

УДК 621.311.001.57

ОЦЕНКА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА И ВЫБОР УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ЕГО ВВОДА В ДОПУСТИМУЮ ОБЛАСТЬ

О.В. Захаркин, Е.Ю. Ивахненко

ЗАО «Институт Автоматизации Энергетических Систем»

Представлен метод расчета предельных по статической устойчивости режимов, используемый в алгоритмах оценки запаса статической устойчивости энергосистем в реальном времени и позволяющий в едином вычислительном процессе определять запас устойчивости в послеаварийном режиме и выбирать необходимые управляющие воздействия как по месту их приложения, так и по величине.

Одним из основных показателей, определяющих техническую допустимость режима работы энергосистем (ЭС), является запас статической устойчивости. Базой для создания алгоритмов оценки запаса статической устойчивости ЭС в реальном времени, использующих подробное математическое описание системы, может служить метод расчета предельных по статической устойчивости режимов ЭС [1].

Нетрадиционным подходом к определению показателя запаса статической устойчивости сложных ЭС является подобное преобразование (сжатие, растяжение) области статической устойчивости в пространстве мощностей узлов, выполняемое до тех пор, пока граница области устойчивости не пройдет через изображающую точку анализируемого режима. Такое преобразование области статической устойчивости выполняется за счет одновременного изменения параметров схемы сети (элементов матрицы узловых проводимостей) в K_n раз [2], где K_n – коэффициент напряженности режима. Для определения коэффициента K_n , при котором анализируемый режим смещается на границу области статической устойчивости ЭС, совместно решаются уравнения установившегося режима (1) и уравнения границы области предельных по мощности режимов (2).

$$\begin{cases} f^p(U, \varphi, s, k_n) = 0 \\ f^q(U, \varphi, s) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} v^\phi(U, \varphi, s, k_n, R^p, R^q) = 0 \\ v^M(U, \varphi, s, k_n, R^p, R^q) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Здесь:

$f^p = \{f_1^p, \dots, f_i^p, \dots, f_n^p\}$, $f^q = \{f_1^q, \dots, f_i^q, \dots, f_n^q\}$ – небалансы активной и реактивной мощности в узлах, соответственно.

$$\begin{vmatrix} v^\phi \\ v^M \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{\partial f^p}{\partial \phi} & \frac{\partial f^p}{\partial U} \\ \frac{\partial f^q}{\partial \phi} & \frac{\partial f^q}{\partial U} \end{vmatrix}_T \cdot \begin{vmatrix} R^p \\ R^q \end{vmatrix} = 0 -$$

– невязки уравнений границы, определяемые как произведение транспонированной матрицы Якоби уравнений установившегося режима на собственный вектор матрицы, отвечающий нулевому собственному значению.

Решение совместной системы уравнений выполняется методом Ньютона с ограничением значений приращений переменных и выбором оптимального шага на каждой итерации. Таким образом определяется K_n для нормального установившегося режима ЭС и для послеаварийных режимов, которые моделируются на математической модели системы путем ввода коммутаций, отвечающих срабатыванию заданных пусковых органов. При рассмотрении очередного пускового органа выполняется оценка напряженности послеаварийного режима, соответствующего срабатыванию этого пускового органа – K_n^a . Расчет K_n^a выполняется аналогично расчету K_n при мощностях узлов исходного режима, но в условиях послеаварийной схемы сети. Для обеспечения сходимости метода Ньютона переход к послеаварийной схеме сети осуществляется путем последовательного уменьшения (деления) проводимости аварийной связи вплоть до ее полного отключения. Если $K_n^a > 0,92$, т.е. запас статической устойчивости послеаварийного режима $< 8\%$, выполняется выбор дозировки управляющих воздействий (УВ).

Выбор дозировки УВ состоит из решения двух задач:

1. Определения более эффективного вида управления (отключения генераторов – ОГ или отключения нагрузки – ОН).
2. Определения оптимального места реализации и степени управления для каждого из видов управления.

Решение этих задач осуществляется при заданном наборе возможных мест приложения УВ в виде ОГ и ОН и ступеней управления на каждом объекте. В качестве теоретической предпосылки при выборе УВ используется факт неизменности координат границы области предельных режимов в пространстве фаз напряжений узлов при равно пропорциональном изменении проводимостей связей сети. При этом в пространстве активных мощностей узлов граница области предельных режимов сжимается (при уменьшении проводимостей связей) или расширяется (при увеличении проводимостей связей) с сохранением подобия ее конфигурации. В рассматриваемом алгоритме пропорциональное изменение проводимостей связей осуществляется за счет введения коэффициента напряженности в уравнения небалансов активных мощностей. При сохранении координат послеаварийного режима и замене значения K_n^a на требуемую величину $K_n^{треб} < K_n^a$, происходит сжатие области предельных режимов, а в узлах системы появляются небалансы активной мощности. При положительном значении небаланса активной мощности для перевода узла на границу допустимой области, соответствующей величине $K_n^{треб}$, в узле требуется осуществить снижение активной мощности генератора, то есть выполнить ОГ. При отрицательной величине небаланса активной мощности в узле требуется осуществить снижение активной мощности нагрузки, то есть выполнить ОН.

Вопрос о более предпочтительном виде управления (первая задача) решается на основе сопоставления максимальных значений удельных небалансов в узлах с ОГ и узлах с ОН в виде отношения небаланса активной

мощности в узле к очередной располагаемой ступени управления. Вид управления, у которого максимальная величина удельного небаланса больше, используется в первую очередь. Конкретный объект с выбранным видом управления (вторая задача) определяется из числа возможных объектов также по максимальной величине удельного небаланса. В качестве ступени управления выбирается первая нереализованная ступень. Если на объекте уже реализованы все располагаемые ступени управления или активная мощность узла в режиме меньше ступени управления, то такой узел исключается из числа управляемых узлов.

После выбора ступеней ОГ и ОН определяется коэффициент напряженности режима. Если изображающая точка режима остается за пределами допустимой области, процесс выбора управлений повторяется до тех пор, пока не будет обеспечен требуемый коэффициент запаса устойчивости или пока не будут исчерпаны ресурсы управления.

Литература

1. **Аржанников С.Г. Захаркин О.В., Петров А.М.** Адаптивный алгоритм расчета дозировки УВ для централизованного комплекса ПА. В кн.: Объединенная энергетическая система Сибири: современное состояние и перспективы развития. Материалы конференции. Ч. 2. Новосибирск: 1996.

2. **Бушуев В.В., Пустовитов В.И.** Оценка напряженности режима электроэнергетической системы. – Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1986, N 2, с.56-64.