Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 15.10.2026 14:38:59
Уникальный программный ключ:
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт геологии и нефтегазодобычи
Кафедра кибернетических систем

ЭЛЕКТРОНИКА И ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА МЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания к выполнению курсового проекта для студентов технических специальностей очной и заочной формы обучения (вариант I)

Составитель: А.Э. Сидорова, ст. преподаватель

Тюмень
ТИУ
2019

Электроника и цифровая схемотехника; электроника и схемотехника, электроника и микропроцессорная техника: методические указания к выполнению курсового проекта (вариант I) для студентов технических специальностей очной и заочной формы обучения / сост. А. Э. Сидорова; Тюменский индустриальный университет.– Тюмень: Издательский центр БИК, ТИУ, 2019.– 48 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании кафедры кибернетических систем

«05» с е н т б р я 2019 года, протокол № 1.

Аннотация

Методические указания к выполнению курсового проекта (вариант I) предназначены для студентов, обучающихся по техническим специальностям. Дисциплина изучается в одном или двух семестрах.

Приведено содержание упрощенного инженерного расчета усилителя мощности, работающего на низкоомную нагрузку, примерные задания и количество баллов за каждый элемент защиты курсового проекта, в приложениях приведено содержание курсовой работы, вид титульного листа, ряды номинальных базовых электронных элементов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Задание на курсовую работу	5
2. Выбор блок-схемы.	6
3. Расчет элементов используемых в схеме:	7
3.1 Выходной усилительный каскад	7
3.2 Эмиттерный повторитель №3 на транзисторах VT7,VT8	14
3.3 Аттенюатор	17
3.4 Эмиттерный повторитель №2 на транзисторах VT5,VT6	19
3.5 Усилитель на транзисторе VT4	22
3.6 Предварительный усилитель на транзисторе VT3	26
3.7 Эмиттерный повторитель №1 на транзисторах VT1,VT2	30
4. Расчет разделительных конденсаторов	33
5. Расчет параметрических стабилизаторов напряжения	35
6. Расчет радиаторов	38
7. Расчет АФХ и ФЧХ усилителя на транзисторе VT4	39
8. Карты режимов	42
9. Спецификация элементов	43
10. Список использованных источников.	44
Приложение А	45
Приложение Б	46
Приложение В	47

Введение

Цель и задачи курсового проекта

Целью выполнения курсового проекта является проведение упрощенного инженерного расчета усилителя мощности.

Основными задачами выполнения курсового проекта является формирование у студентов необходимых знаний основных электротехнических законов и методов инженерного расчета усилителя мощности, работающего на низкоомную нагрузку. Упрощенный инженерный расчет предполагает проведение самых элементарных вычислений с использованием графиков, заранее построенных на основе обобщенных результатов моделирования, вместо того, чтобы каждый раз обращаться к решению исходных дифференциальных уравнений.

В результате выполнения курсового проекта студент должен

знать:

- основные законы электротехники;
- принципы работы основных электрических узлов и схем, особенности их применения, их рабочие характеристики;
- элементную базу современных полупроводниковых устройств;
- основные требования к устройству электроустановок;
- базовые элементы электроники, их свойства и сравнительные характеристики;
- параметры и характеристики полупроводниковых приборов;
- параметры и характеристики основных функциональных узлов электронных устройств;
- свойства и характеристики интегральных схем элементов.

уметь:

- читать электрические и электронные схемы;
- грамотно применять в своей работе электротехнические и электронные устройства и приборы, первичные преобразователи и исполнительные механизмы;
- использовать пакеты прикладных программ для произведения инженерных и прочих расчетов, такие как Mathcad;
- подбирать необходимую аппаратуру для проведения измерений в цепи с заданными параметрами;
- формулировать принципы энергосберегающих технологий;
- проектировать и строить основные функциональные узлы электронных устройств автоматических и автоматизированных систем.

владеть:

- методами инженерных расчетов для различных электронных узлов и устройств;
- способность анализировать работу электронных схем в нормальном режиме;
- умением принимать решения при выборе и анализе различных электронных элементов;
- навыками письменного и устного аргументированного изложения собственной точки зрения.

Порядок защиты курсового проекта

В начале семестра выдается задание на курсовой проект, в течение семестра студенты выполняют расчет и проектируют принципиальную электрическую схему устройства, затем оформляют работу в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». Затем студенты предоставляют пояснительную записку к курсовому проекту и графическую часть. После проверки правильности оформления и расчета студенты защищают курсовой проект.

Критерии оценки работы студента

Критерии оценки в баллах приведены в таблице:

I этап	II этап	III этап	IV этап	V этап
Расчет главы 3.1	Расчет глав 3.2 – 3.7	Проектирование схемы	Оформление	Защита курсовой работы
0-10 баллов	0-20 баллов	0-20 баллов	0-20 баллов	0-30 баллов

1. Задание на курсовой проект:

Спроектировать электронное устройство, учитывая параметры, приведенные в техническом задании (пример):

№	вариант				ФИО	Рвых [вт]	Rн[Ом]	fн[Гц]	Мн	аттенюатор[Дб]
1	1	0	1	1	Иванов Иван Иванович	12,38	5,62	40,98	1,0654	-0,650

Kf %	Rвх[кОм]	Uвх[в]	Uбэнах мах[в]	Сн[пФ]	
				C_1	C_2
0,0784	26,91	0,0145	0,909	134	192

Требования, предъявляемые к выполнению курсового проекта:

1. Использовать при расчетах среднее значение β транзистора, приведенное в справочнике, но не более 150.

3. Во всех каскадах ввести обратную отрицательную связь с глубиной не менее 5, т.е. $F \geq 5$.

4. Для одного из каскадов рассчитать АЧХ и ФЧХ до $M=\sqrt{2}$.

5. Привести карту режимов и спецификацию элементов.

6. Все элементы должны быть пронумерованы. Нумерация элементов сквозная.

7. Отклонение всех параметров от расчетных (заданных) не более ±10%.

8. В аттенюаторе регулировка плавная и дискретная.

9. Значения резисторов и конденсаторов выбираются в соответствии номиналами (использовать ряд Е24, Е6, Е3).

10. Оформление курсовой работы согласно ГОСТ 7.32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

11. Привести информацию об изготовлении печатных и монтажных плат.

12. Спроектировать принципиальную электрическую схему электронного устройства и привести в графической части проекта на листе формата А3, с использованием пакета прикладных программ (таких как AutoCAD, sPlan 7 Portable Rus и т.п.)

Обязательные пункты, входящие в **содержание** курсового проекта приведены в приложении А.

Пример титульного листа приведен в приложении Б.

Ряды номинальных базовых электронных элементов приведены в приложении В. В соответствии с рядом Е24 (Е6, Е3) необходимо привести к номинальному значению все сопротивления в расчете, которые имеют порядковые номера (например R41, С16).

Далее приведен упрощенный инженерный расчет электронного устройства – УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ.

2. Выбор блок-схемы

В современной технике широко применяются устройства, предназначенные для управления энергией, в которых управляемая мощность значительно превышает мощность, требуемую для управления.

К одной из разновидностей таких устройств можно отнести электронные усилители.

Для решения многих задач требуются сигналы большой мощности. Например, для громкоговорителей необходима мощность звуковых усилителей от единиц до сотен ватт, для эффективной радиосвязи на большее расстояние нужны высокочастотные сигналы мощностью в сотни ватт. Сигналы большой мощности требуются и для различных электрических машин, исполнительных механизмов и других мощных устройств. Все эти задачи решаются с помощью усилителей мощности, основным назначением которых является отдача заданной мощности в нагрузку. Блок - схема усилителя мощности приведена на рисунке 1.

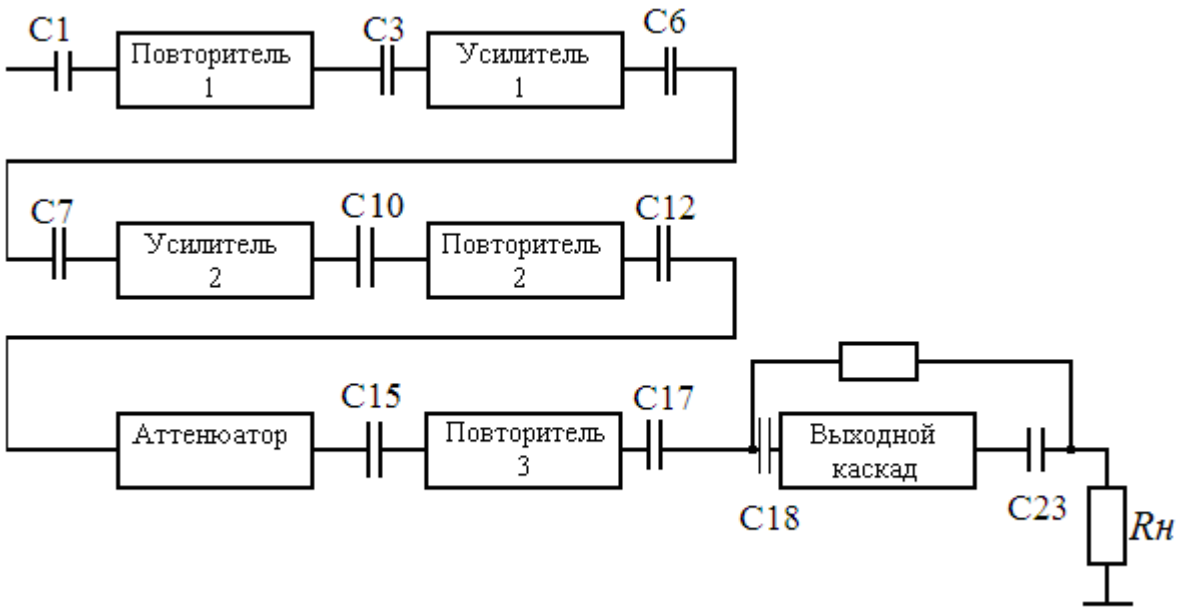


Рис. 1 Блок-схема усилителя мощности

Повторитель 1 увеличивает входное сопротивление усилителя мощности для того, чтобы обеспечить величину входного сопротивления, указанного в техническом задании.

Предварительный усилитель (усилитель 1+усилитель 2) увеличивает входное напряжение до величины необходимой для усилителя мощности.

Повторитель 2 увеличивает входное сопротивление аттенюатора, чтобы уменьшить его шунтирующее воздействие на предварительный усилитель.

Аттенюатор служит для плавной и ступенчатой регулировки ослабления сигнала.

Повторитель 3 увеличивает входное сопротивление выходного усилительного каскада, чтобы уменьшить его шунтирующее действие на аттенюатор.

Выходной усилительный (оконечный) каскад предназначен для обеспечения заданной мощности на заданном сопротивлении нагрузки.

3. Расчет элементов используемых в схеме

Расчет усилителя мощности следует начать с расчета ***выходного оконечного каскада.***

3.1 Выходной усилительный каскад

Принципиальная электрическая схема выходного оконечного каскада приведена на рисунке 2.

