

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თეა დიასამიძე

გემის კურსის მართვის ავტომატიზებული სისტემის
დინამიკური მოდელირება და სინთეზი მოცემული
გარდამავალი პროცესების მიხედვით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა: მანქანათმცოდნეობა, მანქანათმშენებლობა და
საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები
შიფრი 0408

თბილისი
2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი
საწარმოო ტექნოლოგიური მანქანების და მექატრონიკის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ., პროფესორი თამაზ მჭედლიშვილი

რეცენზენტები: ტ.მ.კ. ასოც. პროფ. ემზარ გეგეშიძე

ტ.მ.კ. ნუგზარ სულამანიძე

დაცვა შედგება 2015 წლის ” 16 ” თებერვალს, 14⁰⁰ საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი I, აუდიტორია 617 გ

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი
ასოცირებული პროფესორი

დავით ბუცხრიკიძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

გემის კურსისა და მდებარეობის მართვის სისტემები, რომლებიც ახორციელებენ გემთწაყვანის ძირითად ამოცანას დაკავშირებულს წაყენებული ამოცანისა და მოცემული ხარისხობრივი კრიტერიუმების შესაბამისად გემის ზუსტ და უსაფრთხო მართვასთან, თავის მხრივ გემების ავტომატიზირებულ ამმრავთა შორის წარმოადგენენ უმეტესად რთულ მრავალკონტურიან სისტემებს.

ამმრავთა აღნიშნული სისტემების შემუშავებასა და კვლევასთან დაკავშირებულ ნაშრომთა მიმოხილვა მიგვითითებს მათში მიმდინარე დინამიკური პროცესების ანალიზისა და სინთეზის მეთოდებისა და მეთოდიკების ეფექტურობის ამაღლების სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანის აქტუალობაზე, რაც წარმოადგენს რთული მრავალბმული, მრავალკონტურიანი სისტემების ოპტიმიზაციური გაანგარიშების ზოგადი პრობლემის შემადგენელ ნაწილს.

დინამიკური კვლევების ეს მეთოდები და მეთოდიკები მოითხოვენ თავის შემდგომ განვითარებას როგორც რეგულირებადი პარამეტრების ოპტიმალური შეთანწყობის მიზანდასახული ძიების თვალსაზრისით მათი ფუნქციონალური შესაძლებლობების გაფართოების მხრივ, აგრეთვე ახალი სტრუქტურული სქემების გამოვლენის თვალსაზრისით, გამომდინარე სტრუქტურულად რთულ სისტემებში გარდამავალი პროცესების საჭირო ხარისხის მიღების პირობიდან.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს გემის კურსის და მდებარეობის მართვის ელექტრომექანიკური სისტემების (ამმრავთა მოთვალთვალე სისტემების) მოდელის, ახალი სქემების, დინამიკური სინთეზის მეთოდების და მეთოდიკების შემუშავება რეგულირების რთული სისტემების წინასწარ მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ცნობილი მეთოდის გამოყენების საფუძველზე და მიმართული საკვლევი სისტემების ხარისხისა და ეფექტურობის ამაღლებისაკენ.

დასახული მიზნის მიღწევისათვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:

- ამბრავთა საკვლევ სისტემების, მათი დინამიკური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდებისა და მეთოდიკების შემუშავების საკითხის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი და შემდგომი კვლევის ამოცანების ფორმირება;
- საკვლევ მრავალკონტურიანი სისტემების ცალკეული ფუნქციონალური ელემენტების მათემატიკური მოდელების ანალიზი და მათ საფუძველზე მთლიანი სისტემების დინამიკური მოდელების შემუშავება მექანიკურ ნაწილში როგორც აბსოლუტურად ხისტი, აგრეთვე დრეკადრგოლებიანი მოდელების გათვალისწინებით;
- შემუშავებული მოდელების გამოყენებით საკვლევ სისტემათა დინამიკური სტრუქტურული სქემების, გადამცემი ფუნქციების და რეგულირებად კოორდინატთა გამოსახულებების აგება როგორც სინთეზის დასამუშავებელი მეთოდის შემადგენელი ნაწილისა;
- შესამუშავებელი მეთოდის ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა და მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ალგორითმების აგება;
- კონკრეტული მოთვალთვალე სისტემების კვლევა. შემუშავებული მეთოდებისა და სისტემების თავისებურებების და ეფექტურობის ხარისხის გამოვლენა.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს:

გემებზე ფუნქციონირებად ელექტრომექანიკურ სისტემებთან მიმართებაში დინამიკის მათემატიკური მოდელების, მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდში სასურველი პროცესების ფორმირებისა და სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების მეთოდების აგების ახალი მეთოდოლოგიურ მიდგომებში.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება. საკვლევ მრავალრეჟიმული ამბრავთა სისტემების დინამიკური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდები და მეთოდიკები და კვლევის შედეგები, მიმართული განსახილველი გემების ამბრავთა ელექტრომექანიკური სისტემების ხარისხისა და ეფექტურობის ამაღლებისაკენ.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-80 ღია საერთაშორისო კონფერენციაზე, თბილისი 2012 წელი და კონფერენციებზე: „21-ე საუკუნის მეცნიერების და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები“, 2014 წ. „International Scientific Conference“ Mechanics, 2014.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ლიტერატურული მიმოხილვის, დასკვნებისა და განსჯისა და საერთო დასკვნებისაგან. წარმოდგენილია 128 გვერდზე, შეიცავს 31 ნახაზს და ლიტერატურის სიას 101 დასახელებით.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალ ნაწილში დასაბუთებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალურობა.

ლიტერატურის მიმოხილვა ჩატარებულია გემებზე გამოყენებული მოთვალთვალე სისტემების პროექტირებისა და კვლევის საკითხების მიმოხილვა და ხარისხობრივი ანალიზი.

აღნიშნულია, რომ გემის ავტომატიზირებული სისტემები – ეგრეთ წოდებული ტექნიკური საშუალებების ფუნქციონალური კომპლექსები (ტსფკ) და გემის ტექნიკური საშუალებების მართვის კომპლექსური სისტემები აღჭურვილია სხვადასხვა სახის მოთვალთვალე სისტემებით.

ავტომატურ სისტემათა შორის აღსანიშნავია გემის მდებარეობისა და კურსის მართვის სისტემა, რომელიც ახორციელებს მუშაობის შემდეგ რეჟიმებს:

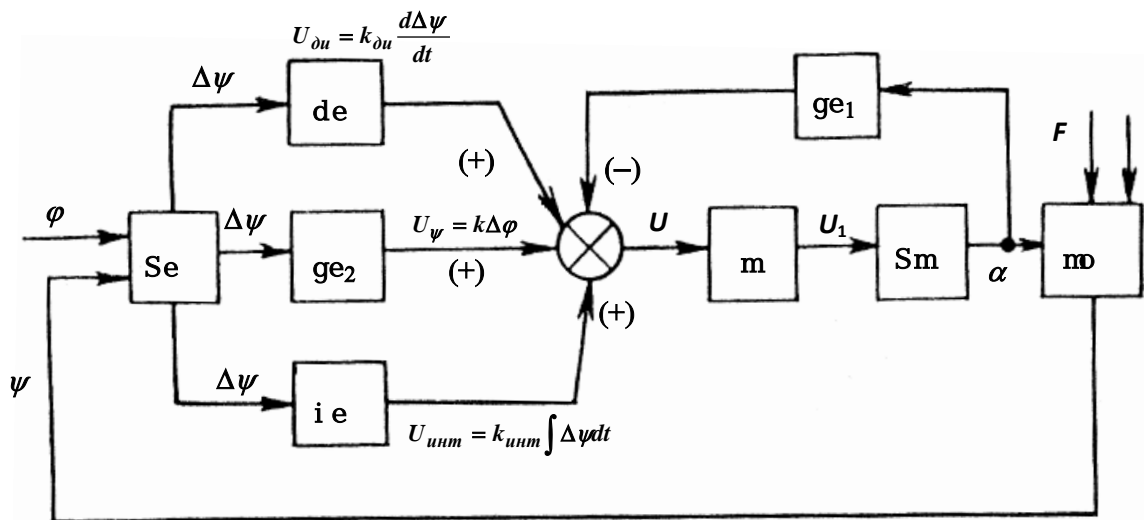
ავტომატური მართვის რეჟიმს, რომელიც მოიცავს: სტაბილიზაციის რეჟიმს – გემის ავტომატურ შენარჩუნებას კურსზე, – ავტომატური მანევრირების რეჟიმს – გემის მოთვალთვალე მართვას; პროგრამული მართვის რეჟიმს – კურსის ცვლას წინასწარ მოცემული კანონის მიხედვით;

საჭის მოთვალთვალე მართვის რეჟიმს – საჭის მდებარეობის ცვლას, რომელიც ხორციელდება მმართველ ორგანოზე (შტურვალზე) მოცემული ზემოქმედებით.

სადღეისოდ გემის კურსის მართვის სისტემები აგებულნი არიან გადახრის პრინციპზე. ამ შემთხვევაში მართვა ხორციელდება ერთდროულად რამდენიმე პარამეტრით, კონკრეტულად კი: კურსის მიმართ გემის გადახრის კუთხით $\Delta\psi$, ამ გადახრის კუთხის წარმოებულთ $\frac{d(\Delta\psi)}{dt}$ და ამ კუთხის ინტეგრალით $\int \Delta\psi dt$. ამიტომ ზოგადი სახით მართვის კანონი შეიძლება ჩაიწეროს როგორც

$$\alpha = f \left[\Delta\psi, \frac{d(\Delta\psi)}{dt}, \int \Delta\psi dt \right].$$

ნახ. 1 მოცემულია ფუნქციონალური სქემა, რომელიც ახორციელებს მართვის კანონს სამი პარამეტრის მიხედვით. სქემაზე შემოტანილია შემდეგი პირობითი აღნიშვნები: $\Delta\psi$ – მოცემული კურსიდან გემის გადახრის კუთხე; შე – შედარების ელემენტი; დე – მადიფერენცირებული ელემენტი; იე – მაინტეგრირებული ელემენტი; მ – მაძლიერებელი; მო – მართვის ობიექტი; გე – გარდამქმნელი ელემენტი (საჭე+წყალი+გემის კორპუსი).



