

ОЦЕНКА ЗАПАСА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ МНОГОКООРДИНАТНЫХ УТЯЖЕЛЕНИЯХ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

АВТОР:

В.В. СЕНЬКО,
К.Т.Н., ФГБОУ ВО
«САМАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Переход современной электроэнергетики на цифровую платформу и внедрение в нее элементов интеллектуального управления предъявляет новые требования к обеспечению статической устойчивости нормальных и послеаварийных режимов

электроэнергетической системы. Регламентирующие документы по обеспечению устойчивости энергосистем продолжают корректироваться, поэтому тема нормирования запасов статической устойчивости при многокоординатных утяжелениях является актуальной и практически востребованной.

Ключевые слова: электроэнергетическая система; запас статической устойчивости; нормирование запасов устойчивости; многокоординатные утяжеления.



Задача обеспечения статической устойчивости нормальных и послеаварийных режимов электроэнергетических систем остается одной из главных в оперативном управлении

Вопросы, связанные с оценкой запасов статической устойчивости современных энергосистем, не теряют своей актуальности. Это вызвано тем, что в регламентирующие документы по обеспечению устойчивости электроэнергетических систем продолжают вносить существенные корректировки в расчетные выражения. Подробный анализ различных подходов и методов оценки запасов статической устойчивости при многокоординатных утяжелениях в пространстве регулируемых параметров показал, что критическая траектория утяжеления нелинейна как в координатах регулируемых параметров, так и в координатах коэффициентов запаса. Кроме того, такая траектория не является однозначно определенной, так как при изменении точки анализируемого режима координаты коэффициентов запаса масштабируются. Эти факторы необходимо учитывать при оценке запасов устойчивости электроэнергетических систем.

Переход современной электроэнергетики на цифровую платформу и внедрение в нее элементов интеллектуального управления предъявляет новые требования к ведению режимов. Проблема обеспечения статической апериодической устойчивости (СУ) нормальных и послеаварийных режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) остается одной из главных в оперативном управлении. Эта проблема исследования СУ также рассматривается в практике проектирования при настройке средств автоматического регулирования для силовых элементов энергосистемы [1].

НОРМИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС

Для поддержания необходимого уровня надежности ЭЭС вопросы

сохранения устойчивости строго регламентируется в нормативных документах Системного оператора. Детально оговариваются группы расчетных (нормативных) коэффициентов, при которых должны находиться коэффициенты запаса для характерных режимов ЭЭС. Традиционный подход к оценке запасов СУ основан на контроле допустимости режимов энергосистемы при ограничении перетоков мощности в контролируемых сечениях на уровне нормативных значений. По нормативному документу [2] запас статической апериодической устойчивости определялся с помощью формулы

$$K_p = \frac{P_{pp} - P_0 - \Delta P}{P_0}, \quad (1)$$

где P_0 — значение передаваемой активной мощности через сечение в анализируемом сечении энергосистемы;

P_{pp} — переток через это же сечение в предельном по СУ режиме;

ΔP — амплитуда нерегулярных колебаний перетока.

В работах [3, 4] предложен метод оценки запаса статической устойчивости, который сформирован на основе значений коэффициентов запаса СУ:

$$\mathbf{K} = [k_1 k_2 \dots k_i \dots k_m]^T, \quad (2)$$

$$k_i = \mu_i (y_{Li} - y_{0i}); \quad \mu_i = \frac{1}{k_{\text{норм}} y_{0i}}, \quad (3)$$

где y_{Li} , y_{0i} — значения i -го регулируемого параметра в предельном и исходном режимах;

$k_{\text{норм}}$ — нормативные коэффициенты запаса СУ [2].

В качестве запаса СУ в этом методе используют кратчайшее расстояния от точки анализируемого режима

до предельной гиперповерхности. Для этой цели применяют переход из исходного пространства регулируемых параметров Y_i в пространство коэффициентов запаса k_i .

