

УДК 621.391

© 1993 г. Ю.Л. Бельский, А.С. Дмитриев

**ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО  
ХАОСА**

Показана возможность передачи информации с использованием в качестве носителя хаотических колебаний, генерируемых и принимаемых детерминированными нелинейными динамическими системами.

Динамический хаос является типичным колебательным режимом во многих нелинейных детерминированных системах, включая электронные [1—4].

Множество различных нетривиальных бифуркационных явлений в системах с хаосом позволяет надеяться на возможность их применения в информационных технологиях.

В данной статье показано, что хаотические колебания могут быть использованы для передачи информационных сообщений между нелинейной динами-

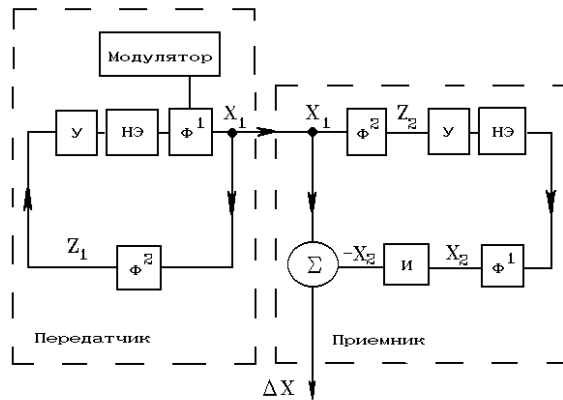


Рис. 1. Структурная схема системы передачи информации

ческой системой, играющей роль передатчика, и нелинейной динамической системой, выполняющей функцию приемника.

Структурная схема системы передачи и приема информации показана на рис. 1. На схеме пунктиром обведены: передатчик, формирующий хаотический сигнал, несущий информацию, и приемник, принимающий передаваемый сигнал и извлекающий из него информацию. Передатчик включает в себя модулятор и кольцевой генератор хаотических колебаний [3, 5], состоящий из последовательно соединенных линейного усилителя – У, нелинейного элемента – НЭ, фильтра нижних частот первого порядка  $\Phi^1$ , фильтра нижних частот второго порядка  $\Phi^2$ . Формирование информационного сигнала в передатчике осуществляется путем дискретного изменения одного из параметров генератора. Выходным сигналом передатчика являются колебания  $X_1$  на выходе фильтра  $\Phi^1$ .

Основу приемника составляет такой же генератор, но с разомкнутой цепью обратной связи.

Выходной сигнал передатчика подается на вход фильтра  $\Phi^2$  приемника и далее проходит через усилитель, нелинейный элемент, фильтр  $\Phi^1$  и инвертор И. Сигнал с выхода инвертора ( $-X_2$ ) суммируется с сигналом  $X_1$  в сумматоре  $\Sigma$ . Передаваемая информация снимается с выхода этого сумматора.

При совпадении или близости параметров элементов  $\Phi^2$ , У, НЭ и  $\Phi^1$ , входящих в передатчик и приемник, происходит синхронизация сигналов  $X_1$  и  $X_2$ , т.е. после переходного процесса они становятся одинаковыми. Если же эти параметры различаются, то синхронизации не происходит.

В случае синхронизации сигналов  $X_1$  и  $X_2$  сигнал  $\Delta X$  на выходе сумматора будет равен нулю, а в случае отсутствия синхронизации на выходе сумматора будет иметь место хаотический сигнал.

Под синхронизацией будем понимать ситуацию, когда траектория одной из систем сходится к тем же самым значениям, что и траектория другой системы. В дальнейшем эти траектории совпадают, и это состояние является устойчивым по отношению к возмущениям. При таком понимании явления синхронизации можно рассматривать синхронизацию не только регулярных, но и хаотических сигналов [6, 7].

