

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.

I. Теория

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

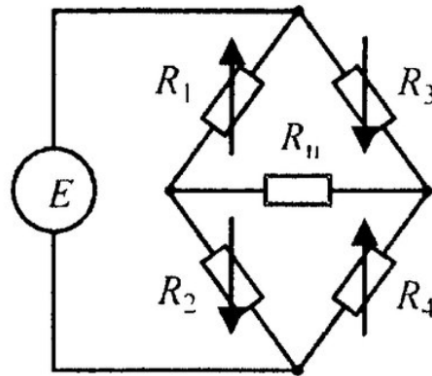


Рисунок 1. Схема полного моста

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:

$$U_{\text{вых}} = \varphi_A - \varphi_B$$

$$\varphi_A = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = E \frac{R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T)}{R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T) + R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T)} = E \frac{1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T}$$

$$\varphi_B = E \frac{R_4}{R_3 + R_4} = E \frac{R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T)}{R_0(1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T) + R_0(1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T)} = E \frac{1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T}$$

$$U_{\text{вых}} = E \frac{1 - \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} - E \frac{1 + \varepsilon_x + \varepsilon_T}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} = E \frac{-2 \cdot \varepsilon_x}{2 + 2 \cdot \varepsilon_T} = -E \cdot \varepsilon_x \frac{1}{1 + \varepsilon_T}$$

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 γ).

II. Расчёт параметров принципиальной схемы модели

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Вариант	$\gamma (\% \text{C}^{-1})$	$\alpha (\% \text{C}^{-1})$	$\pm \Delta T (^\circ \text{C})$	$R_0 (\text{кОм})$	$\pm x_{\max} (\%)$	$g (\frac{\text{кОм}}{\text{В}})$	$E (\text{В})$	R_k
6	0,21	-0,92	± 45	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 α :

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

5. Устанавливаем номинальное сопротивление терморезистора R_{T_0} :