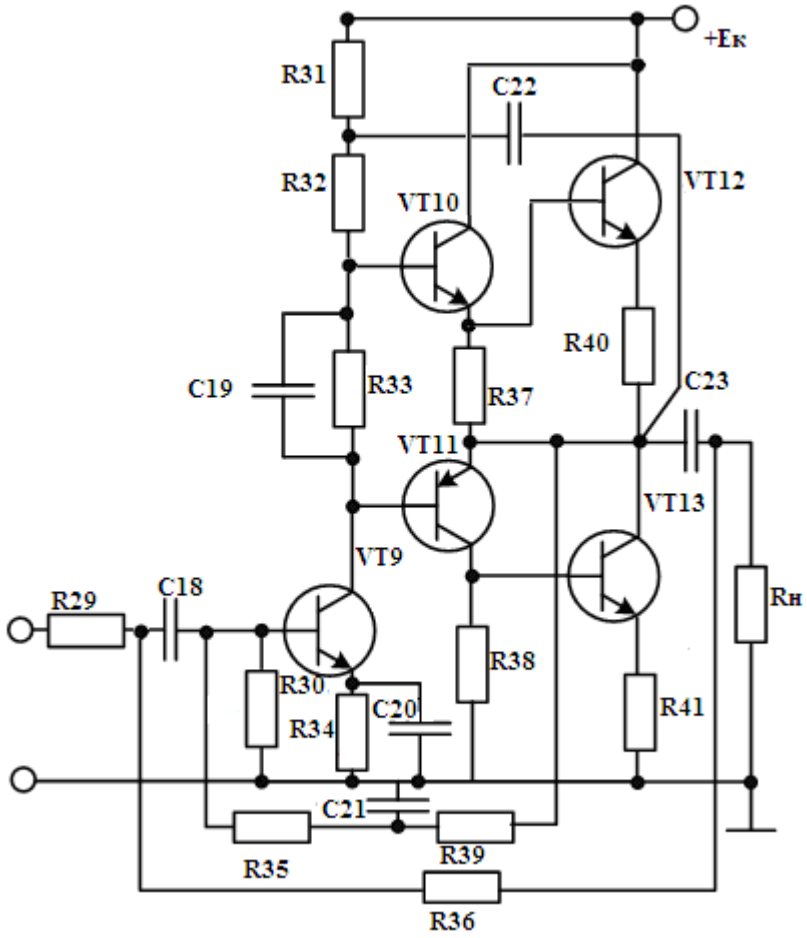


Рис. 2 Принципиальная электрическая схема выходного оконечного каскада

Выбор режима работы.

Выбор режима «**А**» несет в себе небольшие нелинейные искажения по сравнению с другими режимами работы, хотя КПД усилителя мощности в этом режиме небольшой примерно **30-45 %**. В то время как режим «**В**» обеспечивает чрезмерно большие нелинейные искажения, вызванные наличием нелинейного участка в начале входной вольтамперной характеристики. КПД режима «**В**» составляет **50-60 %.**

Расчет будем вести в режиме «А».

1. Определяем амплитудные значения тока и напряжения на нагрузке:

$$I_{НМ} = \sqrt{\frac{2P_Н}{R_Н}} \text{ (А)}$$

$$U_{НМ} = \sqrt{2Pн \times Rн} \text{ (В)}$$

2. Определим максимально допустимую мощность рассеивания на транзисторах VT12, VT13:

$$P_{Кдоп} = \frac{P_н}{2 \cdot \eta_А} \textbf{ (Вт),}$$

где $\eta_А$ – КПД, равный 35 - 40%. Поскольку в режиме «А» предельный КПД составляет 50%, а реальный не выше 35 - 40%.

3. Определим $U_{КЭ12}=U_{КЭ13}$:

$$U_{КЭ12,13} = \frac{U_{НМ}}{K_{П\Sigma}} + U_0 \textbf{ (В),}$$

где U_0 - запас, исключающий попадание рабочей точки в область насыщения, для различных типов транзисторов колеблется в пределах 0,5 - 3 В, для маломощных транзисторов можно выбирать в пределах 1-2 В;

$К_{П\Sigma}$ - коэффициент передачи всего усилителя мощности. Практически значение $К_{П\Sigma}$ находится в пределах 0,7-0,9, в зависимости от величины нагрузки. При нагрузках ниже 5-10 Ом следует принимать меньшее значение.

Принимаем $U_0 =$ (В), $К_{П\Sigma} =$ и определяем $U_{КЭ12}=U_{КЭ13.}$

4. Определим величину напряжения источника питания

$$E_К = 2 \cdot U_{КЭ12,13} + 2 \cdot U_{защ} = 2 \cdot U_{КЭ12,13} + 2 \cdot U_{R41} = \textbf{(В),}$$

где $U_{защ}$ – падение напряжения на резисторе защиты (R_{41}), можно принять в пределах 0,8 – 1 В.

Принимаем $E_К =$ (В), в соответствии со стандартным рядом источников питания.

Пересчитываем значения напряжений коллектор-эмиттер транзисторов 12 и 13:

$$U_{КЭ12,13} = \frac{E_К - 2U_З}{2} \textbf{ (В)}$$

5. Выбираем из справочника транзисторы VT13, VT12, соответствующие по мощности, току покоя и по верхней граничной частоте полосы пропускания, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\ доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$f_{гр}$, МГц	$I_{ко}$, мА
VT12								
VT13								

Необходимо учитывать, что у выбираемых в качестве выходных транзисторов допустимое напряжение $U_{к\ доп}$ должно соответствовать неравенству $U_{кэ.доп} \geq E_к$.

6. Определяем токи покоя и токи базы транзисторов VT12, VT13:

$$Iп_{12} = 0{,}5 \cdot I_{НМАХ} + I_{Н.У.} \textbf{ (А),}$$

где $I_{Н.У.}$- неуправляемая часть тока покоя, определяемая наличием теплового тока коллектора $I_{К0}$ (определяется из справочных данных).

$$I_{Н.У.} = 5 \cdot I_{К0} \quad \textbf{(мА),}$$

$$I_{б12} = \frac{I_{п12}}{\beta_{12}} \text{ (А),}$$

$$I_{П13} = I_{п12} + I_{б12} \text{ (А),}$$

$$I_{б13} = \frac{I_{П13}}{\beta_{13}} \text{ (А);}$$

7. Определим значение резистора защиты$R_з$ = R_{41}, Значение резистора защиты $R_з$ должно быть достаточно большим, чтобы ограничить на допустимом уровне величину тока через транзисторы VT12 и VT13 и в то же время снижений коэффициента полезного действия при введении $R_з$ должно быть незначительным:

$$R_з = \frac{U_{бэ12,13}}{I_{п12}} \text{ (Ом),}$$

где значение $U_{бэ12,13}$ дано в техническом задании.

Значение резистора Rз=R_{41} принимаем в соответствии с рядом Е24.

8. Определяем ток покоя транзисторов VT10:

$$I_{п10} = 4 \cdot I_{б12} \quad \textbf{(А)}$$

9. Определяем постоянное напряжение $U_{КЭ10,11}$:

$$U_{КЭ10,11} = U_{КЭ12,13} - U_{БЭ12,13} \quad \textbf{(В)}$$

Определим мощность, рассеиваемую на транзисторах VT10, VT11:

$$P_{К10,11} = U_{КЭ10,11} \cdot I_{п10} \quad \textbf{(Вт)}$$

10. Выбираем из справочника транзисторы VT10, VT11, соответствующие по мощности, току покоя и по верхней граничной частоте полосы пропускания, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\ доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$f_{гр}$, МГц	$I_{ко}$, мА
VT10								
VT11								

11. Определим сквозной ток через транзисторы VT10, VT11:

$$I_{10,11} = I_{П10} - I_{б12} - I_{б13} \quad \textbf{(А)}$$

12. Определим токи покоя и токи базы транзисторов VT10, VT11

$$I_{б10} = \frac{I_{П10}}{\beta_{10}} \quad \textbf{(А);}$$

$$I_{П11} = I_{10,11} + I_{б13} + I_{б10} \text{(А);}$$

$$I_{б11} = \frac{I_{П11}}{\beta_{11}} \quad \textbf{(А)}$$

13. Определим ток покоя транзистора VT9:

$$I_{П9} >> I_{Б10}$$

Для обеспечения максимальных усилительных свойств транзистора VT9, можно принять значение $I_{п9}$=0,005А.

14. Определим напряжение на резисторе R_{34}:

$$U_{R34} = 0{,}05 \cdot E_K \ \textbf{(В)}$$

15. Определим напряжение на участке коллектор-эмиттер транзистора VT9, при этом значение Uбэ можно принять равным 0,7 В для всех остальных транзисторов в данном устройстве:

$$U_{кэ9} = E_к - U_{кэ12,13} - U_{защ} - U_{бэ10,11} - U_{R34} \quad \textbf{(В)}$$

16. Определим мощность, рассеиваемую на коллекторе транзистора VT9:

$$P_{к9} = I_{П9} \cdot U_{кэ9} \ \textbf{(Вт)}$$

17. Выбираем из справочника транзистор VT9, соответствующий по мощности, току покоя и по верхней граничной частоте полосы пропускания, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\ доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$f_{гр}$, МГц	$I_{ко}$, мА
VT9								

18. Определим сквозной ток и ток базы транзистора VT9

$$I_9 = I_{П9} - I_{б11} \ \textbf{(А)}$$

$$I_{б9} = \frac{I_{П9}}{\beta_9} \ \textbf{(А)}$$

19. Выбираем ток делителя $I_д >> I_{б9}$. Пусть $I_д = 10 \cdot I_{б9}$ **(А).**

20. Определим значения сопротивлений в схеме и выберем резисторы в соответствии с рядом Е24:

$$I_{R40} = I_{П12} + I_{б12} \ \textbf{(А)}$$

$$R_{40} = \frac{U_З}{I_{R40}} \ \textbf{(Ом),}$$

$$U_{R40} = R_{40} \cdot I_{R40} \ \textbf{(В)}$$

$$I_{R41} = I_{П13} + I_{б13} \ \textbf{(А)}$$

Пересчитаем значение сопротивления R_{41}:

$$R_{41} = \frac{U_{защ}}{I_{R41}} \ \textbf{(Ом),}$$

$$U_{R41} = R_{41} \cdot I_{R41} \ \textbf{(В)}$$

$$I_{R37} = I_{10,11} + I_{б10} + I_{б11} + I_{б13} \ \textbf{(А)}$$

$$R_{37} = \frac{U_{БЭ12} + U_З}{I_{R37}} \ \textbf{(Ом),}$$

$U_{БЭ12}$ **(В)** известно из технического задания.

$$I_{R38} = I_{10,11} + I_{б10} \ \textbf{(А)}$$

$$R_{38} = \frac{U_{БЭ13} + U_З}{I_{R38}} \ \textbf{(Ом)}$$

$U_{БЭ13}$ **(В)** известно из технического задания **.**

$$I_{R33} = I_{п9} \text{ (А)}$$

$$R_{33} = \frac{U_{БЭ10} + U_{БЭ12} + U_{БЭ11} + U_{защ}}{I_{R33}} \text{ (Ом)},$$

$$U_{БЭ10} = \frac{R_{33} \cdot I_{R33} - (U_{БЭ12} + U_{защ})}{2} \text{ (В)}$$

$$U_{БЭ11} = U_{БЭ10} \text{ (В)}$$

$$U_{R33} = R_{33} \cdot I_{п9} \text{ (В)}$$

$$I_{R34} = I_{п9} + I_{б9} + I_{б11} \text{ (А)}$$

$$R_{34} = \frac{U_{R34}}{I_{R34}} \text{ (Ом)}$$

$$U_{R34} = R_{34} \cdot I_{R34} \text{ (В)}$$

$$U_{КЭ9} = E_K - U_{КЭ12} - U_{защ} - U_{БЭ11} - U_{R34} \text{ (В)}$$

$$U_{R33} = R_{33} \cdot I_{R33} \text{ (В)}$$

$$I_{R32,R31} = I_{п9} + I_{б10} \text{ (А)}$$

$$U_{R32} = E_к - U_{кэ12,13} - U_{защ} - U_{бэ10,11} - U_{R33} \text{ (В)}$$

$$R_{31} + R_{32} = \frac{E_K - U_{КЭ9} - U_{R34} - U_{R33}}{I_{R32,R31}} \text{ (Ом)},$$

принимаем $R_{31}<R_{32}$

Пересчитываем значения сопротивления резисторов в соответствии с рядом Е24: $R_{31}+R_{32}$ = **(Ом)**

$$I_{R30} = I_{д} \text{ (А)}$$

$$R_{30} = \frac{U_{БЭ9} + U_{R34}}{I_{R30}} \text{ (Ом)},$$

$$U_{БЭ9} = R_{30} \cdot I_{R30} - U_{R34} \text{ (В)}$$

$$I_{R35,R39} = I_{д} + I_{б9} \text{ (А)}$$

$$R_{35} + R_{39} = \frac{U_{КЭ13} + U_{R41} - U_{БЭ9} - U_{R34}}{I_{R35,R39}} \text{ (Ом)},$$

принимаем $R_{35}<R_{39}$

Пересчитываем значения сопротивления резисторов в соответствии с рядом Е24: $R_{35}+R_{39}$= **(Ом)**

21. Определим коэффициент передачи повторителя на транзисторах VT10÷VT13:

$$K_{П} = \frac{R_H}{R_{41} + R_H}$$

22. Проверим правильность выбранного значения $U_{КЭ9}$:

$$U_{КЭ9} > \frac{U_{НМ}}{K_{П}}$$

23. Определим коэффициент усиления предварительного каскада:

$$K = \frac{R_{K\sim} \cdot \beta_9}{r_{Б9} + r_{Э9} \cdot (1+\beta_9)};$$

где $r_{б9}$ - объемное сопротивление базы, можно принять в пределах 200-400 Ом;

$r_{Э9}$ - сопротивление эмиттерного перехода, определяется следующим образом:

$$r_{Э9} = \frac{0{,}025}{I_{п9} + I_{Б9}} \qquad \textbf{(Ом);}$$

$R_{ВХ.П}$ – входное сопротивление повторителя, входящего в состав усилителя мощности, определяется:

$$R_{ВХ.П} = 0{,}5 \cdot \beta_{10} \cdot \beta_{12} \cdot R_Н \quad \textbf{(Ом);}$$

$R_{K\sim}$ - эквивалентное сопротивление предварительного каскада, определяется:

$$R_{K\sim} = R_{ВХ.П} \parallel \frac{R_{32}}{1 - K_{П}} \qquad \textbf{(Ом)}$$

24. Определим коэффициент усиления каскада в целом:

$$К_{УМ} = К \cdot К_П$$

25. Охватим каскад глубокой отрицательной параллельной обратной связью по напряжению.

