

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники



Якушевич Г.Н.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДОВ С ОЭ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ,
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОС**

Методические указания по лабораторной работе,
практическим занятиям и самостоятельной работе
для студентов радиотехнических специальностей

Томск 2023

УДК 621.375
ББК 32.846.2
Я49

Рецензент:

Мещеряков А.А., доцент кафедры радиотехнических систем ТУСУР, канд. техн. наук

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДОВ С ОЭ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ,
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОС**

Якушевич Г.Н.

К Я49 «Исследование каскадов с ОЭ с последовательной ОС по току, параллельной по напряжению и комбинированной ОС»: Методические указания по лабораторной работе, практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов радиотехнических специальностей / Якушевич Г.Н. Томск: Томск .гос. унт-систем упр. и радиоэлектроники, 2023.-12 с.

Методические указания содержат описание компьютерной лабораторной работы, выполняемой в ходе изучения дисциплины «Схемотехника» в среде Qucs. Методические указания содержат так же краткую вводную теоретическую часть, расчетные соотношения, расчетное задание, контрольные вопросы требования по оформлению отчета.

Одобрено на заседании каф. РТС протокол № 5.от 01.12.2022 г.

УДК 621.375
ББК 32.846.2

© Якушевич Г.Н. 2023 г.
© Томск гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники, 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ КАСКАДА С ОЭ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ.....	5
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАМНОМ ПРОДУКТЕ QUCS.....	5
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДА С ОЭ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ С ВАРЬИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ.....	5
4 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ КАСКАДА С ОЭ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ ПО НАПРЯЖЕНИЮ.....	6
5 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДА С ОЭ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОС ПО НАПРЯЖЕНИЮ.....	7
6 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ КАСКАДА С ОЭ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОС.....	9
7 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДА С ОЭ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОС.....	10
8 ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	11
9 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	11
10 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	11

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ КАСКАДА С ОЭ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ

Цель работы: Исследование влияния последовательной ОС по току, параллельной ОС по напряжению и комбинированной ОС на основные параметры каскада с ОЭ.

Расчетные соотношения для каскада с ОЭ с последовательной ОС по току

На рис. 1 приведена схема каскада с ОЭ с последовательной ОС по току.

