

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»  
Институт микроприборов и систем управления

Отчет по лабораторной работе № 1

Моделирование интегрального тензомоста  
(название лабораторной работы)

Преобразователи информации и датчики физических величин  
(название дисциплины)

Выполнили студенты группы ИВТ-32

Голев Андрей Дмитриевич  
(подпись) (Ф.И.О.)

Жигалов Даниил Владиславович  
(подпись) (Ф.И.О.)

Лазарева Мария Викторовна  
(подпись) (Ф.И.О.)

Проверил преподаватель

Страчилов Максим Васильевич  
(подпись) (Ф.И.О.)

Москва, 2023 г.

## 1. Цель работы

На эквивалентной модели интегрального тензоэлемента изучить способы снижения температурного коэффициента чувствительности датчика деформации.

## 2. Оборудование

Настольный компьютер.

## 3. Теоретические сведения

**Тензометрия** – совокупность экспериментальных методов определения механического напряжения какой-либо детали.

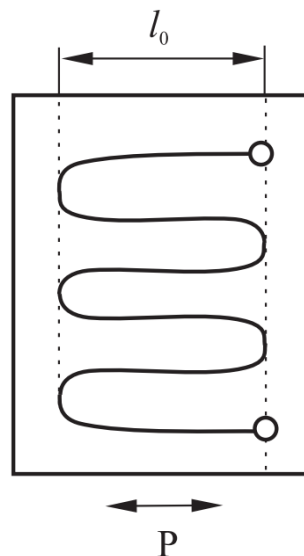


Рисунок 1 - Проволочный тензодатчик

Для измерения каких-либо величин можно использовать схему полного моста:

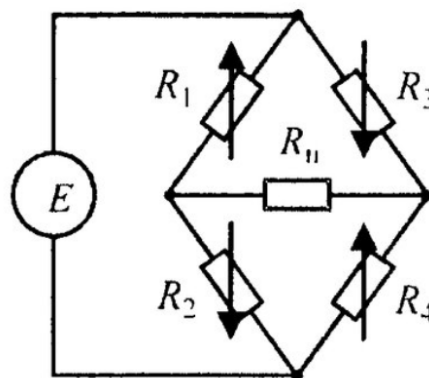


Рисунок 2. Схема полного моста

Пусть температура действует синфазно на резисторы моста:

$$R_1 = R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T); \quad R_2 = R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T);$$

$$R_3 = R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T); \quad R_4 = R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T);$$

где

- $\varepsilon_T = \Delta T / T_0$
- $\varepsilon_T = \gamma \cdot \Delta T$
- $\gamma = \frac{\Delta R}{\Delta T \cdot R_0}$  – температурный коэффициент сопротивления (ТКС) – величина, показывающая относительное изменение сопротивления при нагреве или охлаждении материала на 1°.

Найдём выходное напряжение:

$$\begin{aligned} U_{\text{вых}} &= \varphi_A - \varphi_B \\ \varphi_A &= E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = E \frac{R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T)}{R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T) + R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T)} = E \frac{1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} \\ \varphi_B &= E \frac{R_4}{R_3 + R_4} = E \frac{R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T)}{R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T) + R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T)} = E \frac{1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} \\ U_{\text{вых}} &= E \frac{1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} - E \frac{1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} = E \frac{-2 \cdot \varepsilon_x}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} = -E \cdot \varepsilon_x \frac{1}{1 + \varepsilon_T} \end{aligned}$$

Определим температурный коэффициент чувствительности:

$$\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial \varepsilon_x} = -E \frac{1}{1 + \gamma \cdot \Delta T}$$

На крутизну передаточной характеристики (зависимость выходного напряжения от входного воздействия в виде давления, силы и так далее) влияет такой дестабилизирующий фактор, как изменение температуры (каждый материал по-своему отвечает на это, что и определяет коэффициент  $\gamma$ ).

## I. Расчёт параметров принципиальной схемы модели

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Вариант	$\gamma (\% \text{C}^{-1})$	$\alpha (\% \text{C}^{-1})$	$\pm \Delta T (^\circ \text{C})$	$R_0 (\text{кОм})$	$\pm x_{\text{max}} (\%)$	$g (\frac{\text{кОм}}{\text{В}})$	$E (\text{В})$	$R_k$
6	0,21	-0,92	$\pm 4,5$	1,0	0,32	0,82	9	1,1

Таблица 2. Что-то

$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
1	1	1	1	0,25

1. Устанавливаем номинальные сопротивления плеч моста  $R_0$ :

$$U_0 = -\frac{R_0}{g \cdot a_1} = -\frac{10^3}{0,82 \cdot 10^3 \cdot 1} \approx -1,22 \text{ В}$$

2. Вычисляем амплитуду входного воздействия  $U_d$  по рассчитанному  $U_0$  и выбранным значениям  $a_1$  и  $a_2$ :

$$U_d = \pm x_{max} \cdot U_0 \cdot \frac{a_2}{a_1} = \mp 0,32 \cdot 10^{-2} \cdot 1,22 \cdot \frac{1}{1} = \mp 3,9 \text{ мВ}$$

