

T. mWedliSvili

საჩარხო ელექტრომექანიკური ამპრაფების მათემატიკური

მოდელეები და დინამიკური კვლევა

saleqcio konspeqti

თბილისი 2011

შინაარსი

შესავალი	2
1. ამპრაფთა ელექტრომექანიკური სისტემების მიმოხილვა	3
2. მექანიზმების და მანქანების პროექტირებისა და დინამიკური კვლევის საკითხები.....	8
3. მექანიკური ნაწილის დინამიკური ანალიზი.....	26
4. ელექტრომექანიკური ამპრაფის მათემატიკური მოდელი	35
5. ელექტრომექანიკური სისტემის ამპლიტუდურ–სიხშირული გამოკვლევების შესახებ	41
6. ელექტრომექანიკური ამპრაფი მოდალური მართვით	51
დასკვნა.....	59
გამოყენებული ლიტერატურა	61

1. ამპრაფთა ელექტრომექანიკური სისტემების მიმოხილვა

ტექნოლოგიური მანქანების და აგრეგატების მწარმოებლობის გაზრდა უმეტესწილად ხორციელდება მუშა სიჩქარეების გაზრდის გზით, რაც თავის მხრივ, დღის წესრიგში აყენებს უფრო მაღალი სწრაფქმედების მქონე ამპრაფთა სისტემების შექმნის აუცილებლობას. [1-10].

თანამედროვე ავტომატიზებული ელექტროამპრაფების თეორიასა და პრაქტიკაში უპირატესი მნიშვნელობა ენიჭება დაქვემდებარებული რეგულირების კონტურებიანი გირისტორული ელექტროამპრაფების შექმნას და ფართო დანერგვას სხვადასხვა სამრეწველო დანადგარებზე, როდესაც კი საჭიროა სიჩქარეთა ფართო დიაპაზონში რეგულირება. მათ რიცხვს სხვა მანქანებთან ერთად ეკუთვნის აგრეთვე ქაღალდის მრეწველობაში მოქმედი ტექნოლოგიური აგრეგატები (ქაღალდის დამამზადებელი მანქანები, კალანდრები, სუპერკალანდრები, ქაღალდის გრძივად დამჭრელი დამგები და სხვ.) ასეთი ამპრაფების დინამიკური რეჟიმები უფრო მეტად არის შესწავლილი „ხისტი“ მექანიკური ლილვების შემთხვევებისათვის [3,5-10].

ქაღალდის დამამზადებელი მანქანების (აგრეთვე სხვა მრავალი ანალოგიური მანქანების, მაგ. უწყვეტი საგლინი ღებების, მინისა და პოლიმერული მასალების მკეთებელი მანქანების და ა.შ.) ტექნოლოგიური პროცესებისა და რთული კონსტრუქციების გამო ამპრაფთა არსებული მართვის სისტემებით და სტანდარტული ოპტიმიზაციის მეთოდებით ყოველთვის ვერ აღწევნ შესაძლებლობათა მაქსიმუმს. ამის მიზეზი, სახელდობრ ძრავებსა და მექანიზმებს შორის შემაერთებული „გრძელი“ ლილვების ღრეკადი მახასიათებლებია. მაღალი სწრაფქმედების მიღწევის მცდელობისას აღნიშნული ღრეკადი ლილვები დინამიკაში ამპრაფში წარმოქმნიან გრძელ რხევებს, რომლებიც არა თუ უბრალოდ ხელისშემშლელად მოქმედებენ, არამედ იწვევენ კონსტრუქციათა ცალკეული კვანძების დაზიანებას ან მსხვრევას [3-10].

მანქანებისა და მექანიზმების, აგრეთვე მათი ამპრაფების თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებს ღრეკადი გრანსმისიების გათვალისწინებით მიძღვნილი აქვს მეცნიერთა მრავალი პუბლიკაცია დაწყებული XX საუკუნის

70-იანი წლებიდან. [1-3]-ში განხილულია დრეკადრგოლებიან ამძრავთა მექანიკური სისტემების საანგარიშო სქემების შედგენა. მოყვანილია ორ და მრავალმასიანი სისტემების დინამიკური მოძრაობის განგოლებები, მოცემულია მექანიკური სისტემების ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდები ოპტიმიზაციური სინთეზის და დინამიურობის კოეფიციენტის დახმარებით. მთელ რიგ ნაშრომებში ნაჩვენებია ლილვების დრეკადობათა მავნე ზემოქმედება ამძრავების გარდამავალ პროცესებზე [8-9].

[8-10]-ში მოცემულია ამძრავთა სისტემებზე დრეკადი ლილვების გავლენის შესაფასებლად ელექტრომექანიკური კავშირის განზოგადებული კოეფიციენტის ფორმულა:

$$K_{\text{ეკ}} = \frac{W_{\mu}(P)}{W_{\text{ლრ}}(P)}, \quad (1)$$

სადაც $W_{\mu}(P)$ და $W_{\text{ლრ}}(P)$ -ამძრავის გადამცემი ფუნქციებია ძრავის ბრუნვის მომენტისა და ამძრავის დრეკადი მომენტის გამოსასვლელი სიგნალებითა და ძრავის ღერძზე დატვირთვის მომენტში შესასვლელი სიგნალის მიხედვით.

ამ ნაშრომის მიხედვით დრეკადობის გათვალისწინება აუცილებელია, თუ:

$$0,2 \leq |K_{\text{ეკ}}|_{\omega=\omega_{\text{დრ}}} < 5 \quad (2)$$

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ნაშრომში რეკომენდებული შეფასების სიხშირული კრიტერიუმები. ეს კრიტერიუმები შემუშავებულია ამძრავის გარე კონტურის ლოგარიტმულ-სიხშირული მახასიათებლების შედარების საფუძველზე დრეკადი თვისების გათვალისწინებით და მის გარეშე.

სიხშირული მახასიათებლების გაანალიზების შედეგად [10]-ში დადგენილია შემდეგი პირობები, როცა აუცილებელია დრეკადობათა გათვალისწინება:

$$\omega_{\text{კვ}} \geq \xi \cdot q \cdot \omega_{\text{ლრ}}, \text{ თუ } T_{\Sigma 1}^{-1} \geq \omega_{\text{ლრ}} \quad (3)$$

$$\omega_{\text{კვ}} \geq \xi \cdot q \cdot \omega_{\text{ლრ}}^2 \cdot T_{\Sigma 1}, \text{ თუ } T_{\Sigma 1}^{-1} < \omega_{\text{ლრ}} \quad (4)$$

სადაც $T_{\Sigma 1}$ – სიჩქარის კონტურის გაუკომპენსირებული დროის მუდმივაა; $\omega_{\text{კვ}}$ – ლამ-ზე კვეთის სიხშირეა. $\omega_{\text{ლრ}}$ – დრეკადი რხევების სიხშირეა. ξ – გრეხითი რხევების ჩაქრობის კოეფიციენტი; q – ძრავისა და ამძრავის ინერციის მომენტების თანაფარდობაა.

[20-21]-ში მოყვანილი მასალებით ჩანს, რომ თუ არ არის გამოყენებული გრეხითი რხევების ჩასაქრობად სპეციალური კორექციები, სხვაგვარად ქაღალდის მკეთებელი მანქანების ამძრავების სწრაფქმედებას აყენებენ შესაძლოზე გაცილებით ნაკლებს. ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ რხევების სიხშირე სხვადასხვა მექანიზმებისათვის შეადგენს $6 \div 12$ ჰც-ს.

დრეკადი თვისებების გავლენის გათვალისწინებაზე მიუთითებენ უცხოელი სპეციალისტებიც [20-21]. [21]-ში შემოთავაზებულია სწრაფქმედების გაზრდის მიზნით გაქოგენერატორის გადატანა ძრავის ლილვიდან მექანიზმის მუშა ლილვზე. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ასეთი გადაადგილება ჯერ ერთი, რომ არ იძლევა სწრაფქმედების საგრძნობ გაზრდას და აგრეთვე ის, რომ გაქოგენერატორის დაყენება მუშა ლილვზე ხშირად მოუხერხებელი ან შეუძლებელია.

დრეკადი ამძრავის რხევების შესასუსტებლად რეკომენდებულია რეგულატორების შემდეგი კრიტერიუმებით სარგებლობა:

$$\beta_1 = 2\xi^1 \sqrt{q} (\omega_{\text{ლრ}} T_{\Sigma 1})^2 \beta_1^*; \tau_1 = \frac{2}{\sqrt{q} \cdot \omega_{\text{ლრ}}} \quad (5)$$

$$\beta_2 = 4 \cdot T_{\Sigma 2} \sqrt{q} \omega_{\text{ლრ}} \beta_2^*, \tau_2 = T_{\text{ლ}}, \quad (6)$$

სადაც β_1^* და β_2^* – შესაბამისად არის ხისტი ამძრავისათვის განსაზღვრული სიჩქარის და დენის რეგულატორების ოპტიმალური დინამიკური გაძლიერების კოეფიციენტები; $T_{\Sigma 2}$ – დენის კონტურის გაუკომპენსირებული დროის მუდმივაა.

(5) და (6) ფორმულები უზრუნველყოფენ ამძრავის სწრაფქმედებას $2,5 \div 3$ წმ. თანამედროვე მოთხოვნები ამ მხრივ კიდევ უფრო მკაცრია ($1 \div 1,5$).

დადგენილია, რომ ძრავისა და ამძრავის ინერციული მასების თანაფარდობისას – $q=0,2 \div 0,3$ და $T_{\Sigma 1} \leq \frac{1}{\omega_{\text{ღრ}}}$ სიჩქარის რეგულატორის გაძლიერების კოეფიციენტი უნდა შეირჩეს შემდეგი ფორმულით:

$$\beta_1 = q^{\frac{3}{4}} \omega_{\text{ღრ}} T_{\Sigma} \quad (7)$$

სადაც T_{Σ} – ამძრავის ჯამური მექანიკური დროის მუდმივაა. აღნიშნულია, რომ სწრაფქმედება შეადგენს $2 \div 3$ წამს.

თუ $q < 0,2$, მაშინ (7)–ით აწყობილი რეგულატორი უზრუნველყოფს მონოტონულ გარდამავალ პროცესს ($t_g = 4 \div 5$ წმ).

თუ $q > 0,3$, მაშინ რეკომენდებულია სისტემაში ჩავრთოთ დამატებითი უარყოფითი უკუკავშირი ($\omega_k - \omega_{\text{ფექ}}$) სიდიდის პროპორციული სიგნალით.

$q < 0,2$ –ის პირობებში გრესითი რხევების ეფექტური ჩაქრობის მიზნით სისტემაში უნდა შევიყვანოთ მიმდევრობითი ან პარალელური მაკორექტირებული მოწყობილება.

მიმდევრობითი კორექციის ჩართვა დაკავშირებულია პრაქტიკაში სირტულეებთან (მიუხედავად ანგარიშის სიმარტივისა), ხოლო პარალელური

(რბილი მაღიფერენცირებული) მაკორექტირებელი უკუკავშირის პრაქტიკული რეალიზაცია აღვილია, უარესდება სისტემის მგრძნობიარობა ხელშემშლელი რადიოსიგნალებისადმი. მთელი რიგი მექანიზმები შეიცავენ 2 და მეტი რაოდენობის მუშა ლილვებს, ასეთებია წნეხების სექციები ქაღალდის მანქანებში. ჭნეხები არსებობენ ძირითადად 2-ლილვიანი (იშვიათ შემთხვევაში 3-ლილვიანიც, ე.წ. უნიპრესები). ასეთი მექანიზმების ამძრავებად უკანასკნელ ხანებში იყენებენ 2-3-ძრავიან ამძრავებს. ამ მიზნით საინტერესოა მათი დინამიკური რეჟიმების შესწავლა და ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტა.

2. მექანიზმების და მანქანების პროექტებისა და დინამიკური კვლევის

საკითხები

ამა თუ იმ დასახული თვისებების დამაკმაყოფილებელი მექანიზმებისა და საჩარხო სისტემების აგების ამოცანის გადაწყვეტა იწყება რაციონალური კინემატიკური სქემის მქონე მექანიზმის ფორმირებით. მექანიზმების სტრუქტურასთან დაკავშირებული საკითხები პირველად იქნა განხილული ლ.ვ. ასურის და ა. მალიშევის ნაშრომებში. მექანიზმების კლასიფიკაციის შემდგომი განვითარება ასახულია ი. ართობაცევსკის, ვ. დობროვოლცკის და რ. ფრანკეს ნაშრომებში.

რხევების თეორიის საფუძვლები, თავისუფლების ერთ და მრავალი ხარისხისმქონე მექანიკური სისტემების რხევების თეორია და სისტემის საკუთარი სიხშირის განსაზღვრის მეთოდები განიხილება ნაშრომებში [8,9] და

აგრეთვე შემოთავაზებულია მექანიზმების ძალოვანი გათვლის მეთოდები, მექანიზმების აგრეგაციების დინამიკური ანალიზის და სინთეზის ზოგიერთი საკითხები, რომლებიც მიეკუთვნება პერიოდული რხევების რეგულირება და მანქანების გაწონასწორების ამოცანები.

ვ. კულინოვის ნაშრომში შემოთავაზებულია ჩარხების დინამიკური ხარისხის მაჩვენებლების სისტემა და მოცემულია ამ მაჩვენებლების მიხედვით ჩარხების შეფასების საკითხები, თეორიული და ექსპერიმენტული ანალიზის ჩატარების საერთო მეთოდика.

მიწოდების რაციონალური სიჩქარეები აუცილებელია სიმძლავრის, ტექნოლოგიური წნევების განსაზღვრა, მაღალი ხარისხის და დამუშავების სიზუსტის უზრუნველყოფის პირობების უზრუნველყოფით, ოპტიმალური წარმადობის, გაწყობის მეტოდები და მართვის საკითხები განხილულია ნაშრომებში [1-3].

დინამიკური პროცესების მოდელირების და კვლევის საკითხებისადმი მიძღვნილია პროფესორების ე. რივინის და ს. კაზაკის ნაშრომებში [8,5].

თანამედროვე მანქანების ამძრავთა ჯაჭვებში გამოყენებული რეალური მიმყოფი სისტემები, ძირითადად მიეკუთვნებიან რთულ არაწრფივ, გარკვეულ შემთხვევებში კი არასტაციონალურ სისტემებს, რაც მნიშვნელოვნად ართულებს მათი გაანგარიშებისა და დაპროექტების საკითხებს [1-4].

თავისუფალი და იძულებითი რხევების ანალიზის მეთოდები, დაფუძნებული ა. ლიაპუნოვის მოძრაობის მდგრადობის შესახებ ფუნდამენტურ თეორიებზე, ფაზური სივრცეების სტრუქტურის გეომეტრიულ აგებასთან დაკავშირებული გიპოლოგიური მეთოდები, დიპერენციალური განტოლებების ხარისხობრივი თეორიის მეტოდები, მორგებისა, გადამცემი ფუნქციის განსაზღვრებაზე და სისტემების სიხშირით მახასიათებლებზე დაყრდნობილი სხვაობითი მეთოდები და სხვა რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ მივიღოთ მკაცრად დასაბუთებული შედეგები, ჩვეულებრივად ძალიან რთულნი არიან დასაპროექტებელი სისტემების სტრუქტურისა და პარამეტრების წინასწარი შერჩევის პროცესში და ინჟინრული გათვლების პრაქტიკაში გამოყენებისათვის. ამიგომ ანალიზის ზუსტ მეთოდებთან ერთად დიდ პრაქტიკულ გამოყენებას იძენენ მიახლოებითი მეთოდები, რომლებიც

ხასიათებიან პარამეტრების წინასწარი შერჩევის პროცესში პრაქტიკული გამოყენების სიმარტივით და ცალკეული სტრუქტურული ელემენტების სისტემების საერთო სტრუქტურულ მთლიანობაში შერწყმაში გამოვლენილი მიდამოების შიგნით პარამეტრების და სტრუქტურის მუსტი მეთოდების გამოყენებით შემდგომში დამუსკებით. ამასთან ძალიან ხშირად მეთოდის პრაქტიკული გამოყენების სიმარტივეს უფრო დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვიდრე მაღალ სიზუსტეს. ეს აიხსნება იმით, რომ ნებისმიერი ხარისხის არაწრფივ სისტემებში დინამიკური პროცესების საკმარისად მუსტი და დეტალური კვლევა (სხვადასხვა საწყის პირობებში და სხვადასხვა გარე გემოქმედებისას) ახლანდელ დროში შეიძლება განხორციელდეს ელექტრონული სამოდულო მოწყობილობებით და გამომთვლელი მანქანებით.

