

Министерство образования и науки РФ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой КИПР

\_\_\_\_\_ Д.В.Озеркин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И  
ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

по дисциплине:

**Проектирование сложных систем**

для магистров

направления подготовки:

11.04.03 – Конструирование и технология  
электронных средств

Составитель:

Заведующий кафедрой КИПР

Д.В.Озёркин

2015

# 1 КУРСОВАЯ РАБОТА

Курсовая работа посвящена синтезу дескриптивной модели сложной системы с использованием фонда физико-технических эффектов (ФТЭ).

Общее задание на курсовую работу формулируется следующим образом: синтезировать дескриптивную модель сложной системы, в основу которой положен определенный вариант задания физико-технический эффект. Исходными данными являются параметры входа  $A$ , выхода  $C$ , а также внутренняя структура объекта  $B$ .

Синтез новых систем производится в три стадии.

1. Постановка задачи, включающей формулирование цели, условий и ограничений, и построение функциональной структуры технической системы (ТС). Формулируют общую (главную) функцию разрабатываемой системы, которая должна содержать указание «входа» и «выхода» в системе, т.е. описание преобразования входных физических величин в выходные физические величины, благодаря чему происходит реализация поставленной цели. Главную функцию изображают в виде черного ящика, имеющего «вход» и «выход». Затем составляется список основных требований к системе, включающий наиболее важные и принципиальные условия и ограничения выполнения общей (главной) функции.

В сложной системе можно выделить функциональные узлы, в соответствии с чем общая функция может быть разделена на подфункции 1-го уровня. Аналогично найденные подфункции 1-го уровня могут быть разбиты на подфункции 2-го уровня и т.д. Разбивка функций на подфункции более низкого уровня осуществляется до тех пор, пока они не будут соответствовать элементарным (неделимым) функциям, каждая из которых должна соответствовать какой-либо основной операции, для чего полученные функции сопоставляются со списком основных операций.

Введение понятия «основная операция» (под которой понимается сам процесс преобразования в отрыве от параметров на входе и выходе, т.е. от того, что преобразуется) представляет собой более высокий уровень абстрагирования и обобщения по сравнению с понятием «функция».

2. Выбор физических эффектов (ФЭ) для реализации каждой функции и принципиальных технических решений (качественное конструирование). После разработки структуры элементарных функций осуществляется ее реализация с помощью подбора одного или нескольких ФЭ, у которых наименования физических величин совпадают с наименованиями физических величин на входе и выходе элементарной функции соответственно, и их носителей.

Поиск ФЭ производится с помощью указателя ФЭ для соответствующей пары противоположных основных операций. При выборе физических эффектов Коллер рекомендует рассмотреть возможно большее число вариантов физических идей для реализации каждой элементарной функции и каждой основной операции. Особое внимание при этом следует обращать на реализацию двух или более элементарных функций одним ФЭ. Все возможные реализации структур элементарных функций с помощью различных ФЭ сводятся в структуры ФЭ. Каждая такая структура еще называется физическим принципом действия ТС. Затем на основании анализа принципов действия осуществляется выбор наиболее перспективных физических принципов действия для последующей проработки. Для этого рекомендуется использовать морфологический анализ.

Выбор носителей ФЭ осуществляется с помощью справочников по веществам и материалам. После выбора материалов проводится конструкторская проработка.

3. Разработка конструкторской документации заключается в подготовке технического и рабочего проекта (количественное конструирование).

### Варианты задания для курсовой работы

| № п/п | Наименование ФТЭ [источник литературы] | Вход <i>A</i>  | Объект <i>B</i>                 | Выход <i>C</i>                             | Краткая сущность ФТЭ  |
|-------|--|--|---------------------------------|--|---|
| 1     | Закон Ома [5, 12]                      | Электрическое поле<br><i>Напряженность электрического поля</i> | Проводники                      | Электрический ток<br><i>Плотность тока</i> | Возникновение в проводнике электрического тока, плотность которого пропорциональна напряженности поля   |
| 2     | Закон Джоуля - Ленца [5, 12]           | Электрический ток<br><i>Сила тока</i>                          | Проводники                      | Количество теплоты                         | Выделение в проводнике при протекании через него электрического тока определенного количества теплоты, пропорционального квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока |
| 3     | Эффект Зеебека [5, 12]                 | Температура<br><i>Градиент</i>                                 | Контакт разнородных проводников | Электрическое поле<br><i>ЭДС</i>           | Возникновение ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми имеют различные температуры                                   |

