

Лабораторная работа 3

Расчет трехфазных цепей

Цель работы

Опытная проверка соотношений, связывающих напряжения и токи трёхфазных цепей при соединении приёмников звездой.

Теоретические сведения

1. Схемы соединения фаз источника и приемника

Трёхфазная цепь – это совокупность трёхфазной системы ЭДС, трёхфазной нагрузки и соединительных проводов.

Трёхфазную систему ЭДС (напряжений) получают с помощью синхронного трёхфазного генератора, в обмотках которого при вращении ротора ин-

дуктируются три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, равные по амплитуде и сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 120° :

$$e_A = E_m \sin \omega t, \quad \underline{E}_A = E_m / \sqrt{2} e^{j0^\circ} = E_\phi;$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \quad \underline{E}_B = E_\phi e^{-j120^\circ};$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ),$$

$$\underline{E}_C = E_\phi e^{j120^\circ}.$$

Обмотки статора генератора соединяют по схеме звезда (рис. 1, а, слева) или треугольник (рис. 1, б, слева). Фазы трёх-

фазного приёмника (нагрузки) также соединяют по схеме звезда или треугольник (рис. 1, а и б, справа).

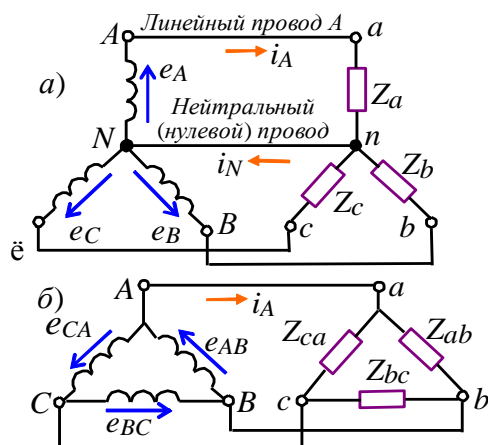


Рис. 1

2. Соединение фаз приемника звездой

На рис. 2, а изображена трёхфазная цепь, у которой источник и приёмник соединены звездой с *нейтральным (нулевым) проводом* (четырёхпроводная система). Фазные напряжения приёмника в схеме звезда-звезда с нейтральным проводом равны фазным напряжениям источника:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B \text{ и } \underline{U}_c = \underline{U}_C,$$

а так называемое *напряжение смещения нейтрали* между точками n и N при нулевом сопротивлении нейтрального провода равно нулю ($\underline{U}_{nN} = 0$).

В четырёхпроводной системе обеспечивается независимый режим работы фаз приёмника (кроме короткого замыкания в фазе, которое недопустимо): в случае изменения сопротивления одной фазы (в том числе при её обрыве) напряжения и токи двух других фаз не изменяются.

При этом соблюдается соотношение между линейными и фазными напряжениями: $U_\phi = U_\Delta / \sqrt{3}$, т. е. *фазные напряжения в $\sqrt{3}$ раза меньше линейных*.

В осветительных системах линейное напряжение $U_L = 380$ В, а фазное $U_\phi = U_L/\sqrt{3} = 220$ В (реже $U_L = 220$ В, а $U_\phi = U_L/\sqrt{3} = 127$ В).

При **неравномерной** нагрузке ($Z_a \neq Z_b \neq Z_c$, например, $Z_a = -jX_a$, $Z_b = R_b - jX_b$ и $Z_c = R_c - jX_c$), фазные и линейные токи (для каждой фазы) $I_\phi = U_\phi / Z_\phi = I_L$, а ток в нейтральном проводе (рис. 2, б)

$$I_N = I_a + I_b + I_c.$$

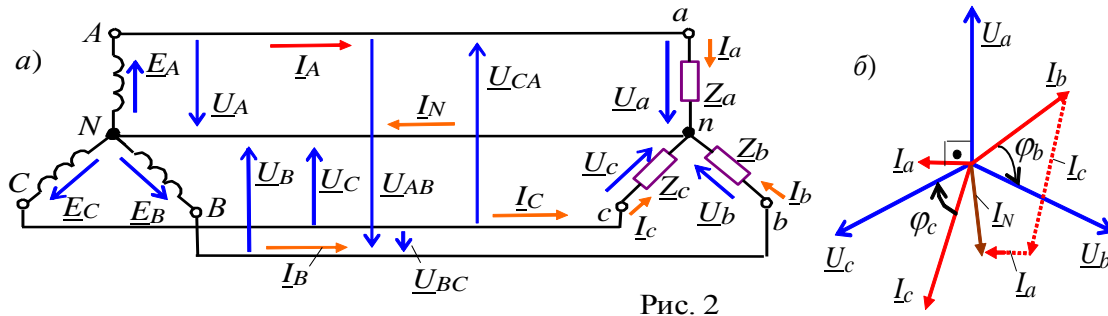


Рис. 2

В случае *равномерной* нагрузки ($Z_a = Z_b = Z_c = Z_\phi$) модули фазных токов одинаковы и равны соответствующим линейным токам $I_\phi = I_L = U_\phi / Z_\phi$.

На векторной диаграмме векторы токов составляют симметричную звёзду (как и векторы фазных напряжений), поэтому сумма комплексов фазных токов

$$I_N = I_a + I_b + I_c = 0,$$

т. е. ток в нейтральном проводе равен нулю и нейтральный провод можно убрать. В результате получим *трёхпроводную* систему включения приёмника с генератором по схеме звезда-звезда (Y-Y).

При *неравномерной* нагрузке и в случае отсутствия нейтрального провода (трёхпроводная система Y-Y без нуля) имеет место зависимый режим работы фаз приёмника: при изменении сопротивления одной фазы изменяются все фазные напряжения. Между точками n и N (см. рис. 2, а) появится *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 $Y_a = 1/Z_a$; $Y_b = 1/Z_b$; $Y_c = 1/Z_c$ – проводимости фаз нагрузки.

Напряжения фаз приёмника находят из соотношений:

$$U_a = U_A - U_{nN}; U_b = U_B - U_{nN} \text{ и } U_c = U_C - U_{nN}.$$

В результате получается несимметричная звезда фазных напряжений приёмника (“перекос” фаз), причем в одной фазе, например, в фазе a , напряжение U_a может возрасти и значительно превысить фазное напряжение U_A генератора (что в большинстве случаев недопустимо), а в других фазах – уменьшиться. Значительная асимметрия фазных напряжений приёмника образуется при разных по характеру сопротивлениях нагрузки, например, при

$$Z_a = R_A, Z_b = jX_L \text{ и } Z_c = -jX_C.$$

По этой причине в *осветительных системах* запрещается устанавливать предохранители и выключатели в нейтральном проводе.

