

МНОГООБРАЗИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ НА ОСНОВЕ НЕАВТНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА ХАОСА

Т. В. Патрушева, Е. М. Патрушев

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

Как известно, нелинейные колебательные системы обладают большим разнообразием режимов работы, определяющих общую динамику системы.

В качестве примера для исследования была выбрана MLC-цепь – неавтономный генератор хаоса на основе диода Чуа [1].

Были исследованы области, где возможны хаотические колебания [2] и получены двухпараметрические бифуркационные диаграммы [3].

Кроме хаотического режима, интерес представляют режимы периодических и квазипериодических колебаний.

Однако на основе одной только двухпараметрической бифуркационной диаграммы применимость каждого из этих режимов не может быть оценена.

Это можно сделать выполнив построение временных реализаций сигнала, их спектров, фазовых диаграмм.

Для MLC-цепи можно записать систему уравнений в безразмерных величинах (1):

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = y - h(x) \\ \frac{dy}{d\tau} = -\beta y - \beta x + f \cdot \sin(\omega \tau) \end{cases} \quad (1)$$

$$h(x) = bx + \frac{1}{2}(a-b) \cdot (|x+1| - |x-1|)$$

Будем подставлять величины β , f и ω , согласно бифуркационным диаграммам полученным в работе [3], так чтобы показать разнообразие динамики в системе.

Построение временных реализаций и фазовых диаграмм осуществлялось использованием метода Рунге-Кутты 4-го порядка (рисунок 1).

Также, были получены однопараметрические бифуркационные диаграммы по x , путём получения сечения Пуанкаре для моментов времени, когда внешнее гармоническое воздействие пересекает ноль (рисунок 2).

```

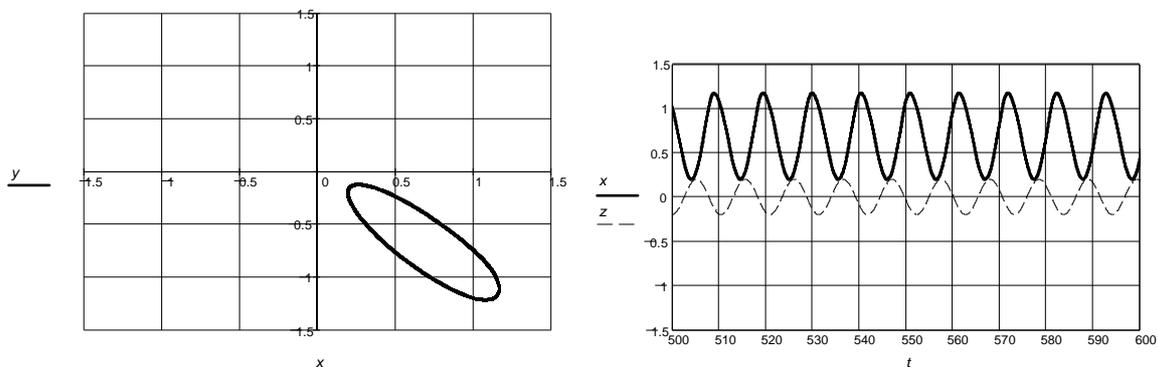
a = -1.0; b = -0.55; f = 0.2
omega = 0.5; beta = 1;
ORIGIN = 1
h(x) = b*x + 1/2*(a-b)*(|x+1| - |x-1|)
T = 100; delta_tau = 0.01; N = T/delta_tau
ZZ = | y ← ( 0 )
      | 0
      |
      | F(t, y) ← ( y2 - h(y1)
      |              -beta*y2 - beta*y1 + f*sin(omega*t) )
      |
      | Z ← rkfixed(y, 0, T, N, F)
      | for i ∈ 1..rows(Z)
      |   Zi,4 ← f*sin(omega*Zi,1)
      |
      | M = round(rows(ZZ)/2); i = M..rows(ZZ)
      |
      | Xi-M+1 = ZZi,2
      | Yi-M+1 = ZZi,3
      | Zi-M+1 = ZZi,4
      | ti-M+1 = ZZi,1
    
```

