработано и использоваться в различных системах автоматизированного проектирования (далее – САПР) несколько моделей. Их количество определяется интенсивностью применения



Дормидошина Д. А.

ЭКБ в различных условиях, в различной радиоэлектронной аппаратуре (далее – РЭА), в нескольких организациях, в различных САПР. Связанная совокупность моделей различных видов, описывающих, с требуемым уровнем адекватности, свойства и поведение ЭКБ, изменение характеристик и внутренних процессов в зависимости от решаемых задач и условий их выполнения, является «цифровым двойником» ЭКБ.

Основная часть

Стадии жизненного цикла моделей

СЖЦ моделей представляют собой набор фиксированных состояний моделей в ходе их создания и применения, включающий совокупность явлений и процессов, которые определяются временем от постановки задачи на разработку модели. При необходимости могут создаваться новые версии модели.

Для одного изделия может быть разработано и использоваться в различных САПР несколько моделей. Их множественность определяется необходимостью применения ЭКБ в различных условиях.

Конкретный состав исследуемых свойств изделий, объём работ и степень детализации при моделировании

определяются для каждой модели индивидуально в зависимости от: типа изделия, СЖЦ, требований заказчика, сложности изделия.

Модель проходит жизненный цикл, который обычно состоит из нескольких фаз. Жизненный цикл начинается со стадии постановки задачи на разработку модели, на которой должно быть определено: для какого изделия и какого вида модель разрабатывается, для какой САПР, с какими свойствами.

СЖЦ модели:

- 1) постановка задачи на разработку модели;
- 2) исследование свойств моделируемой ЭКБ;
- 3) задание допустимого уровня адекватности модели;
- 4) создание модели;
- 5) верификация модели;
- 6) валидация модели;
- 7) разработка документации на модель.

Модели разрабатываются, актуализируются и поддерживаются в течение всех СЖЦ.

1. Постановка задачи на разработку модели

Постановка задачи на разработку модели включает:

а) сбор исходных материалов, объём и содержание которых определяется целью моделирования и имеющейся информацией об ЭКБ, находящейся в конструкторской и технологической документации, в т. ч. числе регламентирующей применение изделий (карты рабочих режимов, схемы включения, протоколы разрешения на применение, решения на применение). Исходными материалами также являются характеристики САПР, с помощью которой планируется проведение моделирования и материалы, определяющие требования к моделям;

б) выбор и обоснование критериев эффективности и качества разрабатываемой модели определяются степенью, с которой модель SPICE будет соответствовать заявленным характеристикам, требованиям в достижении целей и снижению рисков получения отрицательного результата;

в) обоснование необходимости разработки модели;

г) определение структуры входных и выходных данных;

д) предварительный выбор методов решения задачи;

е) обоснование целесообразности использования применяемых методов разработки модели;

ж) требования к программно-техническим средствам, необходимым для разработки модели;

з) обоснование принципиальной возможности решения поставленной задачи, которое базируется на экспертных оценках ранее выполненных работ, с учётом навыков и компетенций, опыта и знаний разработчиков и специалистов по тестированию результатов функционирования моделей;

и) определение требований к разрабатываемой модели:

– соответствие потребностям конструкторов РЭА;

– уровень адекватности модели;

– универсальность модели;

– надёжность;

– экономичность;

– простота;

– потенциальность;

– способность к конвертированию и миграции модели;

к) технико-экономическое обоснование разработки модели;

л) определение этапов и сроков разработки модели и описаний к ней;

м) выбор способов написания модели (алгоритмических и программных языков). Определяется предполагаемой к применению САПР.

2. Исследование свойств моделируемой ЭКБ

Свойства моделируемой ЭКБ как объективные особенности изделия могут проявляться на различных СЖЦ. В процессе исследований свойства выделяют, группируют по признакам и устанавливают связи между ними. Оценивается соответствие свойств установленным требованиям и возможностям построения математических зависимостей, отражающих функционирование изделия. По результатам оценки определяются обязательные для рассмотрения свойства и второстепенные, которыми можно пренебречь. При этом определяются допущения или ограничения модели, в рамках которых результаты моделирования можно считать корректными, а модель – соответствующей допустимому уровню адекватности.

