

Министерство образования и науки РФ

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный
университет

Факультет инженерной экологии и городского хозяйства

Кафедра Электроэнергетики и Электротехники

Расчетно-графическая работа №3
«Анализ электрических состояний четырехпроводной
осветительной цепи при несимметричной нагрузке»

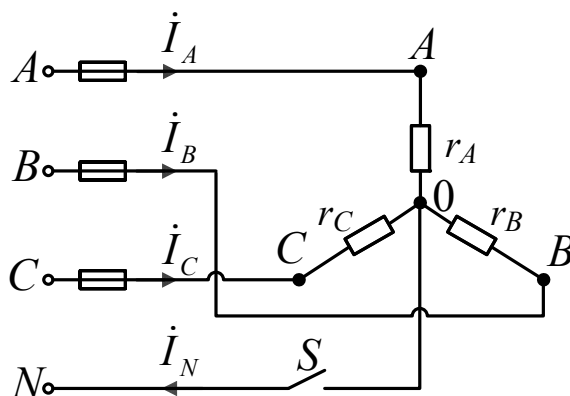
Выполнил(а) ст. гр. _____ Иванов И. И.
Проверил преп.

Санкт-Петербург
201__

РГР №3

Анализ электрических состояний четырехпроводной осветительной цепи при несимметричной нагрузке

Цель работы: определение электрических состояний осветительной цепи при несимметричной нагрузке в двух режимах: при наличии нейтрального провода и без него и принятие технических решений по созданию условий нормального функционирования осветительной установки.



Исходные данные:

№	r_A , Ом	r_B , Ом	r_C , Ом	$U_{л}$, В	U_{ϕ} , В
XX	10	10	100	380	220

1. Режим осветительной установки при наличии нейтрального провода и симметричных напряжениях на зажимах потребителя.

Расчет классическим методом

1.1. Линейные токи

$$I_A = U_{\phi}/r_A = 220/10 = 22 \text{ A};$$

$$I_B = U_{\phi}/r_B = 220/10 = 22 \text{ A};$$

$$I_C = U_{\phi}/r_C = 220/100 = 2,2 \text{ A}.$$

1.2. Мощности преобразования энергии в фазах потребителя

$$P_A = U_{\phi}I_A = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ Вт};$$

$$P_B = U_{\phi}I_B = 220 \cdot 22 = 4840 \text{ Вт};$$

$$P_C = U_{\phi}I_C = 220 \cdot 2,2 = 484 \text{ Вт}.$$

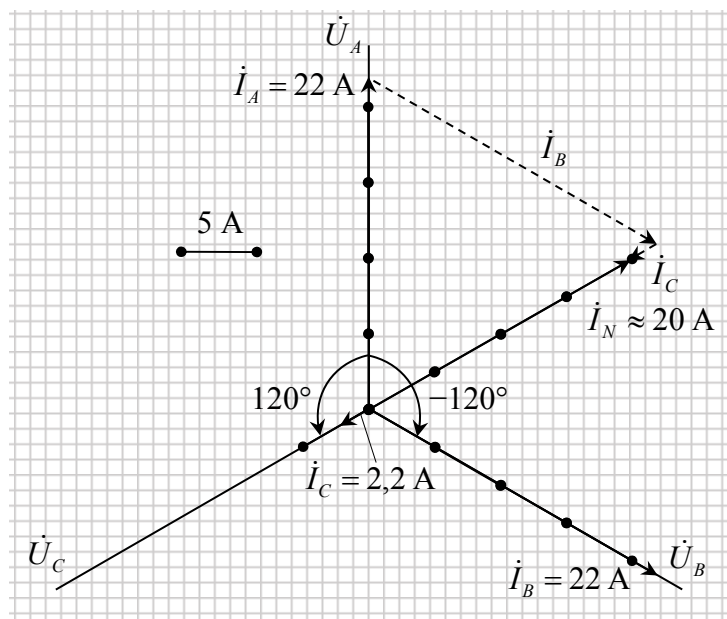
1.3. Мощность потребления энергии – нагрузка на сеть

$$P = P_A + P_B + P_C = 4840 + 4840 + 484 = 10164 \text{ Вт}.$$

1.4. Нахождение тока в нейтральном проводе

I_N находится по векторной диаграмме токов, построенной на основе 1-го правила Кирхгофа для узла 0 на схеме.

Масштаб – 5 А в 1 см. Допустимо выбрать другой масштаб в зависимости от величин токов.



Из векторной диаграммы видно, что $I_N \approx 20$ A.

