УДК 621.311.017:621.313 МРНТИ 44.29.33

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СХЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Д. С. Ахметбаев, к.т.н.

РГКП «Межрегиональный профессиональный центр по подготовке и переподготовке кадров технического и обслуживающего труда для топливно-энергетической отрасли»

Бұл жұмыста кез келген структуралық сызбаның тарамдар өткізгіштерінің өзгеруіне байланысты түйін кернеулерінің сезімталдық функциясын есептеудің әдістемесі берілген. Электр тізбегі сызбаларының түйіндер кернеулерінің параметрлік сезімталдылығының есебі құрастырылған және оның сезімталдық теориясы арқылы шешілетін жолдары қарастырылған. Электр тізбегі сызбасының бір тарамының өткізгішінің өзгеруіне байланысты түйіндік кернеудің сезімталдылығын көрсететін мысал қарастырылған.

Түйінді сөздер: Электр тізбегі, сезімталдық теориясы әдісі.

The article states about the method of calculation of sensitivity function of central falling pressure on variations of the scheme of any structure. It also formulates the problem of parametrical sensitivity of central pressure of the electric chain scheme and a way of solving this problem on the basis of methods of the sensitivity theory. The example of estimation of central pressure sensitivity on a variation of conductivity of one branch of the electric chain scheme is considered.

Key words: Electric chains, method of the sensitivity theory.

Современная электроэнергетическая система является многосвязанной системой кибернетического типа, которая эксплуатируется в условиях воздействия большого количества однозначно неопределенных параметров [1].

Невозможность точного определения параметров реальных схем объясняется наличием разброса значений параметров, вызванных неоднородностью деталей и материалов, изменениями характеристик элементов электрических сетей в процессе работы, неизбежной погрешностью измерительной аппаратуры и т. д. [2-3].

В этих условиях разработка кибернетических методов анализа и синтеза приобретает особую актуальность [3]. Применение метода теорий чувствительности позволяет обоснованно выделить наиболее значимые параметры системы, относительно которых формализуются математические модели кибернетического управления [4].

Объектом управления является электроэнергетическая система, которая описывается матричным уравнением [5]:

$$\underline{\mathbf{Y}}\underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\Delta} = \underline{\dot{\mathbf{J}}}, \tag{1}$$

где $\underline{\mathbf{Y}}$ – квадратная матрица узловых проводимостей ветвей;

$\underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\Delta}$ – столбцевая матрица узловых падений напряжений;

$\underline{\dot{\mathbf{J}}}$ – столбцевая матрица заданных токов.

При исследовании чувствительности узловых напряжений схемы на вариации проводимостей ветвей вместо однозначного соответствия $\underline{\dot{U}}_{\Delta} \to \underline{Y}$ рассмотрено отображение подпространства вариации параметров $D_{\underline{Y}}$ в соответствующее подпространство состояний $D_{\underline{\dot{U}}\Delta}$, т. е. $D_{\underline{Y}} \to D_{\underline{\dot{U}}\Delta}$.

Для грубой оценки чувствительности узловых напряжений можно дать приращение $\Delta\underline{Y}$, найти $\Delta\underline{\dot{U}}$ и использовать отношение $\dfrac{\Delta\underline{\dot{U}}_{\Delta}}{\Delta\underline{Y}}$. Однако такой подход к определению чувствительности вызывает определенные затруднения, обусловленные необходимостью множества решений (1) для всех элементов подпространства $D_{\underline{Y}}$, что приводит к большим вычислительным затратам. Этих трудностей можно избежать, если воспользоваться методом теории чувствительности.

Согласно методу теории чувствительности подпространства вариации параметров состояния определяются в виде [6]:

$$D_{\underline{\dot{U}}\Delta} = V_{\underline{\dot{U}}\Delta}(\underline{Y}_0) \cdot D_{\underline{Y}}, \tag{2}$$

где $\underline{Y}_0$ – опорные значение вектора проводимости ветвей.