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

Таблица 3. Расчётные параметры модели

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

III. Корректировка параметров базовой схемы тензомоста

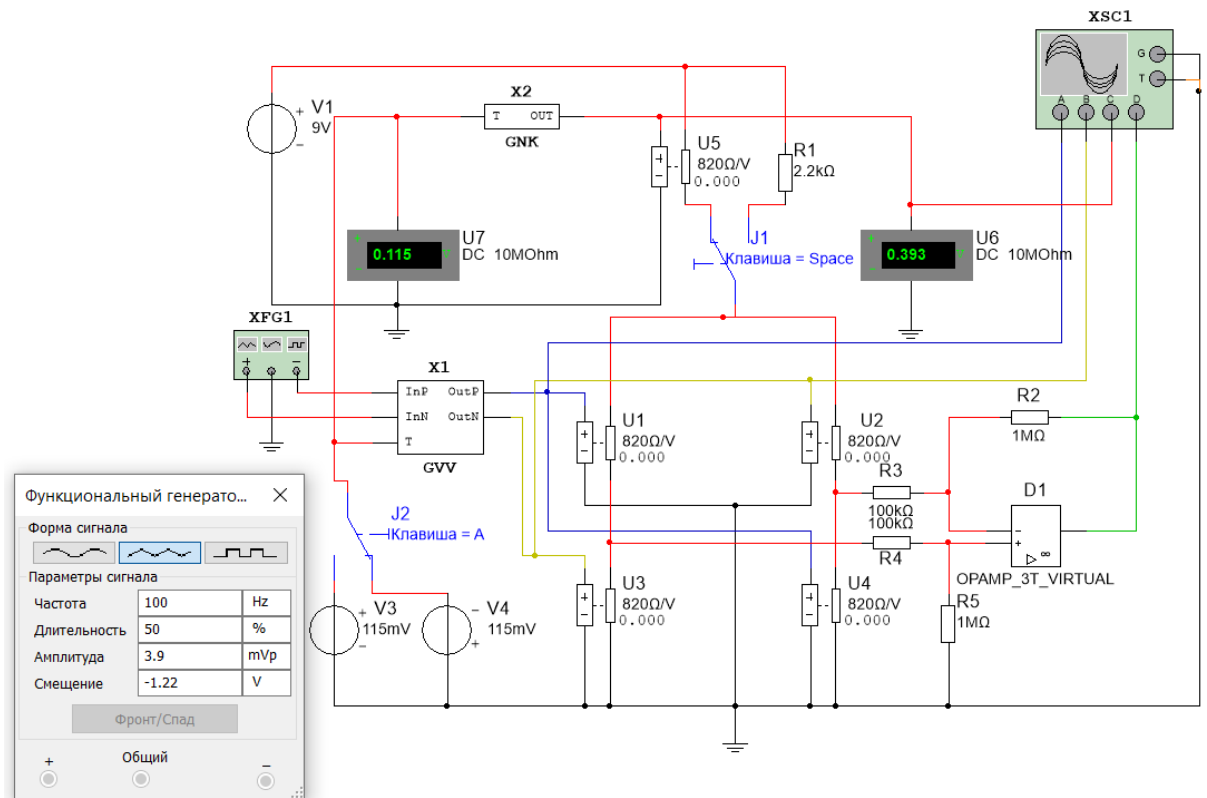


Рисунок 2. Схема моделирования тензомоста с изменёнными параметрами

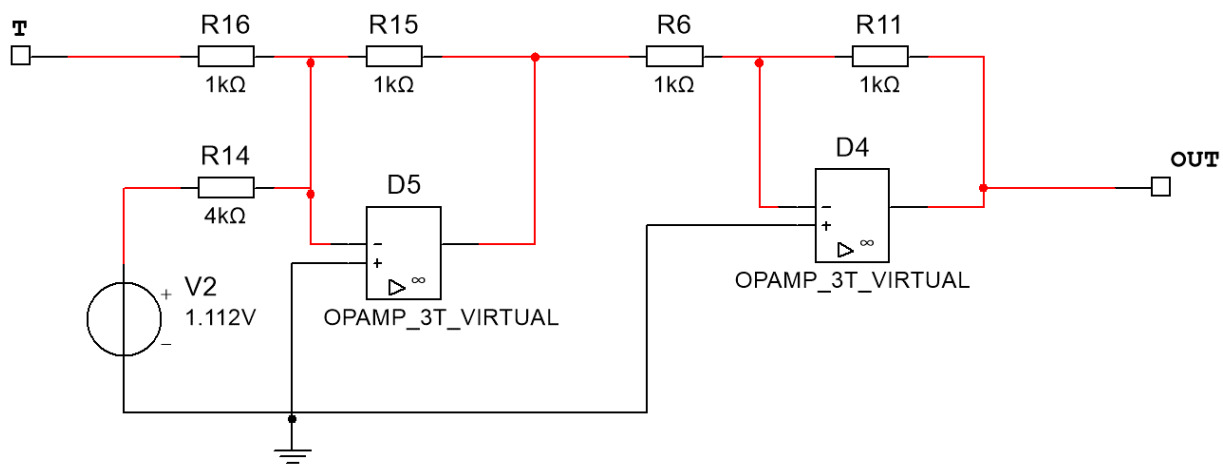


Рисунок 2. Что-то

IV. Моделирование тензомоста при разных температурных условиях

1. При 0 мВ:

