

ботки *XML*-документов процессов. Представленная методика позволяет ускорить внедрение процессного управления на основе *BPMS*.

Выводы

Предложена методика, позволяющая при внедрении системы управления бизнес-процессами сократить стадию анализа и проектирования при-

ложения. Приведен порядок построения моделей в *BPMS*. Обоснована целесообразность моделирования бизнес-процессов с помощью традиционных средств моделирования с последующим использованием моделей для переноса в *BPMS* путем преобразования. Предложен алгоритм автоматизированного преобразования на основе обработки *XML*-файлов моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О'Лири Д. ERP системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация. — М.: Вершина, 2004. — 272 с.
2. Харрингтон Дж., Эсселинг К.С., Нимвеген Х.В. Оптимизация бизнес-процессов: Документирование, анализ, управление, оптимизация. — СПб.: АЗБУКА: БМикро, 2002. — 328 с.
3. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. — СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1997. — 332 с.
4. Калянов Г.Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов. — М.: СИНТЕГ, 2000. — 212 с.
5. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. — 2-е изд. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. — 408 с.
6. Свиначев С. Business Process Management: от идеи к практической реализации // PC Week / RE. — 2005. — № 34. — С. 39–41.
7. Белайчук А. Зачет по BPM // Открытые системы [Электронный ресурс]. — 2006. — № 1. — Режим доступа:

<http://www.osp.ru/os/2006/01/380764>, <http://bpms.ru/library/articles/bpm-exam/index.html>

8. Smith H., Fingar P. Business Process Management: The Third Wave. — Tampa: Meghan-Kiffer Press, 2003. — 311 p.
9. Chang J.F. Business Process Management Systems: Strategy and Implementation. — [s.l.]: Auerbach, 2005. — 286 p.
10. Web Services Business Process Execution Language Version 2.0. OASIS Standard [Электронный ресурс]. — 2007. — 264 p. — Режим доступа: <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0>.
11. Озерова И.Г. Сопоставление традиционных методологий описания бизнес-процессов и языка их исполнения // Известия Томского политехнического университета. — 2006. — Т. 309. — № 7. — С. 205–208.
12. Корпорация: языки управления бизнес-процессами. BPMML [Электронный ресурс]. — 2005. — № 41. — Режим доступа: <http://www.iso.ru/journal/articles/390.html>

Поступила 04.10.2007 г.

УДК 316.455:621.372.852

ФАКТОРНОЕ И РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ С ПЕРЕМЕННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ В СИСТЕМЕ STATISTICA

О.В. Стукач

Томский политехнический университет
E-mail: tomsk@ieee.org

Для проектирования дискретных устройств с переменными состояниями предложено использовать методы статистического моделирования, в частности, факторный и множественный регрессионный анализ. Показано, что статистические методы, ранее не используемые для решения данной задачи, позволяют выявить физические закономерности работы элементов схемы устройства, что способствует созданию структуры, оптимальной с точки зрения обеспечения минимума фазового сдвига при регулировании коэффициента передачи. Выявление и содержательная интерпретация факторных нагрузок, влияющих на различные исследуемые характеристики, позволяет изменить традиционную методологию и существенно упростить оптимизацию параметров коррекции и параметров регулирования в фазоинвариантных устройствах. Для проведения моделирования в работе использована компьютерная система Statistica 6.0.

Устройством с переменными состояниями (УПС) называется система, отклик которой зависит не только от входного воздействия, но и от обобщенного постоянного во времени параметра, определяющего состояние. Регулируемый усилитель или аттенуатор — это пример простейшего УПС, в котором коэффициент передачи может дискретно или плавно изменяться по какому-либо закону. Исследование УПС обычно проводится для

линеаризованных моделей, в которых переходный процесс, связанный с изменением параметра состояния, считается завершённым [1].

