

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

Методические указания

по дисциплине

«Электронные системы»

для студентов дневной и заочной формы обучения
специальностей 7.090801 и 7.090804

Севастополь
2005

УДК681.3
Электронные системы

/ В.О. Васин. Учебное пособие. – Севастополь: СевНТУ, 2005. – 16с.

Целью учебного пособия является оказание помощи студентам в подготовке к выполнению контрольных работ по дисциплине «Электронные системы».

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электроника».

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры электронной техники (протокол № 1 от 25 августа 2005 г.)

Рецензент Тестоедов А.А. канд. тех. наук, доцент кафедры ЭЛТ.

Электронные системы – дисциплина, изучающая средства, законы и методы построения и изучения сложных естественных и технических объектов (систем), основанных на управлении потоками носителей электрических зарядов. Она является разделом общей теории систем, которая изучает функции и особенности поведения объектов, состоящих из множества взаимосвязанных элементов.

Базируется дисциплина на материале предшествующих курсов – философии, физики, электротехники, высшей математики, твердотельной электроники и др. и служит базой усвоения дисциплин специализации.

Дисциплина читается в 6 семестре, объем – 86 уч. часов и завершается экзаменом. Изучаются:

А. Общие вопросы системотехники.

Б. Способы и методы формального описания, моделирования, анализа и синтеза разнородных систем.

В. Законы построения и функционирования систем специальных классов и типов.

Цель курса – изучение общей структуры и закономерностей построения систем на электронных элементах, особенностей их эксплуатации; получение знаний и навыков анализа и синтеза электронных систем; освоение формальных приемов и методов расчета параметров и характеристик систем различного назначения.

Рекомендуемый порядок изучения:

1. Ознакомиться с содержанием темы. Выделить ключевые слова, по ним подобрать литературу (перечень рекомендуемой литературы не является обязательным, можно использовать любые книги, журналы соответствующие сайты Интернет и др. источники).

2. Изучить материал, конспектируя основные положения.

3. Записать в конспект краткие ответы на все вопросы для самопроверки (в случае неудачи – вернуться к п.п. 1 или 2).

4. Цикл лабораторно-практических занятий выполняется в течение семестра или во время установочной сессии (см. расписание работы ауд. Г-402). Разрешается заменить цикл ЛПЗ на самостоятельную разработку, проектирование и изготовление простой электронной системы по согласованию с ведущим преподавателем.

Программа и краткое содержание курса.

ВВЕДЕНИЕ.

Системотехника – наука об изучении поведения сложных естественных и искусственных объектов. Как самостоятельное направление проявилась в начале 20 века, как реакция на насущную необходимость анализа и прогнозирования поведения громадных объединений взаимодействующих объектов различной природы (промышленных картелей, войсковых соединений, транспортных сетей, электронных средств связи и управления и др.), рассматриваемых как единое целое. Такие объекты приобретают свойства не присущие их составляющим. Теория систем призвана разрабатывать формальные методы и средства для описания и создания подобных объектов, независимо от их вида и типа.

Системность не просто научный термин, но отражение объективных законов природы (причинно-следственные связи, переход количества в качество, неисчерпаемость структуры и т.д.).

Исследование сложных объектов требует обработки и осмысливания громадных объемов информации, что возможно только с применением средств вычислительной техники и электронного моделирования.

Вопросы для самоконтроля.

- 1) Предмет и задачи системотехники.
- 2) Предпосылки зарождения системотехники.
- 3) Примеры объектов сложной структуры.

4) Общая теория систем (определение) и смежные науки. Тенденция к интеграции знаний.

Литература – [1, стр 3...14], [2, стр 2...17].

Раздел 1. Общие вопросы системотехники.

Тема 1.1. Этапы познания. Объекты и их отображения.

1.1.1. Изучение объекта внешней среды (познание) начинается с **образного** его восприятия, данного в непосредственных ощущениях (6 органов чувств). Комплекс ощущений – отображение объекта - запоминается как абстракция, составляющая **представление** об объекте. Обобщенный образ объекта в памяти составляет **воображение**. Возможность использовать абстрактный образ порождает вербально-логическое мышление – основу **сигнального** (знакового, символьного...) восприятия.

1.1.2. В процессе познания объекты, подлежащие анализу, выделяются из внешней среды; Каждому из них сопоставляется абстрактный, обобщенный образ. После классификации, анализируется не сам объект, а его представление – образ. В процессе синтеза воображение поставляет образ будущего, несуществующего объекта с нужными признаками и свойствами. Многократные преобразования образа позволяют спланировать последовательность действий по созданию реального объекта.

Тема 1.2. Модели и моделирование.

1.2.1. Отображение реального или идеального объекта, построенное с целью его изучения (или создания), называют моделью. Модель – упрощенный образ, степень упрощения зависит от целей построения модели. Строят вначале виртуальные (умозрительные) модели, затем многократными преобразованиями, формализацией (построение моделей модели) добиваются получения модели с нужными свойствами.

1.2.2. Вещественные модели – физические (макеты) или символьные (графические, звуковые, математические). Средство построения символьных моделей – язык (алфавит, синтаксис, грамматика, семантика). Свойства (требования к) модели: наглядность, понятность, адекватность, результативность, простота, точность, полнота...

Тема 1.3. Определение систем. Свойства систем.