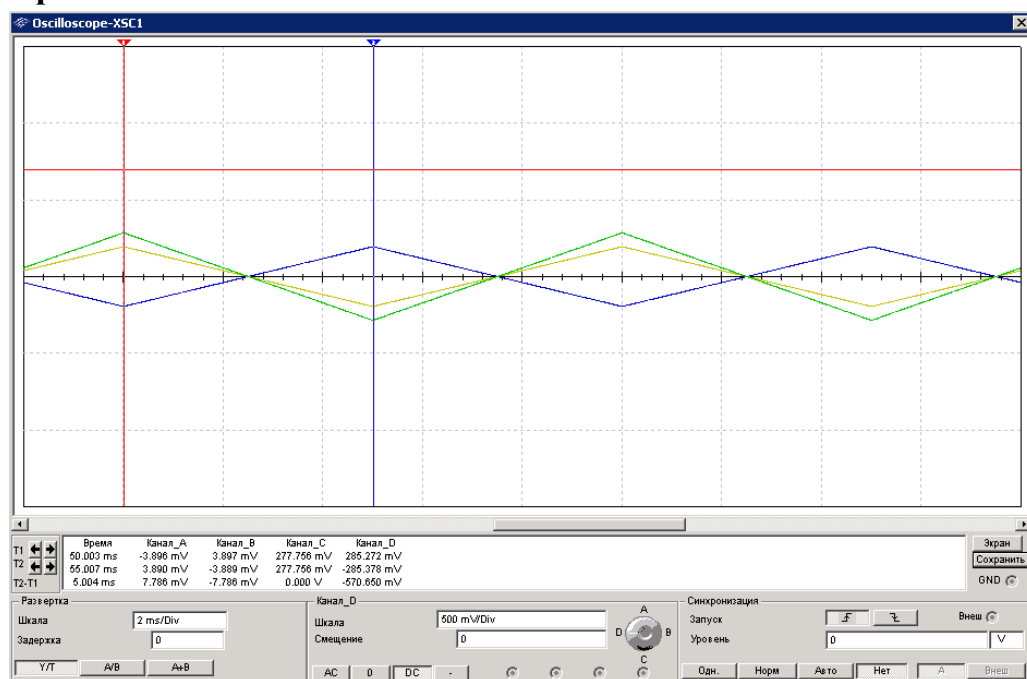


Рисунок 3. Моделирование при 0 мВ и без компенсации

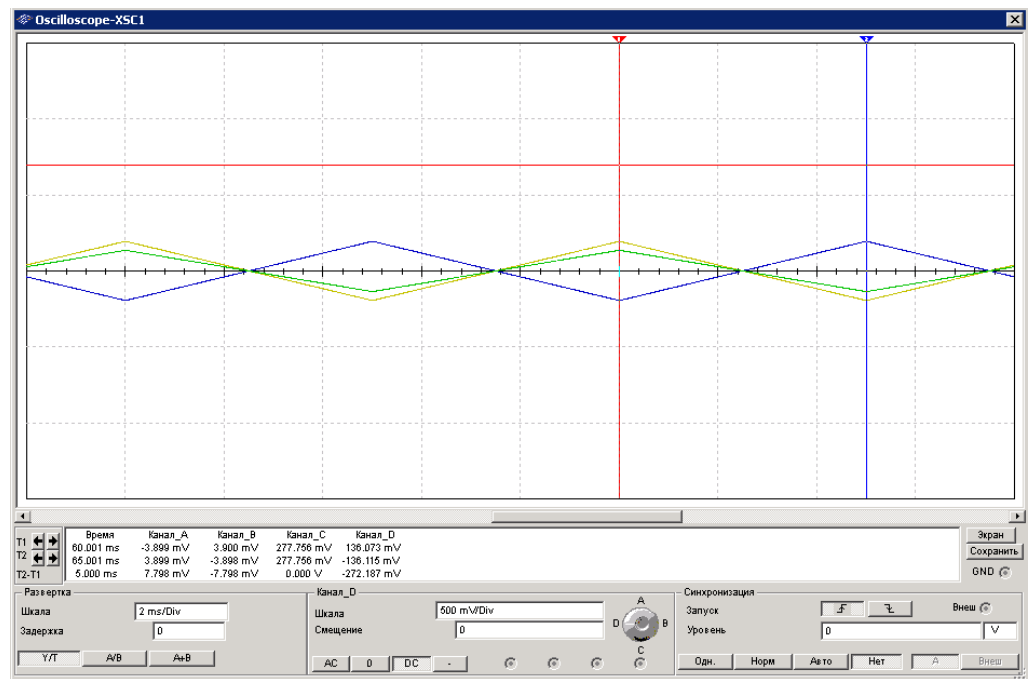


Рисунок 3. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией $R_K = 1,1 \text{ кОм}$

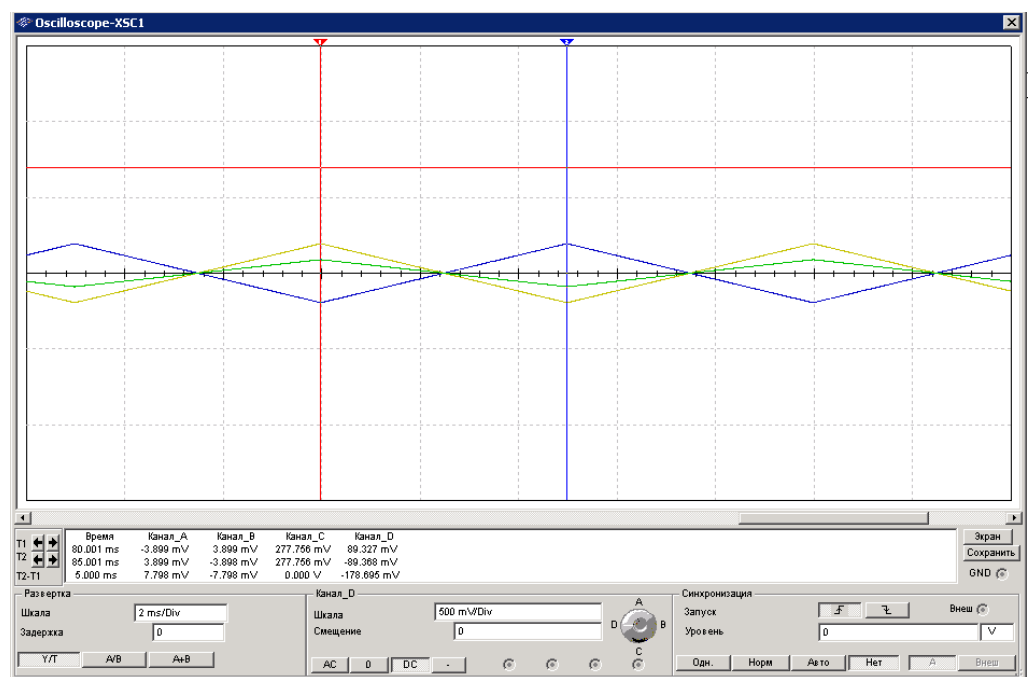


Рисунок 4. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией $R_K = 2,2 \text{ кОм}$