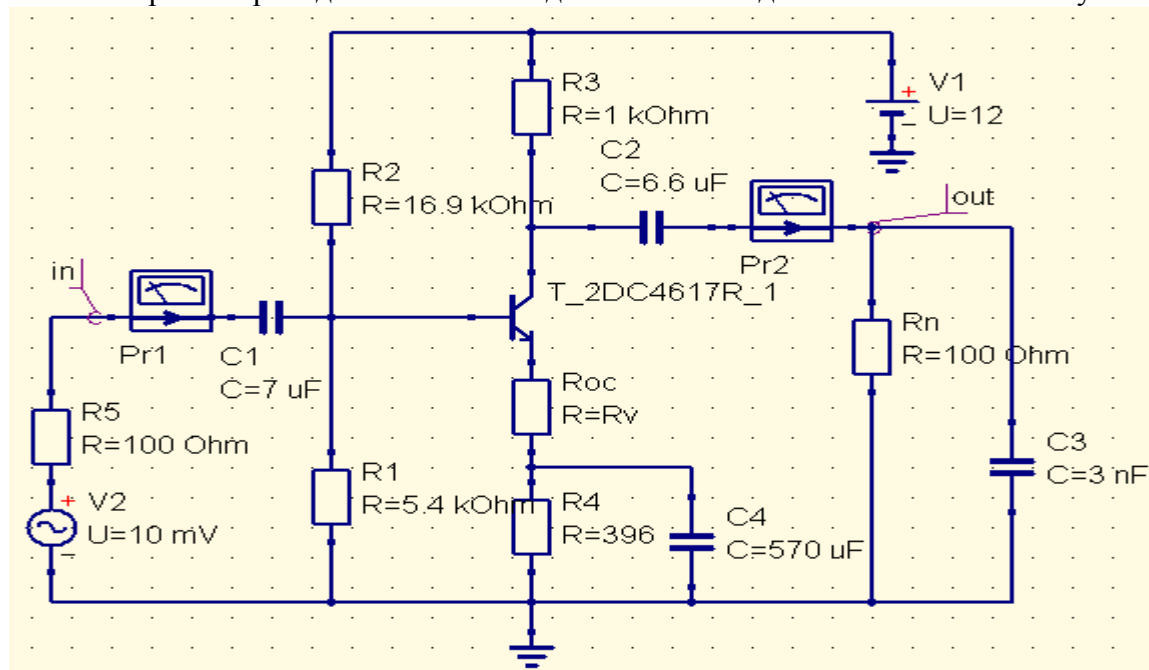


Рисунок 1 Схема каскада с ОЭ с последовательной ОС по току

Коэффициент усиления каскада с ОЭ с последовательной ОС по току равен

$$K_{OC} = \frac{K_0}{1 + S_0 R_{OC}} \approx \frac{R_{ЭКВ}}{R_{OC}},$$

где $K_0 = S_0 R_{H ЭКВ}$ - коэффициент усиления по напряжению каскада с ОЭ без ОС, $S_0 = 1/(r_э + \Delta r)$ - крутизна транзистора, $r_э = 25.6 [мВ]/I_э [мА]$, $\Delta r \approx 1..2$ Ома, $I_э$ ток эмиттера транзистора, K_{OC} - заданный коэффициент усиления по напряжению каскада с ОЭ с ОС, $R_{H ЭКВ} = R_3 // R_n$ - эквивалентное параллельное сопротивление R_3 сопротивления R_n нагрузки по переменному току.

Тогда для заданного коэффициента усиления K_{OC} с последовательной ОС по току сопротивление ОС R_{OC} рассчитывается по формуле

$$R_{OC} = \frac{K_0 - K_{OC}}{K_{OC} S_0}.$$

Номинал эмиттерного сопротивления равен $R_4 = R_э - R_{OC}$, где $R_э = 396$ Ом.

Входное сопротивление каскада с ОЭ с последовательной ОС по току равно

$$R_{BХ OC} = R_{BХ OЭ} + (H_{21 Э} + 1) R_{OC},$$

где $H_{21 Э}$ - коэффициент усиления по току каскада с ОЭ, $R_{BХ OЭ} = r_б + (1 + H_{21 OЭ})(r_э + \Delta r)$ - входное сопротивление каскада с ОЭ, $r_б$ - сопротивление базы транзистора.

Коэффициент усиления по току каскада с ОЭ с последовательной ОС по току равен

$$K_{I OC} \approx K_{I OЭ} = H_{21 Э}.$$

Задание 1. Для своего варианта задания из табл. 2 для $K_0 = 37$ дБ (71 раз) рассчитать R_{OC} , $R_{BХ OC}$ и R_4 .

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Кос дБ (раз)	31 (35)	28 (25)	26 (20)	23.5 (15)	20 (10)	17.5 (7.5)	14 (5)

Результаты расчетов привести в таблице

Таблица			
K_{oc}	R_{oc}	$R_{вх\ oc}$	R_4

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ QUCS

Чтобы открыть программный продукт Qucs щелкните два раза по ярлыку



откроется главное окно, затем щелкните два раза по вкладке «Справка», откроется содержание «Справки».

Содержание

1. Быстрый старт - Аналоговое моделирование.
2. Быстрый старт - Цифровое моделирование.
3. Быстрый старт – Оптимизация.
4. Краткое описание действий.
5. Работа с подсхемами.
6. Краткое описание математических функций.
7. Перечень специальных символов.
8. Создание согласованных схем.
9. Описание установленных файлов Qucs.
10. Описание форматов файлов Qucs.

Изучить содержание разделов 1,4,5 программного продукта Qucs.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДА С ОЭ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ С ВАРЬИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ

Собрать в Qucs схему каскада с ОЭ с последовательной ОС по току приведенную на рис. 2. Добавить к схеме виды моделирования и уравнения для расчета ЧХ (см. рис.3). Присвоить имя файлу и сохранить в папке на рабочем столе.

