

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В. М. Саюн, А. В. Топор

АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания
по выполнению самостоятельных работ

Томск
2023

УДК 621.382.2(382.3)
ББК 32.85
С22

Рецензент:

Савчук В. Л., доцент кафедры промышленной электроники ТУСУР,
канд. техн. наук

Саюн, Владимир Михайлович

С22 Аналоговая электроника : методические указания по выполнению самостоятельных работ / В. М. Саюн., А. В. Топор – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 20 с.

Настоящие методические указания составлены для студентов технических университетов.

Одобрено на заседании каф. ПрЭ, протокол № 23 от 05.10.2023.

УДК 621.382.2(382.3)
ББК 32.85

© Топор А. В., Саюн В. М., 2023
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Контрольная работа № 1 «Параметрический стабилизатора напряжения»	5
Контрольная работа № 2 «Три режима работы транзистора»	7
Контрольная работа № 3 «Усилительный каскад с ОЭ (усилитель низких частот). Порядок расчета»	10
Контрольная работа № 4 «Расчет схемы усилителя на операционном усилителе»	15
Приложение А Образец титульного листа	20

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания для организации самостоятельной работы содержат методику и порядок расчета контрольных работ по ключевым темам дисциплины. Контрольные работы выполняются во время проведения практических занятий или выдаются в виде домашних заданий. Цель контрольных работ состоит в закреплении теоретического материала, излагаемого на лекциях.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1 «ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ»

Схема параметрического стабилизатора напряжения на основе стабилитрона приведена на рис. 1.1.

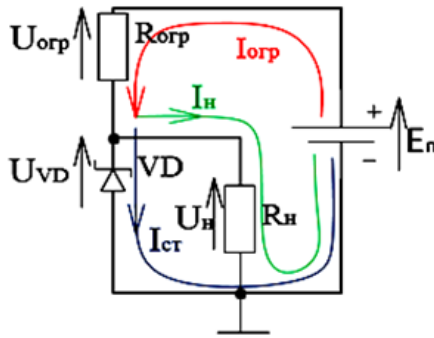


Рисунок 1.1 – Схема параметрического стабилизатора напряжения на основе стабилитрона

Рассмотрим порядок расчета параметрического стабилизатора напряжения на основе стабилитрона.

Дано: $E_n = 7 \text{ В}$. $U_n = 5,6 \text{ В}$, $R_n = 1 \text{ Ком}$.

Решение:

Вольтамперная характеристика (ВАХ) стабилитрона приведена на рисунке 1.2. У идеального стабилитрона напряжение стабилизации $U_{ст}$ имеет вертикальную линию. У реального – с небольшим наклоном.

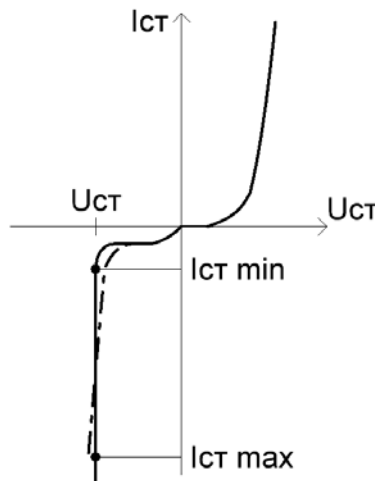


Рисунок 1.2 – ВАХ стабилитрона

1. Выбираем стабилитрон VD типа 2С101Г с характеристиками:

$$U_{ст} = 5,6 \text{ В};$$

$$I_{ст \text{ min}} = 1 \text{ мА};$$

$$I_{ст \text{ max}} = 18 \text{ мА};$$

2. Запишем уравнения Кирхгофа:

$$\begin{aligned}I_{огр} &= I_{ст} + I_{н}; \\E_{п} &= U_{огр} + U_{н}; \\E_{п} &= U_{огр} + U_{ст}.\end{aligned}$$

3. Выберем ток стабилитрона из условия:

$$\begin{aligned}I_{ст\ min} < I_{ст} < I_{ст\ max} \\I_{ст} &= 15\ \text{мА};\end{aligned}$$

4. Расчет сопротивления $R_{огр}$. Определяем расчетное значение, выбираем номинал из ряда E24, рассчитываем мощность, выбираем тип резистора и формируем запись резистора по ГОСТУ для перечня элементов

$$R_{огр} = \frac{U_{огр}}{I_{огр}} = \frac{(E_{п} - U_{ст})}{(I_{н} + I_{ст})} = \frac{(E_{п} - U_{ст})}{I_{ст}}.$$

Ток ограничительного сопротивления $I_{огр} = I_{ст} + I_{н}$.

На первом этапе зададим ток нагрузки на порядок меньше тока стабилитрона (на порядок – это в 10 и более раз) $I_{н} \ll I_{ст}$. То есть $R_{н} \gg 1\ \text{кОм}$.

Тогда $I_{огр} \approx I_{ст}$.

4.1. Определяем расчетное значение $R_{огр}$:

$$R_{огр} = \frac{(7 - 5,6)}{15 \cdot 10^{-3}} = 93,3\ \text{Ом}.$$

Выбираем ближайший номинал сопротивления $R_{огр} = 90\ \text{Ом}$ из ряда E24. Промышленность выпускает резисторы с номиналами, опираясь на ряды: E6, E12, E24, E48. На практике предпочтение отдают ряду E24 (24 номинала). Каждое значение номинала соответствует размерности Ом, кОм и МОм.

4.2. Мощность резистора:

Резисторы по мощности делятся на три класса:

4.2.1. Больше 2-3 Вт (силовая энергетика).

4.2.2. 2-1-0,5-0,25-0,125 Вт (навесные резисторы для электроники; стандартный ряд мощностей, выпускаемых промышленностью).

4.2.3. Меньше 0,125 (микрочипы).

