

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им.
проф. М.А. Бонч-Бруевича»

Отчёт по лабораторной работе №1
«ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДЕЛИ РЕЗИСТОРНОГО КАСКАДА С
ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ»

По курсу Электроники и
схемотехники

Выполнили студенты группы ИКБ-13:

Брусницын А.А.,

Панова Ю.А.

Оглавление	
Цель работы	3
Основные сведения	3
Ход работы	4
Исходные данные	4
Расчет элементов модели транзистора	6
Построение нагрузочной линии по постоянному току	8
Исследование свойств каскада ОЭ по сигналу на переменном токе	9
Расчет элементов модели транзистора для переменного тока (по сигналу)	11
Эквивалентная схема каскада в FASTMEAN:	13
Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений емкостей разделительных конденсаторов C_{p1} , C_{p2} и блокировочного конденсатора C_{Σ}	16
Общий вывод	18
Лабораторная работа 1	
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДЕЛИ РЕЗИСТОРНОГО КАСКАДА С ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ	

Цель работы: Изучить свойства усилительного каскада с Общим Эмиттером (ОЭ) в режиме малого сигнала. Выполнить анализ в частотной и временных областях. Исследовать свойства каскада при изменении сопротивления источника сигнала, нагрузки и элементов схемы. Определить входное и выходное сопротивления каскада

Основные сведения: По определению, в схеме с ОЭ эмиттер транзистора присоединяется к проводу (узлу) общему для входа и выхода каскада, как показано на рис. 1. Полная принципиальная схема каскада ОЭ представлена ниже на рис. 6. Изучение свойств каскада необходимо разбить на две части: время расчет режима работы каскада на постоянном токе (3.1). время исследование свойств каскада ОЭ по сигналу на переменном токе (3.2). Каждая часть состоит из пунктов, которые подробно рассмотрены ниже

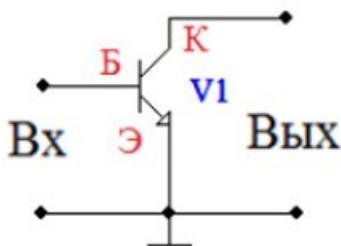


Рисунок 1. Максимально упрощенное представление о схеме включения транзистора с ОЭ

Ход работы:

- 1) Расчет сопротивлений резисторов цепей питания.
- 2) Расчет элементов модели транзистора.
- 3) Составление эквивалентной схемы каскада по постоянному току.
- 4) Вычисление на Fastmean тока покоя коллектора $I_{ок}$.
- 5) Построение нагрузочной линии по постоянному току.

Исходные данные:

Таблица №1 Входные данные:

N п.п.	Тип	h_{21min}	h_{21max}	$ h_{21} $	при f	$\tau_{ос}$	C_k
					МГц	пс	пФ
4	КТ3102А	100	250	1.5	10	100	6

Таблица №2 Входные данные:

№	3
$I_{ок}, \text{мА}$	5

Таблица №3 Входные данные:

№	2
$E_0, \text{В}$	12

Поскольку биполярный транзистор кремниевый, то напряжение открывания р-п перехода равно $U_{бэ} = 0,6\text{В}$. Питание схемы однополярное, поэтому для обеспечения средней точки напряжения на выходе БТ (выводе К)

$$U_k = \frac{E_0}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ В};$$

Для температурной стабилизации введём ООС, задав потенциал на общем выводе эмиттера $U_э = 0,1 \cdot E_0 = 1,2 \text{ В}$;

По закону Киргхоффа для напряжений определим:

а) напряжение на выводе базы: $U_6 = U_{63} + U_3 = 0,6 \text{ В} + 1,2 \text{ В} = 1,8 \text{ В}$;

б) разность потенциалов между выводами коллектора и эмиттера:

$$U_{кэ} = U_к - U_э = 6 \text{ В} - 1,2 \text{ В} = 4,8 \text{ В};$$

Коэффициент усиления (передачи) тока БТ: $h^{21} = \frac{I_к}{I_6} = \sqrt{h_{21} \times h_{21min}} =$
 $\frac{\sqrt{100} * 250}{158} = 158$; Отсюда ток в цепи базы:
 $I_6 = \frac{I_{ок}}{h_{21}} = \frac{5 \text{ мА}}{158} = 0,032 \text{ мА};$

По закону Кирхгофа для тока: $I_э = I_к + I_6 = 5 \text{ мА} + 0,032 \text{ мА} = 5,032 \text{ мА}$;

Для задания напряжения во входной цепи БТ через делитель напряжения

протекает $I_д = 10 \cdot I_6 = 10 \cdot 0,032 \text{ мА} = 0,32 \text{ мА}$; Рассчитаем сопротивления

резисторов каскада и выполним подбор номинальных значений:

$$R_{61} = \frac{(E_0 - U_b)}{(I_д - I_{об})} = 28977 \text{ Ом}$$

Номинальное 27 кОм $\pm 10\%$;

$$R_к = \frac{(E_0 - U_к)}{I_{ок}} = 1200 \text{ Ом} \pm 10\%$$

Номинальное 1,2 кОм $\pm 10\%$;

$$R_{62} = \frac{U_b}{I_д} = 5630 \text{ Ом} \pm 10\%;$$

Номинальное 5,5 кОм $\pm 10\%$;

$$R_э = \frac{U_э}{I_{0э}} = 240 \pm 5\%;$$

Номинальное 0,24 кОм $\pm 5\%$;

Расчет элементов модели транзистора:

Поскольку биполярный транзистор обладает высоким выходным сопротивлением и управляется током базы, логично рассматривать его как источник тока, управляемый током (ИТУТ) (рис. 2). Параметры модели получают по входному сопротивлению на постоянном токе $H_{11} = \frac{U_{бэ}}{I_{об}}$ и коэффициенту усиления тока базы h_{21} . Минус учитывает направление тока коллектора.

