

01;09

Автостохастическая кольцевая система из триггеров, соединенных через интегрирующие цепи

© Э.В. Кальянов

Институт радиотехники и электроники РАН (Фрязинская часть)

Поступило в Редакцию 1 октября 1998 г.

Изучена кольцевая система триггеров, соединенных между собой с помощью интегрирующих цепочек. Приведены уравнения для кольцевой политриггерной системы и представлены результаты численного анализа для системы, содержащей три триггера. Показано, что в рассматриваемой кольцевой системе возбуждаются хаотические колебания с их переключением между двумя бассейнами притяжения. Показана возможность управления хаотическими колебаниями.

В последнее время широко исследуются различные генераторы с хаотической динамикой как в автономном [1–7], так и в неавтономном [8–13] режимах работы. Значительное внимание при этом уделяется автостохастической системе с аттрактором типа двойной завиток, обусловленным хаотическими переключениями колебаний между двумя бассейнами притяжения [1,4,10–12]. Последнее определяет интерес к кольцевой системе триггеров, соединенных между собой с помощью интегрирующих цепочек. В настоящей работе рассматривается такая система. Численными методами изучено возбуждение хаотических колебаний с аттрактором типа двойной завиток и показана возможность управления этими колебаниями.

Схематическое изображение автостохастической кольцевой системы, содержащей n триггеров ($n = 1, 2, 3 \dots$), показано на рис. 1, *a*. Схема отдельного классического триггера [14] приведена на рис. 1, *b*. Ее образуют индуктивность L_n , сопротивление R_n , емкость C_n и нелинейный активный элемент g_n . Элементы интегрирующей цепи, соединяющей соседние триггеры (например, триггеры T_{n-1} и T_n) в схеме рис. 1, *a*, очевидны — это сопротивление R_n^s и емкость C_n^s .

Триггер T_n совместно с емкостью C_n^s образует известную автостохастическую цепь Чуа [1]. В связи с этим схему рис. 1, *a* можно рассматривать как систему резистивно связанных n генераторов Чуа.

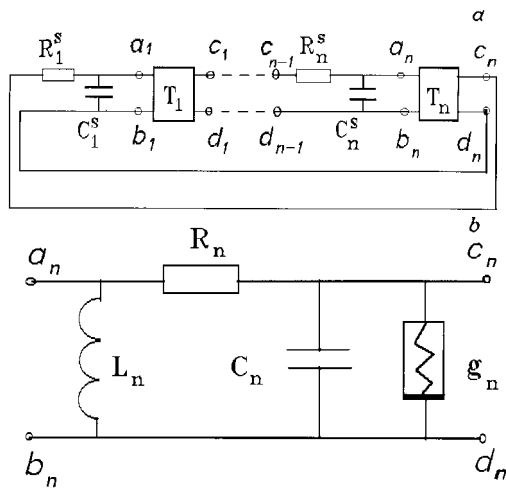


Рис. 1. Схематическое изображение кольцевой системы из триггеров (а) и схема парциального триггера (б).

Последнее позволяет ожидать в рассматриваемой системе возможность возбуждения хаотических колебаний с двумя бассейнами притяжения.

В нормированных переменных кольцевая цепь, иллюстрируемая рис. 1, а, б, описывается следующей системой $3n$ уравнений:

$$\dot{x}_1 = [\delta_1(y_1 - x_1) + \gamma_2(y_2 - x_1) - h_1(x_1)]\alpha_1 \quad (1.1)$$

$$\dot{x}_2 = [\delta_2(y_2 - x_2) + \gamma_3(y_3 - x_2) - h_2(x_2)]\alpha_2 \quad (1.2)$$

.....

$$\dot{x}_n = [\delta_n(y_n - x_n) + \gamma_1(y_1 - x_n) - h_n(x_n)]\alpha_n \quad (1.n)$$

$$\dot{y}_1 = [\delta_1(x_1 - y_1) + \gamma_1(x_n - y_1) + z_1]\sigma_1 \quad (2.1)$$

$$\dot{y}_2 = [\delta_2(x_2 - y_2) + \gamma_2(x_1 - y_2) + z_2]\sigma_2 \quad (2.2)$$

