

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИТМО”

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

Лабораторная работа №4:

**«Исследование трёхфазных
электрических цепей»**

по дисциплине Электротехника
Вариант №12

Выполнил: Студент группы
R3237 Осинина Т. С
Преподаватель: Горшков К.С.

Санкт-Петербург, 2022

1) Цель работы: исследование свойств линейных трёхфазных цепей синусоидального тока при соединении приёмников звездой и треугольником с равномерной и неравномерной нагрузкой.

2) Метод экспериментального исследования:

1. Анализ
2. Лабораторный эксперимент (в программе LTspice)

3) План работы

Часть 1:

Опытная проверка основных соотношений в трёхфазной цепи с нагрузкой, включённой по схеме «звезда», в следующих режимах:

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.
6. Обрыв линейного провода без нулевого провода.
7. Короткое замыкание одной фазы нагрузки без нулевого провода.

Часть 2:

Опытная проверка основных соотношений в трёхфазной цепи с нагрузкой, включённой по схеме «треугольник», в следующих режимах:

1. Симметричная нагрузка.
2. Несимметричная нагрузка.
3. Обрыв одной фазы нагрузки.
4. Обрыв двух фаз нагрузки.
5. Обрыв линейного провода с симметричной нагрузкой.
6. Обрыв линейного провода с несимметричной нагрузкой.

4) Формулы для расчета

Выражения для расчётов в схеме «звезда».

Напряжение смещения нейтрали: $\underline{U}_{Nn} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_a + \underline{E}_B \underline{Y}_b + \underline{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c}$, где

$\underline{E}_A = E_A \cdot e^{j0^\circ}$, $\underline{E}_B = E_B \cdot e^{-j120^\circ}$, $\underline{E}_C = E_C \cdot e^{j120^\circ}$, E_A, E_B, E_C - действующие значения ЭДС в фазах источника, $\underline{Y}_a, \underline{Y}_b, \underline{Y}_c$ - комплексные действующие значения проводимостей фаз.

Комплексные действующие значения напряжений в фазах приёмника: $\underline{U}_a = \underline{E}_A - \underline{U}_{Nn}$, $\underline{U}_b = \underline{E}_B - \underline{U}_{Nn}$, $\underline{U}_c = \underline{E}_C - \underline{U}_{Nn}$.

Комплексные действующие значения фазных токов и тока нейтрального провода: $\underline{I}_a = \underline{U}_a \underline{Y}_a$, $\underline{I}_b = \underline{U}_b \underline{Y}_b$, $\underline{I}_c = \underline{U}_c \underline{Y}_c$, $\underline{I}_{Nn} = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c$.

Активная мощность фаз приёмника: $P_a = U_a I_a \cos \varphi_a$, $P_b = U_b I_b \cos \varphi_b$, $P_c = U_c I_c \cos \varphi_c$, где $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ - разности фаз между током и напряжением в фазах приёмника.

Выражения для расчётов в схеме «треугольник».

Комплексные действующие значения напряжений в фазах приёмника: $\underline{U}_{ab} = \underline{E}_A - \underline{E}_B$, $\underline{U}_{bc} = \underline{E}_B - \underline{E}_C$, $\underline{U}_{ca} = \underline{E}_C - \underline{E}_A$.

Комплексные действующие значения токов в фазах приёмника: $\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab} \underline{Y}_{ab}$, $\underline{I}_{bc} = \underline{U}_{bc} \underline{Y}_{bc}$, $\underline{I}_{ca} = \underline{U}_{ca} \underline{Y}_{ca}$.

Комплексные действующие значения линейных токов: $\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}$, $\underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}$, $\underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$.

