

УДК 621.311

РАСЧЁТ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С
ПОМОЩЬЮ УУН В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ
CALCULATION OF THE MODE OF THE AC ELECTRICAL NETWORK
USING THE NVE IN A RECTANGULAR COORDINATE SYSTEM

П.А. Матусевич

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

P. Matusевич

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: проведены расчет и анализ режима электрической сети переменного тока с помощью уравнений узловых напряжений, а именно методом простой итерации, приведенной к виду для нахождения продольных и поперечных составляющих напряжений.

Abstract: calculation and analysis of the AC power grid mode using the nodal voltage equations, namely by the method of simple iteration, reduced to the form for finding the longitudinal and transverse components of the voltages.

Ключевые слова: уравнения узловых напряжений, баланс токов, комплексные числа, действительные и мнимые составляющие.

Keywords: nodal voltage equations, current balance, complex numbers, real and imaginary components.

Введение

Расчет установившихся режимов электрической сети заключается в определении напряжений в узлах сети, с помощью которых находят распределение потоков и потерь мощности. Чтобы получить эти данные, наиболее эффективно и удобно использовать уравнения узлового напряжения, которые выводятся из первого закона Кирхгофа в результате представления токов во всех ветвях в соответствии с законом Ома через узловые напряжения и проводимости ветвей.

Основная часть

Запишем УУН [1]:

$$\sum_{\eta=1}^N U_{\eta} Y_{i\eta} = \frac{S_i^*}{U_i^*} \quad (1)$$

где N - количество узлов в сети, включая балансирующий;

S_i^* и U_i^* – сопряженные мощность и напряжение i-го узла;

$Y_{i\eta}$ – проводимости узлов.

Стоит отметить, что все переменные в формуле (1) являются комплексными числами:

$$U = U_a + jU_r; \quad (2)$$

$$Y = g - jb; \tag{3}$$

$$S = P + jQ; \tag{4}$$

Подставим формулы (2), (3) и (4) в формулу (1):

$$\sum_{\eta=1, \eta \neq i}^N (Ua_{\eta} + jUr_{\eta})(g_{i\eta} - jb_{i\eta}) = \frac{P_i - jQ_i}{Ua_i - jUr_i} \tag{5}$$

После выполнения преобразований система (5) приводится к системе действительных уравнений двойной размерности [2]:

$$\sum_{\eta=1}^N (g_{i\eta}Ua_{\eta} + b_{i\eta}Ur_{\eta}) = \frac{P_iUa_i + Q_iUr_i}{V_i^2} \tag{6}$$

$$\sum_{\eta=1}^N (g_{i\eta}Ur_{\eta} - b_{i\eta}Ua_{\eta}) = \frac{P_iUr_i - Q_iUa_i}{V_i^2} \tag{7}$$

где V – модуль узлового напряжения.

Выполним расчёт режима следующей электрической сети, схема которой приведена на рисунке 1.

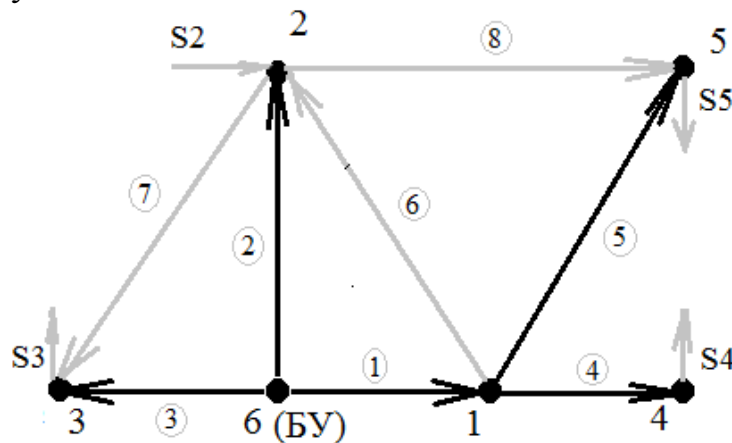


Рисунок 1 – Схема электрической сети

Найдём активную и реактивную проводимости, зная суммарную матрицу узловых проводимостей:

