МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

К Г Э У

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

Кафедра № ЭСиС

Только для преподавателей Экз. № ____

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

по учебной дисциплине

Б.1.В.ДВ.13. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Практическое занятие:

ОПИСАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА УРАВНЕНИЯМИ БАЛАНСА МОЩНОСТИ.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭСиС

Максимов В.В.

« »____________ 201_ г.

УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

по учебной дисциплине «Физико-математическое моделирование электроэнергетических систем»

Практическое занятие:

ОПИСАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА УРАВНЕНИЯМИ БАЛАНСА МОЩНОСТИ.

Учебные и воспитательные цели:

1. Дать систематизированные знания о физико-математическом моделировании электроэнергетических систем.
2. Освоить приёмы основных вероятностных расчётов в электроэнергетических задачах

Вид занятия: Практическое занятие.

Продолжительность занятия: 2 часа.

Структура занятия и расчет времени.

№п/п	Структура занятия	Время, мин
1	**Вводная часть**	**10-15**
2	**Основная часть** **1. Решение задач.**	**70-75**
3	**Заключительная часть**	**3-5**

Вводная часть занятия: проверить наличие и готовность обучающихся к занятию; провести опрос по пройденному материалу в соответствии с перечнем вопросов и подвести его итоги; объявить тему и учебные цели занятия; обратить внимание обучающихся на важность изучения учебных вопросов занятия, так как знание их может быть востребовано при выполнении курсовой работы и выпускной квалификационной работы.

Основная часть занятия: учебные вопросы занятия изучаются в составе группы с применением диафильма, диапроектора, стендов, плакатов, классной доски, цветных мелков. Изучать материал занятия следует в строгом соответствии с учебной программой и тематическим планом изучения учебной дисциплины.

Наименование учебных вопросов преподаватель объявляет последовательно по мере изложения учебного материала и записывает их на классной доске.

На классной доске следует также записывать номер и название темы и занятия, учебные вопросы, цифровые характеристики, формулы, непонятные и сложные для обучаемых термины, чертить поясняющие схемы. Записи на классной доске вести последовательно и аккуратно.

В ходе изложения учебного материала необходимо контролировать степень усвоения учебного материала путем постановки контрольных и проблемных вопросов.

При изучении учебного материала обучающихся должны вести конспект. Контроль за качеством ведения конспектов преподаватель осуществляет в ходе проведения занятия.

Основная часть занятия:

Для приведенной структурной схемы электрической системы (см. рис. 3.1) при заданных $\dot{S}_i$ и $\underline{Z}_{ij}$:

- записать в развернутом виде систему уравнений установившегося режима в форме баланса мощности;
- записать выражения для собственной активной и реактивной проводимости узлов.

6.

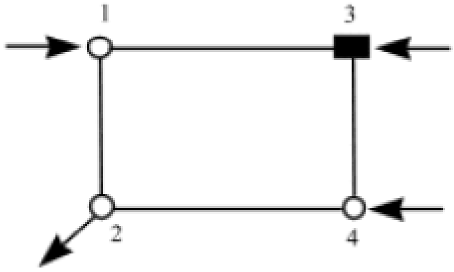


Рисунок 3.1 Структурная схема электрической системы

Примечание: балансирующий узел отмечен символом ■.

Решение

1) Составим математическую модель режима схемы в форме уравнений баланса мощности:

$$
\begin{aligned}
P_{1\Sigma} &= U_1^2 g_{11} + U_1 U_2 Y_{12} \sin\left(\delta_1 - \delta_2 - \alpha_{12}\right) + U_1 U_3 Y_{13} \sin\left(\delta_1 - \delta_3 - \alpha_{13}\right) - P_1 = 0 \\
P_{2\Sigma} &= U_2^2 g_{22} + U_1 U_2 Y_{12} \sin\left(\delta_2 - \delta_1 - \alpha_{12}\right) + U_2 U_4 Y_{24} \sin\left(\delta_2 - \delta_4 - \alpha_{24}\right) - P_2 = 0 \\
P_{4\Sigma} &= U_4^2 g_{44} + U_2 U_4 Y_{24} \sin\left(\delta_4 - \delta_2 - \alpha_{24}\right) + U_3 U_4 Y_{34} \sin\left(\delta_4 - \delta_3 - \alpha_{34}\right) - P_4 = 0 \\
Q_{1\Sigma} &= U_1^2 b_{11} + U_1 U_2 Y_{12} \cos\left(\delta_1 - \delta_2 - \alpha_{12}\right) + U_1 U_3 Y_{13} \cos\left(\delta_1 - \delta_3 - \alpha_{13}\right) - Q_1 = 0 \\
Q_{2\Sigma} &= U_2^2 b_{22} + U_1 U_2 Y_{12} \cos\left(\delta_2 - \delta_1 - \alpha_{12}\right) + U_2 U_4 Y_{24} \cos\left(\delta_2 - \delta_4 - \alpha_{24}\right) - Q_2 = 0 \\
Q_{4\Sigma} &= U_4^2 b_{44} + U_2 U_4 Y_{24} \cos\left(\delta_4 - \delta_2 - \alpha_{24}\right) + U_3 U_4 Y_{34} \cos\left(\delta_4 - \delta_3 - \alpha_{34}\right) - Q_4 = 0
\end{aligned},
\qquad (3.1)
$$

где $Y_{ij} = g_{ij} - ib_{ij}$ - проводимости ветвей, подходящих к узлу *i*,

$g_{ii} = Y_{ii} \sin\alpha_{ii}$ - собственная активная проводимость узла *i*;

$b_{ii} = Y_{ii} \cos\alpha_{ii}$ - собственная реактивная проводимость узла *i*, и $Y_{ii} = \sum_{j \in w_i} \frac{1}{Z_j}$ - собственная проводимость узла *i*, определяемая как сумма проводимостей ветвей, подходящих к данному узлу. В полученной системе нелинейных уравнений (3.1) искомыми являются модули U_1, U_2, U_4 и фазовые углы $\delta_1, \delta_2, \delta_4$ напряжений в узлах 1, 2, 4.

Для решения системы (3.1) используем метод Ньютона. Запишем итерационное уравнение Ньютона для поиска корней $\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 - \frac{\mathbf{f}(x)}{\partial \mathbf{f}(x) / \partial x}$. В нашем случае величины, приведённые в формуле, имеют значения:

$$\mathbf{x}=\begin{pmatrix}U_1\\U_2\\U_4\\\delta_1\\\delta_2\\\delta_4\end{pmatrix};\quad \mathbf{f}(x)=\begin{pmatrix}P_{1\Sigma}\\P_{2\Sigma}\\P_{4\Sigma}\\Q_{1\Sigma}\\Q_{2\Sigma}\\Q_{4\Sigma}\end{pmatrix};\quad \frac{\partial\mathbf{f}(x)}{\partial x}=\begin{pmatrix}
\frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_4}
\end{pmatrix}$$

(3.2)

Если сначала найти производные от каждой функции по каждой переменной, то в результате получим матричное уравнение

$$\begin{pmatrix}
\frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_4}\\
\frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_4}
\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}\Delta U_1\\\Delta U_2\\\Delta U_4\\\Delta\delta_1\\\Delta\delta_2\\\Delta\delta_4\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}
P_{1\Sigma}\left(U_1,U_2U_4,\delta_1,\delta_2,\delta_4\right)\\
P_{2\Sigma}\left(U_1,U_2U_4,\delta_1,\delta_2,\delta_4\right)\\
P_{4\Sigma}\left(U_1,U_2U_4,\delta_1,\delta_2,\delta_4\right)\\
Q_{1\Sigma}\left(U_1,U_2U_4,\delta_1,\delta_2,\delta_4\right)\\
Q_{2\Sigma}\left(U_1,U_2U_4,\delta_1,\delta_2,\delta_4\right)\\
Q_{4}\left(U_1,U_2U_4,\delta_1,\delta_2,\delta_4\right)
\end{pmatrix}$$

(3.3)

где $\begin{pmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \Delta U_4 \\ \Delta\delta_1 \\ \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1^{(1)} - U_1^{(0)} \\ U_2^{(1)} - U_2^{(0)} \\ U_4^{(1)} - U_4^{(0)} \\ \delta_1^{(1)} - \delta_1^{(0)} \\ \delta_2^{(1)} - \delta_2^{(0)} \\ \delta_4^{(1)} - \delta_4^{(0)} \end{pmatrix}$ - поправки к переменным.