3. Задание допустимого уровня адекватности модели

Задание допустимого уровня адекватности модели зависит от предполагаемых условий функционирования моделируемой ЭКБ. Эти условия характеризуются параметрами внешних воздействий и параметрами моделируемой ЭКБ. Для этих параметров выделяются допустимые отклонения и ограничения, для которых погрешность параметров меньше заданной предельно допустимой, определяемой уровнем адекватности модели.

4. Создание модели

Для каждого выделенного свойства изделия составляют уравнения или другие математические соотношения, являющиеся математическим описанием. Они описывают зависимость между исходными данными и искомыми величинами, а также отношения между выделенными свойствами изделия.

Для построения математических описаний используются:

– фундаментальные законы, которые признаны, доказаны опытом и являются базой для построения математических описаний;

– вариационные принципы, основанные на утверждениях о вариантах поведения моделируемого изделия, при этом выбирается вариант, максимально соответствующий заданным условиям функционирования изделия;

– принципы аналогии, когда невозможно выбрать фундаментальные законы или вариационные принципы, а также, когда подобные законы могут не существовать и описать их математически не представляется возможным;

– иерархии математических описаний, обобщающих предыдущие, как частные случаи. Описания нижнего уровня создаются простыми, типовыми, допускающими широкую унификацию и использование набора готовых выражений. При этом на этапе моделирования следует учитывать взаимосвязь элементов и уровней иерархических описаний;

– блочный принцип, предполагающий создание модели из отдельных логически законченных блоков, отражающих ту или иную сторону рассматриваемого процесса.

Блочный принцип позволяет:

а) разбить общую задачу построения модели на отдельные подзадачи и тем самым упростить её решение;

- б) использовать ранее разработанные блоки из других моделей;
- в) совершенствовать отдельные блоки и заменять их на новые.

Математическое описание модели SPICE представляет собой совокупность математических описаний отдельных блоков. Каждый блок модели может иметь различную степень детализации математического описания. Входные и выходные переменные всех блоков модели должны находиться во взаимном соответствии, что обеспечивает получение системы уравнений, описывающей модель в целом.

Современные методы анализа работы исследуемой ЭКБ основываются на приёмах, связанных с построением её эквивалентных схем. На практике такой подход позволяет получить наиболее точные результаты, которые дают современные средства моделирования. Они позволяют производить необходимые расчёты при наличии достаточных ресурсов вычислительной техники. Результаты расчёта процессов позволяют оценить соответствие схемы установленным требованиям и являются логическим развитием методов эквивалентной схемы или схем замещения ЭКБ. Схема замещения – это схема электрической цепи, отображающая свойства цепи при определённых условиях. Эквивалентная схема – это схема замещения электрической цепи, в которой величины, подлежащие рассмотрению, имеют те же значения, что и в исходной схеме замещения. Абстрагируясь от конкретной структуры, к примеру, определённые типы ЭКБ могут быть представлены в виде многополюсника, подключенного к источнику сигнала V_1 , нагруженного на сопротивление Z_H , представленный на рис. 1.

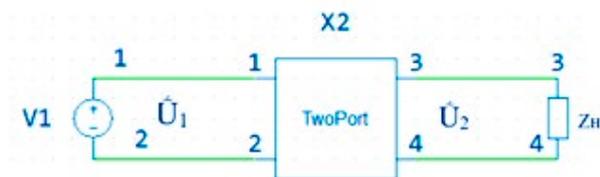


Рис. 1

Многополюсник представляет собой электрическую цепь, имеющую более двух выделенных выводов для соединения с другими цепями. Многополюсник применяется для проведения анализа и синтеза процессов и их декомпозиции в рамках системного подхода.

Для примера: использование многополюсника определило необходимые последовательности формул и логических операторов, представленные на рис. 2, которые характеризуют эквивалентную схему преобразователя, разработки АО «ГИРООПТИКА».

