

ჩუას წრედში კაპის ცვლილების დინამიკის თვისებრივი და რაოდენობრივი ანალიზი

თეა ხუციშვილი, ოლღა ხუციშვილი, ვალიდა სესაძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ჩუას წრედში კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის ცვლილების დინამიკა. დადგინდა, რომ ჩუას წრედში ძაბვის ცვლილების პროცესის დინამიკა ახლოა კვაზიპერიოდულთან, იგი ხასიათდება პერსისტენტობის საკმაოდ მაღალი ხარისხით. ნაჩვენებია, რომ მასშტაბური ინვარიანტობისა და არაწრფივი სტრუქტურის რაოდენობრივი და თვისებრივი თვალსაზრისით ჩუას წრედში ძაბვის ცვლილების დინამიკა განეკუთვნება დაბალგანზომილებიანი დეტერმინირებული ქაოსის ტიპის პროცესებს.

საკვანძო სუტყვები: ჩუას წრედი, დეტერმინირებული ქაოსი, დინამიკა.

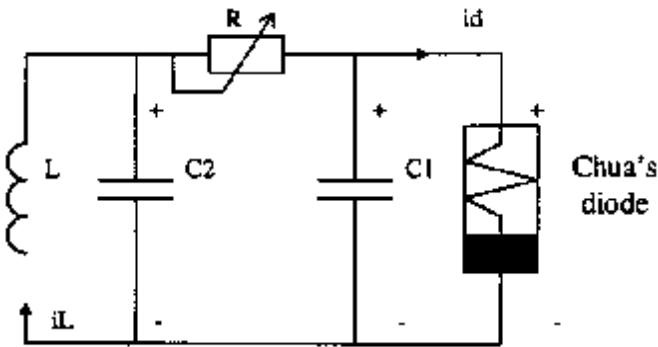
1. შესავალი

ბუნებრივი პროცესების დინამიკის აღწერის საკითხები ყოველთვის იყო მკვლევარების ყურადღების ცენტრში. ამავე დროს ცნობილია, რომ ბუნების ატმოსფერულ, სეისმურ, ბიოლოგიურ, სოციალურ, ტექნიკურ და ა. შ. სისტემებში მიმდინარე პროცესების სწორი აღწერა, მათი თვისებრივი და განსაკუთრებით რაოდენობრივი ანალიზი ძნელი და ზოგჯერ შეუძლებელიცაა. ეს სიძნელე განპირობებულია ბუნებრივი სისტემების სტრუქტურული და მათში მიმდინარე პროცესების დინამიკური თავისებურებებით.

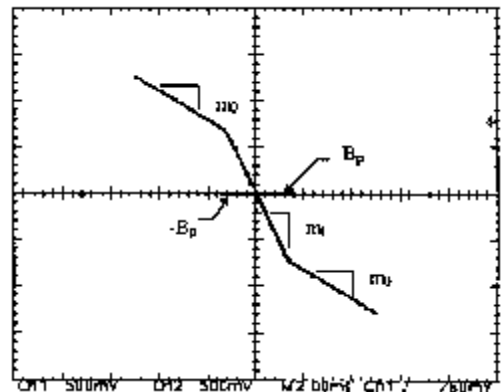
2. ძირითადი ნაწილი

მაღალგანზომილებიანი დინამიკური სისტემის მასშტაბური ინვარიანტობის საკითხი შესწავლილ იქნა ტექნიკური სისტემის მაგალითზე. კერძოდ, ჩუას წრედში კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის ცვლილების დინამიკა. ჩატარებულმა კვლევამ გამოავლინა შესწავლილი რთული სისტემების ქცევის მნიშვნელოვანი დინამიკური თავისებურებები. რაოდენობრივად იქნა ნაჩვენები ჩუას წრედში ძაბვის ცვლილების დაბალგანზომილებიანი ხასიათი.

ჩუას წრედი, როგორც რთული დინამიკური სისტემის მოდელი, დაახლოებით 20 წლის წინათ შემოგვთავაზა ელექტრონული წრედების სპეციალისტმა ლ. ჩუამ. იგი წარმოადგენს მარტივ ელექტრონულ წრედს ერთი არაწრფივი ელემენტით. ამ წრედს აქვს სხვადასხვა ტიპის დინამიური ქცევის, მათ შორის, დაბალგანზომილებიანი ქაოსური პროცესის (რხევების) გენერირების უნარი. ჩუას ელექტრონული წრედის სქემა მოცემულია 1-ელ ნახაზზე [1, 2, 3].



