



УДК 621.771

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ РОТОРНОГО ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ

Андрей Анатольевич Мальцев

доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ им Н.Э. Баумана

e-mail: a.a.mal@bmstu.ru

Аннотация

Создана концепция виртуальной лабораторной работы «Компьютерная симуляция электротензометрирования крутильных колебаний в электроприводе роторного вагоноопрокидывателя» по учебной дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов групп МТ, осваивающих специальность «Проектирование технологических машин и комплексов».

Ключевые слова: электротензометрия, металлургия, колебания, вагоноопрокидыватель, электротехника.

COMPUTER SIMULATION OF ELECTRIC TENSOMETRY OF TORSIONAL VIBRATIONS IN THE ROTARY WAGON TIPPLER ELECTRIC DRIVE

Andrey A. Maltsev

associate professor of BMSTU ФН-7 and МТ-10 departments

e-mail: a.a.mal@bmstu.ru

ABSTRACT

The concept of a virtual laboratory work "Computer simulation of electric tensometry of torsional vibrations in the rotary wagon tippler electric drive" has been created in the academic discipline "Electrical Engineering and Electronics" for students of MT groups mastering the specialty "Design of technological machines and complexes".

Keywords: electrotensometry, metallurgy, vibrations, wagon tippler, electrical engineering.

Цель исследования — предложить новую лабораторную работу «Компьютерная симуляция электротензометрирования крутильных колебаний в электроприводе роторного вагоноопрокидывателя», выполняемую студентами в компьютерном классе в программной среде Multisim.

Объект исследования — электропривод механизма вращения ротора вагоноопрокидывателя, на трансмиссионных валах которого были установлены тензодатчики (рис. 1).

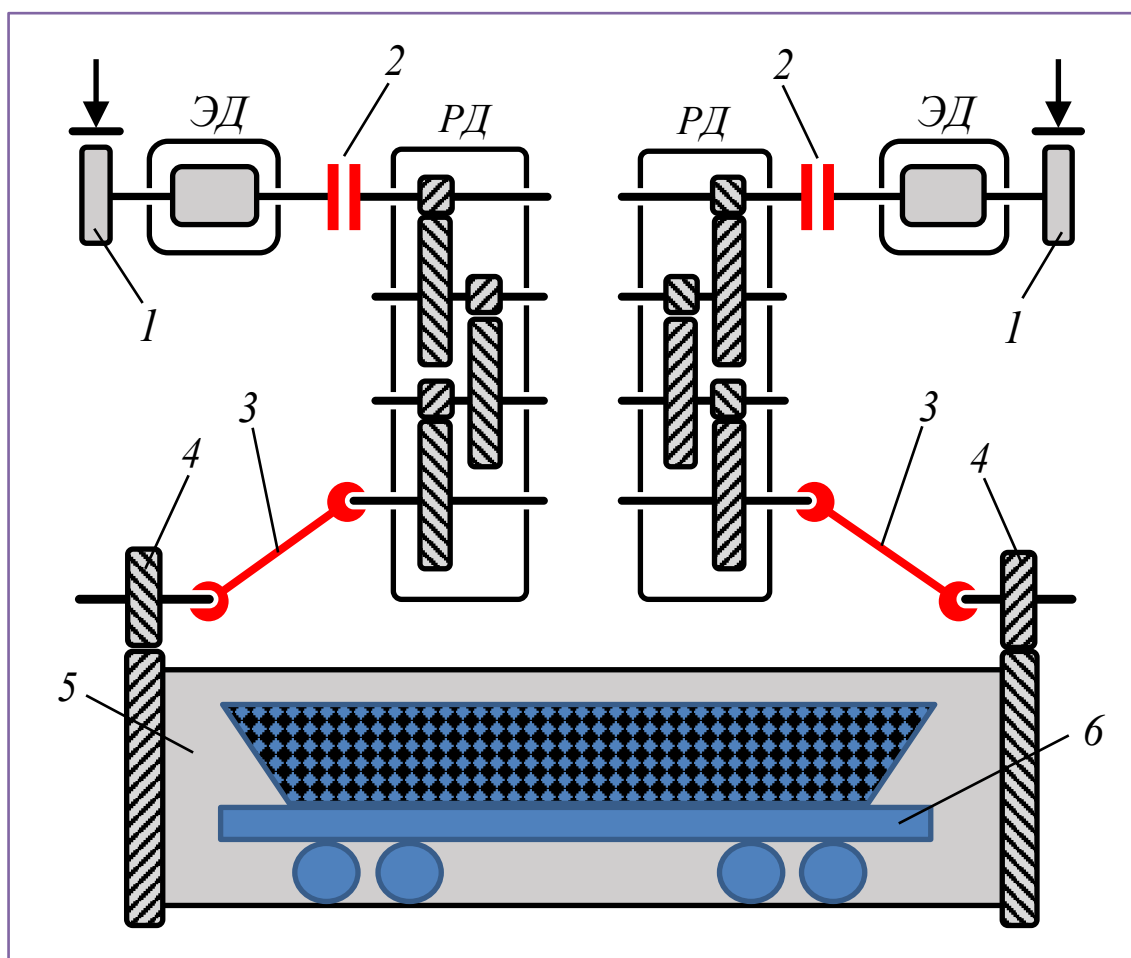


Рисунок 1. Кинематическая схема:

ЭД — электродвигатель;

РД — трёхступенчатый редуктор;

1 — тормоз; 2 — муфта;

3 — трансмиссионный вал;

4 — шестерня; 5 — ротор; 6 — вагон

Материалы исследования:

1. Осциллограмма нагрузок в трансмиссионных валах электропривода во время разгрузки вагона, взятая из литературного источника [1], на которой видны значительные динамические нагрузки колебательного характера (рис. 2).

