Министерство образования Российской Федерации

ГОУ УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ-УПИ

**Дипломная работа по теме:**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания для студентов всех форм

обучения специальности 200700 - Радиотехника

Екатеринбург 2001

**ВВЕДЕНИЕ**

Курсовое проектирование является завершающим этапом изучения курса "Схемотехника аналоговых электронныхустройств".

В процессе курсового проектирования студент должен закрепить, расширить и углубить знания, полученные при изучении курса, а также развить навыки самостоятельной работы.

Основная задача курсового проектирования - научить студентов:

1. Анализировать технические задания, самостоятельно подбирать техническую литературу по разрабатываемому устройству.

2. Самостоятельно выбирать и обосновывать структурнуюсхему устройства, критически оценивать возможность, целесообразность и необходимость применения современной интегральной микросхемотехники.

3. Выполнять электрический расчетсхем**,** каскадов на транзисторах и интегральных микросхемах.

4. Использовать современные методы автоматизированного проектирования устройств.

5. Оформлять техническую документацию по результатам проектирования.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

Задание на проектирование аналогового устройства выдается индивидуально каждому студенту (или группе студентов) и содержит технические параметры АУ, который должен быть спроектирован (ТЗ), содержание и форму представления отчетного материала, сроки проектирования.

Темы курсового проектирования могут предполагать также типовую процедуру проектирования с усиленной исследовательской частью (реальный курсовой проект).

Техническое задание на типовой проект аналогового устройства, как правило, включает:

1. Назначение аналогового устройства.
2. Входные данные (входное сопротивление Rвх, параметры входного сигнала; входное напряжение Uвх, диапазон входного воздействия и др.).
3. Выходные данные (сопротивление и емкость нагрузки Rн, Сн, параметры выходного сигнала: величина и полярность выходного напряжения и др.).
4. Допустимые искажения сигналов (полоса пропускания и искажения на верхних fв и нижних fн граничных частотах Мв, Мн, время установления импульса tуст, спад плоской вершины импульса Δ*,* величина выброса δ и др.)
5. Эксплуатационные параметры (диапазон рабочих температур, напряжение питания Еп, потребляемая мощность Рп).
6. Конструктивно-технологические требования (вес, габариты, элементная база).

В качестве типового проекта предлагаются следующие аналоговые устройства:

1. Усилители измерительного устройства (табл.2.1, варианты 1-10).
2. Импульсные усилители (табл.2.2, варианты 11- 45).
3. Широкополосные усилители (табл.2.3, варианты 46 - 70).
4. Селективные усилительные устройства (табл.2.4, варианты 71- 80).
5. Устройства аналоговой обработки сигналов на ИМС (табл.2.5, варианты 81- 90).
6. Устройства для улучшения качества воспроизведения звуковых программ (табл.2.6, варианты 91- 100).

8. Усилители мощности звуковой частоты (табл.2.7, варианты 101- 110).

1. Усилители низкой частоты аппаратуры записи и воспроизведения звуковых сигналов (варианты 111- 120):

|  |  |
| --- | --- |
| 1. - | канал записи магнитофона 0 группы сложности |
| 1. - | канал воспроизведения магнитофона 0 группы сложности |
| 1. - | канал записи магнитофона 1 группы сложности |
| 1. - | канал воспроизведения магнитофона 1 группы сложности |
| 1. - | канал записи магнитофона 2 группы сложности |
| 1. - | канал воспроизведения магнитофона 2 группы сложности |
| 1. - | канал записи магнитофона 3 группы сложности |
| 1. - | канал воспроизведения магнитофона 3 группы сложности |
| 1. - | канал записи магнитофона 4 группы сложности |
| 1. - | канал воспроизведения магнитофона 4 группы сложности |

Таблица 2.1

Техническое задание на проектирование усилителей измерительного устройства

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры № п.п. | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Тип усилителя | | | Усилитель для милливольтметра переменного тока | | | | | Усилитель вертикального отклонения к осциллографу | | | | |
| Граничные частоты (по уровню 3дБ) | | FH, гц | 5 | 10 | 20 | 20 | 15 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 |
| FB, гц | 5 | 2,5 | 10 | 25 | 15 | 5 | 10 | 5 | 25 | 15 |
| Коэффициент усиления К0 | | | 104 | 105 | 2х103 | 100 | 103 | 50 | 50 | 100 | 50 | 100 |
| Стабильность К0,% | | | 1 | 0,5 | 2 | 1 | 2 | 5 | | | | |
| Регулировка усиления  5 | | | Ступенчатая от макс. К0 по 6 дБ на деление | | | | | СКП 1, 2, 5, 10, 20, 50  ИДР 20 дБ | | | | |
| Характер нагрузки | RH, кОм | | 2 | 1 | 2 | 1 | 5 | Трубка 6Л03И | | | Трубка 8Л05И | |
| CH, пФ | | 100 | 50 | 100 | 50 | 100 |
| Требования к входным параметрам | RВХ, кОм | | 1 | 500 | 1 | 1 | 100 | 1000  50 | | | | |
| CВХ, пФ | | 25 | 50 | 50 | 50 | 30 |
| Максимальное выходное напряжение UВЫХ, В | | | 2 | 1 | 2 | 1 | 5 | ±25 В | | | | |
| Напряжение питания ЕП, В | | | +12,6 | В | В | +6,3 | В | В | | | | |

Примечания: 1. Механические и климатические требования установить не хуже требований, принятых для переносной аппаратуры.

2. СКП 1, 2… ступенчатая с коэффициентом передачи 1, 2…, П - плавная, ДР - диапазон регулировки, В – параметр выбирается по усмотрению исполнителя.

Таблица 2.2

Техническое задание на проектирование импульсных усилителей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п.п. | Назначение | Сигнал | | | | Внутреннее. сопр. ист. сигнала, Ом | Входное сопр. усилителя, Ом | Выход | | | | | Сопротивление нагрузки, Ом | Емкость нагрузки, пФ | Коэффициент усиления К0 | Нестабильность К0, % | Регулировка усиления, дБ | Диапазон рабочих температур | Напряжение питания | Примечание |
| ЭЛС (напр.), мВ | Полярность | Длительность, мкс | Время уст., мкс | Напряжение, В | Полярность | Время установл., мкс | Выброс, % | Спад вершины, % |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | В | 20 | + | 1-5 | 0,1 | 100 | - | 10 | ± | 0,2 | 1 | 2 | 300 | 20 | - | - | П-20 | 10+50 | В | ВС |
|  | В | 2,5 | - | 0,3 | 0,05 | 50 | - | 1 | + | 0,12 | 2 | 2 | 75 | 26 | - | - | П-20 | 10+55 | В | - |
|  | В | 0,3 | + | 1-300 | - | 102-105 | - | 0,6 | + | 0,15 | 1 | - | 50 | 30 | - | - | У | В | 6,3 | - |
|  | В | 1-40 | ± | 0,8-6 | - | - | 3x103 | 2 | ± | 0,25 | B | B | 2x102 | 10 | - | - | С-30 | В | В | - |
| 6 | П | 0,1-102 | + | 0,5-10 | 0,05 | - | 5x104 | 0,2 | + | 0,25 | B | B | 102 | 10 | - | - | С-60  П-20 | 10+60 | 6,3 | - |
|  | П | 1-10 | + | 1-104 | 0,05 | 75 | - | - | - | 0,15 | - | - | 2x102 | 10 | 100 | 2 | П-20 | 10+50 | В | - |
|  | П | 2-20 | - | 2-10 | - | 10-104 | - | - | - | 0,3 | 1 | 2 | 500 | 30 | 300 | 2 | В | 10+50 | В | - |
|  | П | 10-500 | ± | 0,2-5 | - | - | 104 | - | ± | 0,05 | - | 1 | 3x102 | - | 20 | 0,15 | У | -30+60 | В | - |
|  | О | 100 | + | 0,7 | 0,05 | 500 | - | 20 | ± | 0,12 | 1 | 3 | 105 | - | - | - | У | 20+50 | В | ВС |
|  | О | 200 | - | 2 | 0,1 | 103 | - | 30 | ± | 0,2 | 2 | 2 | 2x105 | - | - | - | П-20 | 10+45 | В | ВС |
|  | О | 10 | ± | 1-400 | - | - | 105 | 2,5 | ± | 0,25 | 3 | 5 | 500 | 20 | - | - | С-20  П-15 | 15+50 | В | ВС |
|  | Р | 0,2-100 | + | 0,4 | - | 400 | - | 0,5 | + | 0,12 | B | B | 300 | 1 | - | - | В | В | 6,3 | - |
|  | Р | 0,5-102 | - | 0,7 | - | 103 | - | 2 | + | 0,15 | B | B | 102 | 25 | - | - | П-60 | В | В | - |
|  | Р | 10-300 | + | 0,25 | - | 300 | - | 1 | + | 0,05 | 1 | 3 | 800 | 100 | - | - | В | -40+60 | В | - |
|  | Т | 0,3 | + | 0,4 | - | 200 | - | 0,2 | - | 0,06 | B | B | 30 | 5 | - | - | У | -20+60 | 6 | - |
|  | Т | 0,1 | - | 10 | - | - | 2x105 | 0,15 | - | 0,5 | B | 2 | 500 | 10 | - | - | У | 0+50 | +3-5 | - |
|  | Т | 4 | ± | 3 | - | 500 | - | 16 | ± | 0,3 | 3 | B | 1000 | 300 | - | - | П-20 | -30+50 | В | - |
|  | Т | 30 | + | 20 | 4,0 | 2x105 | - | 10 | - | 6 | - | 10 | 103 | 10 | - | - | П-16 | -50+60 | В | ВС |
|  | В | 15 | + | 1,5 | 0,2 | - | 750 | 5 | - | 0,3 | 1 | - | 400 | 100 | - | - | У | В | В | - |
|  | В | 4 | - | 1 | 0,1 | 103 | - | 4 | - | 0,2 | - | 3 | 50 | 20 | - | - | У | В | В | - |
|  | Р | 1-200 | - | 0,6 | 0,03 | 50 | - | 1-3 | + | 0,09 | 2 | 3 | 350 | 25 | - | - | В | -40+60 | В | - |
|  | И | 0,5-50 | + | 1-50 | - | - | 104 | - | + | 0,15 | 1 | 1 | 2 | 15 | 400 | 1 | С-36 | -10+50 | В | - |
|  | В | 2-60 | + | 1,1 | - | 100 | - | 1-4 | + | 0,2 | 1 | 2 | 75 | 20 | - | - | В | -40+60 | В | - |
|  | Т | 1-40 | - | 10 | 0,2 | 400 | - | - | + | 0.35 | - | 5 | 100 | 50 | 150 | - | В | -20+40 | В | - |
|  | О | 0,7-100 | ± | 0,6-100 | - | 50-103 | - | - | ± | 0,16 | 2 | 2 | 500 | 20 | 200 | - | С-46  П-10 | В | В | ВС |
|  | Р | 2-250 | + | 0,8 | 0,05 | 400 | - | 1-3 | - | 0,1 | 1 | 4 | 250 | 20 | - | - | В | -40+60 | В | - |
|  | И | 1-200 | - | 0,3-30 | - | - | 5x103 | - | - | 0,1 | 1 | 1 | 3x103 | 10 | 50 | 0,5 | С-40 | -10+50 | В | - |
| 7 | В | 3-100 | - | 0,8-1000 | - | - | 4x103 | - | + | 0,2 | 1 | 2 | 103 | 25 | 300 | 1 | В | 10+50 | В | - |
|  | Т | 5-50 | + |  | 0,2 | 600 | - | - | - | 0,3 | - | - | 700 | 20 | 500 | - | В | -10+35 | В | - |
|  | О | 0,2-100 | ± | 0,7-10 | - | - | 3x103 | 2-6 | ± | 0,18 | 1 | 2 | 200 | 20 | - | - | В | 0+50 | В | ВС |
|  | И | 2,5-300 | ± | 1-45 | - | - | 104 | - | - | 0,2 | - | - | 600 | 20 | 30 | 0,3 |  | 0+50 | В | - |
|  | Т | 4-50 | + | 1,5 | 0,05 | 300 | - | - | - | 0,15 | 2 | 1 | 150 | 30 | 80 | - | ±6 | -40+60 | В | - |
|  | Т | 5 | - | 1-20 | 0,08 | 350 | - | 7 | + | 0,2 | - | - | 200 | 20 | - | - | ±6  ±6 | -40+60  -50+50 | В  В | -  - |
|  | О | 0,1-100 | ± | 0,8-20 | - | - | 2,5x103 | 0,3-1 | ± | 0,22 | 1 | 1 | 300 | 15 | - | - | ±6 | 0+50 | В | ВС |
|  | Р | 0,3-80 | + | 0,85 | 0,05 | 400 | - | 0,5-2 | - | 0,15 | 1 | - | 400 | 18 | - | - | 50 | -40+60 | В | - |