Следуя работе [7], рассмотрим условия синхронизации сигналов передатчика и приемника в описанной выше системе передачи информации. Математическая

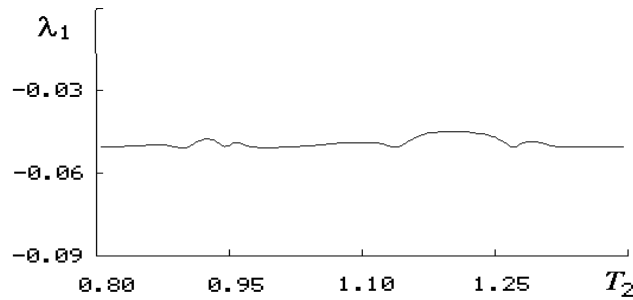


Рис. 2. Зависимость максимального ляпуновского показателя приемника от постоянной времени  $T_2$ . Остальные параметры системы фиксированы:  $M_1 = M_2 = 12$ ,  $\omega_1 = \omega_2 = 1$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$ ,  $T_1 = 1,04$

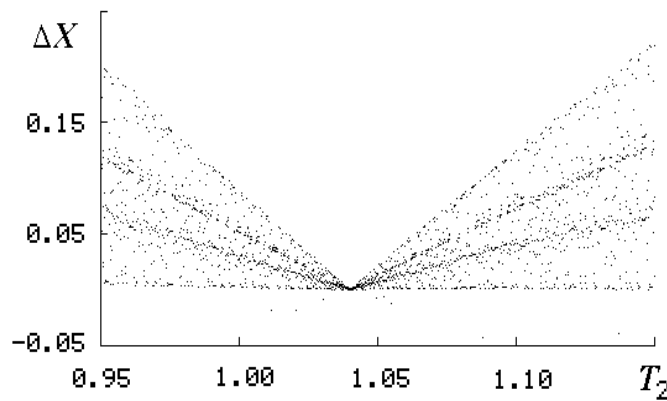


Рис. 3. Бифуркационная диаграмма сигнала  $\Delta X$  на выходе сумматора приемника в зависимости от постоянной времени  $T_2$ . Параметры системы:  $M_1 = M_2 = 12$ ,  $\omega_1 = \omega_2 = 1$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$ ,  $T_1 = 1,04$

модель системы описывается дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{X}_1 &= (M_1 f(Z_1) - X_1) / T_1, & \dot{Y}_1 &= (X_1 - Z_1) \omega_1^2, \\ \dot{Z}_1 &= Y_1 - \alpha_1 Z_1, & \dot{X}_2 &= (M_2 f(Z_2) - X_2) / T_2, \\ \dot{Y}_2 &= (X_2 - Z_2) \omega_2^2, & \dot{Z}_2 &= Y_2 - \alpha_2 Z_2, \end{aligned}$$

где первые три уравнения описывают процессы в передатчике, а оставшиеся три уравнения – в приемнике;  $X_i$  – сигнал на выходе фильтра нижних частот первого порядка;  $Z_i$  – сигнал на выходе фильтра нижних частот второго порядка;  $T_i$  – постоянная времени фильтра первого порядка;  $\alpha_i$  и  $\omega_i$  – коэффициент диссипации и резонансная частота фильтра второго порядка;  $M_i$  – коэффициент усиления линейного усилителя;  $f(Z)$  – характеристика нелинейного элемента:

$$f(Z) = Z \exp(-Z^2).$$

Синхронизация сигналов в передатчике и в приемнике означает, во-первых, равенство сигналов  $X_1$  и  $X_2$ ; во-вторых, устойчивость этого состояния.

Если параметры  $\omega_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $M_i$  совпадают для обеих частей системы, то первое условие выполняется, поскольку при замене  $X_1$  на  $X_2$  первые три уравнения и

