

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Т. АДОНЦ, Г. Е. МИРЗОЯН

НОВЫЙ КРИТЕРИЙ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОЙ
 УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Введение. Существующий более 50 лет принцип расчета устойчивости переходного электромеханического процесса (динамической устойчивости) электроэнергетической системы основывается на критерии определения разности роторных углов двух генераторов, эквивалентно представляющих электростанция системы, т. е.

$$\Psi_g(t) - \Psi_B(t) \leq \varepsilon, \quad (1)$$

где Ψ_g , Ψ_B — соответственно роторный угол генератора g и генератора баланса активных мощностей исследуемой системы; ε — допустимая разность роторных углов указанных генераторов; t — время переходного процесса.

Для получения оценки об устойчивости или неустойчивости исследуемого режима электро-энергетической системы необходимо по критерию (1) проверить по всем эквивалентным генераторам системы, т. е. распространить индекс g критерия (1) на все ее станции. Критерий (1) используется во всех исследованиях устойчивости режимов, как эксплуатационных, так и необходимых в стадии проектирования развития энергосистем. Возможности использования критерия (1) для определения динамической устойчивости современных энергосистем, охватывающих несколько десятков и сотен электростанций, резко ограничивается. Объясняется это тем, что критерий (1) по своей физической сущности получен для схемы генератор—шпны бесконечной мощности и далее распространен на системы с относительно небольшим числом эквивалентных генераторов. Между тем, в современной энергосистеме электрические станции удалены друг от друга на тысячи километров и оценка устойчивости по расходимости их роторных углов не имеет физического смысла.

Предлагаемый критерий. Для определения динамической устойчивости или неустойчивости современных электроэнергетических систем, включая и малые энергосистемы, предлагается принцип расчета, основанный на следующем критерии:

$$|\sin [\Psi_g(t) - \Psi_B(t)] - \sin [\Psi_g(t - \Delta t) - \Psi_B(t - \Delta t)]| \leq \varepsilon, \quad (2)$$

где g, k — индексы генераторного узла и некоторого ближайшего к генератору узла энергосистемы; t — время переходного динамического процесса; Δt — принятый шаг-интервал времени в расчете устойчивости.

Физическая сущность критерия (2) заключается в том, что об устойчивости системы в целом предлагается судить по устойчивости каждой станции или генератора, имея в виду синус разности фаз генераторной э. д. с. и напряжения ближайшего к генератору узла.

Расчетные уравнения. Для определения параметров установившегося режима для каждого момента расчета динамической устойчивости используются следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} P_r &= U_r g_{rr} + U_r U_{rk} \alpha_{rk} + U_r \sum_{s=1}^n U_s \beta_{rs}, \\ Q_r &= U_r b_{rr} + U_r U_{rk} \beta_{rk} + U_r \sum_{s=1}^n U_s \beta_{rs}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$\alpha_{rj} = g_{rj} \cos(\Psi_r - \Psi_j) - b_{rj} \sin(\Psi_r - \Psi_j),$$

$$\beta_{rj} = g_{rj} \sin(\Psi_r - \Psi_j) + b_{rj} \cos(\Psi_r - \Psi_j).$$

g_{rj}, b_{rj} — параметры схемы замещения относительно узлов r и j ; P, Q — активная и реактивная мощности генераторных, нагрузочных и сетевых узлов; U, Ψ — модули и аргументы тех же множеств узлов.

Уравнения (3) записываются для множества генераторных (эквивалентных станций), нагрузочных и сетевых узлов системы.

Решение уравнений (3) для исходного установившегося режима даст значения параметров режима, соответствующие моменту $t=0$ переходного динамического процесса.

Для определения Ψ_r в момент времени $t > 0$ решается система дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\Psi_r(t)}{dt} &= S_r(t), \\ \frac{dS_r(t)}{dt} &= \frac{P_{м.г}(t) - P_{м.г}(t)}{T_r}, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

где $P_{м.г}(t)$ — электромагнитная мощность генератора, которая берется из решения уравнений установившегося режима для времени t ; $S_r(t)$ — скольжение генератора; $P_{м.г}(t)$ — механическая мощность на валу генератора, в общем случае, зависящая от времени; T_r — постоянная инерции.

Совместное решение уравнений (4), осуществляемое на ЦВМ по методу Рунге-Куты [2], дает значение $\Psi_r(t)$. Расчет ведется для каждого интервала времени переходного процесса, т. е. для Δt . Новые

значения роторных углов генераторов используются для определения параметров установившегося режима по уравнениям (3), соответствующие данному интервалу времени. На каждом шаге расчета переходного процесса используется критерий (2) для оценки устойчивости каждого из генераторов системы.