ნახ. 1. სამი პარამეტრის მიხედვით მართვის რეალიზაციის ფუნქციონალური სქემა

გემის გადახრისას მოცემული კურსის მიმართ შემაჯამებელი ელემენტის Σ შესასვლელზე წარმოიშვება ძაბვა, პროპორციული სამი პარამეტრისა:

$$U_{\psi} = k_{\psi} \Delta \psi ;$$

$$U_{\text{დაფ}} = k_{\text{დაფ}} \frac{d(\Delta \psi)}{dt} ;$$

$$U_{\text{უმ}} = k_{\text{უმ}} \int \Delta \psi dt .$$

საჭის გადალაგებისთან ერთდროულად შემაჯამებელ ელემენტზე შემოდის უკუკავშირის სიგნალი, პროპორციული გემის გადალაგების კუთხისა

$$U_p = k_p \alpha .$$

უკუკავშირის U_p სიგნალი ყოველთვის არის მართვის ძირითადი სიგნალის ძაბვის უკუფაზაში. ასეთი მიდგომით გემის კურსის მიმართ გადახრის პროცესში ჯამური ძაბვა U , მაძლიერებლის შესასვლელზე, უდრის

$$U_{\psi} + U_{\text{დაფ}} + U_{\text{უმ}} - U_p .$$

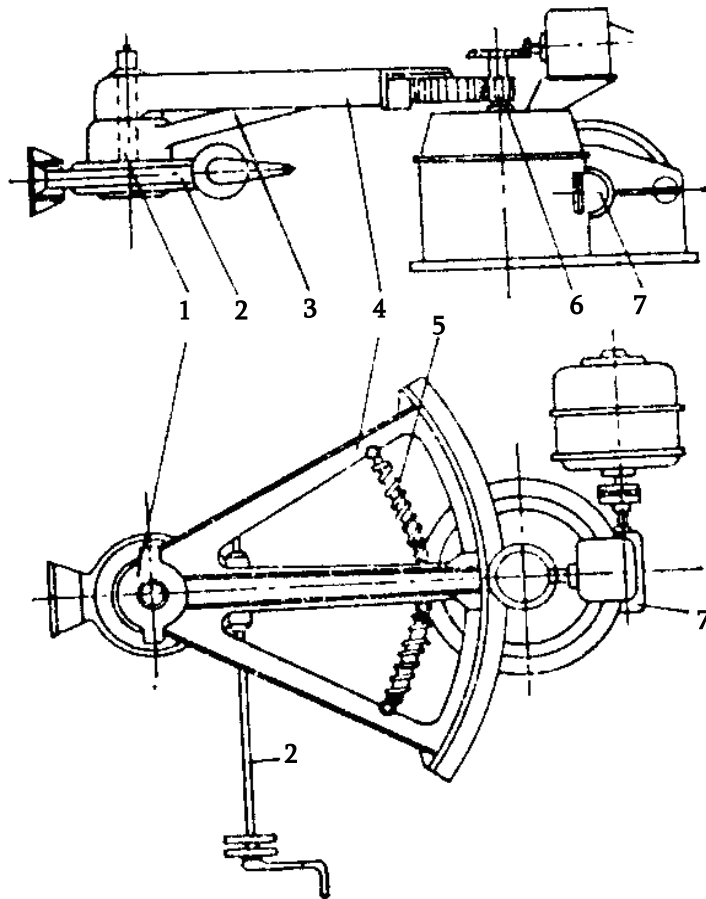
ძაბვის $U_{\text{უმ}}$ ნიშანი არ არის დამოკიდებული გადახრის მიმართულებაზე ყოველ გარკვეულ მომენტში და განისაზღვრება ასიმეტრიული გადახრების ხასიათით.

თუ რომელიმე შეშფოთების შედეგად გემი ისევე დაიწყებს გადახრას და გემის კუთხური სიჩქარე გაიზრდება ძაბვა $U_{\text{დაფ}}$ ასევე გაიზრდება, რაც განაპირობებს საჭის მეორად გადალაგებას. როდესაც გემი გადალაგებული საჭის ზემოქმედებით დაიწყებს მოცემულ კურსზე დაბრუნებას, შეიცვლება $U_{\text{დაფ}}$ სიგნალი, U_{ψ} სიგნალი კიდევ შემცირდება სიდიდით.

გემის ავტომატიზებულ ამძრავებში, მათ შორის გემის კურსის მართვის სისტემებში, ფართო გამოყენება ჰპოვეს ელექტრომექანიკურმა სისტემებმა.

ნაშრომში მოცემულია გემის კურსისა და მდებარეობის მართვის ელექტრომექანიკური სისტემის ფუნქციონალური სქემა, რომელიც ძალურ კასკადში შეიცავს ელექტრომანქანურ გამაძლიერებელს. ელექტროძრავას და მექანიკურ გადაცემას, მმართველ კასკადში კი ელექტრულ და ელექტრონულ მოწყობილობებს.

განხილვად რეგულირების სისტემებში როგორც შემსრულებელი ელემენტები ფართოდ იყენებენ მუდმივი დენის ძრავებს. დამოუკიდებელი აგზნებით, რომელთა ბრუნვის სიჩქარე რეგულირდება ლუზაზე მიწოდებული დენის ძაბვით. ასეთი ძრავები გამოირჩევიან საუკეთესო სარეგულირებელი და დინამიკური მახასიათებლებით.



ნახ. 2. გადამცემი მექანიზმი სექტორული გადაცემით

საჭის მოწყობილობის გადამცემი მექანიზმი ელექტრომექანიკურ ამძრავში ახორციელებს კავშირს საჭესა და შემსრულებელი ძრავს შორის. ერთ-ერთი პირველი გადამცემი იყო ხრახნული გადამცემი მექანიზმი, შემუშავებული ა. ფედორეცკის მიერ. ეს მექანიზმი მოიხსნება როგორც „ფედორეცკის ხრახნული ამძრავი დიფერენციალით“.

გადამცემი მექანიზმის (ნახ. 2) ძირითადი შემადგენელი ნაწილებია: სექტორული კბილანური რუმპელი 4, ჭიახრახნული გადაცემა 7, ხელის მუხრუჭის 2 ჭიახრახნული ბორბლის ლილვზე მყოფი კბილანა თვალი 6,

ელექტროძრავა 8. თავისუფლად ჩასმული კბილანური სექტორი დაკავშირებულია ბალერზე 1 მჭიდროდ ჩამოცმულ პირდაპირ რუმპელთან 3 დამცავი 5 ზამბარების მეშვეობით. უკანასკნელი გამიზნულია დარტყმის შერბილებისათვის.

ჩატარებულია მექანიზმებისა და სისტემების პროექტირებისა და დინამიკური პროცესების კვლევის არსებული მეთოდების მიმოხილვა, რომელთა მეშვეობით შესაძლოა რთული მრავალბმული ამძრავთა სისტემების და მთლიანობაში საკვლევი მოწყობილობების შემდგომი სრულყოფა.

ნაშრომის ძირითად ნაწილში განხილულია მრავალკონტურიანი საკვლევი ელექტრომექანიკური სისტემების ცალკეული ფუნქციონალური ელემენტების დინამიკური მოდელები და მათი გამოყენებით აგებული მთლიანი სისტემების მათემატიკური მოდელები. მოდელების აგებისას გამოყენებულია მექანიკური ნაწილის, როგორც აბსოლუტურად ხისტი აგრეთვე დრეკადრგოლიანი მოდელები.

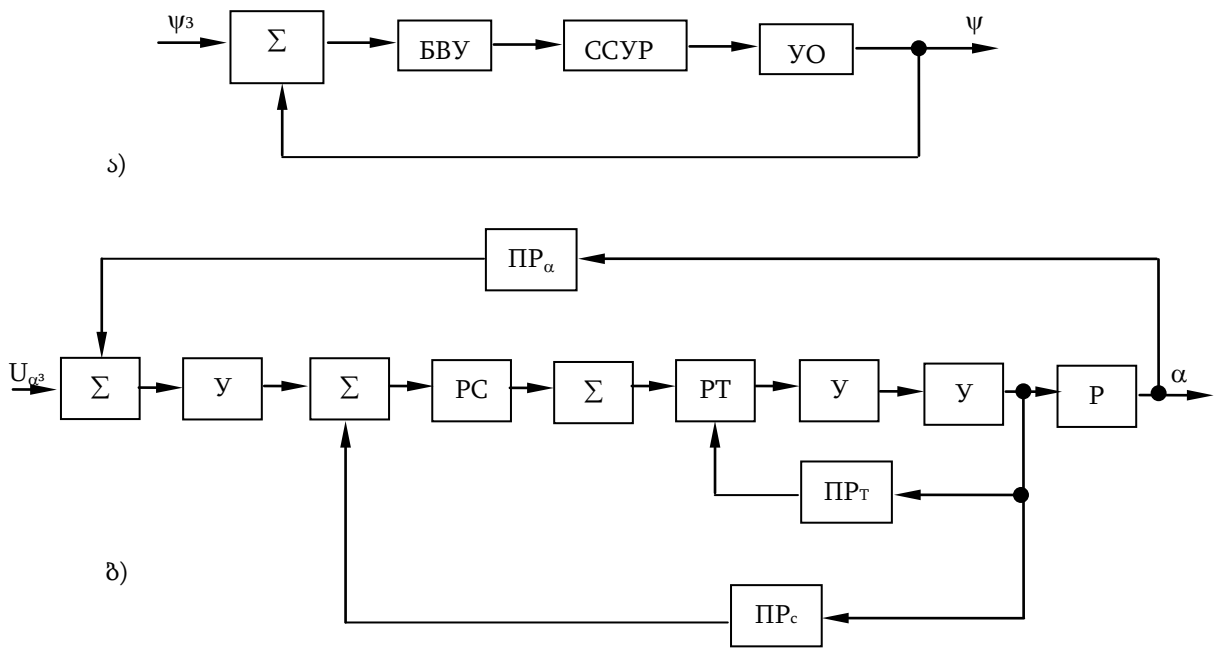
საკვლევი სისტემის ცალკეული შემადგენელი ელემენტების გაწრფივებული მოდელების გამოყენების საფუძველზე აგებული სტრუქტურული სქემებია.

მიღებულია რეგულირებადი კოორდინატების გადამცემი ფუნქციები. გაანალიზებულია დინამიკური კვლევის-ანალიზისა და სინთეზის საკითხები. შემუშავებულია სინთეზის პროცესების რეალიზაციისათვის საჭირო მათემატიკური დამოკიდებულებები.

ნახ. 3 მოყვანილია მეორე სახის ელექტრომექანიკური სისტემის ფუნქციონალური სქემა.

აქ: БВУ – გამომთვლელი მოწყობილობების ბლოკი, რომელიც წარმოადგენს მუდმივი დენის მამლიერებლებზე რეალიზებული მადიფერენცირებელ, გამამლიერებელ და მაინტეგრირებელ რგოლებს აგებულ ПИД - რეგულატორს; Σ – მაჯამებელი მოწყობილობა; ССУР – (სისტემა α) გემის საჭის მართვის მოთვალთვალე სისტემა; УО – მოძრავი

გემი; Y – ტირისტორული მადლიერებელი მოწყობილობა; PC – სიჩქარის რეგულატორი; PT – დენის რეგულატორი; YΠ – მადლიერებელ-გარდამქმნელი მოწყობილობა; ИД – შემსრულებელი ძრავა; P – საჭის მექანიზმი; ПП_T და ПП_c – დენისა და სიჩქარის კონტურთა გარდამქმნელი მოწყობილობები; ψ და α – შესაბამისად გემის კურსის კუთხე და საჭის გადაწყობის კუთხე; $\psi_{зад}$ – ψ კუთხის შემომავალი მნიშვნელობა $U_{\alpha зад}$ – α სისტემაში შემომავალი ძაბვა.



