

ТЕОРИЯ СИСТЕМ

Целью изучения дисциплины является формирование целостного системного мышления инженера-электроэнергетика, основанного на понимании того, что такое система, каковы особенности ее структуры и поведения какими средствами можно описывать (моделировать) систему и обосновывать решения по ее развитию и управлению функционированием.

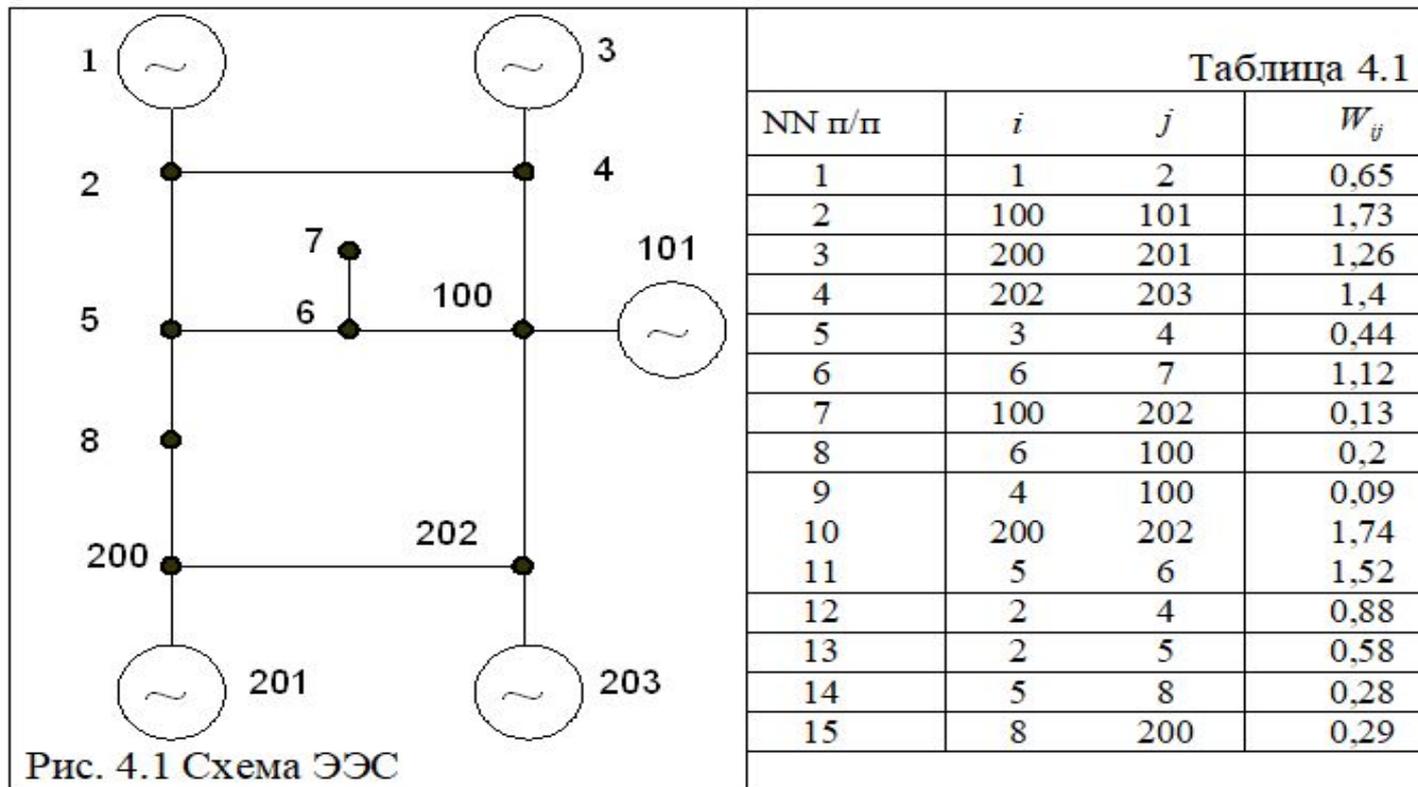
ПЕРВАЯ ТЕМА

Структурный анализ системы

- Цели и задачи структурного анализа. Формализация описания структуры на основе теории графов. Структурно-топологические характеристики систем: связность структуры, структурная избыточность, структурная компактность, степень централизации в структуре, ранг элемента. Структурный анализ электроэнергетических систем.

