

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ХЕРСОНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

МИХАЙЛОВ КОНСТАНТИН МИХАЙЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА И СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ  
НЕЛИНЕЙНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И  
СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**  
(на примере индуктивных систем)

05.13.04 - автоматизированные системы управления  
и системы обработки информации

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук



Херсон - 1996

АВ 35.958

Диссертация является рукописью  
Работа выполнена в Харьковском государственном  
техническом университете радиоэлектроники и  
Херсонском индустриальном институте

Научные руководители: кандидат технических наук,  
профессор Свитенко В.Н.  
кандидат технических наук,  
доцент Якимчук Г.С.

Научный консультант: кандидат технических наук,  
доцент Чередников П.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Петров Э.Г.  
кандидат технических наук,  
доцент Цокуренко А.А.

Ведущая организация: АО "Институт автоматизированных  
систем", г. Харьков

Защита состоится "21" ноября 1996 года в \_\_\_ часов на  
заседании специализированного Ученого Совета К 19.01.06 при  
Херсонском индустриальном институте по адресу:  
325008, г.Херсон, Бериславское шоссе, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Херсон-  
ского индустриального института.

Автореферат разослан "18" октября 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного Ученого  
Совета К 19.01.06,  
кандидат технических наук,  
доцент

 Ф.Б.Рогальский

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00753758 (Z)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Моделирование процессов, систем и устройств является обязательным условием ускорения исследований, разработок и проектирования. Существенный интерес вызывают системы обработки информации в реальном масштабе времени. Исследуемые процессы, как правило, нелинейные, а в самом сложном случае еще и параметрические. Поэтому наиболее общей моделью для описания широкого класса таких систем является нелинейно-параметрическая.

В системах обработки информации, автоматических системах управления, радиотехнике, электронике, электромеханике широко применяются устройства, принцип действия которых основан на эффекте параметрического резонанса. Он наиболее глубоко исследован в режиме основной субгармоники, когда частота генератора накачки в два раза выше собственной средней частоты резонансного контура.

Особый интерес вызывают нелинейно-параметрические устройства на индуктивных элементах, позволяющие выполнять важнейшие преобразования сигнала: модуляцию, детектирование, генерирование, умножение и деление частоты. На основе подобных элементов разработаны элементы логики, триггеры, схемы кодирования и декодирования, сортировки данных. Причем осуществить их возможно как в режиме основной субгармоники, так и в высших зонах неустойчивости, внимание к которым в последнее время особенно велико. Однако существующие для таких режимов методики расчета и проектирования не позволяют получить решение, удовлетворяющее

всей совокупности требований к характеристикам и выходным параметрам.

Актуальность данной тематики следует из возможности построения параметрических подсистем автоматизированного управления для работы с процессами в реальном масштабе времени, основанных на принципах параллельной обработки информации.

Спецификой работы нелинейно-параметрических устройств в высших зонах неустойчивости являются: периодическое насыщение, нелинейный характер модуляции энергоемкого параметра и ее значительная глубина, малая ширина зоны генерации, существенное влияние неидентичности параметров сердечников и обмоток на спектр параметрически возбуждаемых колебаний, а также повышенные требования к стабильности частоты генератора накачки.

Совсем мало работ посвящено созданию алгоритмов и специализированных программ моделирования и комплексного проектирования нелинейно-параметрических систем и устройств. Таким образом, актуальной является разработка метода и средств, которые позволят учесть вышеуказанные факторы и обеспечить реализацию требуемых параметров.

**Целью диссертационной работы** является построение адекватных математических моделей, разработка метода и средств моделирования нелинейно-параметрических устройств и систем.

**Методы исследования.** Для решения поставленной задачи используются методы моделирования, методы теории колебаний, корреляционный и регрессионный анализ, методы оптимизации, методы вычислительной математики.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

1. Исследованы основные источники погрешности, приводящие к расхождению теоретических и экспериментальных результатов. Предложена методика оценки неидентичности параметров индуктивных элементов.

