

ВЛИЯНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ВХОДНОГО СИГНАЛА НА ДИНАМИКУ И ИДЕНТИФИКАЦИЮ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ДУФФИНГА

Аннотация: Исследованы явления, возникающие при возмущении входного сигнала системы Дуффинга. Показана неразличимость при реальных измерениях и наличии возмущений хаотического режима от сложно-периодического. Продемонстрировано сохранение работоспособности адаптивно-поисковой системы идентификации при наличии возмущений.

Ключевые слова: Идентификация, возмущение входного сигнала, хаотическая динамика, нелинейная динамическая система Дуффинга.

Введение

В работе [1] было рассмотрено применение методов адаптивно-поисковой идентификации для определения параметров классической динамической хаотической системы Дуффинга [2-4]:

$$\ddot{x} + c_0\dot{x} + \Omega_0^2x + \beta x^3 = u(t). \quad (1)$$

Было показано, что использование физических принципов для построения критерия качества системы идентификации [1,5] приводит к положительным результатам. Однако, при моделировании системы Дуффинга было сделано допущение, что неизбежные при работе реальных систем шумы и помехи проявляют себя только на этапе измерения выходного сигнала объекта. Такое допущение чаще всего оправдывает себя при моделировании обычных динамических систем, для которых наличие неконтролируемых возмущений на входе или внутри системы не приводит к кардинальным изменениям поведения, и может быть представлено при моделировании как часть шума измерения. Для систем хаотической динамики характерна высокая чувствительность к изменению входного сигнала, и следовательно, возникает необходимость в исследовании влияния возмущений входного сигнала как на динамику системы, так и на работу системы идентификации в целом.

Постановка задачи

Для исследования поведения системы (1) при наличии возмущений входного сигнала, примем следующие значения параметров и сигналов:

$$\begin{cases} c_0 = 0.05, \\ \Omega_0 = 0, \\ \beta = 1, \\ u(t) = U_0 \sin(t) + w_{in}(t). \end{cases} \quad (2)$$

Выбор нулевого значения параметра Ω_0 позволяет управлять поведением системы, изменяя амплитуду входного сигнала U_0 при неизменной величине β , а также более выпукло выявить нелинейные свойства системы. Сигнал $w_{in}(t)$ – возмущение на входе системы. Для данной задачи это возмущение будет представлено как случайный сигнал с нормальным распределением, характерным временем автокорреляции $\tau_{in} = 0.05$ и среднеквадратичным отклонением σ_{in} . Влияние величины последнего на динамику системы и будет исследоваться.

Для того, что бы избежать ошибочного принятия плотного линейчатого спектра за непрерывный, требуется достаточно большое значение величины T – полного времени моделирования. В данной работе использовалось $T \in [2^{10}; 2^{12}]$ с, и, соответственно, полное количество шагов моделирования N достигало 2^{22} . Это позволило получить достаточную разрешающую способность по частоте, и избежать приближенного решения, полученного в [1]. Представление N в виде степени двойки необходимо для эффективного применения БПФ.

При моделировании динамики системы (1), допущениях (2) и значения входных возмущений не превышают неизбежных погрешностей численных расчетов, система проявляет чаще всего хаотическую динамику при значениях величины $U_0 \in [6.6; 8.4]$ (рис. 1), что проявляется в наличии участков сплошного спектра и визуально плотном заполнении фазового портрета.

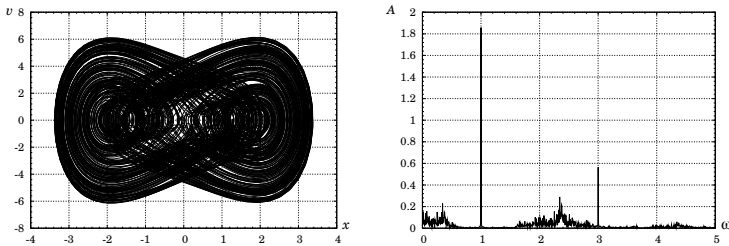


Рис. 1 – Фазовый портрет и спектр системы (1) при $U_0 = 7.5$ и $\sigma_{in} = 0$

Следует отметить, что множество других значений U_0 не приводит к хаосу, система демонстрирует сложно-периодическое движение (рис. 2) (линейчатый спектр, ограниченное заполнение пространства аттрактора на фазовом портрете).

В свою очередь, при появлении возмущений на входе системы, находящейся в хаотическом режиме, картина практически не изменяется.

В то же время, вклад малого возмущения ($\sigma_{in} = 0.2 \approx 0.03U_{in}$) приводит к существенным изменениям (рис. 3). При этом появляется характерное для хаотического режима плотное заполнение фазового пространства, и участки непрерывного спектра. Важно появление такого участка вблизи нуля, что свидетельствует о наличии в динамике системы явлений, характерный временной масштаб которых сопоставим с полным

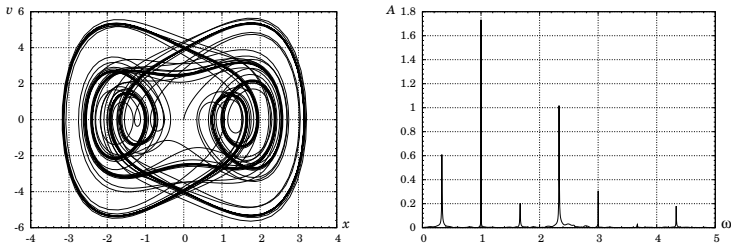


Рис. 2 – Фазовый портрет и спектр системы (1) при $U_0 = 6.0$ и $\sigma_{in} = 0$

временем моделирования. Аналогичные результаты были получены для широкого диапазона амплитуды входного сигнала: $U_{in} \in [1; 20]$. С другой стороны, следует отметить, что введение такого же возмущения для аналогичной линейной системы не приводит к заметным изменениям выходного сигнала (очевидно, из-за фильтрующих свойств линейной системы) [3,4].

