

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

**А. В. Топор, В. М. Саюн**

## **АНАЛОГОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

Методические указания  
для проведения практических занятий

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 для проведения практических занятий / В. М. Саюн, А. В. Топор. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 23 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**

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	<b>4</b>
<b>Практическое задание № 1 «Параметрический стабилизатор напряжения»</b> .....	<b>5</b>
Контрольная работа № 1 «Параметрический стабилизатор напряжения» .....	5
<b>Практическое занятие № 2 «Три режима работы транзистора»</b> .....	<b>9</b>
Контрольная работа № 2 «Три режима работы транзистора» .....	9
<b>Практическое занятие № 3 «Усилительный каскад с ОЭ (усилитель низких частот)»</b> .....	<b>13</b>
Контрольная работа № 3 «Усилительный каскад с ОЭ (усилитель низких частот)».....	13
<b>Практическое занятие № 4 «Расчет схемы усилителя на операционном усилителе»</b> .....	<b>16</b>
Контрольная работа № 4 «Расчет схемы усилителя на операционном усилителе» .....	16
<b>Практическое занятие № 5 «Генераторы гармонических колебаний»</b> .....	<b>23</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Практические задания содержат контрольную работу и вопросы по собеседованию. Формат выполнения практического задания в виде контрольной работы или собеседования выбирается преподавателем самостоятельно. Основой для выполнения практического задания является лекционный материал и учебное пособие. Методика и порядок выполнения контрольной работы изложены в методических указаниях для выполнения самостоятельной работы. Электронный адрес учебного пособия и учебно-методических указаний приведены в рабочей программе дисциплины «Аналоговая электроника».

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 1**  
**«ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ»**

**Контрольная работа № 1**  
**«Параметрический стабилизатор напряжения»**

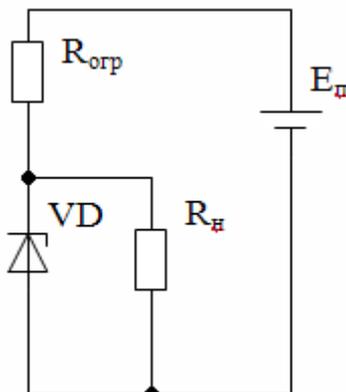


Рисунок 1.1 – Схема параметрического стабилизатора на основе стабилитрона

Требования:

1. Нарисовать ВАХ стабилитрона.
2. Нарисовать протекающие токи. Проставить вектора падения напряжений и  $E_ц$ .
3. Составить уравнения Кирхгофа по напряжению и току.
4. Выбрать стабилитрон по справочнику.
5. Рассчитать ограничительное сопротивление, выбрать его номинал из ряда E24.
6. Рассчитать мощность ограничительного сопротивления.
7. Выбрать тип  $R_{огр}$ . Сформировать запись  $R_{огр}$  по ГОСТу.
8. Сформировать запись по ГОСТУ для сопротивление нагрузки.
9. Что произойдет в схеме при максимальном и минимальном значении нагрузки?

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№ варианта	Напряжение источника $E_ц$ , В	Напряжение нагрузки, В	Сопротивление нагрузки, кОм
1	12	10	1
2	15	11	1
3	17	12	1
4	19	13	1
5	21	14	1
6	22	15	1
7	24	16	1
8	26	17	1
9	28	18	1
10	30	19	1
11	32	20	1
12	34	21	1
13	36	22	1
14	38	23	1

## Окончание таблицы 1.1

№ варианта	Напряжение источника Еп, В	Напряжение нагрузки, В	Сопротивление нагрузки, кОм
15	40	24	1
16	42	25	1
17	44	26	1
18	46	27	1
19	48	28	1
20	51	29	1
21	53	30	1
22	55	31	1
23	57	32	1
24	59	34	1
25	60	35	1

