



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет»
РТУ МИРЭА

Институт Кибербезопасности и цифровых технологий
Кафедра КБ-6 «Приборы и информационно-измерительные системы»

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

по дисциплине «Схемотехническое проектирование приборов и систем»

Студент _____
подпись, дата _____ инициалы и фамилия _____

Группа _____ БПБО-02-20 _____ шифр _____

Обозначение работы _____ ЛР-02068717-12.03.01-КБ-6-20-21 _____

Преподаватель _____ С.А. Канаев _____
подпись, дата _____ инициалы и фамилия _____

Москва 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЗАДАНИЕ	4
1 РАСЧЕТ РАЗБАЛАНСА МОСТОВОЙ СХЕМЫ И РАЗРАБОТКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛЕЙ.....	6
1.1 Нахождение разбаланса моста.....	6
1.2 Разработка измерительного усилителя на двух операционных усилителях.....	8
1.3 Разработка измерительного усилителя на трех операционных усилителях.....	11
2. РАСЧЕТ МОСТОВЫХ СХЕМ.....	14
2.1 Расчет первой схемы.....	14
2.2 Расчет первой схемы при заданном приращении сопротивления тензорезисторов	19
2.1 Расчет второй схемы.....	21
2.2 Расчет второй схемы при заданном приращении сопротивления тензорезисторов	25
3 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.....	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	30

ВВЕДЕНИЕ

Схемотехника - это научно-техническое направление, охватывающее проблемы проектирования и исследования схем электронных устройств радиотехники и связи, вычислительной техники, автоматики и других областей техники.

Цели лабораторной работы заключаются в изучение работы измерительных мостов, получение навыков расчета и моделирования с САПР различных усилителей и мостовых схем, расширении практических знаний в области дифференциальных усилителей и мостовых схем, получение опыта в изучении технической документации, изучение новых видов моделирования в САПР Orcad.

					<i>ЛР-02068717-12.03.01-КБ-6-20-22</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Студент</i>	Глухов А.Д.							
<i>Руковод.</i>	Канаев С.А.							
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Зав.каф.</i>								
						<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
							3	30
						<i>ИКБ БПБО-02-20</i>		

ЗАДАНИЕ

Задание 1. В среде Orcad постройте модель представленной на рисунке 1.1 схемы измерительного моста. Параметры моста заданы в таблице индивидуальных вариантов заданий (таблица 1.1). Постройте варианты моделей измерительных (дифференциальных усилителей) на двух и трех операционных усилителях ОРАМР, которые предназначены для усиления выходного дифференциального напряжения моста. Требуемый диапазон выходного напряжения усилителей выбрать из индивидуального варианта задания. Используя анализ DC Sweep (варьируя значением глобального параметра dR) докажите работоспособность разработанных схем.

Таблица 1.1 – Индивидуальные варианты заданий

Напряже- ние питания моста $U_{оп}$, В	Номинальное сопротивление тензорезисто- ров R, Ом	Приращение сопротивления тензорезисто- ров dR, Ом		Диапазон напряжения на выходе усилителя, В		Заданное значение приращения сопротивления тензорезисто- ров dR _{зад} , Ом	Тип интеграль- ного усилителя	Фирма производи- тель
		мини- маль- ное dR _{min} , Ом	макси- маль- ное dR _{max} , Ом	мини- маль- ное U _{вых} min, В	макси- маль- ное U _{вых} max, В			
5	3500	0	90	0	10	50	ОРА646	Texas Instruments

Задание 2. В среде Orcad постройте модели представленных на рисунках 1.2 и 1.3 вариантов схем включения измерительных мостов. R_{m1}, R_{m2}, R_{m3}, R_{m4} - тензорезисторы входящие в состав датчика силы (давления, крутящего момента и т.п.). При изменении измеряемого параметра от нуля до максимального значения, сопротивление одной пары тензорезисторов увеличивается, а у другой соответственно уменьшается на величину dR (от 0 до dR_{max}). Схемы должны преобразовать изменение сопротивления тензорезисторов в выходное напряжение с заданным диапазоном. Диапазон изменения сопротивления тензорезисторов, номинальное напряжение питания моста и требуемый диапазон выходного напряжения схемы выбрать из индивидуального варианта задания (таблица 1.1).

Задание 3. В таблице 1.1. указан тип современного зарубежного интегрального усилителя и название фирмы-производителя. Используя поисковые системы сети Internet, найдите сайт фирмы-производителя. Скачайте англоязычную техническую документацию. Постарайтесь получить следующую информацию: назначение и рекомендуемая производителем область применения микросхемы, основные параметры усилителя (не менее 10), схему расположения выводов.

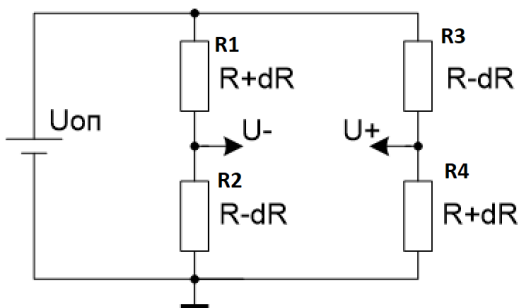


Рисунок 1.1 – Исходная мостовая схема включения

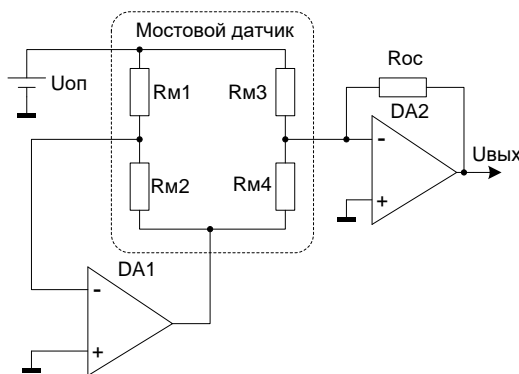


Рисунок 1.2 – Первая схема включения моста для задания 2

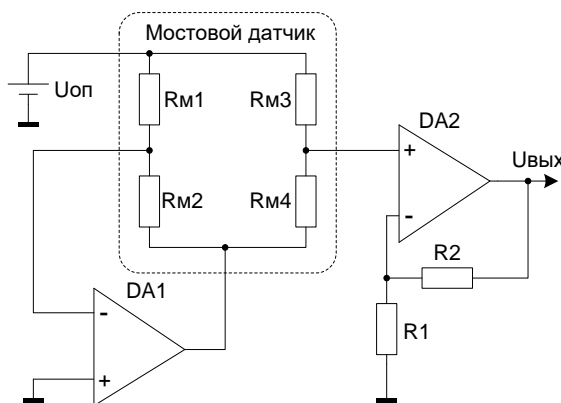


Рисунок 1.3 – Вторая схема включения моста для задания 2

1 РАСЧЕТ РАЗБАЛАНСА МОСТОВОЙ СХЕМЫ И РАЗРАБОТКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛЕЙ

В данном разделе необходимо провести расчет разбаланса мостовой схемы и разработать дифференциальные усилители на базе операционных усилителей. Расчеты необходимо подтвердить моделированием.

1.1 Нахождение разбаланса моста

В данном разделе необходимо провести расчет разбаланса мостовой схемы. Расчетная схема разбаланса моста представлена на рисунке 1.1. Исходя из расчетной схемы разбаланс моста определяется по формуле (1). В формулах (2) и (3) представлены выражения для расчета значения сопротивления тензорезисторов.

$$U_p = U_{оп} * \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_2 + R_1} \right), \quad (1)$$

$$R_1 = R_4 = R + dR, \quad (2)$$

$$R_2 = R_3 = R - dR. \quad (3)$$

Подставив в формулу (1) значения сопротивления тензорезисторов из формул (2) и (3) и упростив выражение, получаем:

$$U_p = U_{оп} * \left(\frac{dR}{R} \right). \quad (4)$$

По формуле (4) можно рассчитать максимальное и минимальное значение разбаланса моста. Чтобы найти минимальное значение разбаланса примем dR равным dR_{min} , а для нахождения максимального значения разбаланса примем dR равным dR_{max} . Значения dR_{min} , dR_{max} , $U_{оп}$ и R указаны в таблице 1.1. Подставив в формулу (4) значения dR_{min} , dR_{max} , $U_{оп}$ и R получаем:

$$U_{P\min} = 5 * \left(\frac{0}{3500} \right) = 0 \text{ В},$$

$$U_{P\max} = 5 * \left(\frac{90}{3500} \right) = 0,1285 \text{ В}.$$

Чтобы удостовериться в полученном значении разбаланса мостовой схемы, построим модель схемы в САПР OrCAD. Модель мостовой схемы представлена на рисунке 1.4.