2. Разработана математическая модель нелинейно-параметрического устройства, работающего в высших зонах неустойчивости, учитывающая разброс параметров элементов, вариацию частоты накачки и изменение динамической индуктивности.

3. Предложена функция аппроксимации кривой намагничивания для ферритовых сердечников, позволяющая повысить точность моделирования и, в общем случае, учесть неидентичность характеристик индуктивных элементов.

4. Предложены формализованные критерии оптимальности и алгоритмы для моделирования нелинейно-параметрических систем.

5. Разработан метод моделирования нелинейно-параметрических устройств, работающих в высших зонах неустойчивости.

**Практическая ценность** работы состоит в том, что на основании выполненных исследований разработан и реализован метод, который позволяет осуществить моделирование, исследование и проектирование нелинейно-параметрических систем. Предлагаемая методика дает возможность повысить точность и сократить затраты времени на проектирование. Разработанные средства в виде аппаратной и программной реализации аппроксимации кривой намагничивания индуктивных элементов, алгоритм и программа расчета существенно сокращают погрешность и обеспечивают хорошую сходимость теоретических и экспериментальных результатов.

Диссертация является результатом плановых исследований, которые проводились в Харьковском Техническом университете радиозлектроники: "Разработка общей методологии и способов поддержки автоматизированного проектирования РЭС", N 375-5, "Разработка основных принципов построения комплексной пространственно-равновесной системы контроля и управления состоянием объекта с использованием мультимедиа информационных систем", N 412. Материалы, приведенные в диссертационной работе, используются в учебном процессе кафедр КРЭС ХТУРЭ и ПО ЭВМ ХИИ.

**Вклад автора** в разработку проблемы. Исследования, обработка результатов, а также научные положения и теоретические выводы, касающиеся создания метода проектирования нелинейно-параметрических устройств, математическая формулировка задачи получены автором самостоятельно.

Обоснованность и достоверность основных результатов диссертационной работы обеспечиваются конкретной постановкой и решением задач исследования; использованием апробированных подходов к анализу нелинейных процессов. Верность теоретических положений подтверждается экспериментально.

**Публикация и апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Харьковского Технического университета радиозлектроники в 1994 г и на Всеукраинском семинаре по математическому моделированию в 1996 г. в г. Херсоне. По результатам выполненных исследований опубликовано 6 работ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, приложений и списка использованных источников. Материал изложен на 120 страницах, содержит 32 рисунков на 19 страницах, 6 таблиц на 6 страницах, 20 страниц приложений, библиографию из 119 наименований на 7 страницах.

**Основные положения,** выносимые на защиту:

1. Математическая модель нелинейно-параметрического устройства, работающего в высших зонах неустойчивости с учетом неидентичности параметров ферритовых сердечников, а также сложного характера изменения глубины модуляции.

2. Аппроксимирующая функция для кривой намагничивания, которая позволяет существенно повысить точность результатов, а также одновременно учесть неидентичность параметров индуктивных элементов.

3. Метод моделирования нелинейно-параметрических устройств, реализованный на основе методов поисковой оптимизации. Целевые функции и функции ограничений, учитывающие конструктивные и динамические параметры устройства, а так же внешнее воздействие.

4. Структурная схема макета для исследования динамических параметров и характеристик нелинейно-параметрических устройств, работающих в высших зонах неустойчивости. Аппаратная реализация функции кривой намагничивания, позволяющая сократить время проектирования за счет уменьшения вычислительных операций.

5. Принципы построения систем обработки информации на нелинейно-параметрических элементах и способы их реализации.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность направления исследования, сформулирована цель работы, кратко изложено содержание диссертации и выделены основные положения и результаты, которые выносятся на защиту.

В первом разделе дан анализ состоянию вопросов по моделированию и описание параметрических и нелинейно-параметрических устройств и систем, а также программных продуктов для исследования и проектирования. Рассмотрены работы по разработке эффективных средств оптимизации сложных систем. Отмечено, что в настоящее время имеется существенный интерес как к моделям нелинейно-параметрических систем, так и к параметрическим устройствам, принцип работы которых основан на явлении параметрического резонанса.