არაწრფივ სისტემებში პროცესების მიახლოებითი კვლევისათვის უარყო გამოყენება ჰპოვეს ჰარმონიული გაწრფივების და მასთან მონათესავე მცირე პარამეტრების, ჰარმონიული ბალანსის და სხვა მეთოდებმა [1,3,10].

არაწრფივი სისტემების მიახლოებითი გათვლის მეთოდები, შეიძლება იყვნენ გამოყენებული მონოტონურ პროცესებთან ახლოს გარკვეულად შემღულულ კლასში მყოფი არაწრფივი ავტომატური სისტემების კვლევაში, რომელთა არაწრფივი ფუნქციები მოიცავენ ერთ-ორ ერთმნიშვნელოვან უბან-უბან წრფივ მახასიათებლიან არაწრფივ ფუნქციებს. ამასთან ერთად, ხსენებული მეთოდები საშუალებას გვაძლევენ ვაწარმოთ სისტემის გაანგარიშებები, რომელიმე ერთი სისტემის დინამიკური თვისების მახასიათებელი კონკრეტული კრიტერიუმის დაკმაყოფილების პირობიდან.

სამოდელირებელი მოწყობილობების და ეგმ-ის გამოყენება დასაპროექტებელი სისტემების სქემებისა და პარამეტრების არჩევისათვის, დაფუძნებულია მრავალრიცხოვან მოსინჯვებზე შემუშავებული სქემების პარამეტრების სხვადასხვა შეთანწყობისას. რადგანაც სისტემაში შემავალი ელემენტების პარამეტრების შეთანწყობა ძალიან მრავალგვარია, ხოლო სისტემის სტრუქტურული სქემების რიცხვი ძალზე დიდია, ამიტომ ყველაზე მარტივი გადაწყვეტილების მოძებნა მოითხოვს დროის დიდი რაოდენობის დახარჯვას.

არასტაციონარული სისტემების კვლევის საკითხებისადმი მიძღვნილია ნაშრომი და აღწერილია კვლევის ესა თუ ის შესაძლო მეთოდები.

პროფესორ თ. მჭედლიშვილისა და მისი სხვადასხვა თანაავტორების ნაშრომებში [11-14] გადმოცემულია არაწრფივი სისტემების კვლევასთან დაკავშირებული საკითხები.

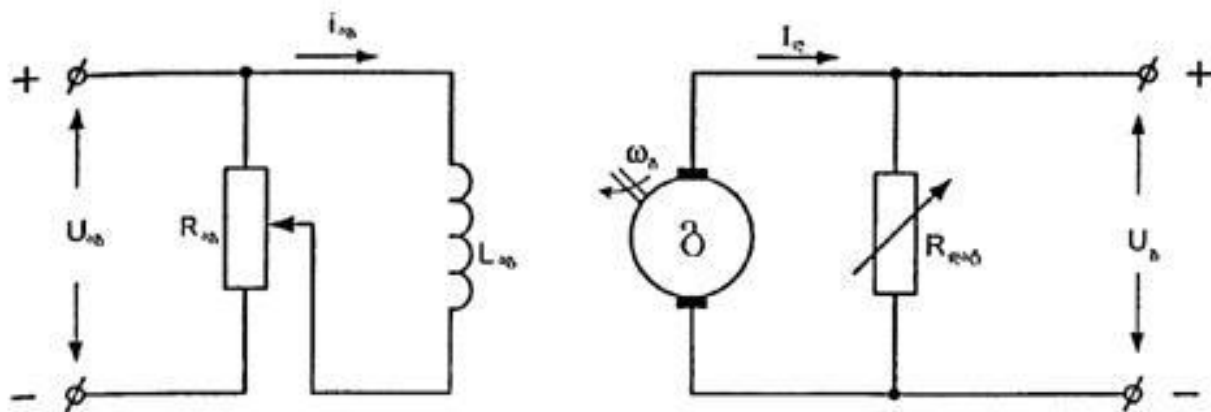
ამძრავთა დინამიკის კვლევის სიხშირული მეთოდების მიმოხილვის მხრივ თავდაპირველად განვიხილოთ ამძრავთა ავტომატური სისტემების ტიპური დინამიკური რგოლების ლიფერენციალური განტოლებები, გადამცემი ფუნქციები და სიხშირული მახასიათებლები.

პირველი რიგის აპერიოდული რგოლის მაგალითებია: მუდმივი ღენის გენერატორი (ნახ. 1) და R,C ელემენტებისაგან შედგენილი ოთხპოლუსა (ნახ. 2).

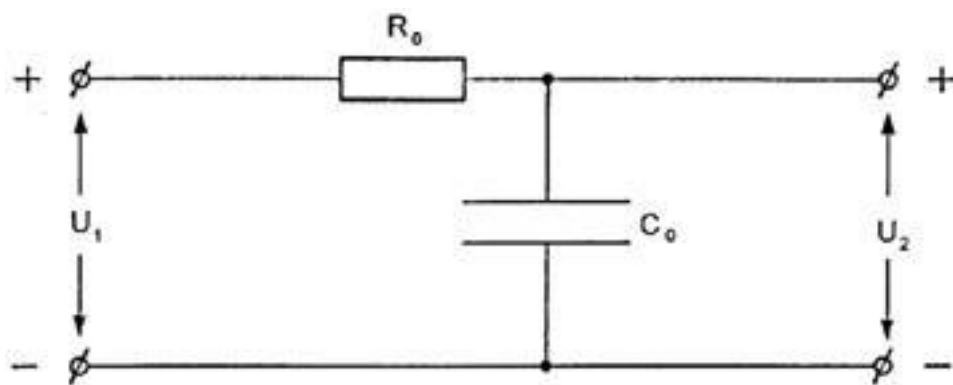
გენერატორის (გ) გადამცემი ფუნქციის მისაღებად თავიდან ვწევთ ძაბვების ლიფერენციალურ განტოლებას მისი აგზნების გრაგნილისათვის;

$$U_{აგ} = L_{აგ} \frac{di_{აგ}}{dt} + i_{აგ} R_{აგ} \quad (8)$$

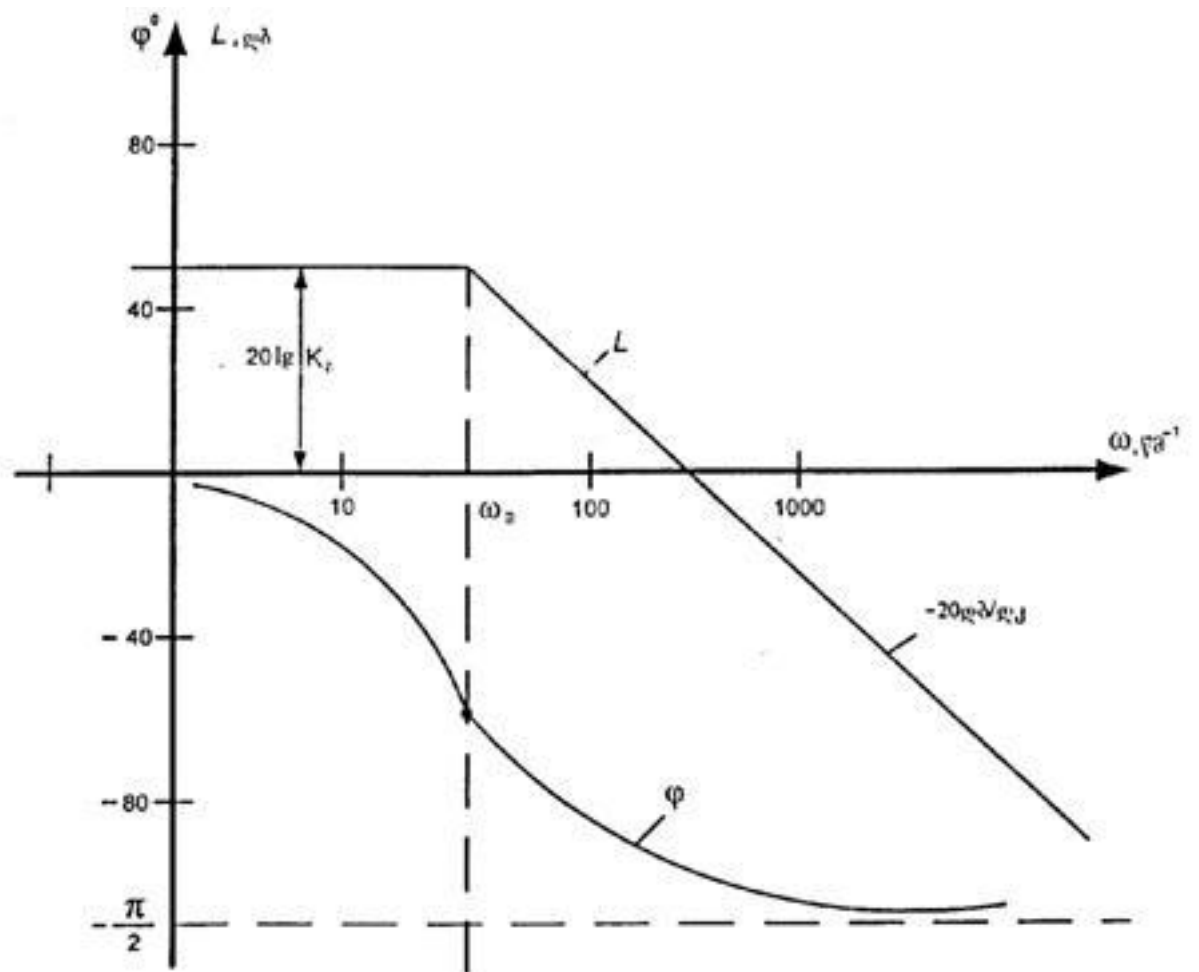
თუ ჩავთვლით რომ მანქანის დამაგნიტების მრუდი წრფივია, მაშინ სამართლიანია $E_g = K_g (i_{აგ} R_{აგ})$, სადაც E_g – ლუბაში დაინდუქცირებული ე.მ.ძ.–ა, ხოლო K_g – გენერატორის გადაცემის რიცხვია. მაშინ (8)–დან ადვილად მივიღებთ გენერატორის გადამცემ ფუნქციას.



ნახ. 1 მუდმივი დენის გენერატორი



ნახ. 2 RC - ელემენტების ოთხპოლუსი



ნახ. 3 სიხშირული მახასიათებლები

$$W_{\delta}(P) = \frac{E_{\delta}(P)}{U_{\delta}(P)} = \frac{K_{\delta}}{T_{\delta} P + 1} \quad (9)$$

სადაც $\frac{P=d}{dt}$ ლაპლასის ოპერატორია, $T_{აგ} = \frac{T_{აგ}}{R_{აგ}}$ გენერატორის აგზნების გრაგნილის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივაა. ნახ.2-ის მიხედვით გადამცემი ფუნქცია გოლია:

$$W_0(P) = \frac{U_2(P)}{U_1(P)} = \frac{\frac{1}{C_{0P}}}{R_0 + \frac{1}{C_0 P}} = \frac{1}{T_0 P + 1}, \quad T_0 = R_0 C_0 \quad (10)$$

რგოლების ან სისტემების სიხშირული მახასიათებლების ასაგებად საჭიროა გვექონდეს სიხშირული გადამცემი ფუნქცია რომელიც მიიღება ჩვეულებრივ გადამცემ ფუნქციაში $P = j\omega$ -ს შეტანით. მართლაც (9)-ს მიხედვით გენერატორისათვის გვექნება:

$$W_{აგ}(j\omega) = \frac{K_{აგ}}{jT_{აგ}\omega + 1}, \quad (11)$$

სადაც $j = \sqrt{-1}$ და ω -სიმბოლური სიხშირეა.

(11)-დან ამპლიტუდის (მოდულის) და ფაზის (არგუმენტის) გამოსახულებები გოლი იქნება:

$$A(\omega) = \frac{K_{აგ}}{\sqrt{T_{აგ}^2 \omega^2 + 1}}; \quad (12)$$

$$\Phi(\omega) = -\arctg(T_{აგ} \omega). \quad (13)$$

განხილული რგოლის ლოგარიტმულ-ამპლიტუდური სიხშირული მახასიათებლის ასაგებად უნდა ვისარგებლოთ გამოსახულებით

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{K_{\text{ბ}}}{\sqrt{T_{\text{აბ}}^2 \omega^2 + 1}} = 20 \lg K_{\text{ბ}} - 20 \lg \sqrt{1 + T_{\text{აბ}}^2 \omega^2}, \quad (14)$$

რგოლის შეუღლების სიხშირე გოლია

$$\omega_{\text{გ}} = \frac{1}{T_{\text{აბ}}} \quad (15)$$

პირველი რიგის ამპერიოდული რგოლის ასიმპტოტური ლოგარითმულ-ამპლიტუდური (ლამ) და ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლები მოყვანილია ნახ.3-ზე.

ზოგჯერ საჭიროა ვიცოდეთ რგოლის (ან სისტემის) სიხშირული გადამცემი ფუნქციის ნამდვილი და წარმოსახვითი ნაწილები, (11)-ის მიხედვით ისინი შემდეგნაირად გამოისახებიან:

$$U(\omega) = \frac{K_{\text{ბ}}}{1 + T_{\text{აბ}}^2 \omega^2} \quad \text{და}$$

$$V(\omega) = \frac{K_{\text{ბ}} T_{\text{აბ}} \omega}{1 + T_{\text{აბ}}^2 \omega^2} \quad (16)$$

(16)-ით აგებული ამპერიოდული რგოლის ამპლიტუდურ ფაზურ სიხშირული მახასიათებელი და ცალ-ცალკე აგებული ნამდვილი და წარმოსახვითი სიხშირული მახასიათებლები ნაჩვენებია მახ. 14-ზე.

I-რიგის ამპერიოდული რგოლის გარდამავალი ფუნქცია წარმოადგენს გამოსავალი სიგნალის რეაქციის შესავალზე ერთეულოვანი ნახტომისებური სიგნალის მიწოდებისას, იგი გოლია

$$X(t)|_{g(t)=1(t)} = K_{\text{გ}} (1 - e^{-\frac{1}{T_{\text{აგ}}}}) \quad (17)$$

(17)-ე გრაფიკულად ნახვენებია ნახ. 15-ზე, გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა მიახლოებით ტოლია $t_{\text{გ}} \approx 3T_{\text{აგ}}$.

