

можно получить значения параметров расчетных эквивалентных схем, которые затем можно использовать для расчетов стационарных режимов и устойчивости энергосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авраменко В. Н. Методика учета динамических нагрузок при расчете динамической устойчивости энергосистем на ЭЦВМ.— Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1963, № 6, с. 680—682.
2. Азарьев Д. И. Математическое моделирование электрических систем. М.— Л., Госэнергоиздат, 1962. 207 с.
3. Цукерник Л. В., Коробчук К. В. Расчет с помощью ЦВМ предела статической устойчивости (при отсутствии самораскачивания) сложной энергосистемы.— II Всесоюз. научно-техн. совещ. по устойчивости и надежности энергосистем СССР. Тезисы докл. М., 1969, с. 22—23.
4. Цукерник Л. В. Физико-технические основы расчета стационарных режимов электроэнергетической системы.— Всесоюз. научно-техн. совещ. «Исследование решения на ЦВМ уравнений установившегося режима электрических систем». Тезисы докл. Ереван, 1976, с. 287—293.

УДК 621.31 : 681.3

Л. В. Цукерник, И. С. Недзельский

Институт электродинамики АН УССР

УЧЕТ ДИАПАЗОНА ПОРЯДКОВ КОЭФФИЦИЕНТОВ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ЭВМ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Применяемый для оценки статической устойчивости критерий аperiodической и квазиaperiodической устойчивости является только необходимым условием, при котором энергосистема может быть признана статически устойчивой. Необходимые и достаточные условия требуют расположения всех корней характеристического уравнения (ХУ) слева от мнимой оси. Поэтому, для того чтобы можно было судить о статической устойчивости системы, необходимо получить коэффициенты ХУ (КХУ) этой системы, а затем проверить устойчивость по тем или иным критериям. Примеры такого подхода к решению задачи статической устойчивости системы можно найти в [2, 3]. Там же приведены аналитические выражения КХУ, параметры принятых для

Вариант расчета	Порядок КХУ											
	A_{10}	A_9	A_8	A_7	A_6	A_5	A_4	A_3	A_2	A_1	A_0	
Электромагнитные переходные процессы (ЭП) учитываются в цепях статора и ротора первого и второго генераторов (рис. 1, а)	—	—	13	14	15	15	13	13	12	9	5	1
ЭП учитываются в цепи ротора первого генератора (рис. 1, б)	—	—	—	—	13	13	11	11	9	7	4	1
ЭП не учитываются (рис. 1, в)	—	—	—	—	—	—	11	10	8	6	4	1
ЭП учитываются в цепях ротора, учитывается также автоматическое регулирование возбуждения по отклонению напряжения ($K_0 = 60$), скорости и частоты (рис. 2)	-3	-1	0	0	1	2	2	2	2	2	2	1
То же, что и в предыдущем случае, но автоматическое регулирование возбуждения учитывается по отклонению и первой производной напряжения ($K_0 = 200$) (рис. 2)	-4	-2	-1	0	0	1	2	2	2	2	2	1
ЭП учитываются в цепи ротора (рис. 3, а)	—	—	—	—	—	—	1	0	1	1	2	1
Учитывается автоматическое регулирование возбуждения по отклонению и первой производной напряжения ($K_0 = 200$) (рис. 3, б)	—	—	—	-4	-3	-1	0	0	1	1	1	1

анализа систем, а также численные значения КХУ для конкретных исходных и утяжеляемых режимов анализируемых систем при определении запасов устойчивости. Особенностью КХУ в рассматриваемой задаче является то, что порядки их сильно отличаются друг от друга.

На основании методики, изложенной в [3], для анализа статической устойчивости сложных энергосистем (с учетом изменения частоты в системе) была составлена программа,

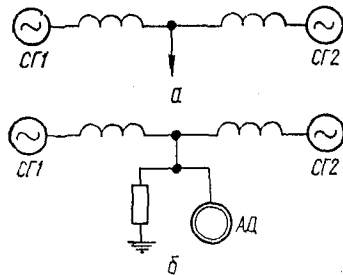


Рис. 1.