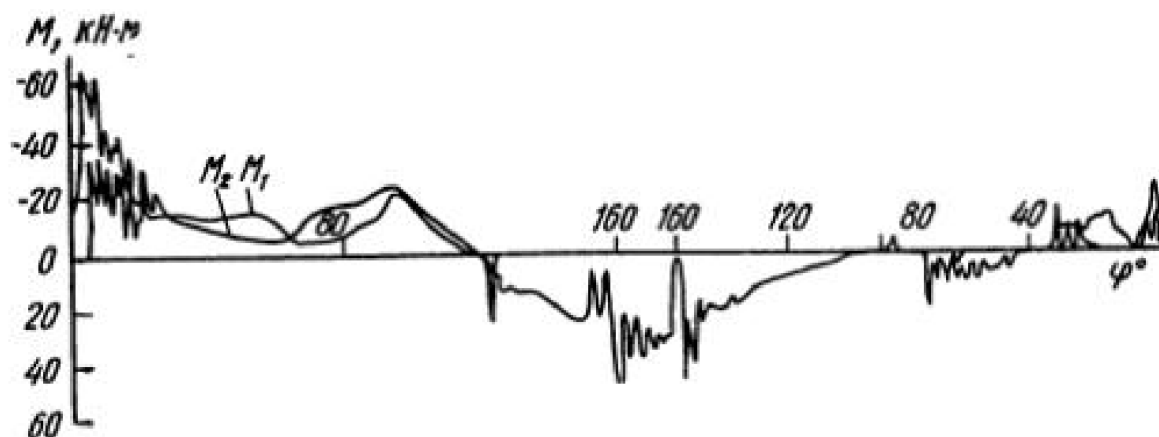


Рисунок 2. Осциллограмма нагрузок:

M — ось упругого момента на валу барабана [кН · м] ;

φ — ось угла поворота ротора [град];

M_1 — моменты сил упругости левого трансмиссионного вала;

M_2 — моменты сил упругости правого трансмиссионного вала

2. Тензодатчик, представляющий собой проволочный тензорезистор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от деформации на величину ΔR .

Наибольшее значение изменения сопротивления тензорезистора при его деформации может быть рассчитано по формуле

$$\Delta R_{\max} = S \varepsilon_{\max} R ,$$

где

S — коэффициент чувствительности тензорезистора;

$\varepsilon_{\max}$ — предельная величина измеряемой относительной деформации [мкм/м];

R — сопротивление недеформированного тензорезистора [Ом].

3. Потенциометрическая схема для измерения динамических деформаций, взятая из литературного источника [2] и представляющая собой двухплечий резистивный делитель напряжения (рис. 3).

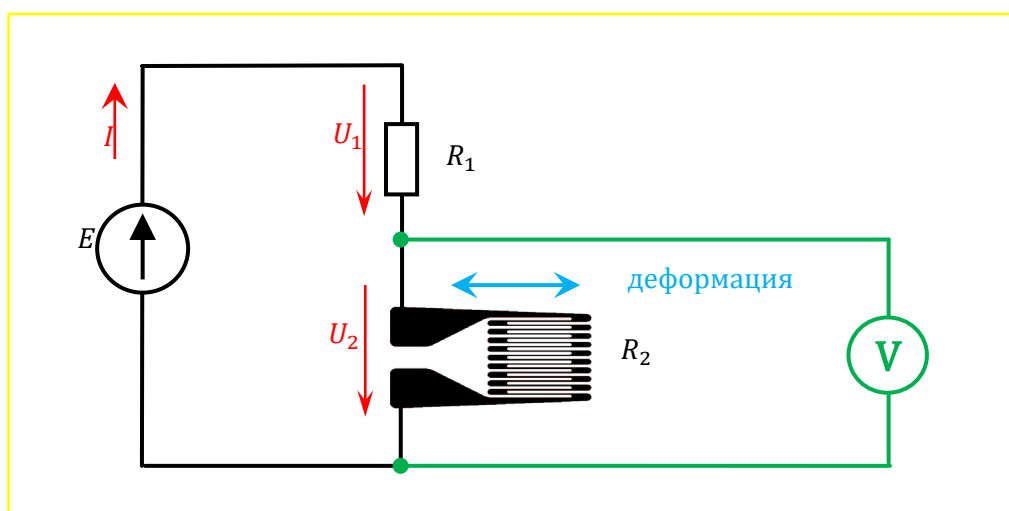


Рисунок 3. Электрическая схема тензометра:

E — источник ЭДС;

R_1 — балластное сопротивление;

R_2 — тензорезистор;

C — конденсатор;

I — ток в цепи (ток питания тензорезистора);

U_1 — падение напряжения на балластном сопротивлении;

U_2 — падение напряжения на тензорезисторе

По второму закону Кирхгофа

$$E = I (R_1 + R_2),$$

поэтому при отсутствии деформации ток питания тензорезистора

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2},$$

а измеряемое напряжение может быть рассчитано по закону Ома

$$U_2 = I R_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Методы исследования:

1. Электротензометрический метод, в основе которого лежит зависимость омического сопротивления R проводника от его геометрических размеров:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

где

ρ — удельное электрическое сопротивление проводника [Ом · м];

l — длина проводника [м];

A — площадь поперечного сечения проводника [м²].

