



IBSU

**შავი ზღვის საერთაშორისო უნივერსიტეტი
კომპიუტერული ტექნოლოგიებისა და საინჟინრო საქმის ფაკულტეტი
კომპიუტერული მეცნიერების პროგრამა**

**წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსული სიხშირეების მქონე მრავალგანზომილებიანი LC-
წრედების სინთეზის შემუშავება**

**კანიბეკ დუიშეევ
ინჟინერიის დოქტორი ინფორმატიკაში სადოქტორო დისერტაციის ავტორეფერატი**

თბილისი, 2016

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

ალექსანდრე მილნიკოვი

(შავი ზღვის საერთაშორისო უნივერსიტეტის პროფესორი, დოქტორი)

(ხელმძღვანელის ხელმოწერა)

ექსპერტები (სახელი, გვარი & აკადემიური წოდება):

1. ასოც.პროფ.დოქტ ჯიჰან მერთი

2. ასოც.პროფ.დოქტ ლელა მირცხულავა

3. [Click here to enter text.](#)

(არსებობის შემთხვევაში)

ოპონენტები (ექსპერტები (სახელი, გვარი & აკადემიური წოდება):

1. პროფესორი ალექსანდრე ლაშხი

2. ასოც.პროფ.დოქტ ხათუნა ბარდაველიძე

3. ასოც.პროფ.დოქტ ბიბიგულ კოეშოვა

(არსებობის შემთხვევაში)

შესავალი

საკუთრივი მნიშვნელობების ცოდნა და გაგება უმნიშვნელოვანესია სხვადასხვა მახასიათებლების მქონე ტექნიკური სისტემების შემუშავებისთვის, მაგალითად ელექტრული, მექანიკური, ელექტრო-მექანიკური და ასე შემდეგ. წინასწარ განზადვრული რეზონანსური სიხშირეების (მახასიათებელი მრავალწევრების საკუთრივი მნიშვნელობები) მქონე LC-წრედების სინთეზირების დიზაინის ახალი მეთოდები იქნა შემუშავებული, წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსული სიხშირეების ხელმისაწვდომობის პირობები განისაზღვრა, წინასწარ განზადვრული რეზონანსული სიხშირეების მქონე მრავალკონტურიანი LC წრედების სინთეზირების რეალიზაციისთვის საჭირო პროგრამული უზრუნველყოფა შეიქმნა, მრავალი ტიპის მრავალკონტურიანი LC წრედების სინთეზირება მოხდა

მრავალკონტურიანი LC -ის რეზონანსული და ანტირეზონანსული სიხშირეების ანალიზი და სინთეზირება საინჟინრო და სამრეწველო ტექნოლოგიური მიმართულებით უმთავრეს საკვლევ ობიექტებს წარმოადგენენ. პასიური ელექტრული წრედების მიერ შემუშავებული შედეგები შეიცავს მნიშვნელოვან და ღირეულ ინფორმაციას კომპლექსური მოწყობილობების და სისტემების მუშაობის შესახებ, რადგან ეს უმნიშვნელოვანესია, ისინი მოითხოვენ ღრმა ანალიტიკური დაკვირვებასა და გამოთვლებს რათა მიღწეული იქნას პროდუქტიული, ეფექტური და ზუსტი დასკვნები..

მეორეს მხრივ სრული სპექტრის ან მრავალკონტურიანი LC წრედების საკუთრივი მნიშვნელობების და საკუთრივი ვექტორების ცოდნა მოგვცემს სრულ ინფორმაციას განვსაზღვროთ ზუსტი შედეგები და მნიშვნელობები საჭირო მომენტებში (Kron, 1959) and (Skudrzuk, 1971). თეზისში განხილული პრაქტიკულ ნაწილში, სხვადასხვა მაგალითები იქნა მოყვანილი და მათი საკუთრივი მნიშვნელობები იქნა განხილული რომლებიც გამოყენებული იქნა როგორც სისტემის შემავალი პარამეტრები რათა შედეგების სინთეზირების მიზნით რათა გაირკვეს მოსალოდნელი მნიშვნელობები არსებობს თუ არა. შედეგები მხოლოდ გარდაქმნის ფუნქციის მარტივად ანალიზის დროს ვერ მიიღწევა, არამედ საჭიროა სიღრმისეული

გამოკვლევა ელექტრული ფენომენის ისტორიული საფუძვლების , რომელიც კვლევას კიდევ უფრო მეტად მდიდარ და პოტენციურად სრულად გასაგებ ინფორმაციას შეჰმატებს.

.და ბოლოს, კვლევაში წარმოდგენილი თეორიებზე დაყრდნობით, მიღებული გამომავალი შედეგები წარმოადგენს ილუსტრირებას უმნიშვნელოვანეს და ღირებულ შედეგს, სადაც საწყისად განსაღვრული მნიშვნელობები არიან კიდევ კონსერვატიურები თუკი წარმოდგენილი კრიტერიუმის დაკმაყოფილება მოხდა,გარდა ამისა, მიღებული შედეგები წარმოდგენენ კარგ მაგალითს კვლევის პრაქტიკულობის რადგან , კონსერვატული მნიშვნელობები ანუ იგივე თვითოეული შტოს კუთხური სიხშირეები თვითოეულ წრედში წარმოადგენენ სიხშირებს რომელებიც შეიძლება მოცემული სიგნალისთვის გამტარობის ზოლის ფუნქციის შესასრულებლად იყვნენ გამოყენებული.

LC წრედების ელემენტების ცოდნა კვლევის უმნიშვნელოვანეს ნაწილს წარმოადგენს, უმარტივესი წრეებიდან დაწყებული რთული წრედების მაგალითები იქნება განხილული რამოდენიმე ცდებთან ერთად რათა ჩამოყალიბებულიყო ერთად საკვლევი თეზისის უმთავრესი მიზნები, მაგალითად ცალკე წრედის შეფასება დაფუძნებულია რამოდენიმე ეტაპზე,მაგალითად დაწყებული ნაკლებად სარწმუნო იმპედანსის მქონე შტოების მნიშვნელობების მინიჭებიდან, მსგავსი იმპედანსის მნიშვნელობების დაჯგუფების ჩათვლით .

მრავალკონტურიანი LC წრედების ანალიზის და გაგების მნიშვნელობას წარმოადგას ის ფაქტი რომ ასეთი წრეები მუშაობენ არამარტო დაბალ სიხშირეებზე, არამედ მაღალ სიხშირეებზეც.კვლევის პროცესში წარმოდგენილია უამრავი მაგალითი და შესაძლებლობები ფუნქციონალურობების თვალსაზრისით

ასევე უნდა აღინიშნოს რომ ზემოთ მოხსენიებული საკითხის კიდევ ერთი ღირებულებითი მნიშვნელობის შესახებ, კერძოდ იმ ამოცანების გადაწყვეტა რომლებსაც აწყდება ყოველდღიურად საინჟინრო დარგები . LC ელემენტების სიღრმისეული ანალიზი უამრავი ამოცანების გადაწყვეტაში დაგვეხმარება,

მაგალითად კლებადი, არარეგულირებადი რხევების და რათქმა უნდა შესაძლო საფრთხეების თავიდან აცილებაში.