რხევითი რგოლის მაგალითებია მუდმივი ღენის ძრავა, და R , L ელემენტებისაგან შედგენილი ოთხპოლუსა (ნახ. 16)

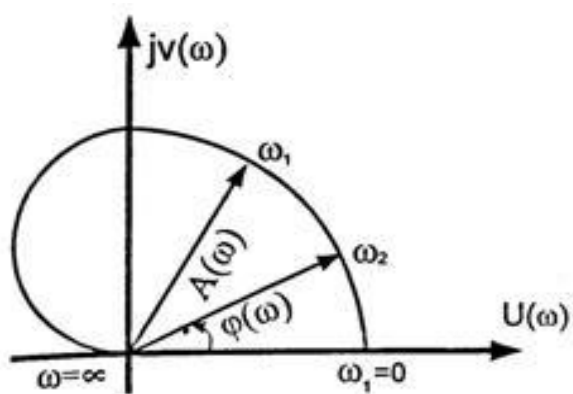
ძრავის გადამცემი ფუნქციის მისაღებად საჭიროა ღავწეროთ ძაბვების წონასწორობის განტოლება ღუმის წრედისათვის და ამძრავის მოძრაობის განტოლება:

$$U_{\text{ღ}} = E_{\text{კ}} + L_{\text{ღწ}} \frac{dI_{\text{ღ}}}{dt} + I_{\text{ღ}} R_{\text{ღ}} ; \quad (18)$$

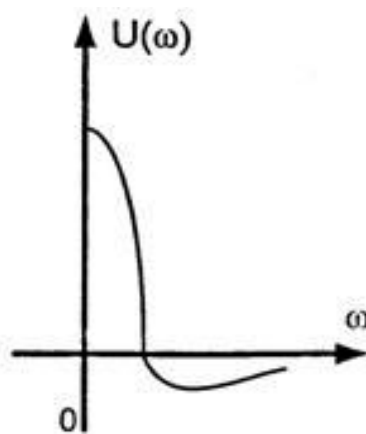
$$M - M_{\text{სგ}} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (19)$$

სადაც $E_{\text{კ}}$ - ძრავის ღუმის გრაგნილში აღძრული ემპ, რომელიც ტოლია

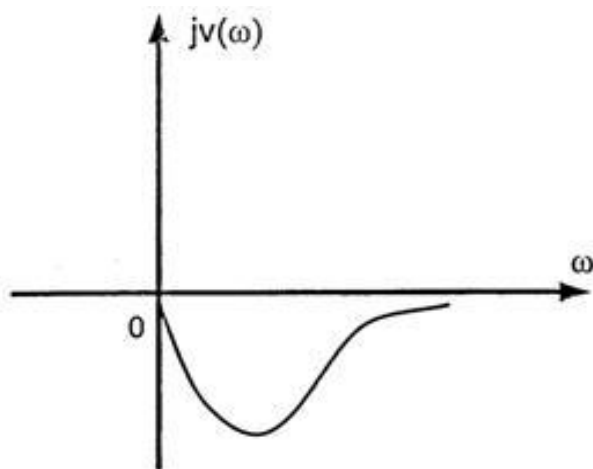
$$E_{\text{კ}} = C_{\text{კ}} \omega \quad (20)$$



ა)

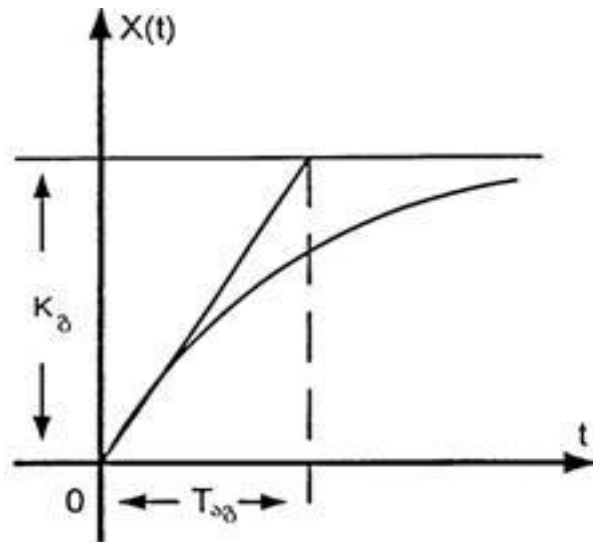


ბ)

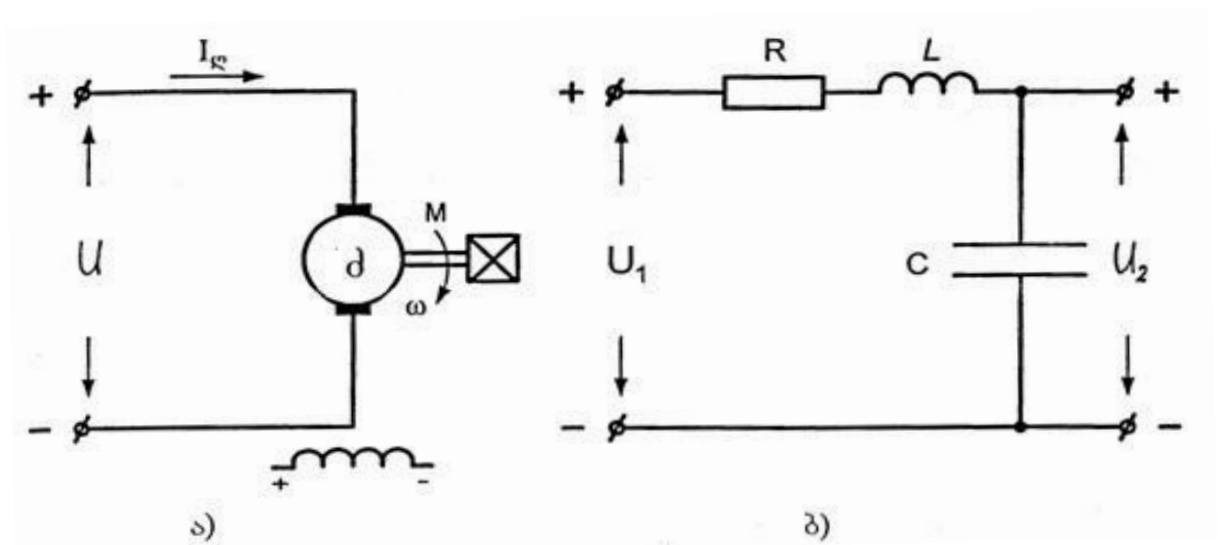


გ)

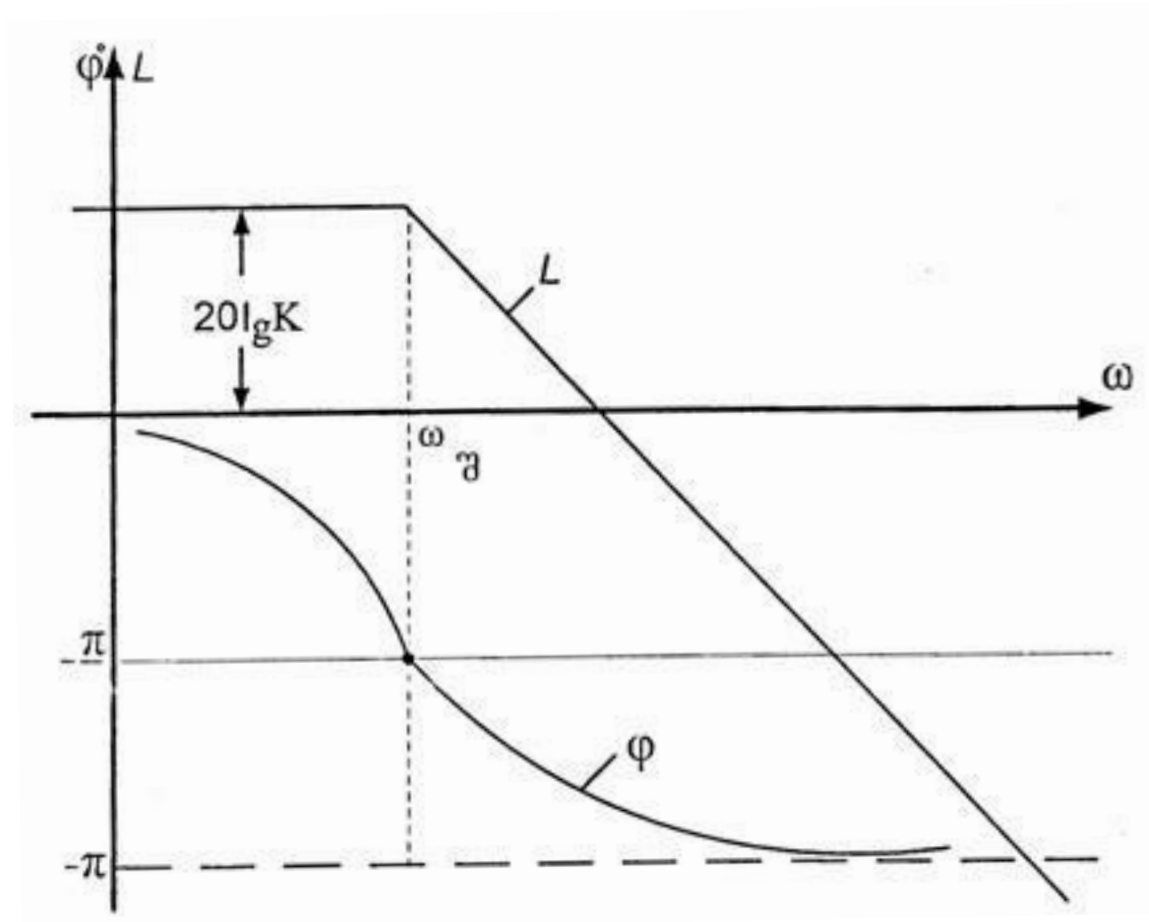
ნახ. 4 წარმოსახვით – სიხშირული მახასიათებლები



ნახ.5 გარღმავალი პროცესი



ნახ. 6 ოთხპოლუსა



ნახ. 7 ლოგარითმულ-სიხშირული მახასიათებლები

ω – ძრავის კუთხური სიხარება; C_p – ძრავის ემპ-ის კოეფიციენტი.

$L_{\text{ლწ}}$ და $R_{\text{ლწ}}$ ლუბის გრაგნილის ინდუქციობა და აქტიური წინაღობა;

M -ძრავის ბრუნვის მომენტი; $M_{\text{სგ}}$ – მექანიზმის წინაღობის (სტატიკური)

მომენტი დაყვანილი ძრავის ღერძზე; J – ამძრავის ინერციის მომენტია. ძრავის მომენტი თავის მხრივ ტოლია

$$M = C I_{\text{ღ}}, \quad (21)$$

(21)–ის ჩასმით (19)–ში და უქმი სვლის რეჟიმის ($M_{\text{სგ}} = 0$) განხილვით მივიღებთ:

$$I_{\text{ღ}} = \frac{J}{C_{\text{ღ}}} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (22)$$

(22)–ის შეგანით და (20)–ის გათვალისწინებით (18)–დან მივიღებთ ძრავის სრულ დიფერენციალურ განტოლებას:

$$T_{\text{ღ}} T_{\text{ეფ}} \frac{d^2}{dt^2} + T_{\text{ეფ}} \frac{d\omega}{dt} + \omega = K_{\text{ღ}} \cdot U_{\text{ღ}}, \quad (23)$$

სადაც $T_{\text{ღ}} = \frac{L_{\text{ღწ}}}{R_{\text{ღწ}}}$ – ძრავის ლუმის წრედის ელექტრომაგნიტური დროის

მუდმივაა; $T_{\text{ეფ}} = \frac{jR_{\text{ღწ}}}{C_{\text{ღ}}^2}$ – ამძრავის ელექტრომექანიკური დროის მუდმივაა;

$K_{\text{ღ}} = 1/C_{\text{ღ}}$ – ძრავის გაღაცემის კოეფიციენტია.

თუ (23)–ში წარმოებულებს შეცვლივს შესაბამისი ოპერატორებით მივიღებთ ძრავის გაღამცემ ფუნქციას:

$$W_{\text{ღ}}(P) = \frac{\omega(P)}{U_{\text{ღ}}(P)} = \frac{K_{\text{ღ}}}{T_{\text{ღ}} T_{\text{ეფ}} P^2 + T_{\text{ეფ}} P + 1} \quad (24)$$

(24)–ს ნორმირებულ სახეში შემდეგნაირად წარმოადგენენ:

$$W(P) = \frac{K}{T^2 P^2 + 2\xi T P + 1}, \quad (25)$$

სადაც რხევების ξ - მილევის (დემფერირების) კოეფიციენტი. რაც მეტია ξ , მით ნაკლებია რხევები.

თუ $\xi < 1$, რგოლი ხასიათდება რხევითი ღინამიკური პროცესებით.

თუ $\xi \geq 1$ რხევითი რგოლი გადაიქცევა II-რიგის აპერიოდულ რგოლად, პროცესები ხასიათდება რხევების გარეშე.

სიხშირული გადაცემები ფუნქციის მისაღებად (25)-ში P შევცვალოთ $j\omega$ -ით, გვექნება:

$$W(j\omega) = \frac{K}{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi T \omega)^2}. \quad (26)$$

(26)-დან მოღული და არგუმენტი გამოისახება შემდეგნაირად:

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi T \omega)^2}}; \quad (27)$$

$$\varphi(\omega) = -\frac{2\xi T \omega}{1 - T^2 \omega^2}. \quad (28)$$

ლამ-ი აიგება შემდეგი ფორმულით:

$$L(\omega) = 20 \lg K - 20 \lg \sqrt{(1 - T^2 \omega^2)^2 + (2\xi T \omega)^2}. \quad (29)$$

შეუღლების სიხშირე გოლია $\omega_{\text{კ}} = \frac{1}{T}$.

რხევითი რგოლის ასიმპტოტური ლამ აგებულია ნახ. 7-ზე.

ასიმპტოტური ლამ-დან ზუსტი ლამ-ის მისაღებად საჭიროა შესწორების (ნახ. 8) დამატება ასიმპტოტურზე.

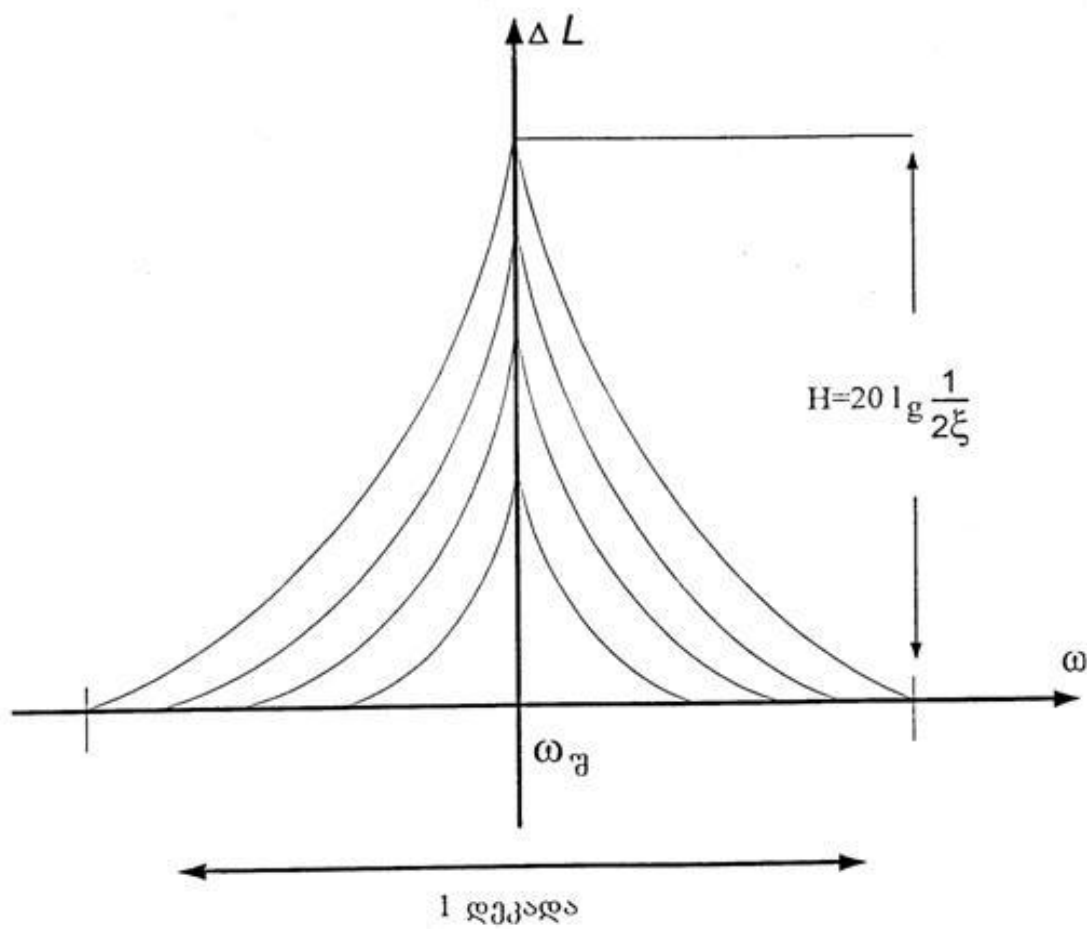
თუ (25)–ში $\xi > 1$, მაშინ გადამცემი ფუნქცია მიიღებს სახეს:

$$W(P) = \frac{K}{(T_1 + 1)(T_2 + 1)}, \quad (30)$$

სადაც $T_1, T_2 = T(\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1})$.