Таблица 1.2 – Характеристики стабилизаторов

Тип прибора	U <sub>ст ном</sub> , В при (I <sub>ст</sub> , мА)	Предельные значения параметров при T = 25 °С			
		U <sub>ст min</sub> , В	U <sub>ст max</sub> , В	I <sub>ст min</sub> , мА	I <sub>ст max</sub> , мА
2С211А	11,0 (5)	10,0	12,0	3	10
2С211Ж	11,0 (4)	10,4	11,6	0,5	14
КС211Ж	11,0 (4)	10,4	11,6	0,5	12
2С211И	11,0 (5)	10,45	11,55	3	13
2С211Х	11,0 (0,5)	10,4	11,6	0,5	1,8
2С211Ц	11,0 (0,5)	10,4	11,6	0,1	11,2
КС211Ц	11,0 (0,5)	10,4	11,6	0,1	11,2
Д811	11,0 (5)	10,0	12,0	3	23
Д814В	11,0 (5)	10,0	12,0	3	29
2С516Б	11,0 (5)	10,0	12,0	3	29
2С212В	12,0 (5)	10,94	13,1	3	12
2С212Ж	12,0 (4)	11,4	12,6	0,5	13
КС212Ж	12,0 (4)	10,8	13,2	0,5	11
2С212Х	12,0 (0,5)	11,4	12,6	0,5	1,7
2С212Ц	12,0 (0,5)	11,4	12,6	0,1	10,6
КС212Ц	12,0 (0,5)	11,4	12,6	0,1	10,6
КС508А	12,0 (10,5)	11,4	12,7	0,25	23
2С512А	12,0 (5)	10,8	13,2	1	67
КС512А	12,0 (5)	10,8	13,2	1	67
Д815Д	12,0 (500)	10,8	13,3	25	650
2С213А	13,0 (5)	11,5	14,0	3	9
2С213Б	13,0 (5)	11,91	14,24	3	10
КС213Б	13,0 (5)	12,1	13,9	3	10
2С213Ж	13,0 (4)	12,3	13,7	0,5	12
КС213Ж	13,0 (4)	12,3	13,7	0,5	10
Д813	13,0 (5)	11,5	14,0	3	20
Д814Д	13,0 (5)	11,5	14,0	3	24
2С516В	13,0 (5)	11,5	14,0	3	24
2С215Ж	15,0 (2)	14,2	15,8	0,5	10

Окончание таблицы 1.2

Тип прибора	U <sub>ст ном</sub> , В при (I <sub>ст</sub> , мА)	Предельные значения параметров при T = 25 °С			
		U <sub>ст min</sub> , В	U <sub>ст max</sub> , В	I <sub>ст min</sub> , мА	I <sub>ст max</sub> , мА
КС215Ж	15,0 (2)	13,5	16,5	0,5	8,3
КС508Б	15,0 (8,5)	13,8	15,6	0,25	18
2С515А	15,0 (5)	13,5	16,5	1	53
КС515А	15,0 (5)	13,5	16,5	1	53
КС509А	15,0 (15)	13,8	15,6	0,5	42
Д815Е	15,0 (500)	13,3	16,4	25	550
2С216Ж	15,0 (2)	15,2	17,0	0,5	9,4
КС216Ж	15,0 (2)	15,2	16,8	0,5	7,8
КС508В	16,0 (7,8)	15,3	17,1	0,25	17
2С218Ж	18,0 (2)	17,0	19,0	0,5	8,3
КС218Ж	18,0 (2)	16,2	19,8	0,5	6,9
КС508Г	18,0 (7)	16,8	19,1	0,25	15
2С518А	18,0 (5)	16,2	19,8	1	45
КС518А	18,0 (5)	16,2	19,8	1	45
КС509Б	18,0 (15)	16,8	19,1	0,5	35
Д815Ж	18,0 (500)	16,2	19,8	25	550
2С220Ж	20,0 (2)	19,0	21,0	0,5	7,5
КС220Ж	20,0 (2)	19,0	21,0	0,5	6,2
КС509В	20,0 (10)	18,8	21,2	0,5	31
2С222Ж	22,0 (2)	20,9	23,1	0,5	6,8
КС222Ж	22,0 (2)	19,8	24,2	0,5	5,7
2С522А	22,0 (5)	19,8	24,2	1	37
КС522А	22,0 (5)	19,8	24,2	1	37
Д816А	22,0 (150)	19,6	24,2	10	230
2С224Ж	24,0 (2)	22,8	25,2	0,5	6,3
КС224Ж	24,0 (2)	22,8	25,2	0,5	5,2
КС508Д	24,0 (5,2)	22,8	25,6	0,25	11
2С524А	24,0 (5)	22,8	25,2	1	33
2С527А	27,0 (5)	24,3	29,7	1	30
КС527А	27,0 (5)	24,3	29,7	1	30
Д816Б	27,0 (150)	24,2	29,5	10	180
2С530А	30,0 (5)	28,5	31,5	1	27
КС533А	33,0 (10)	30,0	36,0	3	17
Д816В	33,0 (150)	29,5	36,0	10	150
2С536А	36,0 (5)	34,2	37,8	1	23
Д816Г	36,0 (150)	35,0	43,0	10	130
Д816Д	47,0 (150)	42,5	51,5	10	110
2С551А	51,0 (1,5)	48,0	54,0	1	14,6
КС551А	51,0 (1,5)	48,0	54,0	1	14,6
Д817А	56,0 (50)	50,5	61,5	5	90
Д817Б	68,0 (50)	61,0	75,0	5	75