ნახ. 3. ფუნქციონალური სქემები
 ა - კურსის მართვის სისტემა; ბ - საჭის მართვის მოთვალთვალე სისტემა

გაშლილი სახით გვაქვს:

$$W_{nu\delta}(s) = K_{\delta u\phi} s + K_{n\delta} + \frac{K_{akm}}{s}; \quad (1)$$

$$W_{u\epsilon}(s) = \frac{1}{(T_{\phi 2} s + 1) K_{\phi 2}} = \frac{K_{\delta}}{T_{\delta} s + 1}; \quad (2)$$

$$W_{\phi 1}(s) = \frac{K_y}{(T_{\phi 1} s + 1) K_{\phi 1}} = \frac{K_{\phi}}{T_{\phi 1} s + 1}; \quad (3)$$

$$W_n(s) = \frac{K_n}{T_n s + 1}; \quad (4)$$

$$W_{.m1}(s) = \frac{1}{I_1 s^2 + (b_1 + b_{12})s + C_{12}}; \quad (5)$$

$$W_{M2}(s) = \frac{1}{I_2 s^2 + (b_2 + b_{12})s + C_{12}}; \quad (6)$$

$$W_{ocM}(s) = b_{12}s + C_{12}; \quad (7)$$

$$W_{z3}(s) = \frac{K_{z3}(1 + T_{ok}s)}{s(1 + T_{1k}s + T_{2k}s^2)}; \quad (8)$$

$$W'_{z3}(s) = \frac{K'_{z3}(1 + T'_{ok}s)}{s(1 + T_{1k}s + T_{2k}s^2)}, \quad (9)$$

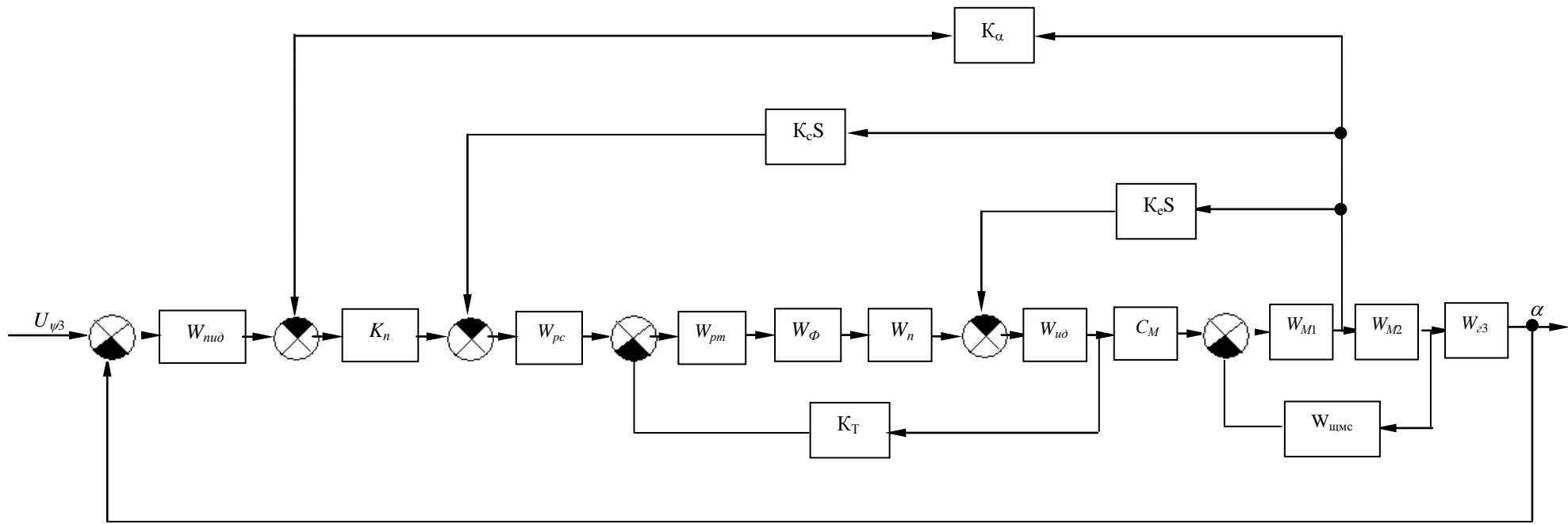
$$K_g = \frac{1}{K_{\phi 2}}. \quad (10)$$

მთლიანი სისტემის სტრუქტურული სქემა საჭის მექანიზმის ორმასიანი დინამიკური მოდელის გათვალისწინებით მოყვანილია ნახ. 4. სადაც: W_{no} , W_{pm} , W_{pm} , $W_{\phi 1}$, W_n , W_{no} , W_{M1} , W_{M2} , W_{ocM} , W_{z3} და W_{ocM} – შესაბამისად – რეგულატორის, დენის რეგულატორის Φ ფილტრია, ტირის გარდამქმნელის, შემსრულებელი ძრავის, საჭის მექანიზმის (W_{M1} , W_{M2} , W_{ocM}). მართვის ობიექტის (ჰიდრორგოლის); K_n – მაძლიერებლის გამლიერების კოეფიციენტი; $K_e s$ და $K_c s$ – უკუკავშირების გამლიერების კოეფიციენტები ელექტრომამოძრავებელი ძალის და სიჩქარის კონტურის მიმართ; K_T – დენის მიმართ უკუკავშირის გადამცემი კოეფიციენტი; $W'_{z3}(s)$ – გემის (ჰიდრორგოლის) გადამცემი ფუნქცია შემაშფოთებელი ზემოქმედების მიმართ;

$K_{\partial\phi}$, K_{um} , K_{us} – შესაბამისად მადიფერენცირებული, მაინტეგრირებული და მაძლიერებელი რგოლების გამლიერების კოეფიციენტები; K_o და $K_{\phi 2}$, K_{ϕ} და $T_{\phi 1}$, K_n და T_n – შესაბამისად გამლიერების კოეფიციენტები და დროის მუდმივები შემსრულებელი ძრავის, ფილტრის Φ_1 და ტირისტორული გარდამქმნელის.

s – ლაპლასის ოპერატორი.

საჭის მექანიზმის დრეკადი ორმასიანი მოდელის განხილვისას შემსრულებელი ძრავის და მექანიზმის დინამიკის განტოლებები ჩაიწერებინ ასე:



ნახ. 4. გემის კურსის მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + C_{12}(\phi_1 - \phi_2) = C i_{\text{ა}}; \quad (11)$$

$$I_2\ddot{\phi}_2 + b_2\dot{\phi}_2 - b_{12}(\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2) + C_{12}(\phi_1 - \phi_2) = -M_H; \quad (12)$$

$$L_{\text{ა}} \frac{di_{\text{ა}}}{dt} + R i_{\text{ა}} = U_{\text{e}} - C \dot{\phi}_1. \quad (13)$$

განტოლებათა სისტემას გარდავქმნით სახით

$$I_1\ddot{\phi}_1 + b_1\dot{\phi}_1 + b_{12}\Delta\dot{\phi}_1 + C_{12}\Delta\phi_2 = C i_{\text{ა}};$$

$$I_2\ddot{\phi}_1 - I_2\Delta\phi_1 + b_2\dot{\phi}_1 - b_2\Delta\dot{\phi} - b_{12}\Delta\dot{\phi} - C_{12}\Delta\phi = -M_H;$$

უკანასკნელ განტოლებათა შეჯამებით გადავდივართ განტოლებებზე

$$(I_1 + I_2)\ddot{\phi}_1 + (b_1 + b_2)\dot{\phi}_1 = C i_{\text{ა}} + I_2\Delta\ddot{\phi} + b_2\Delta\dot{\phi} - M_H, \quad (14)$$

$$I_2\Delta\ddot{\phi} + (b_2 + b_{12})\Delta\dot{\phi} + C_{12}\Delta\phi = I_2\ddot{\phi}_1 + (b_1 + b_2)\Delta\dot{\phi}_1 + M_H. \quad (15)$$

დრეკადი მექანიკური ნაწილის არსებობამ შესაძლოა გამოიწვიოს რხევადი მდგენელების არსებობა გარდამავალ პროცესებში, მაგრამ გემის კურსის მართვის მთლიან სისტემაში ეს მდგენელები, როგორც წესი განიცდიან ფილტრაციას მთლიანი სისტემის სტრუქტურულ კავშირებში.

ზემოთმოყვანილი მასალის შესაბამისად გემის კურსის მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა შეგვიძლია წარმოვადგინოთ ნახ. 5 მოყვანილი სახით.

ამ ნახაზზე საქმე გვაქვს შიგა ხისტრგოლებიან კონტურთან, რომელიც დაკავშირებულია გარე დრეკადრგოლებიან კონტურთან.

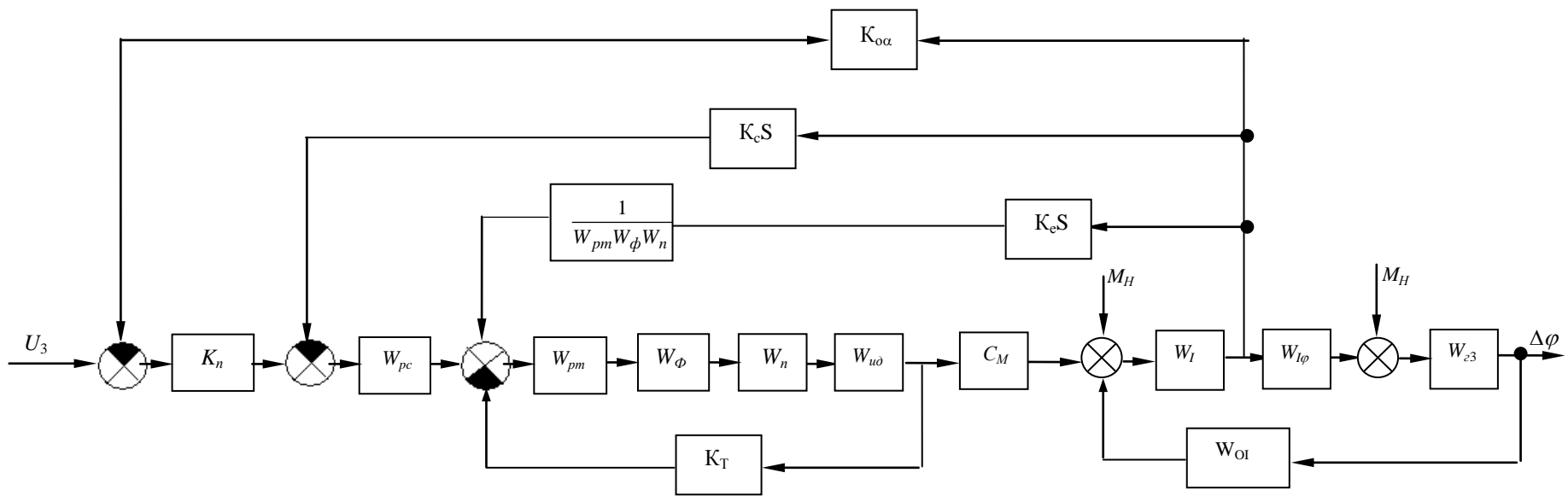
ზოგადი ფორმით შიგა კონტურის სინთეზი სასურველია განვახორციელოთ სქემით: დენის კონტურის პარამეტრებს ვირჩევთ ტექნიკური ოპტიუმის კრიტერიუმიდან გამომდინარე დაქვემდებარებული რეგულირების მეთოდიდან და შემდგომ ვახორციელებთ სიჩქარისა მდებარეობის კონტურების პარამეტრების შერჩევას [76, 83, 87].