3. Вычисляем синфазную (температурную) составляющую в сигнале управления:

$$E_c = \frac{\gamma \cdot R_0 \cdot \Delta T}{a_4 \cdot g} = \frac{0,21 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3 \cdot (\pm 45)}{1 \cdot 0,82 \cdot 10^3} = \pm 0,115 \text{ В}$$

4. Вычисляем номинальное сопротивление терморезистора при заданном  $\alpha$ :

$$R_{T_0} = -\frac{\gamma \cdot R_0}{\alpha} = -\frac{0,21 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3}{-0,92 \cdot 10^{-2}} \approx 228 \text{ Ом}$$

5. Устанавливаем номинальное сопротивление терморезистора  $R_{T_0}$ :

$$U_{cm} = \frac{R_{T_0}}{g \cdot a_5} = \frac{228}{0,82 \cdot 10^3 \cdot 0,25} \approx 1,11 \text{ В}$$

*Таблица 3. Расчётные параметры модели*

$U_0, \text{ В}$	$U_d(x), \text{ мВ}$	$U_{cm}, \text{ В}$	$E_c, \text{ В}$
-1,22	$\mp 3,9$	1,11	$\pm 0,115$

## II. Корректировка параметров базовой схемы тензомоста

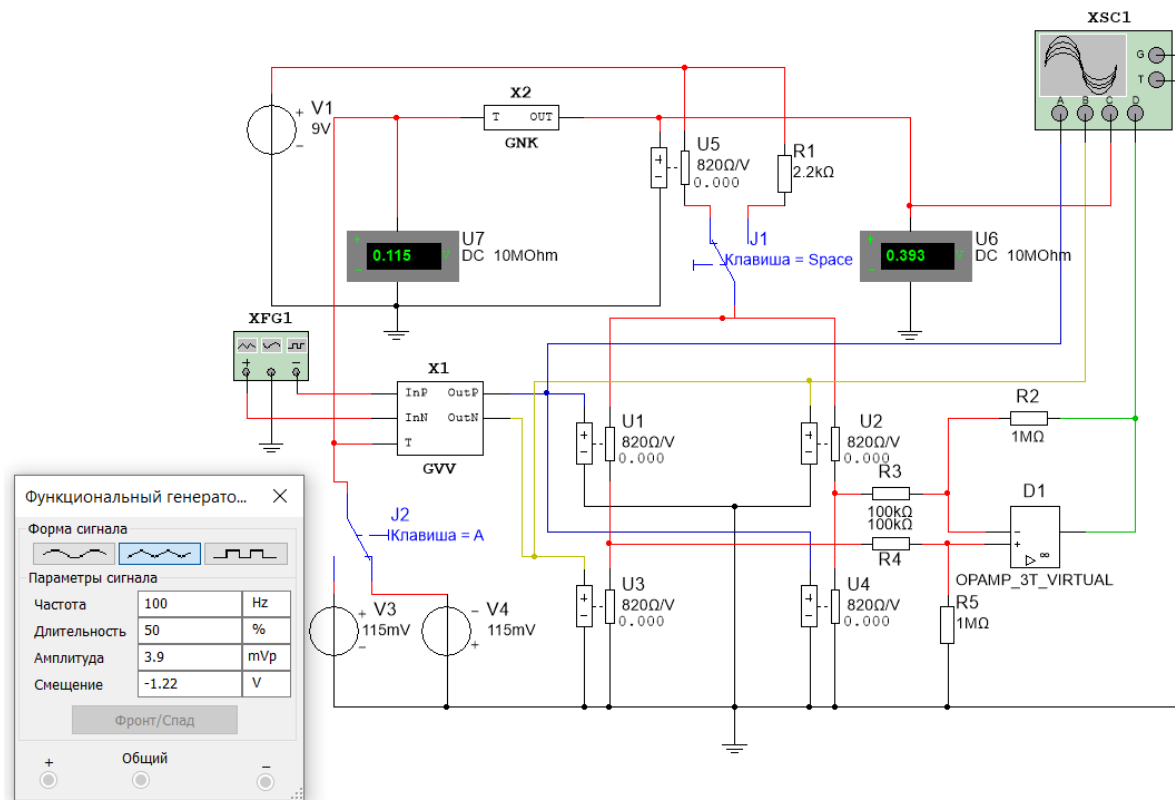


Рисунок 3. Схема моделирования тензомоста с изменёнными параметрами

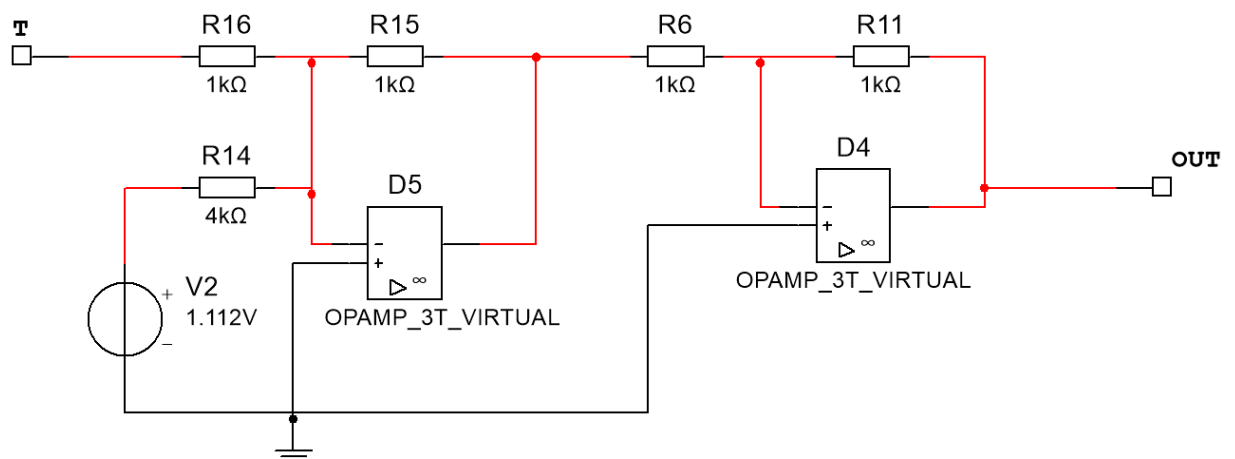


Рисунок 2. Что-то

