

Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет "ЛЭТИ"»

отчет по лабораторной работе  
Операционный усилитель

ЭТУ 849121.01 ЭЗ

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Санкт-Петербург  
2021 г.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Реальный операционный усилитель выбрать из таблицы (1). Взять строку с номером, совпадающим с порядковым номером в списке группы.

№	Операционный усилитель	№	Операционный усилитель	примечания
1	ICL7652	15	LMC6062	
2	LF301	16	LT1013	
3	LF353	17	MC1458	
4	LF356	18	OP-07D	
5	LF411	19	OPA111	
6	LF412	20	OPA277	
7	LF442	21	OPA374	
8	LHV870	22	OPA411	
9	LM118	23	OPA445	
10	LM324	24	OPA511	
11	LM4250	25	TLC27M2	
12	LM6211	26	UA741	
13	LM7341	27	UA747	
14	LM741			

## 1.1 Примеры использования данного шаблона

					ЭТУ 849121.01 ЭЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	отчет по лабораторной работе  Операционный усилитель	Лит.		Лист	Листов
Разраб.		Иванов-Петров М.М.					У	2	8
Пров.		Иванов П.С.							
Н. контр.		Петров П.П.							
УТВ.		Сидоров С.С.							

$$K_U = U_{\text{BYX}}/U_{\text{BX}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

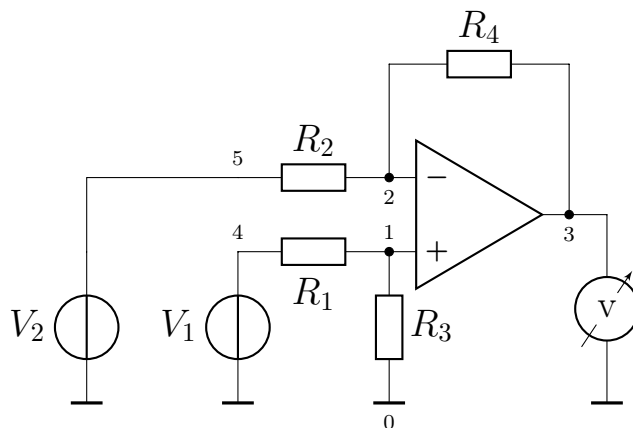


Рисунок 1 – пример подключения идеального операционного усилителя

Листинг 1: Пример подключения модели идеального ОУ в ngspice  
(849104.0101.cir)

```

1 849104.0101 (PSpice format)
2 *
3 .control
4 set color0 = white ; белый фон
5 set color1 = black
6 set color2 = brown
7 set color3 = green
8 set color4 = gold
9 set color5 = red
10 * постоянное напряжение от 0 до 5 с шагом 0.1
11 DC VS2 0 5 0.1
12 plot v(3)
13 .endc
14 XIOP1 1 2 3 IdOpamp
15 R3 0 1 1K ; узел 1 - неинвертирующий
16 R1 4 1 1K
17 VS1 4 0 0
18 R2 5 2 1K ; узел 2 - инвертирующий
19 VS2 5 0 14
20 R4 2 3 1K ; узел 3 - выход
21 .END
22
23 * http://www.ecircuitcenter.com/Circuits/opmodel1/opmodel2.htm
24 *
25 * OPAMP MACRO MODEL, SINGLE-POLE
26 * connections: non-inverting input
27 * | inverting input
28 * | | output
29 * | | |
30 .SUBCKT IdOpamp 1 2 6
31 * INPUT IMPEDANCE
32 RIN 1 2 10MEG
33 * DC GAIN (100K) AND POLE 1 (10HZ)

```

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<div> <div>ЭТУ 849121.01 ЭЗ</div> <div>3</div> </div>
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
					<div> <div>ЭТУ 849121.01 ЭЗ</div> <div>3</div> </div>
					<div> <div>ЭТУ 849121.01 ЭЗ</div> <div>3</div> </div>
					<div> <div>ЭТУ 849121.01 ЭЗ</div> <div>3</div> </div>
					<div> <div>ЭТУ 849121.01 ЭЗ</div> <div>3</div> </div>

```

34 EGAIN 3 0 1 2 100K
35 RP1 3 4 1K
36 CP1 4 0 15.915UF
37 * OUTPUT BUFFER AND RESISTANCE
38 EBUFFER 5 0 4 0 1
39 ROUT 5 6 10
40 .ENDS