1.3.1. Система – модельный объект, обладающий свойствами:

- целостность (формально определенные цель, назначение, функции);
- автономность (связи с внешней средой ограничены и определены);
- структурность (состоит из взаимосвязанных функциональных компонент);
- проявление новых функций, неприсущих ни одному из компонентов.

Поскольку система-модель адекватно отображает объект-прообраз, сам объект также называют системой (солнечная система, система кровообращения, вычислительная система и т.д.). Любая система может служить моделью другой (соответствующей) системы.

1.3.2. Система – универсальный модельный объект, пригодный для описания любых существующих объектов, явлений, процессов, проблем... Идеи **системного подхода** (системного анализа) остаются продуктивными при рассмотрении любых вопросов и проблем.

1.3.3. Особый смысл придается понятиям „сложная система” и „большая система”.

Тема 1.4. Классификация систем.

1.4.1. Различают системы идеальные (мировоззрение, религии, мораль, теории и др.) и вещественные, которые могут быть как естественными (галактики, атом, биосфера, климат, живая клетка и др.) так и искусственными (социально-политические, образовательные, технологические, транспорта, связи, управления и др.). Любая отрасль

науки использует свои специфические системы (физические, химические, экономические, биологические, лингвистические, кибернетические и др.).

1.4.2. По областям применения системы могут быть энергетические, транспортные, технологические, информационные, военно-оборонительные, медицинские, образовательные и др.

1.4.3. По физико-технологической (элементной) базе реализации: - механические, электрические, гидравлические, электронные, пневматические и др.

1.4.4. По назначению (функциям): - управляющие, диагностические, информационно-поисковые, распознающие, вычислительные, навигационные и др.

1.4.5. По структуре и особенностям поведения различают системы: - одноранговые и иерархические; разомкнутые и замкнутые; оптимальные, самонастраивающиеся, самообучающиеся, самоорганизующиеся и др.

1.4.6. Системы, преобразующие вещества или энергию, называют технологическими (или энергетическими). Любые реальные процессы, явления, акты, действия... сопровождаются или предваряются изменением информации, поэтому системы обработки информации (информационные системы) могут служить моделями (универсальными или специализированными) любых других систем. Классификация может быть продолжена и по другим признакам.

Вопросы для самоконтроля.

- 1) Предназначение моделей, классификация, этапы построения.
- 2) Особенности и принципы построения физических моделей.
- 3) Достоинства и недостатки математических моделей.
- 4) Составляющие формальных языков и их назначение.
- 5) Определение понятий «система», «сложная система», «большая система».
- 6) Классы и разновидности систем.
- 7) Понятие «информационные системы».
- 8) Примеры реальных систем перечисленных классов.

ЛПЗ.1. Функциональные схемы электронных систем.

Литература – [1, стр 16...28], [2, стр 11...17].

Раздел 2. Способы представления систем.

Тема 2.1. Взаимосвязь модельных объектов.

2.1.1. Представление системы есть её формализованное описание. Практически, любая символьная модель является описанием соответствующей системы. Для произвольной системы А, с известной степенью приближения можно построить математическую (или другую символьную) модель, если эта же (или подобная ей) модель описывает другую систему В, то системы А и В толерантны и могут служить моделями друг друга. **Электронные системы** реализовать проще, чем другие физические системы, поэтому они используются часто для моделирования (имитации поведения) других систем.

2.1.2. Системный анализ предполагает рассмотрение объектов, систем, проблем в их единении с окружающей средой. Принципы системного анализа:

- выделение целостного объекта, с учетом внешних связей;
- установка глобальной цели исследования, абсолютный приоритет конечной цели;
- структуризация объекта (функционально и логически связанные компоненты, части, подцели);
- ранжирование частей и связей по важности в отношении к конечной цели;
- учет возможностей развития системы, объекта;
- построение оптимального множества модельных переменных;
- выявление полного перечня возможных решений (путей достижения цели) и выбор оптимального решения;

- учет случайностей и непредвиденных ситуаций...

Тема 2.2. Структурные методы представления систем.

2.2.1. Предельный случай представления системы – единый блок, имеющий входы, выходы и соответствующую функцию преобразования (передаточную функцию). Входы (факторы, воздействия) различают контролируемые, управляющие и внешние (возмущения, помехи...). Выход системы (реакция, отклик) представляет результат функционального преобразования входных переменных. Поведение системы есть алгоритм проявления реакции. В целях более подробного анализа (синтеза) системы этот блок представляют набором подсистем (компонентов, элементов...) со своими функциями и соответствующими связями между ними. Процесс декомпозиции продолжается до достижения уровня понимания (простого формального описания подсистем), обратный процесс – агрегатирования (композиции, укрупнения...) позволяет осознать, воспринять систему в целом. Пример структурного представления – функциональные схемы системы, разной степени подробности.

2.2.2. Состояние системы определяется набором значений всех её модельных переменных. При изменении значения любой из переменных – меняется её состояние. Переход из одного состояния в другое определяется изменением значения ровно одного параметра. Последовательность переходов из начального состояния в конечное – траектория движения системы. Множество отмеченных состояний и переходов системы составляют ГСС - граф состояний системы. Разработаны алгоритмы синтеза и анализа электронных систем по ГСС.