Критическое направление утяжеления предлагается определять в ходе решения одной из задач минимизации:

$$\min Z = \min_{X_L} \max_i |K_i(X_L)|, \quad (4)$$

или

$$\min Z_{X_L} = \min \sqrt{\sum_{i \neq j} K_i^2(X_L)}, \quad (5)$$

где X_L — вектор зависимых переменных в точках предельной поверхности.

Поставим задачу: найти точки границы допустимой области для известной предельной точки $Y_L(X_L)$. При этом искомые допустимые точки должны иметь заданный нормативный запас Z_H :

$$Z_H = \min_{X_L} \sqrt{\sum_{i \neq j} K_i^2(X_L^*)}. \quad (6)$$

Введем в рассмотрение «истинную» величину запаса Z , которая в отличие от величины Z_H определяется для всех без исключения регулируемых параметров. Тогда из равенства [6] получим соотношение

$$Z_H^2 = Z^2 - \left(\frac{1}{k_{\text{норм}}} \right)^2 \left(\frac{Y_{Lj}}{Y_{Dj}} - 1 \right)^2, \quad (7)$$

где Y_{Dj} — искомое допустимое значение i -й координаты.

Отметим, что величина запаса Z меняется при изменении, оставаясь при этом большей по модулю нормативного значения Z_H . Это означает, что при указанных допущениях «истинная» величина запаса Z будет определяться не в критическом направлении. Кроме того, «пропущенная» координата Y_i может соответствовать недопустимому, предельному или даже неустойчивому (несуществующему) режиму.

Рассмотрим подробнее величину запаса, определяемую через m -норму, т.е. по выражению (4). При заданной анализируемой точке режима Y_0 условию (4) удовлетворяют два вида точек предельной поверхности [5–7]:

- 1) точки, в которых координатный вектор ортогонален предельной поверхности;
- 2) некоторые точки, в которых несколько координат равны между собой.

Исследуем свойства точек первого типа. Пусть решается задача оптимизации

$$\min_{X_L} Z = \min_i |\mu_i(Y_{Li} - Y_{0i})|. \quad (8)$$

Предположим, что индекс максимальной координаты не меняется в ходе оптимизации, и запишем условие существования экстремума:

$$\frac{\partial}{\partial X} [\mu_i(Y_{Li} - Y_{0i})] = \mu_i \frac{\partial Y_i}{\partial X} = 0. \quad (9)$$

Так как $\mu_i \neq 0$, то из (9) следует, что матрица Якоби должна содержать i -ю нулевую строку. Нулевое

собственное значение транспонированной особенной матрицы Якоби будет определять собственный вектор R , в котором отлична от нуля только i -я компонента R :

$$\left[\frac{\partial Y}{\partial X} \right]^T R = 0, \quad R = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ R_i \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

В работе [8] доказано, что собственный вектор, отвечающий (10), является нормалью к предельной гиперповерхности, поэтому и максимальная координата K_j , коллинеарная R_j , также ортогональна предельной поверхности.

Таким образом, при использовании минимального критерия (8) решением оптимизационной задачи являются точки, в которых максимальная координата K_j ортогональна к предельной поверхности.

Кроме того, экстремальное условие (9) может соответствовать не только

минимуму, но и максимуму функционала (8), так как это зависит от характера предельной поверхности (от ее вогнутости или выпуклости).

Перейдем к изучению точек второго типа. Пусть при решении задачи (8) достигнута точка, в которой две координаты — K_i и K_j равны между собой:

$$K_i = K_j = \min_{X_L} \max_k |\mu_k(Y_{Lk} - Y_{0k})|, \quad (11)$$

где $k = i = j$.

