

Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет)

---

## Лабораторная работа №77

---

Баканова К.В., Б01-003  
март 2022 г.

**Цель работы:**

Изучение операционных усилителей и схем на их основе.

**В работе используются:**

Операционный усилитель, резисторы, генератор напряжения, осциллограф.

## 1 Ход работы

### 1.1 Измерение коэффициента усиления ОУ

1. Соберем схему изображенную на рис.1. Возьмем резисторы сопротивлением  $R_1 = R_2 = R_3 = 100 \text{ кОм}$  и  $R_4 = 1 \text{ кОм}$ .

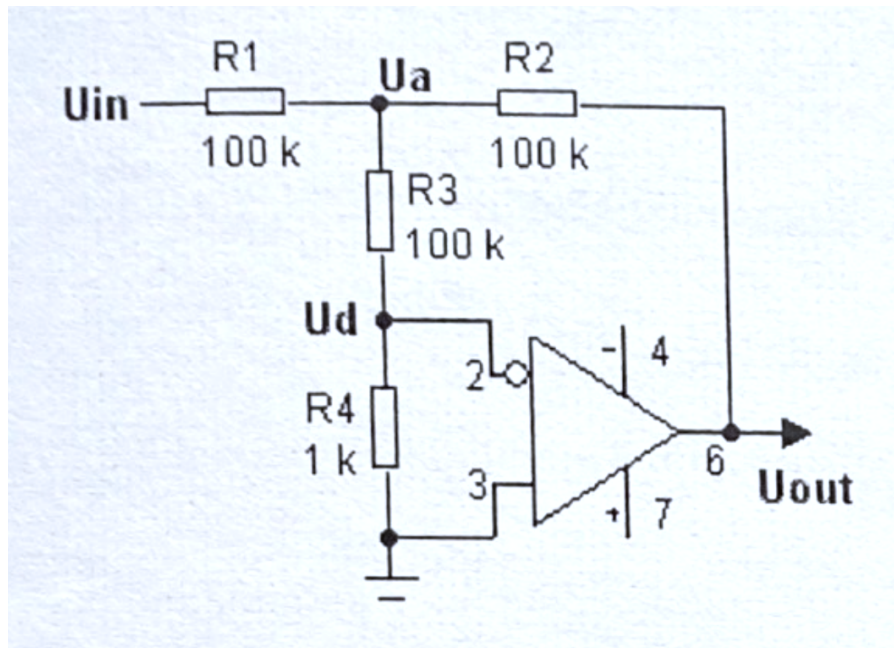


Рис. 1: Схема измерения коэффициента усиления

2. Подадим на вход колебание с амплитудой  $U = 2 \text{ В}$  и частотой  $f = 10 \text{ Гц}$ . Измерим величину напряжений  $U_a$  и  $U_{out}$ :

$$U_{out} = 1,4 \text{ В}$$

$$U_a = 2 \text{ мВ}$$

3. Рассчитаем коэффициент усиления операционного усилителя по формуле:

$$A_0 = \left(1 + \frac{R_3}{R_4}\right) \cdot \frac{U_{out}}{U_a} \simeq 7 \cdot 10^4$$

## 1.2 Амплитудно-частотная характеристика ОУ

1. Для схемы на рис. 1 снимем зависимость коэффициента усиления от частоты:

A	24000	12200	6300	2550	1265	636	257	129	65	27
f, кГц	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50

2. Построим снятую зависимость в двойном логарифмическом масштабе, откладывая частоту в герцах а коэффициент усиления в децибелах ( $A_{дБ} = 20 \lg A$ ).

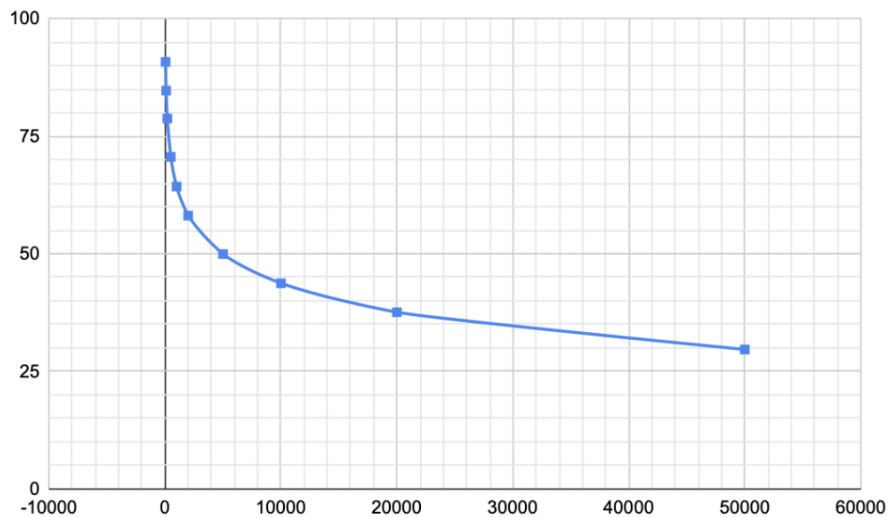


Рис. 2: АЧХ операционного усилителя

3. Экстраполировав график до пересечения с  $A_0$  и 1 определим граничную частоту:

$$f = 0 \Rightarrow A_0 = 93,48$$

$$A = 1 \Rightarrow f_r = 162530 \text{ Гц}$$

Из этого получаем, что  $f_{p0} = 25,5 \text{ Гц}$

### 1.3 Неинвертирующий усилитель

1. Соберем схему неинвертирующего усилителя (рис. 3).  $R_1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 100 \text{ кОм}$ .

