

УДК 621.311

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Горновская Е.Н., Гославский П.С.

Научный руководитель – м.т.н., старший преподаватель Волков А.А.

Надежность и скорость вычислений существенно зависят от принятого метода расчета, формы и записи уравнений узловых напряжений (УУН) и связанной с ним сходимости итерационного процесса, определяемой параметрами режима и схемы замещения электрической сети (ЭС) [1].

Система УУН является нелинейной относительно напряжений в узлах схемы и близка к линейной при расчете режимов с малыми нагрузками, то есть режимов, далеких от предельного по статической устойчивости. Нелинейность УУН не способствует сходимости к решению. Чем больше электрические нагрузки, тем сильнее проявляются нелинейные свойства этой системы и тем хуже сходимость итерационного процесса к решению.

Проведем расчеты режима простейшей электрической сети переменного тока (рисунок 1) при задании нагрузок в мощностях в среде Mathcad.

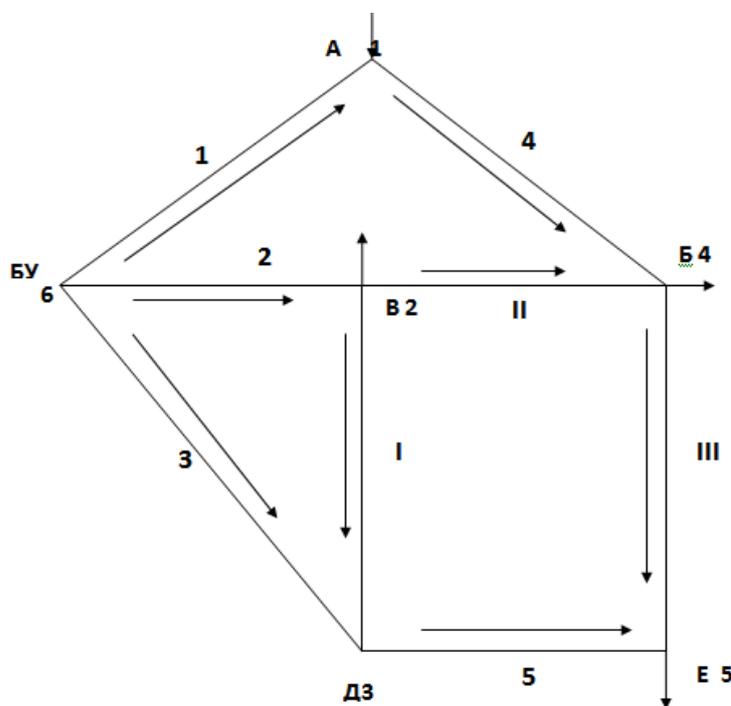


Рисунок 1 – Схема электрической сети

Номинальное напряжение электрической сети равно 110 кВ, а напряжение в балансирующем узле (БУ) принимаем равным 121 кВ.

Первая матрица соединений и матрица-столбец задающих мощностей будут иметь вид:

$$M := \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} 30 + 19.378i \\ -46 - 22.279i \\ 0 \\ -44 - 23.749i \\ -34 - 14.484i \end{pmatrix}$$

Диагональная матрица сопротивлений ветвей, Ом:

$$dZ_B = \begin{pmatrix} 7.956 + 11.284i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8.748 + 22.302i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6.776 + 22.68i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 11.322 + 16.058i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 18.054 + 25.606i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11.454 + 19.734i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5.445 + 18.225i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5.445 + 18.225i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15.606 + 22.134i \end{pmatrix}$$

Для расчета режима электрической сети используем обращенную форму уравнений узловых напряжений. Полученную систему нелинейных уравнений решаем методом ускоренной итерации. Точность расчета принимаем  $\epsilon=0,04$  кВ, а начальные приближения напряжений 110 кВ. Значения напряжений в узлах после первой итерации, кВ:

$$U_1 := U_{by} + \sum_{i=1}^5 \left[ Z_{(1,i)} \cdot \frac{\overline{S_{(i,1)}}}{U_{0(i,1)}} \right] = 119.521 - 1.999i$$

$$U_2 := U_{by} + Z_{(2,1)} \cdot \frac{\overline{S_{(1,1)}}}{U_1} + \sum_{i=2}^5 \left[ Z_{(2,i)} \cdot \frac{\overline{S_{(i,1)}}}{U_{0(i,1)}} \right] = 112.977 - 6.703i$$