### III. Моделирование тензомоста при разных температурных условиях

#### 1. При 0 мВ:

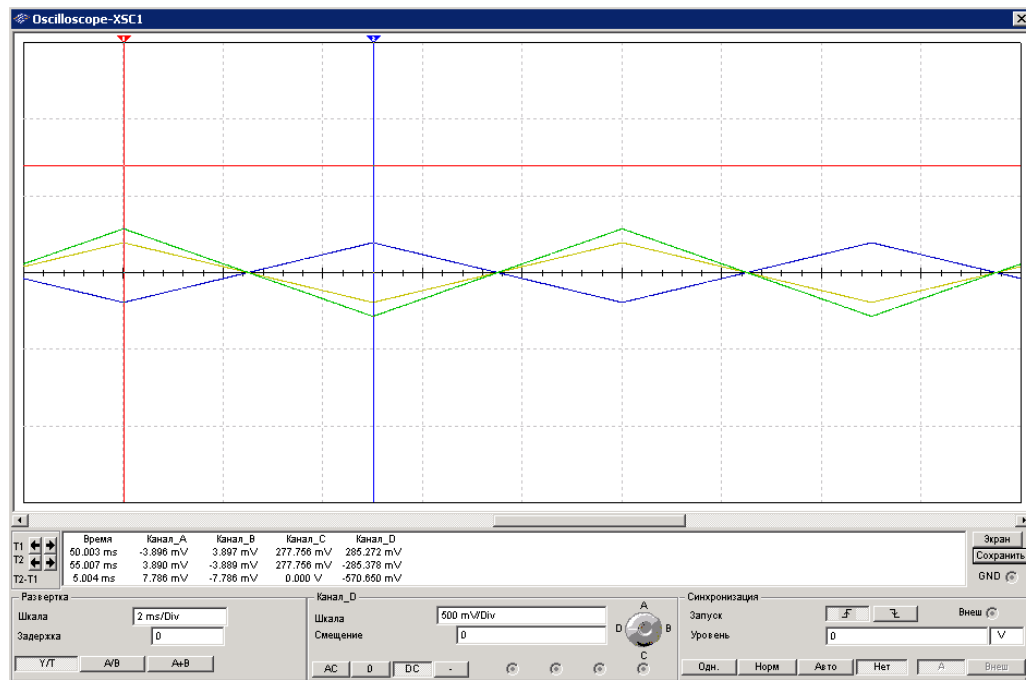


Рисунок 4. Моделирование при 0 мВ и без компенсации

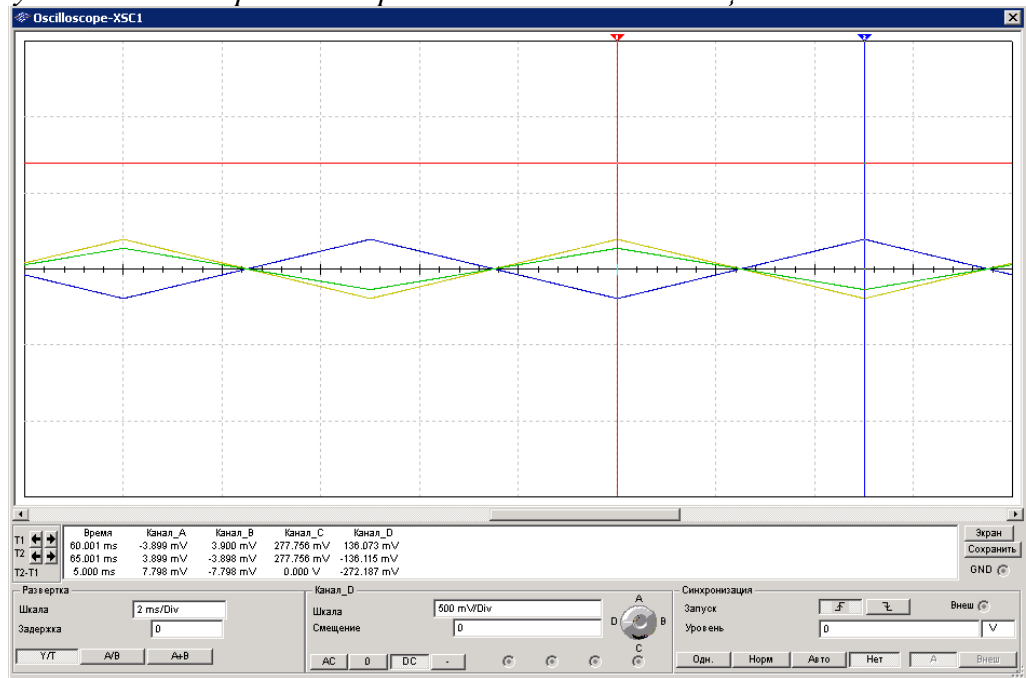


Рисунок 3. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией  $R_K = 1,1 \text{ кОм}$

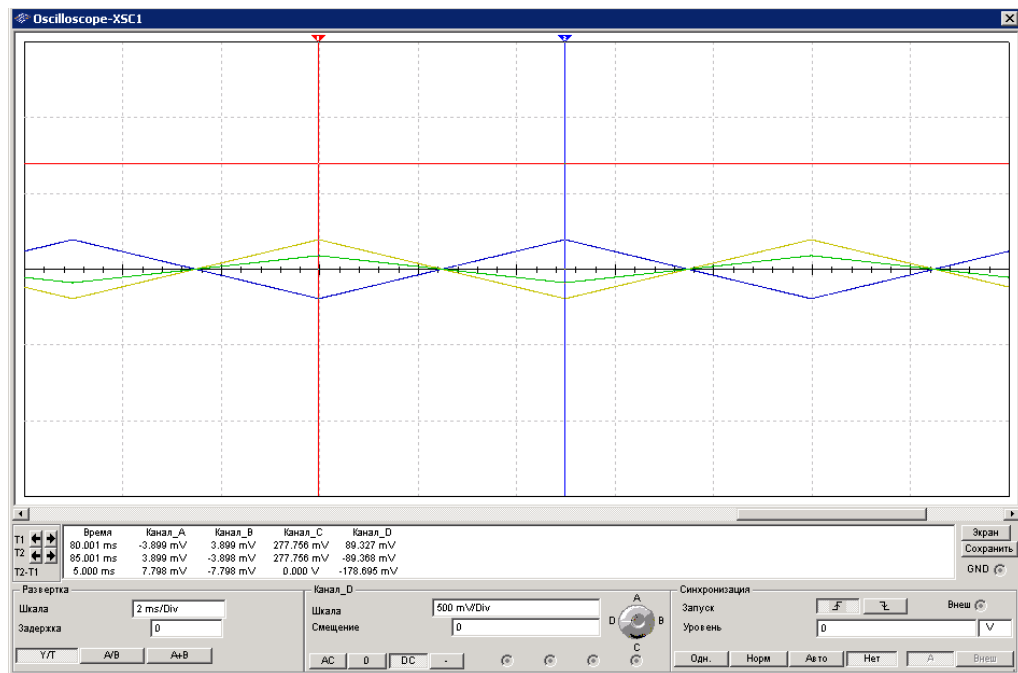


Рисунок 4. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией  $R_K = 2,2 \text{ кОм}$

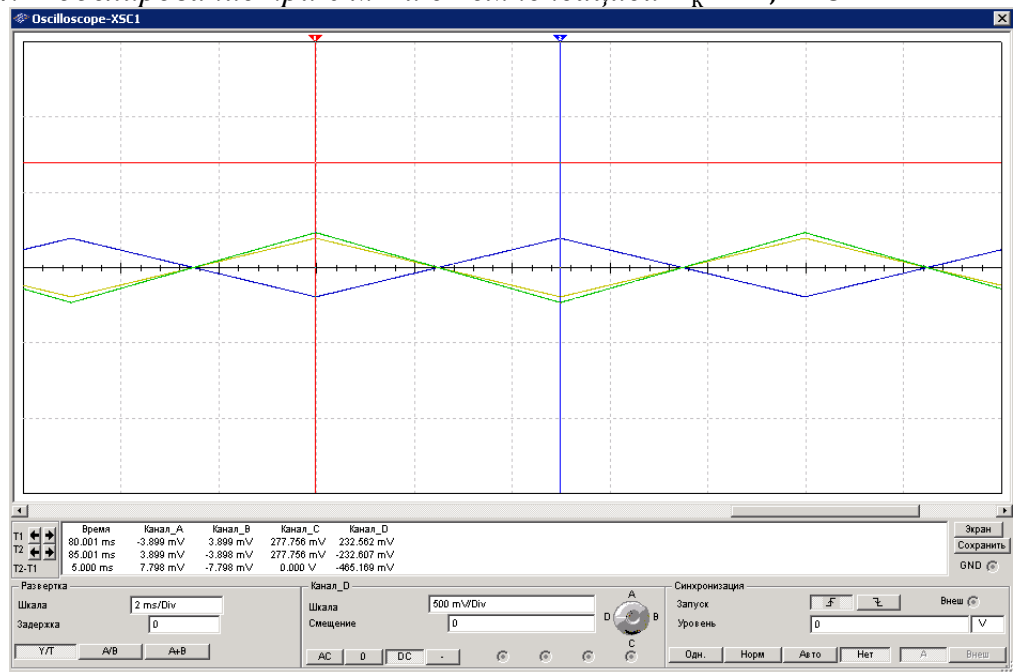


Рисунок 5. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией  $R_{T_0} = 228 \text{ Ом}$