```

## 1.2 Выполнение задания

Собираем схему, как указано на рис 2

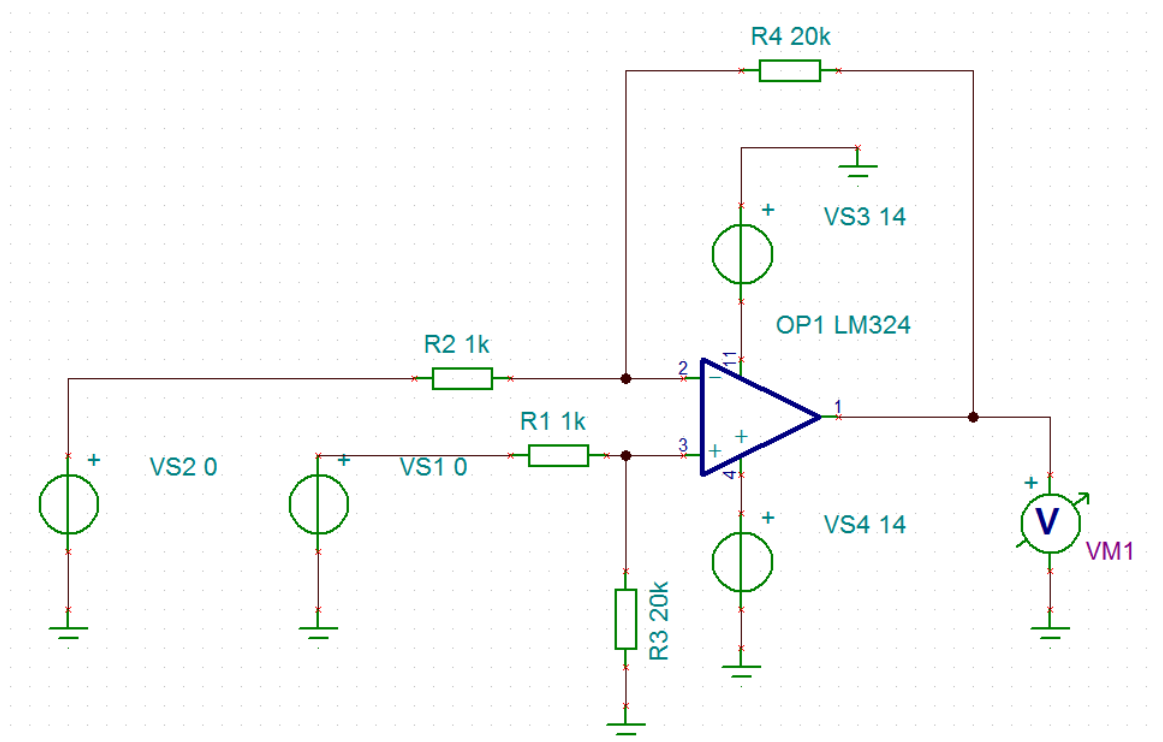


Рисунок 2 – Схема проведения опыта

Подключение внешнего pdf-файла приведен ниже:

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Изм	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

напряжение покоя  $U_{0\text{ вых}}$  можно внешней регулировкой (балансировкой нуля). Однако лучшей гарантией получения минимального напряжения ошибок является правильный выбор типа операционного усилителя и выполнение необходимых соотношений резисторами схемы. При этом желательно использовать в устройстве резисторы небольших номиналов. При приближении  $U_{\text{вых}}$  к  $U_{\text{напр.пит.}}$  ОУ выходит из линейного режима и переходит в режим ограничения с уровнем насыщения  $U_{\text{вых. max}}$ , близким к напряжению питания.