თეზისში წარმოდგენილი კვლევის მთავარი მიზანია წინასწარ განსაზღვრული საკუთრივი მნიშვნელობების მქონე მრავალკონტურიანი LC წრედების ანალიზი და სინთეზირების მეთოდის შემუშავება. საკუთრივი მნიშვნელობები წარმოადგენენ კონტურების ფესვებს წრედებში და ისინი წარმოადგენენ სისტემის კუთხრულ სიხშირეებს და სიხშირულ გამოძახილს, სწორედ საბოლოო ეტაპიდან მიღებული შედეგები არიან კონსერვატიული მნიშვნელობები და სწორედ კვლევის განმავლობაში ჩვენი მიზანია ამ კონსერვატიული მნიშვნელობების მიღება

თეზისის სტრუქტურა

თავი პირველი წარმოადგენს არსებული ლიტერატურის მომოხილვას რომელიც ეხება მოცემულ თემას, იგი მიცავს ინდუქტიური და ტევადობის გარშემო არსებული მასალის გაცნობას და წარმოჩენას იმ ფაქტის თუ რამდენად მნიშვნელოვანია მათი როლი თანამედროვე ელექტრული და ახალი ტექნოლოგიური გამოგონებებსა და განვითარებაში, LC ელემენტების მქონე რხევითი სისტემების შესწავლასთან ერთად, თეზისში განხილული იქნება n -განზომილებიანი მრავალკონტურიანი წრედები, ასევე საინჟინრო სისტემების გეომეტრიული მეთოდებით ანალიზის ზოგადი დაფუძვლებიც იქნა განხილული

მთლიანი მეორე თავი დათმობილი აქვს კვლევის თეორიულ და მათემატიკ გამოთვლებს. მაღალ განზომილებიან ქსელური წრედები იქნა წარმოდგენილი პათ პარამეტრებთან, შედეგებთან და მნიშვნელობებთან ერთად. ასევე წმინდა კონტური, წმინდა კვანძი, წმინდა კონტურული წრედები იქნა აღებული როგორც გამოთვლების საფუძვლად. და ბოლოს მნიშვნელოვანესი დებულებები იქნა შემუშავებული შედეგების მისაღწევად

მესამე თავში ემპირიული გამოთვლები იქნა წარმოდგენილი, სადაც სხვადასხვა ტიპის მრავალკონტურიანი LC წრედების გრაფიკული წარმოდგენა მოხდა მათი პარამეტრების განსაზღვრებებთან ერთად. დებულებები (1-10) ზე დაყრდნობით, განსაკუთრებით დებულებები 9 და 10 -ზე იქნა ყურადღება გამახვილებული, რადგან ამ დებულებებში წარმოდგენილი კონსერვატიული საკუთრივი მნიშვნელობებს ხაზი გაესვათ როგორც კვლევის უმთავრეს ობიექტს წრედების ანალიზის და სინთეზირების დროს

მეთოდოლოგია

ელექტრული წრედების თეორემებზე და ანალიზის მეთოდების, ტენზორული და წრფივი ალგებრის მეშვეობით მრავალკონტურიანი წრედების გეომეტრიული მეთოდებზე დაყრდნობით, პროგრამული ენა მათლაბ იქნა გამოყენებული საჭირო ალგორითმული გამოთვლების შესასრულებლად, მაღალი რიგის მრავალწევრები შეიქმნა მაღალი რიგის ან მრავალგანზომილებიანი წრედების გამოსათვლელად. ელექტრული წრედების შესახებ არსებული კრონის ტენზორული თეორემაზე დაყრდნობით, ასევე ვაინშტაინის და არონშტაინის შუალედური ამოცანების მეთოდზე დაყრდნობით წინასწარ განსაზღვრული საკუთრივი მნიშვნელობების ხელმისაწვდომობისთვის საჭირო პირობები განისაზღვრა. კრონმა შემოიტანა მცნება სამი სახის წრედის : წმინდა კონტური, წმინდა კვანძი და ორთოგონალურის , პირველი ორი სახის წრედს ტრადიციული წრედების თეორიაში არ განიხილავენ. კრონმა ორდინადრულ წრედებს უწოდა ორთოგონალური. წმინდა კონტურის წრედი არის ისეთ წრედი რომელშიც დამოუკიდებელი კონტურების რაოდენობა უდრის შტოების რაოდენობას ან იმპედანსების რაოდენობას ანუ $k=n$ და $m=0$. წმინდა კონტურული წრედები ტრადიციული წრედების თეორიაში არ განიხილავენ და მიეკუთვნებიან გრაფთა თეორიას სადაც ყოველთვის მიჩნეულია რომ $n>k$.

წმინდა კვანძრის წრედი არის ისეთი წრედი სადაც დამოუკიდებელი კვანძების წყვილების რაოდენობა უდრის შტოების რაოდენობას ანდა იმპედანსის

რაოდენობას ანუ $m-1 = n$ და $k = 0$. კლასიკური წრედების თეორიაში არც ერთი არ განიხილება რადგან არ შეიცავენ ჩაკეტილ კონტურებს(რომელიც შეესაბამება ტოლობას $k = 0$).

ორთოგონალური წრედები არიან ორდინარული წრედები რომლებისთვისაც h $k \neq 0$ და $m \neq 0$ და აგრეთვე ეილერის ფორმულა $k + m-1 = n$ სრულდება (უნდა აღინიშნოს რომ ბოლო ფორმულა აგრეთვე სამართლია წმინდა კონტურულ და წმინდა კვანძურ წრედებისთვის)

საბოლოოდ მოცემული დებულები განსაზღვრავს კვლევის მიზნებს და ასევე მათთან დაკავშირებულ შედეგებს ზემოთ მოხსენიებული თეორიებთან შესაბამისად.

