

УДК 621.311

УРАВНЕНИЯ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ В ФОРМЕ БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ

Смертьева И.В.

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

Математическая модель установившихся режимов ЭС представляется совокупностью уравнений, которое формируется на основе схем замещения и физических законов и позволяют описать установившийся режим. Наиболее распространенной формой уравнений установившегося режима (УУР), применяемых при расчетах на ЭВМ, является система уравнений узловых напряжений (УУН).

Для того, чтобы представить УУН в форме баланса мощностей в полярных координатах, необходимо выразить комплекс напряжения U_k через модуль V_k и фазовый угол сдвига δ_k комплекса напряжения относительно напряжения базисного узла [1, с. 39]:

$$U_k = V_k * e^{j\delta_k} = V_k * (\cos \delta_k + j * \sin \delta_k) \quad (1.1)$$

УУР в форме баланса токов [1, с. 36]:

$$\Delta I_k(U, P_k, Q_k) = \frac{P_k - j * Q_k}{U_k^*} - \sum_{m=1}^{n+1} Y_{km} * U_m = 0, \quad k \in P * V + P * (\quad (1.2)$$

где ΔI – небаланс тока в узле k , А;

U – комплексная величина напряжения в электрической сети;

P, Q – активная и реактивная мощности, отдаваемые генератором в сеть;

Y_{km} – взаимная проводимость ветви.

$$(V_k, U_k) = V_k^2 - U_k^* * U_k = 0, \quad k \in P * 1 \quad (1.3)$$

где ΔE – небаланс квадрата модуля напряжения.

Если каждое k -е уравнение системы УУР в форме баланса токов умножить на соответствующий сопряженный комплекс напряжения U_k^* , то можно получить следующую систему уравнений:

$$\Delta S^* = S_k^* - Y_{kk} * U_k * U_k^* - U_k^* * \sum_{k \neq m} Y_{km} * U_m, \quad k = \overline{1, n} \quad (1.4)$$

где ΔS – небаланс полной мощности;

Y_{kk} – собственная проводимость ветви

Используя (1.1), УУР в форме баланса мощностей (1.4) и сделав некоторые простые преобразования, получаем УУН в форме баланса мощностей в полярной системе координат [1, с. 40]:

$$\Delta P_k(P_k, V, \delta) = P_k - V_k^2 * G_{kk} - V_k * \sum_{m \in k} V_m * (G_{km} * \cos \delta_{km} + B_{km} * \sin \delta_{km}) =$$

$$k \in P * V + P * l$$

где ΔP – небаланс активной мощности; (1.5)

G – активная проводимость;

B – реактивная проводимость;

$$\Delta Q_k(Q_k, V, \delta) = Q_k + V_k^2 * B_{kk} + V_k * \sum_{m \in k} V_m * (B_{km} * \cos \delta_{km} - G_{km} * \sin \delta_{km}) =$$

$$k \in P * l$$

где ΔQ – небаланс реактивной мощности;

Проведем расчет режима следующей электрической сети, схема которой показана на рисунке 1.