Примеры расчета. Для одной эквивалентной схемы объединений Закавказской энергосистемы исследованы устойчивости двух режимов. По параметрам исходного установившегося режима решены уравнения (4). Шаг интегрирования принят равным 0,02 сек. Параметры схемы замещения и исследованных двух режимов приведены в статье [1]. В качестве возмущения принято отключение и повторное включение линии, связывающей узлы 21 и 41 эквивалентной схемы системы. По уравнениям (3) и (4) получены результаты расчета переходного динамического процесса системы. Согласно критерию (1) один из исследованных режимов оказался устойчивым, а другой—неустойчивым. Такие же результаты были получены по критерию (2). В частности, согласно критерию (2) величины ε для устойчивого режима оказались в пределах $0 \div 0,23$, а для неустойчивого режима— $0 \div 0,6$, т. е. намного больше величины ε , соответствующих устойчивому режиму. Ниже в табличной форме (табл. 1 и 2) приводятся значения ε .

Таблица 1

Узлы	$\varepsilon(t)$		
	min	max	$\varepsilon(0,7)$
1	0	0,029	0,008
2	0,0019	0,046	0,017
3	0,0062	0,12	0,025
4	0,0026	0,098	0,024
5	0,007	0,18	0,083
6	0,0023	0,12	0,049
7	0,02	0,23	0,149
8	0,002	0,05	0,034
9	0,0002	0,004	0,003
10	0,001	0,016	0,012

Устойчивый режим.

Таблица 2

Узлы	$\varepsilon(t)$		
	min	max	$\varepsilon(0,7)$
1	0	0,03	0,029
2	0,005	0,06	0,063
3	0,01	0,12	0,12
4	0,01	0,3	0,2
5	0,02	0,22	0,08
6	0,01	0,32	0,07
7	0,05	0,6	0,4
8	0,008	0,19	0,147
9	0,001	0,01	0,006
10	0,003	0,05	0,011

Неустойчивый режим.

Из этих данных следует возможность выбора значения $\varepsilon = 0,3$ в качестве критерия для оценки динамической устойчивости режима системы. При заданном $\varepsilon = 0,3$ по критерию (2), после 0,7 сек. обнаруживается устойчивость первого и неустойчивость второго режимов. Время $t = 0,7$ сек. находим из выражения $t = t_{к.з.} + 2\Delta t$, где $t_{к.з.}$ — время устранения возмущения; Δt —принятый шаг—интервал времени в расчете устойчивости (для данного примера $\Delta t = 0,1$ сек.).

Вопрос эффективности использования критерия (2) в других примерах расчета устойчивости подлежит дальнейшему исследованию.

Выводы

1. Рекомендуется вместо существующего критерия (1) выявления динамической устойчивости электроэнергетической системы пользоваться критерием (2), основанным на принципе выявления устойчивости каждой станции системы.

2. Приведенный пример машинного эксперимента по расчету динамической устойчивости показал эффективность предлагаемого критерия (2) по сравнению с существующим критерием (1).

3. Критерий (2) позволяет приблизить методику расчета динамической устойчивости к ее физической сущности и значительно сократить общий объем вычислительных работ.

Ары НИИЭ

Поступило 15.III.1973

Հ. Տ. ԱԴՈՑ, Գ. Ե. ՄԻՐԶՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԱՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ԳԻՆԱՄԻԿ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՆՈՐ ՉԱՓԱՆԵՇ

Ա մ փ ո փ ու մ

էլեկտրաէներգահամակարգերի գինամիկ կայունության կամ անկայունության որոշման համար առաջարկվում է օգտվել նոր չափանիշով՝

$$|\sin |\Psi_r(t) - \Psi_k(t)| - \sin |\Psi_r(t - \Delta t) - \Psi_k(t - \Delta t)|| \leq \varepsilon$$

Չափանիշի ֆիզիկական իմաստը կայանում է նրանում, որ համակարգերի գինամիկ կայունության մասին առաջարկվում է դատել յուրաքանչյուր կայանի կամ գեներատորի կայունությամբ. հաշվի առնելով գեներատորի էլ. շ. ու. -ի և գեներատորին մոտ հանգույցի յարման ֆազերի տարբերության սինուսը:

Այդ չափանիշը թույլ է տալիս զգալիորեն կրճատել հաշվողական աշխատանքի ծավալն ու ժամանակը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адоц Г. Т., Гамбурян К. А., Мурадян С. Г. Об одной тестовой задаче расчета установившегося режима энергосистемы. «Электрические станции», 12, 1977.
2. Демидович Б. П., Марон Н. А. Основы вычислительной математики. Изд. «Наука», М., 1970.