ДонИЖТ

Кафедра АТ и ВТ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине "Электроника и микросхемотехника"

РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

# ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Рецензент доцент

Выполнил студент

1998

ЗАДАНИЕ

Рассчитать усилитель мощности по следующим данным:

1. Температура окружающей среды: 5 ÷ 45 ºС

2. Частота: 300 ÷ 3400 Гц

3. Коэффициент усиления: К = 90

4. Выходное напряжение: U**вых** = 6 В

5. Выходной каскад: схема Дарлингтона

6. Нагрузка: R**н** = 90 Ом

7. Инвертирующий усилитель

8. Операционный усилитель: К154УД1

Параметры микросхемы К154УД1:

U**пит** = 2х(4...18), В ― напряжение питания

U**пит. ном** = 2х15, В

K**D** = 150∙10**³** ― минимальный коэффициент усиления

U**сф. max** = 10 В ― допустимое значение синфазного входного напряжения

V**U** = 10 В/мкс ― скорость увеличения выходного напряжения

R**D вх** = 1 МОм ― входное сопротивление

U**см** = 5 мВ ― напряжение смещения

I**п** = 0.15 мА ― потребляемый ток

I**KUсм** = 30 мкВ/К ― температурный коэффициент напряжения смещения

"нуля"

I**1** = 40 нА ― входной ток

ΔI**1** = 20 нА ― разностный входной ток

U**дф. max** = 10 В ― допустимое значение дифференциального входного

напряжения

К**сф** = 80 дБ ― коэффициент ослабления синфазного сигнала

f**1** = 1 МГц ― частота единичного усиления

±U**2m max** = 11 В ― наибольшая амплитуда выходного напряжения

R**2н min** = 2 кОм ― наименьшее сопротивление нагрузки

Предусмотреть защиту выходного каскада и внешнюю коррекцию напряжения смещения нуля.

РЕФЕРАТ

Курсовая работа: 20 с., 3 рис., 2 приложеня

В данной курсовой работе произведен расчет усилителя мощности звуковой частоты на основе операционного усилителя К154УД1 и кремниевых транзисторов КТ814Б, КТ815Б, КТ315А, КТ361А предусмотрена внешняя коррекция напряжения смещения нуля.

Усилитель мощности, звуковая частота, транзисторы, микросхема

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5

1. Выбор источника питания 6
2. Расчет и выбор транзисторов 7
3. Внешняя коррекция напряжения смещения 11
4. Защита выходного каскада 13
5. Выборы сопротивлений 14
6. Погрешности выполненных операций 15

Выводы 17

Перечень ссылок 18

Приложение А 19

Приложение Б 20

ВВЕДЕНИЕ

Техническая электроника широко внедряется практически во все отрасли науки и техники, поэтому знание основ электроники необходимо всем инженерам. Особенно важно представлять возможности современной электроники для решения научных и технических задач в той или иной области. Многие задачи измерения, управления, интенсификации технологических процессов, возникающие в различных областях техники, могут быть успешно решены специалистом, знакомым с основами электроники.

В настоящее время в технике повсеместно используются разнообразные усилительные устройства. Куда мы не посмотрим - усилители повсюду окружают нас. В каждом радиоприёмнике, в каждом телевизоре, в компьютере и станке с числовым программным управлением есть усилительные каскады. Эти устройства, воистину, являются грандиознейшим изобретением человечества.

В зависимости от типа усиливаемого параметра усилительные устройства делятся на усилители тока, напряжения и мощности.

В данном курсовом проекте решается задача проектирования усилителя мощности (УМ) на основе операционного усилителя (ОУ). В задачу входит выбор типа электронных компонентов, входящих в

состав устройства, с предусмотрением защиты выходного каскада и внешней коррекции напряжения смещения нуля.

Выбор активных и пассивных элементов является важным этапом в обеспечении высокой надежности и устойчивости работы схемы.

Для разработки данного усилителя мощности следует произвести предварительный расчёт и оценить количество и тип основных

элементов. После этого следует выбрать принципиальную схему предварительного усилительного каскада на ОУ и оконечного каскада.

Оптимизация выбора составных компонентов состоит в том, что при проектировании усилителя следует использовать такие элементы, чтобы их параметры обеспечивали максимальную эффективность устройства по заданным характеристикам, а также его экономичность с точки зрения расхода энергии питания и себестоимости входящих в него компонентов.