2. Метод имитационного моделирования, при котором реальная электрическая цепь заменяется ее компьютерной моделью (рис. 4).

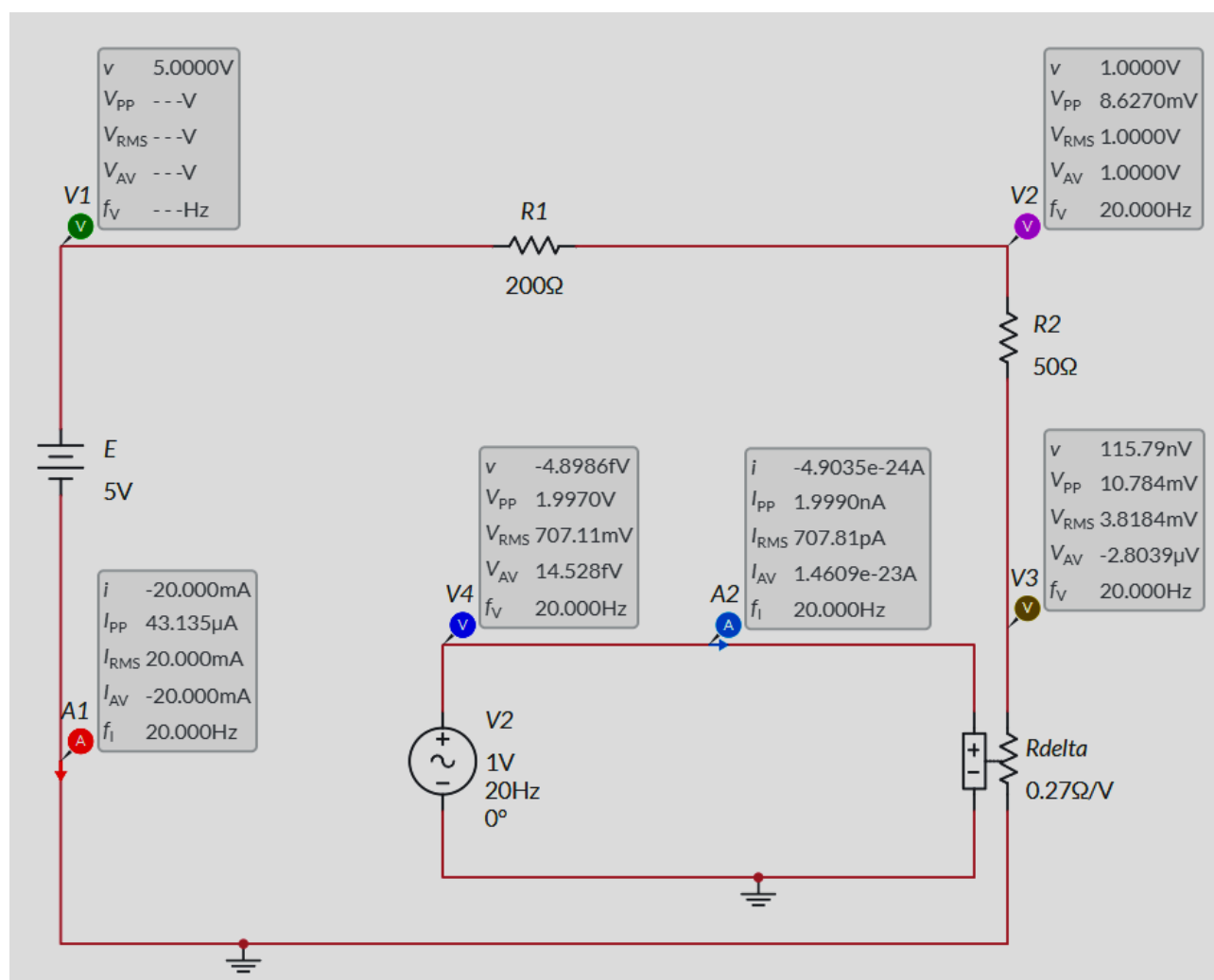


Рисунок 4. Схема в программной среде Multisim Live:

$E = 5 \text{ В}$; $R_1 = 200 \text{ Ом}$; $R_2 = 50 \text{ Ом}$; $\Delta R_{\max} = \pm 0,27 \text{ Ом}$

Результаты исследования:

1. Сформированы исходные данные для выполнения лабораторной работы в программной среде Multisim (табл. 1).