კვლევის მიზნები

შესაბამისი გამოქვეყნებული ნაშრომების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს ჩამოვაცალიბოთ შემდგომი კვლევის მიზნები

- წინასწარ განზალვრული რეზონანსური სიხშირეების(მახასიათებელი მრავალწევრების საკუთრივი მნიშვნელობები) მქონე LC-წრედების სინთეზირების დიზაინის ახალი მეთოდები იქნეს შემუშავებული ,
- წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსული სიხშირეების ხელმისაწვდომობის პირობები განისაზღვროს,
- მოხდეს წინასწარგანზალვრული რეზონანსული სიხშირეების მქონე მრავალკონტურიანი LC წრედების სინთეზირების რეალიზაციისთვის საჭირო პროგრამული უზრუნველყოფა
- მოხდეს მრავალი ტიპის მრავალკონტურიანი LC წრედების სინთეზირება მოხდა

სამეცნიერო სიახლეები და წვლილი

- შემუშავდა ახალი მეთოდი მრავალკონტურიანი LC წრედების სინთეზირების

- შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფა(მათლახის პროგრამული ენის მეშვეობით) were მოხდა
- ;თეორიული ფუნდამენტზე დაფუძნებული დებულებებზე დაყრდნობით n-განზომილებიანი წრედებისთვის სხვადასხვა შემთხვევის განხილვა და კონკრეტული შედეგების მიღება მოხდა
- წმინდა კვანძური და წმინდა კონტურული წრედების იმპედანსი აგრეთვე იქნება მხედველობაში მიღებული
- . ზემოთ მოხსენებული შედეგები საშუალებას გვაძლევს მრავალკონტურიანი წრედების ტოპოლოგიის ანალიზის და გამოთვლის ახალი პრინციპების შექმნის
- ზემოთ მოხსენებული მეთოდებზე დაყრდნობით, ეფექტური დებულებების ჩამოყალიბება მოხდა რომ თუკი შესრულდა საჭირო პირობები წმინდა კონტურული წრედების შესაბამისი საკუთრივი მნიშვნელობები არიან კონსერვატიური

შესრულებული სამუშაოს სტრუქტურა და მოცულობა

თეზისი შედგება 113 გვერდისგან და შეიცავს 3 თავს, ლიტერატურის სიას და ფიგურების და ცხრილების სიას.

სამეცნიერი და პრაქტიკული მნიშვნელობა

თეზისში წარმოდგენილი კვლევის შესაბამისად, n-განზომილების მრავალ კონტურიანი წრედების რეზონანსული სიხშირეების და კონსერვატიული საკუთრივი მნიშვნელობების გამოსათვლელად

1. ინდუქციების L^k და ტევადობის კონტურული მატრიცები გამოთვლა მოხდა შემდგომი გარდაქმნების მეშვეობით

$$L^k = \Gamma L^d \Gamma'$$

$$C_k = \Gamma C_d \Gamma'$$

ამ შემთხვევაში k -ური რიგის იმპედანცების კონტურული მატრიცა უდრის

$$Z^k = \lambda L_k - C_k,$$

სადაც λ - საკუთრივი მნიშვნელობებსაც და წრედების კუთხურ სიხშირეებს

შორის არსებობს ქვევით მოცემული დამოკიდებულება $\lambda = \omega^2$

2. შეიქმნა Loop-Branch მატრიცული ცხრილი
3. სპეციალური მათემატიკის პროგრამა დაიწერა კონტურული შტოს ტიპის მატრიცების და იმპედანსების შესაბამისი მნიშვნელობების გამოყენებით როცა ეს მნიშვნელობები მოთავსებულია ინდივიდუალურად მიმდევრობითად შეერთებულ ინდუქციებზე და ტევადობებზე
4. საბოლოოდ გენერირებული შედეგების ანალიზი და სინთეზირება მოხდა რათა გარკვეული კონსერვატიული საკუთრივი მნიშვნელობების ანუ წინასწარ განსაზღვრული ს განსაზღვრული საკუთრივი მნიშვნელობების მოსვლის ხდომილება.
5. შემუშავებული შედეგები საშუალებას გვაძევეს კიდევ უფრო მეტად გავაღრმავოთ მუშაობა ისეთ რთულ და მეტად განვითარებული დარგებში როგორცაა სიგნალები ,სიფრული სიგნალების დამუშავება, ფილტრები და ასე შემდეგი

თავი პირველი : ლიტერატურის მიმოხილვა

RLC პასიური ელემენტები აქტიურად გამოიყენება სხვადასხვა ტექნოლოგიური მიმართულებებში, დაწყებული მარტივი from simple on-off წრედებიდან დამთავრებული რთული სამრეწველო სისტემებით.განსაკუთრებით,ყოველდღიურ ცხოვრებაში, ჩვენ ვაწყდებით ამ ელემენტებს ყოველდღიური გამოყენებითი ელექტრული და ელექტრონული მოწყობილობებში. მიუხედავად იმისა რომ ეს ელემენტები უბრალოდ წარმოადგენენ ორი დაბოლოება მოწყობილობებს, მათი წვლილი საინჟინროში უზარმაზარია და მნიშვნელოვან როლს თამაშებენ წრედების და სისტემების დაგეგმვაში

ელექტრული წრედები წარმოადგენენ ერთ ერთ მაგალითს რხევითი სისტემებს კონცეპტირებული პარამეტრებით (Skudrzuk, 1971) და (Kron, 1959). საკითხები რომლებიც დაკავშირებულია მათ საკუთრივ მნიშვნელობებთან და საკუთრივი ვექტორებთან , მეორეს მხრივ ,წარმოადგენენ ერთ ერთ უმნიშვნელოვანეს და სასიცოცხლო საკითხს მათემატიკური ფიზიკის და რხევით თეორიაში, და გარდა ამისა,რადგან მას გააჩნია ასევე უდიდეს მრავალფეროვანი გამოყენება.მახასიათებელი თვისებები კონცეპტირებული პარამეტრების მქონე სისტემების არის ის რომ ამ სისტემებს გააჩნიათ სპეციფიური გეომეტრიული სტრუქტურა- გრაფი – (ანდა სიმპლიციური კომპლექსი თუ ჩვენ განვმარტავთ ალგებრულ ტოპოლოგიურ ენაზე). საკუთრივი მნიშვნელობები იგივე რეზონანსული სიხშირეები(საინჟინრო გაგებით) წარმოადგენენ მთავარ პარამეტრებს სისტემების რადგან სწორედ მათი მეშვეობით ხდება ელექტრული სისტემების დიზაინი და მოდელირება, თუ რეზონანსული სიხშირეების წვდომადი პარამეტრების გამოთვლა მოხდა, მაშინ ჩვენ შეგვიძია ავაგოთ სხვადასხვა ტიპის ელექტრული, ელექტრო მექანიკური, რხევითი და შერეული სისტემები , რაც საშუალებას მოგვცემს თავიდან ავიცილოთ მოსალოდნელი საფრთხეები