Выберем навесные резисторы. Тогда

$$P = I^2 \cdot R_{огр} = (15 \cdot 10^{-3}\ \text{А})^2 \cdot 90\ \text{Ом} = 0,020\ \text{Вт},$$

Выбираем ближайшую мощность из ряда $P = 0,125\ \text{Вт}$.

4.3. Выбираем тип резистора – С2-33 для $R_{огр}$.

4.4. Типовая запись для перечня элементов

С2 – 33 0,125 – 90 Ом \pm 10%. ГОСТ.....

5. Сопротивление нагрузки $R_{н}$.

Так же определяем номинал, мощность, тип резистора и формируем типовую запись.

Например,

С2 – 33 0,125 – 10 кОм \pm 10%. ГОСТ.....

6. С учетом тока нагрузки ток через ограничительное сопротивление возрастет

$$I_{огр} = I_{ст} + I_{н}.$$

Тогда заново надо пересчитать сопротивления $R_{огр}$ и $R_{н}$.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2 «ТРИ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА»

На рисунке 2.1 приведена схема усилителя.

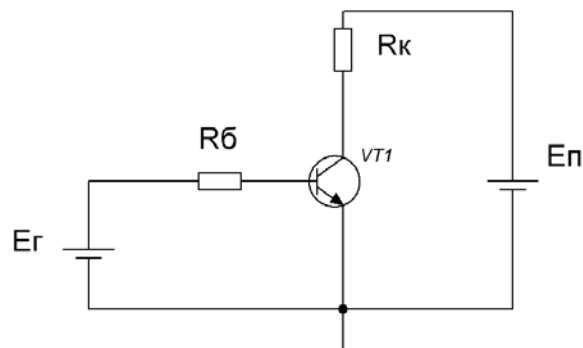


Рисунок 2.1 – Схема усилителя

Цель:

- изучить физические процессы схемы усилителя для трех режимов транзистора;
- рассчитать схему для каждого режима работы транзистора.

Примечание. Ниже приводятся: Варианты, Порядок оформления контрольной работы, Титульный лист (приложение).

В качестве методического материала использовать лекцию.

Варианты

№ п/п	Eг, В	Eп, В	Rк, Ом	Uн = Uкэ В для активного режима
1	3	10	100	4
2	3	20	100	15
3	3	30	330	20
4	3	40	390	30
5	3	50	510	40
6	3	60	620	40
7	3	70	1000	50
8	3	80	1800	60
9	3	90	2200	80
10	3	100	2200	90
11	4	110	2400	100
12	4	120	3300	100
13	4	130	2700	120
14	4	140	4300	130
15	4	150	4700	140
16	4	160	5100	140
17	4	170	4700	150
18	4	180	5600	160

№ п/п	Ег, В	Еп, В	Рк, Ом	Uн = Uкэ В для активного режима
19	4	190	7500	180
20	4	200	22 000	180
21	5	210	18 000	190
22	5	220	20 000	200
23	5	230	18 000	200
24	5	240	22 000	210
25	5	250	18 000	220
26	5	260	16 000	240
27	5	270	12 000	260
28	5	280	20 000	270
29	5	290	27 000	280
30	5	300	13 000	290
31	6	310	15 000	300
32	6	320	24 000	300
33	6	330	33 000	310

Порядок оформления контрольной работы

- Титульный лист (см. приложение А).
- Исходная схема.
- Дано: Ег , Еп, Рк, Uкэ для активного режима (по вариантам).

Решение

1. На схеме указать направление токов, источников Ег и Еп, векторов падения напряжения.
2. Составить уравнения Кирхгофа по напряжению и току для входной и выходной цепи.
3. Привести ВАХ транзистора, построить нагрузочную прямую по постоянному току, указать положение рабочей точки для трех режимов.

4. Расчет схемы для режима отсечки.

4.1. Составить схему замещения коллекторной цепи.

Указать:

4.2. Ток Iбэ.

4.3. Ток Iкэ.

4.4. Напряжение Uкэ.

4.5. Сопротивление транзистора Rкэ.

В режиме отсечки к транзистору прикладывается максимальное напряжение Uкэ.

5. Расчет схемы для режима насыщения.

Режим насыщения для транзистора более тяжелый по сравнению с активным. В режиме насыщения Iкэ максимальный. Поэтому транзистор выбираем в этом режиме.

5.0 Условие насыщения транзистора $I_{бэ} = \frac{E_{п}}{R_{к}} K_{нас}$.

5.1 Составить схему замещения коллекторной цепи.

5.2 Определить ток Iкэ, который будет максимальным.

5.3 Выбираем транзистор.

Транзистор выбираем по максимальным значениям напряжения Uкэ (режим отсечки) и тока Iкэ (режим насыщения).

Условие выбора транзистора

$$I_{кэ \text{ раб max}} \leq 0,8 I_{кэ \text{ доп}};$$

$$U_{кэ \text{ раб max}} \leq 0,8 U_{кэ \text{ доп}}.$$

В левой части неравенства рабочие максимальные значения тока и напряжения для транзистора в схеме.

В правой части паспортные значения тока и напряжения.

Таким образом, рабочие максимальные значения тока и напряжения должны быть на 20% меньше паспортных.

5.4. Выбираем транзистор с электронного сайта, например, чип и дип.

Записываем параметры транзистора: тип, $I_{кэ \text{ доп}}$, $U_{кэ \text{ доп}}$, $R_{кэ \text{ доп}}$, β .

5.5. Выбираем статический коэф. усиления β из технических характеристик транзистора (лучше минимальные значения).

5.6. Сопротивление R_k :

– выбор номинала из ряда E24. Величина сопротивления R_k задана по условию задачи, но такое значение сопротивления промышленность может не выпускать;

– расчет мощности R_k ;

– выбор типа резистора;

– типовая запись R_k по ГОСТу.

