

УДК 621.311

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Д.С. Ахметбаев, А.Д. Ахметбаев, А.Н. Бергузинов

Павлодарский государственный университет

им. С. Торайгырова

Бұл жұмыста кез келген электр желісінің структуралық сызбаның жүктеме электр ағындарының өзгеруіне байланысты стационарлық режимдерінің сезімталдық функциясын есептеудің әдістемелері берілген. Электр желісінің стационарлық режимдерінің сезімталдылығының есебі және оның сезімталдық теориясы арқылы шешілетін жолдары қарастырылған.

In the work the technique of sensitivity function of stationary modes on variations of setting currents of electric networks of any structure is stated. The problem of sensitivity of stationary modes of an electric network on a variation of setting currents and a way of its decision on the basis of methods of the theory of sensitivity is formulated.

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

Невозможность точного определения режимов реальных схем объясняется наличием разброса значений параметров, вызванные неоднородностью деталей и материалов, изменениями характеристик элементов электрических сетей в процессе работы, неизбежной погрешностью измерительной аппаратуры и т.д.

В этих условиях разработка кибернетических методов анализа и синтеза приобретает особую актуальность. Применение метода теорий чувствительности позволяет обоснованно выделить наиболее значимые параметры системы, относительно которых формализуются математические модели кибернетического управления [2].

Объектом управления является электроэнергетическая система, которая описывается матричным уравнением [3].

$$\underline{Y}\dot{\underline{U}}_{\Delta} = \underline{J}, \quad (1)$$

где \underline{Y} - квадратная матрица узловых проводимостей ветвей;
 $\dot{\underline{U}}_{\Delta}$ - столбцевая матрица узловых падений напряжений;
 \underline{J} - столбцевая матрица заданных токов.

При исследований чувствительности узловых напряжений схемы, на вариаций задающих токов вместо однозначного соответствия $\dot{\underline{U}}_{\Delta} \rightarrow \underline{J}$ будем рассматривать отображение подпространства вариации параметров $D_{\underline{J}}$ в соответствующее подпространство состояний $D_{\dot{\underline{U}}_{\Delta}}$, т.е. $D_{\underline{J}} \rightarrow D_{\dot{\underline{U}}_{\Delta}}$.

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

Согласно метода теории чувствительности, подпространства вариаций параметров состояния определяется в виде [4].

$$D_{\dot{\underline{U}}_{\Delta}} = V_{\dot{\underline{U}}_{\Delta}}(\underline{J}_0) \cdot D_{\underline{J}}, \quad (2)$$

где \underline{J}_0 - опорные значение вектора задающих токов.

В этом случае, функция чувствительности определяется посредством обычной производной [4].

$$V_{\dot{\underline{U}}_{\Delta}}(\underline{J}_0) = \lim_{\Delta\underline{J} \rightarrow 0} \frac{\dot{\underline{U}}_{\Delta}(\underline{J}_0 + \Delta\underline{J}) - \dot{\underline{U}}_{\Delta}(\underline{J}_0)}{\Delta\underline{J}} = \frac{\partial \dot{\underline{U}}_{\Delta}}{\partial \underline{J}}(\underline{J}_0), \quad (3)$$

Как видно из (3), необходимым условием существования функции чувствительности $V_{\dot{\underline{U}}_{\Delta}}(\underline{J}_0)$ является непрерывность узловых падений напряжений в функции задающих токов.

Чтобы определить функцию чувствительности узловых напряжений на вариаций задающих токов, рассмотрим линейный многополюсник к зажимам которого включены задающие токи.

Уравнение связи между матрицей $\dot{\underline{U}}_{\Delta}$ падений напряжений на ветвях схемы и матрицей \underline{U}_{Δ} узловых падений напряжений [3]

$$\dot{\underline{U}}_{\Delta} = \mathbf{M}' \underline{U}_{\Delta} \quad (4)$$

позволяет найти матрицу $\underline{\dot{\mathbf{I}}}$ токов в ветвях схемы, выраженный через матрицу задающих токов, если исходить с известного соотношения [3]:

$$\underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\hat{a}} = \underline{\mathbf{Z}}_{\hat{a}} \underline{\dot{\mathbf{I}}} \quad (5)$$

и с учетом (1)

$$\underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\Delta} = \underline{\mathbf{Y}}^{-1} \underline{\dot{\mathbf{J}}}, \quad (6)$$

в виде

$$\underline{\mathbf{Z}}_{\hat{a}} \underline{\dot{\mathbf{I}}} = \underline{\mathbf{M}}^t \underline{\mathbf{Y}}^{-1} \underline{\dot{\mathbf{J}}} \quad (7)$$

или

$$\underline{\dot{\mathbf{I}}} = \underline{\mathbf{Z}}_{\hat{a}}^{-1} \underline{\mathbf{M}}^t \underline{\mathbf{Y}}^{-1} \underline{\dot{\mathbf{J}}} \quad (8)$$

где $\underline{\dot{\mathbf{I}}}$ - прямоугольная матрица соединений узлов;
 $\underline{\mathbf{Z}}_{\hat{a}}$ - диагональная матрица сопротивлений ветвей.

