ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение**

**высшего профессионального образования**

**«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций**

**им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Кафедра электроники и схемотехники

Дисциплина «Схемотехника»

**Курсовой проект на тему:  
«****Проектирование усилителя-фотоприемника ВОСПИ»**

Выполнил: Лаптев А.А.

Группа: ИКТЗ-54

Номер зачетной книжки: 1505424

Преподаватель: Юрова В. А.

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

[1. Задание на проектирование 2](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528577)

[2. Описание схемы усилителя 4](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528579)

[3. Расчет основных параметров усилителя и элементов принципиальной схемы 5](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528581)

[3.1. Расчет элементов схемы по постоянному току 5](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528582)

[3.1.1. Предварительный расчет резисторов диода V1 6](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528584)

[3.1.2. Предварительный расчет по постоянному току каскада на полевом транзисторе V2 7](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528585)

[3.1.3. Расчет по постоянному току каскадов на биполярных транзисторах V3, V4 9](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528586) 9

[3.1.4. Расчет по постоянному току в схеме на ОУ 11](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528587)

[3.1.5. Проверка расчета по постоянному току с помощью компьютера 12](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528588)

[4. Расчет по сигналу 17](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528589)

[5. Сравнение полученных результатов с требованиями технического задания 23](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528591)

[6. Чертеж принципиальной схемы 25](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528594)

[7. Список используемой литературы 27](file:///C:\Users\Dima\YandexDisk\Development\Третий_курс\Схемота\Курсачи\курсовая%20СХЕМ\туркин%20кп.docx#_Toc404528595)

## Задание на проектирование

Содержанием курсового проекта является проектирование широкополосного RC-усилителя, источником сигнала которого является генератор тока. Подобные усилители находят широкое применение помимо оптической связи в видеоаппаратуре, а также в блоках управления радио- и видеотехникой. Особенность проектирования заключается в том, что по ряду показателей – стабильности коэффициента усиления, динамическому диапазону входных сигналов и полосы пропускания, к усилителям предъявляются достаточно высокие требования.

Задание на курсовой проект представляет собой технические условия, по которым надлежит спроектировать устройство, работающее в режиме *малого сигнала.* В задании указываются следующие данные:

- тип полевого транзистора;

- тип биполярного транзистора;

- тип операционного усилителя;

- напряжение источника питания *E*0;

- сопротивление внешней нагрузки *R*2Н;

- нижняя рабочая частота ;

- верхняя рабочая частота;

- выходное напряжение *U*2.

Последние три цифры зачетной книжки студента определяют технические требования к курсовому проекту.

Первая цифра из них определяет классификационный индекс полевого транзистора КП 307 и его параметры, приведенные в табл. 1.

Табл. 1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип транзистора | Начальный ток стока *I*cнач, мA | Крутизна макс. *S*max, мA/B | Напряжение отсечки *U*отс, B |
| 4 | КП 307Д | 16 | 12 | -3.5 |

Входная ёмкость *C*ЗИ=5 пФ, проходная ёмкость *C*ЗС=1,5 пФ

Вторая цифра определяет типы биполярных транзисторов.

Параметры биполярных транзисторов малой мощности типа n-p-n приведены в табл. 2.

Табл. 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип  Транзистора | *Р*к, мBт | *U*кэmax, В | *I*к max, мA | *h*21max | *h*21min | *f*т,  МГц | *С*к, пФ | τк, пс |
| 2 | КТ325А | 225 | 15 | 30 | 90 | 30 | 800 | 2.5 | 125 |

Третья цифра (табл. 3) определяет величину напряжения источника питания *E*0 (рис. 1), величину действующего значения выходного напряжения *U*2н и полосу пропускания и

Табл. 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Источник питания *Е*0, В | Выходное напряжение *U*2н, В | Нижняя частота , кГц | Верхняя частота , МГц |
| 4 | 9 | 2 | 20 | 1 |

Тип микросхемы (табл. 4) AD1 операционного усилителя (ОУ) определяется четным или нечетным значением третьей цифры из трех последних в зачетной книжке.

Табл. 4

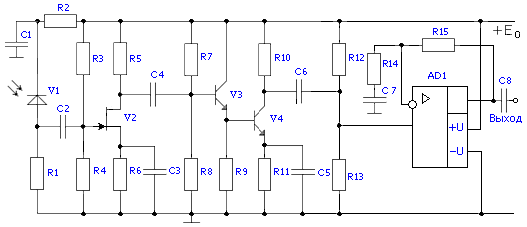
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Третья цифра в зачетной книжке | Тип ОУ | Частота единичного  усиления *f*1, МГц | Коэффициент  усиления ОУ, дБ |
| 4- четная | OPA622 | 250 | 80 |

Конденсаторы – выбираются равными 1…5 мкФ.

Ток источника сигнала *Im*1 = 1 мкА. Сопротивление внешней нагрузки *R*2н = 3 кОм.

## 2. Описание схемы усилителя

Принципиальная схема усилителя представлена на рис. 1. Усилитель состоит из предварительных каскадов и основного усилителя.



*Рис. 1. Принципиальная схема усилителя*

Источником сигнала является ток фотодиода V1. Даже когда свет падает на фотодиод V1, его внутреннее сопротивление при фототоке *Im*1 = 1 мкА остается большим. Вследствие этого источник сигнала является генератором тока. Элементы, образуют развязывающий фильтр по цепям питания (*Е*0).

В качестве активного элемента первого каскада выбран полевой транзистор, так как он обладает меньшим уровнем собственных шумов. Входная цепь устройства образована входным сопротивлением каскада V2 и суммарной емкостью *С*, состоящей из проходной емкости *С*Д фотодиода V1, входной емкости *С*вх транзистора V2 и емкости монтажа *С*м. Хотя *r*зи (входное сопротивление полевого транзистора V2) велико(1000Мом), входное сопротивление каскада определяется делителем напряжения на его затворе (параллельным соединением резисторов и *).* Данная входная цепь и будет определять частоту верхнего среза .

