

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный Исследовательский Университет ИТМО»



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
ПРЕДМЕТ «ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ»
ТЕМА «ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ В ОСНОВНЫХ
СХЕМАХ ВКЛЮЧЕНИЯ»

Вариант №11

Преподаватель:
Жданов В. А.

Выполнил:
Румянцев А. А.

Факультет: СУиР
Группа: R3341
Поток: ЭлУСУ R22 бак 1.2

Санкт-Петербург
2025

Содержание

1	Цель работы	2
2	Исходные данные	2
3	Исследование дифференциального усилителя	2
3.1	Схема дифференциального усилителя	2
3.2	Измерение выходного напряжения при входных напряжениях различной полярности	2
3.3	Влияние синфазной помехи на работу ДУ	3
3.4	Влияние противофазной помехи на работу ДУ	3
4	ОУ в режиме суммирования постоянных сигналов	4
4.1	Схема инвертирующего сумматора на ОУ	4
4.2	Измерение выходного напряжения при входных напряжениях различной полярности	5
5	Неинвертирующий сумматор для двух сигналов на ОУ	5
5.1	Схема неинвертирующего сумматора на ОУ	5
5.2	Измерение выходного напряжения при входных напряжениях различной полярности	5
6	Интегратор на ОУ	6
6.1	Схема идеального интегратора на ОУ	6
6.2	Схема реального интегратора на ОУ	6
6.3	Частотная характеристика интегратора	7

Цель работы

Цель работы – изучение характеристик операционного усилителя (ОУ) в различных режимах работы, исследование ОУ в различных схемах включения.

Исходные данные

Обозначения: K_u – коэффициент усиления, K_1 и K_2 весовые коэффициенты для неинвертирующего сумматора, $f_{i,d}$ – рабочая частота схемы интегратора, дифференциатора

ОУ	K_u	K_1	K_2	$f_{i,d}$, кГц
LT1037	8	1.5	3.5	1

Исследование дифференциального усилителя

Схема дифференциального усилителя

Соберем схему усилителя с дифференциальным входом на ОУ для заданного значения коэффициента усиления K_u в таблице 1. В качестве резистора обратной связи используем резистор номиналом 10 кОм. Запитываем ОУ на 15В. Посчитаем параметры схемы: $R_4=R_2=10\text{кОм}$, $R_1=R_3$, тогда

$$K_u = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}, \quad 8 = \frac{10000}{R_1} \Rightarrow R_1 = R_3 = \frac{10000}{8} = 1250 \text{ Ом}$$

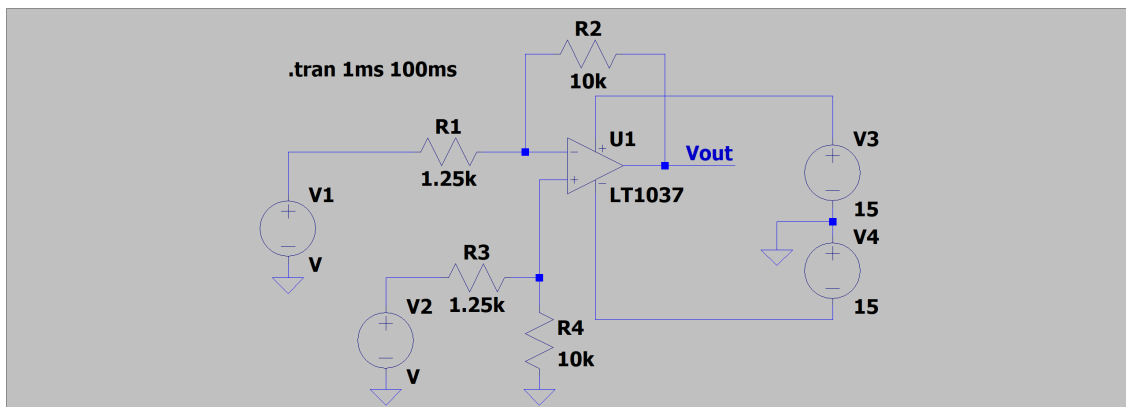


Рис. 1: Дифференциальный усилитель

Измерение выходного напряжения при входных напряжениях различной полярности

Подаем на V1 отрицательный постоянный ток, на V2 положительный. Измеряем V_{out} . Считаем $U_{\text{вых. теор.}} = R_2/R_1 (U_2 - U_1)$