Модель базируется на алгоритмическом методе решения, представляющего последовательность алгебраических формул и логических операторов. При этом для одной модели могут существовать различные вычислительные алгоритмы. Они могут решаться как приближённым, так и численным методами, вследствие применения которых возникают погрешности, которые подразделяются на:

- неустранимые погрешности, связанные с неточным заданием исходных данных;

- погрешность метода, связанная с переходом к дискретному аналогу исходной задачи;
- погрешность округления, связанная с конечной разрядностью чисел в вычислительных средствах.

$$F_{(TD)} = \{(Td_n_bit * T_t) / T_n - (Td_n_bit * k1)\} / k2$$

Где: Td_n_bit – значение последовательности TD в битах при нормальной температуре;

T_t – текущее значение температуры;

$k1, k2$ – поправочные коэффициенты.

Зависимость отсчетов по оси абсцисс задаваемым значениями ускорения:

$$F(g) = \begin{cases} F(g1) \\ F(g1) + F(g2), \text{ots} = 2 \\ F(gn) + \dots + F(gn), \text{ots} = n \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{cases}$$

где: ots – количество точек измерения.

Рис. 2

Как численный, так и приближённый методы разработки моделей предполагают составление вычислительного алгоритма. Требования, предъявляемые к вычислительным алгоритмам:

- реализуемость – обеспечение решения задачи за допустимое время работы вычислительных средств;
- точность – получение решения задачи с определённой погрешностью и за конечное число операций;
- экономичность – выполнение меньшего числа действий для достижения заданной точности;
- устойчивость – исключение изменения погрешности в процессах моделирования.

Для создания наиболее точных вычислительных алгоритмов необходимо формировать их многочисленные модификации с учётом специфических особенностей конкретной задачи. Можно выделить следующие группы численных методов в зависимости от математических описаний свойств ЭКБ, к которым они применяются:

- интерполяция и численное дифференцирование – аппроксимация (приближение) зависимости, от которой берётся производная, интерполяционным многочленом;
- численное интегрирование – интегрирование функций, известных только в нескольких точках, полученных в результате измерений, методами: разбиения отрезка интегрирования на равные интервалы; разбиения отрезка интегрирования с помощью точек (формулы Гаусса); вычисление интегралов с помощью случайных чисел (метод Монте-Карло);
- отделение корней линейных и нелинейных уравнений;
- для задачи разработки моделей и моделирования используются только вещественные корни, определяется их наличие, количество и нахождение для каждого из них достаточно малого отрезка, которому он принадлежит;
- решение систем линейных уравнений;
- решение систем нелинейных уравнений;
- решение дифференциальных уравнений;
- решение краевых задач для дифференциальных уравнений – нахождение решения заданного дифференциального уравнения (системы дифференциальных уравнений), удовлетворяющего крайним (граничным) условиям в концах интервала или на границе области;

- решение уравнений в частных производных (уравнения Пуассона или Лапласа) – описывают стационарные процессы, волновое уравнение, колебательные явления, уравнение теплопроводности (описывает распределение температуры в заданной области изделия и её изменение во времени);
- решение интегральных уравнений.

Выбор конкретных методов определяется постановкой задачи на разработку модели для целей обеспечения наилучшей эффективности модели, устойчивости и точности результатов.

Полученные совокупности математических уравнений, однозначно описывающих ЭКБ как объект моделирования, необходимо проверить на корректность:

- размерности;
- порядка;
- характера зависимостей;
- правил предотвращения экстремальных ситуаций;
- граничных условий;
- физического смысла;
- анализа математической замкнутости.

Создание надёжного и функционального программного кода (текста) модели зависит от знания и умения применять алгоритмические языки, технологии и языки

- перечень компонентов, необходимых для моделирования;
- рабочие характеристики;
- возможности и ограничения;
- перечень команд;
- режимы работы;
- характеристики ввода/вывода;
- описания носителей данных;
- пошаговые инструкции для выполнения моделирования;
- диагностические сообщения;
- ошибки и требуемые действия по их устранению.