На практике при использовании УПС возникает необходимость достижения минимальной зависимости одних характеристик от других. Например, регулирование задержки не должно сопровождаться существенным изменением формы амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в поло-

се частот, а регулирование АЧХ не должно вызывать изменение фазового сдвига. Учет требования неизменности фазового сдвига при регулировании необходим при проектировании передатчиков с суммированием мощности, модулей активных фазированных решеток, прецизионных широкополосных усилителей, аттенуаторов и других устройств [2]. Изменение фазового сдвига обусловлено влиянием паразитных реактивностей управляемых элементов. Их технологическое уменьшение связано со значительными трудностями. Поэтому на практике активно используется компенсация паразитных реактивностей управляемых элементов схемотехническим путем.

1. Задача автоматизированного проектирования УПС

Задача синтеза наилучших схемотехнических решений для фазоинвариантных УПС в настоящее время не имеет общего решения. В данной статье рассматривается новый подход к проектированию управляемого дискретного сверхвысокочастотного аттенуатора методом статистического моделирования характеристик.

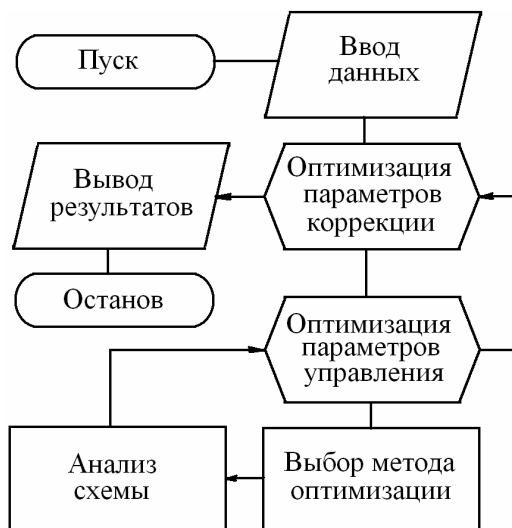


Рис. 1. Схема алгоритма оптимизации параметров УПС

Аттенуаторы, выполненные на основе Г-, Т- и П-образного соединения последовательно и параллельно включенных диодов, получили наибольшее распространение. Сопротивление диодов под воздействием управляющего тока может меняться в широких пределах, что позволяет изменять АЧХ и затухание в тракте [2]. Независимость фазового сдвига при регулировании затухания в таких аттенуаторах достигается с помощью реактивных цепей, включенных в базовую структуру. Очевидно, что при разном соотношении сопротивлений параллельных и последовательных диодов может быть получен один и тот же уровень вносимого ослабления. Но изменение фазового сдвига будет различным [3]. Поэтому в программах схемотехни-

ческого проектирования для проектирования УПС предусматривают два вложенных цикла оптимизации — для управляемых элементов и корректирующих цепей. Каждая итерация изменения параметров корректирующих цепей требует отдельной оптимизационной процедуры для управляемых элементов (рис. 1).

Исследуем возможность упрощения автоматизированного проектирования аттенуаторов, включающего двойную оптимизацию корректирующих цепей и параметров управляемых элементов.

2. Модель УПС и ее характеристики

В качестве исследуемого УПС будем использовать электрически управляемый аттенуатор, схема замещения которого приведена на рис. 2. Минимальный уровень затухания обеспечивается в случае малого сопротивления элемента R_s и большого сопротивления элемента R_p . По мере увеличения сопротивления элемента R_s и уменьшения R_p вносимое ослабление увеличивается.

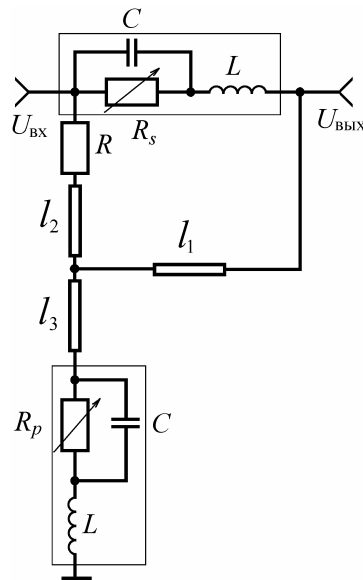


Рис. 2. Модель УПС

Линии передачи l_1 , l_2 , l_3 обеспечивают фазовую инвариантность отклика относительно входного воздействия. Распределенные индуктивность и емкость линий комбинируются с паразитными параметрами L , C управляемых элементов, например, диодов, и компенсируют изменение фазового сдвига при регулировке ослабления.

