

УДК 621.311

УЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УЗЛАХ ПРИ РАСЧЕТЕ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Мацкевич М. О.

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

Расчет и анализ установившихся режимов (УР) электрических сетей имеет большое значение при их проектировании и эксплуатации. Задача расчета режимов имеет не только самостоятельное значение при определении потоков распределений, напряжений, токов и потерь мощности в сетях, но и является базовой при решении задач оптимизации режимов, при расчетах переходных электромеханических процессов, при определении токов короткого замыкания [1].

Цель данной работы заключалась в составлении алгоритма расчета установившегося режима электрической сети с учетом трансформаторов и его реализации в программе MathCAD.

Схема замещения двухобмоточного трансформатора в расчётах УР электрических сетей обычно принимается упрощенной и отвечает Г-образной схеме замещения при отсутствии поперечной проводимости со стороны m и наличии с этой стороны идеального трансформатора (рисунок 1), в общем случае характеризуемого комплексным коэффициентом трансформации.

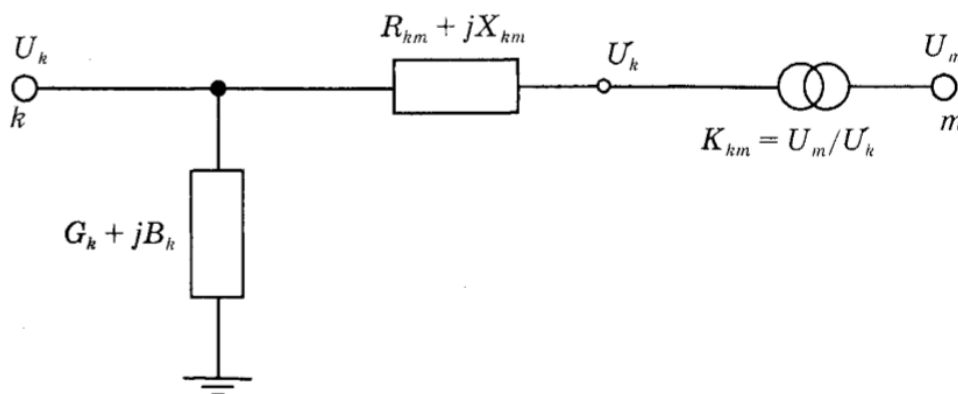


Рисунок 1 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора

Схемы соединений трансформаторов унифицированы и размещаются таким образом, чтобы параллельно работающие трансформаторы имели один и тот же сдвиг по фазе, т.е. были согласованы. Поэтому, как правило, при расчётах УР трансформаторы представляются действительными коэффициентами трансформации. Исключением являются фазосдвигающие трансформаторы, которые предназначены для принудительного регулирования потока активной мощности в замкнутом контуре. В этом случае трансформатор имеет неуравновешенный сдвиг по фазе и должен замещаться комплексным коэффициентом трансформации. Однако в нашей стране такой способ регулирования потока активной мощности не нашёл широкого применения.

При расчёте параметров схемы замещения трансформатора используются паспортные данные опыта короткого замыкания и холостого хода $U_{кз\%}, \Delta P_{кз}, I_{кз\%}, \Delta P_{хх}$:

$$X_{km} = \frac{U_{кз\%} U_{ном}^2}{100 S_{ном}}; R_{km} = \frac{\Delta P_{кз} U_{ном}^2}{S_{ном}^2}; G_k = \frac{\Delta P_{хх}}{U_{ном}^2}; B_k = \frac{I_{кз\%} S_{ном}}{100 U_{ном}^2}.$$

Сопротивления приводятся к напряжению той стороны, где расположена поперечная ветвь, определяющая потери холостого хода.

Математические модели трёхобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов оказываются весьма непростыми из-за сложной зависимости от режима распределения магнитных потоков по ядру и многообразия используемых способов регулирования напряжения.