5. Верификация и валидация модели

Проверка адекватности модели проводится по тем свойствам ЭКБ, которые определены постановкой задачи. Адекватность модели оценивается в результате её верификации и валидации. Верификация модели предполагает проверку правильности структуры и логики текста модели, оценку соответствия структуры и логики действующим документам по стандартизации.

Структурно текст модели представляет собой комбинацию элементов: переменных; параметров; зависимостей; ограничений – которые являются составными частями текста модели и, при наличии

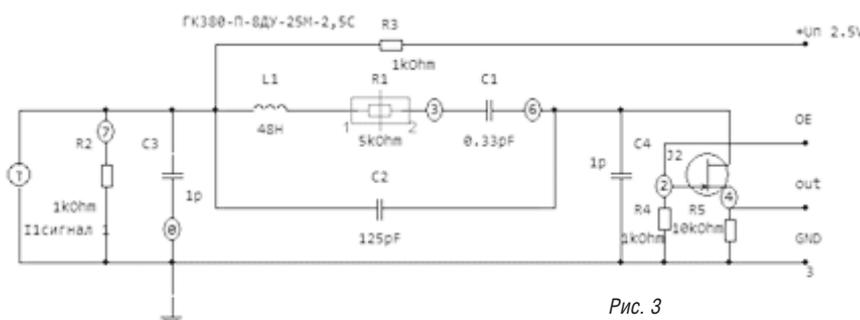


Рис. 3

```
.MODEL RES_DEFAULT_MODEL RES(
+R=1
+TCE=0
+T_ABS=undefined
+T_MEASURED=undefined
+T_REL_GLOBAL=undefined
+T_REL_LOCAL=undefined
+)
```

программирования, ресурсы технических средств, нормативные документы. Текст модели должен быть модульным, необходимо соблюдать его структуру, согласованность входных и выходных параметров.

Разработка текста модели выполняется в соответствии с требованиями стандартов, регламентирующих разработку программ и руководств по эксплуатации САПР.

В качестве программного обеспечения для создания текста моделей используются: текстовые редакторы, электронные формы, программные генераторы, средства конвертирования данных в формат модели. Указанное программное обеспечение может применяться в составе САПР, программ анализа и проверки схем, других программных средств.

К примеру, разработка модели SPICE позволяет вводить в редакторе текст модели, состоящий из строк, в т. ч. и директив о включении файлов других моделей, содержащих фрагменты схем или моделей, комплектующих ЭКБ и конвертировать их в САПР. В то же время другие САПР позволяют создавать модели SPICE автоматизировано с помощью электронных форм. На рис. 3 представлен пример электронной формы для формирования модели резистора (R1) эквивалентной схемы генератора, разработанного АО «Завод «Метеор».

Описание модели должно включать:

- конфигурации вычислительной системы и САПР, для которых применяется модель;

соответствующих связей, её образуют. Элементы объединены процессами взаимодействия и взаимосвязи для выполнения заданной функции моделью. Структура для видов модели может быть определена в документах по стандартизации. К примеру, фрагмент структуры модели IBIS согласно документу I/O Buffer Information Specification IBIS 7.0, который используется для написания данных о корпусах микросхемы, представлен на рис. 4.

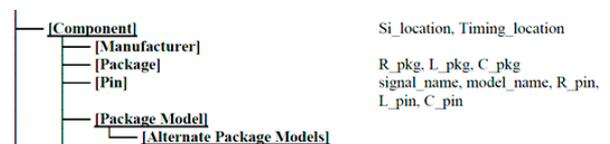


Рис. 4

Верификация обеспечивает адекватность модели. Оценка адекватности модели выполняется с помощью валидации путём использования других моделей и проведения экспериментов над моделью.

Валидация модели проводится по тем свойствам ЭКБ, которые определены постановкой задачи. Положительный результат валидации модели доказывается отражением заданных свойств выходных параметров модели и свойств ЭКБ с достаточной точностью совпадения значений. По таким совпадениям значений определяется адекватность модели, показатель которой зависит от предполагаемых условий функционирования ЭКБ.