Анализ структурных характеристик Электроэнергетической системы без учета числовых параметров связей

Задана схема электроэнергетической системы (ЭЭС), представленная на рис. 4.1. Числовые характеристики связей схемы (пропускные способности связей W_{ij} между узлами i и j , ГВт) даны в табл. 4.1.



- В схеме на рис. 4.1 узлы 1, 3, 101, 201, 203 представляют собой генераторы (электростанции). Остальные узлы - сетевые, в некоторых из них имеются электрические нагрузки (для данного класса задач наличие нагрузок несущественно).
- Необходимо определить:
- а) Структурно-топологические характеристики системы без учета числовых параметров связей (только по факту их наличия или отсутствия), а именно:
 - связность структуры;
 - показатель структурной избыточности;
 - показатель структурной компактности относительно генераторных узлов;
 - диаметр структуры относительно генераторных узлов.

Определение структурно-топологических характеристик системы без учета числовых параметров связей

1. Связность структуры системы определяется по формуле:

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \geq n-1; \quad i \neq j, \quad (1)$$

где c_{ij} - элемент матрицы связности, при этом $c_{ij} = 1$, если связь между узлами i и j существует; $c_{ij} = 0$, если связь отсутствует; n - число узлов.

Задания:

- записать матрицу связности схемы ЭЭС, представленной на рис. 1;
- определить, связная структура системы или нет, с помощью неравенства (1);
- нарисовать структуру минимальной связности из пяти узлов, когда неравенство (1) превращается в равенство.

Просуммируем все единицы в вышеприведенной матрице размерностью 14×14 получаем значение равное 30. Подставляем найденное значение в формулу 1.

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} = \frac{1}{2} \cdot 30 = 15 \geq 14 - 1 = 13$$

Вывод: структура системы связная. Число узлов в электроэнергетической системе равно 14.

Структура минимальной связности всегда имеет конфигурацию типа дерево.

О. Дерево – это конечный связный неориентированный граф, не имеющий циклов.

Любое дерево обладает важным свойством: если в дереве n узлов, то в нем всегда $(n-1)$ ребро.

Структурная избыточность системы

Структура минимальной связности из пяти узлов:



Показатель структурной избыточности системы определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \frac{1}{n-1} - 1; \quad i \neq j. \quad (2)$$

Обозначения те же, что и в (1).

Для избыточной структуры $R > 0$, для структуры с минимальной связностью $R = 0$, для несвязанной структуры $R < 0$.

Задания:

- определить показатель структурной избыточности для системы, представленной на рис. 1;
- определить показатель структурной избыточности для системы, представленной на рис. 1, удалив из нее связи 5-8 и 2-5;
- определить, без каких связей система, представленная на рис. 4.1, будет иметь минимальную связность.

Вычислим по формулам показатель структурной избыточности. Результат приведен ниже. $R=0,154$. Убрав одну связь из схемы, мы одновременно убираем две единицы в матрице связности, убрав две связи – убираем 4 единицы. Т.О. Сумма единиц в матрице связности уменьшается на 4. Подсчитав показатель R получаем, что структура имеет минимальную связность

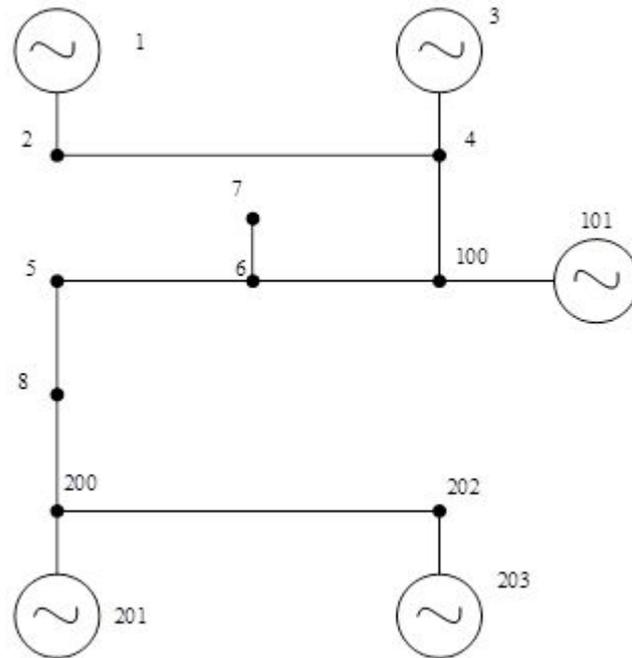
$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n 30 \frac{1}{14-1} - 1 = \frac{15}{13} - 1 = 0,154$$

