

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



Якушевич Г.Н.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО, НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДОВ И
УНЧ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ**

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

.....

Якушевич Г.Н.

К Я49 «Исследование инвертирующего, неинвертирующего каскадов и УНЧ на операционных усилителях»: 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.-11 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.

Содержание

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ.....	4
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАМНОМ ПРОДУКТЕ QUCS.....	4
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ ПО ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ.....	5
4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ С ВАРЬИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ.....	6
5 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ.....	7
6 МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ С ВАРЬИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ.....	8
7 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ОУ.....	9
8 ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	11
9 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	11
10 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	11

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ. РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ

Цель работы: Исследование частотных характеристик инвертирующего, неинвертирующего каскадов и УНЧ на операционных усилителях (ОУ).

Расчетные соотношения для инвертирующего каскада на ОУ

На рис. 1 приведена схема инвертирующего каскада на ОУ.

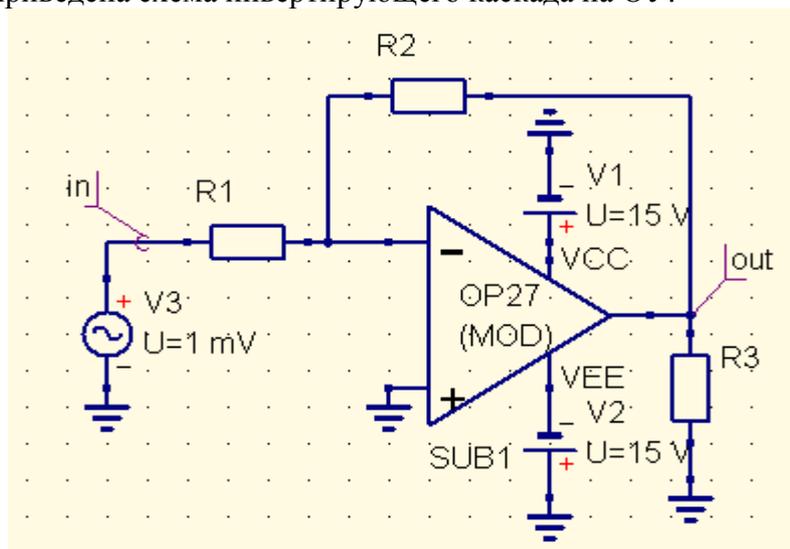


Рисунок 1-Схема инвертирующего каскада на ОУ

Коэффициент усиления инвертирующего каскада на ОУ равен

$$|K_U| = R_2 / R_1.$$

Входное сопротивление инвертирующего каскада на ОУ равно

$$R_{BX} = R_1$$

Верхняя граничная частота инвертирующего каскада на ОУ равна

$$f_{B0.707} = f_1 / (1 + R_2 / R_1),$$

где f_1 - частота единичного усиления ОУ.

Задание 1. В программном продукте Qucs промоделировать схему инвертирующего каскада на ОУ с входным сопротивлением $R_{BX} = 1$ кОм и коэффициентом усиления $K_0 = 100$ дБ.

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 ИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ ПО ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ

Собрать схему инвертирующего каскада на ОУ, приведенную на рис. 1. Из вкладки «Инструменты», «Библиотека компонентов» и «OpAmps» достать ОУ OP27(MOD). Добавить виды моделирования и уравнение для расчета ЛАЧХ (см. рис.2). Поставить значения номиналов резисторов, рассчитанных в задании 1. Присвоить имя файлу и сохранить в папке на рабочем столе.

