

Литература

1. Нанотехнологии в электронике. Вып. 3. /Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015. 480 с.
2. Varadan V.K., Vinoy K.J., Jose K.A. RF MEMS and their applications. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2003.- 528p.
3. Britkov O., Timoshenkov S., Korobova N., Shepelev S., Mikheev A. Features design and manufacturing technology in micro-electromechanical encapsulated devices/Proceedings SPIE Microtechnologies - 2015, Barcelona, 9517, 95171Z
4. Korobova N., Timoshenkov S., Britkov O., Shepelev S., Mikheev A. Packaging Problem in Microelectronics Due to Stress and Fracture at the "Metal-Ceramic" Interface/ Proceedings 2015 IEEE 35rd International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology, ELNANO-2015, IEEE. 21-24 April, Kyev, pp.234-238
5. Kravtsova V., Umerzakova M., Korobova N., Timoshenkov S., Timoshenkov V., Orlov S., Iskakov R., Prikhodko O. Electro-optical and physic-mechanical properties of colored alicyclic polyimide/ Proc. SPIE 9939, Light Manipulating Organic Materials and Devices III, 99390R (September 23, 2016); San Diego, California, United States. August 28, 2016
6. Нанотехнологии в электронике. Вып. 2. /Под ред. Ю.А. Чаплыгина.- М.: ТЕХНОСФЕРА, 2013. - 688с.
7. Данильцев Д., Михеев А., Греков О. Инерциальные датчики и модули на основе МЭМС/ Современная электроника. -2014.- №4. - с. 34-35.
8. Егоров Д.А., Драницына Е.В., Унтилов А.А., Дейнека Г.Б., Шарков, И.А., Дейнека И.Г. Снижение влияния изменения температуры на выходной сигнал волоконно-оптического гироскопа/ Гироскопия и навигация.- 2012.- Вып. 79.- №4.- с. 10-20.
9. Шарков И.А., Шаркова О.А., Михреньгин М.В., Волковский С.А. Компенсация температурного дрейфа показаний волоконнооптического гироскопа/ Труды II Всероссийского конгресса молодых ученых. Вып. 1, СПб НИУ ИТМО, 2013, с.131-132.

МОДУЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СИСТЕМОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕМЕЙСТВА SPICE ДЛЯ  
ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Назаров Д.А.

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток  
nazardim@iacp.dvo.ru

В работе рассматривается подход к использованию моделей электротехнических систем, заданных в формате SPICE в программной системе построения и анализа областей работоспособности технических систем. Описывается функционал модуля, осуществляющего взаимодействие этой системы с программой симуляции электрических цепей для выполнения многовариантного анализа при построении области работоспособности.

Ключевые слова: надежность, область работоспособности, spice.

The software component for interaction with SPICE electric circuit simulation software for acceptability region determination. Nazarov D.A. , Institute of automation and control processes FEB RAS, Vladivostok.

The paper proposes the approach to SPICE described circuit models usage in software system for acceptability regions construction and analysis. Main functions of proposed software component for interaction between this software system and electronic circuit simulation program during multivariate analysis for acceptability region determination are described.

Keywords: reliability, acceptability region, spice.

Введение

Задача построения и анализа областей работоспособности (ОР) технических систем возникает на этапе проектирования. Особую важность эта задача приобретает при анализе допустимых отклонений параметров от их расчетных значений для систем ответственного назначения. Эти отклонения неизбежно возникают под влиянием факторов как внешней среды, так и в процессе износа. Возникающие изменения параметров приводят к изменениям выходных характеристик, что может приводить к отказам. Анализ областей работоспособности в пространстве параметров элементов систем позволяет получить дополнительные знания о допустимой вариации параметров и принять соответствующие меры на этапе проектирования.

В рамках программной Системы нахождения и использования областей работоспособности (СНИОР) [1] модель исследуемой технической системы задается в виде динамически присоединяемых библиотек. Трудность такого подхода состоит в необходимости программирования функций выходных параметров в определенном виде и компиляции присоединяемых библиотек для платформы, на которой выполняются моделирование. При анализе электрических цепей может быть удобным использование специализированного пакета стандарта SPICE [2]. В этом случае возникает необходимость в дополнительном модуле, обеспечивающем взаимодействие блока моделирования СНИОР со сторонней программной системой симуляции и расчета электрических цепей.

В данной работе описываются основные требования к такому модулю и принципы взаимодействия между сторонней программой симуляции и программной системой СНИОР.