## Вопросы для тестирования

1. Нарисовать электрическую схему параметрического стабилизатора напряжения на основе стабилитрона.
2. Привести ВАХ стабилитрона.
3. На каком электронном сайте можно выбрать стабилитрон?
4. По каким основным параметрам выбирается стабилитрон?
5. По какому критерию выбирается рабочий ток стабилитрона?
6. Для чего в электрической схеме используется ограничительное сопротивление?
7. Чем отличается УГО (условное графическое отображение) стабилитрона по российскому госту от западного?
8. Как изменится напряжение стабилизации при рабочем токе меньше минимального тока стабилизации?
9. Как изменится напряжение стабилизации при рабочем токе больше максимального тока стабилизации?
10. Что такое коэффициент стабилизации?

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2  
«ТРИ РЕЖИМА РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА»**

**Контрольная работа № 2  
«Три режима работы транзистора»**

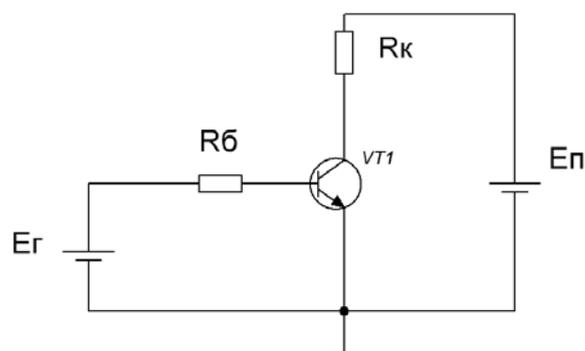


Рисунок 2.1 – Схема усилителя

**1 Цель:** изучить физические процессы схемы усилителя для трех режимов транзистора.

**Примечание.** Ниже приводятся:

- Варианты,
- Порядок оформления контрольной работы,
- Титульный лист (приложение).

**2 Варианты**

Таблица 2.1 – Варианты

№ п/п	$E_{г}$ , В	$E_{п}$ , В	$R_{к}$ , Ом	$U_{н} = U_{кэ}$ В для активного режима
1	3	10	100	4
2	3	20	100	15
3	3	30	100	20
4	3	40	100	30
5	3	50	100	40
6	3	60	100	40
7	3	70	100	50
8	3	80	100	60
9	3	90	100	80
10	3	100	200	90
11	4	110	200	100
12	4	120	200	100
13	4	130	200	120
14	4	140	200	130
15	4	150	400	140
16	4	160	400	140
17	4	170	400	150
18	4	180	400	160

Окончание таблицы 2.1

№ п/п	$E_g, В$	$E_p, В$	$R_k, Ом$	$U_H = U_{кэ} В$ для активного режима
19	4	190	400	180
20	4	200	500	180
21	5	210	500	190
22	5	220	500	200
23	5	230	500	200
24	5	240	500	210
25	5	250	600	220
26	5	260	600	240
27	5	270	600	260
28	5	280	600	270
29	5	290	600	280
30	5	300	700	290
31	6	310	700	300
32	6	320	700	300
33	6	330	700	310
34	6	340	700	330
35	6	350	700	340
36	6	360	800	350
37	5	370	800	360
38	5	380	800	370
39	5	390	800	370
40	5	400	800	390

### 3 Порядок оформления контрольной работы

- Титульный лист (см. приложение А).
- Исходная схема.
- Дано:  $E_g$ ,  $E_p$ ,  $R_k$ ,  $U_{кэ}$  для активного режима (по вариантам).

Решение

1. На схеме указать направление токов, источников  $E_g$  и  $E_p$ , 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  $I_{бэ}$ .
- 4.3 Ток  $I_{кэ}$ .
- 4.4 Напряжение  $U_{кэ}$ .
- 4.5 Сопротивление транзистора  $R_{кэ}$ .

В режиме отсечки к транзистору прикладывается максимальное напряжение  $U_{кэ}$ .

## 5 Расчет схемы для режима насыщения

Режим насыщения для транзистора более тяжелый по сравнению с активным. В режиме насыщения  $I_{кэ}$  максимальный. Поэтому транзистор выбираем в этом режиме.