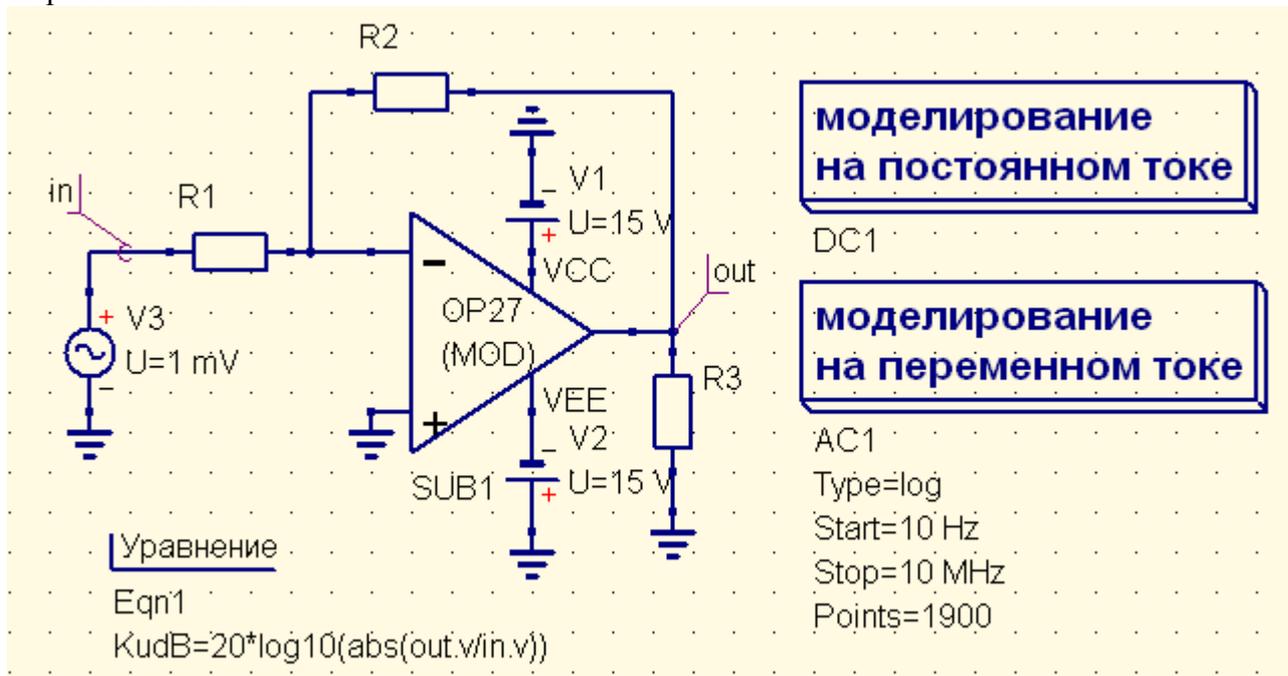


Рисунок 2Схема инвертирующего каскада на ОУ для моделирования по переменному току

Промоделировать. Результаты моделирования представить в виде ЛАЧХ, приведенной на рис. 3.

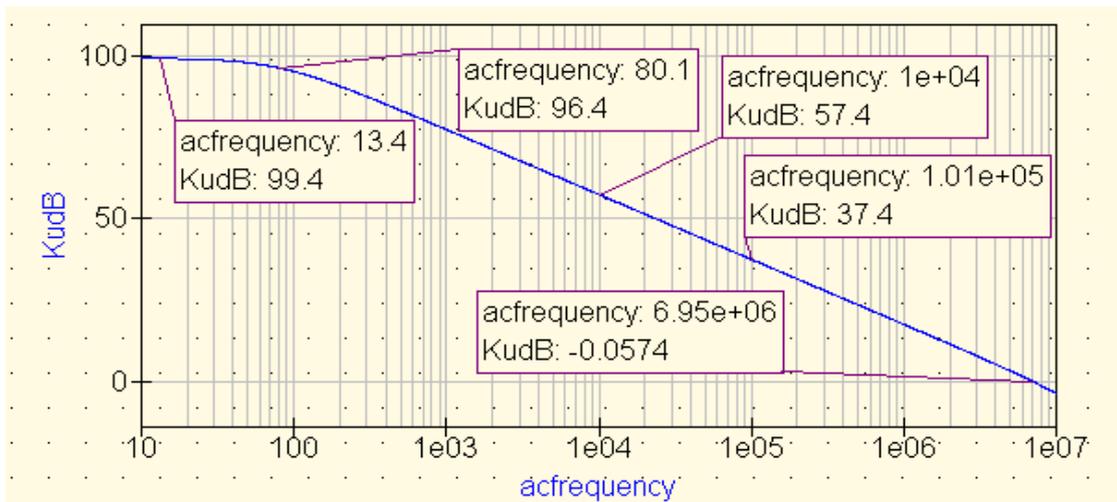


Рисунок 3 ЛАЧХ инвертирующего каскада на ОУ

Результаты моделирования представить в таблице.