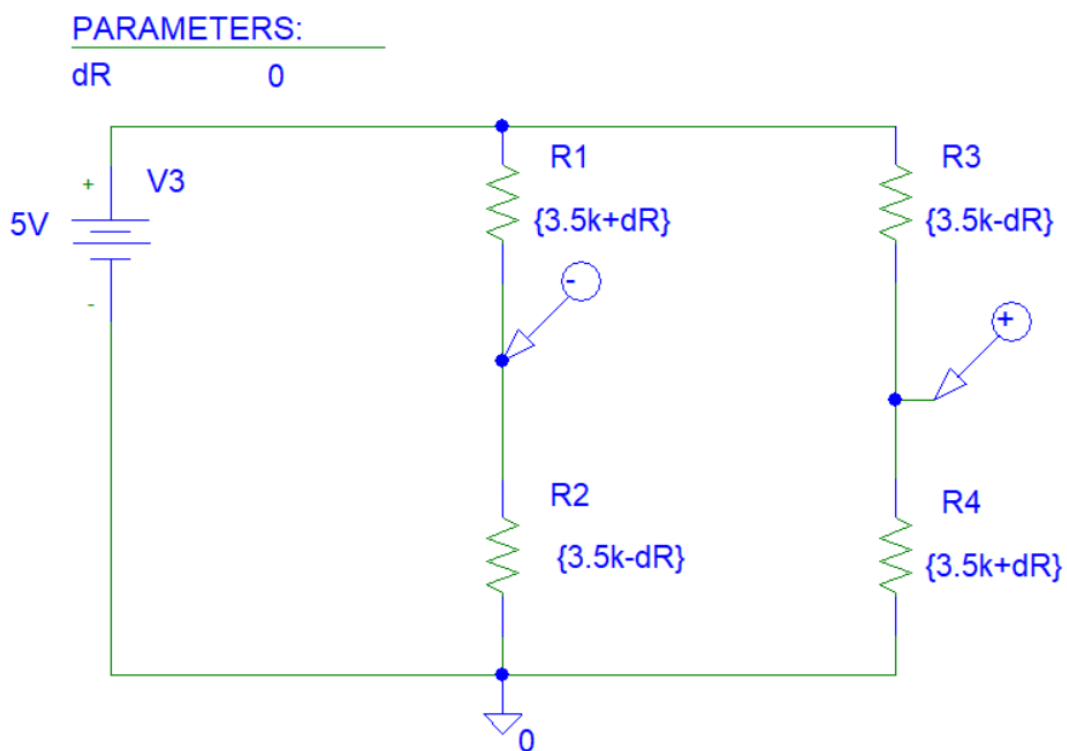


Рисунок 1.4 – Модель схемы измерительного моста

При моделировании использовался метод DC Sweep. Настройки моделирования представлены на рисунке 1.5. График зависимости дифференциального напряжения на выходе моста от приращения сопротивления тензорезисторов представлен на рисунке 1.6.

По рисунку 1.6 выходное дифференциальное напряжение мостовой схемы находится в диапазоне от 0 до 128,572 мВ, что совпадает с диапазоном выходного напряжения, рассчитанным вручную, следовательно, расчеты проведены верно.

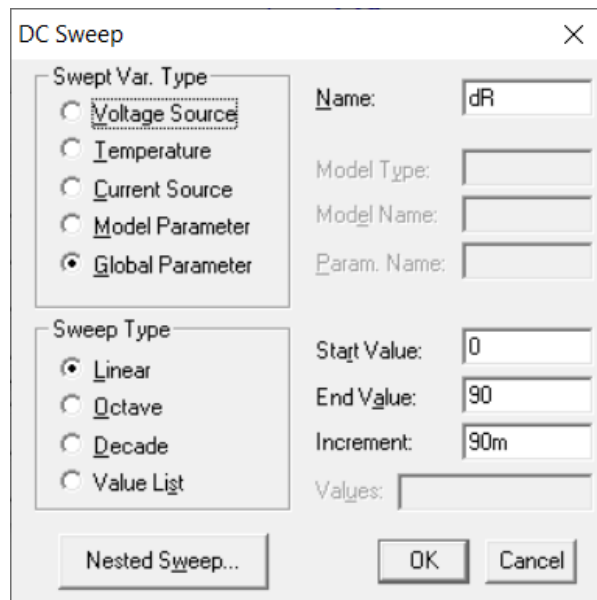


Рисунок 1.5 – Настройки DC Sweep

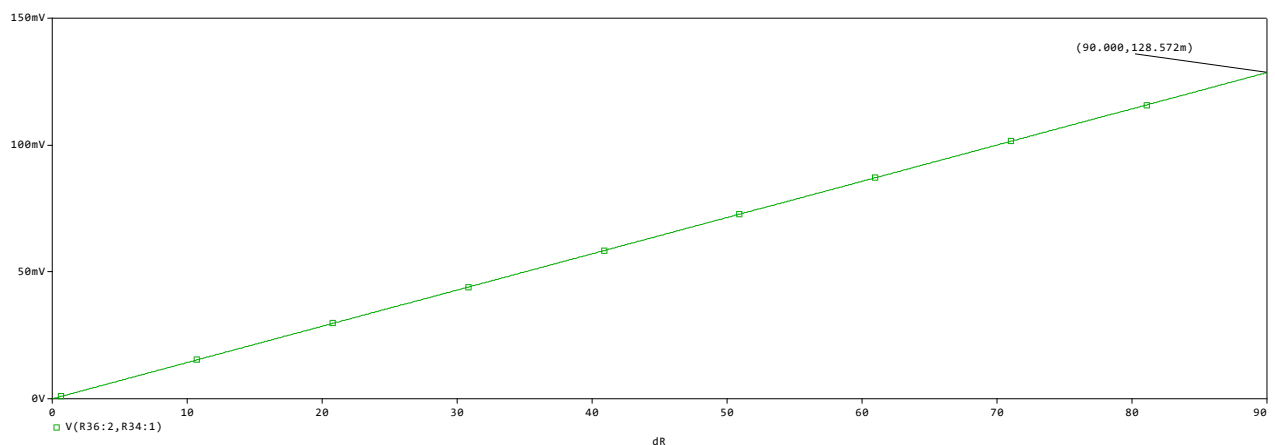


Рисунок 1.6 – График дифференциального напряжения на выходе мостовой схемы

1.2 Разработка измерительного усилителя на двух операционных усилителях

В данном разделе необходимо разработать измерительный усилитель на двух операционных усилителях, который предназначен для усиления выходного дифференциального напряжения моста. На выходе усилителя должно формироваться напряжение в диапазоне от $U_{\text{вых min}}$ до $U_{\text{вых max}}$. Значения $U_{\text{вых min}}$ и $U_{\text{вых max}}$ указаны в таблице 1.1. Расчетная схема измерительного усилителя представлена на рисунке 1.7.

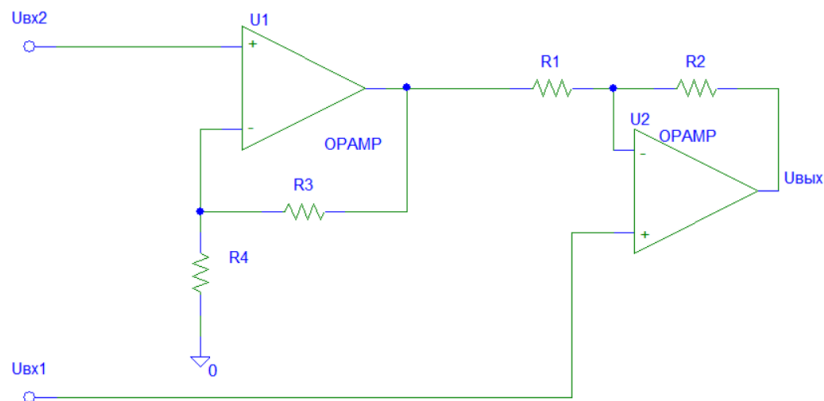


Рисунок 1.7 – Расчетная схема измерительного усилителя на двух операционных усилителях

Чтобы разработать усилитель необходимо найти его коэффициент усиления.