U_1 , В	-0.1	-0.3	-0.5	-1	-1.5	-0.9
U_2 , В	0.1	0.2	1	0.1	0.2	0.9
$U_{\text{вых. эксп.}}$, В	1.6	4	12	8.8	13.59	13.771
$U_{\text{вых. теор.}}$, В	1.6	4	12	8.8	13.6	14.4

Почти все результаты совпадают. Видим, что при приближении разницы входных напряжений к значению тока, питающего ОУ, деленного на коэффициент усиления ($U_{1,2 \text{ крит.}} = 15/8 = 1.875 \text{ В}$), экспериментальные выходные напряжения отличаются от теоретически рассчитанных. У ОУ LT1037 есть ограничения на рабочий диапазон входов, он не Rail-to-Rail типа (не может выдать напряжение, равное его питанию).

Влияние синфазной помехи на работу ДУ

Подадим одновременно на инвертирующий и неинвертирующий входы ОУ гармонический сигнал SINE(0.1 0.1 1k). Схема приведена на рис. 2. Результат приведен на рис. 3

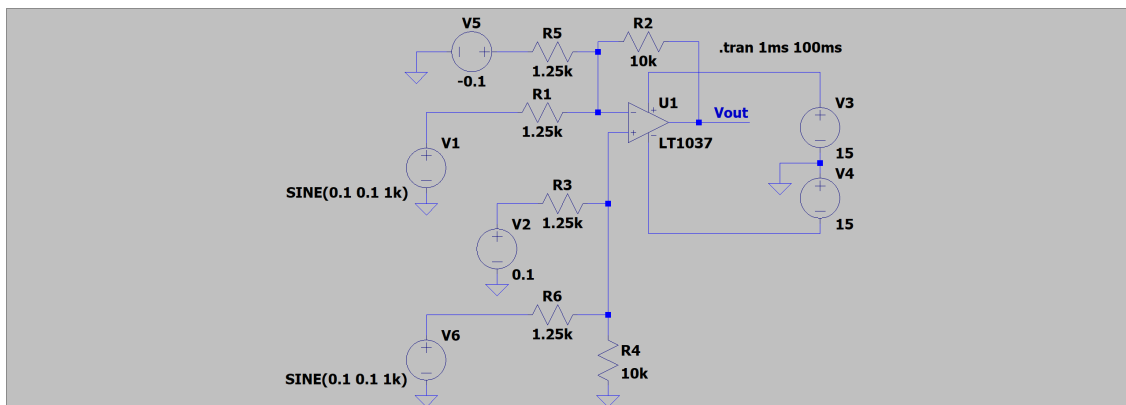


Рис. 2: Дифференциальный усилитель при имитации воздействия синфазной помехи

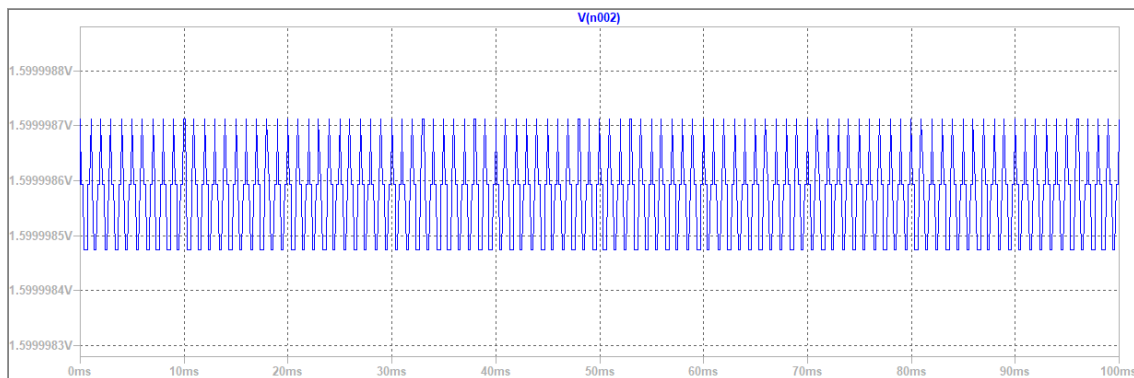


Рис. 3: Выходное напряжение при синфазной помехе

Видим, что синфазная помеха почти полностью подавлена, но есть очень маленький остаточный шум. Среднее значение $U_{\text{вых. эксп.}}$ по графику соответствует 1.6 В, что совпадает с результатом вычисления $U_{\text{вых. теор.}} = 8 \cdot (0.1 - (-0.1)) = 1.6 \text{ В}$ без учета гармонического шума (так как он подавится ДУ). В случае идеального ДУ на выходе было бы ровно 1.6 В без помех.