| №<br>п/п | Наименование<br>ФТЭ [источник ли-<br>тературы]* | Вход А  | Объект В                             | Выход С                                     | Краткая сущность ФТЭ   |
|----------|---|---|--------------------------------------|---|--|
| 4        | Эффект Томсона [5,<br>12]                       | 1. Температура<br><i>Градиент</i><br>2. Электрический<br>ток<br><i>Постоянный</i><br><i>Сила тока</i> | Проводники                           | Тепловой поток                              | Выделение или поглощение теплоты<br>(помимо выделения джоулевой теплоты)<br>в проводнике с током, вдоль которого<br>имеется градиент температуры |
| 5        | Эффект Пельтье [5,<br>12]                       | Электрический ток<br><i>Сила тока</i>   | Контакт разнород-<br>ных проводников | Тепловой поток                              | Выделение или поглощение теплоты при<br>протекании электрического тока через<br>контакт разнородных проводников                                  |
| 6        | Закон Био-<br>Савара-Лапласа<br>[5, 12]         | Электрический ток<br><i>Сила тока</i>   | Проводники                           | Магнитное поле<br><i>Магнитная индукция</i> | Создание в окружающем пространстве<br>магнитного поля при протекании по про-<br>воднику электрического тока                                      |

| № п/п | Наименование ФТЭ [источник литературы]* | Вход А  | Объект В   | Выход С   | Краткая сущность ФТЭ  |
|-------|---|---|--|---|---|
| 7     | Сверхпроводимость [5, 12]               | Температура<br><i>Уменьшение</i><br><i>Ниже критической</i>                                   | Металлы<br>Полупроводники                                    | Удельное электрическое сопротивление<br><i>Скачкообразное</i><br><i>уменьшение</i>    | Скачкообразное уменьшение практически до нуля электрического сопротивления ряда металлических проводников и сильнолегированных полупроводников при охлаждении ниже критической температуры, характерной для данного материала |
| 8     | Тензорезистивный эффект [1, 12]         | Деформация<br><i>Относительная де-</i><br><i>формация</i>                                     | Твердые проводники   | Удельное электрическое сопротивление<br><i>Изменение</i>                              | Изменение электрического сопротивления в твердых проводниках под действием растягивающих или сжимающих напряжений   |
| 9     | Вторичная электронная эмиссия [5, 12]   | Поток элементарных частиц (электронов)<br><i>Первичный</i><br><i>Плотность потока</i>         | Твердые тела<br>Жидкости                                     | Поток элементарных частиц (электронов)<br><i>Вторичный</i><br><i>Плотность потока</i> | Испускание электронов (вторичных) твердыми и жидкими телами при их бомбардировке электронами (первичными)   |
| 10    | Эффект Ганна [6, 12]                    | Электрическое поле<br><i>Постоянное</i><br><i>Напряженность</i><br><i>электрического поля</i> | Полупроводники<br>GaAs, InP, ZnSe,<br>CdTe, InSb, InAs и др. | Электрический ток<br><i>Высокочастотный</i><br><i>Частота</i>                         | Генерация высокочастотных колебаний электрического тока в полупроводниках с N-образной вольт-амперной характеристикой   |

## 2 ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа студентов является частью учебного процесса при подготовке квалифицированных магистров, способных самостоятельно и творчески решать стоящие перед ними задачи. В ходе самостоятельной работы формируются важнейшие профессиональные навыки будущего специалиста, такие как: внутренняя готовность к самообразованию в профессиональной сфере, самостоятельность, инициативность и ответственность, умение работать с источниками информации.

Каждая дисциплина должна иметь методическое сопровождение по самостоятельному изучению разделов и тем, указанных в рабочей программе, по написанию рефератов, выполнению расчетно-графических и лабораторных работ. В связи с этим эффективная организация самостоятельной работы студентов требует проведения целого ряда мероприятий, создающих предпосылки и условия для реализации самостоятельной работы, а именно:

- обеспечение студентов информационными ресурсами (учебными пособиями, справочниками, банками индивидуальных заданий);
- обеспечение студентов методическими материалами (учебно-методическими практикумами, сборниками задач, указаниями по выполнению лабораторных работ);
- наличие материальных ресурсов (персональных компьютеров, измерительного и технологического оборудования для выполнения заданий);
- организация консультаций преподавателей;
- возможность публичного обсуждения теоретических и практических результатов, полученных студентом самостоятельно.