2.2.3. Теоретической базой структурных методов описания систем является теория графов. Граф есть математический объект, представленный двумя множествами: вершин - В и ребер - А (однонаправленное ребро называют дугой). Граф изображают на плоскости множеством произвольно расположенных точек (или др. геометрических фигур) – вершин и соединяющих их линий – ребер. (Множество А есть подмножество картезианского произведения В на себя). Ориентированные и нагруженные графы являются идеальными модельными объектами для систем.

2.2.4. Многочисленные классические и уникальные задачи на графах во многих случаях легко интерпретируются в терминах задач системотехники. Нахождение путей, подграфов специального вида (полные, пустые, двудольные, циклы, контуры...) на графах позволяет решать сложные системотехнические проблемы.

2.2.5. Свойства системы существенно зависят от её структуры. Наличие контуров в функциональной схеме определяет обратные связи (ОС). Системы без ОС называют «жестко запрограммированные». Введение ОС позволяет отслеживать и контролировать уровни выходных переменных в процессе функционирования системы и корректировать её поведение. Положительная ОС повышает чувствительность системы и понижает уровень устойчивости, отрицательная ОС – наоборот. Передаточная функция системы с ОС легко стабилизируется, настраивается, регулируется...

Тема 2.3. Фазовые пространства.

2.3.1. Многомерность векторов входных и выходных переменных затрудняет анализ и синтез систем, понимание их особенностей. Выход – обобщение, объединение переменных. Весьма продуктивным является способ построения зависимости обобщенной переменной от ее производных – рассмотрение поведения системы в фазовом пространстве. При этом сравнительно легко обнаруживаются устойчивые и неустойчивые зоны и состояния системы, траектории её переходов, область существования и т.д.

2.3.2. На фазовых плоскостях строят или определяют циклы переключения управления, контуры автоколебаний, траектории достижения заданных состояний. Фазовый портрет системы достаточно полно характеризует ее поведение.

Тема 2.4. Операторные методы описания систем.

2.4.1. Любая система есть преобразователь энергии, вещества и /или информации. Суперпозицией математических операторов можно представить любое преобразование. Это могут быть функции, функционалы, системы алгебраических или дифференциальных уравнений, отображения, логические выражения и т.п.

2.4.2. Операторное математическое описание системы может отображать с заданной степенью точности (адекватности) свойства и параметры системы; предоставляет формальный аппарат анализа, синтеза, модификации системы, но не обладает достаточной наглядностью. Применяется совместно с другими методами описания

Тема 2. 5. Стохастические системы и методы их описания.

2.5.1. Стохастическими называют системы, в которых используются случайные переменные или функции. Значения выходных переменных в таких системах точно указать невозможно. Для их описания используется аппарат теории вероятности. Установить наличие функциональной зависимости между модельными переменными и в стохастических и в детерминированных системах можно при помощи регрессионного анализа.

2.5.2. Для предсказания поведения таких систем с успехом используются временные ряды, позволяющие определить флуктуации, сезонные колебания и тренд случайного процесса. Для расчета значений переменных применяют методы Монте-Карло.

2.5.3. Типичным представителем стохастических систем являются системы массового обслуживания (СМО). При описании, анализе и синтезе СМО используются цепи Маркова. Рассматриваются одноканальные и многоканальные, замкнутые и разомкнутые СМО с очередями и без них. Стационарный режим работы СМО возможен только при условии, что интенсивность входного потока заявок меньше интенсивности их обслуживания.

Тема 2. 6. Оптимальные и экстремальные системы.

2.6.1. Оптимальными называют системы, обеспечивающие (удерживающие) значение заданной целевой функции (желаемые, лучшие, оптимальные значения) в нужном диапазоне. Для их анализа и синтеза широко используются методы математического программирования (линейное, нелинейное, целочисленное, динамическое программирование).

2.6.2. Если за оптимальные значения целевой функции принимаются её максимум или минимум, то систему называют экстремальной. Важнейшей проблемой при функционировании таких систем является поиск (определение) глобальных и локальных экстремумов функций многих переменных (метод наискорейшего спуска, метод Монте-Карло и др.).

2.6.3. Типичными представителями систем этого класса являются самонастраивающиеся системы. При их реализации чаще всего используют метод поисковых (пробных) колебаний (воздействий), реже используются беспойсковые методы достижения экстремума.

Вопросы для самоконтроля.

- 1) Взаимное моделирование (представление, отображение) систем различных типов. Модельные свойства электронных систем.
- 2) Особенности «системного» анализа.
- 3) Сущность и преимущества структурных методов описания систем. Композиция и декомпозиция.
- 4) Понятие «состояние системы».
- 5) Граф состояний системы, переходы, траектории.

- 6) Математическое понятие графа. Части графов. Модельные свойства графов.
- 7) Замкнутые и разомкнутые системы, Роль и влияние обратных связей в системах.
- 8) Отображение поведения системы в фазовом пространстве.
- 9) Достоинства и недостатки операторных методов описания систем. Функции, функционалы, отображения, операторы, системы уравнений.
- 10) Теоретическая основа исследования стохастических систем.
- 11) Регрессионный анализ.
- 12) Особенности функционирования систем массового обслуживания.
- 13) Линейное программирование. Постановка задачи. Основные идеи.
- 14) Динамическое программирование. Постановка задачи. Основные идеи. Принцип Беллмана.
- 15) Экстремальные системы. Способы отыскания экстремумов.
- 16) Самонастраивающиеся системы.

ЛПЗ.2а. Синтез электронной системы „Секретный замок”.

