

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 24.09.2024 10:54:44  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb43a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего профессионального образования**  
**«Юго-Западный государственный университет»**  
**(ЮЗГУ)**

**Кафедра электроснабжения**

**УТВЕРЖДАЮ**



**ЭЛЕКТРОНИКА**  
**РАСЧЁТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ**

Методические указания к выполнению расчётной работы  
по электронике

УДК 621.38

Составители: А.С Романченко, О.В. Лобова.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *В.Н. Алябьев*

**Электроника. Расчёт предварительного усилителя:** методические указания к выполнению расчётной работы по электронике / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.С Романченко, О.В. Лобова. Курск, 2015. 12с.: ил. 2. Библиогр.: с. 12.

Излагаются задания и методические указания к выполнению расчётной работы «Расчёт предварительного усилителя» по курсу «Электроника». Целью работы является развитие навыков по анализу и расчету электронных схем, закреплению теоретических знаний.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 140400.62 Электроэнергетика и электротехника и могут быть полезны для студентов неэлектротехнических направлений подготовки и специальностей по дисциплине «Электротехника и электроника».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью расчетной работы, как одной из форм самостоятельной работы студентов, является развитие умений и навыков по расчету и анализу электронных схем, оформлению графической части, а также стимулирование студентов к более глубокому изучению дисциплины в течение семестра.

## 2. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РАСЧЁТНОЙ РАБОТЫ

Задание на работу выполняется в соответствии с приложением 1. Задание на выполнение работы брошюруется в папке текстовых документов сразу после титульного листа и включается в нумерацию листов.

Пояснительная записка должна содержать: титульный лист; задание на расчётную работу; содержание; введение; расчетную часть в соответствии с утвержденным заданием; заключение; список использованных источников; приложение - при необходимости.

Титульный лист должен быть выполнен в соответствии с приложением 2. Перенос слов на титульном листе и в заголовках по тексту не разрешается. Точка в конце заголовка не ставится.

Текст должен быть написан аккуратно от руки, чернилами (пастой) одного цвета (черного, синего, фиолетового), или набран в текстовом редакторе MS WORD шрифтом «Times New Roman» размером 14 пт с одинарным интервалом, выравнивание по ширине. Поля с левой стороны листа, сверху и снизу – 2 см, с правой стороны – 1 см. Абзацный отступ – 1,5 см.

Для набора формул и переменных следует использовать редактор формул MathType версии 5.2 и выше с размерами: обычный – 12 пт; крупный индекс 7 пт, мелкий индекс – 5 пт; крупный символ – 18 пт; мелкий символ – 12 пт.

Слова, выполненные на отдельной строке прописными буквами (“СОДЕРЖАНИЕ”, “ВВЕДЕНИЕ”, “ЗАКЛЮЧЕНИЕ” и т.д.), должны служить заголовками соответствующих разделов и не нумеруются.

Библиографические списки оформляются в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 "Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления"

### 3. ЗАДАНИЯ НА РАСЧЁТНУЮ РАБОТУ

3.1. Необходимо рассчитать 2-х каскадный предварительный усилитель, собранный по схеме рис 3.1.

