

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ხელნაწერის უფლებით

ალექსანდრე დემეტრაშვილი

ავტომატური რეგულირების სისტემების კორექციის
სინთეზი ფესვური ჰოდოგრაფებით

სადოქტორო პროგრამა: მართვის სისტემები ავტომატიზაცია და

ტესტ-ინჟინერინგი

შიფრი: 0403

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2019 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

მართვის სისტემების დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფ. ქეთევან კოტრიკაძე

რეცენზენტები: პროფ. თენგიზ მუსელიანი

პროფ. ნინო მჭედლიშვილი

დაცვა შედგება 2019 წლის "20"-ივლისი 13:00, -----
საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----
ინფორმატიკის და მართვის სისტემების ფაკულტეტზე-----
----- საუნივერსიტეტო სადისერტაციო
საბჭოს სხდომაზე,
კორპუსი -----VI-----, აუდიტორია ---206----- მისამართი:
0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს მდივანი თინათინ
კაიშაური

სადოქტორო თემის: “ავტომატური რეგულირების სისტემების კორექციის სინთეზი ფესვური ჰოდოგრაფებით”

მოკლე მიმოხილვა

სადისერტაციო ნაშრომი, „ავტომატური რეგულირების სისტემის კორექციის სინთეზი ფესვური ჰოდოგრაფებით,“ ეხება ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პრობლემას, როგორცაა მართვის ავტომატური რეგულირების სისტემის დაგეგმარება.

ავტომატური რეგულირების სისტემის (არს) დაგეგმარების პროცესი მოიცავს სამ ძირითად ეტაპს: ენერგეტიკული ანგარიში, დინამიკური ანალიზი და სინთეზი და ექსპერიმენტალური კვლევები.

ენერგეტიკული ანგარიშის შედეგად მიიღება ავტომატური რეგულირების სისტემის ფუნქციონალური სქემა. დაგეგმარების ამ ეტაპზე ხდება არს-ის ძირითადი ელემენტების შერჩევა.

დინამიკის ანალიზის სინთეზის ეტაპის საწყისი მონაცემებია: სისტემის ენერგეტიკული ანგარიშის შედეგად მიღებული სისტემის უცვლელი ნაწილის სქემა და ტექნიკური დავალებაში მოცემული და მოთხოვნილი დინამიკის თვისობრივობის მაჩვენებლების მიმართ.

ენერგეტიკული ანგარიშის შედეგად მიღებული ავტომატური რეგულირების სისტემა უმეტეს შემთხვევაში არამდგრადია ან თუ მდგრადია მისი დინამიკა მიუღებელია. ტექნიკური დავალების მოთხოვნების შესაბამისი დინამიკური პროცესის მისაღებად, აუცილებელია არს-ის სქემაში შეტანილი იქნას ისეთი ცვლილებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სასურველ დინამიკურ პროცესს.

ყველა ამ თვისებებს აკმაყოფილებს პასიური RC ან RLC ოთხპოლუსები. რადგანაც მოცემული ინდუქტივობის მქონე კოჭების დამზადება ტექნოლოგიურ სირთულეებთანაა დაკავშირებული, ამიტომ პრაქტიკაში, გამონაკლისის გარეშე, იყენებენ მაკორექტირებერებელ პასიურ RC წრედებს, ასეთი წრედების სქემები ხშირად მოცემულია სპეციალურ

ცხრილებში რომლებშიც სქემის გარდა მითითებულია: წრედის გადაცემის ფუნქცია, პარამეტრების საანგარიშო ფორმულები და სიხშირული მახასიათებლები.

არს-ის დაგეგმარების ბოლო ეტაპია სისტემის ექსპერიმენტული კვლევა. ამ ეტაპის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს მაკორექტირებელი RC წრედების პარამეტრების ისეთი მნიშვნელობების მოძებნა და დაყენება, რომლებიც უზრუნველყოფენ სასურველ დინამიკურ პროცესს.

მაკორექტირებელი წრედების პარამეტრების ექსპერიმენტალურ კვლევას ყოველთვის არ მივყავართ სასურველ შედეგამდე და უმეტეს შემთხვევაში აუცილებელი ხდება დინამიკის სინთეზის შედეგად მიღებული სქემის შეცვლა.

რა უნდა გაკეთდეს იმისათვის, რომ დინამიკის სინთეზის შედეგად მიღებული მაკორექტირებელი მოწყობილობის სქემამ, პრაქტიკულად უზრუნველყოფს სასურველი დინამიკური პროცესი? სწორედ ამ კითხვაზე პასუხის ძიების პროცესმა მიგვიყვანა ამ ნაშრომამდე.

პრობლემის აქტუალობა. მაკორექტირებელი სქემების ცხრილებში მოცემულია მათი გადაცემის ფუნქციები, პარამეტრების საანგარიშო ფორმულები და ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ სიხშირული მახასიათებლები (ლასმ), იმ შემთხვევისთვის, როცა მაკორექტირებელი წრედის შემავალი სიგნალის წყაროს შიდა წინალობა ტოლია ნულის და გასავალი წრედის ანუ დატვირთვის წინალობა უსასრულოდ დიდია.

პრაქტიკაში მეორე პირობა ძირითადად დაცულია. ამ მიზნის მიღწევა მარტივად შეიძლება დატვირთვის წრედთან მიმდევრობით დამატებითი წინალობის ჩართვით. მაკორექტირებელი RC წრედების სისტემაში ჩართვა, ძირითადად მცირე სიმპლავრის წრედში ხდება. აქედან გამომდინარე, მაკორექტირებელი წრედის შემავალი სიგნალის წყაროს შიდა წინალობა ზოგჯერ რამოდენიმე ასეული ომის რიგისაა და გარდა ამისა, იგი შეიცავს როგორც ინდუქციურ, ასევე ტევადურ მდგენელებს.

სინთეზის ამოცანის ამოხსნისას შსწ–ს შიდა წინაღობას, როგორც წესი, უგულებელყოფენ, რასაც მივყავართ იმ განსხვავებამდე, რაც რეალურ და სასურველი დინამიკას შორის არსებობს. გამოდის, რომ კორექტირებული არს–ის კომპლექსური სტრუქტურა განსხვავდება იმ სტრუქტურისგან, რომელიც დინამიკის სინთეზის ამოცანის ამოხსნის შედეგადაა მიღებული.

თანამედროვე მართვის ტექნოლოგიით თუ ვისარგებლებთ, შეიძლება ითქვას, რომ საქმე გვაქვს სტრუქტურულ რობასტულობასთან (სისტემის რეალური სტრუქტურა განასხვავდება საანგარიშო სტრუქტურისგან).

ისმის კითხვა: რა უნდა გაკეთდეს იმისათვის, რომ მაკორექტირებელი მოწყობილობის სინთეზის დროს გათვალისწინებული იქნას შსწ–ს შიდა წინაღობის ოპერატორი?

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია კორექტირებული ავტომატური რეგულირების სისტემის სტრუქტურული რობასტულობის კვლევა და კომპენსაცია, ანუ ისეთი ღონისძიებების განხორციელება, რომლებიც უზურნველყოფენ მაკორექტირებელი წრედების ცხრილური გადაცემის ფუნქციის რეალიზაციას, შემავალი სიგნალის წაროს (შსწ) შიდა წინაღობას ოპერატორის მხედველობაში მიღებით.

კვლევის ძირითადი ამოცანაა შენარჩუნებულ იქნას მაკორექტირებელი წრედის გადაცემის ფუნქცია და მისი პარამეტრების ის მნიშვნელობები, რომლებიც დინამიკის სინთეზის ამოცანის ამოხსნის შედეგად მიიღება. ამ ამოცანის გადჭრა სიხშირული მეთოდის გამოყენებით შეუძლებელია, ამიტომ მიღებული იქნა, ჩვენი აზრით, ერთადერთი სწორი გადაწყვეტილება: შემავალი სიგნალის წაროს შიდა წინაღობის ოპერატორის კომპენსაციის ამოცანა გადაგვეჭრათ ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდის გამოყენებით.

ჩვენი ამოცანის გადასაწყვეტად ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა ფესვური ჰოდოგრაფები, რომელიც მიღებული იქნა არს–ის კორექციის რამოდენიმე პარამეტრის ერთდროული ცვლილების შედეგად.

სამეცნიერო სიახლეა მაკორექტირებელი წრედების სინთეზის ამოცანის ამოხსნისას შემავალი სიგნალის წყაროს (შსწ) შიდა წინააღმდეგობის ოპერატორის მხედველობაში მიღება და მისი კომპენსაციის ღონისძიებების დადგენა და რეალიზაცია.

ნაშრომის შედეგების პრაქტიკული რეალიზაცია საშუალებას იძლევა გაზრდილი იქნას ავტომატური რეგულირების სისტემის კორექციის სიზუსტე, კერძოდ, დინამიკის სინთეზის შედეგად მიღებული თეორიული შედეგი იმდენად ახლო იქნება სასურველ შედეგთან, რომ კორექციის ექსპერიმენტული კვლევის აუცილებლობა ან გამოირიცხება ან საჭირო გახდება კორექციის პარამეტრების უმნიშვნელო ცვლილებები.