Комплексы токов фаз приёмника:

$I_a = U_a/Z_a; I_b = U_b/Z_b; I_c = U_c/Z_c,$
а их сумма равна нулю, т. е.
 $I_a + I_b + I_c = 0.$

Учебные задания и методические указания к их выполнению

Задание 1. Собрать схему (рис. 3) для исследования трёхфазной цепи в различных режимах её работы при соединении источника и приёмника по схеме звезда-звезда.

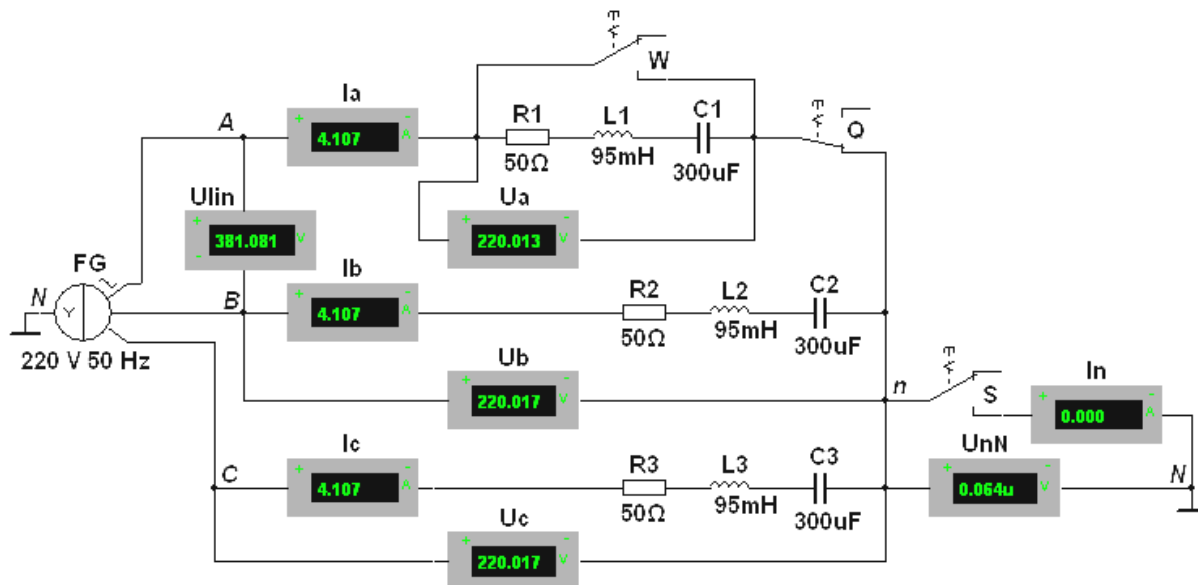


Рис. 3

С этой целью **установить** следующие режимы и параметры устройств и элементов:

– ЭДС фазы $E_\phi = 220$ В и частоту $f = 50$ Гц трёхфазного источника напряжения **FG** (рис. 3);

– режим **АС** и сопротивление $R_V = 10$ МОм вольтметров:

- **Ulin** (для измерения линейного напряжения генератора);
- **Ua, Ub и Uc** (для измерения фазных напряжений приёмника);
- **UnN** (для измерения напряжения смещения нейтрали);

– режим **АС** и сопротивление $R_A = 1$ мОм амперметров:

- **Ia, Ib и Ic** (для измерения фазных токов приёмника);
- **In** (для измерения тока в нейтральном проводе);

– назначить клавиши **Q, W** и **S** клавиатуры для управления ключами;

– значения сопротивлений фаз приёмника (нагрузки):

$Z_a = Z_b = Z_c = R + jX_L = [(20 + N) + j30]$, Ом для чётных вариантов N и

$Z_a = Z_b = Z_c = R - jX_C = [(20 + N) - j30]$, Ом для нечётных вариантов,

где N – номер записи фамилии студента в учебном журнале группы.

По данным экспериментов **построить** векторную диаграмму фазных напряжений и токов (в масштабе) потребителей четырёхпроводной цепи при неравномерной нагрузке. Фазные углы $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ **определить** по формуле

$$\varphi_\phi = \pm \arctg(X_\phi / R_\phi).$$

Задание 2. Расчет цепи трехфазного тока.

1. Рассчитайте линейные и фазные токи и напряжения в схеме согласно своему варианту (номер варианта соответствует номеру в журнале).
2. Определите активные мощности в ветвях.
3. Определите линейные и фазные токи и напряжения с использованием MS11.
4. Постройте векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений в схеме, выполните проверку.