Глубина обратной связи определяется как:

$$F = \frac{K_{f0}}{K_f}$$

где: $К_{f0}$ - исходный коэффициент нелинейных искажений, равный 5%, т.е. $К_{f0}=5$.

$К_f$ - заданный коэффициент нелинейных искажений,

Входное сопротивление транзистора VT9 определяется следующим образом:

$$R_{вх.VT9} = r_{б9} + r_{э9} \cdot (1+\beta_9)$$

Входное сопротивление выходного каскада без ООС определяется как:

$$R_{ВХ.У.М} = R_{ВХ.VT9.} \parallel R_{30} \parallel R_{35}$$

Т.к. $R_{ВХ\ У.М.} \rightarrow R_{29}$ принимаем R_{29} равным входному сопротивлению выходного каскада, R_{29} = **(Ом)** в соответствии с рядом Е24.

Определяем эквивалентное сопротивление:

$$R_{ЭКВ} = R_{ВХ.У.М} \parallel R_{29} \textbf{ (Ом)}$$

$$\beta = \frac{F-1}{K_{У.М.}}$$

Определяем сопротивление R_{38}:

$$R_{36} = R_{ЭКВ}\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) \textbf{ (Ом)}$$

Из полученного выражения следует, что:

$$\beta_{экв} = \frac{R_{ЭКВ}}{R_{ЭКВ} + R_{36}}$$

Пересчитаем значение глубины обратной связи:

$$F = 1 + \beta_{экв} \cdot K_{УМ}$$

Определим коэффициент усиления выходного каскада с ООС:

$$K_{OC} = 10 \cdot \frac{K_{УМ.}}{F} \cdot \frac{R_{36}}{R_{36} + R_{ЭКВ}} \cdot \frac{R_{ВХ.У.М.}}{R_{29} + R_{ВХ.У.М}}$$

При этом необходимо пересчить входное сопротивление усилителя мощности:

$$R_{ВХ.У.М.} = \frac{R_{29}(1 + \beta \cdot K_{УМ.})}{\beta_{экв}(1 + K_{УМ})} \textbf{ (Ом)}$$

26. Определим входное напряжение усилителя мощности.

$$U_{ВХ} = \frac{U_{Н.М}}{K_{OC}} \textbf{ (В)}$$

27. Определим значение емкости конденсатора фильтра и выберем конденсатор в соответствии с рядом Е24, Е6 или Е3:

$$C_{21} = \frac{10K_{ос}}{\omega_{н} \cdot R_{39}} \textbf{ (мкФ)}$$

28. Определим значение емкости конденсатора C_{19} и выберем конденсатор в соответствии с рядом Е24:

$$C_{19} = \frac{20}{\omega_{н} \cdot R_{33}} \textbf{ (мкФ)}$$

29. Определим значение емкости конденсатора C_{20} и выберем конденсатор в соответствии с рядом Е24:

$$C_{20} = \frac{20}{\omega_{Н} \cdot R_{34}} \textbf{ (мкФ)}$$

30. Определим значение емкости в цепи компенсации C_{22} и выберем конденсатор в соответствии с рядом Е24:

$$C_{22} = \frac{20}{\omega_{Н} \cdot R_{31}} \textbf{ (мкФ)}$$

3.2 Эмиттерный повторитель №3 на транзисторах VT8, VT7

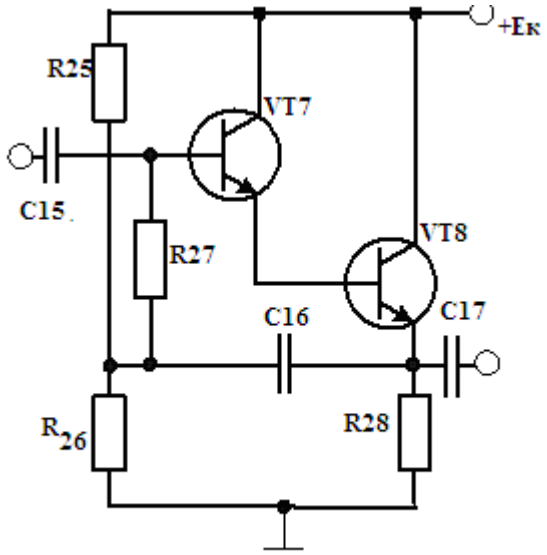


Рис. 3 Принципиальная электрическая схема эмиттерного повторителя №3

Нагрузкой этого эмиттерного повторителя является выходной каскад, поэтому:

$U_Н = U_{ВХ}=$ **(В)**

$R_Н = R_{ВХ.У.М.}=$ **(Ом)**

1. Примем значение тока покоя транзистора VT8 равным 5 мА

   $I_{П8} = 5$ **(мА)**

2. Рассчитаем напряжение на участке коллектор-эмиттер транзистора VT8:

   $U_{КЭ8} = Uн+U_0$ **(В)**

Определим мощность, рассеиваемую на коллекторе транзистора VT8 $P_{К8} = U_{КЭ8}\cdot I_{П8}$ **(мВт)**

4. Выбираем транзисторы VT7, VT8, в соответствии с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\ доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$f_{гр}$, МГц	$I_{ко}$, мА
VT7								
VT8								

5. Зададимся напряжением питания из расчета, что $E_К < U_{КДОП}$

   Принимаем $E_К =$ **(В)**

6. Определим ток базы транзистора VT8

$$I_{Б8} = I_{к7} + \frac{I_{П8}}{\beta_8} \quad \textbf{(мА)}$$

7. Определим ток базы и ток покоя транзистора VT7:

   По графику зависимости β от тока эмиттера определяем, что β_7 = (7-10).

$$I_{б7} = \frac{I_{б8}}{1+\beta_7} \quad \textbf{(мА)}$$

$$I_{П7} = \beta_7 \cdot I_{б7}$$ **(мА)**

8. Примем ток делителя $I_Д = 10 I_{б7}$ **(мА)**

Определим значение сопротивления резистора в цепи эмиттера транзистора VT8:

$$I_{R28}=I_{б8}+I_{П8}$$ **(мА)**

$$R_{28} = \frac{E_K - U_{КЭ8}}{I_{R28}}$$ **(Ом)**

Принимаем R_{28} = **(Ом)**

В соответствии с этим пересчитаем значения напряжений на участке коллектор-эмиттер транзистора VT8 и определим падение напряжения на резисторе 29:

$$U_{КЭ8}=E_K-R_{28}\cdot I_{R28}$$ **(В)**

$$U_{R28}=R_{28}\cdot I_{R28}$$ **(В)**

9. Определим значение сопротивления резистор R_{27}:

$$R_{27} = 5\ R_Н\ (Ом)$$

Принимаем R_{27} = **(Ом)**

Тогда:

$$I_{R27}= I_{б7}$$ **(мА)**

$$U_{R27}=R_{27}\cdot I_{R27}$$ **(В)**

10. Определим значения сопротивлений резисторов в цепи делителя:

$$I_{R26} = I_Д$$ **(мкА)**

$$R_{26} = \frac{U_{R27} + U_{R28} + U_{БЭ8} + U_{БЭ7}}{I_{R26}}$$ **(Ом)**

Принимаем R_{26} = **(Ом)**

Тогда:

$$U_{R26}=R_{26}\cdot I_{R26}$$ **(В)**

$$U_{БЭ8} = U_{R26} - \left(U_{R27} + U_{R28} + U_{БЭ7}\right)$$ **(В)**

$$I_{R25} = I_Д + I_{б7}$$ **(А)**

$$R_{25} = \frac{E_K - U_{R26}}{I_{R25}}$$ **(Ом)**

Принимаем R_{25} = **(кОм)**

11. Определим значения эквивалентного сопротивления резистора эмиттера $R_{Э\sim}$

$$R_{Э\sim} = R_Н \parallel R26 \parallel R28 \parallel R25$$ **(Ом)**

12. Определим коэффициент передачи повторителя:

$$r_{Э8} = \frac{0{,}025}{I_{П8} + I_{б8}}$$ **(Ом)**

$$K_п = \frac{R_{Э\sim}}{r_{Э8} + R_{Э\sim}}$$

13. Определим входное сопротивление повторителя:

$$R_{вх.п.} = (R_{Э\sim} \cdot \beta_7 \cdot \beta_8) \parallel \frac{R_{27}}{1 - K_n} \textbf{ (Ом)}$$

14. Определим выходное сопротивление повторителя:

$$R_{вых.п.} = r_{Э8} \quad \textbf{(Ом)}$$

15. Определим значение емкости конденсатора C_{16}:

$$C_{16} = \frac{20}{\omega_i \cdot R_{25} \parallel R_{26}} \quad \textbf{(мкФ)}$$

Примем C_{16}= (мкФ)

Рассчитаем напряжение, которое необходимо подать на вход повторителя:

$$U_{ВХП} = \frac{U_{вых.п.}}{K_П} \textbf{ (В)}$$

3.3 Аттенюатор

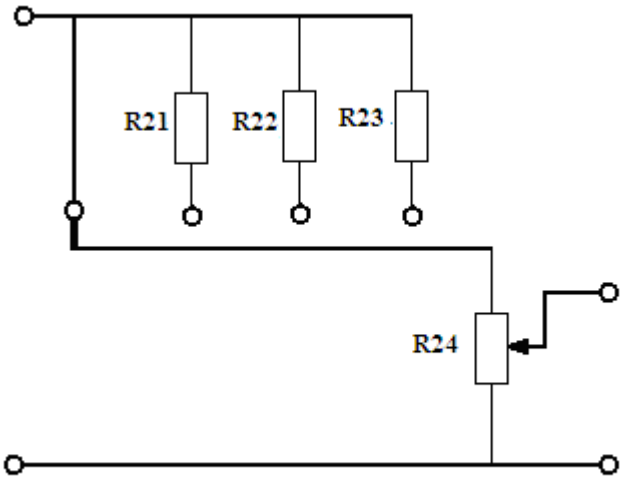


Рис. 4 Принципиальная электрическая схема аттенюатора

Аттенюатор – это устройство, уменьшающее амплитуду сигнала без искажения его формы. Аттенюатор с помощью резистора R_{24} обеспечивает плавную регулировку и при помощи резисторов R_{21}-R_{23} – дискретную.

Т.о. аттенюатор должен обеспечивать дискретное переключение диапазонов и плавное изменение сигнала внутри них:

(-∞ -	0)	дБ
(-∞ -	- первый диапазон (-X))	дБ
(-∞ -	- второй диапазон (-Y))	дБ
(-∞ -	- третий диапазон (-Z))	дБ

В качестве потенциометра R_{24} выберем резистор с сопротивлением в пределах от 2,0 до 5,1 кОм.

