

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ СИГНАЛАМ И ЦЕПЯМ

Применение операционных усилителей.

Автор:

Глеб Уваркин

615 группа



15 октября 2017 г.

Задание №1. Измерение коэффициента усиления ОУ.

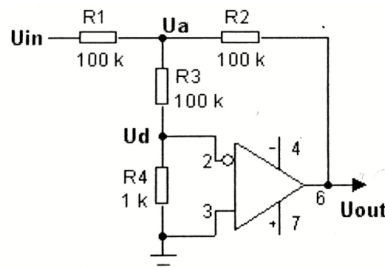


Рис. 1: Схема измерения коэффициента усиления.

Соберём схему, показанную на рис. 1. Сопротивления резисторов возьмём: $R_1 = R_2 = R_3 = 200 \text{ кОм}$, $R_4 = 2 \text{ кОм}$, $R_3/R_4 = 100$.

Подадим на вход колебание с амплитудой $U_{in} = 2.5 \text{ В}$ и частотой $f = 15 \text{ Гц}$. Измерим величину напряжений U_a и U_{out} : $U_a = 4.4 \text{ мВ}$, $U_{out} = 2.46 \text{ В}$.

Рассчитаем коэффициент усиления операционного усилителя по формуле $A_0 = (1 + R_3/R_4) \cdot (U_{out}/U_a)$:

$$A_0 = (1 + 100) \frac{2.46}{4.4 \cdot 10^{-3}} = 56468 \simeq 6 \cdot 10^4$$

Задание №2. Амплитудно-частотная характеристика ОУ.

Для схемы на рис. 1 снимем зависимость коэффициента усиления от частоты (АЧХ), используя формулу:

$$A(f) = \frac{U_{out}}{U_d} = \frac{U_{out}}{U_a} \cdot \frac{U_a}{U_d} = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) \cdot \frac{U_{out}}{U_a}.$$

Занесём полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1: Зависимость коэффициента усиления от частоты.

$f, \text{ Гц}$	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000
$U_{out}, \text{ В}$	2.48	2.48	2.48	2.48	2.47	2.43	2.21	1.73	1.06	0.76
$U_a, \text{ мВ}$	5.55	8.67	16	39	77	152	343	543	131	119
A	45000	29000	16000	6000	3000	1600	651	324	82	65
$\lg f$	1.7	2	2.3	2.7	3	3.3	3.7	4	4.3	4.7
$20 \lg A, \text{ дБ}$	93	89	84	76	69	64	56	50	38	36

Построим снятую зависимость в двойном логарифмическом масштабе, откладывая частоту в герцах, а коэффициент усиления в децибелах.