Таблица

	K_0	$f_{В 0707}$	$f_{ЕД}$	Наклон ЛАЧХ
Эксперимент				

Задание 2. Обеспечить входное сопротивление инвертирующего каскада на ОУ равным 1 кОм. Рассчитать сопротивления в цепи обратной связи для $K_0=6дБ, 20дБ, 100дБ$.

4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ С ВАРЬИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ

Сохранить схему инвертирующего каскада на ОУ приведенную на рис. 2 с новым именем и добавить вид моделирования «Развертка параметров», где в развертке параметров ввести списком значения сопротивлений R_{oc} рассчитанные в задании 2. Схема инвертирующего каскада на ОУ для моделирования с варьированием параметров приведена на рис. 4.

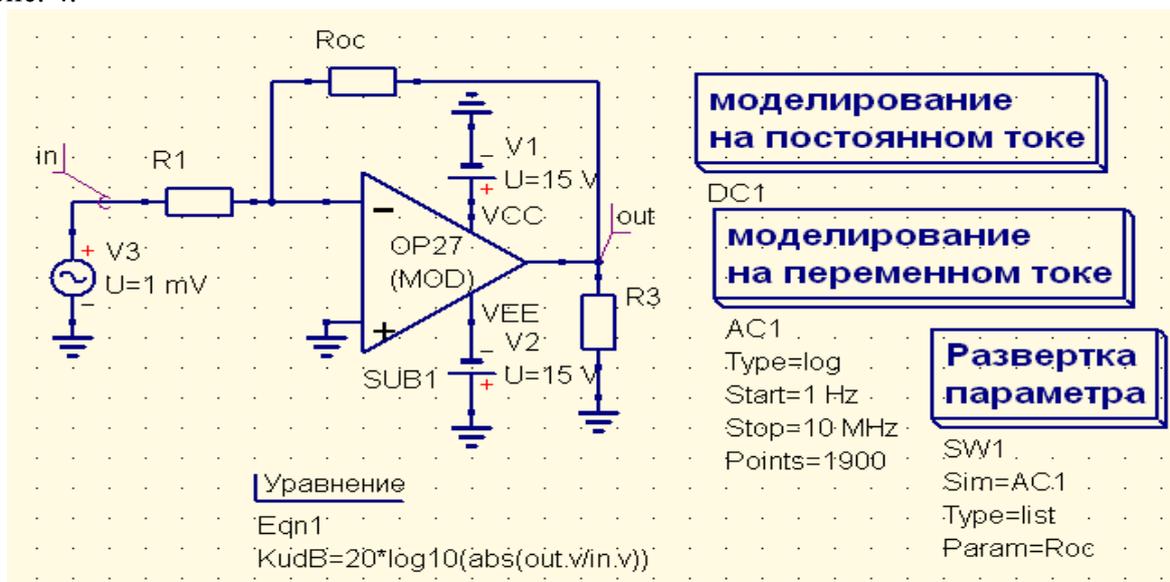


Рисунок 4 Схема инвертирующего каскада на ОУ для моделирования с варьированием параметров

Промоделировать. Результаты моделирования представить в виде ЛАЧХ, приведенной на рис. 5.