2. При -115 мВ:

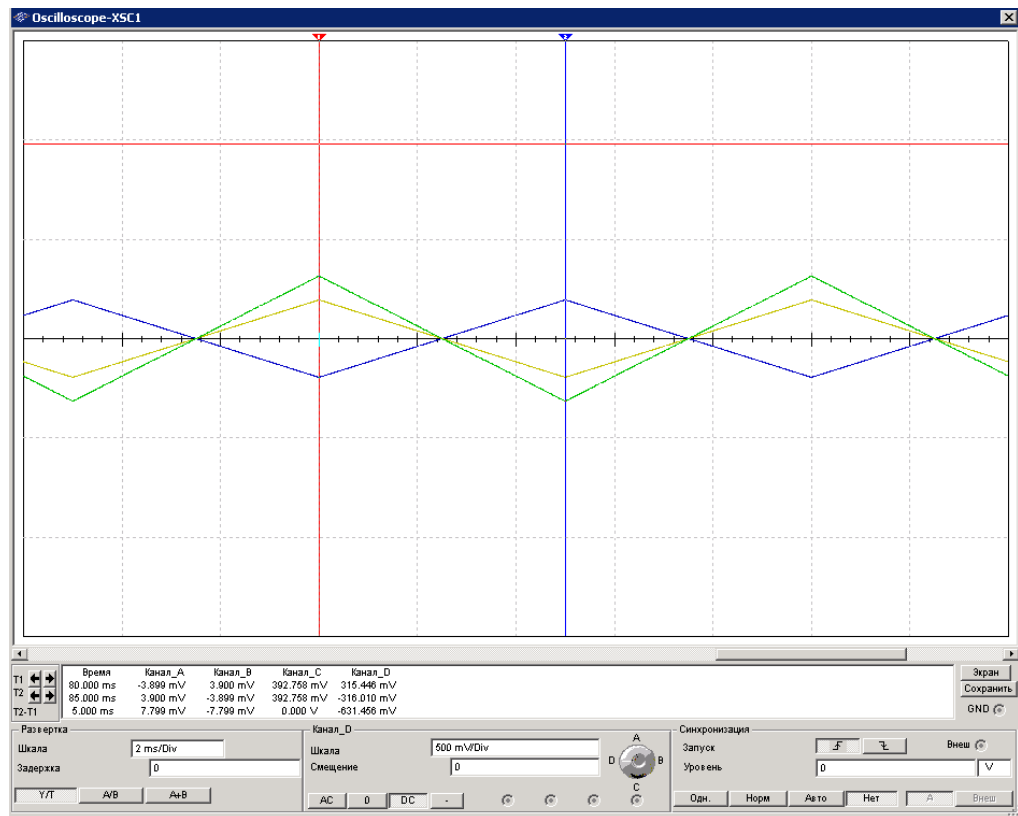


Рисунок 6. Моделирование при -115 мВ и без компенсации

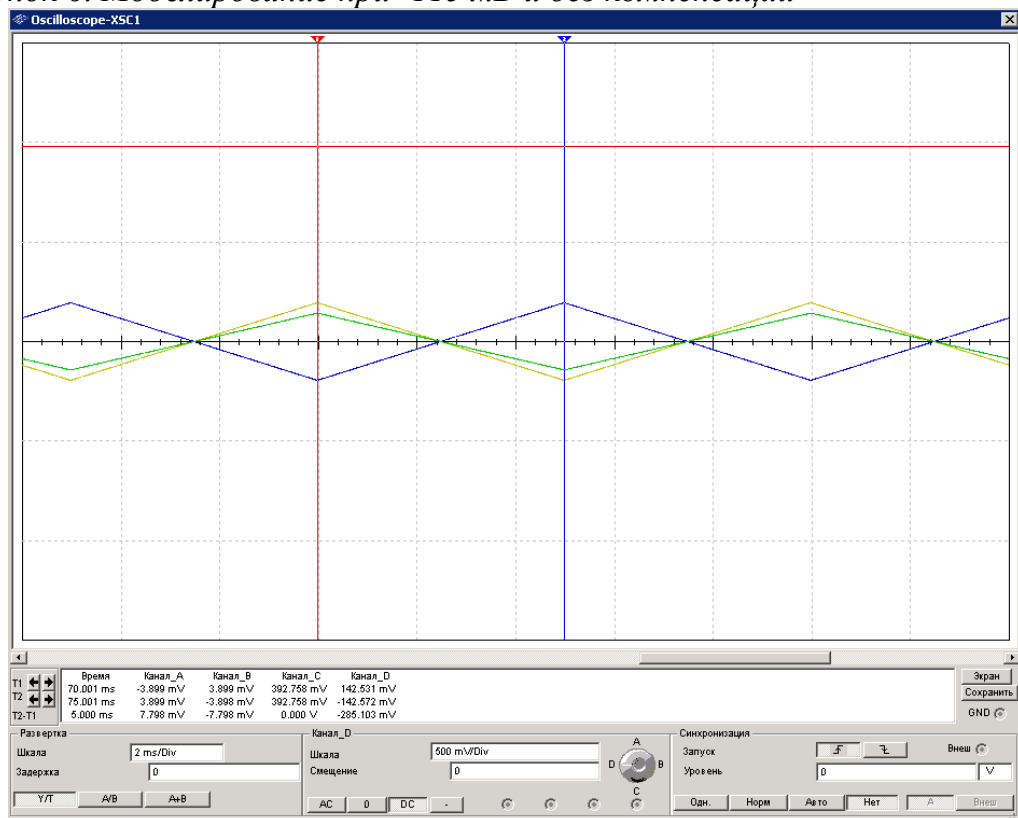


Рисунок 7. Моделирование при -115 мВ и с компенсацией  $R_K = 1,1 \text{ кОм}$



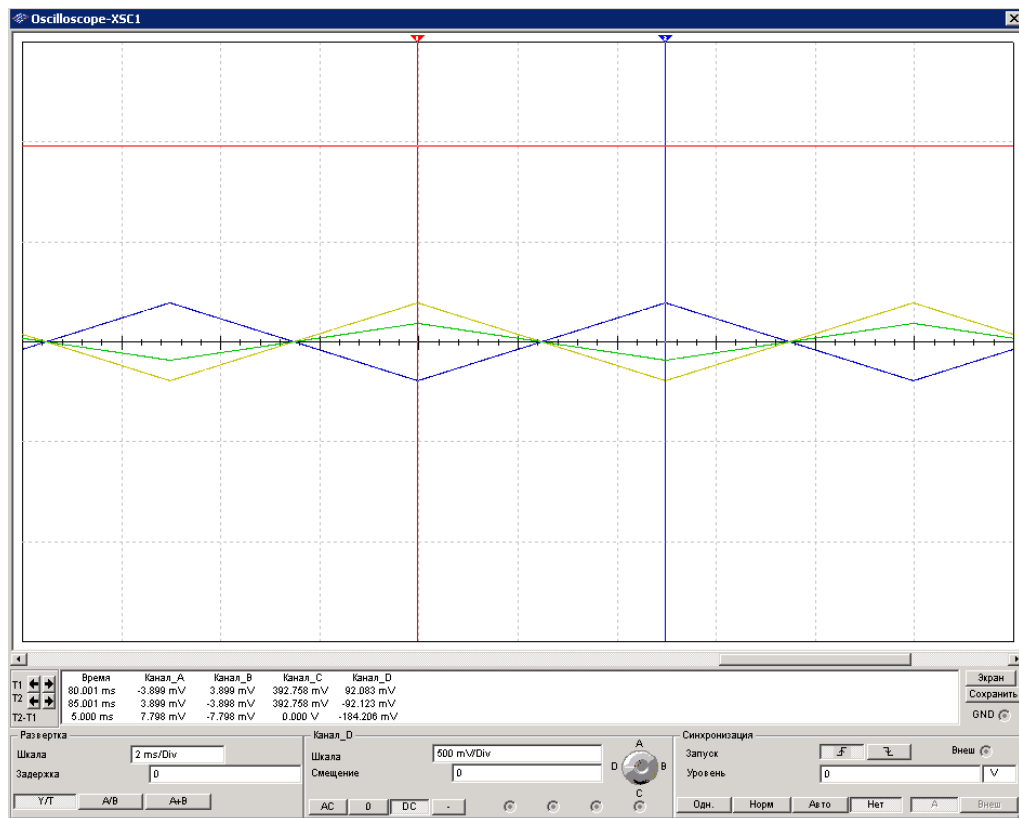


Рисунок 8. Моделирование при  $-115$  мВ и с компенсацией  $R_K = 2,2$  кОм

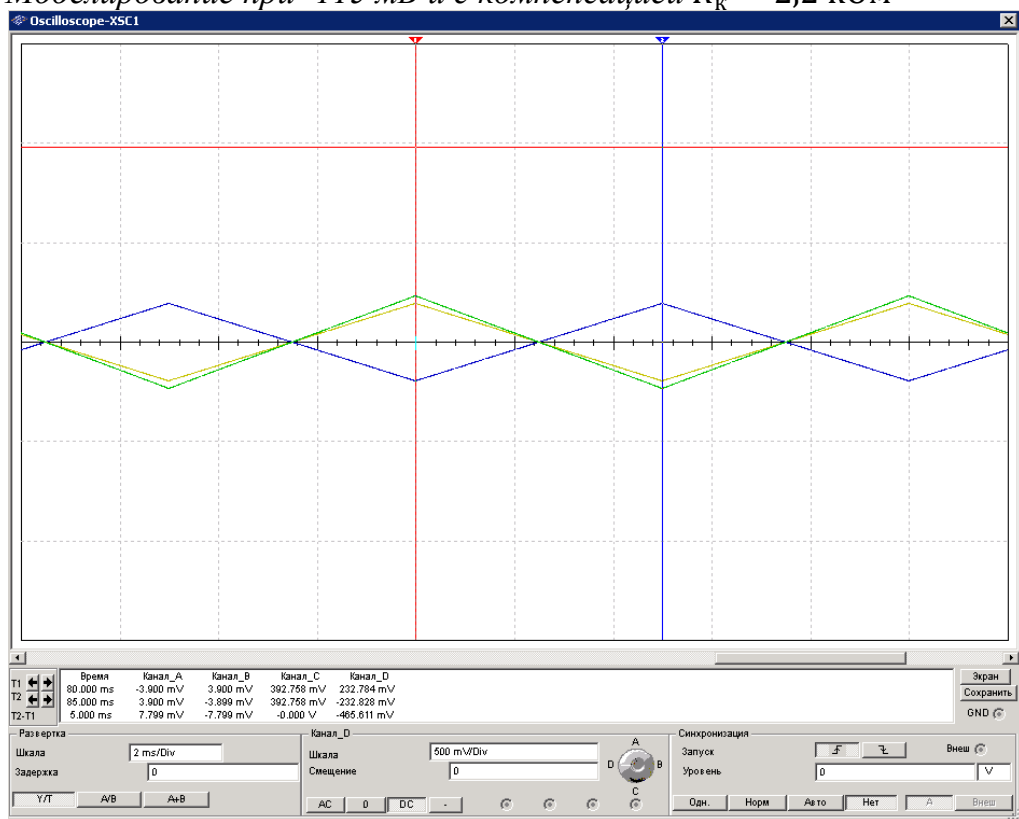


Рисунок 9. Моделирование при  $-115$  мВ и с компенсацией  $R_{T_0} = 228$  Ом