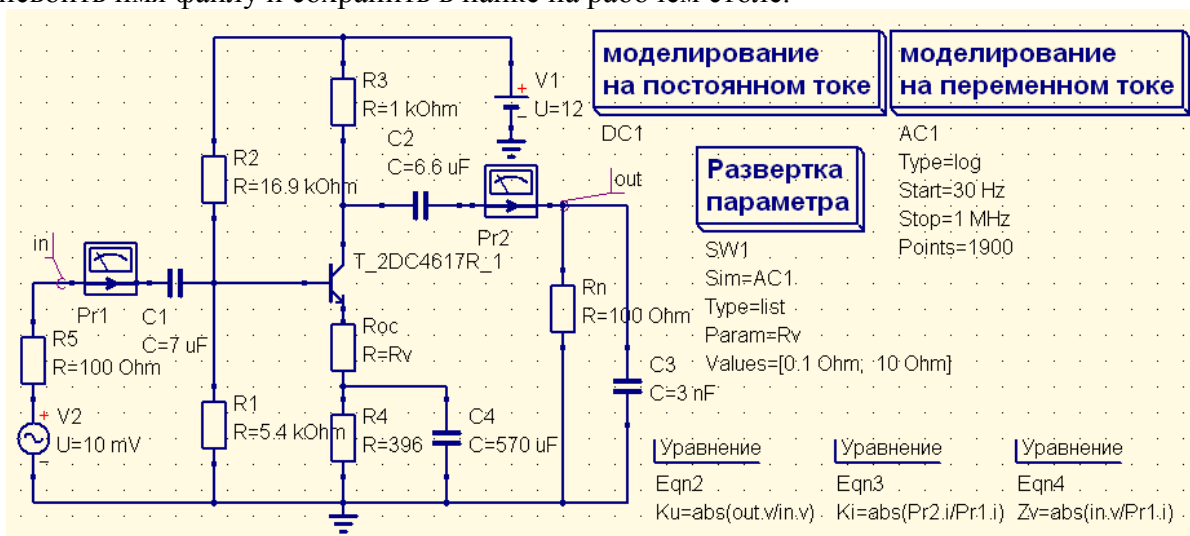


Рисунок 3Схема каскада с ОЭ с последовательной ОС по току с варьированием параметров

В развертке параметров одно значение R_{oc} взять равным 0.1 Ома (ЧХ без ОС), а второе равное рассчитанному (ЧХ с ОС).

Для запуска моделирования нажмите кнопку моделирования на панели инструментов (или используйте меню: Моделирование->Моделировать). Чтобы увидеть результаты моделирования в классе компонентов "диаграммы", который выбирается автоматически нажмите на "Декартовая", перейдите в рабочую область и поместите ее, нажав левую кнопку мыши. Открывается диалоговое окно, где можно выбрать, что следует показать в новой диаграмме.

Промоделировать. Результаты моделирования представить в виде ЧХ, приведенных на рис. 4 и в виде таблицы.

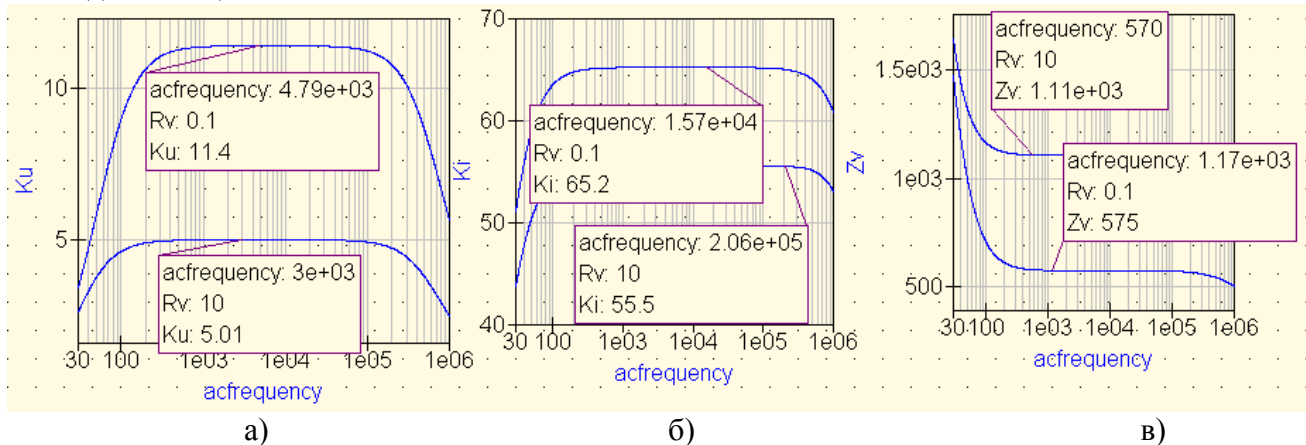


Рисунок 4 ЧХ коэффициента усиления по напряжению K_u (а), коэффициента усиления по току K_i (б) и входного сопротивления Z_v (в)

Таблица

	K_u	K_i	Z_v
Без ОС			
С последовательной ОС по току			

4 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ КАСКАДА С ОЭ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОС ПО ТОКУ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

На рис. 5 приведена схема каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению.