Рисунок 1 – Расчётная программа для построения временных реализаций, фазовых диаграмм. Реализована на MathCad

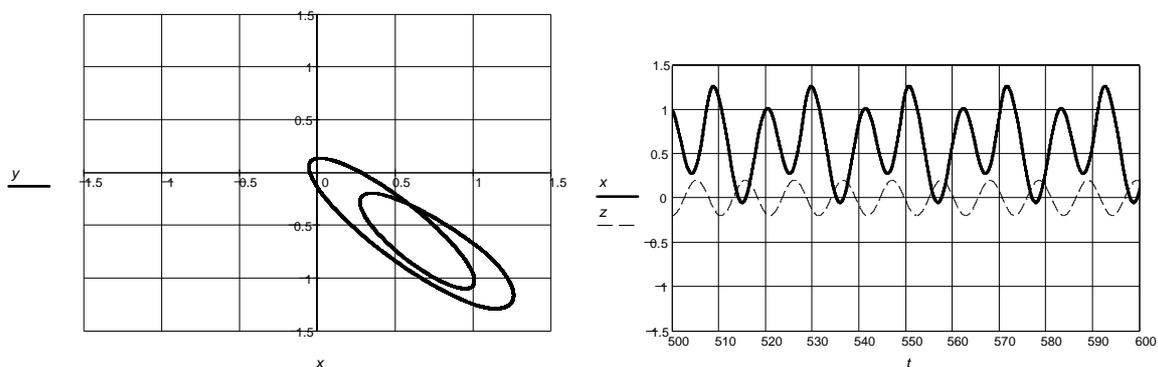
```

a = -1.0; b = -0.55; omega = 1; f = 0.2
h(x) = b*x + 1/2*(a-b)*(|x+1| - |x-1|)
ORIGIN = 1; T = 100; delta_tau = 0.05; N = T/delta_tau
U = j ← 1
for beta ∈ 0.75, 0.755, 1.3
  | y ← ( 0 )
  | 0
  |
  | F(t, y) ← ( y2 - h(y1)
  |              -beta*y2 - beta*y1 + f*sin(omega*t) )
  |
  | Z ← rkfixed(y, 0, T, N, F)
  | for i ∈ 1..rows(Z)
  |   Zi,4 ← f*sin(omega*Zi,1)
  |
  | for i ∈ round(rows(Z)/2)..rows(Z) - 5
  |   if (Zi,4 < 0) ^ (Zi+1,4 > 0)
  |     | Vj,1 ← beta
  |     | yy1 ← Zi,4
  |     | yy2 ← Zi+1,4
  |     | yyy1 ← Zi,2
  |     | yyy2 ← Zi+1,2
  |     | Vj,2 ← (yyy2 - yyy1) * (-yy1 / (yy2 - yy1)) + yyy1
  |     | j ← j + 1
  |
  | V
  | beta = U^j; x = U^j2
    
```

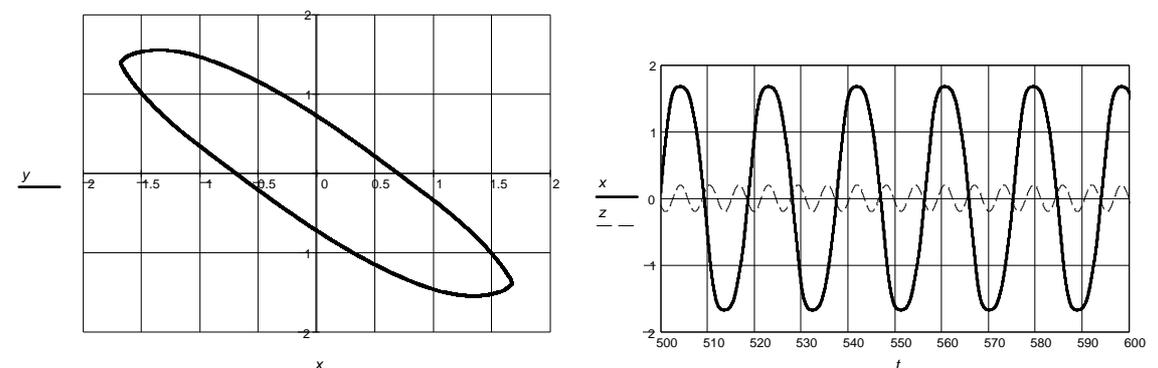
Рисунок 2 – Расчётная программа для построения однопараметрических бифуркационных диаграмм