Так как при вычислении критерия используются абсолютные значения величин $\mu_k(Y_{knp} - Y_{k0})$, то для определенности, без потери общности, можно предположить, что их знаки совпадают:

$$\text{sign} [\mu_i(Y_{Li} - Y_{0i})] = \text{sign} [\mu_j(Y_{Lj} - Y_{0j})]. \quad (12)$$

Рассмотрим теперь векторы

$$\frac{\partial K_i}{\partial X} = \pm i \frac{\partial Y_i}{\partial X} \quad \text{и} \quad \frac{\partial K_j}{\partial X} = \pm j \frac{\partial Y_j}{\partial X}, \quad (13)$$

представляющие собой масштабированные строки матрицы Якоби. Оптимальность достигнутой точки (11) связывается соотношением зна-

ков элементов векторов (13). В самом деле, если все знаки различны, т.е.

$$\text{sign} \frac{\partial K_i}{\partial X_k} \neq \text{sign} \frac{\partial K_j}{\partial X_k}, \quad (14)$$

то дальнейшая оптимизация невозможна, так как изменение любой координаты X_k приводит к смене доминирующей координаты в критерии и к общему росту целевой функции.

Если же хотя бы для одной координаты X_k

$$\text{sign} \frac{\partial K_i}{\partial X_k} = \text{sign} \frac{\partial K_j}{\partial X_k}, \quad (15)$$

то дополнительное уменьшение целевой функции возможно за счет изменения координаты X_k (если, конечно, это изменение идет вдоль предельной поверхности). Если соотношение знаков (12) не удовлетворяется, т.е.

$$\text{sign} [\mu_i(Y_{Li} - Y_{0i})] \neq \text{sign} [\mu_j(Y_{Lj} - Y_{0j})]$$

и, следовательно,

$$\frac{\partial K_i}{\partial X} = \pm \mu_i \frac{\partial Y_i}{\partial X} \quad \text{и} \quad \frac{\partial K_j}{\partial X} = \pm \mu_j \frac{\partial Y_j}{\partial X}$$

то условия (14) и (15) меняют свою роль: оптимальность допустимой точки невозможна при

$$\text{sign} \frac{\partial Y_i}{\partial X_k} = \text{sign} \frac{\partial Y_j}{\partial X_k},$$

а продолжение поиска экстремума возможно при

$$\text{sign} \frac{\partial Y_i}{\partial X} \neq \text{sign} \frac{\partial Y_j}{\partial X}.$$

Таким образом, экстремальный характер точек второго типа обусловлен сменой доминирующей координаты в целевой функции (8) при определенном соотношении знаков строк матрицы Якоби (более подробно см. [9]). Из этого можно сделать вывод, что использование минимаксного критерия запаса (8) не приводит к получению кратчайшего расстояния от точки рассмат-

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ИССЛЕДУЕМОЙ ЭЭС

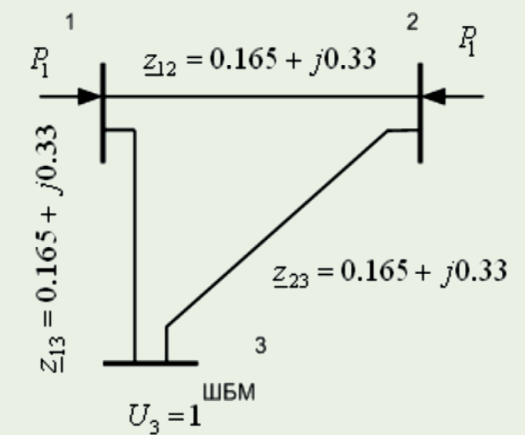


Рис. 1

риваемого режима до предельной поверхности и соответствующего ему критического утяжеления. Этот факт противоречит самой идее определения запаса при многокоординатных утяжелениях, поэтому рекомендовать в качестве критерия запаса СУ понятие m -нормы (3) довольно затруднительно.

В отличие от m -нормы критерий запаса, определенный через геометрическую норму (4), соответствует кратчайшему расстоянию точки анализируемого режима до предельной поверхности в координатах коэффициентов запаса K .

