

### *Список литературы*

1. Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2008. – №6. – С. 16-22.

УДК 621.311.1

## **ЗАДАЧА РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ ПРИ НЕПОЛНОТЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ УЗЛАХ ПРИМЫКАНИЯ**

*А.В. Малафеев, Е.С. Кутукова*

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск  
malapheev\_av@mail.ru, katya\_kutukova@mail.ru*

### **Аннотация**

Статья посвящена расчету режима энергосистемы методом последовательного эквивалентирования при неполноте информации об узлах примыкания. В данной статье предлагается определить потоки реактивной мощности в узлах связи на основе потокораспределения активной мощности и замеренных модулей напряжений, а также комплексных проводимостей схемы замещения. Пренебрежение фазовым сдвигом между векторами напряжений в узлах связи приводит к неудовлетворительной сходимости в случае использования метода простой итерации. В настоящей работе предлагается использовать для улучшения сходимости метод Ньютона.

**Ключевые слова:** потокораспределение активной мощности, модуль напряжения, оценивание состояния, метод Ньютона, сходимость.

## **THE NETWORK CALCULATIONS USING THE SEQUENTIAL EQUIVALENTING METHOD IN THE CASE OF INFORMATION INCOMPLETENESS ABOUT ADJACENCY NODES**

*A.V. Malafeev, E.S. Kutukova*

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk.  
malapheev\_av@mail.ru, katya\_kutukova@mail.ru*

## **Abstract**

This article is devoted to the network calculations using the sequential equivalent method in the case of information incompleteness about adjacency nodes. This article offers to define the reacting power in the network nodes basing on the load flow of the active power and measured voltage modules and complex admittances of substitutional connection. Disregard of the phase shift between the voltage phasors in network nodes leads to unsatisfactory convergence in case of using the simple iteration method. This article offers using the Newton method of power flow to improve the convergence.

**Key words:** active power flow, voltage module, state estimation, Newton method, convergence.

Особенностью расчета установившегося режима региональной электроэнергетической системы (РЭЭС) является необходимость задания в расчет узлов примыкания к соседним РЭЭС. Основным источником информации о режимах таких узлов являются телеизмерения, однако полной ее считать нельзя. Как правило, оперативно-информационные комплексы (ОИК) дают информацию о модулях напряжений и о величине и знаке активной мощности (в некоторых случаях – токе). Телеизмерения реактивной мощности производятся далеко не на всех объектах.

В регионах с крупными узлами промышленной нагрузки (характерный пример – Магнитогорский энергетический узел) целесообразным является одновременный расчет режима сетей 110-220 кВ и ниже узла нагрузки и тесно связанного с ними режима сетей этого и более высоких классов напряжения РЭЭС. На кафедре ЭПП МГТУ им. Г.И. Носова для расчета режимов промышленных систем электропитания успешно используется метод последовательного эквивалентирования [1]. Достоинствами метода являются хорошая сходимость (3–4 итерации) при задании нагрузки статическими характеристиками по напряжению и узлах связи с РЭЭС, имеющих малую взаимную электрическую удаленность, однако метод не позволяет использовать узловые задающие токи, что приводит к необходимости преобразования их в ЭДС за некоторой проводимостью. Оба этих параметра могут быть получены только по данным телеизмерений. Как показывают ранее сделанные расчеты, при большом количестве таких узлов связи на разных уровнях напряжения сходимость существенно ухудшается, в особенности по активной и реактивной мощности. При приближенном задании узлов примыкания в расчет результаты существенно отличаются от результатов измерений [2].

В настоящей работе предлагается определять потоки реактивной мощности в узлах связи при помощи простейших методов оценивания состояния на основе потокораспределения активной мощности и замеренных модулей напряжений, а также комплексных проводимостей схемы замещения [3]. При этом можно выделить элементарный участок сети, показанный на рис. 1.