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

5.1 Составить схему замещения коллекторной цепи.

5.2 Определить ток  $I_{кэ}$ , который будет максимальным.

5.3 Выбираем транзистор.

Транзистор выбираем по максимальным значениям напряжения  $U_{кэ}$  (режим отсечки) и тока  $I_{кэ}$  (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, предельно допустимые.

Таким образом, рабочие максимальные значения тока и напряжения должны быть на 20% меньше паспортных. Надежности работы транзистора повысится, при замене коэффициента 0,8 на меньшее значения.

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

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

5.5 Выбираем статический коэффициент усиления  $\beta$  из технических характеристик транзистора (лучше минимальные значения).

5.6 Сопротивление  $R_{к}$ :

– выбор номинала из ряда E24. Величина сопротивления  $R_{к}$  задана по условию задачи, но такое значение сопротивления промышленность может не выпускать;

– расчет мощности  $R_{к}$ ;

– выбор типа резистора;

– типовая запись  $R_{к}$  по ГОСТу.

5.7 Расчет входной (базо-эмиттерной) цепи:

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

5.8 Сопротивление  $R_{б}$ :

– расчет сопротивления  $R_{б}$  из уравнения Кирхгофа для входной цепи база-эмиттер;

– выбор номинала из ряда E24;

– расчет мощности  $R_{б}$ ;

– выбор тип резистора;

– типовая запись  $R_{б}$  по ГОСТу.

## 6 Расчет схемы для активного режима

6.0 Выбор транзистора проведен в режиме насыщения.

6.1 Составить схему замещения коллекторной цепи.

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

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

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.

### Вопросы для тестирования

1. Привести электрический аналог биполярного транзистора.
2. Нарисовать УГО биполярного транзистора n-типа и p-типа.
3. На каком электронном сайте можно выбрать транзистор?
4. Привести входную ВАХ биполярного транзистора.
5. Привести выходную ВАХ биполярного транзистора.
6. По каким основным точкам строится нагрузочная прямая постоянного тока транзистора?
7. Какое уравнение отображает связь между током базы и током коллектор-эмиттер для активного режима?
8. Чем управляется биполярный транзистор?
9. Чем управляется полевой транзистор?
10. Какое уравнение отображает условие насыщения транзистора?
11. Где находится рабочая точка транзистора на нагрузочной прямой для активного режима?
12. Какое неравенство отображает условие выбора транзистора по напряжению коллектор-эмиттер?
13. Какое неравенство отображает условие выбора транзистора по току коллектор-эмиттер?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 «УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД С ОЭ (УСИЛИТЕЛЬ НИЗКИХ ЧАСТОТ)»

### Контрольная работа № 3 «Усилительный каскад с ОЭ (усилитель низких частот)»

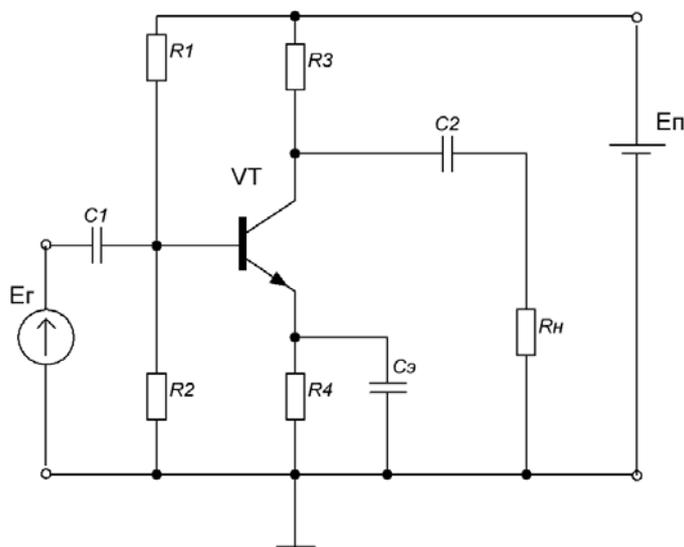


Рисунок 3.1 – Схема усилителя каскада с ОЭ (усилитель низкой частоты)

#### Порядок оформления 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 в номером варианта.
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
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  $Eг$ .