Примечания: В – выбрать самостоятельно; И – измерительный; О – осциллографический; Р – радиолокационный; Т – телеметрия , общего назначения, С – ступенчатая, П – плавная, У – установочная; ± 6дБ; ВС – выход симметричный, допускается асимметрия 10%.

Таблица 2.3

Техническое задание на проектирование широкополосного усилительного устройства

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п.п. | UВЫХ, В,  эфф. | RH, Ом | CH, пФ | EГ, В, эфф. | RГ, Ом | Полоса частот | | Частоты искажения | | Нелинейные искажения,  % | Регулировка усиления,  DР, дБ | Максимальная температура окруж. среды  град. Цельсия |
| fH, Гц | fВ, Гц | МH, дБ | МВ, дБ |
|  | 20 | 106 | 10 | 0,2 | 50 | 20 | 5 | 3 | 3 | 8 | СП 20 | 60 |
|  | 5х2 | 2х106 | 20 | 0,05 | 100 | 50 | 4 | 3 | 3 | 6 | П 10 | 50 |
|  | 10 | 105 | 12 | 0,02 | 75 | 30 | 3 | 3 | 3 | 5 | СП 40 | 50 |
|  | 8х2 | 106 | 20 | 0,1 | 50 | 20 | 4 | 3 | 3 | 6 | СП 40 | 80 |
|  | 5х2 | 2х104 | 16 | 0,05 | 75 | 50 | 3 | 3 | 3 | 5 | П 10 | 50 |
|  | 25х2 | 2х105 | 10 | 0,2 | 50 | 26 | 4 | 3 | 3 | 6 | СП 40 | 50 |
|  | 12 | 2х106 | 10 | 0,1 | 100 | 30 | 4 | 3 | 3 | 10 | П 10 | 75 |
|  | 15х2 | 106 | 16 | 0,1 | 50 | 50 | 5 | 3 | 3 | 8 | СП 30 | 50 |
|  | 10 | 105 | 20 | 0,1 | 100 | 20 | 5 | 3 | 3 | 5 | П 10 | 40 |
| 8 | 6 | 2х105 | 20 | 0,05 | 50 | 30 | 3 | 3 | 3 | 6 | СП 30 | 45 |
|  | 10 | 106 | 12 | 0,1 | 75 | 20 | 6 | 3 | 3 | 8 | СП 20 | 70 |
|  | 20 | 106 | 10 | 0,2 | 50 | 50 | 5 | 3 | 3 | 10 | СП 25 | 65 |
|  | 8х2 | 105 | 8 | 0,1 | 50 | 30 | 4 | 3 | 3 | 8 | СП 40 | 80 |
|  | 5 | 106 | 20 | 0,05 | 100 | 40 | 4 | 3 | 3 | 4 | СП 30 | 80 |
|  | 5 | 100 | 500 | 0,05 | 50 | 100 | 10 | 3 | 3 | 5 | СП 20 | 80 |
|  | 10 | 5х103 | 100 | 0,02 | 103 | 103 | 5 | 3 | 3 | 7 | СП 40 | 80 |
|  | 12 | 105 | 10 | 0,1 | 50 | 25 | 5 | 3 | 3 | 8 | СП 25 | 60 |
|  | 20х2 | 2х106 | 20 | 0.1 | 100 | 40 | 3 | 3 | 3 | 10 | СП 35 | 50 |
|  | 7х2 | 105 | 20 | 0,05 | 50 | 30 | 6 | 3 | 3 | 4 | СП 30 | 70 |
|  | 14х2 | 106 | 10 | 0,1 | 50 | 50 | 3 | 3 | 3 | 10 | СП 30 | 40 |
|  | 6 | 105 | 14 | 0,05 | 100 | 40 | 4 | 5 | 3 | 5 | СП 20 | 35 |
|  | 11х2 | 106 | 15 | 0,2 | 50 | 20 | 5 | 3 | 3 | 8 | СП 20 | 50 |
|  | 18х2 | 106 | 20 | 0,3 | 100 | 100 | 4 | 3 | 3 | 10 | СП 15 | 60 |
|  | 4 | 105 | 16 | 0,02 | 75 | 50 | 5 | 3 | 3 | 5 | СП 30 | 80 |
|  | 10 | 50 | 1000 | 0,02 | 50 | 106 | 5 | 3 | 3 | 10 | П 40 | 70 |

Примечания: 1. Регулировка: П – плавная, СП – ступенчатая.

2. Представление выходного напряжения UВЫХ=25х2 означает, что выход симметричный (допустимая асимметрия до 20%).

Таблица 2.4

Техническое задание на проектирование селективного усилительного устройства

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п.п. | UВЫХ, В | RH, Ом | CH, пФ | EГ, В | RГ, Ом | f01,  кГц | f02,  кГц | f03,  кГц | Δf1,  кГц | Δf2,  кГц | Δf3,  кГц | Регулировка усиления, дБ |
|  | 5 | 5х103 | 50 | 0,05 | 100 | 100 | 250 | - | 10 | 20 | - | П 20 |
|  | 10 | 2,5х103 | 100 | 0,1 | 104 | 150 | 200 | 300 | 50 | 20 | 30 | СП 30 |
|  | 7 | 50 | 100 | 0,05 | 50 | 500 | 700 | - | 100 | 50 | - | П 15 |
|  | 5х2 | 103 | 200 | 0,05 | 75 | 80 | 180 | - | 20 | 40 | - | СП 20 |
|  | 10х2 | 1,5х103 | 150 | 0,05 | 150 | 50 | 150 | 200 | 10 | 30 | 20 | СП 35 |
|  | 6 | 2,5х103 | 50 | 0,08 | 103 | 120 | 160 | 200 | 20 | 20 | 10 | П 20 |
|  | 8х2 | 3х103 | 150 | 0,08 | 50 | 400 | 500 | - | 50 | 20 | - | СП 15 |
|  | 20 | 103 | 30 | 0,2 | 103 | 450 | 700 | - | 100 | 200 | - | СП 25 |
|  | 2х2 | 104 | 50 | 0,01 | 2х103 | 75 | 150 | 300 | 30 | 50 | 80 | П 15 |
|  | 12 | 100 | 500 | 0,1 | 500 | 30 | 75 | 120 | 20 | 35 | 40 | П 20 |

Примечание: Крутизна ската фильтров по согласованию с руководителем проекта, но менее ± 40 дБ/декада

