

О. М. ЭЛИЯШИВ, д. т. н. Л. Ф. ПОЛИТАНСКИЙ

Украина, Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича

E-mail: melyart111@ukr.net

БЕЗЫНДУКТИВНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ
ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПО СХЕМЕ ЧУА

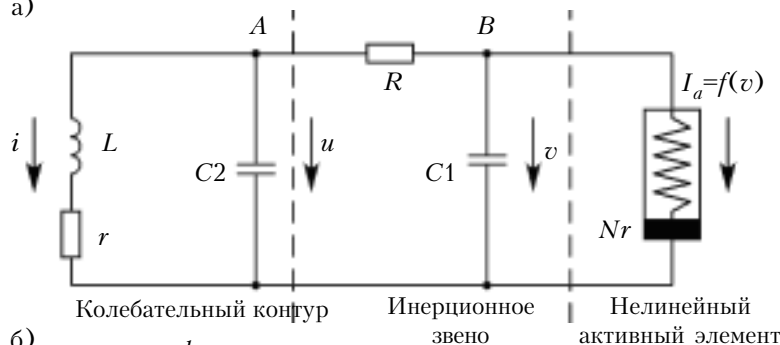
Предложены два альтернативных варианта реализации колебательного звена, которые обеспечивают замену индуктивности в генераторах хаоса. Показано, что использование безындуктивных топологий позволяет избежать влияния разброса значений внутреннего сопротивления катушек индуктивности и позволяет упростить методику синхронизации хаотических генераторов.

Ключевые слова: хаос, безындуктивное колебательное звено, схема Чуа.

На протяжении последних трех десятилетий явлениям детерминированного хаоса уделяется значительное внимание с точки зрения его использования в защищенных системах связи, основными элементами которых являются генераторы хаоса. Благодаря простоте реализации и возможности генерирования различных хаотических сигналов схема генератора Чуа интенсивно исследуется и совершенствуется.

Схемотехнические реализации генератора Чуа [1–3] можно условно разделить на две основные категории. К первой категории относятся схемные реализации нелинейного резистора, ко второй — реализации безындуктивной схемы.

а)



б)

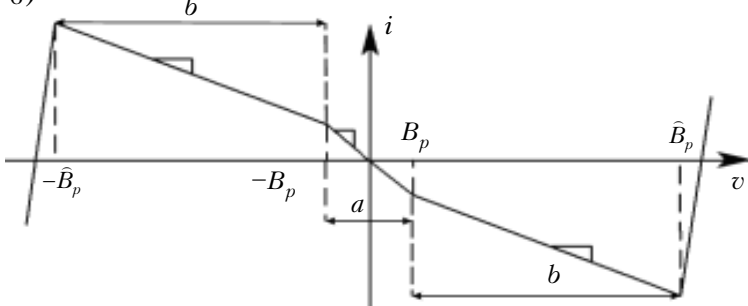


Рис. 1. Схема генератора Чуа (а) и кусочно-линейная ВАХ нелинейного элемента

Существует несколько схемных решений, обеспечивающих замену колебательного звена, построенных на операционных усилителях. Компьютерному моделированию и экспериментальным исследованиям хаотического поведения альтернативных реализаций генератора Чуа и посвящена настоящая работа.

Аналитическая модель
хаотического генератора Чуа

Рассмотрим работу генератора Чуа, который является одной из самых простых систем с хаотическим поведением и представляет собой автоколебательную систему с 1,5 степенями свободы [4]. Его схема представлена на рис. 1, а. Она состоит из колебательного контура с потерями, инерционного звена и активного нелинейного элемента. Генерирующий резонансный колебательный контур $rLC2$ связан с активным нелинейным элементом через инерционное звено $RC1$. Поведение системы определяется влиянием нелинейного элемента (на рисунке показан в виде нелинейной проводимости), который играет роль источника питания системы. Следует отметить, что наличие нелинейного элемента является необходимым, но не достаточным условием для возникновения хаоса в системе.