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ max}} - U_{\text{ВЫХ min}}}{U_{\text{P max}} - U_{\text{P min}}}. \quad (5)$$

Подставив в формулу (5) диапазон выходного сигнала, который указан в таблице 1.1, и диапазон разбаланса моста, рассчитанный параграфе 1.1, получаем:

$$K = \frac{10 - 0}{0,1285 - 0} = 77,821.$$

Коэффициент усиления для усилителя на двух операционных усилителях можно рассчитать по формуле (6), если выполняется условие (7).

$$K_y = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad (6)$$

$$\frac{R_3 R_2}{R_4 R_1} = 1. \quad (7)$$

Примем значение сопротивление резистора R1 равным 1 кОм, тогда по формуле (6) значение сопротивление резистора R2 равно 76,821 кОм. Чтобы выполнялось

условие (7) примем значение сопротивление резистора R3 равным 1 кОм, а значение сопротивление резистора R4 равным 76,821 кОм.

Модель схемы инструментального усилителя на двух операционных усилителях, усиливающего выходное дифференциальное напряжение моста представлена на рисунке 1.8.

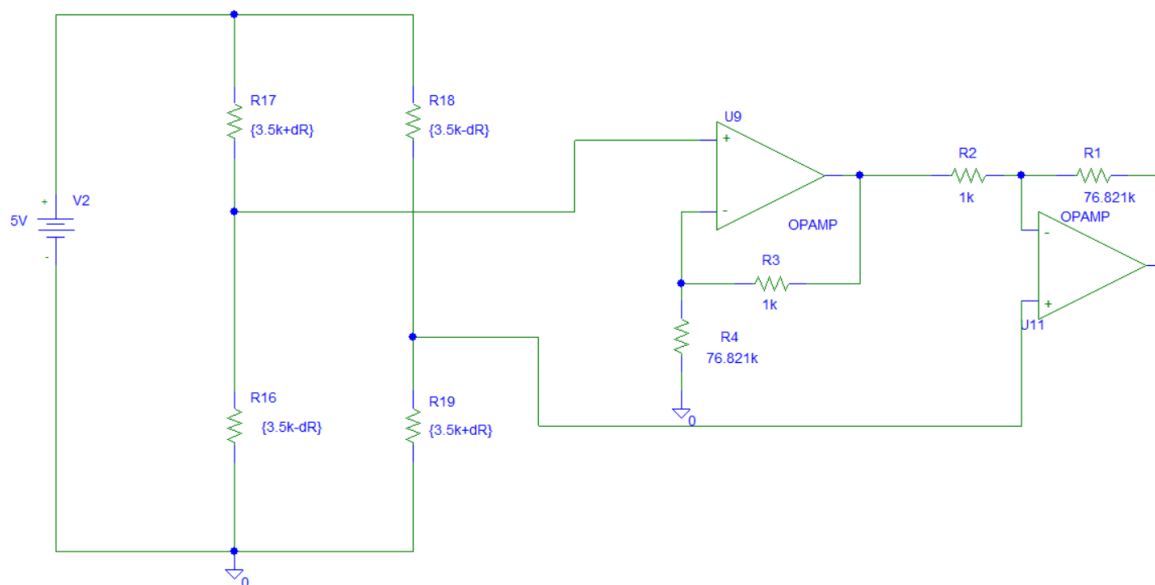


Рисунок 1.8 – Модель мостовой схемы с измерительным усилителем

При моделировании использовался метод DC Sweep. Настройки моделирования представлены на рисунке 1.5. На рисунке 1.9 представлен график напряжения на выходе усилителя.

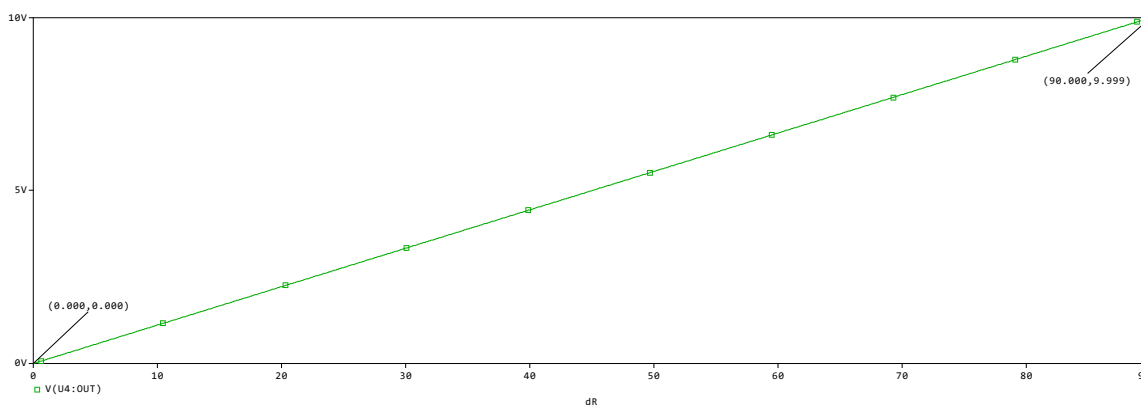


Рисунок 1.9 – График выходного напряжения схемы

По рисунку 1.9 выходное напряжение схемы находится в диапазоне от 0 до 9,999 В, полученный диапазон совпадает с диапазоном указанным в таблице 1.1, следовательно, расчеты проведены верно.

1.3 Разработка измерительного усилителя на трех операционных усилителях

В данном разделе необходимо разработать измерительный усилитель на трех операционных усилителях, который предназначен для усиления выходного дифференциального напряжения моста. На выходе усилителя должно формироваться напряжение в диапазоне от $U_{\text{вых min}}$ до $U_{\text{вых max}}$. Значения $U_{\text{вых min}}$ и $U_{\text{вых max}}$ указаны в таблице 1.1. Расчетная схема измерительного усилителя представлена на рисунке 1.10.

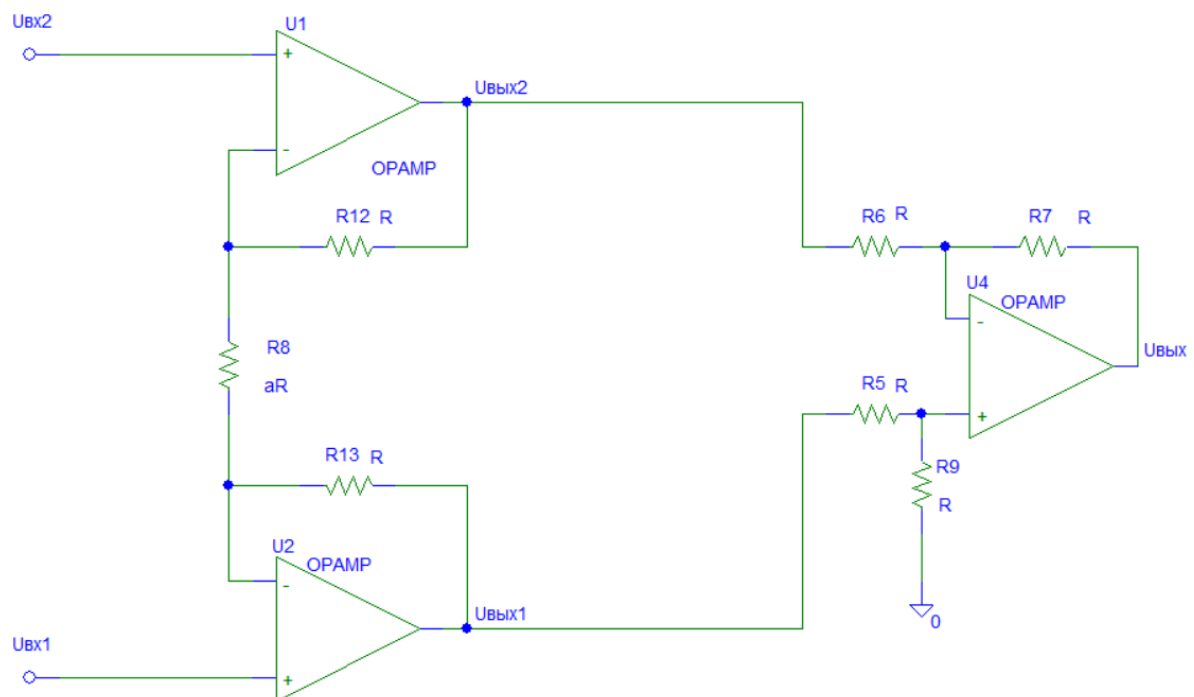


Рисунок 1.10 – Схема усилителя на 3 ОУ

Коэффициент усиления измерительного усилителя на трех операционных усилителях можно определить по формуле (8), если выполняются условия (9) и (10).

$$K_y = 1 + \frac{2}{\alpha} \quad (8)$$

$$R7 = R6 = R5 = R9 = R12 = R13 = R \quad (9)$$

$$R8 = \alpha R \quad (10)$$

Выразив α из формулы (8), получаем:

$$\alpha = \frac{2}{K_y - 1} \quad (11)$$

Подставив коэффициент усиления, который рассчитывался по формуле (5) в разделе 1.1, получаем:

$$\alpha = \frac{2}{77,821 - 1} = 0,026$$

Примем R равным 1 кОм, тогда по формуле (8):

$$R7 = R6 = R5 = R9 = R12 = R13 = 1 \text{ кОм.}$$

По формуле (10) найдем $R8$:

$$R8 = 0,026 * 1 = 0,026 \text{ кОм.}$$

Модель схемы инструментального усилителя на трех операционных усилителях, усиливающего выходное дифференциальное напряжение моста представлена на рисунке 1.10.