При наличии трансформаторных связей в электрической сети для расчета УР можно использовать два подхода [2]:

1) привести сопротивления элементов к одной ступени напряжения, а после того как определили режимные параметры произвести их корректировку с учетом коэффициентов трансформации;

2) выполнить расчёт УР электрической сети без приведения сопротивлений к одной ступени напряжения за счёт включения коэффициента трансформации в матрицу проводимостей.

Для апробации алгоритма расчета УР с учетом трансформаторов рассмотрим схему электрической сети, приведенной на рисунке 2.

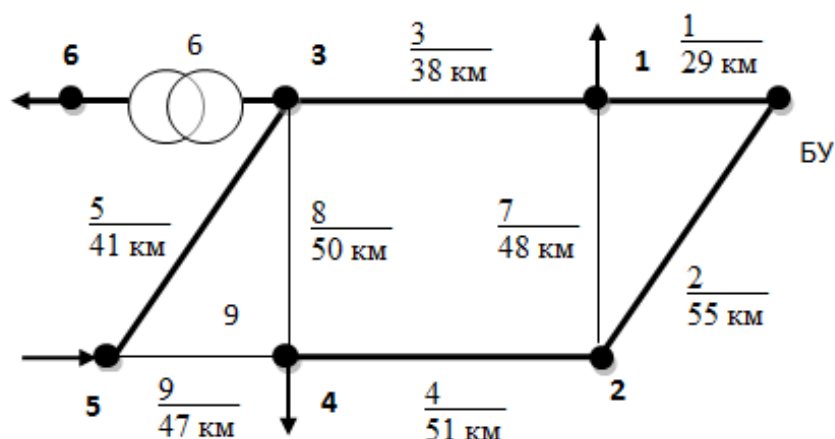


Рисунок 2 – Схема электрической сети

Принимаем следующие исходные данные. Ветви 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 графа – это линии электропередачи 110 кВ, выполненные проводом марки АС-240/32 с погонными параметрами $r_0 = 0,121 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,405 \text{ Ом/км}$; $b_0 = 2,81 \text{ мкСм/км}$. Ветвь 6 - трансформатор ТРДЦН -63000/110.

Задаем нагрузки в узлах сети, МВ·А:

$$S := P + j \cdot Q = \begin{pmatrix} 33 + 20i \\ 0 \\ 34 + 21i \\ 29 + 18i \\ -39 - 24i \\ 25 + 15i \end{pmatrix}$$

Первая матрица соединений с учетом и без учета балансирующего узла (БУ):

$$M\Sigma := \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad M := \text{submatrix}(M\Sigma, 1, 6, 1, 9) = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Далее определяем:

- вектор проводимостей продольных ветвей, в котором учитываются линии электропередач и трансформатор;
- и вектор проводимостей связи независимых узлов с БУ. Узлы, которые имеют связь с БУ – дают соответствующие проводимости;
- матрицу узловых проводимостей

$$Y_b := \begin{pmatrix} \frac{1}{z_1} & \frac{1}{z_2} & \frac{1}{z_3} & \frac{1}{z_4} & \frac{1}{z_5} & \frac{1}{r_T + j \cdot x_T} & \frac{1}{z_7} & \frac{1}{z_8} & \frac{1}{z_9} \end{pmatrix}$$

$$Y_{by} := \text{submatrix}(M \Sigma \cdot \text{diag}(Y_b^T) \cdot M \Sigma^T, 7, 7, 1, 1, 7)$$

$$Y := M \cdot \text{diag}(Y_b^T) \cdot M^T$$

Потери холостого хода трансформатора учитываем в матрице задающих мощностей.

Расчет проводим по методу простых итераций. В качестве начальных приближений принимаем номинальные напряжения 110 и 10 кВ.