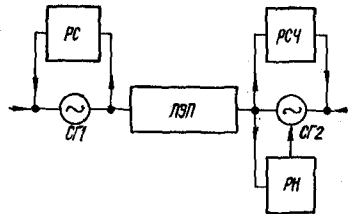


Рис. 2.

где в качестве алгоритма критерия статической устойчивости системы принимался расчет определителей Гурвица.

Расчет КХУ системы производился методом неопределенных коэффициентов. Опыт расчетов показывает, что получаемые КХУ отличаются друг от друга на несколько порядков. В таблице представлены КХУ для схем, анализируемых в [1—3, 5, 6] и показанных на рис. 1—3.

На рис. 1, а, б представлена станция СГ1, работающая через дальнюю электропередачу ЛЭП на приемную систему СГ2 [2, 3], а на рис. 2 — энергосистема из двух сравнимых по мощности электрических станций [5], где РС, РСЧ, РН — регуляторы соответственно скорости, скорости и частоты, напряжения. Схема, реализованная на динамической модели линии электропередачи ЛЭП Куйбышевская ГЭС — Москва [1] и станция, работающая через ЛЭП на мощную приемную систему, которая представляется шинами неизменных напряжения и частоты [6], приведены соответственно на рис. 3, а и б.

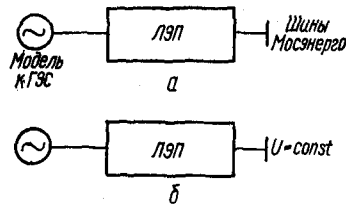


Рис. 3.

Характеристические уравнения являются полиномами

$$A_n p^n + A_{n-1} p^{n-1} + \dots + A_1 p + A_0 = 0.$$

При составлении таблицы для наглядности было принято, что все КХУ разделены на A_0 . Приведены случаи, когда по методам расчета авторов [1—3, 5, 6] энергосистемы находятся вблизи пределов статической устойчивости. Порядок КХУ указан в таблице как $(m + 1)$, если $1,0 \cdot 10^m \geq A \geq 0,5 \cdot 10^m$, и как m , если $0,5 \cdot 10^m > A > 0$.

Если разница между порядками старшего и свободного A_0 членов характеристического уравнения составляет более чем восемь единиц, то очевидно, что для проведения расчетов статической устойчивости по принятой методике, например на ЭВМ М-4030, необходимо применение двойной точности. А при разности порядков более чем 16 принципиально не могут быть достоверно определены КХУ. Опыт расчетов на ЭВМ М-4030 с двойной точностью показывает, что достоверные значения КХУ получаются, когда диапазон порядков КХУ не превышает 12. Если же диапазон порядков КХУ превышает указанные пределы (что имеет место при увеличении числа генерирующих и нагрузочных узлов схемы замещения, увеличении числа учитываемых факторов, например, при учете автоматических регуляторов возбуждения и скорости машин и др.), то применение указанной методики невозможно при расчете даже на ЭВМ высокого класса.

В этом случае следует использовать другой подход к оценке статической устойчивости системы, например непосредственное определение корней характеристического уравнения. В качестве критерия статической устойчивости при этом принимается отрицательность действительных частей корней характеристического уравнения, поиск которых можно осуществить методом покоординатного спуска [7].

Расчеты, проведенные по обоим методикам, дали одинаковые результаты. Кроме того, по второй методике удалось получить ответ и в тех случаях, когда по первой методике это сделать было невозможно вследствие неправильного определения КХУ при большом различии в их порядках.

Следует также отметить, что определение корней ХУ дает дополнительно к оценке устойчивости системы полезную информацию о возможных частотах колебаний и скорости их затухания.