.....

$$\dot{y}_n = [\delta_n(x_n - y_n) + \gamma_n(x_{n-1} - y_n) + z_n]\sigma_n \quad (2.n)$$

$$\dot{z}_1 = -\beta_1 y_1 \tag{3.1}$$

$$\dot{z}_2 = -\beta_2 y_2 \tag{3.2}$$

.....

$$\dot{z}_n = -\beta_n y_n, \tag{3.n}$$

где переменные x_i , y_i и z_i ($i = \overline{1, n}$) пропорциональны соответственно напряжениям на емкостях C_i , C_i^s (переменные x_i и y_i) и току индуктивности L_i (переменная z_i). Точкой в системе (1)–(3) обозначено дифференцирование по времени t . Функция $h_i(x_i)$ описывает нелинейную характеристику активного элемента. Она аппроксимируется соотношением

$$h_i(x_i) = -D_i \operatorname{th}(x_i), \tag{4}$$

где D_i — постоянная. Параметры кольцевой системы в уравнениях (1)–(3) определяются выражениями

$$\alpha_i = C_1/C_i, \quad \beta_i = C_1/L_i G_1^2, \quad \gamma_i = G_i^s/G_1,$$

$$\delta_i = G_i/G_1, \quad \sigma_i = C_1/C_i^s, \quad G_i = 1/R_i, \quad G_i^s = 1/R_i^s.$$

Численный анализ уравнений (1)–(4) проводился применительно к трем ($n = 3$), идентичным симметрично связанным триггерам. В этом случае в параметрах D_i , α_i , β_i , γ_i , δ_i , σ_i можно опустить индекс i . При этом получается, что $\alpha = \delta = 1$. При расчете управления колебаниями кольцевой системы с помощью внешнего сигнала последний записывался как слагаемое в правой части уравнения (3.n): правая часть этого уравнения полагалась равной $[-\beta(y_3 + f(t))]$. При гармоническом воздействии $f(t) = A_c \cos(\omega_c t)$, где A_c , ω_c — амплитуда и частота внешнего сигнала.

На рис. 2 представлены бифуркационные диаграммы автономной кольцевой системы (a) и в случае воздействия управляющего гармонического сигнала (b). Они иллюстрируют распределение максимальных значений колебательного процесса $x_1(t)$ (обозначены $[x_1]$) в зависимости от параметра связи γ . Диаграммы получены при увеличении γ для следующих значений остальных параметров: $D = 3$, $\sigma = 0.1$, $\beta = 1.6$. Начальные условия полагались равными $x_i(0) = y_i(0) = z_i(0) = 0.1$. Амплитуда и частота внешнего сигнала в случае рис. 2, b равны $A_c = 0.4$, $\omega_c = 0.4$.

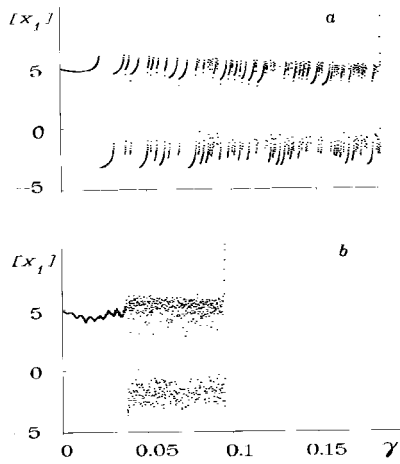


Рис. 2. Бифуркационные диаграммы при автономной (а) и неавтономной (б) работе кольцевой трехтриггерной системы.