$$g_{\Sigma} := \text{Re}(Y_{\text{sum}}) = \begin{pmatrix} 0.078 & -0.021 & 0 & -0.026 & -0.019 & -0.013 \\ -0.021 & 0.077 & -0.02 & 0 & -0.019 & -0.017 \\ 0 & -0.02 & 0.057 & 0 & 0 & -0.038 \\ -0.026 & 0 & 0 & 0.026 & 0 & 0 \\ -0.019 & -0.019 & 0 & 0 & 0.038 & 0 \\ -0.013 & -0.017 & -0.038 & 0 & 0 & 0.067 \end{pmatrix} \quad b := \text{Im}(Y_{\text{sum}}) = \begin{pmatrix} -0.166 & 0.056 & 0 & 0.037 & 0.032 & 0.041 \\ 0.056 & -0.172 & 0.034 & 0 & 0.027 & 0.055 \\ 0 & 0.034 & -0.073 & 0 & 0 & 0.039 \\ 0.037 & 0 & 0 & -0.037 & 0 & 0 \\ 0.032 & 0.027 & 0 & 0 & -0.059 & 0 \\ 0.041 & 0.055 & 0.039 & 0 & 0 & -0.135 \end{pmatrix}$$

В нашей схеме 5 узлов, не считая балансирующего, поэтому по формулам (6) и (7) получим систему из 10 уравнений и 10 неизвестных. Фрагмент подготовленной системы уравнений для расчета в программе Mathcad представлен на рисунке 2.

$$g_{1,1} \cdot U_{a1} + b_{1,1} \cdot U_{r1} + g_{1,2} \cdot U_{a2} + b_{1,2} \cdot U_{r2} + g_{1,3} \cdot U_{a3} + b_{1,3} \cdot U_{r3} + g_{1,4} \cdot U_{a4} + b_{1,4} \cdot U_{r4} + g_{1,5} \cdot U_{a5} + b_{1,5} \cdot U_{r5} + g_{1,6} \cdot U_{by} = \frac{P_1 \cdot U_{a1} + Q_1 \cdot U_{r1}}{(V_1)^2}$$

$$g_{1,1} \cdot U_{r1} - b_{1,1} \cdot U_{a1} + g_{1,2} \cdot U_{r2} - b_{1,2} \cdot U_{a2} + g_{1,3} \cdot U_{r3} - b_{1,3} \cdot U_{a3} + g_{1,4} \cdot U_{r4} - b_{1,4} \cdot U_{a4} + g_{1,5} \cdot U_{r5} - b_{1,5} \cdot U_{a5} - b_{1,6} \cdot U_{by} = \frac{P_1 \cdot U_{r1} - Q_1 \cdot U_{a1}}{(V_1)^2}$$

Рисунок 2 – Фрагмент системы уравнений узловых напряжений

Результаты расчета напряжений показаны на рисунке 3.

$$U1 := \sqrt{V1^2 + W1^2} = 111.451 \quad d1 := \frac{\text{atan}\left(\frac{W1}{V1}\right)}{\text{deg}} = -2.942$$

$$U2 := \sqrt{V2^2 + W2^2} = 115.078 \quad d2 := \frac{\text{atan}\left(\frac{W2}{V2}\right)}{\text{deg}} = -1.351$$

$$U3 := \sqrt{V3^2 + W3^2} = 112.925 \quad d3 := \frac{\text{atan}\left(\frac{W3}{V3}\right)}{\text{deg}} = -1.424$$

$$U4 := \sqrt{V4^2 + W4^2} = 100.196 \quad d4 := \frac{\text{atan}\left(\frac{W4}{V4}\right)}{\text{deg}} = -6.065$$

$$U5 := \sqrt{V5^2 + W5^2} = 108.196 \quad d5 := \frac{\text{atan}\left(\frac{W5}{V5}\right)}{\text{deg}} = -3.614$$

Рисунок 3 – Значения узловых напряжений

Для проверки полученных результатов выполним контрольный расчет в программе Rastr. Результаты расчета представлены на рисунках 4 и 5 и на схеме электрической сети на рисунке 6.