Для компьютерного моделирования была использована схема замещения диода из статьи [4] со следующими параметрами: ёмкость перехода $C=0,02$ пФ, индуктивность выводов $L=0,16$ нГн, сопротивление растекания не учитывалось ввиду его малости. Заметим, что паразитные реактивные параметры управляемых элементов являются основной причиной, ограничивающей полосу рабочих частот. Объёмные сопротивления R_s и R_p изме-

нались от 3 до 200 Ом. Сопротивления генератора и нагрузки, а также резистора R равны 50 Ом. В результате оптимизации по критерию минимума фазового сдвига по программе [3] были найдены параметры коррекции – длины линий передачи l и их волновые сопротивления ρ : $l_1=3$ мм, $l_2=1,1$ см, $l_3=2$ мм, $\rho_1=70$ Ом, $\rho_2=75$ Ом, $\rho_3=40$ Ом. Рассчитывались вносимое затухание $A(\omega)$ в зависимости от круговой частоты ω , т. е. величина, обратная АЧХ, и изменение фазового сдвига $\Delta\varphi(\omega)$, т. е. разность фаз при начальном (A_0) и выбранном уровне ослабления (A_i).

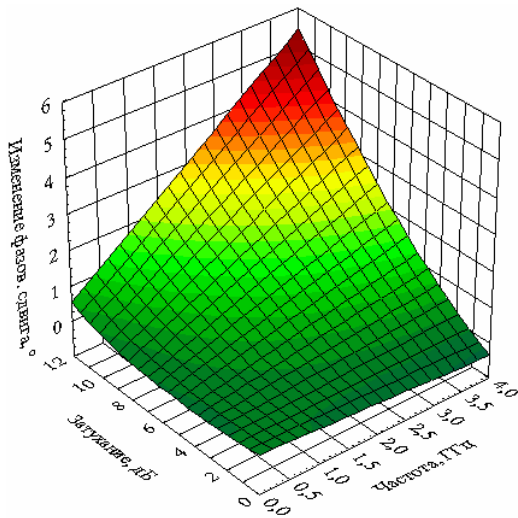


Рис. 3. Изменение фазового сдвига в зависимости от частоты и ослабления для некорректированного аттенюатора

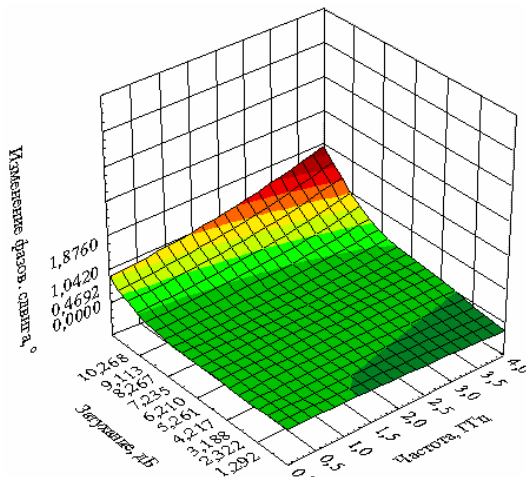


Рис. 4. Изменение фазового сдвига в зависимости от частоты и ослабления для корректированного аттенюатора

Зависимости изменения фазового сдвига от частоты и затухания для схемы без коррекции и с коррекцией приведены на рис. 3 и 4 соответственно. Графики построены в системе Statistica 6.0 [5]. В корректированном аттенюаторе в диапазоне ослаблений 1,3...7,7 дБ и полосе частот 0,01...4,0 ГГц достигнуто изменение фазового сдвига не более $0,2^\circ$.