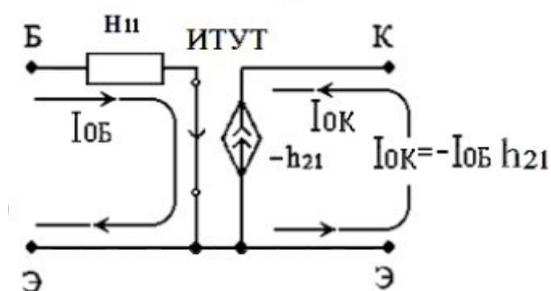


Рисунок 2 Модель биполярного транзистора для постоянного тока(ИТУТ)

$$H_{11} = \frac{U_{бэ}}{I_{об}} = \frac{0,6 \text{ В}}{0,032 \text{ мА}} = 18750 \text{ Ом};$$

Составление эквивалентной схемы каскада по постоянному току:
Заменяв транзистор его эквивалентной моделью, получим эквивалентную схему по постоянному току (рис. 3)

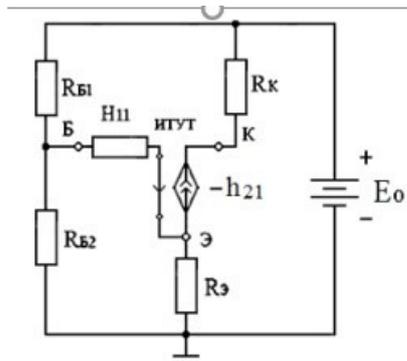
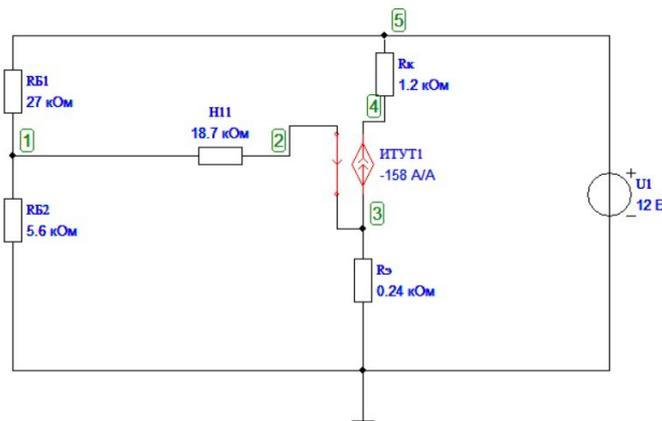


Рисунок 3. Эквивалентная схема каскада по постоянному току

Результаты работы в Fastmean (рисунок 4):



Переменная	Напряжение / ток
*** УЗЛОВЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ***	
U(Узел 1)	1.91 В
U(Узел 2)	1.28 В
U(Узел 3)	1.28 В
U(Узел 4)	5.64 В
U(Узел 5)	12 В
*** ТОКИ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОРЫ ***	
I(H11)	-33.5 мкА
I(RЭ)	5.33 мА
I(RК)	5.3 мА
I(RБ2)	0.34 мА
I(RБ1)	0.374 мА

Рисунок 4. Схема в Fastmean и переменные со значениями

Таблица №4 Значения всех элементов схемы

Параметр	$R_{Б1}$	$R_{Б2}$	$R_{К}$	$R_{Э}$	h_{21}	$U_{Б}$	$U_{Э}$	$I_{К}$
Единица измерения	кОм	кОм	кОм	кОм		В	В	мА
Расчёт	28,977	5,630	1,2	0,24	158	1,8	1,2	5
На Fastmean	27	5,6	1,2	0,24	-158	1,9	1,28	5,3

Вывод: Наши полученные значения на Fastmean, находятся в пределах допустимой погрешности, полученной из теоретических расчётов.

Построение нагрузочной линии по постоянному току.

По полученным результатам построить нагрузочную линию для постоянного тока в исследуемом усилителе, отметить на ней точку покоя А (рисунок 5).

$$I_{k,max} = \frac{E_0}{R_k + R_э} = \frac{12 \text{ В}}{1,2 \text{ кОм} + 0,24 \text{ кОм}} \approx 8,3 \text{ мА};$$