5.7. Расчет входной (базо-эмиттерной) цепи:

– расчет $I_{бэ}$ из условия насыщения $I_{бэ} = \frac{E_{п}}{R_k \beta} K_{\text{нас}}$.

5.8. Сопротивление R_b :

– расчет сопротивления R_b из уравнения Кирхгофа для входной цепи;

– выбор номинала из ряда E24;

– расчет мощности R_b ;

– выбор тип резистора;

– типовая запись R_b по ГОСТу.

6. Расчет схемы для активного режима.

6.1. Составить схему замещения коллекторной цепи.

6.2. Напряжение $U_{кэ}$ для активного режима задано.

6.3. Находим U_{Rk} из уравнения $E_{п} = U_{кэ} + U_{Rk}$.

6.4. Определяем коллекторный ток $I_{кэ}$.

6.5. Сопротивления R_k . Определение номинала, мощности, выбор типа и формирование типовой записи проведено в режиме насыщения.

6.6. Уравнение связи тока коллектора и базы в схеме с ОЭ для активного режима

$$I_{кэ} = I_{бэ} \cdot \beta.$$

6.7. Расчет ток $I_{бэ}$ из уравнения $I_{кэ} = I_{бэ} \cdot \beta$.

6.8. Сопротивление R_b :

– расчет сопротивления R_b из уравнения Кирхгофа для входной цепи;

– выбор номинала из ряда E24;

– расчет мощности R_b ;

– выбор тип резистора;

Таким образом, на основе одной схемы рассмотрены три режима работы транзистора. Биполярный транзистор управляется током базы. Меняя его значения можно менять режим работы транзистора.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3
«УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД С ОЭ
(УСИЛИТЕЛЬ НИЗКИХ ЧАСТОТ). ПОРЯДОК РАСЧЕТА»

Схема усилительного каскада с ОЭ изображена на рисунке 3.1.

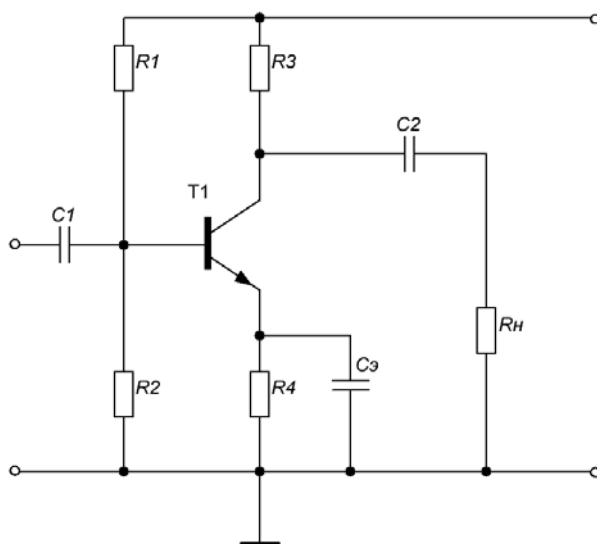


Рисунок 3.1 – Схема усилительного каскада с ОЭ (УНЧ)

Рассмотрим порядок расчета усилительного каскада с ОЭ и оформления результатов в виде контрольной работы.

1. Тема «Анализ работы УНЧ по схеме с общим эмиттером».
2. Нарисовать исходную схему УНЧ. Подключить генератор входного сигнала и источник питания коллекторной цепи.
3. Записать исходные данные (E_p , R_1 , R_2 , R_k , R_3) в соответствии с вариантом.
4. Ответить на вопрос: «задача синтеза» или «задача анализа» рассматривается в контрольной работе. Пояснить суть задачи.

Часть 1

5. Сформировать схему замещения на **постоянном** токе (цель – построить нагрузочную прямую по постоянному току и нанести на нее точку покоя)
 - написать условия перехода к схеме замещения;
 - нарисовать схему замещения;
 - нарисовать протекающие токи;
 - составить уравнения Кирхгофа по напряжению;
 - выделить уравнение нагрузочной прямой по постоянному току.
6. Построить нагрузочную прямую по постоянному току по двум точкам. Для каждой точки составить схему замещения коллекторной цепи.
7. Рассчитать координаты точки покоя. Нанести точку покоя на линию нагрузочной прямой. Сделать вывод по режиму усиления (А, В, АВ). Для режима А – режим большого или малого усиления?
8. Выбрать транзистор из справочника. Нанести ВАХ транзистора на график.

Часть 2

9. Сформировать схему замещения на **переменном** токе (цель – построить нагрузочную прямую по переменному току и диаграмму напряжения $U_{кэ}$ и тока $I_{кэ}$):

- написать условия перехода к схеме замещения;
- нарисовать схему замещения;
- нарисовать протекающие токи;
- определить R переменное.

10. Построить нагрузочную прямую по переменному току по двум точкам.

11. Задав синусоидальный входной ток транзистора, построить сигнал на выходе транзистора, тем самым проверив качество усиления сигнала.

12. Сделать **ВЫВОДЫ**.

13. Какие сопротивления надо изменить, чтобы переместить точку покоя к середине нагрузочной прямой? Подтвердить расчетом.

