

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:

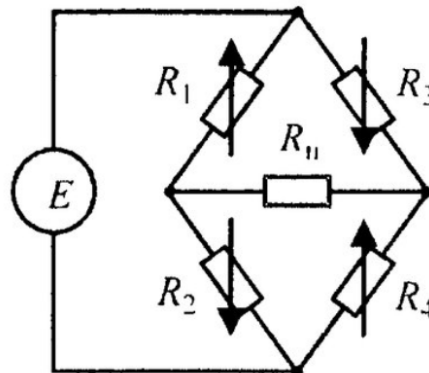


Рисунок 1. Схема полного моста

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:

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

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 γ).

II. Расчёт параметров принципиальной схемы модели

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Вариант	$\gamma(\%C^{-1})$	$\alpha(\%C^{-1})$	$\pm\Delta T(^{\circ}C)$	$R_0(кОм)$	$\pm x_{max}(\%)$	$g(\frac{кОм}{В})$	$E(В)$	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} :

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

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	$\pm 0,115$

III. Корректировка параметров базовой схемы тензомоста

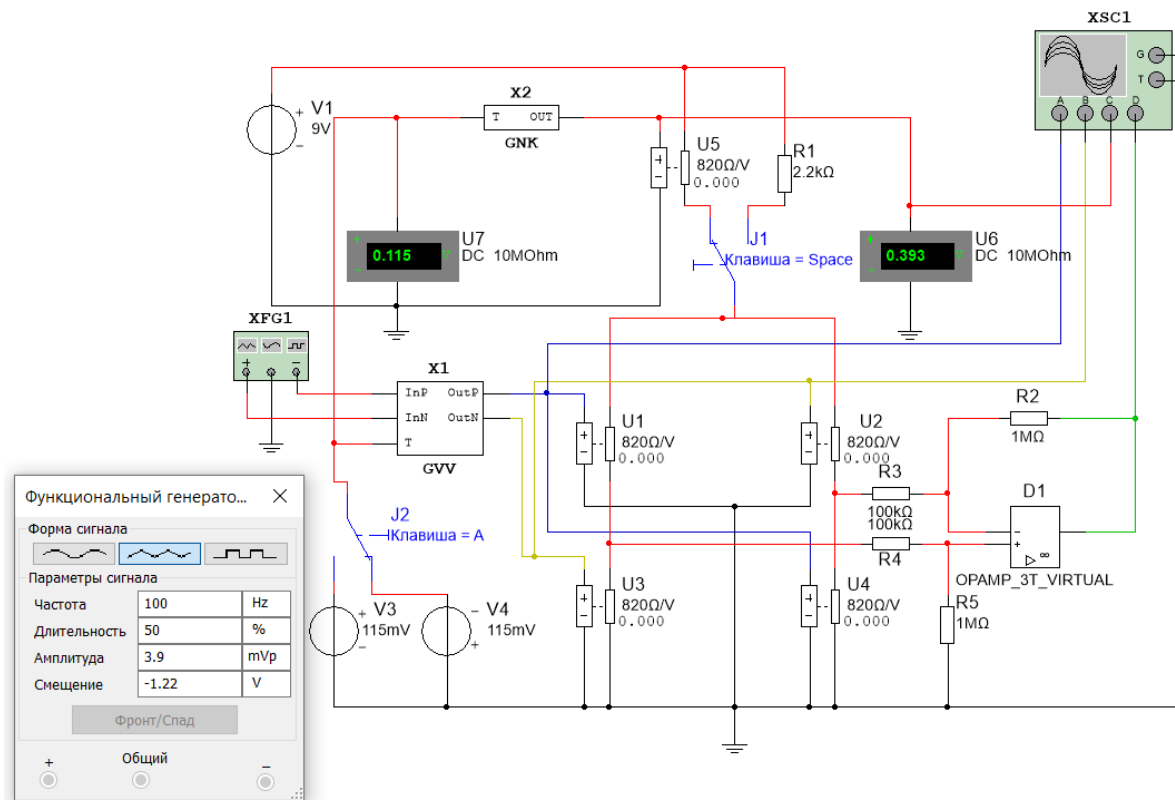


Рисунок 2. Схема моделирования тензомоста с изменёнными параметрами

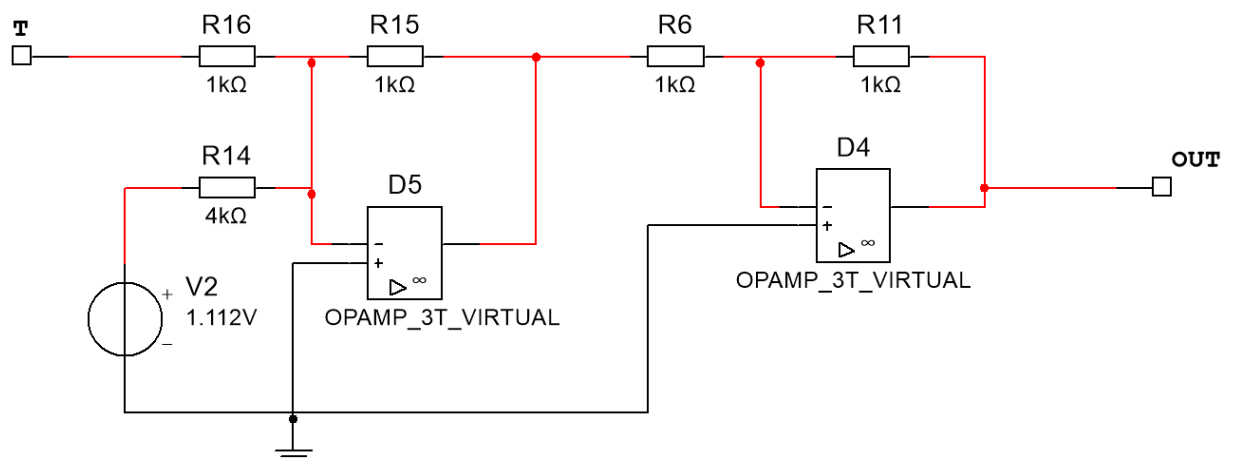


Рисунок 2. Что-то

IV. Моделирование тензомоста при разных температурных условиях

1. При 0 мВ:

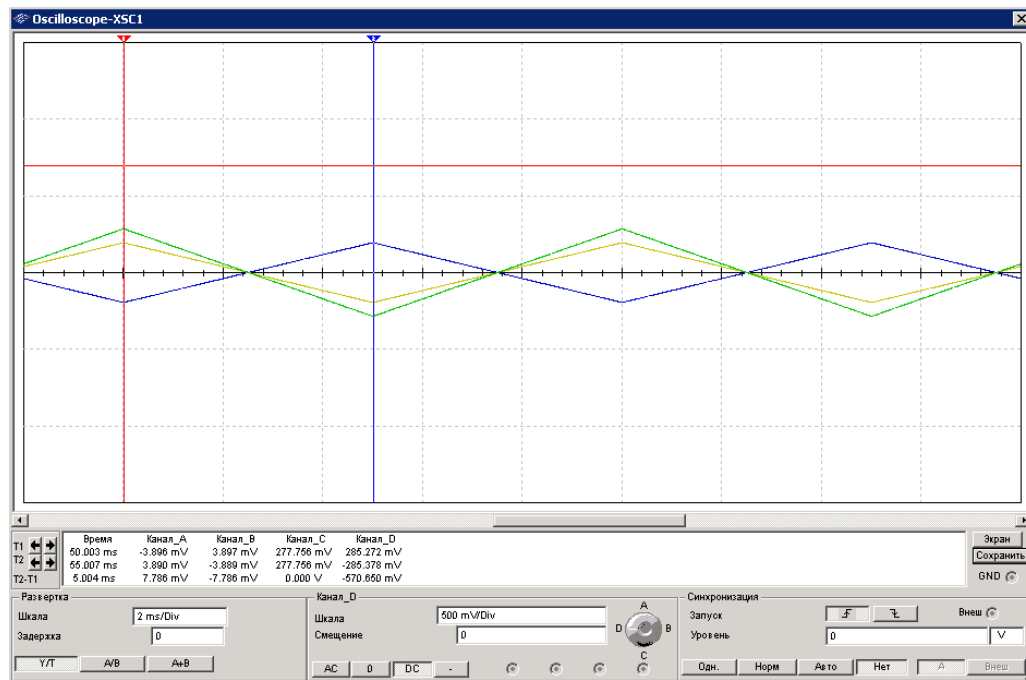


Рисунок 3. Моделирование при 0 мВ и без компенсации

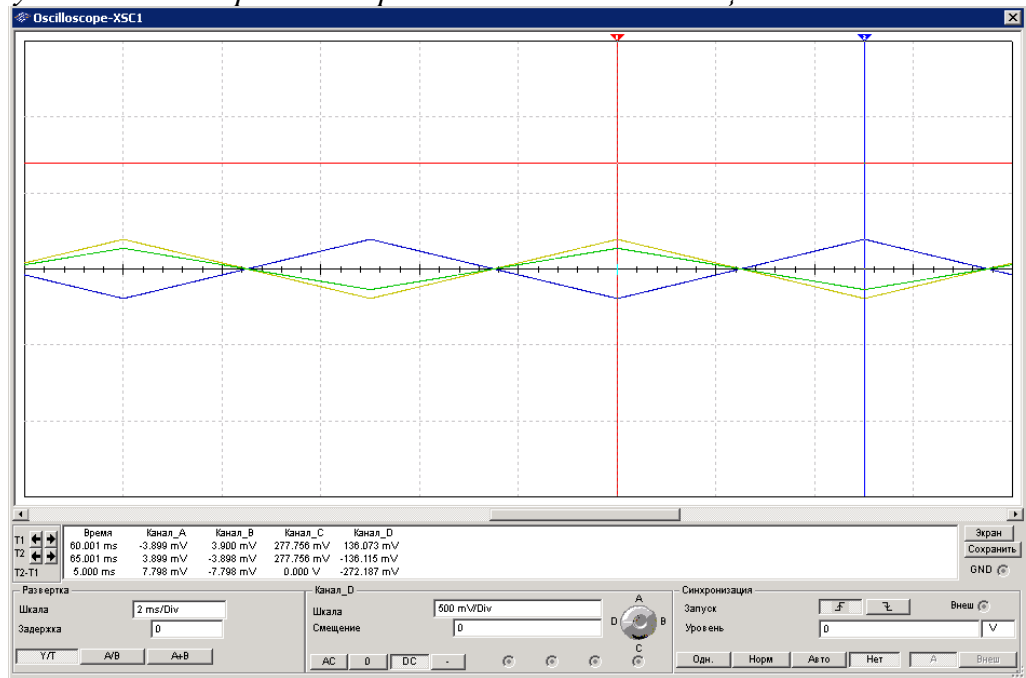


Рисунок 3. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией $R_K = 1,1 \text{ кОм}$

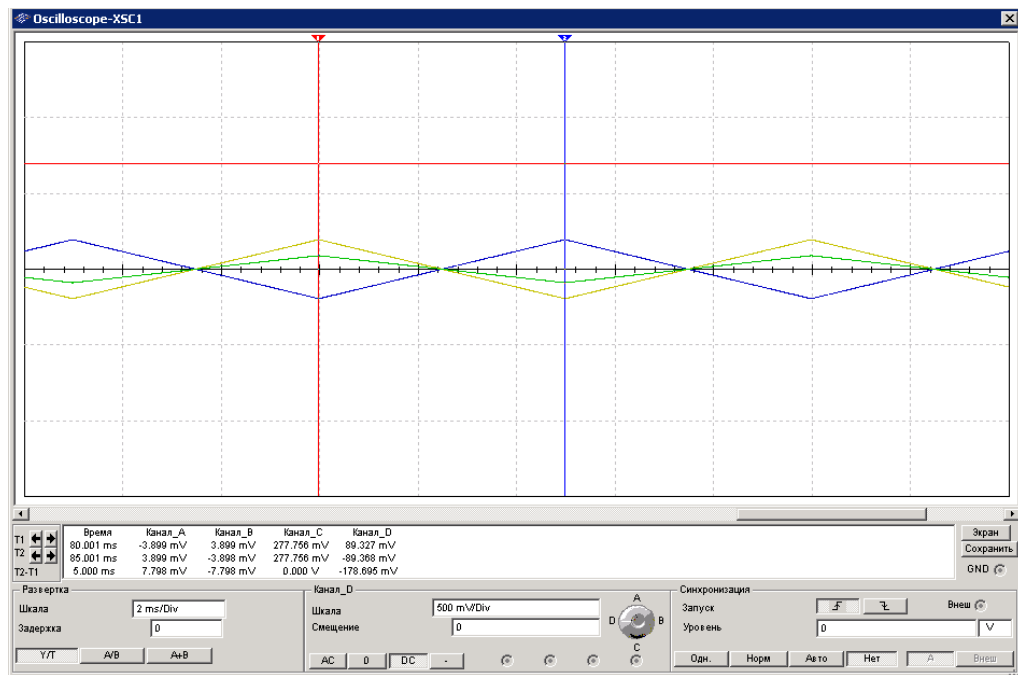


Рисунок 4. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией $R_k = 2,2 \text{ кОм}$