Влияние противофазной помехи на работу ДУ

Для имитации противофазной помехи подадим гармонический сигнал SINE(0.1 0.1 1k) на один из входов ОУ. Оставим подачу постоянного тока в 0.1 В на оба входа. Схема представлена на рис. 4. Результат представлен на рис. 5

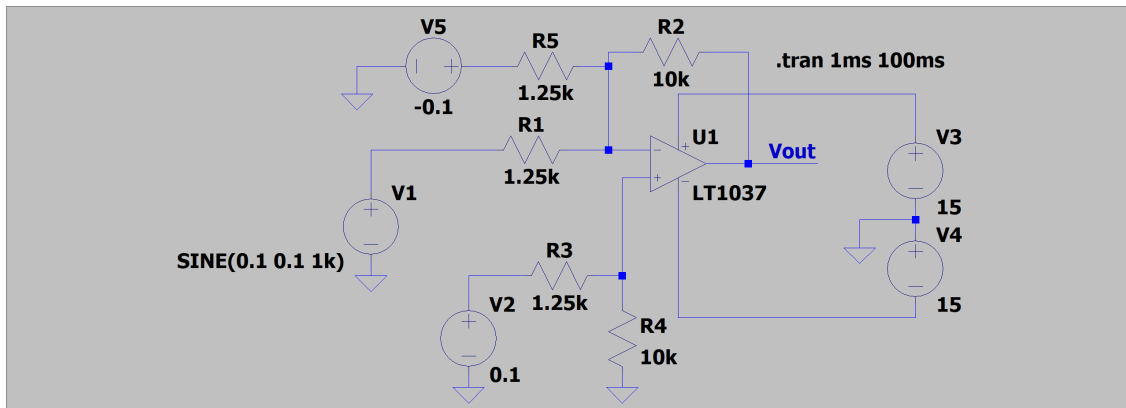


Рис. 4: Дифференциальный усилитель при имитации воздействия противофазной помехи

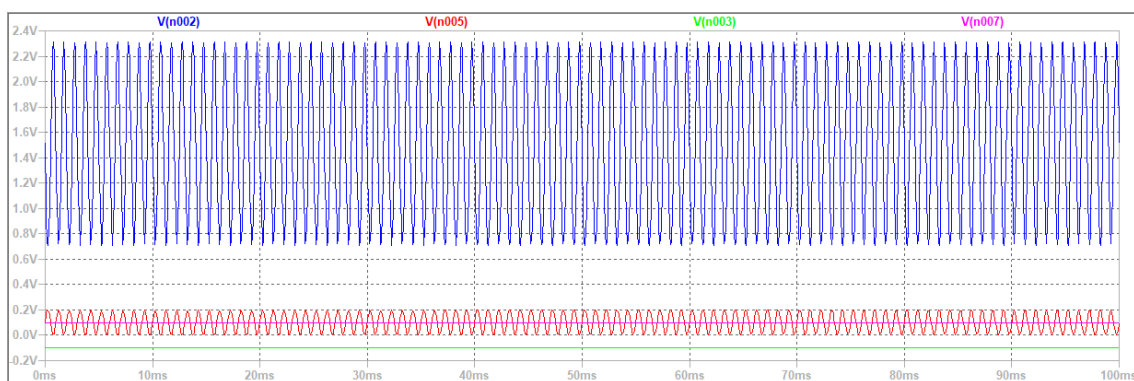


Рис. 5: Выходное напряжение при противофазной помехе

ОУ усилил разницу между U_1, U_2 . Синусоида сместилась вверх и увеличила амплитуду. Среднее значение выходного напряжения составляет 1.5111 В. Это близко к значению $U_{\text{вых. теор.}} = 1.6$ В, вычисленному в пункте с синфазной помехой.