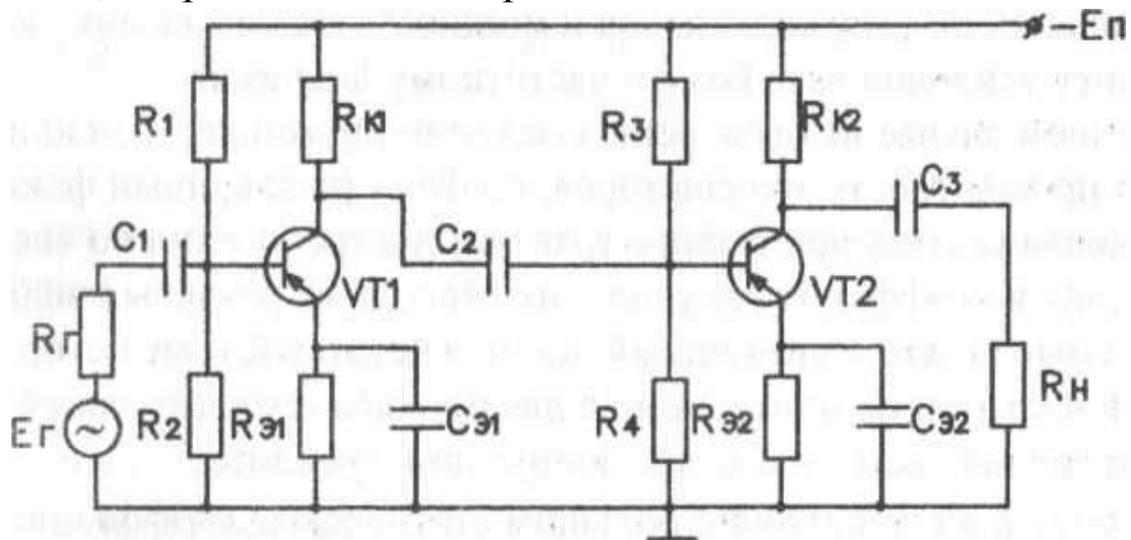


Рис.3.1

3.2. Исходные данные для расчета каждый студент определяет в соответствии со своим учебным шифром, а именно: числовые значения  $K_U$  и  $R_{Г-}$  по последней цифре шифра из таблицы 3.1., а значение  $R_{Н-}$  по предпоследней цифре шифра из таблицы 3.2.

Таблица 3.1

Последняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Значение $K_U$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Значение $R_{Г}(\text{Ом})$	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100

Таблица 3.2

Предпоследняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Значение $R_{Н}(\text{кОм})$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	3

## 4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

### 4.1. Выбор типа транзистора

Выбор транзистора основывается главным образом на требованиях задания по току коллектора и мощности на коллекторе, коэффициенту усиления тока базы и частотному диапазону.

В нашем случае не оговорены в задании ни мощность усилителя, ни тип проводимости транзисторов, поэтому решающими факторами должны стать при выборе транзистора требования по частотному диапазону и коэффициенту усиления. Исходя из реальных величин, имеет смысл взять маломощный высокочастотный транзистор с граничной частотой не менее, чем на два порядка превосходящей значение верхней частоты полосы пропускания усилителя ( т.е.  $f_T > 100 \cdot f_B$ ), и с достаточно большим статическим коэффициентом усиления тока базы ( $\beta > 25$  ).

### 4.2. Расчет по постоянному току

Расчет по постоянному току (или режима покоя) усилителя удобнее всего вести с использованием статических входных и выходных характеристик выбранного транзистора, т.е. графоаналитическим методом, использующим как графические построения, так и расчетные соотношения.

Выбирается напряжение источника питания схемы  $E_K < U_{KЭ, доп. транзистора}$ . Выбираем ток  $I_{K, м} < I_{K, доп}$  так, чтобы  $P_K < P_{K, доп}$ .

На выходных характеристиках строится нагрузочная прямая по постоянному току на основе выражения  $E_K = U_{KЭ} + I_K (R_K + R_э)$  по двум точкам:

$$\text{при} \quad \begin{cases} I_K = 0 \text{ получаем} & U_{KЭ} = E_K \\ U_{KЭ} = 0 \text{ тогда} & I_K = \frac{E_K}{R_K + R_э} \end{cases}$$

где  $U_{KЭ}$  - напряжение между коллектором и эмиттером;

$I_K$  – коллекторный ток.

Первая точка нами определена, т.к.  $E_K$  уже выбрано. Вторая точка при неизвестных  $R_K$  и  $R_э$  выбирается так, чтобы максимально использовать рабочую область в смысле получения наибольшего усиления при сохранении линейности.

На рис. 4.1.а) пример построения нагрузочной прямой. Она показана сплошной линией, проходящей через точку покоя П. Точки пересечения нагрузочной прямой с выходными характери-

ками соответствуют возможным значениям режима покоя.