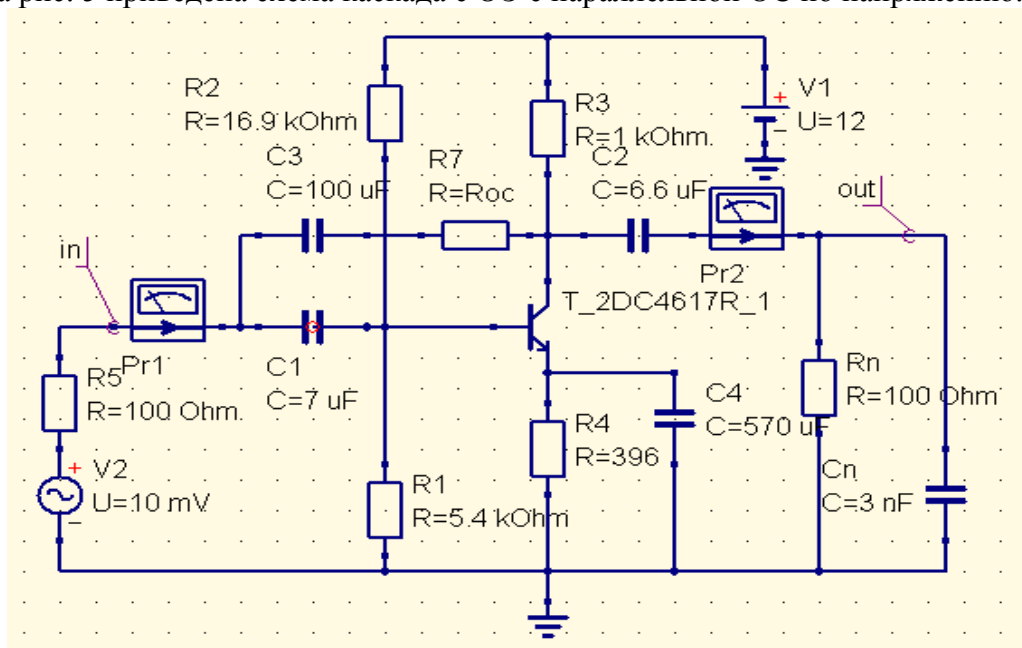


Рисунок 5 Схема каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению

Коэффициент усиления по напряжению каскада с ОЭ с параллельной ОС равен

$$K_{UOC} = S_0 R_{HOC} \sim ,$$

где $R_{HOC} \sim = R_{нэкв} R_{OC} / (R_{нэкв} + R_{OC})$ - сопротивление нагрузки по переменному току, $R_{нэкв} = R_H R_3 / (R_H + R_3)$ - сопротивление нагрузки каскада с ОЭ.

Выражение для сопротивления параллельной ОС R_{OC} запишется

$$R_{OC} = R_{ВХ OC} (1 + K_{UOC}),$$

где $R_{ВХ OC}$ - входное сопротивление каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению, заданное из условия согласования с сопротивлением генератора R_G : $R_{ВХ OC} = R_G$.

С учетом коэффициента усиления по напряжению каскада с ОЭ с параллельной ОС выражение для сопротивления параллельной ОС R_{OC} запишется

$$R_{OC} = (R_{ВХ OC} + R_{ВХ OC} S_0 R_{нэкв} - R_{нэкв}) / 2 + [(R_{ВХ OC} + R_{ВХ OC} S_0 R_{нэкв} - R_{нэкв}) / 2]^2 + R_{ВХ OC} R_{нэкв}]^{1/2}$$

Входное сопротивление каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению равно

$$R_{ВХ OC} = R_{OC} / (1 + K_{UOC}).$$

Коэффициент усиления по току каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению равен

$$K_{I OC} = K_{U OC} R_{ВХ OC} / R_{H OC} \sim \approx S_0 R_{ВХ OC}.$$

Задание 2. Для своего варианта задания из табл. 2 рассчитать R_{OC} , $K_{U OC}$, $R_{ВХ OC}$ и $K_{I OC}$.

Таблица 2

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Сопротивление генератора R_G	25	50	75	100	150	200	300

Результаты расчетов привести в таблице

Таблица

R_{OC}	$K_{U OC}$	$R_{ВХ OC}$	$K_{I OC}$

5 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДА С ОЭ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОС ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Собрать в Qucs схему каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению, приведенную на рис.5. Добавить к схеме виды моделирования и уравнения для расчета ЧХ (см. рис.6). Присвоить имя файлу и сохранить в папке на рабочем столе.

В развертке параметров одно значение R_{OC} взять равным 100 кОм (ЧХ без ОС), а второе равное рассчитанному (ЧХ с ОС).

Для запуска моделирования нажмите кнопку моделирования на панели инструментов (или используйте меню: Моделирование->Моделировать). Чтобы увидеть результаты моделирования в классе компонентов "диаграммы", который выбирается автоматически нажмите на "Декартова", перейдите в рабочую область и поместите ее, нажав левую кнопку мыши. Открывается диалоговое окно, где можно выбрать, что следует показать в новой диаграмме.

Промоделировать. Результаты моделирования представить в виде ЧХ, приведенных на рис. 7.

