

ЭНЕРГЕТИКА

Г. П. Кумсиашвили

Исследование устойчивости регулирования стационарных агрегатов в энергетических системах

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. В. Егиазаровым 17/XII 1963)

В инженерных расчетах встречаются трудности, вытекающие из необходимости оперировать с характеристическими определителями очень высоких порядков. Это приводит к тому, что обычные методы теории регулирования не дают возможности получить удобообозримый результат и приводят к необходимости выполнения громоздких вычислений. Исследование устойчивости в энергетических системах можно существенно упростить расчленением общего уравнения движения на несколько приближенно независимых уравнений более низких порядков.

Частным случаем такого подхода является общепринятое рассмотрение динамики энергетических систем по частям, при котором процессы, происходящие в котлах или гидротехнических сооружениях, турбинах, генераторах и электрических сетях рассматриваются изолированно друг от друга. Ранее использовавшееся расчленение энергетической системы основывалось на грубых и не всегда физически ясных предположениях, которые математически эквивалентны случаю, когда отсутствуют какие бы то ни было взаимосвязи между указанными процессами.

Автор, пользуясь приемом, который в математическом отношении является одним из методов малого параметра, расчленяет общее уравнение на отдельные замкнутые уравнения низких порядков в общем случае, при котором существенны взаимодействия между явлениями, ранее рассматривавшимися изолированно. При этом указанные взаимодействия выражаются в замкнутых уравнениях составляющих переходного процесса комбинациями соответствующих параметров, имеющими четкий физический смысл.

Таким образом, исследование сложной системы высокого порядка приближенно сводится к исследованию опять-таки сложной системы, но описываемой несколькими уравнениями низких порядков.

Ниже рассматривается простой, но характерный пример.

Гидроагрегат с нерегулируемым генератором, без уравнительного резервуара, с регулятором скорости с жесткой обратной связью, работающий на шины бесконечной мощности, имеет характеристический определитель:

$$\begin{vmatrix} T_{\delta} T_a p^2 + T_{\delta} K p + S_u & -D_1 \\ T_{\delta} C p & T_s p + M_2 \end{vmatrix} = 0, \quad (1)$$

где постоянные времени и коэффициенты имеют следующие значения:

$T_{\delta} = \frac{1}{\omega_0} = 0,00318$ сек. есть величина, обратная синхронной угловой частоте, $T_a = 8$ сек. — постоянная инерции ротора, $K = 8$ — коэффициент саморегулирования агрегата; $T_s = 4$ сек. — постоянная времени сервомотора, $D_1 = 1$ — коэффициент в уравнении момента гидротурбины, $M_2 = 1$ — коэффициент остающейся неравномерности регулятора скорости, $C = 30$ — коэффициент усиления маятника регулятора скорости.

Рассмотрим три варианта величины синхронизирующей мощности генератора:

$$1) S_u = 2; \quad 2) S_u = 0,2; \quad S_u = 0,02.$$

Возможность отдельного рассмотрения гидромеханических и электромеханических процессов связана с тем, что постоянные в системе уравнений имеют резко различный порядок. Выразим все параметры системы с помощью малого параметра $m = 0,1$ и эталонов сравнения:

$$T_s = \tau_s, \quad T_a = \frac{1}{m} \tau_a, \quad T_{\delta} = m^3 \tau_{\delta},$$

$$M_2 = \mu_2, \quad D_1 = d_1, \quad K = \frac{1}{m} x, \quad C = \frac{1}{m^2} c,$$

где τ , x , c , d_1 , μ_2 — эталоны сравнения в данном случае порядка единиц.

1) В первом варианте $S_u = s_u$ и характеристический определитель (1) в новых обозначениях имеет вид:

$$\begin{vmatrix} m^2 \tau_{\delta} \tau_a p^2 + m^2 \tau_{\delta} x p + s_u & -d_1 \\ m \tau_{\delta} c p & \tau_s p + \mu_2 \end{vmatrix} = 0. \quad (2)$$

Воспользуемся результатами работы (1). При m малом часть корней уравнения (1) должна быть близка к корням уравнения, получающегося из (2) при $m = 0$, после чего приходим к уравнению регулирования скорости турбины

$$T_s p + M_2 = 0. \quad (3)$$

Остальные два корня определителя (1) близки корням известного уравнения электромеханических процессов нерегулируемого генератора:

$$T_{\delta} T_a p^2 + T_{\delta} K p + S_u = 0. \quad (4)$$

Характеристический определитель (1) третьей степени, поэтому нетрудно найти корни () как из самого определителя, так и из уравнений отдельных движений (3) и (4). Сравнивая их, вычисляем погрешность в определении корней характеристического определителя из уравнений отдельных движений. В первом варианте она равна:

$$\varepsilon_1 = 1,2\%, \quad \varepsilon_{2,3} = 1,3\%.$$

Таким образом, при синхронизирующих мощностях порядка единиц применимо общепринятое рассмотрение динамики данной конкретной системы по частям (3).