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Метод оценки запасов СУ в виде геометрической нормы (4) имеет ряд недостатков и противоречий, часть из которых следует учитывать при ведении режимов ЭЭС, остальные заставляют уточнить формулировку (4).

Представим задачу минимизации (4) в виде:

$$\min_{X_L} Z(X_L) = \min_{X_L} \sqrt{K^T(X_L) K(X_L)}, \quad (16)$$

где $K(X_L)$ — вектор коэффициентов K_j .

Условия достижения экстремума (максимума или минимума) будут следующими [9]:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial Z}{\partial X} = \left[\frac{\partial K}{\partial X} \right]^T K(X) = 0. \quad (17)$$

Условия (17) соответствуют всем нормам, которые можно провести из точки анализируемого режима к предельной поверхности. Количество таких нормалей определяется топологическими особенностями границы области устойчивости и положением самой точки анализируемого режима в этой области [5].

Автором составлена компьютерная модель для анализа влияния многокоординатных утяжелений на запас устойчивости в тестовой трехузловой позиционной схеме ЭЭС (рис. 1). Для удобства получения и анализа



РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ОСОБЫХ КРИВЫХ

N	T, о. е.	K, о. е.	Координаты Y, о. е.		Координаты K, о. е.	
			Y1+	Y2+	K1+	K2+
1	0,01	0,34	6,75	2,03	0,52	0,06
2	0,02	0,64	6,41	2,01	0,24	0,03
3	0,03	0,91	6,12	2	0,00	-0,00
4	0,04	1,17	5,88	1,99	-0,20	-0,03
5	0,05	1,40	5,67	1,97	-0,37	-0,07
6	0,06	1,63	5,48	1,96	-0,52	-0,10
7	0,07	1,84	5,32	1,95	-0,65	-0,13
8	0,08	2,04	5,17	1,94	-0,78	-0,16
9	0,09	2,23	5,04	1,93	-0,89	-0,19
10	0,10	2,42	4,91	1,91	-0,99	-0,21
11	0,11	2,59	4,8	1,9	-1,08	-0,24
12	1,12	11,91	2,18	1,35	-3,22	-1,63
13	2,13	17,29	1,66	1,12	-3,64	-2,19
14	3,14	21,50	1,4	0,99	-3,86	-2,53
15	4,15	25,09	1,23	0,9	-3,99	-2,76
16	5,16	28,27	1,12	0,83	-4,09	-2,93
17	6,17	31,15	1,03	0,77	-4,16	-3,06
18	7,18	33,81	0,96	0,73	-4,22	-3,17
19	8,19	36,28	0,9	0,69	-4,26	-3,27
20	9,20	38,61	0,86	0,66	-4,30	-3,35
21	10,21	40,82	0,81	0,63	-4,33	-3,41
22	11,22	42,92	0,78	0,61	-4,36	-3,47

результатов расчеты проведены в относительных единицах. За базисные приняты

$U_6 = 110 \text{ кВ}$ и $S_6 = 100 \text{ МВА}$, при этом $Z_0 = 121 \text{ Ом}$.

Для оценки критического пути утяжеления [10] при решении системы нелинейных уравнений (17) принципиальное значение имеют начальные приближения переменных, а также используемый численный метод. С учетом данного определения вектора условия экстремальности (17) приведем к виду

$$\left[\frac{\partial Y}{\partial X} \right]^T M^2(Y_0)[Y(X) - Y_0] = 0, \quad (18)$$

где $M^2(Y_0) = \text{diag}_i(Y_0)$ — диагональная матрица коэффициентов преобразования.

Предположим, что нам известны одна из точек предельной поверхности $Y(X)$ и соответствующий ей вектор зависимых переменных X . Найдем в точке X_L особую матрицу $\left[\frac{\partial Y}{\partial X} \right]^T$ и ее собственный вектор R , отвечающий нулевому собственному значению [11]:

$$\left[\frac{\partial Y}{\partial X} \right]^T R = 0. \quad (19)$$

Вектор R можно задать также в параметрическом виде:

$$R = t \cos \Phi, \quad (20)$$

где t — параметр,

$\cos \Phi$ — вектор направляющих косинусов.