### Вопросы для тестирования

1. Привести практическую схему усилительного каскада с общим эмиттером.
2. Для чего необходим конденсатор  $C1$ ?
3. Для чего необходим конденсатор  $C2$ ?
4. Цель введения резистивного делителя  $R1-R2$ ?
5. Какой параметр ограничивает резистор  $R3$ ?
6. Какие условия необходимы для составления схемы замещения на постоянном токе в усилительном каскаде?
7. Составить схему замещения усилительного каскада на постоянном токе.
8. Какие необходимы условия для составления схемы замещения на переменном токе в усилительном каскаде?
9. Составить схему замещения усилительного каскада на переменном токе.
10. Чем вызвана подрезка синусоидального сигнала на выходе по амплитуде в усилительном каскаде?
11. Какие классы усиления может реализовывать рассматриваемый усилительный каскад?

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4**  
**«РАСЧЕТ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЯ НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ»**

**Контрольная работа № 4**  
**«Расчет схемы усилителя на операционном усилителе»**

**Постановка задачи:** вариант, схема для расчета, технические показатели.

Требуется:

0. Записать исходные данные.
1. Нарисовать схему усилителя на операционном усилителе (ОУ).
2. Записать коэффициент усиления по напряжению через напряжения.
3. Записать коэффициент усиления по напряжению через сопротивления.
4. Задать и рассчитать навесные сопротивления.
5. Определить выходное напряжение усилителя.
6. Нарисовать входное и выходное напряжения в единичных осях времени.

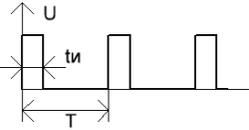
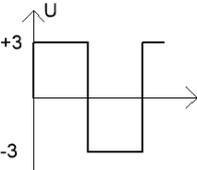
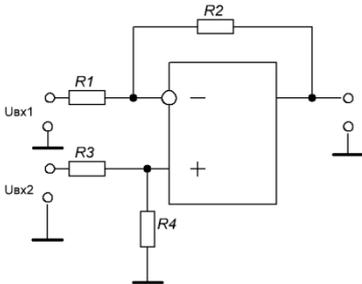
**Моделирование схемы с ОУ**

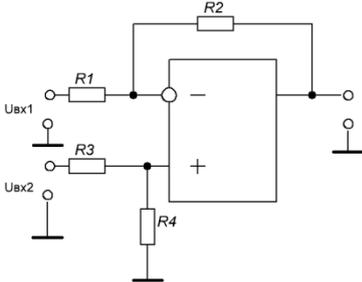
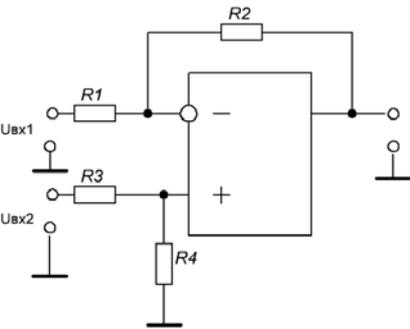
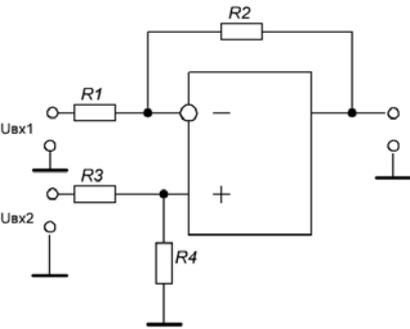
1. Ознакомиться со средой моделирования LTspice, которая выложена в свободном доступе интернете. Подробная инструкция по освоению LTspice так же имеется в интернете. Функционал LTspice значительно шире по сравнению с Asimesc. Большинство задач по силовой электронике выполняется в этой среде.
2. Выбрать из библиотеки LTspice конкретный тип ОУ.
3. Скачать документацию (Datasheet) на микросхему из интернета.
  - указать значения источников питания ОУ;
  - нарисовать цоколевку и расписать назначение выводов.
4. Составить схему для моделирования.
5. Экспериментально определить форму выходного напряжения.
6. Указать условия, при которых ОУ войдет в насыщение.
7. Сравнить диаграммы выходных напряжений в процессе расчета и моделирования.