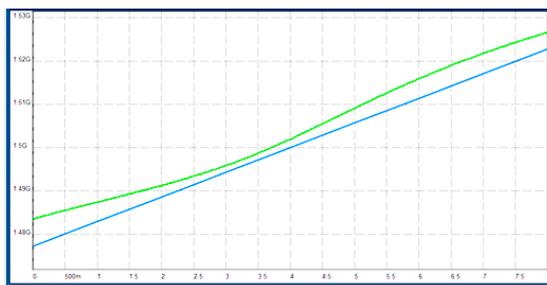


Рис. 5

На рис. 5 представлены результаты валидации модели управляемого напряжением генератора, разработанного АО «Завод «Метеор», – зависимость частоты от управляющего напряжения (нижняя линия) и измеренные значения (верхняя линия), проведенные с помощью САПР Delta Design.

- рабочие характеристики;
- возможности и ограничения;
- перечень команд;
- режимы работы;
- характеристики ввода/вывода;
- описания носителей данных;
- пошаговые инструкции для выполнения моделирования;
- диагностические сообщения;
- ошибки и требуемые действия по их устранению.

Заключение

Для поддержания модели на СЖЦ ЭКБ должно учитываться, что при переходе ЭКБ на стадию серийного выпуска потребуется разработка новой версии модели и главными требованиями становятся расширение функциональных возможностей управления моделью и способность модели к проведению конвертирования.

V	F _{мод} , Гц	F _{изм} , Гц	Разброс, Гц	%
0,00	1477200000,00	1483454892,00	6254892,00	0,42
1,00	1482900000,00	1487388725,00	4488725,00	0,30
2,00	1488600000,00	1491240759,00	2640759,00	0,18
3,00	1494300000,00	1495847346,00	1547346,00	0,10
4,00	1500000000,00	1501960687,00	1960687,00	0,13
5,00	1505700000,00	1509101609,00	3401609,00	0,23
6,00	1511400000,00	1515923238,00	4523238,00	0,30
7,00	1517100000,00	1521771514,00	4671514,00	0,31
8,00	1522800000,00	1526637485,00	3837485,00	0,25

Рис. 6

Для доказательства с заданной точностью адекватности модели используется валидационный базис, как упорядоченная совокупность данных, содержащая результаты моделирования и измерения свойств ЭКБ.

Валидационный базис управляемого напряжением генератора, разработанного АО «Завод «Метеор», представлен на рис. 6. Данные показывают высокую степень адекватности модели. От адекватности модели зависит её аутентичность, надёжность, целостность и пригодность к использованию.

6. Разработка документации на модель

Документация на модель оформляется в виде электронного документа в соответствии с ГОСТ 2.051. Реквизитная часть электронного документа модели выполняется по ГОСТ 2.058. В документе допускается вводить дополнительные реквизиты. Модель может иметь графические представления, иллюстрирующие её структуру и взаимосвязи. Графические представления модели носят справочный характер и включаются как приложения в документ. Результаты верификации и валидации включаются в документацию на модель.

Документация на модель содержит её описание.

Описание модели должно включать:

- конфигурации вычислительной системы и САПР, для которых применяется модель;
- перечень компонентов, необходимых для моделирования;

Литература

1. ГОСТ 2.052 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.
2. ГОСТ 2.056 Единая система конструкторской документации. Электронная модель детали. Общие положения.
3. ГОСТ 23501.101 Системы автоматизированного проектирования. Основные положения.
4. ГОСТ 23501.602 Системы автоматизированного проектирования. Правила разработки и применения типовых математических моделей при проектировании технологических процессов.
5. ГОСТ Р 2.057 Единая система конструкторской документации. Электронная модель сборочной единицы. Общие положения.
6. ГОСТ Р 57412 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения.
7. ГОСТ Р 57700.21 Компьютерное моделирование в процессах разработки, производства и обеспечения эксплуатации изделий. Термины и определения.
8. ГОСТ Р 57700.23 Компьютерные модели и моделирование. Валидация. Общие положения.
9. ГОСТ Р 57700.24 Компьютерные модели и моделирование. Валидационный базис.
10. ГОСТ Р 57700.25 Компьютерные модели и моделирование. Процедуры валидации.