

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Факультет безопасности информационных технологий

Дисциплина:  
«Электротехника»

**О Т Ч Е Т**  
**ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**

**Исследование трехфазных электрических цепей**

Группа N3246, поток ЭЛТЕХ. N23 1.4.1

*Вариант 28*

Работу выполнил: *студент Суханкулиев М.*

Дата защиты: 19.05.2025

Контрольный срок защиты: 19.05.2025

Оценка:

Количество баллов:

Санкт-Петербург  
2025 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Параметры источников и нагрузки для выполнения лабораторной работы .....	4
1     Опытная проверка основных соотношений в трёхфазной цепи с нагрузкой, включённой по схеме «звезда» .....	5
1.1     Схема исследуемой цепи .....	5
1.2     Расчётные формулы и расчёты. Сравнение результатов расчёта и эксперимента .	5
1.3     Векторные диаграммы напряжений и токов приёмника для всех пунктов работы, построенные по опытным данным .....	10
Выводы по работе.....	13
Список использованных источников.....	14

## ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – опытная проверка основных соотношений величин в трехфазной цепи для соединений приемников звездой при равномерной и неравномерной нагрузке фаз.

План работы:

Перечень опытов:

1. Симметричная нагрузка с нулевым проводом.
2. Симметричная нагрузка без нулевого провода.
3. Несимметричная нагрузка с нулевым проводом.
4. Несимметричная нагрузка без нулевого провода.
5. Обрыв линейного провода с нулевым проводом (обрыв линейного провода от источника, соответствующего «затемненной» фазе нагрузки).
6. Обрыв линейного провода без нулевого провода (обрыв линейного провода от источника, соответствующего «затемненной» фазе нагрузки).

## ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКОВ И НАГРУЗКИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

**Параметры трехфазного источника:**

$$E_{mA} = E_{mB} = E_{mC} = 63.6396 \text{ В}$$

$$\omega = 314.159 \frac{\text{рад}}{\text{с}} (f = 50 \text{ Гц}),$$

$$\psi_A = 0^\circ, \psi_B = -120^\circ, \psi_C = 120^\circ,$$

источники соединены «звездой».

**Таблица 1** Возможные параметры нагрузки ( $RL$ -нагрузки):

№	z4	z8	z12
$R, \text{ Ом}$	126	63	42
$L, \text{ Гн}$	0.354	0.177	0.117

**Таблица 2** Параметры нагрузки

№ вар.	для опытов 1,2			для опытов 3,4			для опытов 5,6		
	$z_a$	$z_b$	$z_c$	$z_a$	$z_b$	$z_c$	$z_a$	$z_b$	$z_c$
28	z4	z4	z4	z8	z12	z4	$\infty$	z12	z4

# 1 ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА ОСНОВНЫХ СООТНОШЕНИЙ В ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ С НАГРУЗКОЙ, ВКЛЮЧЁННОЙ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА»

## 1.1 Схема исследуемой цепи

$R_{Nn} = 0.09$  [Ом] — активное сопротивление медного провода с площадью поперечного сечения  $0.195$  [мм<sup>2</sup>] и длиной  $1$  [м].

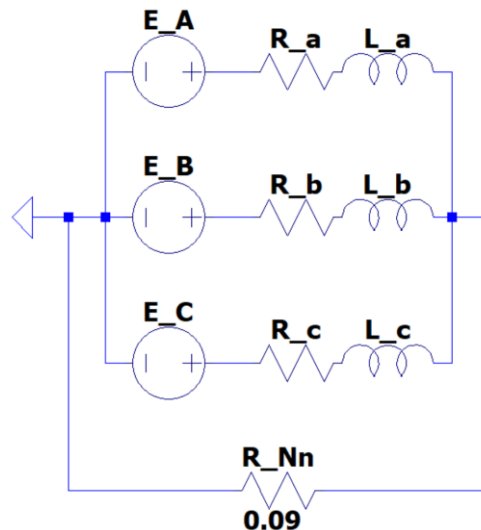


Рисунок 1 – Схема замещения трёхфазной цепи с нагрузкой, соединённой по схеме «звезда»