Биполярный транзистор V3, включенный по схеме с общим коллектором (ОК), служит буферным каскадом с большим входным и малым выходным сопротивлениями. Эта схема относится к классу схем с автоматическим смещением.

Транзистор V4 включен по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Его нагрузкой является делитель напряжения на резисторах и , обеспечивающий потенциал средней точки однополярного напряжения питания *Е*0 операционного усилителя AD1. По этой причине должно быть: = . Чтобы коэффициент усиления каскада на V4 не снижался из-за шунтирования его нагрузки резисторамии, их следует выбирать равными 5 .

Для расширения полосы пропускания в области верхних частот в каскаде ОЭ может быть применена отрицательная обратная связь (ОС) и основанная на ней эмиттерная коррекция (, ). В области нижних частот АЧХ определяется разделительными конденсаторами , , , , и блокировочными конденсаторами и , устраняющими местную обратную связь по сигналу.

Основное усиление сигнала по напряжению выполняет ОУ AD1. Операционный усилитель должен довести выходное напряжение на средней частоте до заданного (действующего значения) U2 (табл.3). Сигнал подаётся на неинвертирующий вход. На этот же вход подаётся напряжение смещения с делителя R12, R13. Оно необходимо для получения симметричного питания ОУ в схеме с однополярным источником Е0.

## 3. Расчет основных параметров усилителя и элементов принципиальной схемы

## Расчет элементов схемы по постоянному току

Расчет элементов необходимо начать с обеспечения режимов работы фотодиода и транзисторов по постоянному току. Схема усилителя по постоянному току представлена на рис. 2, где показаны только те элементы схемы, по которым протекают постоянные токи.



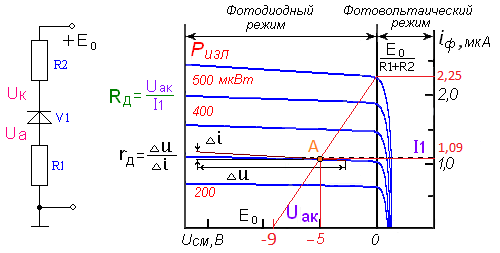
*Рис. 2. Схема транзисторной части усилителя по постоянному току*

В связи с тем, что конденсаторы не пропускают постоянный ток, рис. 2 представляется состоящим из трех независимых фрагментов схемы: с фотодиодом, c полевым транзистором и с биполярными транзисторами.

## 3.1.1 Предварительный расчет резисторов диода V1

Параметры фотодиода V1-ФДК-227: рабочее напряжение *U*раб = 10 В, темновой ток *I*тем = 0,1 мкА, амплитуда фототока *Im*1 = 1 мкА.

.



*Рис.2.Принципиальная схема цепей питания фотодиода (слева) и его типовая вольт-амперная характеристика (справа).*

Обратное смещение на фотодиод подается для вывода его в линейную область ВАХ. Одновременно с этим увеличение напряжения Uак уменьшает проходную емкость фотодиода.

Выберем напряжение Uак, так, что бы |Uак|<E0 (9В) и |Uак|<Uраб.(10В) Uак = 5 В. Тогда на резисторах (R1+R2) должно быть падение напряжения равное.Задав напряжение на аноде , определяем по закону Кирхгофа напряжение на катоде .Теперь, зная фототок , вычислим сопротивление резисторов и :

 и .

Рассчитанные сопротивления резисторов и необходимо выбрать в соответствии с рядом номинальных значений (таблица 5).

Таблица 5.



Получаем , .

На рис.2. (справа) показана точка В с координатами (), из чего следует, что сопротивление фотодиода постоянному току в этой точке .

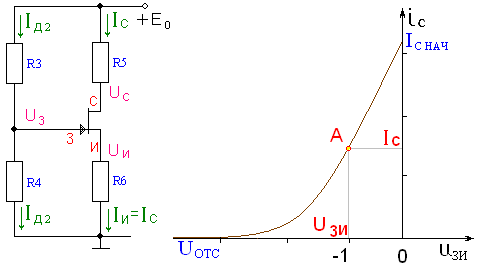
## 3.1.2 Предварительный расчет по постоянному току каскада на полевом транзисторе V2

Транзистор КП307 имеет свои справочные данные: ток стока начальный *I*Снач, мА; максимальную крутизну *S*макс, мА/В; напряжение отсечки *U*отс, В.

Другие показатели полагаем одинаковыми: емкость затвор–исток   
*C*зи = 5 пФ, емкость проходная *С*зс =1,5 пФ; ток утечки затвора *I*ут.з=1 нА; сопротивление затвор–исток *r*зи= *U*ЗИ/*I*ут.з= 1000 МОм.

Так как сопротивление затвор-исток очень велико для рассматриваемой схемы, то оно не будет учитываться в эквивалентной модели полевого транзистора по переменному сигналу.

Принципиальная схема каскада на полевом транзисторе V2 по постоянному току представлена на рис. 4. Для заданного типа полевого транзистора вычертим свою вольт-амперную характеристику, используя известные соотношения *I*С = *I*С нач· (1 – *U*ЗИ / *U*отс)2 (рис. 4).



*Рис. 4. Типовая вольт-амперная характеристика полевого транзистора с n-каналом*

Для расчета резисторов …сначала необходимо рассчитать точку покоя полевого транзистора V2 исходя из его параметров: начального тока стока *I*Снач, максимальной крутизны *S*max и напряжения отсечки *U*отс.

Выбираем напряжение затвор–исток *U*ЗИ = –1 В.

