

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СРЕДЕ МАТЛАБ

Магистрант ЭФ А.К.Расулов, научный руководитель У.Б. Шарипов, ТашГТУ

В статье рассматривается разработка алгоритмов расчета установившихся режимов электроэнергетических систем в среде MATLAB. Представлена разработка, которая предназначена для использования расчета режимов электроэнергетических систем в учебных курсах бакалавриата и магистратуры и проведения исследовательских работ. Приведенная программа также может быть использована при разработках моделей оптимизации режимов и расчетов устойчивости.

This work is planned to study the formation of computational algorithms of electrical power systems' conditions in the MATLAB program, to calculate various observable cases (stabilized, transient) in electric power systems as well as to consider analyzing issues. Furthermore, in the program, prevention controlling of possible errors occurring by initial input data, has been utilized. This work-material serves as a computation tool for Bachelor's and Master's degree students and scientific researchers in the process of research activities.

Ushbu ishda elektroenergetika tizimlari holatlarini hisoblash algoritmlarini Matlab dasturida tuzish, elektr energetika tizimlarida kuzatiladigan turli holatlarni (barqarorlashgan, o'tkinchi) hisoblash va tahlil qilish masalalarini ko'rib chiqishga mo'ljallangan. Shuningdek dasturda boshlang'ich ma'lumotlarni kiritishdagi ehtimoliy xatolarni oldini olish nazorati qo'llangan. Maskur ishlanma bakalavriat, magistratura yo'nalishidagi talabalar hamda ilmiy izlanuvchilar o'quv va tadqiqot ishlari jarayonlarida foylaniladigan hisoblash dasturi bo'lib xizmat qiladi.

Для расчета установившихся режимов энергосистем наиболее широко используется метод узловых напряжений (МУН) [1]. Алгоритмы на его основе позволяют сравнительно просто и однозначно сформировать систему узловых уравнений, матрица узловых проводимостей легко корректируется при изменении коэффициентов трансформации трансформаторных ветвей и при коммутациях ветвей.

На базе МУН могут быть сформированы системы нелинейных уравнений (СНУ) в форме баланса токов или баланса мощностей. Для разработки программы расчета установившихся режимов авторами принята вторая форма, в соответствии с которой уравнения балансов активной - $Wp(U)$ и реактивной - $Wq(U)$ мощностей в декартовых координатах имеют следующий вид:

$$F(U) = Wp(U) + jWq(U)$$

$$Wp(U) = \sum_{k=0}^N [g_{ii}(U_i U_k + U_i U_k) + b_{ii}(U_i U_k - U_i U_k)] + P_i = 0 \quad (1)$$

$$Wq(U) = \sum_{k=0}^N [g_{ii}(U_i U_k - U_i U_k) - b_{ii}(U_i U_k - U_i U_k)] + Q_i = 0 \quad (2)$$

где N – число узлов в сети;

g_{ii}, b_{ii} – элементы матрицы СВП;

P_i, Q_i – активные и реактивные нагрузочные узлы сети;

$U_i U_i$ – вещественные и мнимые части комплексного переменного в уравнении.

Для решения систем нелинейных уравнений (СНУ) рассмотрено метод Ньютона [2].

Решение СНУ (1) и (2) по методу Ньютона выполняется следующим образом:

$$U^{(n)} = U^{(n-1)} + \Delta U^{(n)}$$

$$\Delta U^{(n)} = J^{-1} * F(U),$$

где $J = \begin{vmatrix} \frac{\partial W(P)}{\partial U} & \frac{\partial W(P)}{\partial U''} \\ \frac{\partial W(Q)}{\partial U} & \frac{\partial W(Q)}{\partial U''} \end{vmatrix}$ - матрица первых производных (матрица Якоби).

Элементы матрицы Якоби находятся из выражений:

$$\frac{\partial W(P_i)}{\partial U_k} = \begin{cases} g_{ik}U'_i + b_{ik}U''_i, & k \neq i \\ -2g_{ii}U'_i + \sum_{k=0, k \neq i}^N (g_{ik}U'_k - b_{ik}U''_k), & k = i \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{\partial W(P_i)}{\partial U''_k} = \begin{cases} g_{ik}U''_i - b_{ik}U'_i, & k \neq i \\ -2g_{ii}U''_i + \sum_{k=0, k \neq i}^N (g_{ik}U''_k + b_{ik}U'_k), & k = i \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{\partial W(Q_i)}{\partial U_k} = \begin{cases} g_{ik}U''_i - b_{ik}U'_i, & k \neq i \\ 2g_{ii}U''_i - \sum_{k=0, k \neq i}^N (g_{ik}U''_k + b_{ik}U'_k), & k = i \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{\partial W(Q_i)}{\partial U''_k} = \begin{cases} -g_{ik}U'_i - b_{ik}U''_i, & k \neq i \\ 2g_{ii}U''_i + \sum_{k=0, k \neq i}^N (g_{ik}U'_k - b_{ik}U''_k), & k = i \end{cases} \quad (6)$$

$$J(U^{(n)}) * \Delta U^{(n)} = F(U^{(n)}) \quad (7)$$

(7)-итерационная формула, где $\Delta U^{(n)}$ определяется решением линейным системы уравнения на каждом шаге итерации.