(30)–ის შესაბამისი სიხშირული გადამცემი ფუნქცია გოლია:

$$W(j\omega) = \frac{K}{(1 + T_1^2)(1 + T_2^2 \omega^2)}; \quad (31)$$



ნახ. 8 ამპლიტუდური გადახრები

მოდულისა და არგუმენტის გამოსახულებები შესაბამისად ტოლი იქნება:

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1+T_1^2 \omega^2} \cdot \sqrt{1+T_2^2 \omega^2}}; \quad (32)$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg T_1 \omega - \arctg T_2 \omega$$

(34)

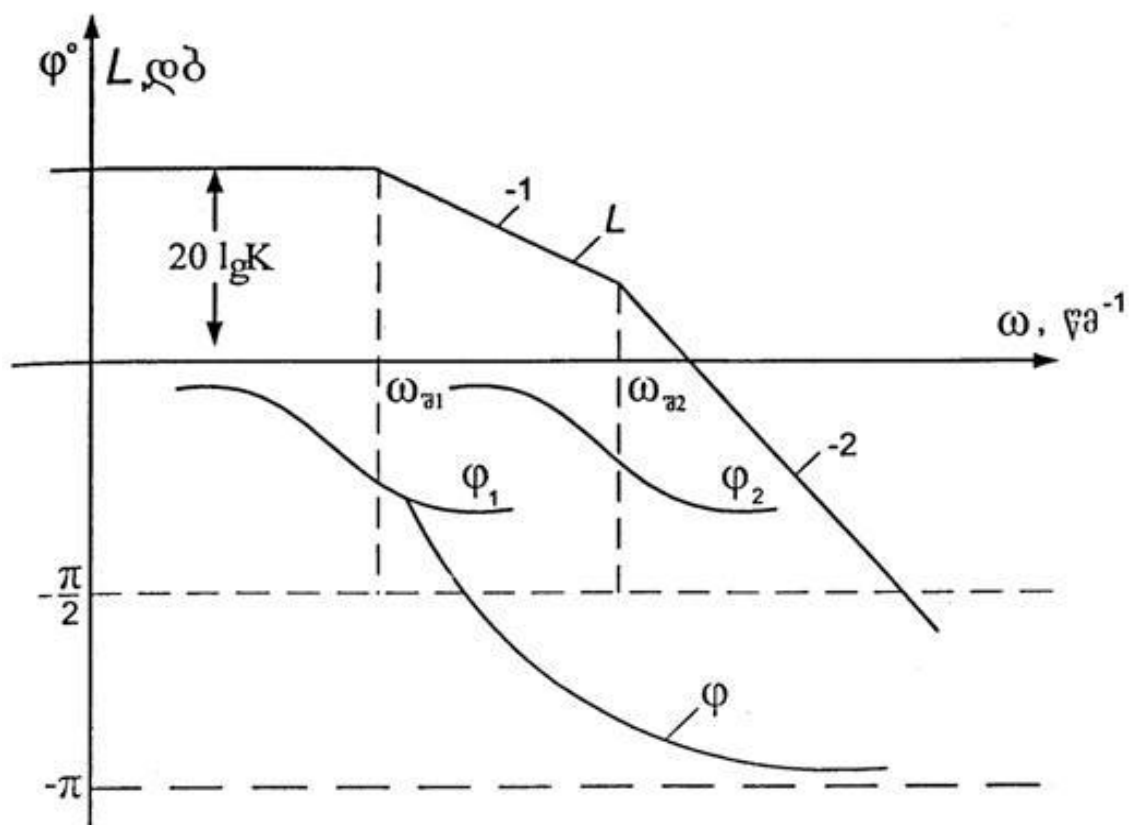
ლას-ის აგება უნდა შევასრულოთ გამოსახულებით:

$$L(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{1 + T_1^2 \omega^2} - 20 \lg \sqrt{1 + T_2^2 \omega^2}.$$

(34)

ამ შემთხვევაში გვექნება შეუღლების ორი სიხშირე

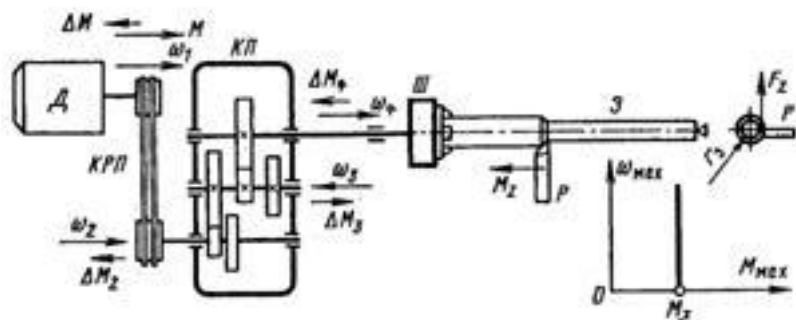
$$\omega_{\pi 1} = \frac{1}{T_1} \quad \text{და} \quad \omega_{\pi 2} = \frac{1}{T_2}.$$



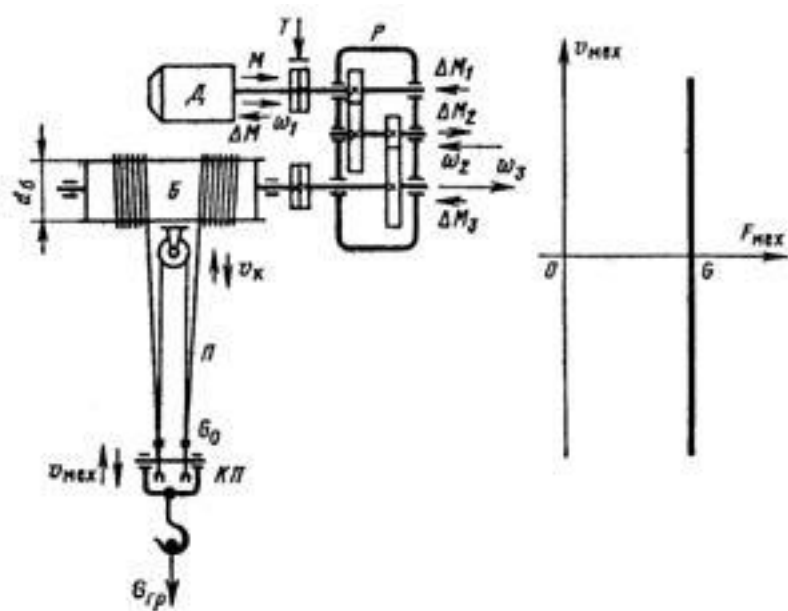
3. მექანიკური ნაწილის დინამიკური ანალიზი

ნახ. 10 და ნახ. 11 –ზე მოყვანილია შესაბამისი სახარატო ჩარხის მთავარი მოძრაობის და ამჟღ–საგრანსპორტო მანქანის ელექტრომექანიკური ამძრავების კინემატიკური სქემები.

მექანიკური ნაწილის კინემატიკური სქემა (ნახ. 10) მოიცავს სოლურ–ღველურ გადაცემას, 3–საფეხურიან რედუქტორს და შპინდელს.



ნახ. 10 სახარატო ჩარხის მთავარი მოძრაობის ამძრავი



ნახ. 11 აშუ-საგრანსპორტო მანქანის ელექტრომექანიკური ამძრავი

ანალოგიურად, ნახ. 10–ზე მოყვანილ სქემაში აგრეთვე გვაქვს საქმე 3 საფეხურიან რელექტორთან და ამწე მოწყობილობასთან.

ორივე შემთხვევაში საქმე გვაქვს მრავალმასიან მექანიკურ ნაწილს.

თანამედროვე ამძრავთა ავტომატიზებული სისტემების შემუშავებასთან და კვლევასთან დაკავშირებული საკითხების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ უკანასკნელნი თავის ძირითად ნაწილში წარმოადგენენ ელექტრული, ჰიდრაულიკური, პნევმატური და კომბინირებული ელემენტების სტრუქტურულ შეთანწყობას სტრუქტურულად რთულ მრავალმასიან მექანიკურ გრანსმისიებთან (მექანიკურ სისტემებთან).

განსახილველი სისტემების დინამიკური გამოკვლევების სირთულე მნიშვნელოვნად განისაზღვრება მექანიკური სისტემის საანგარიშო სქემით. ეს სქემა თავის მხრივ რეგლამენტირებს გარდამავალი პროცესების თავისუფალი შემდგენების ხარისხობრივი და რაოდენობრივი მხარეებით.

აქტუალურია ამოცანები, დაკავშირებული ისეთი მათემატიკური მოდელების აგებასთან, რომლებიც ითვალისწინებენ დინამიკური სისტემის მარგო არსებით თავისუფლების ხარისხებს.

ამასთან დაკავშირებით წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია სტრუქტურული თვალსაზრისით რთული მრავალმასიანი ამძრავთა სისტემების აპროქსიმაციული მოდელების აგებისა და მათზე დაყრდნობით შემდგომი დინამიკური სინთეზის ამოცანების გადაჭრის საკითხები.

მექანიკური სისტემების დინამიკური კვლევისას გრანსმისიის დაყოფის შედეგად შეყურსულ მასებზე და უინერციო კავშირებზე დავდივართ რთულ საანგარიშო სქემებზე, რომლებსაც დინამიკური დატვირთულობის ფორმირებისათვის გააჩნიათ მნიშვნელოვანი რაოდენობის არა არსებითი თავისუფლების ხარისხები. ასეთ სისტემების საკუთარ სიხშირეთა მაქსიმალური მნიშვნელობები მრავალჯერ აღემატებიან დინამიკური დატვირთვების ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით მიღებული სიხშირული დიაპაზონის ზედა ზღვარს.

ზელმეტი ინფორმაციის შემცირებისა და არსებითი მნიშვნელობის თავისუფლების ხარისხის გამოვლენის ამოცანის ამოხსნა მიიღწევა საანგარიშო სქემების გამარტივების სპეციალური მეთოდების გამოყენებით.

გამარტივებული მოდელების აგების ცნობილი მეთოდები თავის უმეტეს მასაში ეფექტურად გამოიყენებიან მარტო მწკრივული სტრუქტურის მექანიკურ სისტემებთან მიმართებაში.

წარმოდგენილი სამუშაო ეძღვნება უფრო რთლი სტრუქტურის სისტემების აპროქსიმაციული მოდელების მიღებისა და მათ შემდგომი გამოყენების საკითხებს.

ცნობილი გამოკვლევების თანახმად დინამიკური სისტემების მიახლოებითი ამოხსნისადმი ერთ-ერთ ეფექტურ მიდგომას მიეკუთვნება წარმოსახვით სიხშირეთა გამოყენება.

პროცესის $\varphi(t)=\varphi(p)$ წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებელს უწოდებენ ფუნქციას, რომელიც მიიღება ფუნქცია $\varphi(p)$ -ს არგუმენტისათვის რიგი $p=\delta$ მნიშვნელობების მინიჭებით, სადაც p -ლაპლასის ოპერატორია, $\delta=j\cdot W$ -წარმოსახვითი სიხშირეა, j – კი არის წარმოსახვითი ერთიანი.

აქვე ნაშრომში აჩვენებია, რომ თუ $\varphi(p)$ გამოსახულების მიხედვით მოცემულია $\varphi(\delta)$ მახასიათებლის მნიშვნელობები საგნობრივი ნახევარღერძის გარკვეულ მონაკვეთში (განსაკუთრებული წერტილების გარეთ), მაშინ ერთსახოვნად განისაზღვრება ორიგინალი $\varphi(t)$ ყოველ $0<t<\infty$ წერტილში.

ნაშრომში აგრეთვე მიღებულია ფორმულები ორიგინალის განსაზღვრის ცდომილებისა ფუნქციონალურ კავშირში წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლის ცდომილებასთან, რომლების მიგვითითებენ იმაზე, რომ გარდამავალ პროცესებში მნიშვნელოვნად რხევადი შემდგენების არსებობისას ირღევა ცალსახა კავშირი წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლებთან და მათთან შესაბამის ორიგინალებს შორის.

მექანიკური სისტემა (მს), უფრო მეტიც, არადემფირებული საანგარიშო სქემის (ასს) მათემატიკური მოდელის განხილვისას, არის მნიშვნელოვნად რხევადი, რაც პრაქტიკულად გამორიცხავს აპროქსიმაციული მოდელების აგების პროცედურებში წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების გამოყენებას.

მს-ის გამოსახულებების შემდგომი ანალიზი საფეხუროვანი გარე ზემოქმედებისას

$$\varphi_1(p^2)=B(p^2)/A(p^2) \quad (35)$$

სადაც $B(p^2)$ და $A(p^2)$ ცვლადის გარკვეული პოლინომებია, გვიჩვენებს, რომ ახალი ოპერატორის $p^*=p^2$ განხილვისას ვიღებთ

$$\varphi_1(p^*) = B(p^*)/A(p^*) \quad (36)$$

რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენს ექსპონენციალურად მიღევად მდგენელებთან გადრამაფალი პროცესის მქონე სისტემის გადამცემი ფუნქციის ანალოგს.

გოლობის (2) გამოყენებით გადავდივართ მახასიათებლებზე, რომლებსაც მიღებთ p^* არგუმენტისადმი რიგი საგნობრივი $p^* = \delta$ მნიშვნელობების მინიჭებით, რომლებიც თავის მხრივ წარმოადგენენ ექსპონენციალურად მიღევადი პროცესების მქონე სისტემების მახასიათებლების ანალოგს.

ასეთი მახასიათებლებისათვის ორიგინალის განსაზღვრის სიზუსტე საკმაოდ მაღალია – ორიგინალისა და მახასიათებლის ცდომილებები არიან თითქმის გოლები.

ცნობილი გამოკვლევები გვიჩვენებენ, რომ პრინციპიალური სახით დინამიკური დაგვირგვინების ანალიზისათვის მრავალმასიანი დინამიკური სისტემების ცალკეულ კავშირებში შესაძლოა გამოყენებული იქნას ორმასიანი და სამმასიანი აპროქსიმაციული მოდელები.

ნახაზზე 1 მოყვანილია ორმასიანი მს–ის დინამიკური სტრუქტურული სქემა. ნახაზზე: J_1 და J_2 – მბრუნავი მასების ინერციის მომენტები; C_{12} – უინერციო მექანიკური ღრეკადი ელემენტის სიხისტე; M – ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტი; M_{c1} – M_{c2} – წინალობის მომენტებია.

ნახ. 1. მოყვანილი სტრუქტურული სქემით მივიღებთ ორმასიანი არადემფირებული სისტემის გადამცემ ფუნქციებს

$$W_{\varphi_1}(P) = \frac{\varphi_1(p)}{M(p)} = \frac{P^2 + \frac{C_{12}}{J}}{J_1 + P^2 + \frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{J_2}} \quad (37)$$

$$W_{\varphi_2}(P) = \frac{\varphi_2(p)}{M(p)} = \frac{\frac{c_{12}(J_1+J_2)}{J_1 \cdot J_2}}{(J_1+J_2)P^2 + \frac{c_{12}(J_1+J_2)}{J_1 \cdot J_2}} \quad (38)$$

$$W_{M_{12}}(p) = \frac{M_{12}(P)}{M(P)} = \frac{\frac{c_{12}}{J_2}}{P^2 + \frac{c_{12}(J_1+J_2)}{J_1 \cdot J_2}} = \frac{c_{12}J_2}{J_1J_2P^2 + c_{12}(J_1+J_2)} \quad (39)$$

ორმასიანი მოდელით მრავალმასიანი მოდელის აპროქსიმაციისათვის ვიყენებთ ტოლობებს:

$$\varphi_1(\delta^*)a \approx \varphi_1 \quad (40)$$

$$\varphi_2(\delta^*)a \approx \varphi_2(\delta^*)_{\text{საწყ}} \quad (41)$$

$$M_{12}(\delta^*)a \approx M_{12}(\delta^*)_{\text{საწყ}} \quad (42)$$

ამ ტოლობებიდან გადავდივართ დამოკიდებულებებზე:

$$\frac{1}{J_1+J_2} = \varphi_{10_{\text{საწყ}}} = \varphi_{20_{\text{საწყ}}}$$

$$\frac{J_1}{J_1+J_2} = M_{120_{\text{საწყ}}}$$

სადაც φ_{10} , φ_{20} და M_{120} – შესაბამისი პროცესების დამყარებული სიდიდეებია.