Матричное уравнение (8) позволяет определить матрицу чувствительности токов в ветвях сложной схемы электрической сети на вариации задающих токов в виде:

$$\underline{\mathbf{V}}_{\underline{\dot{\mathbf{I}}}}(\underline{\dot{\mathbf{J}}}) = \left\| \frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{I}}}}{\partial \underline{\dot{\mathbf{J}}}} \right\| = \underline{\mathbf{Z}}_{\hat{a}}^{-1} \underline{\mathbf{M}}^t \underline{\mathbf{Y}}^{-1} = \underline{\mathbf{C}}. \quad (9)$$

Из полученного уравнения (9) видно, что матрица чувствительности токов в ветвях сложной схемы сети на вариаций задающих токов равна матрице коэффициентов распределения узловых токов.

Матрица чувствительности падений напряжений на ветвях схемы, соответственно равна

$$\underline{\mathbf{V}}_{\underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\hat{a}}} = \underline{\mathbf{V}}_{\underline{\dot{\mathbf{I}}}}(\underline{\dot{\mathbf{J}}}) \underline{\mathbf{Z}}_{\hat{a}} = \underline{\mathbf{Z}}_{\hat{a}} \underline{\mathbf{C}}. \quad (10)$$

Если воспользоваться обращенной формой узлового уравнения

$$\underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\Delta} = \underline{\mathbf{Z}} \underline{\dot{\mathbf{J}}}, \quad (11)$$

то можно получить матрицу чувствительности узловых падений напряжений в виде

$$\underline{\mathbf{V}}_{\underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\Delta}}(\underline{\dot{\mathbf{J}}}) = \left\| \frac{\partial \underline{\dot{\mathbf{U}}}_{\Delta}}{\partial \underline{\dot{\mathbf{J}}}} \right\| = \underline{\mathbf{Z}}. \quad (12)$$

Полученное выражение (12) является доказательством равенства матрицы чувствительности узловых падений напряжений к матрице узловых сопротивлений сложной схемы электрической сети.

Из вышеизложенного следует, что задачи исследований чувствительности стационарных режимов электрической сети энергосистемы связаны

с определениями двух обобщенных параметров ее схемы: матрицу коэффициентов распределения задающих токов и матрицу узловых сопротивлений, которые, в общем случае, не могут быть определены непосредственно по топологии сложной схемы.

Матрицы коэффициентов токораспределения изучены достаточно хорошо и широко используются ими при оценке электрического состояния с целью управления режимами ЭЭС в рамках АСДУ.

Исключительно важные свойства матрицы узловых сопротивлений схемы при формировании уравнений установившихся режимов и в получении их действительных решений привели к исследованию и разработке множества авторов, принципиально отличающихся друг от друга, различных методов. Однако, известные методы определения матрицы узловых сопротивлений приводят к усложнению задачи, что снижает эффективность использования теорий чувствительности к анализу сложных электрических сетей с целью управления ее режимами.

Если воспользоваться выражением матрицы узловых сопротивлений, полученным с позиций системных функций, на основе коэффициентов токораспределения [5] то исследования чувствительности узловых напряжений существенно облегчаются.

$$\underline{Z} = \underline{C}^t \underline{Z}_e \underline{C}, \quad (13)$$

Это объясняется тем, что матрица чувствительности токов в ветвях схемы непосредственно преобразуется в матрицу чувствительности узловых напряжений, при известной её матрице сопротивлений ветвей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В.А., Цукерник Л.В. Разработка методов кибернетического управления объединенными энергосистемами. Труды II международного конгресса. И. ФАК. Базель, - М.: Наука, 1965.
2. Петров Б.Н., Крутько П.Д. Применение теории чувствительности в задачах автоматического уравнения // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. №2. 1970. - С. 13-18.
3. Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей. - М.: Энергия, 1977. - 232 с.
4. Томович Р., Вукобратович М. Общая теория чувствительности. - М.: Советское радио, 1972. - С. 240.
5. Ахметбаев Д.С. Математические модели анализа и синтеза электрических цепей. Электротехнические преобразователи энергии: Материалы IV международной научно-технической конференции. 13-16 октября, - Томск, ТПУ, 2009. - С. 110-114.