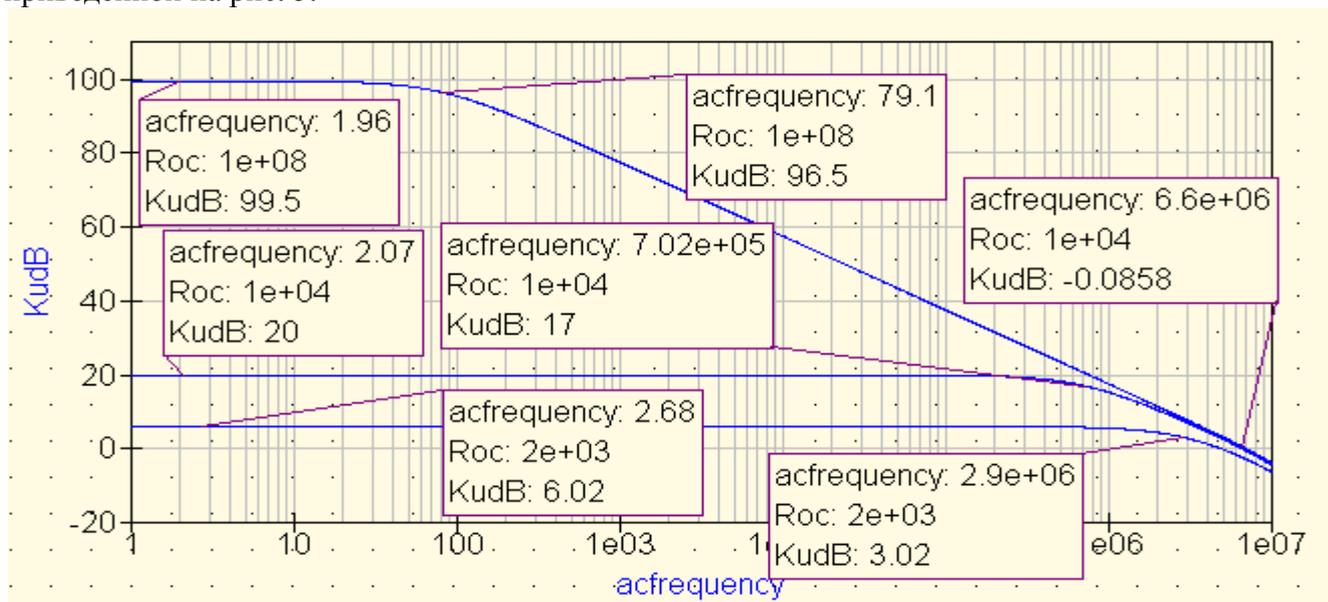


Рисунок 5 ЛАЧХ инвертирующего каскада на ОУ при варьировании параметров

Результаты моделирования представить в таблице.

Таблица

	Ко	$f_{В 0707}$
Расчет		
Эксперимент		
Расчет		
Эксперимент		
Расчет		
Эксперимент		

5 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ

На рис. 6 приведена схема неинвертирующего каскада на ОУ.

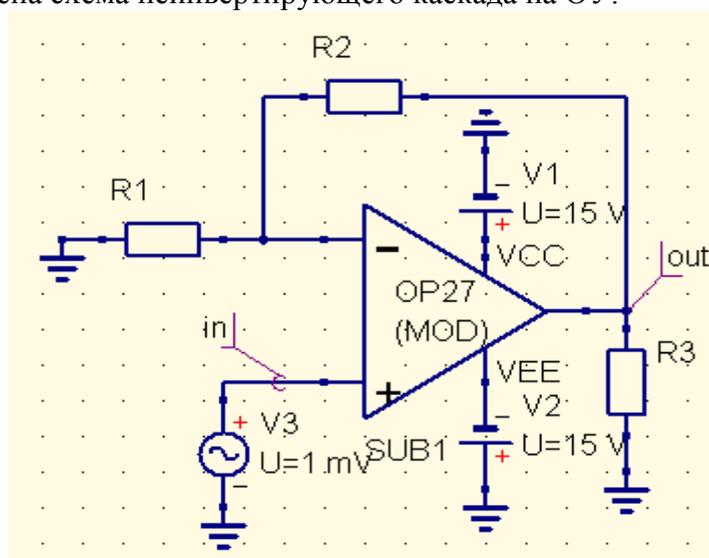


Рисунок 6 Схема неинвертирующего каскада на ОУ

Коэффициент усиления неинвертирующего каскада на ОУ равен

$$|K_U| = (1 + R_2/R_1).$$

Входное сопротивление неинвертирующего каскада на операционном усилителе равно входному сопротивлению ОУ

$$R_{ВХ} = R_{ВХ ОУ}$$

Верхняя граничная частота неинвертирующего каскада на ОУ равна

$$f_{В0.707} = f_1 / (R_2/R_1).$$

Задание 3. Собрать схему неинвертирующего каскада. Для рассчитанных сопротивлений обратной связи неинвертирующего каскада провести моделирование неинвертирующего каскада.