ЛПЗ.2б. Регрессионный анализ.

Литература: [1, стр 28...172], [2, стр 42...52, 200...222, 264...301], [3, стр 9...40, 99...230], [4, стр 9...43, 82...158, 329...374], [5], [6, стр 3...22, 130...203, 244...405].

Раздел 3. Некоторые системы специального назначения.

Тема 3.1. Распознающие системы.

3.1.1. В линиях передачи информации всегда существуют помехи, затеняющие и искажающие сигнал. Отсюда и возникает проблема выделения сигнала (фильтрация) и его идентификация (распознавание). Системы, предназначенные для решения подобных проблем должны иметь априорную информацию.

3.1.2. Для распознавания любого объекта строят его образ – вектор признаков. В пространстве признаков каждому образу соответствует определенная точка, толерантные (похожие) образы образуют компактные области. В каждой области назначается типичный представитель класса объектов (м.б. гипотетический) – эталон. В процессе накопления априорной информации (этап обучения) для заданного множества объектов подбирают совокупность признаков, позволяющую получить компактные непересекающиеся области и достаточно удаленные друг от друга эталоны. В процессе работы система получает образ и соотносит его ближайшему эталону, определяя, таким образом, класс распознаваемого объекта.

3.1.3. Особо остро проблема распознавания образов проявляется в системах диагностики (технических и медицинских), где по набору признаков (симптомов) требуется определить неисправность (болезнь). Такие системы, в основном, работают с участием человека. Перцептроны – попытка создать искусственные самообучающиеся распознающие системы.

3.1.4. Распознавание зрительных образов (изображений объектов) возникает при построении систем технического зрения, искусственного интеллекта, криминалистической идентификации и т.д.

Тема 3.2. Робототехнические системы.

3.2.1. Роботом называют систему, имитирующую деятельность человека, включая некоторые интеллектуальные его черты. Различают роботы – манипуляторы, дистанционно управляемые и автономные. Используются робототехнические системы для выполнения действий опасных или неприятных для человека, а также в технологических системах, где человек тормозит протекание процесса.

3.2.2. Робототехническая система должна иметь подсистемы: энергетическую, управляющую (с памятью), сенсорную, двигательную (исполнительную)...

3.2.3. Априорная информация, обеспечивающая адекватное поведение робота, закладывается при его программировании и обучении. В программе должны быть предусмотрены реакции робота на все возможные изменения ситуации.

Тема 3.3. Человеко-машинные комплексы.

3.3.1. Автоматические системы, даже оснащенные подсистемами искусственного интеллекта, не могут принимать решения в «нестандартных» ситуациях, это прерогатива человека. Однако, человек, в силу своих физиологических особенностей, обладает рядом недостатков как звено в технологических или управляющих системах (устоимчивость, ошибки, медлительность...). Человеко-машинные комплексы и являются системами, объединяющими их достоинства.

3.3.2. Примерами таких систем являются автопилоты транспортных средств, системы диспетчеризации, диагностические и процедурные медицинские системы, экспертные системы, банки знаний и др. При их построении особое внимание уделяется вопросам эргономики и инженерного дизайна.

Вопросы для самоконтроля.

- 1) Назначение робототехнических систем.
- 2) Функции и задачи сенсорной системы робота.
- 3) Реакция робота на штатные и нештатные ситуации.
- 4) Электронные устройства в робототехнических системах.
- 5) Особенности человека как звена автоматизированной системы.
- 6) Принципы построения «Дружественного интерфейса».

ЛПЗ. 3. Эргономические требования к построению человеко-машинных комплексов.

Литература: [7], [8].

Руководство по выполнению контрольной работы.

КР №1. Определение функциональной зависимости модельных переменных.

Парный линейный регрессионный анализ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: - отработать метод графо-аналитического и статистического расчета параметров зависимости модельных переменных.

Объем работы 3...5 страниц рукописного (печатного) текста с обязательными иллюстрациями: диаграммы рассеивания, линии регрессии. В выводах подчеркнуть особенности полученного решения, интерпретировать результаты, пояснить причины погрешностей.

1.Краткие теоретические сведения.

Регрессионный анализ.

1.1. Постановка задачи.

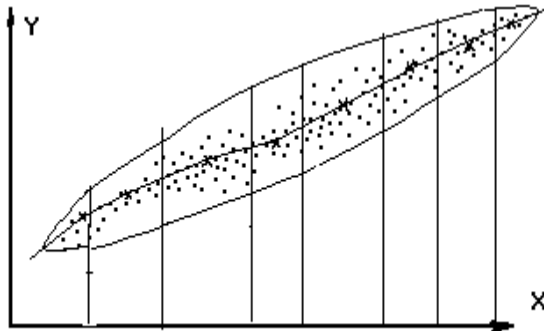
Основное назначение системотехники – создание и применение методов и средств для построения и использования математических моделей систем, объектов, явлений, процессов ...Регрессионный анализ является мощным средством математического описания зависимостей между модельными переменными, т.е. определения формы и параметров функции $\vec{Y} = f(\vec{X})$, где $\vec{X}$ -вектор независимых переменных (факторов), $\vec{Y}$ - вектор зависимых переменных (результатов), f -функция любого вида. Простейшим (и наиболее продуктивным) является случай, когда X и Y простые (однокомпонентные) переменные и f -линейная функция.