Диапазон ослабления определяется следующим образом:

$$A = 20\lg\frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 20\lg\frac{R_{24}}{R_{24}+R_i}\ \textbf{.(дБ)}$$

$$\text{Отсюда } R_i = \frac{R_{24}\left(1-10^{\frac{A}{20}}\right)}{10^{\frac{A}{20}}}\ \textbf{(Ом)}$$

1. $A = -X$ дБ.

$$R_{21} = \frac{R_{24}\cdot\left(1-10^{\frac{-X}{20}}\right)}{10^{\frac{-X}{20}}}\ \textbf{(Ом)}$$

Принимаем значение R_{21}= Ом, в соответствии с рядом Е24.

Тогда ослабление будет несколько отличатся от заданного, реально получаем:

$$A = 20\lg\frac{R_{24}}{R_{24}+R_{21}}\ \textbf{(дБ)}$$

2. $A = -Y$ дБ.

$$R_{22} = \frac{R_{24}\cdot\left(1-10^{\frac{-Y}{20}}\right)}{10^{\frac{-Y}{20}}}\ \textbf{(Ом)}$$

Принимаем значение R_{22}= Ом, в соответствии с рядом Е24.

Тогда ослабление будет несколько отличатся от заданного, реально получаем:

$$A = 20\lg\frac{R_{24}}{R_{24}+R_{22}}\ \textbf{(дБ)}$$

3. $A = -Z$ дБ.

$$R_{23} = \frac{R_{24}\cdot\left(1-10^{\frac{-Z}{20}}\right)}{10^{\frac{-Z}{20}}}\ \textbf{(Ом)}$$

Принимаем значение R_{23}= Ом, в соответствии с рядом Е24.

Тогда ослабление будет несколько отличатся от заданного, реально получаем:

$$A = 20\lg\frac{R_{24}}{R_{24}+R_{23}}\ \textbf{(дБ)}$$

Определим токи проходящие через сопротивления аттенюатора:

$$I_{R24} = \frac{U_{ВХА}}{R_{24}}\ \textbf{(мА),}$$

где входное напряжение аттенюатора соответствует входному напряжению эмиттерного повторителя на транзисторах VT7- VT8:

$$U_{вхА}=U_{вхП3}$$

$$I_{R21} = \frac{U_{ВХА}}{R_{24}+R_{21}}\ \textbf{(мА)}$$

$$I_{R22} = \frac{U_{ВХА}}{R_{24}+R_{22}}\ \textbf{(мА)}$$

$$I_{R23} = \frac{U_{ВХА}}{R_{24}+R_{23}}\ \textbf{(мА)}$$

Рассчитаем мощность, рассеиваемую на резисторах аттенюатора:

$$P_{Ri} = I_i^{\,2}\cdot R_i\ \textbf{(Вт)}$$

3.4 Эмиттерный повторитель №2 на транзисторах VT6, VT5

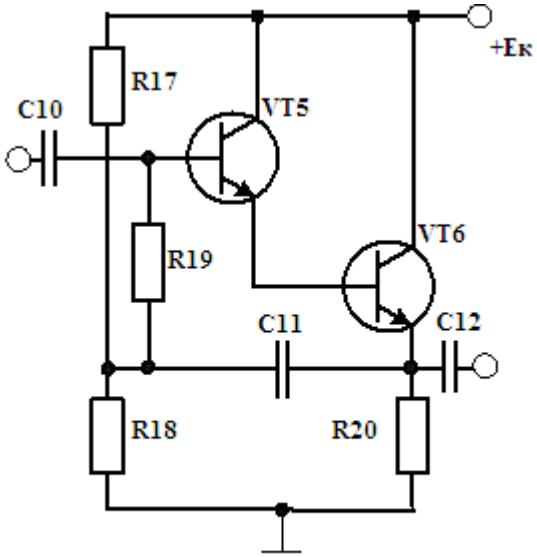


Рис.5 Принципиальная электрическая схема эмиттерного повторителя №2 на транзисторах VT6, VT5

В качестве нагрузки данного эмиттерного повторителя примем R_{24} аттенюатора:

$$U_Н = U_{ВХ\ А} \quad (В)$$
$$R_Н = R_{24} \quad (Ом)$$

1. Примем значение тока покоя транзистора VT6 равным 5 мА

$$I_{П6} = 5 \ \textbf{(мА)}$$

2. Рассчитаем напряжение на участке коллектор-эмиттер транзистора VT6:

$$U_{КЭ6} = Uн+U_0 \ \textbf{(В)}$$

3. Определим мощность, рассеиваемую на коллекторе транзистора VT6:

$$P_{К6} = U_{КЭ6}\cdot I_{П6} \ \textbf{(Вт)}$$

4. Выбираем транзисторы VT5, VT6, в соответствии с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\ доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$f_{гр}$, МГц	$I_{ко}$, мА
VT5								
VT6								

5. Зададимся напряжением питания из расчета, что:

$$E_к=2\cdot U_{кэ6} \ \textbf{(В)}$$

Принимаем $E_К$ = **(В)**, в соответствии с рядом напряжений источников питания.

6. Определим ток базы транзистора VT6:

$$I_{б6} = \frac{I_{П6}}{\beta_6} \quad \textbf{(А)}$$

7. Определим ток базы и ток покоя транзистора VT7:

По графику зависимости β от тока эмиттера определяем, что β_5 =(7-10).

$$I_{б5} = \frac{I_{б6}}{1+\beta_5} \quad \textbf{(А)}$$

$$I_{П5} = \beta_5 \cdot I_{б5} \ \textbf{(А)}$$

8. Примем ток делителя $I_Д = 10 I_{б5}$ **(А)**
9. Определим сопротивление резистора в цепи эмиттера транзистора VT6:

$$I_{R20}=I_{б6}+I_{П6} \ \textbf{(А)}$$

$$R_{20} = \frac{E_К - U_{КЭ6}}{I_{R20}} \ \textbf{(Ом)}$$

Принимаем R_{20} = (Ом)

В соответствии с этим пересчитаем значения напряжений на участке коллектор-эмиттер транзистора VT6 и определим падение напряжения на резисторе 20:

$$U_{КЭ6}=E_К-R_{20}\cdot I_{R20} \ \textbf{(В)}$$

$$U_{R20}=R_{20}\cdot I_{R20} \ \textbf{(В)}$$

10. Примем значение сопротивления R_{19} максимально большим (≈3900-15000 Ом):

R_{19} = **(Ом)**

Тогда:

$$I_{R19}= I_{б5} \ \textbf{(А)}$$

$$U_{R19}=R_{19}\cdot I_{R19} \ \textbf{(В)}$$

11.Определим резисторы в цепи делителя

$$I_{R18} = I_Д \quad \textbf{(А)}$$

$U_{бэ5}$, $U_{бэ6}$ примем равными 0,7 В

$$R_{18} = \frac{U_{R19} + U_{R20} + U_{ÁÝ6} + U_{ÁÝ5}}{I_{R18}} \ \textbf{(Ом)}$$

Принимаем R_{18} = **(Ом)**

$$U_{R18}=R_{18}\cdot I_{R18} \quad \textbf{(В)}$$

Пересчитаем значение напряжения $U_{бэ5}$:

$$U_{БЭ5} = \frac{U_{R18} - (U_{R19} + U_{R20})}{2} \ \textbf{(В)}$$

$$I_{R17} = I_Д + I_{б5} \ \textbf{(А)}$$

$$R_{17} = \frac{E_К - U_{R18}}{I_{R17}} \quad \textbf{(Ом)}$$

Принимаем R_{17} = **(Ом)**

12.Определим $R_{Э\sim}$

$$R_{Э\sim} = R_Н \,||\, R18 \,||\, R20 \,||\, R17 \ \textbf{(Ом)}$$

13.Определим коэффициент передачи повторителя:

$$r_{Э6} = \frac{0.025}{I_{П6} + I_{б6}} \quad \textbf{(Ом)}$$

$$K_n = \frac{R_{Э\sim}}{r_{Э6} + R_{Э\sim}}$$

14. Определим входное сопротивление повторителя

$$R_{вх.п.} = (R_{Э\sim} \cdot \beta_5 \cdot \beta_6) \parallel \frac{R_{19}}{1 - K_n} \textbf{ (Ом)}$$

15. Определим выходное сопротивление повторителя

$R_{ВЫХП} = r_{Э6}$ **(Ом)**

Определим значение емкости C_{11}:

$$C_{11} = \frac{20}{\omega_н \cdot R_{17} \parallel R_{18}} \quad \textbf{(мкФ)}$$

Примем C_{11}= **(мкФ)**

Определим входное напряжение повторителя:

$$U_{ВХ.П} = \frac{U_{ВЫХ.П.}}{K_П} \textbf{ (В)}$$

3.6 Усилитель на транзисторе VT4

.

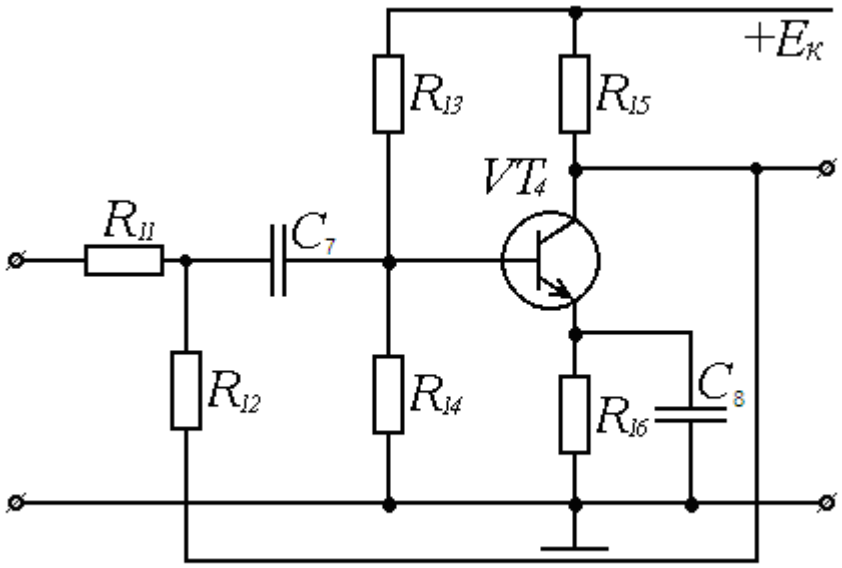


Рис. 6 Принципиальная электрическая схема усилителя на транзисторе VT4

Нагрузкой для данного усилителя будет являться входное сопротивление предыдущего эмиттерного повторителя №2 на транзисторах VT5-VT6 - $R_{вх\ п2}$, а амплитудой выходного сигнала будет амплитуда входного сигнала повторителя, т.е.:

$$U_н = U_{вх\ п\ 2} \quad \textbf{(В)}$$

$$R_н = R_{вх\ п2} \quad \textbf{(Ом)}$$

Произведем расчет каскада по постоянному току:

1. Определим ток в нагрузке:

$$I_н = \frac{U_н}{R_н} \quad \textbf{(А)}$$

2. Ориентировочно зададим значения $I_{кmin}$ и $U_{кэmin}$, используя соотношения:

$$I_{к\min} \approx (0.2 \cdot I_н + 0{,}002) \quad \textbf{(А)}$$

$$U_{кэ\min} \approx (0.2 \cdot U_н + 2) \quad \textbf{(В)}$$

3. Определим значение тока коллектора $I_{кmax}$:

$$I_{к\max} \approx (2 \cdots 5) \cdot (2I_н + I_{к\min}) \quad \textbf{(А)}$$

4. Зададимся значением $\gamma_э$ и вычислим λ:

$$\gamma_э \approx (0.05 \cdots 0.1)$$

Примем:

$$\gamma_э = \frac{U_{R16}}{E_k} = 0.05$$

$$\lambda = \frac{I_{к\min} + I_н}{I_{к\max} - I_н}$$

5. Определим значение напряжения питания для данного усилительного каскада - $E_к$, а также значение сопротивления R_{15} и напряжение, выделяющееся на конденсаторе C_8:

$$E_k = \frac{1}{1-\gamma э} \cdot \frac{2U_н + U_{кэ\min}(1-\lambda)}{1-\lambda} \quad \textbf{(В)}$$

Примем Ек = (В) в соответствие с рядом питания.

$$R_{15} = \frac{(1-\gamma э) \cdot E_k - U_{кэ\min}}{I_{к\max} - I_н} \quad \textbf{(Ом)}$$

Примем R_{15}= (Ом), в соотвтствии с рядом Е24.

