

ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В RLD ЦЕПЯХ

Аннотация. Рассмотрена модель RLD цепей в среда Multisim и показано, что независимое изменение амплитуды U и частоты ω формирует петлю гистерезиса $\max(U_d)$ для хаотических колебаний на интервале значений U и ω .

Ключевые слова: хаотическая динамика, RLD цепи, точки бифуркации

Целью работы является разработка математической модели RLD цепей и исследование влияния частоты ω и амплитуды U входного гармонического напряжения на максимального значение напряжения U_d на полупроводниковом диоде.

Хаос - это непериодическое поведение детерминированных нелинейных динамических систем, которое чувствительно к начальным условиям. Электронные схемы являются хорошими примерами таких систем, поэтому их анализ может оказать большую помощь в понимании математики хаотической динамики и возможных применений этого явления. Одним из сценариев перехода к хаосу является удвоение периода [1].

Простая схема, которая может демонстрировать хаотическое поведение, является так называемой схемой RLD, образованная последовательным соединением резистора R , катушки индуктивности L и диода D . Схема управляется синусоидальным входным напряжением, а диод обеспечивает нелинейность системы, т.к. его емкость, связанна с значением смещения, и в сочетании с индуктивностью дает системе необходимые степени свободы для возникновения хаоса.

В случае доминирования барьерной емкости диода за счет выбора соответствующей рабочей точки, такая RLD цепь описывается уравнением

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{A}{b} q^{\frac{1}{1-\gamma}} - \frac{1}{b} = U \sin \omega t \quad (1)$$

Представленное уравнение (1) можно отнести к классу уравнений Дуффинга, отличительной особенностью которых является существование разнообразных периодических решений исследованных весьма мало, а еще в меньшей степени изучены непериодические решения [2].

Для решения поставленной задачи была использована среда моделирования Multisim, т.к. она обеспечивает интерфейс, приближенный к реальной аппаратной среде исследования реализаций электронных схем. Кроме того, в ней представлен широкий спектр элементов электронных схем с подробными и точными характеристиками. Схема исследования RLD цепи представлена на рис.1.

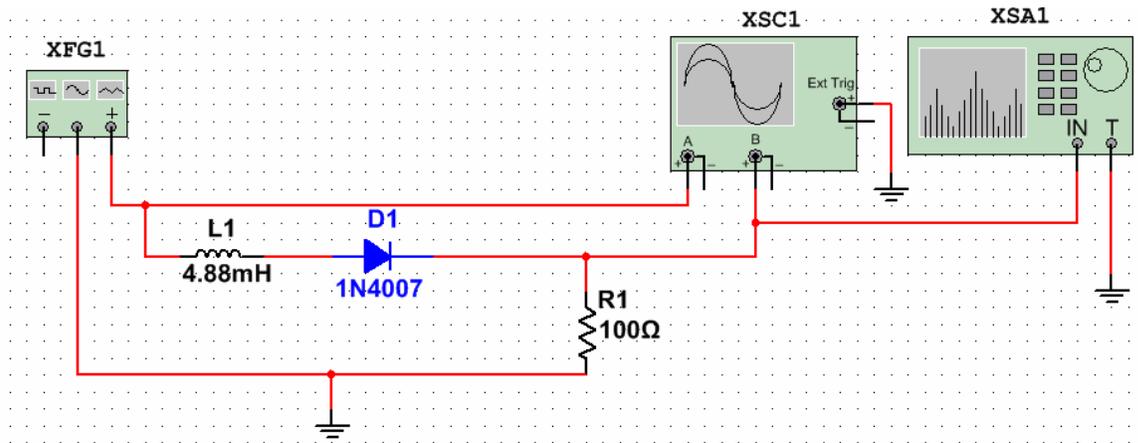


Рисунок 1 - Моделирование RLD цепи в Multisim

Исследование модели RLD цепи в Multisim проводилось в два этапа.

На первом этапе (рис.2-3) исследовалось влияние амплитуды при ее увеличении и уменьшении U входного сигнала на $\max(U_d)$.