ნახ. 1 ჩუას ელექტრონული წრედის სქემა



ნახ. 2 ჩუას დიოდის ვოლტამპერული მახასიათებელი

ეს წრედი შეიცავს არაწრფივ რეზისტორს – ჩუას დიოდს, რომლის ვოლტამპერული მახასიათებელი გამოსახულია ნახ. 2. ფორმულები, რომლებიც მართავენ წრედის დინამიკას შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$C_1 \frac{dv_1}{dt} = \frac{(v_2 - v_1)}{R} - i_d(v_1)$$

$$C_2 \frac{dv_2}{dt} = \frac{(v_1 - v_2)}{R} + i_L$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -v_2$$

აქ v_i არის ძაბვა C_i კონდენსატორზე მოდებული, i_L არის ინდუქტორში გამავალი დენი. ჩუას დიოდში გამავალი დენი მოცემულია ფორმულით:

$$i_d(v_1) = \begin{cases} m_0 v_1 + B_p (m_0 - m_1) & v_1 < -B_p \\ m_1 v_1 & |v_1| \leq B_p \\ m_0 v_1 + B_p (m_1 - m_0) & v_1 > B_p \end{cases}$$

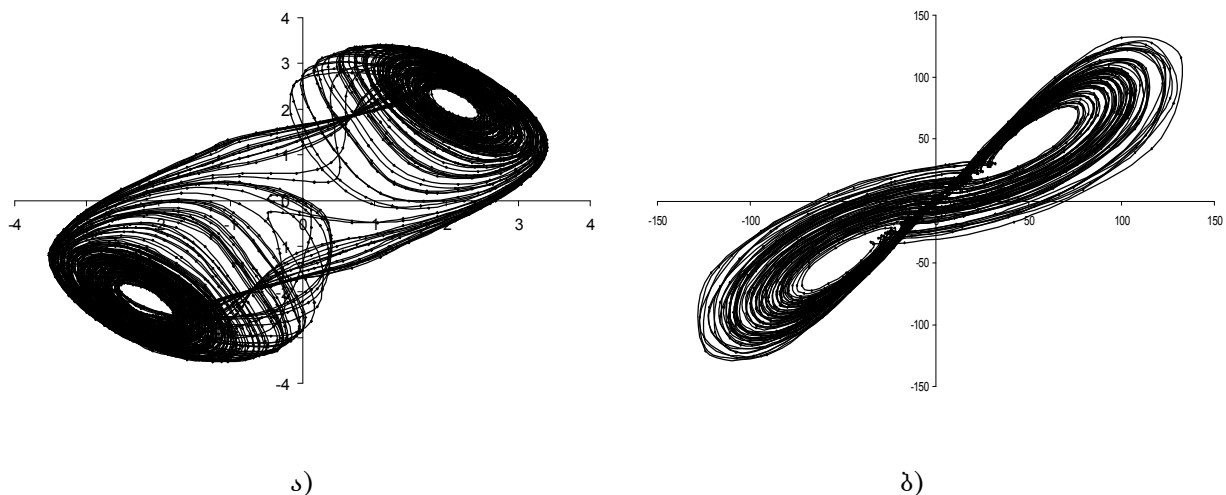
სადაც B_p , m_0 და m_1 არიან შესაბამისად წვევების წერტილები და წრფივი დახრები, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ. 2.

ჩუას წრედის რეალიზაცია პრაქტიკული თვალსაზრისით არცთუ ისე რთულია, თუმცა შესაბამისი ხარისხის მონაცემთა მასივის უზრუნველყოფა გარკვეულ სიძნელებთან არის დაკავშირებული. საკითხს ართულებს ის, რომ პარამეტრების ყველა მნიშვნელობისათვის ამ პროცესის დინამიკური თვისებები ჯერ სრულად არ არის შესწავლილი. მაღალგანზომილებიანობის საკითხის გარკვევა მონაცემების ხარისხის მიმართ მოთხოვნას მკვეთრად ზრდის, ამიტომ ჩვენ გადავწყვიტეთ არსებული მაღალხარისხიანი მასივების გამოყენება.

ამდენად ჩვენ გამოვიყენეთ ჩუას წრედის სტანდარტული რეალიზაციის მონაცემთა მასივები, რომელიც მისაწვდომია ინტერნეტში მისამართზე: www.cpdee.ufmg.br/~MACSIN/services/data/data.htm. ჩვენ ჩავატარეთ ჩუას სქემით გენერირებული დროითი სერიების კვლევა არაწრფივი დინამიკის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით. ჩვენი მიზნებიდან გამომდინარე მონაცემთა მასივებიდან შევარჩიეთ და გამოვიყენეთ დროითი სერია, რომელიც ყველაზე ნაკლებად ხმაურიანი იყო. ავტორების მიერ ჩუას წრედის აპარატურული უზრუნველყოფის შედეგად მიღებულია რამდენიმე სერია. ჩვენ გამოვიყენეთ DSVC1.DAT სერია, რომელიც მიიღება წრედში კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის ცვლილების გაზომვის შედეგად. იგი შეიცავს 5000 მონაცემს და ჩუას წრედის აპარატურული რეალიზაციის შედეგად არის ათვლილი [4, 5].