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что применение нелинейно-параметрических устройств осуществляется в широком диапазоне частот и при различных уровнях воздействия. Поэтому возникает задача разработки метода моделирования нелинейно-параметрических устройств, учитывающая характер происходящих в них процессов. Показано, что большинство сложных реальных физических процессов в них могут моделироваться на основе нелинейно-параметрических систем, работающих в высших зонах неустойчивости и их моделях. Выбран и обоснован круг задач, решение которых позволит эффективнее осуществить моделирование систем и устройств, работающих в высших зонах неустойчивости.

**Второй раздел** посвящен исследованию особенностей пара-метрически возбуждаемых колебаний в высших зонах неустойчивости.

В подразделе 2.1 показано, что применение интегрального коэффициента модуляции энергоемкого параметра позволяет адекватно описать характер изменения динамической индуктивности резонансного контура при внешнем воздействии. Сформулированы условия возбуждения и ограничения колебаний с применением данного коэффициента.

Индуктивные параметрические системы с достаточной степенью точности рассматриваются на примере индуктивного параметрона. Такой подход позволяет использовать, с одной стороны, ранее полученные результаты и, с другой стороны, приводит к получению моделей, которые могут быть распространены на более сложные случаи, позволяющие моделировать устройства с большим количеством сердечников и обмоток.

Приведены обобщенная и принципиальная схемы нелинейно-параметрического устройства, на моделях которых проводятся дальнейшие исследования. Описан классический подход к рассмотрению процессов в параметрической и нелинейно-параметрической системе. Показано, что анализ возможен на основе исследования линейного и нелинейного уравнения Матве соответственно.

Подраздел 2.2 посвящен оценке влияния неидентичности характеристик и параметров нелинейного элемента на работу системы в высших зонах неустойчивости. Приведена математическая модель, в которой учтен разброс параметров сердечников на основе классической аппроксимации гиперболическим синусом. Указаны пути повышения адекватности приведенной

модели. Установлено, что основными источниками, приводящими к расхождению теоретических и экспериментальных результатов, является погрешность аппроксимации функции кривой намагничивания и неучет разброса параметров элементов устройства.

В подразделе 2.3 рассматривается модифицированный метод оценки идентичности параметров индуктивных элементов. Разработана структурная схема устройства визуализации разностной кривой, характеризующей разброс соответствующих параметров между исследуемым образцом и эталоном. Предложено несколько методик для реализации разработанного метода на практике, дана оценка его эффективности. Показано, что учет неидентичности характеристик индуктивных элементов, а также степени влияния разброса параметров элементов схемы на работу устройства позволяют существенно уменьшить затраты на моделирование, проектирование и изготовление нелинейно-параметрических систем.

В третьем разделе осуществлен выбор аппроксимирующей функции для кривой намагничивания ферритовых сердечников, которая обеспечивает учет неидентичности параметров индуктивных элементов и требуемую точность моделирования.

В подразделе 3.1 введена аппроксимирующая функция вида

$$H = \alpha_1 \operatorname{sh}(\beta_1 B) + \alpha_2 \operatorname{sh}^2(\beta_2 B) + \dots + \alpha_n \operatorname{sh}^n(\beta_n B).$$

Дана сравнительная характеристика результатов аппроксимации приведенной функции и наиболее часто употребляемых для моделирования и расчета нелинейных элементов при внешнем периодическом воздействии.

Исследования проводились в интегрированной среде пакета MathCAD с помощью метода Левенберга-Маркварта. Погрешность аппроксимации определяется методом наименьших квадратов. На основании полученных результатов приведены графические сравнительные характеристики применяемых аппроксимирующих выражений.