ამ ორი გოლობიდან ვსაზღვრავთ:

$$J_1 = \frac{M_{120}}{\varphi_{20}} \quad (43)$$

$$J_1 + J_2 = \frac{1}{\varphi_{20}} \quad (44)$$

შემდეგ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით ვამუშავებთ პირობით განტოლებათა სისტემას

$$\left[\frac{M_{120}}{\varphi_{20}} = \frac{M_{12}(\delta_i^*)}{\varphi_{20}} \right] C_{12} - M_{12}(\delta_i^*) \delta_i^* \frac{M_{120}}{\varphi_{20}} \cdot J_2 \quad (45)$$

და გადავდივართ წრფივ ნორმალურ განტოლებათა სისტემაზე საძიებელი C_{12} და J_2 პარამეტრების მიმართ.

მრავალმასიანი სისტემების პარამეტრების სინთეზის ამოცანა ცნობილი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ცნობილი თეორიის მიხედვით შესაძლოა აგებული იქნას მრავალმასიანი სისტემის გარდამავალი პროცესების ინტეგრალური მიახლოებითი ორმასიანი სისტემების გარდამავალ პროცესებთან.

ორმასიანი აპროქსიმაციული მოდელების ღრეკადი მიმენტების კოორდინატთა გამოსახულებები გამოისახებან ასე:

$$M_{ij}(P) = A_0 \frac{b_2 P^4 + 1}{a_4 P^4 + a_2 P^2 + 1} \quad (46)$$

სადაც:

M_{ij} — ღრეკალი მომენტებია განსახილველ ღრეკად კავშირში; a_2 , a_4 და b_2 — მუდმივი კოეფიციენტებია, რომლებისათვისაც ჩაწერის გამარტივების მიზნით გამოშვებულია ინდექსები i, j ; i და j — შეყურსული მასების ინდექსებია, რომელთა შორის განლაგებულია საკვლევი კავშირი.

რადგანაც ინტეგრალური მიახლოებების აპარატის სახით ვიყენებთ წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლებს, საკვლევ და სასურველ კოორდინატებს ვიძლევიტ შესაბამისად, სახეებით: $M_{ij} = M_{cj}(P^*)$

ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად მიღებულია ძირითადი კანონზომიერებები, რომლებიც იძლევიან საშუალებას ავაგოთ გამარტივებული აპროქსიმაციული მოდელები მრავალმასიანი მექანიკური სისტემებისათვის და დავსახოთ შემდგომი მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ამოცანების ამოხსნის გზები.

4. ელექტრომექანიკური ამძრავის მათემატიკური მოდელი

თავდაპირველად შევადგინოთ ამძრავთა მოძრაობის განტოლებები, როცა ვითვალისწინებთ რელექტორის კბილანებში ლუფების და მექანიზმთან დამაკავშირებელი ლილვების დრეკად თვისებებს (ნახ. 4).

ინდივიდუალური ამძრავის მოძრაობის განტოლებები ორმასიანი სისტემის შემთხვევაში შემდეგნაირად წარმოდგინდება (ნახ. 9 და 10).

$$\begin{aligned} \{M - M_{\text{ლრ}} &= J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; & M_{\text{ლრ}} - M_{\text{სგ}} &= J_2 \frac{d\omega}{dt}; \\ (47) \end{aligned}$$

სადაც M და $M_{\text{ლრ}}$ – ძრავის ბრუნვის და მექანიკური ლილვის დრეკადობის მომენტებია; $M_{\text{სგ}}$ – ძრავის ღერძზე დაყვანილი მექანიზმის წინააღობის სტატიკური მომენტია.

(47) განტოლებათა სისტემა ოპერატორულ სახეში და ცვლადებით ფარდობით ნაზრდებში შემდეგნაირად წარმოდგინდება:

$$\begin{aligned} \{\mu^* - \mu_{\text{ლრ}}^* &= T_1 \cdot P \cdot V_1^*; & \mu_{\text{ლრ}}^* - \mu_{\text{სგ}}^* &= T_2 \cdot P \cdot V_2^*; & \mu_{\text{ლრ}}^* &= \frac{T_d^{P+1}}{T_e^P} (V_1^* - V_2^*) \\ (48) \end{aligned}$$

$$\text{სადაც } \mu^* = \frac{\Delta M}{M_{\text{სგ.ბაზ.}}}; \quad \mu_{\text{ლრ}}^* = \frac{\Delta M_{\text{ლრ}}}{M_{\text{სგ.ბაზ.}}}; \quad V_1^* = \frac{\Delta \omega_1}{\omega_{\text{ბაზ.}}}; \quad V_2^* = \frac{\Delta \omega_2}{\omega_{\text{ბაზ.}}};$$

ინდექსი „ბაზ.“ – მიუთითებს შესაბამისი სიდიდის მნიშვნელობას ბაზისურ (დამყარებულ) რეჟიმში. (48)–ში კბილანებს შორის ლუფტები უგულებელყოფილია.

$T_1 = \frac{J_{2\omega_{\text{ბაზ.}}}}{M_{\text{სტ.ბაზ.}}}$ და $T_2 = \frac{J_{2\omega_{\text{ბაზ.}}}}{M_{\text{სტ.ბაზ.}}}$ – ძრავის და მექანიზმის მექანიკური დროის მუდმივები;

$T_d = \frac{b}{C_{12}}$ და $T_c = \frac{M_{\text{სტ.ბაზ.}}}{C_{12}\omega_{\text{ბაზ.}}}$ – დროის მუდმივებია, რომლებიც

ახასიათებენ ბლანტ სახუნსა და დრეკად თვისებებს.

ორძრავიანი ელექტრომძრავის მოძრაობის განტოლებები გ და დ სქემების საფუძველზე ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} \{M_1 - M_{\text{დრ1}} = J_1 \frac{d\omega_1}{dt}; \quad M_2 - M_{\text{დრ2}} = J_2 \frac{d\omega_2}{dt}; \quad M_{\text{დრ1}} + \end{aligned} \quad (49)$$

(2–3)–ე განტოლებათა სისტემა ფარდობით ნაზრდებში ჩაწერის შემდეგ მიიღებს სახეს:

$$\{\mu_1^* - \mu_{\text{ლ1}}^* = T_1 P v_1^*; \quad \mu_2 - \mu_{\text{ლ2}}^* = T_2 P v_2^* \quad (50)$$

სადაც

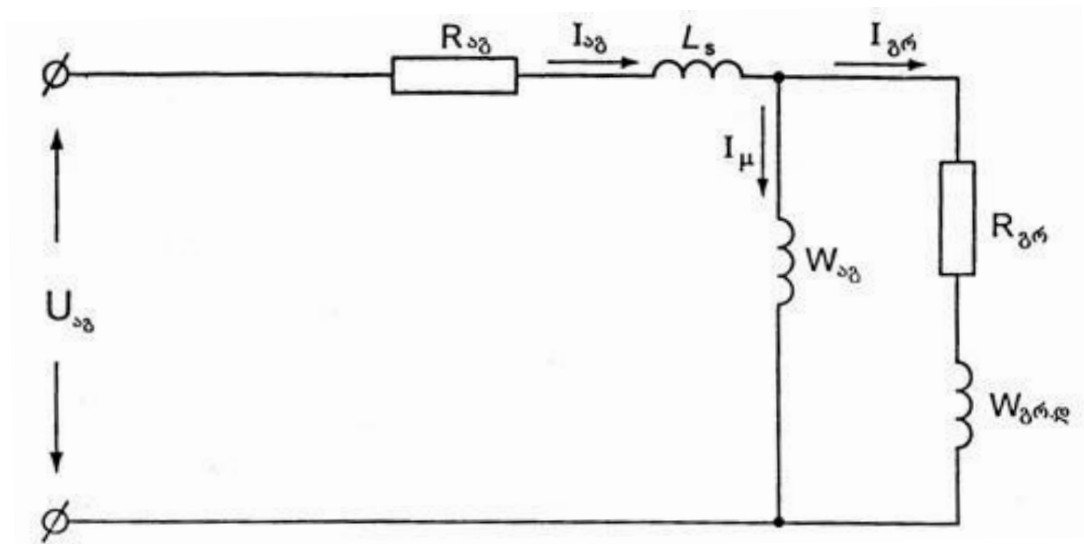
$$K_{\text{ლ1}} = \frac{M_{1\text{ბაზ}}}{M_{\text{სგ.ბაზ}}}; \quad K_{\text{ლ2}} = \frac{M_{21\text{ბაზ}}}{M_{\text{სგ.ბაზ}}}; \quad M_{\text{სგ.ბაზ}} = M_{1\text{ბაზ}} + M_{2\text{ბაზ}}$$

ეხლა განვიხილოთ ტექნოლოგიური მანქანების ელექტროამპრაჟთა სისტემების ელექტრული წონასწორობის დიფერენციალური განტოლებები, როცა ცალკეული ელექტროძრავების ლუმები იკვებება საერთო გარდამსახიდან, ხოლო აგზნების გრაგნილების კვება ხორციელდება ინდივიდუალური ტირისტორული აგზნებიდან. თუ ჩავთვლით, რომ ლუმების ტირისტორული გარდამსახი მძლავრია, ე.ი. $R_3 = 0$, მაშინ ლუმის ძაბვების ელექტრული წონასწორობის განტოლება ასე შეიძლება გამოისახოს:

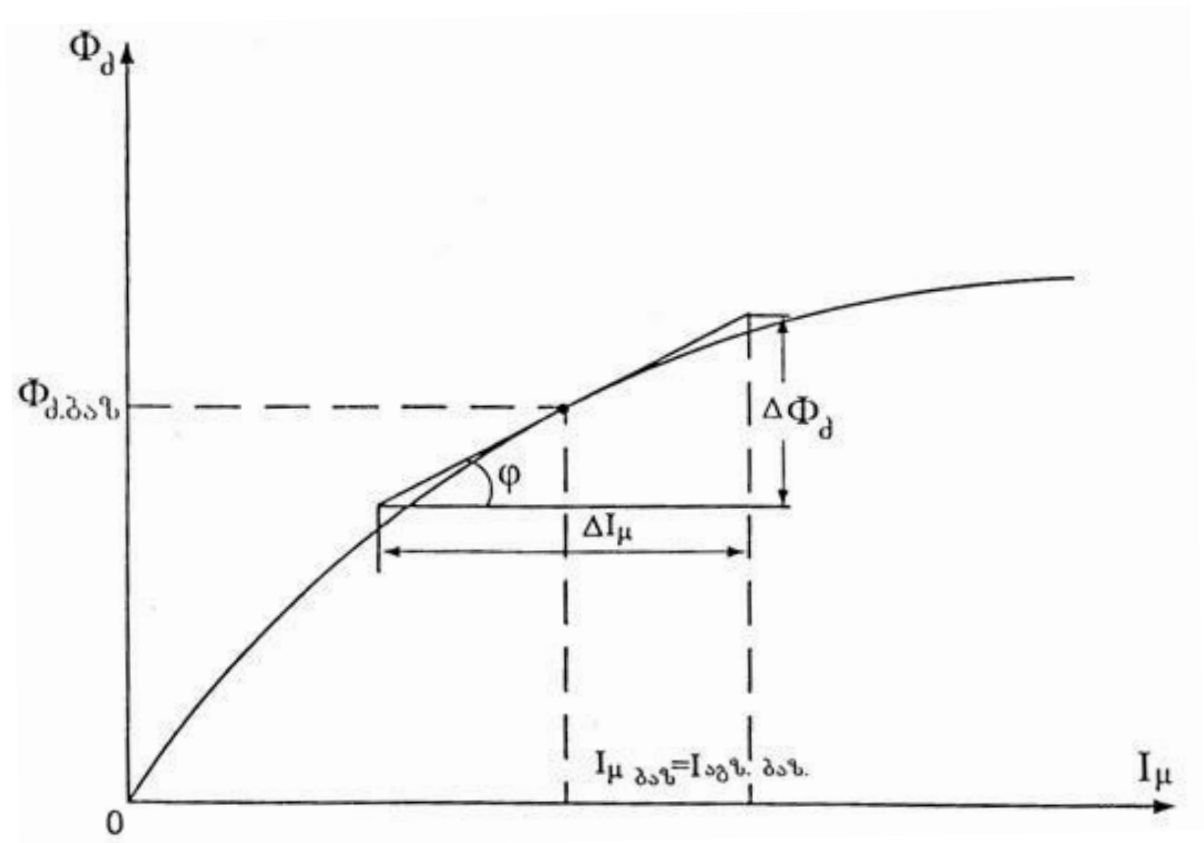
$$U_{\text{გ}} = K_{\text{კ}} \Phi_{\text{მ}} \omega_1 + L_{\text{ლ}} \frac{dl_{\text{ლ}}}{dt} + R_{\text{ლ}} I_{\text{ლ}}, \quad (51)$$

სადაც $U_{\text{გ}}$ - საერთო ტირისტორული გარდამსახის ძაბვა; $K_{\text{კ}}$ - ძრავის მუდმივი კოეფიციენტი; $\Phi_{\text{კ}}$ - ძრავის აღგზნების ნაკადი; $L_{\text{ლ}}$ და $R_{\text{ლ}}$ - ძრავის ლუმის გრაგნილის ინდუქტივობა და აქტიური წინაღობა; $I_{\text{ლ}}$ - ლუმის დენი.

ძრავის ალგზნების გრაგნილის წრედების მათემატიკური
აღწერისათვის უნდა ვისარგებლოთ 13-ე ნახ-ზე წარმოდგენილი
ელექტრული შენაცვლების სქემით, რომლის საფუძველზეც ვწერთ:



ნახ. 12ა ელექტრული შენაცვლების სქემა



ნახ. 12ბ წინაღობის გრაფიკი

$$\{U_{\text{აგ}} = R_{\text{აგ}} I_{\text{აგ}} + L_s \frac{dI_{\text{აგ}}}{dt} + W_{\text{აგ}} \frac{d\Phi_{\text{დ}}}{dt} I_{\mu} = I_{\text{აგ}} - \frac{W_{\text{გრ}}}{R_{\text{გრ}}} \cdot \frac{d\Phi_{\text{დ}}}{dt}; \Phi_{\text{დ}} = f(I_{\mu}),$$

(52)

სადაც $U_{\text{აგ}}$ - არის ძრავის აგზნების ძაბვა; $R_{\text{აგ}}$ და $W_{\text{აგ}}$ - აგზნების გრაგნილის აქტიური წინაღობა და ხვიათა რიცხვი; L_s - ინდუქტივობაა, რომელიც ითვალისწინებს ფანტვის მაგნიტურ ნაკადს; $I_{\text{აგ}}$ - ძრავის აგზნების დენი; I_{μ} - ძრავის დამაგნიტების დენია. (ნახ.13).

(51) და (52) განტოლებების ჩაწერით ფარდობით ნაზრდებში და ოპერატორულ სახეში მივიღებთ:

$$\{v_{\text{გ}}^* = K_{\text{ლ}} (V_1^* + \varphi_{\text{კ}}^*) + \frac{1}{K_{\text{გ}}} (T_{\text{ლ}}^P + 1) i_{\text{ლ}}^*; i_{\text{გ}}^* = \frac{(K_{\text{აგ}} T_{\text{გრ}}^{P+1})}{T_{\text{აგ.კკ}}^{P+1}} \cdot v_{\text{აგ}}^*; \varphi_{\text{კ}}^* = \frac{K_{\text{აგ}}}{K_{\text{აგ}} T_{\text{გრ}}^{P+1}} \cdot i_{\text{აგ}}^*,$$

(53)

სადაც $v_{\text{გ}}^*$, $\varphi_{\text{კ}}^*$, $i_{\text{ლ}}^*$, $v_{\text{აგ}}^*$ და $i_{\text{აგ}}^*$ - შესაბამისად არის გირისტორული გარდამსახის ძაბვის, ძრავის აგზნების ნაკადის, ლუმის დენის, აგზნების ძაბვის და მისი დენის ფარდობითი ნაზრდები;

$$K_{\text{ლ}} = \frac{1}{1+\delta_{\text{ბაზ}}}; \quad K_{\text{ლ}} = \frac{1+\delta_{\text{ბაზ}}}{\delta_{\text{ბაზ}}}; \quad \delta_{\text{ბაზ}} = \frac{R_{\text{ლ}} I_{\text{ლ.ბაზ}}}{C_{\text{კ}} \cdot \omega_{\text{ბაზ}}};$$

$T_{\text{ლ}} = \frac{L_{\text{ლ}}}{R_{\text{ლ}}}$ - ძრავის ლუმის წრედის ელექტრომაგნიტური დროის მუდმივა;

$$K_{\text{აგ}} = K_{\Phi} \cdot \frac{I_{\text{აგ.ბაზ}}}{\Phi_{\text{კ.ბაზ}}}; \quad K_{\Phi} = \Delta\Phi_{\text{კ}} / \Delta I_{\text{აგ.ბაზ}};$$

5. ელექტრომექანიკური სისტემის ამპლიტუდურ-სიხშირული

გამოკვლევების შესახებ

რხევითი რგოლის გარდამავალი ფუნქცია გოლია:

$$x(t) = K[1 - e^{-\gamma t}(\cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \cdot \sin \lambda t)] \quad (54)$$

სადაც $\gamma = \xi/T$; $\lambda = \sqrt{1 - \xi^2/T}$.