Переход к хаотическому режиму в RLD цепи при увеличении амплитуды входного гармонического сигнала U с неизменной частотой $\omega=450$ кГц сопровождается увеличением количества непересекающихся петель фазового портрета и наполнением спектрального диапазона 0-2 ω новыми спектральными компонентами. В результате фазовый портрет

приобретает вид странного аттрактора, а спектр - становится непрерывным, что служит признаком хаоса (рис.2).

Последовательное увеличение, а затем уменьшение амплитуды U гармонических колебаний показало наличие петли гистерезиса на интервале 350-400 мВ. Этот интервал характеризуется возникновением хаотических колебаний.

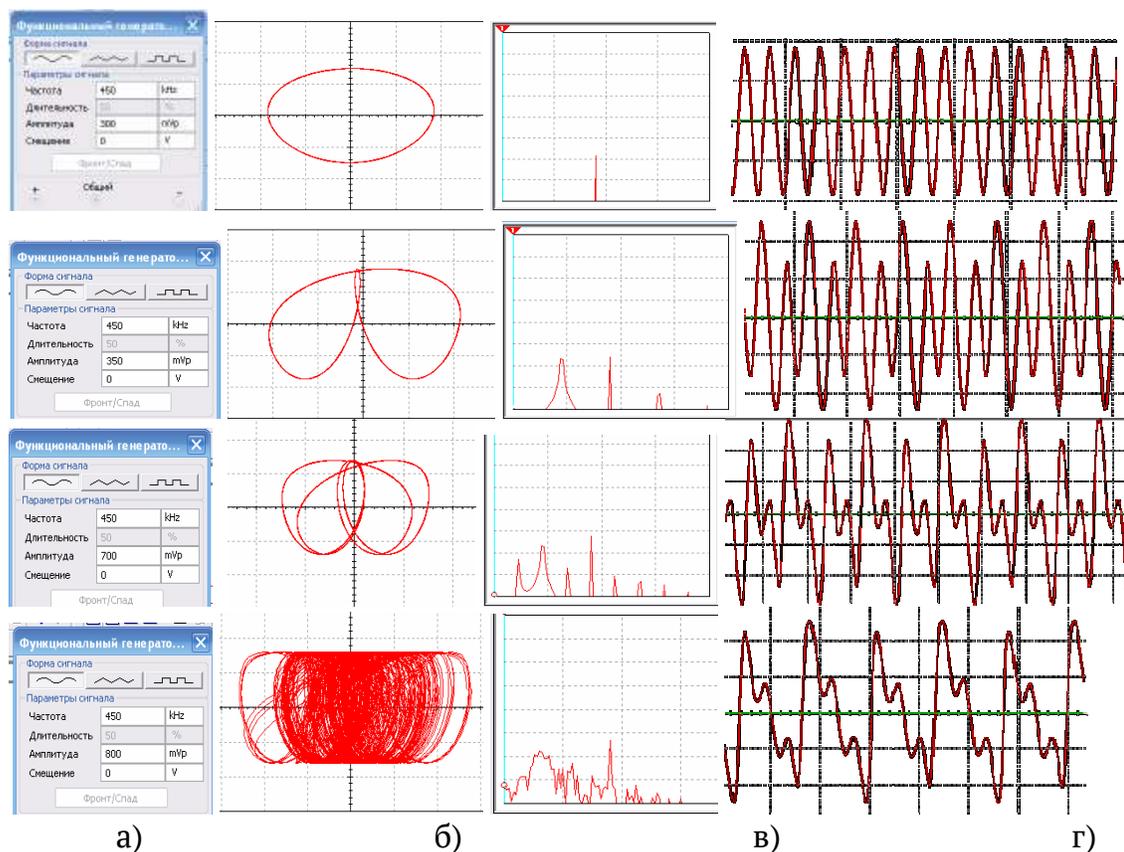


Рисунок 2 - Переход к хаотическому режиму в RLD цепи

а) характеристики входного сигнала, б) фазовый портрет, в) спектр напряжения на сопротивлении R, г) напряжение $\max(U_d)$

На втором этапе (рис. 4-6) исследовалось влияние частоты ω входного гармонического напряжения при ее увеличении и уменьшении на $\max(U_d)$ на полупроводниковом диоде.