Рассчитаны коэффициенты аппроксимации для материалов сердечников, которые применяются в индуктивных элементах, моделирующих нелинейно-параметрических устройствах. Проведен анализ чувствительности функции, в результате которого получено значение коэффициентов  $S\alpha_1, S\alpha_2, S\beta_1, S\beta_2,$

$$\frac{\Delta f}{f} = S\alpha_1 \frac{\Delta\alpha_1}{\alpha_1^\circ} + S\beta_1 \frac{\Delta\beta_1}{\beta_1^\circ} + S\alpha_2 \frac{\Delta\alpha_2}{\alpha_2^\circ} + S\beta_2 \frac{\Delta\beta_2}{\beta_2^\circ} + S_B \frac{\Delta B}{B^\circ}$$

На основании полученных результатов сформулирован общий критерий идентичности

$$K = k_1(\alpha_{11} - \alpha_{21}) + k_2(\alpha_{12} - \alpha_{22}) + k_3(\beta_{11} - \beta_{21}) + k_4(\beta_{12} - \beta_{22})$$

Для моделирования систем с перестройкой путем изменения частоты накачки получено выражение, позволяющее адекватно описать изменение внутренних параметров системы.

Доказано, что наилучшим выражением, легкоопределимым и вместе с тем позволяющим учесть неидентичность параметров устройства, является гиперболический синус с нелинейными поправками, причем сравнительный анализ показывает, что вполне достаточно использовать только два члена ряда.

Приведенный подход позволяет получить априорную информацию для моделирования, исследования и проектирования нелинейно-параметрических систем.

В подразделе 3.2 разработана уточненная математическая модель системы на основе результатов, полученных в предыдущей части работы. Отличительные особенности: учет неидентичности параметров, вариация частоты накачки, использование интегрального коэффициента модуляции, позволяющего эффективно описывать состояние внутренних параметров системы, оценка влияния асимметрии на форму напряжения параметрически возбуждаемых колебаний, что повышает сходимость теоретических и экспериментальных результатов.

В подразделе 3.3 разработана аппаратная и программная реализация функции кривой намагничивания для моделирования поведения нелинейного элемента при периодическом внешнем воздействии.

К достоинствам аппаратной реализации следует отнести: возможность получения непосредственных значений коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  без вычислений, что значительно ускоряет подготовительный этап проектирования; варьирование входными значениями приводит к немедленному изменению выходных; в случае преобразования аналогово-цифровым устройством этих коэффициентов данные могут быть непосредственно поданы в порт ЭВМ и сразу задействованы в

расчетах, тем самым появляется возможность создавать гибридные комплексы, работающие с реальными объектами.

Недостатками, в свою очередь, являются необходимость разработки специализированных устройств для конкретных применений; сложность гибкой перестройки; необходимость предварительного определения масштабных коэффициентов, а также дополнительная погрешность за счет неточности их определения. Получение результатов за счет использования методов вычислительной математики более трудоемкое, требует определенное время и обладает погрешностью за счет вычислений и неточность определения исходных значений.

Разработанная аппаратная реализация функции кривой намагничивания устраняет промежуточные вычисления на этапе проектирования и дает возможность учесть влияние как конструктивных характеристик элементов устройства, так и параметров генератора накачки на процессы, происходящие в системе.

Применение аппаратной аппроксимирующей функции с двумя членами ряда и выше приводит к существенным усложнениям схемы и малоэффективна из-за увеличивающейся погрешности метода, связанной с наращиванием структур и использованием дополнительных преобразователей.

В этом случае целесообразно применение программной реализации, которая сводится к решению системы из четырех нелинейных уравнений для ряда из двух членов и системе из шести уравнений для трех членов.

Программная реализация осуществлена в среде MathCAD. Алгоритм решения заключается во вводе точек, через которые проходит анализируемая функция, начальных значений для коэффициентов аппроксимации, решающего блока из системы

уравнений. Вариацией начальных значений можно добиться минимизации коэффицента невязки системы.

По основным полученным решениям производится интерполяция и экстраполяция функции и сравнение полученных результатов с исходными данными методом наименьших квадратов.