9

###### Таблица 2.5

###### Устройства аналоговой обработки сигналов на ИМС

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  вар. | Вычисляемая формула | Ег1,  В | f1,  кГц | Rг1,  кОм | Ег2,  В | f2,  кГц | Rг2,  кОм | Ег3,  В | fг3,  кГц | Rг3,  кОм | Т,  ms | Примечание |
|  |  | 1,5 | 30 | 1 | 2 | 60 | 0,05 | 5 | - | 1 | 100 | Ег3- «+» |
|  |  | 0,5 | 120 | 0,05 | 1 | 120 | 0,05 | 0,05 | 120 | 1 | 10 |  |
|  |  | 0,3 | 300 | 0,75 | 0,5 | 200 | 0,05 | 5 | 100 | 0,05 | 50 |  |
|  |  | 5 | 10 | 0,05 | 0,2 | - | 0,05 | 0,05 | - | 10 | 100 | Ег2 – «+»  Ег3 – « - » |
| 10 |  | 0,5 | 100 | 10 | 0,2 | 100 | 10 | 0,05 | - | 0,05 | 50 | Ег3- «+» |
|  |  | 1 | 500 | 0,05 | 0,5 | 500 | 100 | 0,5 | - | 0,05 | - | Ег2 – «-»  Ег3 – « +» |
|  |  | 0,05 | - | 100 | 0,1 | 500 | 0,05 | 0,05 | - | 100 | - | Ег1 – «+»  Ег3 – « +» |
|  |  | 0,5 | - | 0,05 | 0,2 | - | 10 | 1,5 | 300 | 1 | 10 | Ег1 – «+»  Ег2 – « - » |
|  |  | 2 | 100 | 10 | 0,5 | 200 | 0,075 | 0,05 | - | 10 | 500 | Ег3 – « +» |
|  |  | 1 | 200 | 0,05 | 0,1 | - | 0,05 | 0,5 | - | 1 | 50 | Ег2 – «+»  Ег3 – « - » |

Примечание: Сигналы, для которых в графе "f" стоит прочерк, являются постоянными напряжениями с полярностью, указанной в графе "Примечание".

Таблица 2.6

Устройства для улучшения качества воспроизведения звуковых программ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар. | Тип устройства | UВХ,  В | RВХ,  кОм | RВЫХ,  кОм | UВЫХ,  В | FН,  кГц | FВ,  кГц | Дополнительные сведения |
|  | Графический эквалайзер | 0,05 | 10 | 1 | 1 | 31,5 | 16 | Октавный, число полос – 10,  глубина регулировки ± 30 дБ |
|  | Графический эквалайзер | 1 | 10 | 1 | 1 | 31,5 | 16 | 1/3 октавный, число полос – 30,  глубина регулировки ± 18 дБ |
|  | Графический эквалайзер | 0,05 | 10 | 1 | 1 | - | - | 5 полосовых фильтров с F0 =100 Гц, 330 Гц, 1 кГц, 3,3 кГц, 10 кГц. Q = 2, глубина регулировки ± 15 дБ |
|  | Графический эквалайзер | 0,1 | 47 | 0,05 | 1 | 31,5 | 16 | Октавный, число полос – 10,  глубина регулировки ± 20 дБ |
|  | Графический эквалайзер | 0,05 | 47 | 0,05 | 1 | 31,5 | 16 | 1/3 октавный, число полос – 30,  глубина регулировки ± 12 дБ |
| 11 | Параметрический эквалайзер | 0,01 | 10 | 1 | - | - | - | 3 фильтра – ФНЧ, ФВЧ, ПФ,  FСР ФНЧ = 100 Гц…1 кГц, КФНЧ = 2…10  FСР ФВЧ = 3,3 кГц…10 кГц, КФВЧ = 2…10  FПФ = 1 кГц, Q = 2, КПФ = 2…10 |
|  | Параметрический эквалайзер | 0.1 | 100 | 0.05 | - | - | - | 6 полосовых фильтров с F0 =20 Гц, 100 Гц,  300 Гц, 1 кГц, 3.3 кГц, 10кГц, 16кГц,  диапазон перестройки F0 - ±20% Q = 0,5…2, глубина регулировки ± 20 дБ |
|  | Параметрический эквалайзер | 0,05 | 47 | 1 | - | - | - | 3 фильтра – ФНЧ, ФВЧ, ПФ,  FСР ФНЧ = 20 Гц…100 Гц, КФНЧ = 2…10  FСР ФВЧ = 10 кГц…16 кГц, КФВЧ = 2…10  FПФ = 1 кГц…10 кГц, Q = 1,4; КПФ = 2…10 |
|  | Шумоподавитель | 1 | 100 | 1 | 1 | 16 | 20 | Тип компандерный Dolby – B.  Динамический диапазон – 84 дБ.  Коэффициент сжатия – 0.5. |
|  | Шумоподавитель | 1 | 47 | 0.05 | 1 | 40 | 18 | Тип компандерный Dolby – B.  Динамический диапазон – 90 дБ.  Коэффициент сжатия – 0.2. |

Таблица 2.7

Усилители мощности звуковой частоты

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар. | FН,  КГц | FВ,  кГц | UВХ НОМ,  В | UВЫХ НОМ,  В | РВЫХ НОМ,  Вт | UВЫХ MAX,  В | PВЫХ MAX,  Вт | RН,  Ом | Kг,  % | КПД% | Примечание |
|  | 40 | 18 | 0,1 | 20 | 50 | 25 | 80 | 8 | 0,1 | 60 |  |
|  | 20 | 20 | 1 | 10 | 25 | 15 | 50 | 4 | 0,05 | 50 |  |
|  | 40 | 16 | 0,1 | 30 | 100 | 40 | 200 | 8 | 0,5 | 70 |  |
|  | 20 | 22 | 1 | 10 | 12,5 | 20 | 50 | 8 | 0,01 | 50 |  |
|  | 40 | 20 | 0,02 | 8 | 15 | 12 | 30 | 4 | 0,02 | 60 |  |
| 12 | 60 | 16 | 0,1 | 6 | 0,1 | 8 | 0,2 | 300 | 1 | 70 |  |
|  | 16 | 22 | 0,5 | 20 | 0,4 | 30 | 1 | 1000 | 0,01 | 50 |  |
|  | 20 | 40 | 1 | 10 | 6 | 15 | 12,5 | 16 | 0,5 | 70 |  |
|  | 40 | 20 | 0,1 | 20 | 100 | 25 | 150 | 4 | 0,1 | 60 |  |
|  | 16 | 40 | 0,5 | 20 | 25 | 25 | 40 | 16 | 0,02 | 60 |  |

Таблица 2.9

Основные параметры кассетных магнитофонов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Норма по группе сложности | | | | |
| 0  высшая | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Коэффициент детонации, %, не более | ± 0,08 | ± 0,12 | ± 0,2 | ± 0,35 | ± 0,4 |
| Частотный диапазон, Гц, не уже | 2..20000 | 31,5..18000 | 40..14000 | 63..10000 | 63..10000 |
| Отношение сигнал - шум, дБ, не менее | 60 | 56 | 54 | 48 | 46 |
| Коэффициент гармоник, %, не более | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 3,5 | 4,0 |

Студенты заочной формы обучения выбирают вариант задания на курсовой проект в соответствии с последними двумя цифрами номера зачетной книжки.

Вариант задания студентов дневной и вечерней форм обучения выдается преподавателем, ведущим курсовое проектирование, во время плановых консультаций.

Студенты всех форм обучения могут выполнять реальный курсовой проект. Реальный курсовой проект может включать следующие разделы:

* обоснование актуальности рассматриваемого вопроса,
* теоретическое исследование,
* цифровое моделирование,
* макетирование и экспериментальное исследование.

Конкретное содержание реальных проектов определяется преподавателем индивидуально с каждым студентом (или группой студентов).

# ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ И ЭТАПЫ ПРОКТИРОВАНИЯ

## 1.1 Общие положения

Задачу проектирования аналоговых устройств (АУ) рекомендуется решать на основании следующих принципов:

1. Стремление выполнить требования ТЗ.
2. Стремление выполнить ТЗ наилучшим образом в соответствии с критериями оптимальности. АУ должно быть простым, дешевым, надежным (минимум активных элементов), с минимальным потреблением мощности, долговечным.
3. Использовать опыт предшествующих разработок, известные решения, аналоги, использовать известные методы расчета и анализа.
4. Идти последовательно, от ТЗ к структуре АУ, далее к принципиальной схеме, ее расчету и сравнению ее параметров с требованиями ТЗ.
5. Применять универсальные приемы (обратные связи, корректирующие цепи).

## 1.2 Основные этапы

Все эти принципы конкретизируются в оптимальной процедуре проектирования аналоговых устройств, включающих следующие этапы:

1. Анализ и доработка технического задания, включающая выбор неуказанных в ТЗ параметров исходяиз назначения, анализа источников.

*2.* Эскизное проектирование, целью которого является синтез структуры АУ, варианта (вариантов) и определение требований к отдельнымузлам**.**

3. Электрический расчет величин элементов АУ и выбор их типов.

4. Расчет результирующих характеристик и параметров и проверкаих соответствия требованиям технического задания.

5. Оптимизация (исправление) принятых решений в соответствии с ТЗ и критериями оптимизации.

6. Разработка конструкции АУ.

7. Оформление технической документации.

## Краткое содержание основных этапов

### 1.3.1 Эскизное проектирование

Цель эскизного проектирования - синтез структуры АУ, варианта (вариантов) и определение требований к определенным каскадам АУ.