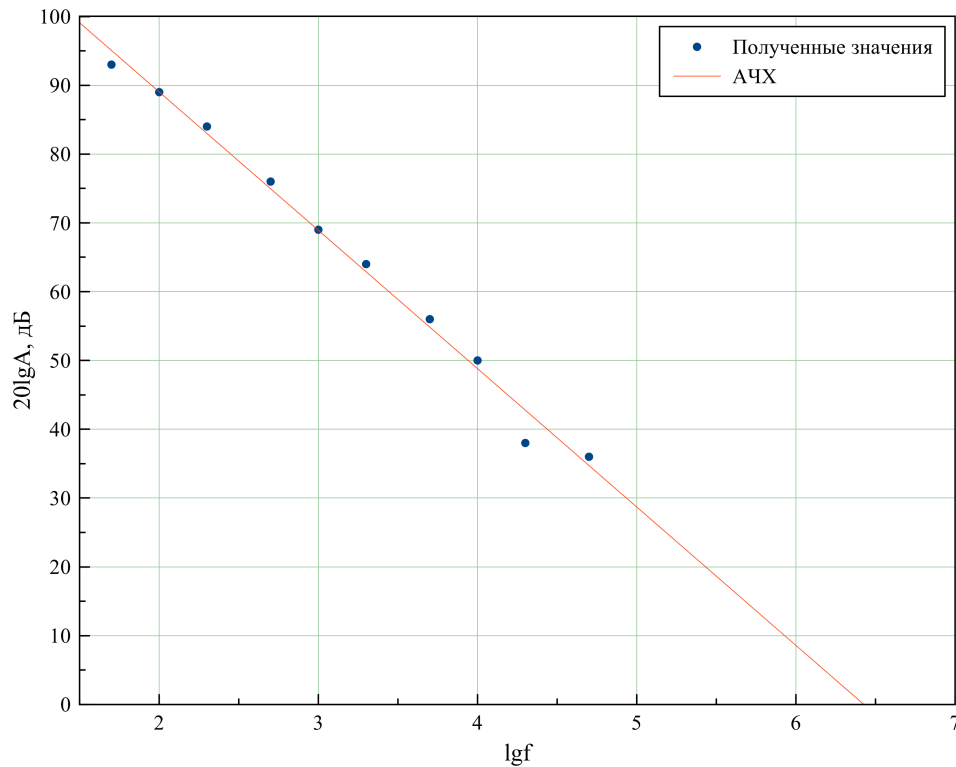


Рис. 2: АЧХ ОУ.

Из рис. 2 получаем следующие величины:

$$f_T \simeq 3 \text{ МГц}, f_{p0} \simeq 45 \text{ кГц}$$

. На частотах $f > f_{p0}$ усиление падает обратно пропорционально частоте - с крутизной спада -20 дб/декада.

Задание №3. Неинвертирующий усилитель.

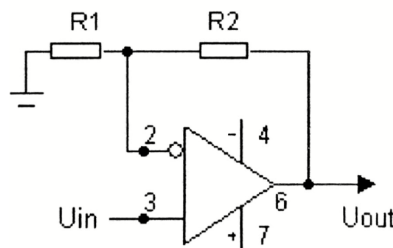


Рис. 3: Схема неинвертирующего усилителя.

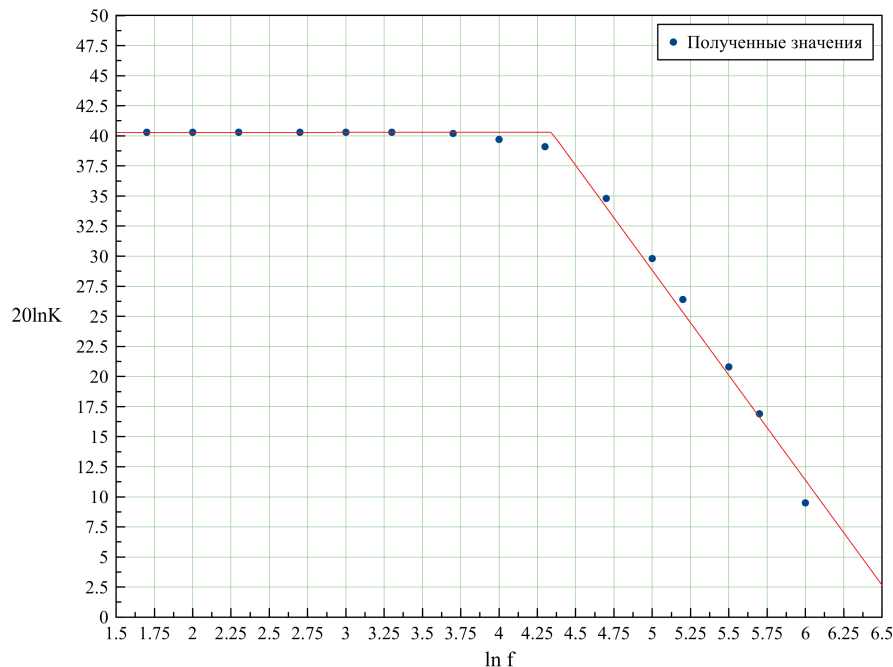
Соберём схему, возьмём $R_1 = 2 \text{ кОм}$, $R_2 = 200 \text{ кОм}$, $R_2/R_1 = 100$.

Измерим постоянное напряжение на выходе $U_{out(dc)} \simeq 68 \text{ мВ}$. Определим входное напряжение сдвига ОУ: $U_{OS} = U_{out(dc)} / (1 + R_2/R_1)$. Получим $U_{OS} \simeq 68 / (1 + 100) \simeq 673 \text{ мкВ}$.

Снимем зависимость от частоты коэффициента усиления $K(f)$ при $U_{вх} = 10 \text{ мВ}$. Полученные данные занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Зависимость коэффициента усиления $K(f)$.

f , Гц	50	100	200	500	1k	2k	5k	10k	20k	50k	100k	150k	300k	500k	1M
$U_{\text{вых}}$, В	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.02	0.97	0.9	0.55	0.31	0.21	0.11	0.07	0.03
K	104	104	104	104	104	103	102	97	90	55	31	21	11	7	3


 Рис. 4: Зависимость коэффициента усиления $K(f)$.