Определим значение U_{R16}:

$$U_{R16} = 0{,}05 \cdot E_к \quad \textbf{(В)}$$

$$Uc_8 = U_н + U_{кэ\min} + U_{R16} \quad \textbf{(В)}$$

6. Определим значение тока $I_{кнач}$ и напряжения $U_{кнач}$:

$$I_{кнач} = \frac{E_к - Uc_8}{R_{15}} \quad \textbf{(А)}$$

$$U_{кнач} = E_к - I_{кнач} \cdot R_{15} - U_{R16} \quad \textbf{(В)}$$

7. Определим допустимую мощность рассеивания на транзисторе:

$$P_к = U_{кнач} \cdot I_{кнач} \quad \textbf{(Вт)}$$

8. Выбираем транзистор VT4 (n-p-n), в соответствии с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	Р, Вт	$U_{кэ\,доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$I_{ко}$, мА	Ск, мкФ
VT4								

9. Найдём ток делителя $I_д$:

$$I_д = (2\cdots5) \cdot I_{бнач} \quad \textbf{(А),} \text{ где}$$

$$I_{бнач} = \frac{I_{кнач}}{\beta_4}$$

10. Рассчитаем значения сопротивлений резисторов делителя R_{13} и R_{14}:

$$R_{14} = \frac{U_{R14}}{I_д + I_{к0}} = \frac{\gamma_э \cdot E_к + U_{бэнач}}{I_д + I_{к0}} \quad \textbf{(Ом)}$$

Примем R_{14}= Ом, в соответствии с рядом Е24.

$$R_{13} = \frac{E_k - U_{R14}}{I_д + I_{бнач}} \quad \textbf{(Ом)}$$

Примем R_{13}= Ом, в соответствии с рядом Е24.

11. Рассчитаем значение конденсатора в цепи эмиттера C_8:

$$C_8 = \frac{10\cdots20}{\omega_H \cdot R_{16}} \quad \textbf{(Ф)}, \text{ где}$$

$$R_{16} = \frac{U_{R16}}{I_к + I_б} \quad \textbf{(Ом)}$$

Примем C_8= Ф, в соответствии с рядом Е24.

Расчет каскада по переменному току:

При расчете каскада по переменному току определяются следующие параметры:

12. Определим коэффициент усиления в области средних частот:

$$K_0 = \frac{\beta_4 \cdot R_{к\sim}}{R_{вх\,ТР}}, \text{ где}$$

$$R_{к\sim} = R_{15} \| R_н = \frac{R_{15} \cdot R_н}{R_{15} + R_н} \quad \textbf{(Ом)}$$

$$R_{вх\,ТР} = r_б + r_э \cdot (1 + \beta) \quad \textbf{(Ом)},$$

где можно принять значение $r_б = 40$ Ом, т.к. транзистор VT4 маломощный.

$$r_э = \frac{0{,}025}{I_э} = \frac{0{,}025}{I_{б\,нач} + I_{к\,нач}} \quad \textbf{(Ом)}$$

13. Входное сопротивление каскада:

$$R_{вх} = R_б \| R_{вх\,ТР}$$

где $R_б = R_{13} \| R_{14} = \frac{R_{13} \cdot R_{14}}{R_{13} + R_{14}}$ **(Ом)**, тогда:

$$R_{вх} = Rб \| R_{вх\,ТР} = \frac{R_б \cdot R_{вх\,ТР}}{R_б + R_{вх\,ТР}} \quad \textbf{(Ом)}$$

14. Выходное сопротивление каскада:

$$R_{вых} = R_{15} \quad \textbf{(Ом)}$$

15. Определим значения падений напряжения на резисторах R_{15}, R_{16}:

$$U_{R15} = R_{15} \cdot (I_к + I_{к_0}) \quad \textbf{(В)}$$

$$U_{R16} = R_{16} \cdot (I_к + I_б) \quad \textbf{(В)}$$

Для обеспечения уровня нелинейных искажений, определяемых техническим заданием, вводим отрицательную обратную связь по напряжению глубиной F=5.

16. Входное сопротивление усилителя с ОС равно значению резистора R_{11}:

$$R_{11} = R_{вх} \quad \textbf{(Ом)}$$

17. Определим значение сопротивления в цепи ОС - R_{12}:

$$R_{12} = R_{экв} \cdot (\frac{1}{\beta} - 1) \quad \textbf{(Ом)}$$

$$R_{экв} = R_{11} \| R_{вх} = \frac{R_{11} \cdot R_{вх}}{R_{11} + R_{вх}} \quad \textbf{(Ом)}$$

$$\beta = \frac{F - 1}{K_0}$$

18. Определим значение коэффициент усиления усилителя с ОС:

$$K_{ос} = \frac{K_0}{F} \cdot \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{экв}} \cdot \frac{R_{вх}}{R_{вх} + R_{11}}$$

19. Определим входные параметры каскада:

$$U_{вх} = \frac{U_{вых}}{K_{ос}} = \frac{U_н}{K_{ос}} \quad \textbf{(В)}$$

$$R_{вх} = R_{11} \quad \textbf{(Ом)}$$

20. Найдём напряжение на базовых делителях:

$$U_{R13} = R_{13} \cdot (I_б + I_д) \quad \textbf{(В)}$$

$$U_{R14} = R_{14} \cdot (I_д + I_{к_0}) \quad \textbf{(В)}$$

21. Определим мощности резисторов:

$$P_{R13} = \frac{U_{R13}^2}{R_{13}} \quad \textbf{(Вт)}$$

$$P_{R14} = \frac{U_{R14}^2}{R_{14}} \quad \textbf{(Вт)}$$

$$P_{R15} = \frac{U_{R15}^2}{R_{15}} \quad \textbf{(Вт)}$$

$$P_{R16} = \frac{U_{R16}^2}{R_{16}} \quad \textbf{(Вт)}$$

22. Определим напряжение на конденсаторах:

$$\phi_1 c_8 = E_k - U_{R15}$$

$$\varphi_{ВЫХ_1} = \phi_1 c_8$$

$$Uc_7 = \varphi_{ВЫХ_1} - U_{R14}$$

$$Uc_8 = U_{R16}$$

3.6 Предварительный усилитель на транзисторе VT3

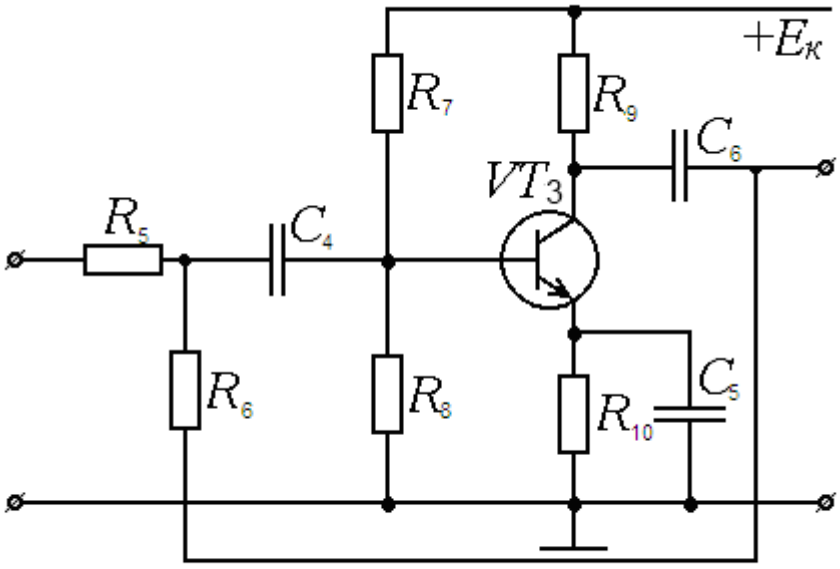


Рис. 7 Принципиальная электрическая схема предварительного усилителя на транзисторе VT3

Нагрузкой для данного усилителя будет являться входное сопротивление последующего усилителя, т.е предварительного усилителя на транзисторе VT4 а за амплитуду выходного напряжения примем входное напряжение того же предварительного усилителя, т.е.:

$$U_н = U_{вх\ у\ на\ VT4}\ \textbf{(В)}$$

$$R_н = R_{вх\ у\ на\ VT4} = R_{11}\ \textbf{(Ом)}$$

Расчет каскада по постоянному току:

1. Определим ток в нагрузке:

$$I_н = \frac{U_н}{R_н}\ \textbf{(А)}$$

2. Ориентировочно зададим значения тока коллектора $I_{кmin}$ и напряжения на участке коллектор-эмиттер $U_{кэmin}$, используя соотношения:

$$I_{к\min} \approx (0{,}2 \cdot I_н + 0{,}002)\ \textbf{(А)}$$

$$U_{кэ\min} \approx (0{,}2 \cdot U_н + 2)\ \textbf{(В)}$$

3. Определяем максимальное значение тока коллектора $I_{кmax}$:

$$I_{к\max} \approx (2 \cdots 5) \cdot (2I_н + I_{к\min})\ \textbf{(А)}$$

4. Зададимся значением $\gamma_э$ и вычислим λ:

$$\gamma_э \approx (0.05 \cdots 0.1)$$

Примем:

$$\gamma_э = \frac{U_{R16}}{E_k} = 0.05$$

$$\lambda = \frac{I_{к\min} + I_н}{I_{к\max} - I_н}$$

5. Определим значение напряжения питания для данного усилительного каскада - $E_к$, а также значение сопротивления R_5 и напряжение, выделяющееся на конденсаторе C_2:

$$E_k = \frac{1}{1-\gamma э} \cdot \frac{2U_н + U_{кэ\min}(1-\lambda)}{1-\lambda} \quad \textbf{(В)}$$

Примем Ек = (В) в соответствие с рядом питания.

$$R_9 = \frac{(1-\gamma э)\cdot E_k - U_{кэ\min}}{I_{к\max} - I_н} \quad \textbf{(Ом)}$$

Примем R_9= (Ом), в соотвтствии с рядом Е24.

Определим значение U_{R10}:

$$U_{R10} = 0{,}05 \cdot E_к \quad \textbf{(В)}$$

$$Uc_5 = U_н + U_{кэ\min} + U_{R10} \quad \textbf{(В)}$$

6. Определим значение тока $I_{кнач}$ и напряжения $U_{кнач}$:

$$I_{к нач} = \frac{E_к - Uc_5}{R_9} \quad \textbf{(А)}$$

$$U_{к нач} = E_к - I_{к нач} \cdot R_9 - U_{R10} \quad \textbf{(В)}$$

7. Определим допустимую мощность рассеивания на транзисторе:

$$P_к = U_{к нач} \cdot I_{к нач} \quad \textbf{(Вт)}$$

8. Выбираем транзистор VT3 (n-p-n), в соответствие с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\,доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$I_{ко}$, мА
VT3							

9. Найдём ток делителя $I_д$:

$$I_д = (2\cdots5) \cdot I_{б нач} \quad \textbf{(А),} \text{ где}$$

$$I_{б нач} = \frac{I_{к нач}}{\beta_4}$$

10. Рассчитаем значения сопротивлений резисторов делителя R_7 и R_8:

$$R_8 = \frac{U_{R8}}{I_д + I_{к0}} = \frac{\gamma_э \cdot E_к + U_{бэнач}}{I_д + I_{к0}} \quad \textbf{(Ом)}$$

Примем R_8= Ом, в соответствии с рядом Е24.

$$R_7 = \frac{E_k - U_{R8}}{I_д + I_{б нач}} \quad \textbf{(Ом)}$$

Примем R_7= Ом, в соответствии с рядом Е24.

11. Рассчитаем значение конденсатора в цепи эмиттера C_5:

$$C_5 = \frac{10\cdots20}{\omega_H \cdot R_{10}} \ \textbf{(Ф)}, \text{ где}$$

$$R_{10} = \frac{U_{R10}}{I_{\hat{e}} + I_{\acute{a}}} \ \textbf{(Ом)}$$

Примем C_5= Ф, в соответствии с рядом Е24.