Сопоставим равенства (18–20) и, заменив вектор фиксированных значений Y_0 на вектор переменных Y , получаем:

$$M^2(Y)[Y(X) - Y] = t \cos \Phi. \quad (21)$$

Из (21) определим все значения вектора, отвечающие условию экстремальности (18). Для этого перепишем последнее выражение в виде системы квадратных уравнений.

$$[t \cos \Phi] Y_i^2 + Y_i - Y_i(X) = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (22)$$

Тогда компоненты можно представить как функцию t :

$$Y_i(t) = \frac{-1 \pm (1 + 4t \cos \Phi_i Y_i(X))^{1/2}}{2t \cos \Phi_i}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (23)$$

Система функций (23) описывает в параметрическом виде семейство особых кривых в координатах Y . Каждая точка Y_0 , зафиксированная на этих кривых, будет принадлежать нормали, проведенной через точку $K(X)$ предельной поверхности в координатах коэффициентов запаса.

Выбрав и зафиксировав точку Y_0 на одной из кривых, можно перейти из координат Y в координаты K [9]. Автором проведены расчеты для тестовой схемы ЭЭС (см. рис. 1) для предельных режимов:

$$Y_1(X) = 7,18; \quad Y_2(X) = 2,04;$$

$$\varphi_1 = 20^\circ; \quad \varphi_2 = 70^\circ;$$

$$K_{1 \text{ норм}} = K_{2 \text{ норм}} = 0,2.$$

По выражению (23) для различных t вычислялись значения Y_{1+} , Y_{1-} , Y_{2+} , Y_{2-} , где индексы «+» и «-» обозначают выбранные знаки при вычислении. Полученные данные сведены в таблицу и позволили получить четыре особые кривые (рис. 2):