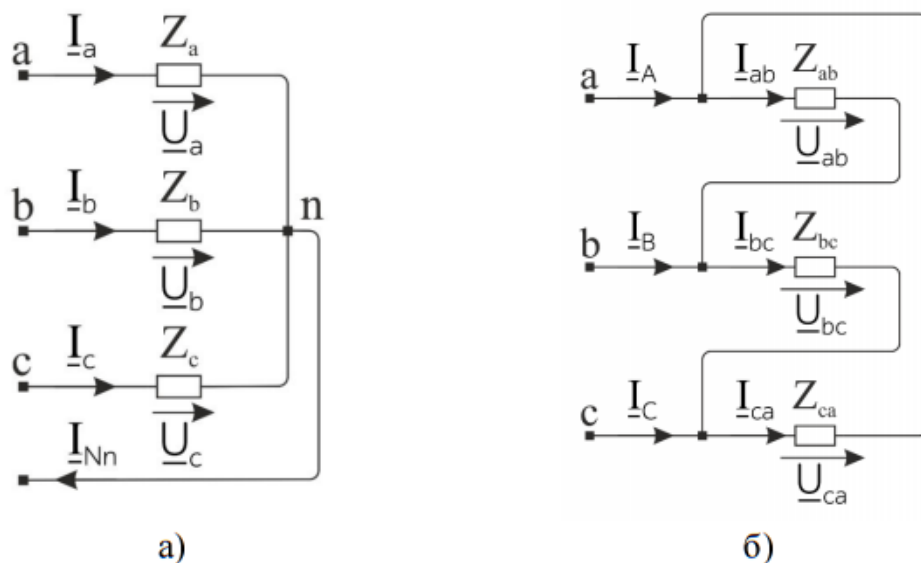


Рисунок 3.3 – Схема замещения нагрузки, соединённой по схеме а) «звезда», б) «треугольник».

5) Значения по варианту

		Star-Star											
RMS value		Balanced Load			Unbalanced Load								
								0 - means absent			Inf - means absent		
E [V]	F [Hz]	R [Ohm]	L [mH]	C [mkF]	Ra [Ohm]	Rb [Ohm]	Rc [Ohm]	La [mH]	Lb [mH]	Lc [mH]	Ca [mkF]	Cb [mkF]	Cc [mkF]
164	60	45	281	Inf	45	27	27	281	365	393	Inf	Inf	Inf

Star Exp 5,6	Star Exp 7	Delta Exp 3	Delta Exp 4	Delta Exp 5, 6
StarLineBreakage	StarPhaseShortCircuit	DeltaPhaseBreakage1	DeltaPhaseBreakage2	DeltaLineBreakage
B	A	bc	ab & ca	B