В разработанной программе реализованы следующие основные этапы:

- Чтение исходных данных (ИД) для расчетов;
- Формирование матриц собственных и взаимных узловых проводимостей (СВП) и, на их основе СНУ;
- Задание начальных приближений напряжений узлов.
- Решением СНУ методом итерации определение модулей и углов напряжений узлов;
- Расчеты потокораспределений;
- Вывод результатов.

Исходные данные для расчетов включают в себя:

- Информацию по узлам – номер, название, номинальное напряжение узла, значения активной и реактивной мощности нагрузки и генерации в узле, с ограничениями мощности по генерации;
- Информацию по ветвям – номера начала и конца ветви, параметры элементов - сопротивления, проводимости, коэффициенты трансформации, допустимый ток по ветвям;

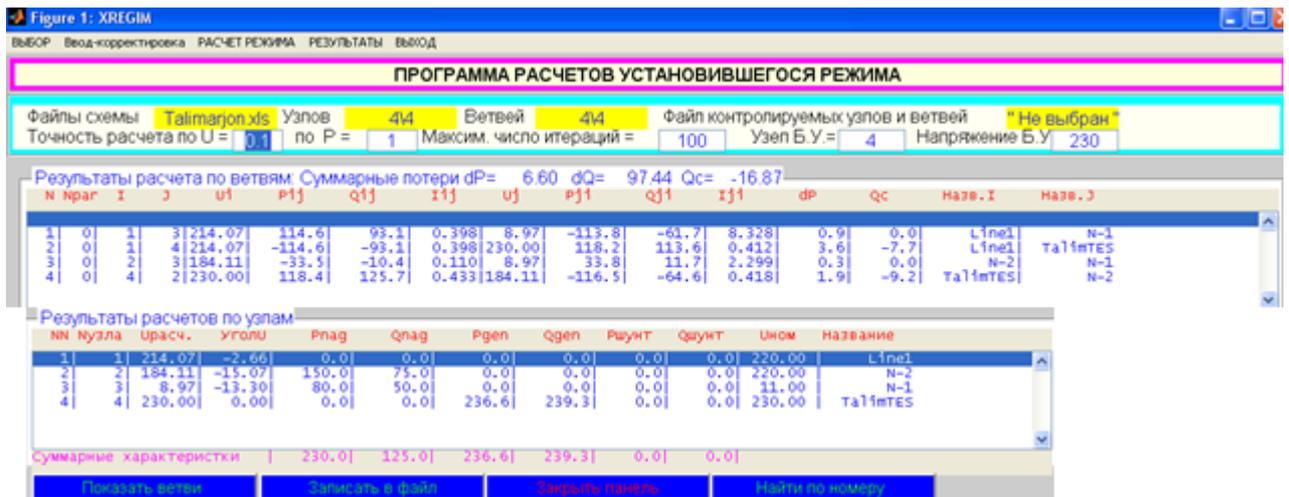


Рис.3. Главное окно программы с результатом расчета УР

Таким образом, в процессе разработки авторами были рассмотрены два варианта реализации алгоритма Ньютона:

1. Полная матрица СВП
2. С использованием пакета разреженных матриц программы Матлаба [3].

Результаты показывают, что с использованием разреженных матриц уменьшается количество переменных в уравнении. Точнее, в 13 узловых в схемах в 2,7 раза, в 51 узловой схеме в 10,7 раза, и в 264 узловых схемах в 46,6 раза.

Следует отметить, что после некоторой доработки, программа для расчета УР ЭС может использоваться службами режимов электроэнергетических систем и соответствующими отделами в проектных организациях.

Литература

1. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация - Ташкент: «Молия», 1999. С.169.
2. Меркурьев Г.В., Шагрин Ю.М. Устойчивость энергосистем. НОУ «Центр подготовки кадров энергетики» - Санкт-Петербург, 2012. С.34-70.
3. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. Пер. с англ.–Москва «Мир». 1988. С.110-130.
4. Kuleshov A.I., Prakhin B. Ya. Calculation and Analysis of Steady Modes of Electric Power Systems with using of PCs- Ivanovo, 2013, 171 p.
5. Ясинский Ф.Н., Ильичев Н.Б. Расчет установившегося режима электрической сети средствами GPU. – Иваново: ФГБОУ ВПО «Вестник». Вып. 2, 2015. С.68-72.

FORMATION OF COMPUTATIONAL ALGORITHMS OF STEADY-STATE MODES OF ELECTRICAL POWER SYSTEMS WITH THE HELP OF MATLAB

U.B. Sharipov, A.K. Rasulov

MATLAB DASTURIDA ELEKTROENERGETIKA TIZIMLARI BARQARORLASHGAN HOLATLARINI HISOBLASH ALGORITMLARINI TUZISH

U.B. Sharipov, A.K. Rasulov