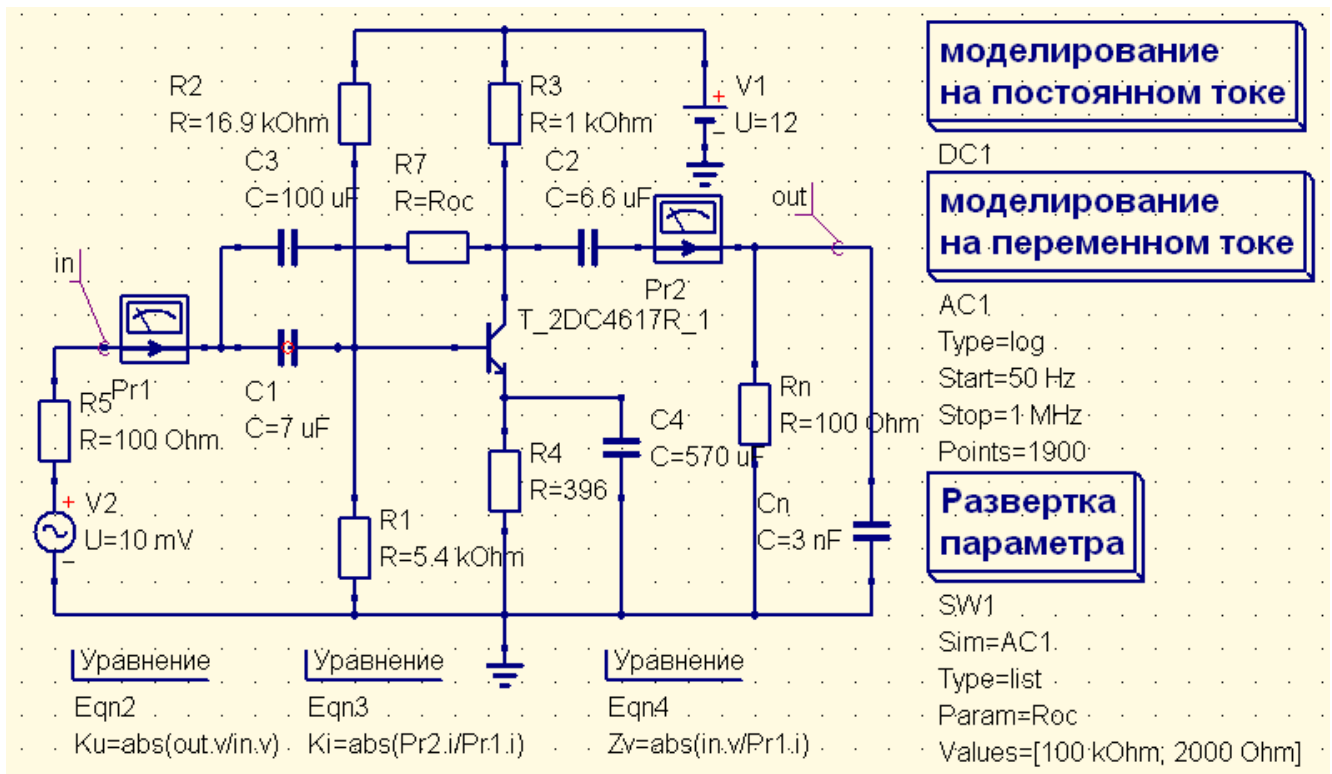


Рисунок 6 Схема каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению с варьированием параметров

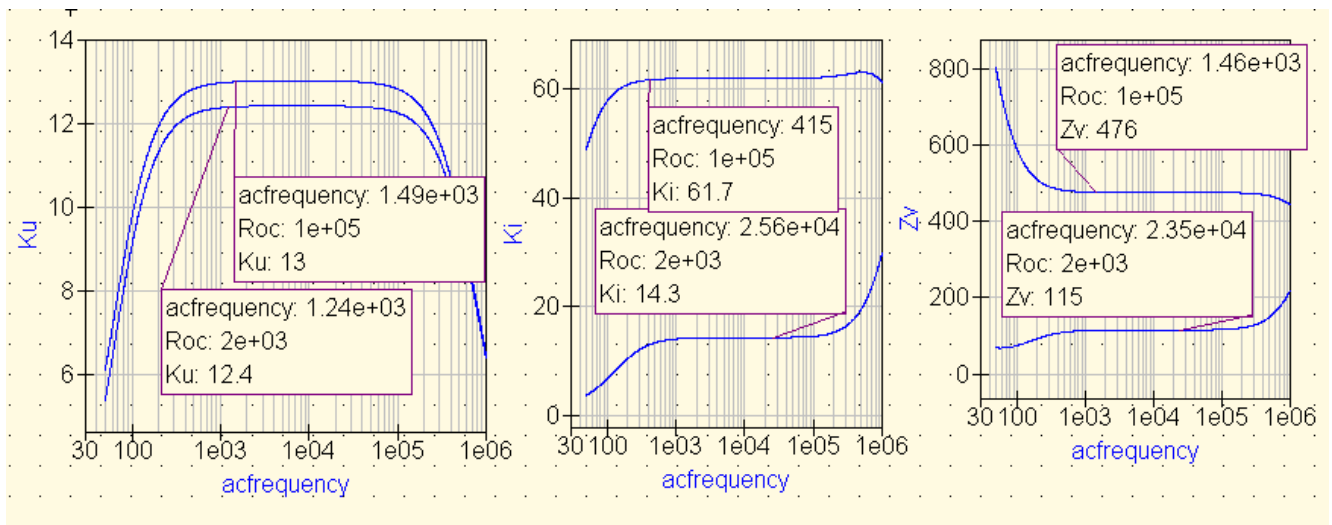


Рисунок 7 ЧХ коэффициента усиления по напряжению Ku (а), коэффициента усиления по току Ki (б) и входного сопротивления Zv (в)

Результаты моделирования представить в таблице.