Ход итерационного процесса:

$$U(z_y, s) = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|} \hline 110 & 114.175-5.155i & 113.823-4.669i & 113.806-4.744i & 113.798-4.737i & 113.797-4.738i & 113.797-4.738i \\ \hline 110 & 115.14-4.46i & 114.784-4.048i & 114.767-4.116i & 114.76-4.109i & 114.759-4.111i & 114.759-4.11i \\ \hline 110 & 110.994-8.598i & 110.178-7.729i & 110.139-7.879i & 110.123-7.864i & 110.122-7.867i & 110.122-7.867i \\ \hline 110 & 112.095-7.711i & 111.388-6.966i & 111.356-7.094i & 111.342-7.081i & 111.341-7.084i & 111.341-7.083i \\ \hline 110 & 114.502-5.654i & 113.742-5.094i & 113.714-5.204i & 113.702-5.192i & 113.701-5.194i & 113.701-5.194i \\ \hline 10 & 9.841-1.233i & 9.71-1.117i & 9.706-1.14i & 9.703-1.138i & 9.703-1.138i & 9.703-1.138i \\ \hline \end{array}$$

В результате расчета получаем:

$$\vec{|U|} = \begin{pmatrix} 113.896 \\ 114.832 \\ 110.402 \\ 111.566 \\ 113.819 \\ 9.77 \end{pmatrix} \quad \arg(U) = \begin{pmatrix} -2.384 \\ -2.051 \\ -4.086 \\ -3.64 \\ -2.615 \\ -6.691 \end{pmatrix} \cdot \text{deg}$$

Для проверки, проведем расчет той же схемы и с идентичными исходными данными в программе RastrWin3. Результаты расчета представлены на рисунке 3.

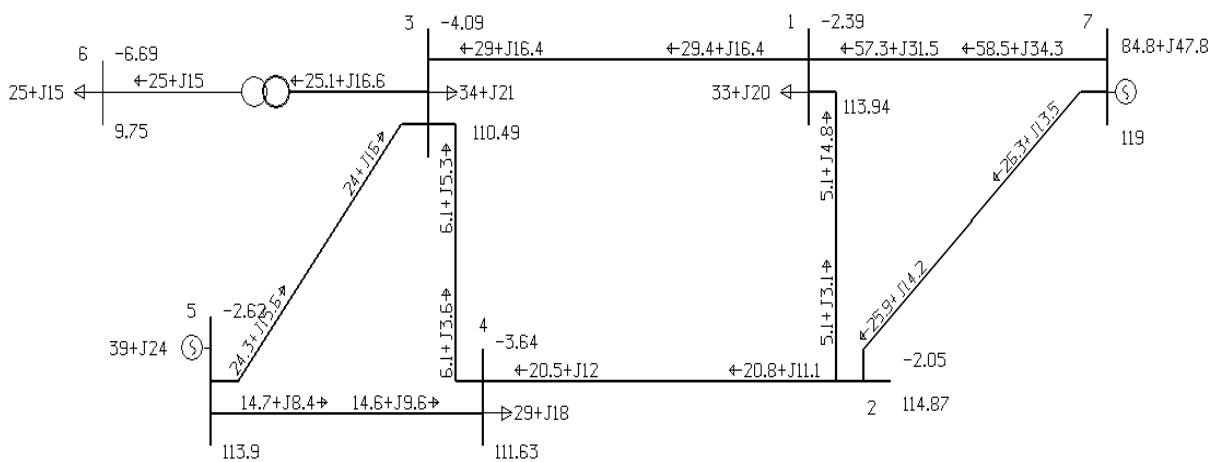


Рисунок 3 – Результаты расчета по программе

Сравнивая результаты расчетов по Mathcad и по программе RastrWin3 можно сделать вывод, что алгоритм составлен, верно. Следует отметить, что при расчете УР электрической сети переменного тока необходимо учитывать в уравнениях узловых напряжений сопряженные элементы – полную мощность и напряжения.

Литература

1. Васюра Ю.Ф., Вильнер А.В. Математические методы расчета установившихся режимов работы электроэнергетических систем с примерами и иллюстрациями: Учебное пособие. – Киров: Изд-во Кировский облкомстат, 2009. -146 с.

3. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : учеб. пособие / А.В. Лыкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2009. – 228 с.