При моделировании использовался метод DC Sweep. Настройки моделирования представлены на рисунке 1.5. На рисунке 1.12 представлен график напряжения на выходе усилителя.

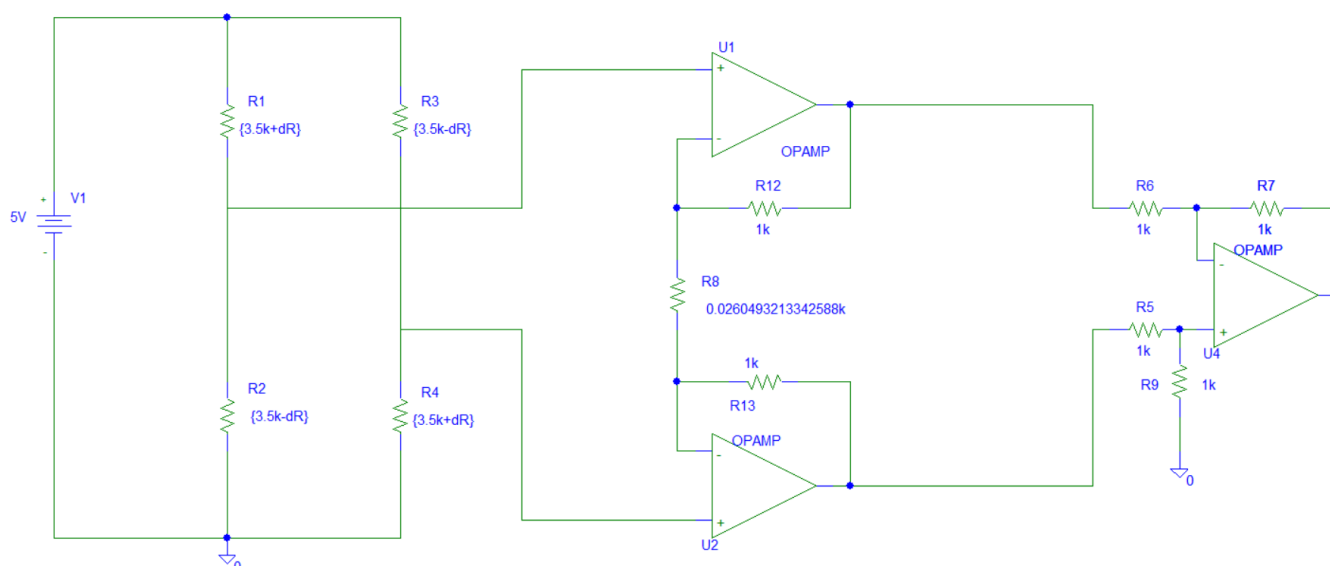


Рисунок 1.11 – Модель схемы инструментального усилителя, усиливающего выходное дифференциальное напряжение моста

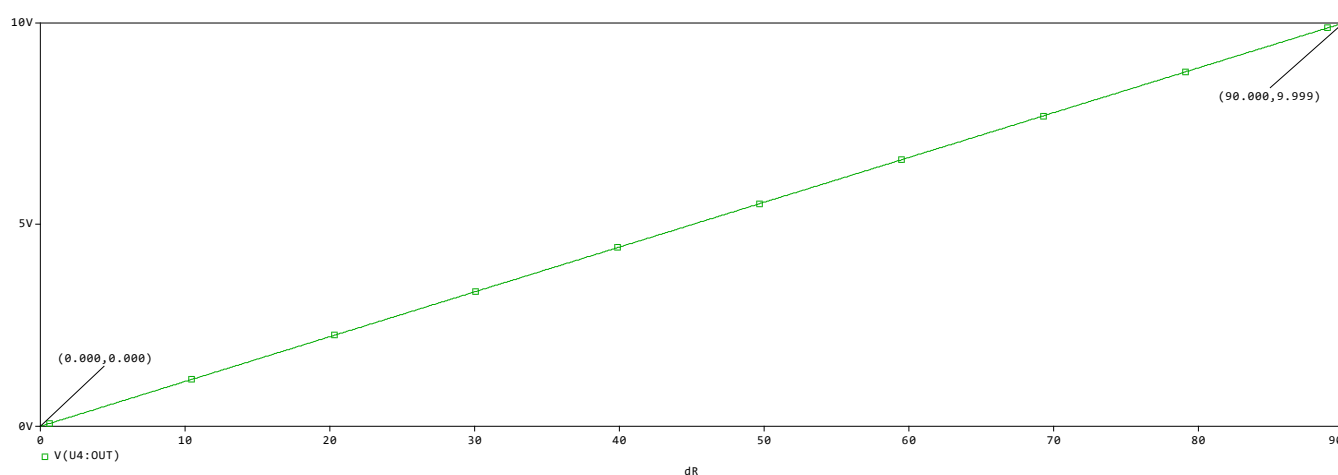


Рисунок 1.12 – График выходного напряжения схемы

По рисунку 1.12 выходное напряжение модели схемы находится в диапазоне от 0 до 9,999 В, полученный диапазон совпадает с диапазоном указанным в таблице 1.1, следовательно, расчеты проведены верно.

2 РАСЧЕТ МОСТОВЫХ СХЕМ

В данном разделе необходимо провести расчет различных мостовых схем. Необходимо определить значения сопротивления резисторов R_{oc} для первой мостовой схемы и R_1, R_2 для второй мостовой схемы. Также необходимо определить напряжение на выходе схем при заданном значении приращения сопротивления тензорезисторов $dR_{зад}$, которое указано в таблице 1.1. Расчетные схемы представлены на рисунках 1.2 и 1.3.

2.1 Расчет первой схемы

В данном разделе необходимо провести расчет мостовой схемы, представленной на рисунке 2.1.

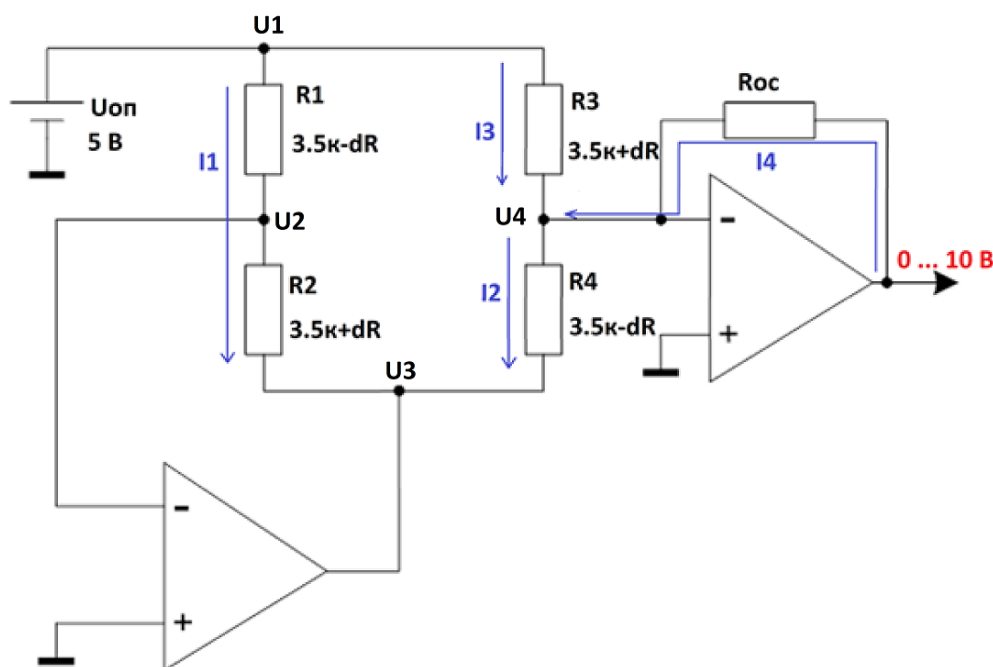


Рисунок 2.1 – Расчетная схема

По рисунку 2.1 можно сказать, что напряжение U_1 равно 5 В, так как узел напрямую подключен к источнику питания с напряжением 5 В. Вследствие действия

отрицательной обратной связи операционный усилитель на обоих входах устанавливает равное напряжения. Так как неинвертирующие входы обоих операционных усилителей подключены к точке нулевого потенциала, напряжение на их инвертирующих входах тоже будет равным нулю. Следовательно, U_2 и U_4 равны 0 В.