6 МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИНВЕРТИРУЮЩЕГО КАСКАДА НА ОУ С ВАРЬИРОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ

Сохранить схему инвертирующего каскада на ОУ приведенную на рис. 6 с новым именем и добавить вид моделирования «Развертка параметров» где в развертке параметров ввести список значения сопротивлений R_{OC} рассчитанные в задании 3.

Схема неинвертирующего каскада на ОУ для моделирования с варьированием параметров приведена на рис. 7.

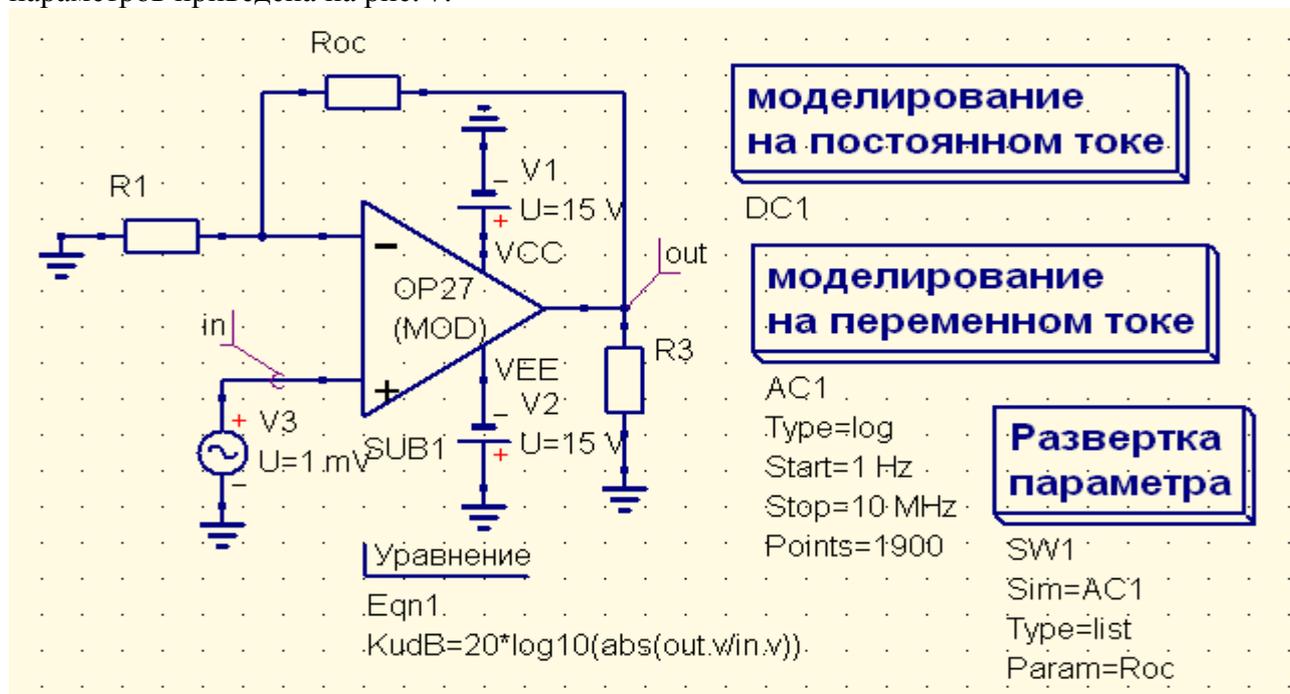


Рис.7 Схема неинвертирующего каскада на ОУ для моделирования с варьированием параметров