Таблица 1

Параметры электрической схемы тензометра

Вариант	E В	R_1 Ом	R_2 Ом	I мА	$I_{\max}$ мА	T °C	$\varepsilon_{\max}$ мкМ/м	S	$\Delta R_{\max}$ Ом
1	5	200	50	20	21	15	3000	1,8	$\pm 0,27$
2	9	330	100	21	22	16	3000	1,9	$\pm 0,57$
3	12	430	120	22	23	17	3000	2	$\pm 0,72$
4	5	15	200	23	24	18	3000	2,1	$\pm 1,26$
5	9	27	350	24	25	19	3000	2,2	$\pm 2,31$
6	12	200	400	20	21	20	3000	1,8	$\pm 2,16$
7	15	15	700	21	22	21	3000	1,9	$\pm 3,99$
8	9	360	50	22	23	22	3000	2	$\pm 0,3$
9	12	430	100	23	24	23	3000	2,1	$\pm 0,63$
10	5	91	120	24	25	24	3000	2,2	$\pm 0,79$

11	9	270	200	19	21	25	3000	1,8	$\pm 1,08$
12	12	240	350	20	22	15	3000	1,9	± 2
13	15	300	400	21	23	16	3000	2	$\pm 2,4$
14	24	360	700	23	24	17	3000	2,1	$\pm 4,41$
15	12	470	50	23	25	18	3000	2,2	$\pm 0,33$
16	5	150	100	20	21	19	3000	1,8	$\pm 0,54$
17	9	330	120	20	22	20	3000	1,9	$\pm 0,68$
18	12	360	200	21	23	21	3000	2	$\pm 1,2$
19	15	330	350	22	24	22	3000	2,1	$\pm 2,21$
20	24	620	400	24	25	23	3000	2,2	$\pm 2,64$
21	24	510	700	20	21	24	3000	1,8	$\pm 3,78$
22	5	200	50	20	22	25	3000	1,9	$\pm 0,29$
23	9	330	100	21	23	15	3000	2	$\pm 0,6$
24	12	430	120	22	24	16	3000	2,1	$\pm 0,76$
25	5	9,1	200	24	25	17	3000	2,2	$\pm 1,32$
26	9	100	350	20	21	18	3000	1,8	$\pm 1,89$
27	12	180	400	21	22	19	3000	1,9	$\pm 2,28$
28	24	390	700	22	23	20	3000	2	$\pm 4,2$
29	9	360	50	22	24	21	3000	2,1	$\pm 0,32$
30	12	430	100	23	25	22	3000	2,2	$\pm 0,66$

2. Показания виртуальных электроизмерительных приборов не противоречат данным теоретического анализа электрической цепи (рис. 5, 6, 7, 8, 9, 10).