უკანასკნელის გათვალისწინებით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$W_{kc}(s) = \frac{W_{pc} W_{km} C_M W_{I1}}{1 + K_c W_{pc} W_{km} C_M W_{I1}}, \quad (16)$$

სადაც $W_{I1} = \frac{W_I}{S};$

$$W_{pc}(s) = K_{pc} \frac{1 + T_{pc}s}{T_{pc}s};$$



ნახ. 5. სისტემის სტრუქტურული სქემა

$$W_{km}(s) = \frac{1}{K_m} \frac{1}{1 + 2\tau s};$$

$W_{km}(s)$ – დენის ჩაკეტილი კონტურის გადამცემი ფუნქცია;

K_c – ტირისტორული გარდამქმნელის დროის მუდმივა.

გამოილი სახით გვექნება

$$W_{kc}(s) = \frac{K_{pc} \frac{1 + T_{pc}s}{T_{pc}s} W_{km} C_M W_{I1}}{1 + K_c K_{pc} \frac{1 + T_{pc}s}{T_{pc}s} W_{km} C_M W_{I1}}. \quad (17)$$

$$W_{\Delta\varphi}(s)_a = \frac{K_a I_a s^2}{(I_2 s^2 + b_{12}s + c_{12})(T_{a1}s + 1) + K_{Ia} s^2}, \quad (18)$$

სადაც K_a – უკუკავშირის გადამცემი კოეფიციენტი შემოთავაზებულ აპროქსიმაციულ ფუნქციაში.

უფრო გამსხვილებული სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$W_{\Delta\varphi}(s)_a = \frac{K_{Ia} s^2}{A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0}, \quad (19)$$

სადაც: $K_{Ia} = K_2 I_2$;

$$A_3 = I_2 T_{a1};$$

$$A_2 = b_{12} T_{a1} + I_2;$$

$$A_1 = c_{12} T_{a1} + b_{12};$$

$$A_0 = c_{12} + K_{3a}.$$

გადავდივართ სისტემის საგნობრივი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლები გამოსახულებებზე:

$$U(\omega) = \frac{R_Q(\omega)R_p(\omega) + I_Q(\omega)I_p(\omega)}{R_p^2(\omega) + I_p^2(\omega)}; \quad (20)$$

$$V(\omega) = \frac{I_Q(\omega)R_p(\omega) + I_p(\omega)R_Q(\omega)}{R_p^2(\omega) + I_p^2(\omega)}, \quad (21)$$

სადაც:

$$R_Q(\omega) = K_{\phi};$$

$$I_Q(\omega) = 0;$$

$$R_p(\omega) = A_0 - A_2\omega^2;$$

$$I_p(\omega) = A_1\omega - A_3\omega^3.$$

მიღებული დამოკიდებულებების თანახმად შეგვიძლია ვიმსჯელოთ რხევით მდგენელის მაჩვენებლებზე საკვლევ სააპროქსიმაციო სისტემაში. ნაშრომში მოცემულია რხევითი მდგენელის აპროქსიმაციული გამოსახულებები.

ხისტი რგოლებიანი α_1 სისტემის სინთეზის ამოცანას მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით ვიხილავთ, როგორც ეს იყო აღნიშნული, დაქვემდებარებული რეგულირების ელემენტებთან ურთიერთკავშირში.

მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდის თანახმად ვწერთ კოორდინატთა საწყის ტოლობას

$$\alpha_1(s) \approx \frac{M_{0\alpha}(z_m s)}{N_{0\alpha}(z_m s)}.$$

ანდა გაშლილი სახით თუ ჩავთვლით, რომ შემომავალი ზემოქმედება ერთეულოვანია

$$\alpha_1(s) = \frac{K_{\alpha 1} W_{\pi}}{1 + K_{\alpha 1} W_{\pi}} \approx \frac{M_{0\alpha}(z_m s)}{N_{0\alpha}(z_m s)}. \quad (22)$$

აქ

$$\frac{M_{0\alpha}(z_m s)}{N_{0\alpha}(z_m s)} = \alpha_{1*}(s), \quad (23)$$

სადაც $\alpha_{1*}(s)$ – რეალიზაციისათვის საჭირო კოორდინატის გამოსახულება; $M_{0\alpha}$ და $N_{0\alpha}$ – პოლინომები ოპერატორი s – ის მიმართ, რომლებიც წარმოადგენენ სასურველი პროცესის გამოსახულების მრიცხველსა და მნიშვნელს.

დამოკიდებულების (22) გარდაქმნით სახით

$$(1 + K_{\alpha 1} W_{\pi}) M_{0\alpha} = K_{\alpha 1} N_{0\alpha}, \quad (24)$$

ან

$$K_{\alpha 1} (N_{0\alpha} - M_{0\alpha}) = M_{0\alpha}.$$

ახალ აღნიშვნებში შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$\Phi_1 K_{\alpha 1} = \Phi_0, \quad (25)$$

სადაც:

$$\Phi_1 = N_{0\alpha} - M_{0\alpha};$$

$$\Phi_0 = M_{0\alpha}.$$

მიღებული გამოსახულების თანახმად ვწერთ ℓ პირობით განტოლებებს ℓ აპროქსიმაციის $\delta = \delta_v$ (δ იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს)

$$K_{\alpha 1} \Phi_1(\delta_1) + \Phi_0(\delta_v); \quad v = 1, \dots, \ell. \quad (26)$$

მიღებულ პირობით განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით K_α პარამეტრის მიმართ.

დავდივართ ნორმალურ განტოლებაზე

$$D_1 K_\alpha = D_0, \quad (27)$$

სადაც:

$$D_1 = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1^2(\delta_v);$$

$$D_0 = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_1(\delta_v).$$

განტოლება (27)–ის ამოხსნით ვიღებთ

$$K_\alpha = \frac{D_0}{D_1}. \quad (28)$$

შესაძლოა აგრეთვე განხილული იქნას აგრეთვე უფრო რთული ამოცანა, რომელშიც საწყისი გადამცემი ფუნქციის სახით ვიყენებთ გამოსახულებას

$$W_{\alpha 1}(s) = \frac{K_{cn} W_{p11}}{\frac{1}{W_{pc}} + K_{ac} W_{p11} + K_{cn} W_{p11}} = \frac{K_{cn} W_{p11}}{\frac{T_{pc} s}{1 + W_{pc} s} + K_{ac} W_{p11} + K_{cn} W_{p11}}.$$

უკანასკნელის გამოყენებით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$K_{cn} W_{p11} (N_{0\alpha} - M_{0\alpha}) - K_{ac} W_{p11} M_{0\alpha} = M_{0\alpha}. \quad (29)$$

გადავდივართ პირობით განტოლებებზე

$$K_{\alpha 1} \Phi_1(\delta_1) + K_{\alpha c} \Phi(\delta_v) = \Phi_0(\delta_v), \quad (30)$$

$$v = 1, \dots, \ell$$

სადაც:

$$\Phi_1(\delta_v) = W_{pl1}(\delta_v)[N_{0\alpha}(z_m \delta_v) - M_{0\alpha}(z_m \delta_v)];$$

$$\Phi_2(\delta_v) = -W_{pl1}(\delta_v)M_{0\alpha}(z_m \delta_v);$$

$$\Phi_0(\delta_v) = M_{0\alpha}(z_m \delta_v).$$

პირობით განტოლებათა სისტემას როგორც ზევით ვამარაგებთ წონითი კოეფიციენტებით γ , შემდგომ მიღებულ სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით და გადავდივართ ნორმალურ განტოლებებზე:

$$\left. \begin{aligned} D_{11}K_{\alpha} + D_{12}K_{\alpha c} &= D_{01}; \\ D_{21}K_{\alpha} + D_{22}K_{\alpha c} &= D_{02}, \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

სადაც:

$$D_{11} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_1^2(\delta_v);$$

$$D_{12} = D_{21} = \sum_v \gamma_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_1(\delta_v).$$

განტოლება (31)–ის თანახმად

$$K_{\alpha n} = \frac{D_{\alpha n}}{D};$$

$$K_{\alpha c} = \frac{D_{\alpha c}}{D},$$

სადაც:

$$D_{\alpha n} = \begin{vmatrix} D_{01} & D_{12} \\ D_{02} & D_{22} \end{vmatrix} = D_{01}D_{22} - D_{12}D_{02};$$

$$D_{\alpha c} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{01} \\ D_{22} & D_{01} \end{vmatrix} = D_{11}D_{01} - D_{01}D_{21};$$

$$D = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{vmatrix} = D_{11}D_{22} - D_{12}D_{21}.$$

გემის კურსის მართვის სისტემის სინთეზისას ვარირებად პარამეტრებად ვიხილავთ ПИД – რეგულატორის პარამეტრებს და სისტემის α უკუკავშირის კოეფიციენტს.

ვწერთ საწყის ტოლობას

$$W_{\psi}(s) \approx W_{\psi\kappa}(s) = \frac{M_{0\psi}(s)}{N_{0\psi}(s)}, \quad (32)$$

სადაც: $W_{\psi\kappa}(s)$ – სასურველი გადამცემი ფუნქცია და $M_{0\psi}(s)$ და $N_{0\psi}(s)$ – სასურველი პროცესის მრიცხველსა და მნიშვნელს, რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენენ s -ის პოლინომებს.