Из рис. 4 определим граничную частоту F_p по уровню 0.7 относительно коэффициента усиления на низких частотах. Получим $F_p \simeq 31.6$ кГц.

Проверим, что коэффициент усиления на низких частотах ($f < F_p$) и граничная частота усилителя удовлетворяют соотношениям: $K_0 = 1/\beta = 1 + R_2/R_1$; $F_p = \beta f_T$, $\beta = R_1/(R_1 + R_2)$ - коэффициент отрицательной обратной связи.

$$\beta = 2/(2 + 200) \simeq 0.01$$

$$K_0 = 1/0.01 = 100 \simeq 101 = 1 + 200/2$$

$$31.6 \cdot 10^3 \simeq 0.01 \cdot 3 \cdot 10^6$$

Все соотношения выполняются.

Определим максимальную амплитуду неискажённого выходного напряжения на низкой частоте $f = 1.5$ кГц. Получим $U_{\text{вых}} \simeq 3.2$ В.

Включим ОУ по схеме повторителя ($R_1 = \infty$, $R_2 = 0$). Измерим коэффициент передачи и граничную частоту усилителя. Определим на частоте $f = 0.8$ МГц максимальную амплитуду неискажённого сигнала и характер искажений, возникающих при дальнейшем увеличении амплитуды входного сигнала. Получим $U_{m_{\text{out}}} \simeq 3.0$ В. ("скошенная синусоида").

Таблица 3: Зависимость коэффициента передачи повторителя.

f , Гц	50	100	200	500	1k	2k	5k	10k	20k	1M	2M	2.5M	2.6M	3.4M	5M	10M
$U_{\text{вых}}$, В	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.05	1.00	1.00	0.99	0.60	0.31
K	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.05	1.00	1.00	0.99	0.60	0.31

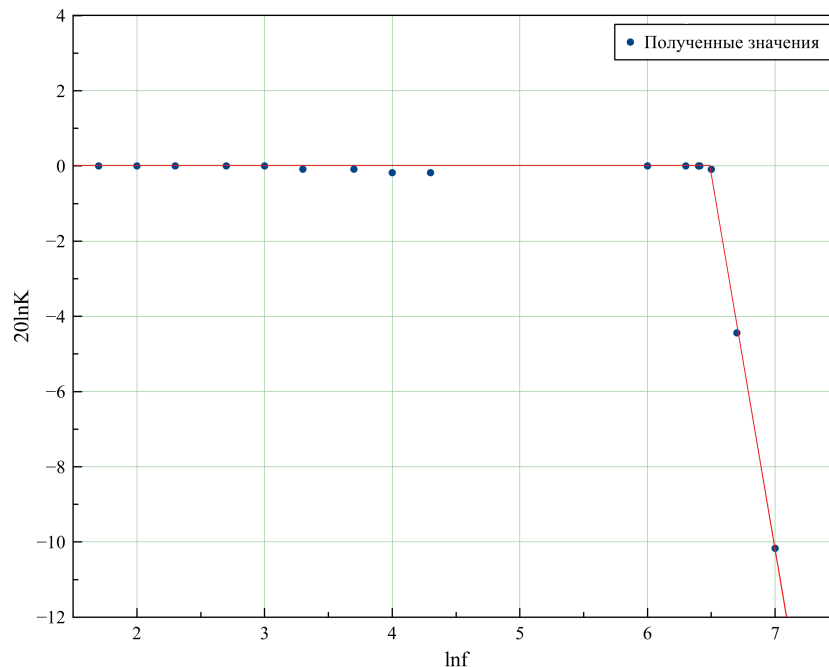


Рис. 5: Зависимость коэффициента усиления $K(f)$ повторителя.

Из рис. (5) получаем, что граничная частота равна $f \simeq 3$ МГц.

Сравним результат измерения максимальной амплитуды неискажённого сигнала с расчётом по формуле $U_{m_out} = V_{max}/2\pi f$.

$$U_{m_out} = \frac{13 \cdot 10^6}{2\pi \cdot 0.8 \cdot 10^6} \simeq 2.6 \text{ В} \approx 3.0 \text{ В}$$

Задание №4. Инвертирующий усилитель.