## 1.2 Расчётные формулы и расчёты. Сравнение результатов расчёта и эксперимента

Выражения для расчётов в схеме «звезда»:

Напряжение смещения нейтрали:

$$U_{Nn} = \frac{E_A Y_a + E_B Y_b + E_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c},$$

где  $E_A = \underline{E}_A \cdot e^{j0^\circ}$ ,  $E_B = \underline{E}_B \cdot e^{-j120^\circ}$ ,  $E_C = \underline{E}_C \cdot e^{j120^\circ}$ ,  $\underline{E}_A$ ,  $\underline{E}_B$ ,  $\underline{E}_C$  — действующие значения ЭДС в фазах источника,  $Y_a$ ,  $Y_b$ ,  $Y_c$  — комплексные действующие значения проводимостей фаз.

Комплексные действующие значения напряжений в фазах приемника:

$$U_a = E_A - U_{Nn}, \quad U_b = E_B - U_{Nn}, \quad U_c = E_C - U_{Nn}$$

Комплексные действующие значения фазных токов и тока нейтрального провода:

$$I_a = U_a Y_a, \quad I_b = U_b Y_b, \quad I_c = U_c Y_c, \quad I_{Nn} = I_a + I_b + I_c$$

Активная мощность фаз приёмника:

$$P_a = \underline{U}_a \underline{I}_a \cos \varphi_a, \quad P_b = \underline{U}_b \underline{I}_b \cos \varphi_b, \quad P_c = \underline{U}_c \underline{I}_c \cos \varphi_c$$

где  $\varphi_a$ ,  $\varphi_b$ ,  $\varphi_c$  — разности фаз между током и напряжением в фазах приёмника.

**Таблица 3**

№	Вид нагрузки		$U_a$ В	$U_b$ В	$U_c$ В	$I_a$ А	$I_b$ А	$I_c$ А	$P_a$ Вт	$P_b$ Вт	$P_c$ Вт	$U_{Nn}$ В	$I_{Nn}$ А	$Z_a$ Ом	$Z_b$ Ом	$Z_c$ Ом
1	Симметричная нагрузка с нулевым проводом	Изм	44,98	44,99	44,992	0,2656	0,2642	0,2669	8,8885	8,795	8,9757	0	0	169,3524	170,2877	168,5725
		Выч	45	45	45	0.268	0.268	0.268	9.0414	9.0414	9.0414	0	0	168.06	168.06	168.06
2	Симметричная нагрузка без нулевого провода	Изм	44,99	44,992	44,989	0,267	0,2654	0,266	8,9824	8,8751	8,9153	0	-	168,5019	169,5252	169,1316
		Выч	45	45	45	0.268	0.268	0.268	9.0414	9.0414	9.0414	0	-	168.06	168.06	168.06
3	Несимметричная нагрузка с нулевым проводом	Изм	44,991	44,988	44,992	0,533	0,8032	0,2663	17,8976	27,0955	8,9354	0	0,4642	84,4109	56,011	168,9523
		Выч	45	45	45	0.5355	0.8068	0.2679	18.0659	27.3203	9.038	$\approx 0$	0.4714	84.03	55.812	168.06
4	Несимметричная нагрузка без нулевого провода	Изм	46,9	34,16	56,7	0,44	0,6111	0,329	12,1968	15,6846	13,6384	13,1459	-	106,5909	55,8992	172,3404
		Выч	46.9423	34.1753	56.7679	0.4451	0.6131	0.3381	15.664	15.7763	14.3892	13.1719	-	84.03	55.812	168.06
5	Обрыв линейного провода с нулевым проводом	Изм	44,99	44,99	44,991	0	0,8	0,2671	0	26,88	8,9891	0	0,7034	$\infty$	56,2375	168,4425
		Выч	45	45	45	0	0.8068	0.2679	0	27.3203	9.038	$\approx 0$	0.7129	$\infty$	55.812	168.06
6	Обрыв линейного провода без нулевого провода	Изм	70,33	19,428	58,49	0	0,3484	0,3484	0	5,0981	15,2942	29,7981	-	$\infty$	55,7635	167,8817
		Выч	70.3302	19.432	58.5103	0	0.3485	0.3485	0	5.096	15.3002	29.8463	-	$\infty$	55.812	168.06

