

01:09  
©1993

## ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

*А.К.Козлов, В.Д.Шалфеев*

В последнее время активный интерес исследователей привлекают проблемы нелинейной физики, в частности, наряду с генерацией динамическими системами хаотических сигналов встают вопросы их обработки. Эта тенденция характерна для различных областей физики: гидродинамики, квантовой физики, механики, радиофизики и др. Следует заметить, что подавляющее большинство работ посвящено вопросам обработки, связанным с вычислением спектрально-корреляционных, информационных, размерностных и других характеристик хаотических процессов. Что касается аппаратной обработки с целью преобразования и использования детерминированных хаотических сигналов, то эта сфера развита незначительно. Последние успехи в данной области связаны с проблемами хаотической синхронизации конкретных устройств [1,2] и синхронного хаотического отклика [3].

В настоящей работе предложены принципы построения нелинейных устройств, предназначенных для эффективного избирательного подавления детерминированной хаотической составляющей сигнала, практическая реализация предложенных принципов продемонстрирована на модельных примерах, отмечена тесная связь исследуемого явления с задачей нелинейной фильтрации случайных процессов.

Рассматривается решение следующей задачи: из смеси информационного сигнала и детерминированного шума, называемой в дальнейшем сложным сигналом, требуется выделить информационную составляющую. При этом считаются известными структура и параметры хаотического генератора, формирующего детерминированный шум, а также способ смешивания сигналов. В отличие от классической задачи фильтрации случайных процессов [4], никаких априорных статистических и корреляционных данных о сигналах нет.

Из двух составляющих сложного сигнала, хаотической и информационной, первая однозначно определяется структурой и параметрами генератора, а также начальными усло-

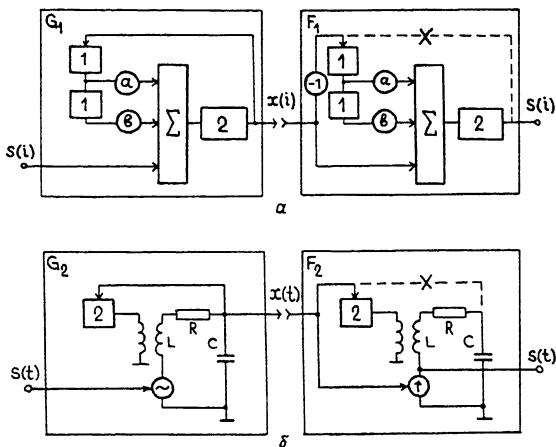


Рис. 1. Схемы генераторов  $G_1$ ,  $G_2$  и соответствующих им нелинейных фильтров  $F_1$ ,  $F_2$ :

$a$  — цифрового,  $b$  — аналогового (1 — элемент единичной задержки, 2 — нелинейный элемент).

виями, вторая же может рассматриваться как внешнее неавтономное воздействие. Учитывая это обстоятельство, рационально при построении искомого нелинейного фильтра исходить из структуры хаотического генератора. Нелинейный фильтр может быть выполнен по схеме генератора с разомкнутой петлей обратной связи и с добавлением “вычитающего” устройства, выполняющего операцию, обратную для преобразования смесителя (под смешиванием понимается любая комбинация двух сигналов — сложение, гетеродинирование и т.п.). Этот подход, традиционный в теории оптимальной линейной фильтрации [4], оказывается плодотворным в задаче избирательного подавления детерминированных хаотических сигналов. Приведенные ниже результаты численного моделирования двух конкретных систем иллюстрируют работоспособность данной идеи.

**Пример 1:** цифровое устройство Л.О. Чуа [5] с дискретизацией сигналов по времени. Динамика данного устройства описывается уравнениями:

$$x_1(i+1) = x_2(i),$$

$$x_2(i+1) = F(bx_1(i) + ax_2(i) + s(i)),$$

$$F(x) = (x + 1) \bmod 2 - 1, \quad (1)$$

где  $x_2(i) = x(i-1)$ ,  $x_1(i) = x_2(i-1) = x(i-2)$  — значения формируемого сложного сигнала на выходе элементов

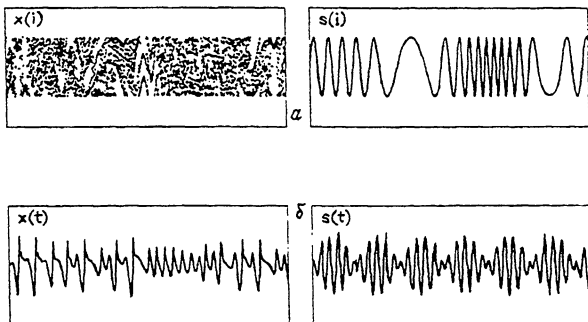


Рис. 2. Выделение информационной составляющей  $s(\cdot)$  из сложного сигнала  $x(\cdot)$ , представляющего собой комбинацию информационной и детерминированной хаотической компонент.