(54)-გრაფიკული გამოსახულებები ნაჩვენებია ნახ. 14ა-ბე.

მაინტეგრირებელი რგოლის მაგალიტია ამძრავი გამოსავალზე ღერძის მობრუნების კუთხის პროპორციული სიგნალით (ნახ. 14ბ), ანდა მაინტეგრირებელ რეჟიმში მომუშავე ოპერაციული გამაძლიერებელი, რომელიც ფართოდ გამოიყენება კომპიუტერულ ტექნიკაში და რეგულირებადი ამძრავების ტექნიკაში (ნახ. 14გ).

ნახ. 14 სქემისათვის სამართლიანია განტოლება

$$a = K \cdot \int u_1 dt \quad (55)$$

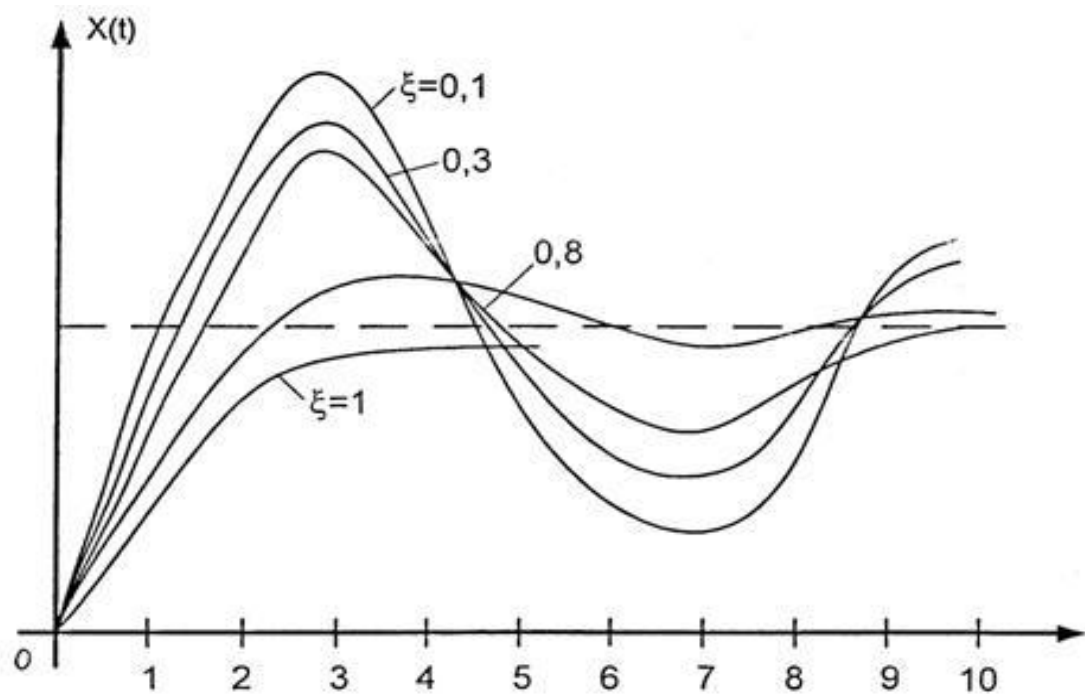
(55)-შესაბამისი გადამცემი ფუნქცია იქნება

$$W(P) = \frac{a(P)}{u_1(P)} = \frac{K}{P} \quad (56)$$

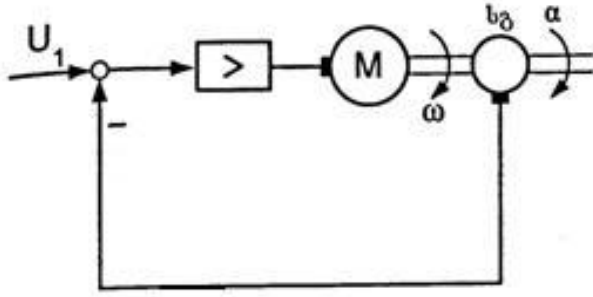
ნახ. 14 სქემისათვის გადამცემი ფუნქცია ასე განისაზღვრება:

$$W(P) = \frac{u_2(P)}{u_1(P)} = \frac{Z_{\text{შ}}}{Z_{\text{გ}}} \frac{1/C_{\text{შ}} P}{R_{\text{გ}}} = \frac{1}{T_0 P} \quad (57)$$

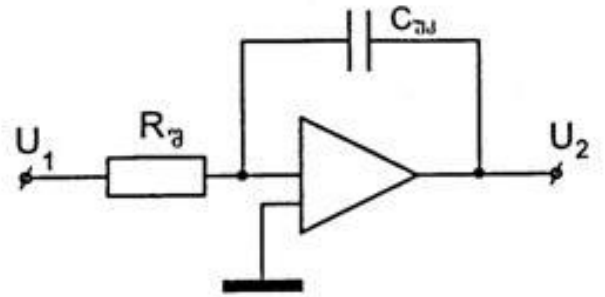
სადაც $T_0 = R_{\text{გ}} \cdot C_{\text{შ}}$.



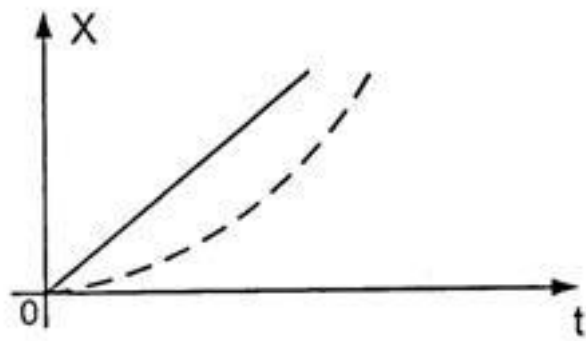
ნახ. 13ა გარდამავალი პროცესები



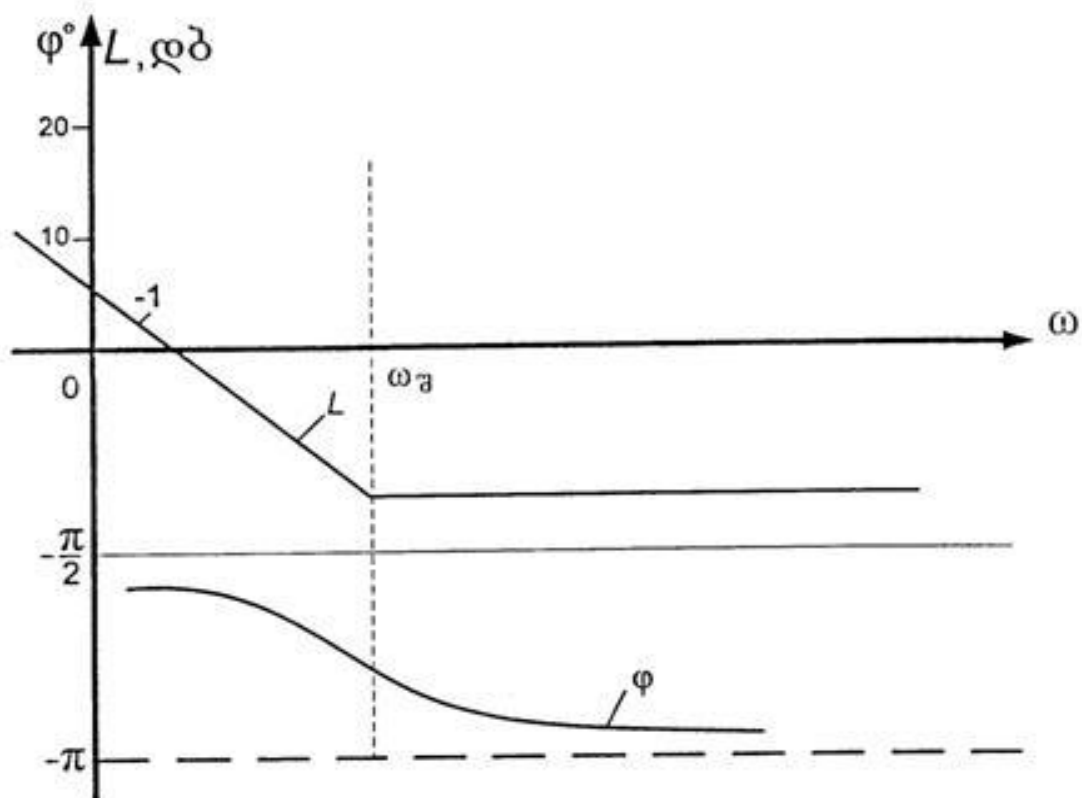
ნახ. 13ბ ინტეგრალური გამაძლიერებელი



ნახ. 13გ ინტეგრალური
გამაძლიერებლის სქემა



ნახ. 14 გარდამავალი ფუნქცია



ნახ. 15 ლოგარითმულ- სიხშირული მახასიათებლები

მაინტეგრებული რგოლის გარდამავალი ფუნქცია ასე გამოისახება

$$X(t)=K \cdot t \cdot 1(t) \quad (58)$$

გრაფიკულად ნაჩვენებია ნახ. 15–ზე.

მაინტეგრებული რგოლის ლამ წარმოადგენს წრფეს, რომელიც დახრილია -20 დბ/დკ და გადის

$$w = 1_{\omega}^{-1} \quad (59)$$

სიხშირეზე $20 \lg K$ სიმაღლეზე აბსცისათა ღერძიდან.

თუ გავითვალისწინებთ ამძრავის მხოლოდ მექანიკურ ინერციულობას, მაშინ ნახ. 14ა სქემის შესაბამისად მივიღებთ შენელებით მოქმედებას, მაინტეგრებელ რგოლის შემდეგი გადამცემი ფუნქციით:

$$W(P) = \frac{K}{p(T \cdot P + 1)}. \quad (60)$$

(60)–ის შესაბამისი გარდამავალი ფუნქცია წყვეტილით ნაჩვენებია ნახ. 15–ზე.

(60)–ის შესაბამისი სიხშირული გადამცემი ფუნქცია შემდეგნაირად გამოისახება:

$$W(j\omega) = \frac{K}{j\omega(1+jT\omega)}, \quad (61)$$

(61)–ის შესაბამისი ამპლიტუდის და ფაზის სიხშირული ფუნქციები შემდეგია:

$$A(\omega) = \frac{K}{\omega \sqrt{1+T^2 \omega^2}}; \quad (62)$$

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \arctg T\omega$$

(63)

ლოგარითმულ-ამპლიტუდური მახასიათებლის ასაგებად უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი ფორმულით:

$$L(\omega) = 20 \log K - 20 \log \omega - 20 \log \sqrt{1 + T^2 \omega^2} \quad (64)$$

(63) და (64)–ის შესაბამისი გრაფიკები წარმოდგენილია (ნახ. 16–ზე).

დაგვიანებით მოქმედი რგოლის მაგალითია დენის ტირისტორული გარდამსახები, რომლებიც გამოიყენება ძრავების საკვებად (ნახ. 17).

გამართული ძაბვის მნიშვნელობა იანგარიშება ფორმულით:

$$U_d = U_{max} \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \cos \alpha, \quad (65)$$

სადაც m –გამართული ძაბვის ფეთქალობა, სამუაზა ორგაქტა სქემისთვის $m=6$, ხოლო სამუაზა ნულოვანი სქემისათვის $m=3$. α – ტირისტორების მართვის ელექტროდზე მოსული იმპულსების ძვრის კუთხეა, $\alpha = 15^\circ \div 90^\circ$.

ტირისტორული გარდამსახის გადამცემი ფუნქცია გოლია:

$$W_{\text{გზ}}(P) = \frac{U_d(P)}{U_{\text{გ}}(P)} = \frac{K_{\text{გზ}} e^{-\varphi}}{T_{\text{გ}} p + 1} \quad (66)$$

სადაც $K_{\text{გზ}}$ – გარდამსახის გადაცემის კოეფიციენტია, $K_{\text{გზ}} = 70 \div 100$; τ – გარდამსახის ამოქმედების დაგვიანების დროა, $\tau = 0,002$ წმ; $T_{\text{გ}}$ – გარდამსახის ფ.მ.ს–ის შესასვლელზე დაყენებული ფილტრის დროის მუდმივაა, $T_{\text{გ}} = 0.003$ წმ.

რეგულირებადი ტექნიკის ფართოდ გამოიყენება უინერციო (პროპორციული) ტიპის ოპერაციული გამაძლიერებლები (ნახ. 18) მისი გადამცემი ფუნქციაა

$$W(P) = \frac{U_{\text{გ}}(P)}{U_{\text{გ}}(P)} = \frac{R_{\text{გკ}}}{R_{\text{გ}}} = K \quad (67)$$

პროპორციულ-ინტეგრალური ტიპის ოპერაციული გამაძლიერებლის (რეგულატორის) (ნახ. 19) გადამცემ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე

$$W(P) = \beta \cdot \frac{\tau p + 1}{\tau p}, \quad (68)$$

სადაც β – დინამიკური გაძიერების კოეფიციენტი, $\beta = \frac{R_{\text{კკ}}}{R_{\text{ფ}}}$;

$\tau = R_{\text{კკ}} \cdot C_{\text{კკ}}$ – საკუთარი დროის მუდმივაა.

(1-48)–ის შესაბამისი მოდულის და ფაზის გამოსახულებებია

$$A(\omega) = \beta \frac{\sqrt{1 + (\tau\omega)^2}}{\tau\omega}; \quad \varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} + \arctg \tau\omega \quad (69)$$

ლამ–ის აგება წარმოებს ფორმულით

$$L(\omega) = 20 \log \beta + 20 \log \sqrt{1 + \tau^2 \omega^2} - 20 \log \tau\omega \quad (70)$$

პი-ტიპის რეგულატორის ლამ–ის და ფაზურ სიხშირული მახასიათებლები აგებულია (ნახ. 20)–ზე.

პროპორციულ-ინტეგრალურ-მადიფერენცირებელი რეგულატორის (ნახ. 21) გადამცემი ფუნქცია შემდეგნაირად გამოისახება

$$W(P) = \beta \frac{(\tau p + 1)(T_0 p + 1)}{\tau p}, \quad (71)$$

სადაც $\beta = \frac{R_{\text{კკ}}}{R_{\text{ფ}}}$; $\tau = R_{\text{კკ}} C_{\text{კკ}}$; $T_0 = R_{\text{ფ}} C_{\text{ფ}}$.

(71)–ის შესაბამისი სიხშირული გამოსახულებებია:

$$W(j\omega) = \beta \frac{(j\tau\omega + 1)(jT_0\omega + 1)}{j\tau\omega}; \quad (72)$$

$$A(\omega) = \beta \frac{\sqrt{\tau^2 \omega^2 + 1} \cdot \sqrt{T_0^2 \omega^2 + 1}}{\tau \omega}; \quad (73)$$

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} + \arctg \tau \omega + \arctg T_0 \omega \quad (74)$$

ლამ-ის ასაგებად უნდა ვისარგებლოთ შემდეგი ფორმულით

$$L(\omega) = 20 \log \tau \omega - 20 \log \tau \omega + 20 \log \sqrt{\tau^2 \omega^2 + 1} + 20 \log \sqrt{T_0^2 \omega^2 + 1} \quad (75)$$

ლამ-ი და ფაზურ სიხშირული მახასიათებლები აგებულია ნახ. 22-ზე რეალური მაღიფერცირებელი რგოლის მაგალითა ძაბვის გრანსფორმაგორი, რომელიც შირად გამოიყენება სისგემაში რხევითი გარდამავალი პროცესების დასაწყნარებლად (ნახ. 23).