2) Во втором варианте $S_u = 0,2$. Погрешность при определении корней из уравнений (3) и (4) по отношению к корням определителя (1) составляет:

$$\varepsilon_1 = 13\%, \quad \varepsilon_{2,3} = 6\%.$$

Поэтому во втором варианте использование для анализа динамики данной конкретной системы общепринятых уравнений отдельных движений приводит к существенной погрешности.

Применяя метод малого параметра к характеристическому определителю (1) с численными значениями величин, соответствующих второму варианту, получаем следующие приближенные уравнения:

$$(S_u T_s + C T_i) p + S_u M_2 = 0, \quad (5)$$

$$T_a T_i T_s p^2 + (T_a T_i M_2 + T_s T_i K) p + (T_s S_u + T_i C D_1) = 0. \quad (6)$$

Погрешность корней уравнений (5) и (6) равна $\varepsilon_1 = 1,3\%$, $\varepsilon_{2,3} = 0,1\%$.

Уравнения (5), (6) являются более общими, чем (3), (4), так как могут быть использованы для анализа рассматриваемой системы не только в режимах, в которых отсутствует взаимодействие между генератором и турбиной, но и для режимов, где такое взаимодействие весьма существенно. Взаимосвязи между указанными процессами выражаются в том, что отдельные замкнутые уравнения содержат общие параметры.

3) В третьем варианте $S_u = 0,02$, т. е. имеет место предельный режим работы вблизи границы устойчивости стационарных режимов. Деление характеристического определителя с численными значениями параметров, соответствующих третьему варианту, недопустимо, так как на границе области устойчивости в определителе (1) приходится удерживать члены, содержащие малые параметры высоких порядков.

Таким образом, во втором варианте при расчленении общего характеристического определителя (1) методом малого параметра в уравнениях отдельных движений сохраняются взаимосвязи между составляющими общего процесса, характерные для сложных энергосистем. В общепринятых уравнениях при рассмотрении динамики энергетических систем по частям (3), (4) указанными взаимодействиями пренебрегают.

Применение предложенного подхода особенно эффективно при исследовании динамической системы блоков тепловых электростанций, так как позволяет существенно упростить расчеты и выявить влияние указанных выше взаимодействий на регулирование рассматриваемых объектов.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
электроэнергетики

Գ. Պ. ԿՈՒՄՄԻՍՇՎԻԼԻ

Էներգետիկական սխեմաների ազդեցության կանոնադրման կայունության հետազոտությունը

Հոդվածում դիտվում է բարդ սխեմաների կանոնադրման հարցի հետազոտությունը: Բարձր կարգի ընդհանուր հավասարումները ցածր կարգի մոտավոր հավասարումների սխեմաների տարրալուծելու մեթոդով:

Հետազոտման այդ մեթոդը հնարավորություն է տալիս էներգոսխեմաի ընդհանուր դինամիկան դիտել բոլոր նրա առանձին մասերի, ընդ որում, կախսայում, տուրբինայում, գեներատորում և էլեկտրական ցանցում տեղի ունեցող պրոցեսները դիտվում են որպես միմյանցից անկախ:

Բարձր կարգի հավասարումների սխեմաներ տարակարգելու համար հոդվածում օգտագործվում է փոքր պարամետրի մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս ընդհանուր հավասարումները վերածելու առանձին, ցածր կարգի հավասարումների փակ սխեմաների:

Ստացված ափսի պարզ հավասարումների սխեմաները միմյանց հետ կապվում են ֆիզիկական որոշակի իմաստ ունեցող համապատասխան պարամետրերի միջոցով:

Հոդվածում մշակված տարակարգման մեթոդը առանձնապես արդյունավետ է ջերմային էլեկտրակայանների դինամիկան ուսումնասիրելու համար:

Նախ, է տալիս էապես պարզեցնել հաշվման տեխնիկան և բացահայտել առանձին պրոցեսների ազդեցությունը սխեմաի կանոնադրման վրա:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Կ. Ա. Կարտվելիշვილი, Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 1957. ² Կ. Ա. Կարտվելիշვილი, Изв. АН СССР, ОТН, № 2, 1958. ³ В. Витек, Устойчивость установившихся режимов энергетических систем по отношению к малым возмущениям. Автореферат диссертации, МЭИ, 1958.