

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 02.10.2026 10:36:20
Уникальный программный ключ:
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт геологии и нефтегазодобычи

Кафедра кибернетических систем

**ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА
ЭЛЕКТРОНИКА И ЦИФРОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА**

Методические указания к выполнению курсового проекта
(курсовой работы) для технических специальностей очной и заоч-
ной формы обучения (вариант II)

Составитель: А.Э. Сидорова, ст. преподаватель

Тюмень

2024

Электроника: методические указания к выполнению курсового проекта (работы) для студентов технических специальностей очной и заочной формы обучения (вариант II) / сост. А. Э. Сидорова; Тюменский индустриальный университет.– Тюмень: Издательский центр БИК, ТИУ, 2024– 26 с.

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

«_____» _____ 2024 года, протокол №_____.

Аннотация

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

Приведено содержание части упрощенного инженерного расчета автогенератора с мостом Вина, работающего на низкоомную нагрузку, в приложениях приведено содержание курсового проекта, вид титульного листа, ряды номинальных базовых электронных элементов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Правила выбора темы курсового проекта	5
2. Типовая структура и требования к содержанию ее разделов	5
3. Рекомендации по выполнению отдельных разделов курсового проекта	6
4. Примерные нормы времени на выполнение проекта	21
5. Требования к оформлению проекта	21
6. Порядок защиты работы, критерии оценки	21
7. Список рекомендуемой литературы	22
Приложение А	23
Приложение Б	24
Приложение В	25

Введение

Назначение методических указаний

В курсовом проекте производится выполнение упрощенного инженерного расчета автогенератора с мостом Вина и последующая реализация схемы в пакете виртуального моделирования схем MultisimNI с целью тестирования работы схемы и проверка получения заданных параметров.

Основными задачами выполнения курсового проекта является формирование у обучающихся необходимых знаний основных электротехнических законов и методов инженерного расчета автогенератора с мостом Вина, работающего на низкоомную нагрузку и реализация схемы в программе моделирования электронных схем Multisim NI. Упрощенный инженерный расчет предполагает проведение самых простых алгебраических вычислений.

В результате выполнения контрольной работы студент должен

знать:

- принципы работы основных электрических узлов и схем, особенности их применения, их рабочие характеристики;
- элементную базу современных полупроводниковых устройств;
- базовые элементы электроники, их свойства и сравнительные характеристики;
- параметры и характеристики полупроводниковых приборов.

уметь:

- читать электрические и электронные схемы;
- использовать пакеты прикладных программ для произведения инженерных и прочих расчетов, такие как Mathcad, SMath Studio.
- использовать пакеты прикладных программ для моделирования электронных схем, такие как Multisim NI.

владеть:

- методами инженерных расчетов для различных электронных узлов и устройств, посредством прикладных программ для расчетов;
- способность анализировать работу электронных схем в нормальном режиме;
- умением принимать решения при выборе и анализе различных электронных элементов;
- методами работы с программными пакетами автоматизированного схемотехнического проектирования аналоговой, аналого-цифровой и цифровой радиоэлектронной аппаратуры на платформе персональных компьютеров.

1. Правила выбора темы курсового проекта

Спроектировать электронное устройство, в зависимости от цифр номера варианта для каждого обучающегося. Если первая из четырех цифр номера варианта «1» - то производится расчет усилителя мощности, если первая цифра – «2» - производится расчет автогенератора с мостом Вина. В расчете учитываются параметры, приведенные в техническом задании (пример):

вариант	ФИО	$U_{н.ус.напр}$ [В]	$R_{н.ус.напр}$ [Ом]	f_n [Гц]	$U_{бэVT4}$ [В]	$U_{бэVT3}$ [В]
2011	Иванов Иван Иванович	0,036	658,23	56,22	0,721	0,755

2. Типовая структура и требования к содержанию его разделов

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

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

3. Привести карту режимов и спецификацию элементов.

4. Все элементы должны иметь сквозную нумерацию. В соответствии с рядом E24 или E6 необходимо привести к номинальному значению все сопротивления и емкости в расчете, которые имеют порядковые номера (например R4). Ряды номинальных базовых электронных элементов приведены в приложении В (использовать ряд E24 или E6).

5. Оформление курсового проекта согласно ГОСТ 7.32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

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

8. Спроектировать (создать) и провести моделирование полученной схемы в прикладных программах, предназначенных для эмуляции процесса (в программе Multisim NI).

9. Сделать выводы о достижении (или в случае не достижения - по каким причинам), заданных в техническом задании входных параметров устройства в реализованной с помощью эмулятора – программы Multisim NI.

Далее приведен упрощенный инженерный расчет электронного устройства – АВТОГЕНЕРАТОРА С МОСТОМ ВИНА.

3. Рекомендации по выполнению отдельных разделов курсового проекта

Выбор блок-схемы

Автономный источник синусоидальных колебаний, работающий в режиме самовозбуждения, называется генератором. Он является преобразователем энергии источника питания в энергию колебаний переменного тока требуемой частоты.

RC-генераторами называются автогенераторы, частота входных колебаний которых определяется цепями, состоящими из сопротивлений и емкостей.