2. Режим обрыва провода $N - 0$. Ключ S разомкнут. Напряжения сети симметричны.

Расчет символическим методом

2.1. Фазные комплексные напряжения сети:

Положим, что вектор фазного напряжения сети (источника) \dot{U}_A направлен по оси действительных чисел, тогда

$$\dot{U}_A = U_A \cdot e^{j0^\circ} = U_A \cdot \cos 0^\circ + j \cdot U_A \cdot \sin 0^\circ = 220 \cdot 1 + j \cdot 220 \cdot 0 = 220 \text{ В};$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_B &= U_A \cdot e^{-j120^\circ} = U_A \cdot \cos(-120^\circ) + j \cdot U_A \cdot \sin(-120^\circ) = \\ &= 220 \cdot (-0,5) + j \cdot 220 \cdot (-0,866) = -110 - j \cdot 190,5256 \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_C &= U_A \cdot e^{j120^\circ} = U_A \cdot \cos 120^\circ + j \cdot U_A \cdot \sin 120^\circ = \\ &= 220 \cdot (-0,5) + j \cdot 220 \cdot 0,866 = -110 + j \cdot 190,5256 \text{ В}. \end{aligned}$$

2.2. Комплексные сопротивления и проводимости фаз:

$$\begin{aligned} \underline{z}_A &= r_A + j \cdot x_A = r_A + j \cdot 0 = r_A = 10 \text{ Ом}; & \underline{y}_A &= 1/\underline{z}_A = 1/10 = 0,1 \text{ См}; \\ \underline{z}_B &= r_B = 10 \text{ Ом}; & \underline{y}_B &= 1/\underline{z}_B = 1/10 = 0,1 \text{ См}; \\ \underline{z}_C &= r_C = 100 \text{ Ом}; & \underline{y}_C &= 1/\underline{z}_C = 1/100 = 0,01 \text{ См}. \end{aligned}$$

2.3. Комплексное сопротивление и проводимость оборванного нейтрального провода:

$$\underline{z}_N = \infty; \quad \underline{y}_N = 1/\underline{z}_N = 1/\infty = 0.$$

2.4. Комплексное напряжение между нулевой точкой потребителя 0 и нейтральным зажимом сети N и модуль межузлового напряжения:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{N0} &= \frac{\dot{U}_A \underline{y}_A + \dot{U}_B \underline{y}_B + \dot{U}_C \underline{y}_C}{\underline{y}_A + \underline{y}_B + \underline{y}_C} = \\ &= \frac{220 \cdot 0,1 + (-110 - j \cdot 190,5256) \cdot 0,1 + (-110 + j \cdot 190,5256) \cdot 0,01}{0,1 + 0,1 + 0,01} = 47,14 - j \cdot 81,65 \text{ В}. \end{aligned}$$

$$U_{N0} = \sqrt{47,14^2 + 81,65^2} = 94,29 \text{ В.}$$

2.5. Напряжения на зажимах фаз осветительной установки:

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_{N0} = 220 - (47,14 - j \cdot 81,65) = 172,86 + j \cdot 81,65 \text{ В;}$$

$$\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{N0} = -110 - j \cdot 190,5256 - (47,14 - j \cdot 81,65) = -157,14 - j \cdot 108,87 \text{ В;}$$

$$\dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{N0} = -110 + j \cdot 190,5256 - (47,14 - j \cdot 81,65) = -157,14 + j \cdot 272,18 \text{ В;}$$