Коэффициент усиления по напряжению инвертирующего усилителя на основе идеального операционного усилителя

$$K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}} = -R_2/R_1, \quad (1)$$

где знак «минус» указывает на инверсию сигнала.

Входное сопротивление инвертирующего усилителя  $R_{\text{вх}} \approx R_1$

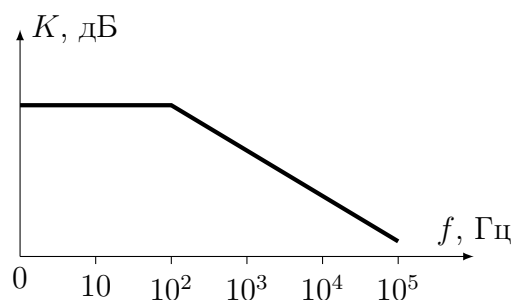


Рис. 3: амплитудно-частотная характеристика(АЧХ) ОУ

На рис. 4 приведена схема дифференциального (разностного) усилителя на ОУ.

На входы усилителя подаются два входных сигнала – от источников  $E_1$  и  $E_2$ , часть выходного напряжения  $U$  через элементы отрицательной обратной связи (делитель напряжения  $R_2$  и  $R_4$ ) подаётся на инвертирующий вход усилителя. Коэффициент передачи усилителя по напряжению определяется как:

$$K_U = R_2/(R_2 + R_4) \quad (2)$$

очень велик, то весьма малое значение  $U_y$  может вызвать существенные значения  $U_{\text{вых}} = K_U U_y$ . Ненулевое  $U_{\text{вых.}}$  при  $u_{\text{вх.}} = 0$  затрудняет использование ОУ. Для исключения вредного влияния входных токов к прямому входу ОУ подключают резистор  $R_2 = R_1 R_{OC}/(R_1 + R_{OC})$ . Входной ток прямого входа создает в нем падение напряжения, входной сигнал определяется разностью напряжений на прямом и инверсном входах и при равенстве входных токов обоих входов  $u_{\text{вх}} = 0$ .

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

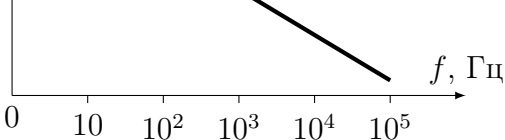


Рис. 3: амплитудно-частотная характеристика(АЧХ) ОУ

На рис. 4 приведена схема дифференциального (разностного) усилителя на ОУ.

На входы усилителя подаются два входных сигнала – от источников  $E_1$  и  $E_2$ , часть выходного напряжения  $U$  через элементы отрицательной обратной связи (делитель напряжения  $R_2$  и  $R_4$ ) подаётся на инвертирующий вход усилителя. Коэффициент передачи усилителя по напряжению определяется как:

$$K_U = R_2/(R_2 + R_4) \tag{2}$$

очень велик, то весьма малое значение  $U_y$  может вызвать существенные значения  $U_{\text{вых}} = K_U U_y$ . Ненулевое  $U_{\text{вых}}$  при  $u_{\text{вх.}} = 0$  затрудняет использование ОУ. Для исключения вредного влияния входных токов к прямому входу ОУ подключают резистор  $R_2 = R_1 R_{OC}/(R_1 + R_{OC})$ . Входной ток прямого входа создает в нем падение напряжения, входной сигнал определяется разностью напряжений на прямом и инверсном входах и при равенстве входных токов обоих входов  $u_{\text{вх}} = 0$ .