$$U_3 := U_{by} + Z_{(3,1)} \cdot \frac{\overline{S_{(1,1)}}}{U_1} + Z_{(3,2)} \cdot \frac{\overline{S_{(2,1)}}}{U_2} + \sum_{i=3}^5 \left[ Z_{(3,i)} \cdot \frac{\overline{S_{(i,1)}}}{U_{0(i,1)}} \right] = 115.228 - 5.449i$$

$$U_4 := U_{by} + Z_{(4,1)} \cdot \frac{\overline{S_{(1,1)}}}{U_1} + Z_{(4,2)} \cdot \frac{\overline{S_{(2,1)}}}{U_2} + Z_{(4,3)} \cdot \frac{\overline{S_{(3,1)}}}{U_3} + \sum_{i=4}^5 \left[ Z_{(4,i)} \cdot \frac{\overline{S_{(i,1)}}}{U_{0(i,1)}} \right] = 111.343 - 7.111i$$

$$U_5 := U_{by} + Z_{(5,1)} \cdot \frac{\overline{S_{(1,1)}}}{U_1} + Z_{(5,2)} \cdot \frac{\overline{S_{(2,1)}}}{U_2} + Z_{(5,3)} \cdot \frac{\overline{S_{(3,1)}}}{U_3} + Z_{(5,4)} \cdot \frac{\overline{S_{(4,1)}}}{U_4} + Z_{(5,5)} \cdot \frac{\overline{S_{(5,1)}}}{U_{0(5,1)}} = 108.879 - 8.613i$$

Токи в ветвях и расчетные значения токов нагрузок, кА:

$$I_B := \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot dY_B \cdot M^T \cdot (U_y - U_{by}) = \begin{pmatrix} 0.104 - 2.365i \times 10^{-3} \\ 0.221 - 0.121i \\ 0.168 - 0.097i \\ 0.261 - 0.11i \\ 0.115 - 0.062i \\ -0.056 + 0.033i \\ 0.026 - 0.044i \\ 0.056 - 0.024i \end{pmatrix} \quad I_{расч1} := M \cdot I_B = \begin{pmatrix} 0.157 - 0.107i \\ -0.251 + 0.11i \\ 3.435 \times 10^{-3} + 1.508i \times 10^{-3} \\ -0.231 + 0.129i \\ -0.171 + 0.087i \end{pmatrix}$$

Расчетные мощности нагрузок и небаланс мощности в узлах, МВ·А:

$$S_{rasc}y1 := \sqrt{3} \cdot \text{diag}(J_{rasc}h1) \cdot U_{y1} = \begin{pmatrix} 32.937 + 21.706i \\ -50.385 - 18.687i \\ 0.671 - 0.333i \\ -46.122 - 22.097i \\ -33.63 - 13.755i \end{pmatrix} \quad S_{nb1} := S - S_{rasc}y1 = \begin{pmatrix} -2.937 - 2.327i \\ 4.385 - 3.592i \\ -0.671 + 0.333i \\ 2.122 - 1.652i \\ -0.37 - 0.729i \end{pmatrix}$$

Требуемая точность достигнута после четвертой итерации. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Проверим выполненные расчеты с помощью программы RastrWin. На рисунках 2, 3 и 4 представлены результаты расчета по программе.

Таблица 1 – Результаты расчета режима

№ узла	Расчетный ток нагрузки, кА	Расчетная мощность нагрузки, МВ·А	Модуль напряжения, кВ	δ, град
1	0,144-0,096i	30+19,378i	119,152	-0,82
2	-0,229+0,126i	-46-22,278i	112,854	-3,083
3	0	0	115,089	-2,579
4	-0,221+0,137i	-44,001+23,748i	111,186	-3,382
5	-0,174+0,09i	-33,998-14,485i	108,766	-4,319