Последовательное увеличение, а затем уменьшение частоты ω гармонических колебаний при неизменной амплитуде U показало наличие петли гистерезиса на интервале 40-45 кГц. Этот интервал характеризуется возникновением хаотических колебаний.

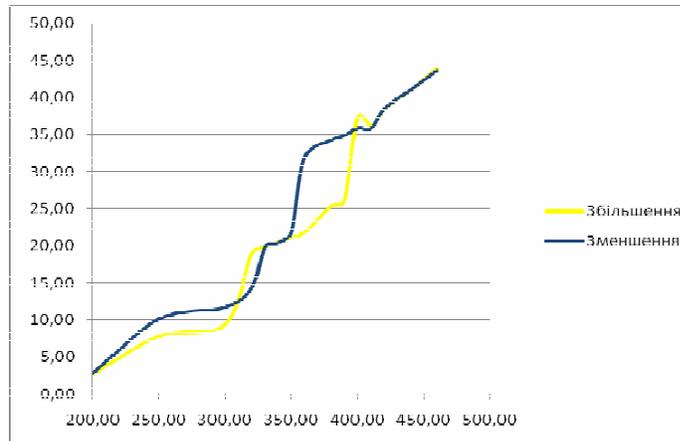


Рисунок 3 - Зависимость $\max(U_d)$ от амплитуды U гармонических колебаний при неизменной частоте $\omega=450$ кГц

