

01:09

Двухпетлевой генератор с хаотической динамикой

© Э.В. Кальянов

Институт радиотехники и электроники РАН,
Фрязинская часть, г. Фрязино

Поступило в Редакцию 2 октября 1996 г.

В работе содержатся новые результаты, относящиеся к интенсивно развивающейся области — исследованию динамического хаоса. Показано, что введение дополнительной широкополосной обратной связи в автостохастический генератор с запаздыванием позволяют перевести хаотические колебания в квазимонохроматические.

В настоящее время проявляется значительный интерес к управлению колебаниями автостохастических систем [1]. Для решения этой проблемы представляется возможным использование дополнительной обратной связи, которая широко применяется в генераторах детерминированных колебаний, позволяя изменять одни параметры этих генераторов без ухудшения остальных [2]. Исследование влияния дополнительной обратной связи в генераторах хаотических колебаний не проводилось и является актуальным.

В связи с широким исследованием генераторов с хаотической динамикой, имеющих запаздывание в цепи обратной связи [3–5], представляет интерес изучение возможности управления с помощью дополнительной петли обратной связи колебаниями таких генераторов.

В настоящей работе приводятся результаты теоретических исследований автостохастического генератора с запаздыванием, содержащего дополнительную цепь широкополосной запаздывающей обратной связи. Показана возможность перевода с помощью этой дополнительной обратной связи хаотических колебаний генератора в регулярные.

Основная цепь исследуемого генератора содержит замкнутые в кольцо усилитель, двоянный направленный ответвитель и сумматор. Усилитель, в свою очередь, состоит из последовательно

включенных линии задержки, обеспечивающей запаздывание сигнала на время T_1 , нелинейного элемента с характеристикой F и фильтра первого порядка с постоянной времени p . Полезный сигнал снимается с выхода направленного ответвителя. Дополнительная обратная связь содержит переменный аттенуатор с коэффициентом пропускания d и линию задержки сигнала на время T_2 . С помощью дополнительной обратной связи часть сигнала, снимаемого с одного из отводов направленного ответвителя (назовем его первым), подается на сумматор, на который поступает также сигнал с другого (второго) отвода направленного ответвителя, включенного в цепь основной обратной связи.

Аппроксимируя характеристику нелинейного элемента с помощью логистической кривой [5,6], можно представить уравнения, описывающие колебательные процессы в двухпетлевом генераторе, в виде

$$\begin{aligned} \dot{x} &= q_1 b_1 (1 - b_2) y + q_2 d y_{T_2}, \\ \dot{y} &= (G x_{T_1} (1 + x_{T_1}^n)^{-1} - y) r, \\ z &= (1 - b_1)(1 - b_2) y, \end{aligned} \quad (1)$$

где x, y — колебания на входе ($x = x(t)$) и выходе ($y = y(t)$) усилителя; $z = z(t)$ — колебания на выходе генератора (на выходе направленного ответвителя); $x_{T_1} = x(t - T_1)$; $y_{T_2} = y(t - T_2)$; G, n — параметр усиления и параметр нелинейности нелинейного элемента соответственно; b_1, b_2 — коэффициенты ответвления для первого и второго отводов направленного ответвителя; q_1, q_2 — весовые коэффициенты сумматора; $r = 1/p$. Точкой обозначено дифференцирование по времени t .

Решение системы нелинейных дифференциально-разностных уравнений (1) проводилось методом Рунге–Кутты–Мерсона 4-го порядка. Результаты решения иллюстрируются рис. 1 и 2.

На рис. 1 приведены бифуркационные диаграммы, показывающие изменение максимальных значений колебательного процесса $z(t)$ (обозначенных $[z(t)]$) в зависимости от параметра, определяющего прохождение сигнала в цепи дополнительной обратной связи. Бифуркационные диаграммы получены при увеличении параметра d от 0 до 1 при $n = 6$ (рис. 1, а) и $n = 12$ (рис. 1, б), когда величины остальных параметров следующие: $G = 32$, $p = 0.5$, $T_1 = 3$, $T_2 = 1.5$, $b_1 = b_2 = q_1 = q_2 = 0.5$. Значению параметра нелинейности

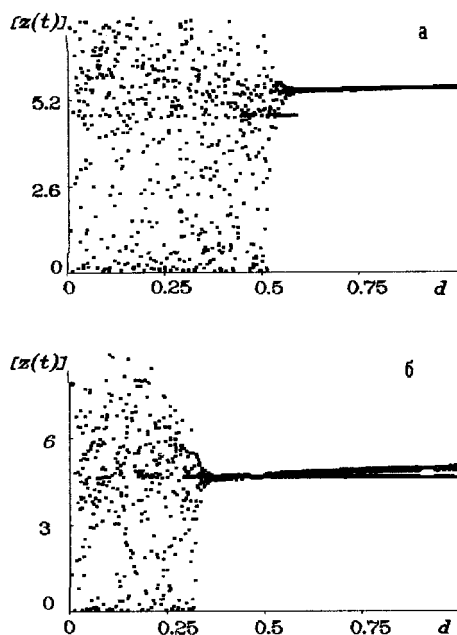


Рис. 1. Бифуркационные диаграммы при $n = 6$ (а) и $n = 12$ (б).