Вывод: система избыточна

Показатель структурной избыточности для системы без связей 5-8 и 2-5

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (30 - 4) \frac{1}{14-1} - 1 = \frac{13}{13} - 1 = 0$$

Структура минимальной связности без связей 2-5 и 100-202



Структурная компактность

3. Показатель структурной компактности относительно генераторных узлов определяется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} ; \quad i \neq j , \quad (3)$$

где d_{ij} - минимальная длина пути между генераторами i и j , найденная как сумма всех c_{ij} на этом пути; m - число генераторов.

Чем меньше значение Q , тем структура системы компактнее.

Задания:

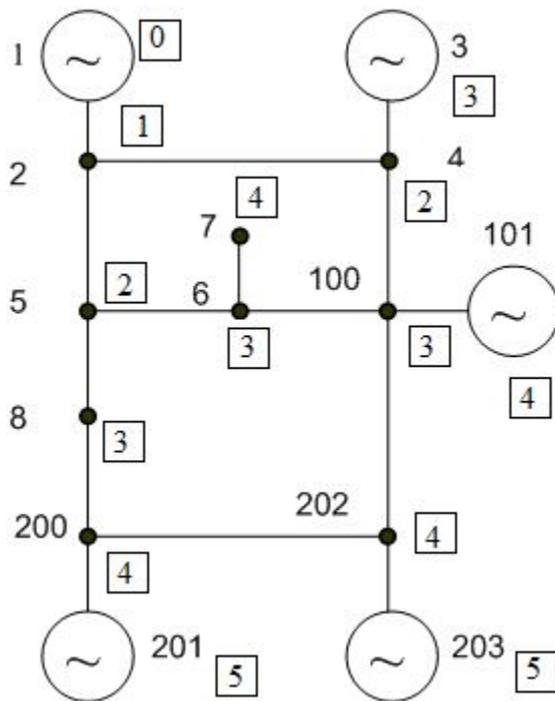
- определить показатель структурной компактности схемы, представленной на рис. 1, относительно генераторных узлов;
- нарисовать структуру системы из пяти узлов с максимальной возможной компактностью, т.е. $Q = Q_{\min}$.

Алгоритм Приписывания индексов в графе с ребрами единичной длины

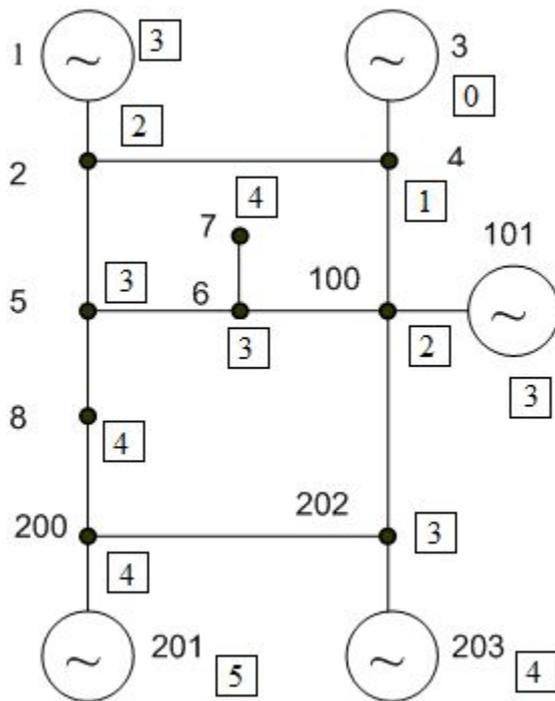
Общее правило для нахождения кратчайшего пути в графе состоит в том, чтобы каждой вершине x_i приписать индекс λ_i , равный длине кратчайшего пути из данной вершины в конечную. Приписывание индексов вершинам в случае графа с ребрами единичной длины производится в следующем порядке:

- 1) конечной вершине приписывается индекс 0;
- 2) всем вершинам, из которых идет ребро в конечную вершину, приписывается индекс 1
- 3) всем вершинам, еще не имеющим индексов, из которых идет ребро в вершину с индексом λ_i , приписывается индекс $\lambda_i + 1$. Этот процесс продолжается до тех пор, пока впервые не будет помечена начальная вершина. По окончании разметки индекс у начальной вершины будет равен длине кратчайшего пути. Сам кратчайший путь найдем, в случае если будем двигаться из начальной вершины в конечную в направлении убывания индексов.