В этом случае функция чувствительности определяется посредством обычной производной:

$$V_{\underline{\dot{U}}\Delta}(\underline{Y}_0) = \lim_{\Delta\underline{Y}\to 0} \frac{\underline{\dot{U}}_\Delta(\underline{Y}_0 + \Delta\underline{Y}) - \underline{\dot{U}}_\Delta(\underline{Y}_0)}{\Delta\underline{Y}} = \frac{\partial \underline{\dot{U}}_\Delta}{\partial \underline{Y}}(\underline{Y}_0). \quad (3)$$

Как видно (3), необходимым условием существования функции чувствительности $V_{\underline{\dot{U}}\Delta}(\underline{Y}_0)$ является непрерывность узловых падений напряжений в функции проводимостей ветвей. Чтобы определить функцию чувствительности узловых напряжений на вариации проводимости, какой-либо одной ветви $\underline{Y}_в$, продифференцируем (1) по $\underline{Y}_в$:

$$\underline{\mathbf{Y}}\frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в} + \frac{\partial \underline{\mathbf{Y}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в}\cdot \underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta = \frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{J}}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в}, \quad (4)$$

и запишем (4) следующим образом:

$$\underline{\mathbf{Y}}\frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в} = -\left(\frac{\partial \underline{\mathbf{Y}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в}\underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta - \frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{J}}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в}\right). \quad (5)$$

Полученное выражение (5) называется уравнением чувствительности узловых напряжений на вариации проводимости $\underline{Y}_в$.

Матрица узловых проводимостей $\underline{\mathbf{Y}}$ является квадратной и неособенной, что позволяет получить следующее решение:

$$\frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в} = -\underline{\mathbf{Y}}^{-1}\left(\frac{\partial \underline{\mathbf{Y}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в}\underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta - \frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{J}}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в}\right). \quad (6)$$

Вначале необходимо решить уравнение (1):

$$\underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta = \underline{\mathbf{Y}}^{-1}\underline{\dot{\mathbf{J}}}. \quad (7)$$

Тогда вектор узловых напряжений $\underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta$ становится известным, что дает возможность сформировать произведение $\left(\frac{\partial \underline{\mathbf{Y}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}}\cdot \underline{\dot{\mathbf{U}}}_\Delta\right)$ и найти вектор в правой части (6).

$\underline{\mathbf{Y}}$ – матрица узловых проводимостей известна, обратная ей матрица, называемая матрицей узловых сопротивлений, может быть найдена по матрице коэффициентов токораспределения [7]:

$$\underline{\mathbf{Y}}^{-1} = \underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}}_в \underline{\mathbf{C}}. \tag{8}$$

Тогда чувствительность реакций цепи (всех узловых напряжений) по отношению к изменению одного параметра $\underline{Y}_в$ определяется выражением:

$$\frac{\partial \dot{\underline{\mathbf{U}}}_\Delta}{\partial \dot{\underline{\mathbf{Y}}}_в} = -\underline{\mathbf{C}}^t \underline{\mathbf{Z}}_в \underline{\mathbf{C}} \left(\frac{\partial \underline{\mathbf{Y}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в} \cdot \dot{\underline{\mathbf{U}}}_\Delta - \frac{\partial \dot{\underline{\mathbf{J}}}}{\partial \underline{\mathbf{Y}}_в} \right). \tag{9}$$

Если требуется рассчитать чувствительность по отношению к нескольким параметрам, то систему уравнений (9) необходимо поочередно решать для каждого параметра. Следует отметить, что матричное уравнение (9) может быть использовано для широкого класса электрических цепей, которые анализируются на основе узловых уравнений. С помощью вышеизложенной методики определены функции чувствительности узловых напряжений схемы.

Литература

1. *Веников В. А., Цукерник Л. В.* Разработка методов кибернетического управления объединенными энергосистемами // Тр. II Междунар. конгресса. – М.: Наука, 1965.
2. *Заславская Т. Б., Ирлахман М. Я.* Пределы вариации электрических параметров симметричной линий электропередачи // Тр. СибНИИЭ. – 1970. – Вып.17. – М.: Энергия. – 267 с.
3. *Заславская Т. Б., Ирлахман М. Я.* Пределы вариации электрических параметров силовых трансформаторов // Тр. СибНИИЭ. – 1972. – Вып. 20. – М.: Энергия. – 297 с.
4. *Петров Б. Н., Крутько П. Д.* Применение теории чувствительности в задачах автоматического уравнения // Изв. АН СССР, Техническая кибернетика. – 1970. – № 2. – С. 13-18.

5. *Мельников Н. А.* Матричный метод анализа электрических цепей. – М.: Энергия, 1977. – 232 с.

6. *Томович Р., Вукобратович М.* Общая теория чувствительности. – М.: Советское радио, 1972. – 240 с.

7. *Ахметбаев Д. С.* Математические модели анализа и синтеза электрических цепей. Электротехнические преобразователи энергии: // Матер. IV Междунар. науч.-техн. конф., г. Томск, 13-16 окт. 2009 г. – Томск: ТПУ, 2009. – С. 110-114.