Рекомендуется следующая процедура эскизного проектирования:

1. Изучение аналогов.
2. Анализ и доработка ТЗ.
3. Выбор элементной базыАУ**.**
4. Выбор конкретных типов микросхем или транзисторов, определение режима их работы, параметров.
5. Выбор типов входного, выходногои промежуточного каскадов и блоков.
6. Определение числа каскадов.
7. Выбор схемы вспомогательных цепей (регулировка параметров и характеристик и т.д.).
8. Определение необходимости применения обратных связей, цепей коррекции.
9. Распределение параметров и искажений между каскадами.
10. Разработка функциональной схемы АУ.
11. Составление варианта (вариантов) схемыАУ.
12. Сопоставление вариантов принципиальных схем по критериям оптимальности.

**1.3.2 Электрический расчет базового варианта принципиальной схемы АУ**

Расчет принципиальнойсхемы АУ проводится покаскадно,исходяиз определенных на этапе эскизного проектирования требований к каждому каскаду. Процедура расчета типовых аналоговыхсхем хорошо формализована и изложена в литературе. На этом этапе величинынекоторых элементов каскада приходится выбирать,а остальные - рассчитывать. Расчетные значения величин элементов должны быть округлены в соответствии с ГОСТом и ТУ на изделия.

## 1.4 Рекомендации по проектированию устройств аналоговой обработки сигнала

АУ характеризуется рядом технических показателей. В зависимости от того, какие из показателей считают основными, формулируются требования к проектированию АУ и выбираются способы их технической реализации. К основным показателям относятся: коэффициент усиления, амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики, переходные характеристики, коэффициент нелинейных искажений, уровень помех, чувствительность, устойчивость, входное и выходное сопротивления. Спроектированное устройство должно удовлетворять определенному сочетанию упомянутых показателей.

При проектировании АУ и отдельных их звеньев с учетом приведенных качественных показателей целесообразно классифицировать их следующим образом: 1) усилители постоянного тока; 2) усилители низкой частоты; 3) широкополосные усилители; 4) импульсные усилители; 5) частотно-избирательные усилители; 6) усилители сигналов большой интенсивности; 7) усилители высокой чувствительности; 8) аналоговые устройства на базе усилителей.

Каждый из перечисленных типов АУ имеет отличительные особенности.

Классификация аналоговых устройств

**Усилители постоянного тока** **(УПТ)** — широкийкласс усилителей, способных усиливать сигналы, начиная с нижней граничной частоты fн = 0. Это достигается осуществлением связей с источником сигнала и с нагрузкой, а также межкаскадных связей с помощью резисторов, диодов, транзисторов без применения разделительных конденсаторов и трансформаторов, не способных передавать напряжение при f → 0. Верхнюю граничную частоту fв УПТ обычно выбирают исходя из технических требований на устройство, в которых они применены, в целом.

В микроэлектронике УПТ удобно использовать в качестве составных частей ряда сложных устройств и систем. УПТ в интегральном исполнении компактны, дешевы, обладают достаточно устойчивыми качественными показателями и при проектировании аналоговых и различных функциональных устройств могут рассматриваться в качестве базового усилительного прибора.

**Усилители низкой частоты (УНЧ)** - устройства, предназначенные для усиления переменных составляющих сигнала в диапазоне от заданной нижней граничной частоты fн > 0 до некоторой верхней граничной частоты fв. Обычно для усилителей этого типа отношение fв/ fн =102105.

**Широкополосные усилители (ШУ)** являются устройствами, усиливающими сигналы в широком диапазоне от заданной граничной нижней частоты fн до некоторой верхней граничной частоты fв. При этом fв может достигать нескольких десятков мегагерц. Основное требование к ШУ - обеспечение равномерного усиления сигнала в широком диапазоне частот с заданным коэффициентом усиления. Для создания ШУ необходимо применять высокочастотные аналоговые приборы, принимая при этом специальные меры по расширению (коррекции) полосы пропускания.

**Импульсные усилители (ИУ)** предназначены для усиления импульсных сигналов. Эти усилители по своему устройству практически не отличаются от широкополосных. Однако их проектирование имеет некоторые особенности.

**Частотно-избирательные (селективные) усилители (ЧИУ)** применяют там, где из совокупности принимаемых сигналов необходимо выделить только сигналы, занимающие определенный участок спектра частот. Полосу частот, в которой сигналы усиливаются, называют полосой пропускания (прозрачности). Полосу частот, в которой сигналы подавляются, называют полосой заграждения (задержания). В зависимости от взаимного расположения полос пропускания и заграждения различают следующие виды усилителей: нижних частот, верхних частот, полосовые пропускающие, полосовые заграждающие.

При современном развитии техники и технологии ЧИУ строят безприменения индуктивных элементов. Это связано как с использованием инфранизких частот, так и со стремлением к микроминиатюризации и повышению надежности аппаратуры. Поэтому непрерывно развивается область их применения, использующая избирательные активные RС - цепи. В дальнейшем будут рассматриваться ЧИУ на базеактивных RС - цепей (фильтров) с сосредоточенными параметрами,

**Усилители сигналов большой интенсивности(усилители мощности)** предназначены для усиления сигналов, амплитуды которых соизмеримы с раствором вольтамперных характеристик. К таким усилителям можно отнести выходные каскады ШУ и усилители мощности. В последнем случае основное требование, предъявляемое к таким усилителям, - создание больших мощностей при малых нелинейных искажениях. Построение усилителей сигналов большой интенсивности связано с решением противоречивой задачи: наиболее полного использования УП по напряжению, току или мощности и снижения возникающих при этом нелинейных искажений.

**Усилители высокой чувствительности** усиливают сигналы малой интенсивности (0,01 мкВ - 10 мВ). Основная задача, которую необходимо решать при их проектировании, - обеспечение заданного отношения сигнал/шум, приведенного к определенному участку цепи. Поэтому наряду с обеспечением заданного коэффициента усиления и полосы пропускания, большое внимание уделяется расчету общего уровня шумов на выходе устройства.

**Аналоговые устройства на базе операционных усилителей** представляют собой обширный класс различных функциональных устройств, построенных, в основном на базе операционных усилителей. При этом те или иные функциональные зависимости между выходными и входными сигналами реализуются цепями обратной связи. К таким устройствам можно отнести масштабные усилители, сумматоры, интеграторы, умножители и др.

Рекомендации по проектированию

При проектировании аналоговых устройств решают ряд задач, связанных с составлением схемы, наилучшим образом удовлетворяющей поставленным требованиям, с расчетом этой схемы на основании выбранных параметров и режимов работы ее элементов. При построении принципиальной схемы УП выбирают, исходя из заданных требований. Одновременно с выбором УП решается задача о способееговключения и типе используемых обратных связей.

После этого следует распределить усиление и допустимые искажения по каскадам, т.е. определить структуру аналогового устройства. Поскольку введение ООС уменьшает уровень искажений, снижая одновременно коэффициент усиления, вопрос о целесообразности ее применения решается в каждом отдельном случае.

После определения структуры АУ производят покаскадный расчет его элементов, обеспечивающих заданные внешние качественные показатели. При этом выбирают режим работы УП и осуществляют его расчет по постоянному току, после чего проводят расчет необходимых внешних характеристик АУ.

Перечисленные этапы присутствуют в том или ином виде при проектировании различных типов аналоговых устройств.

В настоящее время широкое развитие получают методы проектирования АУ с помощью ЭВМ. Это, в первую очередь, относится к проектированию аналоговых устройств в интегральном исполнении.

Однако первый этап машинного проектирования представляет собой ручное проектирование и содержит перечисленные ранее этапы. В результате возникает разработанная структурная схема с рассчитанными на основе приближенных решений отдельными значениями ее элементов. Этот этап является основным творческим этапом в процессе машинного проектирования.

При проектировании различных типов АУ в соответствии с приведенной ранее классификацией ставятся конкретные задачи, и решение их определяется теми основными требованиями, которые должны быть реализованы. По отношению к рассмотренным типам АУ эти требования, в общем, формулируются следующим образом.

**Усилители постоянного тока.** Несмотря на то, что в настоящее время отечественная промышленность выпускает УПТ в виде ИМС общего применения, определенный интерес представляет проектирование УПТ в дискретном виде. Умение рассчитывать и анализировать работу УПТ позволяет спроектировать усилитель, отвечающий заданным требованиям, которые не всегда могут быть реализованы с помощью промышленных ИМС. Кроме того, знание принципов построения и расчета УПТ дает возможность разобраться в принципах построения ИМС УПТ и является необходимым на этапе ручного проектирования при создании новых ИМС.

Основным недостатком УПТ является дрейф нуля, характеризующийся изменением режима работы отдельных участков схемы по постоянному току из-за влияния дестабилизирующих факторов и воспринимаемый на выходе устройства как ложный сигнал.

Для уменьшения дрейфа нуля первые каскады УПТ строят по симметричной дифференциальной схеме. В качестве УП чаще используют биполярные транзисторы, включенные по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Если необходимо получить высокое входное сопротивление в первом каскаде УПТ, применяют полевые транзисторы.

В общем случае УПТ может содержать nкаскадов, но наибольшее распространение получили трехкаскадные схемы. Структурная схема УПТ, типичная при реализации его в интегральном исполнении, представлена на рисунке.



Структурная схема УПТ

Первым каскадом является дифференциальный усилитель (ДУ), который для минимизации ошибок, связанных с дрейфом нуля, работает в режиме малых токов и имеет, поэтому малый коэффициент усиления по напряжению. Следующий каскад - усилитель напряжения (УН), который имеет высокий коэффициент усиления и осуществляет сдвиг уровня постоянного напряжения на некоторую величину, обеспечивая тем самым нулевое напряжение на выходе при отсутствии сигнала на входе УПТ. Оконечный каскад (ОК) формирует необходимую величину выходного сигнала и обеспечивает малое выходное сопротивление усилителя.