Затем определяем ток покоя стока

*I*С = *I*Снач(1 – *U*зи/*U*отс)²= = 8.16 мА

и крутизну

*S* = *S*max(1 – *U*зи/ *U*отс)= = 8.57 мА/В.

Как правило, выбирают напряжение на истоке:

а напряжение сток-исток:

Тогда напряжение на стоке равно:

Отсюда сопротивления резисторов в цепи истока и стока

В соответствии со шкалой номинальных значений (табл. 5):

Напряжение на затворе

Рассчитаем сопротивление резистора , исходя из заданной верхней частоты :

Где:  
*С*д – проходная емкость диода ();   
*С*вх – входная емкость транзистора V2; *С*вх ≈ *С*зи + (*S*·*R*5+1)·*C*зс; *С*м = 1 пФ – емкость монтажа.

Необходимо выбрать из следующих условий (с разбросом ± 10 %):

После этого определяем ток делителя

и сопротивление резистора

## 3.1.3 Расчет по постоянному току каскадов на биполярных транзисторах V3, V4

Биполярный транзистор КТ325А имеет следующие параметры:

-транзистор биполярный кремниевый;

-UБЭ=0.7 В;

- коэффициент усиления по току минимальный h21 min = 30;

- коэффициент усиления по току максимальный h21max= 90;

- частота единичного усиления fт = 800 МГц;

-максимальный постоянный ток коллектора Ikmax= 30 мА;

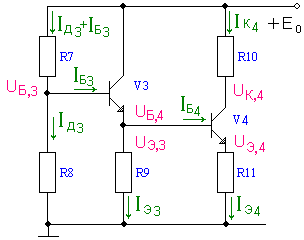
-максимальное напряжение коллектор-эмиттер Uкэmax= 15 В;

-постоянная времени цепи обратной связи τк = 125 пс;

-ёмкость коллекторного перехода Ск = 2.5 пФ;

-допустимая мощность рассеиваемая на коллекторе РК ДОП= 225 мВт.

Для расчета сопротивлений резисторов … необходимо выбрать режимы работы транзисторов V3 и V4 (рис. 5).



*Рис. 5. Принципиальная схема каскадов на биполярных транзисторах по постоянному току*

Выбираем ток покоя транзистора V4:

Учитывая, что переменный коллекторный ток транзистора V3 меньше, чем переменный ток коллектора V4, можно выбрать постоянный коллекторный ток

Установив напряжение коллектор-эмиттер V4:

и напряжение на эмиттере V4:

можно определить напряжение:

Напряжение на базе V3:

Напряжение на коллекторе V4:

Теперь можно вычислить сопротивления резисторов …:

Для вычисления сопротивлений резисторов и нужно знать ток делителя *I*Д3.Обычно его выбирают:

Сопротивления резисторов

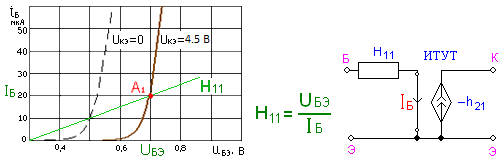
## 3.1.4 Расчет по постоянному току в схеме на ОУ

Этот расчет сводится к определению номинальных значений резисторов и . С одной стороны, они должны обеспечить «среднюю точку» напряжения питания *E*0/2 на ОУ, и потому = , с другой стороны, их параллельное соединение на переменном токе не должно сильно шунтировать нагрузку транзистора V4. Вследствие этого рекомендуется выбирать

= = 5 .Обычно для резисторов в цепи эмиттера и истока принимают допуск ±5%, , а для остальных ±10%. В соответствии с номинальным рядом:

## 3.1.5 Проверка расчета по постоянному току с помощью компьютера

Правильность расчетов сопротивлений после их выбора по номинальному ряду удобно проверить с помощью компьютер1а. Для этого принципиальную схему каскадов на транзисторах V3 и V4 (рис. 5) преобразуем в эквивалентную схему по постоянному току, заменяя биполярные транзисторы активными четырехполюсниками типа ИТУТ (рис. 6, б), где *H*11 – входное сопротивление биполярного транзистора на постоянном токе.

**

*Рис. 6. Определение входного сопротивления (а)   
и эквивалентная схема биполярного транзистора (б) по постоянному току*

Вследствие несовпадения направления постоянного коллекторного тока в реальном транзисторе и в компьютерной модели (рис. 6, б) коэффициенту передачи тока *h*21 необходимо присвоить знак «минус» (например, *h*21 = –100).

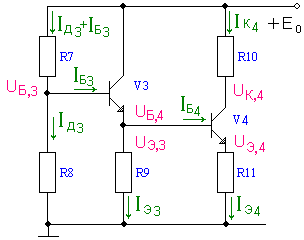
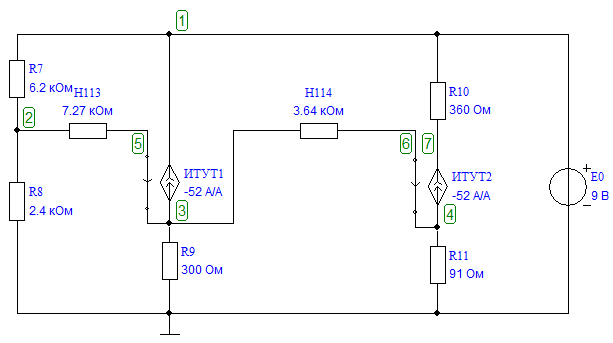
Составим эквивалентную схему усилителя на биполярных транзисторах (рис. 7) и с помощью программы Fastmean произведем расчет. Эта программа сама нумерует узлы и элементы схемы, чаще всего в порядке их набора.