3

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЭТУ 849121.01 ЭЗ					Лист	
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

Режим	Параметр	1	2	3	4	5	6
$E_1 = 0$	$U_{\text{вх}}$						
	$U_{\text{вых}}$						
$E_2 = 0$	$U_{\text{вх}}$						
	$U_{\text{вых}}$						
$E_1 = -E_2$	$U_{\text{вх}}$						
	$U_{\text{вых}}$						
$E_1 = E_2$	$U_{\text{вх}}$						
	$U_{\text{вых}}$						

Таблица 1: Измерение коэффициента передачи дифференциального усилителя

- Устанавливая равные по величине, но противоположные по знаку величины  $E_1$  и  $E_2$ , снять характеристику усилителя при работе с дифференциальным сигналом. Результаты измерений занести в таблицу 1.
- Устанавливая равные по величине величины  $E_1$  и  $E_2$ , снять характеристику усилителя при работе с синфазным сигналом. Результаты измерений занести в табл. 1.
- По результатам опыта определить коэффициенты усиления усилителя при работе как инвертирующего усилителя  $K_{U-}$ , при работе как неинвертирующего усилителя  $K_{U+}$ , при работе как дифференциального усилителя  $K_U$ , а также коэффициент подавления синфазных сигналов  $K_{\text{под}}$ .
- Замените используемый идеальный операционный усилитель на аналог реальной микросхемы, например LM407 или LM324.
- Установив  $E_1 = E_2 = 0$  В и, измерив выходное напряжение усилителя в этом случае, определить напряжение смещения операционного усилителя.
- Увеличить величины сопротивления всех резисторов в 100 раз и, измерив выходное напряжение усилителя в этом случае, определить входной ток усилителя.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЭТУ 849121.01 ЭЗ					Лист
										6
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

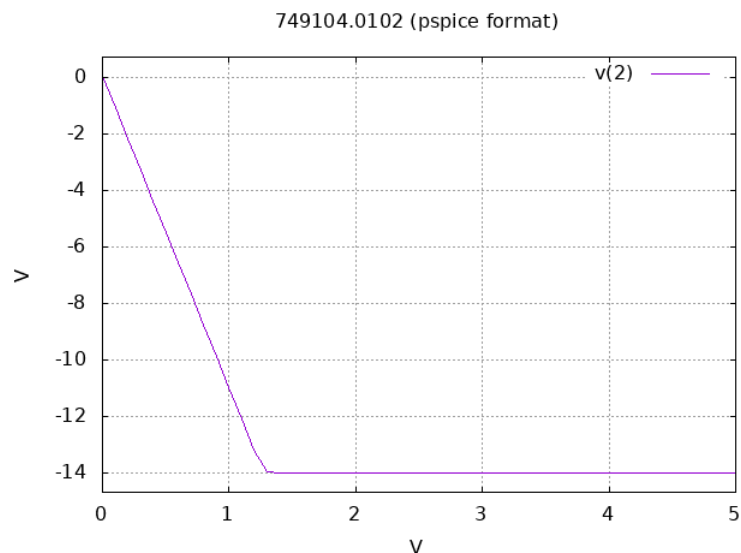


Рисунок 3 – пример графика зависимости выходного напряжения от входного

Листинг 2: Пример подключения модели реального ОУ по схеме дифференциального усилителя (849124\_0224.cir)

```

1  VS8      4 0 24
2  VS7      0 5 24
3  VS6     10 0 24
4  VS5      0 11 24
5  VS4     12 0 24
6  VS3      0 13 24
7  VS2     14 0 6M
8  VS1     15 0 2M
9  R7       2 1 1K
10 R6       0 3 1K
11 R5       6 3 1K
12 R4       7 2 1K
13 R3       6 8 14.868MEG
14 R2       8 9 24K
15 R1       9 7 14.868MEG
16 XU3      3 2 4 5 1 OPA277_0
17 XU2     14 8 10 11 6 OPA277_0
18 XU1     15 9 12 13 7 OPA277_0

```

## Содержание

<b>1</b>	<b>Индивидуальное задание</b>	<b>2</b>
1.1	Примеры использования данного шаблона . . . . .	2
1.2	Выполнение задания . . . . .	4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЭТУ 849121.01 ЭЗ					Лист
										7
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Листинги

1	Пример подключения модели идеального ОУ в ngspice (849104.0101.cir)	3
2	Пример подключения модели реального ОУ по схеме дифференци- ального усилителя (849124_0224.cir) . . . . .	7

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	ЭТУ 849121.01 ЭЗ					Лист
										8
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						