В данном курсовом проекте необходимость применения УПТ может понадобиться при проектировании усилителей для некоторых вариантов измерительных устройств (табл. 2.1).

При проектировании УПТ на ИМС общего применения необходимо осуществить выбор ИЛ1С, произвести расчет или подбор цепей, корректирующих АЧХ с целью получения устойчивого коэффициента усиления при заданной верхней граничной частоте.

**Усилители низкой частоты.** Первые каскады УНЧ работают при сравнительно слабых сигналах и называются каскадами предварительного усиления. Их основное назначение - повышение уровня сигнала для обеспечения работы выходного каскада. Выходные каскады работают при высоком уровне сигнала и являются, как правило, усилителями мощности. Усилители мощности относятся к усилителям сигналов большой интенсивности, и их проектирование имеет свои особенности.

Проектирование предварительных каскадов УНЧ осуществляют аналогично проектированию ШУ. При этом расчеты упрощаются, так как на низких частотах параметры используемых УП характеризуются не комплексными, а действительными величинами.

**Широкополосные усилители.** При расчете ШУ обычно задают номинальный коэффициент усиления К0 , верхнюю и нижнюю граничные частоты fв и fв при заданных коэффициентах частотных искажений Mн и Mв, стабильность коэффициента усиления в диапазоне изменения температур окружающей среды.

Предварительный расчет ШУ состоит в выборе типа УП, ориентировочном определении числа каскадов и приближенном распределении по каскадам частотных искажений так, чтобы суммарная их величина не превосходила заданную. Как правило, каскады предварительного усиления выполняют идентичными.

Обычно частотные искажения по каскадам распределяют равномерно. Иногда целесообразно распределить искажения неравномерно по каскадам, что позволяет ослабить требования к одному из них, чаще всего к оконечному.

Схему питания каскадов выбирают исходя из заданной стабильности и диапазона изменения температур. При ориентировании на интегральное исполнение ШУ стремятся исключить из схемы индуктивные элементы, конденсаторы и резисторы с большими номиналами.

**Импульсные усилители.** Основное внимание при проектировании ИУ обращается на сохранение формы усиливаемого сигнала. Специфическими искажениями являются искажения формы импульса, характеризующиеся временем нарастания фронта tф, выбросом и спадом вершины а. Расчет ИУ проводят, как правило, во временной области методом переходных характеристик, но может быть использован и частотный метод.

При проектировании ИУ частотным методом используют известные соотношения, связывающие tф и а с граничными частотами fв и fн. Практически указанные соотношения справедливы как для некорректированных, так и для корректированных каскадов. Это позволяет проектировать. ИУ как ШУ с заданными граничными частотами.

**Частотно-избирательные (селективные) усилители.** Отличительной особенностью проектирования этого класса устройств является то, что технические требования задают не только на параметры в полосе пропускания (fн,fв, Mн и Mв), но и на параметры в полосе заграждения (fз и Мз).

Проектирование таких усилителей связано с отысканием аппроксимирующей функции, которая с необходимой точностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к частотной характеристике ЧИУ. На основе выбранной аппроксимирующей функции производят схемотехнический синтез ЧИУ путем использования усилителей с обратными связями различного типа, а также методов аналоговой вычислительной техники.

**Усилители сигналов большой интенсивности (усилители мощности).** В рассматриваемых усилителях вследствие высокого уровня сигналов используют транзисторы повышенной мощности, потребляющие от источника питания большую энергию. Поэтому большое значение приобретает высокая экономичность, т. е. лучшее использование транзистора по напряжению и току, что связано с возрастанием нелинейных искажений. В частности, отмеченные противоречивые требования удается удовлетворить при построении усилителя по двухтактной схеме с использованием транзисторов в режиме класса В или АВ.

К особенностям расчета данных усилителей следует отнести: выбор схем, необходимость использования графических методов определения режима работы транзисторов, введение усредненных параметров, расчет нелинейных искажений и др.

**Усилители высокой чувствительности.** При проектировании усилителей высокой чувствительности с малым уровнем входного сигнала производят выбор усилительного прибора и схемы, расчет элементов схемы, обеспечивающих необходимые передаточные характеристики и стабильность работы. Однако на каждом из этих этапов необходимо учитывать такое специфическое требование, как обеспечение малого уровня внутренних шумов.

**Аналоговые устройства на базе усилителей.** Проектирование устройств аналоговой обработки сигнала базе усилителей предполагает использование ИМС операционных усилителей (ОУ) с внешними обратными связями. Поэтому одна из важнейших задач, которую решают при проектировании наряду с выбором ИМС, — это обеспечение точности воспроизведения заданной функции и устойчивости работы устройства. Основные погрешности, возникающие при моделировании функциональных зависимостей, связаны с неидеальностью ОУ. Поэтому при выборе типа ОУ необходимо исходить из заданных требований, согласовывая их с характеристиками ОУ. Более подробно это рассмотрено в следующем подразделе.

**1.5 Особенности проектирования аналоговых устройств на интегральных схемах**

Проектирование аналоговых устройств на интегральныхсхемах **с** точки зрения последовательности и содержания этапов проектирования не отличается от проектирования аналоговых устройствна дискретных элементах, однако, имеет ряд особенностей.

1. Отсутствие у разработчика сведений о структуре, параметрах и режимах работы интегральных усилителей.

Сведения, приводимые в паспорте на микросхему, как правило, не отражают особенности ее работы в различных режимах. Поэтому разработчику радиотехнических устройств на интегральных схемах необходимо обязательно изучать ГОСТы, ТУ, РТМ и другую техническую документацию, выпускаемую на микросхемы.

1. Широкое использование обратных связей в аналоговых устройствах на интегральных схемах.

Обратная связь играет особую роль в реализации аналоговых устройств. Основу интегральных схем составляют операционные усилители, имеющие большую избыточность по основному параметру - коэффициенту усиления. Применение обратной связи позволяет за счет уменьшения коэффициента усиления увеличивает полосу пропускания, входное и выходное сопротивления, стабильность характеристик, а также улучшать другие параметры усиления. Применение нелинейных обратных связей дает возможность разработать устройства с требуемым видом амплитудной характеристики.

1. Другие критерии сопоставления проектных решений на этапе эскизного проектирования. Все варианты, выработанные на этапе эскизного проектирования, удовлетворяют любым электрическим параметрам, требуемым техническим заданием на АУ. Критерий их сравнения включает в себя дополнительно эксплуатационные и технические параметры. При проектировании транзисторных усилителей в качестве критерия обычно выступает требование минимизации количества транзисторов в схеме. При использовании интегральных микросхем -минимум операций настройки АУ. Это смещение критерия происходит потому, что при применении дешевых, надежных высококачественных интегральных АУ именно этими параметрами определяются общая стоимость, надежность, технологичность аналогового устройства.

## 1.6 Использование машинных методов проектирования

Автоматизированное проектирование является неотъемлемым этапом разработки современных радиоэлектронных устройств (РЭУ).

В настоящее время существует достаточно много пакетов прикладных программ, позволяющих осуществить, как полный цикл автоматизированного проектирования РЭУ, так и различные его этапы в раздельности.

Например, такие пакеты как **PSpice**, **Micro-CAP**, **Electronics Workbench** предназначены только для моделирования принципиальных схем. Системы типа **PCAD**, **ACCEL EDA (**PCAD для Windows) предназначены только для проектирования печатных плат.

За последнее время появились интегрированные САПР, позволяющие реализовать, так называемую сквозную систему проектирования электронных устройств, включающую в себя графический ввод схем, их моделирование, разработку печатных плат и выпуск технической документации для их изготовления. К ним относятся системы типа **OrCAD**, **DesignLab**, **Dr. Spice 2000 A/D 8.2** (совместно с системой ACCEL EDA 13.0) и др.

Рассмотрим вкратце возможности некоторых версий перечисленных выше пакетов прикладных программ, которые могут быть использованы для автоматизированного проектирования устройств, разрабатываемых в данном курсовом проекте.

**PSpice** является пакетом схемотехнического моделирования аналоговых радиоэлектронных схем (РЭС), разработан фирмой Microsim. PSpice позволяет анализировать аналоговые РЭСC:\Documents and Settings\ADMIN\Local Settings\Temp\slovar\slovar.htm - РЭС с количеством узлов до 9999.

PSpice выполняет 8 видов анализа РЭС:

1) расширенный анализ на постоянном токе при развертке значений входного источника тока или напряжения (карта .DC);

2) вычисление рабочей (статической) точки (карта .ОР). Используя эту рабочую точку, можно проводить следующие виды анализа;

3) вычисление коэффициента передачи в режиме малого сигнала (карта .TF);

4) вычисление чувствительности на постоянном токе (карта .SENS);

5) вычисление полного и собственного шума (карта .NOISE);

6) вычисление частотной характеристики (карта .АС);

7) вычисление переходной характеристики (карта .TRAN);

8) используя переходную характеристику, вычисляет амплитуды гармоник с помощью Фурье преобразования (карта .FOUR).

Программный комплекс системы **PCAD** включает в себя взаимосвязанные пакеты программ и отдельные программы, образующие систему сквозного проектирования радиоэлектронной аппаратуры.