გამსხვილებული სახით

$$W_{\text{ПНД}}(s)W_{\alpha c}(s)[N_{0\psi}(s) - M_{0\psi}(s)] - K_{0c}W_H(s)M_{0\psi}(s) = M_{0\psi}(s), \quad (33)$$

სადაც: $W_{\text{ПНД}}(s) = W_{\Gamma 3}(s)K_n W_{\alpha c}(s)$;

$$W_H(s) = \frac{W_{\alpha c}(s)}{W_{\text{МГ}}(s)}.$$

ПНД-რეგულატორის გაშლილი გამოსახულების გამოყენებით, ვიღებთ:

$$K_{n3}W_{\Gamma\text{M}\Sigma}(s) + T_{\text{дуф}}sW_{\Gamma\text{M}\Sigma}(s) + K_{\text{ум}}\frac{1}{s}W_{\Gamma\text{M}\Sigma}(s) - K_{0c}W_H(s)M_{0\psi} = M_{0\psi}(s), \quad (34)$$

სადაც

$$W_{\Gamma\text{M}\Sigma}(s) = W_{\Gamma\alpha}(s)[N_{0\psi}(s) - M_{0\psi}(s)].$$

მიღებული ტოლობა საჭიროა გემის კურსის მართვის მოთვალთვალებული სისტემის პარამეტრული სინთეზის შემდგომი პროცედურების რეალიზაციისათვის.

ხისტი სისტემის სინთეზისათვის ზემოთ მოყვანილ ტოლობაში შეგვიძლია გამოვიყენოთ

$$W_{\pi}(s) = \frac{1}{I_{\Sigma}} \frac{32\tau^2 s(1-2\tau s)}{64\tau^2 s^2 + 32\tau^2 s^2 + 8\tau s + 1}. \quad (35)$$

სასურველი პროცესის სახით შემოგვაქვს დამოკიდებულება

$$\begin{aligned} \alpha(z_m s) &= \frac{M_{0\alpha}(z_m s)}{N_{0\alpha}(z_m s)} = A_{0\alpha} \frac{\frac{a_{1\alpha}}{2} z_{m\alpha} s + 1}{a_{0\alpha} z_{m\alpha}^2 s^2 + a_{1\alpha} z_{m\alpha} s + 1} \doteq \\ &\doteq A_{0\alpha} - \frac{A_{0\alpha}}{2} e^{-\frac{U_{1\alpha}}{z_{m\alpha}}} - \frac{A_{0\alpha}}{2} e^{-\frac{U_{2\alpha}}{z_{m\alpha}}}; \end{aligned} \quad (36)$$

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე გვაქვს:

$$M_{0\alpha}(z_{m\alpha}s) = \frac{a_{1\alpha}}{2} z_{m\alpha}s + 1;$$

$$N_{0\alpha}(z_{m\alpha}s) = a_{0\alpha} z_{m\alpha}^2 s^2 + a_{1\alpha} z_{m\alpha} s + 1.$$

სასურველი მრუდის საწყისი პარამეტრების დადგენისათვის (როდესაც $z_{m\alpha} = 1,0$) ვხელმძღვანელობთ დაქვემდებარებული რეგულირებისას სინთეზის მეთოდით, რომლის თანახმად დენის ПИ - რეგულატორისა და სიჩქარის ПИД - რეგულატორის პარამეტრების მნიშვნელობები აღებულნი არიან შესაბამისად გაწყობით ტექნიკურ ოპტიმუმზე და სიმეტრიულ ოპტიმუმზე.

ასეთი მეთოდით მიღებული პარამეტრების მნიშვნელობებზე დაყრდნობით ვაგებთ წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების გამოყენებით გარდამავალ მრუდს .

პარამეტრების $K_{n\alpha}$, $T_{\text{დიფ}}$, $K_{\text{ინტ}}$, K_{oc} ვიყენებთ დამოკიდებულებას (34).

სასურველი პროცესის სახით, როგორც ადრე შერჩეული გვაქვს ფუნქცია:

$$\begin{aligned} \psi_{\text{жс}}(z_m, s) &= \frac{M_{\psi}^0(z_m s)}{N_{\psi}^0(z_m s)} = A_{0\psi} \frac{\frac{a_{1\psi}}{2} z_{m\psi} s + 1}{a_{0\psi} z_{m\psi}^2 s^2 + a_{1\psi} z_{m\psi} s} \doteq \\ &\doteq A_{0\psi} - \frac{A_{0\psi}}{2} e^{-\frac{U_{1\psi}}{z_{m\psi}}} - \frac{A_{0\psi}}{2} e^{-\frac{U_{2\psi}}{z_{m\psi}}}. \end{aligned} \quad (37)$$

ადრე მიღებული დამოკიდებულებების თანახმად გამსხვილებული სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ

$$\Phi_{1\psi} K_{n\alpha} + \Phi_{2\psi} T_{\text{დიფ}} + \Phi_{3\psi} K_{\text{ინტ}} + \Phi_{4\psi} K_{oc} = \Phi_{0\psi}, \quad (38)$$

სადაც:

$$\Phi_{1\psi} = W_{\Gamma M \Sigma}(s),$$

$$\Phi_{2\psi} = s W_{\Gamma M \Sigma}(s),$$

$$\Phi_{3\psi} = \frac{W_{TM \Sigma}(s)}{s},$$

$$\Phi_{4\psi} = -W_{\text{н}}(s) M_{O\psi}(z),$$

$$\Phi_{O\psi} = W_{O\psi}(s).$$

შემოგვაქვს განხილვაში წარმოსახვითი სიხშირეები $\delta = j\omega$, წონითი კოეფიციენტები λ_m და ვიხილავთ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\lambda_{mv} \Phi_{1\psi}(\delta_v, z_m) K_{n3} + \lambda_{mv} \Phi_{2\psi}(\delta_v, z_m) T_{\partial u \phi} + \lambda_{mv} \Phi_{3\psi}(\delta_v, z_m) K_{uvm} + \lambda_{mv} \Phi_{4\psi}(\delta_v, z_m) K_{oc} = \lambda_{mv} \Phi_0(\delta_v, z_m). \quad (39)$$

ასეთი სახით მიღებულ პირობით განტოლებათა სისტემას დავამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდს და მივიღებთ:

$$D_{11\psi} K_{n3} + D_{12\psi} T_{\partial u \phi} + D_{13\psi} K_{uvm} + D_{14\psi} K_{oc} = D_{01\psi}; \quad (40)$$

$$D_{21\psi} K_{n3} + D_{22\psi} T_{\partial u \phi} + D_{23\psi} K_{uvm} + D_{24\psi} K_{oc} = D_{02\psi}; \quad (41)$$

$$D_{31\psi} K_{n3} + D_{32\psi} T_{\partial u \phi} + D_{33\psi} K_{uvm} + D_{34\psi} K_{oc} = D_{03\psi}; \quad (42)$$

$$D_{41\psi} K_{n3} + D_{42\psi} T_{\partial u \phi} + D_{43\psi} K_{uvm} + D_{44\psi} K_{oc} = D_{04\psi}, \quad (43)$$

სადაც:

$$D_{11\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{1\psi}^2;$$

$$D_{12\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{2\psi} \cdot \Phi_{1\psi};$$

$$D_{13\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{3\psi} \Phi_{1\psi};$$

$$D_{14\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{4\psi} \Phi_{1\psi};$$

$$D_{21\psi} = D_{12\psi};$$

$$D_{22\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{2\psi}^2;$$

$$D_{23\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{3\psi} \Phi_{2\psi};$$

$$D_{24\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{4\psi} \Phi_{2\psi};$$

$$D_{31\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{1\psi} \Phi_{3\psi} = D_{13\psi};$$

$$D_{32\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{2\psi} \Phi_{3\psi} = D_{23\psi};$$

$$D_{33\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{3\psi}^2;$$

$$D_{41\psi} = \sum_v \lambda_{mv}^2 \Phi_{4\psi} \Phi_{1\psi} = D_{14\psi};$$

$$D_{42\psi} = \sum_{\nu} \lambda_m^2 \Phi_{4\lambda} \Phi_{2\nu} = D_{24\psi} ;$$

$$D_{43\psi} = \sum_{\nu} \lambda_m^2 \Phi_{4\nu} \Phi_{3\psi} = D_{34\psi} ,$$

$$D_{44\psi} = \sum_{\nu} \lambda_m^2 \Phi_{4\nu}^2 .$$

მიღებული სისტემის ამოხსნით დავდევართ K_{n3} , K_{uim} , $T_{ou\phi}$, K_{oc} პარამეტრების მნიშვნელობებზე.

$$K_{n3} = \frac{D_{n3}}{D} ;$$

$$T_{ou\phi} = \frac{D_{ou\phi}}{D} ;$$

$$K_{uim} = \frac{D_{uim}}{D} ,$$

$$K_{oc} = \frac{D_{oc}}{D} .$$

აქ:

$$D_{11} = \begin{vmatrix} D_{01\psi} & D_{12\psi} & D_{13\psi} & D_{14\psi} \\ D_{02\psi} & D_{22\psi} & D_{23\psi} & D_{24\psi} \\ D_{03\psi} & D_{32\psi} & D_{33\psi} & D_{34\psi} \\ D_{04\psi} & D_{42\psi} & D_{43\psi} & D_{44\psi} \end{vmatrix} ;$$

$$D_{ou\phi} = \begin{vmatrix} D_{11\psi} & D_{01\psi} & D_{13\psi} & D_{14\psi} \\ D_{21\psi} & D_{02\psi} & D_{23\psi} & D_{24\psi} \\ D_{31\psi} & D_{03\psi} & D_{33\psi} & D_{34\psi} \\ D_{41\psi} & D_{04\psi} & D_{43\psi} & D_{44\psi} \end{vmatrix} ;$$

$$D_{uim} = \begin{vmatrix} D_{11\psi} & D_{12\psi} & D_{01\psi} & D_{14\psi} \\ D_{21\psi} & D_{22\psi} & D_{02\psi} & D_{24\psi} \\ D_{31\psi} & D_{32\psi} & D_{03\psi} & D_{34\psi} \\ D_{41\psi} & D_{42\psi} & D_{04\psi} & D_{44\psi} \end{vmatrix} ;$$

$$D_{oc} = \begin{vmatrix} D_{11\psi} & D_{12\psi} & D_{13\psi} & D_{01\psi} \\ D_{21\psi} & D_{22\psi} & D_{23\psi} & D_{02\psi} \\ D_{31\psi} & D_{32\psi} & D_{33\psi} & D_{03\psi} \\ D_{41\psi} & D_{42\psi} & D_{43\psi} & D_{04\psi} \end{vmatrix} ;$$

$$D = \begin{vmatrix} D_{11\psi} & D_{12\psi} & D_{13\psi} & D_{14\psi} \\ D_{21\psi} & D_{22\psi} & D_{23\psi} & D_{24\psi} \\ D_{31\psi} & D_{32\psi} & D_{33\psi} & D_{34\psi} \\ D_{41\psi} & D_{42\psi} & D_{43\psi} & D_{44\psi} \end{vmatrix}.$$

გარდამავალი $\psi(t)$ პროცესის მრუდის აგებისათვის ვიყენებთ გადამცემ ფუნქციას

$$W_\psi(s) = \frac{W_{nu\theta} W_{\alpha\kappa} W_{z3}}{1 + W_{nu\theta} W_{\alpha\kappa} W_{z3}}. \quad (44)$$