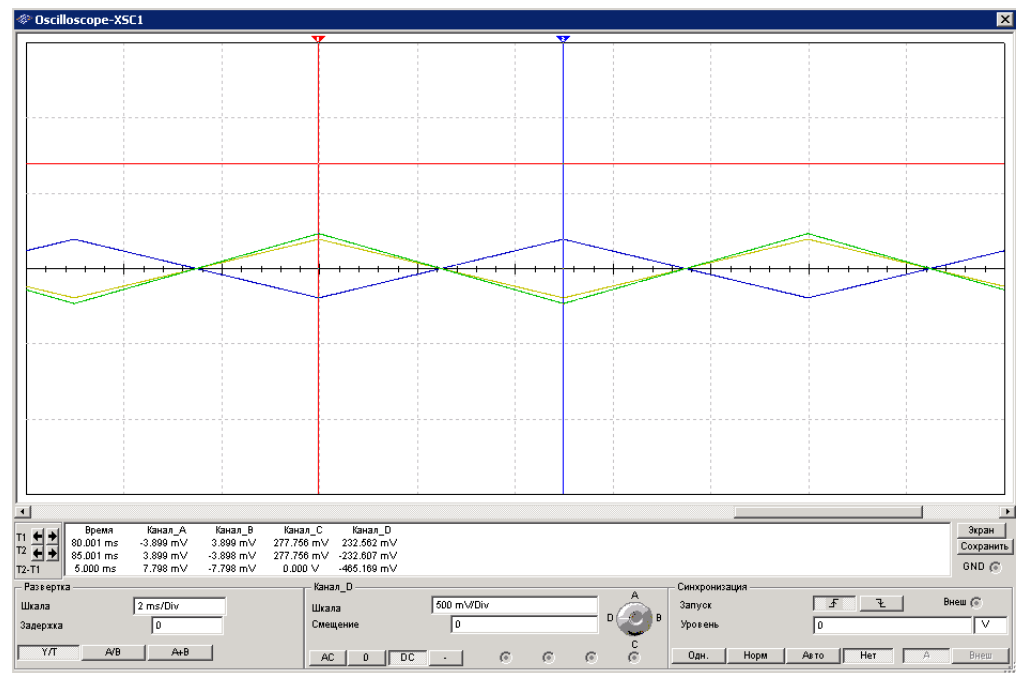


Рисунок 5. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией $R_{T_0} = 228 \text{ Ом}$

2. При -115 мВ:

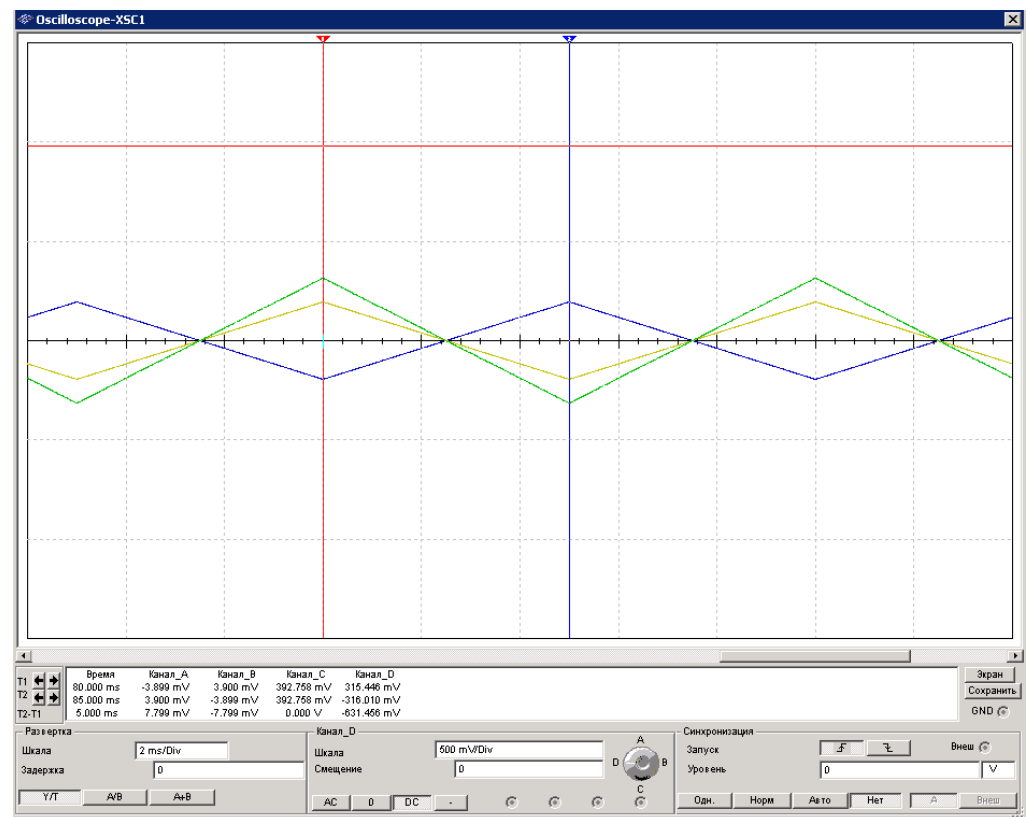


Рисунок 6. Моделирование при -115 мВ и без компенсации

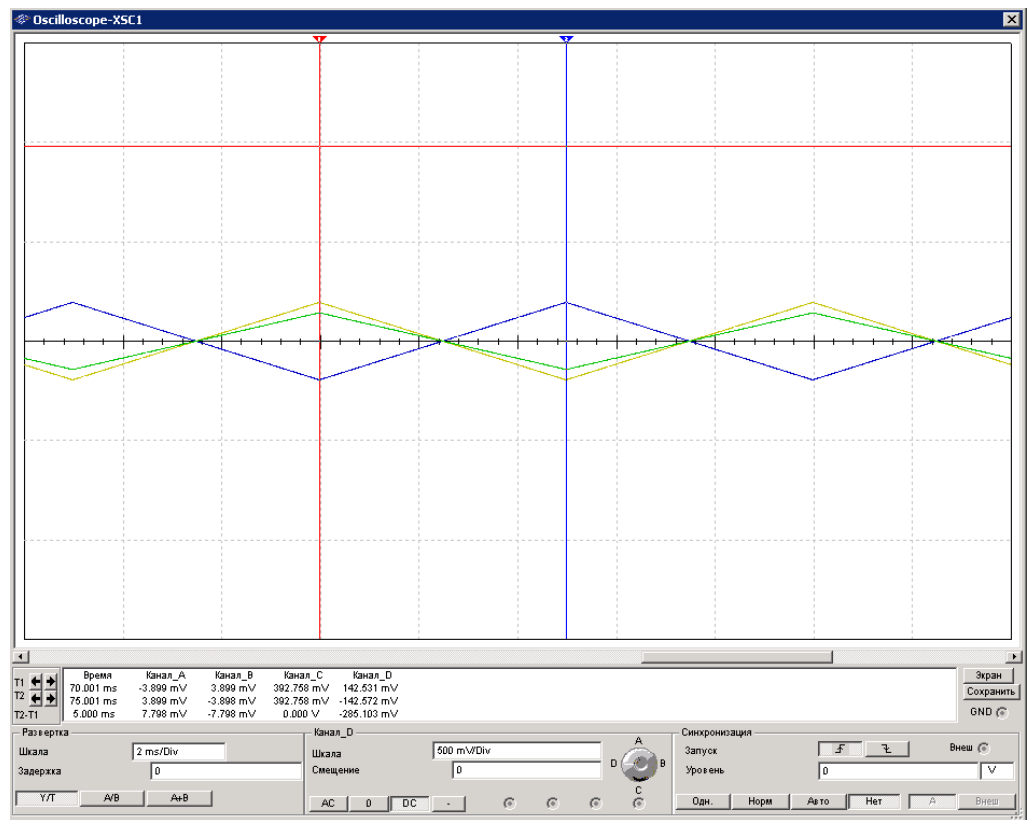


Рисунок 7. Моделирование при -115 мВ и с компенсацией $R_K = 1,1$ кОм