Диапазон порядков КХУ можно уменьшить соответствующим выбором системы единиц. Если не все величины, входящие в уравнения анализа статической устойчивости энергосистемы, выражать в относительных единицах, как это делалось, например, при расчете схемы (рис. 1, б), а часть из них выражать в именованных единицах (в частности, допустимо постоянные инерции роторов, постоянные времени электромагнитных контуров и независимую переменную (время) — выражать в секундах), то для этой же схемы диапазон КХУ вместо 12 будет равен трем.

Укажем еще один способ уменьшения диапазона порядков КХУ для методов отдельного вычисления каждого корня, например для метода дифференцирования характеристического определителя [4]. Так, если все корни характеристического уравнения умножить на число $k > 0$, то знак действительной части корней не изменится и это преобразование не приведет к изменению выводов об устойчивости системы. Если затем по новым корням выразить КХУ по формулам Вьета, то, очевидно, новые КХУ будут отличаться от истинных на множитель k^{n-i} ($i = 0, 1, \dots, n-1$), где n — степень приведенного выше характеристического уравнения; i — индекс КХУ. Полученный полином даст тот же результат в отношении проверки устойчивости, что и исходный, хотя корни изменились.

В алгоритме вычисления КХУ автоматически может выбираться значение k , например, по формуле $k = \frac{A_1}{A_0} > 1$. Если, что обычно имеет место, есть формула для предварительного вычисления A_n , и характеристическое уравнение делением на A_n приводится к каноническому виду, то диапазон порядков КХУ выравнивается до приемлемых по разрядности ЭВМ значений даже при характеристических уравнениях высокой степени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В. А., Литкенс И. В., Розанов М. Н. Некоторые вопросы методики расчетов режимов и устойчивости современных автоматически регулируемых электрических систем. М., МЭИ, 1957. 128 с.
2. Горев А. А. О статической устойчивости системы из двух синхронных машин, питающих общую нагрузку с заданными характеристиками. — Труды Ленингр. политехн. ин-та, 1954, № 1, с. 10—50.
3. Жданов П. С. О статической устойчивости сложных электрических систем. — Труды Всесоюз. электротехн. ин-та, 1940, вып. 40, с. 100—194.

4. Коробчук К. В. Методика расчета с помощью ЦВМ статического предела мощности сложных энергосистем.— В кн.: Анализ режимов электроэнергетических систем при помощи вычислительных машин. К., 1968, с. 80—97.
5. Мееров М. В. Введение в динамику автоматического регулирования электрических машин. М., Изд-во АН СССР, 1956. 418 с.
6. *Переходные* процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962. 384 с. Авт.: Н. Д. Анисимова, В. А. Веников, В. В. Ежков и др.
7. Янушевский Р. Т. Теория линейных оптимальных многосвязных систем управления. М., «Наука», 1973. 464 с.

УДК 621.311.001.57

В. Н. Авраменко, В. С. Стогний, А. А. Янкина, М. И. Коджа

Институт электродинамики АН УССР, ОДУ Юга

**РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЬНОГО ПРИНЦИПА
В ПРОГРАММЕ АНАЛИЗА
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДНОГО
ПРОЦЕССА УДАР-2**

Постоянно повышающиеся требования к точности расчета режимов электроэнергетических систем при их проектировании и эксплуатации выдвигают задачу использования более точных математических моделей элементов энергосистемы. Вместе с тем при анализе переходных режимов сложных энергосистем очень важно и практически необходимо использовать в расчете модели, различающиеся по сложности и точности отражения свойства моделируемых объектов, в зависимости от удаления объекта от места приложения возмущения и степени влияния его на переходный процесс.

В расчетах электромеханических переходных процессов (ЭМП) основными динамическими элементами, для которых требуются различные математические модели, представляющие собой систему нелинейных дифференциальных уравнений с ограничением переменных, являются синхронные генераторы (СГ) и компенсаторы с системами автоматического регулирования возбуждения (АРВ) и скорости (АРС), а также комплексная нагрузка в узлах энергосистемы. Разнообразие конструкций АРВ и АРС делает целесообразными разработку и применение ряда моделей, достаточно полно отражающих их особенности. Большие