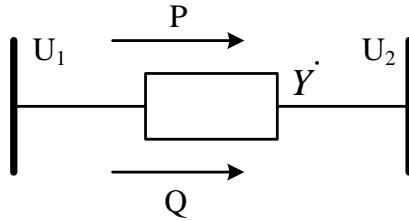


Рис. 1. Элементарный участок сети

Для показанного участка сети имеем:

$$P^2 + Q^2 = I^2 U_2, \quad (1)$$

отсюда

$$Q = \sqrt{I^2 U_2 - P^2}. \quad (2)$$

Принимая модуль тока равным  $I = (U_1 - U_2)Y$ , получаем

$$Q = \sqrt{(U_1 - U_2)^2 Y^2 U_2 - P^2}. \quad (3)$$

Получив, таким образом, для каждого узла связи  $P + jQ$ , задаем их в расчет следующими параметрами:

$$E = 1,1U; \quad (4)$$

$$\dot{Y} = \frac{P + jQ}{\sqrt{3}U(E - U)}. \quad (5)$$

Здесь  $U$  – замеренный модуль напряжения; фазовый угол напряжения принят равным нулю. При итерационном расчете неизменными остаются напряжение и проводимость, ЭДС же корректируется:

$$\dot{E}^{(k)} = \dot{U} + \frac{\dot{I}^{(k-1)}}{\dot{Y}}. \quad (6)$$

Если нет данных об активной мощности, но имеется информация о токе, можно использовать следующие выражения:

$$P = U_2 I \cos \varphi, \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{(U_1 - U_2)^2 Y^2 U_2 - (U_2 I \cos \varphi)^2}. \quad (8)$$

Значение  $\cos \varphi$  может быть принято таким же, как на электрически ближайшей схеме, либо в соответствии с коэффициентом мощности нагрузки на низшем напряжении. Далее расчет производится по формулам (4)–(6).

Пренебрежение фазовым сдвигом между векторами напряжений в узлах связи приводит к неудовлетворительной сходимости в случае использования метода простой итерации [1]. В настоящей работе предлагается использовать для улучшения сходимости метод Ньютона.

Это итерационный численный метод нахождения корня заданной нелинейной функции. Поиск решения осуществляется путём построения последовательных приближений и основан на принципах простой итерации. Метод обладает квадратичной сходимостью. Улучшением метода является метод хорд и касательных. Что же касается систем нелинейных алгебраических уравнений, то итерационные методы решения данных систем приобретают особую актуальность, в связи с тем, что к ним в отличие от систем линейных уравнений невозможно применить прямые методы решения. Лишь в отдельных случаях систему можно решить непосредственно.

Используем метод Ньютона в следующей модификации.

$$\varepsilon_{a,i}^{(k)} = -\left(P_{0,i} - P_i^{(k-1)}\right) \frac{\delta E_i^{(k-1)}}{\delta P_i^{(k-1)}}; \quad (7)$$

$$\varepsilon_{p,i}^{(k)} = -\left(Q_{0,i} - Q_i^{(k-1)}\right) \frac{\delta E_i^{(k-1)}}{\delta Q_i^{(k-1)}}; \quad (8)$$

$$E_{a,i}^{(k)} = E_{a,i}^{(k-1)} + \varepsilon_{a,i}^{(k)}; \quad (9)$$

$$E_{p,i}^{(k)} = E_{p,i}^{(k-1)} + \varepsilon_{p,i}^{(k)} \quad (10)$$

Здесь  $i$  – номер узла связи;  $P_{0,i}$  и  $Q_{0,i}$  – заданные значения актив-

ной и реактивной мощности для узлов связи. Далее определяется ток по выражению  $\hat{I}_i^{(k)} = (P_i^{(k)} - jQ_i^{(k)}) / \hat{U}_i$  и новое значение ЭДС по (6).

Таким образом, предлагается адаптация метода последовательно эквивалентирования, хорошо себя зарекомендовавшего в качестве метода расчета режимов систем электроснабжения, к условиям региональных электроэнергетических систем, за счет применения простейших методов оценивания состояния для определения потоков мощности в узлах связи с соседними РЭС и метода Ньютона первого порядка для улучшения сходимости.

### **Список литературы**

1. Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., О.В., Ю.Н. Ротанова Буланова Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2008. – №6. – С. 16-22.

2. Кутукова Е.С., Малафеев А.В. Особенности применения метода последовательного эквивалентирования для расчетов режимов региональных энергетических систем // Технические науки – от теории к практике: сб. статей по материалам XXIV Междунар. заочн. науч.-практ. конф. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. – С. 59-68.

3. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. – М.: Наука, 1976. – 220 с.

УДК 621.314

## **ОЦЕНКА ДОПУСТИМОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СОБСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ПОФАЗНОМ РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПИТАЮЩИХ СЕТЕЙ В НОРМАЛЬНОМ И ОПТИМАЛЬНОМ РЕЖИМАХ**

***Е.А. Панова, К.С. Савельева, А.В. Кочкина***

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск  
ksusha-savelyeva@mail.ru, panova.ea@gmail.com*