Тогда $Y = kX + b$, где k и b -параметры прямой (парная линейная зависимость).

Источником сведений о взаимозависимости переменных Y и X является опыт, реальная действительность, т.е. фиксация величины Y_i при соответствующем значении X_i .

Результаты наблюдений (измерений, опросов, опытов...) можно представить в табличном виде:

X	X_1	X_2	X_3	...	X_i	...	X_n
Y	Y_1	Y_2	Y_3	...	Y_i	...	Y_n



Или графиком на координатной плоскости xOy , где каждой паре связанных значений $\{X_i, Y_i\}$ соответствует одна точка. Этот график называют диаграммой рассеивания (ДР).

Как правило, все точки ДР лежат внутри некоторой выпуклой фигуры - «Эллипса» рассеивания.

Весь диапазон допустимых (известных) значений от $X_{\min}$ до $X_{\max}$ можно разделить на несколько участков, в каждый из которых попадут некоторые точки ДР. Среднее арифметическое значение Y_{cp} в каждом из участков отметим *. Соединим эти «центры» линиями. Это и есть линия регрессии Y на X . Если с заданной степенью точности ее можно представить некоторой «усредненной» прямой – получим прямую линейной регрессии. Скорее всего, она будет близка к длинной оси «эллипса» рассеивания. Фактически, линия (или прямая) регрессии и определяет функциональную зависимость между X и Y . В нашем случае $Y = kX + b$. Это допущение будет тем точнее, чем полнее удовлетворяются условия Гаусса-Маркова для представленной выборки $\{X_i, Y_i\}$.

Остаётся определить численные значения (оценки) k и b параметров прямой. После чего можно вычислять по формуле $Y = kX + b$ значения Y при любых значениях X (даже вне интервала известных значений X – экстраполяция).

Величины (численные значения) параметров k и b можно определить по двум любым точкам прямой А. Пусть $(X_i; Y_i)$ и $(X_j; Y_j)$. Имеем два уравнения с двумя неизвестными: k и b . Решим систему относительно k .

$$\begin{cases} Y_i = kX_i + b; & Y_i - Y_j = k(X_i - X_j); \\ Y_j = kX_j + b; & k = (Y_i - Y_j) / (X_i - X_j); \end{cases}$$

Подставив k в любое из уравнений - получим: $b = Y_i - X_i(Y_i - Y_j) / (X_i - X_j)$.

Расчетные значения $Y_p(X_i) = kX_i + b$ будут отличаться от Y_i , представленного в таблице (Мало вероятно, что прямая регрессии пройдет через точки ДР). Разница $e_i = Y_p(X_i) - Y_i$ называется отклонением. Можно указать несколько причин, вызывающих отклонения:

- реальная зависимость Y от X может быть нелинейной;
- X сама может зависеть от других переменных;
- Y может зависеть от других переменных, в том числе, от случайных факторов;
- «замеры» величин X и Y не могут быть абсолютно точными...

1.2. Оценки параметров линии (прямой) регрессии.

Очевидно, что прямую регрессии следует проводить так, чтобы отклонения e_i как бы компенсировали друг друга. Неправильный выбор k и b приведет к появлению больших не скомпенсированных отклонений. По-видимому, существуют некоторые «оптимальные» значения $k = \beta$ и $b = \alpha$, минимизирующие всю совокупность отклонений $\{e_i\}$. На первый взгляд, напрашивается искушение использовать критерий оптимальности $\sum e_i = 0$

для $\forall i=1 \dots n$, но это не приведет к желаемому результату, т.к. любая прямая, проходящая через «центр тяжести» ДР, удовлетворяет ему, но только одна из них – оптимальна.

Интуитивно ясно, что следует уменьшать возможность появления «больших» отклонений, для чего в качестве критерия оптимальности следует использовать минимум $\sum (e_i)^2 = S(\beta; \alpha)$ (Метод Наименьших Квадратов – МНК). Минимум квадратичной функции $S(\beta; \alpha)$ можно найти, например, по ее производным (Частные производные от S по β и по α равны нулю в точке экстремума). Тогда:

$$\frac{\partial S}{\partial \beta} = \frac{\partial(\sum_i e_i^2)}{\partial \beta} = \frac{\partial(\sum_i (Y_i - \beta X_i - \alpha)^2)}{\partial \beta} = \frac{\partial}{\partial \beta} (\sum_i (\beta X_i + \alpha - Y_i)^2) = 2 \sum_i (\beta X_i + \alpha - Y_i) X_i = 0;$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha} = \frac{\partial(\sum_i e_i^2)}{\partial \alpha} = \frac{\partial(\sum_i (Y_i - \beta X_i - \alpha)^2)}{\partial \alpha} = \frac{\partial}{\partial \alpha} (\sum_i (\beta X_i + \alpha - Y_i)^2) = 2 \sum_i (\beta X_i + \alpha - Y_i) = 0;$$

$$\begin{cases} \beta \sum_i X_i + N\alpha - \sum_i Y_i = 0 \\ \beta \sum_i X_i^2 + \alpha \sum_i X_i - \sum_i X_i Y_i = 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \beta \sum_i X_i + N\alpha = \sum_i Y_i \\ \beta \sum_i X_i^2 + \alpha \sum_i X_i = \sum_i X_i Y_i. \end{cases}$$

-нормальные уравнения регрессии. Где $i=1 \dots N$ - количество наблюдений (число точек ДР).