**Система PCAD** позволяет выполнять следующие проектные операции:

* создание условных графических обозначений элементов принципиальной электрической схемы (УГО) и их физических образов (конструктивов);
* графический ввод чертежа принципиальной электрической схемы и конструктивов проектируемого устройства;
* математическое моделирование цифровых электронных устройств, в том числе программируемых логических матриц;
* одно- и двустороннее размещение разногабаритных элементов с планарными и многослойными контактными площадками на поле ПП с печатными и навесными (вырубными) шинами питания в интерактивном и автоматическом режимах;
* ручную и автоматическую трассировку печатных проводников произвольной ширины в интерактивном режиме (число слоев 1...32);
* размещение межслойных переходов;
* автоматизированный контроль результатов проектирования ПП на соответствие принципиальной электрической схеме и конструкторско-технологическим ограничениям;
* автоматическую коррекцию электрической принципиальной схемы по результатам размещения элементов на ПП (после эквивалентной перестановки компонентов или их выводов);
* полуавтоматическую корректировку разработанной ПП по изменениям, внесенным в принципиальную электрическую схему;
* выпуск конструкторской документации (чертеж принципиальной схемы, деталировочный и сборочный чертежи) и технологической информации (фотошаблоны и файлы данных для сверления отверстий с помощью станков с ЧПУ) на проектируемую ПП.

Аналоговые и смешанные аналого-цифровые устройства моделируются с помощью отдельной программы PSpice версий 4 и 5 фирмы "MicroSim Corp.", которая интегрируется с системой PCAD [11]. Кроме того, возможно подключение к ней более совершенных программ моделирования цифровых устройств CADAT, DDL и др.

Наиболее популярная версия системы PCAD - версия 4.5, характеризуется следующими возможностями.

Табл.3.1

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры | Значение |
| Максимальное количество компонентов на плате | 1300 |
| Максимальное количество типов компонентов | 800 |
| Максимальное количество связей | 2500 |
| Максимальное количество выводов компонентов | 32767 |
| Максимальные размеры печатной платы: |  |
| в метрической системе, мм | 1524х1524 |
| в английской системе, дюйм | 60х60 |

**Micro-CAP** (Micro computer circuit Analysis Program) семейство программ схемотехнического моделирования на персональных компьютерах фирмы Spectrum Software. Наибольший интерес представляют Micro-CAP IV (февраль 1992 г.), Micro-CAP V, версия 1.0 (август 1995 г.) и Micro-CAP V, версия 2.0 (август 1997 г.)

В Micro-CAP IV используются надежные вычислительные алгоритмы SPICE 2G.6, полная совместимость с пакетом PSpice, как по принятым моделям электрорадиокомпонентов, так и по текстовому описанию схемы. Имеется исчерпывающая встроенная помощь и возможность задания функциональных зависимостей параметров схемы как функций времени, токов ветвей и узловых потенциалов. Однако управляющая оболочка не очень удобна, принятая последовательность выполнения программ нелогична.

Программа Micro-CAP V претерпела радикальные изменения по отношению к своим предшественницам. Во-первых, она переведена на платформу Windows, имеет удобный интерфейс, в текстовых надписях на схемах и графиках поддерживает Кириллицу. Во-вторых, позволяет моделировать не только аналоговые, но и цифровые и аналого-цифровые электронные устройства. В третьих, как для аналоговых, так и для цифровых компонентов используются математические модели, принятые в известной программе PSpice. Для моделирования аналоговых компонентов оставлен алгоритм Spice 2G.6, а для моделирования цифровых компонентов разработан собственный алгоритм.

Программа Micro-CAP V удобна для первоначального освоения схемотехнического моделирования электронных схем.

В программе Micro-CAP V, версия 2.0 основные изменения связаны с развитием многовариантного анализа. Допускается одновременно варьировать до 10 переменных и строить графики зависимостей характеристик схемы от варьируемых параметров. Введен режим построения 3-мерных графиков. Значительно расширена библиотека компонентов, включающая модели более 10 тыс. электрорадиокомпонентов ведущих фирм производителей.

**Electronics Workbench 5.0** – отличается от других программ схемотехнического моделирования пользовательским интерфейсом. Источники входных сигналов и измерительные приборы изображаются на экране дисплея с максимальным приближением к реальности. Пользователь освобождается от составления заданий на моделирование. В рабочем окне размещаются генераторы сигналов и двухканальный осциллограф, подсоединяемые к необходимым узлам моделируемой электронной схемы – и программа анализирует переходные процессы. Если же к схеме подключать анализатор частотных характеристик, то будут рассчитан режим по постоянному току, выполнена линеаризация нелинейных компонентов в рабочей точке и проведен расчет характеристик схемы в частотной области. Диапазон анализируемых частот, коэффициент усиления и характер развертки по оси частот (в линейном или логарифмическом масштабе) устанавливаются с помощью органов управления на лицевой панели приборов посредством манипулятора мышь. Для выполнения моделирования достаточно щелкнуть выключателем. После этого на индикаторах цифровых вольтметров и амперметров будет зафиксирован режим по постоянному току, на экране измерителя отображены частотные характеристики, а на экране осциллографа будут непрерывно изображаться эпюры напряжений до тех пор, пока не будет заполнена буферная память. Моделирование можно прекратить или продолжить, обнулив буферную память.

32-разрядная система **ACCEL EDA 13.0** выполняет полный цикл проектирования печатных плат (ПП), включающий в себя графический ввод схем, упаковку схемы на печатную плату, ручное размещение компонентов, ручную, интерактивную и/или автоматическую трассировку проводников, контроль ошибок в схеме и печатной плате и выпуск документации. Имеется механизм переноса изменений печатной платы на схему и наоборот (Engineering Change Order, ECO). Поддерживается как английская, так и метрическая система единиц. Применение 32-разрядной арифметики обеспечивает дискретность измерения линейных размеров 0,1 мил в английской системе (1 мил = 0,001 дюйма) и 0,01 мм в метрической системе, угловых размеров 0,1 град. и возможность изменения системы единиц на любой стадии работы с проектом без потери точности. Напомним, что в PCAD система единиц устанавливается до начала работы с проектом и в дальнейшем не может быть изменена. Поддержка текстовых форматов DXF и PDIF описания баз данных позволяет обмениваться информацией с такими распространенными пакетами, как AutoCAD, OrCAD, Viewlogic, PCAD и др. Автоматическое размещение компонентов на плате и более эффективная автоматическая трассировка проводников реализованы в поставляемом отдельно пакете SPECCTRA 7.1 фирмы Cooper&Chyan Technology (сейчас права на него купила Cadence), который заменил известный ранее автотрассировщик MaxRoute фирмы Massteck. Доработка ПП с учетом особенностей технологии конкретного оборудования выполняется с помощью программ семейства CAM350 фирмы Advanced CAM Technologies, в состав которого входит известная программа PCGerber и более совершенная CAM350. Система ACCEL EDA поставляется с большой библиотекой современных импортных электрорадиоэлементов, которую можно пополнить библиотеками отечественной элементной базы, в частности, импортированными из PCAD.

Программа **SPECCTRA 7.1** фирмы Cadence успешно размещает компоненты в автоматическом режиме и трассирует платы большой сложности благодаря применению нового принципа представления графических данных, так называемой ShapeBased-технологии.

Автотрассировщик SPECCTRA использует адаптивные алгоритмы, реализуемые за несколько проходов трассировки. На первом проходе выполняется соединение абсолютно всех проводников без обращения внимания на возможные конфликты, заключающиеся в пересечении проводников на одном слое и нарушении зазоров. На каждом последующем проходе автотрассировщик пытается уменьшить количество конфликтов, разрывая и прокладывая вновь связи (метод Rip-up-and-retry) и проталкивая проводники, раздвигая соседние (метод Push-and-shove). Информация о конфликтах на текущем проходе трассировки используется для "обучения" - изменения весовых коэффициентов (штрафов) так, чтобы путем изменения стратегии уменьшить количество конфликтов на следующем проходе.

Программа SPECCTRA имеет режимы интерактивной трассировки проводников и размещения компонентов. SPECCTRA выполняет размещение компонентов и трассировку платы, на которой предварительно размещены компоненты с помощью одного из графических редакторов печатных плат PCBoards, PCAD, TangoPRO, PADS, Protel, ORCAD. Плата с предварительно размещенными компонентами транслируется в формат пакета SPECCTRA. Разведенная в программе SPECCTRA печатная плата транслируется обратно. Процедура трансляции встроена в ACCEL PCAD PCB, графический редактор PCBoards системы Design Center, к остальным программам трансляторы поставляются отдельно.

Пакет программ **ORCAD** служит для разработки схем, проектирования печатных плат и их тестирования. ORCAD включает в себя 3 программы: CAPTURE, LAYOUT,SIMULATE.

Использование ORCAD'а облегчается благодаря удобному интерфейсу, работающему под Windows и обладающему большими функциональными возможностями, такими как быстрое изменение принципиальных схем, номиналов элементов, задаваемых процедур анализа, просмотра токов и напряжений во всех узлах исследуемой схемы построение графиков, взятие функций от функции показанной на графике и др. Редактор имеет выход в INTERNET.

Программа **Dr. Spice 2000 A/D 8.2** совместно с системой ACCEL EDA 13.0 образуют сквозную систему проектирования электронных устройств, включающую в себя графический ввод схем, их моделирование, разработку печатных плат и выпуск технической документации для их изготовления. Эту систему целесообразно дополнить программой авто размещения и автотрассировки SPECCTRA 7.1 фирмы Cadence, обеспечивающей в настоящее время лучшие результаты на платформе IBM PC.

**DesignLab 8.0** корпорации MicroSim - интегрированный программный комплекс для сквозного проектирования аналоговых, цифровых и смешанных аналого-цифровых устройств, синтеза устройств программируемой логики и аналоговых фильтров. Система DesignLab является развитием систем предыдущего поколения Design Center. Во всех этих системах используется широко известная программа моделирования PSpice. Система DesignLab включает в себя модули MicroSim PSpice A/D вместе со Schematics, MicroSim PLSyn вместе с модулем синтеза PLD, MicroSim FPGA, MicroSim PCBoards вместе с автотрассировщиком SPECCTRA на 6 слоев 4000 выводов и Polaris. Cистему DesignLab 8.0 целесообразно использовать в случаях, когда основные проблемы связаны со схемотехническим проектированием.