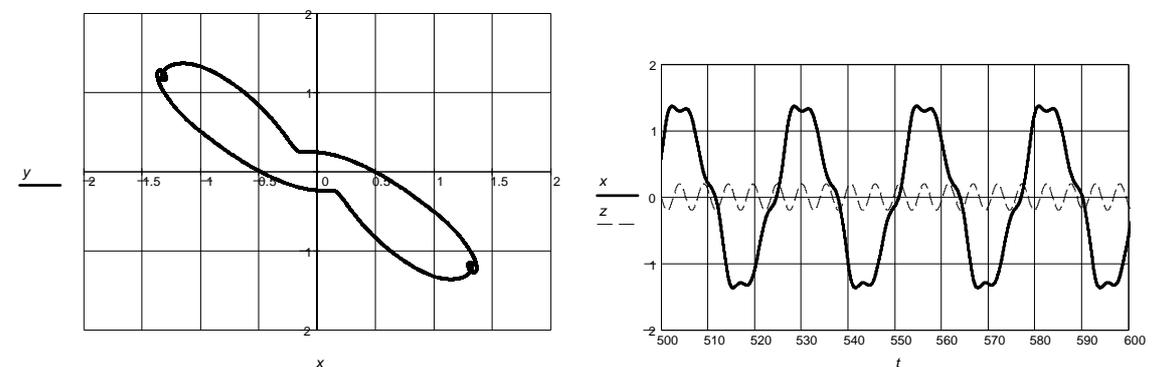
а) $f=0,2 \ \omega=0,6 \ \beta=1,4$



б) $f=0,2 \ \omega=0,6 \ \beta=1,3$



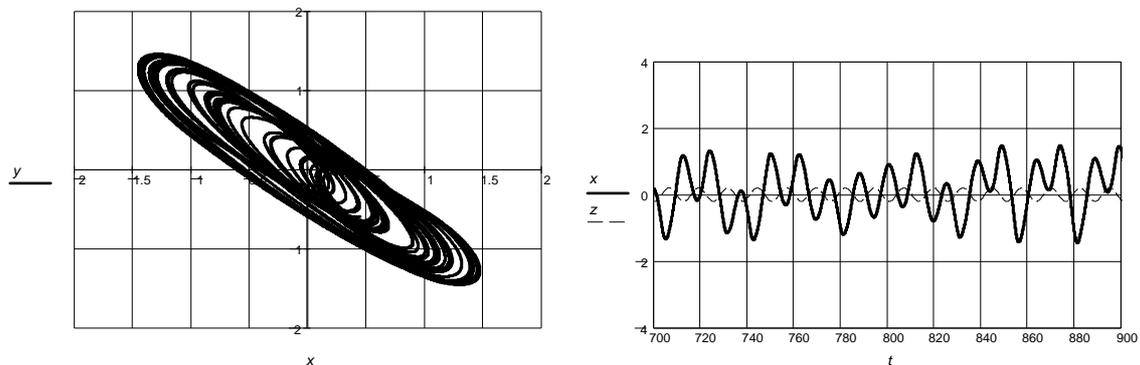
в) $f=0,2 \ \omega=1 \ \beta=0,85$



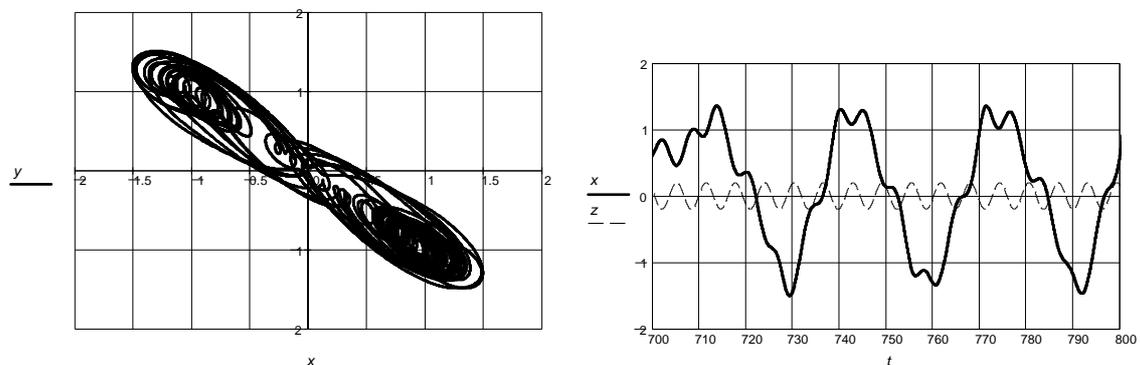
г) $f=0,2 \ \omega=1,2 \ \beta=0,9$

Рисунок 3 – Некоторые периодические режимы. Изображены фазовые диаграммы, временные реализации а) колебания периода один; б) колебания периода два; в) колебания периода три; г) колебания периода пять. Штриховой линией показан сигнал внешнего гармонического воздействия

**МНОГООБРАЗИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ
НА ОСНОВЕ НЕАВТОНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА ХАОСА**



а) $f=0,2 \quad \omega=0,5 \quad \beta=1,1$