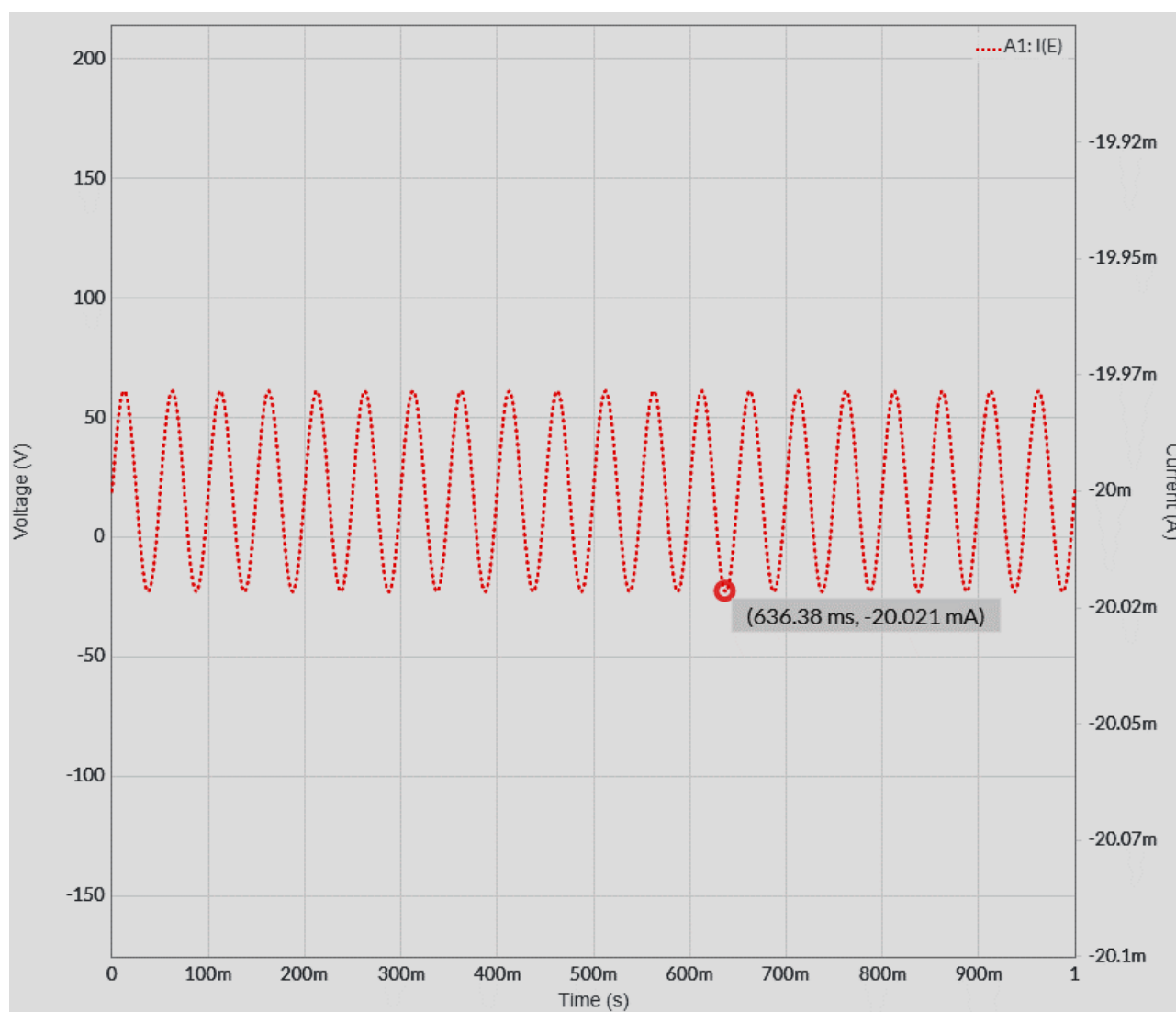


Рисунок 5. Показание виртуального амперметра A1

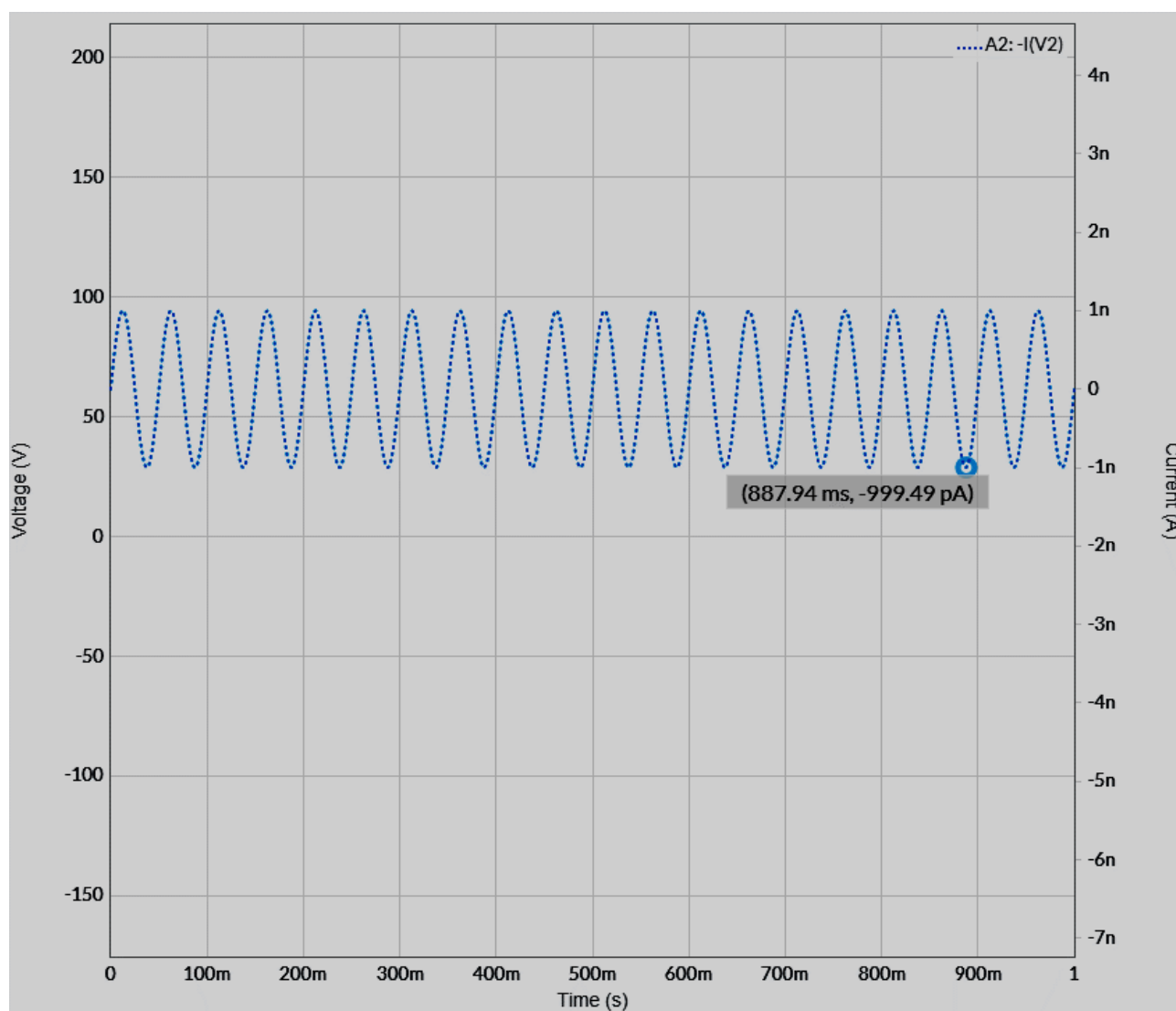


Рисунок 6. Показание виртуального амперметра A2

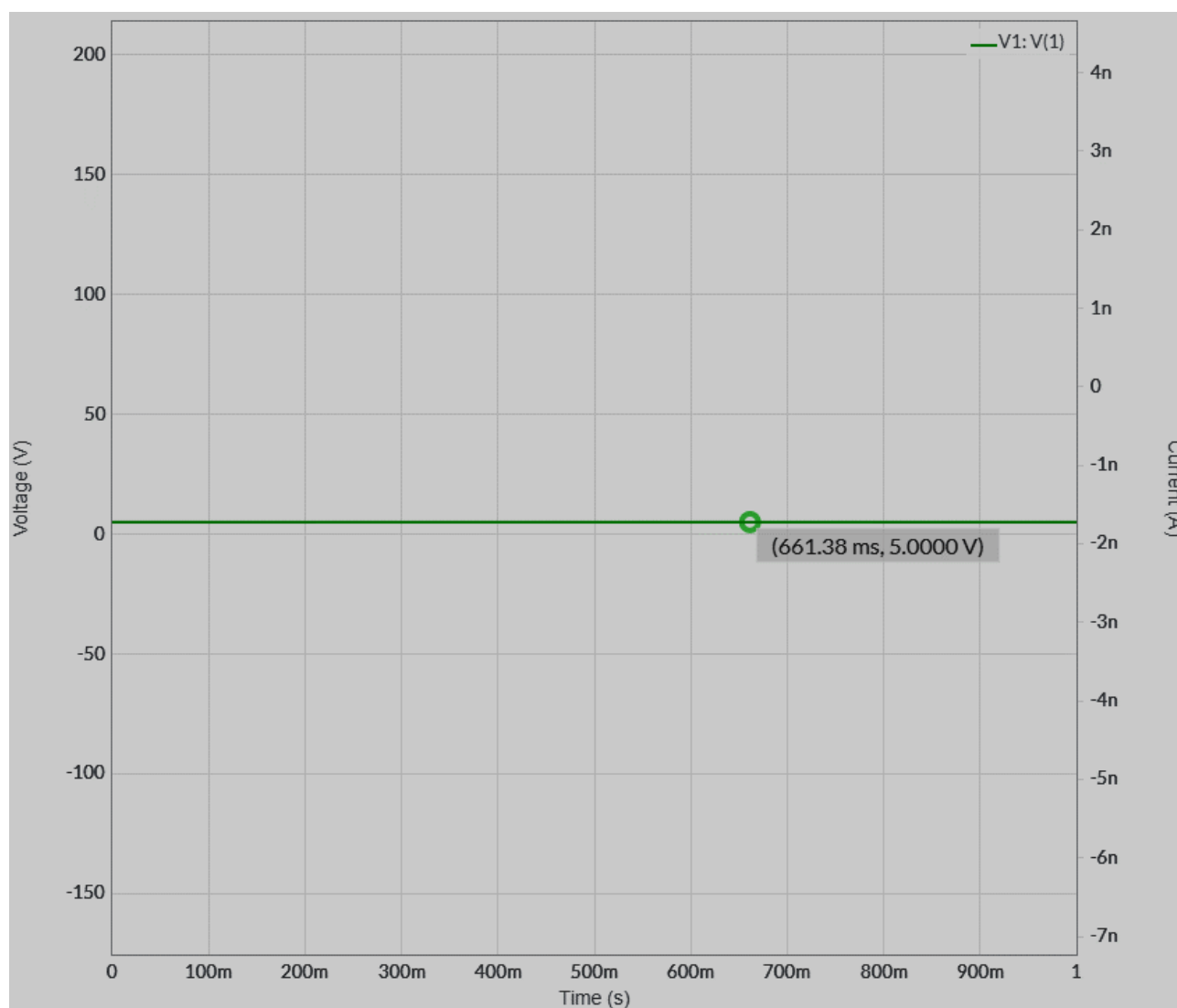


Рисунок 7. Показание виртуального вольтметра V1

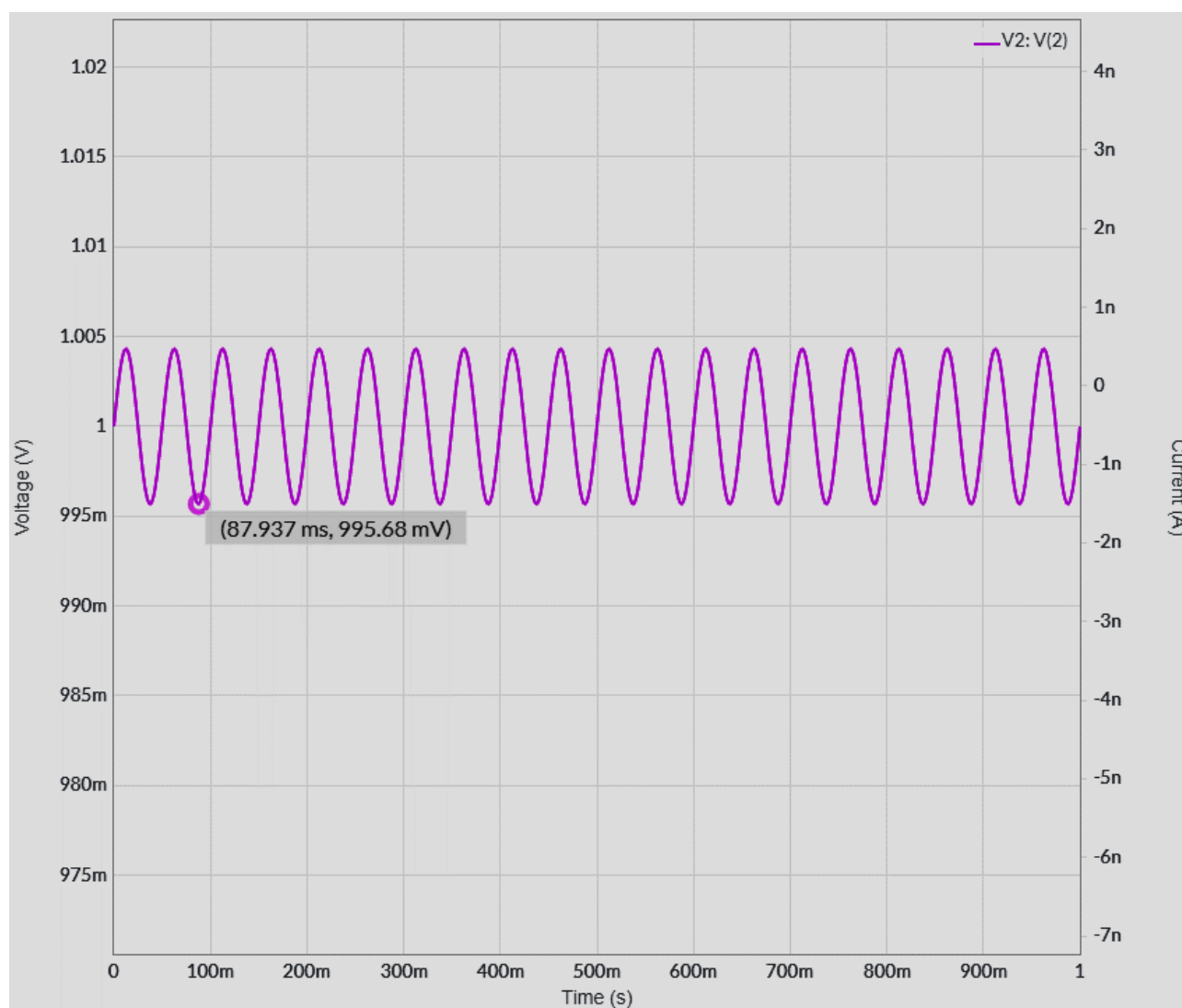


Рисунок 8. Показание виртуального вольтметра V2

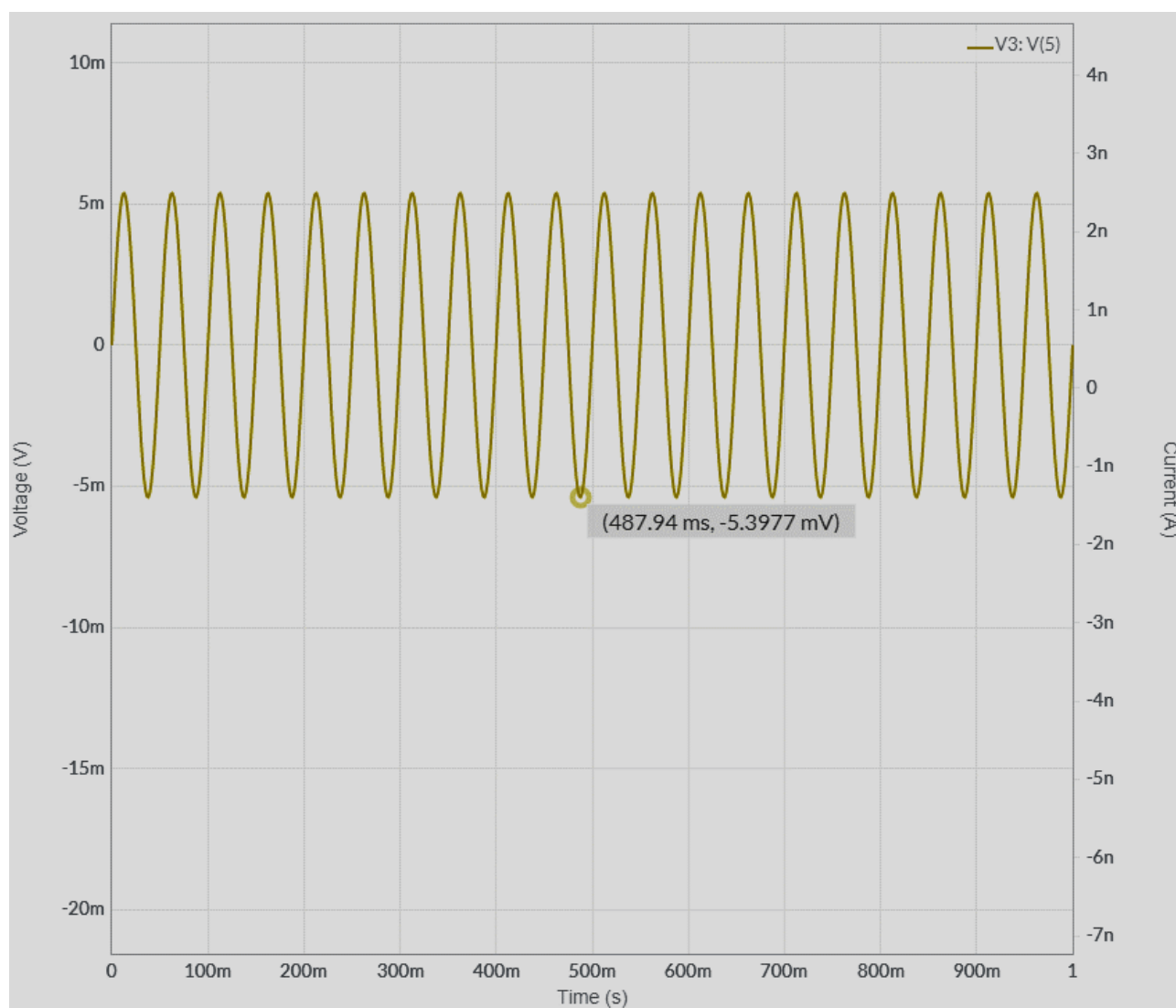


Рисунок 9. Показание виртуального вольтметра V3

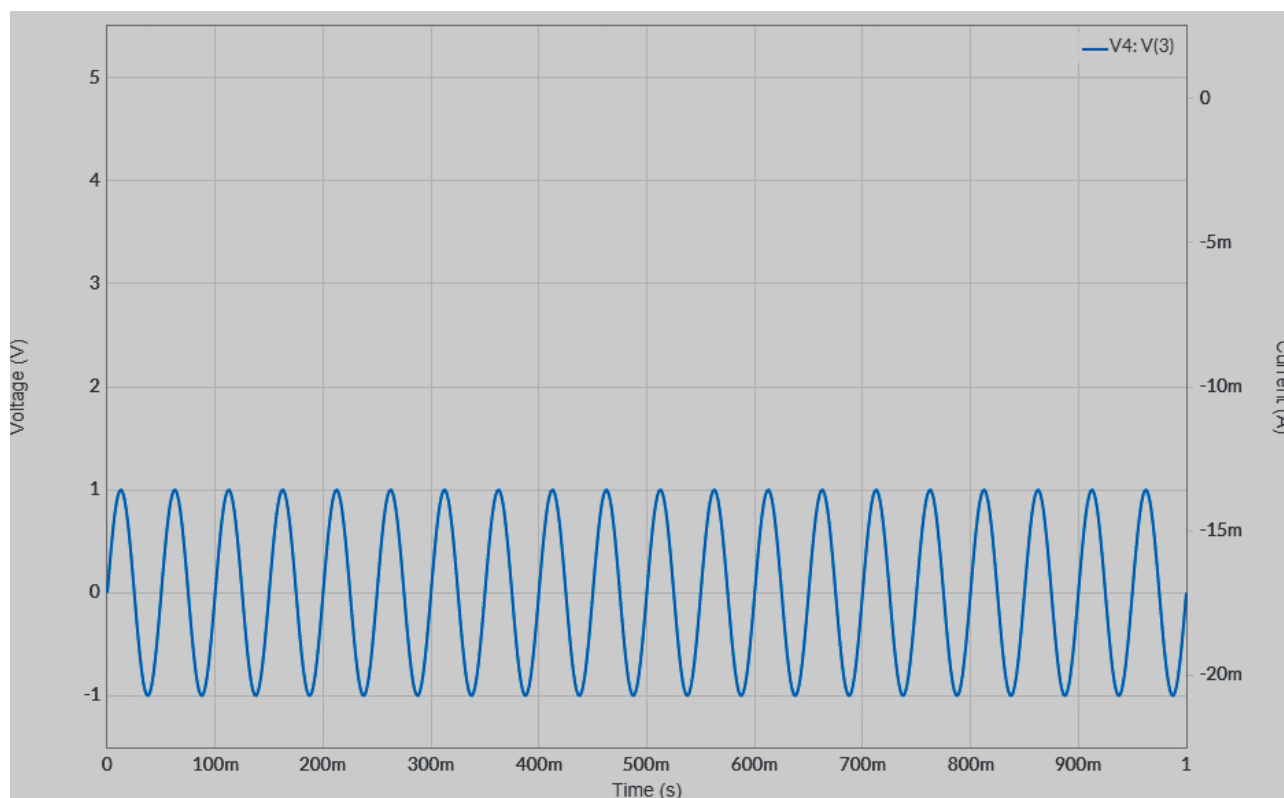