При расчете используются сопротивления резисторов, выбранные по номинальному ряду. Сопротивления *H*11,3 и *H*11,4 не являются резисторами, они отражают эквиваленты входных сопротивлений переходов база–эмиттер транзисторов V3 и V4 по постоянному току (рис. 6, а). Их величины:

*H*11,3 = *U*БЭ/*I*Б3,

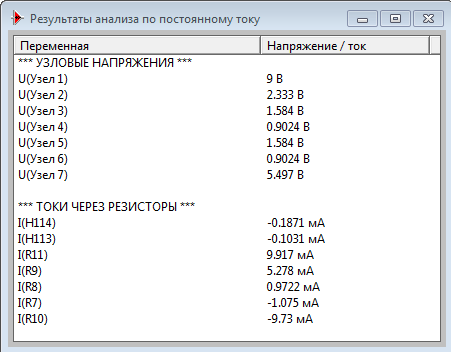
*H*11,4 = *U*БЭ/*I*Б4,

где *U*БЭ = 0,7 В.



*Рис. 7, Эквивалентная схема усилительного каскада на V3,V4 по постоянному току*

С помощью команды «Анализ по постоянному току» в схеме рис. 7 вычислим токи в резисторах и напряжения в узлах. В табл. 6 вносим все результаты без учета знака.



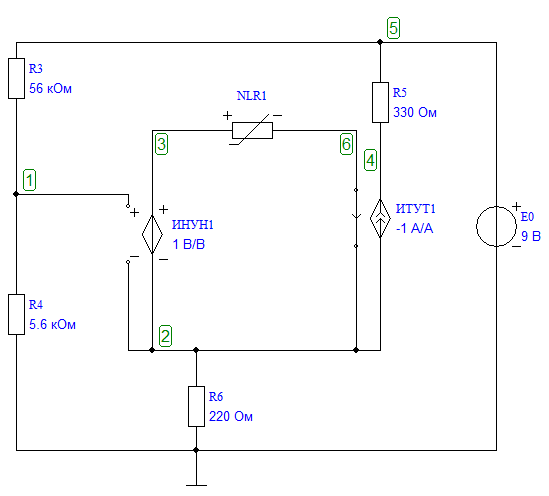
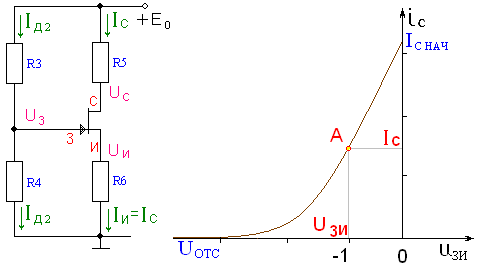
*Рис. 7, Расчёт по постоянному току в fastmean*

Табл. 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | V3 | | | | V4 | | |
| Токи и напряжения | *U*Б3, В | *U*Э3, В | *I*Д3, мА | *I*Э3, мА | *U*Э4, В | *U*К4, В | *I*К4, мА |
| Расчет предварительный | 2.3 | 1.6 | 1 | 5.01 | 0.9 | 5.4 | 10 |
| Компьютерный | 2.333 | 1.584 | 0.972 | 5.278 | 0.902 | 5.497 | 9.73 |

Результаты совпадают с точностью ≤ 10% - расчет всех элементов схемы по постоянному току сделан правильно.

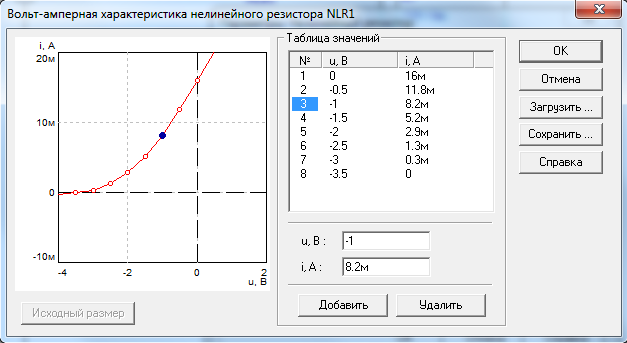
Составим эквивалентную схему усилителя на полевом транзисторе (рис.8) и с помощью программы Fastmean произведем расчет.

*Рис. 8, а) Эквивалентная схема усилительного каскада на V2 по постоянному току.*

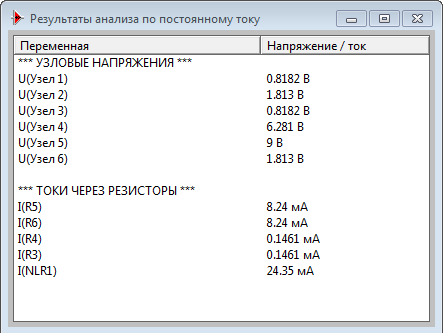
Режим покоя полевого транзистора определяют резисторы R5 и R6.Построим вольтамперную характеристику (ВАХ), отметим точку покоя

при Uзи=-1 (Iс=8.2 мА)



*Рис. 8, б) ВАХ полевого транзистора*

С помощью команды «Анализ по постоянному току» в схеме рис. 8 вычислим токи в резисторах и напряжения в узлах. В табл. 7 вносим все результаты без учета знака.



*Рис. 8, в) Расчёт по постоянному току в fastmean*

Табл. 7

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | V2 | | |  |
| Токи и напряжения | Uс, В | U3, В | IД2, мкА | Ic, мА |
| Расчет предварительный | 6.3 | 0.8 | 143 | 8.2 |
| Расчет компьютерный | 6.28 | 0.82 | 146 | 8.24 |

Результаты совпадают с точностью ≤ 10% - расчет всех элементов схемы по постоянному току сделан правильно.

## 

## 4. Расчет по сигналу

Расчет по сигналу также проведем при помощи программы Fastmean. Чтобы определить свойства усилителя по сигналу, необходимо составить эквивалентную схему усилителя для *переменного тока*.