Структурная схема RC-автогенератора с мостом Вина может быть представлена в виде замкнутой системы.

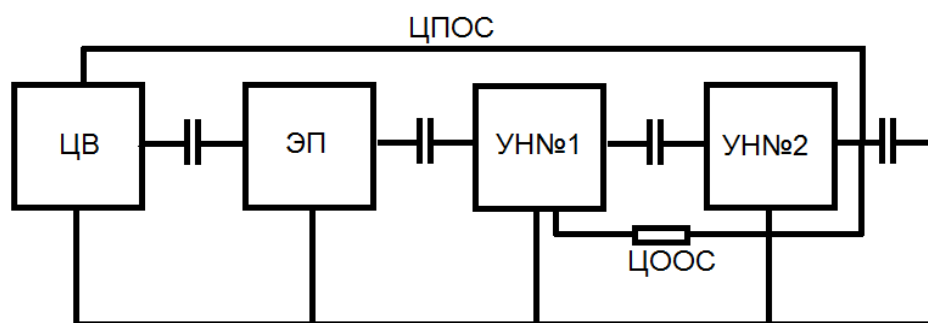


Рис. 1 Блок-схема автогенератора с мостом Вина

Источник питания (на схеме не обозначен);

- Цепь Вина (ЦВ) используется как частотозадающая цепь и ЦПОС – цепь положительной обратной связи;
- Эмиттерный повторитель (ЭП) служит для согласования фазирующей цепи с усилителем напряжения по сопротивлению;
- Усилители напряжения (УНН№1, УНН№2) обеспечивают баланс фаз и баланс амплитуд (при введении нелинейной отрицательной обратной связи, ЦООС – цепь отрицательной обратной связи).

Расчет элементов используемых в схеме

Перед тем как начать расчет усилителей напряжения необходимо рассчитать входное сопротивление моста Вина, учесть отрицательную обратную связь, которую мы вводим для стабилизации коэффициента усиления, а значит и выходного сигнала.

3.1 Цепь Вина

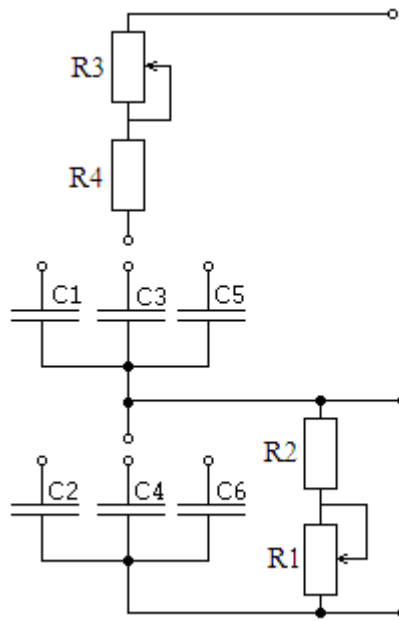


Рис. 2 Принципиальная электрическая схема цепи Вина

Перед тем как начать расчет усилителя напряжения нам надо рассчитать входное сопротивление моста Вина, учесть отрицательную обратную связь, которую мы вводим для стабилизации коэффициента усиления, а значит и выходного сигнала.

Изменение частоты производится дискретно (грубо) с помощью конденсаторов и плавно с помощью переменных резисторов.

Входное сопротивление моста Вина определяется следующим образом:

$$Z_{ex} = R + \frac{1}{j\omega C} + \frac{\frac{R}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = R + \frac{1}{j\omega C} + \frac{R}{j\omega RC + 1} = \frac{j\omega RC + 1}{j\omega C} + \frac{R}{j\omega RC + 1}$$

На частоте квазирезонанса $\omega = \frac{1}{RC}$ следовательно:

$$Z_{ex} = \frac{j+1}{\frac{j}{R}} + \frac{R}{j+1} = \frac{3}{2}R(1-j)$$

$$|Z_{ex}| = \frac{3}{2}R\sqrt{2}$$

Выходное сопротивление моста Вина определяется:

$$Z_{\text{вых}} = \frac{\frac{R}{j\omega C}}{(R + \frac{1}{j\omega C})} = \frac{R}{Rj\omega C + 1}$$

На частоте квазирезонанса $\omega = \frac{1}{RC}$ $Z_{\text{на част. квазир}} = \frac{1}{\sqrt{2}} R$

Нагрузкой для моста Вина является эмиттерный повторитель на транзисторах VT1 и VT2, поэтому предположим, что входное сопротивление эмиттерного повторителя будет максимально большим – в пределах от 150 до 250 кОм. Для того, чтобы $R_{\text{вхп}}$ не шунтировало мост Вина:

$$R_{\text{max ИБ}} = \frac{R_{\text{вхп}}}{10} \text{ (Ом)}$$

$$R_{\text{min ИБ}} = \frac{R_{\text{вхп}}}{100} \text{ (Ом)}$$

Примем значения сопротивлений резисторов цепи Вина R_1 и R_3 , равными максимальному значению сопротивления цепи Вина ($R_{\text{max ИБ}}$), а значения R_2 и R_4 , равными минимальному значению ($R_{\text{min ИБ}}$).