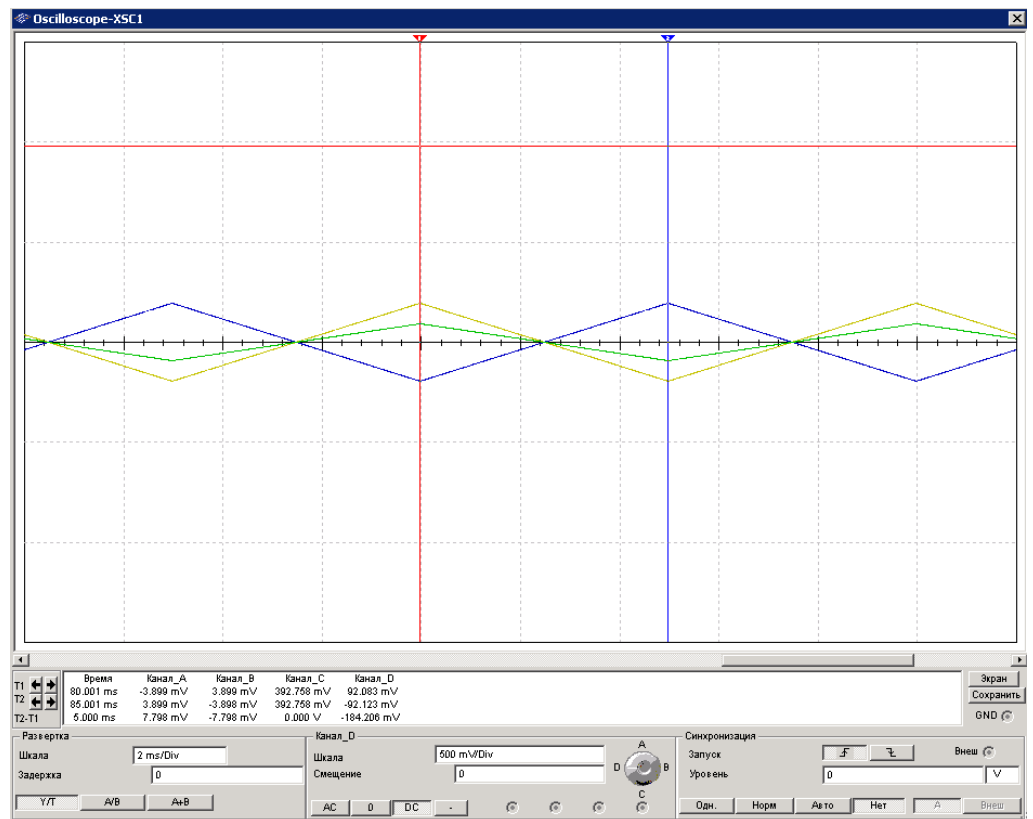


Рисунок 8. Моделирование при -115 мВ и с компенсацией $R_K = 2,2$ кОм

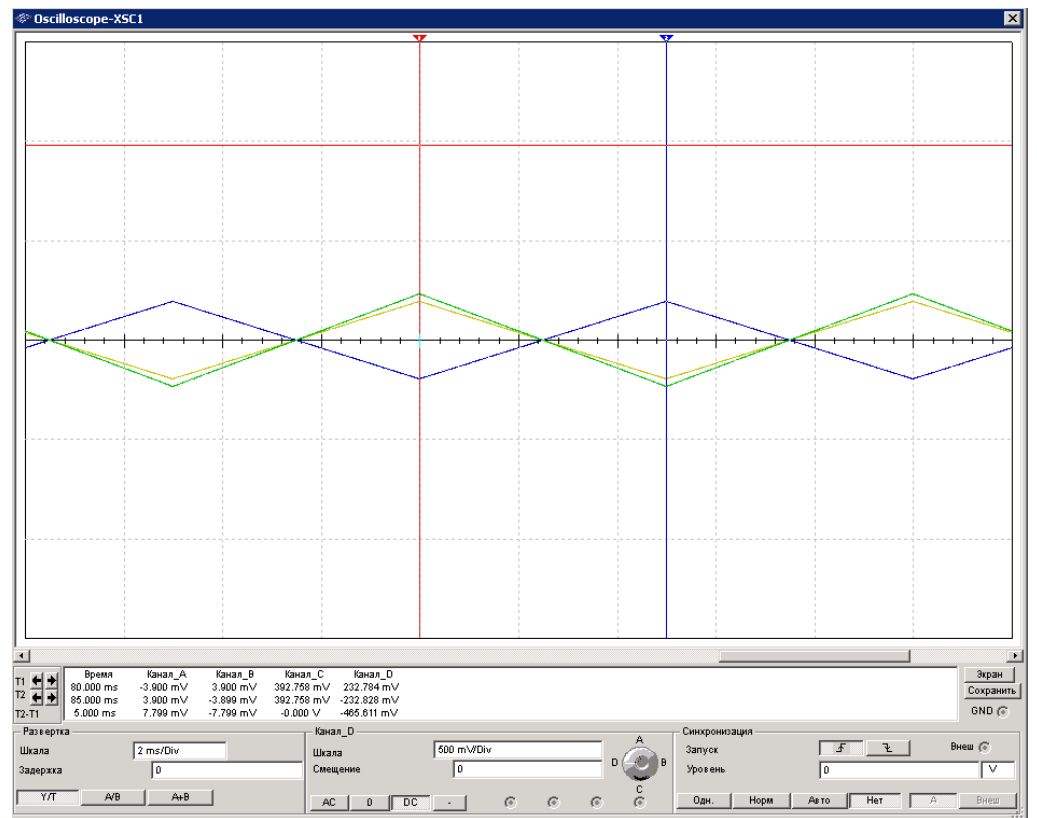


Рисунок 9. Моделирование при -115 мВ и с компенсацией $R_{T_0} = 228$ Ом

3. При 115 мВ:

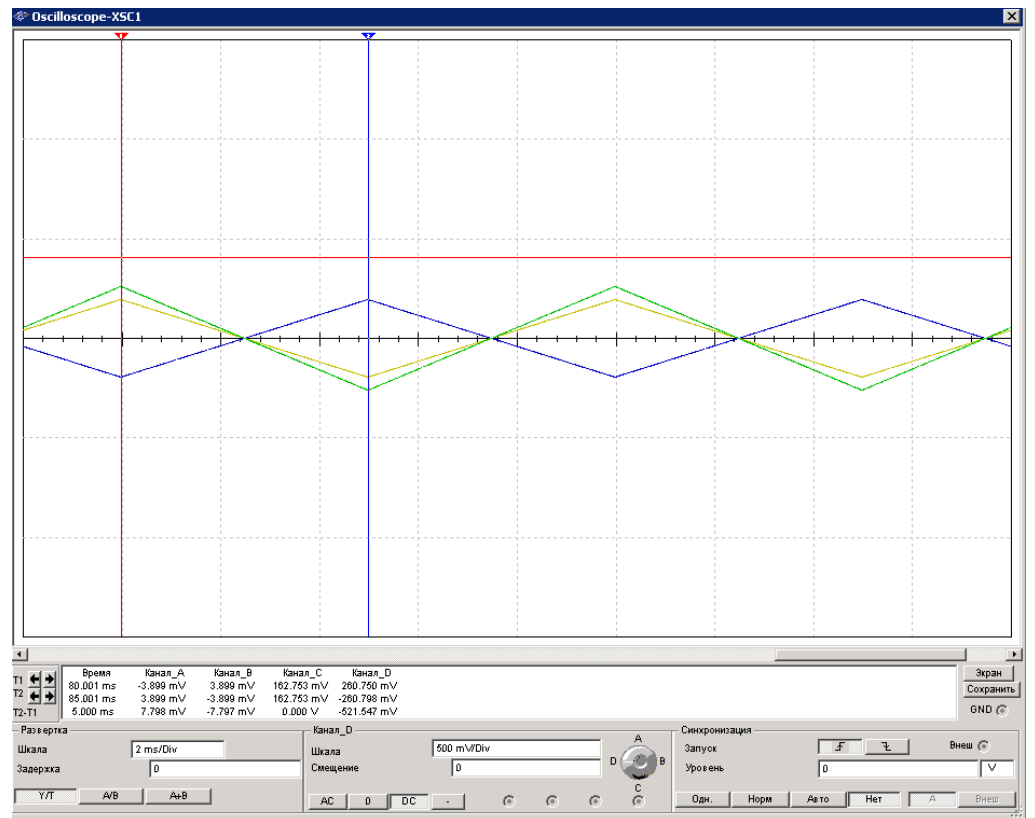


Рисунок 10. Моделирование при 115 мВ и без компенсации

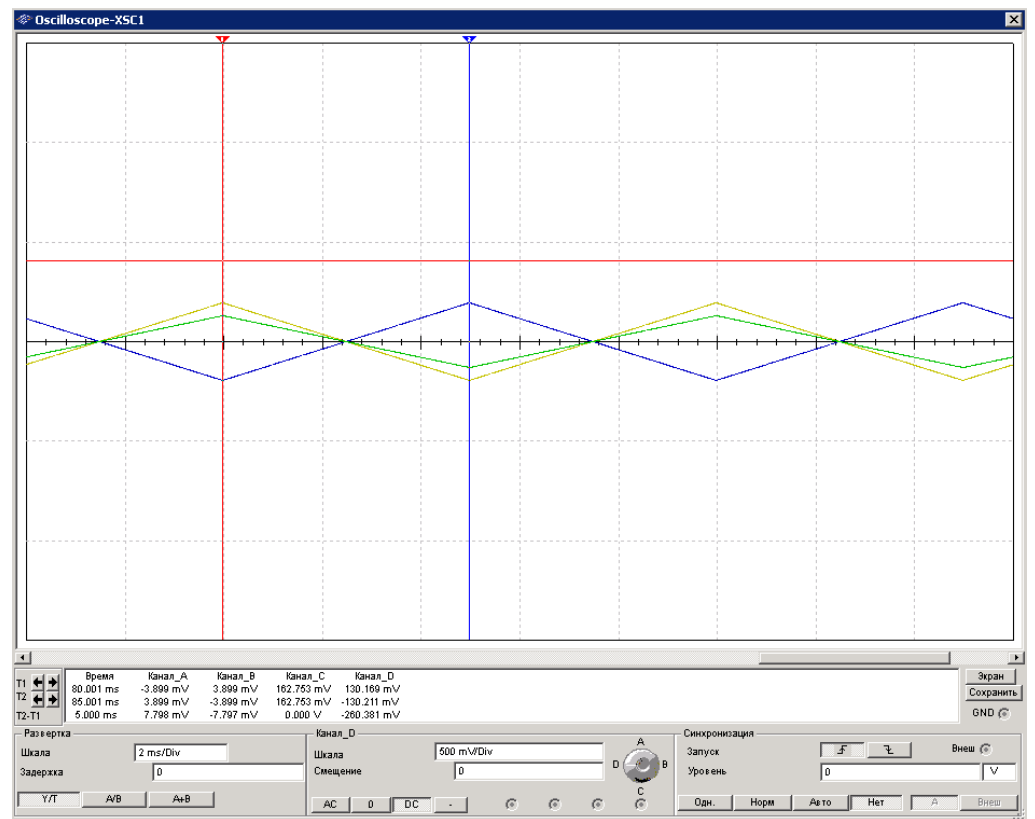


Рисунок 11. Моделирование при 115 мВ и с компенсацией $R_k = 1,1 \text{ кОм}$

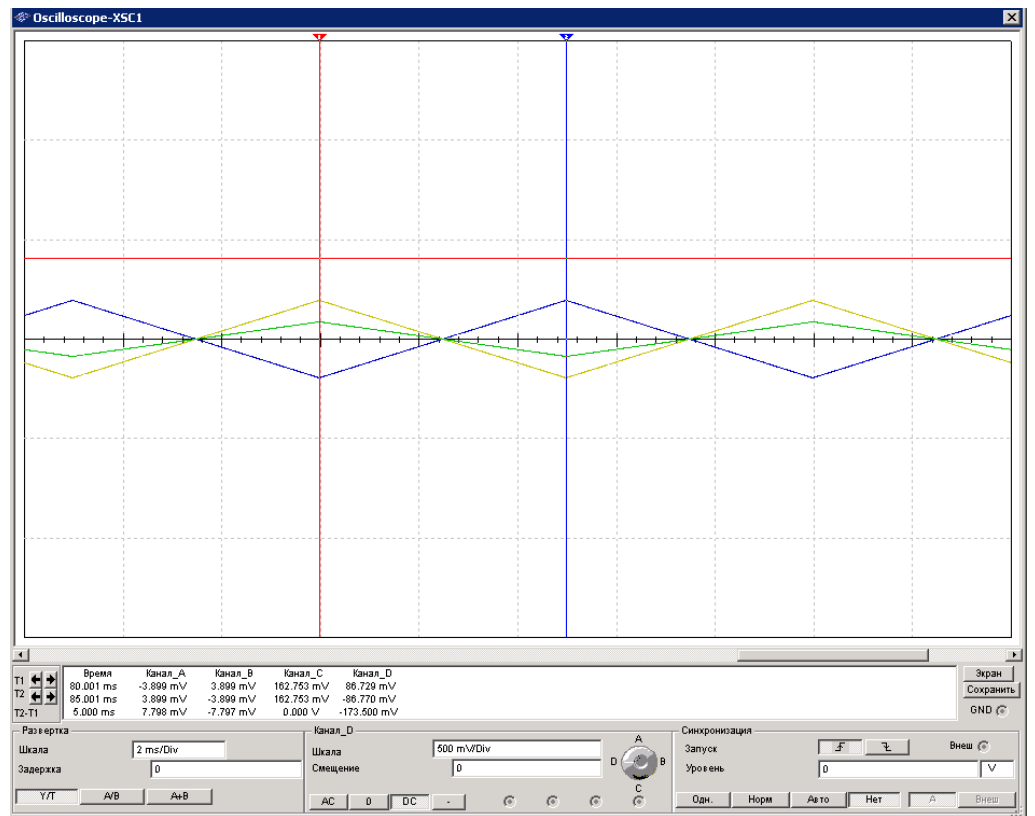


Рисунок 12. Моделирование при 115 мВ и с компенсацией $R_K = 2,2 \text{ кОм}$

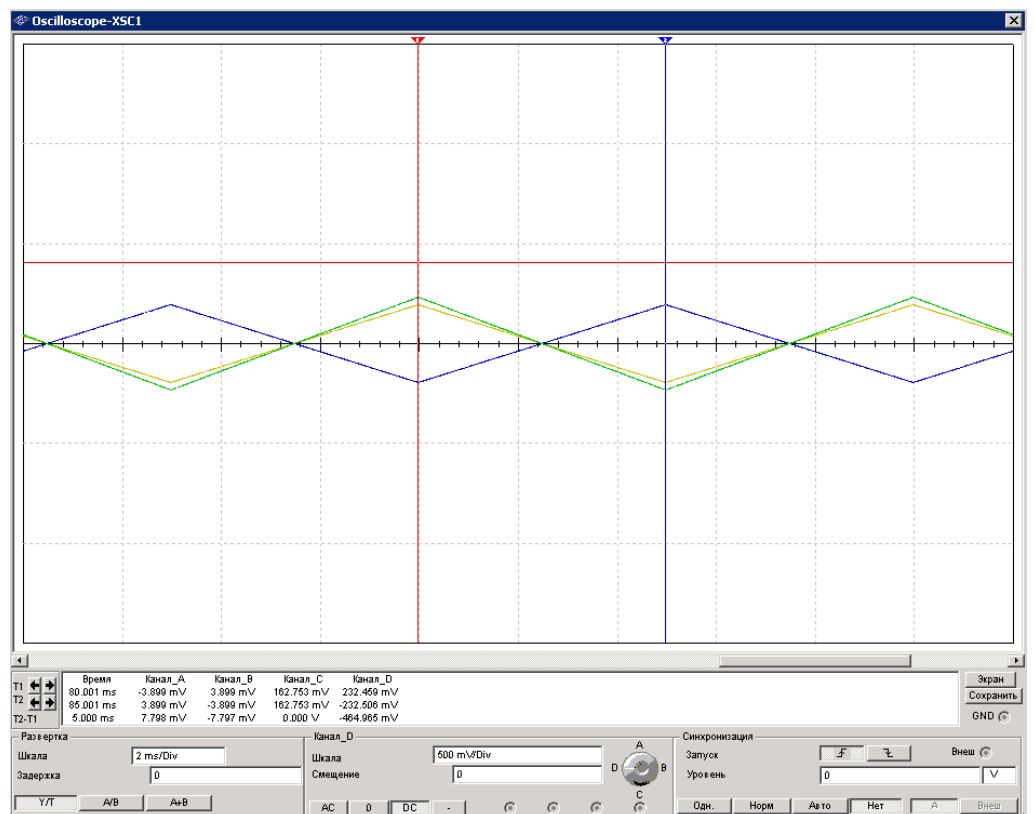


Рисунок 13. Моделирование при 115 мВ и с компенсацией $R_{T_0} = 228 \text{ Ом}$

Таблица 4. Результаты моделирования тензомоста

Вариант			Результаты моделирования						Оценка результатов моделирования				
6			$T = T_0$, ($E_c(T)=0$ мВ)		$T = T_1$ (T_{\min}) ($E_c(T)=-115$ мВ)		$T = T_2$ (T_{\max}) ($E_c(T)=+115$ мВ)		$\Delta U_1=U_{\text{вых}1}-U_{\text{вых}0}$ (мВ)	$\Delta U_2=U_{\text{вых}2}-U_{\text{вых}0}$	Термочувствит средняя (мкВС ⁻¹).	Термочувствит расчетная (мкВС ⁻¹).	Чувствит-ть. мос- та при $T=T_0$ (мВ/%)