აქ:

$$W_{\alpha\kappa} = \frac{K_{\alpha 1} W_x}{1 + K_{oc} W_{\tau c}};$$

$$W_{\tau s} = \frac{b_{\tau 1} s + b_{\tau 0}}{a_{\tau 3} s^3 + a_{\tau 2} s^2 + a_{\tau 1} s + 1}.$$

$$b_{\tau 1} = \frac{64\tau^3}{I_\Sigma};$$

$$b_{\tau 0} = \frac{32\tau^2}{I_\Sigma};$$

$$a_{\tau 3} = 64\tau^2;$$

$$a_{\tau 2} = 32\tau^2;$$

$$a_{\tau 1} = 8\tau.$$

აღნიშნულიდან გამომდინარე:

$$W_{\alpha\kappa} = \frac{K_{\alpha 1} (b_{\tau 1} s + b_{\tau 0})}{a_{\tau 3} s^3 + a_{\tau 2} s^2 + (a_{\tau 1} + K_{oc} K_{\alpha 1} b_{\tau 1}) s + (1 + K_{oc} K_{\alpha 1} b_{\tau 0})}; \quad (45)$$

$$W_{nu\theta}(s) = K_{n3} + K_{\text{du}\phi} s + K_{um} \frac{1}{s};$$

$$W_{n-3} = W_{nu\theta} W_{\alpha\kappa} W_{z3} = \frac{K_{\alpha 1} \left(K_{n3} + K_{\text{du}\phi} s + K_{um} \frac{1}{s} \right) (b_{\tau 1} s + b_{\tau 0})}{a_{\tau 3} s^3 + a_{\tau 2} s^2 + a_{x\tau 1} s + a_{x\tau 0}} \times$$

$$\times \frac{K_{z3} (1 + T_{ok} s)}{s(1 + T_{1\kappa} s + T_{2\gamma} s^2)} = \frac{K_{\alpha 1} (K_{n3} s + K_{\text{du}\phi} s^2 + K_{um}) (b_{\tau 1} s + b_{\tau 0})}{s^2 (a_{\tau 3} s^3 + a_{\tau 2} s^2 + a_{* \tau 1} s + a_{* \tau 0}) (T_{2\kappa} s^2 + T_{1\kappa} s + 1)}.$$

გამსხვილებული სახით

$$W_{n-3} = \frac{B_4 s^4 + B_3 s^3 + B_2 s^2 + B_1 s + B_0}{A_7 s^7 + A_6 s^6 + A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2},$$

სადაც

$$\begin{aligned} B_4 &= K_{23} B_{3*} T_{OK}; \\ B_3 &= K_{23} (B_{2*} T_{OK} + B_{3*}); \\ B_2 &= K_{23} (B_{1*} T_{OK} + B_{2*}); \\ B_1 &= K_{23} (B_0 T_{OK} + B_{1*}); \\ B_0 &= K_{\alpha 1} K_{umm} b_{\tau 0}; \\ B_{3*} &= K_{\alpha 1} K_{ou\phi} b_{\tau 1}; \\ B_{2*} &= K_{\alpha 1} (K_{n3} b_{\tau 1} + K_{ou\phi} b_{\tau 0}); \\ B_{1*} &= K_{\alpha 1} (K_{umm} b_{\tau} + K_{n3} b_{\tau 0}); \\ A_6 &= a_{\tau 2} T_{2\kappa} + a_{\tau 3} T_{1\kappa}; \\ A_5 &= a_{*\tau 1} T_{2\kappa} + a_{\tau 2} T_{1\kappa} + a_{\tau 3}; \\ A_4 &= a_{*\tau 0} T_{2\kappa} + a_{*\tau 1} T_{1\kappa} + a_{\tau 2}; \\ A_3 &= a_{*\tau 0} T_{1\kappa} + a_{*\tau 1}; \\ A_2 &= a_{*\tau 0}. \end{aligned}$$

შემდგომ ვიღებთ:

$$\begin{aligned} W_{\psi}(s) &= \frac{W_{n-3}(s)}{1 + W_{n-3}(s)} = \\ &= \frac{B_3 s^3 + B_2 s^2 + B_1 s + B_0}{A_7 s^7 + A_6 s^6 + A_5 s^5 + A_4 s^4 + A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_{1*} s + B_0}, \end{aligned} \quad (46)$$

სადაც: $A_{4*} = A_4 + B_4$;

$$A_{3*} = A_3 + B_3; \quad A_{2*} = A_2 + B_2;$$

$$A_{1*} = A_1 + B_1.$$

მიღებული გამოსახულებების თანახმად გაგებთ, როგორც საგნობრივ სიხშირულ მახასიათებლებს, აგრეთვე გარდამავალი პროცესების მრუდებს.

გადავდივართ ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებლებზე, რისთვისაც გამოსახულებაში s ოპერატორის ნაცვლად შემოგვაქვს არგუმენტი $j\omega$, სადაც ω – წრიული სიხშირე და j – წარმოსახვითი ერთიანი.

ვიღებთ ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებელს

$$\Psi(j\omega) = \frac{A_\psi(j\omega)}{B_\psi(j\omega)}.$$

უკანასკნელის გამოყენებით გაგებით სისტემის საგნობრივ-სიხშირულ მახასიათებელს

$$P(\omega) = \operatorname{Re}[x(j\omega)] = \frac{R_A(\omega)R_B(\omega) - I_A(\omega)I_B(\omega)}{R_B^2(\omega) + R_A^2(\omega)}, \quad (47)$$

სადაც:

$$R_A(\omega) = 1 - b_{2\psi}\omega^2;$$

$$I_A(\omega) = b_{1\psi}\omega - b_{3\psi}\omega^3;$$

$$R_B(\omega) = 1 - a_{2\psi}\omega^2 + a_{4\psi}\omega^4 - a_{6\psi}\omega^6;$$

$$I_B(\omega) = a_{2\psi}\omega - a_{3\psi}\omega^3 + a_{5\psi}\omega^5 - a_{7\psi}\omega^7;$$

$R(\omega)$ და $I(\omega)$ – შესაბამისად საგნობრივი და წარმოსახვითი ნაწილებია.

სინთეზის შემოთავაზებული მეთოდის აპრობაციისათვის ვატარებთ კონკრეტულ საანგარიშო გამოკვლევებს. ამისათვის α -სისტემისათვის სასურველი პროცესის საწყის პარამეტრებად იქნა შერჩეული $u_1 = 2$ და $u_2 = y \frac{1}{\sqrt{\delta}}$, ხოლო ψ -სისტემისათვის $u_{1\psi} = 0,02 \frac{1}{\sqrt{\delta}}$, $u_{\psi 2} = 0,04 \frac{1}{\sqrt{\delta}}$.

ამასთან ერთად საკვლევ სისტემასთან მიმართებაში არარეგულირებადი პარამეტრების მნიშვნელობებად იქნა შერჩეული.

$$I_0 = 1,2 \cdot 10^7 \text{ კგმ}^2; \quad R_{0e} = 2,58 \text{ ომ}, \quad L_{0e} = 5,10^4 \text{ გ}; \quad I_{0e} = 2,1 \text{ კგმ}^2; \quad C_e = 0,219;$$

$$C_M = 2,09; \quad T_{\phi 1} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ წმ}; \quad R_{\phi 1} = 2000 \text{ ომ}; \quad K_{\phi 1} = 1,4; \quad i_p = 1240;$$

$$K_n = 7,5; \quad I_2 = 7,8 \text{ კგმ}^2; \quad \beta_{12} = 0,015 \text{ მ/რად წმ}, \quad \tau = 6,7 \text{ მწმ},$$

$$C_{12} = 250 \frac{\text{მ}}{\text{რად}}; \quad T_M = 1,92 \cdot 10^{-2} \text{ წმ}.$$

დაქვემდებარებული რეგულირების მეთოდის თანახმად მიღებულ იქნა:

$$K_{pm} = 0,1; \quad T_p = 5,57 \text{ მწმ}; \quad K_{pc} = 4,325; \quad T_{pc} = 26,7 \text{ მწმ}; \quad K_n = 57 \text{ წმ}^{-1}.$$

ψ – სისტემის გაანგარიშებისათვის კი შემოტანილი იქნა დამატებითი პარამეტრები:

$$K_{gif} = 9 \text{ წმ}; K_{umm} = 0,02 \text{ წმ}^{-1}; K_{z3} = 0,104 \text{ წმ}^{-1}; T_{ok} = 9,81 \text{ წმ};$$

$$T_{1k} = 3,31 \text{ წმ}; T_{2k} = 2,86 \text{ წმ}, K_{n7} = 3,64 \text{ ვ/რად}.$$

ამ მნიშვნელობათა გამოყენებით რეგულირებადი $\alpha(t)$ და $\psi(t)$ კოორდინატების გამოსახულებები იმ შემთხვევისათვის, როდესაც $z_{m\alpha} = z_{m\psi} = 1,0$ იღებენ სახეს:

$$\psi(s) = \frac{0,256s^3 + 25,6s^2 + 5,82s + 1}{0,12s^7 + 5,95s^6 + 6,6s^5 + 12,5s^4 + 125s^3 + 59,59s^2 + 3,58s + 1}, \quad (48)$$

$$\alpha_\tau(s) = \frac{0,55s + 1}{0,08s^3 + 0,09s^2 + 1,1s + 1}. \quad (49)$$

სისტემათა სინთეზის საფუძველზე მიღებული იქნა სინთეზირებადი პარამეტრების მნიშვნელობები და აგებული იქნა გარდამავალი პროცესების მრუდები.

