ᲥᲐᲝᲡᲘ ᲔᲜᲔᲠᲒᲝᲡᲘᲡᲢᲔᲛᲔᲑᲨᲘ

ვალიდა სესაძე, ვლადიმერ კეკენაძე, გოჩა დალაქიშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

განხილულია ენერგოსისტემებში ქაოსის მმართველი პარამეტრის ცვლილებაზე დამოკიდებულებებით წარმოშობის ამოცანა. ენერგოსისტემების მოდელებად წარმოვადგინეთ ჟდანოვის მოდელი, ლიაპუნოვის მოდელი და მოდელი, რომელიც იყენებს ერთტაქტა დენებს და ძაბაბულობას გენერატორების კვანძებსა და ქსელში. ენერგოსისტემების მოდელების დაყვანა ალგორითმზე განხორციელდა ლიაპუნოვის ფუნქციის საშუალებით. ერთგენერატორიან სისტემებში ქაოსის წარმოშობა და განვითარება მოდელირებულია პერსონალურ კომპიუტერზე.

საკვანძო სიტყვები: ენერგოსისტემა. დინამიკური სისტემა. ქაოსი. ფაზური პორტრეტი.

1. შესავალი

თანამედროვე ეკონომიკური ზრდის ტემპის დაჩქარების ერთ-ერთი ძირითადი საფუძველი არის ენერგეტიკა. თანამედროვე ენერგეტიკული სისტემები განეკუთვნებიან რთული სისტემების კატეგორიას. ენერგოსისტემების სწრაფ განვითარებასთან და ავტომატიზაციის დონის ამაღლებასთან ერთად მათი სირთულე უფრო და უფრო იზრდება. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენერგოსისტემების მდგრადობის გამოკვლევისას ენიჭება ქაოსის არსებობას, რომელიც არის არაწრფივი მოვლენა და გვხვდება ყველა მეცნიერულ დისციპლინაში. ქაოსი დინამიკურ სისტემებში არის რხევების არაწრფივი თეორიის ერთ-ერთი ძირითადი პრობლემა. კვლევები ამ მიმართულებით მიმდინარეობს როგორც რიცხვითი, ასევე ნატურალური ექსპერიმენტებით[1,2].

2. ძირითადი ნაწილი

რხევით სისტემაში მოძრაობის ხასიათის შესასწავლად და ატრაქტორის არსებობის დასადგენად ვიყენებთ დროით დისკრეტიზაციას, რადგან ის სივრცული დისკრეტიზაციისაგან განსხვავებით ამარტივებს დასმული პრობლემის გადაჭრას. პრაქტიკაში გამოყენებულია დროითი დისკრეტიზაციის შემდეგი მიახლოებითი მეთოდები: ეილერის, ცენტრალური სხვაობების, შტერმერის მეთოდები და ა.შ. სივრცული დისკრეტიზაციისაგან განსხვავებით, სადაც ტიპურ ეფექტს წარმოადგენს არამდგრადი ციკლების სტაბი-ლიზაცია-სტოქასტიკურობის დაშლა, დროითი დისკრეტიზაციის შემთხვევაში შესაძლებელია ქაოსური პროცესების გაჩენა [1]. გეომეტრიული თვალსაზრისით, ამ დროს ნებისმიერი $\varepsilon > 0$-თვის (1,1) წერტილის მდგრადი და არამდგრადი მრავალსახეობები ტრანსვერსალურად იკვეთებიან შესაბამისად არამდგრად და მდგრად $(0,0)$ წერტილის მრავალსახეობებთან, რაც იწვევს ქაოსს. მაგრამ ამ დროს დისკრეტულ დროითი სისტემა მნიშვნელოვნად განსხვავდება საწყისი სისტემისაგან ძირითადი მახასიათებლებით (ფაზური სევრცის განზომილება, განსაკუთრებული წერტილების ტიპი ა.შ.).