დაცვაზე გამოგვაქვს კორექტირებული ავტომატური რეგულირების სისტემის (არს) მაკორექტირებელი წრედების შემავალი სიგნალის წყაროს (შსწ) შიდა წინააღმდეგობის ოპერატორის კომპენსაციის ამოცანის გადაჭრა ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდის გამოყენებით.

ნაშრომის მოცულობაა ნაბეჭდი ტექსტის 115 გვერდი. ნაშრომი შეიცავს ძირითად ტექსტს: შესავალს, ლიტერატურის მიმოხილვას, პირველ, მეორე და მესამე თავებს, დასკვნას, გამოყენებულ ლიტერატურის სიას და დანართ 1, 2.

თითოეულ თავს წინ უძღვის მოკლე წინასიტყვაობა. შესავალ ნაწილში მოკლედ არის განხილული სადისერტაციო თემა, პრობლემის აქტუალობა, კვლევის ძირითადი ამოცანა, სამეცნიერო სიახლე, ნაშრომის შედეგების პრაქტიკული რეალიზაციის შესაძლებლობები.

ლიტერატურის მიმოხილვა მოიცავს მსოფლიოში ცნობილი წიგნის რ. დორფის და რ. ბიშოპის წიგნი „თანამედროვე მართვის სისტემები“ მიმოხილვას დისერტაციის კვლევის მეთოდების თემატიკის გათვალისწინებით.

სადისერტაციო ნაშრომის კვლევა/განსჯა მოიცავს სამ თავს.

პირველ თავში შედის ხუთი ქვეთავი. მასში განხილულია ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდის გრაფო-ანალიზური საფუძვლები.

მეორე თავი მოიცავს სამ ქვეთავს. ავტომატური რეგულირების სისტემების კორექციის მეთოდებს, მათ სქემებს; მოყვანილია შესაბამისი მაგალითი.

მესამე თავი შედგება ოთხი ქვეთავისგან. მოცემულ თავში განიხილება მაკორექტირებელი რგოლების სინთეზი ფესვური ჰოდოგრაფების გამოყენებით. განხილულია მაკორექტირებელი წრედების სტრუქტურული ანალიზი; სხვადასხვა სახის მაგალითები; მიღებულია შესაბამისი შედეგები.

სადისერტაციო ნაშრომის ბოლოში მოცემულია დასკვნა და დანართები 1, 2, სადაც ჩატარებულია ფესვური ჰოდოგრაფების ანალიზი პროგრამული პაკეტი Matlab-ის საშუალებით.

ლიტერატურის მიმოხილვა

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წიგნი თანამედროვე ლიტერატურიდან, რომელიც არსებობს ინჟინრებისთვის, ეს არის ცნობილი ამერიკელი მეცნიერების რ. დორფის და რ. ბიშოპის წიგნი „თანამედროვე მართვის სისტემები.“ ჩვენი ინტერესი ამ წიგნმა გამოიწვია იმ მხრივ, რომ მასში დაწვრილებით არის განხილული თანამედროვე მართვის სისტემებში ფესვური ჰოდოგრაფის გამოყენების შესაძლებლობები; მათი საშუალებით სხვადასხვა სირთულის ამოცანების გადაჭრის მაგალითები, მათ შორის მაკორექტირებელი რგოლებისთვისაც; აღწერილია ავტომატური რეგულირების სისტემებში მაკორექტირებელი რგოლების ანალიზის შესაძლებლობები ფესვური ჰოდოგრაფის მეთოდით.

აღნიშნულ წიგნში მოყვანილი ზოგიერთი თეორიები და ფესვური ჰოდოგრაფების აგების თავისებურებანი, წესები და მაგალითები. ეს თემა კავშირშია ჩვენს სადისერტაციო ნაშრომთან. აქვე ავხსნით იმ რიგ განსხვავებებს და სიახლეებს, რომელიც არსებობს დისერტაციაში მოცემულ კვლევებსა და „თანამედროვე მართვის სისტემები“ სახელმძღვანელოში აღწერილ კვლევის მეთოდებს შორის.

როგორც ავტორები აღნიშნავენ, ფესვთა განლაგება კომპლექსურ ფესვთა სიბრტყეში შესაძლებელია დადგინდეს გრაფიკული მეთოდით, იმ შემთხვევაში, როდესაც იცვლება მახასიათებელი განტოლების მხოლოდ ერთი ან რამდენიმე პარამეტრი. ამ შემთხვევაში, მიიღება განტოლების ფესვთა მოძრაობის ტრაექტორია ფესვთა კომპლექსურ სიბრტყეში. სწორედ ეს არის ფესვური ჰოდოგრაფი (Hodos - ბერძნულად გზა, ტრაექტორია, გრაფიკი).

აღსანიშნავია, რომ სადისერტაციო ნაშრომში ჩვენ განსხვავებულ მეთოდს ვიყენებთ მაკორექტირებელი რგოლების ანალიზისას ფესვური ჰოდოგრაფებით. კერძოდ, ფესვური ჰოდოგრაფების გრაფიკებთან ერთად ვსარგებლობთ მათი ანალიზური გამოსახულებებითაც, რაც შესაძლებლობას იძლევა ფესვური ჰოდოგრაფი დადგენილი და აგებული იქნას გაცილებით მარტივად და იმ შემთხვევებშიდაც, როდესაც იცვლება განტოლების არა მარტო ერთი, არამედ რამდენიმე პარამეტრი ერთდროულად.

აღნიშნული მეთოდი ეფექტურია ავტომატური რეგულირების და მართვის სისტემების ანალიზისა და სინთეზის ამოცანების გადასაჭრელად.

როგორც ცნობილია, ფესვური ჰოდოგრაფის მეთოდი პირველად მართვაში გამოიყენა ამერიკელმა მეცნიერმა ევანსმა 1948 წელს და ფართო გავრცელება ჰპოვა საინჟინრო პრაქტიკაში. ის შესაძლებლობას იძლევა განსაზღვროს მახასიათებელი განტოლების პოლუსების მგრძობიარობა პარამეტრების ცვლილების მიმართ. ჩვენს შემთხვევაში მოგვყავს პრაქტიკული მაგალითები მაკორექტირებელი რგოლებისთვის.

წიგნში განხილულია ფესვური ჰოდოგრაფის ცნება. მოყვანილია ერთკონტურიანი და მრავალკონტურიანი შეკრული სისტემებისთვის გადაცემის ფუნქციები, მათი ფუნქციონალური სქემები, ცვლადი პარამეტრები და მათი საშუალებით დადგენილია ფესვური ჰოდოგრაფის განტოლებები.

წიგნში მოყვანილია სხვადასხვა სახის ამოცანების გადაწყვეტის მეთოდოლოგია მართვის სისტემებში, ფესვური ჰოდოგრაფის გამოყენებით.

მაგალითად, სასწორის ავტომატური მართვის სისტემა და მისი პარამეტრების სინთეზის ამოცანის გადაჭრა ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდით; გადაწყვეტილია პარამეტრების შერჩევის ამოცანა ფესვური ჰოდოგრაფებით; ფესვური ჰოდოგრაფის და მგრძობიარობის პრობლემის გადაჭრის გზები ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდით; PID რეგულატორების კვლევა ასევე ფესვური ჰოდოგრაფის მეთოდით; სინთეზის ამოცანის გადაჭრა ლაზერული მანიპულატორისთვის და რობოტებისთვის ასევე ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდით; განხილულია პროგრამული პაკეტი Matlab-ის შესაძლებლობები ფესვური ჰოდოგრაფების ასაგებად; მოყვანილია სხვადასხვა სახის გადაცემის ფუნქციების ცხრილები და შესაბამისი ფესვთა ტრაექტორიები და ა. შ.

ზოგადად, ლიტერატურის მიმოხილვა მოიცავს არსებულ ლიტერატურაში და სადისერტაციო ნაშრომში მოყვანილი კვლევის შედეგებით ანალიზს.

1. ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდის გრაფო-ანალიზური საფუძვლები

ფესვების ტრაექტორიების ანუ ფესვური ჰოდოგრაფების დასადგენად იყენებენ წესებს, რომლებიც გამომდინარეობენ ნამდვილკოეფიციენტებიანი პოლინომის ფესვების თვისებებიდან და იმ დამოკიდებულებებიდან, რომლებიც არსებობენ პოლინომის ფესვებსა და კოეფიციენტებს შორის.

გარდა ამისა, ფესვური ჰოდოგრაფების ასაგებად სასარგებლოა მათი ანალიზური კვლევა, რომელიც რიგ შემთხვევებში მნიშვნელოვნად ამარტივებს ფესვური ჰოდოგრაფების აგებას და მის ცალკეულ წერტილებში ცვლადი პარამეტრის ან პარამეტრების მნიშვნელობების დადგენას.