Результаты моделирования представить в виде ЛАЧХ, приведенной на рис.8

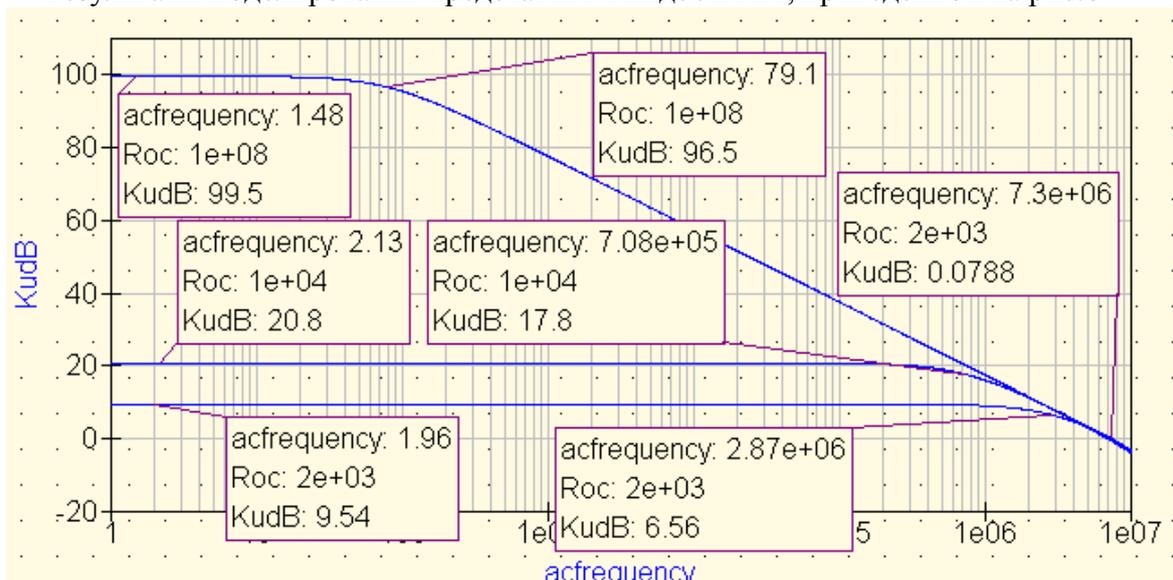


Рисунок 8 ЛАЧХ неинвертирующего каскада на ОУ при варьировании параметров

Результаты моделирования представить в таблице.

Таблица

	Ко	$f_{В 0707}$
Расчет		
Эксперимент		
Расчет		
Эксперимент		
Расчет		
Эксперимент		

7 РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ОУ

На рис.8 приведена схема усилителя низкой частоты (УНЧ) для моделирования по переменному току.

