

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

отчет по лабораторной работе
Операционный усилитель

ЛЭТИ.849121.01 ЭЗ

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

Санкт-Петербург
2021 г.

1 Индивидуальное задание

Смоделировать работу схемы, использующей операционный усилитель. Коэффициент усиления по напряжению принять равным $30+N$. Где N – порядковый номер студента в списке группы.

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

Таблица 1 – операционный усилитель для индивидуального задания

№	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			

Просьба для графиков использовать светлый цвет фона.

1.1 Примеры использования данного шаблона

Формула для коэффициента усиления по напряжению инвертирующего усилителя на основе идеального операционного усилителя

Подп. и дата		Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛЭТИ.849121.01 ЭЗ		
Инов. № подл.	Разраб.	Иванов-Петров М.М.				отчет по лабораторной работе Операционный усилитель	Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Иванов П.С.					У	2	8
	Н. контр.	Петров П.П.							
	Утв.	Сидоров С.С.							

$$K_U = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

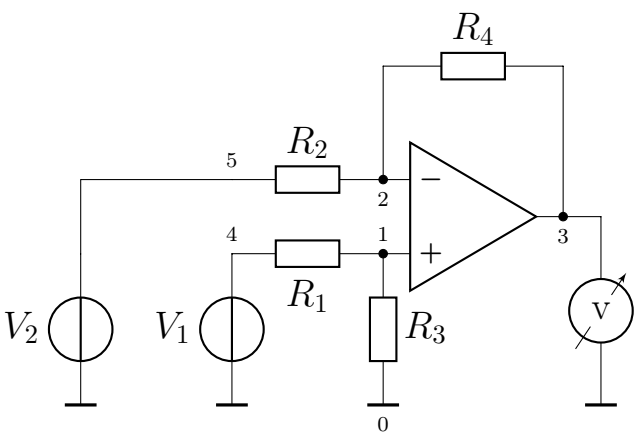


Рисунок 1 – пример подключения идеального операционного усилителя

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)
```

```
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