Важным элементом в организации самостоятельной работы студентов является контроль. Контроль требует разработки преподавателем контролирующих материалов в текстовом или тестовом исполнении, а при использовании персональных компьютеров – пакета прикладных программ для проверки знаний студентов. Эффективная система контроля (в том числе электронная система контроля), наряду с рейтинговой системой оценки знаний, позволит добиться систематической самостоятельной работы студентов и повысить качество обучения.

Методические указания разработаны в соответствии с рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов (письмо Минобразования РФ от 27.11.2002 «Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений»).

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 ЗЕТ (180 час.).

Целью изучения дисциплины является формирование и развитие навыков системного мышления у будущих специалистов в области проектирования, экспериментального исследования и эксплуатации электронных средств различного функционального назначения; овладение методами выявления и описания системных свойств сложных объектов любой природы, их соответствия известным принципам и постулатам. Основными задачами дисциплины являются: приобретение знаний об основных этапах создания и описания сложных технических систем, навыков анализа, синтеза и оптимизации их параметров, применение информационных технологий при реализации конкретных систем.

Место дисциплины в структуре ООП: изучается в 1 семестре, является дисциплиной базовой части профессионального цикла (М2.Б.1), базируется на знании дисциплины «Системный анализ и методы научно-технического творчества» учебного плана бакалавров 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств».

Материалы дисциплины «Проектирование сложных систем» используются при изучении дисциплины «Эксперимент: планирование, проведение, анализ», при выполнении научно-исследовательской работы, а также при выполнении магистерских диссертаций.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: способностью использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин магистерской программы (ПК-1); способностью демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи (креативность) (ПК-2); способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК-4); способностью анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК-7); готовностью определять цели, осуществлять постановку задач проектирования, подготавливать технические задания на выполнение проектов электронных средств (ПК-8); способностью проектировать модули, блоки, системы и комплексы электронных средств с учетом заданных требований (ПК-9); способностью разрабатывать проектно-конструкторскую документацию на конструкции электронных средств в соответствии с методическими и нормативными требованиями (ПК-10); способностью разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства электронных средств (ПК-11); готовностью проектировать технологические процессы производства электронных средств с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства (ПК-12); готовностью осуществлять авторское сопровож-



дение разрабатываемых модулей, блоков, систем и комплексов электронных средств на этапах проектирования и производства (ПК-15).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: методы системного анализа процессов и объектов; уровень мировых достижений в проектировании и технологии производства электронных средств; методику проектирования сложных технических систем;

уметь: разрабатывать математические модели процессов и объектов, методы их исследования, выполнять их сравнительный анализ; выполнять комплексное проектирование электронных средств (схема-конструкция-технология);

владеть: способами формализации интеллектуальных задач; современными средствами проектирования конструкций и технологических процессов производства электронных средств.

Содержание дисциплины. Основные разделы:

- определение и свойства систем РЭС: общая теория систем, функции технической системы, конструктивные уровни РЭС, структурная модель РЭС, противоречия в технических системах;

- структура систем РЭС: совокупность параметров среды, параметры РЭС, компоненты системы; структурный и функциональный подход в исследовании систем РЭС;

- моделирование систем РЭС: физические модели, символические модели, словесно-описательные модели, математические модели, аналитические модели, имитационные модели, структурные модели, функциональные модели, формальные модели, теоретические модели, теоретические основы моделирования систем РЭС;

- способы управления системами: виды управления по отклонению, типовые динамические звенья, способы соединения звеньев системы;

- критерии развития технических объектов: функциональные критерии, технологические критерии, экономические критерии, антропологические критерии;

- методы исследования в научно-техническом творчестве: теоретический метод исследования, экспериментальный метод исследования;

- методы генерации новых технических решений: метод мозговой атаки, метод эвристических приемов, морфологический анализ, функционально-стоимостной анализ, использование теории решения изобретательских задач.

Виды учебной работы: лекции, практические занятия, лабораторные работы, курсовая работа, самостоятельная работа студента.

Изучение дисциплины заканчивается: экзаменом и дифференцированным зачетом в 1 семестре.