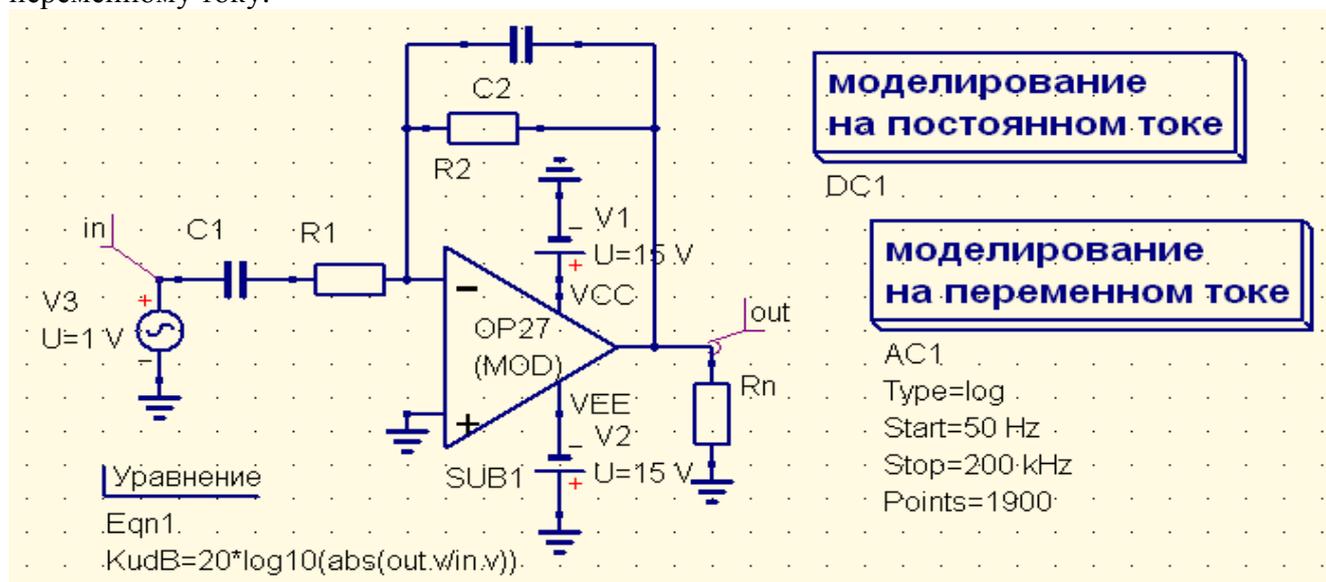


Рисунок 8Схема УНЧ на ОУ для моделирования по переменному току

Коэффициент усиления УНЧ на инвертирующем каскаде на ОУ равен

$$|K_U| = R_2/R_1.$$

Входное сопротивление УНЧ на инвертирующем каскаде на ОУ равно

$$R_{BX} = R_1.$$

Для заданной нижней граничной частоте f_{H0707} емкость на входе равна

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_{H0707} R_1}.$$

Для заданной верхней граничной частоте f_{B0707} емкость в цепи обратной связи равна

$$C_2 = \frac{R_2}{2\pi f_{B0707} (R_1 + R_2)}.$$

Задание 4. Провести электрический расчет каскада УНЧ на ОУ: $R_{BX}=1$ кОм, $K_0=20$ дБ, $f_{H0707}=100$ Гц, $f_{B0707}=100$ кГц.

Собрать схему каскада УНЧ на ОУ, приведенную на рис.9. Провести моделирование. Результаты моделирования представить в виде ЛАЧХ, приведенной на рис.9.

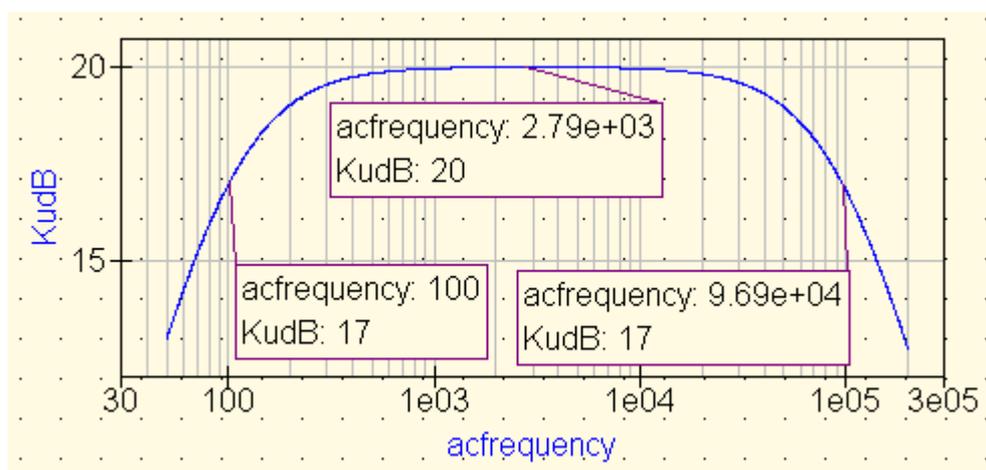


Рисунок 9 ЛАЧХ каскада УНЧ на инвертирующем каскаде на ОУ

Результаты моделирования представить в таблице.

Таблица

	$f_{H 0707}$	$f_{B 0707}$
Расчет		
Эксперимент		

8. Выводы по результатам моделирования

Выводы должны содержать ссылки на рисунки, объяснение поведения характеристик, физику поведения.

9. Контрольные вопросы

1. Какой тип ОС инвертирующего каскада на ОУ?
2. Какой тип ОС неинвертирующего каскада на ОУ?
3. Основные параметры ЛАЧХ ОУ?
4. Что такое частота единичного усиления?
5. Чему равно входное сопротивление инвертирующего каскада на ОУ?
6. Чему равно входное сопротивление неинвертирующего каскада на ОУ?
7. Чему равен коэффициент усиления инвертирующего каскада на ОУ?
8. Чему равен коэффициент усиления неинвертирующего каскада на ОУ?
9. Основные параметры ЛАЧХ УНЧ?
10. Физика поведения ЛАЧХ УНЧ?

10 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Колесов, И. А. Проектирование аналоговых устройств: Методические указания по курсовому проектированию [Электронный ресурс] / И. А. Колесов. — Томск: ТУСУР, 2011. — 208 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/2260> (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.)