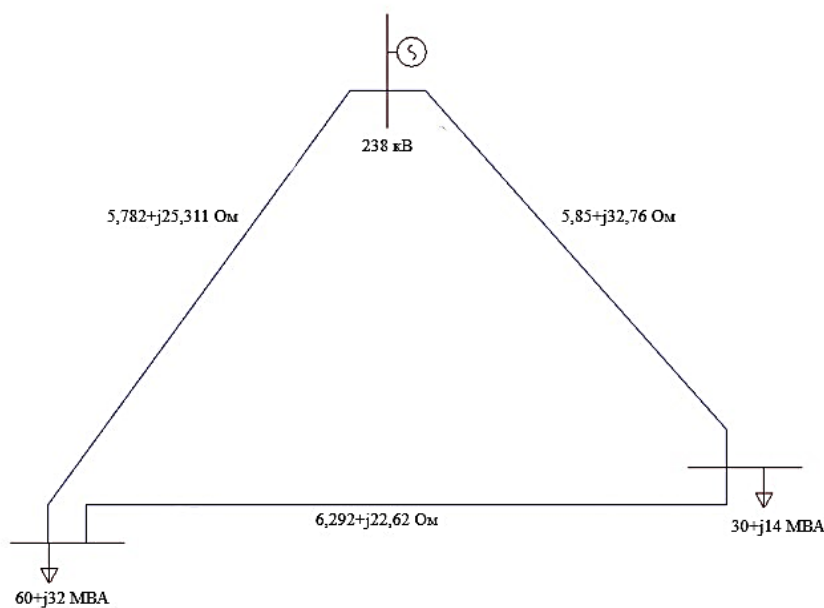


Рисунок 1 - Заданная схема сети с исходными данными

Составим систему УУН в форме баланса мощностей в полярных координатах.

Рассчитаем активную и реактивную проводимости, G и B:

$$G_{ww} := \operatorname{Re}(Yy) = \begin{pmatrix} 0.014 & -8.578 \times 10^{-3} & -5.282 \times 10^{-3} \\ -8.578 \times 10^{-3} & 0.02 & -0.011 \\ -5.282 \times 10^{-3} & -0.011 & 0.017 \end{pmatrix}$$

$$B := \operatorname{Im}(Yy) = \begin{pmatrix} -0.067 & 0.038 & 0.03 \\ 0.038 & -0.079 & 0.041 \\ 0.03 & 0.041 & -0.071 \end{pmatrix}$$

Зададим напряжение в балансирующем узле и начальные приближения:

$$\begin{aligned} d1 &:= 0 \cdot \text{deg} & V1 &:= U1 = 238 \\ d2 &:= 0 \cdot \text{deg} & V2 &:= 220 \\ d3 &:= 0 \cdot \text{deg} & V3 &:= 220 \end{aligned}$$

Блок решения УУН в программе Mathcad:

Given

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(-S2) - V2^2 \cdot G_{2,2} - V2 \cdot [V1 \cdot (G_{2,1} \cdot \cos(d2 - d1) + B_{2,1} \cdot \sin(d2 - d1)) + V3 \cdot (G_{2,3} \cdot \cos(d2 - d3) + B_{2,3} \cdot \sin(d2 - d3))] &= 0 \\ \operatorname{Re}(-S3) - V3^2 \cdot G_{3,3} - V3 \cdot [V1 \cdot (G_{3,1} \cdot \cos(d3 - d1) + B_{3,1} \cdot \sin(d3 - d1)) + V2 \cdot (G_{3,2} \cdot \cos(d3 - d2) + B_{3,2} \cdot \sin(d3 - d2))] &= 0 \\ \operatorname{Im}(-S2) + V2^2 \cdot B_{2,2} + V2 \cdot [V1 \cdot (B_{2,1} \cdot \cos(d2 - d1) - G_{2,1} \cdot \sin(d2 - d1)) + V3 \cdot (B_{2,3} \cdot \cos(d2 - d3) - G_{2,3} \cdot \sin(d2 - d3))] &= 0 \\ \operatorname{Im}(-S3) + V3^2 \cdot B_{3,3} + V3 \cdot [V1 \cdot (B_{3,1} \cdot \cos(d3 - d1) - G_{3,1} \cdot \sin(d3 - d1)) + V2 \cdot (B_{3,2} \cdot \cos(d3 - d2) - G_{3,2} \cdot \sin(d3 - d2))] &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} V2 \\ V3 \\ d2 \\ d3 \end{pmatrix} := \operatorname{Find}(V2, V3, d2, d3) = \begin{pmatrix} 233.706 \\ 234.373 \\ -0.022 \\ -0.019 \end{pmatrix}$$