თავი 2: პრობლემის დასმა და თეორია

ელექტრული წრედების ტენზორული თეორია

სამი ტიპის ელექტრული წრედი

1. წმინდა კონტურული
2. წმინდა კვანძული
3. ორთოგონალური

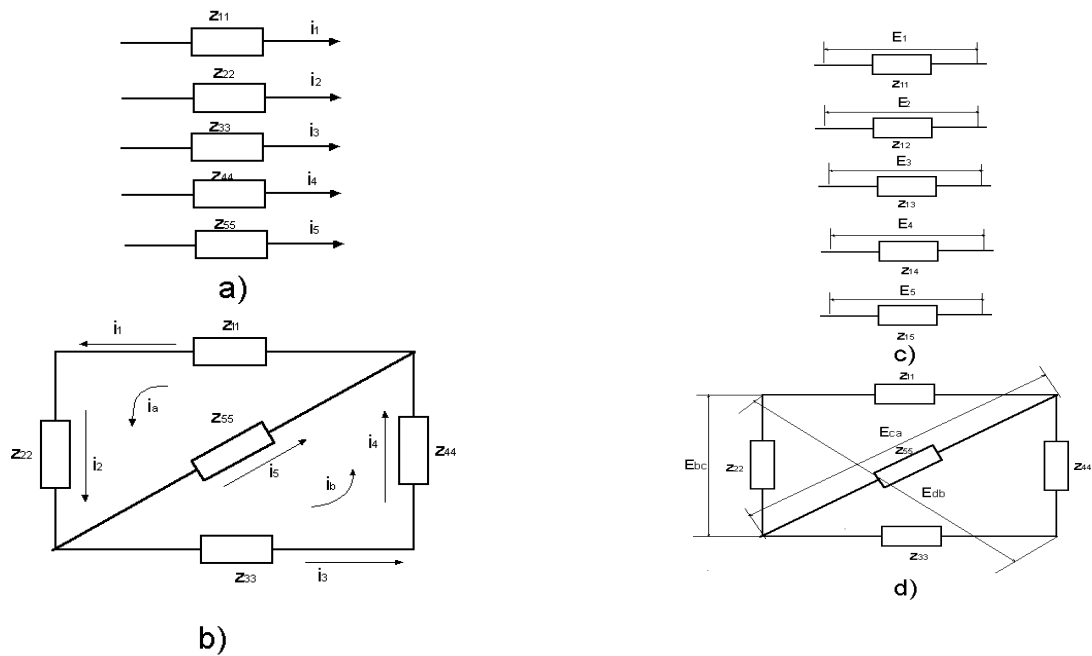
წმინდა კონტურული წრედი ეწოდება წრედს რომელშიც დამოუკიდებელი კონტურების რაოდენობა უდრის შტოების ანდა იმპედანსის რაოდენობას ესე იგი .
 $k=n$ და $m=0$.

წმინდა კვანძური წრედი ეწოდება წრედს რომელშიც დამოუკიდებელი კვანძების წყვილი უდრის შტოების ან იმპედანსის რაოდენობას ანუ $m-1 = n$ და $k = 0$.

პრიმიტიული წრედი არის მარტივად ხუთი ერთმანეთთან არა დაკავშირებული იმპედანსების სიმრავლე, თვითოეულს აქვს მინიჭებული ელექტრული დენი i და ძაბვა e .

ორთოგონალური წრედი არის ორდინარული წრედი რომლისთვისაც $k \neq 0$ და $m \neq 0$ და აგრეთვე ეილერის ტოლობა $k + m - 1 = n$ სრულდება (მსგავს ტოლობას აგრეთვე აქვს ადგილი ცხადია წმინდა-კონტურული და წმინდა კვანძური წრედებისთვის).

ორთოგონალური და პრიმიტიული წრედები



პრიმიტიულიდან ორთოგონალურ წრედებზე გარდაქმნა

$$i = Ci'$$

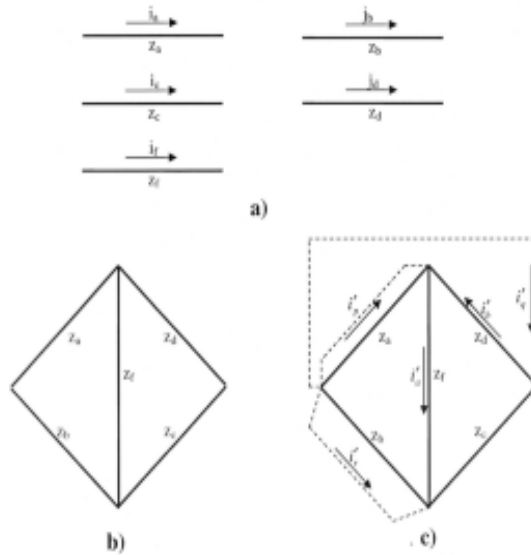
სიმპლავრის ინვარიანტობა

$$ei = e'i'$$

იმპედანსების მატრიცის გარდასახვა

$$Z' = C^T Z_D C$$

გარდასახვის მატრიცა C არის სინგულარული (არაკვადრატული). წმინდა-კონტურული და პრიმიტიული წრედები and



წერტილოვანი ხაზები გვიჩვენებს ფიქტიურ კონტურებს

პრიმიტიულიდან წმინდა კონტურულ წრედზე გარდაქმნა .

$$Z^{(5)} = C^T Z_D C$$

მატრიცა C არ არის სინგულარული და აქვს შებრუნებული მატრიცა

$$Z_D = (C^{-1})^T Z^{(n)} C^{-1}$$

საწყისი პრიმიტიული წრედების შესაბამისი ყველა წმინდა-კონტურული წრედების შეიცავენ წყვილწყვილად ტოლ საკუთივ მნიშვნელობებს რომლებიც თავის მხრივ უდრიან პრიმიტიული წრედების საკუთრივ მნიშვნელობებს. შეზღუდვების ზედდებით ფიქტიურ კონტურებზე სასრული რეკურენტული პროცესი საწყისი წმინდა კონტურული წრედიდან საწყის ორთოგონალურ წრედებამდე შეიძლება აიგოს. ერთი შეზღუდვის ზედდება განაპირობებს ოპერატორ $Z^{(n-1)}$ რომელიც შემადგენელი ნაწილია ოპერატორ $Z^{(n)}$ და განსაზღვრულია ქვესივრცე L^{n-1} და საკორდინანტო ფორმაში წარმოდგენილია როგორც მთავარი ქვემატრიცა $n-1$ რიგის მატრიცა $Z^{(n)}$ -ის.

$$Z^{(n)}(\lambda), Z^{(n-1)}(\lambda), \dots, Z^{(n-i)}(\lambda), \dots, Z^{(k)}(\lambda)$$

სადაც $\lambda = \omega^2$.