გაღამცემ ფუნქციას აქვს შემდეგი სახე:

$$W(P) = \frac{\tau p}{T_0 P + 1} \quad (76)$$

T_0 -რგოლის შენელების დროის მუდმივაა (76) შესაბამისი სიხშირული ფუნქციებია:

$$W(j\omega) = \frac{j\tau\omega}{jT_0\omega + 1}; \quad (77)$$

$$A(\omega) = \frac{\tau\omega}{\sqrt{T_0^2 \omega^2 + 1}}; \quad \varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \arctg T_0 \omega \quad (78)$$

ლამ-ს ავაგებთ შემდეგი ფორმულით (ნახ. 28)

$$L(\omega) = 20 \log \tau \omega - 20 \log \sqrt{T_0^2 \omega^2 + 1} \quad (79)$$

(79)-ის შესაბამისი გარდამავალი ფუნქციაა (ნახ. 29)

$$X = \frac{\tau}{T} e^{-t/p} \cdot 1(t). \quad (80)$$

ავტომატური სისტემის დინამიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით ფართოდ გამოიყენება R და C ელემენტებით შედგენილი პასიური ოთხპოლუსები მაინტეგრებული (ნახ. 30ა) და მაღიფერენცირებული (ნახ. 30ბ), შეიძლება გამოვიყენოთ მათი კომბინაციაც (ნახ. 30გ).

მაინტეგრებული მაკორექტირებული მოწყობილობის (ნახ. 30ა) პირდაპირ არხში ჩართვით შეგვიძლია გავზარდოთ სისტემის საერთო გაძლიერების კოეფიციენტი მდგრადობის მარაგისა და კვეთის სიხშირის შენარჩუნებით. გაძლიერების კოეფიციენტის გაზრდით კი საბოლოოდ მიიღწევა სისტემის სტატიკური ცდომილების შემცირება. განსახილველი კორექტორის გადამცემ ფუნქციას აქვს სახე

$$W_3(P) = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}, \quad (81)$$

სადაც $T_1 = R_2 C_2$; $T_2 = (R_1 + R_2) C_2$; $T_2 > T_1$. ასეთი კორექცია

ხასიათდება ფაზური ჩამორჩენით, რომელიც მაქსიმუმს აღწევს $\omega = 1/\sqrt{T_1 T_2}$ სიხშირეზე.

დასკვნაში შეგვიძლია აღვნიშნოთ:

ლიგერატურული წყაროების თანახმად ღრეკადრგოლებიანი გირისგორული ელექტროამპრაჟების დინამიკის საკითხებს მიძღვნილი აქვს

მეცნიერთა მრავალი შრომა, მიუხედავად ამისა, ზოგიერთი მართვის სისტემა და მათში მიდინარე გარდამავალი პროცესების ოპტიმიზაციის საკითხები ჯერ კიდევ არ არის საბოლოოდ გადაჭრილი. გრეხითი რხევების საკომპენსაციოდ უცხოელი სპეციალისტების მიერ შემოთავაზებულია პასიური $R-C$ და $R-L-C$ ფილტრები, მათი გამოყენების შესაძლებლობა შემზღუდულია, ერთ სემთხვევაში ხელშემშლელი სიგნალებისადმი მაღალი მგრძნობიარობით, ხოლო მეორე შემთხვევაში დიდი ინდუქციურობის მქონე კოჭის აუცილებლობით. ამიგომ ყურადღებას იმსახურებს ფილტრები, რომლებიც აეწყობიან ოპერატიული მაძლიერებლების და ინტეგრატორების ბაზაზე, ანდა დამკვირვებელი მოწყობილობებით (კალმანის ფილტრის ანალოგიურად).

2. ძრავის აგზნებით რეგულირებადი ტირისტორული ელექტროამძრავების სისტემების (როგორც ინდივიდუალური, ისე ორძრავიანი) შექმნა დაკავშირებულია ელექტროენერგიის დანახარჯების შემცირებასთან.. ასეთ სისტემების დინამიკური რეჟიმები ნაკლებად არის შესწავლილი, მით უფრო მექანიკური ლილვების დრეკადი თვისებების გათვალისწინებით.

3. ამძრავთა სისტემების დინამიკის შესასწავლად უპირატესობა ენიჭება ევტომატური მართვის თეორიიდან ლოგარითმულ სიხშირული მახასიათებლების მეთოდს და ბოლოს მათი სრულყოფილი შესწავლისათვის MATLAB-ის პროგრამით კომპიუტერულ კვლევებს.

6. ელექტრომექანიკური ამძრავი მოდალური მართვით

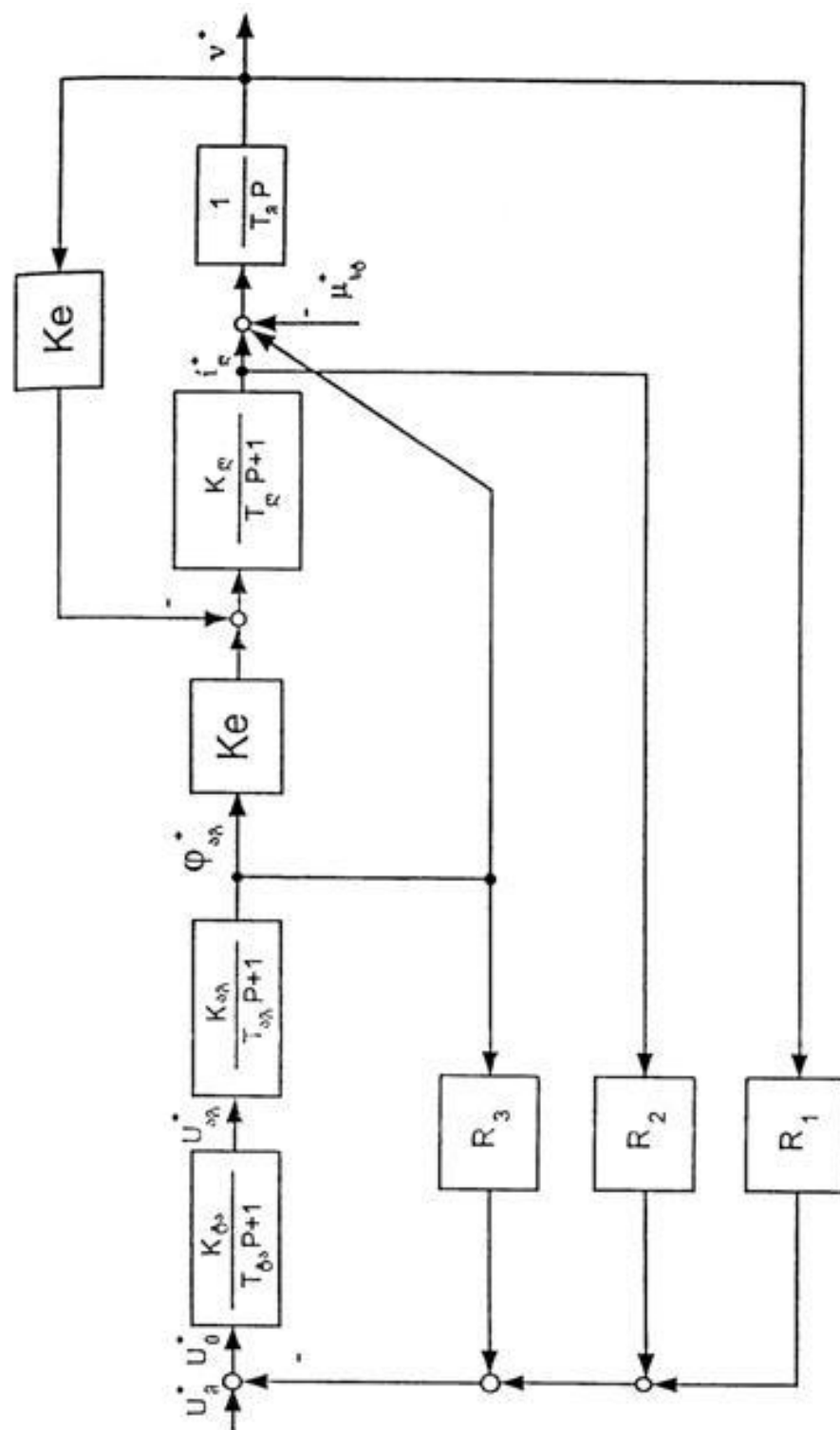
თანამედროვე ელექტროამძრავთა სისტემების მიმდევრობითი კორექციის პრინციპის გარდა შეადგენენ ე.წ. მოდალური მართვით [22]. ასეთ შემთხვევაში ამძრავის სისტემას აგებენ მდგომარეობის ყველა

ცვლადის უარყოფითი უკუკავშირით, ისე როგორც ეს ნაჩვენებია 31-ე ნახ-ზე (ხისტი მექანიკური ლილვის შემთხვევისათვის). 32-ე ნახ-ზე ნაჩვენებია ამძრავის მოძალადური მართვის სისტემა ღრეკადი მექანიკური ლილვის არსებობის შემთხვევისათვის.

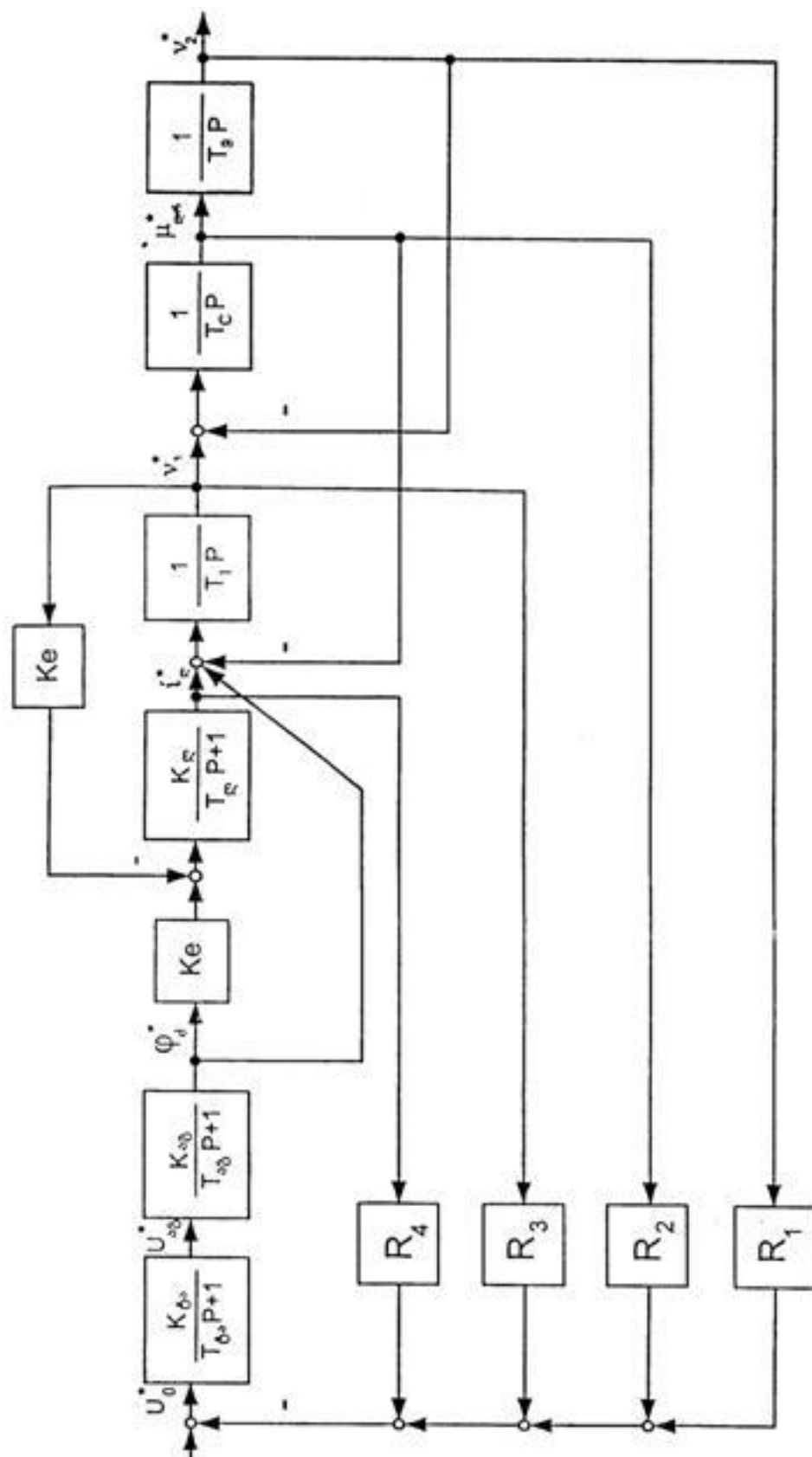
ამ სქემებზე $R_i = 1,4$ – უკუკავშირების გადაცემის კოეფიციენტებია. კალმან-ფროფენიუსის თეორემების საფუძველზე განვსაზღვროთ R_i – კოეფიციენტების ოპტიმალური მნიშვნელობები ცალკეული სქემის შესაბამისად. ნახ. 31-ზე მოყვანილი სისტემის დიფერენციალური განტოლებები $T_{\text{გა}}$ –ს უგულებელყოფის პირობებში კოშის ფორმაში შემდეგნაირად წარმოდგინდება:

$$\left\{ \frac{dv^*}{dt} = \frac{1}{T_{\text{გა}}} \varphi_{\text{აგ}}^* + \frac{1}{T_{\text{გა}}} \dot{i}_{\text{ლ}}^* ; \quad \frac{di_{\text{ლ}}^*}{dt} = \frac{K_{\text{ლ}} K_{\text{ლ}}}{T_{\text{ლ}}} \varphi_{\text{აგ}}^* - \frac{K_{\text{ლ}} K_{\text{ლ}}}{T_{\text{ლ}}} v^* - \frac{1}{T_{\text{ლ}}} \dot{i}_{\text{ლ}}^* \frac{d\varphi_{\text{აგ}}^*}{dt} = \frac{K_{\text{გა}} K_{\text{აგ}}}{T_{\text{აგ}}} v_0^* - \frac{1}{T_{\text{აგ}}} \dot{\varphi}_{\text{აგ}}^* \right\} \quad (82)$$

უნდა შევნიშნოთ, რომ (3-26)-ის მეორე განტოლებაში კოეფიციენტის „–“ ნიშანი გადავადგეთ ვინაიდან ტა-ს შესავალზე ძაბვის მაგება რეალურად იწვევს გამომავალი ძაბვის შემცირებას.