Откуда получим:

$$\alpha = \frac{\sum_i Y_i \sum_i X_i^2 - \sum_i X_i Y_i \sum_i X_i}{N \sum_i X_i^2 - (\sum_i X_i)^2}; \quad \beta = \frac{N \sum_i X_i Y_i - \sum_i X_i \sum_i Y_i}{N \sum_i X_i^2 - (\sum_i X_i)^2}.$$

Оценки параметров α и β регрессионной прямой $Y = \beta X + \alpha$ должны быть близки по значения параметрам b и k соответственно.

Если определена функция прямой регрессии Y на X , то существует и обратная регрессия X на Y . Пусть, в нашем случае, прямая обратной регрессии будет – $X = \beta' Y + \alpha'$. Очевидно, что во всех выкладках переменные X и Y просто поменяются местами и можно получить оценки-

$$\alpha' = \frac{\sum_i X_i \sum_i Y_i^2 - \sum_i X_i Y_i \sum_i Y_i}{N \sum_i Y_i^2 - (\sum_i Y_i)^2}; \quad \beta' = \frac{N \sum_i X_i Y_i - \sum_i X_i \sum_i Y_i}{N \sum_i Y_i^2 - (\sum_i Y_i)^2}.$$

Прямые $Y = \beta X + \alpha$ и $X = \beta' Y + \alpha'$ для наглядности следует нанести на ДР.

1.3. Достоверность результатов визуально оценивается степенью совпадения всех трех прямых на графике. Биссектриса угла между линиями прямой и обратной регрессии есть прямая ортогональной регрессии и должна быть «близка» к прямой $Y = kX + b$.

Аналитически глубину связи Y на X и достоверность оценок β и α определяют, например, коэффициентом корреляции-

$$r_{xy} = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)Var(Y)}} = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2 \frac{1}{n} \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad -1 < r_{xy} < +1.$$

Где $\bar{X}$ и $\bar{Y}$ – средние значения X и Y . Чем больше $|r_{xy}|$, тем сильнее связь X и Y . Лучше применять преобразованную формулу:

$$r_{xy} = \frac{\sum_i X_i Y_i - N \cdot \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sqrt{(\sum_i X_i^2 - N \cdot \bar{X}^2)(\sum_i Y_i^2 - N \cdot \bar{Y}^2)}}.$$

Можно считать, что при $|r_{xy}| > 0,7$ результаты $(k, b, \alpha, \beta, \dots)$ – корректны, при $|r_{xy}| < 0,7$ регрессионный анализ лучше не применять.

1.4. Интерпретация результатов.

Полученные уравнения прямых регрессии можно применять для расчетов, определяя значения Y при любых значениях X . При этом наклон прямой (параметры k, β) характеризуют масштаб влияния изменений X на величину Y , т.е. увеличение значения X на 1 (в ед. измерения X) приводит к увеличению (при $k > 0$) или уменьшению (при $k < 0$) Y на k единиц его собственного измерения.

Параметры b, α (свободный член в уравнениях) отображают величину Y при $X=0$, т.е. при нулевом значении фактора и определяют аддитивную составляющую Y , которая от X не зависит. Они могут и не иметь реального смысла.

В физических терминах результаты анализируются в зависимости от смысла поставленной задачи.

2. Пример решения задачи ПЛРА.

Практические рекомендации к применению ПРЛА.

(методы – геометрический и наименьших квадратов)

2.1. Постановка задачи.

При анализе электронных систем часто возникает потребность определить - зависит ли некоторая переменная Y от фактора X и если да, то как, т.е. надо найти функцию $Y=F(X)$. В качестве примера, определим зависимость тока диода - Y от напряжения на переходе - X . Зависимостью Y от других факторов (температура, облучение, сторонние поля и т.д.) - сознательно пренебрегаем, считая их либо несущественными, либо одинаковыми и стабильными, либо чисто случайными.

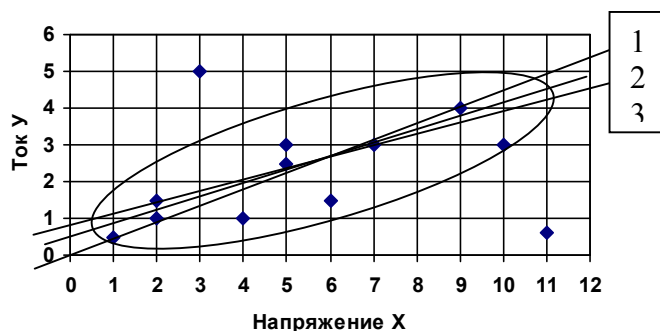
Принимая зависимость линейной, можно представить $Y = kX + b$.

По результатам замеров, опросов или из других источников имеем реальные соотношения тока X и напряжения Y , в произвольно выбранных единицах измерения.

Опыт №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ток X	1	2	2	10	9	7	4	5	5	6	3	11
Напр-е Y	0,5	1,5	1	3	4	3	1	2,5	3	1,5	5	0,6

2.2. Геометрическое решение (предварительный анализ).

Строим диаграмму рассеивания (ДР), рационально выбирая масштаб по осям.



Для опытов 11 и 12 данные следует исключить как флуктуации (не имеющие реального смысла). Эллипс рассеивания охватывает 10 точек, сильно вытянут, что свидетельствует о наличии зависимости.