Таблица

	Ku	Ki	Zv
Без ОС			
С параллельной ОС по напряжению			

6 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ КАСКАДА С ОЭ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОС

На рис. 8 приведена схема каскада с ОЭ с комбинированной ОС.

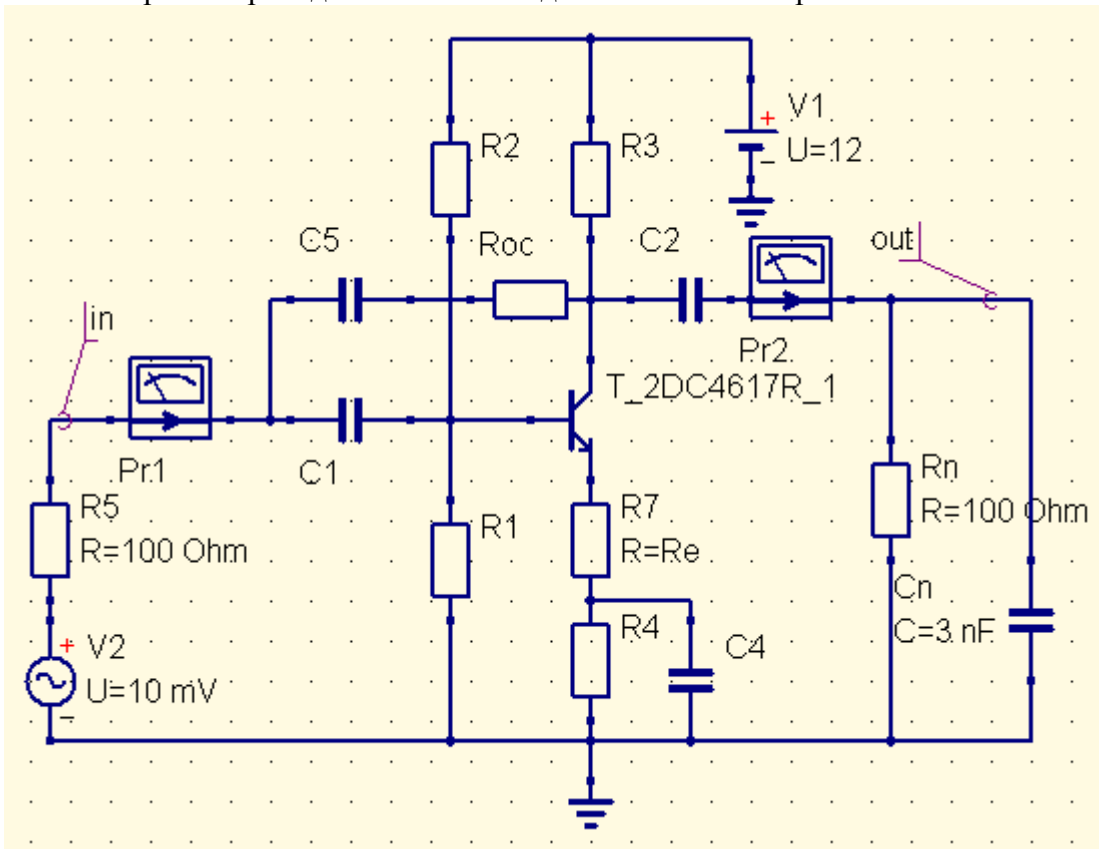


Рисунок 8 Схема каскада с ОЭ с комбинированной ОС

Из условия согласования по входу и выходу каскада с ОЭ с комбинированной ОС $R_{oc} R_{e экв} = R_n^2$ сопротивление параллельной ОС по напряжению R_{oc} равно

$$R_{oc} = R_n^2 / R_{e экв},$$

где R_n – сопротивление нагрузки, $R_{e экв}$ – эквивалентное сопротивление последовательной ОС по току.

Эквивалентное сопротивление последовательной ОС по току равно

$$R_{e экв} = R_n / K_{U OC} = r_{э} + \Delta r + R_e,$$

где $K_{U OC}$ – заданный коэффициент усиления по напряжению каскада с ОЭ с комбинированной ОС.