α -სისტემის კვლევებისას მიღებული იქნა სინთეზირებადი პარამეტრების შემდეგი მნიშვნელობები:

$$K_\alpha = 57 \text{ წმ}^{-1}; \text{ როდესაც } z_{m\alpha} = 1,0 \text{ და } K_\alpha = 125 \text{ წმ}^{-1}, \text{ როდესაც } z_{m\alpha} = 0,6.$$

$$\text{აქ } K_\alpha = K_{n\alpha} \cdot K_{\alpha 1}, \text{ სადაც } K_{n\alpha} = 3,65 \text{ ვ/რად და } K_{\alpha 1} = \frac{57}{3,65} = 16,01 \frac{1}{\text{წმ}}.$$

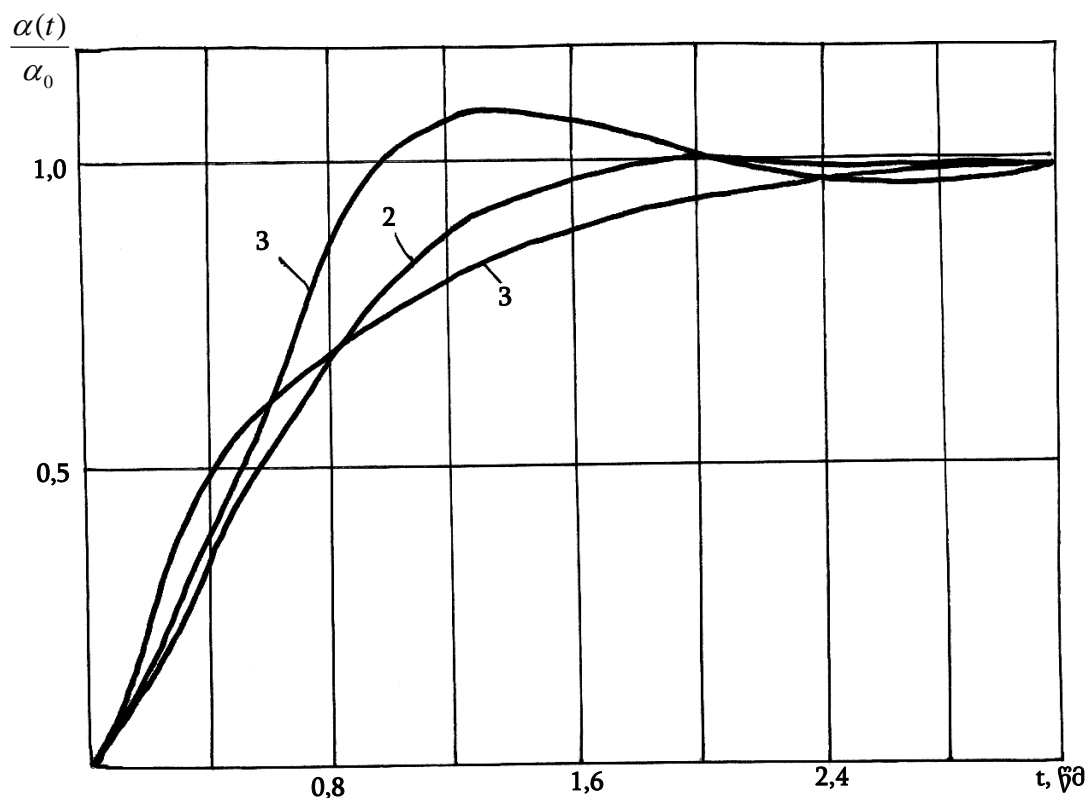
ნახაზზე 6 მოცემულია α -სისტემის გარდამავალი პროცესები, სადაც 1, 2 და 3 მრუდები მიღებული $z_m = 1,0$, $z_m = 0,8$ და $z_m = 0,6$ -ის შესაბამისად

ψ - სისტემის პარამეტრული სინთეზის შედეგები - სინთეზირებადი პარამეტრების K_{n3}, T_{duf}, K_{umm} და K_{oc} დამოკიდებულება z_m პარამეტრთან გამოსახულია ნახ. 7.

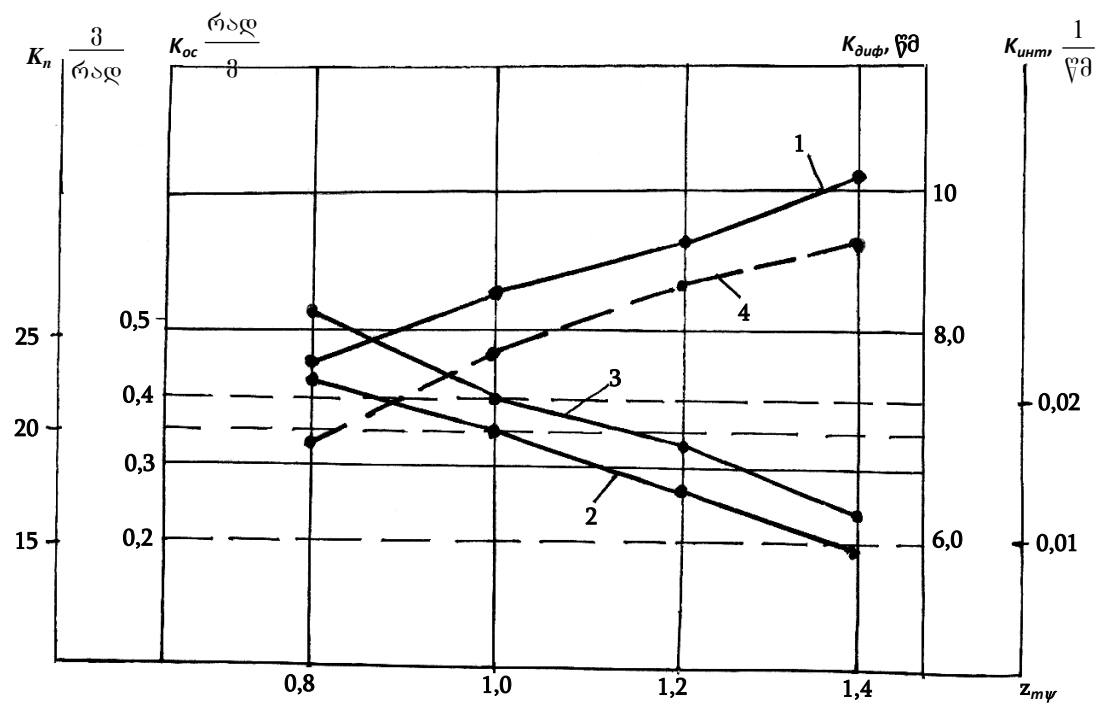
სისტემა ψ -ს დინამიკური მდგრადობის ანალიზისათვის ვიყენებთ λ კოეფიციენტებს [66] ვსაზღვრავთ ფარდობათა თანამიმდევრობას

$$a_{n-2}/a_n; a_{n-3}/a_{n-1}, a_{n-4}/a_{n-2}, \dots, a_1/a_4, a_0/a_2.$$

ვსაზღვრავთ λ კოეფიციენტების მნიშვნელობებს, ანგარიშებმა გვიჩვენეს, რომ $z_m = 1,2$ და $z_m = 0,8$ ყველა λ არის 0,465-ზე ნაკლები, რაც მიგვითითებს იმაზე, რომ სისტემა აღნიშნული პარამეტრებით მდგრადია.



ნახ. 6. გარდამავალი პროცესების მრუდები α -სისტემაში

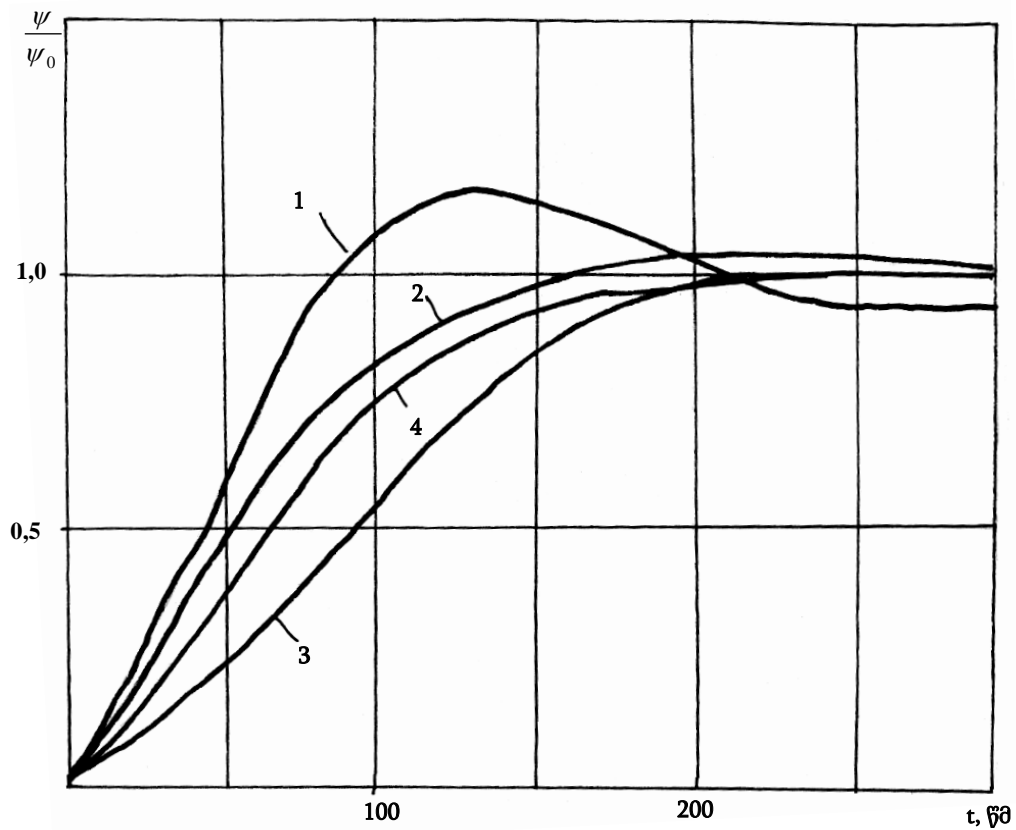


ნახ. 7. სინთეზის შედეგად მიღებული დამოკიდებულებები:
 1 - $K_{ძიფი}(z_m)$; 2 - $K_n(z_m)$; 3 - $K_{ითი}(z_m)$, 4 - $K_{oc}(z_m)$

გადავდივართ გარდამავალი მრუდების აგებაზე, საფუძვლად ვიღებთ ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებელს

$$\Psi(j\omega) = \frac{0,256(j\omega)^3 + 25,6(j\omega)^2 + 5,82(j\omega) + 1}{0,12(j\omega)^7 + 5,9(j\omega)^6 + 6,6(j\omega)^5 + 12,5(j\omega)^4 + 125(j\omega)^3 + 5,95(j\omega)^2 + 3,58(j\omega) + 1} \quad (50)$$

ნახ. 8 კიდევ მოცემულია გარდამავალი პროცესების მრუდები. აქ მრუდები 1, 2 და 3 შეესაბამებიან z_m -ის მნიშვნელობებს $z_m = 0,8$, $z_m = 1,0$ და $1,2$; 4 - სასურველი პროცესის მრუდი.



ნახ. 8. გარდამავალი პროცესების მრუდები ψ - სისტემაში

მოყვანილი გარდამავალი პროცესების მრუდები, ერთის მხრივ გვიჩვენებენ მათ სიახლოვეს სასურველთან და მეორეს მხრივ იმას, რომ მიღებული სინთეზირებადი პარამეტრები გარდამავალი პროცესის მრუდებთან შეთანწყობაში გვაძლევენ სინთეზირებადი პარამეტრების

შერჩევის საშუალებას გარდამავალი პროცესების საჭირო მაჩვენებლების მიღების პირობიდან გამომდინარე.