$$R_1=R_3= \text{ (Ом)}, \text{ а } R_2=R_4= \text{ (Ом)}.$$

Определим значение выходного сопротивления цепи Вина:

$$R_{\text{вых ИБ min}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot R_{\text{min ИБ}} \text{ (Ом)}$$

$$R_{\text{вых ИБ max}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (R_1 + R_2) \text{ (Ом)}$$

Определим значение входного сопротивления цепи Вина:

$$R_{\text{вх ИБ min}} = 3 \cdot R_{\text{вых ИБ min}} \text{ (Ом)}$$

$$R_{\text{вх ИБ max}} = 3 \cdot R_{\text{вых ИБ max}} \text{ (Ом)}$$

Рассчитаем ёмкости $C_1 \div C_2$:

$$C = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f_H \cdot 2 \cdot (R_1 + R_2)}$$

$$f_H = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot (C_1 + C_2)} \quad f_B = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot (C_1 + C_2)}$$

1. Для первого диапазона (X) Гц $\div$ (10X) Гц, ($X=f_H$ из технического задания), при $R_1+R_2= \text{Ом}$:

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot X \cdot 2 \cdot (R_1 + R_2)} \text{ (Ф)},$$

принимаем $C_1 = C_2 = \text{ (Ф)}$ в соответствии с рядом Е6 или Е24.

Пересчитаем значения первого частотного диапазона в соответствии с принятыми значениями емкостей конденсаторов C_1, C_2 :

$$f_H = \text{ (Гц)}, \quad f_B = \text{ (Гц)}$$

2. Для второго диапазона (10X) Гц ÷ (100X) Гц:

$$C_3 = C_4 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 10 \cdot X \cdot 2 \cdot (R_1 + R_2)} \quad (\Phi)$$

принимаем $C_3=C_4= (\Phi)$ в соответствии с рядом Е6 или Е24.

Пересчитаем значения второго частотного диапазона в соответствии с принятыми значениями емкостей конденсаторов C_3, C_4 :

$$f_H = (\Gamma \Pi), \quad f_B = (\Gamma \Pi)$$

3. Для третьего диапазона (100X) Гц ÷ (1000X) Гц:

$$C_5 = C_6 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 100 \cdot X \cdot 2 \cdot (R_1 + R_2)} \quad (\Phi)$$

принимаем $C_5=C_6= (\Phi)$ в соответствии с рядом Е6 или Е24.

Пересчитаем значения третьего частотного диапазона в соответствии с принятыми значениями емкостей конденсаторов $C_5=C_6$:

$$f_H = (\Gamma \Pi), \quad f_B = (\Gamma \Pi)$$

Определим токи, протекающие в резисторах:

$$I_{R3} = I_{R4} = I_{\text{ex.ЦВ}} = \frac{U_{\text{ex.Ц.В.}}}{R_{\text{ex.ЦВ min}}} \quad (\text{А})$$

$$I_{R2} = I_{R1} = \frac{U_{\text{вых.Ц.В.}}}{R_1 + R_2} = \frac{U_{\text{ex.Ц.В.}}}{3(R_1 + R_2)} \quad (\text{А})$$

3.2 Отрицательная нелинейная обратная связь

В качестве нелинейного элемента выбираем лампу накаливания. Нелинейный элемент (НЭ) вводится нами в схему для ограничения амплитуды. Сопротивление НЭ зависит от температуры, а та в свою очередь от баланса мощностей. При этом постоянная времени НЭ, работающего в автогенераторе, должна быть намного больше периода колебаний на самой нижней рабочей частоте, в этом случае температура НЭ на протяжении периода колебаний не может следовать за изменениями мгновенной мощности и остается постоянной с высокой степенью точности. Таким образом, сопротивление НЭ является функцией действующего значения тока или напряжения, а получаемые автоколебания - синусоидальными. Характеристики нелинейного элемента – лампы накаливания:

Тип	$U_{ст}, В$	$I_{ср}, мА$	$I_{р.о.}, мА$	$I_{н}, мА$	$t, С$
Н 40	2,5-24	3	0,2-2,5	10	0,45

Найдем напряжение лампы:

$$U_{л} = \frac{U_{н}}{3} \quad (В);$$

где $U_{н} = U_{н \text{ ус. напр}}$ известно из технического задания.

Рассчитаем значения элементов, через которые реализована обратная связь.

Найдем сопротивление лампочки с помощью ом-амперной характеристики.

$$I_{л}=0,0013 \text{ А}, R_{л} = 1300 \text{ Ом}$$

Выбираем резистор R_{12} из условия $R_{12} \gg R_{л}$, предположим, что $R_{12}=3 \cdot R_{л}=3600 \text{ Ом}$.