			$U_{\text{вых}0}$ (мВ)	U_T (мВ)	$U_{\text{вых}1}$ (мВ)	U_T (мВ)	$U_{\text{вых}2}$ (мВ)	U_T (мВ)					
Без компенсации		$x=0,32\%$	285,3	278	315,4	393	260,7	163	30,1	-24,6	60,8		89,2
		$x=-0,32\%$	-285,4		-316,0		-260,8		-30,6	24,6	-61,3		-89,2
Компенсация $R_K=1,1\text{кОм}$		$x=0,32\%$	136,0		142,5		130,2		6,5	-5,8	13,7		42,5
		$x=-0,32\%$	-136,1		-142,6		-130,2		-6,5	5,9	-13,8		-42,5
Компенсация $R_K=2\text{кОм}$		$x=0,32\%$	89,3	92,0	86,7		-2,6	5,9		27,9			
		$x=-0,32\%$	-89,4	-92,1	-86,8	2,7	2,6	-5,9		-27,9			
Компенсация		$x=0,32\%$	232,6	232,8	232,5	0,2	-0,1	0,3		72,7			

	x=- 0,32%	-232,6		-232,8		-232,5		-0,2	-0,1	60,8		71,9
--	-----------	--------	--	--------	--	--------	--	------	------	------	--	------