რხევითი სისტემების საკუთრივი მნიშვნელობებს სხვანაირად აგრეთვე ნულოვანი რისიგის საკუთრივ მნიშვნელობებს ეძახიან (ეს საკუთრივი მნიშვნელობები შეესაბამებიან ოპერატორს, ხოლო საკუთრივი მნიშვნელობები რომლებიც მიიღებიან i შეზღუდვების ზედდებით წმინდა კონტურ წრედებზე (ისინი შეესაბამება ოპერატორ $Z^{(n-i)}(\lambda)$), ეძახიან საკუთრივ მნიშვნელობებს i -რი რიგის. აქედან გამომდინარე თვითოეულ k -კონტურული წრედეს შეესაბამება $n-k$ საკუთრივი მნიშვნელობების სერია

$$\lambda_1^{(0)}, \dots, \lambda_n^{(0)}; \lambda_1^{(1)}, \dots, \lambda_{n-1}^{(1)}; \dots; \lambda_1^{(n-k)}, \dots, \lambda_k^{(n-k)}$$

ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობას ეძახიან i -რი რიგის კონსერვატიულს თუკი ის ნარჩუნდება როდესაც i შეზღუდვებია დაწესებული და გაქრება $i+1$ -რი შეზღუდვების ზედდების შემთხვევაში. ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობა არის კონსერვატიული როდესაც ის შენარჩუნებულია $n-k$ შეზღუდვების ზედდებით, ესე იგი როცა ის არის საკუთრივი მნიშვნელობა წმინდა კონტურული და k -ური რიგის კონტურული წრედი .

ძირითადი თეორემა

ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობები წმინდა კონტურული წრედის (საბაზისო რხევითი სისტემა) არის კონტურული თუკი ან იმპედანსი მთავარი შტოების ერთმანეთის ტოლია (სადაც k – დამოუკიდებელი კონტურების რაოდენობაა) ანდა რიცხვი r ტოლი იმპედანსე ნებისმიერი შტოს მეტია ვიდრე კვანძრი წყვილების რაოდენობა ($m=n-k-1$) მოცემული k -ური კონტურის წრედში

განვიხილოთ იგივე წრედი როგორც ეს იყო მოცემული ზევით მაგრამ ამ შემთხვევაში კვანძების ანალიზის მხრივ. რადგან შტოების რაოდენობა არის 5 და კონტურების რაოდენობა არის 2, ჩვენ გაქვს 3 წყვილი კვანძი (ფიგურა 1. d). ვექტორების როლის ასრულებს კვანძების შესაბამისი ძაბვები. კირჩოვის მეორე

კანონის თანახმად, ჩვენ მივიღებ შემდგომ ურთიერთ დამოკიდებულებას პრიმიტიული და კვანძრი წრედების შესაბამის ცვლადებს შორის;

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \\ E_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_{cd} \\ E_{db} \\ E_{bc} \end{pmatrix},$$

რომელიც მატრიცულ ფორმაში მოიცემა ასე

$$E = AE' \tag{3}$$

ამ შემთხვევაში, გეომეტრიულად გარდაქმნის მატრიცა A არის აგრეთვე ჯაკობის გარდაქმნის მატრიცა E' იდან E. -ში

შემოტანილი მცნებებს გარდაქმნასთან ერთად გააჩნიათ გეომეტრიული მნიშვნელობა. ცხადი არის რომ ესე გარდაქმნებისთვის, იმპედანსის მატრიცა და აგრეთვე წრედის სხვა ობიექტებიც აგრეთვე შეიცვლება. ამ გარდამქმნებისთვის ინვარიანტულობისთვის, წრედის სიმძლავრე გამოიყენება

$$P = ei \tag{4}$$

სადაც i და e არიან n -განზომილების ვექტორები. სიმძვრის ინვარიანტობა განაპირობებს რომ

$$ei = e'i' \tag{5}$$

სადაც i და e არიან პრიმიტიული წრედის n -განზომილებიანი ვექტორები ელექტრული დენის და ძაბვის, ხოლო i' and e' are n -განზომილებიანი ვექტორები იგივე პარამტრების ოლონდ შეერთებული წრედის. გეომეტრიული ინტერპრეტაციით, ეს ნიშნავს ბაზისების გარდაქმნას (მატრიცა C (2-ში)), რომელიც ინარჩუნებს სკალარულ ნამრავლს (5).

სიმძლავრის ინვარიანტობა საშუალებას გვაძლევს იმპედანსის მატრიცისთვის და ძაბვისთვის შევიმუშაოთ გარდაქმნის ფორმულა. პრიმიტიულ წრედს ექნება შემდგომი გამოსახულება მატრიცულ ფორმაში

$$e = Z_D i \quad (6)$$

სადაც Z_D არის დიაგონალური მატრიცა დიაგონალზე პრიტიული წრედის იმპედანსებით

შეერთებული და პრიმიტიული წრედების ელექტრონული დენები დაკავშირებულია ფორმულა (2)-ით . თუკი ფორმულა (4)-ში ჩვენ შევცვლით ვექტორ i -ს მარჯვენა მხარით რომელიც მოცემულია ფორმულა (2)-ში , მაშინ

$$P = ei = eCi'$$

მეორეს მხრივ ფორმულა (5)იდან გამომდინარეობს

$$e'i' = eCi' , აქედან$$

$$e' = eC = C^T e$$

საბოლოო გამოსახულება განაპირობებს რომ წრედის ძაბვების გავლენა (კონტურულ ანალიზში) გარდაიქმნება ტრანსპონირებული მატრიცის სახით გარდაქმნის მატრიცის ესაბამისად (ძაბვები ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან გარდაქმნის მატრიცის C ტრანსპონირების მეშვეობით.სიმძლავრის ინვარიანტობასთან დაკავშირებული ზემოთ მოხსენიებული პოსტულატის მეშვეობით . ასევე შესაძლებელია გარდაქმნის ფორმულების მოძებნა იმპედანსის მატრიცისთვის

გამოსახულება(6 ში) თუკი მატრიცული გამოსახულება პრიმიტიული წრედის,ვექტორი i შეიცვლება ვექტორი Ci' იურით , მაშინ

$$e = Z_D Ci'$$

ორივე მხარეს თუკი გავამრავლებთ მატრიცა C^T -ზე, მივიღებთ

$$C^T e = C^T Z_D Ci'$$

მაგრამ რადგან $C^T e = e'$, გვექნება

$$e' = C^T Z_D Ci'$$

რაც განაპირობებს რომ

$$Z' = C^T Z_D C \quad (7)$$

სადაც Z' is $k \times k$ შერთებული წრედის იმპედანსის მატრიცაა

ფორმულა (7) გარდაქმნის პრიმიტიული წრედის იმპედანსის ამტრიცას შერთებული წრედის იმპედანსის მატრიცად (2)გამოსახულების საბაზისო ტრანსფორმაცია გამოიყენება. საბოლოოდ ჩვენ მიივლეთ სრული სურათი პრიმიტიული წრედების ობიექტებიდან შერთებული წრედების ობექტებზე გარდაქმნის