Расчет каскада по переменному току:

При расчете каскада по переменному току определяются следующие параметры:

12. Определим коэффициент усиления в области средних частот:

$$K_0 = \frac{\beta_3 \cdot R_{к\sim}}{R_{вх\,ТР}}, \text{ где}$$

$$R_{к\sim} = R_9 \| R_н = \frac{R_9 \cdot R_н}{R_9 + R_н} \ \textbf{(Ом)}$$

$$R_{вх\,ТР} = r_б + r_э \cdot (1+\beta) \ \textbf{(Ом)},$$

где можно принять значение $r_б = 400$ Ом, т.к. транзистор VT3 маломощный.

$$r_э = \frac{0{,}025}{I_э} = \frac{0{,}025}{I_{б\,нач} + I_{к\,нач}} \ \textbf{(Ом)}$$

13. Входное сопротивление каскада:

$$R_{вх} = R_б \| R_{вх\,ТР}$$

где $R_б = R_7 \| R_8 = \frac{R_7 \cdot R_8}{R_7 + R_8}$ **(Ом)**, тогда:

$$R_{вх} = R_б \left\| R_{вх\,ТР} = \frac{R_б \cdot R_{вх\,ТР}}{R_б + R_{вх\,ТР}} \right. \ \textbf{(Ом)}$$

14. Выходное сопротивление каскада:

$$R_{вых} = R_9 \ \textbf{(Ом)}$$

15. Определим значения падений напряжения на резисторах R_9, R_{10}:

$$U_{R9} = R_9 \cdot (I_к + I_{к_0}) \ \textbf{(В)}$$

$$U_{R10} = R_{10} \cdot (I_к + I_б) \ \textbf{(В)}$$

Для обеспечения уровня нелинейных искажений, определяемых техническим заданием, вводим отрицательную обратную связь по напряжению глубиной F=6.

16. Входное сопротивление усилителя с ОС равно значению резистора R_5:

$$R_5 = R_{вх} \ \textbf{(Ом)}$$

17. Определим значение сопротивления в цепи ОС - R_6:

$$R_6 = R_{экв} \cdot (\frac{1}{\beta} - 1) \ \textbf{(Ом)}$$

$$R_{экв} = R_5 \parallel R_{вх} = \frac{R_5 \cdot R_{вх}}{R_5 + R_{вх}} \quad \textbf{(Ом)}$$

$$\beta = \frac{F - 1}{K}$$

18. Определим значение коэффициент усиления усилителя с ОС:

$$K_{ос} = \frac{K}{F} \cdot \frac{R_6}{R_6 + R_{экв}} \cdot \frac{R_{вх}}{R_{вх} + R_5}$$

19. Определим входные параметры каскада:

$$U_{вх} = \frac{U_{вых}}{K_{ос}} \quad \textbf{(В)}$$

$$R_{вх} = R_5 \quad \textbf{(Ом)}$$

20. Найдём напряжение на базовых делителях:

$$U_{R7} = R_7 \cdot (I_б + I_д) \quad \textbf{(В)}$$

$$U_{R8} = R_8 \cdot (I_д + I_{к_0}) \quad \textbf{(В)}$$

21. Определим мощности резисторов:

$$P_{Ri} = \frac{U_{Ri}^2}{Ri} \quad \textbf{(Вт)}$$

22. Определим напряжение на конденсаторах:

$$U_{c5} = U_{R10} \quad \textbf{(В)}$$

$$\phi_1 c_3 = E_k - U_{R9}$$

$$\varphi_{ВЫХ_1} = \phi_1 c_3$$

$$Uc_4 = \varphi_{ВЫХ_1} - U_{R8}$$

3.7 Эмиттерный повторитель №1 на транзисторах VT2, VT1

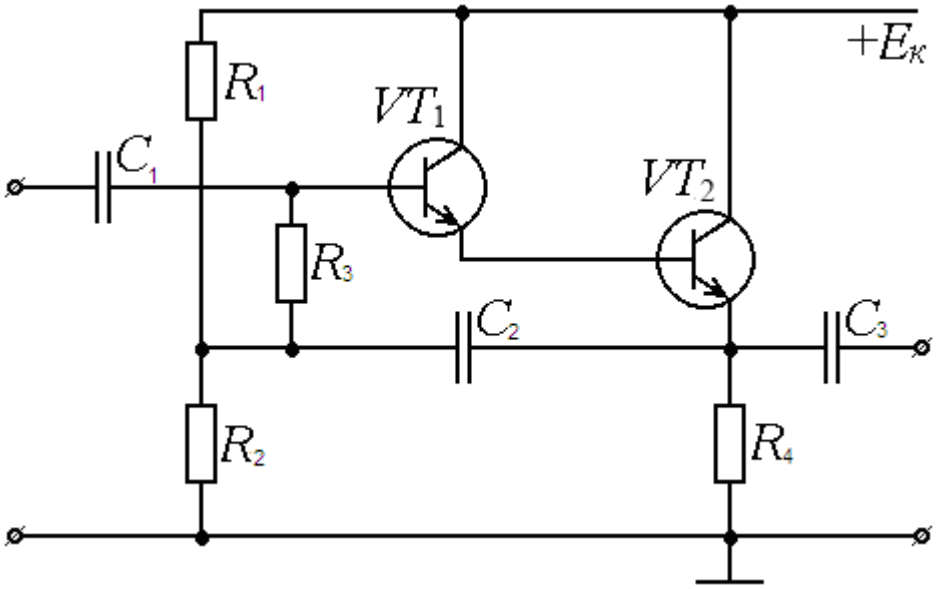


Рис.8 Принципиальная электрическая схема эмиттерного повторителя №1 на транзисторах VT2, VT1

Нагрузкой для данного повторителя будет являться входное сопротивление последующего усилительного каскада (на транзисторе VT3), а за амплитуду выходного напряжения примем входное напряжение того же усилительного каскада, т.е.:

$$U_H = U_{вхуVT3} \quad \textbf{(В)}$$

$$Rн = R_{вхуVT3} \quad \textbf{(Ом)}$$

1. Вычислим значение тока протекающего через нагрузку:

$$I_н = \frac{U_н}{R_н} \quad \textbf{(А)}$$

2. Определим параметры транзистора VT2:

$$U_{кэ2} = U_н + U_0 \quad \textbf{(В),} \text{ где}$$

U_0=1÷2 В

$$E_k \approx 2 \cdot U_{кэ2} \quad \textbf{(В)}$$

$$I_{k2} = I_н + I_{\min} \quad \textbf{(А)}$$

$$P_{k2} = I_{k2} \cdot U_{кэ2} \quad \textbf{(Вт)}$$

3. Выберем транзистор VT2 (n-p-n), в соответствие с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\ доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$I_{ко}$, мА
VT2							

4. Определим значение тока базы VT2:

$$I_{б3} = I_{к1} = \frac{I_{к2}}{\beta_2} \quad \textbf{(А)}$$

5. Определим падение напряжения на резисторе R_4:

$$U_{R4} = E_k - U_{кэ2} \quad \textbf{(В)}$$

6. Определим параметры транзистора VT1:

$$U_{кэ1} = E_к - U_{R4} - U_{бэ2} \ \textbf{(В)}$$

$$P_{к1} = U_{кэ1} \cdot I_{к1} \quad \textbf{(Вт)}$$

7. Выберем транзистор VT1 (n-p-n), в соответствие с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{кэ\ доп}$, В	I_{kmax}, А	β_{min}	$I_{ко}$, мА
VT1							

8. Определим значение тока базы VT1:

$$I_{б1} = \frac{I_{к1}}{\beta_1} \quad \textbf{(А)}$$

9. Определим значение тока делителя:

Выберем ток базового делителя из условия, что $I_д >> I_б$. Примем:

$$I_д \approx 100 \cdot I_{б1} \quad \textbf{(А)}$$

10. Найдем значение сопротивления резистора R_4:

$$R_4 = \frac{U_{R4}}{I_{ê1} + I_{á1} + I_{ê2}} = \frac{U_{R4}}{I_{á2} + I_{ê2}} \ \textbf{(Ом)}$$

11. Примем значение сопротивления резистора R_3 в пределах 5÷10 **(кОм)** в соответствии с рядом E24. Тогда:

$$U_{R3} = Iб_2 \cdot R_3 \ \textbf{(В)}$$

12. Определим падения напряжений на резисторах базового делителя:

$$U_{R2} = U_{R3} + U_{бэ1} + U_{бэ2} + U_{R4} \quad \textbf{(В)}$$

$$U_{R1} = E_к - U_{R2} \quad \textbf{(В)}$$

13. Определим значения резисторов базового делителя:

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_д + I_{б1}} \quad \textbf{(Ом)}$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_д} \ \textbf{(Ом)}$$

Примем значения этих сопротивлений в соответствии с рядом E24.

14. Определяем величину $R_{э\sim}$:

$$R_{э\sim} = R_4 \| R_н \| R_1 \| R_2 \quad \textbf{(Ом)}$$

15. Определим входное сопротивление транзистора VT1:

$$R_{вх1} = r_{к1} \| (R_{э\sim} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2) \quad \textbf{(Ом)}, \text{ где}$$

$r_{к1}$=1МОм, т.к. транзистор VT1-маломощный.

16. Определим коэффициент передачи повторителя:

$$K_{ПVT2} = \frac{(1+\beta_2)\cdot R_{э\sim}}{r_{б2} + (r_{э2} + Rэ_{\sim})\cdot(1+\beta_2)}$$, где

Значение $r_{б2}$ можно принять равным 400÷500 Ом, т.к. транзистор VT2 маломощный.

$$r_{э2} = \frac{0{,}025}{I_{к2} + I_{б2}} \quad \textbf{(Ом)}$$

$$K_{ПVT1} = \frac{(1+\beta_1)\cdot Rэ_{\sim}\cdot\beta_2}{r_{б1} + (r_{э1} + R_{э\sim}\cdot\beta_2)\cdot(1+\beta_1)}$$, где

Значение $r_{б1}$ можно принять равным 400÷500 Ом, т.к. транзистор VT1 маломощный.

$$r_{э1} = \frac{0{,}025}{I_{к1} + I_{б1}} \quad \textbf{(Ом)}$$

$$K_{П} = K_{ПVT1}\cdot K_{ПVT2}$$

17. Определим входное напряжение повторителя:

$$U_{вх} = \frac{U_{н}}{K_{П}} \quad \textbf{(В)}$$

Полученное значение входного напряжения необходимо сравнить с тем, которое заявлено в техническом задании и, сделать соответствующий вывод. Если расхождение составит более 5%, то необходимо выбирать другие значения сопротивлений R_9, $r_{б1}$, $r_{к1}$ таким образом, чтобы выполнялось данное условие.

18. Вычислим значение входного сопротивления повторителя:

$$R_{вх} = R_{вх1} \left\| \frac{R_3}{1-K_{П}} \right. \quad \textbf{(Ом)}$$

Полученное значение входного сопротивления необходимо сравнить с тем, которое заявлено в техническом задании и, сделать соответствующий вывод. Если расхождение составит более 5%, то необходимо выбирать другие значения сопротивлений R_3, $r_{б1}$, $r_{к1}$ таким образом, чтобы выполнялось данное условие.

19. Определим величину емкости конденсатора C_2, исходя из условия:

$$C_2 >> \frac{1}{\omega_H \cdot (R_1 \| R_2)} \quad \textbf{(Ф)}$$

Примем значение C_2 в соответствии с рядом E24.

20. Определим напряжение на конденсаторах:

$$Uc_2 = U_{R2} - U_{R4} \quad \textbf{(В)}$$
$$Uc_3 = U_{R4} \quad \textbf{(В)}$$

21. Определим мощности резисторов:

$$P_{Ri} = \frac{U_{Ri}^2}{Ri} \quad \textbf{(Вт)}$$

4. Расчет разделительных конденсаторов

Значения емкости разделительных конденсаторов рассчитываются исходя из приходящихся на них частотных искажений в области нижних частот. Имеется 11 разделительных конденсаторов. Распределим искажения равномерно между ними:

$$M_H = \sqrt[n]{M_{H3}} \ ,$$

где n - количество разделительных емкостей.