Общие параметры для всех опытов:

$$E_A = E_B = E_C = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{63.6396}{\sqrt{2}} \approx 45 \text{ [В]}$$

$$E_A = 45 \text{ [В]}$$

$$E_B = 45e^{-j120^\circ} \approx -22.5 - 38.9711j \text{ [В]}$$

$$E_C = 45e^{j120^\circ} \approx -22.5 + 38.9711j \text{ [В]}$$

$$Z_k = R_k + j\omega L_k$$

$$Y_k = \frac{1}{Z_k}$$

$$Z_{z4} = 126 + j \cdot 314.159 \cdot 0.354 \approx 126 + 111.2123j \text{ [Ом]}, \quad |Z_{z4}| \approx 168.06e^{41.43j^\circ} \text{ [Ом]}$$

$$Z_{z8} = 63 + j \cdot 314.159 \cdot 0.177 \approx 63 + 55.6061j \text{ [Ом]}, \quad |Z_{z8}| \approx 84.03e^{41.43j^\circ} \text{ [Ом]}$$

$$Z_{z12} = 42 + j \cdot 314.159 \cdot 0.117 \approx 42 + 36.7566j \text{ [Ом]}, \quad |Z_{z12}| \approx 55.8126e^{41.19j^\circ} \text{ [Ом]}$$

$$Y_{z4} = \frac{1}{126 + 111.2123j} \approx 0.0045 - 0.0039j \text{ [См]}, \quad |Y_{z4}| \approx 0.006e^{-40.91j^\circ} \text{ [См]}$$

$$Y_{z8} = \frac{1}{63 + 55.6061j} \approx 0.0089 - 0.0079j \text{ [См]}, \quad |Y_{z8}| \approx 0.0119e^{-41.59j^\circ} \text{ [См]}$$

$$Y_{z12} = \frac{1}{42 + 36.7566j} \approx 0.0135 - 0.0118j \text{ [См]}, \quad |Y_{z12}| \approx 0.0179e^{-41.16j^\circ} \text{ [См]}$$

$$\cos \varphi_k = \frac{R_k}{|Z_k|}$$

$$\cos \varphi_{z4} = \frac{126}{168.06} \approx 0.7497$$

$$\cos \varphi_{z8} = \frac{63}{84.03} \approx 0.7497$$

$$\cos \varphi_{z12} = \frac{42}{55.8126} \approx 0.7525$$

Также с подключенным нулевым проводом:

$$U_{Nn} = \frac{E_A Y_a + E_B Y_b + E_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c + Y_{Nn}}, \quad Y_{Nn} = \frac{1}{R_{Nn}} \approx 11.1111 \text{ [См]}$$

### Опыт 1:

Так как нагрузка симметричная,  $U_{Nn} = 0$  (смещения нет).

$$U_k = E_k$$

$$I_a = U_a Y_{z4} = 45(0.0045 - 0.0039j) \approx 0.2025 - 0.1756j \approx 0.268e^{-40.93j^\circ} \text{ [А]}$$

$$I_b = U_b Y_{z4} = (-22.5 - 38.9711j)(0.0045 - 0.0039j) \approx -0.2532 - 0.0876j \\ \approx 0.2679e^{19.08j^\circ} \text{ [А]}$$

$$I_c = U_c Y_{z4} = (-22.5 + 38.9711j)(0.0045 - 0.0039j) \approx 0.0507 + 0.2631j \\ \approx 0.2679e^{79.09j^\circ} [\text{A}]$$

$$P_k = P_a = U_k I_k \cos \varphi_{z4} = 45 \cdot 0.268 \cdot 0.7497 \approx 9.0414 [\text{Вт}]$$

### Опыт 2:

Поскольку нагрузка симметрична, ток в нейтрали все равно будет равен нулю, и напряжения в фазах будут такие же, как и в опыте 1. То есть нейтральный провод не влияет на режим работы при симметричной нагрузке.