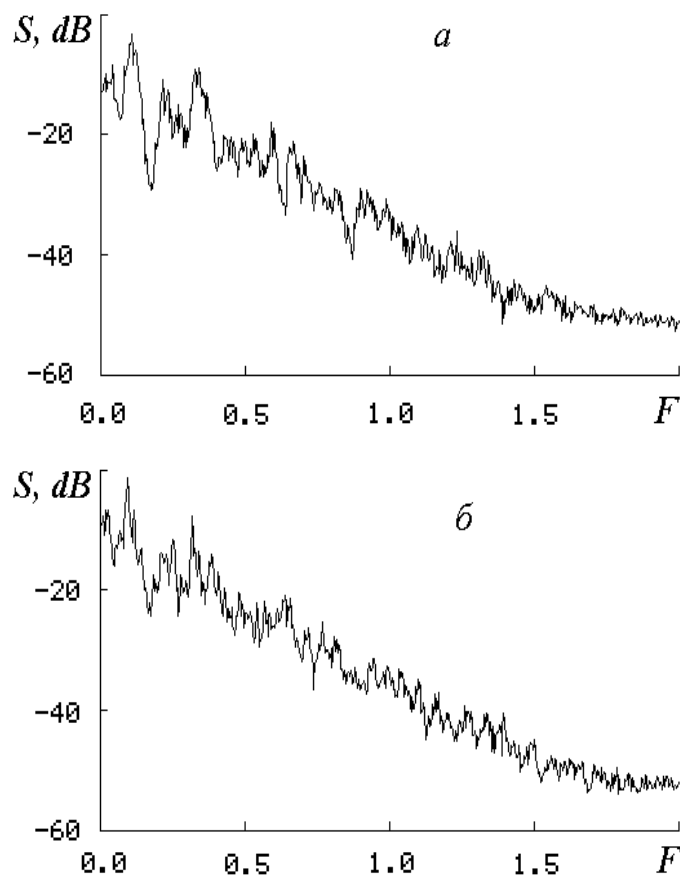


Рис. 4. Спектры мощности сигнала  $X_1$  на выходе передатчика. Параметры передатчика:  $M_1 = 12$ ,  $\omega_1 = 0,1$ ;  $\alpha_1 = 0,1$ ;  $T_1 = 1,04$  (а);  $1,14$  (б)

последние три уравнения совпадают с точностью до индексов переменных. Устойчивость же этого состояния определяется ляпуновскими показателями приемной части системы. Если эти показатели отрицательны, то состояние устойчиво и оба условия синхронизации выполнены. Фактически устойчивость определяется максимальным ляпуновским показателем: если он отрицателен, то и остальные показатели отрицательны.

Численные расчеты показывают, что второе из условий синхронизации выполняется в широкой области значений параметров приемной части системы (рис. 2), а первое условие при совпадении параметров передатчика и приемника или при небольшом их отличии (рис. 3). При этом максимальный ляпуновский показатель передатчика может быть как положительным, так и нулевым.

На рис. 4, 5 приведены результаты математического моделирования работы описанной системы передачи информации.

Формы спектров хаотических колебаний  $X_1$  на выходе передатчика при значениях постоянной времени фильтра нижних частот первого порядка  $T_1$ , равных 1,04 и 1,14, близки друг к другу (рис. 4).

Зафиксируем постоянную времени  $T_1$  в фильтре  $\Phi^1$  приемника ( $T_2 = 1,04$ ) и будем периодически изменять  $T_1$  в фильтре  $\Phi^1$  передатчика, как показано на