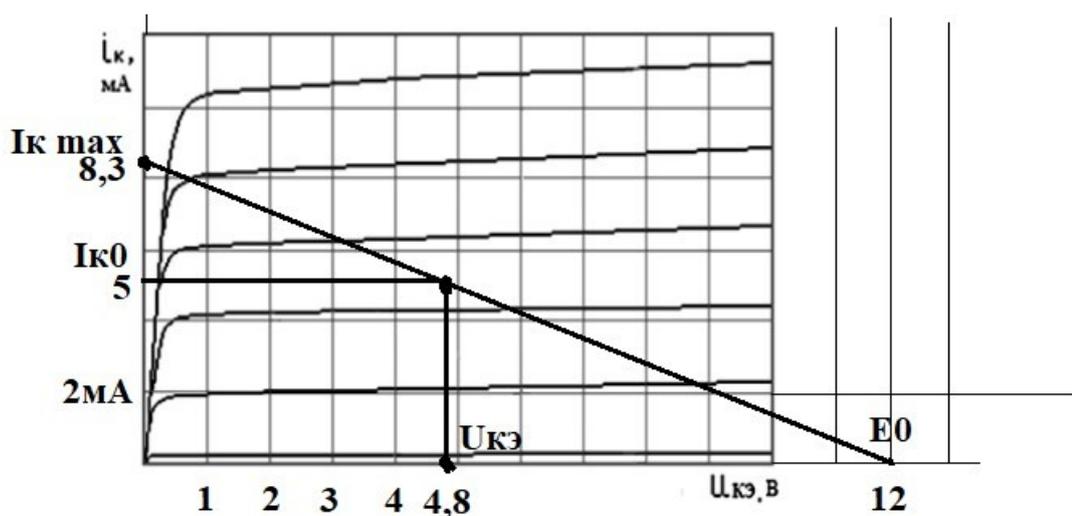


Рисунок 5. Нахождение точки покоя с помощью графика зависимости тока от напряжения

Исследование свойств каскада ОЭ по сигналу на переменном токе.

На рис. 6 показана принципиальная схема каскада с ОЭ. Дополнительно выделены входные и выходные контакты усилителя. Источник питания E_0 отнесен к усилителю, но может быть показан автономно. Обратите внимание, что в Fastmean источник питания изображается в виде круга.

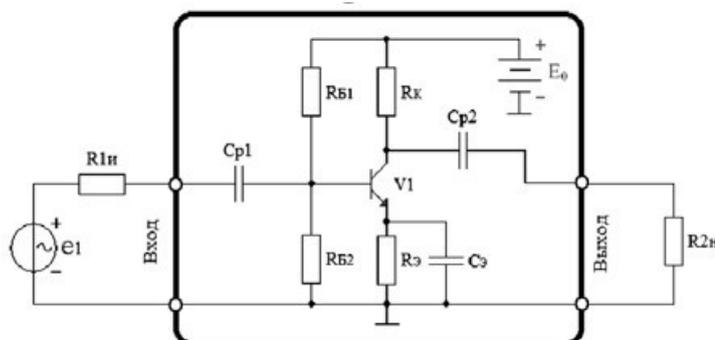


Рисунок 6 Принципиальная схема каскада с ОЭ

Переменная составляющая сигнала попадает на вход транзистора (базу) через конденсатор $CP1$, а передается в нагрузку от коллектора через конденсатор $CP2$. В соответствующем частотном диапазоне конденсатор $CЭ$ шунтирует (замыкает накоротко) сопротивление $RЭ$, поэтому напряжение на эмиттере по сигналу практически равно нулю и схема соответствует включению (рис. 1).

Ход работы:

3.2.1. Построение нагрузочной линии по сигналу.

3.2.2. Расчет элементов модели транзистора для переменного тока (по сигналу).

3.2.3. Составление эквивалентной схемы каскада ОЭ.

3.2.4. Расчет параметров АЧХ и ПХ с помощью Fastmean, а именно:

– амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и ее параметров:

$K_{\text{СКВ}}$ – сквозной коэффициент усиления на средней частоте в дБ,

$f_{\text{Н}\sqrt{2}}$ – частота нижнего среза, $f_{\text{В}\sqrt{2}}$ – частота верхнего среза;

– переходной характеристики (ПХ): $t_{\text{Н}}$ – время нарастания, Δ – спад вершины импульса при заданной длительности импульса $t_{\text{и}}$.

3.2.5. Определение влияния на параметры АЧХ и ПХ изменений сопротивлений источника сигнала $R_{1\text{и}}$ и нагрузки $R_{2\text{н}}$ (рис. 1.6);

3.2.6. Определение влияния на АЧХ и ПХ емкости нагрузки.

3.2.7. Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений емкостей разделительных

конденсаторов C_{p1} , C_{p2} и блокировочного конденсатора $C_{\text{э}}$.

3.2.8. Измерение входного и выходного сопротивлений каскада ОЭ (рисунок 3).

$$U_{2\text{н max}} = I_{\text{k max}} \cdot [R_{\text{к}} // R_{2\text{н}}] = 3,75\text{В};$$

$$[R_{\text{к}} // R_{\text{н}}] = \frac{R_{2\text{н}} \cdot R_{\text{к,НОМ}}}{R_{2\text{н}} + R_{\text{к,НОМ}}} = 750 \text{ (Ом)}; \text{ где } R_{2\text{н}} = 2 \text{ кОм}; R_{\text{к}} = 1,2 \text{ кОм}$$



Рисунок 7. Изменение графика от различного входного и выходного сопротивления каскада ОЭ

Вывод: С учетом того, что при переменном токе угол наклона больше, то по закону Ома следует, что при большем входном токе, получается сопротивление по переменному сигналу стало меньше.

Расчет элементов модели транзистора для переменного тока (по сигналу).