1. ВЫБОР ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Напряжение источника питания должно удовлетворять условию

Eп ≥ 2\*Uвых m + Uнас + Uдоп ,где

Eп ― напряжение источника питания

Uвых m ― амплитуда напряжения сигнала на выходе, рассчитываемая

по формуле

\_

Uвых m = √2 \*Uвых

Uнас ― коллекторное напряжение, при котором транзистор входит в

режим насыщения (Определяется по справочным данным и

составляет

Uнас = (0,5...2), В)

Uдоп ― запас напряжения, учитывающий температурную

нестабильность каскада (Составляет Uдоп = (3...5), В)

\_

Uвых m = √2\*6 = 8.49 В

Eп = 2\*8.49 + 2 + 5 = 23.98 В

Величину напряжения питания округляем до большего значения и выбираем необходимое из ряда напряжения питания.

Ряд напряжения питания

Eп, В 5 6 9 12 15 24 30 48 100 150

Выбираем напряжение питания равным Eп = 24 В.

2. РАСЧЕТ И ВЫБОР ТРАНЗИСТОРОВ

Для выбора транзисторов необходимо выполнить следующие действия:

* 1. Расчет тока на нагрузке

Ток на нагрузке вычисляем по формуле

Iн = Uвых /Rн ,где

Iн ― ток, протекающий через нагрузку

Uвых― выходное напряжение

Rн ― сопротивление нагрузки

Определяем максимальную амплитуду выходного тока

\_

Iвых m = √2\* Iн

\_

Iвых m = √2\*0.067 = 0.095 А

2.2 Расчет мощности, рассеиваемой на нагрузке

Мощность, рассеиваемая на нагрузке, определяется по формуле

Pн = Iн \* Uвых

Pн = 0.067\*6 = 0.4 Вт

Максимальную амплитуду мощности, рассеиваемой на нагрузке, находим следующим образом

Pн m = Iвых m\* Uвых m

Pн m = 0.095\*8.49 = 0.81 Вт

2.3 Расчет мощности, рассеиваемой на транзисторе

Определяем мощность, рассеиваемую на транзисторе, учитывая схему защиты по току выходного каскада в режиме короткого

замыкания

Pтр max защ = Eп \* Iогр ,где

Iогр ― ток ограничения в схеме защиты,составляющий

Iогр = (1.1...1.3)Iвых m

Iогр = 1.2 \* 0.095 = 0.114 А

Pтр max защ = 24\*0.114 = 2.736 Вт

2.4 Выбор транзисторов оконечного каскада

Выбираем транзисторы оконечного каскада, учитывая следующие параметры:

Pк max ≥ Pтр max защ

Iк max≥ Iвых m

Uкэ ≥ 2\*Eп

Pк max ≥ 2.376 Вт

Iк max ≥ 0.095 А

Uкэ ≥ 48 В

В оконечном каскаде выберем транзисторы

VT1 ― n-p-n проводимости ― КТ815Б

VT2 ― p-n-p проводимости ― КТ814Б

Параметры транзисторов показаны в приложении А.

Входной ток транзистора VT1(VT2) найдем, учитывая его коэффициент передачи тока h21э = 40

I1(2)вх m = I вых m/h21э

I1(2)вх m = 0.095/40 = 0.0024 А

2.5 Выбор транзисторов предоконечного каскада

Транзистор предоконечного каскада выбираем по его выходному току, который является одновременно и входным током транзистора VT1(VT2) оконечного каскада.

Iпред.вых m **=** I1(2)вх m

Iпред.вых m **=** 2.4 мА

Учитывая параметры Iк max ≥ Iпред.вых m выбираем транзисторы предоконечного каскада

n-p-n проводимости ― КТ815Б

p-n-p проводимости ― КТ814Б

Так как коэффициент передачи тока транзистора предоконечного каскада h21э = 40 , то его входной ток будет

Iпред.вх m **=** Iпред.вых m**/** h21э

Iпред.вх m **=** 2.4**/**40 = 0.06 мА

2.6 Выходной ток операционного усилителя К154УД1

Определим выходной ток операционного усилителя К154УД1

IОУ вых = U2m/R2н,где

U2m max = 11 В ― наибольшая амплитуда выходного напряжения

R2н min = 2 кОм ― наименьшее сопротивление нагрузки

IОУ вых **=** 11/2000 = 0.0055 А

Должно выполняться условие:

IОУ вых **>** Iвх m, где

Iвх m ― входной ток выходного каскада,

Iвх m **=** Iпред.вх m = 0.06 мА

Так как выходной ток операционного усилителя IОУ вых **=** 5.5 мА может обеспечить входной ток оконечного каскада I1(2)вх m=2.4 мА, упрощаем схему выходного каскада, убирая предоконечный каскад.