Примерные задачи на экзамен.

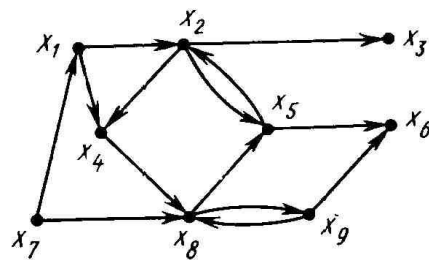
1. Известна целевая функция – уравнение регрессии процесса осаждения резистивных пленок на подложки микросборок методом испарения:

$$y = 1.07 + 0.069x_1 - 0.076x_2 + 0.1x_3 + 0.06x_1^2 + 0.08x_2^2 + 0.05x_3^2.$$

При проведении активного эксперимента в качестве первичных факторов были приняты:  $x_1$  – температура испарения;  $x_2$  – температура подложки при осаждении;  $x_3$  – температура термообработки пленок. Эксперимент проводился по двухуровневой схеме.

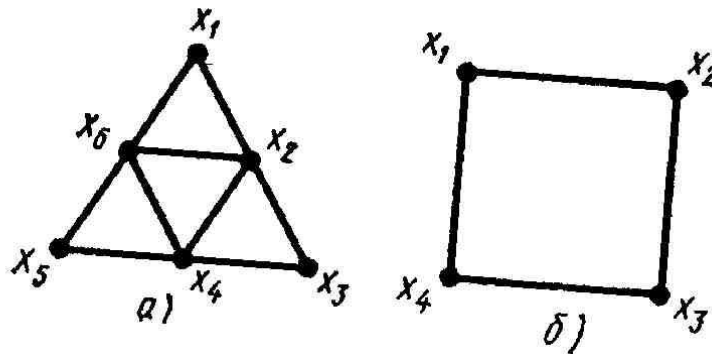
Определить минимум целевой функции.

2. На рисунке представленный ориентированный граф некоторой технической системы.



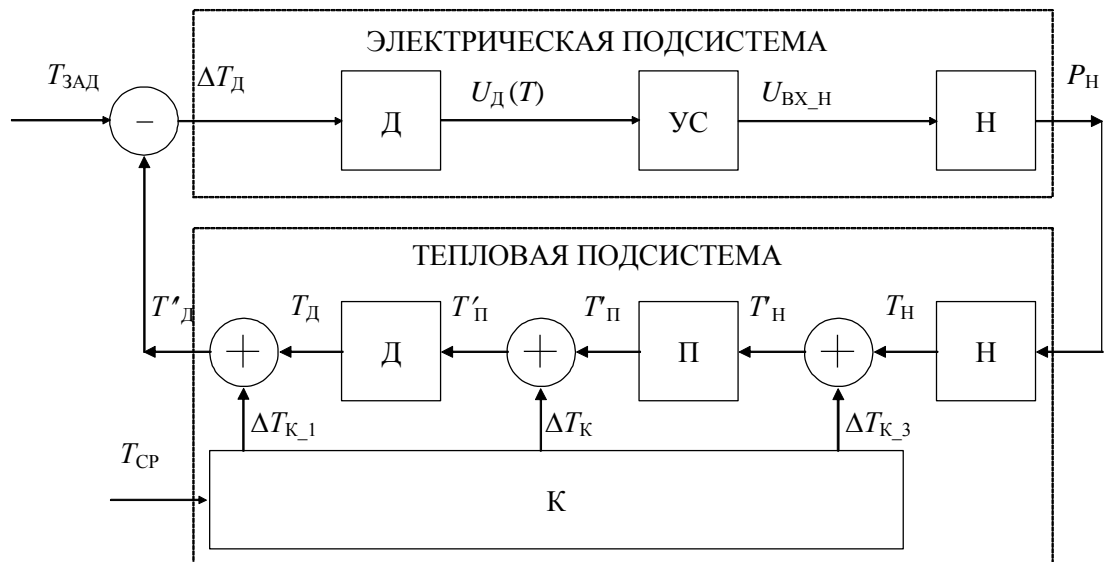
Какова степень вершины  $x_8$ ?

3. На рисунке представлены два графа некоторой технической системы.



Какая геометрическая фигура получится путем вычитания графов  $X = X_1 \setminus X_2$ ?