ასევე ანალოგიურად, ჩვენ შეგვიძლია გავიმეორეთ ეს პროცესი კვანძის ცვალდებისთვისაც აგრეთვე ,ჩვენ გამოვტოვებთ დეტალურად ამ კავშირების მიღების გზას რადგან ანალოგიურად ხდება მათუ წარმოება როგორც ზევით მოხდა და მხოლოდ საბოლოო შედეგს ვაჩვენებ

კვანძის ცვლალების საბაზისო გარდაქმნები მოცემულია ფორმულა (3) ის მეშვეობით კვანძის ელექტრული დენების(გარეთა შემფოთებები) განსაზღვრულია როგორც

$$I' = A^T I \quad (8)$$

მაშინ როდესაც გამტარიანობის მატრიცის გარდაქმნა ხდება

$$Y' = A^T Y_D A \quad (9)$$

სადაც Y_D წრედის დიაგონალური გამტარიანობის მატრიცაა

ალეგბრული სტრუქტურა (2), (6), (7),გამოსახულების და (3), (8), (9)გამოსახულების არის აბსოლიტურად იგივე,მხოლოდ განსხვავება არის ის რომ მეორე გარდაქმნის მატრიცა(მეორე ჯაკობის გარდასახვა) და სხვა სივრცული განზომილებები . k და $n-k$, შესაბამისად) გამოიყენება ,რთული არაა ვაჩვენოთ კავშირი ორი მატრიცა C და A შორის

$$A^T C = 0 \quad (10)$$

მთავარი პრინციპი წრედის ტენზორული გეომეტრიული ობიექტად წარმოდგენის შეიძლება ფორმულირდეს ასე. წრედი რომელიც შეიცავს n ელემენტს არის n -განზომილებიანი გეომეტრიულ ობიექტი რომელიც ტენზორული გამოსახულებით აღიწერება ასე

$$e = Zi \text{ (კონტურული ანალიზი)} \quad (11)$$

ანდა

$$I = YE \text{ (კვანძრი ანალიზი)}. \quad (12)$$

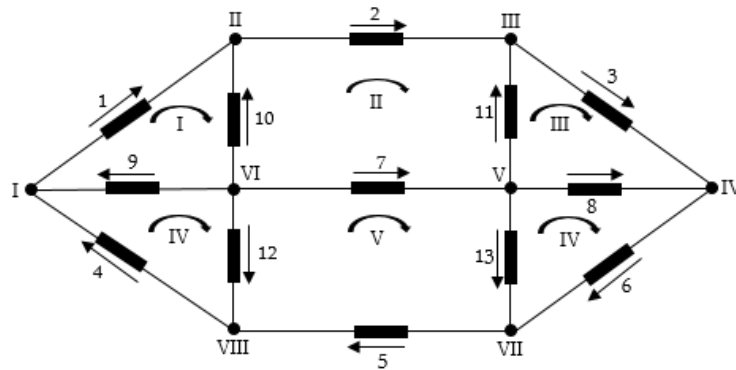
წრედის კონკრეტული სტრუქტურა დამოიძებულია ბაზისის არჩევაზე, სადაც ტენზორულმა გამოსახულება (11) ან (12) შეიძლება მიიღოს კონკრეტული ფორმა, გარდა ამისა, კონტურული ცვლადები რომლებიც ქმნიან k -განზომილების ქვესივრცეს თავდაპირველი n განზომილების სივრცის გარდაიქმნებიან მატრიცა C ის მეშვეობით, მაშინ როდესაც კვანძური ცვლადები რომლებიც ქმნიან $n-k$ -განზომილებიან ქვესივრცეს – მატრიცა A ს მეშვეობით. შესაბამისად k -განზომილების იმპედანსის ტენზორი Z გარდაიქმნება (7) ფორმულის მეშვეობით, და $n-k$ -განზომილების ტენზორი Y – (8) ფორმულის მეშვეობით. ყველა გარდაქმნა არის ისეთი რომ პრიმიტიური წრედის ქვეშ იგულისხმება რაღაც წრედი (ეს მართალიამ რადგან ამ დაშვებას არა აქვს რაიმე ფიზიკური წინააღმდეგობა), რომელიც ხასიათდება ფაქტით რომ, პირველი, ორივე იმპედანსის და გამტარიანობის მატრიცა არის n -განზომილებიანი და დიაგონული და მეორე კონტურის და კვანძის ცვლადები ქმნიან, n -განზომილებიან სივრცეს.

. ზემოთ მოხსენიებული ფაქტიდან გამომდინარე, ნებისმიერი წრედის დაგეგმვა საწყისი n ელემენტიდან (n შტო და მათი n იმპედანსი) დაიყვანება ბაზისების გარდაქმნაზე, ამ შემთხვევაში გეომეტრიული შინაარსით, ჩვენ საქმე გვაქვს ერთი და იგივე ტენზორულ ობიექტთან თუმცა აღწერილ სხვადასხვა ბაზისში (უკანასკნელი გარემოება გამომდინარეობს სიმპლავრის ინვარიანტობიდან)

,ხოლო საინჟინრო თვალსაზრისით, რომელიც უფრო განსაკუთრებულია, თვითოეული კონკრეტული წრედი წარმოიდგინება როგორც დამოუკიდებელი არსებული ობიექტი

თავი 3: მაგალითები და გამოყენება

მრავალკონტურიანი წრედი



ფიგურა 2. ელექტრული წრედი 6 კონტურით , 8 კვანძით და 13 შტოთი

მეორე ნახაზე მოცემული წრედიდან გამომდინარე, ჩვენ გვექნება მაქსიმუმ 6 განსხვავებული გამოსავალი რეზონანსული სიხშირეების ანუ იგივე საკუთრივი მნიშვნელობების ქსელის თვითოეული კონტურის . თუმცა მნიშვნელობები დამოკიდებულია შტოების მინიჭებაზე, მნიშვნელობები მოიცავს მინიმალური შტოების მნიშვნელობებიდან დაწყებული მაქსიმალურის ჩათვლით ,თუ წრედი აგებულია მე-13-ე გამოსახულებაში მოცემული პირობის შესაბამისად , ჩვენ გვექნება 2 შემთხვევა

$$k \leq m - 1 \tag{13}$$

სადაც: k კონტურების რაოდენობაა-, m -კვანძების

შემთხვევა 1.

$$r \leq m - 1$$

სადაც: r არის რაოდენობა იდენტური შტოების იმპედანსის

შედეგი : წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსული სიხშირეების შესაძლო რაოდენობა იქნება 1 ის ტოლი

შემთხვევა 2.

$$r > m$$

შედეგი : წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსული სიხშირეების რაოდენობა დამოკიდებულია (14) განტოლებაზე

$$r - (m - 1) \tag{14}$$

თუკი წრედი აგებულია (15) ით მოცემული პირობის მიხედვით, ჩვენ გვექნება ერთი შემთხვევა რომელშიც შედეგი დამოკიდებულია (16) გამოსახულებით

$$k > m \tag{15}$$

შემთხვევა 1.