В аттенюаторе без коррекции изменение фазового сдвига в той же полосе частот и диапазоне ослаблений достигает 3° . Таким образом, фазовый сдвиг уменьшен за счет коррекции почти в 15 раз.

3. Статистическое моделирование УПС

Будем считать параметры коррекции и управления независимыми переменными или факторами, влияющими на затухание и изменение фазового сдвига. Это дает возможность провести факторный и регрессионный анализ УПС с целью установления физических закономерностей между параметрами цепи и отдельными характеристиками, а также упрощения поиска оптимальных параметров схемы.

Математическая модель УПС может быть представлена в виде:

$$A(\omega) = a_0 + \sum_i a_i X_i$$

$$\Delta\varphi(\omega) = b_0 + \sum_i b_i X_i$$

где X – независимые переменные или факторы, ε, δ – случайные составляющие, a, b – коэффициенты, подлежащие определению. В случае регрессионной модели за X берутся непосредственно параметры коррекции и управления. Для факторной модели X – это внутренние причины, требующие своей содержательной интерпретации.

Исходные данные для системы Statistica формировались следующим образом. Для параметров коррекции и сопротивлений управления, отличающихся от оптимальных в большую и меньшую стороны на сетке частот 0,01...4,0 ГГц, были вычислены вносимое ослабление и изменение фазового сдвига.

Результаты факторного анализа, проведенного в системе Statistica 6.0, приведены на рис. 5. График факторных нагрузок, построенный для двух факторов, показывает, что параметры коррекции и параметры управления четко разделены в своем влиянии на характеристики аттенюатора. Следовательно, отпадает необходимость в двух вложенных циклах оптимизации, что существенно упрощает синтез устройства.

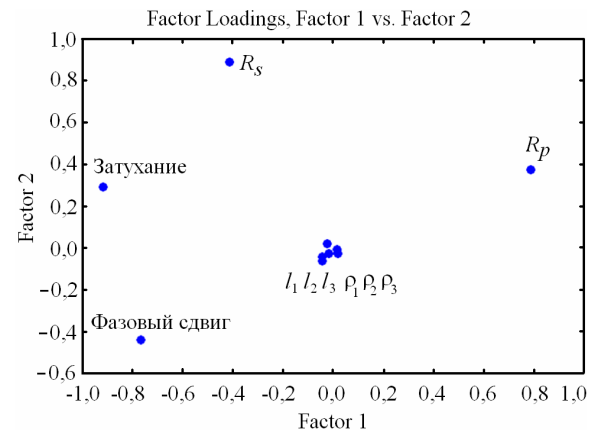


Рис. 5. Значения факторных нагрузок для аттенюатора

Факторные модели для изменения фазового сдвига и вносимого затухания были построены с помощью модуля «общие регрессионные модели – факторная регрессия». В результате моделирования найдены коэффициенты факторной регрессии, которые представлены в виде столбчатых диаграмм на рис. 6, 7. По величине коэффициентов факторной регрессии можно судить о влиянии того или иного параметра на соответствующую характеристику устройства.