Из рис. 4.1.а) видно, что возможный диапазон перемещения рабочей точки без перехода в зоны насыщения и ограничения определяется характеристиками, соответствующими току базы  $I_B$  от 0,1 мА до 0,5 мА.

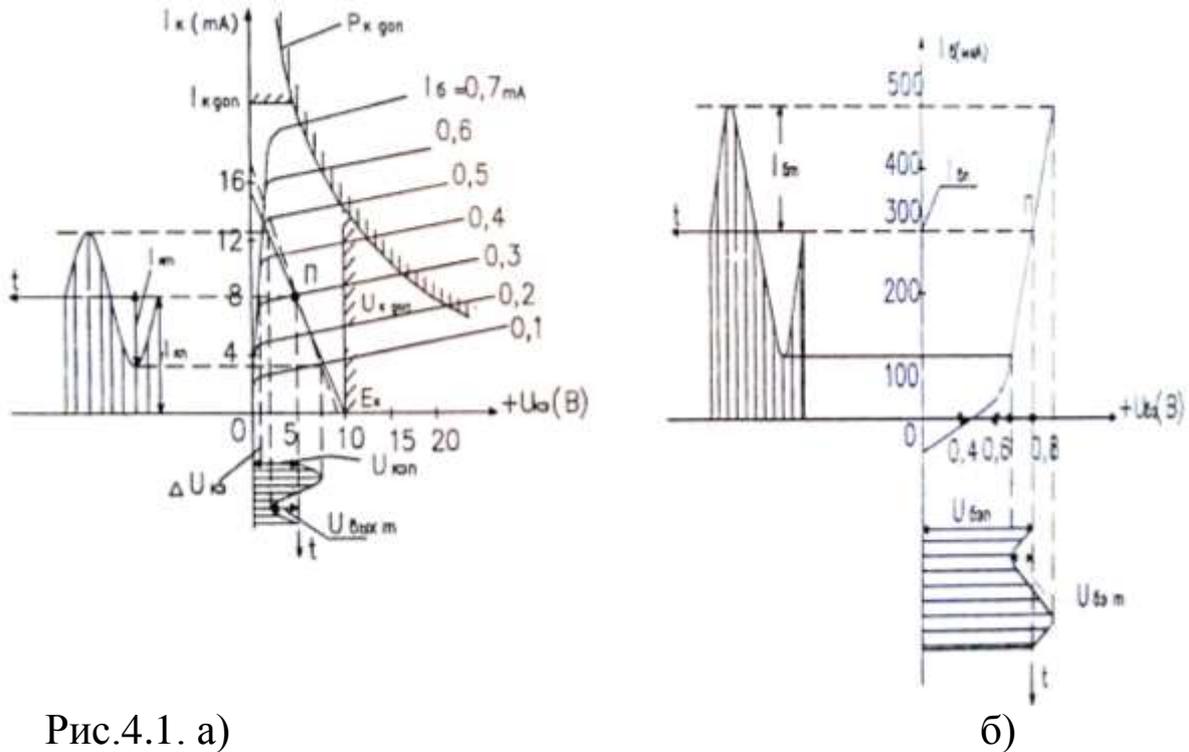


Рис.4.1. а)

б)

С целью обеспечения линейного режима усиления необходимо точку покоя П выбрать в середине указанного диапазона, т. е. как на рис.4.1.а). Ей соответствуют ток базы покоя  $I_{БП}$ , ток коллектора покоя  $I_{КП}$  и напряжение покоя на коллекторе  $U_{КЭП}$ .

Далее по входным характеристикам выбираем  $U_{БЭП}$  и соответствующий ему ток  $I_{БП}$ .

Сопротивления цепей термостабилизации  $R_{31}$  и  $R_{32}$  получим, предполагая, что  $U_{ЭП} = I_K R_3 = (0,1 \div 0,3) E_K$ , т. е.

$$R_{31} = R_{32} = \frac{U_{ЭП}}{I_{КП}}$$

Сопротивления делителя  $R_1$ ,  $R_2$  найдем из допущений, что  $I_D = (2 \div 5) I_{БП}$ , где  $I_D$  - ток делителя.