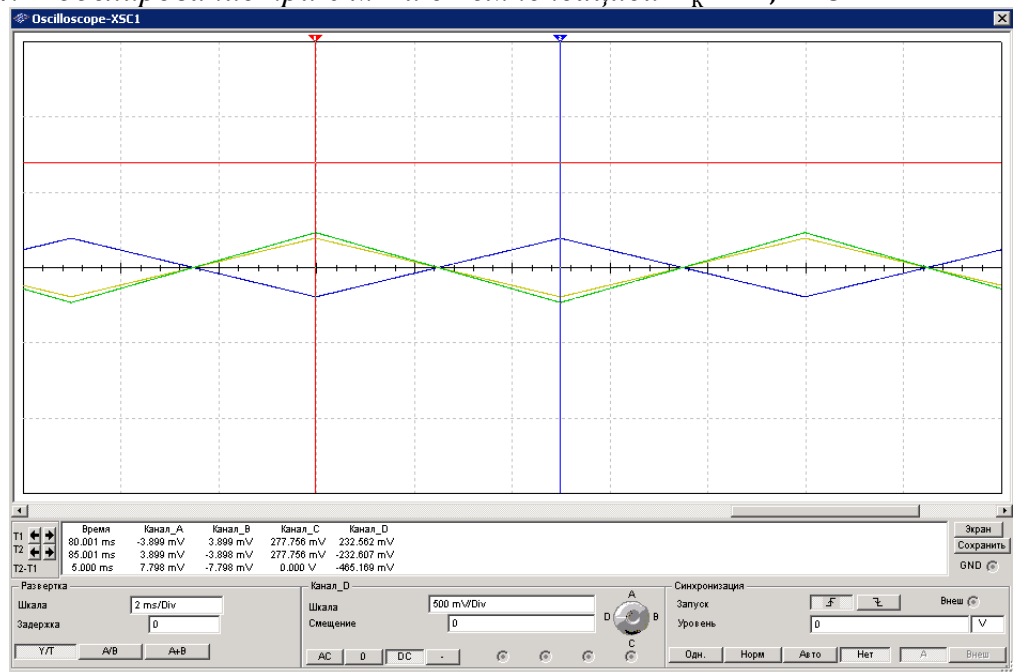


Рисунок 5. Моделирование при 0 мВ и с компенсацией $R_{T_0} = 228 \text{ Ом}$

2. При -115 мВ:

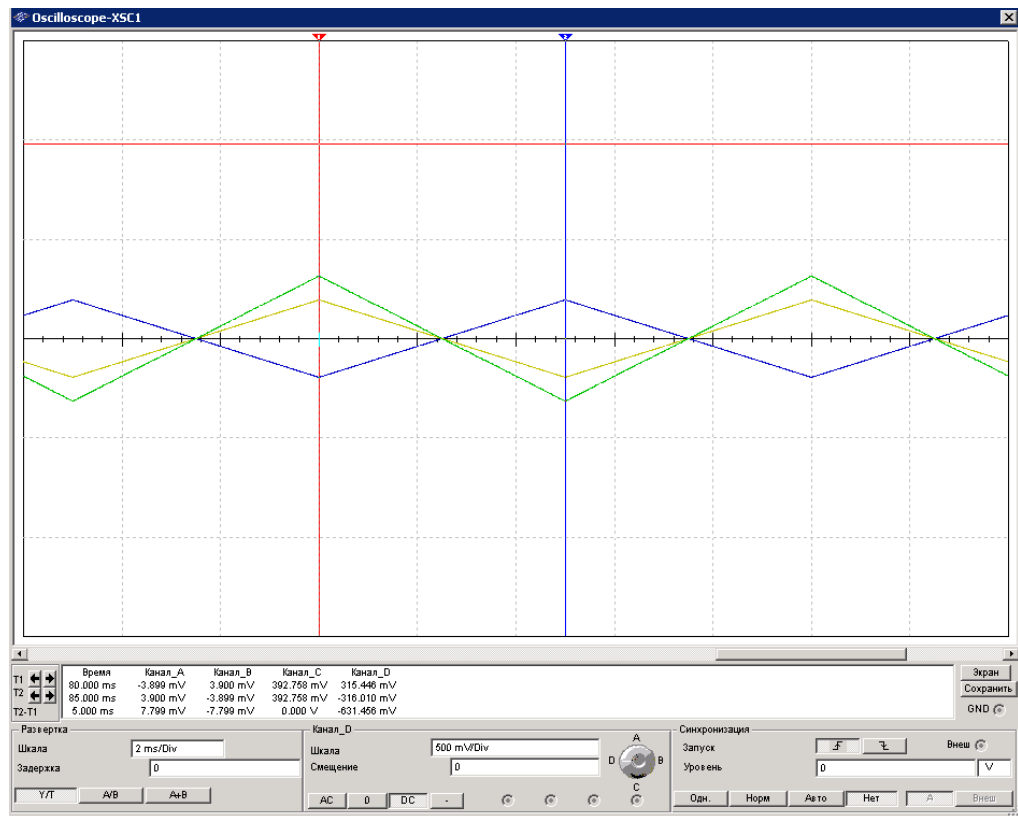


Рисунок 6. Моделирование при -115 мВ и без компенсации

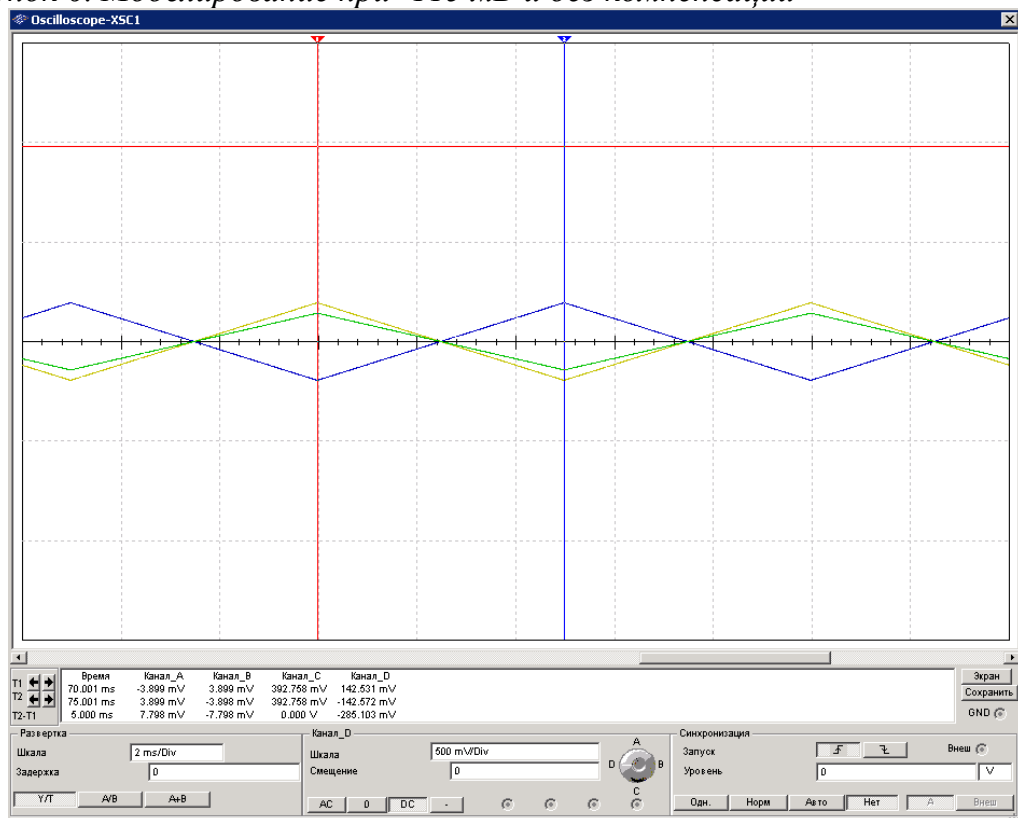


Рисунок 7. Моделирование при -115 мВ и с компенсацией $R_K = 1,1 \text{ кОм}$