აღსანიშნავია, რომ ფესვური ჰოდოგრაფების აგების საშუალებას მარტო გრაფიკული მეთოდი არ იძლევა. სწორედ ამან განაპირობა სადისერტაციო ნაშრომის პირველი თავის შინაარსი.

ამ თავში მოცემულია ფესვური ჰოდოგრაფების აგების ანალიზური საშუალებები, მოყვანილია ის არსებითი ცნებები და თეორემები, რომლებიც გამოიყენება შემდგომ თავებში.

აქვე დიდი ადგილი აქვს დათმობილი ფესვური ჰოდოგრაფების ანალიზურ კვლევას. კერძოდ, გამოყენებულია ფესვური ჰოდოგრაფების განტოლებები; მიღებულია ჰოდოგრაფის ნებისმიერ წერტილში პარამეტრის მნიშვნელობის გამოსათვლელი ფორმულები; დადგენილია პარამეტრების კრიტიკული მნიშვნელობები.

თავის ბოლოში ჩამოყალიბებულია ფესვური ჰოდოგრაფების აგების გრაფო-ანალიზური საფუძვლები. ნაშრომის მომდევნო თავებში მითითებულია პირველი თავის ყველა ის ფორმულები და თეორემები, რომლებიც გამოიყენება ამა თუ იმ პოლინომის ფესვების ტრაექტორიების ანუ ფესვური ჰოდოგრაფების დასადგენად.

ვთქვათ, მოცემულია ალგებრული განტოლება:

$$\sum a_i S^{n-i} = 0 \quad (1)$$

სადაც a_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) ნამდვილი რიცხვებია, ხოლო S ცვლადი.

(1) განტოლება შეიძლება იყოს წრფივი ავტომატური რეგულირების სისტემის (არს) მახასიათებელი განტოლება.

ვთქვათ (1) განტოლებას a_i კოეფიციენტები არს-ის k პარამეტრის წრფივი ფუნქციებია, მაშინ (1) განტოლება შეიძლება ასე ჩავწეროთ.

$$P_n(S) + kQ_m(S) = 0, \quad (2)$$

სადაც

- $P_n(S)$ პოლინომის კოეფიციენტებია $a_i^* = a_i - kC_j^{**}$ ($i = 1, 2, \dots, n$);

- $Q_m(S)$ პოლინომის კოეფიციენტებია C_j^{**} ($j = 1, 2, \dots, m$).

$P_n(S)$ არის n -ური რიგის პოლინომი, ხოლო $Q_m(S)$ m -ური რიგის პოლინომი.

დავუშვათ, რომ არს-ის k პარამეტრი იცვლება 0-დან $+\infty$ -მდე და საჭიროა (1) განტოლების ფესვების მოძრაობის ტრაექტორიების დადგენა.

ცხადია, რომ ამ პროცესში საჭირო იქნება (1) განტოლების ფესვების ცოდნა, როცა $k = 0$ ან $k \rightarrow \infty$. თუ $k = 0$ მაშინ (2) განტოლების ფესვები დაემთხვევა

$$P_n(S) = 0 \quad (3)$$

განტოლების ფესვებს, ხოლო როცა $k \rightarrow \infty$ (11) განტოლების ფესვები მიისწრაფიან

$$Q_m(S) = 0 \quad (4)$$

განტოლების ფესვებისკენ, აქედან გამომდინარე (3) განტოლების $P_i(S)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) ფესვებს, ფესვური ჰოდოგრაფების საწყისს წერტილებს უწოდებენ, ხოლო (4) განტოლების N_j ($j = 1, 2, \dots, m$) ფესვებს ჰოდოგრაფების საბოლოო ან ზღვრული წერტილები ჰქვია. აქაც და შემდეგაც ფესვური ჰოდოგრაფების ქვეშ ვგულისხმობთ კომპლექსურ სიბრტყეში (1) განტოლების ფესვების მოძრაობის ტრაექტორიებს, როცა არს-ის პარამეტრი $k \in [0; +\infty)$.

განტოლების (1) საწყისი და ზღვრული წერტილები ყოველთვის ფესვთა კომპლექსური სიბრტყის სასრულო არეში მდებარეობენ. ფესვური ჰოდოგრაფის ასაგებად აუცილებელია ჯერადი ფესვების ცოდნა, რომლისთვისაც გამოიყენება ჯერადი ფესვების განტოლება:

$$P_n(S) \cdot Q_m'(S) - Q_m(S) \cdot P_n'(S) = 0. \quad (5)$$

ფესვური ჰოდოგრაფების ასაგებად არსებობს თეორემები, რომლებიც აიოლებენ მათ აგებას. თეორემების გარდა ვისარგებლებთ იმ დამოკიდებულებებით, რომლებიც არსებობს პოლინომის ფესვებსა და მის კოეფიციენტებს შორის. ამ გზით შესაძლებელი ხდება ფესვური ჰოდოგრაფების აგება წერტილის ნებისმიერი სიხშირით და იგი ძალზედ მოხერხებულია გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებებში ჰოდოგრაფების ასაგებად.

ფესვური ჰოდოგრაფების აგების მიმდევრობა შესაძლებელია შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ:

1– ფესვთა კომპლექსურ სიბრტყეზე დატანილი უნდა იქნას P_i საწყისი და N_j ზღვრული წერტილები;

2 – ნამდვილი ღერძი დაყოფილი უნდა იქნას დადებით და უარყოფით ჰოდოგრაფებად;

3 – შედგენილი უნდა იქნას ჯერადი ფესვების (5) განტოლება. ამ განტოლების მარტივი ნამდვილი ფესვები (2) განტოლების ორჯერადი ფესვებს წარმოადგენენ, ორჯერადი ნამდვილი ფესვი (2) განტოლების სამჯერადი ფესვია და ა.შ.

(5) განტოლების კომპლექსური შეუღლებული ფესვები ჰოდოგრაფის ჯერად ფესვებს წარმოადგენენ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ისინი აკმაყოფილებენ ძირითად ფაზურ განტოლებას:

$$\sum_{i=1}^n \varphi_i - \sum_{j=1}^m \psi_j = \pi N \mid N \in Z \quad (6)$$

4 – ფესვთა კომპლექსურ სიბრტყეზე უნდა დავიტანოთ ცენტრი

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{j=1}^m N_j}{n - m}$$

და ავავოთ $(n - m)$ სხივიანი ვარსკვლავი დახრის კუთხეებით

$$\varphi = \frac{\pi}{n - m} \cdot \zeta$$

ადაც $\zeta = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

5 – (6) განტოლების საშუალებით უნდა ვიპოვოთ კომპლექსური ჯერადი ფესვიდან ჰოდოგრაფების გამოსვლის მიმართულებები;

6 – ფესვური ჰოდოგრაფების სახის დადგენის შემდეგ უნდა ვიპოვოთ k პარამეტრის მნიშვნელობა ჰოდოგრაფის ნებსმიერ S^* წერტილში

$$k = \frac{\prod_{i=1}^n (S^* - P_i)}{\prod_{j=1}^m (S^* - N_j)} \quad (7)$$

ფესვური ჰოდოგრაფების აგებისას ეფექტურია თუ გამოვიყენებთ ფესვურ ჰოდოგრაფების ანალიზურ თეორიას.

ფესვური ჰოდოგრაფების განტოლების მისაღებად ვისარგებლოთ $S = \delta + j\omega$ კომპლექსური არგუმენტიანი პოლინომის იგივეური გარდაქმნით, რომელსაც $P_n(S)$ პოლინომისთვის აქვს სახე:

$$P_n(S) = P_n(\delta + j\omega) = \left[P_n(\delta) - \frac{\omega^2}{2!} P_n''(\delta) + \frac{\omega^4}{4!} P_n^{(4)}(\delta) - \dots \right] + j\omega \left[P_n'(\delta) - \frac{\omega^2}{3!} P_n'''(\delta) + \frac{\omega^4}{5!} P_n^{(5)}(\delta) - \dots \right] \quad (8)$$

სადაც $P_n(S)$ მიიღება $P_n(S)$ -დან S -ის δ -თი შეცვლით, ხოლო

$$P_n^{(i)}(\delta) = \frac{d^i P_n(\delta)}{d\delta^i}$$

წარმოადგენს S -ის i -ური რიგის წარმოებულს δ -თი. აღსანიშნავია, რომ (8)-ის კვადრატულ ფრჩხილებში მოთავსებული ჯამები მოცემული n -თვის ყოველთვის სასრულოა.