Проводим прямую (2) визуально. Пусть ее уравнением будет $Y = kX + b$. Найдем оценки параметров k и b . Рассмотрим две (любые) точки на прямой (2), например: (2 ;1) и (11 ; 4,5). Тогда $1 = 2k + b$ и $4,5 = 11k + b$.

Решаем: $3,5 = 9k$, $k = 3,5 / 9 = 0,39$ и $b = 4,5 - 11k = 4,5 - 11 \cdot 0,39 = 4,5 - 4,29 = 0,21$.
Итак: **$Y = 0,39X + 0,21$.**

Этим уравнением можно уже воспользоваться для прикидочных расчетов. Однако, уверенности в правильности положения прямой нет.

2.3. Оценка параметров прямой регрессии $Y = \beta X + \alpha$ методом наименьших квадратов.

Для упорядочивания вычислений составим таблицу. Формулы для β и α содержат значения $\sum X_i$, $\sum Y_i$, $\sum X_i Y_i$, $\sum X_i^2$ и для обратной регрессии еще необходимо получить $\sum Y_i^2$.

№	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	1	0,5	1	0,25	0,5
2	2	1,5	4	2,25	3
3	2	1	4	1	2
4	10	3	100	9	30
5	9	4	81	16	36
6	7	3	49	9	21
7	4	1	16	1	4
8	5	2,5	25	6,25	12,5
9	5	3	25	9	15
10	6	1,5	36	2,25	9
N=10	51	21	341	56	133

$$\alpha = (21 \cdot 341 - 33 \cdot 51) / (10 \cdot 341 - (51)^2) = (7161 - 6783) / (4310 - 2601) = 378 / 809$$

$$\alpha = 0,47.$$

$$\beta = (10 \cdot 133 - 51 \cdot 21) / 809 = 259 / 809 = 0,32.$$

$$\alpha' = (51 \cdot 56 - 133 \cdot 21) / (10 \cdot 56 - (21)^2) = (2856 - 2793) / (560 - 441) = 63 / 119$$

$$\alpha' = 0,53.$$

$$\beta' = 259 / 119 = 2,2.$$

Суммы

уравнения прямых будут:

-визуальная прямая (2): **$Y = kX + b = 0,39X + 0,21$**

-прямая регрессия (3): **$Y = \beta X + \alpha = 0,32X + 0,47$**

-обратная регрессия (1): **$X = \beta' Y + \alpha' = 2,2Y + 0,53$** .

Нанесём эти прямые на график, определив для каждой по 2 точки:

прямая (3), $X=1 \Rightarrow Y=0,32X+0,47=0,79$; $X=10 \Rightarrow Y=3,2+0,47=3,67$;

прямая (1), $Y=1 \Rightarrow X=2,2Y+0,53=2,73$; $Y=4 \Rightarrow X=8,8+0,53=9,33$;

прямая (2) проведена ранее. Визуально наблюдается достаточно близкое расположение всех трёх прямых. Дополнительно можно было бы провести прямую ортогональной регрессии, но в данном случае этого не требуется.

Проверим достоверность результатов, вычислив коэффициент корреляции:

$$r_{\text{ин}} = \frac{133 - 10 \cdot 51 \cdot 2,1}{\sqrt{(341 - 10 \cdot 51^2)(56 - 10 \cdot 2,1^2)}} = \frac{133 - 107,1}{\sqrt{(341 - 260,1)(56 - 44,1)}} = \frac{25,9}{\sqrt{81 \cdot 12}} \approx \frac{26}{31} \approx 0,84.$$

Связь переменных достаточно сильная. Результатам следует верить.

2.4. Интерпретация результатов.

Учитывая реальный смысл переменных, можно утверждать, что $Y \approx 0,3X + 0,4$. По этой формуле можно вычислять силу тока по величине приложенного напряжения. Кроме того можно утверждать, что при повышении напряжения на единицу (10 мВ)- ток возрастет примерно на 30 мА. При отсутствии напряжения, ток остается в пределах 40 мА;

что можно объяснить, например нелинейным характером реальной зависимости на начальном участке характеристики, или наводками в цепях...

3. Варианты заданий на контрольную работу №1.

Номер варианта задания определяется по последней цифре порядкового номера студента в списке группы.

В работе следует провести Парный Линейный Регрессионный Анализ исходных данных соответствующего варианта по образцу рассуждений и вычислений в п.2 настоящего пособия. Единицы измерения переменных можно назначать произвольно.

На титульном листе указать название вуза, специальность, курс, группу и ФИО студента-исполнителя.

При защите КР необходимо уметь объяснить значение терминов, подчеркнутых в тексте.

Вариант №1. Найти зависимость. X- расстояние. Y- напряжение пробоя.

X	1	8	3	5	10	12	6	3	
Y	2	20	10	12	30	22	10	12	

Вариант №2. Найти зависимость. X- напряжение. Y- ток.

X	5	10	7	2	1	6	8	5	
Y	1	4	3	0,5	0,5	4	3	2	

Вариант №3. Найти зависимость. X- напряжение питания. Y- ток коллектора.

X	2	1	8	6	5	4	2	7	
Y	8	7	12	10	8	6	7	11	

Вариант №4. Найти зависимость. X- концентрация носителей. Y- проводимость.

X	1	10	20	15	8	6	15	4	
Y	2	40	50	20	30	25	42	10	

Вариант №5. Найти зависимость. X- цена товара. Y- спрос на товар.