ქაოსის ჩასახვა ენერგოსისტემებში შეიძლება გამოვიკვლიოთ ეგმ-ზე მოდელირებით. რიცხვით ანალიზს საფუძვლად უდევს სხვადასხვა სქემები, რაც გვაიძულებს დიფერენციალური განტოლებებიდან გადავიდეთ სხვაობითი სახის განტოლებებზე. სისტემის მოძრაობის დისკრეტული განტოლება იძენს სტოქასტიკურობის თვისებას ნებისმიერი დისკრეტიზაციის შემთხვევაში, როდესაც საწყისი განტოლება ზუსტად ინტეგრირდება. ეს ნიშნავს, რომ დისკრეტულ განტოლებებზე გადასვლა ექვივალენტურია გარეშე პერიოდული ძალის დამატებისა. განვიხილოთ ენერგოსისტემებში ქაოსის ჩასახვისა და განვითარების პროცესი. ქაოსური მოძრაობა განვიხილოთ, როგორც ფაზური ტრაექტორიები სიბრტყეზე, რომლის ღერძებად არჩეულია დადგენილი რეჟიმებიდან გადახრის კუთხე და შესაბამისი სრიალი. ეს ტრაექტორიები მიღებულია სამგანზომილებიანი სივრცის კვეთით, რომლის მესამე ღერძად მიღებულია ინტეგრირების ბიჯის სიდიდე. ეს უკანასკნელი ასრულებს გარეშე პერიოდული ძალის და მმართველი პარამეტრის როლს.

n-რაოდენობის გენერატორების შემთხვევაში კვლევის ობიექტი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$I_i \frac{dS_i}{dt} = -\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 1}}^{n} E_i E_j Y_{ij} \cos(\delta_{*i} - \delta_{*j}) \cdot \sin(\Delta\delta_i - \Delta\delta_j) +$$

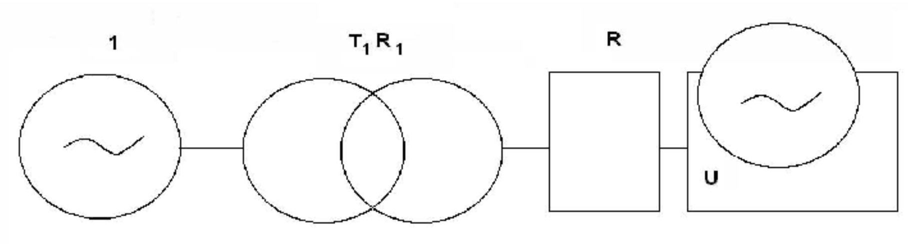
$$+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 1}}^{n} E_i E_j Y_{ij} \sin(\delta_{*i} - \delta_{*j}) \times [1 - \cos(\Delta\delta_i - \Delta\delta_j)],$$

$$\frac{d\Delta\delta_i}{dt} = S_i \qquad (1)$$

სადაც: I – ელექტრული მანქანის ინერციის მუდვივაა; δ_*- მოცემულ რეჟიმში კვანძის სიდიდეა; $\Delta\delta$ - მოცემული მნიშვნელობბებიდან გადახრის კუთხის სიდიდეა; E – გენერატორების ემძ-ა; Y – განშტოებების ურთიერთგამტარობაა; S– სრიალია.

განვიხილოთ ერთგენერატორიანი-“გენერატორი-უსასრულო სიმძლავრის სალტე”- სისტემა. მისთვის მოძრაობის განტოლებას ექნება სახე (ნახ.1):

$$I\frac{dS}{dt} = -EUY\cos\delta_*\sin\Delta\delta + EUY\sin\delta_*(1-\cos\Delta\delta). \qquad (2)$$



ნახ.1 „გენერატორი-უსასრულო სიმძლავრის სალტე“ ბლოკ-სქემა

მოცემული მოდელისათვის ლიაპუნოვის ფუნქციას ექნება სახე [3]

$$V = \frac{1}{2}IS^2 + EUY\cos\delta_*(1-\cos\Delta\delta) - EUY\sin\delta_*(1-\cos\Delta\delta) \qquad (3)$$