### Опыт 3:

$$Z_a = Z_{z8}, \quad Z_b = Z_{z12}, \quad Z_c = Z_{z4}$$

$$U_{Nn} = \frac{E_A Y_a + E_B Y_b + E_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c + 11.1111} \rightarrow 0,$$

Так как проводимость нейтрального провода велика по сравнению с  $Y_a, Y_b, Y_c$ .

$$U_k = E_k$$

$$I_a = U_a Y_{z8} = 45 \cdot (0.0089 - 0.0079j) \approx 0.4005 - 0.3555j \approx 0.5355e^{-41.59j^\circ} [\text{A}]$$

$$I_b = U_b Y_{z12} = (-22.5 - 38.9711j) \cdot (0.0135 - 0.0118j) \approx -0.7636 - 0.2606j \approx \\ \approx 0.8068e^{18.84j^\circ} [\text{A}]$$

$$I_c = U_c Y_{z4} = (-22.5 + 38.9711j) \cdot (0.0045 - 0.0039j) \approx 0.0507 + 0.2631j \\ \approx 0.2679e^{79.09j^\circ} [\text{A}]$$

$$I_{Nn} = 0.4005 - 0.3555j - 0.7636 - 0.2606j + 0.0507 + 0.2631j = -0.3124 - 0.353j \\ \approx 0.4714e^{48.49j^\circ} [\text{A}]$$

$$P_a = U_a I_a \cos \varphi_{z8} = 45 \cdot 0.5355 \cdot 0.7497 \approx 18.0659 [\text{Вт}]$$

$$P_b = U_b I_b \cos \varphi_{z12} = 45 \cdot 0.8068 \cdot 0.7525 \approx 27.3203 [\text{Вт}]$$

$$P_c = U_c I_c \cos \varphi_{z4} = 45 \cdot 0.2679 \cdot 0.7497 \approx 9.038 [\text{Вт}]$$

### Опыт 4:

$$U_{Nn} = \frac{E_A Y_a + E_B Y_b + E_C Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c} = \\ \frac{45(0.0089 - 0.0079j) + (-22.5 - 38.9711j)(0.0135 - 0.0118j) + (-22.5 + 38.9711j)(0.0045 - 0.0039j)}{0.0089 - 0.0079j + 0.0135 - 0.0118j + 0.0045 - 0.0039j} = \\ \approx -0.0564 - 13.1718j \approx 13.1719e^{89.75j^\circ} [\text{В}]$$

$$U_a = 45 - (-0.0564 - 13.1718j) = 45.0564 + 13.1718j \approx 46.9423e^{16.3j^\circ} [\text{В}]$$

$$U_b = -22.5 - 38.9711j - (-0.0564 - 13.1718j) = -22.4436 - 25.7993j \\ \approx 34.1953e^{48.98j^\circ} [\text{В}]$$

$$U_c = -22.5 + 38.9711j - (-0.0564 - 13.1718j) = -22.4436 + 52.1429j \\ \approx 56.7679e^{-66.71j^\circ} [\text{В}]$$



$$I_a = (45.0564 + 13.1718j)(0.0089 - 0.0079j) \approx 0.5051 - 0.2387j \approx 0.4451e^{-25.29j^\circ} \text{ [A]}$$

$$I_b = (-22.4436 - 25.7993j)(0.0135 - 0.0118j) \approx -0.6074 - 0.0835j \approx 0.6131e^{7.83j^\circ} \text{ [A]}$$

$$I_c = (-22.4436 + 52.1429j)(0.0045 - 0.0039j) \approx 0.1024 + 0.3222j \approx 0.3381e^{72.37j^\circ} \text{ [A]}$$

