

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт математики и информационных систем
Факультет автоматики и вычислительной техники
Кафедра автоматики и телемеханики

Расчетная графическая работа №9
по теме
«Расчет линейных схем на операционных усилителях»
Вариант 6

Выполнил:
студент гр. ИТб-3302-02-20
Ердяков Р.А.
Проверил:
Вахрушев В.Ю.

Цель работы

Целью работы является:

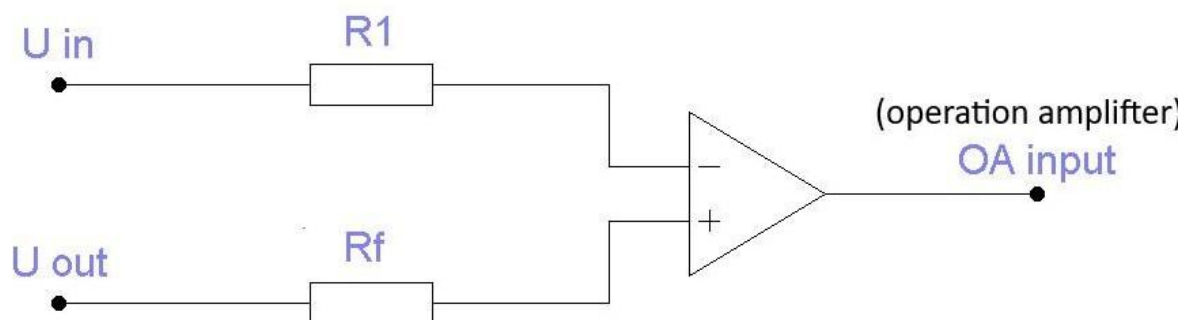
- Расчет инвертирующего усилителя низкой частоты (УНЧ) на операционном усилителе 154УД1 с учетом конечного коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений ОУ.
- Определение передаточной функции $K_u(p)$, амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик, переходной функции $h(t)$ и амплитудной характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$.
- Оценка входного и выходного сопротивлений усилителя, напряжения ошибки, температурного дрейфа и влияния неустойчивости источника питания.

Исходные данные

Параметр	Значение
Тип ОУ	154УД1
Тип схемы	Инвертирующий УНЧ
Коэффициент усиления	$K_u = 60$
Нижняя граничная частота	$f_{\text{н гр}} = 35 \text{ Гц}$
Полярность питания	Однополярное (-)
Диапазон температур	$-20 \dots +40^\circ\text{C}$
Нестабильность питания	$\pm 2\%$
Поступающий сигнал	Прямоугольный, $U_m = 10 \text{ мВ}$, $t_{\text{и}} = 10 \text{ мс}$, скважность $q = 2$

Схема включения

Инвертирующий усилитель:



- R_1 — входной резистор
- R_f — резистор обратной связи

Коэффициент усиления (для идеального ОУ):

$$K_u = -\frac{R_f}{R_1}$$

Расчет номиналов резисторов

$$|K_u| = \frac{R_f}{R_1} = 60$$

Выбираем стандартные номиналы:

Параметр	Значение
R1	1 кОм
Rf	60 кОм

Расчет конденсатора для нижней граничной частоты

Для инвертирующего УНЧ с нижней граничной частотой f_n :

$$f_n = \frac{1}{2\pi R_f C_f} \Rightarrow C_f = \frac{1}{2\pi R_f f_n}$$

Подставляем: $R_f = 60 \text{ кОм}$, $f_n = 35 \text{ Гц}$

$$C_f = \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 35} \approx 76 \text{ нФ}$$