Варианты заданий

№ варианта	R1	R2	RК	RЭ	RН	Еп, В
1	20 кОм	10 кОм	2 кОм	1 кОм	8,2 кОм	10
2	13 кОм	5,1 кОм	1,3 кОм	510 Ом	8,2 кОм	10
3	10 кОм	3,3 кОм	1 кОм	330 Ом	8,2 кОм	10
4	8,2 кОм	2,4 кОм	820 Ом	240 Ом	8,2 кОм	10
5	6,8 кОм	2 кОм	680 Ом	200 Ом	8,2 кОм	10
6	5,6 кОм	1,6 кОм	560 Ом	160 Ом	8,2 кОм	10
7	5,1 кОм	1,2 кОм	510 Ом	120 Ом	8,2 кОм	10
8	4,3 кОм	1,1 кОм	430 Ом	110 Ом	8,2 кОм	10
9	3,9 кОм	1 кОм	390 Ом	100 Ом	8,2 кОм	10
10	3,3 кОм	820 Ом	330 Ом	82 Ом	8,2 кОм	10
11	24 кОм	10 кОм	2,4 кОм	1 кОм	10 кОм	12
12	18 кОм	6,2 кОм	1,8 кОм	620 Ом	10 кОм	12
13	12 кОм	5,1 кОм	1,2 кОм	510 Ом	10 кОм	12
14	10 кОм	3,9 кОм	1 кОм	390 Ом	10 кОм	12
15	8,2 кОм	3,3 кОм	820 Ом	330 Ом	10 кОм	12
16	7,5 кОм	3 кОм	750 Ом	300 Ом	10 кОм	12
17	6,8 кОм	2,4 кОм	680 Ом	240 Ом	10 кОм	12
18	5,6 кОм	2,2 кОм	560 Ом	220 Ом	10 кОм	12
19	5,1 кОм	2 кОм	510 Ом	200 Ом	10 кОм	12
20	4,7 кОм	1,6 кОм	470 Ом	160 Ом	10 кОм	12
21	24 кОм	15 кОм	2,4 кОм	1,5 кОм	15 кОм	15
22	18 кОм	10 кОм	1,8 кОм	1 кОм	15 кОм	15
23	12 кОм	7,5 кОм	1,2 кОм	750 Ом	15 кОм	15
24	10 кОм	6,2 кОм	1 кОм	620 Ом	15 кОм	15
25	8,2 кОм	5,1 кОм	820 Ом	510 Ом	15 кОм	15
26	7,5 кОм	4,3 кОм	750 Ом	430 Ом	15 кОм	15
27	6,8 кОм	3,6 кОм	680 Ом	360 Ом	15 кОм	15

№ варианта	R1	R2	RК	RЭ	RН	Еп, В
28	5,6 кОм	3,3 кОм	560 Ом	330 Ом	15 кОм	15
29	5,1 кОм	3 кОм	510 Ом	300 Ом	15 кОм	15
30	4,7 кОм	2,4 кОм	470 Ом	240 Ом	15 кОм	15

$C1 = 100 \text{ мкФ}$;

$C2 = 200 \text{ мкФ}$;

$C3 = Cэ = 100 \text{ мкФ}$;

$R0 = 10 \text{ Ом}$ – внутреннее сопротивление генератора $Eг$.

Методика расчета.

Условие для составления схемы замещения на постоянном токе

1. Генератор входного синусоидального сигнала $Eг$ отрубается. То есть в схеме будут протекать только постоянные токи от постоянного источника $Eп$.

2. Все веточки с конденсаторами $C1$, $C2$ и $Cэ$ отрубаются, т.к. для постоянного тока сопротивление конденсатора равно бесконечности.

Схема замещения УНЧ на постоянном токе приобретает вид, изображенного на рисунке 3.2.

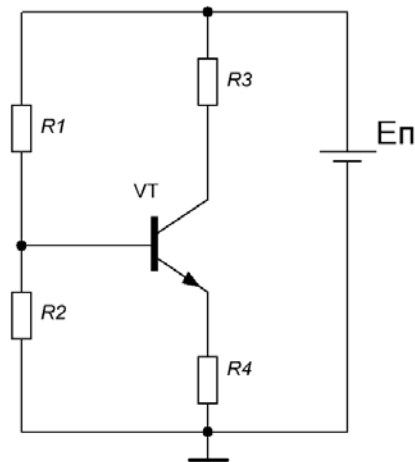


Рисунок 3.2 – Схема замещения УНЧ на постоянном токе

3. Рассчитаем координаты рабочей точки (точки покоя): $U_{к0}$, $I_{к0}$, $I_{б0}$.

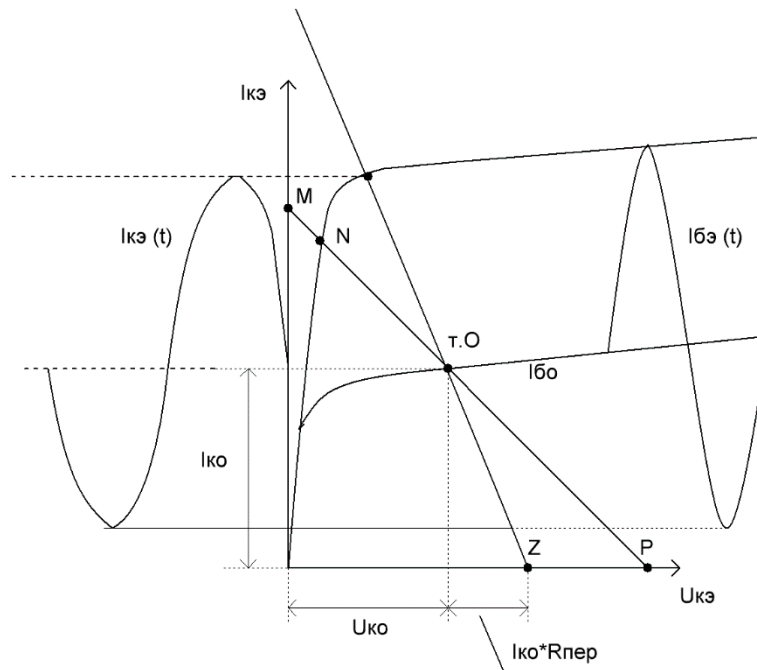


Рисунок 3.3 – Координаты точки покоя.
Нагрузочная прямая по постоянному и переменному току

Для идеального транзистора ветви ВАХ расположены параллельно оси абсцисс (ось напряжений $U_{кэ}$). У реального транзистора ветви имеют небольшой наклон. На лекции рассматривали ВАХ идеального транзистора.

7.1. Расчет $U_{R2} = \frac{E_{П}}{R1 + R2} \cdot R2$.