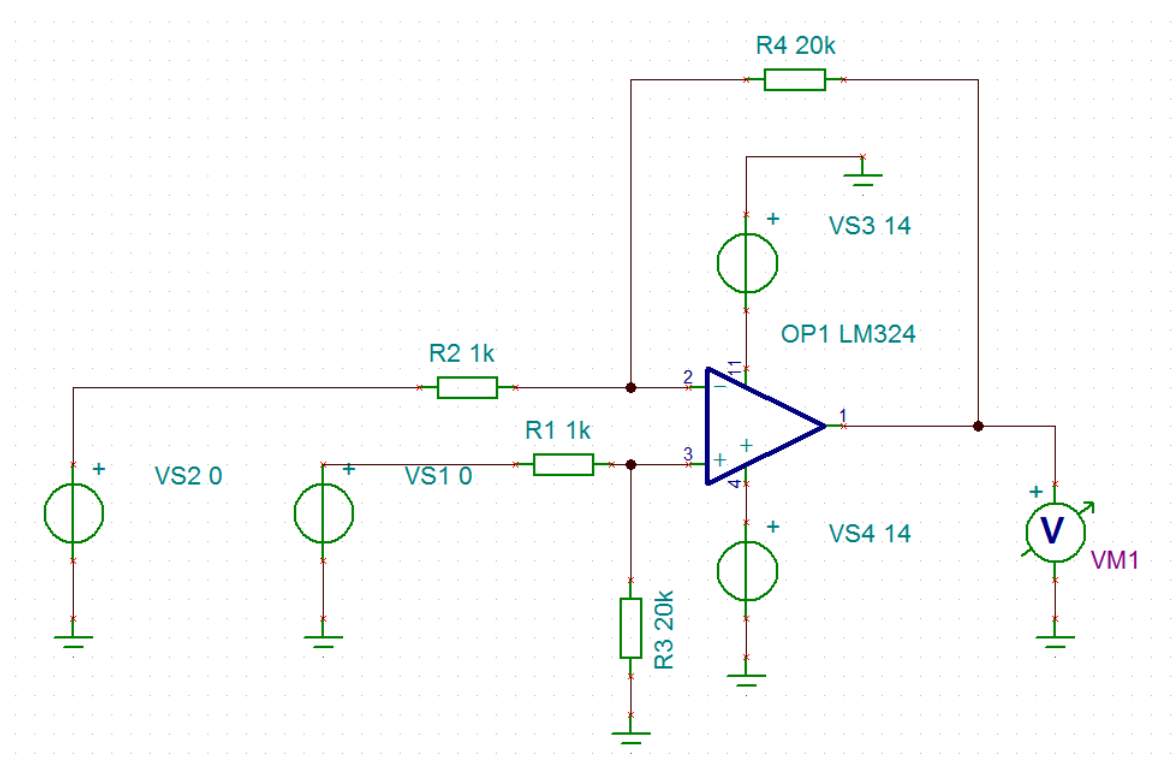


Рисунок 2 – Схема проведения опыта

Подключение внешнего pdf-файла приведен ниже:

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и 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 $R_{\text{вх}} \approx R_1$

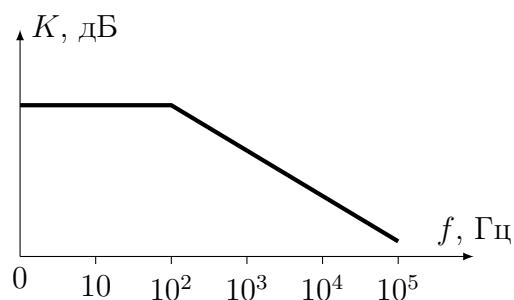


Рис. 3: амплитудно-частотная характеристика(АЧХ) ОУ

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

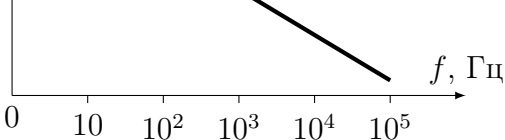


Рис. 3: амплитудно-частотная характеристика(АЧХ) ОУ

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		ЛЭТИ.849121.01 ЭЗ	Лист
							5
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

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 таблицу 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. Реальную микросхему для индивидуального задания брать из таблицы 2.
- 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	ЛЭТИ.849121.01 ЭЗ					Лист				
										6				
										Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

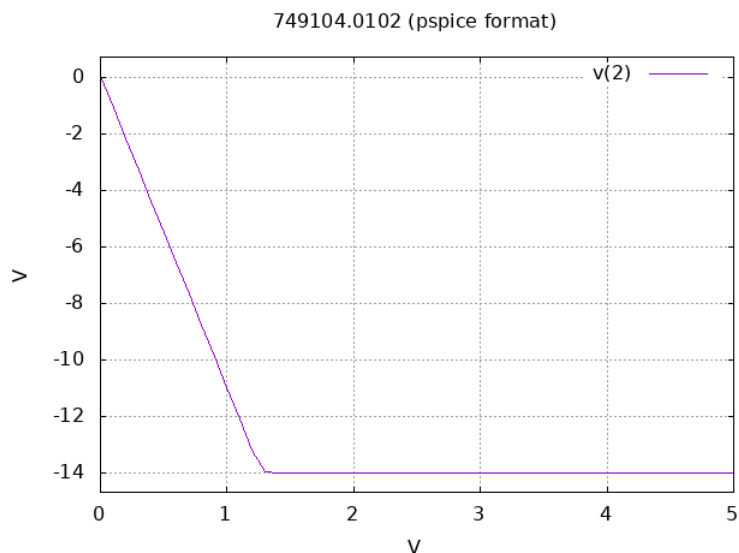


Рисунок 3 – пример графика зависимости выходного напряжения от входного

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

1	Индивидуальное задание	2
1.1	Примеры использования данного шаблона	2
1.2	Выполнение задания	4

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

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

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