Тогда:

$$R_1 = \frac{E_K - U_{ЭП} - U_{БЭП}}{I_D + I_{БП}} \quad R_2 = \frac{U_{ЭП} + U_{БЭП}}{I_D}$$

$$R_3 = R_1, \quad \text{а } R_4 = R_2$$

Нагрузочные сопротивления в цепи коллектора получают по

$$R_{K1} = \frac{E_K}{I_{Km}} - R_{Э1}; \quad R_{K2} = R_{K1}$$

выражению:

#### 4.3. Расчет по переменному току

В расчете по переменному току нас прежде всего интересует полоса пропускания усилителя и коэффициент усиления в области средних частот.

Из задания вытекает, что  $M_H = 1,41$  на частоте  $f_H = 100$  Гц. Распределим низкочастотные искажения между тремя разделительными и двумя блокирующими конденсаторами, к примеру, следующим образом:  $M_{HC1} = M_{HC2} = M_{HC3} = 1,02$ ;  $M_{HCэ1} = M_{HCэ2} = 1,15$  (можно взять и иные распределения).

Для определения значений  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  найдем предварительно входные сопротивления каскадов:

$$R_{BX1} = R_{BX2} = r_B + r_3(1 + \beta) = r_B + \frac{\varphi_T}{I_{ЭП}}(1 + \beta)$$

$r_B$  - дифференциальное сопротивление базы, которое можно найти по входным характеристикам через отношение приращений в точке покоя:

$$r_B = \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B},$$

$\varphi_T = 0,025$  В - тепловой потенциал при  $T = 300$ К;  $\beta$ - значение коэффициента усиления из справочника, уточненное после выбора режима покоя.

Влиянием сопротивлений делителя на  $R_{BX}$  можно пренебречь, т.к.  $R_1 // R_2 = R_3 // R_4 \gg R_{BX1} = R_{BX2}$ .

Сами разделительные емкости находятся по выражениям:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_H (R_{\Gamma} + R_{BX1}) \sqrt{M_{HC1}^2 - 1}};$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_H (R_{K1} + R_{BX2}) \sqrt{M_{HC2}^2 - 1}};$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_H (R_{K2} + R_H) \sqrt{M_{HC3}^2 - 1}};$$

Для нахождения величин блокирующих конденсаторов  $C_{Э1}$  и  $C_{Э2}$  определим сначала значения сопротивлений цепей их перезаряда:

$$R_{ВЫХ \ Э1} = r_{Э1} + \frac{R_{Г} + r_{Б1}}{1 + \beta};$$

$$R_{ВЫХ \ Э2} = r_{Э2} + \frac{R_{K1} + r_{Б2}}{1 + \beta}.$$

Емкости  $C_{Э1}$  и  $C_{Э2}$  найдем по выражениям:

$$C_{Э1} = \frac{1}{2\pi f_H R_{ВЫХ \ Э1} \sqrt{M_{HCЭ1}^2 - 1}};$$

$$C_{Э2} = \frac{1}{2\pi f_H R_{ВЫХ \ Э2} \sqrt{M_{HCЭ2}^2 - 1}}$$

Далее необходимо проверить правильность выбора типа транзистора с точки зрения обеспечения заданной верхней частоты полосы пропускания  $f_v = 500$  кГц. Значение граничной частоты берется из справочника, при отсутствии соответствующих данных можно считать для высокочастотных транзисторов  $f_T = 150$  МГц.