Выбор модели транзистора по сигналу ИТУТ основан на ранее использованной П-образной схеме (рис. 3) с добавлением к ней частотнозависимых элементов (рис. 1.8). Подобная этой, модель транзистора известна в литературе как схема Джаколетто.

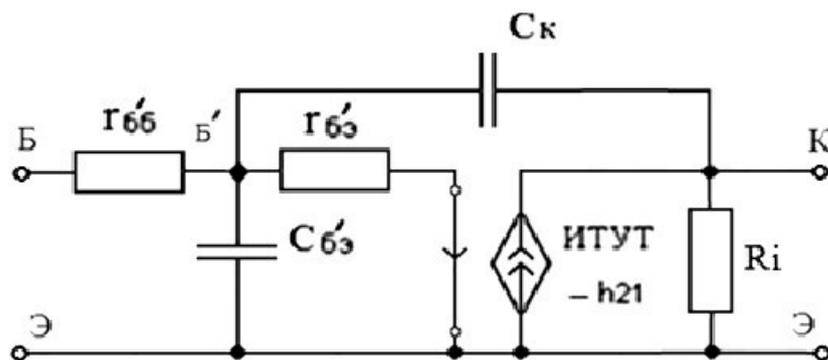


Рисунок 8. Эквивалентная модель биполярного транзистора для сигнала

Для расчета элементов модели необходимо взять из справочника следующие параметры транзистора: τ_{oc} – постоянная времени цепи обратной связи; C_k – емкость коллекторного перехода; модуль коэффициента передачи тока $|h_{21э}|$ на высокой частоте f , указанной изготовителем.

Выходное сопротивление транзистора $\frac{1}{h_{22}}$ обозначено R_i . Оно определяется напряжением Эрли $U_{Эр} = 100$ В и $I_{0к} = 4$ мА $R_i = 25$ кОм, что, как правило, значительно больше R_k . По это причине его часто не учитывают.

Элементы $r_{б'б}$, $r_{б'э}$, S , $C_{б'э}$ могут быть вычислены из выражений:

$$r_{б'б} = \frac{\tau_{ос}}{C_K}; \quad S = \frac{I_{0K}(\text{мА})}{U_T(\text{мВ})}; \quad r_{б'э} = (1 + h_{21э}) \frac{U_T(\text{мВ})}{I_{0K}(\text{мА})}; \quad h_{11} = r_{б'б} + r_{б'э};$$

$$C_{б'э} = \frac{S}{2\pi f_T}; \quad f_T = |h_{21}| \times f,$$

где f_T – частота единичного усиления (при $h_{21} = 1$), а $U_T = kT/q$,

причем $k = 1,38 \times 10^{-21}$ Дж/°С – постоянная Больцмана;

T – температура в градусах Кельвина;

$q = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл – заряд электрона. Значит, $U_T = \frac{T}{11,6}$ (мВ).

При комнатной температуре (20 °С) $U_T = 25,6$ мВ, параметр h_{21} вычислен ранее.

Рисунок 9. Формулы вычисления элементов

Проведём расчёты величин:

$$r_{б'б} = \frac{100 \cdot 10^{-12} \text{с}}{6 \cdot 10^{-12} \text{Ф}} = 16,6 \text{ Ом};$$

$$S = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{А}}{25,6 \cdot 10^{-3} \text{В}} = 0,2 \text{ См};$$

$$r_{б'э} = (1 + 158) \frac{25,6 \cdot 10^{-3} \text{В}}{5 \cdot 10^{-3} \text{А}} = 814,08 \text{ Ом};$$

$$h_{11} = 16,6 \text{ Ом} + 814,08 \text{ Ом} = 830,68 \text{ Ом};$$

$$C_{б'э} = \frac{0,2 \text{ См}}{2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 10^6} = 2,12 \text{ нФ};$$

$$f_T = 1,5 \cdot 10 \cdot 10^6 = 15 \text{ МГц};$$

$$R_б = \frac{28977 \text{ Ом} \cdot 5630 \text{ Ом}}{28977 \text{ Ом} + 5630 \text{ Ом}} = 4714,08 \text{ Ом}$$

Эквивалентная схема каскада в FASTMEAN (рисунок 10):

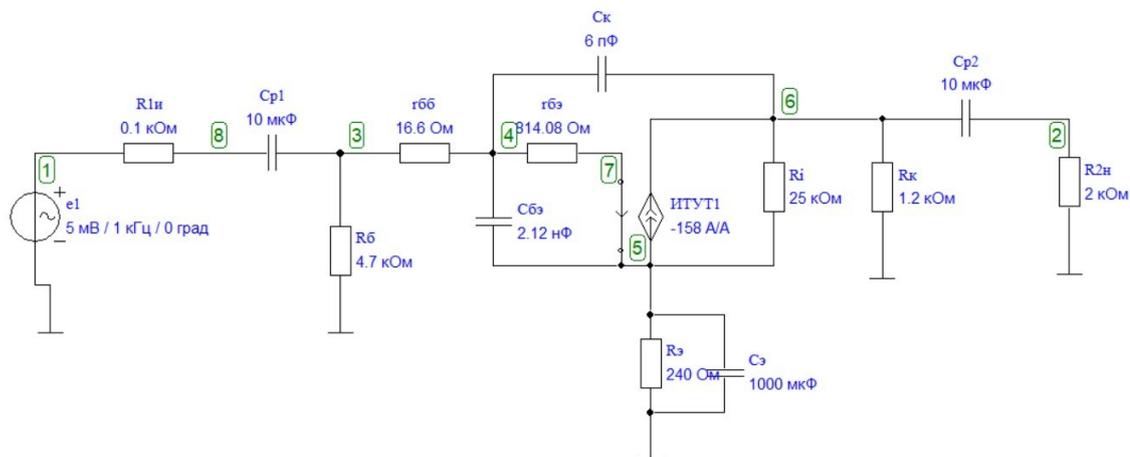


Рисунок 10. Схема цепи, составленная в Fastmean

Значения всех элементов схемы (таблица 5):