ფესვური ჰოდოგრაფის განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\left[P_n(\delta) - \frac{\omega^2}{2!} P_n''(\delta) + \dots \right] \cdot \left[Q_m'(\delta) - \frac{\omega^2}{3!} Q_m'''(\delta) + \dots \right] - \left[P_n'(\delta) - \frac{\omega^2}{3!} P_n'''(\delta) + \dots \right] \cdot \left[Q_m(\delta) - \frac{\omega^2}{2!} Q_m''(\delta) + \dots \right] = 0 \quad (9)$$

ასევე აქვე შეგვიძლია განვსაზღვრო პარამეტრების მნიშვნელობები:

$$k = \frac{P_n(\delta) - \frac{\omega^2}{2!} P_n''(\delta) + \frac{\omega^4}{4!} P_n^{(4)}(\delta) - \dots}{Q_m(\delta) - \frac{\omega^2}{2!} Q_m''(\delta) + \frac{\omega^4}{4!} Q_m^{(4)}(\delta) - \dots} \quad (10)$$

$$k = - \frac{P_n'(\delta) - \frac{\omega^2}{3!} P_n'''(\delta) + \frac{\omega^4}{5!} P_n^{(5)}(\delta) - \dots}{Q_m'(\delta) - \frac{\omega^2}{3!} Q_m'''(\delta) + \frac{\omega^5}{5!} Q_m^{(5)}(\delta) - \dots} \quad (11)$$

(10) ფორმულა შეიძლება გამოყენებულ იქნას k პარამეტრის მნიშვნელობის საპოვნელად ფესვური ჰოდოგრაფის ნებისმიერ $\delta + j\omega$ წერტილში, ხოლო (11)–ით k გამოითვლება მხოლოდ კომპლექსურ წერტილებში.

კერძო შემთხვევაში, როცა $\omega = 0$, მაშინ (9)–დან მიიღება ჯერადი ნამდვილი ფესვები (განტოლება):

$$P_n(\delta) \cdot Q_m'(\delta) - P_n'(\delta) Q_m(\delta) = 0 \quad (12)$$

ხოლო, თუ $\delta = 0$ მაშინ (9)–დან მივიღებთ კრიტიკული სიხშირეების განტოლებას:

$$\left[P_n(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{2!} P_n''(0) + \dots \right] \left[Q_m'(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{3!} Q_m'''(0) + \dots \right] - \left[P_n'(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{3!} P_n'''(0) + \dots \right] \left[Q_m(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{2!} Q_m''(0) + \dots \right] = 0 \quad (13)$$

ანუ (13) განტოლების $\omega_{კრ}$ ამონახსნები შესაბამეა (2) განტოლების იმ ფესვებს, რომლებიც k პარამეტრის რაღაც მნიშვნელობებისთვის წარმოსახავით ღერძზე ხვდებიან ე. ი. $\pm j\omega_{კრ}$ (2) განტოლების ფესვებს წარმოადგენენ.

კრიტიკულ წერტილებში k პარამეტრის მნიშვნელობის საპოვნელად (10) და (11) ფორმულებში უნდა ჩავსვათ $\delta = 0$ და $\omega = \omega_{კრ}$:

$$k_{კრ} = \frac{P_n(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{2!} P_n''(0) + \dots}{Q_m'(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{2!} Q_m'''(0) + \dots} \quad (14)$$

$$k_{კრ} = - \frac{P_n'(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{3!} P_n'''(0) + \dots}{Q_m(0) - \frac{\omega_{კრ}^2}{3!} Q_m''(0) + \dots} \quad (15)$$

ფესვური ჰოდოგრაფების განტოლება და ჰოდოგრაფის ნებისმიერ წერტილში პარამეტრის საანგარიშო ანალიზური გამოსახულებები ფ3-ს

თეორემებთან ერთად, მნიშვნელოვნად ამარტივებს ფესვების ტრაექტორიების აგებას.

ფესვური ჰოდოგრაფების ასაგებად ჩვენ ვიყენებთ, როგორც მათ გრაფიკულ თვისებებს, ასევე - ანალიზურ გამოსახულებებსაც. გრაფო-ანალიზური მეთოდი საშუალებას იძლევა აგებული იქნას ფესვური ჰოდოგრაფების ოჯახი, როცა ადგილი აქვს (1) განტოლების რამოდენიმე პარამეტრის ერთდროულ ცვლილებას. ასეთი ოჯახის მისაღებად ერთი პარამეტრი იცვლება უწყვეტად, ხოლო დანარჩენი პარამეტრებს ვცვლით დისკრეტულად მუდმივი ან ცვლადი ბიჯით.

ამავე თავში განვიხილევით ნორმირებული ალგებრული განტოლების ფესვური ჰოდოგრაფების აგების ანალიზურ საფუძვლებს. როცა ადგილი აქვს ამ განტოლების კოეფიციენტების ფართო დიაპაზონში ცვლილებას. ამ ტიპის ამოცანების ამოხსნის დროს უმჯობესია გამოყენებულ იქნას ნორმირებული განტოლება. ასეთი მიდგომა ჯერ ერთი უკეთ ამცირებს ცვლად პარამეტრების რაოდენობას, ხოლო მეორე მხრივ შესაძლებელია ფესვური ჰოდოგრაფების უნიფიკაცია.

კერძოდ, საწყისი წერტილები მდებარეობენ ერთეულოვან წრეწირზე და ფესვების მნიშვნელობებია:

$$t_i = e^{\frac{\pi(2i+1)}{n}}, \quad (17)$$

სადაც $i = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$. ფესვური ჰოდოგრაფის $(n - 1)$ ზღვრული წერტილი კომპლექსური სიბრტყის კოორდინატთა სათავეშია ე. ი. $t = 0$ ჰოდოგრაფის $(n - 1)$ ჯერადობის მქონე ზღვრული წერტილია (აქ t - ცვლადია).

2. ავტომატური რეგულირების სისტემების კორექციის მეთოდები

სადისერტაციო ნაშრომის მეორე თავი დათმობილი აქვს ავტომატური რეგულირების სისტემების კორექციის მეთოდებს. ამ თავში დინამიკის

ნებისმიერი კორექცია, ტრადიციული მიდგომისგან განსხვავებით, განიხილება, როგორც სტრუქტურული რობასტულობის წყარო და მოცემულია მისი დასაბუთება.

აქვე განსაკუთრებული ყურადღება აქვს დათმობილი არს-ის მიმდევრობითი კორექციის ტექნიკურ საკითხებს. განხილულია მიმდევრობითი კორექციის რეალიზაციის ყველა შესაძლო ვარიანტები, როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი დენის ავტომატური რეგულირების სისტემაში.

ენერგეტიკული ანგარიშის შედეგად შეიძლება აგებული იქნას ავტომატური რეგულირების სისტემის ფუნქციონალური სქემა ელემენტების ტიპის ან პარამეტრების მითითებით. სქემის ყველა ელემენტი შერჩეულია ტექნიკური მოთხოვნების შესაბამისად და რეგულირებით ობიექტის თვისებებიდან გამომდინარე.

ამ ელემენტების სხვა ელემენტებით შეცვლა არასასურველია ან შეუძლებელი. ენერგეტიკული ანგარიშის შედეგად მიღებულ სისტემის ამ ნაწილს, რომელიც შემდგომში შენარჩუნებული უნდა იქნას, სისტემის უცვლელ ნაწილს უწოდებენ. წრფივ არს-ში იგი შეიძლება დახასიათებული იქნას გადაცემის ფუნქციით $W_{UN}(S)$, რომელსაც არს-ის უცვლელი ნაწილის გადაცემის ფუნქციას უწოდებენ.

არს-ის დაგეგმარების მეორე ეტაპზე ხდება სისტემის დინამიკის ანალიზი. პირველი ეტაპის შედეგად მიღებული არს-ი შეიძლება აღმოჩნდეს არამდგრადი ან მდგრადი მიუღებელი დინამიკით (დიდი გადარეგულირება, რხევები, ხანგრძლივი გარდამავალი პროცესი). ასეთ შემთხვევაში აუცილებელი ხდება სპეციალური ღონისძიებების განხორციელება, რათა არს-ის დინამიკამ შეიძინოს დინამიკის თვისობრივობის მაჩვენებლების ჩვენთვის სასურველი მნიშვნელობები. რადგანაც ენერგეტიკული ანგარიშის შედეგად მიღებული სქემის შეცვლა არ შეიძლება, იძულებული ვართ სისტემაში ჩავრთოთ დამატებითი მოწყობილობები, რომლებიც სისტემის დინამიკას აუმჯობესებენ და მას მიაჩვენებენ იმ თვისებებს, რომლებიც

ტექნიკურ მოთხოვნებშია ჩადებული. ასეთ მოწყობილობებს მაკორექტირებელს უწოდებენ და უმეტეს შემთხვევაში ისინი აგებულია წინააღმდეგობებზე და ტევადობებზე. ამის გამო მათ ხშირად მაკორექტირებელი RC წრედებსაც ეძახიან.

მაკორექტირებელი წრედის სინთეზის ამოცანა გულისხმობს მისი პარამეტრების შერჩევას, წრედის სქემის დადგენას და ასევე მისი ჩართვის ადგილის შერჩევას ავტომატური რეგულირების სისტემაში.