რეალური მასივისათვის გამოვთვალეთ სხვადასხვა წრფივი და არაწრფივი მახასიათებლები, მაგალითად სიმძლავრის სპექტრი, ჰარსტის ექსპონენტა, ლიაპუნოვის ექსპონენტა, მცდარი უახლოესი მეზობლების ანალიზი, კორელაციური განზომილება, ავავეთ რეკურენტული დიაგრამები და ჩავატარეთ რეკურენტული რადენობრივი ანალიზი (RQA).

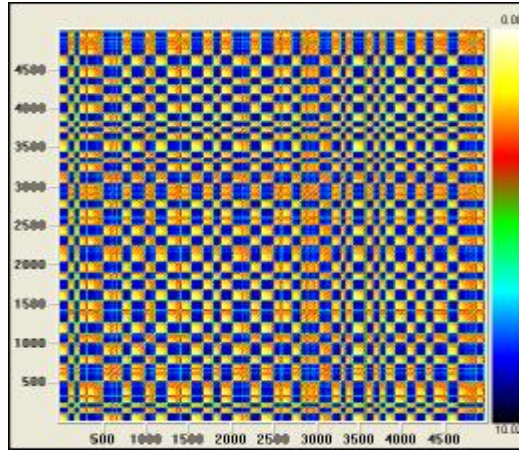
ჩუას წრედში კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის ცვლილების დროითი სერიის ფაზური პორტრეტი წარმოდგენილია ნახ. 3



ნახ. 3 ა) ძაბვის ცვლილების დროითი სერიის ორგანზომილებიანი ფაზური პორტრეტი
ბ) ლორენცის ატრაქტორის ორგანზომილებიანი ფაზური პორტრეტი

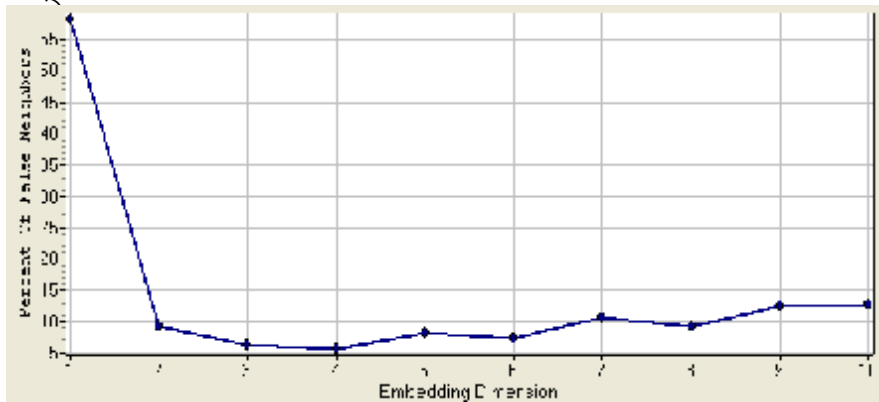
ჩუას წრედში ძაბვის ცვლილება თვისებრივი თვალსაზრისით დაბალგანზომილებიან პროცესს მოგვაგონებს, რაზედაც მიუთითებს მისი მსგავსება ლორენცის ატრაქტორთან.

ჩუას წრედში კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის ცვლილების დროითი სერიის რეკურენტული დიაგრამა წარმოდგენილია ნახ. 4

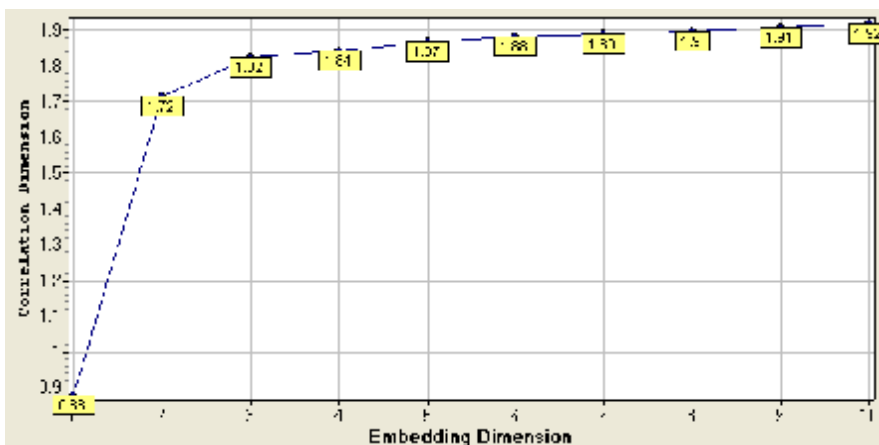


ნახ. 4 დროითი სერიის რეკურენტული დიაგრამა

იგივე DSVC1.DAT დროით სერიაზე ჩავატარეთ აგრეთვე რეკურენტულ-რაოდენობრივი ანალიზი. მცდარი უახლოესი მეზობლების ანალიზის და კორელაციური განზომილების შესაბამისი მრუდები მოცემულია ნახ. 5 და 6.