Тогда сопротивление последовательной ОС по току равно

$$R_e = R_{e экв} - (r_{э} + \Delta r).$$

Коэффициент усиления по напряжению каскада с ОЭ с комбинированной ОС равен

$$K_{U OC} = S_{OЭ} R_{H OC \sim},$$

где эквивалентная крутизна каскада с ОЭ с комбинированной ОС равна

$S_{OЭ} = 1 / R_{e экв}$, сопротивление нагрузки по переменному току равно

$R_{H OC \sim} = R_n R_{oc} / (R_n R_{oc} + R_{oc})$, $R_n R_{oc} = R_n R_3 / (R_n + R_3)$ – сопротивление нагрузки каскада с ОЭ

Входное сопротивление каскада с ОЭ с комбинированной ОС равно

$$R_{BХ OC} = R_{oc} / (1 + K_{U OC}).$$

Коэффициент усиления по току каскада с ОЭ с комбинированной ОС равен

$$K_{I OC} = K_{U OC} R_{BХ OC} / R_{H OC \sim} \approx S_0 R_{BХ OC}.$$

Номинал эмиттерного сопротивления равен $R_4 = R_{э} - R_e$, $R_{э} = 396 \text{ Ом}$.

Задание 3 Для своего варианта задания из табл. 3 рассчитать R_{oc} , K_{UOC} , $R_{вх ос}$ и K_{Ioc} .

Таблица 3

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
Сопротивление генератора R_T	25	50	75	100	150	200	300

Результаты расчетов привести в таблице

Таблица

R_{oc}	R_e	K_{UOC}	$R_{вх ос}$	K_{Ioc}

7 МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДА С ОЭ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОС

Собрать в Qucs схему каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению, приведенную на рис.8. Добавить к схеме виды моделирования и уравнения для расчета ЧХ (см. рис.9). Присвоить имя файлу и сохранить в папке на рабочем столе.

В развертке параметров для последовательной ОС по току одно значение R_e взять равным 0.1 Ома (ЧХ без ОС), а второе равное рассчитанному (ЧХ с ОС).

В развертке параметров для параллельной ОС по напряжению одно значение R_{oc} взять равным рассчитанному для R_e равным 0.1 Ома, а второе равное рассчитанному для R_e своего варианта.

Для запуска моделирования нажмите кнопку моделирования на панели инструментов (или используйте меню: Моделирование->Моделировать). Чтобы увидеть результаты моделирования в классе компонентов "диаграммы", который выбирается автоматически нажмите на "Декартовая", перейдите в рабочую область и поместите ее, нажав левую кнопку мыши. Открывается диалоговое окно, где можно выбрать, что следует показать в новой диаграмме.