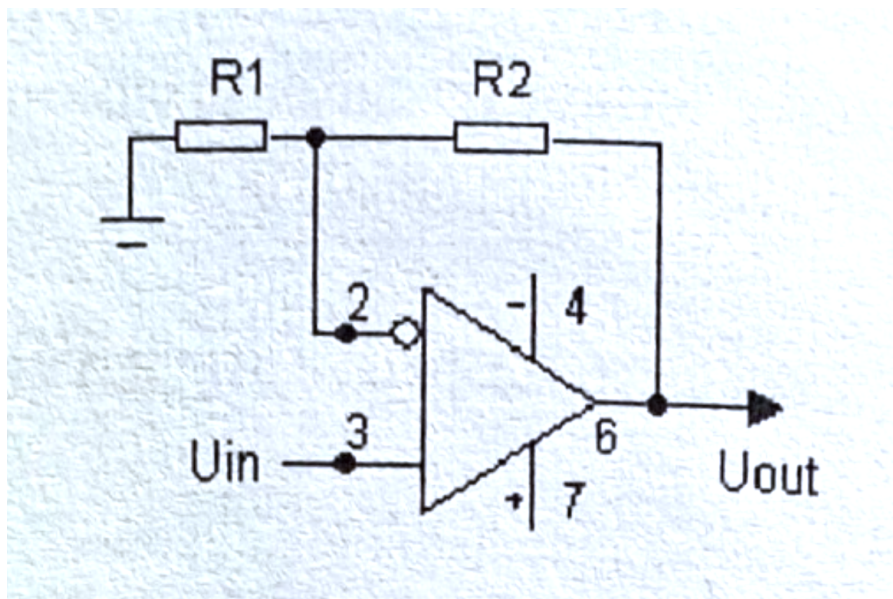


Рис. 3: Схема неинвертирующего усилителя

2. Измерим постоянное напряжение на выходе  $U_{out}$ :

$$U_{out} = 1,26 \text{ В}$$

3. Снимем зависимость коэффициента усиления от частоты  $K(f)$ .

$K(f)$	84	87	86	86	86	86	85	80	67	45	21
$f, \text{ Гц}$	10	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000

По полученным данным построим график:

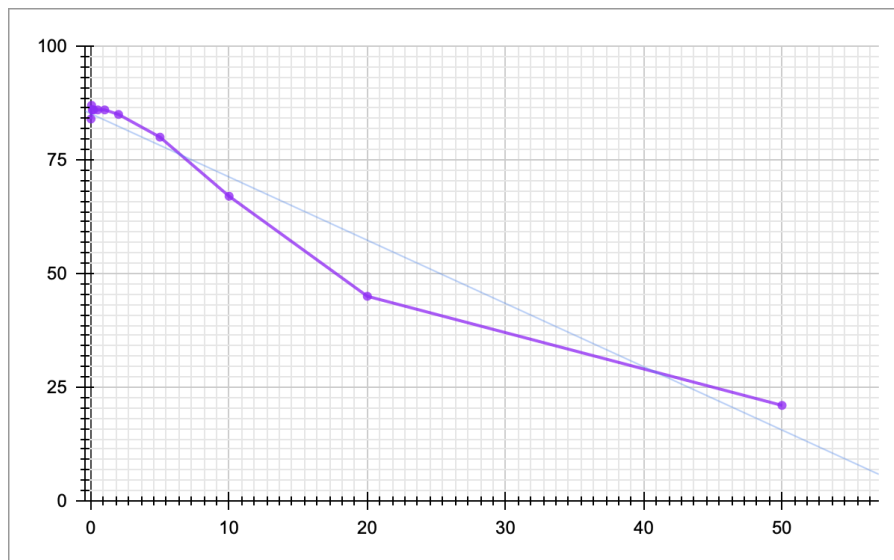
Линейной приближения дало зависимость -  $K = 90,16 - 0,0022f$ .

4. Определим граничную частоту  $F_p$  по уровню 0,7 -  $K = 60,2$ . Получается, что  $F_p = 13,6 \text{ кГц}$ .
5. Определим максимальную амплитуду неискаженного выходного напряжения на низкой частоте ( $f = 1 \text{ кГц}$ ):

$$U_{max-l} = 6,4 \text{ В}$$

6. Включим ОУ по схеме повторителя. Коэффициент передачи и усиления равен единице. Определим максимальную амплитуду неискаженного сигнала на частоте  $f = 1 \text{ МГц}$ :

$$U_{max} = 0,6 \text{ В}$$

Рис. 4: Зависимость  $K(f)$  у неинвертирующего усилителя

#### 1.4 Инвертирующий усилитель

1. Соберем схему инвертирующего усилителя используя те же резисторы, что в разделе 3, определим коэффициент усиления  $K_0$  и граничную частоту  $F_p$ .