Приведена распечатка результатов моделирования и оценка точности аппроксимации. Определены области допустимых значений для коэффициентов. Даны рекомендации по применению приведенных результатов.

**В четвертом разделе** разработан метод моделирования нелинейно-параметрических систем и устройств, работающих в высших зонах неустойчивости, на основе полученных математических моделей с использованием методов оптимального проектирования.

В подразделе 4.1 обоснован выбор методов оптимального проектирования, применение которых позволяет наиболее быстро и точно получить требуемые решения. Обоснованность применения метода штрафных функций и метода возможных направлений основана на виде математической модели системы, критериев качества и функций ограничений.

При моделировании нелинейно-параметрического устройства функциями качества выступают помехоустойчивость, быстродействие, максимальная ширина зоны генерации, а также ряд критериев, учитывающих функционально-стоимостные характеристики, или комплексный показатель, который является мультипликативным по отношению к вышеперечисленным критериям с учетом весовых коэффициентов, определяющих вклад каждой функции в общий показатель качества.

В качестве функций ограничений выступают ограничения на реальные параметры значений токов накачки, конструктивные параметры сердечников и обмоток, ограничения на разброс параметров.

В подразделе 4.2 в общем виде определены критерии оптимальности нелинейно-параметрической системы, работающей в высших зонах неустойчивости. Разработаны формализованные функция качества для критериев максимальной помехоустойчивости по возмущениям, по изменению частоты накачки и общей помехоустойчивости, обеспечение максимального быстрого действия системы и максимальная ширина зоны генерации параметрических колебаний при заданных параметрах цепи накачки.

Для обеспечения максимальной помехоустойчивости системы необходимо в требуемой зоне неустойчивости найти такое решение, которое наиболее удалено от дна зоны, что соответствует устойчивости и изменению амплитуды сигнала генератора накачки, а также максимально удалено от стенок зоны обеспечения помехоустойчивости со стороны изменения частоты генератора накачки.

Основной сложностью при проектировании систем является правильный выбор критерия качества. Противоречивые требования разработчиков учитываются через внутренние параметры и коэффициенты влияния. Разработан подход и оговорены основные, наиболее часто употребляемые критерии качества. Для каждого случая введены функции ограничения и обоснован выбор метода оптимального проектирования. Комплексный критерий может быть получен, как мультипликативный по отношению к частным критериям.

Критерий качества может быть записан в виде:

$$F_p = \frac{\Delta\omega_1 * \Delta\omega_2}{\omega_0^2} * \frac{\Delta m_{z1} * \Delta m_{z2}}{m_{z0}^2},$$

где  $\omega_0$  - среднее значение частоты параметрических колебаний;  
 $m_{z0}$  - среднее значение коэффициента глубины модуляции;  
 $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2$  - приращение частот до стенок зон неустойчивости для исследуемой точки;  
 $\Delta m_{z1}, \Delta m_{z2}$  - приращение интегральных коэффициентов глубины модуляции до дна и потолка зоны соответственно.

При этом частота параметрических колебаний будет стремиться к  $\omega_z$ , то есть к основной частоте для зоны с номером  $n$ , а глубина модуляции должна обеспечивать положение, равноудаленное от дна и потолка зоны. Реальная зона возбуждения имеет несимметричную форму, поэтому будет существовать некоторое смещение от частоты  $\omega_z$ , которое вызвано прежде всего влиянием асимметрии системы, а также нагрузкой параметрического устройства.

Для данного случая введены функции ограничения, выраженные через конструкторско-технологические параметры.

В подразделе 4.3 приведено описание особенностей реализации описанного метода моделирования на ЭВМ, алгоритмы и пояснения к ним.

**В пятом разделе** приведены результаты по практической реализации полученных научных результатов.

В подразделе 5.1 разработан макет для исследования характеристик и параметров нелинейных систем, работающих в высших зонах неустойчивости. Приведена структурная схема и описание всех модулей, входящих в нее.