Таблица №5 Значения всех элементов схемы

e_1	$R_{1И}$	C_{p1}	$R_б$	$r_{б'б}$	$r_{б'э}$	$C_{б'э}$	$C_к$	h_{21}	$R_э$	$C_э$	$R_к$	C_{p2}	$R_{2Н}$
мВ	кОм	мкФ	кОм	Ом	Ом	нФ	пФ		Ом	мкФ	кОм	мкФ	кОм
5	0,1	10	4,7	16,6	814,08	2,12	6	158	240	1000	1,2	10	2

Таблица №6 Результаты измерений

$K_{СКВ}$, кГц	$f_{H\sqrt{2}}$, Гц	$f_{B\sqrt{2}}$, МГц	* Δ , %	t_H^{**}	Примечание:
2,28	32,34	1,65	26	0,22	* $t_{И} = 1,25$ мс, ** $t_{И} = 25$ мкс.

Расчет параметров ПХ с помощью Fastmean (рисунки 11, 12):

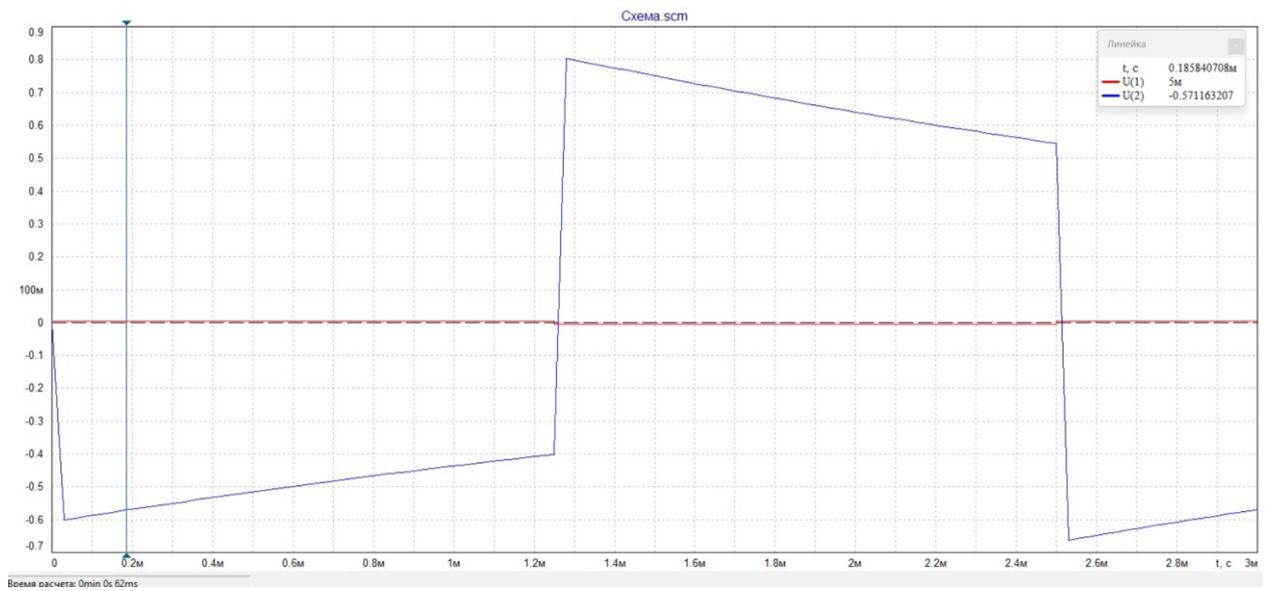


Рисунок 11. График зависимости напряжения от времени

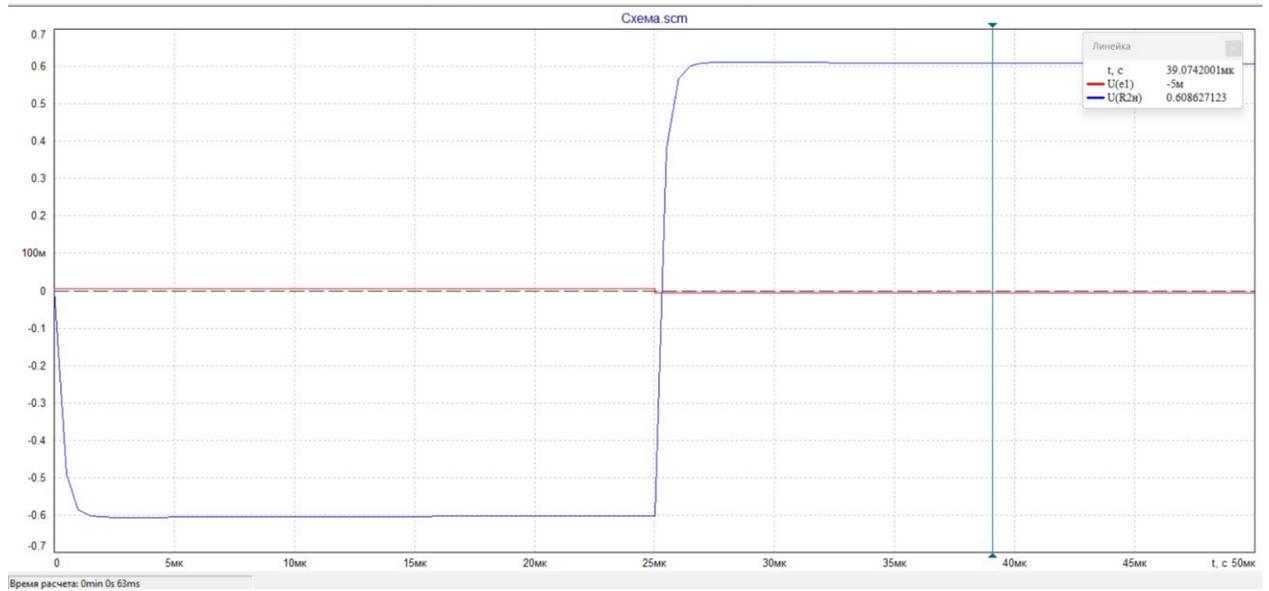


Рисунок 12. График зависимости напряжения от времени

Таблица №7 Результаты измерений

№ п/п	R _{1И}	R _{2И}	K _{СКВ}	f_2 н	f_2 в	σ^*	$t^{**И}$	Примечание
	кОм	кОм	дБ	кГц	МГц	%	нс	
1	0,1	2	32,38	0,04545	0,53336	29,48	610	* $t_{И} = 1,25$ мс, ** $t_{И} = 25$ мкс
2	0,5	2	31,61	0,03167	0,18033	21,53	1800	
3	0,1	0,5	30,93	0,04749	0,62192	19,61	550	
4	0,5	0,5	30,02	0,03394	0,21192	23,21	1500	