Принимаем $R_{12} = 3,6 \text{ (кОм)}$

$$\begin{aligned} R_{э\sim} &= R_{12} \parallel R_{л} = \text{ (кОм)} \\ R_{СВ} &= 2 \cdot (R_{12} \parallel R_{л}) = \text{ (кОм)} \\ R_{13} &= R_{СВ} = \text{ (кОм)} \end{aligned}$$

Посчитаем сопротивление ООС:

$$R_{ООС} = R_{13} + R_{э\sim} \text{ (Ом)}$$

Определим коэффициент отрицательной обратной связи и коэффициент усиления:

$$\beta_{ООС} = \frac{R_{н} \parallel R_{12}}{(R_{н} \parallel R_{12}) + R_{СВ}},$$

где $R_{н}=R_{н \text{ ус.напр}}$ (известно из технического задания;

$$K_{оос} = \frac{1}{\beta_{оос}}$$

Определим значения напряжений на резисторах R_{12} и R_{13}

$$U_{R12} = U_H = \textbf{(В)}$$

$$U_{R13} = 2U_H = \textbf{(В)}$$

Определим значение емкости конденсатор в цепи ОС:

$$C_{18} = \frac{20}{2\pi \cdot f_n \cdot R_{13}} \textbf{(Ф)}$$

Принимаем $C_{18} = \textbf{(мкФ)}$.

3.3 Предварительный усилитель

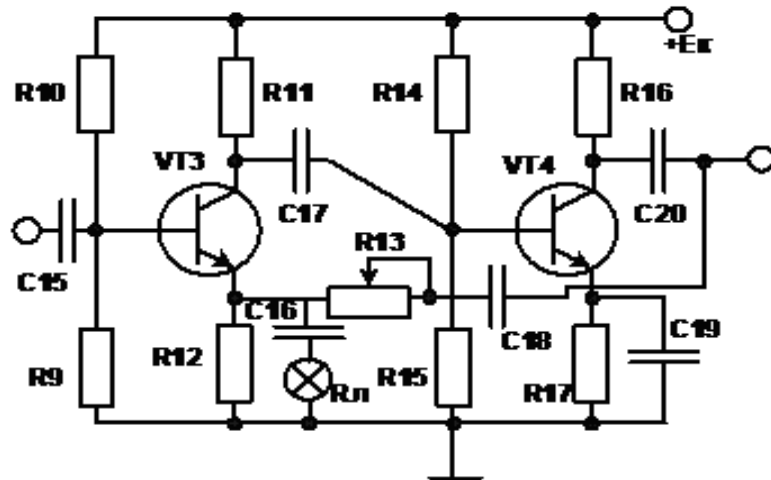


Рис. 3 Принципиальная электрическая схема предварительного усилителя

Этот усилитель выполняет две основные функции:

- ◇ обеспечивает баланс фаз
- ◇ обеспечивает коэффициент усиления ≥ 3

Рассчитаем элементы, относящиеся к усилительному каскаду на транзисторе VT4.

Усилитель напряжения работает на нагрузку, на мост Вина, на ООС.

$$U_{\text{вых.у}} = U_{\text{н ус. напр}} = \text{(В)}$$

Рассчитаем скорректированное значение сопротивления нагрузки двухкаскадного усилителя:

$$R_{\text{н ус. напр скоррект}} = R_{\text{ООС}} \parallel R_{\text{вх ЦВ min.}} \parallel R_{\text{н ус. напр}} \text{ (Ом)}$$

Определим ток в нагрузке:

$$I_{\text{H4}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{вых.ус.напр.}}}{R_{\text{н.ус.напр.скоррект}}} \text{ (А)}$$

Зададимся I_{Kmin4} и $U_{\text{КЭmin4}}$:

$$I_{\text{Kmin4}} = 0,2 \cdot I_{\text{H4}} + 2 \text{ (мА)}$$

$$U_{\text{КЭmin4}} = 0,2 \cdot U_{\text{вых.ус.напр}} + 2 \text{ (В)}$$

Определим I_{Kmax4} :

$$I_{\text{Kmax4}} = (2 \sim 5) \cdot (2 \cdot I_{\text{H4}} + I_{\text{Kmin4}}) \text{ (А)}$$

Определим λ_4 :

$$\lambda_4 = \frac{I_{\text{H4}} + I_{\text{Kmin4}}}{I_{\text{Kmax4}} - I_{\text{H4}}}$$

Определим напряжение питания:

$$\text{Зададимся } \gamma_4 = 0,05$$

$$E_K = 3 \cdot \frac{1}{1 - \gamma_4} \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{вых. ус. напр.}} + U_{KЭ \min 4} \cdot (1 - \lambda_4)}{1 - \lambda_4} \quad (\text{В})$$

Принимаем $E_K =$ (В)

Пересчитаем γ_4

$$\gamma_4 = 1 - \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{вых. ус. напр.}} + U_{KЭ \min 4} \cdot (1 - \lambda_4)}{(1 - \lambda_4) E_K}$$

Определяем значение сопротивления резистора в цепи коллектора транзистора VT4:

$$R_{16} = \frac{(1 - \gamma_4) \cdot E_K - U_{KЭ \min 4}}{I_{K \max 4} - I_{H4}} \quad (\text{Ом})$$

Принимаем $R_{16} =$ (Ом)

Определим падение напряжения на резисторе R_{17} и величину напряжения, до которого зарядится конденсатор C_{20} :

$$U_{R17} = E_K \cdot \gamma_4 \quad (\text{В})$$

$$U_{C20} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{вых. у.}} + U_{KЭ \min 4} + U_{R17} \quad (\text{В})$$