I. (Y_{1+}, Y_{2+}) ;

II. (Y_{1+}, Y_{2-}) ;

III. (Y_{1-}, Y_{2+}) ;

IV. (Y_{1-}, Y_{2-}) .

ОСОБЫЕ КРИВЫЕ В КООРДИНАТАХ Y

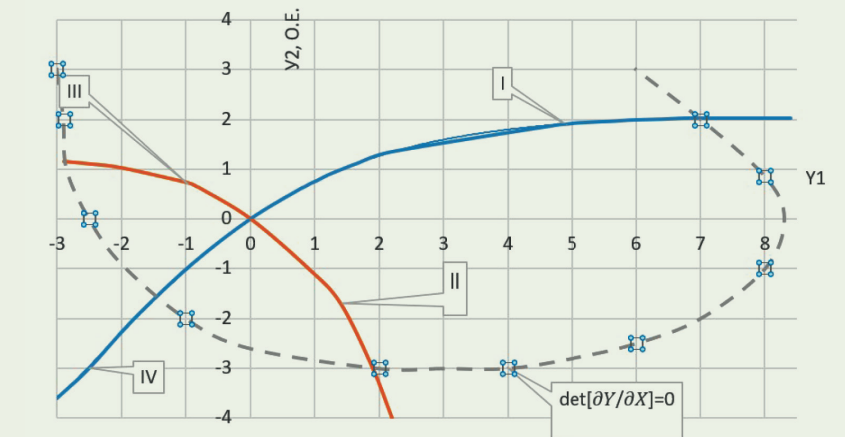


Рис. 2

ОСОБЫЕ КРИВЫЕ В КООРДИНАТАХ K

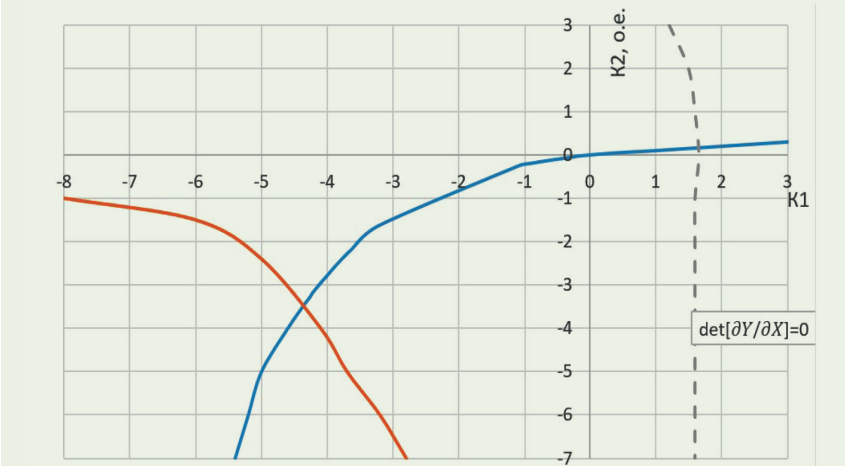


Рис. 3

На некоторых критических траекториях соответствующая им предельная точка вообще недостижима. Например, движение точки вдоль кривых II, III и IV (рис. 3), хотя и идет «по нормали» к предельной поверхности, но никогда не приведет в эту предельную точку, так как по пути утяжеления встретятся «посторонние», не имеющие отношения к предельным режимам точки.

Помимо исследованной выше нелинейности критического пути утяжеления, существуют нелинейность и разрывы самой функции запаса. В используемой здесь постановке предполагается, что запас следует искать как расстояние по нелинейной траектории (особой кривой), каждая точка которой лежит на нормали к предельной поверхности в пространстве K .

Такой подход отличается от постановки задачи в виде (II), где о запасе судят лишь по начальной и конечной точкам траектории. Условие (II) является лишь приближенной мерой расстояния, так как оно не учитывает нелинейности траектории утяжеления. Окончательно $K(t)$ можно определить путем численного интегрирования выражения

$$K(t) = \int_t^0 \sum_{i=1}^n \frac{Y_i^2(X) \cos^2 \varphi_i}{k_{i \text{ норм}}^2 (1 + 4t \cos \varphi_i Y_i(X))^{1/2}} dt.$$

Автор провел расчеты значения функции $K(t)$ для примера тестовой ЭЭС (см. рис. 1) при $K_{i \text{ норм}} = 0,2$, где в качестве траектории изменения режима взята особая кривая I. Расчитаны для каждой пары значений Y_{1+} , Y_{2+} соответствующие им координаты k_{1+} , k_{2+} по выражениям

$$K_i = \frac{1}{0,2 Y_{0i+}} (Y_i - Y_{0i+}), \quad i = 1, 2.$$

Результаты этих расчетов сведены в ту же таблицу, анализ зависимостей

$K(k_{1+})$ и $K(k_{2+})$ показывает, что величина запаса не является линейной функцией расстояния от точки анализируемого режима до предельной поверхности по критическому пути утяжеления. Это обстоятельство противоречит определению запаса как расстояния, определяемого в тех или иных координатах (Y) или (K).

В новой версии Регламента по устойчивости [12] для расчета запаса СУ установлена другая расчетная формула:

$$K_p = \frac{P_{\text{ПР}} - P_0 - \Delta P}{P_{\text{ПР}}}. \quad (24)$$

Сравним значения запасов, полученных по «новой» и «старой»

формулам, для этого разделим выражение (24) на (1) и в результате получим коэффициент уменьшения запаса устойчивости:

$$Kz = \frac{P_0}{P_{пр}} \quad (25)$$

Причем величина уменьшения запаса будет тем больше, чем выше величина $P_{пр}$, что довольно плохо согласуется со всей теорией мероприятий по повышению СУ. Чем ближе точка анализируемого режима находится к предельной поверхности, тем меньше разница в расчетах запасов, а сам Kz будет стремиться к единице, а чем дальше — тем выше этот коэффициент уменьшения и увеличивается разница в расчетах по «старому» и «новому» регламенту.