$$U'_A = \sqrt{172,86^2 + 81,65^2} = 191,17 \text{ В;}$$

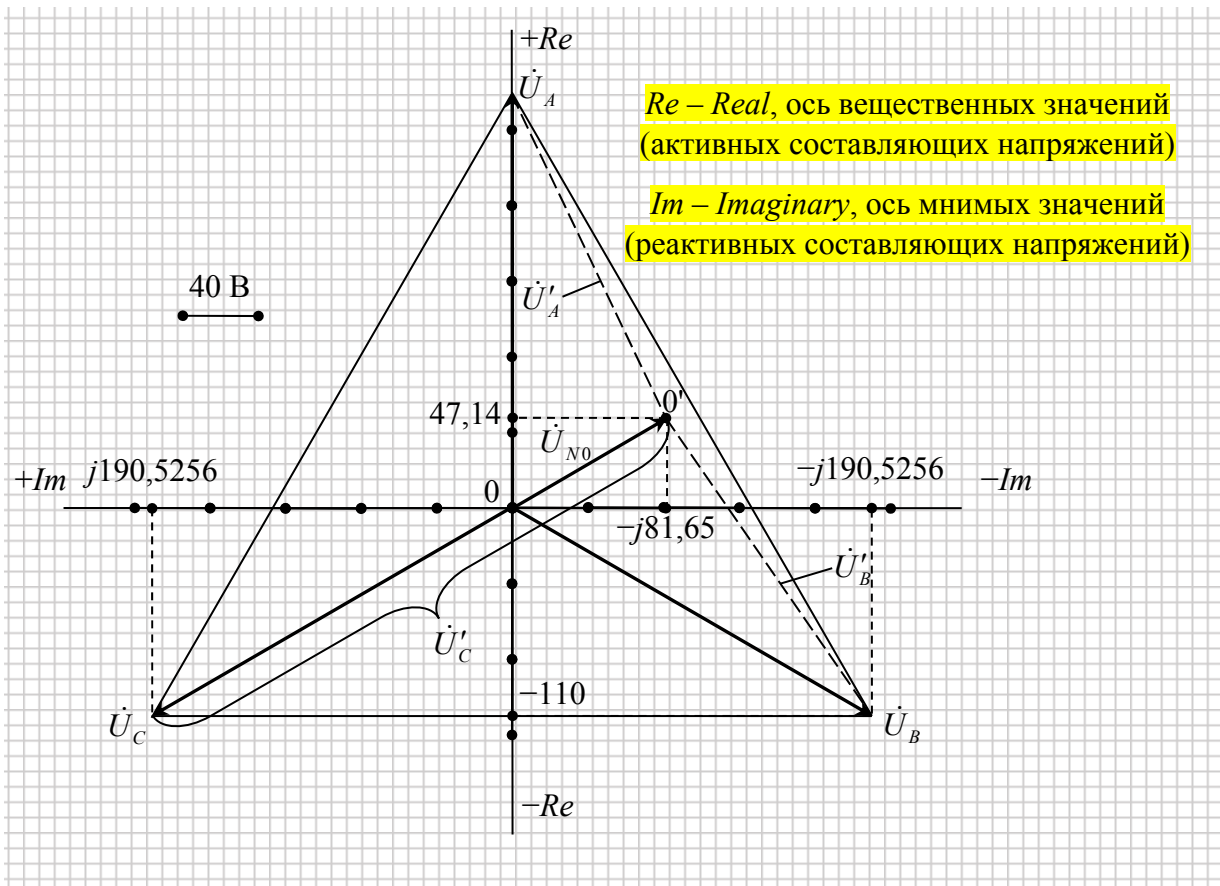
$$U'_B = \sqrt{(-157,14)^2 + (-108,87)^2} = 191,17 \text{ В;}$$

$$U'_C = \sqrt{(-157,14)^2 + 272,18^2} = 314,29 \text{ В.}$$

2.6. Построение векторной диаграммы напряжений сети и потребителя по результатам пп. 2.4 и 2.5 и графическое определение модулей фактических напряжений фаз установки

Примечание. Построение диаграммы следует начинать с напряжения сети в фазе A , вектор \dot{U}_A при этом необходимо откладывать из 0 по положительному направлению оси действительных чисел $+Re$. Так же из 0 строятся вектора \dot{U}_B и \dot{U}_C , по полученным в п. 2.1 комплексным значениям. Затем необходимо построить вектор \dot{U}_{N0} , полученный в п. 2.4, и найти точку $0'$, которая является теперь фактической нулевой точкой осветительного потребителя и определяет несимметричную трехфазную звезду фактических напряжений между клеммами фаз электроустановки.

Векторная диаграмма напряжений потребителя при смещении нейтрали



Из векторной диаграммы и результатов расчета по п. 2.5 следует, что напряжения на зажимах фаз потребителя несимметричны.

Значения напряжений и углы между ними, полученные с помощью построения:

$$U'_A = 191 \text{ В}; \quad U'_B = 191 \text{ В}; \quad U'_C = 314,29 \text{ В};$$

$$U'_A \wedge U'_B = 176^\circ; \quad U'_B \wedge U'_C = U'_C \wedge U'_A = 92^\circ.$$