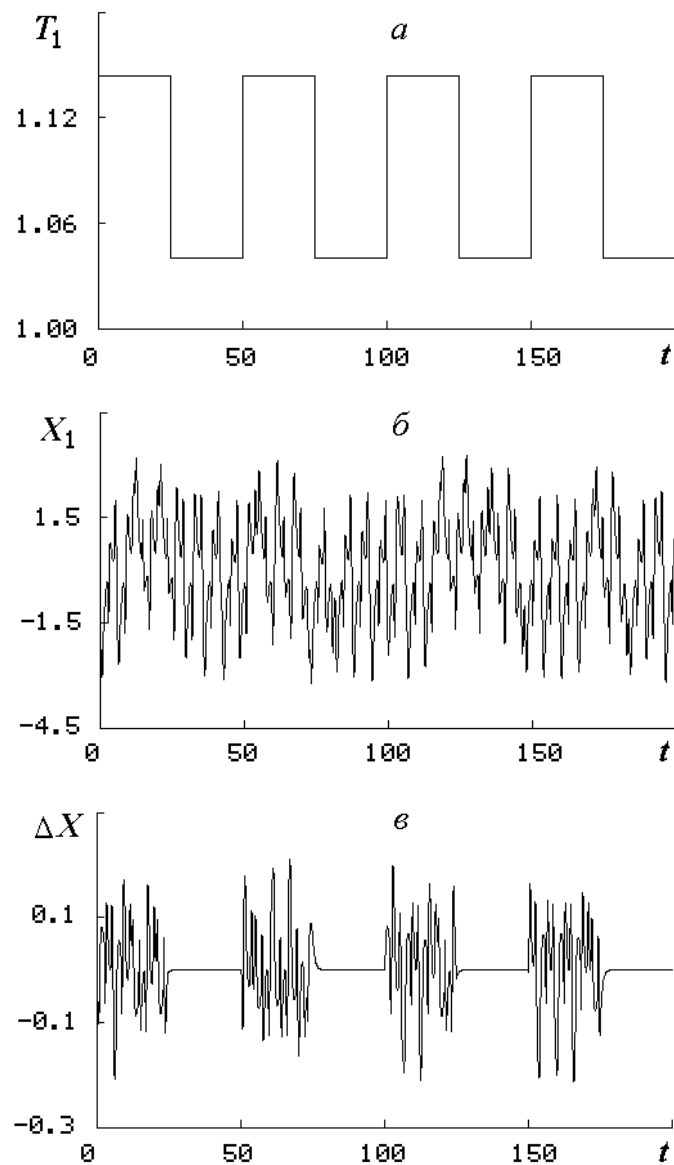


Рис. 5. Функционирование системы передачи информации. Периодическое изменение во времени величины  $T_1$  (а), характерный вид сигнала  $X_1$  на выходе передатчика (б) и сигнал  $\Delta X$  на выходе сумматора приемника (в);  $M_1 = M_2 = 12$ ,  $\omega_1 = \omega_2 = 1$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$ ,  $T_1 = 1,04$

рис. 5,а. Характерный вид хаотического сигнала  $X_1$  несущего на себе информацию о периодическом изменении параметра  $T_1$ , показан на рис. 5,б.

Сигнал на выходе сумматора приемника представляет собой разность значений переменных  $X_1$  и  $X_2$ :

$$\Delta X = X_1 - X_2$$

и имеет вид, приведенный на рис. 5,в. Интервалам синхронизации соответствуют интервалы времени, на протяжении которых выходной сигнал равен нулю, а де-

синхронизации соответствуют хаотические колебания. Данные типы поведения могут рассматриваться как "0" и "1" в двоичной системе.

Заметим, что процесс синхронизации происходит сравнительно быстро, поэтому для функционирования системы достаточно, чтобы длина информативных интервалов превышала характерное время колебаний системы всего в несколько раз.

Таким образом, установлено, что хаотические сигналы могут быть эффективно использованы для передачи информации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кислое В.Я., Залогин Н.Н., Мясин Е.А. // РЭ. Т. 24. № 6. С. 1118.
2. Пиковский А.С., Рабинович М.И. // Докл. АН СССР. 1978. Т. 239. № 2. С. 301.
3. Дмитриев А.С., Кислое В.Я. Стохастические колебания в радиофизике и электронике. М.: Наука, 1989.
4. ТИИЭР. Тематический выпуск: Хаотические системы. М.: Мир, 1987. Т. 75. № 8.
5. Дмитриев А.С., Кислое В.Я. // РЭ. 1984. Т. 29. № 12. С. 2389.
6. Афраймович В.С., Веричев Н.Н., Рабинович М.И. // Изв. вузов. Радиофизика. 1986. № 9. С. 1050.
7. Pecora V.M., Carroll T.L. // Phys. Rev. Letters. 1990. V. 64. № 8. P. 821.

Поступила в редакцию  
2.12.92