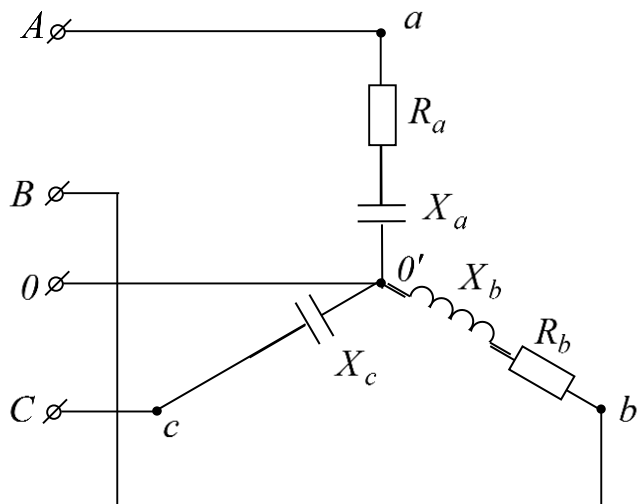


Рисунок 1

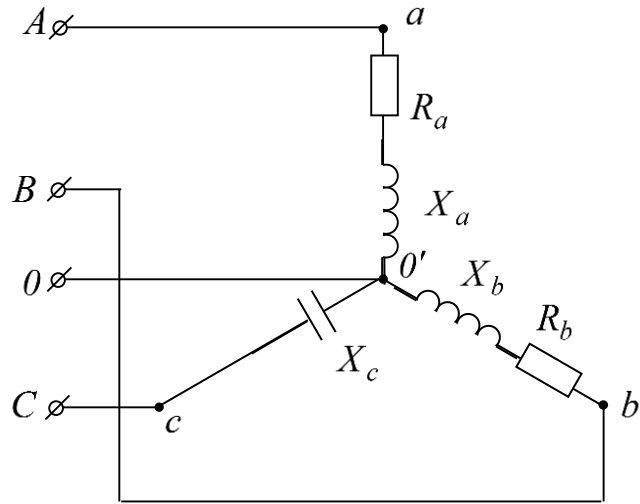


Рисунок 2

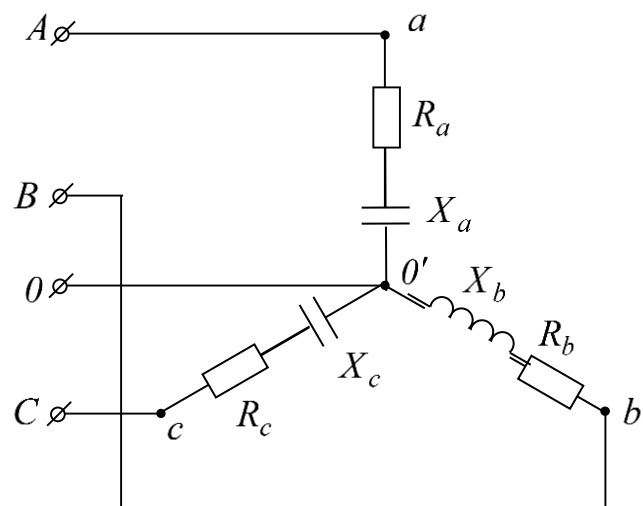


Рисунок 3

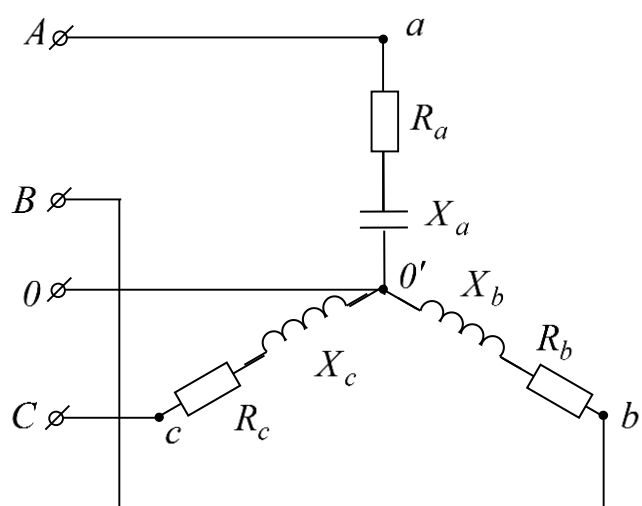


Рисунок 4

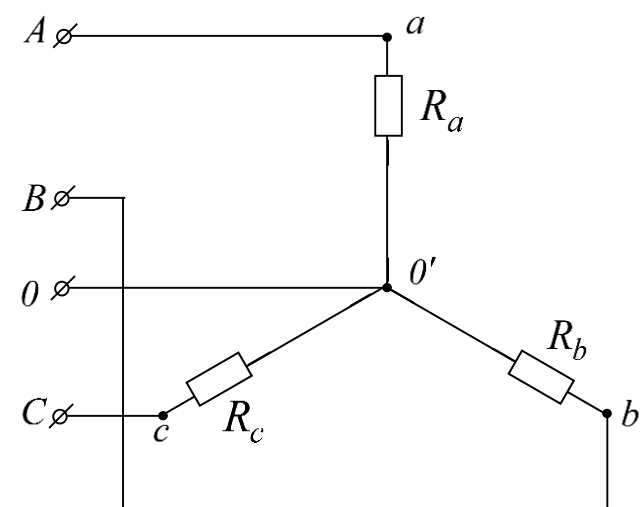


Рисунок 5

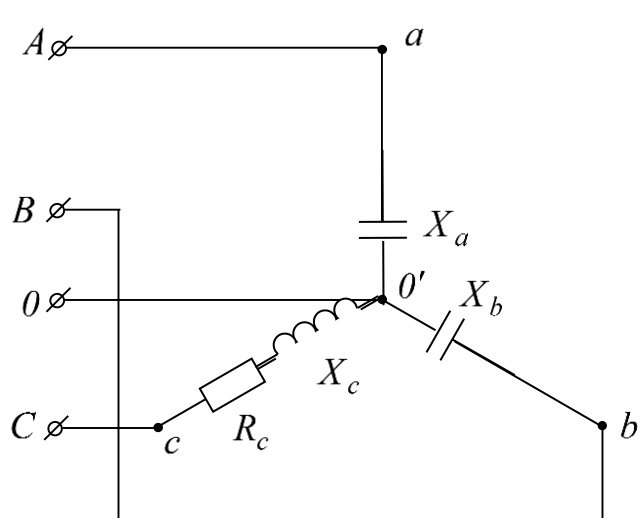


Рисунок 6

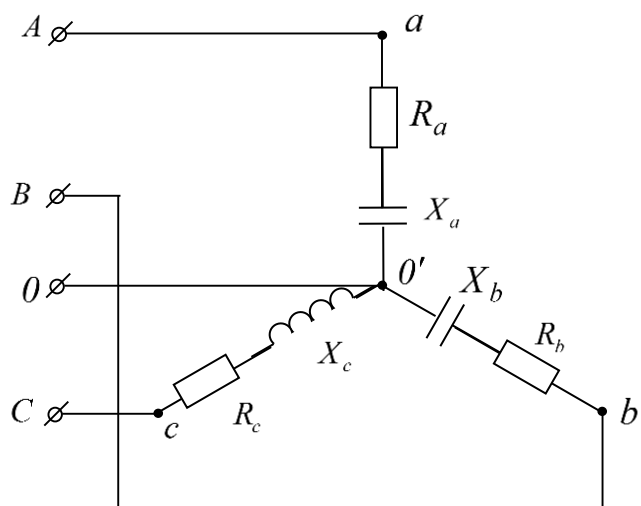


Рисунок 7

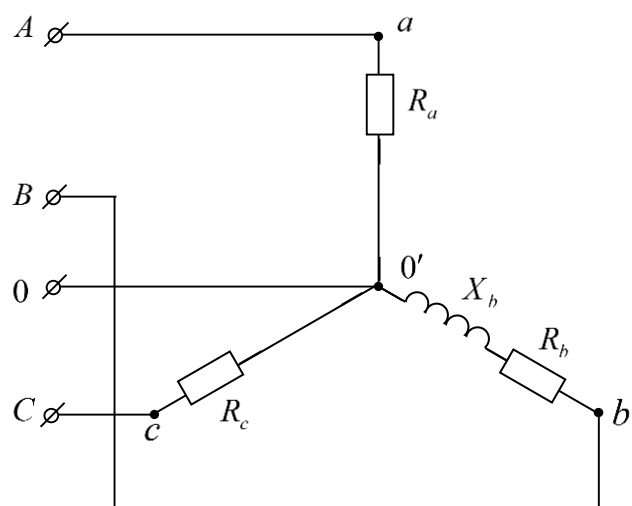


Рисунок 8

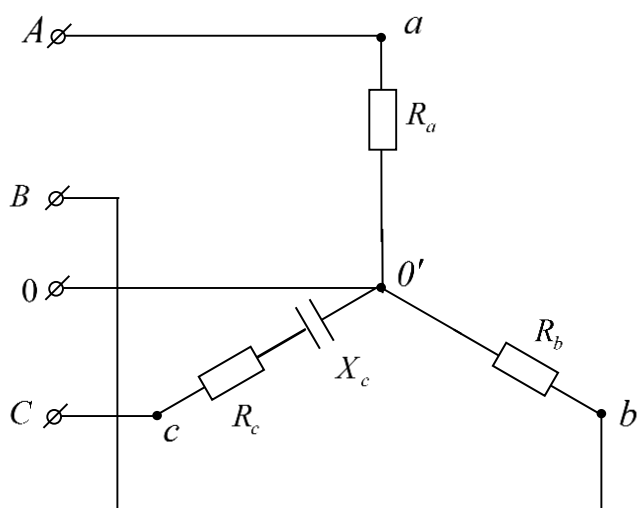


Рисунок 9

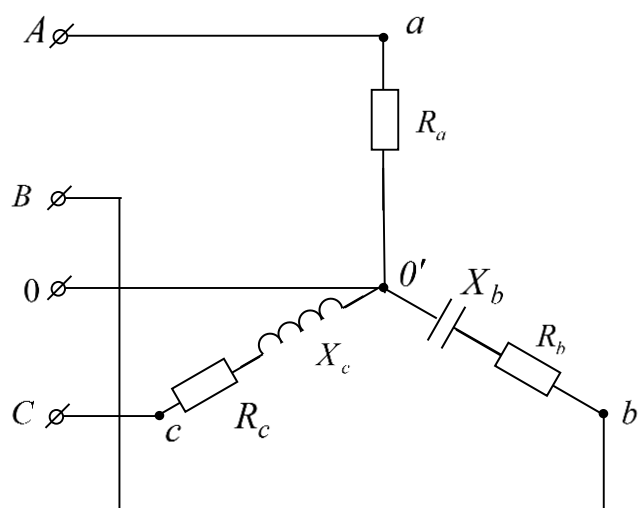


Рисунок 10

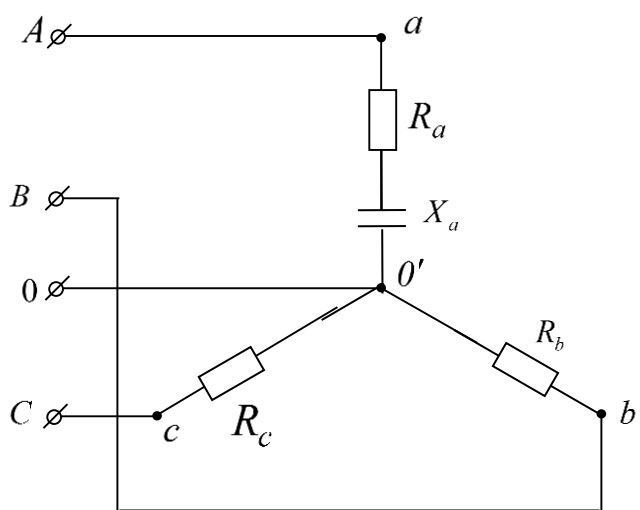


Рисунок 11

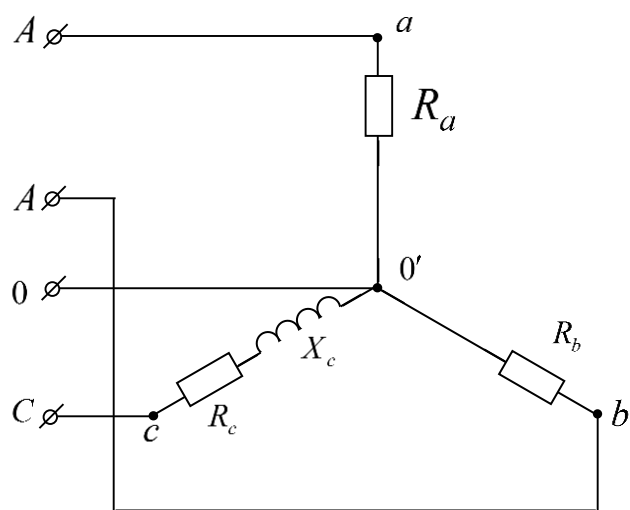


Рисунок 12