სისტემაში „გენერატორი-უსასრულო სიმძლავრის სალტე” შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$E \cup \mathrm{Y} = A \qquad (4)$$

შეშფოთებაზე მიღებული შეზღუდვის გათვალისწინებით მივიღოთ, რომ S=0, საიდანაც, მივიღებთ:

$$V = A\cos\delta_*(1-\cos\Delta\delta) - A\sin\delta_*(\Delta\delta - \cos\Delta\delta)$$

ქაოსის შესასწავლად ერთგენერატორიან სისტემაში, გარდავქმნათ (3) გამოსახულება, მივიღებთ:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{EUY}{I}(\sin\delta_* - \sin(\delta_* + \Delta\delta)). \qquad (5)$$

(5)-ის ამოხსნა გრაფიკული მეთოდებით დროისა და ფაზური პარამეტრების დამოკიდებულებაში. ამ დროს უნდა დადგინდეს მდგრადობის საზღვრები კუთხის მაჩვენებლით, რომელიც დგინდება ზღვრული ციკლებისა და ატრაქტორების ბიფურკაციის იერარქიით. (5) წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{EUY}{I}(-\cos\delta_*\sin\Delta\delta + \sin\delta_* - \sin\delta_*\sin\Delta\delta) = \frac{EUY}{I}(\sin\delta_* - \sin(\delta_* + \Delta\delta));$$

$$\delta_* = DD \;; \qquad \Delta\delta = D \qquad \frac{EUY}{I} = K \qquad \Delta t = T$$

$$\frac{S_{n+1} - S_n}{\Delta t} = \frac{EUY}{I}(\sin\delta_* - \sin(\delta_* + \Delta\delta_n));$$

$$S_{n+1} = S_n + \Delta t\frac{EUY}{I}(\sin\delta_* - \sin(\delta_* + \Delta\delta_n));$$

$$S_{n+1} = S_n + TK\frac{EUY}{I}(\sin\delta_* - \sin(\delta_* + \Delta\delta_n));$$

$$\frac{\Delta\delta_{n+1} + \Delta\delta_n}{\Delta t} = S_{n+1}.$$

$$\Delta\delta_{n+1} = \Delta\delta_n + TS_{n+1};$$

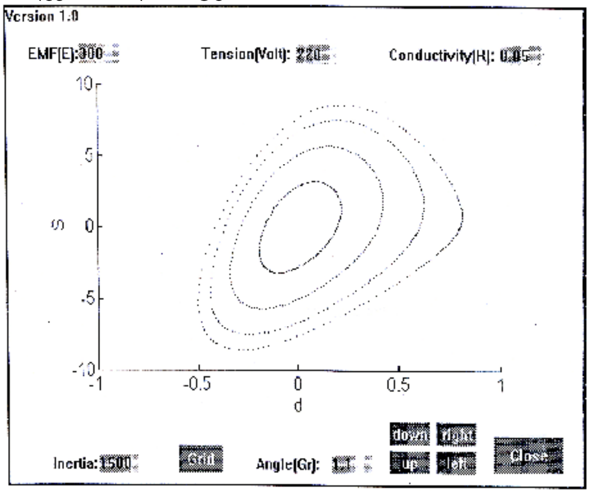
$$S_{n+1} = S_n + TK(\sin\delta_* - \sin(\delta_* + \Delta\delta_n)); \qquad (6)$$

(6) განტოლება წარმოადგენს ალგორითმს, რომლის მიხედვითაც ავაგებთ ფაზური პორტრეტს ამოცანის დისკრეტიზაციის გზით. შესრულებული ალგორითმი უზრუნველყოფს ფაზური პორტრეტების აგებას საწყისი პირობების ცვლილების შემთხვევაში. საწყისი პირობები პროგრამის ტანში იცვლებიან ციკლში (ნახ.2). ფაზური პორტრეტებიდან ჩანს, რომ სისტემის მოძრაობის დისკრეტული ანალოგი იძენს სტოხასტურობის უბანს T(s) დისკრეტიზაციის ნებისმიერ ბიჯზე. ამ დროს საწყისი განტოლება ზუსტად ინტეგრირდება. ეს ნიშნავს, რომ გადასვლა მოძრაობის დისკრეტულ განტოლებებზე (6), ექვივალენტურია გარე პერიოდული ძალის დამატებისა, რომელიც განპირობებულია დისკრეტიზაციით.