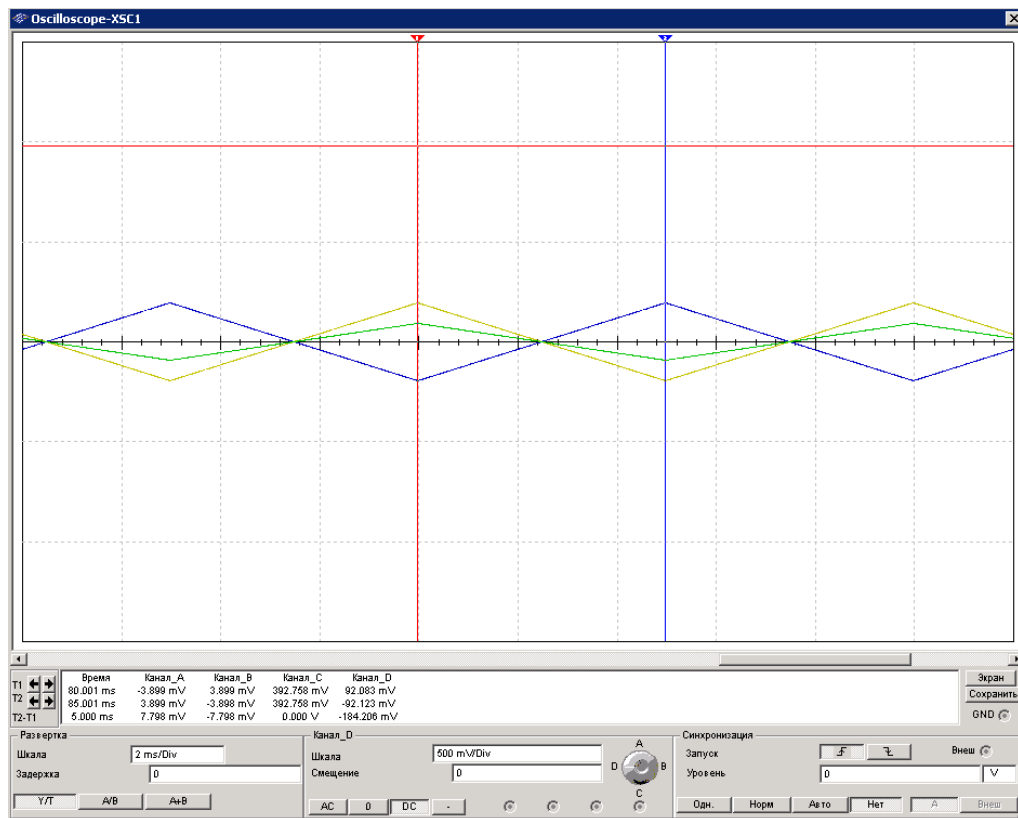


Рисунок 8. Моделирование при -115 мВ и с компенсацией $R_K = 2,2$ кОм

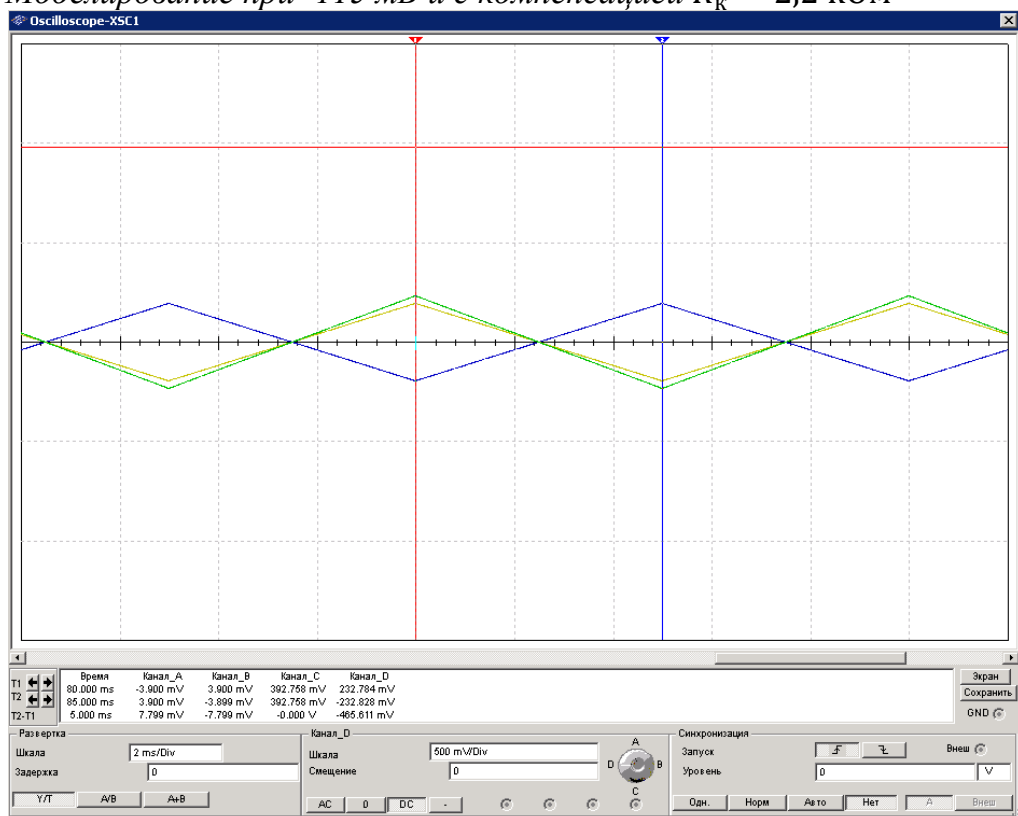


Рисунок 9. Моделирование при -115 мВ и с компенсацией $R_{T_0} = 228$ Ом

3. При 115 мВ:

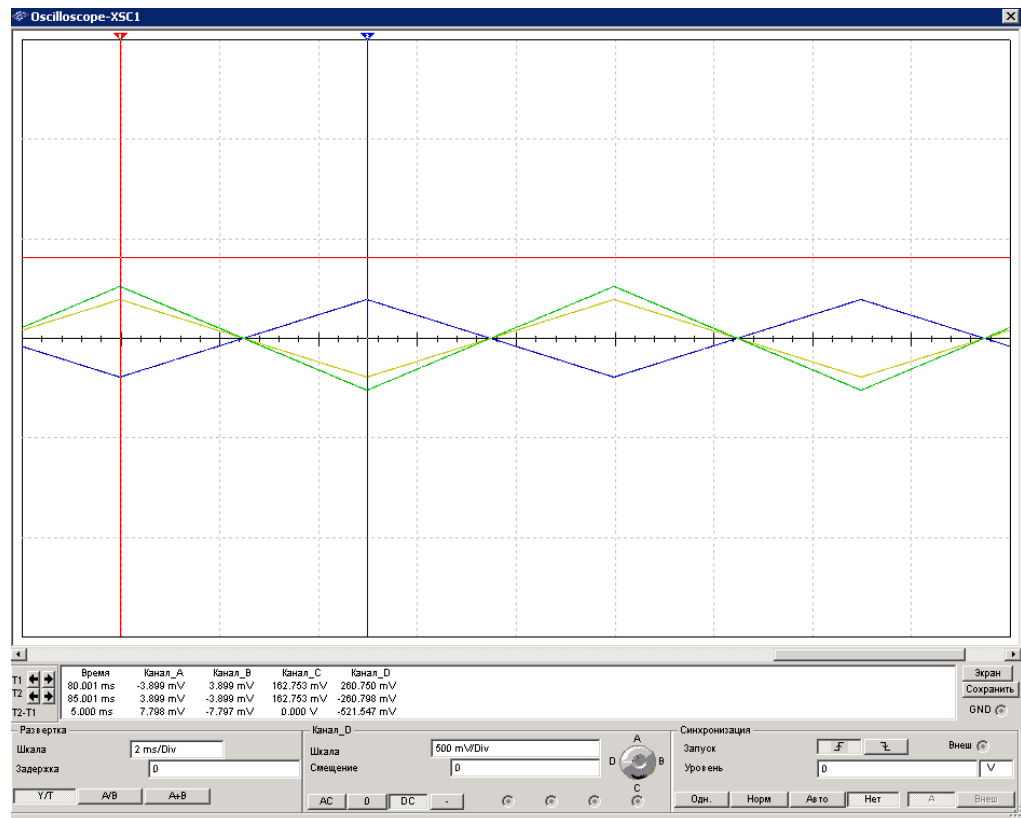


Рисунок 10. Моделирование при 115 мВ и без компенсации

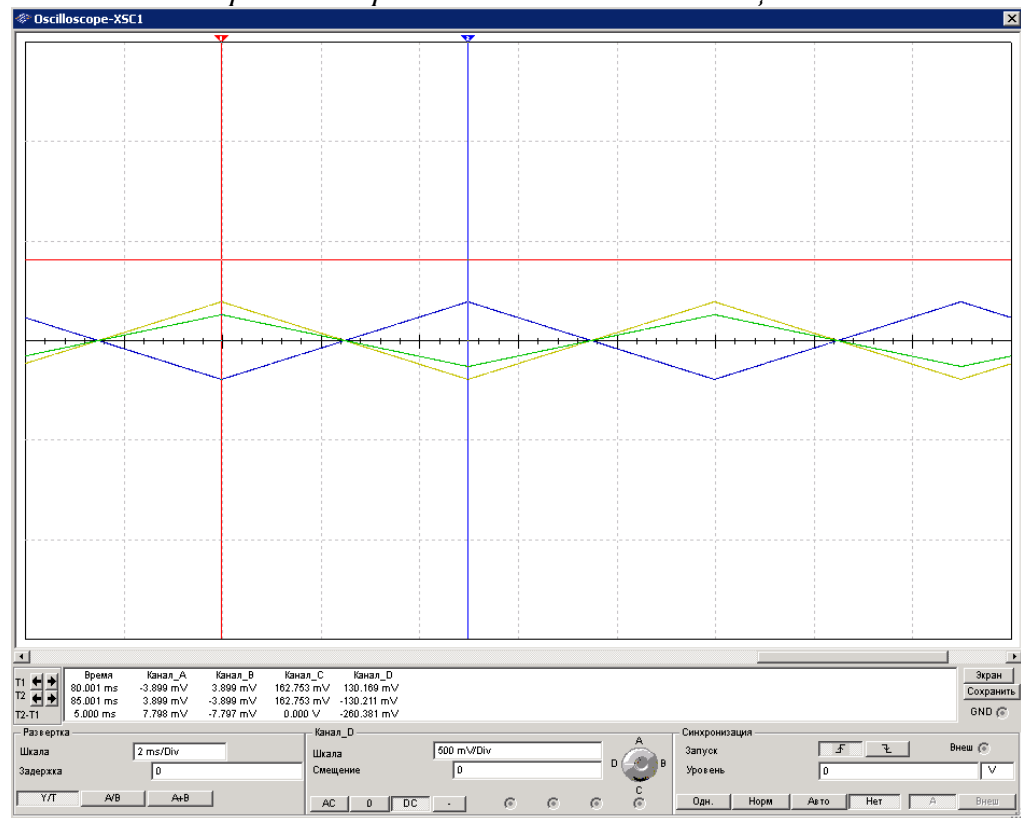


Рисунок 11. Моделирование при 115 мВ и с компенсацией $R_K = 1,1 \text{ кОм}$

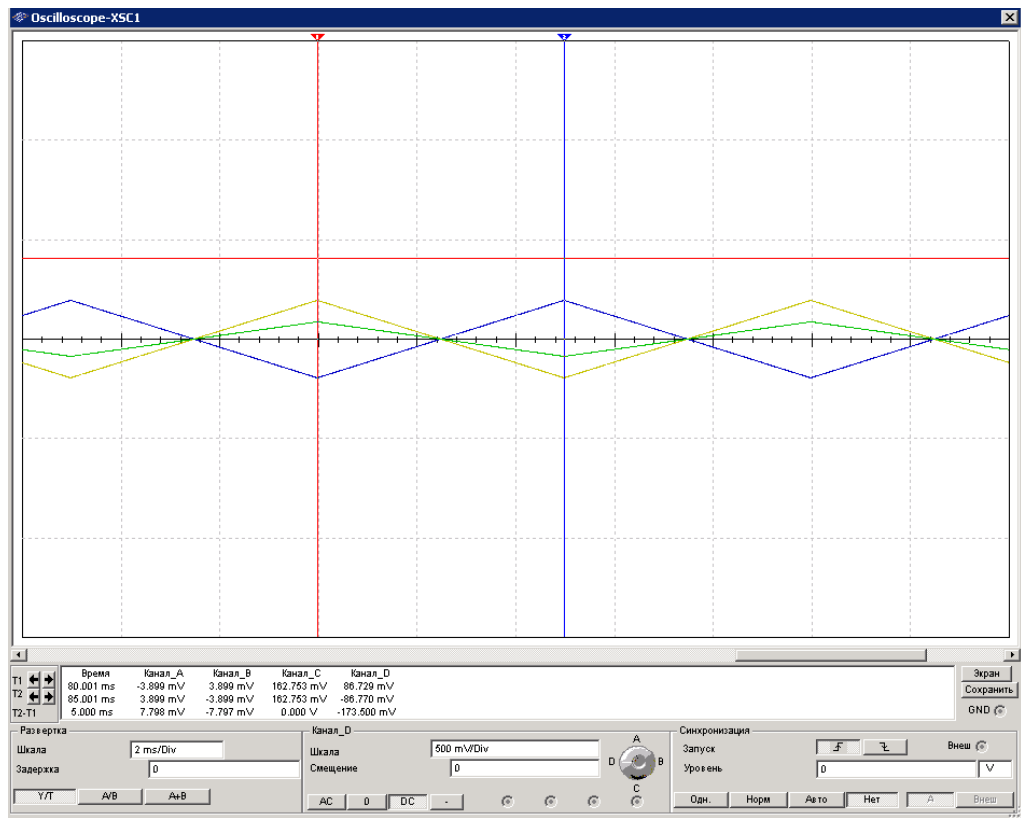


Рисунок 12. Моделирование при 115 мВ и с компенсацией $R_K = 2,2 \text{ кОм}$