3. ВНЕШНЯЯ КОРРЕКЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ

Передаточная характеристика идеального операционного усилителя должна проходить через нулевую точку, как показано на рисунке 3.1

Uвых,

Uвых max

Uсм U**ДФ**, В

Uвых min

Рис. 3.1 Выходное напряжение операционного усилителя как функция разности входных напряжений. Пунктиром показана характеристика, снятая без компенсации напряжения смещения нуля.

Однако, как показано на рисунке 3.1 штриховой линией, для реальных операционных усилителей эта характеристика несколько сдвинута. Таким образом, для того чтобы сделать выходное напряжение равным нулю, необходимо подать на вход операционного усилителя некоторую разность напряжений. Эта разность напряжений называется напряжением смещения нуля Uсм. Оно составляет обычно несколько милливольт и во многих случаях может не приниматься во внимание. Когда этой величиной пренебречь нельзя она может быть сведена к нулю. Поэтому во многих интегральных операционных усилителях предусмотрены специальные клеммы. После устранения напряжения смещения нуля остаются только его возможные изменения в зависимости от времени, температуры и напряжения питания.

Выше была описана внутренняя компенсация напряжения смещения нуля на операционном усилителе.

В данном задании необходимо предусмотреть внешнюю коррекцию нуля.

Так как используется только один вход усилителя (инвертирующий), то к другому входу приложим постоянное напряжение 15 В и тем самым скомпенсируем напряжение смещения нуля.

К выводу 3 микросхемы К154УД1 подключим потенциометр RP1 = 100 кОм и для удобства установки малых напряжений дополнительно поставим делитель напряжения, состоящий из R2 = 300 кОм, R3 = 1.8 кОм, R4 = 150 Ом.

R2 R3

RP1

R4

Рис. 3.2 Схема коррекции напряжения смещения

4. ЗАЩИТА ВЫХОДНОГО КАСКАДА

Для защиты по току выходного каскада в режиме короткого замыкания воспользуемся схемой, приведенной на рисунке 4.1.

Еп

VT 1

VT 3

Rогр**.**

Rн

Рис. 4.1 Схема защиты выходного каскада. VT 1― транзистор

выходного каскада, VT 3 ― защитный транзистор,

Rогр― сопротивление ограничения, Rн― сопротивление

нагрузки

В схеме защиты выходного каскада используем транзисторы

VT 3 ― n-p-n проводимость ― КТ315А

VT 4 ― p-n-p проводимость ― КТ361А

Параметры транзисторов приведены в приложении А.

Величина сопротивления ограничения находится по формуле

Rогр **=** Uбэ**/**Iогр, где

Uбэ― напряжение база-эммитер, для кремниевых транзисторов

равное 0.6 В

Iогр― ток ограничения

Rогр= 0.6/0.114 = 5.3 Ом

5. ВЫБОР СОПРОТИВЛЕНИЙ

Сопротивление обратной связи должно удовлетворять условию

R6 ≤ Uвых max\*0.01/IОУ вх, где

IОУ вх ― входной ток операционного усилителя

IОУ вх = I**1** = 40 нА

R6 = 8.49\*0.01/40\*10 = 2.12 МОм

Сопротивление обратной связи R6 не должно превышать предельного значения 2.12 МОм. Из ряда Е2 сопротивлений выбираем сопротивление R6 = 180 кОм с точностью ± 5 %.

Учитывая коэффициент усиления схемы К = 90, найдем сопротивление R1

К = R6/R1

Отсюда, R1 = R6/К

R1 = 180\*10³/90 = 2\*10³

Выбираем сопротивлене R1= 2 кОм.

Для точного усиления (К = 90) поставим в цепи обратной связи регулируемый резистор R5 = 10 кОм, с помощью которого будем

устранять отклонения от номиналов сопротивлений R1 и R6.