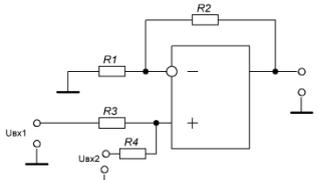
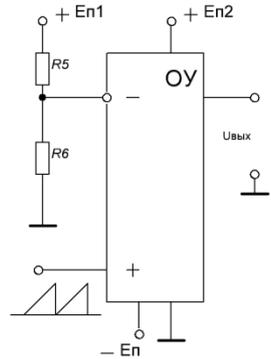
**Варианты**

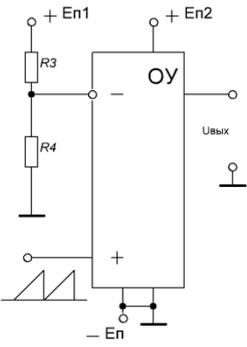
<b>№ варианта</b>	<b>Схема</b>	<b>Исходные данные</b>
1	Неинвертирующий усилитель	Питание ОУ – $E_p = \pm 15 \text{ В}$  1. $U_{вх} = 20 \text{ мВ}$ . $K_u = 100$ . 2. Изменить коэф. усиления $U_{вх} = 20 \text{ мВ}$ . $K_u = 1000$ . Рассчитать заново сопротивления и определить форму напряжения на выходе. Сверить расчет и эксперимент
2	Инвертирующий усилитель	Питание ОУ – $E_p = \pm 15 \text{ В}$  1. $U_{вх} = 30 \text{ мВ}$ . $K_u = 200$ . 2. Изменить коэф. усиления

№ варианта	Схема	Исходные данные
		<p><math>U_{вх} = 30</math> мВ. <math>K_u = 600</math>. Рассчитать заново сопротивления и определить форму напряжения на выходе. Сверить расчет и эксперимент</p>
3	<p>Дифференциальный усилитель</p>	<div data-bbox="778 405 1193 725" data-label="Diagram"> </div> <p>Питание ОУ – <math>E_p = \pm 15</math> В</p> <p><math>U_{вх1} = 1</math> В. <math>U_{вх2} = 6</math> В.  <math>K_{u1} = R_2/R_1 = 2</math>.  <math>R_3 = R_4</math>.</p> <p>Записать в общем виде выходное напряжение. Рассчитать сопротивления и определить форму напряжения на выходе. Сверить расчет и эксперимент</p>
4	<p>Два ОУ соединены последовательно.  1 – неинвертирующий.  2 – инвертирующий</p>	<p>Питание ОУ – <math>E_p = \pm</math> любое, от 8 до 20 В.</p> <p>1. <math>U_{вх1} = 40</math> мВ. <math>K_{u1} = 4</math>. <math>K_{u2} = 4</math>.  Рассчитать сопротивления и определить форму напряжения на выходе. Сверить расчет и эксперимент</p>
5	<p>Два ОУ соединены последовательно.  1 – инвертирующий.  2 – неинвертирующий</p>	<p>Питание ОУ – <math>E_p = \pm</math> любое, от 8 до 20 В.</p> <p>1. <math>U_{вх} = 30</math> мВ. <math>K_{u1} = 3</math>. <math>K_{u2} = 5</math>.  Рассчитать сопротивления и определить форму напряжения на выходе. Сверить расчет и эксперимент</p>
6	<p>Два инвертирующих ОУ соединены последовательно</p>	<p>Питание ОУ – <math>E_p = \pm</math> любое, от 8 до 20 В.</p> <p>1. <math>U_{вх} = 20</math> мВ. <math>K_{u1} = 6</math>. <math>K_{u2} = 10</math>. Рассчитать сопротивления и определить форму напряжения на выходе. Сверить расчет и эксперимент</p>
7	<p>Два неинвертирующих ОУ соединены последовательно</p>	<p>Питание ОУ – <math>E_p = \pm</math> любое, от 8 до 20 В.</p> <p>1. <math>U_{вх} = 10</math> мВ. <math>K_{u1} = 6</math>. <math>K_{u2} = 10</math>.  Рассчитать сопротивления и определить форму напряжения на выходе. Сверить расчет и эксперимент</p>

№ варианта	Схема	Исходные данные
8	Неинвертирующий усилитель	 <p>1. <math>U_{вх}</math> – однополярная импульсная последовательность. Амплитуда импульса <math>+U_{вх\text{ ам}} = 2\text{ В}</math>. Частота <math>20\text{ кГц}</math>. Относительная длительность импульса – <math>0,25</math>.  <math>K_u = 10</math>.</p> <p>2. Определить напряжение на входе и выходе.  3. Условие насыщения ОУ.  Как устранить насыщение ОУ?</p>
9	Инвертирующий усилитель	 <p>1. <math>U_{вх}</math> – двухполярная импульсная последовательность. Амплитуда <math>3\text{ В}</math>. Частота <math>30\text{ кГц}</math>. Относительная длительность импульса – <math>0,5</math>.  <math>K_u = 6</math>.</p> <p>2. Определить напряжение на входе и выходе.  3. Условие насыщения ОУ.  Как устранить насыщение ОУ?</p>
10	Дифференциальный усилитель	 <p>Инв. вх. – Постоянное напряжение <math>U_{вх1} = +2\text{ В}</math>.  <math>K_{u1} = R_2/R_1 = 2</math>.  Неин. вх. <math>U_{вх2} = -3\text{ В}</math>.  <math>R_4/R_3 = R_2/R_1</math></p> <p>- Определить выходное напряжение.  - Выполнить общие требования</p>