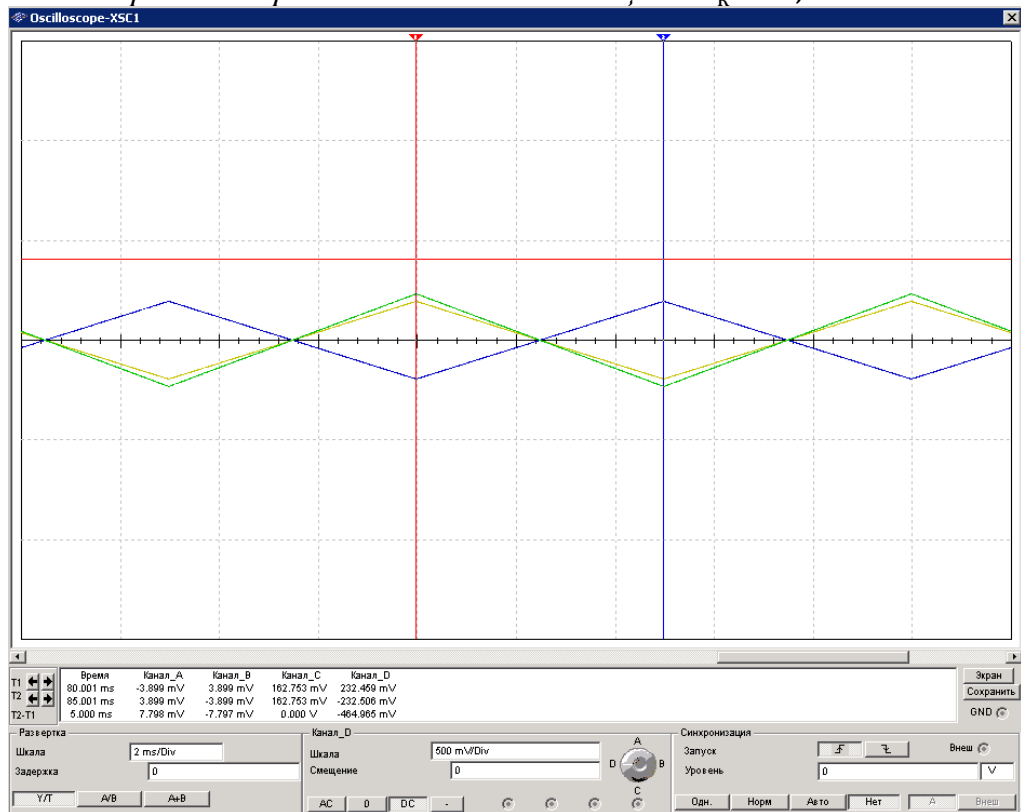


Рисунок 13. Моделирование при 115 мВ и с компенсацией $R_{T_0} = 228 \text{ Ом}$

Таблица 4. Результаты моделирования тензомоста

ант	Вариант	Результаты моделирования						Оценка результатов моделирования				
		$T = T_0$, ($E_c(T)$) =0 мВ)		$T = T_1$ (T_{min}) ($E_c(T)$) =-115 мВ)		$T = T_2$ (T_{max}) ($E_c(T)$) =+115 мВ)		$\Delta U_1 = U_{вых1} - U_{вых0}$ (мВ)	$\Delta U_2 = U_{вых2} - U_{вых0}$	Термочувствит. средняя (мкВС ⁻¹).	Термочувствит. расчетная (мкВС ⁻¹).	Чувствит-ть. мос-та при $T=T_0$ (мВ/%)
		$U_{вых0}$	$U_{вых1}$	$U_{вых1}$	$U_{вых1}$	$U_{вых2}$	$U_{вых2}$					
	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