Нейтрального провода нет  $\Rightarrow$  тока нейтрали  $I_{Nn}$  нет.

$$P_a = 46.9423 \cdot 0.4451 \cdot 0.7497 \approx 15.664 \text{ [Вт]}$$

$$P_b = 34.1953 \cdot 0.6131 \cdot 0.7525 \approx 15.7763 \text{ [Вт]}$$

$$P_c = 56.7679 \cdot 0.3381 \cdot 0.7497 \approx 14.3892 \text{ [Вт]}$$

#### Опыт 5:

$$Z_a = \infty \Rightarrow Y_a = 0 \text{ (обрыв)}$$

$$U_{Nn} \approx 0$$

$$U_k = E_k$$

$$I_a = U_a Y_a = 0$$

$$I_b = U_b Y_{z12} = (-22.5 - 38.9711j)(0.0135 - 0.0118j) \approx -0.7636 - 0.2606j$$

$$\approx 0.8068e^{18.84j^\circ} \text{ [A]}$$

$$I_c = U_c Y_{z4} = (-22.5 + 38.9711j)(0.0045 - 0.0039j) \approx 0.0507 + 0.2631j$$

$$\approx 0.2679e^{79.09j^\circ} \text{ [A]}$$

$$I_{Nn} = 0 - 0.7636 - 0.2606j + 0.0507 + 0.2631j = -0.7129 + 0.0025j \approx 0.7129e^{-0.2j^\circ} \text{ [A]}$$

$$P_a = 0$$

$$P_b = 45 \cdot 0.8068 \cdot 0.7525 \approx 27.3203 \text{ [Вт]}$$

$$P_c = 45 \cdot 0.2679 \cdot 0.7497 \approx 9.038 \text{ [Вт]}$$

#### Опыт 6:

Решение аналогично:

$$Y_a = 0, \quad I_a = 0, \quad P_a = 0$$

Только

$I_{Nn}$  нет.

$$U_{Nn} = \frac{E_B Y_b + E_C Y_c}{Y_b + Y_c} =$$

$$= \frac{(-22.5 - 38.9711j)(0.0135 - 0.0118j) + (-22.5 + 38.9711j)(0.0045 - 0.0039j)}{0.0135 - 0.0118j + 0.0045 - 0.0039j} =$$

$$\approx -22.5615 - 19.5392j \approx 29.8463e^{40.89j^\circ} \text{ [В]}$$

$$U_a = 45 - (-22.5615 - 19.5392j) \approx 67.5615 + 19.5392j \approx 70.3302e^{16.13j^\circ} \text{ [В]}$$

$$U_b = (-22.5 - 38.9711j) - (-22.5615 - 19.5392j) \approx 0.0615 - 19.4319j$$

$$\approx 19.432e^{-89.82j^\circ} \text{ [В]}$$

$$U_c = (-22.5 + 38.9711j) - (-22.5615 - 19.5392j) \approx 0.0615 + 58.5103j$$

$$\approx 58.5103e^{89.94j^\circ} [\text{В}]$$

$$I_b = U_b Y_{z12} = (0.0615 - 19.4319j)(0.0135 - 0.0118j) \approx -0.2285 - 0.2631j$$

$$\approx 0.3485e^{49.03j^\circ} [\text{А}]$$

$$I_c = U_c Y_{z4} = (0.0615 + 58.5103j)(0.0045 - 0.0039j) \approx 0.2285 + 0.2631j$$

$$\approx 0.3485e^{49.03j^\circ} [\text{А}]$$

$$P_b = 19.432 \cdot 0.3485 \cdot 0.7525 \approx 5.096 [\text{Вт}]$$

$$P_c = 58.5103 \cdot 0.3488 \cdot 0.7497 \approx 15.3002 [\text{Вт}]$$

### 1.3 Векторные диаграммы напряжений и токов приёмника для всех пунктов работы, построенные по опытным данным

Значения  $U_{Nn}$  (фиолетовые) отображается как  $-3U_{Nn}$ .