სინთეზის ამოცანის გადასჭრელად საჭიროა გვექონდეს შემდეგი მონაცემები:

-ავტომატური რეგულირების სისტემის ენერგეტიკული ანგარიშის შედეგად მიღებული უცვლელი ნაწილი და მისი მათემატიკური მოდელი;

- მაკორექტირებელი წრედის ავტომატური რეგულირების სისტემაში ჩართვის ადგილი და ტექნოლოგია (შესაძლებელია აღნიშნული პრობლემა უშუალოდ სინთეზის ამოცანის ამოხსნის შედეგად გადაწყდეს);

- დინამიკის სასურველი თვისობრივობის მაჩვენებლები.

მაკორექტირებელი წრედი ან მოწყობილობა არს-ში შეიძლება ჩართული იქნას მიმდევრობით, პარალელურად ან მიმდევრობით-პარალელურად.

მაკორექტირებელი წრედების გადაცემის ფუნქციები, რომლებიც მოცემულია მათ სტანდარტულ ცხრილებში, გათვლილია იმ შემთხვევისთვის, როდესაც მისი შემავალი წრედის შიდა წინააღმდეგობა ნულია, დატვირთვის წინააღმდეგობა კი უსასრულოდ დიდია. დატვირთვის წინააღმდეგობის უსასრულოდ დიდი მნიშვნელობის უზრუნველყოფა პრაქტიკულად იოლი განსახორციელებელია. რაც შეეხება შემავალი სიგნალის წყაროს წრედის შიდა წინააღმდეგობას, აქ საქმე გაცილებით რთულადაა. კერძოდ, შიდა წინააღმდეგობა შეიძლება შეიცავდეს წინააღმდეგობის როგორც აქტიურ, ასევე რექტიულ მდგენელებს - ინდუქციურს, ტევადურს ან ორივეს ერთად. ამ ფაქტორების გათვალისწინებით, მაკორექტირებელი წრედის გადაცემის ფუნქცია იცვლება.

ამავე თავში განხილულია მიმდევრობითი, პარალელური კორექციის სტრუქტურული სქემები; მიმდევრობითი-პარალელური კორექციის სქემა, ჭრის სისხშირის გაზრდის შემთხვევაში; მიმდევრობითი-პარალელური კორექციის სქემა მიმდევრობითი კორექციის მიერ შიდა მდგრადობის უზრუნველყოფის შემთხვევაში; მიმდევრობითი-პარალელური კორექციის სქემა ორი მიმდევრობითი და ერთი პარალელური კორექციის შემთხვევაში.

აქვე განხილულია ავტომატური რეგულირების სისტემის მიმდევრობითი, პარალელური და მიმდევრობით-პარალელური კორექციის მეთოდები და ავტომატური რეგულირების სისტემის მაკორექტირებელი რგოლების სინთეზის ამოცანა.

3. მაკორექტირებელი რგოლების სინთეზი ფესვური

ჰოდოგრაფების გამოყენებით

ნაშრომის მესამე თავში განხილულია სხვადასხვა ტიპის მაკორექტირებელი წრედების სტრუქტურული ანალიზი. ამ თავში შესულია ისეთი მაინტეგრებელი და მაინტეგრებელ-მედიფერეცირებული მაკორექტირებელი წრედები, რომლებიც შეიცავენ პასიურ ელემენტების მინიმალურ რაოდენობას. ამავე დროს ასეთი წრედების გამოყენებით შეიძლება ნებისმიერი სირთულის მაკორექტირებელი წრედის რეალიზაცია.

აღნიშნულ თავში ჩატარებულია ოთხი სხვადასხვა ტიპის მაკორექტირებელი რგოლების ანალიზი: მაინტეგრებელ-მედიფერენცირებელი წრედის სტრუქტურული რობასტულობის ანალიზი იმ შემთხვევისთვის როცა შსწ-ს გასავალი წინალობის მიმდევრობითი ოპერატორებია: აქტიურ-ტევადური და აქტიურ-ინდუქციურ-ტევადური; სამელემენტური მაინტეგრებელი რგოლის ანალიზი იმ შემთხვევისათვის, როდესაც შსწ-ს გასავალი წინალობის მიმდევრობითი ოპერატორებია: აქტიურ-ტევადური და აქტიურ-ინდუქციურ-ტევადური.

თუ რეალურად საქმე გვაქვს სხვა ტიპის შეერთებებთან, მაშინ იგი წინასწარ შეცვლილი უნდა იქნას ექვივალენტური მიმდერობითი შეერთებით და ამის შემდეგ ჩატარებული იქნას სტრუქტურული რობასტურობის ანალიზი.

შსწ-ს გასავალი წინაღობის ზემოთ ჩამოთვლილი ოპერატორებიდან გამოყვანილია მაკორექტირებელი წრედების გადაცემის ფუნქციები; მითითებულია პარამეტრები, რომლებიც შეიძლება მიზანდასახულად ვცვალოთ სასურველი $P(S)$ (სისტემის მახასიათებელი განტოლება) პოლინომის მისაღებად. $P(S)$ პოლინომი შეიძლება მიღებული იქნას ცვლადი პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობების დროს. ნაშრომში ჩატარებულია ასეთი შემთხვევების ანალიზი და მოცემულია რეკომენდაციები, რომელთა გამოყენებით შესაძლებელია ცვლადი პარამეტრების მნიშვნელობათა ერთი კრებულის არჩევა. ყოველივე ეს ნაჩვენებია კონკრეტულ მაგალითებზე.

სადისერტაციო ნაშრომის მესამე თავში მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი და მაინტეგრებელი მაკორექტირებელი რგოლების თითოეული ცალკეული შემთხვევებისთვის აგებულია $P(S)$ პოლინომის ფესვების ტრაექტორიები და დადგენილია ცვლადი პარამეტრების ის მნიშვნელობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ $P(S)$ პოლინომის ფესვების სასურველ განლაგებას.

განვიხილოთ და გამოვიკვლიოთ მაკორექტირებელი რგოლების დინამიკა ცნობილი ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდის მიხედვით.

მათ შორისაა პასიური მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი რგოლი. მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელ RC სქემას აქვს ნახ. 1-ზე ნაჩვენები სახე.

ასეთი რგოლის იდეალური გადაცემის ფუნქციაა:

$$W_{EU_0}^{ID}(S) = \frac{(T_1S+1)(T_2S+1)}{(T_3S+1)(T_4S+1)}, \quad (18)$$

სადაც

$$T_1 = R_1 \cdot C_1;$$

$$T_2 = R_2 \cdot C_2;$$

$$T_3 + T_4 = T_1 + \beta \cdot T_2;$$

$$\beta = \frac{R_1 + R_2}{R_2};$$

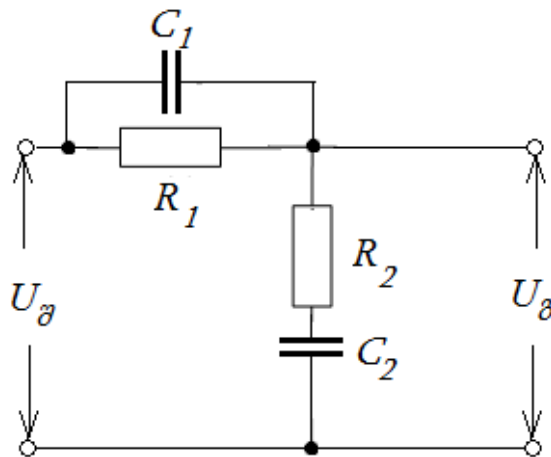
$$T_3 T_4 = T_1 T_2.$$

მოცემული ფორმულების გამოყენებით შეიძლება განსაზღვროთ T_3 და T_4 .

$$T_3 = \frac{2}{\frac{T_1 + \beta T_2}{T_1 T_2} + \sqrt{\left(\frac{T_1 - \beta T_2}{T_1 T_2}\right)^2 + \frac{4(\beta - 1)}{T_1 T_2}}} \quad (19)$$

$$T_4 = \frac{2}{\frac{T_1 + \beta T_2}{T_1 T_2} - \sqrt{\left(\frac{T_1 - \beta T_2}{T_1 T_2}\right)^2 + \frac{4(\beta - 1)}{T_1 T_2}}} \quad (20)$$

ნახ. 1-ზე გამოსახული რგოლის ლასმ-ს აქვს სახე (ნახ. 2)



ნახ. 1. მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი წრედის ზოგადი სქემა

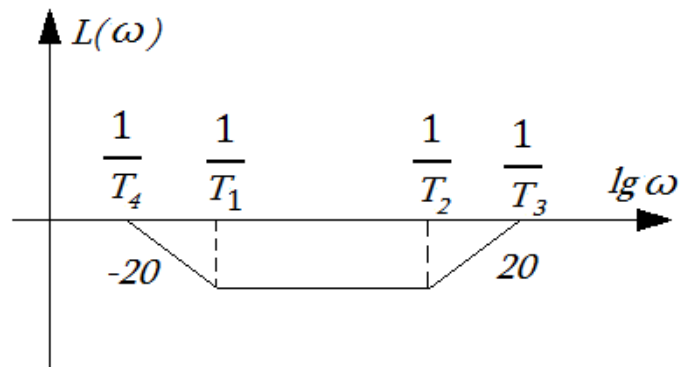
$U_{\text{შ}}$ - შესავალი ძაბვა; $U_{\text{გ}}$ - გასავალი ძაბვა;

R_1 და R_2 მაკორექტირებელი წრედის წინაღობები;

C_1 და C_2 მაკორექტირებელი წრედის ტევადობები.