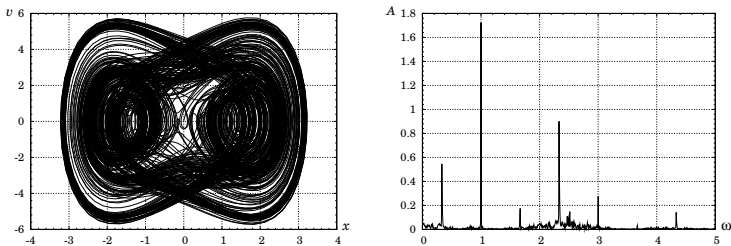


Рис. 3 – Фазовый портрет и спектр системы (1) при $U_0 = 6.0$ и $\sigma_{in} = 0.2$

Проведенные наблюдения позволяют предположить, что по крайней мере некоторые нелинейные динамические системы, проявляющие не хаотическое, а сложно-периодическое движение, при воздействии даже относительно малых возмущений становятся практически неотличимыми от систем хаотической динамики. Следовательно, при идентификации таких систем имеет смысл использовать те же критерии и методы, которые показали свою пригодность для хаотических систем.

Моделирование процесса идентификации

Для исследования влияние возмущения входного сигнала на процесс идентификации был выбран тот же метод (рис. 4), и тот же критерий (по среднему квадрату выходного сигнала), что и для идентификации системы Дuffинга, находящейся в хаотическом режиме [1]. Изначально параметры системы выбирались так, что бы идентифицируемый объект проявлял сложно-периодическую динамику. Дополнительно на вход системы подавался квазислучайный сигнал $w(t)$, и исследовалось его влия-

яние на процесс идентификации. Также определялась величина σ_{in} , при которой процесс идентификации нарушался.

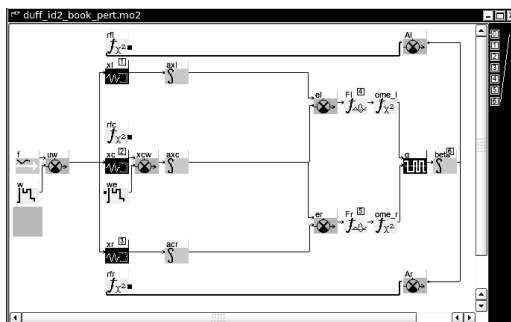


Рис. 4 – Окно в программе qto2 с моделируемой системой адаптивно-поисковой идентификации

На рис. 5 представлены результаты моделирования процессов идентификации параметра β . Условия, с учетом значения идентифицируемого параметра, соответствуют системам, информация о которых представлена на рис. 2 и 3.

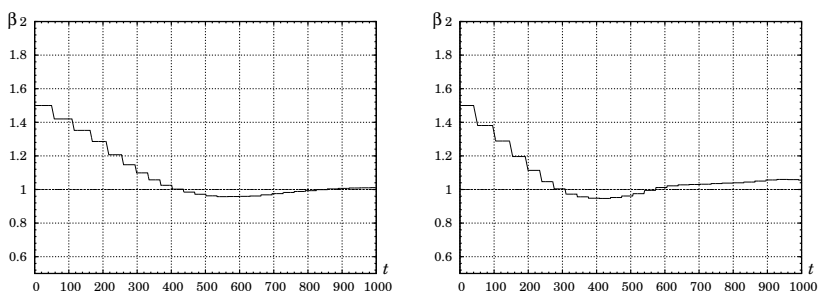


Рис. 5 – Результаты моделирования процесса идентификации для $\sigma_{in} = 0$ и $\sigma_{in} = 0.2$

Аналогичные исследования были проведены для различных значений параметров идентифицируемой системы, искомого значения параметра β и сигнала возмущения. Было обнаружено, что до тех пор, пока возмущение не станет величиной того же порядка, что и входной сигнал, система идентификации сохраняет работоспособность, хотя с ростом σ_{in} растет ошибка идентификации.

Выводы

Результаты проведенного моделирования динамики исследуемой системы и процессов идентификации её параметров позволяют сделать следующие выводы:

- в нелинейной динамической системе Дуффинга, находящаяся в режиме сложно-периодического движения, при воздействии малого шумоподобного возмущения на входе, проявляются свойства, характерные для хаотических систем;
- для идентификации данной системы во всех рассмотренных режимах можно успешно применять метод и критерий, предложенные в [1] для идентификации параметров хаотического режима;
- работоспособность адаптивно-поисковой системы идентификации при различных режимах идентифицируемого объекта свидетельствует о правильности выбора как критерия, так и метода идентификации.

Литература

1. *Михалёв А.И., Гуда А.И.* Адаптивно-поисковая идентификация хаотической динамической системы Дуффинга // Адаптивные системы автоматического управления. – 2008. – № 12(32). – С. 166–171.
2. *Магницкий Н.А., Сидоров С.В.* Новые методы хаотической динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2004 – 320 с.
3. *Мун Ф.* Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1990. – 312 с.
4. *Tamas Tel, Marton Gruiz.* Chaotic Dynamics. An Introduction Based on Classical Mechanics. – Cambridge University Press, 2006 – 388 с.
5. *Михалёв А.И., Гуда А.И., Новикова Е.Ю.* Синтез критерия идентификации нелинейных динамических систем на физических принципах // Адаптивные системы автоматического управления. – 2007. – № 11(31). – С. 136–142.

Получено 17.12.2009