Переведем углы в градусы:

$$\frac{d2}{\text{deg}} = -1.234 \quad \frac{d3}{\text{deg}} = -1.114$$

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

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	I...	Название	R	X	B	Кт/р	N_амч	БД...	P_нач	Q_нач	Na	I_max
1	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	2			.	5,78	25,31					-54	-29		148
2	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	1	3			.	5,85	32,76					-37	-20		102
3	<input type="checkbox"/>		ЛЭП	2	3			.	6,29	22,62					7	5		20

Рисунок 2 - Исходные данные и результаты расчетов по ветвям

	O	S	Тип	Номер	Название	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	B_ш	V	Delta
1	<input type="checkbox"/>		База	1		220					90,6	48,7	238,0				238,00	
2	<input type="checkbox"/>		Нагр	2		220			60,0	32,0							233,71	-1,23
3	<input type="checkbox"/>		Нагр	3		220			30,0	14,0							234,37	-1,11

Рисунок 3 - Исходные данные и результаты расчетов по узлам

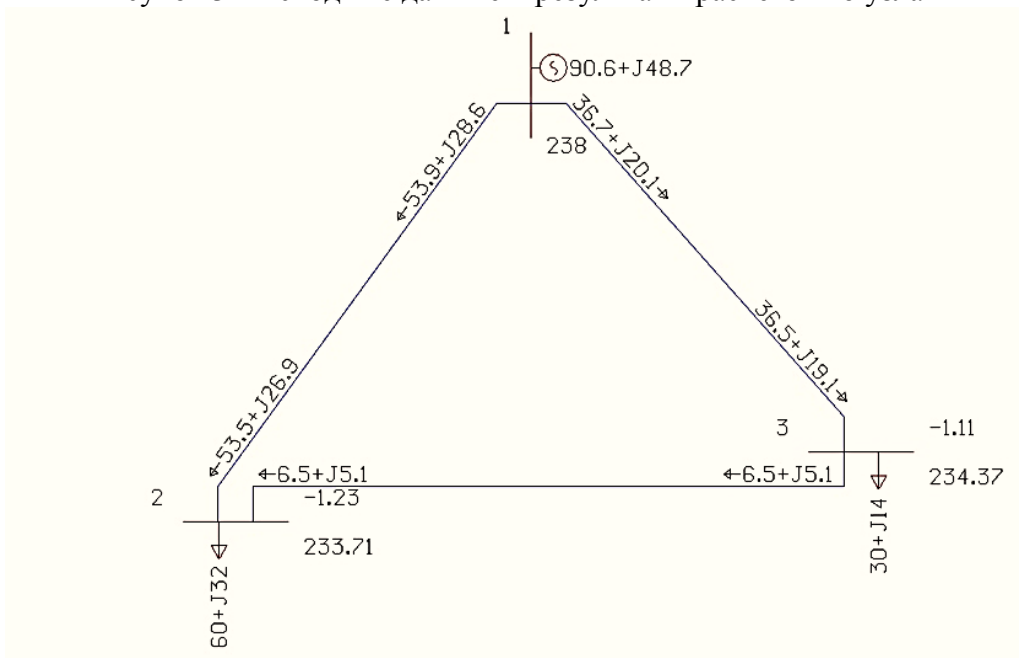


Рисунок 4 - Схема электрической сети с режимными параметрами

По результатам проведенных расчетов видно, что рассчитанные значения модуля напряжения и фазового угла получились практически одинаковыми. Расчет системы уравнений узловых напряжений в форме баланса мощностей в полярных координатах применим для схем, не содержащих в своем составе генерирующих источников, кроме балансирующего узла по активной и реактивной мощности (станция, ведущая по частоте, узел типа U, δ).

Литература

1. Вычислительные модели потокораспределения в электрических системах: монография/Б.И. Аюев, В.В Давыдов, П.М. Ерохин, В.Г. Неуймин; под ред. П.И. Бартоломея. – М. : Флинта : Наука, 2008. – 256 с.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии / Герасименко А.А., Федин В.Т. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 715 с.