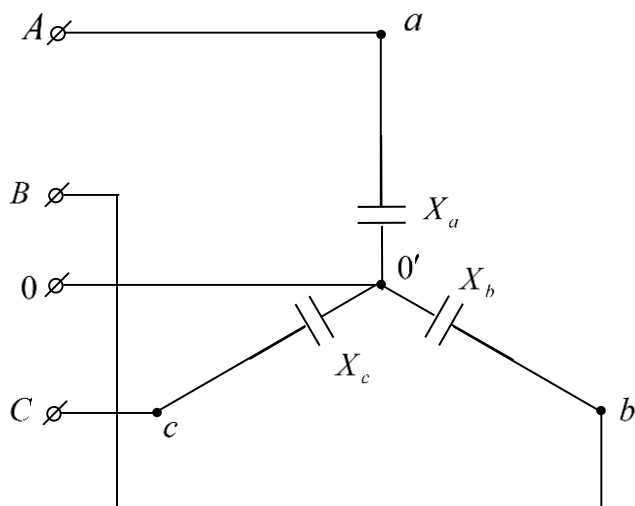


Рисунок 13

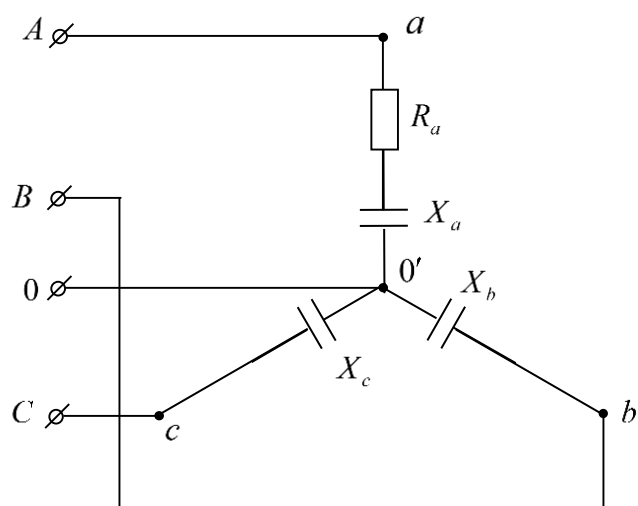


Рисунок 14

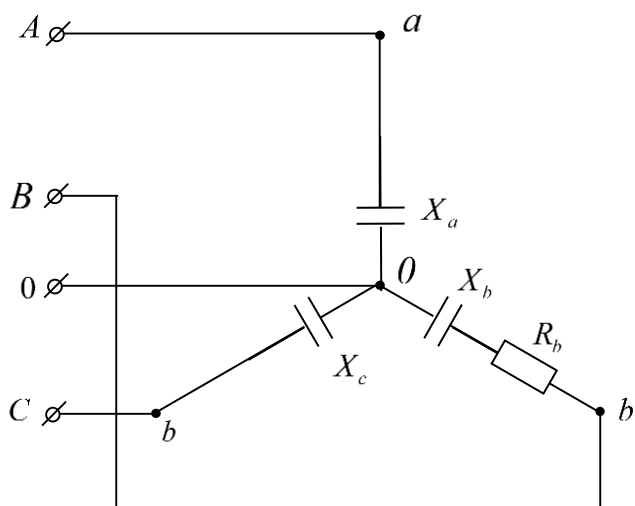


Рисунок 15

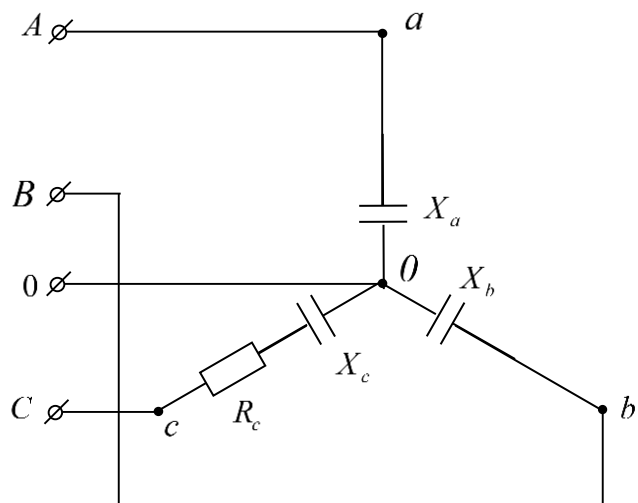


Рисунок 16

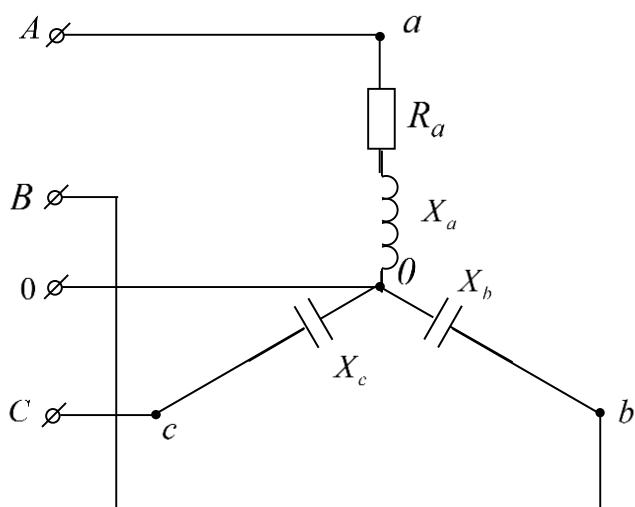


Рисунок 17

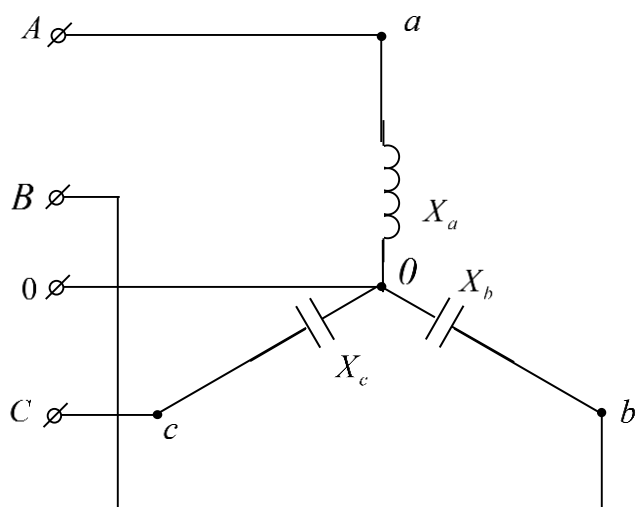


Рисунок 18

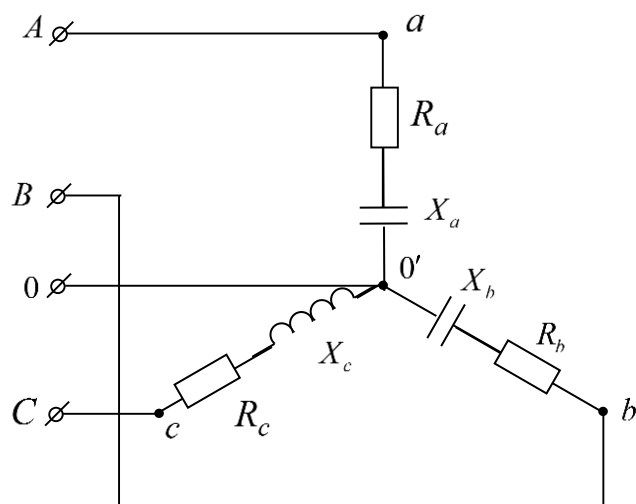


Рисунок 19

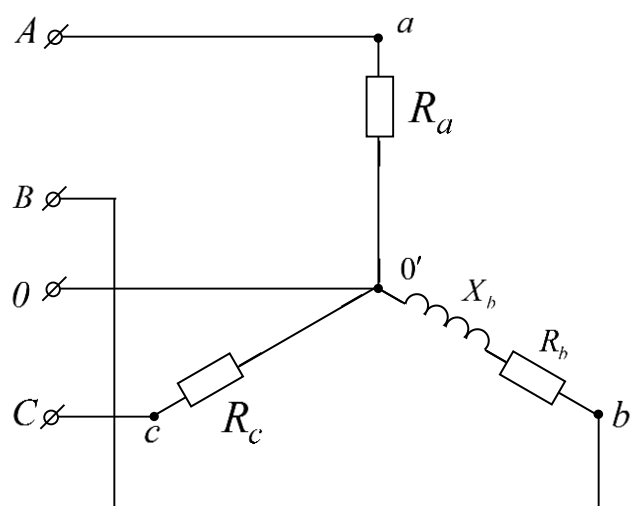


Рисунок 20

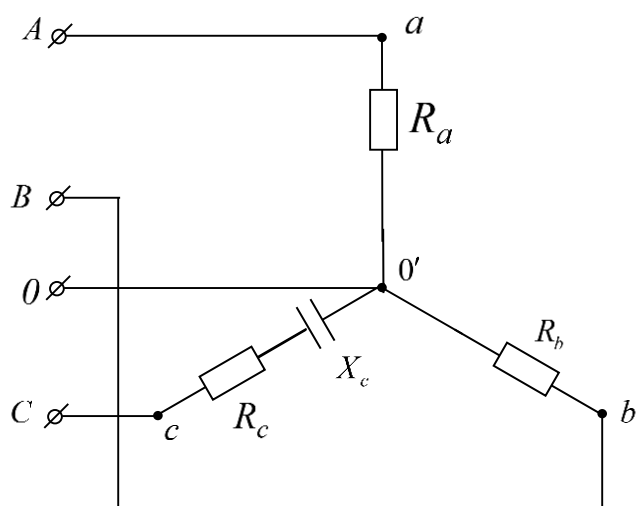


Рисунок 21

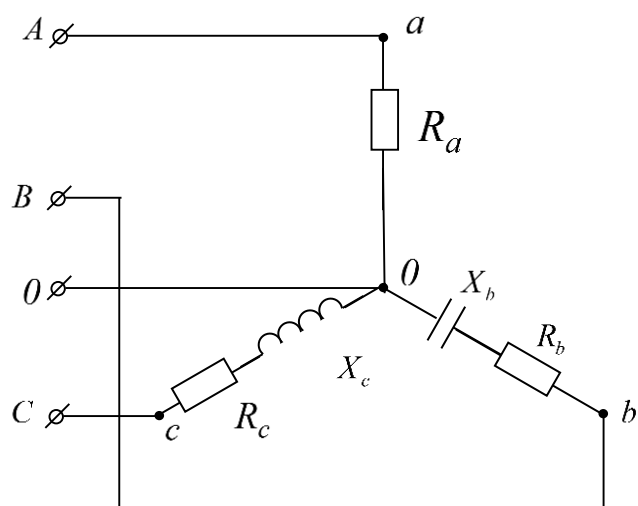


Рисунок 22

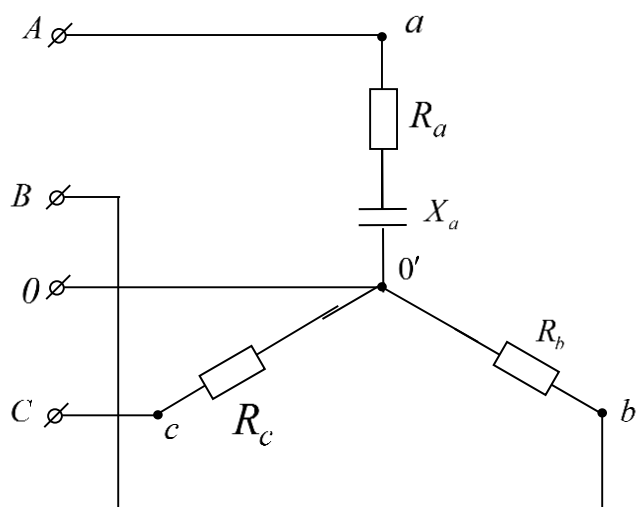


Рисунок 23

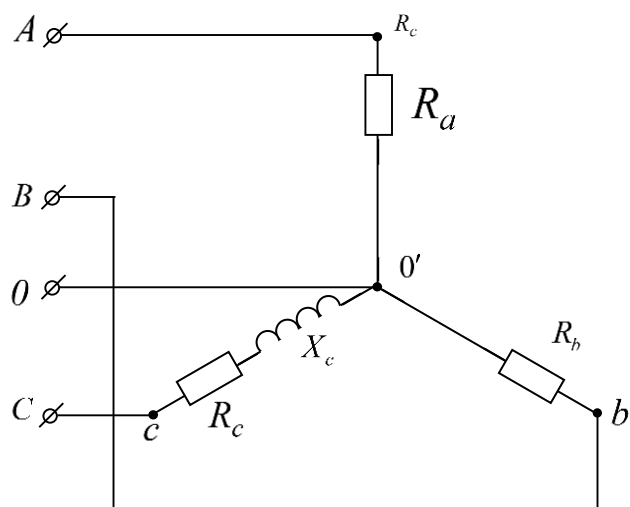


Рисунок 24