Определим покой транзистора VT4 - $I_{П4}$:

$$I_{П4} = \frac{E_K - U_{C20}}{R_{16}} \quad (\text{мА})$$

Определим напряжение на участке коллектор-эмиттер транзистора VT4 - $U_{KЭ4}$:

$$U_{KЭ4} = E_K - (I_{П4} + I_{K \min 4}) \cdot R_{16} - U_{R17} \quad (\text{В})$$

Определим допустимую мощность, рассеиваемую на транзисторе VT4:

$$P_{K \text{ доп}} = I_{П4} \cdot U_{KЭ4} \quad (\text{Вт})$$

Выбираем транзистор VT4, соответствующий по мощности (должна не менее чем в два раза превышать расчетную $P_{K \text{ доп}}$), напряжению на участке коллектор – эмиттер (должно быть больше, чем рассчитанное), основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	$U_{KЭ \text{ доп}}$, В	$I_{K \max}$, А	$\beta_{\min}$ или $h_{21 \text{ оэ}}$	I_{K0} , мА
VT4							

Так как значение I_{K0} сильно отличается от $I_{K \min 4}$, то произведем перерасчет с учетом того, что $I_{K \min 4} = I_{K0} = 30 \text{ мкА}$

Определим максимальный ток коллектора транзистора VT4 - $I_{K \max 4}$:

$$I_{K \max 4} = (2 \sim 5) \cdot (2 \cdot I_{H4} + I_{K \min 4}) \quad (\text{мА})$$

Определим ток базы транзистора VT4:

$$I_{Б4} = \frac{I_{П4}}{\beta_4} \quad (\text{мА})$$

Определим резистор в цепи эмиттера:

$$R_{17} = \frac{U_{R17}}{I_{\bar{e}4} + I_{п4}} \text{ (Ом)} \text{ По ряду E24 принимаем } R_{17} = \text{Ом.}$$

Определим ток делителя:

$$I_D = (2 \sim 5) \cdot I_{B4} \text{ (мА)}$$

Определим значения сопротивлений резисторов делителя базы:

$$U_{R16} = R_{16} \cdot (I_{\bar{e}4} + I_{K04}) \text{ (В)}$$

$$R_{14} = \frac{U_{K\bar{e}4} - U_{B\bar{e}4} + U_{R16}}{I_{\bar{e}4} + I_D} \text{ (Ом)}$$

Принимаем $R_{14} = \text{(Ом)}$

$$U_{B\bar{e}4} = U_{K\bar{e}4} + U_{R16} - R_{14} \cdot (I_{\bar{e}4} + I_D) \text{ (В)}$$

$$R_{15} = \frac{E_K - R_{14}(I_{\bar{e}4} + I_D)}{I_{K04} + I_D} \text{ (Ом)}$$

Принимаем $R_{15} = \text{(Ом)}$

$$I_{R15} = I_{K04} + I_D \text{ (А)}$$

Определим значение емкости конденсатора в цепи эмиттера:

$$C_{19} = \frac{(10 \sim 20)}{\omega_n \cdot R_{17}} \text{ (Ф)}$$

Принимаем $C_{19} = \text{(мкФ)}$

Определим коэффициент усиления каскада на транзисторе VT4:

$$K_4 = \frac{R_{K\sim 4} \cdot \beta_4}{r_{\bar{e}4} + r_{\bar{e}4} \cdot (1 + \beta_4)},$$

где значение сопротивления в области базы примем $r_{B4} = 400 \text{ (Ом)}$.

$$r_{\bar{e}4} = \frac{0,025}{I_{п4} + I_{\bar{e}4}} \text{ (Ом)}$$

$$R_{K\sim 4} = R_{H4} \parallel R_{16} \text{ (Ом)}$$

Определим входное и выходное сопротивления каскада на транзисторе VT4:

$$R_{BX4} = R_{14} \parallel R_{15} \parallel (r_{B4} + r_{\bar{e}4} \cdot (1 + \beta_4)) \text{ (Ом)}$$

$$r_{K4} = \frac{U_{K\bar{e}4}}{I_{п4}} - r_{\bar{e}4} \text{ (Ом)}$$

$$R_{ВЫХ4} = r_{K4} \parallel R_{16} \text{ (Ом)}$$

Определим входное напряжение каскада на транзисторе VT4:

$$U_{BX4} = \frac{U_{\text{вых. ус. напр.}}}{K_4} \text{ (В)}$$

Рассчитаем элементы, относящиеся к усилительному каскаду на транзисторе VT3.

$$U_{\text{вых.ус.на VT3.}} = U_{\text{BX4}} \text{ (В)}$$

$$R_{\text{н.ус.на VT3}} = R_{\text{BX4}} \text{ (Ом)}$$

Определим ток в нагрузке:

$$I_{\text{H3}} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{\text{вых.ус.на VT3.}}}{R_{\text{н.ус.на VT3}}} \text{ (мА)}$$