$n = 6$ соответствует величина производной падающего участка характеристики в области его максимальной крутизны, равная 52. Эта величина производной при $n = 12$ соответствует значению 125.

Как видно, при величинах параметра $n = 6$ в интервале $d \in (0; 0.52)$ имеет место хаотический разброс максимальных значений колебательного процесса, что свидетельствует о хаотическом характере колебаний в отмеченном интервале величин параметра d . При $d > 0.52$ имеет место дестохастизация колебаний; при этом наблюдается регулярное изменение максимальных значений колебательного процесса с увеличением параметра, определяющего прохождение сигнала в цепи дополнительной обратной связи.

При обратном изменении параметра d (при уменьшении d от 1 до 0) проявляется гистерезис и режим детерминированных колебаний "затягивается" в область меньших величин d .

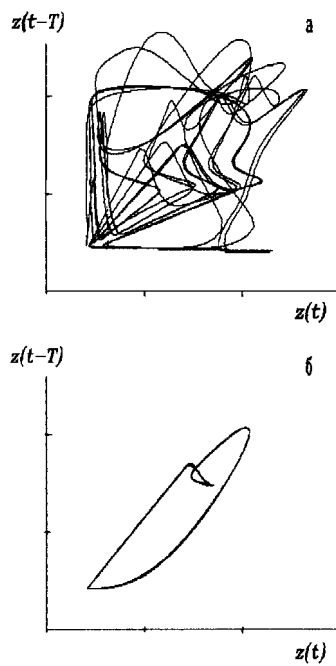


Рис. 2. Аттракторы колебаний при одной (а) и двух (б) петлях запаздывающей обратной связи.

Характерные аттракторы, соответствующие значениям $d = 0$ и $d = 1$ бифуркационной диаграммы рис. 1, а, показаны соответственно на рис. 2, а и 2, б. Они получены в проекции на плоскость $\{z(t), z(t-T)\}$ (при $T = T_1 + T_2$) в интервале времени $t \in (160; 200)$. При хаотических колебаниях движения являются запутанными и аттрактор отображается сложной незамкнутой кривой. В случае дестохастизации автоколебаний имеем относительно простой предельный цикл.

При $n = 12$, согласно рис. 1, б, интервал значений d , соответствующий хаотическим колебаниям, сужается и имеет место при $d \in (0; 0.32)$. Характер хаотических и регулярных движений аналогичен иллюстрируемым аттракторами рис. 2.

Сужение интервала d , соответствующего хаотическим колебаниям, наблюдается при дальнейшем увеличении n . Наоборот, при меньших n , например при $n = 4$, хаотические колебания сохраняются во всем интервале изменения d от 0 до 1. Это свидетельствует о том, что процесс дестохастизации с помощью дополнительной обратной связи эффективен, как это ни парадоксально, при относительно больших нелинейностях.

Следует отметить, что, если при соответствующем выборе запаздывания T_1 при $d = 0$ генерируются регулярные автоколебания, возможны режимы стимулирования хаоса с помощью дополнительной петли обратной связи. При этом существенное значение имеет выбор величины запаздывания T_2 . Этот эффект, обратный описанному, также представляет практический интерес.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что работа генератора с двумя петлями запаздывающей обратной связи более эффективна, чем с одной петлей. Дополнительная обратная связь позволяет управлять колебаниями генератора с запаздыванием.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 95-02-04300).

Список литературы

- [1] *Astakhov V.V., Shabunin A.V., Silchenko A.N. et al.* // The International Conference on Nonlinear Dynamics and Chaos. Applications in Physics, Biology and Medicine, ICND-96. Saratov, Russia, July 8-14, 1996. Book of Abstracts. P. 23.
- [2] *Яковлев В.Н.* Генераторы с многопетлевой обратной связью. М.: Связь, 1973. 192 с.
- [3] *Дмитриев А.С., Кислов В.Я.* Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989. 280 с.
- [4] *Кац В.А., Трубецков Д.И.* // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 39. В. 3. С. 116-119.
- [5] *Кальянов Э.В.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 18. С. 68-72.
- [6] *Гласс Л., Мэки М.* От часов к хаосу. Ритмы жизни. М.: Мир, 1991. 248 с.