В качестве межкаскадной связи поставим, учитывая паспортные данные микросхемы К154УД1, сопротивление R7 = 2 кОм.

В схеме защиты выходного каскада поставим сопротивления

ограничения R8 = R9 = 5.6 Ом.

Нагрузкой усилителя является сопротивление R10 = 90 Ом.

6. ПОГРЕШНОСТИ ВЫПОЛНЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ

В зависимости от выполняемых функций требования предъявляемые к операционным усилителям различны но в любых случаях важно уменьшать погрешность выполненной операции и увеличивать быстродействие упрощать схемы операционных усилителей и повышать их надежность.

Рассчитаем следующие погрешности:

6.1 Приведенная погрешность линейности

δл = 2Uбэ/βК**D** Uвых max**,** где

Uбэ **⎯** напряжение база-эммитер равное 0.6 В

К**D** **⎯** коэффициент усиления операционного усилителя К154УД1

К**D**=150\*10³

β **⎯** коэффициент обратной связи

β=1/К где

К **⎯** коэффициент усиления схемы К=90

β=1/90=0.011

δл= 2\*0.6/0.011\*150\*10³\*8.49=0.0000856=0.0856\*10ˉ³=0.00856%

6.2 Приведенная погрешность в схеме смещения

δсм = Uсм\*К/Uвых max, где

Uсм **⎯** напряжение смещения нуля Uсм =5 мВ

δсм= 5\*10ˉ³\*90/8.49 = 0.053 = 53\*10ˉ³=5.3%

6.3 Приведенная погрешность в цепи входного тока

δi =iвх**\***Rос**/** Uвых max, где

iвх **⎯** входной ток микросхемыК154УД1 , I1 = 40 нА

Rос **⎯** сопротивление обратной связи, Rос = R6= 180 кОм

δi = 40\*10ˉ9 \*180\*10³ /8.49 = 0.848\*10ˉ³=0.0848%

* 1. Приведенная погрешность, вызванная синфазной

составляющей

δс = 1/Ко.с.с., где

Ко.с.с. **⎯** коэффициент ослабления синфазных входных сигналов

Ко.с.с. = Ксф= 80 дБ = 10000

δс = 1/10000 = 0.0001 = 0.1\*10ˉ³=0.01%

6.5 Приведенная погрешность за счет коэффициента усиления

δк = К/К**D**

δк = 90/150\*10³ = 0.6\*10ˉ³=0.06%

6.6 Максимально возможная погрешность усилителя

δус= δл+ δсм+ δi+ δс+ δк

δус= 0.0856\*10ˉ³ + 53\*10ˉ³ + 0.848\*10ˉ³ + 0.1\*10ˉ³ + 0.6\*10ˉ³ =

= 54.6336\*10ˉ³

δус≈ 5.46 %

С учетом схемы коррекции напряжения смещения

δус= δл+ δi+ δс+ δк

δус= 0.00856% + 0.0848% + 0.01% + 0.06% = 0.16336%

ВЫВОДЫ

В данной курсовой работе рассчитаны количество каскадов в схеме усилителя, активных и пассивных элементов, параметры элементов, тип выходного каскада , предусмотрена защита выходного каскада и внешней коррекции напряжения смещения нуля усилителя.

Двухтактный усилитель мощности состоит из двух симметричных плеч. Транзисторы подобраны с максимально близкими характеристиками, работают в одинаковом режиме.

Коэффициент усиления напряжения равный 90.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Основы промышленной электроники: Учебник для вузов/ В.Г.

Герасимов, О.М. Князьков, А.Е. Краснопольский, В.В. Сухоруков;

под ред. В.Г. Герасимова. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш.

Школа,1978

2. Лавриненко В.Ю Справочник по полупроводниковым приборам.