Для рассматриваемой схемы справедливы формулы:

$$R_1 = R_4 = R - dR, \quad (12)$$

$$R_2 = R_3 = R + dR. \quad (13)$$

По закону Ома найдем ток I_1 .

$$I_1 = \frac{U_{оп}}{R_1}. \quad (14)$$

По формуле (14) рассчитаем ток I_1 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при R_1 равным R минус dR_{max} и при R_1 равным R минус dR_{min} соответственно. Подставив в формулу (14) значения $U_{оп}$, R , dR_{min} , dR_{max} получаем:

$$I_1 = \frac{5}{3500 - 90} = 1,4662 \text{ мкА, при } dR = dR_{max},$$

$$I_1 = \frac{5}{3500 - 0} = 1,4285 \text{ мкА, при } dR = dR_{min}.$$

Зная ток I_1 по закону Ома найдем напряжение U_3 .

$$U_3 = 0 - I_1 * R_2. \quad (15)$$

По формуле (15) рассчитаем напряжение U_3 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при I_1 равном 1,4662 мкА, R_2

равном R плюс dR_{\max} и при I_1 равном $1,4285$ мкА, R_2 равном R плюс dR_{\min} соответственно. Подставив в формулу (15) значения I_1 , dR_{\min} , dR_{\max} , R получаем:

$$U_3 = 0 - 0,0014662 * (3500 + 90) = -5,263929 \text{ В, при } dR = dR_{\max},$$

$$U_3 = 0 - 0,0014285 * (3500 + 0) = -5 \text{ В, при } dR = dR_{\min}.$$

По формуле (16) найдем ток I_2 .

$$I_2 = \frac{0 - U_3}{R_4}. \quad (16)$$

По формуле (16) рассчитаем ток I_2 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при U_3 равном минус $5,263929$ В, R_4 равном R минус dR_{\max} и при U_3 минус 5 В, R_4 равном R минус dR_{\min} соответственно. Подставив в формулу (16) значения U_3 , dR_{\min} , dR_{\max} , R получаем:

$$I_2 = \frac{5,263929}{3410} = 1,5437 \text{ мА; , при } dR = dR_{\max},$$

$$I_2 = \frac{5}{3500} = 1,4286 \text{ мА, при } dR = dR_{\min}.$$

По первому закону Кирхгофа сумма токов, втекающих в узел, равна сумме вытекающих.

$$I_2 = I_3 + I_4. \quad (17)$$

Тогда ток I_4 можно найти по формуле:

$$I_4 = I_2 - I_3. \quad (18)$$

Для нахождения тока I_4 найдем ток I_3 .

$$I_3 = \frac{U_{оп}}{R_3} \quad (19)$$

По формуле (19) рассчитаем ток I_3 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при R_3 равном R плюс dR_{max} и при R_3 равном R плюс dR_{min} соответственно. Подставив в формулу (19) значения dR_{min} , dR_{max} , $U_{оп}$, R получаем:

$$I_3 = \frac{5}{3590} = 1,3927 \text{ мА, при } dR = dR_{max},$$

$$I_3 = \frac{5}{3500} = 1,4286 \text{ мА, при } dR = dR_{min}.$$

По формуле (18) рассчитаем ток I_4 при максимальном и минимальном приращении dR , то есть при I_3 равном 1,3927 мА, I_2 равном 1,5437 мА и I_3 равном 1,4286 мА, I_2 равном 1,4286 мА соответственно.

$$I_4 = 1,5437 - 1,3927 = 0,151 \text{ мА, при } dR = dR_{max},$$

$$I_4 = 1,4286 - 1,4286 = 0 \text{ А, при } dR = dR_{min}.$$

Так как при dR равном dR_{min} I_4 равно 0 А, на выходе схемы будет формироваться 0 В. Следовательно, для расчета сопротивления R_{oc} будем использовать I_4 равное 0,151 мА.

На выходе необходимо получить 10 В. Тогда по закону Ома:

$$R_{oc} = \frac{U_{вых max} - U_{вых min}}{I_4}. \quad (20)$$

Подставив в формулу (20) значения $U_{вых max}$, $U_{вых min}$, I_4 получаем:

$$R_{oc} = \frac{10^{-0}}{0.151 \cdot 10^{-3}} = 66.225 \text{ кОм.}$$

Модель расчетной схемы представлена на рисунке 2.2. При моделировании использовался метод DC Sweep. Настройки моделирования представлены на рисунке 1.5. График напряжения на выходе схемы представлен на рисунке 2.3.

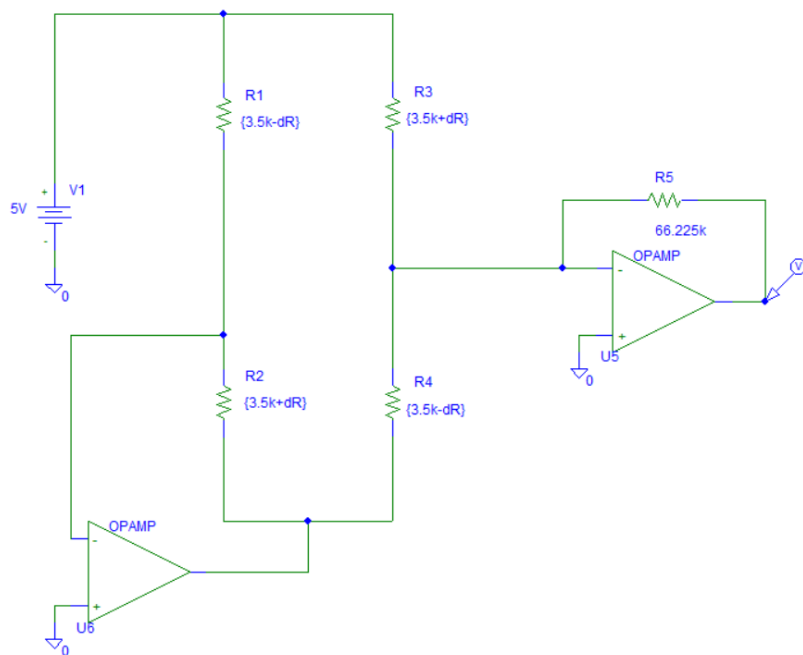


Рисунок 2.2 – Модель первой расчетной схемы представлена

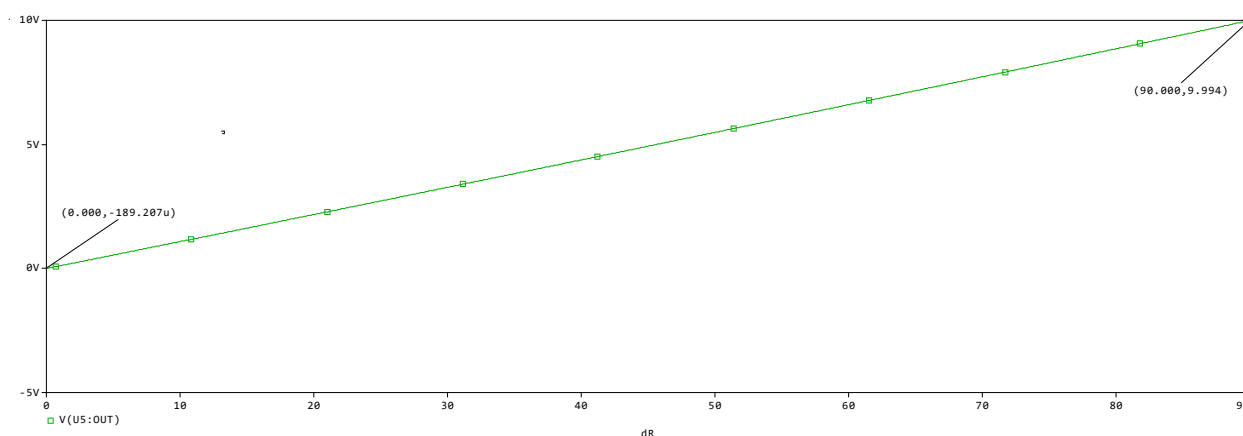


Рисунок 2.3 – График напряжения на выходе первой схемы

Диапазон выходного напряжения на рисунке 2.3 совпадает с заданным, следовательно, расчеты проведены верно.