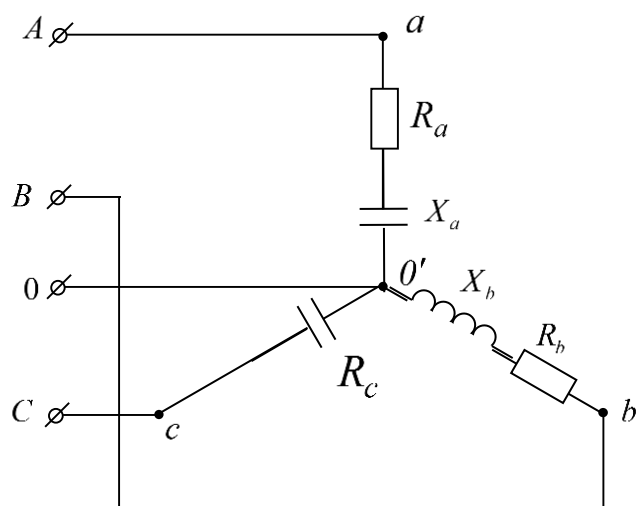


Рисунок 25

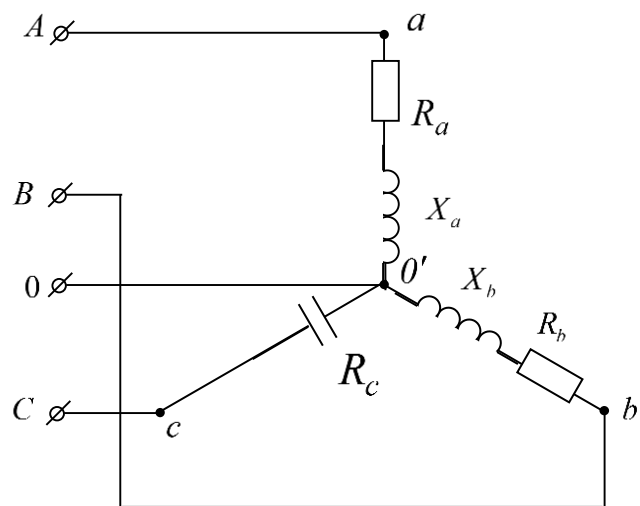


Рисунок 26

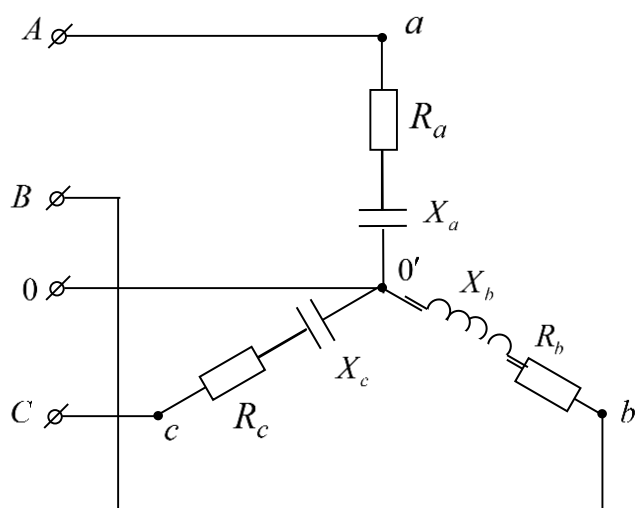


Рисунок 27

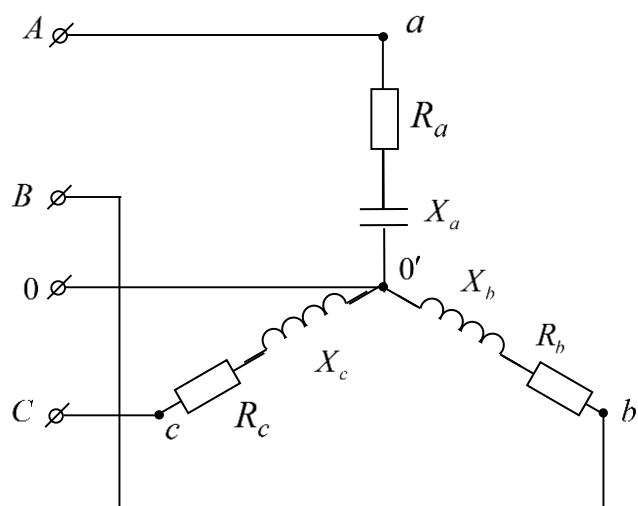


Рисунок 28

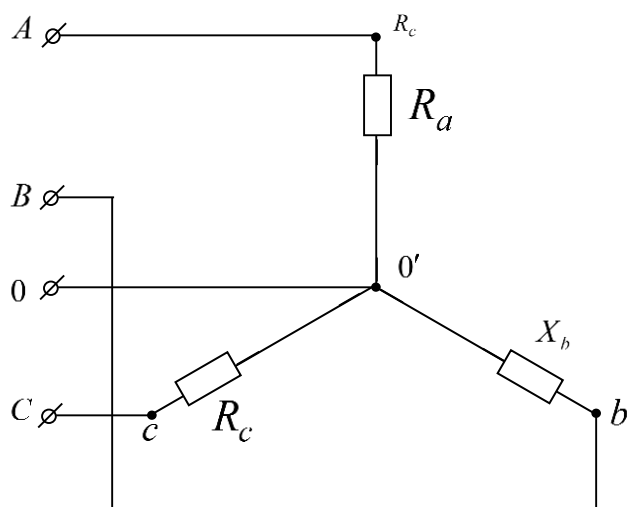


Рисунок 29

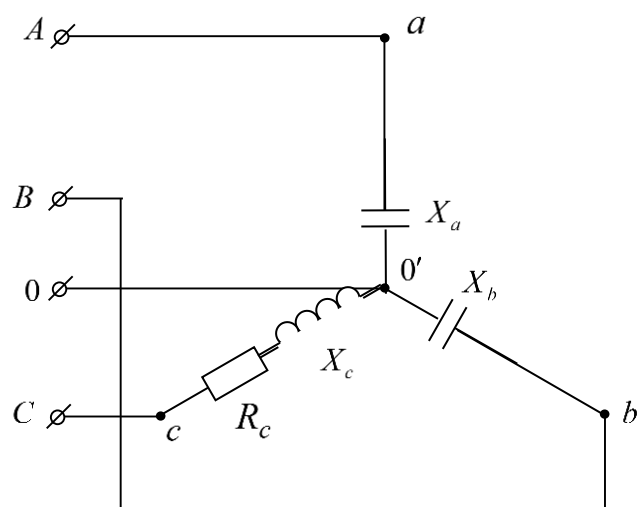


Рисунок 30

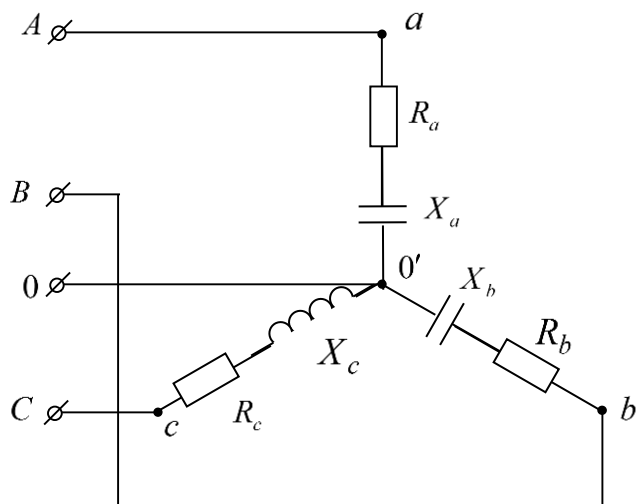


Рисунок 31

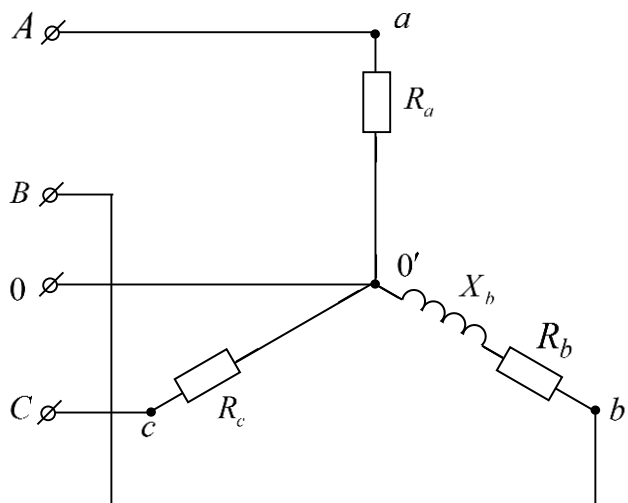


Рисунок 32

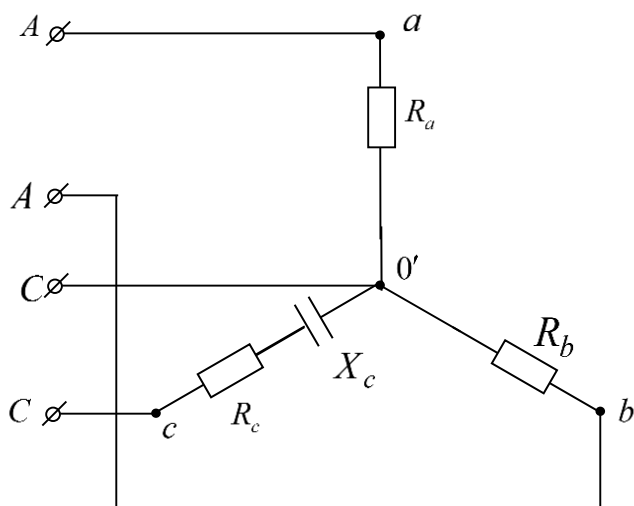


Рисунок 33

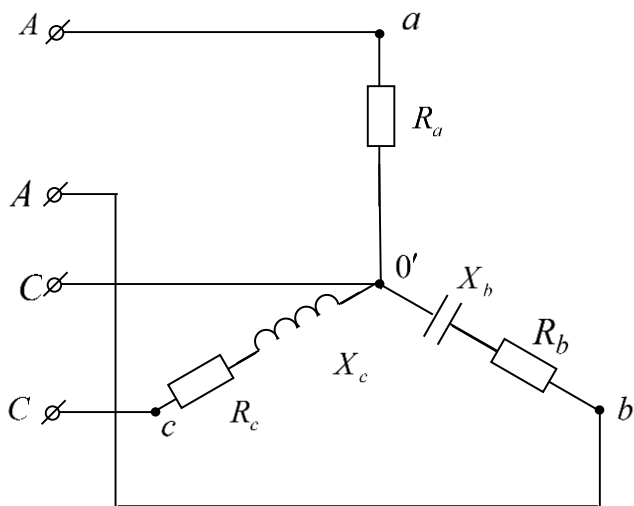


Рисунок 34

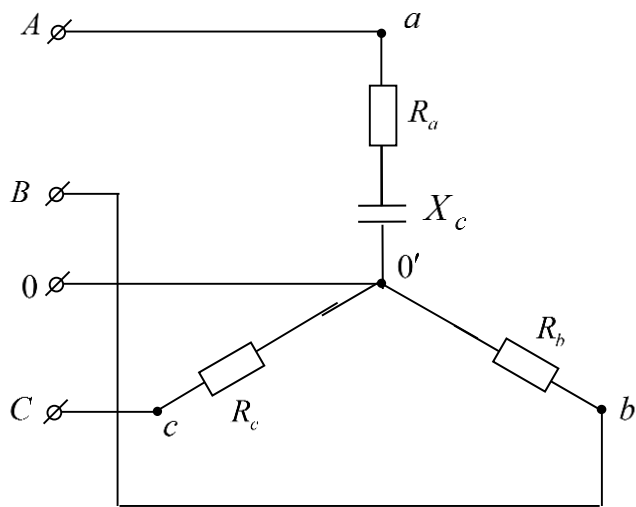


Рисунок 35

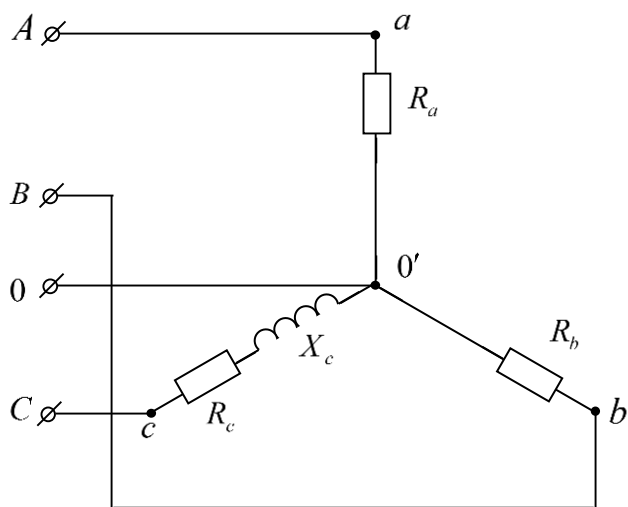


Рисунок 36