$$r - (m - 1) \tag{16}$$

LC მნიშვნელობების მინიჭება;

ამ შემთხვევაში ჩვენ განვიხილავთ რომ წრედში მსგავსი შტოების რაოდენობა უფრო დიდია ვიდრე კვანძების, ამიტომ გამომავალი მნიშვნელობებიდან უნდა მოხდეს ერთზე მეტი წინასწარ განსაზღვრული მნიშვნელობის გენერირება როგორც კონტურის რეზონანსული სიხშირე ანდა მოცემული კონტურის საკუთრივი მნიშვნელობა, ჩვენ უპირატესობას ვანიჭებთ 9 შტოს ტოლი მნიშვნელობებით, თუკი ჩვენ ჩავუღრმავდებით განტოლებას რომელშიც თუკი შტოების რაოდენობა მეტი იქნება ვიდრე კვანძების რაოდენობა, მაშინ შემდგომი განტოლება მოგვცემს ზუსტ მნიშვნელობას

$$Q = r - (m - 1)$$

სადაც r - იდენტური შტოების რაოდენობა and m - წრედში კვანძების რაოდენობა

➤ $r = 9$

➤ $m = 8$

➤ $Q = 2$

ორი შტოს მნიშვნელობები მიღებული როგორც კუნტურის საკუთრივი მნიშვნელობები მსგავსი არიან თავდაპირველად მინიჭებული მნიშვნელობების

წრედის LC მნიშვნელობები განცალკევებული შტოებისთვის

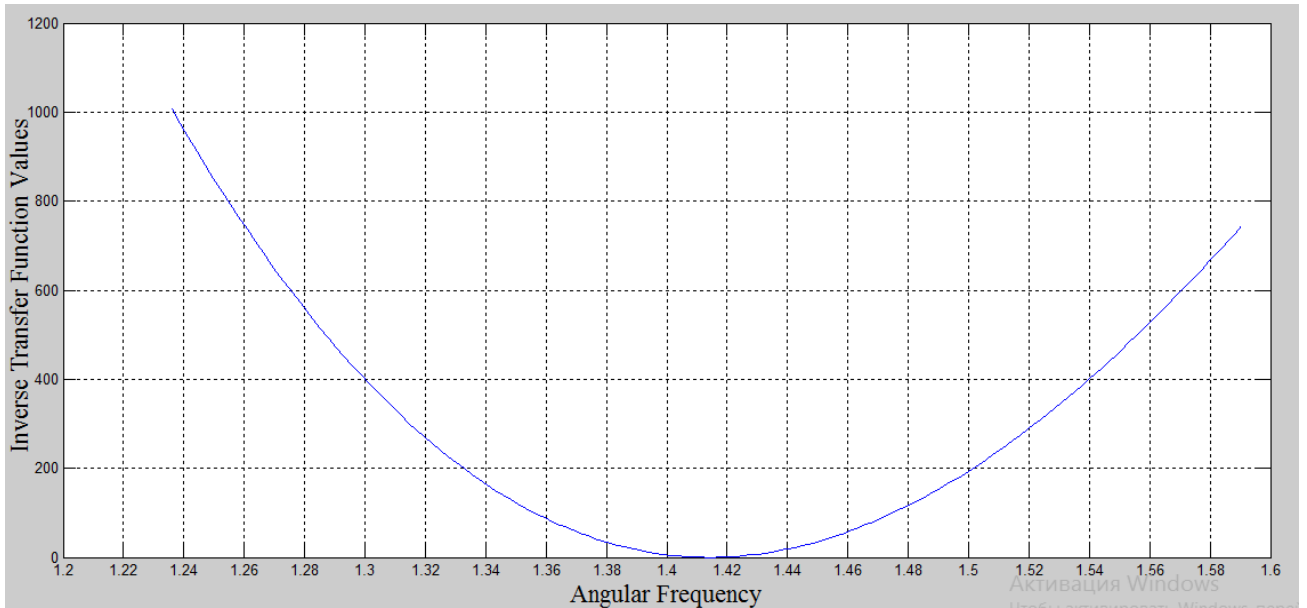
ცხრილი 1

	განცალკევებული შტოების ინდუქტიურობა და ტევადობა												
შტოები	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ინდუქტიურობა	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	11	12	13
ტევადობა	4	4	4	4	4	4	4	4	4	100	121	144	169

წრედის კონტურის საკუთრივი მნიშვნელობები ცხრილი 2

	კონტურები					
	1	2	3	4	5	6
საკუთრივი მნიშვნელობები (ω^2)	2	2	7.7	9.5	10.3	11.7
კუთხური სიხშირე (ω)	1.41	1.41	2.78	3.09	3.21	3.43

ცხრილ 2-ში მოცემული საკუთრივი მნიშვნელობები, რიცხვი 2 არის კონსერვატიული ხარისხით 2 რომელიც არის ლუწი მნიშვნელობა, აქედან გამომდინარე, კონსერვატიული საკუთრივი მნიშვნელობა 2 ის შესაბამისი გრაფი ჰორიზონტალურ ხაზიდან ოდნავ გადაწეულია გადაკვეთის გარეშე, სულ ოდნავ ეხება და შემდგომში იცვლის მიმართულებას როგორც ეს ფიგურა 3 შია მოცემული, ასევე აღსანიშნია ის რომ გადახრის წერილი მოცემული ფიგურა სამში, წარმოადგენს კონსერვატიული საკუთრივი მნიშვნელობიდან კვადრატულ ფესვს რაც იგივეა რაც კონტურის კუთხურ სიხშირეს



ფიგურა 3.ფიგურა 2 ის ფრაგმენტი : ფართობი ახლოს კონსერვატიულ საკუთრივ მნიშვნელობა 1.41-თან

განსაზღვრება 1

ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობა $\lambda_j^{(0)}$ არის i -ური კონსერვატიული თუკი ის ნარჩუნდება როდესაც i - რი რაოდენობის შეზღუდვების ზედდების დროს და ქრება როდესაც $i + 1$ რაოდენობის შეზღუდვების ზედდება ხდება.ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობა $\lambda_j^{(0)}$ კონსერვატიულია თუკი იგი ნარჩუნდება როცა $n-k$ შეზღუდვების ზედდების დროს, ანუ იგი არის საკუთრივი მნიშვნელობა წმინდა კონტურული წრედის და k -ური კონტურის წრედის

ამ განსაზღვრებიდან გამომდინარეობს შემდგომი

დებულება 1

წმინდა კონტურული წრედის(საბაზისო რხევითი სისტემა)ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობები, ჯერადობის ხარისხით r რომელიც მეტია ვიდრე კვანძების რაოდენობა k -ური კონტურის მქონე წრედებში , კონსერვატიულია