	O	S	Тип	Номер	U_ном	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	V	Delta	U
1	<input type="checkbox"/>		База	6	121			100,5	53,9	121,0	121,00		121
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	5	110	34,0	14,5			110,0	108,77	-4,32	108.5-38.2
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	4	110	44,0	23,7			110,0	111,19	-3,38	111-36.6
4	<input type="checkbox"/>		Нагр	3	110					110,0	115,09	-2,58	115-35.2
5	<input type="checkbox"/>		Нагр	2	110	46,0	22,3			110,0	112,86	-3,08	112.7-36.1
6	<input type="checkbox"/>		Нагр	1	110			30,0	19,4	110,0	119,15	-0,88	119.1-31.8

Рисунок 2 – Исходные данные и результаты расчета по узлам

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	R	X	Z	Vнач	Vкон	I_нач	I_кон	P_нач	P_кон	Q_нач	Q_кон	I max
1	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	6	1	7,96	11,28	7.96+J11.28	121,0	119,2	109	109	-23	-22	-4	-4	109
2	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	6	2	8,75	22,30	8.75+J22.3	121,0	112,9	248	248	-44	-42	-28	-24	248
3	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	6	3	6,78	22,68	6.78+J22.68	121,0	115,1	194	194	-34	-33	-22	-19	194
4	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	4	11,32	16,06	11.32+J16.06	119,2	111,2	277	277	-52	-50	-23	-19	277
5	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	3	5	18,05	25,61	18.05+J25.61	115,1	108,8	132	132	-23	-22	-12	-11	132
6	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	3	11,45	19,73	11.45+J19.73	112,9	115,1	62	62	10	10	7	7	62
7	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	4	5,44	18,23	5.45+J18.23	112,9	111,2	54	54	-6	-6	-9	-8	54
8	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	4	5	15,61	22,13	15.61+J22.13	111,2	108,8	64	64	-12	-12	-4	-4	64

Рисунок 3 – Исходные данные и результаты расчета по ветвям

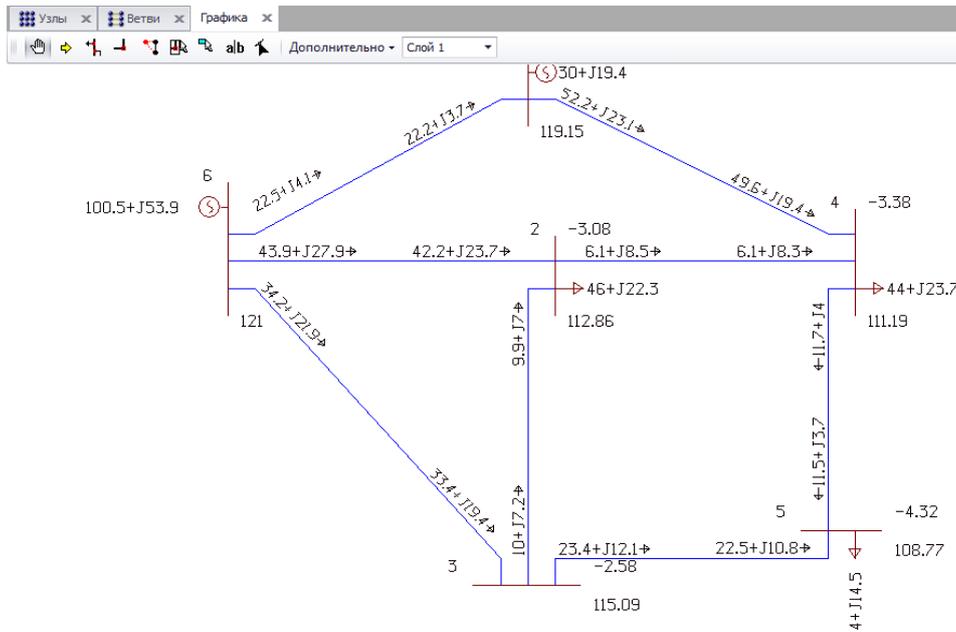


Рисунок 4 – Схема электрической сети с режимными параметрами

По результатам проведенных расчётов можно отметить:

- небаланс активной и реактивной мощности с увеличением числа итераций стремится к нулю. Медленнее небаланс уменьшается во втором узле в связи с тем, что нагрузка в этом узле наибольшая;
- чем дальше рассматриваемый узел от балансирующего, тем меньше модуль напряжения в этом узле и больше расчетный угол.

#### Литература

1. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие/ А. А. Герасименко, В. Т. Федин. - Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. - 720 с.