ОУ в режиме суммирования постоянных сигналов

Схема инвертирующего сумматора на ОУ

Соберем схему инвертирующего сумматора на ОУ AD549

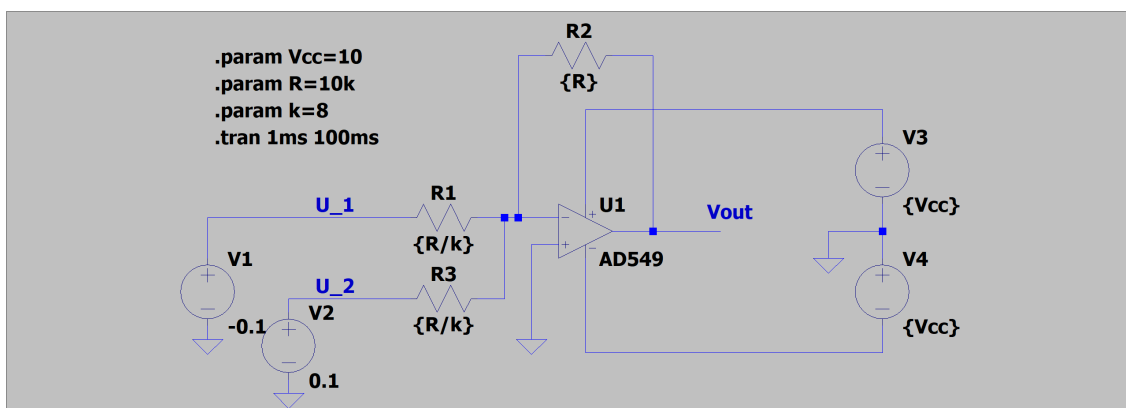


Рис. 6: Инвертирующий сумматор на ОУ

Измерение выходного напряжения при входных напряжениях различной полярности

Подаем на V1 отрицательный постоянный ток, на V2 положительный. Измеряем Vout. Считаем $U_{\text{вых. теор.}} = -((R_2/R_1)U_1 + (R_2/R_3)U_2)$, $R_2/R_1 = R_2/R_3 = 8$

U_1 , В	-0.1	-0.3	-0.5	-1	-1.5	-1.25
U_2 , В	0.1	0.2	1	0.1	1	0.05
$U_{\text{вых. эксп.}}$, В	$-6.1023 \cdot 10^{-6}$	0.79998	-3.9999	7.1999	3.9999	8.2148
$U_{\text{вых. теор.}}$, В	0	0.8	-4	7.2	4	9.6

Как видим экспериментальные и теоретические значения почти совпали. При приближении разности U_1, U_2 к $U_{1,2 \text{ крит.}} = 10/8 = 1.25$ экспериментальные значения начинают отставать аналогично заданию с ДУ.

Неинвертирующий сумматор для двух сигналов на ОУ

Схема неинвертирующего сумматора на ОУ

Соберем схему неинвертирующего сумматора для двух сигналов с ОУ, обеспечивающего суммирование двух сигналов с заданными весовыми коэффициентами K_1, K_2

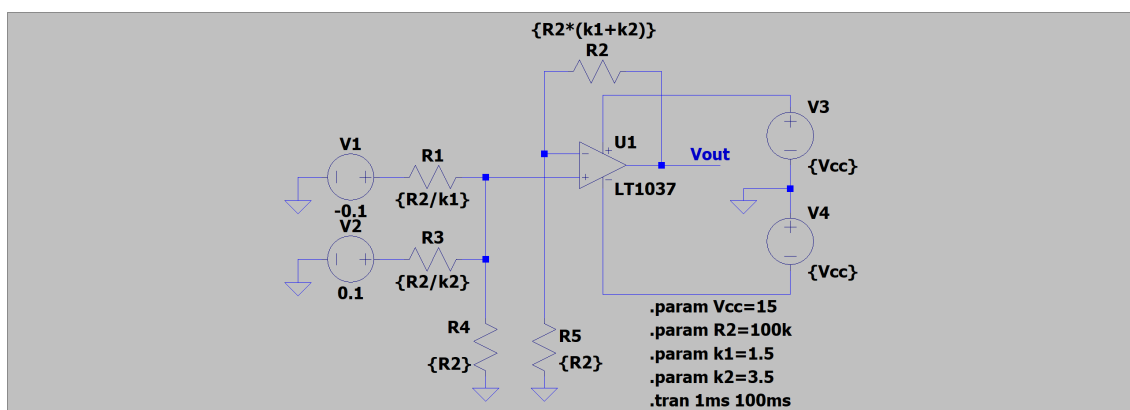


Рис. 7: Неинвертирующий сумматор на ОУ

Измерение выходного напряжения при входных напряжениях различной полярности

Подаем на V1 отрицательный постоянный ток, на V2 положительный. Измеряем Vout. Считаем $U_{\text{вых. теор.}} = (R_4/R_1)U_1 + (R_4/R_3)U_2 = K_1U_1 + K_2U_2$, $R_2/R_5 = K_1 + K_2$, $R_5 = R_4 = 100$ кОм