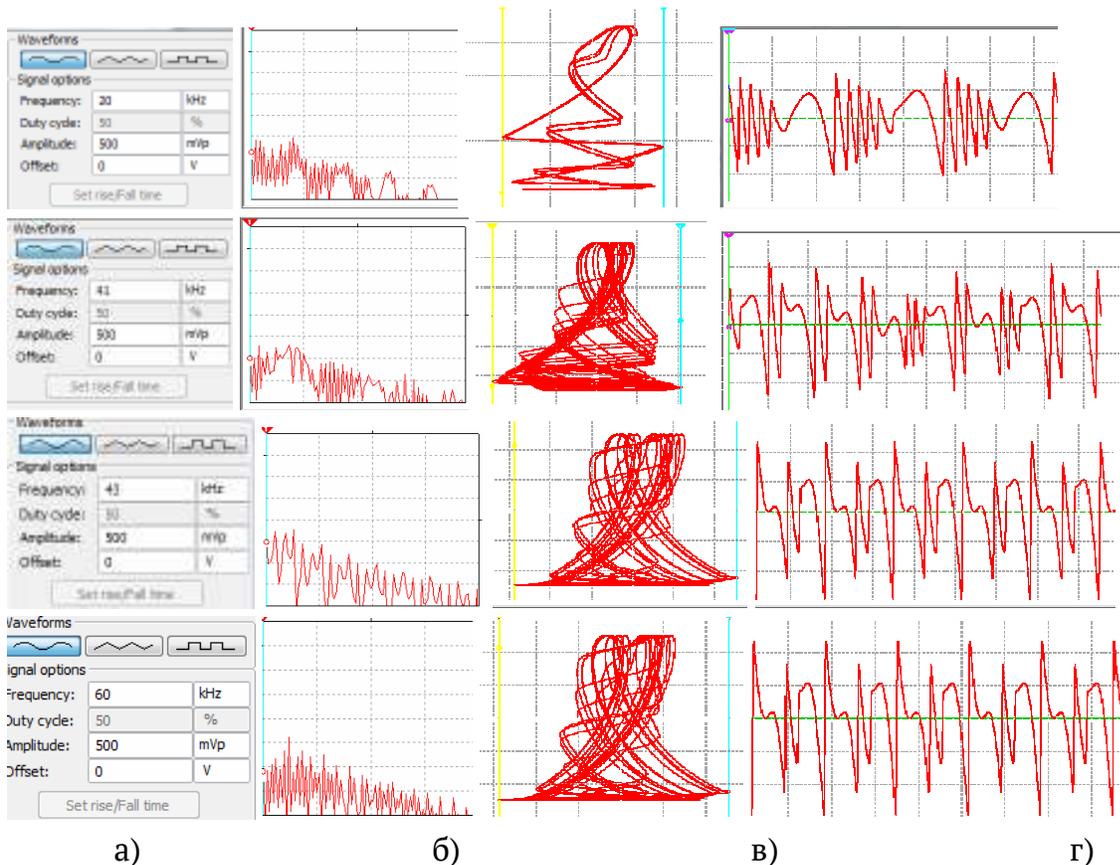


Рисунок 4 - Переход к хаотическому режиму в RLD цепи при увеличении частоты ω входного гармонического сигнала

а) характеристики входного сигнала, б) фазовый портрет, в) спектр напряжения на сопротивлении R, г) напряжение $\max(U_d)$

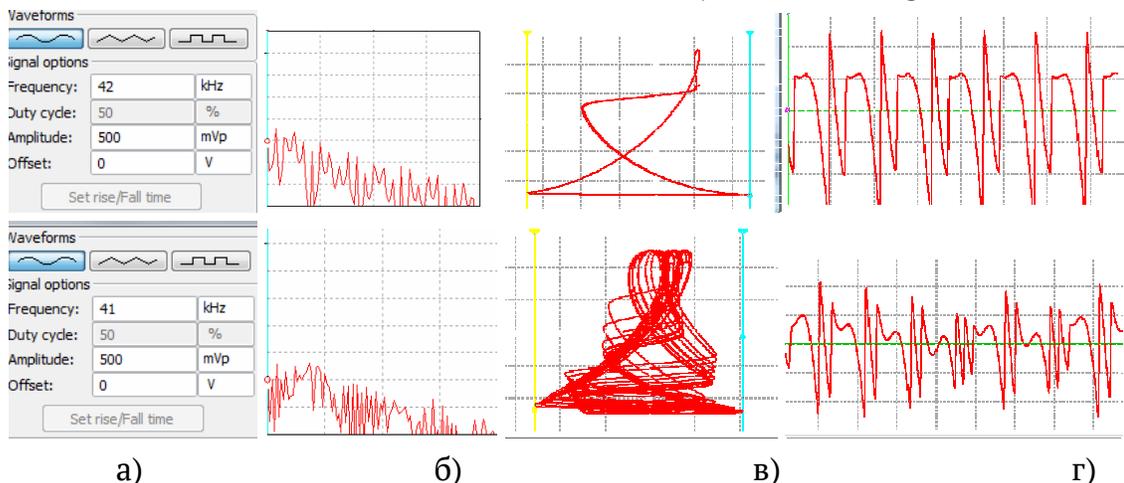


Рисунок 5 - Переход к хаотическому режиму в RLD цепи при уменьшении частоты ω входного гармонического сигнала

а) характеристики входного сигнала, б) фазовый портрет, в) спектр напряжения на сопротивлении R, г) напряжение $\max(U_d)$