Рисунок 10. Показание виртуального вольтметра V4

Заключение

Выполнение и защита студентами группы МТ лабораторной работы «Компьютерная симуляция электротензометрирования крутильных колебаний в электроприводе роторного вагонопрокидывателя» повысит у них уровень развития профессиональной компетенции с формулировкой «Способность использовать современные методы моделирования, исследования и расчетов технологических комплексов в металлургическом производстве» [3].

Список литературы:

1. Иванченко Ф.К., Красношапка В.А. Динамика металлургических машин. — Москва: Металлургия, 1983. — 295 с.
2. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии. — Минск: Вышэйшая школа, 1975. — 352 с.
3. Мальцев А.А. Виртуальное электротензометрирование крутильных колебаний на валу электропривода роторного вагонопрокидывателя. — [Электронный ресурс] Оригинальные исследования (ОРИС). 2023. Т.13, №1. С.276–282. — Режим доступа: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2023-oris-1-2023/a231020>

References:

1. Ivanchenko F.K., Krasnoschapka V.A. Dynamics of metallurgical machines. — Moscow: Metallurgy, 1983. — 295 p.
2. Shushkevich V.A. Fundamentals of electrotensiometry. — Minsk: Higher School, 1975. — 352 p.

3. A.A. Maltsev. Virtual electrotenzometry of torsional vibrations on the shaft of the rotary wagon tippler electric drive. — [Electronic resource] Original research (ORIS). 2023. Vol.13, #1. P.276–282. — Access mode: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2023-oris-1-2023/a231020>