თუმცა ზემოთ დამტკიცებული დებულება არ სრულდება ყოველთვის, ანუ არ სრულდება ყოველთვის ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობების კონსერვატიულობა, რთული არაა ვაჩვენოთ რომ როდესაც დამოუკიდებელი კონტურების რაოდენობა ნაკლებია ან უდრის ვიდრე კვანძების რაოდენობა $k \leq m-1$, ანუ . როცა პირობა 2.11 არ სრულდება, ერთნაირი მნიშვნელობის ინდუქტიურობის და ტევადობის ამორჩევა $L_1 = L_2 = \dots = L_k$ and $C_1 = C_2 = \dots = C_k$) ყველა მთავარი შტოების იმპედანსებისთვის გამოიწვევს რომ შესაბამისი ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობა იქნება კონსერვატიული, რაც გამოწვევულია k -ური კონტურული წრედის შესაბამისი კონტურული მატრიცის Z^k სტრუქტურიდან.

განვიხილოთ წრედი რომელიც შეიცავს n შტოს და k კონტურს . ავღნიშნოთ k მთავარი შტოების შესაბამისი თანატოლო ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობები როგორც $\lambda_m^{(0)} = 1/L_i C_i$ ($i=1,2,\dots,k$). დავნომროთ აგრეთვე მთავარი შტოები 1 დან k -მდე და განვიხილოთ კონტურული მატრიცის Z^k . ნებისმიერი რიგის სტრუქტურა, თვითოეული მნიშვნელობა i -ური რიგის მოცემული მატრიცა Z^k -ის უდრის ან არამთავარი შტოების შესაბამისი იმპედანსების უარყოფით მნიშვნელობას რომლებიც შემოსაზღვრულია i -ური კონტურით ან ნულს, Z^k ის მთავარ დიაგონალზე მოცემული მნიშვნელობები წარმოდგენენ i კონტურის შესაბამისი შტოების იმპედანსების ჯამს, ეს ჯამი აგრეთვე შეიცავს i მთავარი შტოს იმპედანსაც, . აქედან გამომდინარეობს რომ

$$\det(Z^k(\lambda_m^{(0)}))=0,$$

რადგან ყველა მთავარი შტოს შესაბამისი იმპედანსები რომლებიც მოთავსებულია Z^k მატრიცის დიაგონალზე უდრის ნულს და აგრეთვე მოცემული მატრიცის შესაბამისი ყველა სვეტის ჯამის უდრის 0. რაც განაპირობებს კიდევ მოცემულ ტოლობას

დებულება 2

წმინდა კონტურული წრედის (საბაზისო რხევითი სისტემა) ნულოვანი რიგის საკუთრივი მნიშვნელობები არის კონსერვატიული გამომდინარე იქიდან რომ ან ყველა მთავარი შტოს იმპედანსები ერთმანეთის ტოლია ($L_1 = L_1 = L_2 = \dots = L_k$ and $C_1 = C_2 = \dots = C_k$, სადაც k – დამოუკიდებელი კონტურების რაოდენობა) ანდა ნებისმიერი შტოს შესაბამისი ტოლი იმპედანსების რაოდენობა r დიდია ვიდრე კვანძების წყვილის რაოდენობა ($m=n-k-1$) k -ური რიგის კონტურში .

ბოლო დებულება კიდევ უფრო ეფექტური, რადგან მოცემული პირობები შეიძლება გამოიყენებული იქნას წინასწარ განსაზღვრული საკუთრივი სიხშირეების მქონე წრედების სინთეზირებისას მარტივად ერთნაირი სახის საჭირო რაოდენობის ელემენტების(იმპედანსების) არჩევით პრიმიტიულ წრედში.

ზემოთ მოყვანილი მაგალითები ცხადყოფს იმ უმნიშვნელოვანეს მიღწევებსა და დასკვნებს რაც თემაშია წარმოდგენილი, თეორიებზე დაყრდნობით, ნებისმიერი ტიპის n - განზომილების მიმდევრობითად შეერთებული ინდუქტიური და ტევადობის LC წრედების n - შტოთი ანალიზი შეიძლება მოხდეს რათა გამოითვალოს სიხშირული გამომახილი კვანძების საკუთრივი მნიშვნელობების და საკუთრივი ვექტორების გაგებით აგრეთვე კონტურის ფენომენით, კვლევამ ცხადჰყო რომ მოცემული LC წრედების ანალიზის შესაბამისი მეთოდის შემუშავება მნიშვნელოვან გავლენას მოახდენს ფილტრებასთან დაკავშირებულ საკითხებზე, აგრეთვე ელექტრულ ინჟინერიაში შესაძლო საფრთხეების თავიდან აცილებასთან დაკავშირებულ საკითხებზე

დასკვნა

(კვლევის შედეგები)

შემდეგი შედეგები იქნა მიღწეული კვლევის მიზნების, სამეცნიერო სიახლეებისა და წვლილის შესაბამისად; მოხდეს მრავალკონტურიანი LC წრედების ანალიზი, სინთეზირება და შემუშავება

1. წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსური სიხშირეების (მახასიათებელი მრავალწევრის საკუთრივი მნიშვნელობები) მქონე მრავალკონტურიანი LC წრედების დიზაინის (სინთეზირების) ახალი მეთოდი შემუშავდა
2. წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსული სიხშირეების ხელმისაწვდომობის პირობები განისაზღვრა
3. წინასწარ განსაზღვრული რეზონანსული სიხშირეების მქონე მრავალკონტურიანი LC წრედების სინთეზირების რეალიზაციისთვის საჭირო პროგრამული უზრუნველყოფა შეიქმნა
4. მრავალი ტიპის მრავალკონტურიანი LC წრედების სინთეზირება მოხდა

გამოქვეყნებული ნაშრომები

1. Mylnikov. A. A & Duishev. K. M, (2014). Finite Dimensional Linear Operators in the Problems of the Theory of Electrical Circuits, *Journal of Technical Science and Technologies*, 3(2), p. 25-29
2. Mylnikov. A. A & Duishev. K. M, (2015). On the problem of LC-circuits eigenvalues multiplicity, *Journal of Technical Science and Technologies*, 4(1), p. 31-35
3. Duishev. K. M, (2015). Analysis and Synthesis of Resonance and Antiresonance Processes of Linear LC Circuits, *Journal of Science, Innovation Technologies of Kyrgyzstan*, 5, p.16-18
4. Duishev. K. M, (2016). Developing a New Method of Designing (Synthesis) Multiloop LC-Circuits with Predefined Values of Resonance Frequencies. Science and Technology-Conference of Youth Scientists, Candidates and Students.