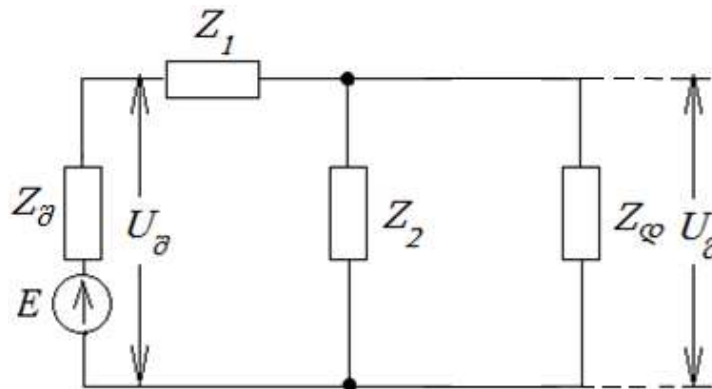
ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა შედარებით რთული კორექციის რგოლები, რომელთა კვლევა ტრადიციული მიდგომებით საკმაოდ ძნელია. ერთ-ერთი ასეთი რგოლია სწორედ შერეული ტიპის კორექციის რგოლი: მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი. ამ შემთხვევაში ჩვენ გვაქვს r, c წყაროთი.

ნახ. 2.-ზე ნაჩვენებია პასიური მაკორექტირებელი რგოლის ჩართვის ზოგადი სქემა.



ნახ. 2. მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი რგოლის ლოგარითმულ-ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებელი (ლასმ)

T_1, T_2, T_3 და T_4 დროის მუდმივები



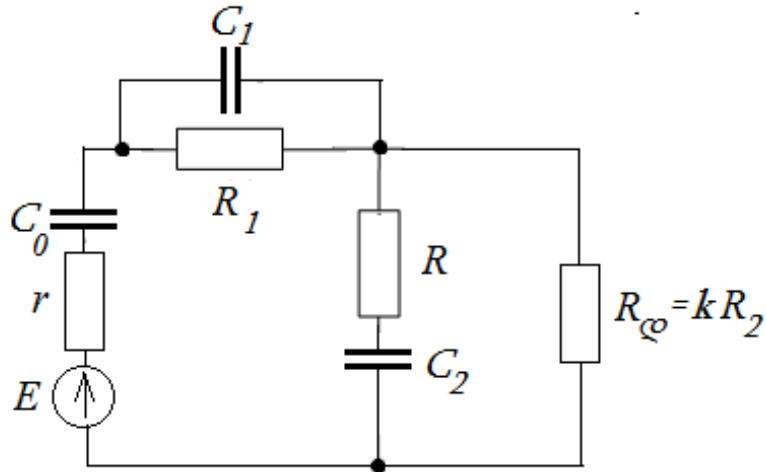
ნახ. 3. პასიური მაკორექტირებელი რგოლის ჩართვის ზოგადი სქემა
 Z_g - შემავალი სიგნალის წყაროს აქტიური წინაღობა; E - შემავალი სიგნალის წყაროს ემპ;

Z_1 და Z_2 - მაკორექტირებელი r, C წრედის აქტიური წინააღობები;

Z_d - დატვირთვის წინააღობა.

ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი რგოლი r, c წყაროთი. ნახ. 4-ზე გამოსახული მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი მაკორექტირებელი რგოლის შემავალი სიგნალის წყაროს გამოსავალი წინააღობის ოპერატორები შეიცავს აქტიურ და ტევადურ მდგენელებს. ამ შემთხვევაში, გვექნება შემდეგი სახის თანფარდობები:

$$\begin{aligned}
 Z_{\vartheta} &= r + \frac{1}{C_0 S}; \\
 Z_1 &= \frac{R_1}{R_1 C_1 S + 1}; \\
 Z_2 &= R_2 + \frac{1}{C_2 S}; \\
 Z_{\varphi} &= R_{\varphi} = k R_2.
 \end{aligned}
 \tag{21}$$



ნახ. 4. მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი წრედის სქემა r, C წყაროთი

C_0 - შემავალი სიგნალის წყაროს წრედის ტევადობა;

r - შემავალი სიგნალის წყაროს წრედის წინალობა;

E - შემავალი სიგნალის წყაროს ემძ; R_1 და R_2 - წინალობები;

R_{φ} - დატვირთვის წინალობა.

შეგვიძლია მარტივად განვსაზღვროთ ნახ. 3-დან და ასევე ნახ. 4-დან შემდეგი სიდიდეების მნიშვნელობები:

U_{ϑ} - შემავალი სიგნალის წყაროს ძაბვა, U_{φ} - გამოსავალი სიგნალის ძაბვა, E - ემძ მნიშვნელობები.

$$U_{\vartheta} = I \cdot \left(r + \frac{1}{C S} + \frac{R_1}{R_1 C_1 S} + \frac{\left(R_2 + \frac{1}{C_2 S} \right) \cdot R_{\varphi}}{\left(R_2 + \frac{1}{C_2 S} \right) + R_{\varphi}} \right)
 \tag{22}$$

$$U_{\varphi} = I \cdot \left(\frac{R_1}{R_1 C_1 S} + \frac{\left(R_2 + \frac{1}{C_2 S} \right) \cdot R_{\varphi}}{\left(R_2 + \frac{1}{C_2 S} \right) + R_{\varphi}} \right)
 \tag{23}$$

$$E = I \cdot \frac{\left(R_2 + \frac{1}{C_2 S}\right) \cdot R_{\varphi}}{\left(R_2 + \frac{1}{C_2 S}\right) + R_{\varphi}} \quad (24)$$

თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ მოყვანილ აღნიშვნებს (21), მაშინ შეგვიძლია მოცემული მაკორექტირებელი რგოლისათვის ჩავწეროთ გადაცემის ფუნქცია შემდეგი სახით:

$$W_{EU_{\beta}}(S) = \frac{U_{\beta}(S)}{E(S)} = \frac{Z_2 Z_{\varphi}}{(Z_{\beta} + Z_1)(Z_{\varphi} + Z_2) + Z_{\varphi} Z_2} \quad (25)$$

(25) ფორმულის თანახმად მაკორექტირებელი რგოლის გადაცემის ფუნქცია იქნება:

$$W_{EU_{\beta}}(S) = \frac{k \frac{T_2}{d} S (T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}{P^*(S)} \quad (26)$$

სადაც

$$P^*(S) = \frac{k T_2 S}{d} \left[\left(\frac{a}{k} + a + 1 \right) T_1 T_2 \cdot S^2 + \left(\frac{a + d + 1}{k} + d + 2 \right) T_1 + \left(\frac{a}{k} + a + 1 \right) T_2 \right] \cdot S + \frac{a + b + d + b d}{k} + 1 + d + \frac{d}{k T_2 S} \quad (27)$$

და

$$T_1 = R_1 C_1;$$

$$T_2 = R_2 C_2;$$

$$a = \frac{r}{R_2};$$

$$b = \frac{R_1}{R_2};$$

$$d = \frac{C}{C_0}.$$

ანალიზის გამარტივების მიზნით, ჩავთვალოთ, რომ $C_1 = C_2 = C$.

თუ (27) ჩავსვამთ (26) – ში, მივიღებთ:

$$W_{EU_{\beta}}(S) = \frac{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}{P_1(S)} \quad (28)$$

სადაც

$$P_1(S) = \left(\frac{a}{k} + a + 1 \right) T_1 T_2 \cdot S^2 + \left[\left(\frac{a + d + 1}{k} + d + 2 \right) T_1 + \left(\frac{a}{k} + a + 1 \right) T_2 \right] \cdot S + \frac{a + b + d + b d}{k} + 1 + d + \frac{d}{k T_2 S} \quad (29)$$

თუ ჩავთვლით, რომ R_d საკმაოდ დიდია, მაშინ (28)-ის მნიშვნელობა იქნება $P_1(S)$ - ის ზღვარი, როცა $k \rightarrow \infty$.