X	5	4	6	2	1	8	5	1	
Y	8	8	5	10	11	6	5	8	

Вариант №6. Найти зависимость. X- частота сигнала. Y- коэфф. усиления.

X	10	15	5	20	40	50	30	12	
Y	20	22	10	25	50	40	42	24	

Вариант №7. Найти зависимость. X- температура. Y- сопротивление.

X	100	600	300	200	300	400	500	250	
Y	0,1	1,5	1,2	0,5	2	2	2,2	1	

Вариант №8. Найти зависимость. X- температура. Y- сопротивление.

X	2	1	2	3	6	8	10	7	
Y	5	6	7	5	3	2	1	2	

Вариант №9. Найти зависимость. X- потенциал затвора. Y- ток стока.

X	1	5	3	4	6	2	8	10	
Y	50	200	100	300	300	100	600	650	

Вариант №0. Найти зависимость. X- концентрация примеси. Y- проводимость.

X	6	2	4	5	5	7	8	6	4	3
Y	3	1	2	3	2	4	6	4	3	2

Перечень вопросов к экзамену
по дисциплине «Электронные системы» для студентов

3 курса специальности «Физическая и биомедицинская электроника».

1. Сущность и понятие Системы. Примеры электронных систем. Информационные и энергетические системы.
2. Модели и моделирование. Алгоритм построения и использования моделей.
3. Классификация моделей.
4. Требования к моделям, их свойства.
5. Классификация систем.
6. «Большие» системы. Определение, свойства.
7. Модельные свойства систем.
8. Типовая структура информационных систем.
9. Способы представления и описания систем.
10. Структурные методы описания систем. Композиция и декомпозиция.
11. «Системный подход», принципы анализа и синтеза систем.
12. Граф состояний системы. Его интерпретация для аналоговых систем.
13. Устойчивые и неустойчивые состояния, переходы, траектории, поведение системы.
14. Разомкнутые и замкнутые системы, сравнение возможностей управления.
15. Обратные связи в системах. Влияние положительных (ПОС) и отрицательных (ООС) обратных связей на поведение систем.
16. Типы и разновидности систем управления.
17. Графовые модели систем. Понятие графа. Части графов. Взвешенные графы.
18. Постановка и решение системных задач на графах.
19. Пример синтеза системы по её графу состояний.
20. Фазовые пространства. Отображение поведения системы в фазовом пространстве.
21. Устойчивые и неустойчивые системы. Автоколебания.
22. Циклы переключения управления, области устойчивости и существования систем.
23. Операторные способы описания систем. Их достоинства и недостатки.
24. Определение стохастических систем. Примеры.
25. Особенности описания стохастических систем.
26. Случайные функции и временные ряды. Их модельные свойства.
27. Методы Монте-Карло. Примеры применения в системном анализе.
28. Системы массового обслуживания. Примеры электронных СМО.
29. Случайные процессы, их свойства и модельные возможности.
30. Случайные потоки, их свойства и модельные возможности.
31. Цепи Маркова, определение, свойства и модельные возможности.
32. Примеры марковских систем.
33. Анализ СМО. Дисциплины обслуживания очередей.
34. Анализ СМО. Расчет основных показателей СМО.
35. Пример расчета одноканальной разомкнутой СМО.
36. Особенности анализа многоканальных и замкнутых СМО.
37. Методы установления зависимости между модельными переменными в системах.
38. Цели и задачи регрессионного анализа, идеология регрессионной модели.
39. Графический метод построения линии регрессии.
40. Аналитический метод построения линии регрессии. Метод наименьших квадратов.
41. Прямая, обратная, ортогональная регрессия. Соотношения параметров.
42. Пример практического применения парного линейного регрессионного анализа.
Таблица расчетных данных.
43. Оптимальные и экстремальные системы. Определение, примеры.
44. Способы поиска и достижения экстремума. Наибольшие и наименьшие значения функций.
45. Самонастраивающиеся системы. Система автоматической подстройки частоты.

46. Динамические оптимальные системы. Принцип Беллмана. Идеология динамического программирования.
47. Проблема выделения сигнала из шумов. Постановка задачи и способы ее решения.
48. Проблема распознавания образов. Примеры распознающих био-медицинских систем. Диагностические системы.
49. Способы формального описания объектов. Пространство признаков. Образы объектов. Эталоны образов.
50. Методики распознавания образов. Алгоритм использования обучающихся распознающих систем. Перцептроны.
51. Робототехнические системы. Структура, основные компоненты и их функции.
52. Человеко-машинные комплексы. Особенности построения и эксплуатации.

Рекомендуемая литература.

1. Основы системного анализа. Ладанюк А.П. Київ, „Нова книга”, 2004р.
2. Зайченко Ю.П. Исследование операций. К, ВШ. 1975.
3. Глушков В.М. Введение в кибернетику. К. АН УССР. 1964.
4. Красовский А.А. Динамика непрерывных самонастраивающихся систем. М. ФизМатГИз. 1963.
5. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. М. ФизМатГИз. 1968.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятности. М. Радио и связь. 1983.
7. Дж. Тейлор. Введение в теорию ошибок. М. «Мир». 1985.
8. Турбович И.Т. Опознавание образов. М. Наука. 1971.
9. Интегральные роботы. Сб. Вып.2. М. «Мир», 1975.