Ограниченный характер хаотических фазовых траекторий системы, обусловленный рассеянием энергии на пассивных элементах R и r , ограничивает ее возрастание в колебательном контуре. Энергетический баланс системы является весьма неустойчивым, непрерывно изменяется во времени и не повторяется как периодическое явление.

Если выбрать в качестве составляющих компонентов вектора состояния системы ток i в колебательном контуре, напряжение u на конденсаторе $C2$ колебательного контура и напряжение v на нелинейном элементе, то согласно первому и второму законам Кирхгофа, можно записать систему трех дифференциальных уравнений, которая описывает поведение генератора [4]:

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} = -ri - u; \\ C2 \frac{du}{dt} = i + \frac{v - u}{R}; \\ C1 = \frac{u - v}{R} - f(v). \end{cases} \quad (1)$$

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) нелинейного элемента (рис. 1, б) описывается кусочно-линейной функцией

$$f(v) = m_b v + 0,5(m_b - m_a)[|v + B_p| - |v - B_p|], \quad (2)$$

где m_a , m_b — крутизна линейных участков a и b соответственно (см. рис. 1, б);

$+B_p$, $-B_p$ — напряжение в точках перегиба кусочно-нелинейной характеристики.

Первое уравнение системы (1) представляет собой сумму падений напряжения при круговом обходе резонансного колебательного контура, а второе и третье дают, соответственно, сумму токов для узловых точек A и B схемы.

Компьютерное моделирование альтернативных вариантов схемы Чуа

Схему Чуа можно реализовать с использованием эквивалента катушки индуктивности, например, на операционных усилителях [5]. Схема эквивалента индуктивности приведена на **рис. 2**, значение эквивалентной индуктивности равно

$$L_{\text{экв}} = \frac{R_1 R_3 R_4 C_3}{R_2}. \quad (3)$$

При выбранных значениях номиналов элементов эквивалентной схемы $R1=R2=R3=R4=1$ кОм и $C3=22$ нФ значение эквивалентной индуктивности составляло 22 мГн. Такое схемотехниче-