Учитывая, что сопротивление источника питания *Е*0 переменному току равно нулю, на эквивалентной схеме его выводы можно замкнуть накоротко, а сам источник удалить. После этой операции верхние выводы резисторов , , , , (рис. 1) оказываются на переменном токе соединенными с общим проводом. Коллектор транзистора V3 также соединяется с общим проводом. Далее нужно элементы схемы V1…V4 и AD1 заменить их эквивалентными моделями на переменном токе. Источником сигнала является фототок *Im*1 диода V1. Сопротивление фотодиода на переменном токе определяется касательной к вольт-амперной характеристике в точке *А*. Вследствие того что приращение напряжения измеряется в вольтах, а приращение тока – в долях микроампера, сопротивление фотодиода переменному току *r*Д = ∆*u*/∆*I* оказывается значительно больше, чем сопротивление постоянному току *R*Д, и *r*Д достигает 80…100 МОм. Это дает право рассматривать источник сигнала как генератор тока. Чрезвычайно большое сопротивление *r*Д нет необходимости учитывать в эквивалентной схеме, остается учесть лишь емкость фотодиода *С*Д = 1 пФ (рис. 9, а). На рис. 9, б изображена эквивалентная схема фотодиода по переменному току с учетом его цепей питания.



*Рис. 9. Модель фотодиода на переменном токе (а)   
и эквивалентная схема входной цепи (б)*

На эквивалентной схеме полевой транзистор заменяем активным четырехполюсником типа ИТУН – источник тока, управляемый напряжением (рис. 10, а). Это значит, что выходной ток (ток стока *i*C) управляется входным напряжением (затвор–исток *u*ЗИ), т. е. *i*C = –*S*∙*u*ЗИ.

В данной модели *C*ЗИ – емкость затвор–исток транзистора, пФ, *C*ЗС – проходная емкость, емкость перехода затвор–сток, пФ, (величины этих емкостей даются в справочниках по транзисторам), *S* – крутизна в точке покоя, мА/В. Сопротивление перехода затвор–исток *r*ЗИ очень велико.



а) б)

*Рис.10. Эквивалентная модель транзисторов по сигналу: а) полевого – V2 (ИТУН); б) биполярного – V3 и V4 (ИТУТ)*

Биполярные транзисторы V3 и V4 заменяем каждый активным четырехполюсником типа ИТУТ (источник тока, управляем2ый током, рис. 10, б). Здесь выходной ток *i*к управляется током базы *i*б, т. е. *i*к = –*h*21*i*б.

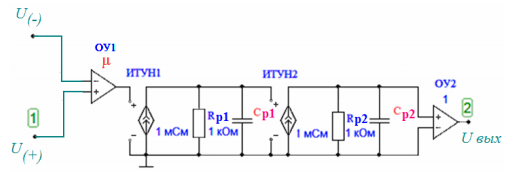
В этой модели *r*б´б – объемное сопротивление базового слоя, Ом. Находим его из выражения

где *C*к – емкость коллекторного перехода, пФ, приводится в справочниках. Сопротивление перехода база–эмиттер *r*б´э, Ом, вычисляется так:

где *h*21 – коэффициент усиления по току транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Емкость перехода база–эмиттер *С*б´э, пФ, вычисляется по выражению

где *f*т – частота единичного усиления из справочника.

Модель, удобная для учебного процесса, показана на рис. 11. Она содержит два операционных усилителя ОУ1 и ОУ2. Первый обеспечивает дифференциальный вход устройства с бесконечно большим входным сопротивлением, второй – нулевое выходное сопротивление и служит буфером между моделью ОУ и внешними цепями (в первую очередь цепями ОС). Частотные свойства исследуемого ОУ учитываются двумя ИТУН с соответствующими RC – элементами. Следует отметить, что использование ИТУН дает более простую модель, чем использование ИТУТ, отображающего реально действующие в ОУ биполярные транзисторы.