Следует помнить, что программные продукты для САПР постоянно изменяются и совершенствуются, а также появляются новые.

В заключение данного раздела добавим, что знание студентами основ САПР РЭУ, умение применять их на практике будет соответствующим образом оцениваться членами комиссии при защите курсового проекта.

## 1.7 Примерный календарный план выполнения типового курсового проекта

Примерный календарный план выполнения типовогокурсовогопроектирования общим объемом самостоятельной работы над проектом 40 - 60 часов, распределенных по 5 - 7 часов в неделю, приведены в табл.3.2.

Таблица З.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Неделя | Вид работы | Примерный объем, % |
| I  II  III  IV  V  VI  VII  VIII  IX | Ознакомление с литературой. Анализ и доработка технического задания.  Выбор и обоснование структурной схемы АУ, и его эскизный расчет (выбор транзисторов и режимов работы, либо выбор интегральной схемы, распределение усиления и искажений между отдельными каскадами (схемами)).  Составление принципиальной схемы АУ. Электрический расчет выходного каскада и входной цепи АУ.  Электрический расчет входного и промежуточного каскадов. Составление перечня элементов.  Выбор и расчет схем регулировок усиления.  Обоснование требований к источнику питания и к фильтрам в цепях питания.  Расчет результирующих характеристик АУ, уточнение принципиальной схемы и вычерчивание ее (для пояснительной записки)  Описание конструкции АУ. Оформление пояснительной записки.  Вычерчивание чертежей и подготовка к защите проекта.  Защита проекта. | 10  15  15  15  10  10  15  10 |

# ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

## 

## 2.1 Пояснительная записка

Рекомендуемый объем пояснительной записки – 20 - 40 страниц рукописного текста.

В общем случае пояснительная записка курсового проекта должна содержать: титульный лист, задание на проектирование, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованных источников.

Требования к содержанию пояснительной записки:

1. Титульный лист.
2. Задание на проектирование должно быть оформлено на специальных бланках.
3. В содержании указывается наименование всех разделов и подразделов, номера листов.
4. Во введении приводится оценка современного состояния, решаемой в проекте научно-технической проблемы, исходные данные для разработки проекта, обоснование необходимости выполнения проекта. Показывают актуальность и новизну темы.
5. В основной части пояснительной записки обосновывают выбор и направление проводимых в проекте исследовательских проектных, технологических и экономических разработок, принятого технико-экономического решения, описывают проведенные эксперименты, приводят результаты теоретических, экспериментальных исследований и методов расчета, описывают разработанные конструкции, приводят технико-экономические расчеты и т.д.
6. Заключение должно содержать выводы о результатах выполненной работы; оценку технико-экономической эффективности или иной народно-хозяйственной и научной ценности результатов работы; предложения по использованию результатов работы.
7. Список использованных источников (библиографическое описание) составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84.

## 2.2 Правила оформления пояснительной записки

1. Пояснительная записка выполняется на листах белой бумаги Формата А4 (210х297 мм); текст выполняется пастой (чернилами) одного цвета (черного, синего или фиолетового).
2. На листе пояснительной записки, следующей за титульным листом, приводят основную надпись по ГОСТ 2.104-68 (допускается основную надпись не делать). Последующие листы пояснительной записки оформляют без основной надписи, без выполнения рамки с оставлением полей: левое не менее 25 мм, правое, верхнее и нижнее не менее 5 мм. Номера страниц проставляются в правом верхнем углу листа.
3. Текст основной части пояснительной записки разделяют на разделы, подразделы и пункты. Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей основной части – подразделы в пределах раздела, пункты - в пределах подраздела. Текст пояснительной записки должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. Значения всех физических величин должны быть выражены в единицах СИ; (ГОСТ 8.417-8l) и в единицах, допускаемых к применению наравне с единицами СИ.
4. Иллюстрации (рисунки, чертежи, схемы, диаграммы) выполняются на листах пояснительной записки или на листах чертежей, миллиметровой бумаги А4 формата (210х297). Цифровой материал оформляется, как правило, в виде таблицы, руководствуясь требованиями ГOCT 2.105-95.

## 2.3 Правила оформления графических работ

Комплект графической документации, как правило: должен включать принципиальную схему устройства, перечень элементов к ней, таблицы, схемы, диаграммы, графики. Кроме указанных документов, могут быть и другие, такие как сборочный чертеж, чертеж печатной платы и т.д.

Чертежи курсового проекта выполняются на листах ватмана или миллиметровой бумаги, карандашом или черной тушью в масштабе по ГОСТ 2.302-68. Графические документы должны быть выполнены на листах формата А0 (841x1189) , AI (594x84I). A2 (420х594) или A3 (297х420).

Если имеется сборочный чертеж, на него составляется спецификация (ГОСТ 2.106-96). В спецификацию вносятся составные части изделия, а также конструкторские документы, относящиеся к ним.

Основные надписи наносятся на каждый лист графических документов курсового проекта, на листах спецификации и на листе пояснительной записки, следующим за титульным листом. Основные надписи располагаются в правом нижнем углу документов, а на листах формата А4 (210х297) основная надпись может располагаться снизу короткой стороны листа между линиями рамки.

# ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Законченный проект представляется руководителю проектирования, который выносит решение о допуске проекта к защите.

Защита курсового проекта производится на заседании комиссии, состоящей не менее чем из 2 человек. О порядке работы комиссии студенты ставятся в известность руководителем проекта.

Защита начинается докладом студента в течение 3 – 5 минут.

В доклад должно быть включено:

1. Содержание технического задания.
2. Современное состояние разработанных АУ аналогичного назначения.
3. Особенности построения предложенной схемы АУ, в ток числе принципиальной схемы.
4. Особенности конструкции АУ.
5. Выводы по результатам проектирования.

После доклада студенту задаются вопросы членами комиссии и присутствующими на защите. Заслушав ответы студента, комиссия принимает решение об оценке курсового проекта.

Кафедра допускает проведение защиты реальных курсовых проектов на предприятии, по заказу которых выносится данный проект. Для этого на предприятии должна быть создана комиссия, состоящая не менее чем из 2 человек. Результаты работы комиссии оформляются протоколом и направляются официальным письмом на кафедру для утверждения. После утверждения куратор проекта от кафедры проставляет оценку студенту.

# ЛИТЕРАТУРА

## Основная литература

1. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. М.: Радио и связь, 1997.
2. Ногин В.Н. Аналоговые электронные устройства. М.: Радио и связь, 1992. 304 с.
3. Остапенко Г.С. Усилительные устройства. М.: Радио и связь, 1989. 400 с.
4. Болтаев А.В., Гадзиковский В.И., Важенин В.Г. и др. Усилительные устройства на интегральных микросхемах. Свердловск: изд. УПИ, 1981. 112 с.
5. Алексенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых микросхем. М.: Радио и связь, 1985. 255 с.
6. Проектирование усилительных устройств. Учебное пособие / Под ред. М.В. Терпугова. М.: Высшая школа, 1982. 190 с.
7. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. М: Высшая школа, 1991. 622 с.