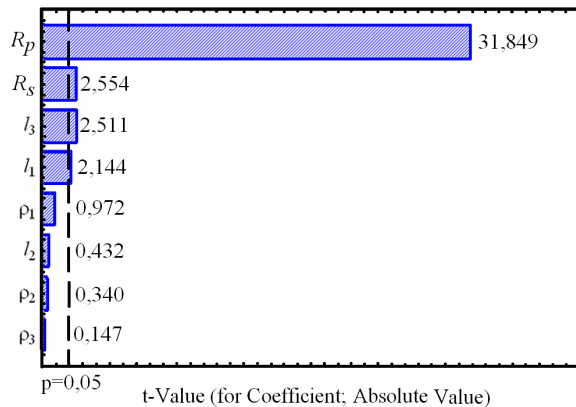


Рис. 6. Коэффициенты факторной регрессии для изменения фазового сдвига

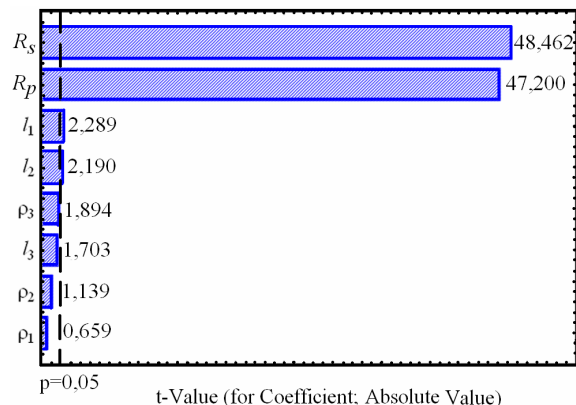


Рис. 7. Коэффициенты факторной регрессии для вносимого затухания

4. Выводы

Построенные факторные модели не учитывают влияния паразитных параметров управляемых элементов и их линейных комбинаций с остальными элементами и частотой. Тем не менее, усложнять модель нецелесообразно, так как целью моделирования не являлся поиск параметров, для которых изменение фазового сдвига минимально, а требовалось только оценить влияние каждого элемента на характеристики устройства. По результатам анализа можно сделать содержательные выводы о влиянии параметров коррекции и управления на изменение фазового сдвига и затухания, а также подтвердить физические предположения о работе схемы.

1. На изменение фазового сдвига в первую очередь влияют параметры управления (см. рис. 6,

наибольшие коэффициенты для R_p и R_s). Этот вывод не очевиден, так как, например, в [2, 4, 6] и ряде других работ считалось, что основной вклад в изменение фазового сдвига вносят паразитные параметры управляемых элементов.

2. Стабилизацию фазы обеспечивают корректирующие линии I_3 и I_1 . Влияние линии I_2 статистически незначимо, и ее можно исключить из схемы без существенного ухудшения характеристик.
3. Параллельно включенный управляемый элемент сильнее всего влияет как на изменение фазы, так и на рабочее затухание (см. рис. 6 и 7, наибольшие коэффициенты для R_p равны 31,849 и 47,200 соответственно).
4. Оба управляемых элемента в равной степени оказывают влияние на вносимое ослабление. Следовательно, формирование закона управления для R_p и R_s принципиально необходимо для повышения точностных характеристик устройства. Влияние остальных параметров, в том числе линии I_2 на ослабление незначимо по уровню $p=0,05$.
5. Оптимизацию параметров коррекции и управления можно проводить отдельно, т. к. они влияют на разные факторы и имеют разные факторные нагрузки. Данный результат позволяет упростить процедуры оптимизации характеристик УПС.

Заключение

Методы статистического моделирования, в частности, факторный и регрессионный анализ, которые раньше не использовались для проектирования дискретных устройств с переменными состояниями, позволяют выявить физические закономерности работы элементов схемы устройства. Это способствует созданию структуры или топологии устройства исходя из заданного критерия оптимальности. В частности, в данной работе рассматривался фазоинвариантный аттенуатор отражающего типа как типичный пример устройства с переменными состояниями. Выявление и интерпретация факторных нагрузок, влияющих на различные исследуемые характеристики, позволяет изменить традиционную методологию и существенно упростить поиск параметров коррекции и параметров регулирования.

Установлено, что использование статистического подхода к проектированию устройств с переменными состояниями оправдано как для оценки физики их работы, так и для обоснования принципиальных схем. Статистическое моделирование позволяет избежать вложенной зависимой оптимизации параметров корректирующих цепей и управляемых элементов, т. е. сначала следует провести оптимизацию режимов работы управляемых элементов в некорректированном устройстве, а затем минимизировать изменение фазового сдвига. Кроме того, объем экспериментальных исследований разрабатываемых устройств может быть существенно сокращен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.И., Юфит Г.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью ЭВМ. – М.: Советское радио, 1975. – 157 с.
2. Stukach O.V. Variable Attenuator with Low Phase Shift / Proceedings of the 9th European Conference on Wireless Technology. – Manchester, UK, 10-12 September 2006. – P. 241–244.
3. Ильюшенко В.Н., Стукач О.В., Туев В.И. Оптимизация аттенуаторов с фазовым сдвигом, инвариантным к вносимому ослаблению // Техника средств связи. Сер. Радиоизмерительная техника. – 1990. – Вып. 7. – С. 25–29.
4. Walker S. A Low Phase Shift Attenuator // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1994. – V. 42. – № 2. – P. 182–185.
5. Прикладной статистический анализ / С.В. Алексахин, А.В. Балдин. – М.: Приор, 2004. – 221 с.
6. Управляемые аттенуаторы / Г.М. Крылов, С.И. Хоняк, А.Н. Тыныныка и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.