4. На рисунке представлена структурная схема микротермостата.



Сколько узлов в представленной схеме с точки зрения системного анализа?

5. Даны аналитические зависимости, которые описывают поведение входных сигналов во времени:

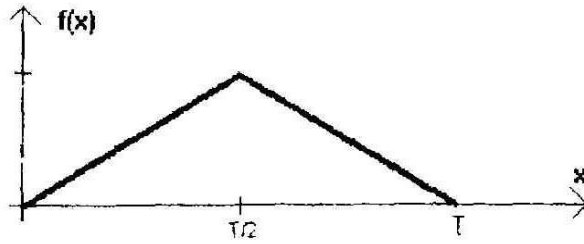
$$1. f(x) = \begin{cases} \frac{2x}{T} & \text{при } 0 \leq x \leq \frac{T}{2}, \\ -\frac{2x}{T} + 1 & \text{при } \frac{T}{2} < x \leq T. \end{cases}$$

$$2. f(x) = \begin{cases} \frac{2x}{T} & \text{при } 0 \leq x \leq \frac{T}{2}, \\ \frac{2x}{T} - 2 & \text{при } \frac{T}{2} < x \leq T. \end{cases}$$

$$3. f(x) = \begin{cases} \frac{2x}{T} & \text{при } 0 \leq x \leq \frac{T}{2}, \\ -\frac{2x}{T} + 2 & \text{при } \frac{T}{2} < x \leq T. \end{cases}$$

$$4. f(x) = \begin{cases} \frac{2x}{T} & \text{при } 0 \leq x \leq \frac{T}{2}, \\ -\frac{2x}{T} - 1 & \text{при } \frac{T}{2} < x \leq T. \end{cases}$$

Какая из приведенных зависимостей соответствует следующему графическому представлению:



6. Техническая система РЭС подвергнута декомпозиции на две подсистемы четырьмя разными вариантами. При этом получены следующие значения количества связей от первой подсистемы ко второй  $k$  и от второй к первой  $q$ :

1. вариант 1:  $k = 5$ ;  $q = 7$ ;
2. вариант 2:  $k = 9$ ;  $q = 1$ ;
3. вариант 3:  $k = 2$ ;  $q = 2$ ;
4. вариант 4:  $k = 1$ ;  $q = 2$ .

Какой из вариантов декомпозиции системы можно считать оптимальным.

7. Рассматривается линейная модель в виде полинома Чебышева первого рода:

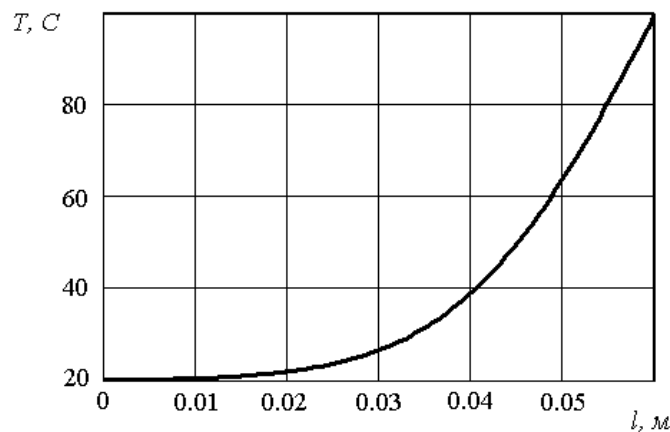
$$P(x) = \frac{a_0}{2}T_0(x) + a_1T_1(x) + a_2T_2(x) + \dots + a_iT_i(x).$$

Чему равна функция  $T_i(x)$  при  $i = 3$ ?

8. Рассматривается сосредоточенная в пространстве модель процесса теплопередачи корпуса РЭС. Известно, что тепловое сопротивление корпуса  $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ; температура внутри блока  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; температура вне корпуса  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Определить мощность теплового потока, действующего на корпус с внешней стороны.

9. Рассматривается распределенная в пространстве модель процесса теплопередачи корпуса РЭА. Распределение температуры по толщине корпуса в некоторый момент времени  $t$  представлено на рисунке.



При этом коэффициент температуропроводности  $a = 1.36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; температура среды  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура внутри корпуса  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Чему будет равна температура внутри корпуса, если предположить, что коэффициент температуропроводности  $a \rightarrow \infty$ ?