U_1 , В	-0.1	-0.3	-0.5	-1	-1.5	-2	-3
U_2 , В	0.1	0.2	1	0.1	0.2	3	5
$U_{\text{вых. эксп.}}$, В	0.2	0.25	2.75	-1.15	-1.55	7.5	13
$U_{\text{вых. теор.}}$, В	0.2	0.25	2.75	-1.15	-1.55	7.5	13

Видим, что экспериментальные и теоретические значения совпадают.

Интегратор на ОУ

Соберем схему интегратора на ОУ. Для R_1 зададим стандартное значение 100 кОм. Интегратор работает на частоте $f_i = 1$ кГц. Пусть минимальное и максимальное значение рабочей частоты будет $f_{min} = 0.01f_i$, $f_{max} = 100f_i$. Рассчитаем C_1

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_i R_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3} = 1.6 \text{ нФ}$$

Рассчитаем R_2

$$R_2 = \frac{1}{2\pi C_1 f_{min}/10} = \frac{1}{2\pi \cdot 1.6 \cdot 10^{-9}} = 99471839.4324346 \text{ Ом}$$

Возьмем R_2 больше полученного значения – $R_2 = 100$ МОм.

Рекомендуется использовать ОУ с полосой пропускания в 10 раз большей, чем требуемая максимальная частота интегратора. Проверим:

$$f_{max, LT1037} = 2.5 \text{ МГц}, f_{max} = 100f_i = 100 \text{ кГц}, f_{max, \text{реком.}} = 10f_{max} = 1 \text{ МГц}$$