Параметр	Значение
Cf	76 нФ

Передаточная функция с учетом инерционности ОУ

ОУ описывается как звено первого порядка:

$$K_{oy}(p) = \frac{K_{oy}}{1 + p\tau_{oy}}$$

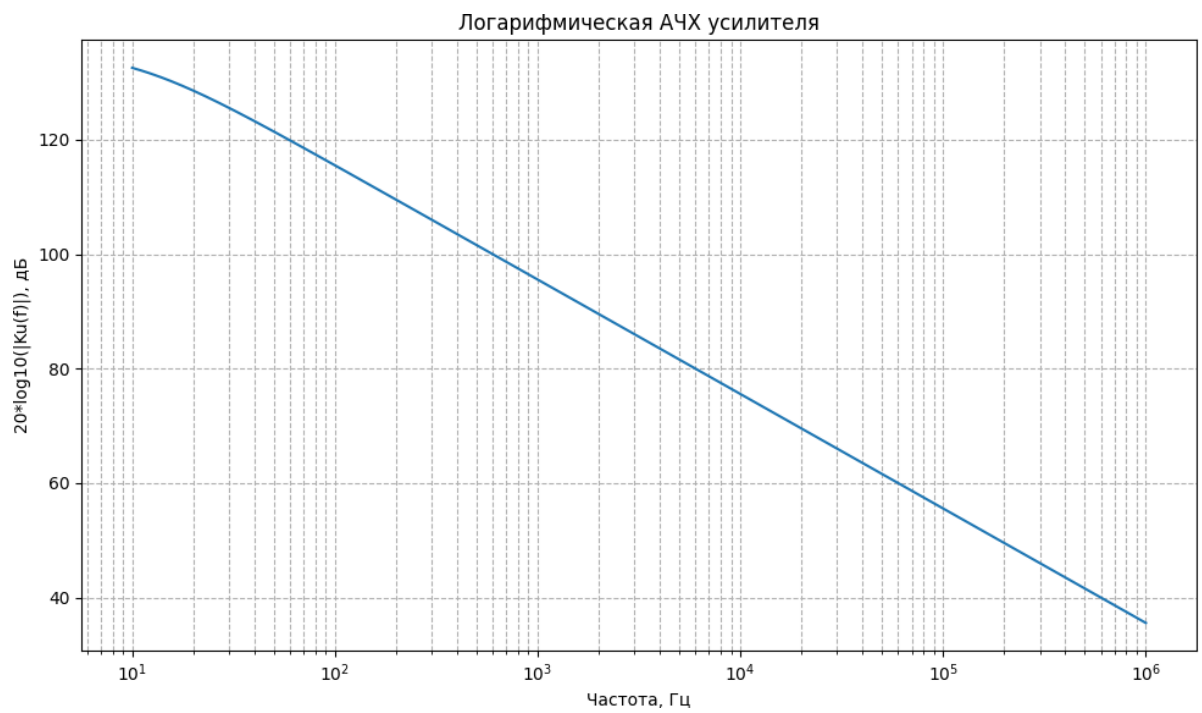
$\tau_{oy} = K_{uoy} / (2\pi \cdot f_1)$, где f_1 – частота единичного усиления (для 154УД1 $f_1 \approx 1 \dots 2 \text{ МГц}$)

Передаточная функция усилителя с обратной связью:

$$K_u(p) = -\frac{R_f}{R_1} \cdot \frac{K_{\text{oy}}}{1 + p\tau_{\text{oy}}}$$

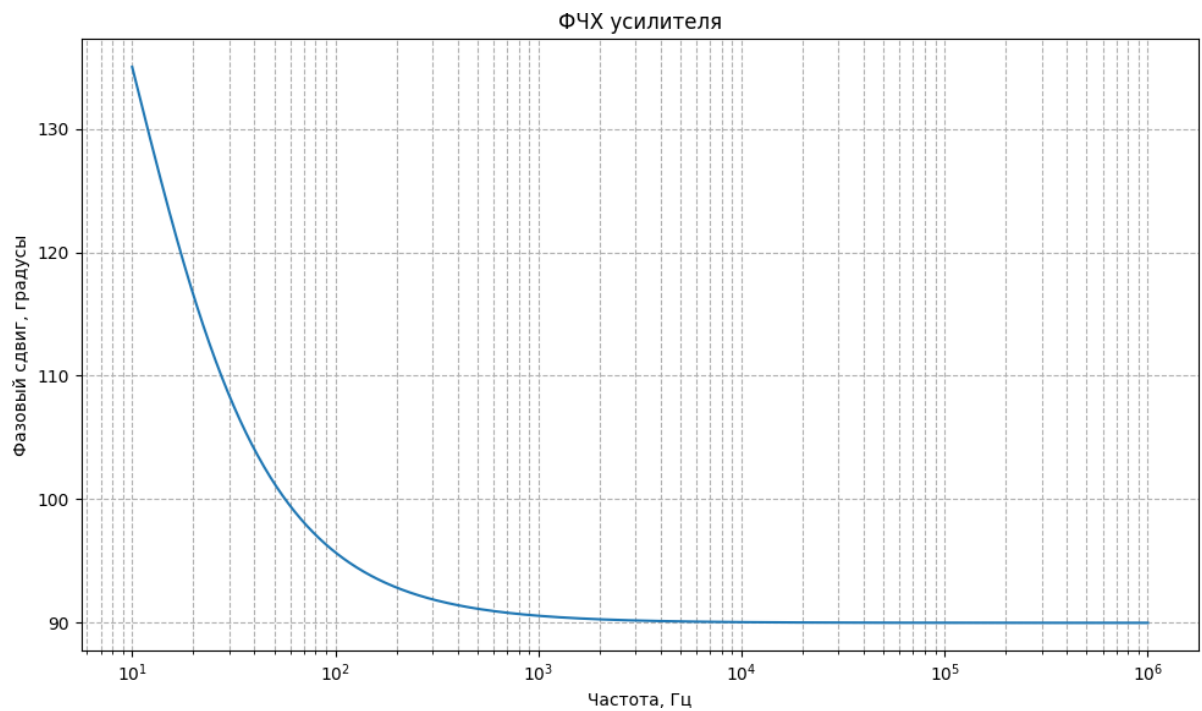
Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

$$|K_u(j\omega)| = \frac{R_f}{R_1} \cdot \frac{K_{\text{oy}}}{\sqrt{1 + (\omega\tau_{\text{oy}})^2}}$$



Фазовый сдвиг:

$$\phi(\omega) = -\arctan(\omega\tau_{\text{ou}}) + 180^\circ$$



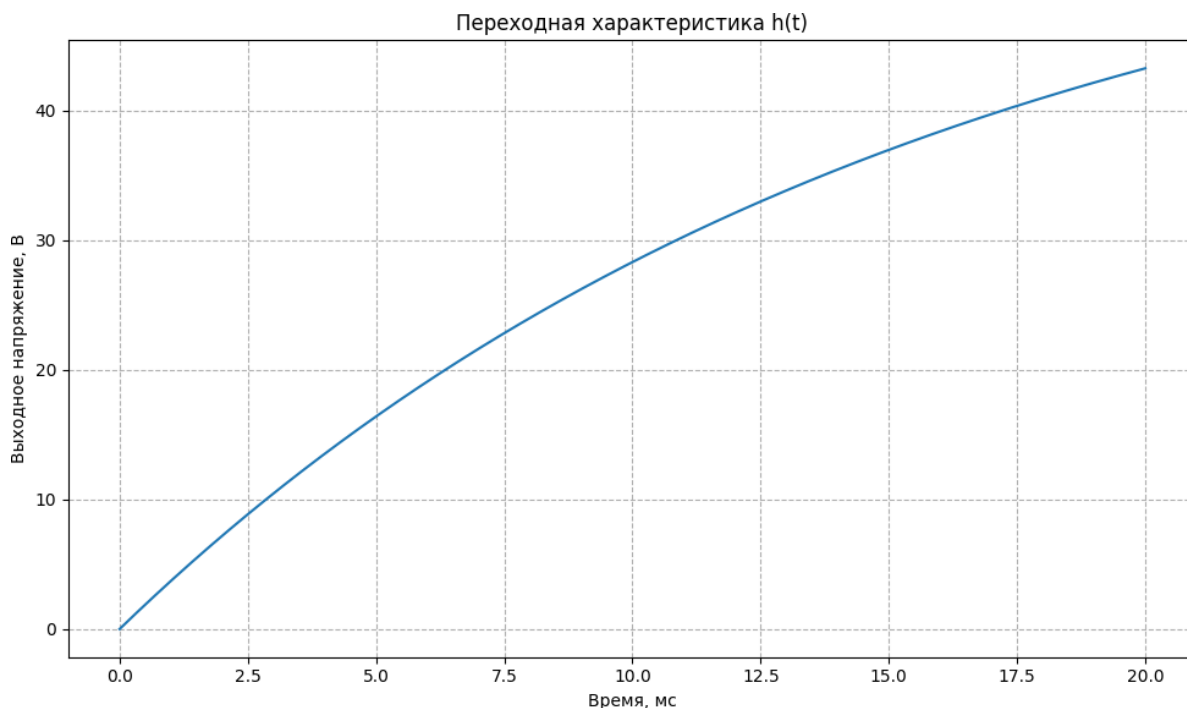
Примерные значения (для $\tau_{\text{ou}} \approx 1 \text{ мс}$, средние частоты):