Используя разработанный макет, проведено моделирование и исследование нелинейно-параметрических систем в следующих направлениях:

- возможность перехода в высшие зоны неустойчивости, амплитудой и частотой генератора накачки, а также смещением и параметрами резонансной цепи;
- визуализация зависимости, пропорциональной изменению магнитной индукции от напряженности магнитного поля;
- визуализация дифференциальной индуктивности, скорости и ускорения ее изменения в совмещенном режиме, допускающем одновременное наблюдение абсолютного значения и характера изменения этих величин;
- возможность аппаратного отделения коэффициентов аппроксимации кривой намагничивания для численного определения параметров системы в первом приближении;
- визуализация интегральных кривых для токов параметрической цепи в координатах  $i(t)$  и  $i'(t)$ ;
- возможность исследования влияния конструктивных параметров индуктивных элементов - геометрических размеров и способа намотки обмоток на выходные характеристики параметрической системы.

Предлагаемый макет позволяет исследовать процессы, происходящие в нелинейно-параметрической системе, моделировать их поведение при вариации внешних воздействий, а также обеспечивает получение информации, необходимой для проектирования подобных систем.

В подразделе 5.2 приведены пояснения к программе моделирования, расчета и оптимизации параметров нелинейно-параметрической системы с учетом неидентичности параметров индуктивных элементов. Предусмотрен анализ работы систем, синтез структуры и определение необходимого характера внешнего воздействия для возбуждения колебаний в одной из зон неустойчивости.

В подразделе 5.3 дана сравнительная оценка теоретических и экспериментальных результатов. Приведен обширный экспериментальный материал, полученный на разработанных макете и программе моделирования. Для визуализации результатов использован осциллограф С1-96 второго класса точности, погрешность измерения амплитуды составляет 4%. Произведена оценка погрешности измерений и метода моделирования, которая составляет 10% с вероятностью 0.95.

Приведены результаты сравнения с литературными данными, которые в известных случаях дают хорошее приближение.

**Шестой раздел** посвящен разработке принципов построения и вопросам реализации устройств и систем обработки информации на нелинейно-параметрических элементах.

В подразделе 6.1 осуществлено имитационное моделирование нелинейно-параметрических устройств, работающих в высших зонах неустойчивости. Получены электрические параметры перепрограммируемого логического элемента, параметрического логического элемента, параметрического логического триггера и устройства для формирования сигнала с угловой модуляцией. Изготовленные устройства показали работоспособность и подтвердили высокую эффективность предложенного метода и средств моделирования. Даны рекомендации по модели-

рованию и проектированию устройств на основе параметрических элементов.

Подраздел 6.2 включает описание подсистемы параллельной обработки данных, реализованной средствами аппаратного обеспечения. На нелинейно-параметрической матрице компараторов методом простых вставок создана перепрограммируемая сеть для сортировки по восьми входам. Данная подсистема может использоваться также для моделирования работы интеллектуального диска.

В подразделе 6.3 описана подсистема приема-передачи данных в информационной сети, которая состоит из устройства управления каналом, устройств кодирования и декодирования, выполненных на основе результатов исследований, полученных в предыдущих разделах.

Предложенные кодер-декодеры позволяют использовать эффект возбуждения колебаний в высших зонах неустойчивости и, тем самым, упростить систему в целом, повысив при этом ее помехоустойчивость.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

**В приложении** приведены результаты моделирования нелинейно-параметрической системы в различных зонах неустойчивости, экранная копия графического интерфейса и его исходный текст, фрагмент программы моделирования.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- Разработана математическая модель нелинейно-параметрического устройства, работающего в высших зонах неустойчивости, учитывающая разброс параметров индуктивных элементов и изменение динамической индуктивности.

- Обоснован выбор и предложена функция аппроксимации кривой намагничивания для ферритовых сердечников, позволяющая повысить точность и, в общем случае, учесть неидентичность характеристик индуктивных элементов.

- Предложена методика оценки идентичности параметров сердечников, входящих в конструкцию параметрического устройства.