Постоянную времени, определяющую частотную зависимость  $\beta$ , найдем по выражению:

$$\tau_{\beta 1} = \frac{1 + \beta}{2\pi f_T}.$$

Постоянную времени, учитывающую емкость коллектора  $C_K$ , значение которой берется из справочника, определим так:

$$\tau_{e1} = \tau_{\beta 1} + C_{K1} (1 + \beta) \frac{R_{K1} * R_{ВХ2}}{R_{K1} + R_{ВХ2}}$$

Коэффициент  $\gamma_{Б1}$  находим по выражению

$$\gamma_{Б1} = \frac{r_{e1}}{r_{Э1} + r_{Б1} + R_{Г}}.$$

Результирующую постоянную времени для первого каскада, определяющую его частотную зависимость на верхних частотах, получим так

$$\tau_{B1} = \frac{\tau_{e1}}{1 + \gamma_{B1} * \beta_1}$$

Аналогично для второго каскада найдем:

$$\tau_{\beta 2} = \tau_{\beta 1} = \frac{1 + \beta}{2\pi f_T}; \quad \tau_{e2} = \tau_{\beta 2} + C_{K2}(1 + \beta_2)(R_{K2} // R_H);$$

$$\gamma_{B2} = \frac{r_{\Delta 2}}{r_{\Delta 2} + r_{B2} + R_{K1}};$$

$$\tau_{B2} = \frac{\tau_{e2}}{1 + \gamma_{B2} * \beta_2}.$$

Выбрав из полученных  $\tau_{B1}$  и  $\tau_{B2}$  большую, найдем значение  $f_B$  по выражению:

$$f_B = \frac{1}{2\pi\tau_B}$$

и делаем вывод о том, удовлетворит ли выбранный тип транзистора требованиям по  $f_B$ .

Если по частотным свойствам построенный усилитель удовлетворяет заданию, то проверяем значение коэффициента усиления в области средних частот:

$$K_{U1} = K_{U1} * K_{U2} = \frac{\beta_1(R_{K1} // R_{BX2})}{R_T + R_{BX1}} * \frac{\beta_2(R_{K2} // R_H)}{R_{BX2}}$$

#### 4.4. Заключение

В случае если результаты расчета удовлетворяют поставленным в задании условиям, то делаются выводы о запасе по частоте и коэффициенту усиления рассчитанного усилителя, о возможности использования других, более дешевых транзисторов, если этот запас значителен, или, наоборот, о необходимости сменить тип транзистора на иной - с большим коэффициентом усиления или большей граничной частотой.

Если результаты расчета не удовлетворяют заданным условиям, то необходимо проанализировать причины этого, и либо изменить режим работы транзисторов, либо сменить транзисторы, либо сделать то и другое.

## Библиографический список

1. Информационно-измерительная техника [Текст]: учебник / Г.Г. Раннев [и др]; под ред. Г. Г. Раннева - М.: Издательский центра «Академия», 2007.-512 с. ил.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника [Текст]: учебник/ Ю.С. Забродин . – 2-е изд. стер. – М.: Альянс, 2008. – 496с.
3. Изъюрова Г. И., Королев Г. . и др. Расчет электронных схем - М.: Высш. шк., 1987.-335с
4. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам / Под общ. ред. Н.Н.Горюнова. - М.: Энергия, 977. - 744 с.

**Приложение 1**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное  
 учреждение высшего профессионального образования  
 «Юго-Западный государственный университет»  
 (ЮЗГУ)  
 Кафедра электроснабжения

**ЗАДАНИЕ НА РАСЧЁТНУЮ РАБОТУ**

Студент \_\_\_\_\_ шифр \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

Тема: Расчет предварительного усилителя

Срок представления работы к защите «20 г.

Исходные данные

Рассчитать 2-х каскадный предварительный усилитель с РСсвязью, собранный по схеме, показанной на рис., на высокочастотных маломощных транзисторах, обеспечивающий следующие параметры:

$K_U > \dots$ ;  $f_H < 100 \text{ Гц}$ ;  $f_B < 500 \text{ кГц}$ ;  $R_{Г} = \dots \text{ Ом}$ ;  $R_{Н} = \dots \text{ кОм}$

Содержание пояснительной записки расчётной работы :

1. Титульный лист;
2. Задание;
3. Содержание;
4. Введение;
5. Расчётная часть в соответствии с заданием;
6. Заключение;
7. Список использованных источников;

Руководитель работы \_\_\_\_\_  
подпись, дата                      инициалы, фамилия

Задание принял \_\_\_\_\_  
подпись, дата                      инициалы, фамилия