Технология решения системы уравнений такова. Подставляем везде, где встречаются переменные $U_1, U_2, U_4, \delta_1, \delta_2, \delta_4$ в уравнении их стартовые (нулевые)

приближения $U_1^{(0)}, U_2^{(0)}, U_4^{(0)}, \delta_1^{(0)}, \delta_2^{(0)}, \delta_4^{(0)}$. Затем определяем вектор-поправку $\begin{pmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \Delta U_4 \\ \Delta\delta_1 \\ \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_4 \end{pmatrix}$, решая уравнение

$$\begin{pmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \\ \Delta U_4 \\ \Delta\delta_1 \\ \Delta\delta_2 \\ \Delta\delta_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{1\Sigma}}{\partial \delta_4} \\ \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{2\Sigma}}{\partial \delta_4} \\ \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_{4\Sigma}}{\partial \delta_4} \\ \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{1\Sigma}}{\partial \delta_4} \\ \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{2\Sigma}}{\partial \delta_4} \\ \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial U_4} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{4\Sigma}}{\partial \delta_4} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} P_{1\Sigma}\left(U_1, U_2 U_4, \delta_1, \delta_2, \delta_4\right) \\ P_{2\Sigma}\left(U_1, U_2 U_4, \delta_1, \delta_2, \delta_4\right) \\ P_{4\Sigma}\left(U_1, U_2 U_4, \delta_1, \delta_2, \delta_4\right) \\ Q_{1\Sigma}\left(U_1, U_2 U_4, \delta_1, \delta_2, \delta_4\right) \\ Q_{2\Sigma}\left(U_1, U_2 U_4, \delta_1, \delta_2, \delta_4\right) \\ Q_4\left(U_1, U_2 U_4, \delta_1, \delta_2, \delta_4\right) \end{pmatrix}$$

Затем найденные поправки используем для определения следующих стартовых значений и далее до тех пор , пока максимальная из поправок не будет менее заданной погрешности.

Оптимальное распределение мощности конденсаторных батарей по условиям минимума потерь

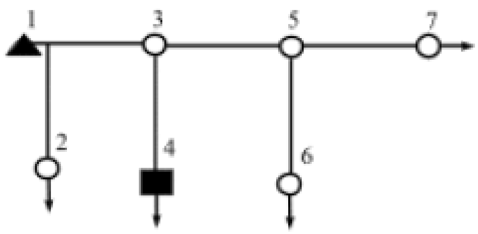
Для заданной структурной схемы при известных значениях активных проводимостях ветвей (g_{ij}), реактивных нагрузках узлов ($Q_{нi}$), суммарной мощности БСК ($Q_{К\Sigma}$) сформировать систему уравнений для расчета потенциалов.

Примечания:

1) символом Δ обозначен источник питания, символом ■ – нагрузочные узлы, для которых установка БСК не предусматривается;
2) потенциалы узлов с установкой КУ принять равными нулю.

Рисунок 2.2 структурная схема электроснабжения

4.



Заключительная часть занятия: Ответить на вопросы, обратить их внимание на необходимость знания изученного материала.

Проверить качество усвоения учебного материала занятия.

Подвести итог занятия, оценить знания и действия.

Выдать задание на самостоятельную работу.

Объявить тему и место проведения очередного занятия, дать команду о наведении порядка в классе и об окончании занятия.

Доцент кафедры к.т.н. доцент: Максимов В.В

«___» __________201 г.

Обсуждено на заседании кафедры «___» __________ 201 г.,

протокол № ___