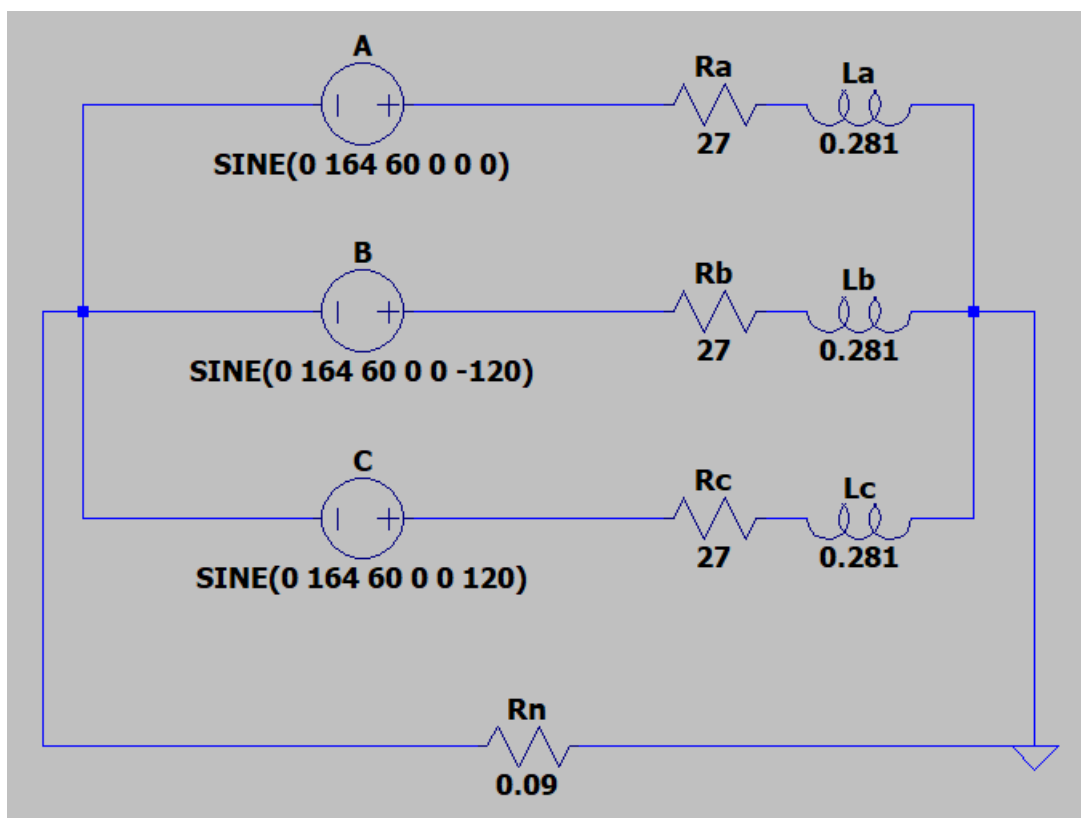
6) Часть 1

$$E_{mA} = E_{mC} = E_{mB} = 164 \text{ В}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 = 376,8 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

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

$$R_n = 0,09 \text{ Ом}, l = 1 \text{ м}, p = 0.196 \text{ мм}^2$$



1.Схема цепи

Таблица 3.1.

№	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	115,87	115,87	115,87	1,0366	1,0435	1,0491	35,433	34,257	34,856	0	0	45	45	45
		Выч	115,096	115,096	115,096	1,5002	1,5002	1,5002	60,7635	60,7635	60,7635	0,000	0,000	45	45	45
2	Симметричная нагрузка без нулевого провода	Изм	115,86	115,86	115,86	1,0832	1,0153	1,01	50,403	56,23	53,623	-	-	45	45	45
		Выч	115,966	115,966	115,966	1,170	1,170	1,170	61,637	61,637	61,637	0,000	0,000	45	45	45
3	Несимметричная нагрузка с нулевым проводом	Изм	115,85	115,85	115,85	1,0325	0,839	0,808	51	34,243	8,7678	0	0,254	45	27	27
		Выч	115,966	115,966	115,966	1,170	0,984	0,918	61,637	26,164	22,733	0,000	0,227	45	27	27
4	Несимметричная нагрузка без нулевого провода	Изм	107,07	126,11	115,29	0,946	0,918	0,805	53,037	32,338	19,67	-	-	45	27	27
		Выч	107,992	127,044	113,742	1,090	1,078	0,900	53,453	31,402	21,869	0,000	0,000	45	27	27
5	Обрыв линейного провода с нулевым проводом	Изм	115,76	0	115,76	1,0309	0	1,5191	50,249	0	52,988	0,169	1,887	45	∞	27
		Выч	115,966	0,000	115,966	1,170	0,000	0,918	61,637	0,000	22,733	0,000	1,067	45	∞	27
6	Обрыв линейного провода без нулевого провода	Изм	87,203	0	114,85	0,801	0	0,801	29,81	0	20,944	-	-	45	∞	27
		Выч	88,989	0,000	113,503	0,898	0,000	0,898	36,296	0,000	21,777	0,000	0,000	45	∞	27
7	Короткое замыкание одной фазы нагрузки без нулевого провода	Изм	0	200,7	200,69	0	2,3488	1,682	0	102,69	47,491	0	0	0	27	27
		Выч	0,000	136,886	203,851	0,000	1,613	1,381	0,000	85,882	70,246	0,000	0,000	0	27	27

Пример расчета для опыта №1.