№ варианта	Схема	Исходные данные
11	Дифференциальный усилитель	 <p> Инов. вх. – постоянное напряжение <math>U_{вх1} = 2 \text{ В}</math>.  <math>K_{u1} = R2/R1 = 5</math>.  Неин. вх. <math>U_{вх2} = 4 \text{ В}</math>.  <math>R4/R3 = R2/R3</math>  - Определить выходное напряжение.  - Выполнить общие требования </p>
12	Дифференциальный усилитель	 <p> Инов. вх. – постоянное напряжение <math>U_{вх1} = -40 \text{ мВ}</math>.  <math>K_{u1} = R2/R1 = 200</math>.  Неин. вх. <math>U_{вх2} = -50 \text{ мВ}</math>. <math>R3 = R4</math>.  - Определить выходное напряжение.  - Выполнить общие требования </p>
13	Дифференциальный усилитель	 <p> Инов. вх. – постоянное напряжение <math>U_{вх1} = -60 \text{ мВ}</math>.  <math>K_{u1} = R2/R1 = 200</math>.  Неин. вх. <math>U_{вх2} = -80 \text{ мВ}</math>. <math>R3 = 3 \cdot R4</math>.  - Определить выходное напряжение.  - Выполнить общие требования </p>

№ варианта	Схема	Исходные данные
14	Инвертирующий сумматор	$U_{вх1} = 300 \text{ мВ}$ . $K_{u1} = 5$ . $U_{вх2} = 20 \text{ мВ}$ . $K_{u2} = 10$ . - Определить выходное напряжение. - Выполнить общие требования
15	Инвертирующий сумматор	$U_{вх1} = -150 \text{ мВ}$ . $K_{u1} = 20$ . $U_{вх2} = 30 \text{ мВ}$ . $K_{u2} = 10$ . - Определить выходное напряжение. - Выполнить общие требования
16	Инвертирующий сумматор	$U_{вх1}$ . Однополярная отрицательная импульсная последовательность. $U_{вх ам 1} = -50 \text{ мВ}$ . Частота $3 \text{ кГц}$ . Относительная длительность импульса – $0,25$ . $K_{u1} = 5$ . $U_{вх2}$ . Постоянное напряжение. $U_{вх2} = -40 \text{ мВ}$ . $K_{u} = 10$ . - Определить выходное напряжение. - Выполнить общие требования
17	Инвертирующий сумматор	$U_{вх1} = -250 \text{ мВ}$ . $K_{u1} = 20$ . $U_{вх2} = 300 \text{ мВ}$ . $K_{u2} = 10$ . $U_{вх3} = 40 \text{ мВ}$ . $K_{u3} = 4$ . - Определить выходное напряжение. - Выполнить общие требования
18	Неинвертирующий сумматор	 $U_{вх1} = 450 \text{ мВ}$ . $K_{u1} = 20$ . $U_{вх2} = 50 \text{ мВ}$ . $R3 = R4$ . - Определить выходное напряжение. - Выполнить общие требования
19	Компаратор	 $E_{п1} = 5 \text{ В}$ . $E_{п2} = \text{любое}$ . Вход инв. $U_{вх инв} = 1; 2; 4 \text{ В}$ . Вход неинв. Амплитуда пины $3,5 \text{ В}$ . Частота $30 \text{ кГц}$ . - Нарисовать ШИМ сигнал для трех значений $1, 2, 4 \text{ В}$ напряжения по инвертирующему входу. Для