Тип	Номер	U_ном	N_...	P_н	Q_н	P_г	Q_г	V_зд	Q_min	Q_max	V	Delta	U	P_неб	Q_неб	Терр...
Нагр	1	110									111,46	-2,94	111.3-35.7	0,041	0,034	
Нагр	2	110				37,0	17,0				115,09	-1,35	115.1-32.7	0,047	0,044	
Нагр	3	110		44,0	22,0						112,93	-1,42	112.9-32.8	0,002	0,018	
Нагр	4	110		51,0	25,0						100,21	-6,06	99.6-310.6	0,005	0,001	
Нагр	5	110		38,0	19,0						108,21	-3,61	108-36.8	0,002		
База	6	110				105,3	65,2	119,0			119,00		119			

Рисунок 4– Результаты расчета режима электрической сети по узлам

S	Тип	N_нач	N_кон	N_п	R	X	B	Кт/r	P_нач	Q_нач	Na	I max
	ЛЭП	6	1		6,82	22,28			-39,41	-28,99		237
	ЛЭП	6	2		5,08	16,61			-25,67	-20,42		159
	ЛЭП	6	3		12,84	13,32			-40,24	-15,74		210
	ЛЭП	1	4		12,85	18,23			-55,12	-30,85		327
	ЛЭП	1	5		13,45	23,06			-11,44	-9,10		76
	ЛЭП	1	2		5,97	15,69			28,27	14,69		165
	ЛЭП	2	3		12,70	21,78			-5,54	-8,16		49
	ЛЭП	2	5		17,75	25,17			-28,04	-12,07		153

Рисунок 5– Результаты расчета режима электрической сети по ветвям

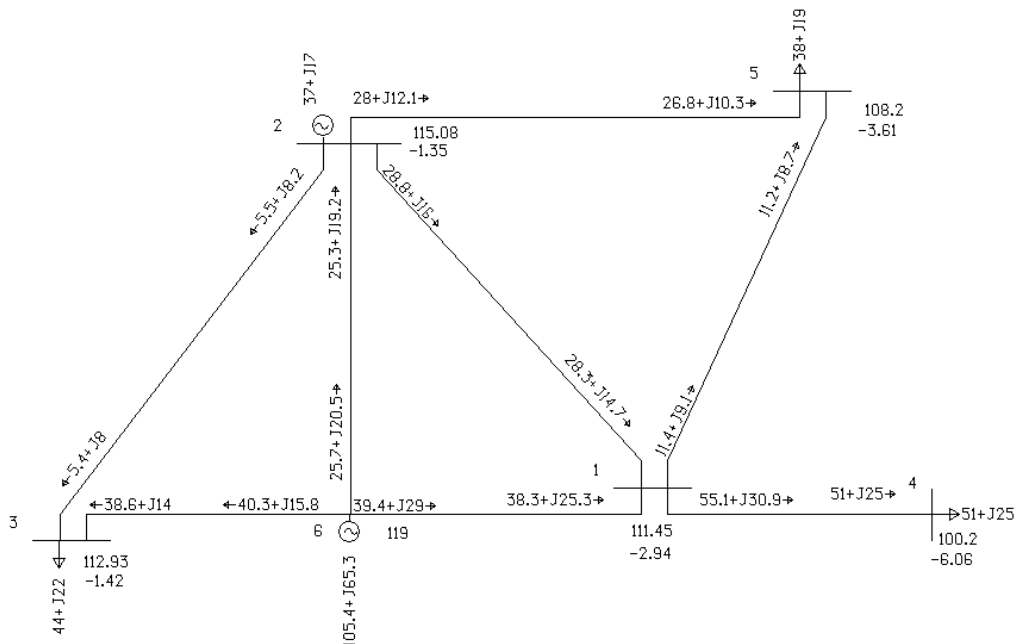


Рисунок 6 – Схема электрической сети с результатами расчета по программе Rastr

Заключение

В ходе работы был проведен расчёт режима электрической сети переменного тока с помощью уравнений узловых напряжений в прямоугольной системе координат.

Литература

1. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие [для вузов по направлению "Электроэнергетика"] / А.А. Герасименко, В.Т. Федин – Изд. 2-е. – Ростов-на-Дону: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2008. – 718 с.
2. 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.