Поступила 20.09.2007 г.

УДК 004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ С ДИСКРЕТНЫМ ВРЕМЕНЕМ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМЕ МАРС

Т.Н. Зайченко

ФГНУ «Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики», г. Томск
E-mail: aem@snc.com.ru

Рассматриваются вопросы формализованного представления и моделирования систем с дискретным временем и программных средств в отечественной системе моделирования МАРС. Приведены способы формализованного представления дискретных систем, заданных разностными уравнениями и передаточными функциями, модели компонентов схем алгоритмов. Представлены примеры моделирования в системе МАРС.

Введение и постановка задачи

На кафедре теоретических основ электротехники Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники на основе метода компонентных цепей (МКЦ) Е.А. Арайса и В.М. Дмитриева [1] создана универсальная система имитационного моделирования в среде Windows [2, 3]. В работах [2, 4, 5] были рассмотрены вопросы решения в системе МАРС задач динамики электротехнических устройств. С помощью компонентов структурных схем – источников воздействий пилообразной и прямоугольно-ступенчатой формы, компараторов и логических элементов было выполнено моделирование электронных средств управления ключами устройств силовой электроники, электрических аппаратов управления электротехническими устройствами, реализующими, например, пуск, торможение и реверс электрических двигателей, прием и сброс нагрузки. Анализ устройств с микропроцессорным управлением ставит задачи имитационного моделирования программных средств (ПС) без использования инструментальной ЭВМ. Целью настоящей статьи является исследование подходов к моделированию систем с дискретным временем и программных средств в рамках МКЦ и системы моделирования МАРС.

Концепция моделирования систем с дискретным временем

Известны два способа описания процессов в дискретных системах: с помощью разностных уравнений (РУ) и передаточных функций (ПФ). Так, например, для линейного РУ вида

$$y(k) = \sum_{l=0}^L a_l x(k-l) - \sum_{m=1}^M b_m y(k-m) = 0, \quad k \geq 0, \quad (1)$$

ПФ аргумента $z=e^{j\omega}$ имеет вид

$$W(z) = \frac{a_0 + \sum_{l=1}^L a_l z^{k-l}}{1 + \sum_{m=1}^M b_m z^{k-m}} = 0, \quad k \geq 0, \quad (2)$$

где $x(k-l)$, $y(k-m)$ – входной и выходной сигналы в моменты времени $(k-l)T$ и $(k-m)T$; k, l, m, L, M – целые; T – период квантования; a_l, b_m – коэффициенты; ω – частота.

Целью исследования систем с дискретным временем является расчет временных диаграмм либо числовых последовательностей сигналов.

Система МАРС предоставляет возможности моделирования объектов, допускающих формализованное представление в форме компонентных цепей (КЦ) из компонентов со связями энергетического и информационного типов, во временной и частотной для линейных КЦ областях. Связи энергетического типа инцидентны две переменные – потенциальная и потоковая; связи информационного типа – потенциальная. Математическая модель КЦ со связями энергетического типа состоит из топологических и компонентных уравнений; для КЦ со связями информационного типа – только из компонентных. Основными режимами анализа во временной области в системе МАРС являются «статика» и «динамика», в том числе «динамика явная» и «динамика неявная». В первом случае дифференциальные уравнения моделей компо-