№ варианта	Схема	Исходные данные
		<p>каждого напряжения делитель R5–R6 будет разный.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Определить <math>U_{вых}</math> для трех значений <math>U_{вх}</math> инв. Рассчитать сопротивления.</li> <li>- Проверить экспериментально</li> </ul>
20	Повторитель напряжения на ОУ	<p>Входной сигнал положительный. <math>U_{вх1} = 10</math> В.  <math>U_{вых} = ?</math> <math>K_u = ?</math></p>
21	Компаратор	 <p><math>E_{п1} = 5</math> В. <math>E_{п2} =</math> любое, от 8 до 24 В  Вход инв. <math>U_{вх}</math> инв = 1; 2; 4 В.  Вход неинв. Амплитуда пила 3 В. Частота 20 кГц.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Нарисовать ШИМ сигнал для трех значений 1, 2, 4 В напряжения по инвертирующему входу. Для каждого напряжения делитель R3–R4 будет разный.</li> <li>- Определить <math>U_{вых}</math> для трех значений <math>U_{вх}</math> инв. Рассчитать сопротивления.</li> <li>- Проверить экспериментально</li> </ul>
22	Неинвертирующий усилитель синусоидальных сигналов	<p><math>U_{вх}</math> ам = 50 мВ, частота 30 кГц. <math>K_u = 70</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Определить выходное напряжение.</li> <li>- Выполнить общие требования</li> </ul>
23	Инвертирующий усилитель синусоидальных сигналов	<p><math>U_{вх}</math> ам = 100 мВ, частота 20 кГц. <math>K_u = 50</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Определить выходное напряжение</li> <li>- Выполнить общие требования</li> </ul>
24	Зажечь светодиод с помощью инвертирующего ОУ	<p><math>U_{вх} = 10</math> мВ. Светодиод красный. Все параметры подобрать самостоятельно</p>
25	Зажечь светодиод с помощью неинвертирующего ОУ	<p><math>U_{вх} = 10</math> мВ. Светодиод синий. Все параметры подобрать самостоятельно</p>
26	Зажечь светодиод с помощью ОУ с открытым коллектором	<p>ОУ – 521 СА3. Источник питания для светодиода <math>E_{п} = 5</math> В.</p>
27	Зажечь светодиод с помощью ОУ с открытым коллектором	<p>ОУ – 521 СА3. Источник питания для светодиода <math>E_{п} = 10</math> В.</p>
28	Перевести транзистор в активный режим работы с помощью ОУ	<p>Источник питания для биполярного транзистора <math>E_{п} = 100</math> В. <math>U_{кэ} = 50</math> В. <math>I_{кэ} = 200</math> мА</p>
29	Перевести транзистор в активный режим работы с помощью ОУ	<p>Источник питания для биполярного транзистора <math>E_{п} = 200</math> В. <math>U_{кэ} = 80</math> В. <math>I_{кэ} = 100</math> мА</p>

№ варианта	Схема	Исходные данные
30	Перевести транзистор в режим насыщения работы с помощью ОУ	Источник питания для биполярного транзистора $E_{п} = 100 \text{ В}$ . $I_{кэ} = 200 \text{ мА}$
31	Перевести транзистор в режим насыщения работы с помощью ОУ	Источник питания для биполярного транзистора $E_{п} = 300 \text{ В}$ . $I_{кэ} = 500 \text{ мА}$

### Вопросы для тестирования

1. Нарисовать УГО операционного усилителя (ОУ).
2. Чем отличается УГО операционного усилителя по российскому госту от западного?
3. Как называется вход ОУ со знаком минус?
4. Как называется вход ОУ со знаком плюс?
5. Указать на УГО место подключения источников питания.
6. Привести электрическую схему двухполярного источника питания.
7. Нарисовать электрическую схему инвертирующего усилителя на ОУ.
8. Какое выражение соответствует коэффициенту усиления для инвертирующего усилителя на ОУ (через напряжения и сопротивления)?
9. Нарисовать электрическую схему неинвертирующего усилителя на ОУ.
10. Какое выражение соответствует коэффициенту усиления для неинвертирующего усилителя на ОУ (через напряжения и сопротивления)?
11. Нарисовать электрическую схему дифференцирующего усилителя на ОУ.
12. Какое уравнение отображает формирование напряжения на выходе дифференцирующего усилителя на ОУ.
13. Привести передаточную характеристику ОУ.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5**  
**«ГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ»**

**Вопросы для тестирования**

1. Какие усилители относятся к генераторам гармонических колебаний?
2. Какие колебания называются гармоническими?
3. Какой вид обратной связи действует в генераторах гармонических колебаний?
4. Какое уравнение соответствует условию баланса фаз?
5. 5. Какое уравнение соответствует условию баланса амплитуд?
6. Привести структурную схему генератора гармонических колебаний.
7. На какие виды делятся генераторы гармонических колебаний по форме генерируемых колебаний?
8. На какие виды делятся генераторы гармонических колебаний по форме избирательной цепи?