Таблица 1 – Значения линейных напряжений и сопротивлений резисторов для цепей, схемы которых приведены на рисунках 1- 36

вар.	№ рис.	$U_{Л},$ B	$R_a,$ $Ом$	$R_b,$ $Ом$	$R_c,$ $Ом$	$X_a,$ $Ом$	$X_b,$ $Ом$	$X_c,$ $Ом$	$R_{ab},$ $Ом$	$R_{bc},$ $Ом$	$R_{ca},$ $Ом$	$X_{ab},$ $Ом$	$X_{bc},$ $Ом$	$X_{ca},$ $Ом$
1	1	127	6	8	-	4	2	10	-	-	-	-	-	-
2	2	127	5	1	-	2	4	17	-	-	-	-	-	-
3	3	127	5	8	2	11	15	12	-	-	-	-	-	-
4	4	220	10	6	7	3	4	15	-	-	-	-	-	-
5	5	127	1	3	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	6	380	-	-	12	20	15	7	-	-	-	-	-	-
7	7	380	5	10	2	2	17	4	-	-	-	-	-	-
8	8	127	2	12	16	-	8	-	-	-	-	-	-	-
9	9	380	6	12	2	-	-	9	-	-	-	-	-	-
10	10	127	5	6	19	-	2	15	-	-	-	-	-	-