2.7. Линейные токи при «смещении нейтрали» потребителя:

$$I'_A = U'_A y_A = 191,17 \cdot 0,1 = 19,117 \text{ А};$$

$$I'_B = U'_B y_B = 191,17 \cdot 0,1 = 19,117 \text{ А};$$

$$I'_C = U'_C y_C = 314,29 \cdot 0,01 = 3,1429 \text{ А}.$$

2.8. Мощности потребления энергии фазами электроустановки:

$$P'_A = U'_A I'_A = 191,17 \cdot 19,117 = 3654,6 \text{ А};$$

$$P'_B = U'_B I'_B = 191,17 \cdot 19,117 = 3654,6 \text{ А};$$

$$P'_C = U'_C I'_C = 314,29 \cdot 3,1429 = 987,78 \text{ А}.$$

2.9. Мощностная электрическая нагрузка потребителя на сеть:

$$P' = P'_A + P'_B + P'_C = 3654,6 + 3654,6 + 987,78 = 8296,98 \text{ А}.$$

3. Выводы и технические мероприятия по нормальному функционированию электроустановки

3.1. Несимметричная нагрузка трехфазного электропотребителя, соединенного «звездой», на четырехпроводную сеть трехфазного тока возникает при неравенстве сопротивлений в его фазах. При несимметричной нагрузке в нейтральном проводе появляется значительный ток, который может привести к аварийным ситуациям, сопровождающимся повреждением (перегоранием) нейтрального провода.

Величина тока в нейтральном проводе получена построением векторной диаграммы токов и составляет $I_N \approx 20 \text{ А}$.

3.2. При обрыве нейтрального провода сети и несимметричной нагрузке со стороны потребителя возникает явление «смещение нейтрали», при котором нулевая точка потребителя под действием межфазного напряжения $U_{\text{НО}}$ смещается по отношению к нейтральной точке сети (источника) и фактические напряжения на зажимах фаз потребителя при сохранении симметрии напряжений сети становятся несимметричными.

Межфазное напряжение, вызывающее «смещение нейтрали»: $U_{\text{НО}} = 94,29 \text{ В}$.

Фактические напряжения на зажимах фаз потребителей:

$$U'_A = 191 \text{ В}; \quad U'_B = 191 \text{ В}; \quad U'_C = 314,29 \text{ В}.$$

Таким образом электролампы осветительной установки, рассчитанные на номинальное напряжение $U_n = 220 \text{ В}$, в фазах *A* и *B* работают при пониженных напряжениях и светят слабо, а в фазе *C* напряжение превышает номинальное и лампы светят ярко. Лампы фазы *C* быстро выходят из строя, так как превышение величины напряжения сверх номинальной даже на 10 % сокращает срок службы более чем на 92 %.

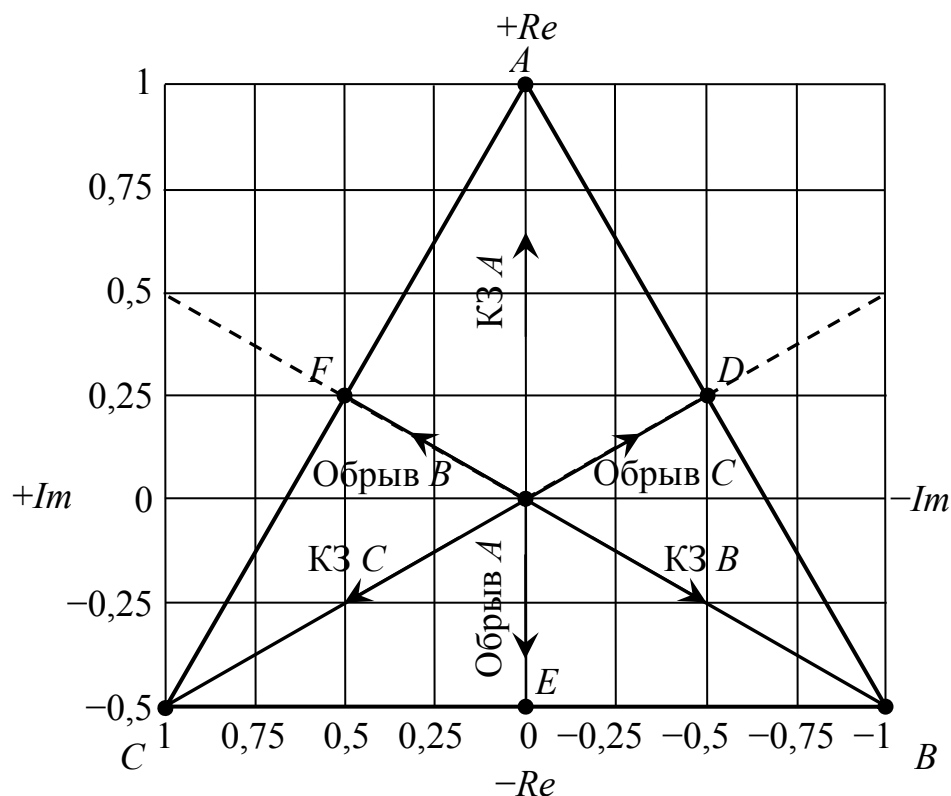
Из полученных результатов видно, что фазные напряжения на зажимах трехфазного потребителя, соединенного «звездой» без нейтрального провода, не могут быть больше линейных напряжений сети.