единичной задержки,  $s(i)$  — информационный сигнал. Хаотические режимы, определяемые отображением (1), детально исследованы в [6]. На рис. 1,а приведены схема хаотического генератора  $G_1$  и предлагаемая схема нелинейного цифрового фильтра  $F_1$ . Разомкнутая обратная связь с схеме фильтра указана пунктиром. Представленные на рис. 2,а сложный сигнал  $x(i)$  и выделенный информационный сигнал  $s(i) = \sin([\omega_0 + \Omega \sin(\omega_1 hi)]hi)$  получены в результате вычислительного эксперимента при  $a = 0.5$ ,  $b = -1.01$ ,  $\omega_0 = 0.5$ ,  $\Omega = 0.1$ ,  $\omega_1 = 0.05$ ,  $h = 0.05$ .

**Пример 2:** генератор В.С.Анищенко [7] с нелинейной инерционной обратной связью. В схеме хаотического генератора  $G_2$ , приведенного на рис. 1,б, роль смесителя играет колебательный контур с управляемым источником напряжения. Баланс напряжений на элементах колебательного контура отражает уравнение:

$$LC\dot{x} + RC\dot{x} + x = s(t) + u_{fb}, \quad (2)$$

где  $x$  — напряжение на емкости  $C$ ,  $u_{fb} = F(V, x, \dot{x})$  — сигнал обратной связи,  $s(t)$  — информационный сигнал. Инерционные свойства обратной связи описываются уравнением:

$$\dot{V} = -\gamma V + \gamma k_0 h(x) x^2, \quad (3)$$

где  $\gamma$ ,  $k_0$  — параметры,  $h(x)$  — функция Хевисайда. В схеме нелинейного фильтра  $F_2$  сложный сигнал подается на устройство обратной связи, отсоединенное от колебательного контура. Одновременно в контуре с помощью управляемого источника тока возбуждается переменный ток

$$i(t) = C \frac{dx(t)}{dt},$$

совпадающий с контурным током генератора  $G_2$ . Результаты аналоговой обработки хаотического сигнала при равенстве параметров генератора и фильтра, полученные в численном эксперименте, представлены на рис. 2,б. В качестве информационного сигнала взята функция  $s(t) = \sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t)$ , где  $\omega_1 = 0.1$ ,  $\omega_2 = 1$ .

Таким образом, приведенные примеры показывают, что при равных значениях параметров генератора и фильтра в предложенных схемах должно осуществляться эффективное подавление хаотической составляющей сложного сигнала с сохранением информационной составляющей даже в случае полного перекрытия их спектров. Представляется возможным перенесение предложенных принципов разработки алгоритмов подавления детерминированных процессов на другие динамические системы с хаотическим поведением.

Настоящая работа продолжает исследования в области передачи и обработки информации с помощью нелинейных динамических систем [8] и расширяет представления о возможностях нелинейной фильтрации детерминированных хаотических сигналов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-02-15424).

### Список литературы

- [1] Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Постнов Д.Е., Сафонова М.А. // Радиотехника и электроника. 1991. Т. 36. В. 2. С. 338-351.
- [2] Волковский А.Р., Рульков Н.Ф. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 13. С. 22-26.
- [3] Волковский А.Р., Рульков Н.Ф. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 3. С. 71-75.
- [4] Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М.: Радио и связь, 1991. 608 с.
- [5] Chua L.O., Lin Y. IEEE Trans. Circuits and Systems. 1988. V. CAS-35. P. 648-658.
- [6] Ogorzalec M.J. // Int. J. Bifurcation and Chaos. 1992. V. 2. N 1. P. 11-29.
- [7] Анищенко В.С., Астахов В.В., Летчфорд Т.Е. // Радиотехника и электроника. 1982. Т. 27. В. 10. С. 1972-1978.
- [8] Дмитриев А.С. // Радиотехника и электроника. 1993. Т. 38. В. 1. С. 1-24.

Нижегородский  
государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского

Поступило в Редакцию  
30 июля 1993 г.