Зададимся значениями тока и напряжения I_{Kmin3} и $U_{\text{КЭmin3}}$:

$$I_{\text{Kmin3}} = 0,2 \cdot I_{\text{H4}} + 2 \text{ (мА)}$$

$$U_{\text{КЭmin3}} = 0,2 \cdot U_{\text{вых.ус.на VT3.}} + 2 \text{ (В)}$$

Определим максимальное значение тока коллектора транзистора VT3 - I_{Kmax3} :

$$I_{\text{Kmax3}} = (2 \sim 5) \cdot (2 \cdot I_{\text{H3}} + I_{\text{Kmin3}}) \text{ (мА)}$$

Определим величину γ_3 :

$$\gamma_3 = \frac{U_{\text{R12}}}{E_{\text{К}}}$$

Определяем значение сопротивления резистора в цепи коллектора транзистора VT3:

$$R_{11} = \frac{(1 + \gamma_3) \cdot E_{\text{К}} - U_{\text{КЭmin3}}}{I_{\text{Kmax3}} - I_{\text{H3}}} \text{ (Ом)}$$

Принимаем $R_{11} = \text{(Ом)}$

Определим падение напряжения на разделительном конденсаторе C_{17} :

$$U_{\text{C17}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{вых.ус.на VT3.}} + U_{\text{КЭmin3}} + U_{\text{R12}} \text{ (В)}$$

Определим ток покоя транзистора VT3 $I_{\text{П3}}$:

$$I_{\text{П3}} = \frac{E_{\text{К}} - U_{\text{C17}}}{R_{11}} \text{ (мА)}$$

Определим значения напряжения на участке коллектор-эмиттер транзистора VT3:

$$U_{\text{КЭ3}} = E_{\text{К}} - (I_{\text{П3}} + I_{\text{Kmin3}}) \cdot R_{11} - U_{\text{R12}} \text{ (В)}$$

Определим допустимую мощность, рассеиваемую на транзисторе VT3:

$$P_{\text{КДОП}} = I_{\text{П3}} \cdot U_{\text{КЭ3}} \text{ (Вт)}$$

Выбираем транзистор VT3, в соответствии с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	P, Вт	U _{кэ} доп, В	I _{кmax} , А	β _{min} или h _{21оэ}	I _{к0} , мА
VT3							

Определим ток базы транзистора VT3:

$$I_{\text{б3}} = \frac{I_{\text{п3}}}{\beta_3} \text{ (мА)}$$

Определим значение сопротивления резистора в цепи эмиттера:

$$R_{12} = \frac{U_{R12}}{I_{\text{б3}} + I_{\text{п3}}} \text{ (Ом)}$$

По ряду E24 принимаем R₁₂= (Ом)

Определим ток делителя:

$$I_{\text{д}} = (2 \sim 5) \cdot I_{\text{б3}} \text{ (мА)}$$

Определим значение сопротивлений резисторов делителя базы:

$$U_{R11} = R_{11} \cdot (I_{\text{б3}} + I_{\text{к03}}) \text{ (В)}$$

$$R_{10} = \frac{U_{\text{кэ3}} - U_{\text{бэ3}} + U_{R11}}{I_{\text{б3}} + I_{\text{д}}} \text{ (Ом)}$$

Принимаем R₁₀= (Ом)

$$U_{\text{бэ3}} = U_{\text{кэ3}} + U_{R11} - R_{10} \cdot (I_{\text{б3}} + I_{\text{д}}) \text{ (В)}$$

$$R_9 = \frac{E_{\text{к}} - R_{10}(I_{\text{б3}} + I_{\text{д}})}{I_{\text{к03}} + I_{\text{д}}} \text{ (Ом)}$$

Принимаем R₉= (Ом)

$$I_{R9} = I_{\text{к03}} + I_{\text{д}} \text{ (А)}$$

Определим значение емкости конденсатора в цепи эмиттера :

$$C_{16} = \frac{10}{\omega_{\text{н}} \cdot R_{\text{л}}} = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{н}} \cdot R_{\text{л}}} \text{ (Ф)}$$

Принимаем C₁₆ = (Ф) в соответствии с рядом E6 или E24

Определим коэффициент усиления каскада (без ООС) на транзисторе VT3:

$$K_3 = \frac{R_{\text{к3}} \cdot \beta_3}{r_{\text{б3}} + r_{\text{э3}} \cdot (1 + \beta_3)}$$

где: r_{б3} = 400 (Ом)

$$r_{\text{э3}} = \frac{25}{I_{\text{п3}} + I_{\text{б3}}} \text{ (Ом)}$$

$$R_{\text{к3}} = R_{\text{н3}} \parallel R_{11} \text{ (Ом)}$$

Определим входное сопротивление каскада на транзисторе VT3:

$$R_{BX3} = R_{10} \parallel R_9 \parallel (r_{\epsilon3} + r_{\epsilon3} (1 + \beta_3)) \text{ (Ом)}$$