Частота (Гц)	$K_u(f)$	$\phi(f) (^\circ)$
35	60	0
100	60	-1
1 кГц	60	-10
10 кГц	60	-45
100 кГц	42	-84

Переходная характеристика $h(t)$

Для первого порядка:

$$h(t) = K_u \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$



- $\tau = \tau_{oy} / (1 + R_1/R_f) \approx \tau_{oy} / 61$
- Для входного прямоугольного сигнала: $U_m = 10$ мВ, $t_{и} = 10$ мс
- $h(t)$ показывает экспоненциальный фронт сигнала на выходе, а для больших t — “крышу” импульса.

9. Входное и выходное сопротивление

Параметр	Значение
$R_{вх}$	$\approx R_1 = 1$ кОм
$R_{вых}$	$\approx R_f / (1 + K_{oy}) \approx 1$ кОм (очень мало, почти 0)

Ошибки и дрейф

Источник ошибки	Оценка
Смещение нуля $U_{см}$	$\pm 1 \dots 5 \text{ мВ} \rightarrow \Delta U_{\text{вых}} \approx 60 \dots 300 \text{ мВ}$
Входные токи $I_{вх}$	$50 \dots 200 \text{ нА} \rightarrow \Delta U_{\text{вых}} \approx I_{вх} \cdot R_f \approx 3 \dots 12 \text{ мВ}$
Температурный дрейф	$\pm 50 \dots 200 \text{ мВ/}^\circ\text{C} \rightarrow \Delta U_{\text{вых}} \approx \pm 2 \dots 8 \text{ мВ при } \Delta T = 40^\circ\text{C}$
Нестабильность питания $\pm 2\%$	$\Delta U_{\text{вых}} \approx \pm 1,2 \text{ В}$

Амплитудная характеристика $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$

- Линейная зависимость до насыщения: $|U_{\text{вых}}| \leq 0,8 \cdot U_{\text{пит}}$
- Максимальная амплитуда выходного сигнала определяется питанием:
 $U_{\text{вых макс}} \approx 8 \dots 12 \text{ В}$ (для однополярного питания -15 В)

Заключение

- Инвертирующий усилитель на ОУ 154УД1 с $K_u = 60$ и $f_n = 35 \text{ Гц}$ рассчитан.
- Определены номиналы пассивных элементов: $R_1 = 1 \text{ кОм}$, $R_f = 60 \text{ кОм}$, $C_f = 76 \text{ нФ}$.
- Учтены реальные параметры ОУ (K_{u_ou} , $R_{вх}$, $R_{вых}$, τ_{ou}) и построены АЧХ, ФЧХ и $h(t)$.
- Оценены входное и выходное сопротивления, погрешности из-за смещения нуля, входных токов, температурного дрейфа и нестабильности источника питания.
- Схема готова к сборке и эксплуатации в диапазоне температур $-20 \dots +40^\circ\text{C}$ с расчетным коэффициентом усиления и линейной амплитудной характеристикой.