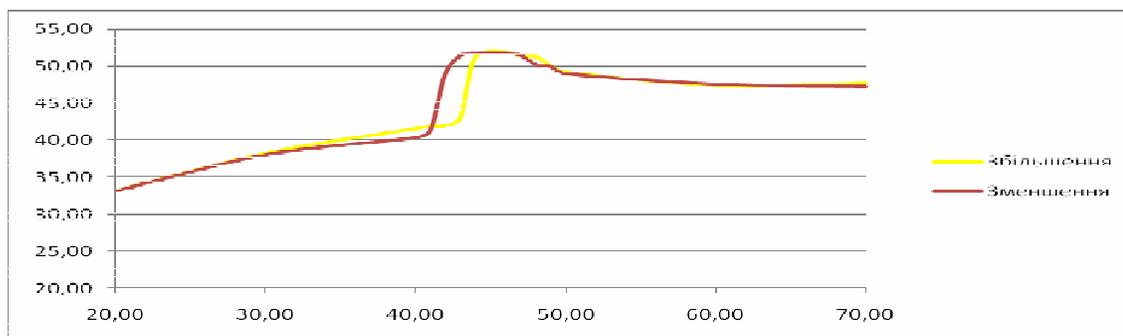


Рисунок 6 - Зависимость $\max(U_d)$ от частоты ω гармонических колебаний при неизменной амплитуде U

Таким образом, возникновение хаотических колебаний может быть обусловлено как изменениями амплитуды, так и частоты входного гармонического сигнала. Поэтому важной практической задачей является прогнозирование точек бифуркации петли гистерезиса (рис.3 и рис.6).

Выводы. Проведенные исследования дали возможность:

- во-первых, оценить зависимость $\max(U_d)$ от частоты ω и амплитуды U гармонических колебаний;

- во-вторых, получить на основе рассмотренной компьютерной модели возможность прогнозирования точек бифуркации петли гистерезиса для реальных элементов электронных схем.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Haniyas M.P., Giannarias G., Spyridokis A., Rigas A. Time series analysis in chaotic diode resonator circuit. Chaos, Solitons and Fractals, 27, 2006, 569-573p.
2. Стокер Дж. Нелинейные колебания в механических и электрических системах. Иностранная литература, М. 1953. С.253.

REFERENCES

1. Haniyas M.P., Giannarias G., Spyridokis A., Rigas A. Time series analysis in chaotic diode resonator circuit. Chaos, Solitons and Fractals, 27, 2006, 569-573p.
2. Stoker J.J. Nonlinear vibrations in mechanical and electrical systems. New York, 1950, P.250.

Received 17.02.2020.

Accepted 21.02.2020.

Хаотичні коливання у RLD ланцюгах

Розглянута модель RLD ланцюгів у середовищі Multisim та показано, що незалежна зміна амплітуди U та частоти w формує петлю гістерезису $\max(U_d)$ для хаотичних коливань на інтервалі значень U та w . На основі розглянутої комп'ютерної моделі отримана можливість прогнозувати точки біфуркації петлі гістерезису для визначення критичних режимів елементів електронних схем.

Chaotic oscillations in RLD circuits

The aim of the work is to develop a mathematical model of the RLD circuit and to study the influence of the frequency w and amplitude U of the input harmonic voltage on the maximum value of voltage U_d on the semiconductor diode. To solve this problem, we used the Multisim modeling environment.

If the barrier capacitance of the diode dominates due to the choice of the corresponding operating point, such an RLD circuit is described by non-linear differential equation of Duffing class.

In the first step studies but the effect of the amplitude U when it is an increase and decrease in the input signal $\max(U_d)$. A sequential increase and then a decrease in the amplitude U of harmonic oscillations showed the presence of a hysteresis loop in the range of U values. This interval is characterized by the occurrence of chaotic oscillations.

In the second step studies but the influence of frequency w input harmonic voltage when it increases and decreases at $\max(U_d)$. A sequential increase and then a decrease in the frequency w of harmonic oscillations at a constant amplitude U showed the presence of a hysteresis loop in the range of values of w . This interval is characterized by the occurrence of chaotic oscillations.

Thus, the occurrence of chaotic oscillations can be caused by both changes in the amplitude and frequency of the input harmonic signal.

Based on the computer model considered, it was possible to predict the bifurcation points of the hysteresis loop to determine the critical modes of real elements of electronic circuits.

Дерев'яно Александр Иванович – к.т.н., профессор, Национальная металлургическая академия Украин.

Дерев'яно Олександр Іванович – к.т.н., професор, Національна металургійна академія України.

Derevyanko Alexandr - prof., National metallurgical academy of Ukrain.