При отсутствии связи ($\gamma = 0$) автономные колебания не возбуждаются (рис. 2, а). В соответствии с положительными начальными условиями система находится в устойчивом состоянии со значением $[x_1] = 4.8$. Увеличение параметра связи приводит к переходу кольцевой системы из стационарного состояния в режим колебаний со случайным переходом из одного бассейна притяжения в другой. Этому соответствуют две полосы со случайным разбросом максимальных значений $x_1(t)$. Увеличение γ сопровождается большей нерегулярностью разброса максимальных значений колебательного процесса $x_1(t)$ и повышением плотности соответствующих точек. При $\gamma = 0.19$ происходит переход системы к регулярным движениям; максимальное значение $x_1(t)$ достигает при $\gamma = 0.2$ величины $[x_1] = 37.8$.

Введение малого внешнего гармонического сигнала приводит к изменению хаотического поведения системы, а переход системы к регулярным колебаниям происходит при существенно меньшем значении параметра γ (при $\gamma = 0.095$). При этом амплитуда стимулированных регулярных колебаний почти на два порядка больше амплитуды воздействующих колебаний и при $\gamma = 0.1$ она равна 32. Это свидетельствует о возможности управления колебаниями в интервале изменения $\gamma \in [0.1; 0.2]$ с помощью внешнего сигнала. Действительно, в этом интервале изменения γ при автономном режиме имеют место хаотические колебания со случайным их переключением между двумя

бассейнами притяжения, а при слабом внешнем сигнале — регулярные колебания. Расчет аттракторов в этих двух режимах показал, что в одном случае наблюдается хаотический аттрактор типа двойной завиток, а в другом — простой предельный цикл. Управление хаотическими колебаниями (в смысле варьирования переключений между двумя бассейнами притяжения) возможно в интервале $\gamma \in [0.04; 0.09]$. Это видно из сравнения диаграмм рис. 2, *a, b*.

Приведенные исследования свидетельствуют о возможности использования трехтриггерной кольцевой автостохастической системы в качестве генератора управляемых хаотических колебаний.

Рассмотренная система представляет интерес также с позиций изучения особенностей работы триггеров при повышении их быстродействия. Это определяется тем, что при повышении частоты емкость интегрирующей цепи в рассмотренной схеме может проявляться как паразитная емкость индуктивного элемента парциального триггера.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 98-02-16722).

Список литературы

- [1] *Matsumoto T.* // Proc. IEEE. 1987. V. 75. N 8. P. 1033–1057.
- [2] *Кац В.А., Кузнецов С.П.* // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 12. С. 727–733.
- [3] *Кислов В.Я.* // РЭ. 1993. Т. 38. № 10. С. 1783–1815.
- [4] *Wu C.W., Yang T., Chua L.O.* // Int. J. Bifurcation and Chaos. 1996. V. 6. N 3. P. 455–471.
- [5] *Кальянов Э.В.* // РЭ. 1996. Т. 41. № 12. С. 1490–1496.
- [6] *Беляев Р.В.* и др. // РЭ. 1997. Т. 42. № 2. С. 188–196.
- [7] *Храмов А.С.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 5. С. 51–57.
- [8] *Кальянов Э.В.* // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1995. Т. 3. № 5. С. 100–107.
- [9] *Астахов В.В.* и др. // РЭ. 1997. № 3. С. 320–325.
- [10] *Дмитриев А.С., Панас А.И., Старков С.О.* // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 10. С. 4–26.
- [11] *Анищенко В.С., Сильченко А.Н., Хаванов И.А.* // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. В. 7. С. 22–30.
- [12] *Calvo O., Gartwright J.H.E.* // Proc. 6-th International Specialist Workshop, Nonlinear Dynamics of Electron Systems (NDES'98). Budapest. Hungary. July 16–18. 1998. P. 157–160.
- [13] *Кальянов Э.В.* // РЭ. 1998. Т. 43. № 2. С. 206–217.
- [14] *Gunningham W.J.* Introduction to nonlinear Analysis. McGraw-Hill Book Co., Inc., N.Y. 1958. 456 p.