**

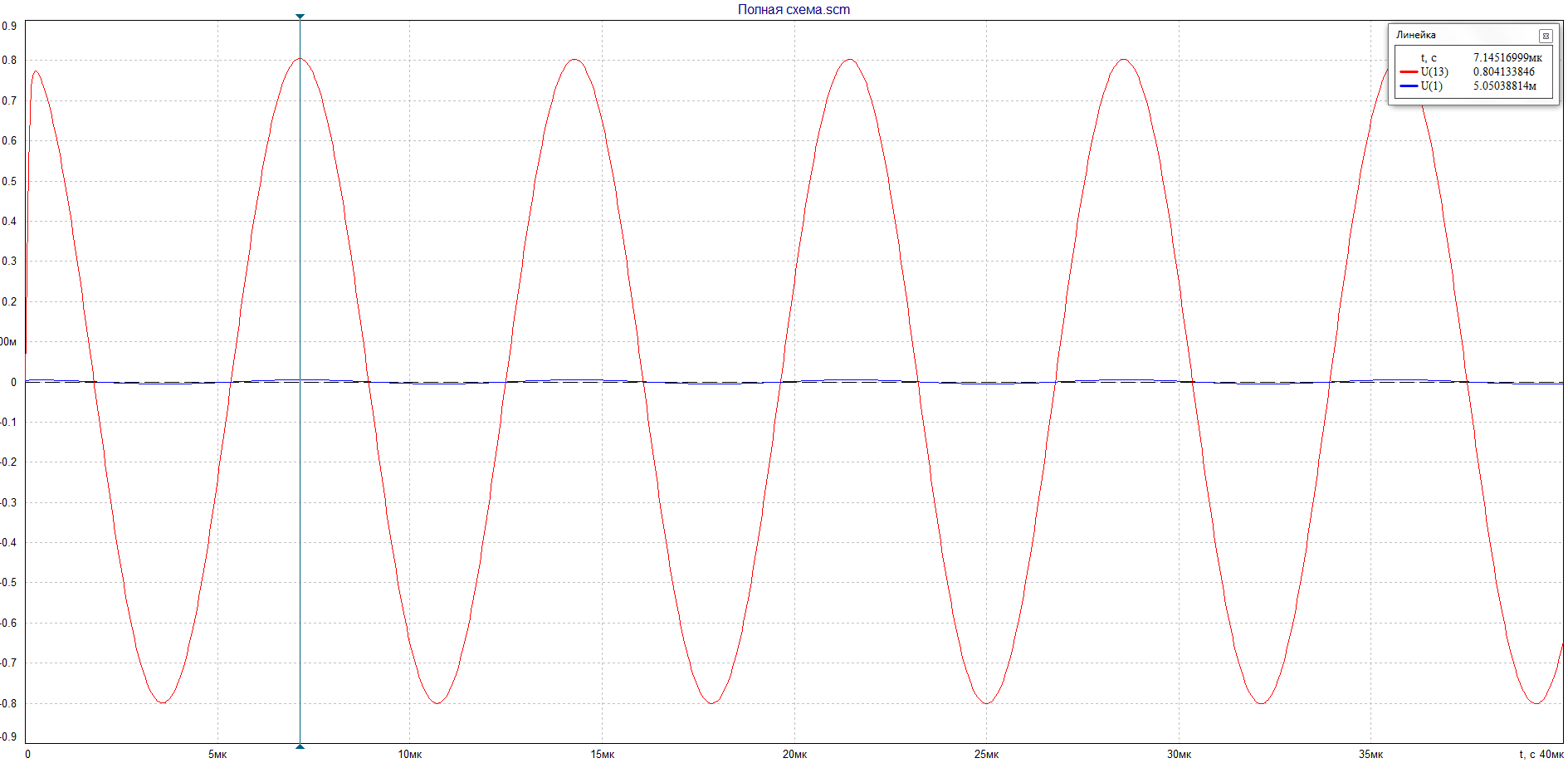
*Рис. 11. Макромодель ОУ.*

Соединив модели активных элементов согласно принципиальной схеме (рис. 1), получим эквивалентную схему усилителя по сигналу для всех диапазонов частот (рис. 13). Номера внешних резисторов … и конденсаторов … этой схеме соответствуют номерам резисторов и конденсаторов принципиальной схемы (рис. 1).

К этому моменту остаются неизвестными значения резисторов и , поскольку не определен коэффициент усиления каскада на ОУ *KF*= *U*21/*U*13. Напряжение *U*21= *U*2Н задано в табл. 3. Напряжение *U*13 следует определить, активировав клавишу «переходный процесс», установив предварительно в источнике сигнала ток *Im*1 = 1 мкА и среднюю частоту заданного диапазона, например, *f* =100 кГц. Следует помнить, что в этом случае компьютер покажет амплитуду сигнала *U*13*m*. Тогда искомый коэффициент усиления будет

*KF* = 1,41·*U*2Н/U13*m*. Для реализации этого усиления воспользуемся зависимостью коэффициента усиления в неинвертирующем включении ОУ: *KF* = 1 + .

Расчет средней частоты переменного сигнала, подаваемого на вход проектируемой схемы:



*Рис. 12. Определение амплитуды сигнала .*

Т.к.

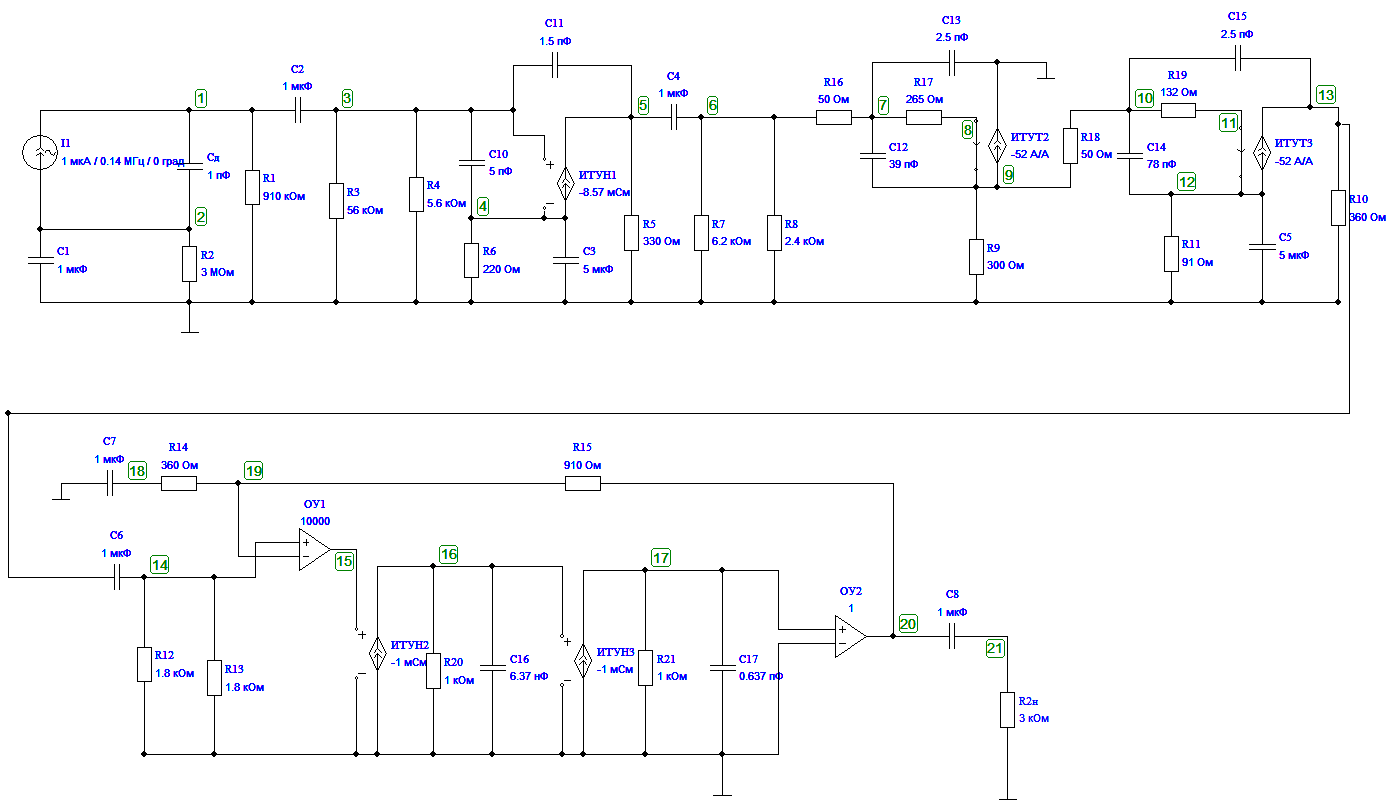
Выбрав = ( ǁ ),вычислим.