9-е изд., перераб. К.: Техника ,1980

3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное

руководство. Пер. с нем.- М.: 1982

ПРИЛОЖЕНИЕ А

# Параметры транзисторов КТ814Б, КТ 815Б

**Iкбо Iэбо Uк Iк h21э fгр Cn Uкбmax Uкэmax Uэбmax Iкmax**  **Iбmax**

**мА мА В А МГц пФ В В В А А**

## КТ814Б 0.05 ⎯ 2 0.15 ≥40 3 60 ⎯ 50 ⎯ 1.5 0.5

40

## КТ815Б 0.05 ⎯ 2 0.15 ≥40 3 60 ⎯ 50 ⎯ 1.5 0.5

40

**Pmax Pтmax Tmax Tmin Rтnc**

**Вт Вт °С °С °С/мВт**

## КТ814Б ⎯ 10 +100 - 40 ⎯

## КТ815Б ⎯ 10 +100 - 40 ⎯

# Параметры транзисторов КТ315А, КТ 361А

**Iкбо Iэбо Uк Iк h21э h11б h12б h22б fгр Cк Кш Uкбm Uкэm**

**мкА мкА В мА Ом мкСм МГц пФ В В**

## КТ315А 1 15 10 1 20..90 40 ⎯ 0.3 250 7 ⎯ ⎯ 20

10

## КТ361А 1 ⎯ 10 1 20..90 ⎯ ⎯ ⎯ 250 9 ⎯ 25 25

25

**Iкm**  **Iкиm Pmax Tmax Tmin Rтnc**

**мА мА мВт °С °С °С/мВт**

## КТ315А 100 ⎯ 150 +100 - 55 0.67

## КТ361А ⎯ ⎯ 150 +100 - 60 0.67

**Буквенные обозначения основных элементов ЭЗ**



**ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ**

1.Общие требования

Материал излагается в виде текста, иллюстраций и таблиц на листах формата А4 (210\*297 мм). Для иллюстраций и таблиц можно использовать листы формата А3 (297\*420 мм).

Документы выполняют рукописным (черного, фиолетового или синего цвета), машинописным или машинным способом на одной стороне листа белой бумаги из расчета от 30 до 35 строк на странице в рукописи (трафарет№2) и не более 40 строк при машинном способе (при машинописном - печатать через 1,5 интервала).

Высота букв не менее 1,8 мм.

При рукописном способе на листе вычерчивается рамка, отступающая от края листа слева на 20 мм, справа, сверху и снизу - на 5 мм. От рамки сверху и снизу отступить на 15...20 мм, справа и слева - на 5...10 мм.

При машинном выполнении рамки не обязательны. Поля : левое - 20...30 мм, верхнее и нижнее - 20...25мм, правое 10..15 мм.

Ошибки исправляют подчисткой или закрашиванием белой краской.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Раздел начинается с новой страницы. Подразделы пишут подряд, если после названия подраздела в нижней части страницы помещается не менее 2х строк текста

Заголовки разделов следует располагать в середине строки, писать или печатать прописными буквами без точки в конце, не подчеркивать. Нумеруются разделы арабскими цифрами с точкой. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Заголовки подразделов следует начинать с абзацного отступа, писать (печатать) строчными буквами, кроме номера и первой прописной, не подчеркивая, без точки в конце. Нумеровать подразделы по порядку, в пределах каждого раздела (1.1,1.2,1.3 и т.д.).

Абзацный отступ равен 5 знакам.

Расстояние между заголовками и предыдущим текстом должно быть не менее двух строк, между заголовком и последующим текстом - не менее одной строки.

Нумерация страниц производится арабскими цифрами без точки в конце. Номера проставляют в правом верхнем углу страницы. Нумерация сквозная по всему тексту, считая иллюстрации, таблицы и приложения. Все листы, начиная с титульного включают в общую нумерацию, но на титульном листе, задании и реферате номер страницы не проставляется.

2.Требования к порядку изложения материала

Документы (пояснительные записки, отчеты) содержат следующие структурные элементы:

А) во вводной части:

* Обложку,
* Титульный лист,
* Лист замечаний,
* Задание,
* Ведомость проекта,
* Реферат,
* Содержание,
* Перечень сокращений и условных обозначений,

В) в основной части:

* Введение,
* Суть работы (делится на разделы),
* Выводы,
* Перечень ссылок,
* Приложения.

Все перечисленные элементы начинают с новой страницы. Нумеруют только разделы, составляющие суть работы.

Структурные элементы: титульный лист, реферат, введение, суть работы и выводы являются обязательными для всех документов.

3.Требования к структурным элементам

3.1. Титульный лист

В дипломных проектах оформляется на украинском языке. в курсовых проектах и отчетах по практике - на русском.

3.2.Лист замечаний

Обязателен только в дипломных проектах и работах. Служит для оценки проекта консультантами.