2.2 Расчет первой схемы при заданном приращении сопротивления тензорезисторов

В данном разделе необходимо найти все токи в ветвях, напряжения в узлах и напряжение на выходе схемы, представленной на рисунке 2.1, при dR равное $dR_{\text{зад}}$. Значение $dR_{\text{зад}}$ указано в таблице 1.1.

Подставив в формулу (14) значения $U_{\text{оп}}$, R и dR равное $dR_{\text{зад}}$ получаем:

$$I_1 = \frac{5}{3500 - 50} = 1,4493 \text{ мА.}$$

Подставив значения тока I_1 и сопротивления R_2 равное R плюс $dR_{\text{зад}}$ в формулу (15) получаем:

$$U_3 = 0 - 0.0014493 * (3500 + 50) = -5,1449 \text{ В.}$$

Подставим значения U_3 и R_4 равное R минус $dR_{\text{зад}}$ в формулу (16) получаем:

$$I_2 = \frac{5,1449}{3450} = 1,4913 \text{ мА.}$$

Подставив в формулу (19) значения $U_{\text{оп}}$ и R_3 равное R плюс $dR_{\text{зад}}$ получаем:

$$I_3 = \frac{5}{3550} = 1,4085 \text{ мА.}$$

Подставив в формулу (18) значения I_2 и I_3 , получаем:

$$I_4 = 1,4913 - 1,4085 = 0,0828 \text{ мкА.}$$

Выразив из формулы (20) $U_{\text{вых}}$ получаем:

$$U_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{ос}} * I_4 \quad (21)$$

Подставив в формулу (21) полученные значения $R_{\text{ос}}$ и I_4 , получаем:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 66,225 * 0,0828 = 5,483 \text{ В.}$$

Чтобы провести моделирование схемы в настройках функции PARAMETERS, указываем значение dR равное 50. При моделировании использовался метод Transient. Настройка PARAMETERS и Transient представлена на рисунках 2.4 и 2.5.

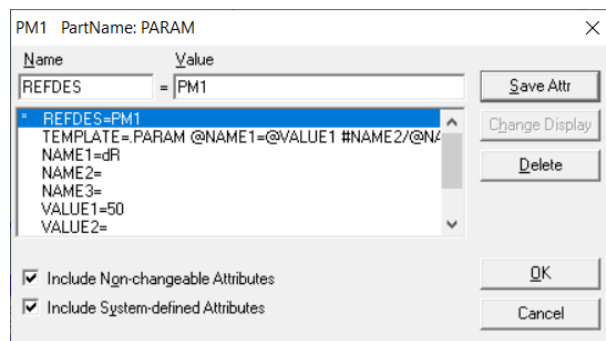


Рисунок 2.4 – Настройка функции PARAMETERS

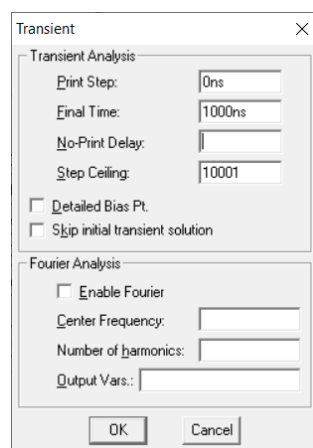


Рисунок 2.5 – Настройка Transient

На рисунке 2.6 представлен график выходного напряжения схемы при dR равное 50 Ом.

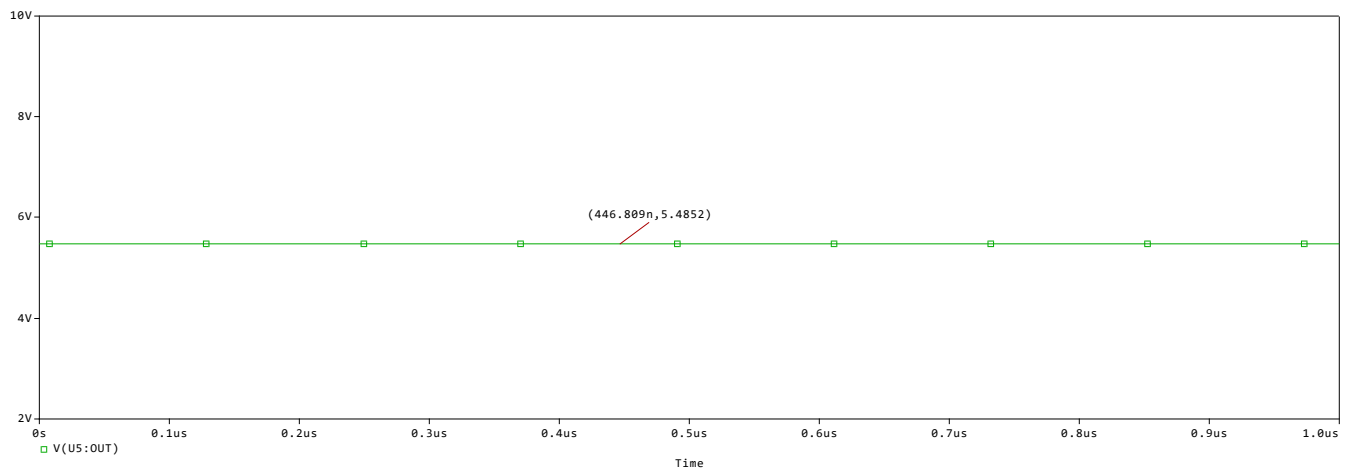


Рисунок 2.6 – Выходное напряжение схемы при dR равное 50 Ом

Выходное напряжение модели равно 5,4852 В, а выходное напряжение, рассчитанное по формуле (21), равно 5,483 В. Можно сделать вывод что, расчет выходного напряжения схемы проведен верно.

2.3 Расчет второй схемы

В данном разделе необходимо провести расчет мостовой схемы, представленной на рисунке 2.7.

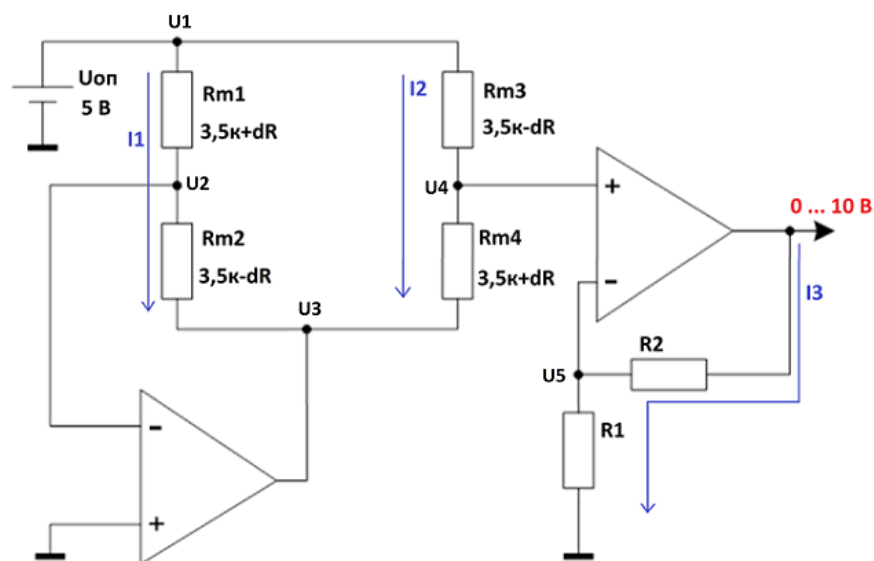


Рисунок 2.7 – Вторая схема для расчета

По рисунку 2.7 можно сказать, что напряжение U_1 равно 5 В, так как узел напрямую подключен к источнику питания с напряжением 5 В. Вследствие действия отрицательной обратной связи операционный усилитель на обоих входах устанавливает равное напряжения. Так как неинвертирующие входы обоих операционных усилителей подключены к точке нулевого потенциала, напряжение на их инвертирующих входах тоже будет равным нулю. Следовательно, U_2 равно 0 В, а U_4 равно U_5 .