Значения  $a, b, c$  – красный, синий, зеленый вектора соответственно.

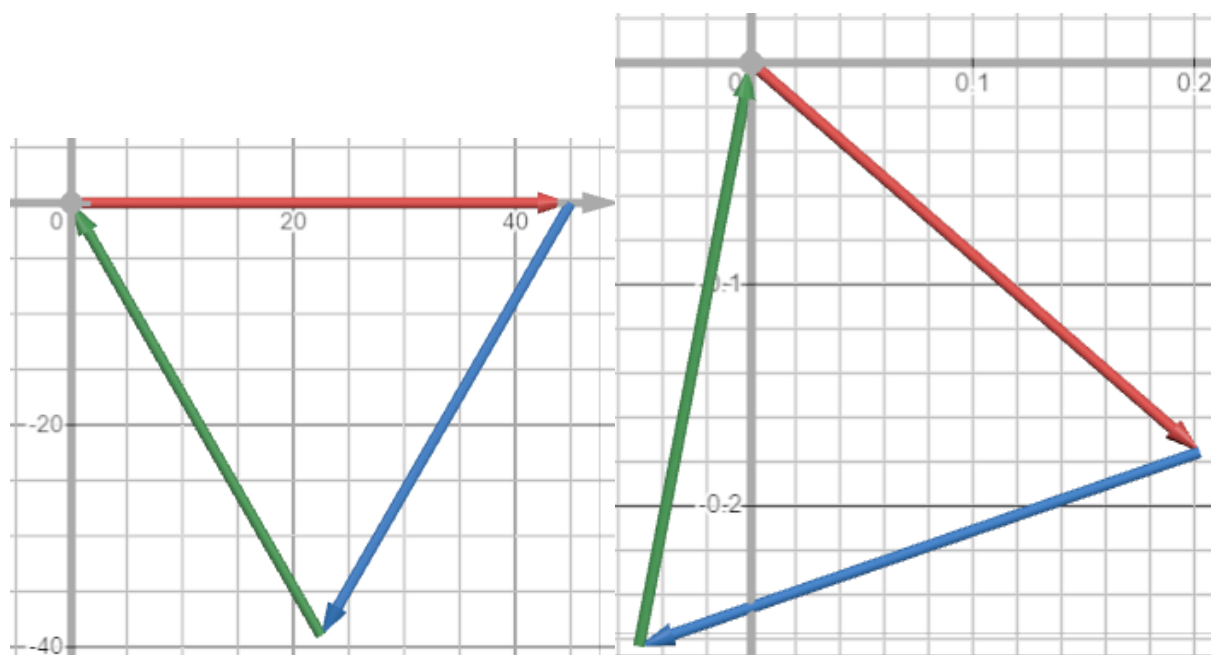


Рисунок 2 – Векторные диаграммы  $U$  (слева) и  $I$  (справа) опыта 1 и 2

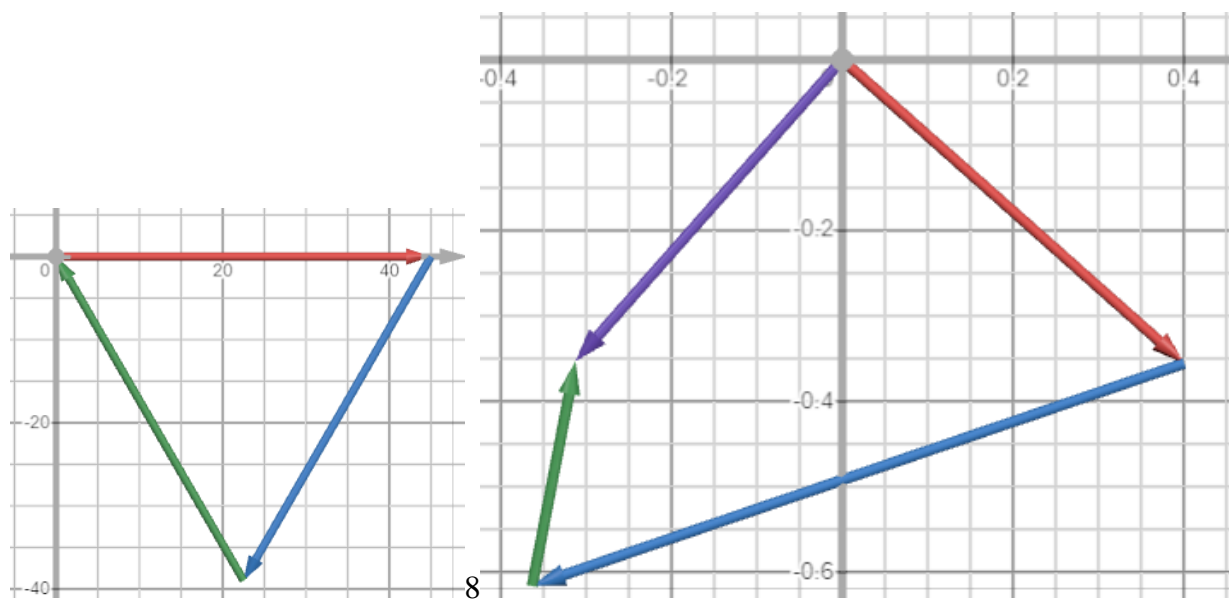


Рисунок 3 – Векторные диаграммы  $U$  и  $I$  опыта 3



Рисунок 4 – Векторные диаграммы  $U$  и  $I$  опыта 4

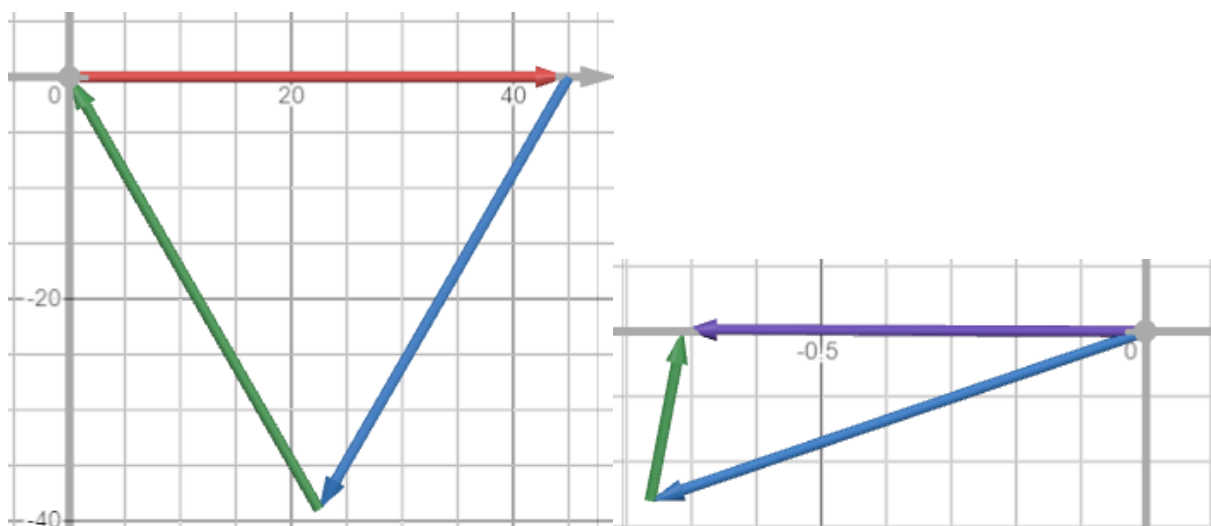


Рисунок 5 – Векторные диаграммы  $U$  и  $I$  опыта 5

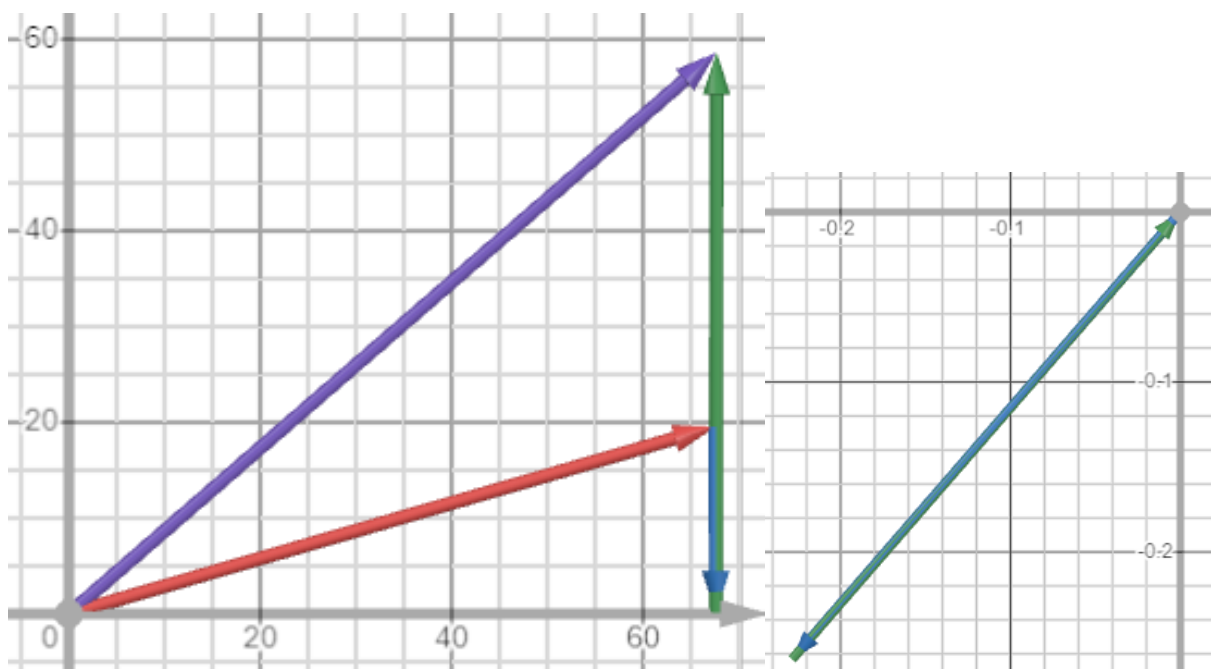


Рисунок 6 – Векторные диаграммы  $U$  и  $I$  опыта 6

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В лабораторной работе опытно подтверждены основные соотношения токов и напряжений в трехфазной цепи с нагрузкой, соединённой «звездой», при различных режимах нагрузки: симметричной, несимметричной, с нулевым и без нулевого провода.