11	11	380	2,5	6	12	4	-	2	-	-	-	-	-	-
12	12	127	7	4	19	-	-	15	-	-	-	-	-	-
13	13	380	-	-	-	1	4	25	-	-	-	-	-	-
14	14	380	-	-	7	7	25	15	-	-	-	-	-	-
15	15	220	-	10	-	3	25	19	-	-	-	-	-	-
16	16	127	-	-	19	-	-	25	-	-	-	-	-	-
17	17	220	12	-	-	10	8	15	-	-	-	-	-	-
18	18	220	-	-	-	2	10	25	-	-	-	-	-	-
19	19	127	2	12	15	15	2	3	-	-	-	-	-	-
20	20	220	5	4	10	-	31	-	-	-	-	-	-	-
21	21	220	1	6	3	-	-	4,5	-	-	-	-	-	-
22	22	127	6,5	5	11	-	4,5	9,	-	-	-	-	-	-
23	23	380	10	20	5	15	-	-	-	-	-	-	-	-
24	24	220	2	10	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-
25	25	220	15	5	-	10	3	7	-	-	-	-	-	-
26	26	127	5	20	-	1	10	5	-	-	-	-	-	-
27	27	220	15	4	18	5	15	28	-	-	-	-	-	-
28	28	220	8	2	30	25	5	5	-	-	-	-	-	-
29	29	380	10	10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	30	127	-	-	18	20	5	10	-	-	-	-	-	-
31	31	127	18	10	2	10	8	18	-	-	-	-	-	-
32	32	127	5	5	5	-	10	-	-	-	-	-	-	-
33	33	380	2	12	8	-	-	10	-	-	-	-	-	-
34	34	380	10	10	5	-	2	8	-	-	-	-	-	-
35	35	220	15	2	7	4	-	-	-	-	-	-	-	-
36	36	220	1	4	12	-	-	5	-	-	-	-	-	-

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы трехфазных цепей с приемниками, соединенными звездой и треугольником.
3. Расчётные формулы и вычисления параметров трехфазных цепей. Таблицы с вычисленными и измеренными величинами.
4. Векторные диаграммы напряжений и токов трехфазных цепей.
5. Выводы по работе