По формуле (14) рассчитаем ток I_1 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при R_1 равно R_{m1} равно R плюс dR_{\max} и при R_1 равно R_{m1} равно R плюс dR_{\min} соответственно. Подставив в формулу (14) значения $U_{оп}$, R , dR_{\min} , dR_{\max} получаем:

$$I_1 = \frac{5}{3590} = 1,3927 \text{ мА, при } dR = dR_{\max},$$

$$I_1 = \frac{5}{3500} = 1,4286 \text{ мА, при } dR = dR_{\min}.$$

По формуле (15) рассчитаем напряжение U_3 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при I_1 равно 1,3927 мА, R_2 равно R_{m2} равно R минус dR_{\max} и при I_1 равно 1,4286 мА, R_2 равно R_{m2} равно R минус dR_{\min} соответственно. Подставив в формулу (15) значения I , dR_{\min} , dR_{\max} , R получаем:

$$U_3 = 0 - 1,3927 * 10^{-3} * 3410 = -4,749 \text{ В, при } dR = dR_{\max},$$

$$U_3 = 0 - 1,4286 * 10^{-3} * 3500 = -5 \text{ В, при } dR = dR_{\min}.$$

Ток I_2 можно найти по формуле:

$$I_2 = \frac{U_{оп} - U_3}{R_{m3} + R_{m4}}. \quad (22)$$

По формуле (22) рассчитаем ток I_2 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при U_3 равном минус 4,749 В, R_{m4} равном R плюс dR_{max} , R_{m3} равном R минус dR_{max} и при U_3 равном минус 5 В, R_{m4} равном R плюс dR_{min} , R_{m3} равном R плюс dR_{min} соответственно. Подставив значения $U_3 dR_{min}$, $U_3 dR_{max}$, dR_{min} , dR_{max} , R , получаем:

$$I_2 = \frac{5 + 4,749}{3410 + 3590} = 1,3927 \text{ мА, при } dR = dR_{max},$$

$$I_2 = \frac{5 + 5}{3500 + 3500} = 1,4286 \text{ мА, при } dR = dR_{min}.$$

Получив значение тока I_2 можно найти напряжение U_4 .

$$U_4 = U_{оп} - I_2 * R_3. \quad (23)$$

По формуле (23) рассчитаем напряжение U_4 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при I_2 равном 1,3927 мА, R_{m3} равном R минус dR_{max} и при I_2 равном 1,4286 мА, R_{m3} равном R минус dR_{min} соответственно. Подставив в формулу (23) значения I_2 , dR_{min} , dR_{max} , R получаем:

$$U_4 \text{ max} = 5 - 1,3927 * 10^{-3} * 3410 = 0,2509 \text{ В, при } dR = dR_{max},$$

$$U_4 \text{ min} = 5 - 1,4286 * 10^{-3} * 3500 = 0 \text{ В, при } dR = dR_{min}.$$

Далее необходимо подобрать номиналы резисторов R_1 и R_2 . Примем R_1 равным 1 кОм. Тогда сможем найти ток I_3 по формуле:

$$I_3 = \frac{U_5 - 0}{R_1}. \quad (24)$$

По формуле (24) рассчитаем ток I_3 при максимальном и минимальном приращении сопротивления тензорезисторов, то есть при U_5 равном $U_4 \text{ max}$ равном

0,2509 В, R3 равном 1 кОм и при U5 равном U4 min равном 0 В, R3 равном 1 кОм соответственно. Подставив в формулу (24) значения U4 max, U4 min, R, dRmin, dRmax получаем:

$$I3 = \frac{0,2509 - 0}{1000} = 0,2509 \text{ мА, при } dR = dR_{\max},$$

$$I3 = \frac{0 - 0}{1000} = 0 \text{ мА, при } dR = dR_{\min}.$$

Так как при dR равном dRmin I3 равно 0 А, на выходе схемы будет формироваться 0 В. Следовательно, для расчета сопротивления R0с будем использовать I3 равное 0,2509 мА.

Тогда можно найти R2 по формуле:

$$R2 = \frac{U_{\text{вых max}} - U5}{I3} \quad (25)$$

Подставив в формулу (25) значения I3 равное 0,2509 мА, U5 равное 0,2509 В и $U_{\text{вых max}}$, получаем:

$$R2 = \frac{10 - 0,2509}{0,2509 * 10^{-3}} = 38,8565 \text{ кОм.}$$

Модель расчетной схемы представлена на рисунке 2.8. При моделировании использовался метод DC Sweep. Настройки моделирования представлены на рисунке 1.5. График напряжения на выходе схемы представлен на рисунке 2.9.

Так как диапазон выходного напряжения на рисунке 2.9 совпадает с заданным, следовательно, расчеты проведены верно.