7.2. $U_{R4} = U_{R2} - U_{БЭ}$. $U_{БЭ} \approx 0,7 В$.

7.3. $I_{Э} = I_{R4} = I_{БЭ} + I_{КЭ} \approx I_{КЭ}$, поскольку $I_{БЭ} \ll I_{КЭ}$.

7.4. $I_{к0} = I_{R4} = I_{R3} = I_{кэ}$.

7.5. $U_{к0} = U_{кэ} = E_{П} - U_{R3} - U_{R4}$.

7.6. Выбор транзистора.

- Условие выбора транзистора.....
- Выбираем транзистор
- Его характеристики.....

7.7. $I_{Б0} = \frac{I_{к0}}{\beta}$.

Таким образом, Координаты точки покоя (т. О) составят: $I_{к0} = \dots$, $U_{к0} = \dots$, $I_{б0} = \dots$

8. Строим нагрузочную прямую в большом масштабе. Примерно на половину листа формата А4. Наносим рабочую точку на нагрузочную прямую. Если расчеты верны, то точка ляжет на нагрузочную прямую. Нагрузочная прямая по постоянному току проходит через две точки: точку отсечки Р и точку М – точка насыщения идеального транзистора.

9. Наносим «примерную» ВАХ транзистора на график. Справочники для некоторых транзисторов приводят ВАХ в таком виде, что ее тяжело использовать для наших построений. В таком случае лучше подобрать аналог зарубежного транзистора. Для зарубежных транзисторов справочная информация (datasheet) более систематизирована.

В предлагаемой методике, для понимания сути процесса и упрощения, предлагается провести «примерную» ВАХ транзистора.

10. Формируем вывод по режиму усиления (А, В или АВ). Для режима А – режим большого или малого усиления?

11. Условие для составления схемы замещения на переменном токе

Считаем, что

- все конденсаторы закорочены;
- источник питания E_p тоже закорочен.

Как известно, диапазон усиления сигналов для УНЧ составляет от 20 Гц до 20 кГц. В средней области АЧХ коэффициент усиления остается постоянным. В средней области АЧХ параметры конденсаторов подбирают таким образом, чтобы их сопротивления были небольшими. Поэтому конденсаторы C_1 , C_2 и C_3 можно закоротить.

Структура простейшего источника питания E_p : питающая сеть 220 В, выпрямитель и сглаживающий фильтр, например, конденсатор C . Переменный сигнал от E_g будет протекать через конденсатор C источника E_p . Для подавления пульсаций входной сети емкость конденсатора C стараются выбрать большой. Поэтому для входного синусоидального сигнала E_g сопротивление конденсатора будет маленьким. Следовательно, источник питания E_p тоже закорочен.

12. Самостоятельно, с учетом этих условий, представить схему замещения УНЧ на переменном токе....

13. Показать пути протекания синусоидального тока от генератора E_g

14. Показать пути протекания коллекторного тока $I_{кэ} = i_{вх} * h_{21э}$

15. С учетом h параметров схема замещения на переменном токе примет вид

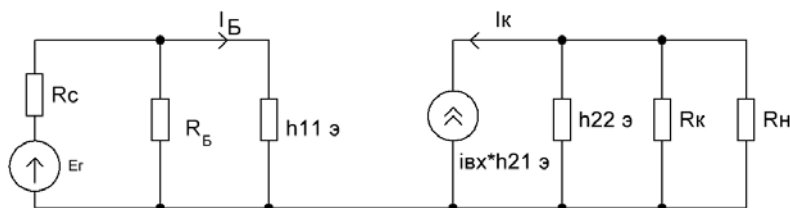


Рисунок 3.4 Эквивалентная схема каскада с ОЭ для области средних частот

Входное сопротивление каскада

$$R_{вх} = R_{Б1} \parallel R_{Б2} \parallel h_{11э} \approx h_{11э}.$$

Выходное сопротивление каскада по току

$$R_{ввых} = R_H \parallel R_K \parallel \frac{1}{h_{21э}} \approx R_H \parallel R_K = R_{пер}, \quad R_{ввых} = R_{пер}.$$

16. Построить нагрузочную прямую по переменному току.

Нагрузочная прямая по переменному току проходит через две точки: точку покоя t . O и точку Z . Точка Z находится на оси напряжения $U_{кэ}$. $U_z = U_{ко} + I_{ко} * (R_H \parallel R_K)$.

17. На основе нагрузочной прямой по переменному току и крайней ВАХ транзистора можно графическим методом построить ток $I_{кэ} = f(t)$ и напряжение $U_{кэ} = f(t)$ (см. Лекцию).

Задать размах тока $I_{Бэ}$ таким, чтобы ток $I_{кэ} = f(t)$ и $U_{кэ} = f(t)$ получились синусоидальными.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4 «РАСЧЕТ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ»

Основные теоретические положения по ОУ изложены в лекционном материале и учебном пособии. Расчет схемы усилителя на операционном усилителе вызывает определенные затруднения. Для их преодоления рассмотрим ряд примеров.

Пример 4.1. На неинвертирующий вход ОУ подается сигнал 1 В. Коэффициент усиления ОУ $K_u=10\,000$. Питание ОУ ± 15 В. Определить напряжение на выходе ОУ.

Решение. $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot K_u = 1 \text{ В} \cdot 10\,000 = 10\,000 \text{ В} = 10 \text{ кВ}$. ?? Парадокс!! Микросхема размером 5 x 15 мм преобразовала 1В в 10 кВ. Ошибка заключается в следующем. Выходное напряжение ОУ равно $U_{\text{вых}} = E_p - 1 \text{ В}$. Один вольт падает на транзисторе выходного каскада (усилитель класса АВ). Транзистор при большом сигнале переходит в режим насыщения. $U_{\text{вых}} = +14 \text{ В}$ или -14 В . Зависит от знака входного сигнала и на какой вход подается сигнал. По заданию $U_{\text{вх}} = +1 \text{ В}$, подаем на неинвертирующий вход. Значит $U_{\text{вых}} = +14 \text{ В}$. Если $U_{\text{вх}} = +1 \text{ В}$, подаем на инвертирующий вход, то $U_{\text{вых}} = -14 \text{ В}$.