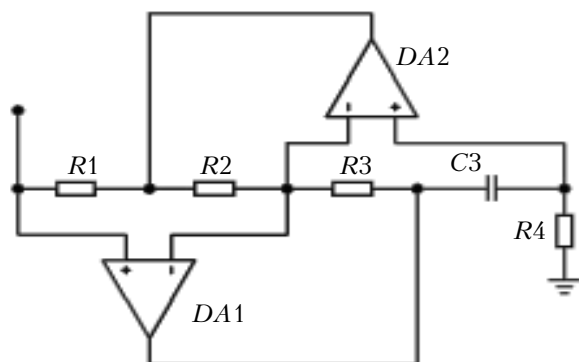


Рис. 2. Схема эквивалентной индуктивности на операционных усилителях

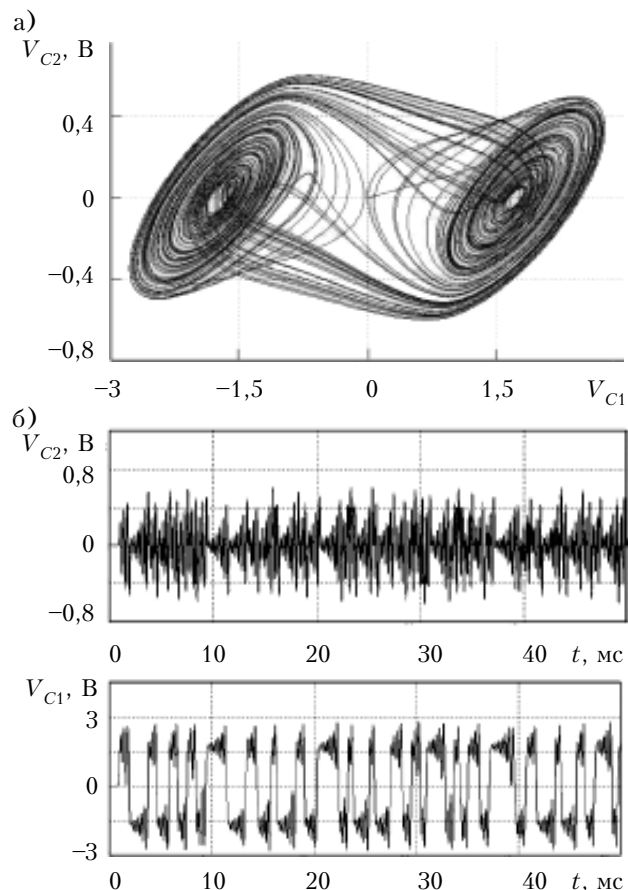


Рис. 3. Модели хаотического двухспирального аттрактора (фазовой траектории системы на плоскости V_{C2} , V_{C1}) (а) и временных зависимостей сигналов V_{C2} и V_{C1} (б) генератора Чуа с колебательным звеном на операционных усилителях

ское решение приводит к ограничению частотного диапазона, которое обусловлено неидеальностью операционных усилителей. При этом в процессе экспериментальных исследований обнаружены искажения сигналов. Колебательное звено на базе операционных усилителей может быть использовано только в схеме Чуа с заземлением.

Результаты компьютерного моделирования в среде Micro-Cap работы генератора Чуа с эквивалентной индуктивностью, построенной на операционных усилителях, приведены на **рис. 3**.

Второй альтернативой колебательного звена является схемная реализация на основе операционных усилителей с обратной связью по току (**рис. 4**) [6]. При этом подходе значение эквивалентной индуктивности равно

$$L_{\text{экв}} = C_1 R_1 R_2. \quad (4)$$

Результаты компьютерного моделирования работы генератора Чуа с таким колебательным звеном приведены на **рис. 5**.

Значение эквивалентной индуктивности 22 мГн соответствует выбранным значениям номиналов элементов, использованных для замены индуктивности $R1=R2=1$ кОм, $C1=22$ нФ.

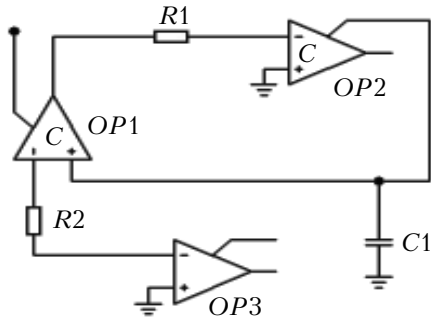


Рис. 4. Схема эквивалентной индуктивности на операционных усилителях с обратной связью по току

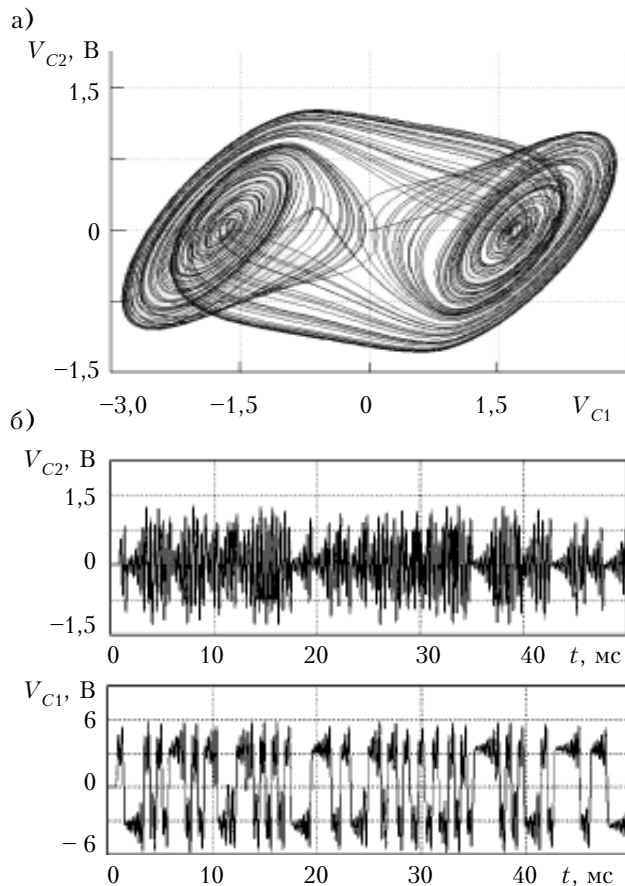


Рис. 5. То же, что и на рис. 3, для схемы на операционных усилителях с обратной связью по току

Следует отметить, что схемотехническая реализация индуктивности на операционных усилителях с обратной связью по току обеспечивает минимальное количество пассивных элементов схемы.

