

УДК.621.311

РАСЧЁТ РЕЖИМА ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЗЛОВЫХ УРАВНЕНИЙ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ

Белько А.И.

Научный руководитель - старший преподаватель Мышковец Е.В.

Суть метода состоит в том, что сначала задаются некоторые ориентировочные значения и выводится решение. Затем это решение будет приближаться (уточняться) до тех пор, пока не будет задана требуемая точность решения. Как правило, точность - разность между решениями на двух соседних итерациях. Если все переменные уравнений при сравнении достигли заданной точности, то решение считается достигнутым и дальнейший расчёт прекращается, в противном случае продолжается.

$$\begin{cases} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 = b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + a_{23} \cdot x_3 = b_2, \\ a_{31} \cdot x_1 + a_{32} \cdot x_2 + a_{33} \cdot x_3 = b_3 \end{cases} \quad (1)$$

где a - элементы матрицы A , b - элементы матрицы B , x - элементы искомой матрицы X .

$$A \cdot X = B \quad (2)$$

$$x_1^{(1)} = \frac{1}{a_{11}} \cdot (b_1 - a_{12} \cdot x_2^{(0)} - a_{13} x_3^{(0)})$$

$$x_2^{(1)} = \frac{1}{a_{22}} \cdot (b_2 - a_{21} \cdot x_1^{(0)} - a_{23} x_3^{(0)}) \quad (3)$$

$$x_3^{(1)} = \frac{1}{a_{33}} \cdot (b_3 - a_{31} \cdot x_1^{(0)} - a_{32} x_2^{(0)})$$

$$\varepsilon > \left| x_i^{(k)} - x_i^{(k-1)} \right|, \quad (4)$$

где ε - заданная точность.

Для расчёта режимов замкнутых электрических сетей используем уравнения узловых напряжений:

$$Y_Y \cdot U_\Delta = -J = -\frac{P}{U} \quad (5)$$

где U_Δ - падение напряжения в узлах, Y_Y - проводимость ветвей

Отсюда:

$$U_Y = U_{Бу} - U_\Delta \quad (6)$$

$$U_{Ynm} = \frac{1}{Y_{Yii}} \cdot \left(\frac{-S_m}{U_{Yn-1,m}} + U_{Бу} \cdot \sum_{j=1}^m Y_{Yij} - \sum_{i=1}^m Y_{Yij} \cdot U_{Yni} \right), \quad (7)$$

ГДЕ $U_{Бу}$ - напряжение в балансирующем узле (БУ), S - мощность в узле, U_y - напряжение в узлах.

Для того, чтобы убедиться в том, что данный метод пригоден для расчётов замкнутых сетей, рассчитаем четыре схемы (рис.1).

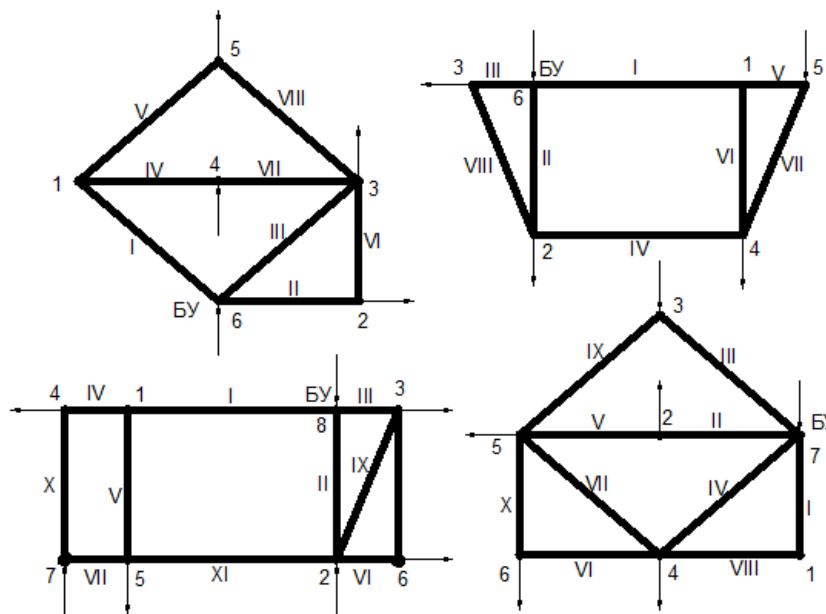


Рис. 1 Варианты схем электрических сетей

Также представлена информация о нагрузках, напряжении в балансирующем узле и длинах линий.