#### Постановка проблемы

В рамках рассматриваемой СНИОР исследуемая техническая система рассматривается в виде зависимостей вектора выходных характеристик  $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  от вектора параметров ее элементов  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ :

$$y_i = y_i(\mathbf{x}), \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

На выходные характеристики налагаются ограничения, обычно указываемые в техническом задании и определяющие условия работоспособности (УР) системы:

$$y_{i \min} \leq y_i(\mathbf{x}) \leq y_{i \max}, \forall i = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Нарушение условий (2) квалифицируется как отказ системы. К этому состоянию приводят изменения значений параметров элементов  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , которые возникают под влиянием факторов внешней среды и внутренних процессов износа и старения. В условиях параметрического дрейфа и требований обеспечения параметрической надежности возникает задача выбора таких номинальных значений параметров элементов, которые бы обеспечили выполнение условий работоспособности (2) в течение заданного периода эксплуатации. Эта задача называется задачей параметрического синтеза и формулируется следующим образом [3]:

$$\mathbf{x}_{nom} = \arg \max P(\mathbf{y}_{\min} \leq \mathbf{y}(\mathbf{X}(\mathbf{x}_{nom}, t)) \leq \mathbf{y}_{\max}, \forall t \in [0, T]), \quad (3)$$

где  $\mathbf{X}(\mathbf{x}_{nom}, t)$  – случайный процесс изменения параметров,  $T$  – заданное время эксплуатации. Практическое применение стохастического критерия (3) требует многократных симуляций системы для вычисления ее выходных характеристик, что требует больших вычислительных затрат, поэтому имеет место следующая его формулировка:

$$\mathbf{x}_{nom} = \arg \max P(\mathbf{X}(\mathbf{x}_{nom}, t) \in D_x, \forall t \in [0, T]), \quad (4)$$

где проверка выполнения УР (2) заменена проверкой нахождения параметров  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  элементов системы в области  $D_x$ , называемой *областью работоспособности*, являющейся отображением УР (2) в пространство внутренних параметров исследуемой системы:

$$D_x = \{\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n \mid y_{i \min} \leq y_i(\mathbf{x}) \leq y_{i \max}, \forall i = 1, 2, \dots, m\}. \quad (5)$$

Таким образом, область работоспособности (5) является множеством точек пространства внутренних параметров системы, в которых ее выходные характеристики  $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  удовлетворяют УР (2).

Получение характеристик ОР позволяет существенно снизить вычислительные затраты расчета стохастических критериев при решении задачи параметрического синтеза (4), а также дает возможность применения детерминированных методов выбора номинальных значений параметров и иных исследований области допустимой вариации внутренних параметров системы [4, 5, 6].

В рамках рассматриваемой СНИОР используется дискретное представление ОР, основанное на методе многомерного зондирования в узлах регулярной сетки и аппроксимации многомерной фигуры множеством непересекающихся элементарных гиперпараллелепипедов, заданных узлами сетки. Подробно этот метод аппроксимации ОР описан в работах [5, 7], а к теме данной работы он не имеет непосредственного отношения. Важно только отметить использование метода многомерного зондирования по узлам многомерной регулярной сетки в пространстве параметров элементов, реализующий многовариантный анализ процесса параметрического дрейфа. На рисунке 1 схематично проиллюстрирован используемый в СНИОР способ дискретного представления ОР для двумерного пространства параметров.

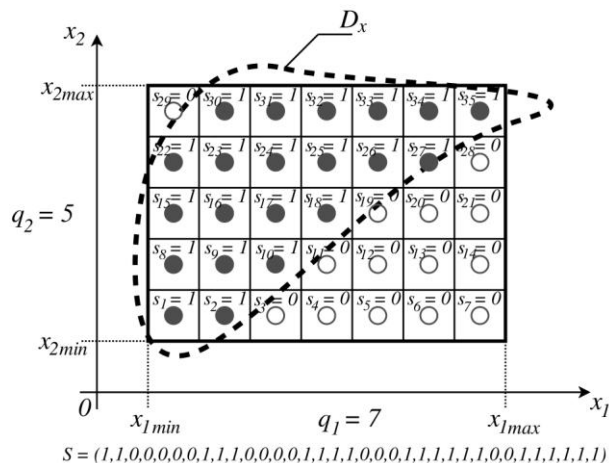


Рисунок 1 – Дискретное представления области работоспособности (двумерный случай).

#### Использование программных средств эмуляции электрических цепей SPICE

В данной работе в качестве используемого для эмуляции электрических цепей программного средства рассматривается одна из свободных реализаций программного симулятора семейства SPICE – Ngspice [2]. Эта программа основана на SPICE3, поэтому описание схем задается аналогично другим пакетам этого семейства - в виде списка узлов, содержащих различные компоненты, например, запись «R1 1 2 1K» означает наличие резистора с условным обозначением «1», имеющего сопротивление 1 КОм между узлами цепи 1 и 2; запись «C2 3 4 uF» указывает на то, что между узлами 3 и 4 находится конденсатор «2» с емкостью мкФ. Все перечисленные участки цепи с элементами формируют описание всей цепи. Ngspice позволяет выполнять следующие виды анализа цепей:

- Анализ цепи по постоянному току,
- Анализ цепи по переменному току,
- Анализ переходных процессов,
- Полюсы и нули передаточной функции,
- Анализ искажения малых сигналов,
- Анализ чувствительности,
- Анализ генерируемых шумов.