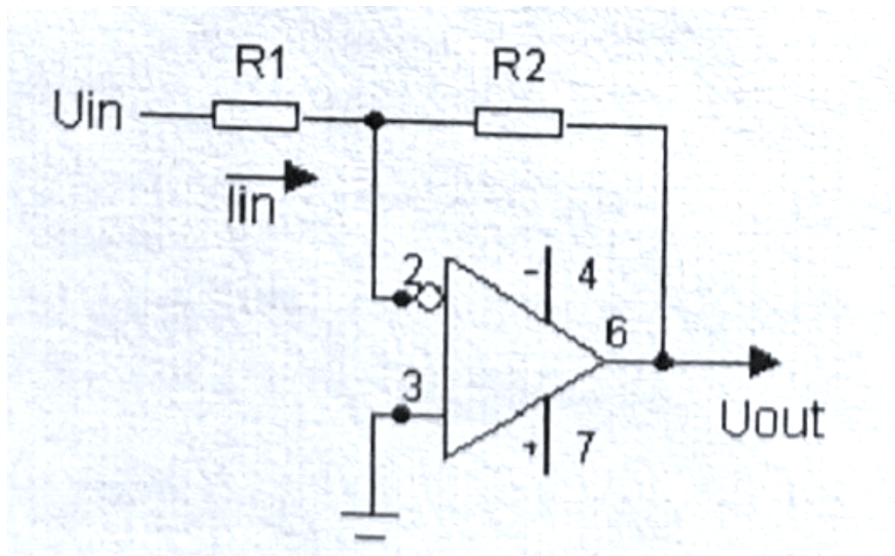


Рис. 5: Схема инвертирующего усилителя

2. Убедимся, что коэффициент усиления  $K_0 = -R_2/R_1 \Rightarrow K_0 = -90$ . Найдём частоту  $F_p$  по уровню 0,7:

$$F_p = 13,6 \text{ кГц},$$

она имеет то же значение, что и для неинвертирующего усилителя.

## 1.5 Разностный усилитель

1. Соберем схему, выбрав  $R_3 = R_1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_4 = R_2 = 10 \text{ кОм}$ .

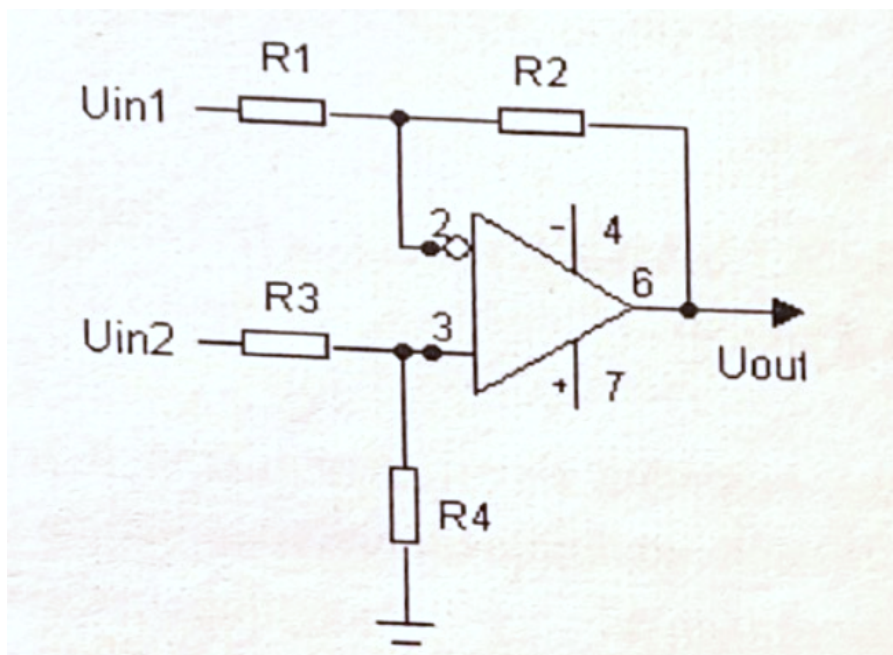


Рис. 6: Схема разностного усилителя

2. Измерим коэффициент усиления сначала по входу 1, а затем по входу 2. При втором измерении вход  $U_{in1}$  соединим с землей.

$$U_{in1} = 29,2 \text{ мВ},$$

$$U_{in2} = 46,64 \text{ мВ},$$

3. Объединим входы  $U_{in1}$  и  $U_{in2}$ , убедимся, что коэффициент усиления синфазного сигнала близок к нулю.
4. Продемонстрируем, что для идеального ОУ выходное напряжение

$$U_{out} = (U_{in2} - U_{in1}) * (R_2/R_1) = 174,4 \text{ мВ}.$$

При этом экспериментальное значение

$$U_{outexp} = 167,9 \text{ мВ},$$

что почти совпадает с вычисленным по формуле.