Для расчётов режимов электрических сетей используем программы «RASTR» и «MathCad». С помощью MathCad определим количество итераций, необходимых для достижения точности результата, а по программе RASTR сравним полученные результаты с его расчётом режима.

Для расчёта напряжения в узлах можно использовать программу, с помощью которой будет автоматически определено количество итераций и при этом будут отображены все промежуточные и итоговый результаты (рис 2)

$$\begin{array}{l}
 U_{y1} := \left| \begin{array}{l}
 U^{(1)} \leftarrow U_{bu0} \\
 U_{\Delta}^{(1)} \leftarrow U_{y0} \\
 \text{for } k \in 2..200 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 U_y \leftarrow U_{\Delta}^{(k-1)} + U_{bu} \\
 U_{\Delta}^{(k)} \leftarrow \alpha \cdot U_{\Delta}^{(k-1)} + \text{diag}(U_y)^{-1} \cdot \beta \\
 U^{(k)} \leftarrow U_{\Delta}^{(k)} + U_{bu} \\
 \text{for } i \in 1..5 \\
 \quad \varepsilon_i \leftarrow \left| \left(U^{(k)} \right)_i - \left(U^{(k-1)} \right)_i \right| \\
 \text{break if } \max(\varepsilon) < 0.01 \\
 \text{return } U
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \right.
 \end{array}$$

$$\text{где: } \alpha := \left| \begin{array}{l}
 \text{for } i \in 1..5 \\
 \quad \text{for } j \in 1..5 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \alpha_{i,j} \leftarrow -\frac{Y_{y,i,j}}{Y_{y,i,i}} \text{ if } i \neq j \\
 \alpha_{i,j} \leftarrow 0 \text{ if } i = j
 \end{array} \right. \\
 \text{return } \alpha
 \end{array} \right.
 \quad \beta := \left| \begin{array}{l}
 \text{for } i \in 1,2..5 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \beta_i \leftarrow \frac{(-P)_i}{Y_{y,i,i}} \\
 \text{return } \beta
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

Рис. 2 Алгоритм программы расчёта

При изменении параметров системы количество итераций, необходимых для достижения необходимой точности решения может менять как в ту, так и в другую сторону. Проанализируем влияние этих параметров на примере схемы №1.

1) Изменение мощности нагрузок и генерации

В этом случае будем постепенно увеличивать мощность с помощью коэффициента утяжеления, который показывает, во сколько раз мощность превышает номинальное значение. Для данной схемы при мощности, превышающей номинальную в 6,2 раза режим расходится. При этом необходимо отметить, что, если мощность нагрузки будет расти, а мощность генераторов останется постоянной, режим разойдётся гораздо быстрее.

2) Изменение $U_{БУ}$

Для этого будем снижать напряжение в БУ ступенями по 0,1 от номинального напряжения, т.е. 110, 100, 90 и т.д. Расчёт показал, что режим расходится при напряжении в БУ, равный 43% от номинального напряжения сети.

3) Изменение Y_y

Для этого будем уменьшать значения узловых проводимостей. В этом случае сопротивления будут увеличиваться, т.к. проводимость обратно пропорциональна сопротивлению. Расчёт показал, что режим разошёлся при $Y_y=0.16Y_y$ или, по-другому говоря, при увеличении сопротивления в 6,25 раз.

Преимуществами метода простой итерации являются простота этого метода, возможность получения достаточно точного результата, а также возможность программировать в любой программе для расчёта режимов. Однако большое количество итераций, необходимое для получения точных результатов ограничивает применение этого метода. К тому же, при расчёте режимов необходимо учитывать влияние отдельных параметров системы на сходимость итерационного процесса.

Литература

1. Шиманская Т. А. Методическое пособие по выполнению курсовой работы по дисциплине «Математические модели в энергетике» для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети». – Мн.: БНТУ, 2010.
2. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычёв П.В. Электрические системы и сети – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.