ნახ. 16 მოდულური მართვის სქემა



ნახ. 17 დრეკალ რგოლებიანი ელექტრომექანიკური სისტემის
მოდალური მართვის სქემა

მაგრიცულ სახეში (82) შემდეგნაირად შეიძლება ჩაიწეროს

$$\frac{dx}{dt} = A \cdot x + B \cdot u, \quad (83)$$

სადაც $x^T = [x_1 \ x_2 \ x_3];$

$$u = v_0^*; \quad x_1 = v^*; \quad x_2 = i_{\text{ლ}}^*; \quad x_3 = \varphi_{\text{აგ}}^*.$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_{\text{ა}}} & \frac{1}{T_{\text{ა}}} & -\frac{K_e K_{\text{ლ}}}{T_{\text{ლ}}} & -\frac{1}{T_{\text{ლ}}} & \frac{K_e K_{\text{ლ}}}{T_{\text{ლ}}} \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{K_{\text{ა}} K_{\text{აგ}}}{T_{\text{აგ}}} \end{bmatrix}$$

(84)

თავდაპირველად აუცილებელია და მაგრიცებით შევადგინოთ შემდეგი სვეტ-მაგრიცები:

$$\{\Theta_1 = A\Theta_2 + a_1 \cdot B \quad \Theta_2 = A\Theta_3 + a_2 B; \quad \Theta_3 = B,$$

(85)

სადაც a_1, a_2 არის მაგრიცის შესაბამისი $\chi(P) = \det(pE - A)$

მახასიათებელი პოლინომის კოეფიციენტები:

$$(a(P) = P^3 + a_2 P^2 + a_1 P + a_0)$$

(86)

თუ ამძრავის სისტემის მახასიათებელ განტოლებას შევირჩევთ რაიმე ოპტიუმის, მაგ. ბატერეორგის ან ბინომიალური კანონის შესაბამისად [14], ე.ი. გვეცოდინება სისტემის მახასიათებელი განტოლების a_1 კოეფიციენტები, მაშინ მეორე ეტაპზე საჭიროა ვიპოვოთ

$$\{r_1 = \tilde{a}_0 - a_0 = \omega_0^3 - \frac{K_e K_{\infty}}{T_{\text{აზ}} T_{\text{ლ}} T_{\text{ა}}}; \quad r_2 = \tilde{a}_1 - a_1 = 2\omega_0^2 - \frac{T_{\text{ა}} + K_e K_{\infty} T_{\text{აზ}}}{T_{\text{აზ}} T_{\text{ლ}} T_{\text{ა}}} r_3 = \tilde{a}_2 - a_2$$

(87)

სადაც ω_0 – სისტემის სწრაფქმედების განმსაზღვრელი სიხშირეა.

$\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4]$ – მაგრიცის დახმარებით, რომლის ელემენტები (85)–ით განსაზღვრული სვეტ–მაგრიცებია, ე.ი.

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & 0 & \theta_{21} & \theta_{22} & 0 & \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \end{bmatrix}.$$

(88)

აღვილად ვიპოვით მის შებრუნებულ მაგრიცას

$$\theta^{-1} = \frac{1}{\det \theta}$$

$$\begin{bmatrix} \Theta_{11} & \Theta_{21} & 0 & \Theta_{12} & \Theta_{22} & 0 & \Theta_{13} & \Theta_{33} & 0 \end{bmatrix}.$$

(89)

სადაც,

$$\det \theta = (\theta_{11} \theta_{22} - \theta_{12} \theta_{21}) \theta_{33} = \left(\frac{K_{\text{ფა}} K_{\text{აგ}}}{T_{\text{აგ}}} \right)^3 \cdot \frac{K_{\text{ლ}} K_{\text{ს}} [(K_{\text{ს}} K_{\text{ს}} + 1) T_{\text{ფ}} + T_{\text{ს}}]}{(T_{\text{ფ}} T_{\text{ს}})^2} \quad (90)$$

$$\begin{aligned} \Theta_{11} &= \Theta_{22} \Theta_{33}; & \Theta_{21} &= -\Theta_{12} \Theta_{33}; \\ \Theta_{12} &= -\Theta_{21} \Theta_{33}; & \Theta_{22} &= \Theta_{11} \Theta_{33}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Theta_{13} &= (\Theta_{21} \Theta_{32} - \Theta_{22} \Theta_{31}); \\ \Theta_{23} &= (\Theta_{31} \Theta_{12} - \Theta_{11} \Theta_{32}); \\ \Theta_{33} &= (\Theta_{11} \Theta_{22} - \Theta_{12} \Theta_{21}). \end{aligned}$$

(88) –ში შემავალი სვეტ–მატრიცები განსახილველი ამპრავისათვის
ტოლია:

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= [\Theta_{11} \ \Theta_{21} \ \Theta_{31}] = \frac{K_{\text{ფა}}}{T_{\text{ფ}}} \left[\frac{K_{\text{ლ}} K_{\text{ს}} + 1}{T_{\text{ს}} T_{\text{ფ}}} \ \frac{K_{\text{ლ}} K_{\text{ს}}}{T_{\text{ს}} T_{\text{ფ}}} \ \frac{K_{\text{ლ}} K_{\text{ს}}}{T_{\text{ფ}} T_{\text{ს}}} \right]; \\ \Theta_2 &= [\Theta_{12} \ \Theta_{22} \ \Theta_{32}] = \frac{K_{\text{ფა}} K_{\text{აგ}}}{T_{\text{აგ}}} \left[\frac{1}{T_{\text{ფ}}} \ \frac{K_{\text{ლ}} K_{\text{ს}}}{T_{\text{ს}}} \ \frac{1}{T_{\text{ს}}} \right]; \end{aligned} \quad (91)$$

$$\theta_3^T = [\theta_{13} \ \theta_{23} \ \theta_{33}] = \frac{K_{\text{ფა}} K_{\text{აგ}}}{T_{\text{აგ}}} [0 \ 0 \ 1].$$

$$(87)\text{–ის ღახამრებით შევადგენთ } \check{R} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \end{bmatrix} -$$

სტრიქონ–მატრიცას, ხოლო გამოსახულება

$$R = \check{R} \cdot \Theta^{-1} \quad (92)$$

საშუალებას გვაძლევს გამოვსახოთ საძიებელი მოდალური რეგულატორის (უკუკავშირების) კოეფიციენტები, კერძოდ შემდეგნაირად:

$$\{R_1 = (r_1 \Theta_{11} + r_2 \Theta_{12} + r_3 \Theta_{13}) \frac{1}{\det \det \Theta}; R_2 = (r_1 \Theta_{21} + r_2 \Theta_{22} + r_3 \Theta_{23}) \frac{1}{\det \det \Theta}; R_3 = (r_1 \Theta_{31} + r_2 \Theta_{32} + r_3 \Theta_{33}) \frac{1}{\det \det \Theta}\} \quad (93)$$

(90; 91) გამოსახულებების შესაბამისი ელემენტების გათვალისწინებით (93)– დან მივიღებთ აგზნებით რეგულირებადი ტირისტორული ელექტროამძრავის უკუკავშირების (ე.წ. მოდალური რეგულატორის) ოპტიმალური კოეფიციენტების საანგარიშო ფორმულებს:

$$R_1 = \frac{1}{\det \det \Theta} \cdot \left(\frac{K_{\text{ფა}} T_{\text{აზ}}}{T_{\text{აზ}}} \right)^2 \left[\left(\omega_0^3 - \frac{K_e K_{\text{ლ}}}{T_{\text{აზ}} T_{\text{ლ}} T_{\text{ფ}}} \right) \frac{K_e K_{\text{ლ}}}{T_{\text{ლ}}} - \frac{K_e K_{\text{ლ}}}{T_{\text{ლ}} T_{\text{ფ}}} \left(2\omega_0^2 - \frac{T_{\text{ფ}} + K_e K_{\text{ლ}} T_{\text{აზ}}}{T_{\text{აზ}} T_{\text{ლ}} T_{\text{ფ}}} \right) - \left(\omega_0 - \frac{T_{\text{ფ}}}{T_{\text{აზ}}} \right) \right] \quad (94)$$

$$R_2 = \frac{1}{\det \det \Theta} \cdot \left(\frac{K_{\text{ფა}} K_{\text{აზ}}}{T_{\text{აზ}}} \right)^2 \cdot \left[\left(\omega_0^3 - \frac{K_e K_{\text{ლ}}}{T_{\text{აზ}} T_{\text{ლ}} T_{\text{ფ}}} \right) \left(\frac{1}{T_{\text{ფ}}} \right) + \left(2\omega_0^2 - \frac{T_{\text{ფ}} + K_e K_{\text{ლ}} T_{\text{აზ}}}{T_{\text{აზ}} T_{\text{ლ}} T_{\text{ფ}}} \right) \cdot \frac{K_e K_{\text{ლ}} + 1}{T_{\text{ლ}} T_{\text{ფ}}} + \left(\omega_0 - \frac{T_{\text{ფ}}}{T_{\text{აზ}}} \right) \cdot \frac{1}{T_{\text{აზ}}} \right] \quad (95)$$

$$R_3 = \frac{T_{\text{აგ}} T_{\text{ლ}} \cdot \omega_0 - (T_{\text{ლ}} - T_{\text{აგ}})}{K_{\text{ტა}} K_{\text{აგ}} T_{\text{ლ}}} . \quad (96)$$

თუ ვისარგებლებთ ელექტროამპრავის კონკრეტული ობიექტის რიცხვითი მნიშვნელობებით: $K_{\text{ტა}} = 4,7$; $K_{\text{აგ}} = 0,3$; $K_e = 0,95$;

$$K_{\text{ლ}} = 22,7; \quad T_{\text{აგ}} = 0,01\text{წმ};$$

$T_{\text{აგ}} = 0,44\text{წმ}$; $T_{\text{გ}} = 11,5\text{წმ}$, მაშინ (94) – (96) ფორმულების მიხედვით მივიღებთ უკუკავშირების კოეფიციენტების შემდეგ ოპტიმალურ მნიშვნელობებს: $R_1 = 1003$;

$$R_2 = 4,3; \quad R_3 = 9,8 .$$

დასკვნა

1. თანამედროვე ამპრაფთა სისტემების შემუშავებასა და კვლევასთან დაკავშირებული საკითხების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ უკანასკნელნი თავიანთ ძირითად ნაწილში წარმოადგენენ ელემენტარული, ჰიდრაულიკური, პნევმატური და კომბინირებული ელემენტების სტრუქტურულ შეტანწყობას სტრუქტურულად რთულ მრავალმასიან მექანიკურ გრანსმისიებთან (მექანიკურ სისტემებთან).

2. აგრეთვე, ნაჩვენებია ამპრაფთა ელემენტების მოძრაობაგა სიჩქარეთა ზრდასგან დაკავშირებით მნიშვნელოვნად იზრდება, ზოგადად, მანქანათა და, კერძოდ, ამპრაფთა დინამიკის საკითხების როლი მათი კონსტრუირებისა და ექსპლუატაციის პროცესების მიმართ. წინა პლანზე წამოწეულია საკითხები რომლებიც დაკავშირებულია როგორც დაზუსტებული სახის მოდელებთან, ასევე დინამიკური სინთეზის ეფექტური მეთოდების გამოყენებასთან. უკანასკნელთან დაკავშირებით, თანამედროვე ამპრაფთა ელექტრომექანიკური სისტემების ეფექტური დინამიკური კვლევა მოიცხვს დრეკადი მოვლენების გათავლისინებას მექანიკური გრანსმისიების მოდელებში.

3. ცნობილია, რომ მრავალმასიანი მექანიკური გადამცემა მექანიზმების სემცველი სისტემების დინამიკურ გამოკვლევებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს მუშა სიხშირეთა საჭირო სპექტრის შემცველი აპროქსიმაციული მოდელების აგების მეთოდიკებმა. აპროქსიმაციის უკანასკნელ ორიგინალურ მეთოდებზე დაყრდნობით, რომლებშიც გამოყენება ჰპოვეს წარმოსახვით სიხშირეთა მოდიფიცირებულმა მახასიათებლებმა, ფორმალიზებულია მექანიკური სისტემების დინამიკის ოპტიმიზაციური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდოლოგიური მიდგომები.

4. ელექტრო ამპრაფის მმართველი, გარდმქმნელი და ძალოვანი ელემენტების დინამიკის აღმცერის ცნობილი კანონზომიერებების გამოყენებით მექანიკური სისტემების პროქსიმაციულ მოდელებთან შეთანწყობაში აგებულია ამპრაფთა ელექტრომექანიკური სისტემების დინამიკის

მათემატიკური მოდელები ღრეკადი კავშირების და ღრეჩოების გათავლისწინებით მექანიკურ გადაცემებში.

5. მოყვანილია რეგულირებადი ელექტრომექანიკური ამზარავის საერთო გადაცემა ფუნქცია მართვის თეორიაში ცნობილი ცვლადთა მდგომარეობის სივრცის მეთოდით.

გაანალიზებულია საკვლევი სისტემის მოდალური მართვით აგებული სტრუქტურული სქემით რეალიზებული გარდამავალი პროცესის ოპტიმიზაციის მეთოდი. ჩატარებულია საანგარიშო გამოკვლევები, რომლის მიხედვით ნაჩვენებია გამოყენებული მეთოდოლოგიური მიდგომის ეფექტურობა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. Машиностроение, 1990-304с;
2. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода металлорежущих станков, М. Машиностроение, 1989-224с;
3. Далидов С.В., Авдушев С.А., Дубник А.М. и др. Электромеханические системы управление тяжелыми меллорежущими станками. ЛюЖ Машиностроение, 1983, 236с;
4. Сосонкин Автоматические станочные системы. М.: Маш-ие, 1986,-315с;
5. Чиликин М. Г., Кмоев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1979,-616с;
6. Мchedlishvili T.F., Narsia D.M., Tpvadze A.T. Динамика и регулирование систем приводов с сногозвенными механизмами. Тбилиси. Комитет ИФТоММа Грузии, 2009.-267с;
7. Мchedlishvili T.F., Tavkhelidze D.D., Goletiiani G.S., и др. Математическое моделирование и динамические синтез многосвязанных систем приводов промишленныероботов. Тбилиси, Технический университет, 2009ю250с;
8. Ривии Е.И. Динамика приводо станков. М.: Машиностроение, 1966, 204с;
9. Казак С.А. Динамика мостовых кранов. М.: Машиностроение, 1968, 331с;
10. Орур И.А. Новые методы синтеза линетных и некоторых нелинейных динамических систем. М.: Наука, 1965, 207с;
11. Мchedlishvili T.F. К вопросу оптимизационного синтеза систем приводов. Транспорт и машиностроение, Тбилиси, 2007, №2, с. 3-7;
12. Мchedlishvili T.F., Ivaniishvili L.D. К переметрическому синтезу многомассовых механических систем приводов на основе пошагового приближение. Транспорт и машиностроение, Тбилиси, №3 (15), 2009, с. 11-15;
13. Mchedlishvili T.F., Ivanishvili L. D. To question of optimizing calculation of multimas mechanical systems of drives// Problems of Mechanics, Tbilisi. 2009. №2(35), pp. 24-27;
14. ბერაძე ნ., მჭედლიშვილი თ., აგზნებით რეგულირებადი ორძრავიანი ტირისტორული ელექტროამძრავის მათემატიკური მოდელი დრეკადი რგოლების გათვალისწინებით. // თბილისი, „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ #4-6, 2004წ. გვ.55-58.
15. Бесекерский В.А., Попов Е.П., Теория САР // М., Наука, 1980.
16. Bolton H.R., Energy efficiency improvements in electric motors and drives // Berlin, Springer, 1997.

17. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г., Автоматизированный электропривод с упругими связями // С-Пб, ЭАИ, 1992.
18. Борович З.И., Определители и матрицы // М., Наука, 1988.
19. Воронов А.А., Устойчивость, управляемость, наблюдаемость // М., Наука, 1979.
20. Gallert W., Kasher H., Lexiken der mathematik//Leipzig, Bibliographisches inst., 1981.
21. Griffel D., Linear Algebra// New-York, Acad. Press., 1989.
22. Дочвири Д.Н., Оптимизация переходных процессов многодвигательных тиристорных электроприводом с упругими связями для пресовых механизмов непрерывных технологических машин // М., <<Электричество>>, 2006, №1, с.
23. Дочвири Д.Н., Дочвири И.Д., Берадзе Н.Д., Динамика систем управления тиристорных электроприводом с регулированием возбуждения электродвигателя // Киев, <<Технична електродинамика>>, нац. АН Украины, 2005, №6.
24. Kailath T., Linear systems // New-York, Prentice Hall, 1980.
25. Kalman R., A new approach to linear filtering and prediction problem // J. Basic Eng., 1968, v.82, pp. 35-45.
26. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А., Теория электропривода // С-Пб, ЭАИ, 1994.
27. Кузовков Н.Т., Модальное управление и наблюдающие устройства // М., Машиностроение, 1976.
28. Leonhard W., Control of electric drive // Springer, Berlin, 1985.
29. Маслов С.Г., Расчеты колебаний валов (справ) // М., Машиностроение, 1980.
30. Ore O., Теория графов // М., Машиностроение, 1980.
31. Möller K., Frequenzumrichter (Katalogergänzung) // Zum, K. 82, Juli, 1997.