зависимости стоимости линии от конструкции фазы и расстояния между ними [1], учтены ограничения "а" – "д"; выполнены работы по решению условия "е"; опробована составная программа поиска экстремальных значений параметров проводов по условию (1) [2]. Задача нелинейного программирования с четырьмя независимыми переменными (s, n, r_o, d) решена методом обхода узлов пространственной сетки, где d – шаг расщепления провода.

Литература

1. Гончарик Е.П., Тиняков Н.А. Некоторые вопросы проектирования линий электропередачи сверхвысокого напряжения. – "Изв.вузов. Энергетика", 1972, №7. 2. Гончарик Е.П., Поспелов Г.Е. К оптимизации параметров проводов воздушных линий электропередачи переменного тока с помощью ЦВМ. – В сб.: Применение автоматики и вычислительной техники для повышения надежности и экономичности работы энергосистемы. Минск, 1971.

Е.В. Калентионок, В.А. Файбисович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАГРУЗКИ В ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Определение запаса статической устойчивости нагрузки связано с известными допущениями, вызывающими в некоторых случаях, весьма существенные погрешности. Поэтому целесообразна разработка методов, позволяющих повысить точность и оперативность определения граничных по условиям устойчивости режимов в действующей энергосистеме.

Один из таких методов основан на изучении реакции исследуемой системы на искусственно вводимые либо самопроизвольные возмущения. Если способ утяжеления исходного устойчивого режима задан, то на основе изучения реакции системы на данные возмущения можно предсказать значение утяжеляемого параметра на границе устойчивости.

Проиллюстрируем применение этой методики на примере исследования статической устойчивости нагрузки в расчетной схеме, включающей узел нагрузки, питающейся через линию электропередачи с реактивным сопротивлением от шин бесконечной мощности с э.д.с.Е.

Статические характеристики нагрузки по напряжению представим в виде

$$P_н = P_{но} f_1(U), \quad Q_н = Q_{но} f_2(U), \tag{1}$$

где $f_1(U)$, $f_2(U)$ – полиномы, отражающие зависимость активной и реактивной мощности нагрузки от напряжения.

Предполагаем, что в рассматриваемой системе самораскачивание исключено. Условия апериодической устойчивости можно найти по свободному члену характеристического уравнения, полученного с помощью линеаризованных уравнений статики системы. Как известно, свободный член характеристического уравнения с точностью до множителя может быть определен из уравнений малых приращений системы:

$$\Delta P_г = \Delta P_н, \qquad \Delta Q_г = \Delta Q_н. \tag{2}$$

Для изменений мощности нагрузки имеем

$$\Delta P_н = f_1(U_о)\,\Delta P_{но} + f\Delta U, \tag{3}$$

$$\Delta Q_н = f_2(U_о)\,\Delta Q_{но} + v\Delta U. \tag{4}$$

Здесь

$$f = P_{но}\frac{\partial f_1}{\partial U}, \qquad v = Q_{но}\frac{\partial f_2}{\partial U}.$$

С учетом (5) – (6) уравнения малых приращений (3) могут быть переписаны в виде

$$\left(\frac{\partial P_г}{\partial U} - f\right)\Delta U + \frac{\partial P_г}{\partial \delta}\Delta\delta = \Delta P_{но} f_1(U_о), \tag{5}$$

$$\left(\frac{\partial Q_г}{\partial U} - v\right)\Delta U + \frac{\partial Q_г}{\partial \delta}\Delta\delta = \Delta Q_{но} f_2(U_о). \tag{6}$$

Здесь $P_г = \frac{EU}{x}\sin\delta$; $Q_г = \frac{EU}{x}\cos\delta - \frac{U^2}{x}$.

Отсюда получаем

$$\frac{\Delta Q_{но} f_2(U_o)}{\Delta U} =$$

$$= - \frac{\left[U^4 + U^3 vx + Ux^2(P_н \ f + Q_н v) - x^2(P_н^2 \ + Q_н^2 \ )\right]}{Ux^2\left[\frac{\Delta P_{но} f_1(U_o)}{\Delta Q_{но} f_2(U_o)} P_н + \frac{U^2}{x} + Q_н\right]} \cdot \quad (7)$$

Равенство (7) определяет величину практического критерия $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$, при нахождении которого величина прикладываемой пробной нагрузки ΔQ должна быть свободной переменной, не зависимой от реакции системы на пробное возмущение, т.е. не зависимой от изменения напряжения.