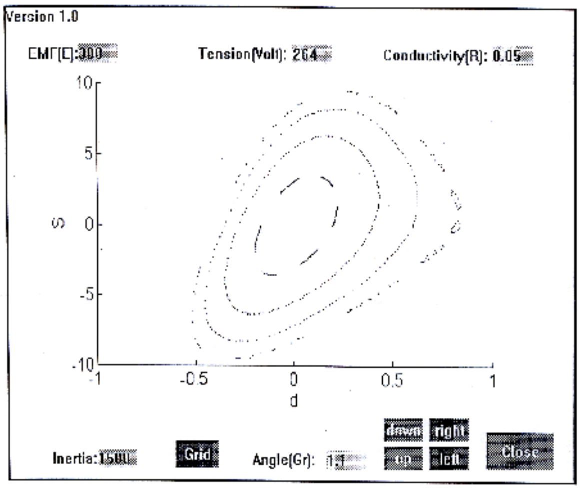
მე-2 ნახაზზე ნაჩვენებია, თუ პარამეტრების ცვლილების დროს სად ჩნდება ქაოსი სისტემაში „ერთი გენერატორი-უსასრულო ენერგიის სალტე”. აღწერილი დინამიკური სისტემის კონსერვატულობა ნიშნავს, რომ შეიძლება გამოიტოვოს წინასწარი იტერაციული ციკლი შუალედური მნიშვნელობების გამოსარიცხად, გარდამავალ რეჟიმში. ყოველი გამოთვლილი სისტემა წარმოადგენს თავის საკუთარ ატრაქტორს.

$\frac{EUY}{I}$ პარამეტრის ნებისმიერი მნიშვნელობის ცვლილებების შედეგად სისტემას აქვს ბევრი ორბიტა და კონსერვატულობის თვისების თანახმად ნებისმიერი საწყისი მნიშვნელობების წყვილი S და $\Delta\delta$ იქნება წერტილის წარმომდგენი, რომელიცმდებარეობს ერთ-ერთ ორბიტაზე.

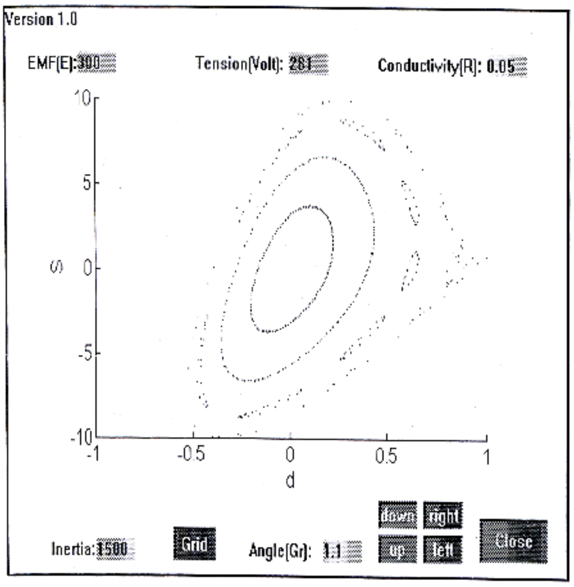
აქედან გამომდინარე, მიზიდულობა იცვლება მყისიერად. პარამეტრების ყოველი ახალი მნიშვნელობა იძლევა ახალ სისტემას.