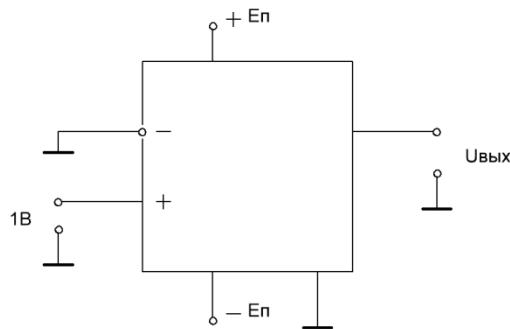


Рисунок 4.1 – Схема ОУ

Пример 4.2. Как переключается напряжение на выходе ОУ?

Решение. Операционный усилитель без навесных резисторов является компаратором. Компаратор – это устройство, которое сравнивает сигналы на входах. В данном случае сигналы на инвертирующем и неинвертирующем входе. **Мнемоническое правило: переключение происходит по диагонали.**

На рисунках 4.1, 4.2 и 4.3 левые части представлены для двухполярного питания. Правые – для однополярного питания.

Передаточная характеристика (рис. 4.3) поясняет переключение по диагонали.

Рисунок 4.4 показывает формирование ШИМ-сигнала на выходе ОУ. На инвертирующий вход подается пилообразное напряжение. На неинвертирующий вход подается постоянный сигнал. Изменяя амплитуду постоянного уровня можно изменять ширину импульсов выходного сигнала. ШИМ-сигнал часто используют для управления силовых транзисторов современных источников питания.

Компаратор

Компаратор – это устройство сравнения двух сигналов. Компаратор можно реализовать на базе ОУ без обратной связи.

Питание компаратора (ОУ)

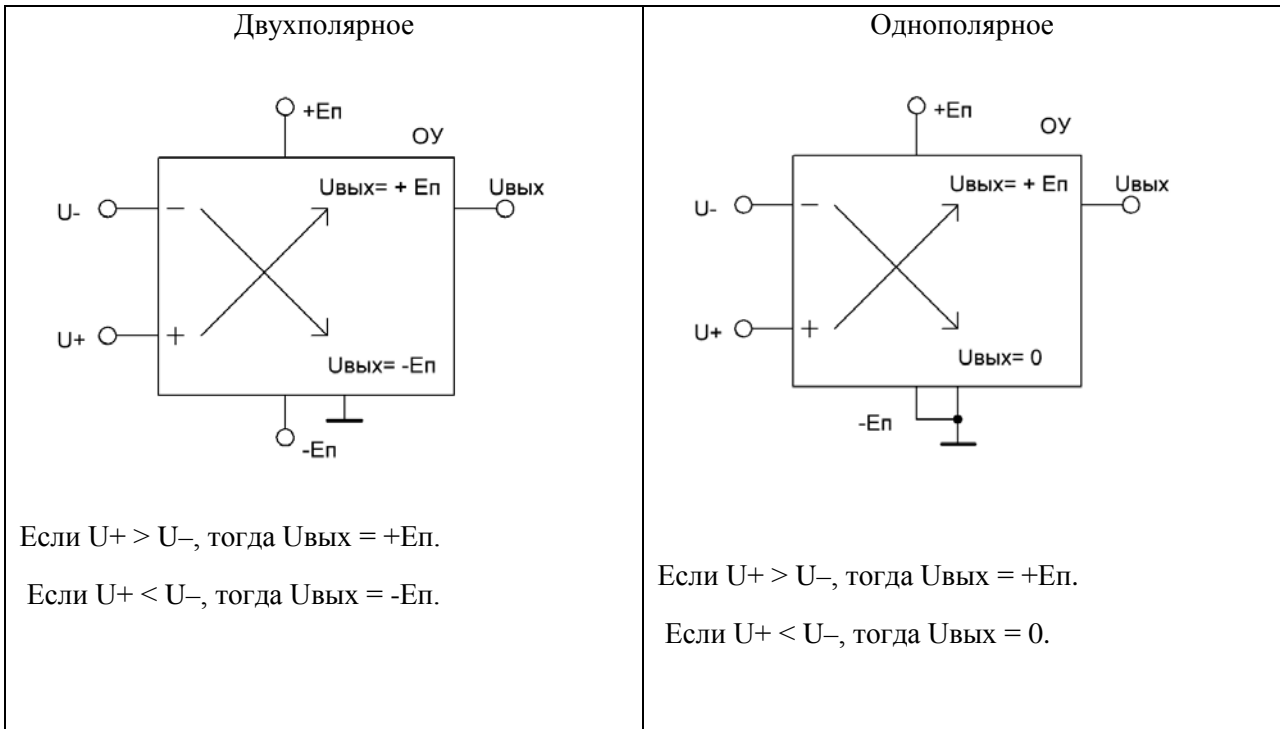


Рисунок 4.2 – Питание ОУ. Двухполярное и однополярное.