Зададим полюса ОУ:

Рассчитаем положив:

Положим .

Построим полную эквивалентную схему усилителя:

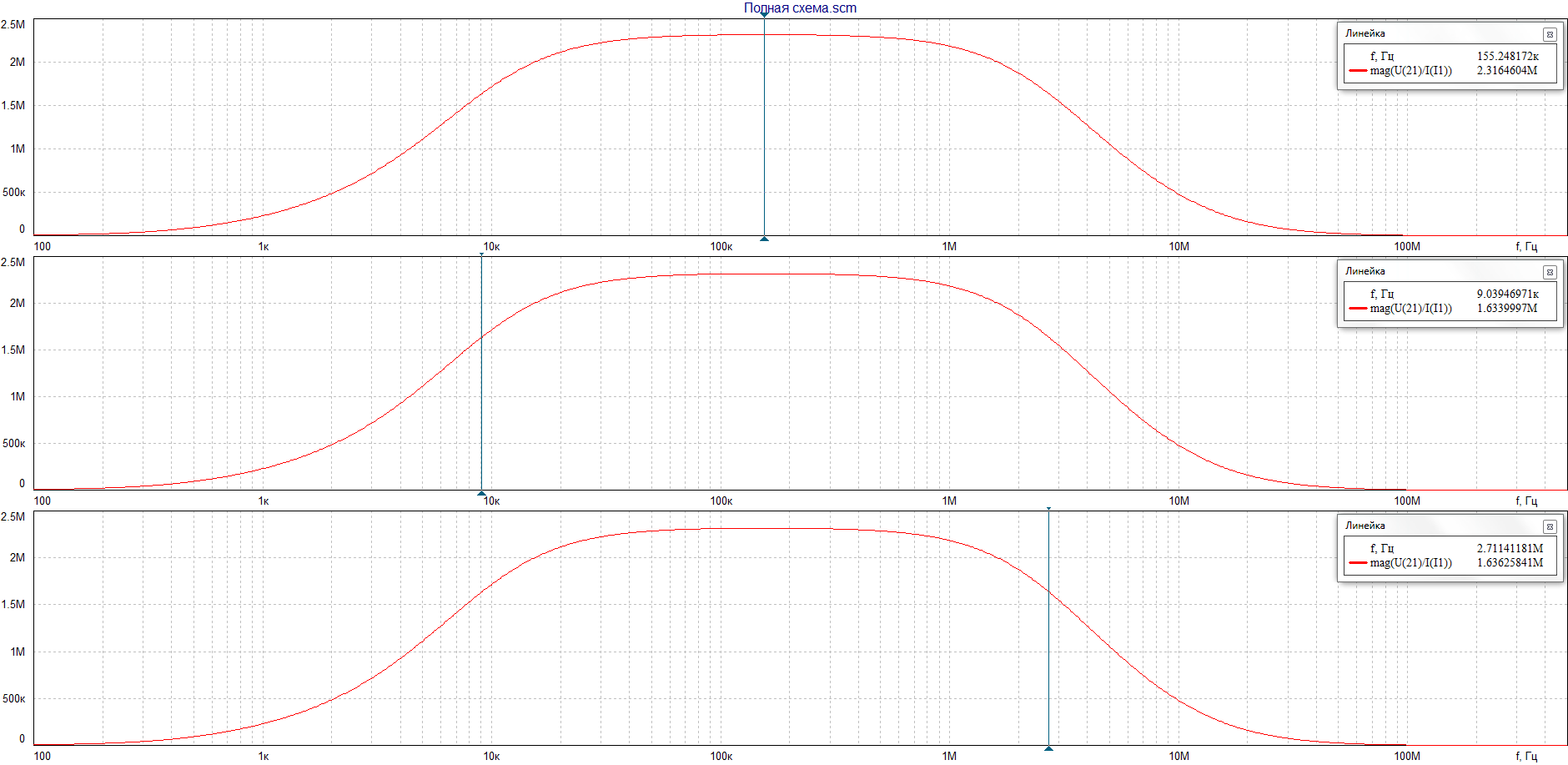


*Рис. 13. Полная эквивалентная схема усилителя*

## 5. Сравнение полученных результатов с требованиями технического задания

Теперь можно определить частотные свойства всего усилителя с помощью Fastmean. Придав элементам схемы рис. 13 соответствующие значения, можно определить зависимость сопротивления передачи от частоты: *R*(*f*)*=U*ВЫХ/*I*1. Для этого в диалоговом окне набираем *U*(21)*/I*1. В связи с тем что исследуемая функция не безразмерная, представлять ее в децибелах, как коэффициент усиления, нельзя. Шкалы по *X* и *Y* должны быть обе логарифмическими.