$$f_{max, LT1037} = 2.5 \text{ МГц} > f_{max, \text{реком.}} = 1 \text{ МГц}$$

Схема идеального интегратора на ОУ

Построим схему идеального интегратора с учетом всех вычислений

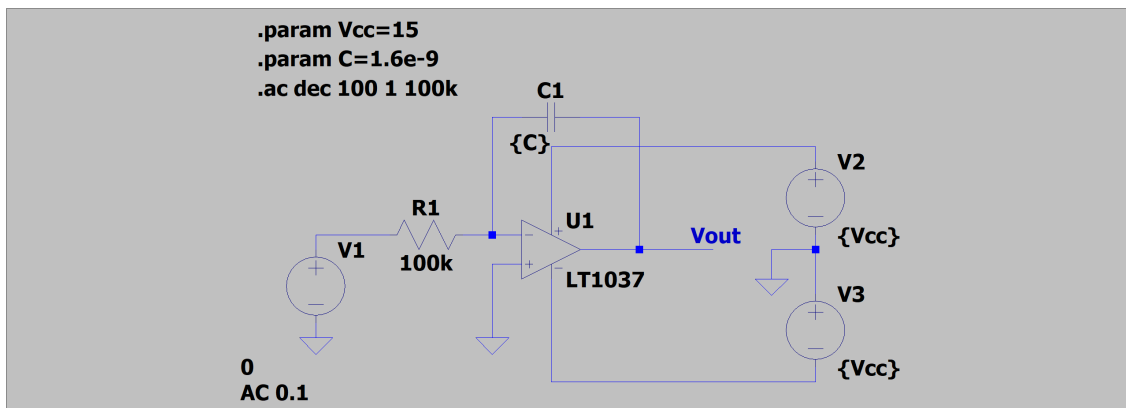


Рис. 8: Идеальный интегратор на ОУ

Схема реального интегратора на ОУ

Построим схему реального интегратора с учетом всех вычислений

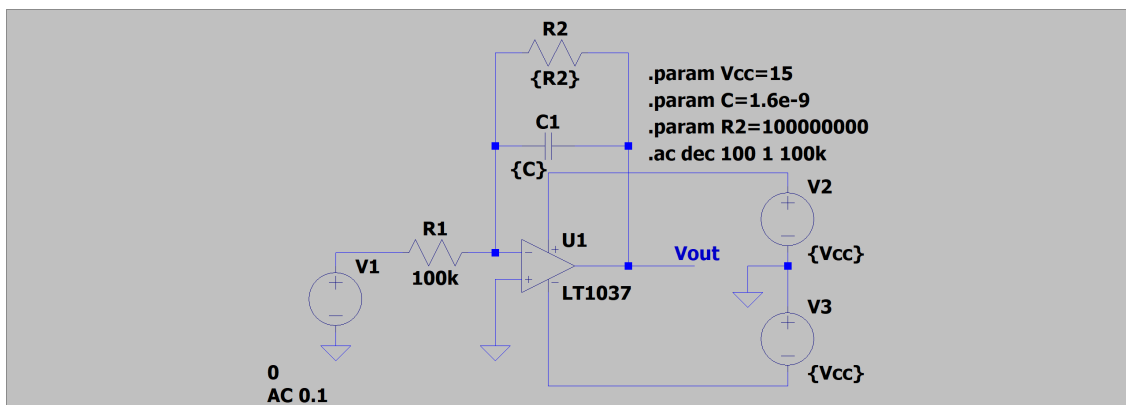


Рис. 9: Реальный интегратор на ОУ

Частотная характеристика интегратора

Подадим на вход гармонический сигнал, не искажающий выходной сигнал (АС 0.1). Идеальный интегратор представлен на рис. 10, реальный на 11

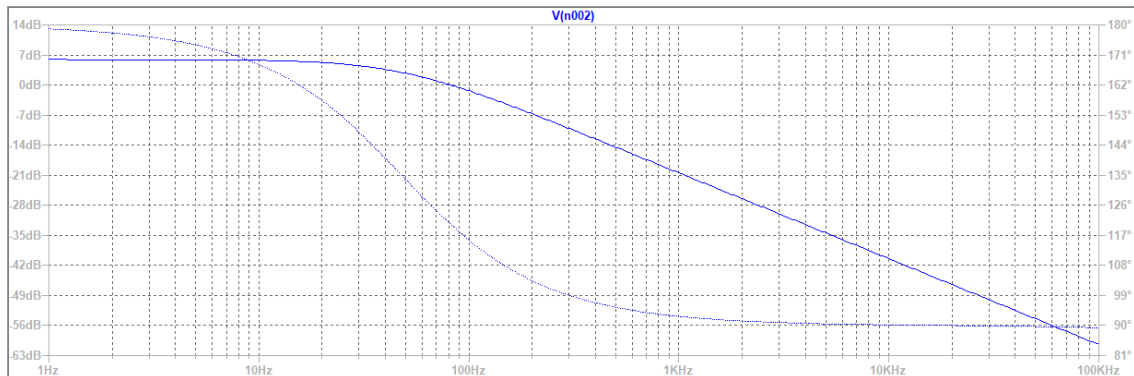


Рис. 10: Частотная характеристика идеального интегратора

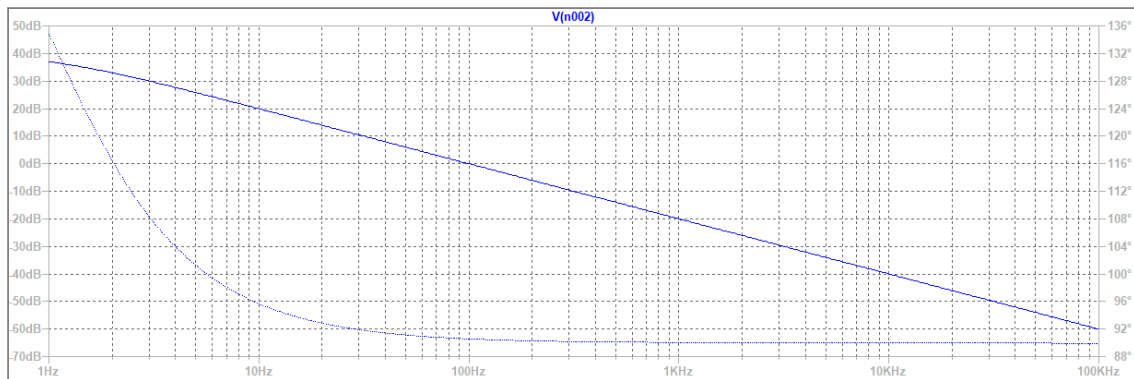


Рис. 11: Частотная характеристика реального интегратора

По графикам с помощью курсора определим частоту среза как отклонение на -3 дБ от начальных x дБ. Таким образом, для идеального интегратора частота среза 46.853996 Гц, для реального 1.7163194 Гц.