Заданные коэффициенты частотных искажений в области нижних частот приведены в техническом задании. Определим, какие частотные искажения приходятся на одну разделительную емкость:

$$M_{нi} = \sqrt[10]{M_н}$$

Следовательно, значение емкости конденсатора должно иметь значение, удовлетворяющее следующему условию:

$$C \geq \frac{1}{2\pi f_н \left(R_г + R_{вх}\right)\sqrt{M_{нi}^2 - 1}} \quad \textbf{(Ф)}$$

Значения емкостей разделительный конденсаторов, полученных в результате расчета необходимо принимать значениям в соответствии с рядом Е24, Е6 или Е3.

Конденсатор С1.

$$R_г = 0 \text{ Ом}$$

$$R_{вх} = R_{вх.\,повт.\,на\,VT1–VT2} = \text{ Ом}$$

Конденсатор С3.

$$R_г = r_{э2} = \text{Ом}$$

$$R_{вх} = R_{н.повт.на\,VT1–VT2} = \text{R}_5 = \text{Ом}$$

Конденсатор С4.

$$R_г = 0 \text{ Ом}$$

$$R_{вх} = R_{вх.ус.на\,VT3} = \text{R}_5 = \text{Ом}$$

Конденсатор С6.

$$R_г = R_{к.ус.на\,\text{VT3}} = \text{R}_9$$

$$R_{вх} = R_{вх.ус.\text{VT4}} = R_{15} \text{ Ом}$$

Конденсатор С7.

$$R_г = 0 \text{ Ом}$$

$$R_{вх} = R_{вх.\,ус.\,на\,VT4} = R_{11} \text{ Ом}$$

Конденсатор С10.

$$R_г = R_{вых.\,ус.\,на\,VT4} = R_{15} \text{ Ом}$$

$$R_{вх} = R_{вх.\,повт.\,на\,VT5–VT6} \text{ Ом}$$

Конденсатор С12.

$$R_г = r_{э6} = R_{вых.повт\text{VT5-6}} \quad \text{Ом}$$

$$R_{вх} = R_{н.повт.на\ VT5–VT6} = R_{24} \quad \text{Ом}$$

Конденсатор С15.

$$R_г = 0 \quad \text{Ом}$$

$$R_{вх} = R_{вх.повт\text{VT7-VT8}} \quad \text{Ом}$$

Конденсатор С17.

$$R_г = r_{э\ повт\ на\ VT7–VT8} \quad \text{Ом}$$

$$R_{вх} = R_{н.повт.на\ VT7–VT8} = R_{вх.ус.м} \quad \text{Ом}$$

Конденсатор С18.

$$R_г = 0\ \text{Ом}$$

$$R_{вх} = R_{экв} = R_{вх.у.м} \| R_{29} \quad \text{Ом}$$

Конденсатор С23.

$$R_г = 0\ \text{Ом}$$

$$R_{вх} = Rн \quad \text{Ом}$$

5. Расчет параметрических стабилизаторов напряжения

Так как выходной усилительный каскад питается от источника питания E_K = В, а остальным каскадам и эмиттерным повторителям необходимы другие значения напряжений источников питания, то необходимо уменьшить напряжение питания выходного каскада для остальных элементов схемы. Для решения этой задачи применяется схема параметрического стабилизатора напряжения:

Принципиальная электрическая схема параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне приведена на рисунке 9:

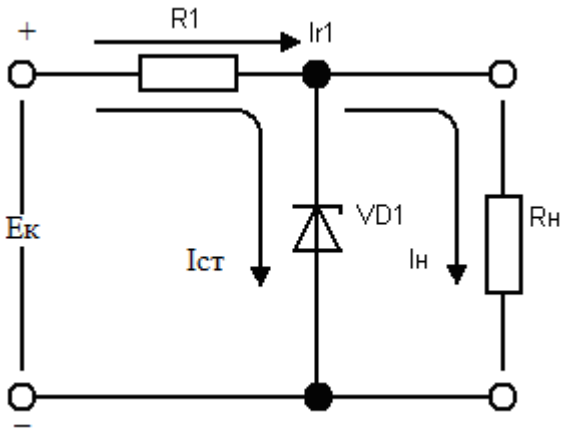


Рис.9 Принципиальная электрическая схема параметрического стабилизатора

Принцип действия данного стабилизатора основан на стабилизации напряжения на нагрузке (на Rн) на уровне напряжения стабилизации стабилитрона VD1. Данный стабилизатор представляет собой делитель напряжения, одним из плечей которого является балластный резистор R_1, а вторым - соединенные стабилитрон VD1 и нагрузка Rн. Расчет делителя напряжения проще всего производить, используя закон Ома для участка цепи. т.о. расчет сводится к выбору номинала и мощности балластного резистора R_1.

Исходными данными для расчета являются:

а) Входное напряжение ($U_{вх}$ =$E_к$), в данном случае равное напряжению источника питания всего устройства или напряжению питания выходного каскада.

b) Необходимое напряжение на нагрузке ($U_{Rн}$ =Ек $_{э.п.\ на\ VTi}$ или $U_{Rн}$ =Ек $_{ус\ на\ VTi}$), в данном случае равное напряжению питания для какого-либо эмиттерного повторителя либо предварительного усилителя.

с) Ток, потребляемый нагрузкой (Iн), в данном случае равный току для какого-либо эмиттерного повторителя либо предварительного усилителя.

1. С учетом исходных данных выбирается стабилитрон с напряжением стабилизации U_{VD1} (или $U_{ст}$), равным или близким $U_{Rн}$, и током стабилизации $I_{ст}$, большим примерно в 2 раза, чем ток, потребляемый нагрузкой. Далее, у выбранного стабилитрона сводим основные характеристики в таблицу вида:

Позиционное обозначение	Тип	$U_{ст\ min}$, В	$U_{ст\ max}$, В	$U_{ст\ ном}$, В	$I_{ст}$, А
VD_i					

2. Как видно из рисунка, ток протекающий через балластный резистор R_1 является суммой тока стабилизации стабилитрона VD1 - $I_{ст}$ и тока, потребля-

емого нагрузкой Iн. Именно этот ток ($I_н$=I_{R1}) и следует использовать в дальнейших расчетах. В качестве I_{R1} принимается сумма токов протекающих через эмиттерный повторитель или предварительный усилитель:

$$I_{R1i} = \sum I_i \quad \textbf{(А)}$$

Например, для эмиттерного повторителя на VT7-VT8 значение тока I_{R1} определяется следующим образом:

$$I_{R1VT7,8}=I_{ст}+I_д + I_{б7} + I_{к7} + I_{к8} \quad \textbf{(А)}$$

Для эмиттерного повторителя на транзисторах VT5-VT6:

$$I_{R1VT5,6}= I_{ст}+I_д + I_{б5} + I_{к5} + I_{к6} \quad \textbf{(А)}$$

Для эмиттерного повторителя на транзисторах VT1-VT2:

$$I_{R1VT1,2}= I_{ст}+I_д + I_{б1} + I_{к1} + I_{к2} \quad \textbf{(А)}$$

Для предварительного усилителя на транзисторе VT3:

$$I_{R1VT3,4}= I_{ст}+I_д + I_{б3} + I_{к3} \quad \textbf{(А)}$$

Для предварительного усилителя на транзисторе VT4:

$$I_{R1VT3,4}= I_{ст}+I_д + I_{б4} + I_{к4} \quad \textbf{(А)}$$

Из закона Ома для участка цепи определяем значение тока, проходящего через балластный резистор:

$$I_{R1} = \frac{E_к - U_{VD1}}{R_1} \quad \textbf{(А)}$$

3. Значение балластного сопротивления определяется из предыдущего пункта т.е.:

$$R_1 = \frac{E_к - U_{VD1}}{I_{R1}} \quad \textbf{(Ом)}$$

Реальное значение сопротивления R_1 выбирается, как ближайшее к полученному из ряда Е24.

4. Имея значение сопротивления резистора R_1 и ток, протекающий через него, рассчитывается мощность рассеяния резистора R_1:

$$P_{R_1} = (E_к - U_{ст}) \cdot I_{R_1} \quad \textbf{(Вт)}$$

На рисунке 10 приведена схема стабилизатора напряжения для одного из каскадов усилителя.

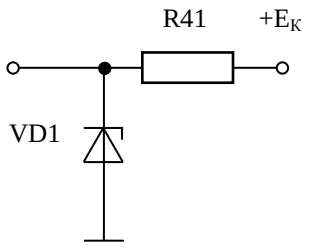


Рис. 10 Схема стабилизатора напряжения

Пример расчета для одного из нескольких, необходимых в схеме, параметрических стабилизаторов:

Выходной усилительный каскад питается от источника питания $E_К$ = 50 В, а эмиттерный повторитель №1 на транзисторах VT1- VT2 от $E_К$ = 9 В, то необходимо уменьшить напряжение питания.

1. Выбираем стабилитрон с подходящими параметрами:

В качестве стабилизатора VD1 выбираем:

Позиционное обозначение	Тип	$U_{ст\ min}$, В	$U_{ст\ max}$, В	$U_{ст\ ном}$, В	$I_{ст\ ном}$, А
VD_1	КС482А	8,5	10,2	9	0,005

Рассчитаем сопротивление R_{41}:

$$R_{41} = \frac{U_{R41}}{I_{R41}} \ \textbf{(В)}, \text{ где}$$

2. Определяем значение суммы токов, протекающих через балластный резистор:

$$I_{R41} = I_{ст} + \sum I_{эп1} \ \textbf{(А)}$$

$$\sum I_{эп1} = I_{к2} + I_{к1} + I_{б1} + I_{Д} = 3 + 0{,}0227 + 0{,}00227 + 0{,}062 = 3{,}314 мА$$

тогда $I_{R41} = I_{ст} + \sum I_{эп1} = 5 + 3{,}314 = 8{,}314$ **мА**

$$U_{R41} = E_к - 9 = 50 - 9 = 41 \textbf{ В}$$

3. Определяем значение сопротивления балластного резистора:

$$R_{41} = \frac{U_{R41}}{I_{R41}} = \frac{41}{8{,}314} = 4{,}931 \textbf{ кОм}$$

Принимаем: $R_{41} = 5{,}1$ кОм

4. Определяем мощность рассеяния резистора R_{41}:

$$P_{R41} = U_{R41} \cdot I_{R41} = 0{,}341 \textbf{ Вт}$$

6. Расчет радиаторов

Радиаторы предназначены для отвода тепла от транзисторов в схеме, при мощности, превышающей 1,5 Вт. Т.о. те транзисторы, на которых рассеивается мощность более 1,5 Вт необходимо вынести за разъем, а также рассчитать для каждого площадь радиатора.

Площадь радиатора определим следующим образом:

$$S = \frac{1000}{R_{T\,n-c} \cdot \sigma T} \quad \textbf{(см}^2\textbf{)} \ , \text{ где}$$

σT-коэффициент теплоизлучения от теплоотвода в окружающую среду (для дюралюминия σT = 1,5 (мВт / см^2·°С);
$R_{Tп-с}$ – тепловое сопротивление переход-среда, определяется следующим образом:

$$R_{Tп-с} = \frac{T_п - T_с}{P_с} \quad \textbf{(К/Вт)}, \text{ где}$$

$T_с$ - температура среды (в техническом задании задан диапазон рабочих температур усилителя – от 10 до 30 °С , выбираем верхнее значение этого диапазона → $T_с$=30°С);
$T_п$ - температура p-n - перехода, (определяется исходя из справочных данных, можно принять в пределах от 125 до 200 °С);
$P_с$ – мощность, которую необходимо рассеять.

Затем необходимо привести рисунок радиатора с указанием его линейных размеров (в см).

Пример:

В качестве выходных транзисторов VT12 и VT13 выбраны транзисторы типа КТ928Г . У них температура p-n-перехода $T_п$ = 150°С (данные из справочника). Необходимо рассеять мощность Рк = 19,14 (Вт). Произведем расчет теплового сопротивления переход-среда:

$$R_{Tп-с} = \frac{T_п - T_с}{P_с} = \frac{150 - 30}{19{,}14} = 6{,}27 \quad \textbf{К/Вт}$$

Определим площадь радиатора из дюралюминия:

$$S = \frac{1000}{R_{T\,n-c} \cdot \sigma T} = \frac{1000}{6{,}27 \cdot 1{,}5} = 106{,}33 \ \textbf{см}^2$$

Рисунок: (Необходимо привести рисунок радиатора по тем размерам, которые получились в расчете).