ცხადია, რომ

$$\lim_{k \rightarrow \infty} P_1(S) = (a + 1)T_1T_2 S^2 + [(d + 2)T_1 + (a + 1)T_2] S + 1 + d = P(S) \quad (30)$$

ამ შემთხვევაში (28) გადაცემის ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$W_{EU_\delta}^*(S) = \frac{(T_1S+1)(T_2S+1)}{P(S)} \quad (31)$$

დავადგინოთ (30) პოლინომის ჰოდოგრაფები, როცა $d \in [0; +\infty)$. ამ მიზნით (30) ასე გადავწეროთ:

$$(a + 1)T_1T_2 \cdot S^2 + (2T_1 + (a + 1)T_2)S + 1 + d(T_1S + 1) \quad (32)$$

თუ $d = 0$, მაშინ მივიღებთ (27) პოლინომის ფესვური ჰოდოგრაფის საწყისს წერტილებს:

$$S_{1,2} = \frac{-2T_1 + (a+1)T_2 \pm \sqrt{4T_1^2 + (a+1)^2T_2^2}}{2(a+1)T_1T_2} \quad (33)$$

თუ $d \rightarrow \infty$, მაშინ მივიღებთ ერთ საბოლოო წერტილს $S_0 = -\frac{1}{T_1}$.

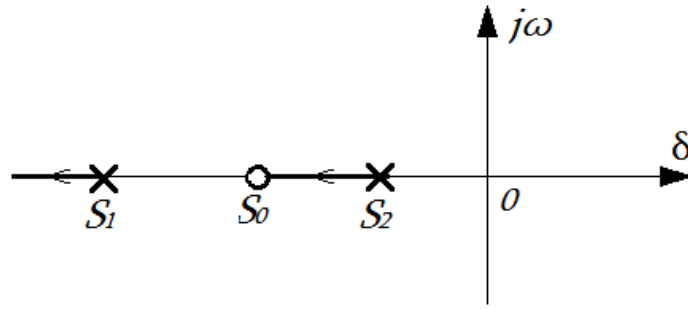
S_1 , S_2 და S_0 მნიშვნელობების შედარების შედეგად დავრწმუნდებით, რომ

$$S_1 < S_0 < S_2,$$

მაშინ (27)-ის ფესვურ ჰოდოგრაფებს ექნება სახე (ნახ. 5). აქედან ჩანს, რომ d - ს ნებისმიერი მნიშვნელობისთვის (27) პოლინომის ფესვები ნამდვილი უარყოფითი რიცხვებია.

შესაძლებელია დამტკიცდეს, რომ $S_2^{ID} < S_1$, $S_2^{ID} \in (S_0; S_2)$ რაც მიუთითებს იმაზე, რომ d -ს შერჩევით შეიძლება S_1^{ID} ან S_2^{ID} ფესვის ზუსტად მიღება, ხოლო მეორე ფესვი მიღებული იქნება მიახლოებით.

ყოველივე ზემოაღნიშნული განვიხილოთ მაგალითზე. მოცემულია შემდეგი მონაცემები (ცხრილი 1).



ნახ. 5. მაინტეგრებელ მადიფერენცირებელი რგოლის ფესვური ჰოდოგრაფი
 S_0 - ფესვური ჰოდოგრაფის ზღვრული წერტილი; S_1 - ფესვური საწყისი
 ჰოდოგრაფის წერტილი; S_2 - ფესვური საწყისი ჰოდოგრაფის წერტილი.

ცხრილი 1

მაინტეგრებელ-მედიფერენცირებელი რგოლის მონაცემები შსწ-ს ტევადობის
 გათვალისწინების შემთხვევაში

პარამეტრი	მნიშვნელობა	განზომილება
r	100	ომი
C_0	2	მკვ
a	0,01	-
T_1	0,02	წმ
T_2	0,05	წმ

ვიპოვოთ რგოლის პარამეტრები და d -ს მნიშვნელობა, რომელიც უზრუნველყოფს (18) გადაცემის ფუნქციის მიღებას.

ამოხსნა: მიღებული აღნიშვნების თანახმად,

$$R_2 = \frac{r}{a} = 10 \text{ კომი},$$

თუ $C_1 = C_2 = C$, მაშინ

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{R_1}{R_2} = 0,4.$$

($T_1 = R_1 C_1$ და $T_2 = R_2 C_2$ თანაფარდობებიდან გამომდინარე).

აქედან,

$$R_1 = 4 \text{ კომი,}$$

ხოლო

$$\beta = b + 1 = 1,4$$

და

$$C = \frac{T_1}{R_1} = 5 \text{ მკვ.}$$

(30) პოლინომს ექნება სახე:

$$P(S) = 1,01 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + (0,0905 + 0,02d) \cdot S + d + 1 \quad (34)$$

(33) – ის თანახმად ფესვური ჰოდოგრაფების საწყისი წერტილებია:

$$S_1 = -76,694 \text{ და } S_2 = -12,91;$$

საბოლოო წერტილია:

$$S_0 = -\frac{1}{T_1} = -50.$$

(18) გადაცემის ფუნქციის პოლუსებია:

$$S_1^{ID} = -77,0156 \text{ და } S_2^{ID} = -12,9844$$

ვთქვათ, d შერჩეული უნდა იქნას ისე, რომ (34) - ის ერთი ფესვი იყოს S_2^{ID} . მაშინ d შეგვიძლია ვიპოვოთ პირობიდან $P(S_2^{ID}) = 0$, საიდანაც მივიღებთ:

$$d = 6,494 \cdot 10^{-3}.$$

d - ს ამ მნიშვნელობისას მეორე ფესვი იქნება:

$$(S_1^{ID})^* = \frac{d + 1}{1,01 \cdot 10^{-3} \cdot S_2^{ID}} = -76,748$$

სადაც $(S_1^{ID})^*$ არის S_1^{ID} - ის მიახლებითი მნიშვნელობა, რომელიც S_1^{ID} - სგან განსხვავდება 0,35%-ით და პრაქტიკულად, სავსებით მისაღები სიზუსტეა.

თუ d -ს მნიშვნელობას ვიპოვოთ პირობიდან $P(S_1^{ID}) = 0$, ანუ ზუსტად მივიღებთ S_1^{ID} -ის ფესვს, ხოლო S_2^{ID} -ს განვსაზღვრავთ მიახლოებით, მაშინ მივიღებთ $d = 0,0385$. d - ს ამ მნიშვნელობისას (34) - ის მეორე ფესვი იქნება:

$$(S_2^{ID})^* = -13,35077,$$

რომელიც S_2^{ID} -სგან განსხვავდება 2,8%-ით; ასეთი სიზუსტეც პრაქტიკულად მისაღებია, მაგრამ უარესია, ვიდრე პირველ შემთხვევაში. მიუხედავად ამისა, უპირატესობა მაინც მეორე ვარიანტს უნდა მივანიჭოთ, რადგან მეორე შემთხვევაში d -ს მნიშვნელობა მეტია, ვიდრე პირველ შემთხვევაში. d -ს მნიშვნელობის გაზრდით მცირდება C_0 ტევადობასთან პარალელურად ჩასართველი კონდენსატორის ტევადობა.

განხილული მაგალითისთვის (18) გადაცემის ფუნქციაა:

$$W_{EU_\delta}^{ID}(S) = \frac{(0,02 \cdot S + 1)(0,05 \cdot S + 1)}{(0,01298 \cdot S + 1)(0,077 \cdot S + 1)} \quad (35)$$

თუ $d = 6,494 \cdot 10^{-3}$, მაშინ (18)-ის ნაცვლად მივიღებთ:

$$W_{EU_\delta}^I = \frac{(0,02 \cdot S + 1)(0,05 \cdot S + 1)}{(0,01303 \cdot S + 1)(0,077 \cdot S + 1)} \quad (36)$$

ხოლო თუ $d = 0,0385$, მივიღებთ გადაცემის ფუნქციას:

$$W_{EU_\delta}^{II}(S) = \frac{(0,02 \cdot S + 1)(0,05 \cdot S + 1)}{(0,01298 \cdot S + 1)(0,0749 \cdot S + 1)} \quad (37)$$

პრაქტიკულად,

$$W_{EU_\delta}^{ID}(S) = W_{EU_\delta}^I(S) = W_{EU_\delta}^{II}(S). \quad (38)$$

ზოგჯერ S_2^{ID} ფესვის ზუსტად მიღების შემდეგ S_1^{ID} ფესვის მიღების სიზუსტე შეიძლება არადაამაკმაყოფილებელი აღმოჩნდეს. ასეთ შემთხვევაში სასურველია დაფიქსირდეს S_1^{ID} ფესვის მნიშვნელობა, ხოლო S_2^{ID} მიღებული იქნება მიახლოებით. აღსანიშნავია, რომ ასეთ სურათთან საქმე გვაქვს მაშინ, როცა S_2^{ID} და S_2 ერთმანეთთან ძალზედ ახლოსაა (განსხვავება რამოდენიმე ერთეულ პროცენტზე ნაკლებია).