დინამიკური მდგრადობის ანალიზთან დაკავშირებით ნახ. 8 მოყვანილი პროცესებისათვის ვიღებთ შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$z_m = 0,8; \lambda_5 = 0,29, \lambda_4 = 0,26, \lambda_3 = 0,23, \lambda_2 = 0,29, \lambda_1 = 0,31;$$

$$z_m = 1,0; \lambda_5 = 0,23, \lambda_4 = 0,21, \lambda_3 = 0,189, \lambda_2 = 0,208, \lambda_1 = 0,29,$$

$$z_m = 1,2; \lambda_5 = 0,28, \lambda_4 = 0,184, \lambda_3 = 0,165, \lambda_2 = 0,182, \lambda_1 = 0,249.$$

მოყვანილი მონაცემები მიგვითითებს სისტემათა მდგრადობაზე.

დასკვნები

1. გემების მდებარეობისა და კურსის მართვის თანამედროვე ავტომატიზებული სისტემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უკანასკნელებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს რთული სტრუქტურის მქონე მრავალრეჟიმიანმა მრავალკონტურიანმა ელექტრომექანიკურმა ამბრავთა სისტემებმა. ასეთი სისტემების გაანგარიშებისა და პროექტირების საკითხები მათი პარამეტრული და სტრუქტურული სინთეზის თვალსაზრისით წარმოადგენენ აქტუალურ სამეცნიერო-ტექნიკურ ამოცანას.
2. საკვლევი რთული მრავალკონტურიანი სისტემების ცალკეული ელემენტების სტრუქტურული აგების, მათი თავისებურებების, დინამიკური მოდელირების, ანალიზისა და სინთეზის საკითხების გადაჭრის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამ სისტემათა პროექტირებისა და ექსპლუატაციის ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით არსებული მათემატიკური მოდელები, ანალიზისა და დინამიკური სინთეზის მეთოდები და მეთოდები მოითხოვენ მათ შემდგომ განვითარებას.
3. ცნობილი კვლევების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დინამიკური მოდელირებისა და კვლევების ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით საჭიროა სისტემის მრავალმასიან მექანიკურ ნაწილში, არსებული დრეკადი კავშირების გათვალისწინება. უკანასკნელი

კი თავის მხრივ დაკავშირებულია მექანიკური ნაწილს მოდელირებისა და კვლევის მეთოდების და მეთოდიკების შეთანწყობასთან მთლიანი ელექტრომექანიკური სისტემის მოდელირებისა და კვლევის საკითხებთან.

4. საკვლევი სისტემის ცალკეული ელემენტების მათემატიკური მოდელების აგების ძირითადი მიდგომების, შემუშავებული მოდელების და მათი შეთანწყობის საკითხების გათვალისწინებით აგებულია მთლიანი სისტემის დინამიკური მოდელები. მექანიკური ნაწილის მოდელირების საკითხის გადაჭრაში მთლიანი სისტემის სტრუქტურასთან შეთანწყობაში გამოყენებულია აპროქსიმაციულ მოდელებზე გადასვლის ორიგინალური მეთოდოლოგია, აგებული წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებული მახასიათებლების გამოყენებაზე.
5. შემუშავებული მათემატიკური მოდელირებისა და აგრეთვე ცნობილი კვლევების ანალიზი დინამიკური სინთეზის ძირითადი კრიტერიული პარამეტრების გამოვლენის თვალსაზრისით მიგვითითებს საკვლევი სისტემის სინთეზის თეორიის შემუშავებას მიზანშეწონილობაზე ცნობილი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდის გამოყენების საფუძველზე. დასაბუთებულია სინთეზის აღნიშნული მეთოდის გამოყენება მისი თანაეტაპური მისადაგებით გემის საჭისა და მთლიანობაში გემის კურსის მართვის სისტემებისადმი. შემოთავაზებულ სინთეზის გამოყენებითი თეორიის აგების ზოგადი სქემა, რომელიც მიმართულია ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაციისკენ.

ჩამოყალიბებულია სინთეზის გამოყენებითი თეორიის აგების ზოგადი სქემა.

6. ლაპლასის (ან კარსონის) გარდაქმნებში ჩაწერილი რეგულირებადი კოორდინატების გამოსახულებების ხარისხობრივი ანალიზის საფუძველზე დასაბუთებულია აგების შესაძლებლობა და აგებულია რეგულირებადი და რეალიზაციისათვის სასურველი კოორდინატების მიახლოებითი ტოლობის მათემატიკური მოდელები ცალკეული მდგენელების ჯამის სახით, რომლებშიც წრფივი მამრავლები (კოეფიციენტების) წარმოდგენილია

განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი კრიტერიული პარამეტრები. ამის საფუძველზე განხორციელებულია მრავალპარამეტრული სინთეზის პროცედურათა მიმდევრობითი რეალიზაცია შემდეგი სქემით: საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში წრფივი პირობითი და შემდგომ ნორმალური განტოლებების სისტემების შედგენა, დინამიკური მდგრადობის შემდგომი შემოტანით სასურველი კოორდინატების გამოსახულებებში არგუმენტების სახით არსებული დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციით.

მდგრადობის პირობის შემოტანასთან დაკავშირებით უფრო ზუსტი მიდგომით დინამიკურ პროცესებთან ნაშრომში განხილულია დინამიკური მდგრადობის პირობები სისტემათა პარამეტრების არასტაციონარულობებთან დაკავშირებით.

7. მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის თეორიის შემუშავებული ზოგადი სქემის და აგრეთვე რეგულირებადი კოორდინატების სასურველებთან ინტეგრალური მიახლოვების შემადგენელი მათემატიკური მოდელების და პროცედურების გამოყენებით იმავდროული მდგრადობის პირობის შემოტანით აგებულია პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის ალგორითმები.

საკვლევი მრავალკონტურიანი სისტემების მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით შემუშავებული სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებების და უტყუარობის გამოვლენისათვის ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი ელექტრომექანიკური სისტემის საანგარიშო გამოკვლევების გარკვეული წრე.

განგარიშების შედეგებმა გვიჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა, მიღებული შედეგების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი თვალსაზრისით კი – გარდამავალი პროცესები სინთეზირებულ სისტემაში საკმაოდ ახლოს არიან სასურველ პროცესებთან.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ

შრომებში:

1. Диасамидзе Т.А., Романадзе И.Р., Диасамидзе А.А., Диасамидзе М.Р. К исследованию динамики судовой электромеханической системы управления курсом / Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 1(23), 2012, с. 100-105.
2. Диасамидзе Т.А., Тавадзе А.Т., Романадзе И.Р., Диасамидзе М.Р., Микеладзе З.Г. К вопросу динамики судовой электромеханической системы управления рулем / Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 2(27), 2013. с.71-77.
3. Мchedlishvili T.Ф., Романадзе И.А., Диасамидзе Т.А., Чхолария Н.Н. К вопросу оптимизационного синтеза электромеханических следящих приводов по заданным переходным процессам / Сб. трудов международной конференции «Basic paradicms in science and mechology development for 21st SEMINARY», Тбилиси, 2012, с. 199-204.
4. Мchedlishvili T.Ф., Марсагишвили В.Т., Диасамидзе Т.А., Гвиниашвили З.М. К вопросу оптимизационного синтеза электрогидромеханических систем приводов по заданным переходным процессам / Сб. трудов международной конференции. «Basic paradicms in science and mechology development for 21st SEMINARY», Тбилиси. Техн. университет, 2012. с. 191-195.
5. Mchedlishvili T., Diasamidze T., Diasamidze R., Jobadze V., Nakaidze N. On issue of Optimization sunthesis of electromechanical Follow – up Drives with elastic Couplins in mechanical Part. // Problems of Mechanics, Tbilisi, N2 (55), 2014, p. 161-166.

Abstract

The ship's course and location control systems that perform the basic tasks of navigation related to accurate and safe handling of vessel accordingly to stated task and qualitative criteria, in turn, the among the ships automated drives represents most complex multi-contour systems.

The review of related to the mentioned drives systems development and research papers demonstrates the topicality of scientific and technological task to improve the effectiveness of carried in them dynamic processes analysis and synthesis methods and techniques that represents an integral part of complex multi-link, multi-contour systems optimization calculation general problem.

The dynamic research methods and methodologies are requiring its further development in terms purposeful search of adjustable parameters optimum matching related to expansion of their functional capacity, as well as revealing new structural schemes, proceeding from obtaining of necessary quality requirements in transition processes of the structurally complex systems.

Thesis aims on the development of ship's course and location control electromechanical systems (drives follow-up systems) models, new layouts, dynamic synthesis methods and techniques accordingly of adjustable complex systems preliminary stated transition processes grounded on synthesis a known method application and directed to the improvement of quality and he effectiveness of systems under study.

To achieve the aim in the research objectives are included:

- analysis of the current state of development of drive systems under study, their dynamic analysis and synthesis methods and techniques and further research goals formation;
- analysis of mathematical models of functional elements of multi-contour systems under study and based on them development of dynamical models of the whole systems developed in mechanical part with absolutely rigid, as well as taking into account the models with elastic links;
- due the application of developed models construction of systems under study dynamic structural schemes, transmission functions and adjustable co-ordinates expressions as an integral part of the synthesis method under development;
- revealing main regularities of method under development and accordingly of stated transition processes construction of synthesis algorithms;
- research of specific follow-up systems. Revealing of developed methods and systems features and degree of efficiency.

The scientific novelty of work lies in:

- new methodological approaches for related to operating in vessels electromechanical systems dynamics of mathematical models, according to the stated transition processes in synthesis method formation of the desired processes and construction of synthesized parameters search methods.

The practical value of work. The methods and methodologies of dynamic analysis and synthesis of multi-mode drive systems under study and results of

research directed towards improving the quality and efficiency of the vessels drive electromechanical systems.

In the **introductory part** is grounded the actuality of thesis, are conducted the review of general functional and specific types electro-mechanical systems for ship's course and location control systems, schemes and structural features.

Is conducted a review of the considered dynamic systems modeling and survey issues, in particular are analyzed the mechanical part modeling required for research mathematical patterns as well as automated follow-up drive systems construction and research basic method, and methodologies.

In the **main part** of the work are considered two different structures follow-up electromechanical systems. Are analyzed separate functional elements and their dynamic mathematical models.

By the taking into account separate elements models are constructed dynamic models of systems, dynamic structural schemes and transmission functions. At dynamic modeling are considered variants of systems mechanical part with absolutely rigid, as well as with elastic links two-mass approximation models.

Are studied according the expanded form of the stated transition processes system under study individual stages of the synthesis methodology and procedures.

Is stated original method of dynamic analysis of structural schemes with elastic links matching with synthesis method according to the transition process. Are constructed the dynamics transition models and strukturili schemes, based on that are formulated analysis methods of vibrational parameters component in the transitional process.

For the realization of synthesis methodology have been selected expressions for the system desired processes; conditional and normal simultaneous equations written down related to desired parameters. Are stated the expressions of the normal equations solutions. Are stated the mathematical regularities for dynamic analysis.

For the approbation of procedures was conducted engineering studies related for having some initial parameters systems.

The carried out report studies reveals the practical efficiency of developed theory of engineering synthesis of the system under study. For proximity to the desired processes, as well as for further improvement in terms of their characteristics