$$j := \sqrt{-1} = i$$

$$Ea := 164 \cdot \exp(j \cdot 0) = 164$$

$$Eb := 164 \cdot \exp(j \cdot 120) = 133,5257 + 95,2202 \cdot i$$

$$Ec := 164 \cdot \exp(j \cdot (-120)) = 133,5257 - 95,2202 \cdot i$$

$$Ra := 45$$

$$Rb := 45$$

$$Rc := 45$$

$$La := 0,281$$

$$Lb := 0,281$$

$$Lc := 0,281$$

$$f := 60$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot f = 376,9911$$

$$Za := \sqrt{Ra^2 + (\omega \cdot La)^2} = 115,0961$$

$$Zb := \sqrt{Rb^2 + (\omega \cdot Lb)^2} = 115,0961$$

$$Zc := \sqrt{Rc^2 + (\omega \cdot Lc)^2} = 115,0961$$

$$\varphi a := \arctg\left(\omega \cdot \frac{La}{Ra}\right) = 1,1691$$

$$\varphi b := \arctg\left(\omega \cdot \frac{Lb}{Rb}\right) = 1,1691$$

$$\varphi c := \arctg\left(\omega \cdot \frac{Lc}{Rc}\right) = 1,1691$$

$$Ya := \frac{1}{Za} = 0,0087$$

$$Yb := \frac{1}{Zb} = 0,0087$$

$$Yc := \frac{1}{Zc} = 0,0087$$

$$Ua := Ea = 164$$

$$Ub := Eb = 133,5257 + 95,2202 \cdot i$$

$$Uc := Ec = 133,5257 - 95,2202 \cdot i$$

$$ya := Ya \cdot \exp(j \cdot \varphi a) = 0,0023 + 0,0089 \cdot i$$

$$|Ua| = 164$$

$$yb := Yb \cdot \exp(j \cdot \varphi b) = 0,0023 + 0,0089 \cdot i$$

$$|Ub| = 164$$

$$yc := Yc \cdot \exp(j \cdot \varphi c) = 0,0023 + 0,0089 \cdot i$$

$$|Uc| = 164$$

$$Ia := Ua \cdot ya = 0,3705 + 1,4537 \cdot i$$

$$Ib := Ub \cdot yb = -0,5424 + 1,3987 \cdot i$$

$$Ic := Uc \cdot yc = 1,1457 + 0,9684 \cdot i$$

$$|Ia| = 1,5002$$

$$|Ic| = 1,5002$$

$$|Ib| = 1,5002$$

$$Pa := Ia \cdot Ua \cdot \cos\left(\arctg\left(\omega \cdot \frac{La}{Ra}\right)\right) = 15,0073 + 58,8811 \cdot i$$

$$Pb := Ib \cdot Ub \cdot \cos\left(\arctg\left(\omega \cdot \frac{Lb}{Rb}\right)\right) = -50,7798 + 33,3709 \cdot i$$

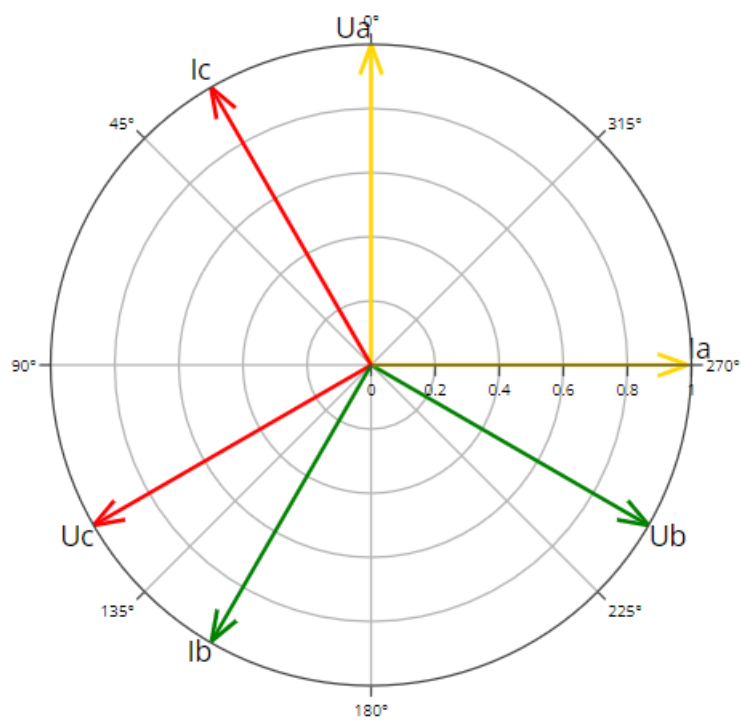
$$Pc := Ic \cdot Uc \cdot \cos\left(\arctg\left(\omega \cdot \frac{Lc}{Rc}\right)\right) = 60,558 + 4,9938 \cdot i$$