Выходное напряжение компаратора при сравнении напряжений на входе

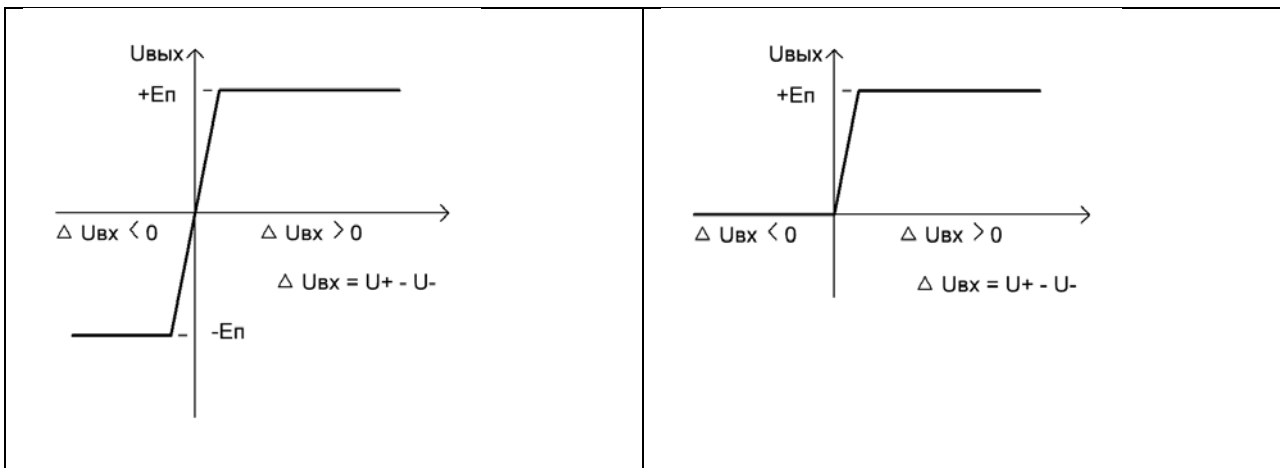


Рисунок 4.3 – Передаточная характеристика. Зависимость $U_{\text{вых}}$ при сравнении сигналов на входах ОУ

ШИМ сигнал на выходе компаратора

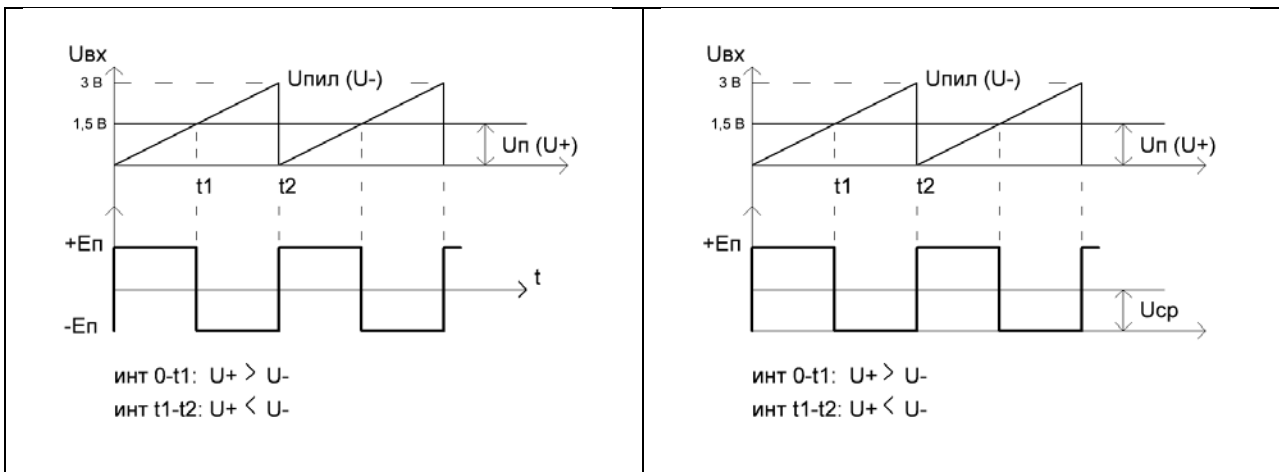


Рисунок 4.4 – ШИМ сигнал на выходе компаратора

Пример 4.3. На базе ОУ строятся основные схемы: инвертирующая (рис. 4.5), неинвертирующая (рис. 4.6) и дифференциальная (рис. 4.7). В каждой схеме присутствует цепочка из резисторов R2-R1. Эта цепочка вводит отрицательную обратную связь с выхода на вход.

Вопрос – как выбирать сопротивления R2-R1, для расчета коэфф. усиления?

Решение. Цепочка R2–R1 вводит ООС. Мощность, выделяемая на цепочке, должна быть минимальной. Отсюда вытекает порядок этих сопротивлений: единицы, десятки, сотни кОм.

Инвертирующий ОУ

Для него коэффициент усиления по напряжению $K_u = -U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$.

Коэффициент усиления через сопротивления $K_u = -R_2 / R_1$.

Пусть коэффициент усиления задан $K_u = -R_2 / R_1 = 2$. Задаем $R_1 = 1 \text{ кОм}$ (10 кОм). Тогда $R_2 = 2 \text{ кОм}$ (20 кОм).