При симметричной нагрузке напряжение нейтрали отсутствует, а подключение нулевого провода не влияет на параметры цепи. При несимметричной нагрузке напряжение нейтрали и токи в нейтральном проводе возникают и зависят от характеристик нагрузки и наличия нулевого провода.

Обрыв фазного провода приводит к значительным искажениям напряжений и токов, что подтверждается экспериментальными данными и векторными диаграммами, демонстрируя важность нулевого провода для стабильности цепи.

Расчётные значения токов, напряжений и мощностей хорошо согласуются с экспериментальными результатами, что свидетельствует о корректности используемых формул и методик.

Итог: нейтральный провод обязателен при несимметричной нагрузке. Он предотвращает перекосы напряжений и защищает оборудование. В симметричных системах можно обойтись без него.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Усольцев А.А. Общая электротехника: Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 305с. – URL : [ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА Учебные издания НИУ ИТМО](#).
2. Абдуллин А.А., Горшков К.С., Ловлин С.Ю., Поляков Н.А., ). Никитина М.В. Общая электротехника. Методические указания к лабораторному практикуму в программе LTspice : Учебно методическое пособие. - Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. - 52 с. – URL : [Общая электротехника. Методические указания к лабораторному практикуму в программе LTspice : Учебно-методическое пособие. Учебные издания НИУ ИТМО](#).