7. Расчет АФХ и ФЧХ усилителя на транзисторе VT4

Рассчитаем амплитудно-частотную и фазо-частотную характеристики для предварительного усилителя на транзисторе VT4, без ОС, для диапазона частот, где частотные искажения не превышают $\sqrt{2}$.

Для расчета АЧХ воспользуемся формулами:

$$K(\omega) = \frac{K_4}{M_н \cdot M_в}, \text{ где}$$

K_4 – коэффициент усиления на средних частотах для усилительного каскада на транзисторе VT4.

1. Рассчитаем зависимость коэффициента усиления на НЧ от частоты:

$$K_{нч} = \frac{K_4}{M_H}$$

Определим значение коэффициента частотных искажений в области низких частот:

$$M_H = M_{НВх} \cdot M_{НВых} -$$

$$M_{НВх} = \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot \tau_{НВх})^2}}$$

$$M_{НВых} = \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot \tau_{НВых})^2}}, \text{ где}$$

$$\tau_{Н\ ВХ} = C_7 \cdot (R_{ВХ.Уна\text{VT4}} + R_{ВЫХ.Уна\text{VT3}}) \text{ (с)}$$

$$\tau_{Н\ ВЫХ} = C_{10} \cdot (R_{ВЫХ.Уна\text{VT4}} + R_{ВХ.повт\text{VT56}}) \text{ (с)}$$

Определим частоту, на которой Мн= $\sqrt{2}$:

$$M_H = M_{НВх} \cdot M_{НВых} = \sqrt{2}$$

$$M_H = \sqrt{1 + \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_н \cdot \tau_{НВх})^2}} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_н \cdot \tau_{НВых})^2}} = \sqrt{2}$$

Решив это уравнение относительно $f_н$ получим значение нижней граничной частоты полосы пропускания. Т.О. $f_н$= Гц.

Задаваясь различными значениями частот fн найдем значения соответствующих коэффициенту усиления $K_{нч}$:

№	$f_н$, Гц	$\omega = 2 * \pi * f$	$M_н$	$K_{нч}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

2. Рассчитаем зависимость коэффициента усиления на ВЧ от частоты:

$$K_{вч} = \frac{K_4}{M_B}$$

Определим значение коэффициента частотных искажений в области высоких частот:

$$M_B = \sqrt{1+\left[\omega\cdot\left(\tau_в+\tau_\beta\right)\right]^2}\ ,\ \text{где}$$

$$\tau_\beta = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot f_в}\ \ \textbf{(с)}$$

$C_{0\text{на VT4}}=C_{K4}+C_M+C_2$ **(пФ)**

$$\tau_B = C_{0на\text{VT4}}\cdot R_{K\sim}\quad \textbf{(с)}$$

Определим частоту, на которой Мв=$\sqrt{2}$:

$$M_B = \sqrt{1+\left[\omega\cdot\left(\tau_в+\tau_\beta\right)\right]^2} = \sqrt{2}$$

Решив это уравнение относительно $f_в$ получим значение нижней граничной частоты полосы пропускания. Т.О. $f_в$= Гц.

Задаваясь различными значениями частот fв найдем значения соответствующих коэффициенту усиления $K_{вч}$:

№	$f_в$, Гц	$\omega = 2*\pi*f$	$M_в$	$K_{вч}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Для расчета ФЧХ воспользуемся формулой:

$$\varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - arctg(\omega\cdot\tau_{H\ BX}) + \frac{\pi}{2} - arctg(\omega\cdot\tau_{H\ ВЫХ}) - arctg(\omega\cdot(\tau_\beta+\tau_B))$$

Задаваясь различными значениями частот f, найдем значения соответствующих фаз φ:

№	f, Гц	$\omega = 2*\pi*f$	φ, рад.	φ, град.	M
1					
2					
3					$\sqrt{2}$
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					$\sqrt{2}$
13					
14					

Пользуясь данными расчетов, приведенных выше, необходимо произвести построение АЧХ и ФЧХ:

На рисунке 11 приведена амплитудно-частотная характеристика, на рисунке 12 приведена фазо-частотная характеристика усилителя.

АЧХ

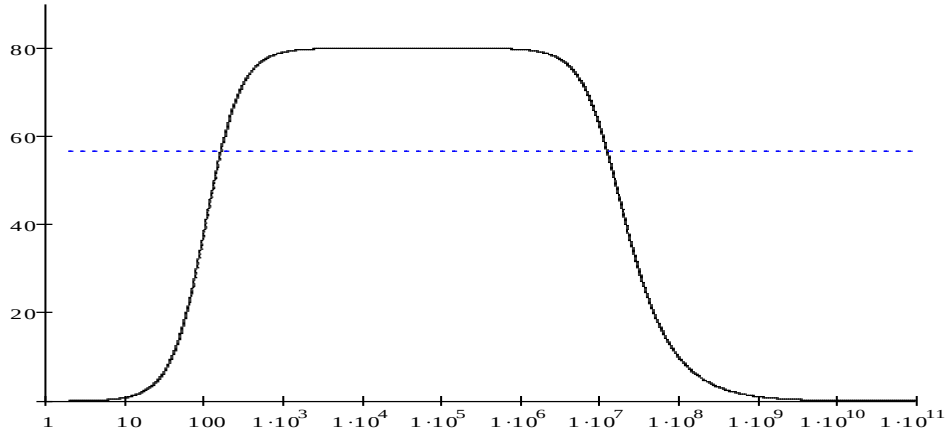


Рис. 11 АЧХ

ФЧХ:

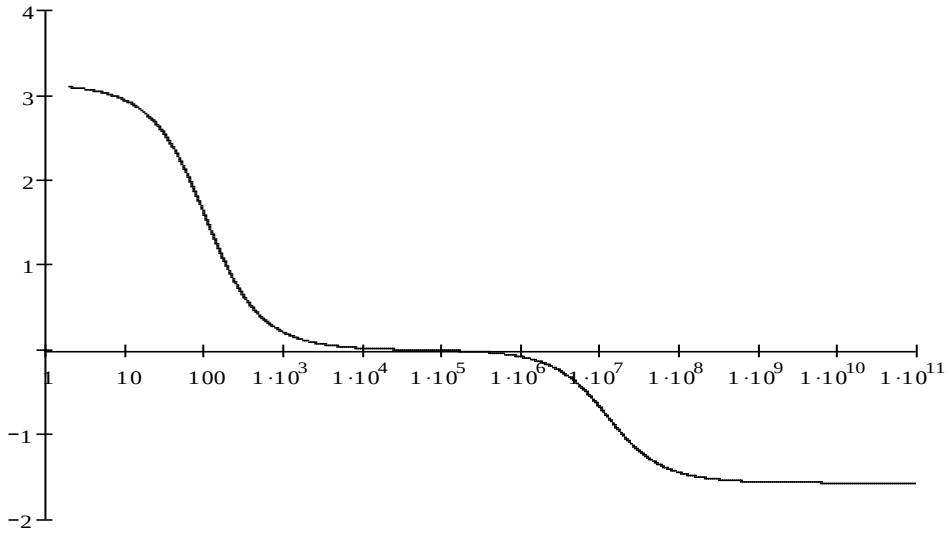


Рис. 12 ФЧХ

8. Карты режимов

В карте режимов необходимо привести информацию обо всех элементах рассчитанного устройства, сведенную в таблицы, следующего вида:

Резисторы:

Позиционное обозначение	R, Ом	U, В	I, А	P, Вт	Тип
R1*	22000	0,698	0,000032	0,000022	СП3-30-0,125

Конденсаторы:

Позиционное обозначение	C, мкФ	U, В	U_{MAX}, В	Тип
C1*	0,043	0,655	25	К10-17

Транзисторы:

Позиционное обозначение	Uбэ, В	Uкэ, В	$I_Б$, А	$I_К$, А	$I_Э$, А	$P_К$, Вт	Тип
VT1*	0,638	4,819	0,0000039	0,000029	0,000033	0,00014	1Т311Л

Стабилитроны:

Позиционное обозначение	$U_{СТ}$, В	I, мА	P, мВт	Тип
VD1*	12	22,549	0,2705	КС512А1

*-примеры

9. Спецификация элементов

В спецификации элементов необходимо привести информацию о количестве, наименовании, типе и позиционном обозначении (номере) всех элементах рассчитанного устройства, сведенную в таблицы, следующего вида:

Резисторы:

Позиционное обозначение	Наименование	Количество
R2, R4, R5, R6…*	МЛТ-0,125	35

Конденсаторы:

Позиционное обозначение	Наименование	Количество
C1, C2, C3, C4, C5…*	К10-17	19

Транзисторы:

Позиционное обозначение	Наименование	Количество
VT1, VT2, VT3…*	1Т311Л	8

Стабилитроны:

Позиционное обозначение	Наименование	Количество
VD1*	КС512А1	1

* - примеры

10. Список использованных источников.

1. Гусев, Владимир Георгиевич. Электроника и микропроцессорная техника [Текст] : учебник для студентов вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. - 5-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2008. - 799 с.

2. Лачин, Вячеслав Иванович. Электроника [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки В. И. Лачин, Н. С. Савелов. - 6-е изд., перераб. и доп. - Ростов н/Д : Феникс, 2007. - 703 с

3. Павлов, Владимир Николаевич. Схемотехника аналоговых электронных устройств [Текст] : учебник для студентов вузов/ В.Н. Павлов, В.Н. Ногин . - 3-е изд. - М. : Горячая линия - Телеком, 2005. - 320 с.

Приложение А

Содержание курсовой работы

Содержание

1. Техническое задание.
2. Возможная область применения усилителя мощности
3. Выбор блок-схемы.
4. Характеристики аналогичного устройства выпускаемого промышленностью
5. Расчет элементов оконечного каскада
6. Расчет повторителя на транзисторах VT7, VT8
7. Расчет аттенюатора
8. Расчет повторителя на транзисторах VT5, VT6
9. Расчет усилителя на транзисторе VT4
10. Расчет предварительного усилителя на транзисторе VT3
11. Расчет повторителя на транзисторах VT1, VT2
12. Расчет разделительных емкостей
13. Расчет параметрического стабилизатора напряжения
14. Расчет радиаторов
15. Расчет АФХ и ФЧХ
16. Карты режимов
17. Спецификация элементов
18. Технология производства и изготовления печатных и монтажных плат
19. Список использованных источников.

Приложение Б

Пример титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт геологии и нефтегазодобычи
Кафедра «Кибернетических систем»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовому проекту
по дисциплине
или «Электроника и цифровая схемотехника»
или «Медицинская электроника и микропроцессорная техника»

на тему «Проектирование усилителя мощности»
или на тему «Проектирование автогенератора»

вариант □□□□

Выполнил:
студент группы □□□□
Иванов Н.А.
Проверил:
Ст. преп. каф. КС
Сидорова А. Э.

Дата защиты_____ Оценка_____

Тюмень 2019

Приложение В

Ряды номинальных базовых электронных элементов

Номинальные сопротивления резисторов, выпускаемых отечественной промышленностью в соответствии с рекомендациями МЭК, стандартизованы. Для постоянных резисторов установлено шесть рядов: E6, E12, E24, E48, E96, E192, а для переменных резисторов установлен ряд E6. Кроме этого допускается использовать ряд E3. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале. Номиналы сопротивлений соответствуют числам в приведенных ниже таблицах или числам, полученным умножением или делением этих чисел на 10^n (n - целое положительное или отрицательное число).

Номинальные сопротивления по ряду E3, E6, E12, E24

E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24
1,0	1,0	1,0	1,0	2,2	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7	4,7
			1,1				2,4				5,1
		1,2	1,2			2,7	2,7			5,6	5,6
			1,3				3,0				6,2
	1,5	1,5	1,5		3,3	3,3	3,3		6,8	6,8	6,8
			1,6				3,6				7,5
		1,8	1,8			3,9	3,9			8,2	8,2
			2,0				4,3				9,1

Учебное издание

ЭЛЕКТРОНИКА И ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА МЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания к выполнению курсового проекта для студентов технических специальностей очной и заочной формы обучения

(вариант I)

Составитель
СИДОРОВА Анастасия Эдуардовна
В авторской редакции

Подписано в печать Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л.3,0.

Тираж 35 экз. Заказ № .

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.