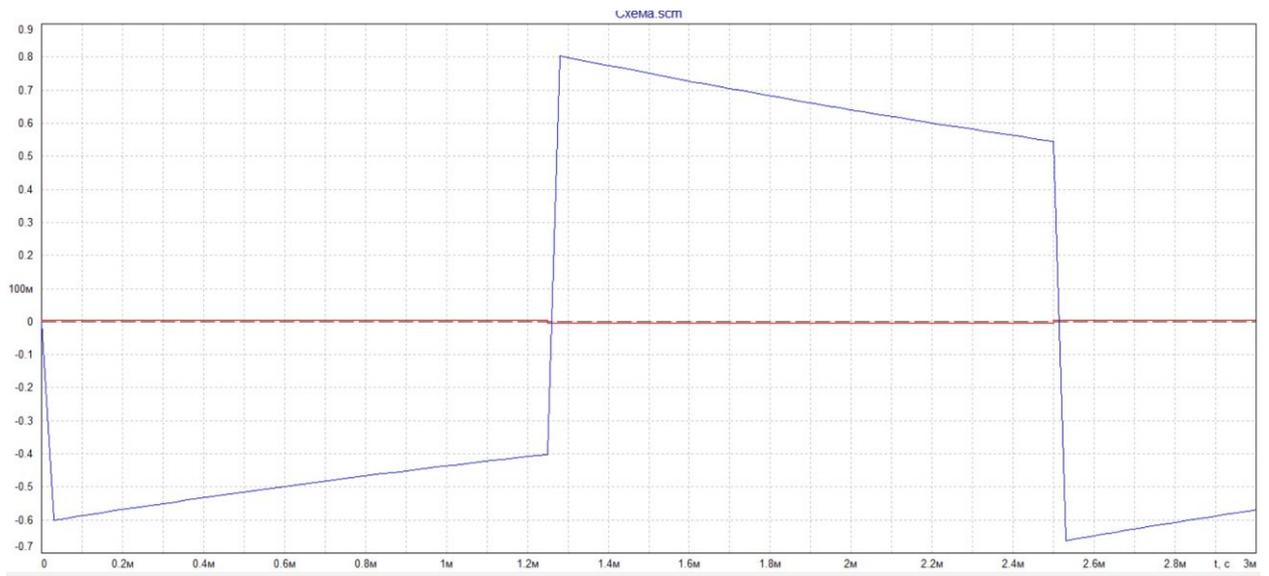


Рисунок 13. График зависимости напряжения от времени

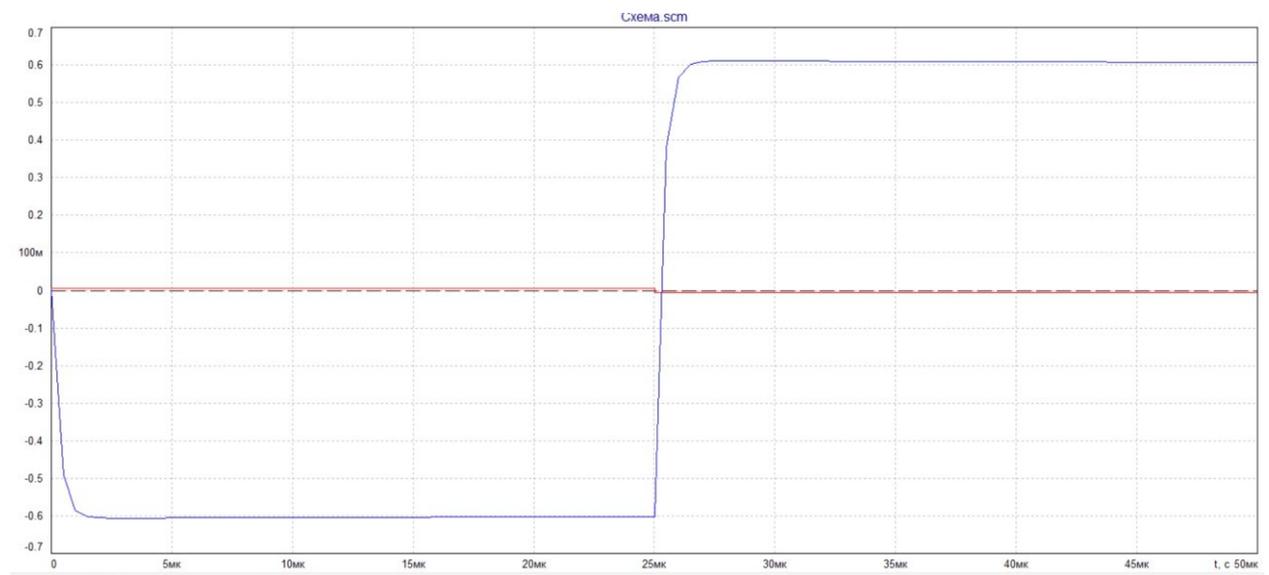


Рисунок 14. График зависимости напряжения от времени

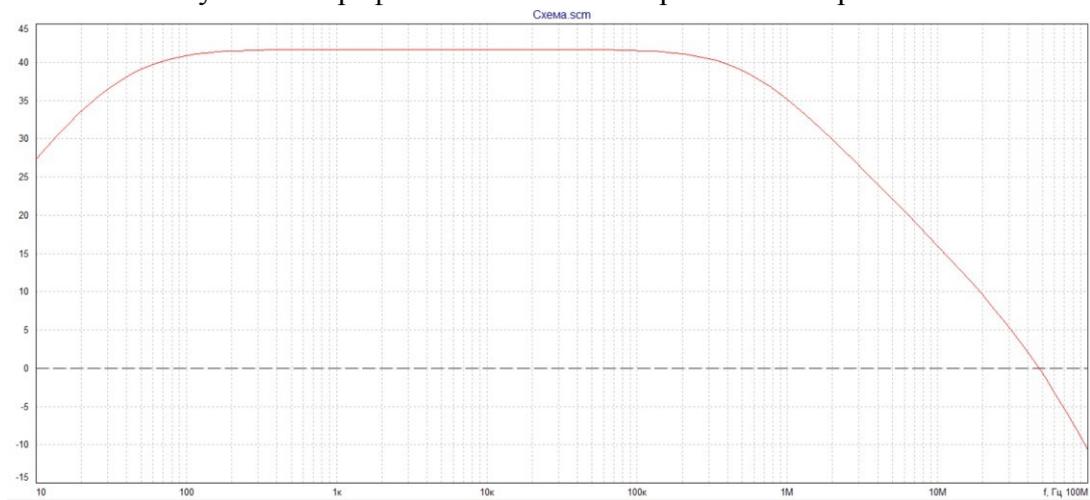


Рисунок 15. График зависимости частоты от напряжения
Определение влияния на АЧХ и ПХ изменений емкостей

разделительных конденсаторов C_{p1} , C_{p2} и блокировочного конденсатора C_3 (таблица 8):

Таблица №8 Результаты измерений

$C_{p1} = C_{p2}$	$K_{скв}$,	$f_{н\sqrt{2}}$	$f_{в\sqrt{2}}$	* $\Delta, \%$	Примечание
мкФ	дБ	кГц	МГц	%	
10,0	41,67	0,04495	0,53336	41,25	* $t_{и} = 1,25$ мс
1,0	41,68	0,23058	0,53336	92,36	

Скриншоты:

Для первого случая схема и расчеты совпадают с первым случаем изменения сопротивления резисторов.