## Дополнительная литература

1. Войшвилло Г.В. Усилительные устройства. М.: Радио и связь, 1983, 264 с.
2. Мамонкин И.С. Усилительные устройства. М.: Связь, 1977, 359 с.
3. Цыкин Г.С. Усилительные устройства. М.: Связь, 1982.
4. Гадзиковский В.И. Модели усилительных схем и их анализ. Свердловск, изд. УПИ, 1980. 104 с.
5. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Сов. радио, 1979. 368 с.
6. Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 572 с.
7. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. Справочное пособие/С.В. Якубовский, Н.А. Барканов, Л.И. Ниссельсон и др. Под ред. С.В. Якубовского. 2 изд. перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1985. 432 с.
8. Функциональные устройства на микросхемах / В.Э. Найдеров, А.И. Голованов, З.Ф. Юсупов и др. Под ред. В.З. Найденова. М.: Радио и связь, 1985. 200 с.
9. Титце Ч., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. Справочное руководство. Пер. с нем./ Под ред. А.Г. Алексенко. М.: Мир, 1980. 512 с.
10. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. Л.: Энергоатомиздат, Ленинг. отделение, 1988. 304 с.
11. Усилительные устройства. Сборник задач и упражнений: Учеб. пособие для вузов/А.Г. Алексеев, Н.В. Войшвилло, И.А. Трискало. Под ред. Г.В. Войшвилло. М.: Радио и связь, 1986. 160 с.
12. Коломбет Е.А., Юркевич К., Зоде Я. Применение аналоговых микросхем. М.: Радио и связь. 1990. 320 с.
13. Матавкин В.В. Быстродействующие операционные усилители. М.: Радио и связь, 1989. 128 с.
14. Кибакин В.М. Основы теории и расчета транзисторных низкочастотных усилителей мощности. М.: Радио и связь, 1988. 240 с.
15. Варшавер Б.А. Расчет и проектирование импульсных усилителей. М.: Высшая школа, 1975. 288 с.
16. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы., Пер. с англ. М.: 1988. 583 с.
17. Проектирование усилительных устройств (на интегральных микросхемах). Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / Б.М. Богданович, Е.А. Богатырев, Э.Б. Ваксер и др./ Под ред. Б.М. Богдановича. Мн.: Выш. шк., 1980. 208 с.
18. Справочник по расчету и проектированию ARC – схем / Букашкин С.А., Власов В.П., Змий Б.Ф. и др.: Под ред. А.А. Ланнэ. М.: Радио и связь, 1984. 368 с.
19. Проектирование приемно-усилительных устройств с применением ЭВМ / Л.И. Бурин, Л.Я. Мельников, В.З. Топуриа и др. М.: Радио и связь, 1981. 176 с.
20. Прянишников В.А. Электроника. Курс лекций. СПб: Корона, 1998. 400 с.
21. Завадский В.А. Компьютерная электроника/ Завадский В.А. Киев.: Век, 1996. 368 с.
22. Усилительные устройства. Уч. пособие для вузов / В.А. Андреев, Г.В. Войшвилло, О.В. Головин и др.; Под ред. О.В. Головина. М.: Радио и связь, 1993. 352 с.
23. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике. Пер. с нем. М.: Мир, 1991. 446 с.
24. Атаев Д.И.оглы, Болотников В.Н. Функциональные узлы усилителей высококачественного звуковоспроизведения. М.: Радио и связь, 1989. 145 с.
25. Телевизионная техника: справочник: Под общей редакцией Ю.Б. Зубарева и Г.Л. Глориозова. М.: Радио и связь, 1994. 312 с.
26. Афанасьев А.П., Ваниев А.Г. Бытовые видеокамеры. М.: Радио и связь, 1993. 232 с.
27. Интегральные микросхемы: Микросхемы для телевидения и видеотехники. Том.2, Выпуск 1. М.: Додэка, 1993. 314 с.
28. Монов А.И., Дубровский Н.Ф. Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1991. 272 с.
29. Справочная книга радиолюбителя-конструктора: в 2-х книгах. Кн.1. Сер. Массовая радиобиблиотека. Вып.1195./ А.А. Бокуняев, Н.М. Борисов, Е.Б. Гумеля и др.: Под ред. Н.И. Чистякова. М.: Радио и связь, 1993. 336 с.
30. Звуковое вещание / А.В. Выходец, П.М. Жмурин, И.Ф. Зорин и др.; Под ред. Ю.А. Ковалгина: Справочник. М.: Радио и связь, 1993. 464 с.
31. Колесников В.М. Лазерная звукозапись и цифровое радиовещание. М.: Радио и связь, 1991. 216 с.
32. Синклер Ян. Введение в цифровую звукотехнику: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 80 с.
33. Галеев Б.М., Зорин С.М., Сайфуллин Р.Ф. Светомузыкальные инструменты. сер. Массовая радиобиблиотека. Вып.1117. М.: Радио и связь, 1987. 128 с.
34. Гончаров А.В., Харитонов М.И. Канал изображения видеомагнитофона. М.: Радио и связь, 1987. 264 с.
35. Кауффман М., Сидман А.Г. Практическое руководство по расчетам схем в электронике: Справочник. В 2-х т. Т.1. Пер. с англ. / Под. ред. Ф.Н. Покровского. М.: Энергоатомиздат, 1991. 368 с.
36. Даниленко Б.П., Манкевич И.И. Отечественные и зарубежные магнитофоны. Мн.: Беларусь, 1994. 617 с.
37. Колесниченко О.В., Шишичин И.В. Обслуживание и ремонт зарубежных бытовых видеомагнитофонов. Справочное пособие. Спб.: Корона, 1995. 272с.
38. Золотухин И.П. и др. Цифровые звуковые магнитофоны / И.П. Золотухин, А.А. Изюмов, М.М. Райзман. Томск: Радио и связь, Томское отдел, 1990. 166 с.
39. Техника магнитной видеозаписи. Под ред. В.И. Пархоменко. Изд. 2-е, переработ. и дополн. М.: Энергия, 1978. 400 с.
40. Ленк Дж. Мой домашний аудиовидеокомплекс. Руководство по эксплуатации и устранению неисправностей. Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1994. 320 с.
41. Козюренко Ю.Н. Высококачественное звуковоспроизведение. М.: Радио и связь, 1993. 144 с.
42. Бродский М.А. Аудио- и видеомагнитофоны. Мн.: Выш. шк., 1995. 250 с.
43. Гитлиц М.В. Магнитная запись сигналов. Учебное пособие. М.: Радио и связь. 1990.
44. Раков В.К. Основы магнитной записи. Учебное пособие. МЭИ, 1995.
45. Кудрин И.Г. Устройства шумоподавления в звукозаписи, 1977.
46. Василевский Д.П. Частотные предыскажения и коррекция в магнитофонах, 1979.
47. Гончаров А.В., Харитонов М.И. Канал изображения видеомагнитофона. М.: Радио и связь, 1987. 264 с.
48. Коваленков Л.Л. Цифровая магнитная запись в информационно-измерительных системах. М.: Машиностроение, 1989. 263 с.
49. Розоринов Г.Н., Свяченый В.Д. Устройства цифровой магнитной звукозаписи. Киев, Техника, 1991.
50. Афанасьев А.П., Самохин В.П. Бытовые видеомагнитофоны. М.: Радио и связь, 1989.
51. Фридлянд И.В., Сошников В.Г. Системы автоматического регулирования в устройствах видеозаписи. М.: Радио и связь, 1988. 168 с.
52. Колесниченко О.В., Шишигин И.В., Обрученков В.А. Интегральные микросхемы зарубежной бытовой видеоаппаратуры. Справ. пособие. Спб.: Лань, 1995. 272 с.
53. Штейерт Л.А. Входные и выходные параметры бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Изд. 2-е. М.: Радио и связь, 1995. 80 с.
54. Пескин А.Е., Коннов А.А. Зарубежные видеомагнитофоны и видеоплееры. Устройство, регулировка, ремонт. Сер. Ремонт Вып.14, М.: Солон, 1997. 236 с.
55. Никифоров В.П., Дедов А.Я. Ремонт импортных видеомагнитофонов. Вып.1,2,3. М.: Сервис-Пресс, 1997.

## Учебно-методические издания УГТУ

1. Важенин В.Г. Исследование усилительных каскадов при различных схемах включения транзистора. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. 39 с.
2. Атманских Ю.А., Болтаев А.В., Важенин В.Г. Исследование влияния отрицательной обратной связи на характеристики и параметры усилительного каскада. Свердловск: УПИ, 1991. 28 с.
3. Атманских Ю.А., Болтаев А.В., Важенин В.Г. Исследование широкополосного усилителя с коррекцией. Свердловск: УПИ, 1991. 25 с.
4. Болтаев А.В., Нехорошев В.Д. Исследование дифференциального усилительного каскада, Свердловск: УПИ, 1991. 19 с.
5. Важенин В.Г., Устыленко Н.С., Лесная Л.Л., Дядьков Н.А. Исследование операционного усилителя с резистивной обратной связью. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. 36 с.
6. Гадзиковский В.И. Исследование активных фильтров. Свердловск: УПИ, 1984. 16 с.
7. Болтаев А.В., Чухломин В.И. Исследование усилителя мощности на интегральной микросхеме. Свердловск: УПИ, 1986. 12 с.
8. Атманских Ю.А., Важенин В.Г. Проектирование усилительных устройств с применением ЭВМ. Свердловск: УПИ, 1987. 36 с.
9. Калмыков А.А., Матюнина А.В. Оформление учебных студенческих работ: Методические указания. Свердловск: УПИ, 1984. 36 с.
10. Стандарт предприятия. СТП УГТУ – УПИ 1 – 96. Общие требования и правила оформления дипломных и курсовых проектов (работ), 1996.

## Перечень нормативных документов

1. ГОСТ 2.105 – 95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
2. ГОСТ 2.106 – 96. ЕСКД. Текстовые документы.
3. ГОСТ 7.32 – 91. ЕСКД. Отчет о НИР.
4. ГОСТ 2.301 – 68. ЕСКД. Форматы.
5. ГОСТ 2.104 – 68. ЕСКД. Основные надписи.
6. ГОСТ 7.1 – 84. ЕСКД. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления.
7. ГОСТ 8.417 – 81. ЕСКД. Единицы физических величин.
8. ГОСТ 19.701 – 90. ЕСКД. Схемы алгоритмов, программ данных и систем.
9. ГОСТ 2.004 – 88. ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.
10. ГОСТ 2.701 – 84. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
11. ГОСТ 2.702 – 75. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
12. ГОСТ 2.710 – 81. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
13. ГОСТ 2.708 – 81. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.
14. ГОСТ 2.721 – 74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.
15. ГОСТ 2.723 – 68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.
16. ГОСТ 2.725 – 68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие.
17. ГОСТ 2.727 – 68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники, предохранители.
18. ГОСТ 2.728 – 74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы.
19. ГОСТ 2.729 – 68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные.
20. ГОСТ 2.730 – 73. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
21. ГОСТ 2.743 – 91. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники.
22. ГОСТ 2.755 – 87. ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.
23. ГОСТ 2.759 – 82. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники.
24. ГОСТ 2.764 – 86. ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Интегральные оптоэлектронные элементы индикации.
25. ГОСТ 23849-87. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы измерения электрических параметров усилителей звуковой частоты.
26. ГОСТ 24388-87. Входные и выходные параметры бытовой радиоэлектронной аппаратуры.
27. ГОСТ 24838-81. Входные и выходные параметры НЧ аппаратуры.
28. ГОСТ 24837-80Э. Изделия бытовой радиоэлектроники высокой верности воспроизведения (категории Hi-Fi). Технические требования и методы измерений.
29. ГОСТ 24863-87. Магнитофоны бытовые. Общие технические условия.
30. ГОСТ 26794-85. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Название видов и система их обозначения.
31. ГОСТ 11157-87. Устройства воспроизведения механической звукозаписи. Общие технические условия.
32. ГОСТ 23963-86. Ленты магнитные для бытовой звукозаписи. Общие технические условия.
33. ГОСТ 27677-88. Система цифровая звуковая "компакт-диск". Параметры.