НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Яковлев Д.А.
ХТИ – Филиал СФУ, 655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27

Для современной энергетики характерна тенденция повышения надежности и качества функционирования оборудования. Среди факторов, определяющих точность и безотказность работы электротехнических систем (ЭТС) с наличием синхронных машин (например, гидроагрегатов), существенное влияние имеют динамические процессы, протекающие в рассматриваемых системах при нормальных и аварийных переходных режимах работы. Современные системы регулирования ЭТС должны обеспечивать требуемое качество производимой электроэнергии, точность и надежность функционирования оборудования. Эти требования должны выполняться и в условиях случайной флуктуации параметров ЭТС. Существенными свойствами таких систем также являются нелинейность, многомерность и динамическая связность в составе группы синхронных машин [1,2].

Таким образом, повышение требований к качеству работы систем регулирования обуславливают необходимость поиска адекватных методов анализа динамики и синтеза систем управления ЭТС.

На данный момент, общей теоретической базой вероятностного исследования нестационарных систем является подход на основе марковских случайных процессов. Этот наиболее общий подход к анализу систем со случайными параметрами базируется на использовании уравнений Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК), имеющего в скалярной форме вид [3]:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\sum_{i=1}^{n} \frac{\partial}{\partial x_i}\left[A_i\left(x,t\right)\cdot f \right] + \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{n} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j}\left[B_{ij}\left(x,t\right)\cdot f \right],$$

где $A_i\left(x,t\right)$ – вектор сноса, $B_{ij}\left(x,t\right)$ – матрица коэффициентов диффузии, f – функция плотности распределения случайного марковского процесса x, n – порядок исходной системы.

Методы, построенные на основе данного подхода, практически пригодны только для решения сравнительно простых задач, поскольку решение уравнения ФПК для определения закона распределения вероятностей фазовых координат систем большой размерности остается проблематичным. Предполагается также детальное знание статистических моментов высоких порядков для случайных коэффициентов, что не всегда возможно на практике. Поэтому непосредственное применение уравнений ФПК для анализа стохастических ЭТС является практически малоэффективным.

Другим распространённым методом учёта нелинейности и случайных флуктуаций является выполнение приближенного статистического исследования методом статистических испытаний. Этот подход применим для любых стохастических систем, в том числе содержащих нелинейности [4]. Теоретической основой этого метода является основной закон теории вероятностей – закон «больших чисел». Поэтому при увеличении общего числа опытов точность приближенных формул возрастает, что позволяет при достаточно большом числе опытов теоретически получить заданную точность. Для ориентировочной оценки погрешностей по методу Монте-Карло используется неравенство Чебышева, которое дает весьма грубую оценку погрешности результата, однако достоинство этой оценки заключается в ее простоте и поэтому она применяется в практических исследованиях. Но, несмотря на простоту и универсальность, тщательный анализ математической схемы и особенностей применения этого метода показывает, что он обладает рядом серьезный недостатков, затрудняющих его применение при решении многих практических задач.

С учётом недостатков представленных выше методов, предлагается использование концепций синергетической теории управления, которые позволяют в аналитической форме получить законы управления для нелинейных, многомерных, взаимосвязных объектов, к которым, в частности, относятся рассматриваемые системы. Концептуальные основы заключаются в том, чтобы определить инвариантные многообразия связей между координатами объекта в фазовом пространстве. Отметим, что все траектории движения изображающей точки рассматриваемой системы, очевидно, стягиваются на пересечение многообразий. Ключевым принципом синергетического подхода к управлению является принцип расширения-сжатия фазового потока, который говорит о том, что в случае необходимости учёта действующих на систему возмущений её фазовое пространство расширяется за счёт добавления дифференциальных уравнений, частным решением которой являются действующие на систему возмущения. Под действием полученных законов управления движения изображающей точки будет описываться уравнениями внутренней динамики. Иными словами, на пересечении инвариантных многообразий осуществляется точная динамическая декомпозиция изначальной системы. Размерность конечной декомпозиции будет зависеть от числа каналов управления и числа необходимых этапов декомпозиции [5-6]. Получаемые таким образом аналитические выражения позволяют с высокой степенью точности описать реакции системы на внешние и внутренние возмущения, с учётом всех особенностей рассматриваемого объекта управления. При этом, синтез системы управления остаётся достаточно простым.

Использование такого подхода позволит эффективно решить задачу синтеза управления электротехническими системами в классе систем со случайно изменяющимися параметрами. Решение будет обладать высокой степенью универсальности, ввиду того, что позволяет получить аналитические выражения в условиях случайных флуктуаций для динамики системы, с помощью которых устанавливаются связи между процессами, происходящими в объекте управления. Отсутствие традиционных упрощающих допущений также положительно сказывается на качестве проводимого анализа параметров электротехнической системы и её

переходных процессов. В совокупности все эти преимущества позволяют адекватно решить задачу управления, достигая поставленных при синтезе целей.

1 Брызгалов, В. И. Гидроэлектростанции: учеб. пособие / В. И. Брызгалов, Л. А. Гордон. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002, С. 541

2 Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах/ В. А. Веников – М.: Высш. шк., 1985. – С. 536

3 Евланов, Л. Г. Системы со случайными параметрами / Л. Г. Евланов, В. М. Константинов.– М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1976.

4 Пупков, К. А. Статистические методы анализа, синтеза и идентификации систем автоматического управления / К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Трофимов.– М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.

5 Колесников А.А., Веселов Г.Е., Попов А.Н., Колесников Ал.А., Кузьменко А.А. Синергетическое управление нелинейными электромеханическими системами.- М.: Испо-Сервис, 2000

6 Современная прикладная теория управления. Ч. III: Синергетический подход в теории управления./ Под ред. Колесникова А.А. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000