- Разработана аппаратная реализация аппроксимации функции кривой намагничивания, позволяющая получать непосредственные значения коэффициентов аппроксимации.

- Сформированы критерии и функции ограничения, даны рекомендации по применению методов оптимизации в каждом конкретном случае.

- Разработан метод моделирования устройств, работающих в высших зонах неустойчивости с применением методов поисковой оптимизации.

- Предложена структурная схема макета для исследования динамических параметров и характеристик нелинейно-параметрических устройств, работающих в высших зонах неустойчивости.

- Разработаны принципы построения систем обработки информации на нелинейно-параметрических устройствах.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Михайлов К.М. Аппроксимация кривых намагничивания индуктивных элементов, работающих в существенно нелинейном режиме / Харьк. техн. ун-т радиозлектроники. - Харьков, 1994. - 5 с. - Библиогр.: 3 назв. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 01.08.94, N1465-Ук94.

2. Михайлов К.М. Особенности параметрических колебаний в высших зонах возбуждения / Харьк. техн. ун-т радиозлектроники. - Харьков, 1995. - 9 с. - Библиогр.: 5 назв. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 16.08.95, N1953-Ук95.

3. Михайлов К.М., Стоян О.М. Параметрические цепи, устройства и их применение в радиотехнике / Харьк. техн. ун-т радиозлектроники. - Харьков, 1995.- 11 с. - Библиогр.: 15 назв. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 16.08.95, N1942-Ук95.

4. Михайлов К.М. Метод проектирования нелинейно-параметрических устройств, работающих в высших зонах возбуждения / Харьк. техн. ун-т радиозлектроники. - Харьков, 1995. - 9 с. - Библиогр.: 6 назв. - Рус. - Деп. в ГНТБ Украины 16.08.95, N1940-Ук95.

5. Михайлов К.М., Хорошилов В.М., Якимчук Г.С. Моделирование нелинейно-параметрических систем и устройств, работающих в высших зонах неустойчивости // Математическое моделирование. Сб. науч. тр. НАН Украины. Институт математики. - К.-1996.-175-179 с.

6. Михайлов К.М., Якимчук Г.С., Зеленый Н.И., Киселев Д.Ю. Математическое описание АСУ электромеханической системой переменными параметрами // Математическое моделирование. Сб. науч. тр. НАН Украины. Институт математики. - К.-1996.-258-263 с.

**ANNOTATION**

Mikhaylov K.M.

The development of a method and ways of non-linear parametrical systems and devices of information processing simulation.

Dissertation and manuscripts prepared to get a degree of candidate of Technical sciences in speciality 05.13.04.- Automated systems of control and systems of information processing, Kherson Industrial Institute, Kherson, 1996.

The dissertation contains results of method development and ways of simulation of non-linear parametrical devices and systems on the basis of mathematical models which take non-identity characteristics of inductive elements into consideration. Methods of research optimization are used, for test simulation and design of systems and devices which work in upper unstability zones.

**АНОТАЦІЯ**

Михайлов К.М. Розробка методу та засобів моделювання нелінійно - параметричних систем та пристроїв обробки інформації.

Дисертація з рукописом на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.13.04 - Автоматизовані системи управління та системи обробки інформації, Херсонський індустріальний інститут, Херсон, 1996.

В дисертації наведені результати по розробці методу та засобів моделювання нелінійно-параметричних пристроїв та систем на основі математичних моделей з врахуванням неідентичності характеристик індуктивних елементів. Застосовані

методи пошукової оптимізації для моделювання, дослідження та проектування систем та пристроїв, працюючих у вищих зонах нестійкості.

Ключові слова: моделювання, нелінійно-параметрична система, оптимізація.

---

Підписано к печати 24.09.96 г.

Объем 1,25 печ. л. Уч.из..л. 1.

Формат бумаги 60x84

Тираж 100 экз. Зак. 912.

---

Ротапринт, г.Новая Каховка, ул. Первомайская, 35

441.579