### 3. При 115 мВ:

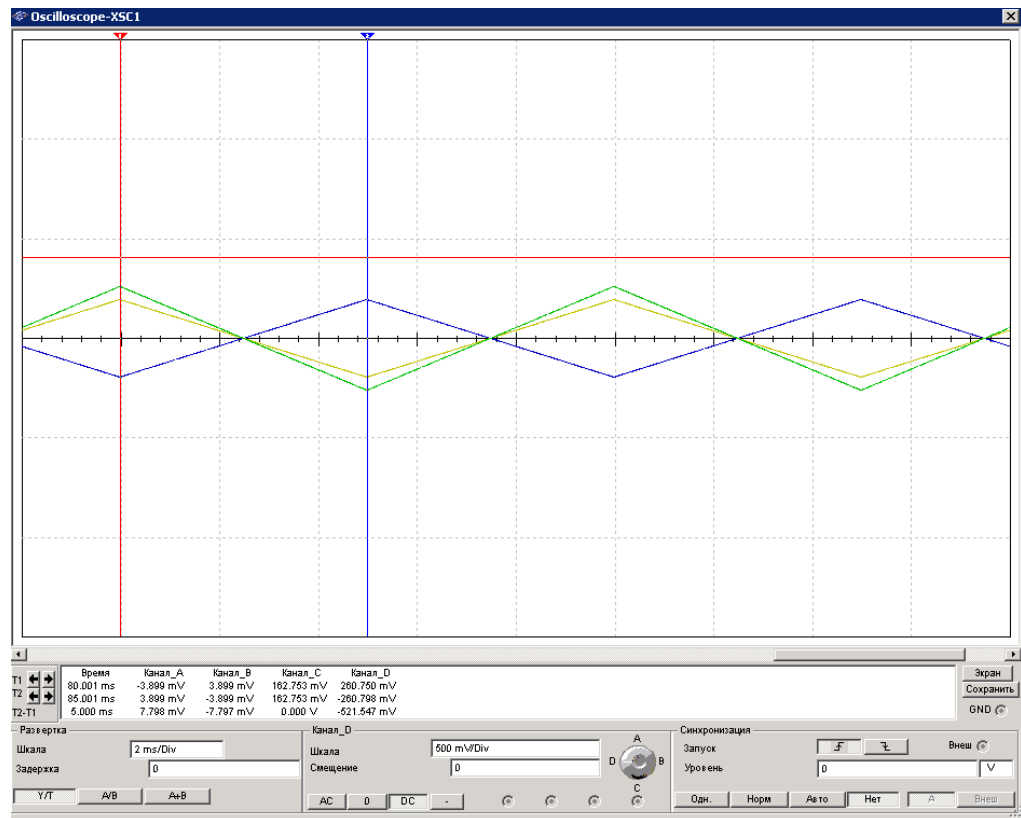


Рисунок 10. Моделирование при 115 мВ и без компенсации

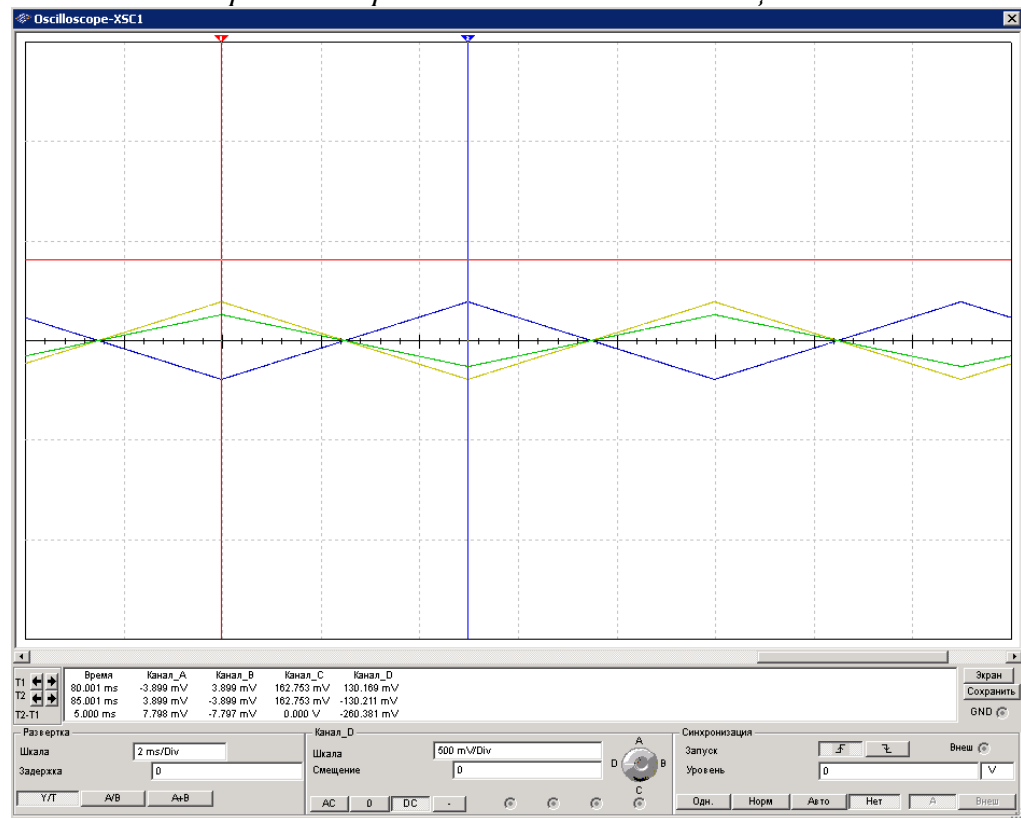


Рисунок 11. Моделирование при 115 мВ и с компенсацией  $R_K = 1,1 \text{ кОм}$

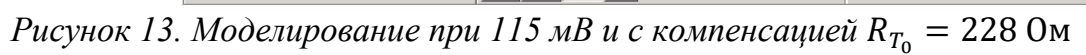
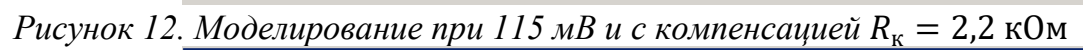


Таблица 4. Результаты моделирования тензомоста

ант	Вариант	Результаты моделирования						Оценка результатов моделирования				