Определим выходное сопротивление каскада на транзисторе VT3:

$$r_{K3} = \frac{U_{KЭ3}}{I_{П3}} - r_{\epsilon3} \text{ (Ом)}$$

$$R_{ВЫХ4} = r_{K3} \parallel R_{11} \text{ (Ом)}$$

Определим общий коэффициент усиления каскадов:

$$K = K_3 \cdot K_4$$

Определим входное напряжение предварительного усилителя:

$$U_{BX.V} = \frac{U_{н.ус.напр}}{K_{оос}} \text{ (В)}$$

3.4 Эмиттерный повторитель №1 на транзисторах VT2, VT1

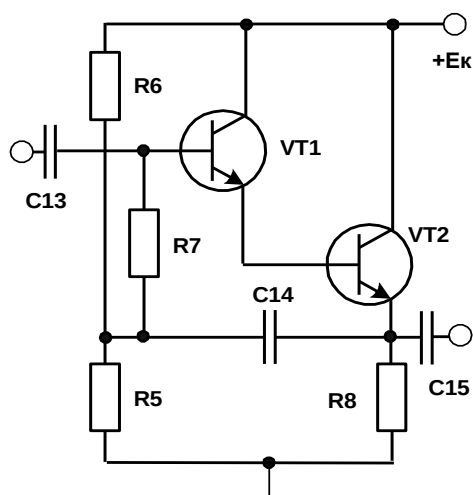


Рис.4 Принципиальная электрическая схема эмиттерного повторителя №1 на транзисторах VT2, VT1

Нагрузкой этого эмиттерного повторителя является предварительный усилитель, поэтому:

$$U_H = U_{BX.Y} = \textbf{(В)}$$

$$R_H = R_{BX.3} = \textbf{(Ом)}$$

Примем значение тока покоя транзистора VT2 равным 5 мА

$$I_{П2} = 5 \textbf{ (мА)}$$

Примем значение максимального напряжения на участке коллектор-эмиттер равным 20 В, тогда минимальное значение этого напряжения составит:

$$U_{KЭ2min} = 0,1 \cdot U_{KЭ2max} = 2 \textbf{ (В)}$$

Рассчитаем значение напряжения $U_{KЭ2}$:

$$U_{KЭ2} = U_H + U_{KЭ2min} \textbf{ (В)}$$

Определим мощность, рассеиваемую на коллекторе транзистора VT2:

$$P_{Kдоп2} = U_{KЭ2} \cdot I_{П2} \textbf{ (Вт)}$$

Определим напряжение источника питания:

$$E_k = 3 \cdot U_{KЭ2} \textbf{ (В)}$$

Примем $E_k =$ по ряду E24 или ряду значений напряжений источников питания(В)

Выбираем транзисторы VT1, VT2, в соответствии с полученными параметрами, основные характеристики сводим в таблицу вида:

	Модель	Тип	$P_{K доп},$ Вт	$U_{KЭ доп},$ В	$I_{kmax},$ А	β_{min} или h_{2103}	$C_k,$ пФ	$I_{ko},$ мА
VT1								
VT2								

Определим ток базы транзистора VT2:

$$I_{\delta 2} = \frac{I_{\Pi 2}}{\beta_2} \quad (\text{мА})$$

Определим ток базы и ток покоя транзистора VT1:

По графику зависимости β от тока эмиттера определяем, что $\beta_1 \approx 7,5$.

$$I_{\delta 1} = \frac{I_{\delta 2}}{1 + \beta_1} = (\text{А})$$

$$I_{\Pi 1} = \beta_1 \cdot I_{\delta 1} (\text{А})$$

Примем значение тока делителя равным: $I_{\Delta} = 10 \cdot I_{\delta 1} (\text{А})$

Определим значение сопротивления резистора в цепи эмиттера транзистора VT2:

$$I_{R8} = I_{\delta 2} + I_{\Pi 2} (\text{А})$$

$$R_8 = \frac{E_K - U_{KЭ2}}{I_{R8}} (\text{Ом})$$

Принимаем $R_8 = (\text{Ом})$ в соответствии с рядом E24

$$U_{KЭ2} = E_K - R_8 \cdot I_{R8} (\text{В})$$

$$U_{R8} = R_8 \cdot I_{R8} (\text{В})$$

Примем значение сопротивления резистора $R_7 = 6200 \text{ Ом}$:

Тогда:

$$I_{R7} = I_{\delta 1} (\text{А})$$

$$U_{R7} = R_7 \cdot I_{R7} (\text{В})$$

Определим значение сопротивлений резисторов в цепи делителя:

$$I_{R5} = I_{\Delta} (\text{А})$$

$$R_5 = \frac{U_{R7} + U_{R8} + U_{БЭ4}}{I_{R5}} (\text{Ом})$$

Принимаем $R_5 = (\text{Ом})$

$$U_{R5} = R_5 \cdot I_{R5} (\text{В})$$

$$U_{БЭ1} = \frac{U_{R5} - (U_{R7} + U_{R8})}{2} (\text{В})$$

$$I_{R6} = I_{\Delta} + I_{\delta 1} (\text{А})$$

$$R_6 = \frac{E_K - U_{R7}}{I_{R6}} (\text{Ом})$$

Принимаем $R_6 = (\text{Ом})$

Будем вести расчет эмиттерного повторителя по переменному току:

Определим эквивалентное сопротивление эмиттера $R_{Э\sim}$:

$$R_{\mathcal{O}} = R_H \parallel R_5 \parallel R_6 \parallel R_8 \text{ (Ом)}$$

Определим коэффициент передачи повторителя:

$$r_{\mathcal{O}2} = \frac{0,025}{I_{\Pi2} + I_{\mathcal{O}2}} \text{ (Ом)}$$

$$K_n = \frac{R_{\mathcal{O}}}{r_{\mathcal{O}2} + R_{\mathcal{O}}}.$$

Определим входное сопротивление повторителя:

$$R_{BX.\Pi} = (R_{\mathcal{O}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2) \parallel \frac{R_7}{1 - K_n} \text{ (Ом)}$$

Определим выходное сопротивление повторителя:

$$R_{ВЫХ.\Pi} = r_{\mathcal{O}2} \text{ (Ом)}$$

Определим значение емкости конденсатора C_{14} :

$$C_{14} = \frac{20}{\omega_n \cdot R_6 \parallel R_5} = \frac{20}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot R_6 \parallel R_5} \text{ (Ф)}$$

Примем $C_{14} = \text{(Ф)}$ в соответствии с рядом Е6 или Е24.

Определим входное напряжение повторителя:

$$U_{BX.\Pi} = \frac{U_{ВЫХ.\Pi}}{K_{\Pi}} \text{ (В)}$$

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	СПЗ-30-0,125

Конденсаторы:

Позиционное обозначение	C, мкФ	U, В	U _{МАХ} , В	Тип
C1*	0,043	0,655	25	K10-17

Транзисторы:

Позиционное обозначение	U _{бэ} , В	U _{кэ} , 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

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

4. Примерные нормы времени на выполнение работы

Нормы времени на выполнение курсового проекта приведены в таблице:

Вид работы	Расчет	Работа со справочными материалами	Оформление	Работа с преподавателем
Расчет автогенератора с мостом Вина	1ч	0,25ч	1ч	-
Составление карты режимов	-	0,25ч	-	-
Составление спецификации	-	-	-	-
Проработка теоретической части	-	-	-	-
Защита	-	-	-	0,5 ч
Итого:	1ч	0,5ч	1ч	0,5ч

5. Требования к оформлению проекта

Оформление курсового проекта производится согласно ГОСТ 7.32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». Пример оформления титульного листа приведен в приложении Б. Оформление карты режимов и спецификаций приведены на страницах 22 и 23 данных методических указаний.

6. Порядок защиты проекта, критерии оценки

В начале сессии выдается задание на курсовой проект, в течение сессии студенты выполняют расчет, 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 демонстрируют проведенные в программе Multisim NI практические исследования (построенную схему с эмуляцией процесса). После проверки правильности оформления и расчета и работы схемы в программе Multisim NI обучающиеся отвечают на вопросы по работе спроектированного устройства.

7. Список рекомендуемой литературы.

1. Водовозов, А. М. Основы электроники: учебное пособие / Водовозов А. М. - Москва: Инфра-Инженерия, 2016. - 140 с.
2. Гудков С.А. Устройства генерирования и формирования сигналов [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.А. Гудков, А.А. Потудинский.- Самара : Издательство СГАУ, 2013 – 75 с.
3. Иванов, В. Н. Применение компьютерных технологий при проектировании электрических схем / В. Н. Иванов. - Москва: СОЛОН-Пресс, 2019. - 226 с. - ЭБС "IPR BOOKS".
4. Москатов Е. А. Справочник по полупроводниковым приборам. Издание 2 [Текст]: справочник / Е. А. Москатов – 2-е изд. – Таганрог. – 219 с.
6. Партала О.Н. Радиокomпоненты и материалы [Текст]: справочник / О.Н. Партала.- Москва : Издательство «Радюаматор», 1998 – 365 с.
5. Пыжевский, А. М. Справочник по полупроводниковым приборам и их аналогам [Текст]: справочник / А. М. Пыжевский.- Москва : Издательство АО «РОБИ», 1992 – 316 с.

Содержание курсового проекта

Содержание

1. Техническое задание
2. Возможная область применения автогенератора
3. Выбор блок-схемы
4. Расчет цепи Вина
5. Расчет отрицательной нелинейной обратной связи
6. Расчет предварительного усилителя на транзисторах VT3-VT4
7. Расчет повторителя на транзисторах VT1, VT2
8. Карты режимов
9. Спецификация элементов
10. Технология производства и изготовления печатных и монтажных плат
11. Список использованных источников

Пример титульного листа

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

Институт геологии и нефтегазодобычи
Кафедра «Кибернетических систем»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовому проекту (работе)
по дисциплине «Электроника и цифровая схемотехника» или
«Цифровая схемотехника»
на тему «Расчет усилителя мощности»
или
на тему «Расчет автогенератора с мостом Вина»

вариант ☐☐☐☐

Выполнил:
студент группы УТСбз-20
Иванов Н.А.
Проверила:
Ст. преподаватель каф. КС
Сидорова А. Э.

Дата защиты _____

Оценка _____

Тюмень 2024

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
ЦИФРОВАЯ СХЕМТЕХНИКА**

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

Составитель
СИДОРОВА Анастасия Эдуардовна
В авторской редакции

Ответственный редактор
Кузяков О. Н., д.т.н., профессор

Подписано в печать Формат 60х90 1/16. Усл. печ. л.1,6.
Тираж 35 экз. Заказ № .

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

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