$$|Pa| = 60,7635$$

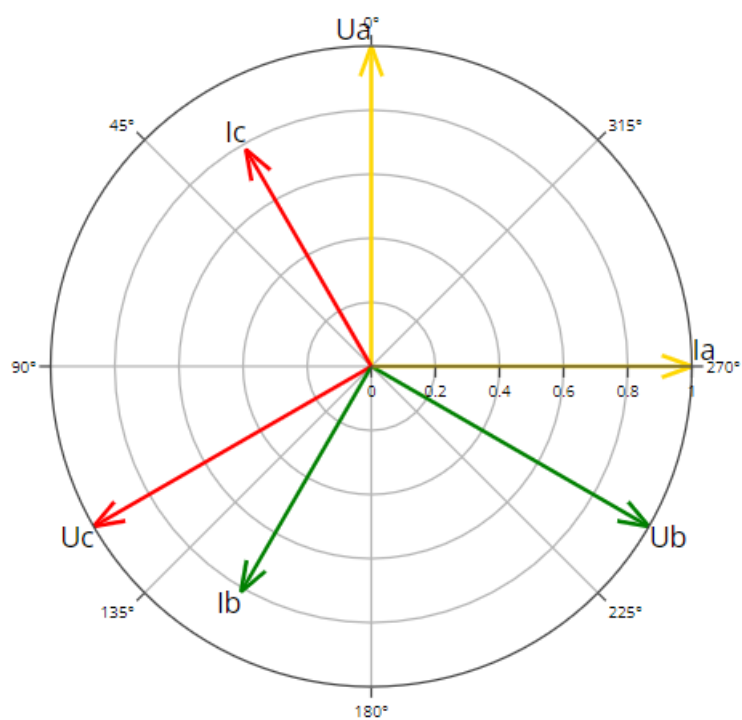
$$|Pc| = 60,7635$$

$$|Pb| = 60,7635$$

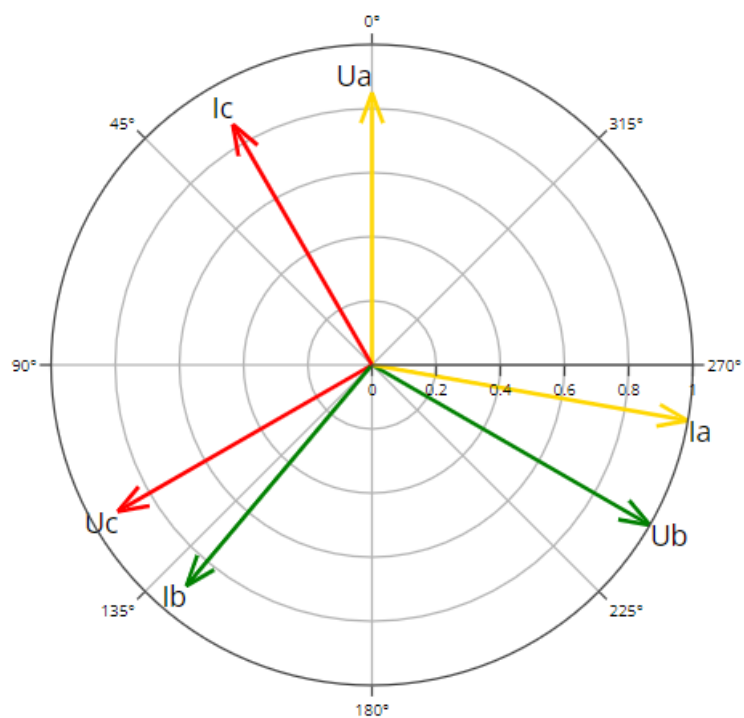
Векторные диаграммы



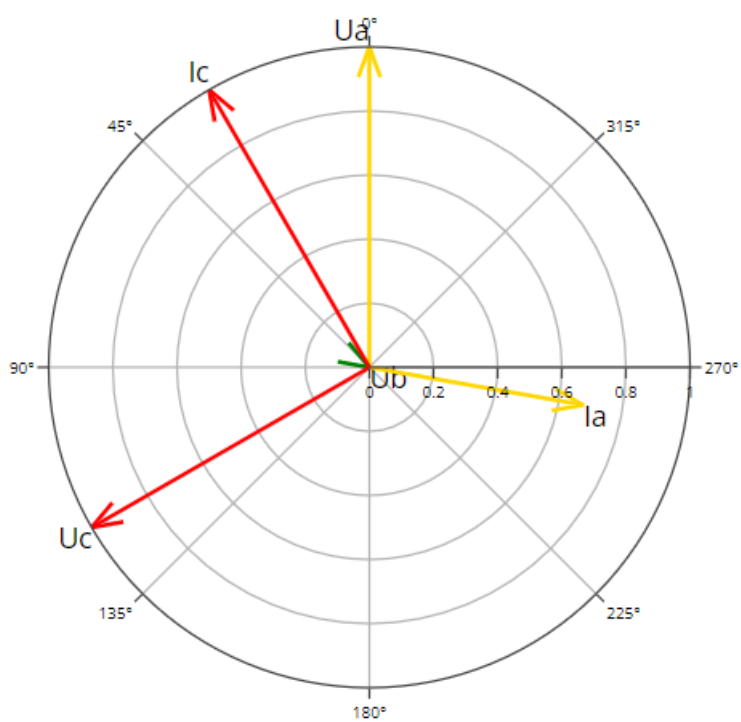
2. Векторная диаграмма для опыта №1 и №2