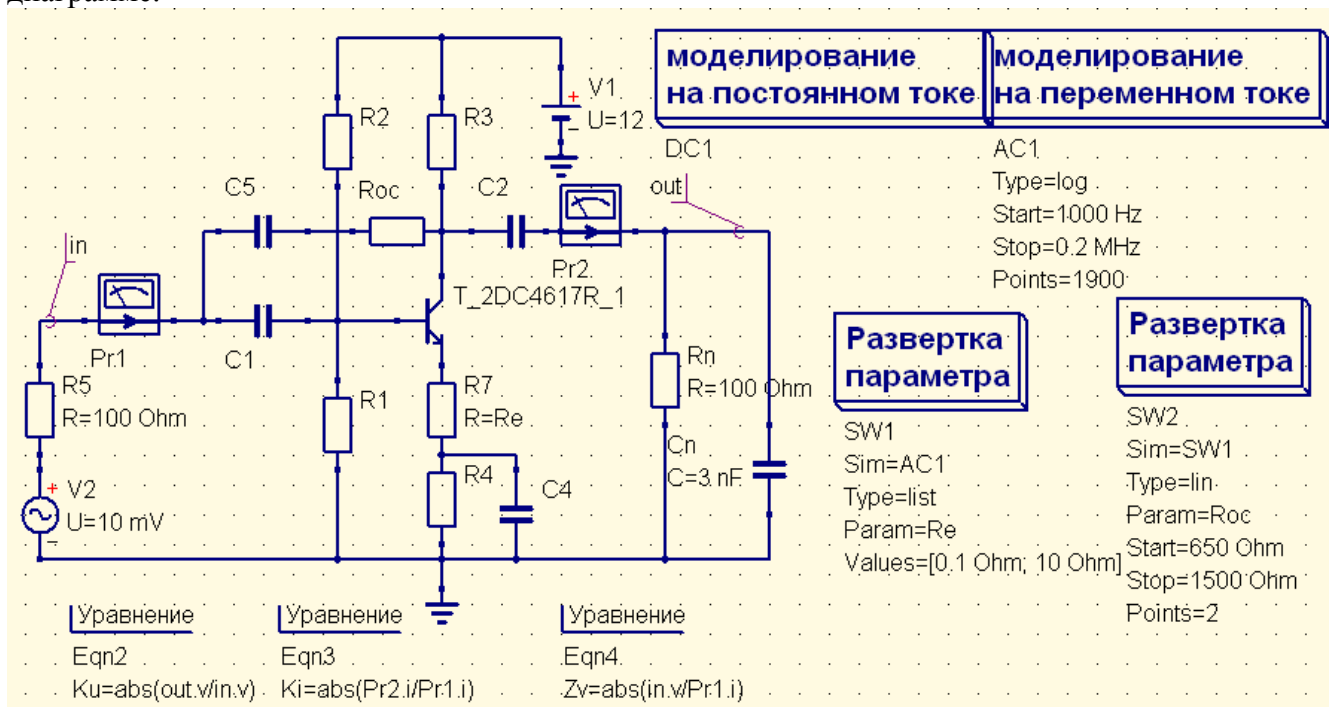


Рисунок 9 Схема каскада с ОЭ с комбинированной ОС с варьированием параметров

Промоделировать. Результаты моделирования представить в виде ЧХ, приведенных на рис. 10 и в таблице.

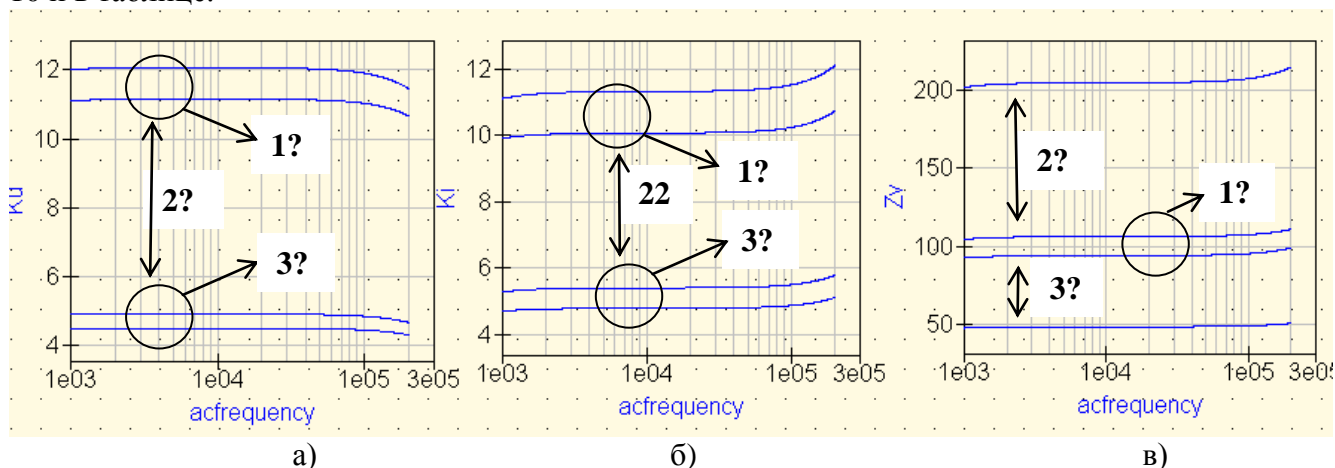


Рисунок 10 ЧХ коэффициента усиления по напряжению K_u (а), коэффициента усиления по току K_i (б) и входного сопротивления Z_v (в)

Таблица

	K_u	K_i	Z_v
Re= R8=			
Re= R8=			
Re= R8=			
Re= R8=			

8 ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Выводы должны содержать ссылки на рисунки, объяснение поведения характеристик, физику поведения, сравнение характеристик при варьировании параметров.

9 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определить последовательную ОС по току?
2. Как определить параллельную ОС по напряжению?
3. Как изменяются параметры каскада с ОЭ при введении последовательную ОС по току?
4. Как изменяются параметры каскада с ОЭ при введении параллельной ОС по напряжению?
5. Какие достоинства комбинированной ОС?
6. Коэффициент усиления по напряжению каскада с ОЭ с последовательной ОС по току?
7. Коэффициент усиления по току каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению?
8. Условие согласования каскада с ОЭ с комбинированной ОС?
9. Входное сопротивление каскада с ОЭ с параллельной ОС по напряжению?
10. Какой тип ОС параллельной ОС по напряжению?
11. Какой тип ОС последовательной ОС по току?

10 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Каскады с ОЭ с последовательной ОС по току, параллельной ОС по напряжению и комбинированной ОС: Учебное методическое пособие по лабораторной работе, практическим занятиям и самостоятельной работе / Якушевич Г. Н. — 2019. 11 с. . [Электронный ресурс]: — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/9135> (дата обращения 01.12.2022 г.)

2 Красько, А. С. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебное пособие [Электронный ресурс] / А. С. Красько. — Томск: ТУСУР, 2006. — 180 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/938> (дата обращения 01.12.2022 г.)