Экспериментальные результаты

Экспериментальные образцы генераторов хаотических колебаний обоих предложенных вариантов были реализованы с использованием результатов моделирования. Для реализации колебательного звена на операционных усилителях TL082 выбирали следующие номиналы компонентов: $R1=R2=R3=R4=1$ кОм, $C3=22$ нФ, а при реализации колебательного звена на операционных усилителях AD844 с обратной связью

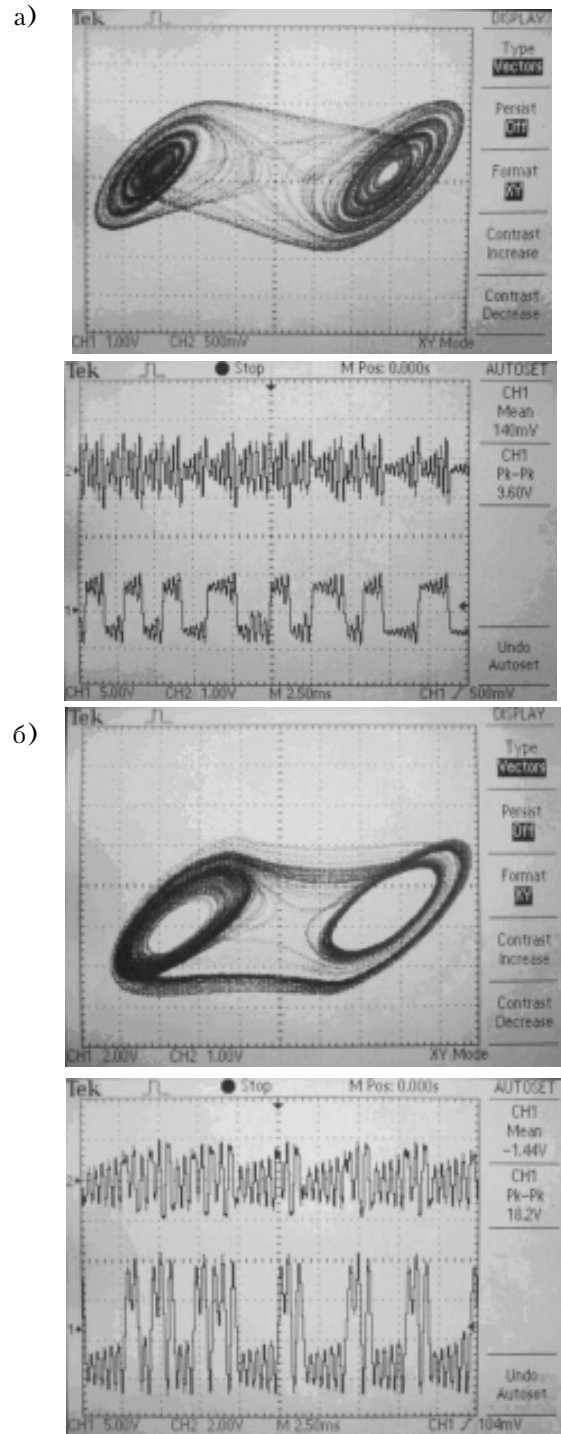


Рис. 6. Аттракторы и колебания напряжения на конденсаторах $C1$ и $C2$ генераторов Чуа с реализацией колебательного звена на операционных усилителях (a) и на операционных усилителях с обратной связью по току (б)

по току значения номиналов компонентов составляли $R1=R2=1$ кОм, $C1=32$ нФ. Нелинейный элемент схемы был построен по классическому варианту реализации, предложенному в [7].