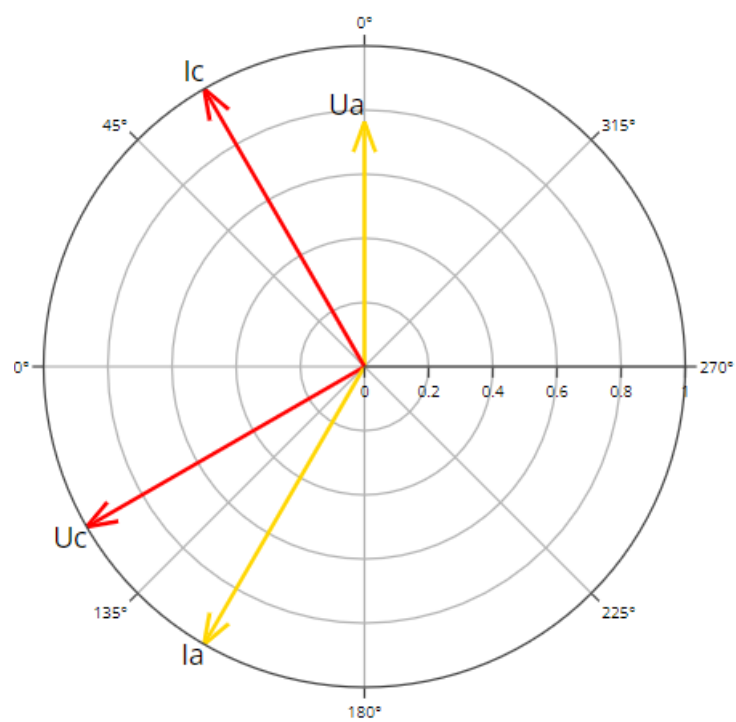
3. Векторная диаграмма для опыта №3



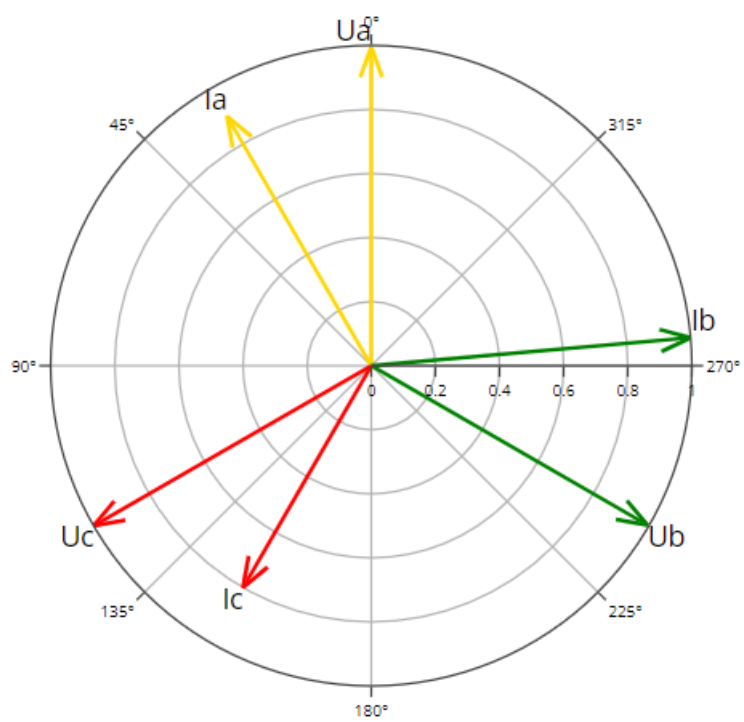
4. Векторная диаграмма для опыта №4



5. Векторная диаграмма для опыта №5

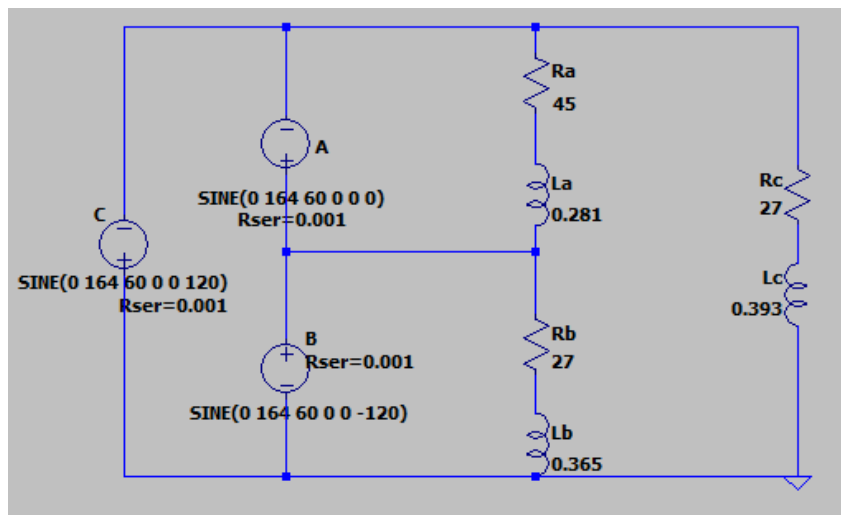


6. Векторная диаграмма для опыта №6



7. Векторная диаграмма опыта №7

7) Часть 2



8. Схема цепи

Таблица 3.2.

№	Вид нагрузки		Ia, А	Ib, А	Ic, А	Iab, А	Ibc, А	Ica, А	Pab, Вт	Pbc, Вт	Pca, Вт	Zab, Ом	Zbc, Ом	Zca, Ом
1	Симметричная нагрузка	Изм	1.63	1.63	1.63	0,891	0,891	0,891	45.175	45.175	45.175	45	45	45
		Выч	1.737	1.737	1.737	0.8686	0.8686	0.8686	47,854	47,85	47,85	45	45	45
2	Несимметричная нагрузка	Изм	1,69	1,81	1,55	0,891	0,819	0,7	44.336	19,22	13.66	45	27	27
		Выч	1,563	1,611	1,420	1,009	0,849	0,791	45,813	19,45	16,9	45	27	27
3	Обрыв одной фазы нагрузки	Изм	1,57	1,761	1,0	0	1.697	0,6	0	18,5	16,22	45	27	27
		Выч	1,563	1,611	1,420	0,000	0,849	0,791	0,000	19,45	16,9	45	27	27
4	Обрыв двух фаз нагрузки	Изм	0,962	1,0	0	0,809	0	0		0	0	45	27	27
		Выч	1,009	1,009	0,000	1,009	0,000	0,000	45,813	0,000	0,000	45	27	27
5	Обрыв линейного провода с симметричной нагрузкой	Изм	0	1,1	1,08	0,257	0,79	0,326	6,97	27,8	6,9	45	45	45
		Выч	0,000	1,041	1,041	0,393	0,787	0,393	6,961	27,844	6,961	45	45	45
6	Обрыв линейного провода с несимметричной нагрузкой	Изм	0,000	0,832	0,965	0,085	0,532	0,425	0,67	9,7	6,5	45	27	27
		Выч	0,000	0,736	1,021	0,131	0,662	0,514	0,770	11,819	7,137	45	27	27

Вывод: в процессе выполнения лабораторной работе № 4 были исследованы свойства линейных трёхфазных цепей синусоидального тока при соединении приёмников звездой и треугольником с равномерной и неравномерной нагрузкой. Также были получены значения напряжения, силы тока, мощности для каждого случая с помощью расчетов и эксперимента, сравнивая их, видно, что значения похожи (есть некоторые отличия по причине погрешности измерений), таким образом работа выполнена верно.