В этой статье исследованы недостатки оценки запаса, связанные с использованием в знаменателе (1) $Y_0 = P_0$. При использовании в знаменателе (24) $Y_L = P_{пр}$ нелинейный характер функции запаса СУ примет еще более сложный характер. В результате появятся новые проблемы, связанные с оценкой величины предельного перетока, например, во многих методах дискретного утяжеления этот параметр невозможно рассчитать математически точно.

Следует отметить, что методы непрерывного утяжеления [8–10] лишены последнего недостатка, так как позволяют вычислять точные значения предельных режимов в наиболее опасном (критическом) направлении утяжеления. Как показали многочисленные исследования, эти методы дают возможность эффективно проводить оценку запасов при многокоординатных утяжелениях как в детерминированной [11], так и в стохастической [13, 14] постановках.

Понятно, что реальный запас устойчивости в энергосистеме не будет зависеть напрямую от «разницы» формул (1) и (24). Однако при принятии оперативных решений диспет-

черские службы будут ориентироваться именно на результаты расчета по выражению (24), сравнивая их с нормативными значениями. Такие решения могут неявно приводить к избыточным мерам по сохранению СУ в энергосистемах и соответственно к дополнительным затратам на обеспечение надежности.

ВЫВОДЫ

1. При определении запаса СУ по (1) и (24) нужно понимать, что полученный результат является лишь приближенной оценкой расстояния от точки анализируемого режима до предельной гиперповерхности, поскольку не учитывается нелинейность критической (наиболее опасной) траектории, соединяющей эти точки.

2. Величина запаса, определяемая как расстояние по критической траектории в виде (3), является нелинейной разрывной функцией, что противоречит идее введения запаса как метрики евклидова пространства.

3. Общей причиной этих нежелательных свойств является нелинейность коэффициентов преобразования $\mu\{Y_0\}$. Эта нелинейность затрудняет оценку запаса как в общем случае, так и в случаях, когда отдельные параметры малы или равны нулю.

4. Оценка запасов устойчивости по (24) приводит к значительному уменьшению их значений по сравнению с (1), что может повлечь неоправданные затраты при обеспечении нормативных показателей перетоков активных мощностей в контролируемых сечениях ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков А.Ф. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЭЭС России. Теоретические и практические основы. В 3 т. Т. 1. Электропере-

дачи переменного тока. М.: НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2012.

- Руководящие указания по устойчивости энергосистем. М.: СПО Союзтехэнерго, 1983.
- Веников В.А. и др. Расчет запаса статической устойчивости электроэнергетической системы// Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1984. № 3.
- Веников В.А. и др. К определению предельных по апериодической устойчивости режимов электрических систем по якобиану уравнений установившихся режимов//Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1973. № 1.
- Васин В.П. Структура области существования самоустанавливающегося режима электроэнергетической системы в пространстве активных мощностей//Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1981. № 1.
- Tavora C.J., Smith O.J.M. Equilibrium analysis of power system//IEEE Trans. 1972. V. PAS-91. № 3.
- Tavora C.J., Smith O. J. M. Characterization equilibrium analysis in power system//IEEE Trans. 1972. V. PAS-91. № 3.
- Конторович А.М., Крюков А.В. Предельные режимы энергосистем (основы теории и методы расчетов). Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 1985.
- Крюков А.В., Макаров Ю.В., Сенько В.В. Запас статической устойчивости при многокоординатных утяжелениях режима энергосистем. Деп. в Информэнерго № 3331эн. СПб: СПбГТУ, 1992.
- Крюков А.В. и др. Определение запаса апериодической устойчивости при многокоординатном утяжелении режима энергосистемы//Сб. науч. тр. «Проблемы обеспечения устойчивости и надежности параллельной работы энергообъединений». СПб: НИИПТ, 1993.
- Крюков А.В. Предельные режимы электроэнергетических систем. Иркутск: ИрГУПС, 2012.
- Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем» (с изменениями на 28.12.2020)/Приказ Минэнерго России от 03.08.2018 № 630. <https://docs.cntd.ru/document/542630877?marker=64U0IK>
- Krukov A.V., Senko V.V. Stochastic approach of the power systems steady state stability limits estimation//Proc. 9-th. International Power System Conference. St.-Peterburg. 1994. Vol. 1. P. 153–163.
- Kryukov A.V. and other. A Stochastic Model for Determining Static Stability Margins in Electric Power Systems//Computation. May 2022. Vol. 10. Issue 5. P. 67–82. <https://doi.org/10.3390/computation10050067>