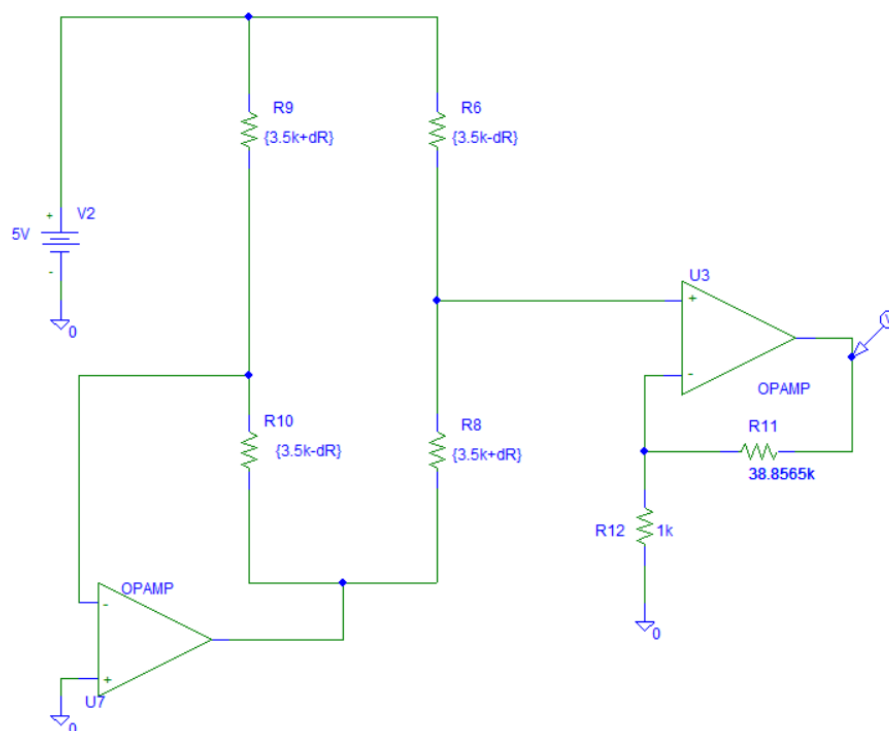


Рисунок 2.8 – Модель второй расчетной схемы представлена

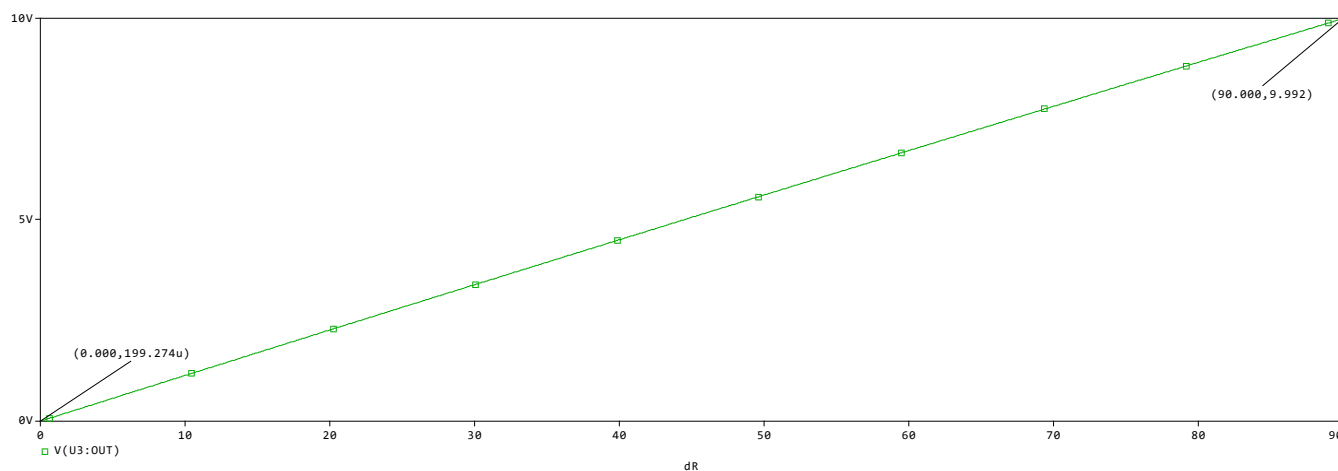


Рисунок 2.9 – График напряжения на выходе схемы

2.4 Расчет второй схемы при заданном приращении сопротивления тензорезисторов

В данном разделе необходимо найти все токи в ветвях, напряжения в узлах и напряжение на выходе схемы, представленной на рисунке 2.7, при dR равное $dR_{\text{зад}}$. Значение $dR_{\text{зад}}$ указано в таблице 1.1.

Подставив в формулу (14) значения $U_{оп}$, R и dR равное $dR_{зад}$ получаем:

$$I_1 = \frac{5}{3550} = 1,4085 \text{ мА.}$$

Подставив значения тока I_1 и сопротивления R_2 равное R_{m2} равное R минус $dR_{зад}$ в формулу (21) получаем:

$$U_3 = 0 - 1,4085 * 10^{-3} * 3450 = -4,8592 \text{ В.}$$

По формуле (22) найдем значение тока I_2 , подставив значения $U_{оп}$, U_3 , R_{m4} равное R плюс $dR_{зад}$, R_{m3} равное R минус $dR_{зад}$.

$$I_2 = \frac{5 + 4,8592}{3450 + 3550} = 1,4085 \text{ мА.}$$

По формуле (23) найдем значение напряжения U_4 , подставив значения $U_{оп}$, I_2 , R_{m3} равное R минус $dR_{зад}$.

$$U_4 = 5 - 1,4085 * 10^{-3} * 3450 = 0,1407 \text{ В.}$$

По формуле (24) найдем значение тока I_3 , подставив значения U_4 и R_1 .

$$I_3 = \frac{0,1407 - 0}{1000} = 0,1407 \text{ мА.}$$

Выразив $U_{вых}$ из формулы (25) получаем:

$$U_{вых} = R_2 * I_3 + U_5. \quad (26)$$

Подставив в формулу (26) значения R_2 , I_3 и U_5 равное U_4 , получаем:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 388565 * 0,1407 * 10^{-3} + 0,1407 = 5,608 \text{ В.}$$

Чтобы провести моделирование схемы в настройках функции PARAMETERS, указываем значение dR равное 50. При моделировании использовался метод Transient. Настройка PARAMETERS и Transient представлена на рисунках 2.4 и 2.5. На рисунке 2.10 представлен график выходного напряжения схемы при dR равное 50 Ом.

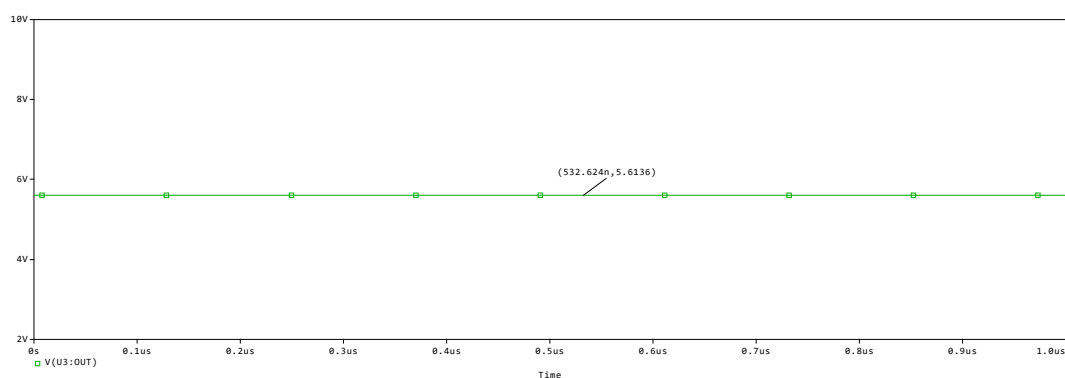


Рисунок 2.10 – Выходное напряжение схемы при dR равное 50 Ом

Выходное напряжение модели равно 5,6136, это значение близко к расчетному, которое равно 5,608. Можно сделать вывод, что расчеты проведены верно.

3 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В данном разделе необходимо привести основные параметры, рекомендуемую область применения, схему расположения выводов операционного усилителя ОРА646 фирмы Texas Instruments.

ОРА646 - это широкополосный операционный усилитель с низким энергопотреблением. Имеет полосу пропускания 650 МГц. Обладает низким входным током смещения. ОРА646 имеет внутреннюю компенсацию.

Рекомендуемая производителем область применения микросхемы:

- ПЗС-устройства;
- видео усилители;
- усилитель напряжения АЦП/ЦАП;
- высокоскоростные интеграторы.

Основные параметры усилителя:

- напряжение питания: ± 5 В;
- потребляемая мощность: 55 мВт;
- полоса пропускания с единым коэффициентом усиления: 650 МГц;
- входной ток смещения: 2 мкА
- температура хранения: от минус 40 до 125 °С;
- входное сопротивление для дифференциального сигнала: 15 кОм;
- входное сопротивление для синфазного сигнала: 1,6 МОм;
- выходное сопротивление: 0,2 Ом;
- коэффициент усиления напряжения при разомкнутой обратной связи: 51 дБ;
- выходное напряжение не превышает значение: $\pm 2,75$ В.

Схема расположения выводов представлена на рисунке 3.1. У микросхемы ОРА646 восемь выводов:

- вывод 1 не подключать (Not Connected);
- вывод 2 инвертирующий вход усилителя (Inverting Input);
- вывод 3 неинвертирующий вход усилителя (Non-Inverting Input);

- вывод 4 минус питания микросхемы ($-V_{s1}$);
- вывод 5 минус питания микросхемы ($-V_{s2}$);
- вывод 6 выход усилителя (Output);
- вывод 7 плюс питания микросхемы ($+V_{s1}$);
- вывод 8 плюс питания микросхемы ($+V_{s2}$).

Усилитель может работать при использовании только двух выводов питания: четвертого и седьмого, однако, для уменьшения искажения выходного напряжения производитель рекомендует использовать все четыре вывода.

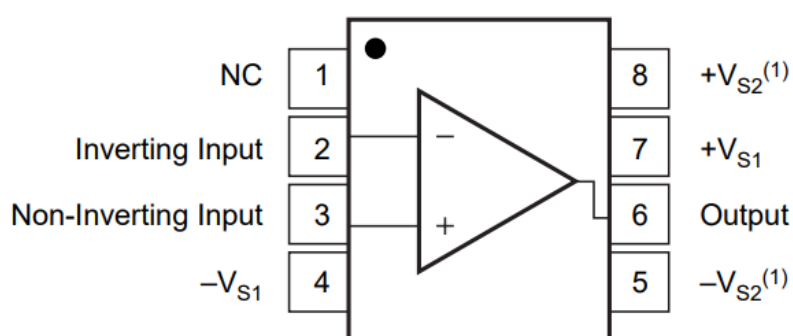


Рисунок 3.1 - Схема расположение выводов микросхемы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной лабораторной работы были получены навыки создания различных моделей измерительного моста с интегральным усилителем, аналитического расчета схем, навыки поиска, анализа и перевода технической документации о усилителе ОРА646.

В ходе курса лабораторных работ по схемотехническому проектированию приборов и систем было выполнено три задания. Были получены навыки разработки усилителей на двух и трёх операционных усилителях, а также произведены расчёты по нахождению разбаланса моста. При этом произведены расчёты различных мостовых схем, а именно их токов в ветвях, напряжений в узлах, а также входные и выходные значения напряжений в цепях. Одним из наиболее полезных и важных умений является работа с технической документацией. При проектировании приборов и систем разработчик должен уметь работать с техническими документами, чтобы грамотно и эффективно выбрать необходимые компоненты.