Ngspice позволяет варьировать значения напряжений в цепи, но вариации значений параметров схемных элементов задаются статично в описании цепи. Задача построения ОР ориентирована именно на вариацию параметров элементов (величина сопротивления резисторов, емкости конденсаторов и т.д.). Таким образом, одним из способов использования программы Ngspice как внешнего средства симуляции электрических цепей в СНИОР является ее программный компонент, выполняющий компоновку описания электрической цепи на основе определенного заранее шаблона, в котором должны быть выделены:

- Параметры с варьируемыми значениями (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т.д.) с указанием узлов цепи, между которыми он расположен;
- Узлы цепи, в которых требуется вычислять значения токов и напряжений.

Программный компонент СНИОР выполняет варьирование указанных параметров в заданных диапазонах с заданным согласно детализации ОР сетки шагом. На каждом шаге варьирования параметров выполняется подстановка их текущих значений в шаблон описания цепи. Готовое описание цепи с подставленными значениями параметров схемных элементов передается на выполнение программной системе Ngspice, которая в стандартный поток выводит результаты расчетов напряжений, токов и других доступных для вычисления характеристик в указанных узла цепи. Считанные результаты модуль СНИОР передает в блок моделирования, где выполняется проверка УР (2) и принимается решение о принадлежности текущего кванта параметров элементов аппроксимации ОР [5, 7].

#### Заключение

В программной системе построения и анализа ОР не всегда удобно использовать модели систем, запрограммированные в динамически присоединяемых библиотеках. В особенной степени это касается моделей электрических цепей, для которых можно использовать внешние средства симуляции. Одними из наиболее распространенных таких средств являются программные продукты, основанные на SPICE. Для таких средств симуляции описание цепи задается в текстовом формате в виде перечисления узлов

сети с расположенными между ними компонентами. Характеристики эти компонентов, как правило, задаются статично, в то время как построение ОР подразумевает исследование области допустимой их вариации. Предлагаемый в данной работе программный модуль в рамках системы построения и анализа ОР должен отвечать за формирование описания электрической цепи на основе заданного шаблона путем подстановки значений варьируемых параметров, отправки этого описания в моделирующую среду Ngspice, считывания интересующих результатов расчетов и передачи их обратно в систему построения ОР.

#### Литература

1. Абрамов О.В., Назаров Д.А. Программно-алгоритмический комплекс построения, анализа и использования областей работоспособности. / Информационные технологии и вычислительные системы. – 2015. - № 2., С.
2. Paolo Nenzi, Holger Vogt, Ngspice Users Manual Version 2bplus: руководство пользователя. 2013. URL: <http://ngspice.sourceforge.net/docs/ngspice-manual.pdf>
3. Абрамов О.В. Параметрический синтез стохастических систем с учетом требований надежности. – М.: Наука, 1992.
4. Абрамов О.В. Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности в задаче параметрического синтеза // Информатика и системы управления. – 2014. - №4(42). С. 53 – 66.
5. Назаров Д.А. Использование областей работоспособности для оптимального выбора номиналов параметров // Информатика и системы управления. – 2011. - №2(28). – С. 59 – 69.
6. Катуева Я.В., Назаров Д.А. Методы параметрического синтеза на основе сеточного представления области работоспособности // Информационные технологии. – 2015. - №9. С. 651 – 656.
7. Катуева Я.В., Назаров Д.А. Аппроксимация и построение областей работоспособности в задаче параметрического синтеза // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: ПГУ. – 2005. – 1 т. С. 130 – 134.

#### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ НА БАЗЕ АГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Романчева Н.И.  
ФГБОУ ВО МГТУ ГА  
+7 (499) 458-73-14, n.Romancheva@mstuca.aero

Статья посвящена исследованию влияния объективных связей и процессов системы планирования ресурсов (мониторинга и модификации плана обслуживания воздушных судов на перроне) на снижение расходов на наземное обслуживание воздушных судов. Основной проблемой оценки поведения сложной системы является то, что не учитываются сенсорные связи между активными элементами динамической системы, а учитывают лишь ряд сделанных допущений.

Ключевые слова: прогнозирование, программный агент, планирование ресурсов, наземное обслуживание.

The prediction of the behavior resource planning system based on the agent technology, Romancheva N.I., MSTUCA.

The article is devoted to the study of the influence of objective relations and processes resource planning (monitoring and modification of the maintenance plan of aircraft on the apron) on reduction of the expenses for aircraft ground handling The main problem of the evaluation of the behavior of a complex system is that not considered sensory connection between the active elements of a dynamic system, and take into account a number of assumptions made.

Keywords: forecasting, software agent, resource planning, ground handling.

#### Введение

В настоящее время существует ряд методик прогнозирования, использующих статистические модели и анализ временных рядов. Для систем, позволяющих автоматизировать процедуру планирования ресурсов аэропорта, занятых в наземном обслуживании воздушных судов (ВС), процесс прогнозирования должен базироваться на элементах системы искусственного интеллекта.

Очевидно, что новая концепция интеллектуальных информационных технологий, ориентированная на совместное использование моделей и методов естественного и искусственного интеллекта для виртуальных исследований и прогнозирования состояния и поведения активных систем,