Реализация алгоритма для нахождения кратчайшего пути от генератора №1 до всех остальных генераторов



Реализация алгоритма для нахождения кратчайшего пути от генератора №3 до всех остальных генераторов



Реализация алгоритма для нахождения кратчайшего пути от генератора №101 до всех остальных генераторов

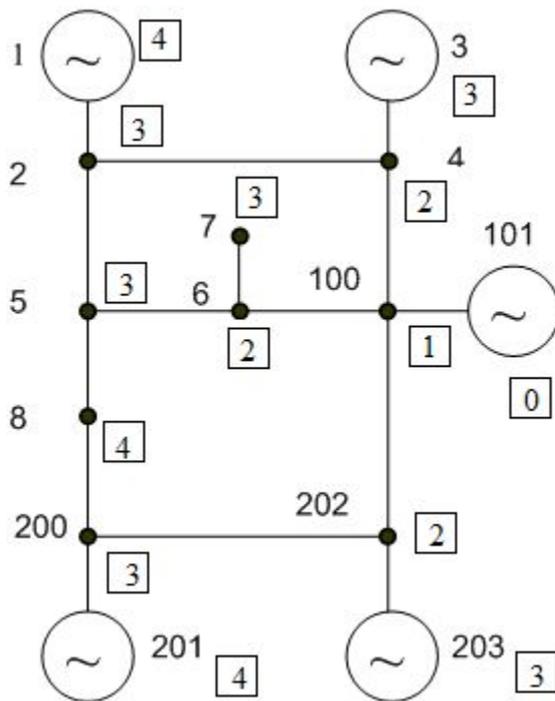


Рис.4.Определение показателя структурной компактности схемы

Таблица 3. Матрица структурной компактности

	1	3	101	201	203
1	-	3	4	5	5
3	3	-	3	5	4
101	4	3	-	4	3
201	5	5	4	-	3
203	5	4	3	3	-

$$Q=3*8+4*6+5*6=78$$

На рис. 5 представлена максимально компактная структура из 5 узлов.

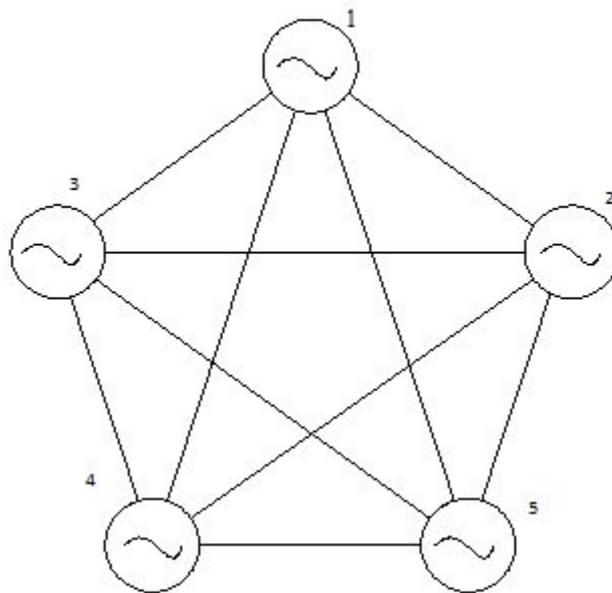


Рис.5. Максимально компактная система из пяти узлов

4. Диаметр структуры системы относительно генераторных узлов определяется по формуле:

$$d = \max d_{ij}; \quad i \neq j, \quad (4)$$

где d_{ij} определен в п.3.

Чем более компактна структура системы, тем меньше диаметр структуры.

Задания:

- определить диаметр структуры системы, представленной на рис.1, относительно генераторных узлов;
- нарисовать структуру системы из пяти узлов с наибольшим диаметром структуры из всех возможных.

Для исходной схемы максимальное значение в матрице компактности равно 5. Отсюда вывод: диаметр структуры $d=5$.

Схема с наибольшим диаметром структуры из 5 узлов, $d=4$.