б) $f=0,2 \quad \omega=1 \quad \beta=0,95$

Рисунок 4 – Некоторые хаотические режимы. Изображены фазовые диаграммы, временные реализации. Штриховой линией показан сигнал внешнего гармонического воздействия: а) хаос на границе с квазипериодическими колебаниями; б) развитой хаос

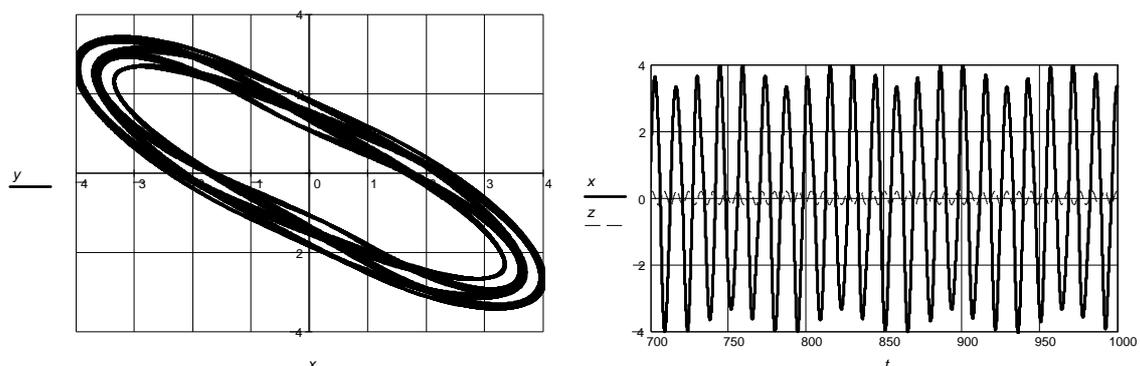


Рисунок 5 – Квазипериодические колебания для случая $f=0,2 \quad \omega=0,8 \quad \beta=0,7$ являются результатом наложения частот, находящихся в иррациональном соотношении

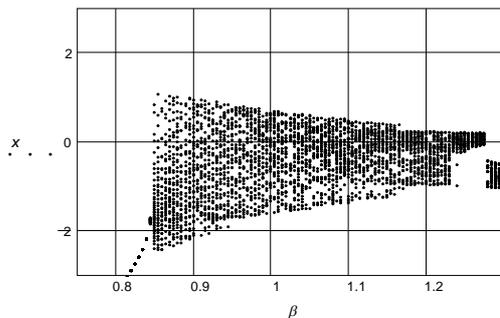
Кроме этого, для всех случаев, был выполнен спектральный анализ полученных зависимостей (в данной работе не приводится из-за ограничения места) на основании которого и рисунков 3-5 можно сделать следующие выводы:

– периодические колебания разных периодов имеют форму искажённой синусоиды с основной частотой в целое число раз меньше частоты внешнего гармонического воздействия. Очевидно, спектр сигнала имеет гребенчатый вид с максимумом на частоте

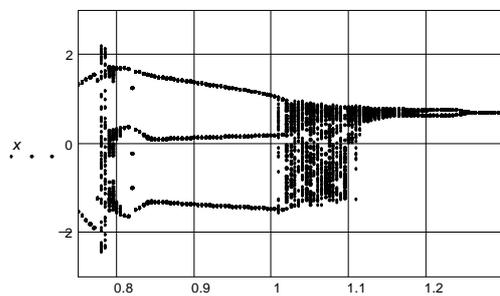
соответствующей субгармоники – это их свойство позволит легко отличать периодические колебания от хаотических с помощью аналоговых фильтров;

– хаотические колебания имеют своеобразную форму с большим числом неповторяющихся элементов, имеют шумоподобный спектр, выбор рабочей области по возможности не должен граничить с квазипериодическими колебаниями, поскольку имеет место бифуркация разрушения тора и различать режимы становится затруднительным;

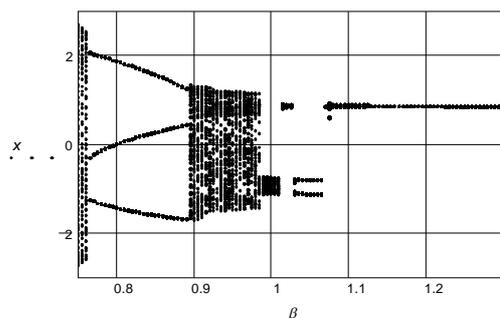
– квазипериодические колебания в фазовом пространстве имеют вид тора, а сигнал напоминает случай наложения нескольких частот, имеют спектр с большим количеством одиночных частотных составляющих, находящихся в иррациональном отношении.



а) $f=0,2 \ \omega=0,5$



б) $f=0,2 \ \omega=0,8$



в) $f=0,2 \ \omega=1$

Рисунок 6 – Однопараметрические бифуркационные диаграммы MLC-цепи

Для порогового измерительного преобразователя будет важным выбор сочетания двух режимов такой, чтобы граница между ними была очень чёткой, без множества промежуточных режимов.

Двухпараметрическая бифуркационная диаграмма [3] даёт возможность осуществить такой выбор, но из-за низкого её разрешения, а также из-за невозможности увидеть амплитуду сигнала, применим метод исследования на основе однопараметрических бифуркационных диаграмм (рисунок 6).

Анализ диаграмм на рисунке 6 позволяет сделать следующие выводы:

– при малых значениях ω , как на рисунке 6а, хаотические колебания непосредственно примыкают к колебаниям периода 1 и имеют резкую границу, однако использование этого случая, нами отклоняется, поскольку хаос здесь недостаточно развит, как на рисунке 4, а;

– случай, когда $\omega=0,8$ (рисунок 6, б) имеет обширное окно периода три, но граница с хаосом недостаточно резкая;

– наиболее удачный выбор для порогового измерительного преобразователя – случай при $\omega \approx 1$, когда окно периода три имеет чёткую границу с хаотической областью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Murali, M. Lakshmanan, L.O. Chua, The simplest dissipative nonautonomous chaotic circuit/ IEEE Trans. Circuits Syst, 1994. Vol.41, pp462-463.
2. Т.В.Патрушева, Е.М.Патрушев. Качественный анализ динамики измерительного преобразователя на основе детерминированного хаоса / В этом сборнике.
3. Т.В.Патрушева, Е.М.Патрушев. Двухпараметрический анализ динамики измерительного преобразователя на основе детерминированного хаоса / В этом сборнике.