ამავე თავში განხილულია მაინტეგრებელ-მადიფერენცირებელი რგოლის r, L, c წყაროთი, მაინტეგრებელი რგოლები r, c და r, L, c წყაროთი პარამეტრების სინთეზი და მაკორექტირებელი რგოლის იდეალური გადაცემის ფუნქციების მიღების შესაძლებლობები ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდით.

სადისერტაციო ნაშრომში „ავტომატური რეგულირების სისტემების კორექციის სინთეზი ფესვური ჰოდოგრაფებით“ ჩატარებული კვლევის

შედეგად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მაკორექტირებელი რგოლების სინთეზის ამოცნების გადაჭრისას ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდის გამოყენება მნიშვნელოვნად აადვილებს და თვალსაჩინოს ხდის მახასიათებელი განტოლების ფესვების, კომპლექსურ სიბრტყეზე მოძრაობის ტრაექტორიებს, როცა ადგილი აქვს მახასიათებელი განტოლების ერთი ან რამოდენიმე პარამეტრის ცვლილებისას.

სადისერტაციო ნაშრომში დამუშავებულია ავტომატური რეგულირების სისტემებში მაკორექტირებელი რგოლების შერჩევის მეთოდოლოგია და ჩატარებულია მათი პარამეტრების სინთეზი, როდესაც მხედველობაში მიიღება მაკორექტირებელი რგოლის შემავალი სიგნალის წყაროს წინაღობის, როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული მდგენელებიც.

განხილულია რამდენიმე ტიპის მაკორექტირებელი რგოლის სინთეზის ამოცანა სხვადასხვა ტიპის შემავალი სიგნალის წყაროს (შსწ)-ს მიხედვით და გადაწყვეტილია მათი პარამეტრების დინამიკის სინთეზის ამოცანა ფესვური ჰოდოგრაფების მეთოდით, როდესაც ადგილი აქვს რამოდენიმე პარამეტრის ერთდროულ ცვლილებას. განხილულია შესაბამისი მაგალითები და აგებულია ფესვური ჰოდოგრაფები.

სადისერტაციო ნაშრომში ფ3-ის გამოყენება მნიშვნელოვნად ამარტივებს მაკორექტირებელი რგოლების სინთეზის ამოცანების ამოხსნას, რაც განპირობებულია ფ3-ის მხოლოდ ნაწილის გამოყენებით. ასეთი ნაწილის აგება ან დადგენა დიდ სირთულეს არ წარმოადგენს, ხოლო მათი გამოყენება ამოცანის ამოხსნას იმდენად ამარტივებს კვლევებს, რომ სხვა მეთოდებთან შედარებაც არ შეიძლება.

აღსანიშნავია, რომ კორექტირებელი რგოლის პარამეტრების მნიშვნელობების განსაზღვრა შესაძლებელია ნებისმიერი სიზუსტით, რაც თავის მხრივ გამორიცხავს მაკორექტირებელი რგოლების პარამეტრების ექსპერიმენტალურ დადგენას, რაც დაკავშირებულია ექსპერიმენტის ჩატარების მიმართულების შერჩევის სირთულესთან. ამ გარემოებას ხშირად შევყვართ ჩიხში, რომლიდანც გამოსვლის შანსი პრაქტიკულად არ არსებობს.

ფესვური ჰოდოგრაფებით მაკორექტირებელი რგოლის პარამეტრების მნიშვნელობების დადგენა არ მოითხოვს ექსპერიმენტალურად შემოწმებას ან პარამეტრების უკეთესი მნიშვნელობების შერჩევას.

გამოქვეყნებული ნაშრომები

1. კოტრიკაძე ო., კოტრიკაძე ქ., დემეტრაშვილი ა. მაკორექტირებელი რგოლების ანალიზი ავტომატური რეგულირების სისტემებში. მართვის ავტომატიზებული სისტემები, შრომები, N 1 (28), თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2019, გვ. 17-22.

2. კოტრიკაძე ო., კოტრიკაძე ქ., დემეტრაშვილი ა. მაკორექტირებელი რგოლის პარამეტრების სინთეზის ამოცანა. მართვის ავტომატიზებული სისტემები, შრომები, N 1 (28), თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2019, გვ. 23-27.

3. კოტრიკაძე ო., კოტრიკაძე ქ., დემეტრაშვილი ა. სამელემენტური მანტეგრებელი რგოლი r, c წყაროთი. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი Georgian Engineering News (GEN), 4 v., თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2018, 88 გვ. გვ. 7-9.

4. კოტრიკაძე ო., კოტრიკაძე ქ., დემეტრაშვილი ა. ორპარამეტრიანი სამწევრა განტოლებების ფესვური ჰოდოგრაფების კვლევა. პროფესორ ონსტანტინე კამაკამიძის 90 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, „ციფრული ტექნოლოგიები: დღევანდელი და გამოწვევები” თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2018 წ. გვ. 173-179.

5. დემეტრაშვილი ა. მაკორექტირებელი რგოლების სინთეზი ფესვური ჰოდოგრაფებით, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 87-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2019 წ.

6. კოტრიკაძე ო., კოტრიკაძე ქ., დემეტრაშვილი ა. მეოთხე რიგის განტოლების ფესვური ჰოდოგრაფების აგება. მართვის ავტომატიზებული სისტემები, შრომები, N2(22), თბილისი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2016, გვ. 61-64.

Summary

Dissertation work, "**Synthesis correction of the automatic control system with root locus**," refers to one of the most important problems, such as planning a system of automated regulation. In the planning of automatic control system, you will be involved in several key stages. These are: system power calculation, dynamics analysis, correction synthesis and experimental studies.

In the first stage, the automatic control system equipment selection. Eg: motor, navigators, pre- amplifiers and power amplifiers, sensors and more.

As a result of the energy calculation, part of the automatic control system is adopted. That meaning the selected elements can not be replaced or is not desirable. The only way to make changes in the automatic control system, this is the choice of correction scheme.

Thereafter, analysis of the dynamic of the automatic control system and synthesis of correction, which is associated with certain difficulties.

The last phase is experimental research, that has its own difficulties. Often the calculations are correct, but the experiments can not show the result.

One of the reasons for this is that when selecting corrective parameters, they do not take into account some of the schema's parameters. This leads to not the desired result.

In general, information on corrective device is given in special tables. The engineer can choose the right correction scheme, correction parameters, transfer functions, different types of reporting formulas and logarithmic-amplitude-frequency characteristics (LAFC). In automatic control systems should be possible to use the ready-correction schemes, but in reality, the case is different.

The correction schemes in the tables is not considered a significant factor. In particular, any correction of the input signal source have resistance. This resistance is possible in some cases up to several hundred Oms. Also the input signal source internal resistance can be have both active and reactive resistance. Namely, the capacity and inductive.

In addition, the tables of parameters, for which corrective circuit resistance level is infinitely large. This latter requirement is relatively simple. As for the correction circuit input signal source internal resistance, of a correction tables altogether ignored, which means that the correction tabular data, the input inner resistance of the signal source is applied to the change.

The subject of the research of the dissertation was due to this factor. Our goal is to synthesize the correcting parameters to improve the dynamics. Such a thing is easy to do with the known method of root locus. The use of the root locus method in synthesizing corrective parameters, makes it possible to provide correction parameters change visualizations. In case of change of parameters, it is easy to see the trajectories of the root movement, when correcting parameters Changing in the big boundaries.

The dissertation consists of several parts. These are: Review of Literature, Introduction, I, II and III Chapter, Conclusion and Appendix.

The work is preceded by a review of contemporary literature, where the methodology for building root locus, as well as other types of information on corrections.

The introduction provides a summary of the dissertation work. explains the importance of the problem, which lies in the fact that some parameters of the transfer function not given in ready tables. In particular, the input signal source of internal resistance, the active and reactive components values. Here is also a brief description of the research, which implies the solution synthesis of the correcting divases for automatic control systems with root locus; Approximate corrective parameters to the desired value.

The introduction also includes scientific novelties, practical realization capabilities.

In the first chapter of the dissertation are discussed in detail root locus method. Specifically, their graphic properties, the equations of the root locus, the equations of the parameters in both real and complex points;

In the second chapter of the dissertation includes the corrective circuits Schemes in the automatic control systems. Several variants of correction structural schemes are discussed: sequence, parallel, sequential parallel correction and more. The selection of the ballast rim parameters is shown on the example of differential scheme;

In the third chapter of the dissertation provides corrective analysis with root locus. In particular, there are selected several types of corrective devices and the synthesis of their parameters using the root locus method, in cases where the input signal source internal resistance is considered in the calculations. Corrective rings selected for research are: Integer-differential and Integer rings with r, c and r, L, c source; The corrective rings studies with root locus method; Synthesize their parameters; are given the root locus; In the same chapter, for each case, for more visible, are considered some examples of synthesis of corrective circle parameters,.

The dissertation work is attached to the conclusion, which briefly describes the results of the research, the list of used literature. The appendix provides a variety of computations and root locus for the study correction rings designed by software package Matlab.