НИКОЛАЙ ЛЕОНТЬЕВИЧ НОВИКОВ



Первого октября 2022 г. отмечает 75-летний юбилей заместитель научного руководителя «НТЦ Россети ФСК ЭЭС», академик Электротехнической академии наук РФ, Заслуженный работник Минтопэнерго России, член секции Консультативного совета при председателе Комитета по энергетике Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, член редколлегии журнала «Энергия единой сети» Николай Леонтьевич Новиков.

Автор 120 научных работ, из которых 3 монографии и 15 патентов, более 50 лет посвятил решению проблем в области управления режимами электроэнергетических систем и новых электросетевых технологий.

Николай Леонтьевич принимал активное участие в работах по объединению ОЭС Сибири и ОЭС Казахстана в рамках восточного крыла ЕЭЭС. Сегодня проблема развития ЕЭЭС вновь становится актуальной в связи с объединением на новых экономических принципах энергосистем России, стран Восточной и Западной Европы, а в будущем — в связи с созданием трансконтинентальной системы — евроазиатского энергетического объединения.

Основные работы Н.Л. Новикова посвящены решению проблемы повышения режимной надежности и управляемости, достигаемых путем не просто развития традиционных систем автоматического регулирования и противоаварийной автоматики, но и эффективного применения принципиально новых средств и систем управления при создании сверхмощных энергообъединений. Его исследования охватывают широкий спектр управляемых движений в ОЭС, начиная от быстропротекающих локальных электромагнитных процессов, регулируемых с помощью АРВ, включая электромеханические колебания обменных потоков мощности на межсистемных связях, и заканчивая

инфранизкочастотными колебаниями, связанными с режимами работы тепломеханического оборудования.

Николай Леонтьевич одним из первых в электроэнергетике предложил использовать принципиально новые возможности построения всережимных систем управления за счет формирования адаптивных систем управления всем сложным иерархически организованным энергообъединением, использующих как оперативно идентифицируемую модель объекта управления, так и принцип структурной локализации (управление посредством высшей производной), не требующий знания параметров объекта и возмущений в системе.

Еще одним инновационным научно-техническим решением Н.Л. Новикова являются разработанные им система управления СПИН, нелинейные реакторы и система стабилизации горения пылеугольного факела, доведенные до практической реализации на уровне физических объектов. Принципиально важными также являются предложенные ученым схемы связи СПИН с энергосистемой для подавления нерегулярных колебаний мощности в слабых сечениях и алгоритмы независимого управления активной и реактивной мощностью СПИН. Николай Леонтьевич Новиков и сегодня находится на «передовой» научно-исследовательской деятельности, направленной на развитие объединенных систем и обеспечение устойчивости их работы.

От всей души желаем Николаю Леонтьевичу крепкого здоровья с надеждой, что он продолжит оказывать действенную помощь в решении проблем российской электроэнергетики, опираясь на свои глубокие знания и богатый опыт.

Редакция и редколлегия журнала «Энергия единой сети»