10. В аналитической форме дискретная во времени модель аналого-цифрового преобразователя имеет вид:

$$D_i = \left[ \frac{N \cdot U_{\text{вх}}(t)}{U_{\text{опор}}} \right],$$

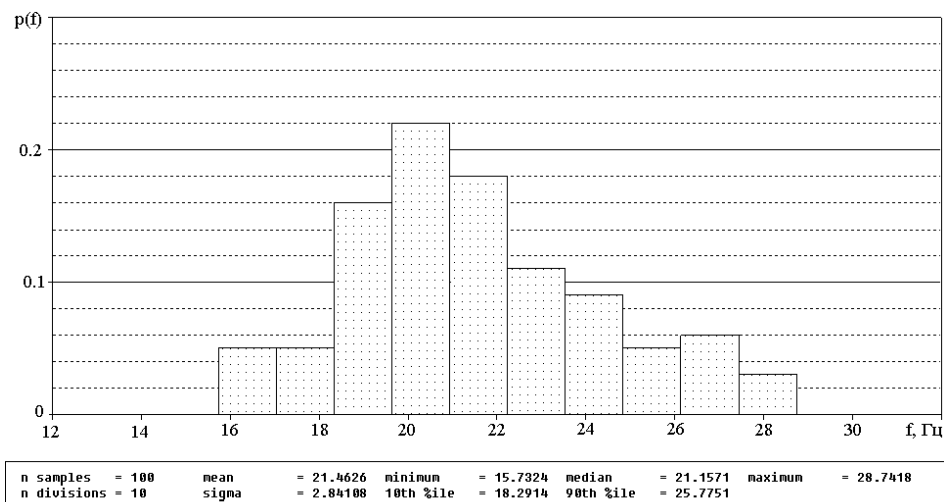
где  $D_i$  – десятичный эквивалент шестнадцатиричного числа на выходной шине данных; результат в квадратных скобках – округление до ближайшего целого числа;  $N$  – максимальное число для данного количества разрядов;  $U_{\text{вх}}(t)$  – значение входного сигнала в момент времени  $t$ ;  $U_{\text{опор}}$  – значение опорного напряжения АЦП.

Чему будет равно число  $N$ , если моделируется 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь?

11. Коэффициент усиления интегрального усилителя типа К554УД2 равен  $27 \cdot 10^3$ . В случае введения цепи линейной отрицательной обратной связи ее коэффициент передачи составляет  $1.2 \cdot 10^{-3}$ .

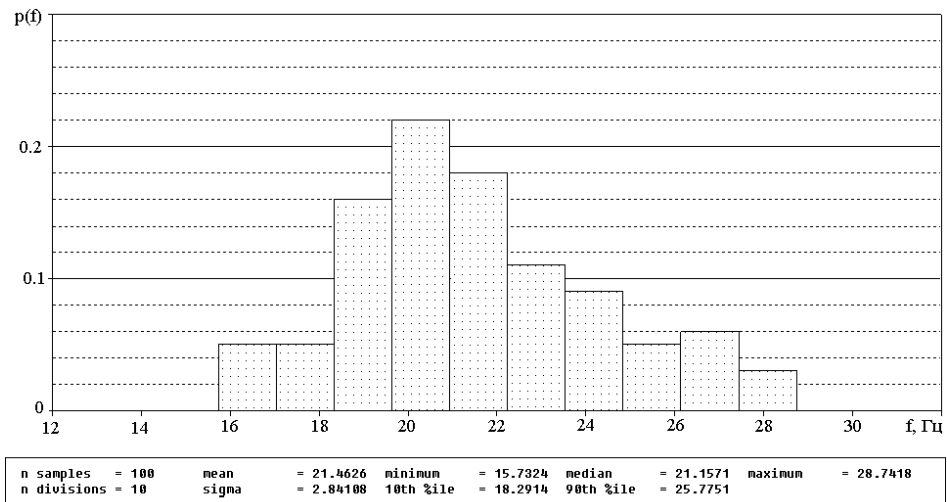
Используя детерминированную математическую модель, требуется вычислить коэффициент усиления усилителя при данной глубине ООС.

12. На рисунке представлена гистограмма плотности вероятности, которую получили в результате применения вероятностной математической модели.