3.3. Задание

Составляется на бланке

3.4. Реферат

Должен быть кратким, информативным, достаточным для принятия решения и целесообразности прочтения всего документа.

Информация в тексте реферата представляется в такой последовательности:

* Цель работы,
* Результаты и их ценность,
* Рекомендации по использованию,
* Показатели надежности и экономические

Реферат должен умещаться на одной странице формата А4. Перечень ключевых слов должен содержать 30 слов (словосочетаний), написанных прописными буквами в именительном падеже.

3.5. Содержание

Содержание составляют, если документ содержит не менее двух разделов или один раздел и приложение при общем количестве страниц не менее 10.

Содержание включает все разделы и подразделы, расположенные после него.

3.6. Перечень условных обозначений

Все принятые в документе малораспространенные условные обозначения символов, сокращения и термины поясняют в перечне, располагая в алфавитном порядке. Независимо от этого при первом появлении этих элементов в тексте приводят их расшифровку.

3.7. Введение

Во введении кратко излагают:

* Оценку состояния вопроса,
* Тенденции разрешения поставленных задач,
* Актуальность данной работы,
* Цель работы, область применения,
* Связь с другими работами.

3.8. Суть работы

Суть работы излагают, распределяя материал по разделам. Разделы могут делиться на подразделы.

В первом разделе диплома описывается процесс, подлежащий автоматизации и анализируются известные варианты решения. В итоге формулируется задача проекта.

Во втором разделе приводится техническое задание, составленное в соответствии с ГОСТ.

В третьем разделе описываются результате разработки схем: структурной, функциональной, принципиальной. Приводятся необходимые расчеты, методика выбора ЭРЭ.

В четвертом разделе приводятся данные по конструированию и технологии: разработка блоков и субблоков на печатных платах или разработка шкафов и схем соединений (при использовании стандартных средств).

В пятом разделе приводится расчет надежности: оценивается безотказность и ремонтопригодность разработанного устройства или системы и программных средств.

В шестом разделе описываются мероприятия по технике безопасности, охране труда и окружающей среды.

В седьмом разделе приводятся экономические расчеты.

В выводах анализируются полученные результаты, оценивается полнота выполнения технического задания.

В перечне ссылок приводятся источники, на которые ссылаются в основной части. Располагать их желательно в алфавитном порядке.

В приложениях помещают материал, который необходим для полноты проекта, но нежелателен в основной части: перечни ЭРЭ к схемам, листинги программ, математические доказательства, расчеты и т.п.

Обозначаются приложения буквами русского алфавита (исключая буквы Г,З,Й,О,Ы,Ь).Одно приложение обозначается как приложение А.

3.9. Иллюстрации

Чертежи, рисунки, схемы, диаграммы, фотографии следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, если для этого достаточно места, или на следующей странице.

Оформляются иллюстрации в соответствии с действующими стандартами, нумеруются в пределах раздела.

При необходимости под иллюстрацией помещают поясняющие данные.

Иллюстрации могут иметь названия, которые помещают под иллюстрацией и поясняющими данными, например: "Рисунок 3.1 - Схема размещения".

3.10. Таблицы

Таблицы, как и иллюстрации, располагают непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые или на следующей странице. Нумеруются в пределах раздела. Название помещается над таблицей, пишется строчными буквами (кроме первой прописной).

При делении таблицы на части ее головку или боковик можно заменять номерами граф или строк, которые проставляют и в первой части таблицы.

Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе. Точки в конце не ставят.

3.11. Перечисления

Перед перечислениями ставят двоеточие. Перед каждой позицией перечисления, которые пишут с абзацным отступом, ставят дефис.

Для дальнейшей детализации используются арабские цифры со скобкой и делается отступ еще на 5 знаков.

3.12.Формулы и уравнения

Формулы и уравнения располагают посредине страницы, непосредственно после текста, в котором они упоминаются. Нумеруются в пределах раздела. Номер формулы проставляется в круглых скобках на уровне формулы в крайнем правом положении в строке.

Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки.

Пояснение значений символов, входящих в формулу, приводятся непосредственно под формулой в той последовательности, что и в формуле. Пояснение каждого символа начинается с новой строки.

Переносить формулу на следующую строку можно только на знаках операций, которые повторяют в начале строки. При переносе на знаке умножения применяют знак "х".

Формулы, следующие одна за другой, и не разделенные текстом, отделяют запятой.