3.3. Мощностная нагрузка несимметричной осветительной установки на сеть при наличии нейтрального провода $P = 10,164$ кВт, а при его отсутствии – всего 8,297 кВт, что на 1,867 кВт меньше исходной. Это объясняется перераспределением напряжения на зажимах фаз электроустановки.

Диагностические параметры электрического состояния трехфазного осветительного потребителя, соединенного «звездой» без нулевого провода

Режим	Состояние потребителя		Относительные координаты нулевой точки потребителя $\dot{U}_{N0} = \dot{U}_{N0} / U_{\phi}$		Области точек в треугольнике ABC	Относительные сопротивления фаз потребителя		
			Действит. Re	Мнимая Im		R_A/R_H	R_B/R_H	R_C/R_H
1	Нормальная работа, симметричный режим		$\pm 0,0$	± 0	N-0	1	1	1
2	Обрыв фазы	A	-0,5	± 0	E	∞	1	1
3		B	+0,25	+0,433	F	1	∞	1
4		C	+0,25	-0,433	D	1	1	∞
5	Короткое замыкание фазы	A	+1,0	± 0	A	0	1	1
6		B	-0,5	-0,866	B	1	0	1
7		C	-0,5	+0,866	C	1	1	0
8	Увеличенное сопротивление фазы	A	$-0,5 < 0$	± 0	E-0	-1	1	1
9		B	$+0,25 > 0$	$+0,433 > 0$	F-0	1	-1	1
10		C	$+0,25 > 0$	$-0,433 < 0$	D-0	1	1	-1
11	Уменьшенное сопротивление фазы	A	$0 < 1,0$	± 0	A-0	0-1	1	1
12		B	$-0,5 < 0$	$-0,866 < 0$	B-0	1	0-1	1
13		C	$-0,5 < 0$	$+0,866 > 0$	C-0	1	1	0-1

Диагностический треугольник



- 3.4. По диагностическому треугольнику и диагностической таблице можно видеть, что фаза C близка к обрыву. Относительные координаты нулевой точки потребителя (из векторной диаграммы п. 2.6) равны

$$\text{Re: } 1/(220/47,14) = 0,214;$$

$$\text{Im: } (-1)/((-j190,5256)/(-j81,65)) = -0,428;$$

она располагается ближе к области D), а относительное сопротивление фазы C в 10 раз превышает норму.

- 3.5. В качестве технических мероприятий следует рекомендовать проверку электрического состояния нейтрального провода и устранение его обрыва, замену сгоревших электроламп фазы C потребителя и проверку его технического состояния.

Во время эксплуатации заданной осветительной электроустановки необходимо следить за симметрией нагрузки потребителя на сеть, не допускать несанкционированных перегрузок и недогрузок отдельных его фаз и постоянно контролировать исправность работы нейтрального, нулевого провода системы.

Одним из способов такого контроля является периодический замер величин электросопротивлений фаз потребителя и расчет узлового напряжения по формуле

$$\dot{U}_{N0} = \pm A \pm jB,$$

где A – вещественная составляющая узлового напряжения в комплексной форме

$$A = \frac{U_{\phi} \cdot (\underline{y}_A \cdot \cos 0^\circ + \underline{y}_B \cdot \cos(-120^\circ) + \underline{y}_C \cdot \cos 120^\circ)}{\underline{y}_A + \underline{y}_B + \underline{y}_C};$$

B – мнимая составляющая комплексного узлового напряжения

$$A = \frac{U_{\phi} \cdot (\underline{y}_A \cdot \sin 0^\circ + \underline{y}_B \cdot \sin(-120^\circ) + \underline{y}_C \cdot \sin 120^\circ)}{\underline{y}_A + \underline{y}_B + \underline{y}_C}.$$

Другим способом контроля можно считать замер фактических напряжений на зажимах работающего потребителя с отсоединенным нулевым проводом U'_A , U'_B и U'_C и построение смещенной точки O' с последующим применением диагностических таблицы и треугольника.