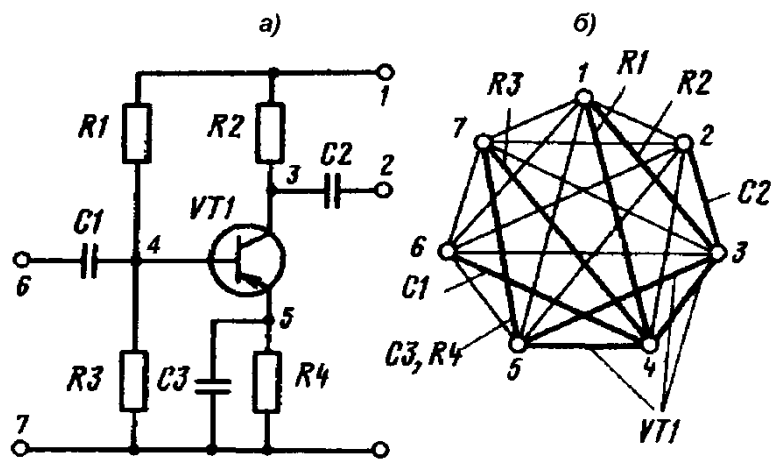
Если выразить высоту столбцов в относительных единицах, то чему будет равна сумма высот?

13. На рисунке представлена гистограмма плотности вероятности верхней частоты фильтра на основе вероятностной математической модели.



Какова размерность плотность распределения?

14. На рисунке представлен граф схемы РЭС.



К какому виду моделей относится данное представление?

15. Дан сигнал  $f(t) = \begin{cases} -1 & \text{при } -\pi < x < 0, \\ 1 & \text{при } 0 < x < \pi. \end{cases}$

Требуется представить сигнал в виде нелинейной модели – тригонометрического ряда Фурье.

Чему будет равен при этом представлении коэффициент  $a_0$ ?

16. Площадь Томской области составляет 317 000 км<sup>2</sup>. причем площадь территории с недопустимыми факторами загрязнения равна 3 000 км<sup>2</sup>, а площадь территории с критическими факторами загрязнения равна 5 000 км<sup>2</sup>.

Определить критерий экологичности в Томской области.

17. Чему равна сумма весовых коэффициентов всех вредных и опасных факторов для подсчета критерия безопасности технического объекта?

18. Какой из параметров целесообразно трактовать как эффективность  $Q$  при рассмотрении прогрессивного развития персональных компьютеров?

19. Рассматривается возможность изготовления бытовых DVD-плееров на одном из Томских предприятий радиотехнического профиля. Результаты технико-экономического обоснования:

- количество стандартных элементов – 50 (весовой коэффициент - 1);
- количество заимствованных элементов – 20;
- количество новых элементов, изготавливаемых без затруднений – 35;
- количество новых элементов, изготавливаемых с затруднениями – 10.

Элементов, которые невозможно изготовить, не имеется.

Чему равен критерий стандартизации по изготовлению DVD-плееров?

20. Исследуется критерий использования материалов при изготовлении светодиодов. Установлены следующие величины:

- масса заготовки кристалла – 1 г (весовой коэффициент – 0.7);
- масса заготовки линзы светодиода – 2.5 г (весовой коэффициент – 0.3);
- масса кристалла светодиода – 0.7 г (весовой коэффициент – 0.85);
- масса линзы светодиода – 2 г (весовой коэффициент – 0.15).

Определить критерий использования материалов при изготовлении светодиодов.

### 3 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Алексеев В.П., Озеркин Д.В. Системный анализ и методы научно-технического творчества / Учебное пособие. – Томск, ТУСУР, 2012. – 325 с. Электронный ресурс <https://edu.tusur.ru/training/publications/1284>.
2. Цой Ю.Р. Теория систем и системный анализ. Методические указания по практическим самостоятельным работам. – Томск, ТУСУР, 2012. – 20 с. Электронный ресурс <http://edu.tusur.ru/training/publications/1516>.
3. Силич М.П. Теория систем и системный анализ. Методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ. – Томск, ТУСУР, 2012. – 25 с. Электронный ресурс <http://edu.tusur.ru/training/publications/670>.
4. Ярушкина Н.А. Теория систем и системный анализ. Учебно-методическое пособие. – Томск, ТУСУР, 2007. – 26 с. Электронный ресурс <http://edu.tusur.ru/training/publications/297>.