ნახ.5 ჩუას წრედში კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის ცვლილების მონაცემთა მასივის FNN რაოდენობის ცვლილება ჩაშენების განზომილების მიხედვით



ნახ. 6 ძაბვის ცვლილების მონაცემთა მასივის კორელაციური განზომილების ცვლილება ჩაშენების სივრცის განზომილების მიხედვით

ჩვენ მიერ ჩატარებული დინამიკური ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ ცხრილში.

ცხრილი. ჩუას წრედში კონდენსატორზე მოდებული ძაბვის ცვლილების მონაცემთა მასივის დინამიკური მახასიათებლები

ჰარსტის ექსპონენტი	0.72 ± 0.003
ლიაპუნოვის ექსპონენტი λ_{\max}	0.406 ± 0.031
კორელაციური განზომილება d_2	1.92 ± 0.733
რეკურენტობის პროცენტი (%REC)	0.037
დეტერმინიზმის პროცენტი (%DET)	48.028
ლაბინარობის პროცენტი (%LAM)	0.05

3. დასკვნა

როგორც ზემოთ მოყვანილი შედეგები მოწმობს, განხილულ პირობებში ჩუას წრედში ძაბვის ცვლილების დინამიკა მაღალგანზომილებიანი არ არის. იგი კვაზიპერიოდულთან ახლოა და ხასიათდება პერსისტენტობის საკმაოდ მაღალი ხარისხით - არსებული ტრენდის მდგრადობით. ეს პროცესი გამოვლენილი რაოდენობრივი დინამიკური თავისებურებებით დაბალგანზომილებიანი დეტერმინირებული ქოსის ტიპის პროცესებთანაა ახლო ($d_2=1.9<5$, $\lambda_{\max}>0$). ამავსე ადასტურებს მისი ტიპურ დაბალგანზომილებიან დეტერმინირებული სისტემასთან (ლორენცის სისტემასთან) თვისებრივი მსგავსებაც.

ლიტერატურა:

1. Chua L.O. Chua circuit: An overview 10 years later. *J.Circuits Syst.Comput.*,4(2), 1994, pp. 117-159
2. Tôrres L.A.B., Aguirre L.A., Inductorless Chua's circuit, *Electron. Lett.* 2000, 36, 1915-1916
3. Kennedy M.P., Robust OP Amp realization of Chua's circuit, 1992, *Frequenz* 46 (3-4), 66-80
4. Aguirre L.A., Rodrigues G.G., Mendes E.M, Nonlinear identification and cluster analysis of chaotic attractors from a real implementation of Chua's circuit, *Int. J. of Bifurcation and Chaos*, 1997, 6, Vol.7, 1411—1423
5. Chua L.O., Komuro M., Matsumoto T. The double scroll. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 1985, 32(8), 797-818.

PECULIAR AND QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE VOLTAGE CHANGE DYNAMICS IN CHUA'S CIRCUIT

Khutsishvili Tea, Khutsishvili Olga, Sesadze Valida
Georgian Technical University

Summary

The voltage change dynamics touched to the condenser in Chua's circuit is discussed in the article. It is established that the change process dynamics of voltage in Chua's circuit is close to quasi-periodic, it is characterised by the high degree of persistence. It is shown that from the quantitative and peculiar point of view in the scale invariance and non-linear structure in Chua's circuit the voltage change dynamics belongs to the low-dimensional determined processes of chaos type.

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПИ ЧУА

Хуцишвили Т., Хуцишвили О., Сесадзе В.
Грузинский Технический Университет

Резюме

Рассмотрена динамика изменения, приложенного на конденсаторе, напряжения в цепи Чуа. Установлено, что динамика процесса изменения напряжения в цепи Чуа близка к квазипериодическому, она характеризуется достаточно высоким качеством персистентности. Показано, что в цепи Чуа динамика изменения напряжения, с количественной и качественной точки зрения масштабной инвариантности и нелинейной структуры, принадлежит к процессам типа низкоразмерного детерминированного хаоса.