Для второго случая (рисунки 16, 17):

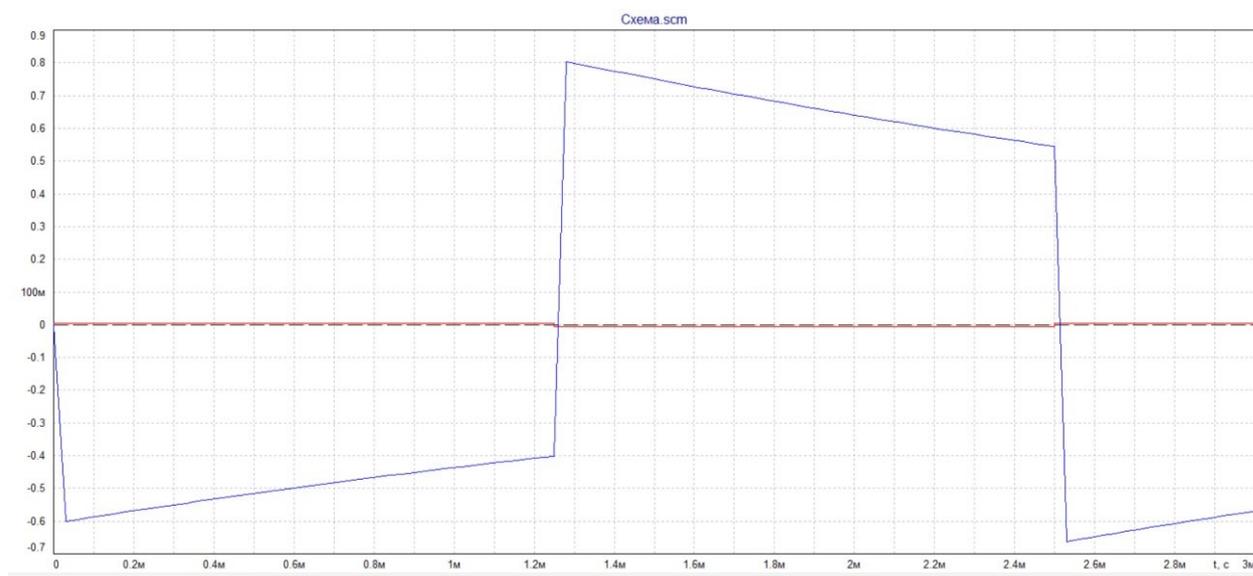


Рисунок 16. График зависимости напряжения от времени

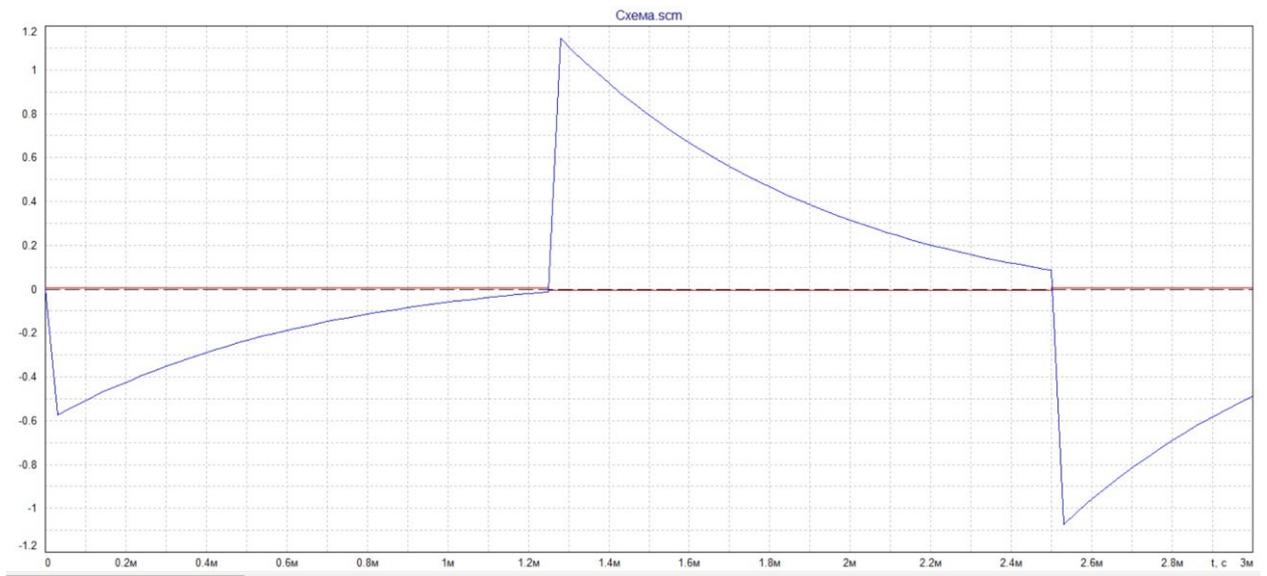


Рисунок 17. График зависимости напряжения от времени

Вывод: Проектирования схем на основе транзисторов и описывает метод составления эквивалентной схемы каскада с ОЭ при малом сигнале. Для этого в принципиальной схеме каскада заменяется транзистор V_1 эквивалентной моделью, а затем верхние концы резисторов R_{B1} и R_K соединяются с общим проводом. В результате получается эквивалентная схема каскада ОЭ, в которой резистор R_b заменяет параллельное соединение резисторов R_{B1} и R_B . Этот метод позволяет упростить проектирование схем на основе транзисторов и улучшить их характеристики.

Общий вывод: В ходе выполнения лабораторной работы были изучены свойства усилительного каскада с Общим Эмиттером (ОЭ) в режиме малого сигнала. Был проведен анализ в частотной и временных областях, а также исследованы свойства каскада при изменении сопротивления источника сигнала, нагрузки и элементов схемы. Были определены входное и выходное сопротивления каскада. В целом, данная работа позволила получить более глубокое понимание свойств усилительных каскадов с ОЭ и их применения в электронике.