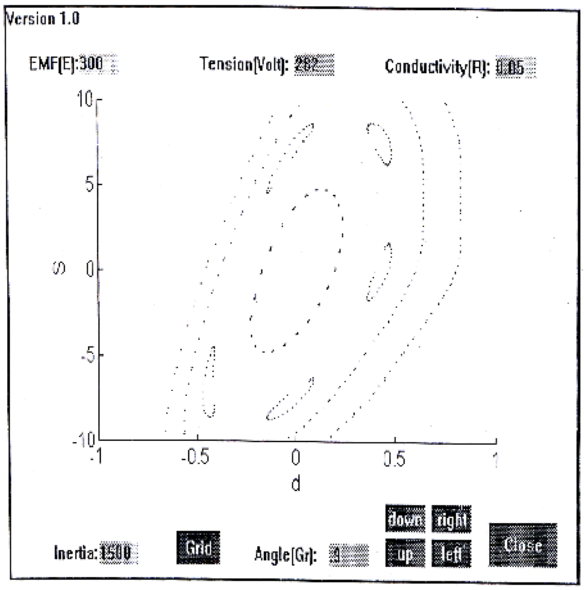
ნახ.2. ქაოსი სისტემაში - „ერთი გენერატორი-უსასრულო ენერგიის სალტე” (პირველი ციკლი)



ნახ.3. მეორე ციკლი



ნახ.4. მესამე ციკლი



ნახ.4. მეოთხე ციკლი

ნახაზებზე $2 \div 5$ ნაჩვენებია ორბიტების მიმდევრობა, რომელიც აგებულია (4) ასახვის განტოლებით, რომლებსაც აქვთ შემდეგი მნიშვნელობები:

$$D=0,5; \quad \frac{EUY}{I}=1; \quad D_{*}=0,5; \quad T=0,8.$$

ცენტრიდან თანდათან დაშორებისას ჩანს, თუ როგორ ქმნიან ორბიტები ბუდეებს ჩაკიტილი ტრაექტორიებით. შემდეგ უეცრად ჩნდებიან პატარა „კუნძულები“ – ცალკე ორბიტები, რომლებიც არიან დიდ ორბიტებს შორის. ცენტრიდან კიდევ უფრო დაშორებისას ვნახავთ თუ როგორ მონაცვლეობენ ასეთი ორბიტის მქონე უბნები.

3. დასკვნა

სტატიაში განხილულია ენერგოსისტემებში ქაოსის მმართველი პარამეტრის ცვლილებაზე დამოკიდებულებებით წარმოშობის ამოცანა. კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ქაოსი წარმოიშობა ინტეგრირების ბიჯის ცვლილებისას, როცა უწყვეტი სისტემები გადადიან დისკრეტულ სისტემებში, ამოცანის გადასაჭრელად გამოყენებულია დროითი დისკრეტიზაცია.

ლიტერატურა:

1. ა.გუგუშვილი. მართვის თეორია. სინერგეტიკა. წიგნი 3. – თბილისი, სტუ-ს გამომცემლობა. 2000
2. Экспериментальные исследования режимов энергосистем. Под редакцией С. А. Совалова. - М.: Энергоатомиздат, 1985
3. Зубов В. И. Аналитическая построение функции Ляпунова. //Доклада РАН. 1994, т.335,№6, стр. 688-690.

CHAOS IN POWER SUPPLY SYSTEMS

Sesadze Valida, Dalakishvili Gocha, Kekenadze Vladimer
Georgian Technical University

Summary

In article chaos occurrence in power supply systems depending on change of the operating parameter is considered. The power supply system model is presented in the form of Jhdanov’s and Lyapunov’s model. There was developed a computer model of occurrence and chaos development in power supply systems.

ХАОС В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

Сесадзе В., Далакишвили Г., Кекенадзе В.
Грузинский Технический Университет

Резюме

Рассматривается возникновение хаоса в энергосистемах в зависимости от изменения управляющего параметра. Модель энергосистемы представляется в виде моделей Жданова, Ляпунова и модели, которая использует однотактные токи и напряженность в узлах генератора и сети. Модели энергосистемы доводятся до алгоритма при помощи функции Ляпунова. Возникновение и развитие хаоса в энергосистемах смоделировано на персональном компьютере.