На рис. 6 приведены результаты экспериментальных исследований аттракторов обоих образ-

цов генераторов. Здесь видно, что генератор, который реализован на эквиваленте индуктивности с использованием операционных усилителей, имеет более выраженное хаотическое поведение, чем генератор на операционных усилителях с обратной связью по току. Управление режимами хаотических колебаний генераторов осуществляется изменением значения сопротивления R (см. рис. 1).

Выводы

Проведенные исследования двух модифицированных генераторов на основе схемы Чуа показали, что при безындукционной реализации удается избежать влияния разброса внутреннего сопротивления катушек индуктивности на работу генераторов и упростить процесс синхронизации работы хаотических генераторов. Полученные результаты также позволяют утверждать, что предложенные альтернативные реализации генераторов хаотических колебаний полностью повторяют оригинальное хаотическое поведение схемы Чуа.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Albuel'matti M. T., Aiyad M. K. Chaos in an autonomous active-R circuit // IEEE Transaction on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications. — 1995. — Vol. 42. — P. 1–5.
2. Elwakil A. S., Kennedy M. P. Construction of classes of circuit-independent chaotic oscillators using passive-only nonlinear devices // IEEE Transaction on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications. — 2001. — Vol. 48. — P. 289–306.
3. Elwakil A. S., Soliman A. M. A family of wien-type chaotic oscillators modified for chaos // International Journal Circuit Theory & Applications. — 1997. — Vol. 25. — P. 561–579.
4. Шахтарин Б. И., Кобылкина П. И., Сидоркина Ю. А. и др. Анализ генератора Чуа // В кн.: Генераторы хаотических колебаний. — Москва: Гелиос АРВ, 2007. — С. 150–162. [Shakhtarin B. I., Kobylkina P. I., Sidorkina Yu. A. i dr. // V kn.: Generatory khaoticheskikh kolebanii. Moskva. Gelios ARV. 2007. P. 150]
5. Torres L. A. B., Aguirre L. A. Inductorless Chua's circuit // Electronics Letters. — 2000. — Vol. 36, N 23. — P. 1915–1916.
6. Senani R., Grupta S. S. Implementation of Chua's chaotic circuit using current feedback op-amps // Electronics Letters. — 1998. — Vol. 34, N 9. — P. 892–830.
7. Kennedy M. P. Three steps to chaos — part II: A Chua's circuit primer // IEEE Transaction on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications. — 1993. — Vol. 40, N 10. — P. 657–674.

Дата поступления рукописи
в редакцию 17.10 2011 г.

Eliyashiv O. M., Politanskii L. F. **Non-inductive generator of chaotic oscillations of Chua circuit.**

Keywords: chaos, non-inductive vibrational element, Chua circuit.

Two alternatives for the implementation of the vibrational level, which provide a replacement of inductor in the generators of chaos. It is shown that the use of non-inductive topologies allows to avoid the influence of internal resistance coils variation, and to simplify the method of chaotic generators synchronization.

Ukraine, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University.

Еліяшів О. М., Політанський Л. Ф. **Безіндуктивні генератори хаотичних коливань по схемі Чуа.**

Ключові слова: хаос, безіндуктивна коливальна ланка, схема Чуа.

Запропоновано два альтернативних варіанти реалізації коливальної ланки, які забезпечують заміну індуктивності в генераторах хаосу. Показано, що використання безіндуктивних топологій дозволяє уникнути впливу розкиду значень внутрішнього опору навіть індуктивності та дозволяє спростити методу синхронізації хаотичних генераторів.

Україна, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Справочник по вакуумной электронике. Компоненты и устройства / Под ред. Дж. Айхмайера, М. К. Тамма.— Москва: Техносфера, 2011.— 504 с.

Тридцать шесть экспертов электронной промышленности, научно-исследовательских институтов и университетов объединили свои усилия в подготовке этого издания. В книге рассмотрены электрофизические основы, современное состояние и применение, а также перспективы использования СВЧ-устройств и систем, оптоэлектронных вакуумных устройств, электронных и ионных пучков, световых и рентгеновских эмиттеров, ускорителей частиц и вакуумных прерывателей. Эти темы дополнены полезной информацией о материалах и технологиях вакуумной электроники и вакуумной техники.