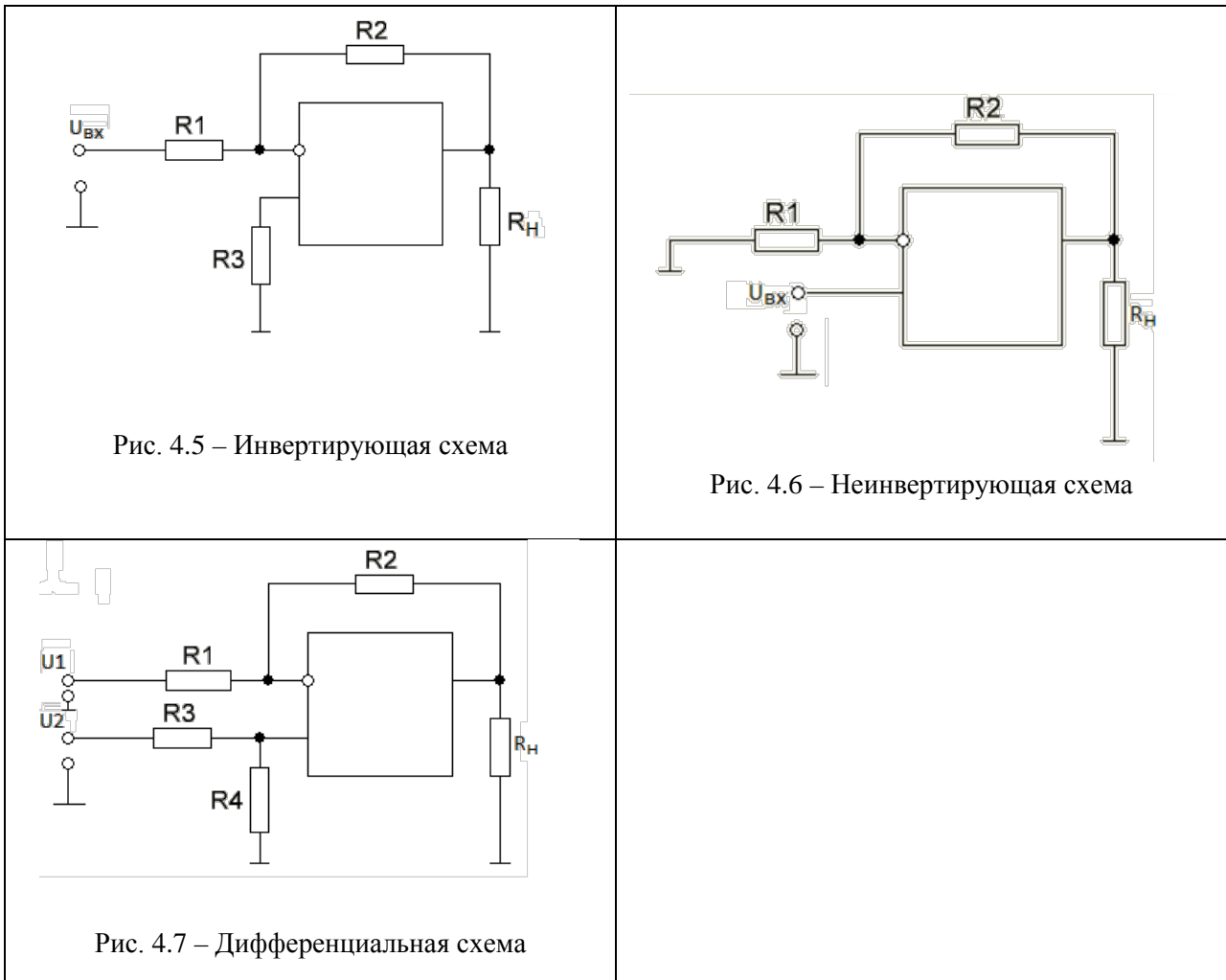
Неинвертирующий ОУ

Коэффициент усиления по напряжению $K_u = +U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$.

Коэффициент усиления через сопротивления $K_u = 1 + R_2 / R_1$.

Выбор сопротивлений аналогичен.

Основные схемы на ОУ



Пример 4.4. Дифференциальная схема. Принцип формирования напряжения на выходе.

Выходное напряжение определяется по формуле:

$$U_{\text{вых}} = U_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_1 \frac{R_2}{R_1}.$$

При условии $\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1}$ $U_{\text{вых}} = (U_2 - U_1) \frac{R_2}{R_1}$

Пояснить суть формирования напряжения на выходе ОУ.

Решение.

Напряжение U_1 трансформируется на выход с коэф. усиления $K_u = -R_2/R_1$.

Напряжение U_2 трансформируется не полностью, а только та часть, которая снимается с сопротивления R_4 . Надо рассчитать делитель напряжения R_3 – R_4 . Напряжение на сопротивлении R_4 равно

$$U_{R4} = U_2 R_4 / (R_3 + R_4).$$

Коэф. усиления для неинвертирующего входа $K_u = 1 + R_2/R_1$.

Порядок сопротивлений R_3 , R_4 – единицы, десятки кОм.

Пример 4.5. Представить схему инвертирующего сумматора

Решение.

Схема инвертирующего сумматора представлена на рисунке 4.8. Расчет сопротивлений: Пусть заданы коэффициенты усиления для каждого входа K_{U1} и K_{U2} . Сначала задаем сопротивления $R1$ и $R2$ по одному входу. Для второго входа $R2$ определено, остается выбрать $R'1$.

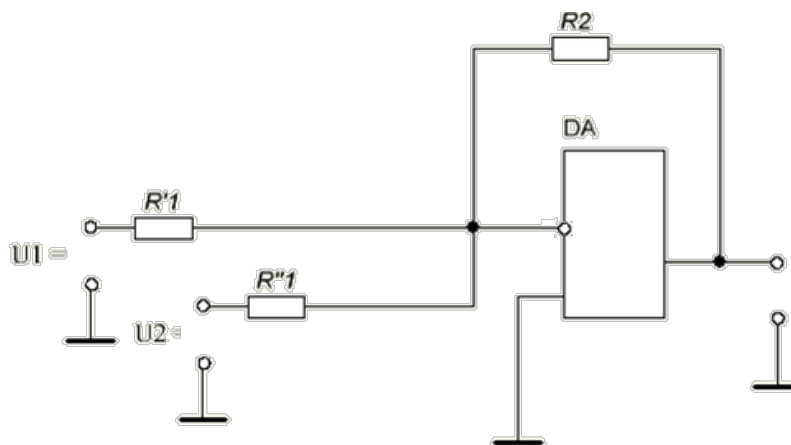


Рисунок 4.8 – Инвертирующий сумматор

**ПРИЛОЖЕНИЕ А
ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)

**Контрольная работа
Три режима работы транзистора
Вариант №**

Студент гр. 361-1

_____ К. П. Калошин

« » _____ 20.. г

Преподаватель:

Доцент каф. ПрЭ,

канд. техн. наук,

_____ В. М. Саюн

202...