		$T = T_0, (Ec(T) = 0 \text{ мВ})$		$T = T_1 (T_{min}) (Ec(T) = -115 \text{ мВ})$		$T = T_2 (T_{max}) (Ec(T) = +115 \text{ мВ})$		$\Delta U_1 = U_{вых1} - U_{вых0} \text{ (мВ)}$	$\Delta U_2 = U_{вых2} - U_{вых0}$	Термочувствит. средняя (мкВС <sup>-1</sup> ).	Термочувствит. расчетная (мкВС <sup>-1</sup> ).	Чувствит-ть. мос-та при $T=T_0$ (мВ/%)
		$U_{вых0}$	$U_{вых1}$	$U_{вых1}$	$U_{вых2}$	$U_{вых2}$	$U_{вых2}$					
	Без компенсации	x = 0,32%	85,3	278	15,4	393	60,7	163	0,1	24,6	0,8	9,2
		x = -0,32%	285,4		316,0		260,8		30,6	4,6	61,3	89,2
	Компенсация $R_K=1,1 \text{ кОм}$	x = 0,32%	36,0		42,5		30,2		,5	5,8	3,7	2,5
		x = -0,32%	136,1		142,6		130,2		6,5	,9	13,8	42,5
	Компенсация $R_K=2 \text{ кОм}$	x = 0,32%	9,3		2,0		6,7		,7	2,6	,9	7,9
		x = -0,32%	89,4		92,1		86,8		2,7	,6	5,9	27,9
	Компенсация $R_T=228 \text{ Ом}$	x = 0,32%	32,6		32,8		32,5		,2	0,1	,3	2,7
		x = -0,32%	232,6		232,8		232,5		0,2	0,1	0,8	1,9