Анализ выражения (7) позволяет решить вопрос о допустимости использования в рассматриваемом случае практического критерия устойчивости $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$. Числитель выражения (7) с точностью до отличного от нуля множителя совпадает со свободным членом характеристического уравнения a_n для данной системы. Прохождение выражения (7) через нуль может иметь место либо при $a_n = 0$, либо при обращении в бесконечность знаменателя (7). Знаменатель выражения (7) обращается в бесконечность лишь при равенстве нулю реактивной составляющей пробной нагрузки, но при этом теряет смысл применение критерия $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$.

На рис. 1 представлены зависимости величины $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ от утяжеляемого параметра, в качестве которого рассматривалась активная нагрузка узла. Зависимости построены с использованием выражения (7) при Е = 1, о.е. и $\frac{\Delta P_{но}}{\Delta Q_{но}} = 2$. В качестве статических характеристик нагрузки применялись типовые характеристики для напряжения 6 кВ в виде квадратичных трехчленов.

Зависимости $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ на рис. 1 представлены в нормированной форме, причем в качестве номинальных величин приняты зна-

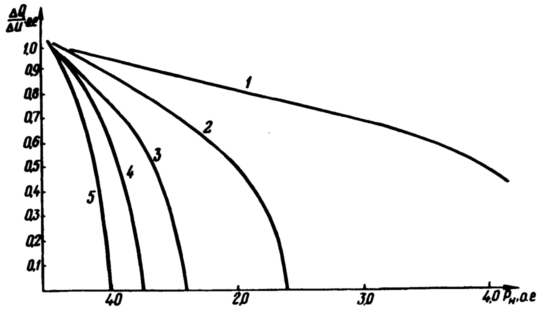

Рис. 1. Зависимость величины нормированного значения практического критерия устойчивости $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ от активной нагрузки:
1—$x_{ВН}$ = 0,1 о.е: 2—=0,2; 3— =0,3; 4—=0,4; 5— =0,5.

чения $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ в исходных утяжеляемых режимах. Характер этих зависимостей позволяет использовать их как для контроля запаса устойчивости по утяжеляемому параметру, так и для предсказания предельных по условиям устойчивости значений утяжеляемого параметра. Повышение точности определения граничных по условиям устойчивости режимов можно достигнуть измерением ПКУ $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ при ряде значений утяжеляемого параметра $P_н$ и экстраполяцией указанной зависимости в точку, где ПКУ равен нулю.

В формулу (7) для определения ПКУ $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$ входит составляющая изменения реактивной мощности $\Delta Q_{н0} f_2(U_0)$, не зависящая от изменения напряжения U. В общем случае изменение реактивной нагрузки в соответствии с выражением (4) содержит и вторую составляющую, пропорциональную произведению регулирующего эффекта v на отклонение напряжения ΔU. Из (4) получаем

$$\frac{\Delta Q_н}{\Delta U} = \frac{f_2(U_о)\,\Delta Q_{но}}{\Delta U} + v. \qquad (8)$$

Так как выражение для ПКУ дается формулой (9) то

$$\frac{\Delta Q_н}{\Delta U} = \frac{\Delta Q}{\Delta U} + v. \qquad (9)$$

Формула (9) устанавливает связь между реально имеющими место и доступными измерению величинами $\Delta Q_н$, ΔU и искомым значением практического критерия устойчивости $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$.

Предложенный метод определения запаса статической устойчивости нагрузки был использован для определения величин критических напряжений ряда узлов нагрузки Белорусской энергосистемы, необходимых для выбора уставок дополнительной аварийной разгрузки по напряжению.

В исследуемых узлах нагрузки сведения о регулирующем эффекте потребителей отсутствовали. Искусственно вызванное возмущение реализовалось путем отключения конденсаторной батареи. Измерялись величины реактивной мощности ΔQ_c, генерируемой батареей, и отклонения напряжения ΔU, вызванные отключением данной батареи. Отношение указанных величин и представляет искомую величину ПКУ $\frac{\Delta Q}{\Delta U}$, так как величина возмущения ΔQ_c не зависит от вызванного им изменения напряжения.

Анализ полученных результатов показал, что достаточная точность определения ПКУ (3 – 5%) может быть достигнута лишь при многократном повторении опытов. При данной методике проведения эксперимента максимальное число опытов ограничено возможностями коммутационных аппаратов конденсаторной батареи. Поэтому в настоящее время разработан и подготовлен для испытаний в энергосистеме вариант методики с использованием изменения реактивной мощности синхронных компенсаторов (либо синхронных двигателей), входящих в состав нагрузки узла.

В.Л. Прусс, В.Г. Пиперов, И.В. Церлюкевич

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЧИСЛЕННОСТИ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Задачу определения численности персонала в некоторой производственной службе, обслуживающей электрические сети, можно представить в виде

$$П_г(M_{оч}) + З_{\Sigma} = min, \qquad (1)$$