Вид функции сопротивления передачи показан на рис. 14. Вызвав линейку на экран, вычисляем частоты верхнего и нижнего среза , при которых по определению коэффициент передачи становится равен 0,7*R*0, где *R*0 – сопротивление передачи на средней частоте.



*Рис. 14. Вид функции сопротивления передачи*

Теперь сравним полученные частоты с частотами, указанными в техническом задании (Таблица 3):

= 20 кГц,

= 1Мгц

Для того, чтобы спроектированный фильтр удовлетворял требованиям технического задания, должно выполнятся условие:  
*≤* , а *≥* .

Так как 9 кГц < 20 кГц, а 2.7 Мгц > 1 Мгц можно сделать вывод о том, что мы успешно спроектировали фильтр в соответствии с требованиями к проекту.

После проведения коррекции и определения полосы пропускания

спроектированного усилителя, определим величину выходного напряжения на средней частоте: UmВЫХ 0 = *I*m1·R0 ≈ U2Н ± 10 %,

где R0 - сопротивление передачи R(*f*) на средней частоте (определяется по АЧХ);

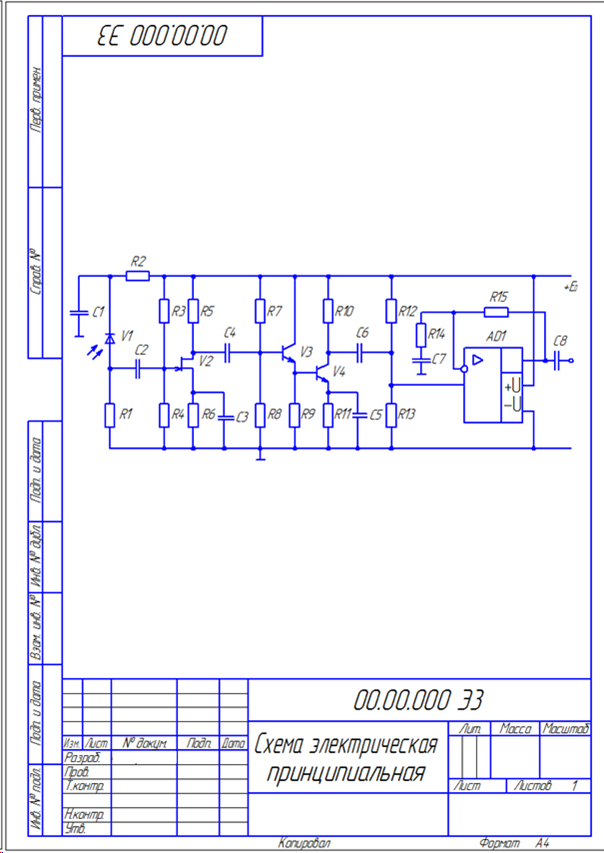
U2Н – выходное напряжение в соответствии с ТЗ (см. таблицу 3).

Амплитуда тока: *I*m1 = *I*1- *I* ТЕМН = 1мкА – 0.1 мкА=0.9 мкА.

UmВЫХ 0 = 0.9·2.316 ≈ 2.08В

Так как значение UmВЫХ (2В) ≈ U2Н (2.08В)± 10 %, можно сделать вывод о том, что проверка полученного результата произведена успешно.

## 6. Чертеж принципиальной схемы



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозн. | Наименование | Кол. | Примечание  Инв. № подп  Подп. и дата  Взам. инв. №  Инв. № дубл.  Подп. и дата  Лист  2  Перечень элементов  Лит  № докум.  Изм.  Подп.  Дата |
| *AD1* | *Операционный усилитель ОРА622* | *1* |  |
| *С1…C8* | *Конденсатор Э- 1мкФ* | *8* |  |
| *R1* | *Резистор А- 910кОм ±10%* | *1* |  |
| *R2* | *Резистор А- 3МОм ±10%* | *1* |  |
| *R3* | *Резистор А- 56кОм ±10%* | *1* |  |
| *R4* | *Резистор А- 5,6кОм ±5%* | *1* |  |
| *R5* | *Резистор А- 0,33кОм ±5%* | *1* |  |
| *R6* | *Резистор А- 0,22кОм ±5%* | *1* |  |
| *R7* | *Резистор А- 6,2кОм ±10%* | *1* |  |
| *R8* | *Резистор А- 2,4кОм ±10%* | *1* |  |
| *R9* | *Резистор А- 0,3кОм ±5%* | *1* |  |
| *R10* | *Резистор А- 0,36кОм ±10%* | *1* |  |
| *R11* | *Резистор А- 0,091кОм ±5%* | *1* |  |
| *R12,R13* | *Резистор А- 1,8кОм ±10%* | *2* |  |
| *R14* | *Резистор А- 0,36кОм ±5%* | *1* |  |
| *R15* | *Резистор А- 0,91кОм ±5%* | *1* |  |
| *V1* | *Фотодиод ФДК-227* | *1* |  |
| *V2* | *Транзистор КП 307Д* | *1* |  |
| *V3,V4* | *Транзистор КТ325А* | *2* |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

## 7. Список используемой литературы

* К расчету резисторных каскадов. Методические указания   
  / А. Г. Алексеев, П. В. Климова. – 2012. – http://cathseugut.narod.ru
* www.fastmean.ru. Официальный сайт программы FASTMEAN.
* Методические указания к курсовому проектированию усилителя-фотоприемника ВОСПИ / А. Г. Алексеев, П. В. Климова. – СПб., 2012.
* Материалы практических занятий
* Схемотехника аналоговых электронных устройств. Учеб. пособие